

**ARITMA ÇAMURLARININ FARKLI HAYVAN  
GÜBRELERİ İLE BİRLİKTE  
KOMPOSTLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Büşra ÖZBEK**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARITMA ÇAMURLARININ FARKLI HAYVAN GÜBRELERİ İLE BİRLİKTE  
KOMPOSTLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Büşra ÖZBEK  
Orcid No: 0000-0002-8973-0151

Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU  
Orcid No: 0000-0003-4888-7934  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022  
Her Hakkı Saklıdır

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ARITMA ÇAMURLARININ FARKLI HAYVAN GÜBRELERİ İLE BİRLİKTE KOMPOSTLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

**Büşra ÖZBEK**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU

Bu çalışmada, gıda endüstrisi kaynaklı oluşan evsel nitelikli arıtma çamurlarının (AÇ), geri kazanımı için farklı türden hayvan gübreleri (sığır, domuz, at, tavuk) ve düzenleyici katkı maddesi olarak ayçiçeği sapı (AS) ilavesi ile kompostlanabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında on bir adet (R1, R2, R3, K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8) farklı karışım oluşturulmuştur. R1, R2 ve R3 reaktörlerinde %30 oranında ayçiçeği sapı kullanılırken diğer reaktörlerde bu oran %20 olarak belirlenmiştir. Reaktörler için farklı karışım reçeteleri oluşturulmuş olup bazı reaktörlerde sadece arıtma çamuru kullanılırken, bazı reaktörlerde sadece sığır gübresi (SG), at gübresi (AG), tavuk gübresi (TG) kullanılmış ve geri kalan diğer reaktörlerde hem arıtma çamuru hem de hayvan gübreleri birlikte kullanılmıştır. 21 günlük proses boyunca reaktörlerde sıcaklık, nem, organik madde, pH, elektriksel iletkenlik, toplam fosfor, karbon/azot oranı ve toplam kjeldahl azotu parametreleri izlenmiştir. En yüksek sıcaklıklar K3 (AÇ+SG) için 62,7°C, K6 (AÇ+TG) için 62,2°C ve K5 (AÇ+AG) için 60,2°C kaydedilmiştir. K6 reaktöründe, diğer reaktörlere oranla en fazla organik madde kaybı (%64,8) gerçekleşmiş ve en yüksek sıcaklığa (62,7°C) ulaşılmıştır. R1 reaktöründe ise arıtma çamurunun tek başına kompostlanması sırasında yeterli substrat bulamayan mikroorganizmalar erken inaktive olmuşlar ve en az OM kaybı (%0,8) ve en düşük sıcaklık (43,9°C) elde edilmiştir. Bu çalışmada arıtma çamurlarının substrat olarak farklı fizikokimyasal özelliklere sahip hayvan gübreleri ile birlikte kompostlanması sonucunda daha verimli kompost son ürünü elde edilebildiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Arıtma çamuru, hayvan gübresi, kompostlama.

**2022, vii + 91 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

INVESTIGATION OF COMPOSTIBILITY OF TREATMENT SLUDGE WITH DIFFERENT ANIMAL MANURES

**Büşra ÖZBEK**

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

**Supervisor:** Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU

In this study, it was aimed to determine the compostability of domestic treatment sludge originating from the food industry with the addition of different types of animal manures (cattle, pig, horse, chicken) for recycling and the addition of sunflower stalk as a bulking agent. Within the scope of the study, eleven different mixtures (R1, R2, R3, K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8) were created. While 30% of sunflower stalks are used in R1, R2 and R3 reactors, this ratio is determined as 20% in other reactors. Different mixture recipes were created for the reactors, while in some reactors only treatment sludge was used, in some reactors only cattle manure (SG), horse manure (AG), chicken manure (TG) were used, and in the remaining reactors, both treatment sludge and animal manure were used together. During the 21-day process, temperature, humidity, organic matter, pH, electrical conductivity, total phosphorus, carbon/nitrogen ratio and total kjeldahl nitrogen parameters were monitored in the reactors. The highest temperatures were recorded at 62,7°C for K3 (AÇ+SG), 62,2°C for K6 (AÇ+TG) and 60,2°C for K5 (AÇ+AG). The highest organic matter loss (64,8%) occurred in the K6 reactor compared to the other reactors, and the highest temperature (62,7°C) was reached. In the R1 reactor, the microorganisms that could not find sufficient substrate during the composting of the sewage sludge were inactivated early and the least OM loss (0,8%) and the lowest temperature (43,9°C) were obtained. In this study, it was determined that a more efficient compost end product could be obtained as a result of composting treatment sludge with animal manures with different physicochemical properties as substrate.

**Key words:** Treatment sludge, animal manure, composting.

**2022, vii + 91 pages.**

## TEŞEKKÜR

Çalışmanın başından sonuna her aşamasında, her koşulda ve her şekilde desteğini hep hissettiğim, bilgi birikimi ve tecrübesi ile yolumu aydınlatan, öğretileri ile hayatı anlamama yardımcı olan kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU'na, her türlü konuda yardımını esirgemeyen ve süreç boyunca beni destekleyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU, Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU, Prof. Dr. F. Olcay TOPAÇ ve Prof. Dr. Taner YONAR'a, tez jürimde yer alarak vermiş olduğu destek ve katkıdan dolayı kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Aşkın BİRGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca, attığım her adımda vefat etmesine rağmen varlığını herkesten daha çok hissettiğim canım babam Dursun ÖZBEK'e, çocukluğumdan beri kendimi geliştirmem için her türlü fırsatı önüme altın tepsiyle sunan canım yengem Nesrin ÇETİNKAYA'ya, hayatın her alanında elini sırtımda hissettiğim ve bugünlere gelmem de en büyük katkı sahibi canım ablam Selin ALTINDIŞ'e, her zaman yanımda olan ve her türlü desteği vermekten çekinmeyen çekirdek ailemin hayatta ve ayakta kalan tek üyesi, baba yarısı canım abim Cüneyt ÖZBEK'e ve kıymetli eşi Merve ÖZBEK'e, okul içinde ve dışında bu süreç boyunca her türlü nazımı çeken kıymetli arkadaşım ESRA KARAÇOBAN'a, çalışma boyunca laboratuvar deneylerimde büyük emeği olan sevgili arkadaşlarım Büşra BİLİCİ, Dila ATEŞ, Selver KONUK ve Şaban PEKACAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Üniversite hayatımın en güzel kazanımları arasında yer alan, her türlü sıkıntıda sığınacak omuz olan sevgili arkadaşlarım Yunus Emre YİĞİT, Fulya ŞİMŞEK, Melek AYDIN ve Banu YAMAN'a, çalışma boyunca yardımcı olup da burada adını saymadığım herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

Büşra ÖZBEK

02/09/2022

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Arıtma Çamurlarının Yönetimi.....	3
2.1.1. Arıtma çamuru tanımı ve kaynakları.....	3
2.1.2. Arıtma çamuru arıtımı ve bertaraf yöntemleri.....	4
2.1.3. Türkiye’de arıtma çamurlarının mevcut durumu ve değerlendirilme yöntemleri...6	6
2.2. Hayvan Gübrelarının Yönetimi.....	7
2.2.1. Hayvan gübrelarının karakterizasyonu.....	8
2.2.2. Hayvan gübrelarının bertaraf yöntemleri.....	9
2.2.3. Türkiye’de hayvan gübrelarının mevcut durumu ve değerlendirilme yöntemleri.12	12
2.3. Organik Atıkların Bertaraf Yöntemleri.....	13
2.3.1. Düzenli depolama.....	14
2.3.2. Yakma.....	14
2.3.3. Anaerobik ayrışma.....	14
2.3.4. Kompostlama.....	15
2.4. Kompostlama Prosesi.....	16
2.4.1. Kompostlama mekanizması.....	16
2.4.2. Kompostlamaya etki eden faktörler.....	18
2.4.3. Kompostlamada kullanılabilir organik atıklar.....	21
2.4.4. Kompostlamanın faydaları.....	22
2.4.5. Arıtma çamurları ve hayvan gübrelarının birlikte kompostlanması ile ilgili.....	23
yapılmış bilimsel çalışmalar.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	26
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Kompostlamada kullanılan ham materyaller.....	26
3.1.2. Aerobik kompost reaktörleri.....	28
3.2. Yöntem.....	29
3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması.....	29
3.2.2. Ham malzemeler ve kompost numunelerinde yapılan analizler.....	29
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	31
4.1. Ham Materyallerin ve Kompost Karışımlarının Karakterizasyonu.....	31
4.2. Kompostlama Prosesinde Meydana Gelen Değişimler.....	34
4.2.1. Sıcaklık.....	34
4.2.2. pH.....	41
4.2.3. Elektriksel iletkenlik (EC).....	45
4.2.4. Nem.....	48
4.2.5. Organik madde (OM).....	52
4.2.6. Toplam kjeldahl azotu (TKN).....	56
4.2.7. Karbon/Azot oranı (C/N).....	59
4.2.8. Toplam fosfor (TP).....	63
4.2.9. Serbest Hava Boşluğu (FAS).....	66

5. SONUÇ .....	68
KAYNAKLAR .....	73
ÖZGEÇMİŞ .....	91

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Biyogaz üretim aşamaları .....	10
Şekil 2.4. Kompost oluşumu sırasında gerçekleşen olaylar .....	18
Şekil 3.1. Gıda endüstri atıksu arıtma tesisi akım şeması .....	27
Şekil 3.2. Aerobik kompostlama reaktörü .....	28
Şekil 4.2. Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları .....	35
Şekil 4.3. Kompost reaktörlerindeki pH değişimleri .....	42
Şekil 4.4. Reaktörlerde meydana gelen EC değişimleri .....	45
Şekil 4.5. Reaktörlere ait nem değişimleri .....	49
Şekil 4.6. Reaktörlerde meydana gelen OM değişimleri .....	52
Şekil 4.7. Reaktörlerde meydana gelen TKN değişimleri .....	56
Şekil 4.8. Reaktörlere ait C/N oranı değişimleri .....	60
Şekil 4.9. Reaktörlere ait TP değişimleri .....	63
Şekil 4.10. Reaktörlere ait FAS değerleri .....	66



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırılma yöntemleri .....	7
Çizelge 2.2. Hayvan gübrelerinin kimyasal bileşimi .....	8
Çizelge 2.3. Farklı hayvan türlerine ait dışkı/ıdrar oranları .....	9
Çizelge 3.2. Kompost reaktörleri için karışım reçeteleri .....	29
Çizelge 4.1. Birinci iş paketine ait ham materyallerin ve kompost karışımlarının... karakterizasyonu .....	32
Çizelge 4.2. İkinci iş paketine ait ham materyallerin ve kompost karışımlarının... karakterizasyonu .....	32
Çizelge 4.3. Üçüncü iş paketine ait ham materyallerin ve kompost karışımlarının... karakterizasyonu .....	34
Çizelge 4.4. Reaktörlerdeki maksimum sıcaklıklar .....	41

## 1. GİRİŞ

Dünya çapında teknolojinin sürekli gelişim içerisinde olması, nüfus yoğunluğunun artması ve bunlarla birlikte köyden kentlere olan göçlerle endüstrileşme önemli bir hız kazanmıştır. Sürekli yükselen bir ivme ile yoluna devam eden bu süreç insan faaliyetleri açısından ele alındığında, çevre üzerindeki baskılar her gün biraz daha artmaktadır. İnsanlar yaşama, barınma ve beslenme gibi temel ihtiyaçları doğrultusunda bilerek veya bilmeden doğal kaynakların hızlıca tükenmesine neden olmakta ve bununla birlikte çevreye olumsuz yönde etki eden atıklar da oluşturmaktadır. Üretimin sürekli değişim ve gelişim içinde olduğu ülkemizde de atık bileşenleri sürekli değişmekte olup çevre ve insan sağlığını ciddi boyutlarda tehdit etmeye başlamıştır.

İnsan ve endüstri kullanımı sonucu açığa çıkan atıksuların arıtma işlemleri sonucunda oluşan arıtma çamurları çevre insan sağlığı ikileminde çeşitli sorunlar yaratmaktadırlar. Bu tip atıkların çevre ve insan sağlığı açısından minimum etki ile bertaraf edilmesi en önemli hususlardan biridir. Günümüzde miktarları sürekli artış gösteren atıklar arasında bulunan arıtma çamurlarının ülkemiz genelinde bertarafı genellikle düzenli depolama yöntemidir. Fakat son zamanlarda yakma tesislerinin sayılarında olan artış ile birlikte çamurların bir kısmı yakılarak da bertaraf edilmektedir. Eysel ve evsel nitelikli arıtma çamurlarının organik madde içerikleri kompostlama prosesi ile bertarafını mümkün kılmaktadır. Ancak bu tip atıklar yüksek azot içermeleri yanı sıra karbon içermeleri ve yüksek neme sahip olmaları nedeniyle tek başlarına değerlendirilme kapasiteleri sınırlı olan atıklardır. Bu özellikleri nedeniyle ek bir substrat ve düzenleyici malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Düzenleyici malzeme olarak arıtma çamuru ile birlikte hayvansal atıklar ve zirai atıklar kullanılabilir. Farklı hayvan gübreleri arıtma çamurlarının kompostlanmasında düzenleyici bir malzeme olarak önemli bir alternatiftir.

Türkiye bir tarım ve hayvancılık ülkesidir. Ülkemiz genelinde coğrafya avantajını kullanan bazı bölgelerde hayvancılık insanlar için hala en önemli geçim kaynağıdır. Sürekli artış gösteren hayvan sayılarına paralel olarak da her geçen gün gübre miktarları da yüksek oranda artmaktadır. Gübreler kontrol edilmez ve uygun koşullar altında değerlendirilmeden kontrolsüz şekilde dış ortama, çevreye terk edilirse istenmeyen sonuçlar doğuracak, fayda sağlanabilecek bir materyal olmasına rağmen zararlı hale

gelecektir (Waskom, 1999). Bu tip riskler göz önüne alındığında hayvan gübrelерinin bertarafı ve geri kazanımı için kompostlama prosesi verimli bir yöntemdir.

Kompostlama, biyolojik olarak parçalanabilen atıkların aerobik ortamda mikroorganizmalar tarafından stabil humus benzeri bir maddeye dönüştürüldüğü işlemdir (Partanen ve diğerleri, 2010). Kompostlama, birçok biyokimyasal değişikliğin meydana geldiği dinamik bir süreçtir. Sonuç olarak, kompost malzemelerinin fiziksel özellikleri de değişir (Mohee ve Mudhoo 2005; Rosen ve Chen 2014). Toprak verimliliğini, biyolojik aktiviteyi ve verimliliği artırmak için organik gübre veya toprak değişiklikleri olarak kompostlama ürünlerinin kullanılması çiftçiler arasında popülerlik kazanmaktadır. Bu durum çevre dostu bir teknoloji olan kompostlama prosesinin ilerleyen süreçte daha yaygın bir işlem olarak karşımıza çıkacağına bir göstergesi olabilir. Ayrıca Hwang ve diğerleri (2020)'nin yaptığı bir çalışma kompostlama işleminin organik bileşiğın biyokimyasal mineralizasyonu yoluyla gübre atıklarının hacminin yüksek oranda azaldığını göstermiştir. Arıtma çamurları ve hayvan gübreleri de hacimsel azalma sağlamak amacıyla kompostlama işlemine tabii tutulmalı ve içeriklerinde bulunan patojenlerin yüksek sıcaklıklar dolayısı ile inaktivasyonu sağlanmalıdır.

Bu çalışmada, arıtma çamurlarının hacmini azaltmak ve hijyenizasyonunu sağlamak amacıyla kompostlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda gıda endüstrisi kaynaklı arıtma çamuru, ek substrat olarak farklı türden hayvan gübreleri ve düzenleyici katkı maddesi olarak ayçiçeği sapı kullanılmıştır. Ham maddelerin birlikte kompostlanabilirliği ve oluşan kompostun verim parametreleri incelenmiştir. Arıtma çamurlarının kompostlanmasında ilave substrat olarak hayvan gübrelерinin eklenmesinin kompostlama prosesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

## **2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Arıtma Çamurlarının Yönetimi**

Günümüz dünyasında evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde yıllık tonlarca arıtma çamuru oluşmaktadır. Özellikle endüstrilerde işlenen hammaddenin özelliğine göre arıtma çamurları içeriklerinde birçok ağır metal ve patojen mikroorganizmalar barındırmaktadır. İçeriklerinde buldukları bu maddeler dolayısıyla ile çevre kirliliğine doğrudan etki etmektedirler. Ağır metalleri ele aldığımızda, organizmalarda ve çevresel ortamlarda kolaylıkla birikebildiklerini söyleyebiliriz. Ayrıca bitkilerin kök ve yapraklarında biriken ağır metaller insan tüketimi sonucu besin zincirinin de bir parçası olabilmektedir. Bundan dolayı sürdürülebilir çevre yönetimi kapsamında arıtma çamurları için çevreye duyalı bir yönetim anlayışı benimsenmelidir.

#### **2.1.1. Arıtma çamuru tanımı ve kaynakları**

Arıtma çamurları, atık su bünyesindeki çökebilir ve yüzdürülebilir katı maddelerin ayrılması sonucunda meydana gelen, arıtma prosesine veya işletmeye bağlı olarak %0,25-1,2 katı madde içeriğine sahip olan, genellikle sıvı veya yarı katı halde bulunan atıklardır (Demir, 2019). Atık Yönetimi Yönetmeliği (2015) kapsamında arıtma çamuru; evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atık suların, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri sonucunda ortaya çıkan, suyu alınmış, kurutulmuş çamur olarak tanımlanmaktadır.

Arıtma çamurlarının çeşitleri arıtılan suyun özellikleri ve kullanılan arıtım proseslerine göre değişiklik göstermektedir. Arıtılan suyun özelliklerine göre arıtma çamurlarını 3 ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar;

- İçme suyu arıtımından kaynaklanan arıtma çamurları
- Atıksu arıtımından kaynaklanan arıtma çamurları
- Endüstriyel atıksu arıtımından kaynaklanan arıtma çamurlarıdır.

Ayrıca arıtma çamurlarının cinsleri arıtma tipine ve amacına göre de değişiklik göstermektedir. Bunlara örnek olarak; ön çökeltim çamurları, kimyasal çamurlar, biyolojik çamurlar ve ileri arıtma çamurlarını verebiliriz.

### **2.1.2. Arıtma çamuru arıtımı ve bertaraf yöntemleri**

Arıtılacak olan suyun karakteristik özelliklerine göre oluşan çamurlarında özellikleri farklılıklar göstermektedir. Bu özellikler göz önüne alındığında ve ham çamurların pis kokulu bir malzeme olması dolayısı ile farklı arıtım yöntemleri ile patojenlerinden arınmaları sağlanmaktadır. Bu arıtım sonucunda oluşan arıtma çamurları da farklı bertaraf yöntemleri kullanılarak tesislerden uzaklaştırılmaktadır.

Atıksu arıtma çamurları için kullanılan bazı bertaraf yöntemlerini yoğunlaştırma, stabilizasyon, şartlandırma, susuzlaştırma, yakma ve düzenli depolama olarak sıralayabiliriz. Yine bunlara ek olarak, çamurların tarımsal amaçlı kullanımı, gazlaştırma, kompostlama ve bazı ileri arıtma sistemleri de bertaraf yöntemi olarak kullanılmaktadır.

#### **a) Yoğunlaştırma**

Arıtma çamurları bünyelerinde oldukça yüksek miktarda su barındırırlar. Yoğunlaştırma bünyedeki bu suyu uzaklaştırarak çamur hacminde azalma sağlayan ve çamurdaki katı madde konsantrasyonunu arttıran bir işlemdir. Bu proses sonucunda katı madde konsantrasyonu 20-25 katına çıkarılabilir. Sonuç olarak ilk aşamada üretilen çamur hacimsel olarak azaltılmış olur. Yoğunlaştırma sonucunda azalan hacimsel yük, bu proses sonrasında çamura uygulanacak olan susuzlaştırma ve çürütme gibi işlemler içinde bir avantaj sağlamış olacaktır.

#### **b) Stabilizasyon**

Arıtma çamurlarının stabilizasyonu, oluşacak olan koku ve çürüme ile ilgili sorunları ve patojen mikroorganizmaların varlığını azaltmak için gerekli olan bir işlemdir (Cerne ve diğerleri, 2019). Çeşitli yöntemlere stabilizasyon işlemini gerçekleştirmek mümkündür. Bunun yanı sıra, arıtma çamurunun hızlı kireç stabilizasyonu, aerobik veya anaerobik çürümeye oranla daha iyi bir alternatif olarak kabul edilir (Czechowski ve Marcinkowski 2006). Ham çamurun stabilizasyon işlemi hem yatırım maliyetini hem de işletme masrafını arttırdığından genelde küçük ve orta ölçekli arıtma tesislerinde bu işlem çok tercih edilmemektedir (Angın, 2016).

### **c) Şartlandırma**

Geleneksel olarak, fazla çamur, susuzlaştırma özelliklerini iyileştirmek için şartlandırılır (Chen ve diğerleri, 2010). Çamur susuzlaştırmayı geliştirmek için farklı şartlandırıcılar kullanıldığında, çamurun özellikleri değişir ve bu da bir sonraki çamur bertaraf prosesi üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir (Liu ve diğerleri, 2012). Genel olarak en yaygın kullanılan şartlandırma türleri kimyasal şartlandırma ve termal şartlandırmadır.

### **d) Susuzlaştırma**

Tüm arıtma çamuru arıtma prosesleri arasında en önemlisi ve aynı zamanda en pahalısı susuzlaştırmadır (Wójcik ve Stachwicz, 2019). Susuzlaştırma, çamur yönetiminin ana süreçlerinden biri olup arıtma çamurundaki su miktarında küçük, hacminde ise önemli bir azalmaya neden olur (Kołęcka ve diğerleri, 2017). Çamur arıtımı için temel adım olan susuzlaştırma, çamur hacmini en aza indirebilir, nakliyeyi kolaylaştırabilir, enerji kullanımının verimliliğini artırabilir ve hatta çamur depolama alanlarında sızıntı suyu üretimini de azaltabilir (Mahmoud ve diğerleri, 2013; Wong ve diğerleri, 2016; Wu ve diğerleri, 2020).

### **e) Tarımsal amaçlı kullanım**

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010) kapsamında yer alan kriterlere uyan çamurlarının toprağa besin maddesi sağlaması ve bitki gelişimini desteklemesi için uygulanan bertaraf yöntemidir.

Diğer bir yandan Avrupa Birliği ülkelerine bakıldığında İngiltere oluşan çamurun %52'sini, İspanya %65'ini ve Fransa'da %70'ini tarımsal alanda gübre amaçlı kullanmaktadır (Dede, 2017).

### **2.1.3. Türkiye’de arıtma çamurlarının mevcut durumu ve değerlendirilme yöntemleri**

Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi (2015) baz alındığında ülkemizde 305 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Projenin yapılmış olduğu tarihte inşaat aşamasında bulunan tesisler projeye dahil edilmemiştir. Bakanlık proje kapsamında tüm tesislere anketler göndermiş ve belirlenen soruların cevaplarını istemiştir. Anket sonuçlarına göre bölgesel ve ulusal bazda hazırlanan raporlarda ülkemizde arıtma çamurlarının ne yapılacağı konusunda hala soru işaretleri olduğu görülmektedir. Diğer yandan kişi başı 60 gram katı madde/gün miktarı kabul edilerek, evsel/kentsel kaynaklı günlük 1600 ton arıtma çamuru üretildiği tahmin edilmektedir. Nüfus yoğunluğunun sürekli artmakta olduğu ülkemizde bu rakamlar ilerleyen süreçte daha da artarak ciddi boyutlara ulaşabilecek niteliktedir. Üretilen bu çamurun büyük bir kısmı en kolay ve en ucuz yoldan hala düzenli depolama sahalarında yığınlar halinde depolanmaktadır. Bu yığınların çevreye yaydığı koku ve depolama sahası kapasitelerinin dolmuş aşamasına gelmesi de otoriteler üzerinde bir toplum baskısı oluşturmaktadır. Tüm bu olumsuz göstergeler ele alındığında arıtma çamurlarından farklı şekillerde yararlanmak için çeşitli çalışmalar yürütülmelidir. Çizelge 2.1’de ülkemizde arıtma çamurlarının uzaklaştırma yöntemleri gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırma yöntemleri

<b>Nihai Uzaklaştırma Yöntemleri</b>	<b>Atıksu Arıtma Tesisi Sayısı (Adet)</b>	<b>Çamur Miktarı (ton KM/gün)</b>
Belediye katı atık depolama sahası (vahşi)	35	166
Belediye katı atık depolama sahası (düzenli)	34	287
Kontrolsüz depolama (tesis civarında biriktirme/tesis içinde lagünlerde biriktirme/maden ocakları, vb.)	56	316
Kompostlaştırma	2	1
Toprakta kullanım (park/bahçe, tarım, orman/mera)	20	67
Ek yakıt (çimento fabrikaları vb.)	9	145
Diğer	45	105
<b>Toplam</b>	<b>201</b>	<b>1087</b>

## **2.2. Hayvan Gübrelerinin Yönetimi**

Hayvan gübresi ağırlıklı olarak idrar ve dışkıdan oluşur, ancak aynı zamanda yatak malzemeleri, düşen yem, döküntü ve diğer tarım atıklarını da içerebilir (He ve diğerleri, 2016). Hayvan gübreleri azot, fosfor ve potasyum gibi temel besinleri içerdiği ve toprak sağlığına faydalı olduğu için bir gübre olarak kabul edilmektedir (Özlü ve diğerleri, 2019; Zhang ve diğerleri, 2020; Li ve diğerleri, 2021). Katkat ve diğerleri (2018) verilerine göre; ülkemiz hayvan (büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvanları) sayıları dikkate alındığında 87 milyon ton olgun gübre üretilebileceği tahmin edilmektedir. Değerli bir bileşen olarak hayvan gübrelerinin çevreye faydalı olabilmeleri için doğru şekilde yönetilmeleri ve fazla gübrenin uygun koşullarda bertaraf edilmesi büyük önem taşımaktadır.



Avrupa'da gübrenin yanlış yönetiminden kaynaklanan kirlilik maliyetinin yılda 12.300 milyon Euro'nun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Leip ve diğerleri, 2011; Bernal ve diğerleri, 2015; Dadrasnia ve diğerleri, 2021).

### 2.2.1. Hayvan gübrelerinin karakterizasyonu

Hayvan gübrelerinin karakterizasyonu yıl boyunca sabit bir çizgide olmayıp çeşitli doğal ve yapay etkenlere göre farklılık göstermektedir. Hayvanın cinsi, yaşı, beslenme koşulları gibi birçok faktör gübrelerin özelliklerine etki etmektedir. Genç hayvanlar yedikleri yemdeki besin maddelerini kendi büyümeleri için kullandıklarından dışkıları besin maddesi bakımından daha fakirdir. Fakat yaşlı hayvanların gübreleri, besin maddelerince gençlerin gübrelerine nispeten daha zengindir (Kızılgöz, 2012). Çizelge 2.2'de bazı hayvan gübrelerine ait kimyasal bileşim gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Hayvan gübrelerinin kimyasal bileşimi (Drozd ve diğerleri, 2020)

Gübre	Azot (kg/mg)	Fosfor (kg/mg)	Potasyum (kg/mg)	Kalsiyum (kg/mg)
Sığır	4,7	2,8	6,5	4,3
At	5,4	2,9	9,0	4,3
Tavuk	15	15	8	24
Domuz	5,1	4,4	6,8	4,4

Çizelge 2.2'de görüldüğü üzere tavuk gübresi azot açısından oldukça zengin bir gübre olmakla birlikte aynı zamanda önemli miktarlarda fosfor, potasyum ve kalsiyum içermektedir. Bu veriler göze alındığında tavuk gübresinin kontrolsüz bir biçimde yönetilmesi, vahşi şekilde depolanması, sonucu atmosfere metan, karbondioksit ve amonyak emisyonuna neden olabilmektedir.

Hayvan gübresi adı verilen materyal 2 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar dışkı ve idrardır. Hayvanların cinsine bağlı olarak bu oranlar her hayvanda değişik oranlarda olabilir. Çizelge 2.3'de farklı hayvan türlerine ait dışkı idrar oranları verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Farklı hayvan türlerine ait dışkı/ıdrar oranları (Brady, 1991; Kızılgöz, 2012)

Hayvan Cinsi	Dışkı/İdrar Oranı	Kuru Madde (%)
Süt Sığırı	80:20	15
Besi Sığırı	80:20	15
Kümes Hayvanı	100:0	38
Domuz	60:40	15
At	80:20	34

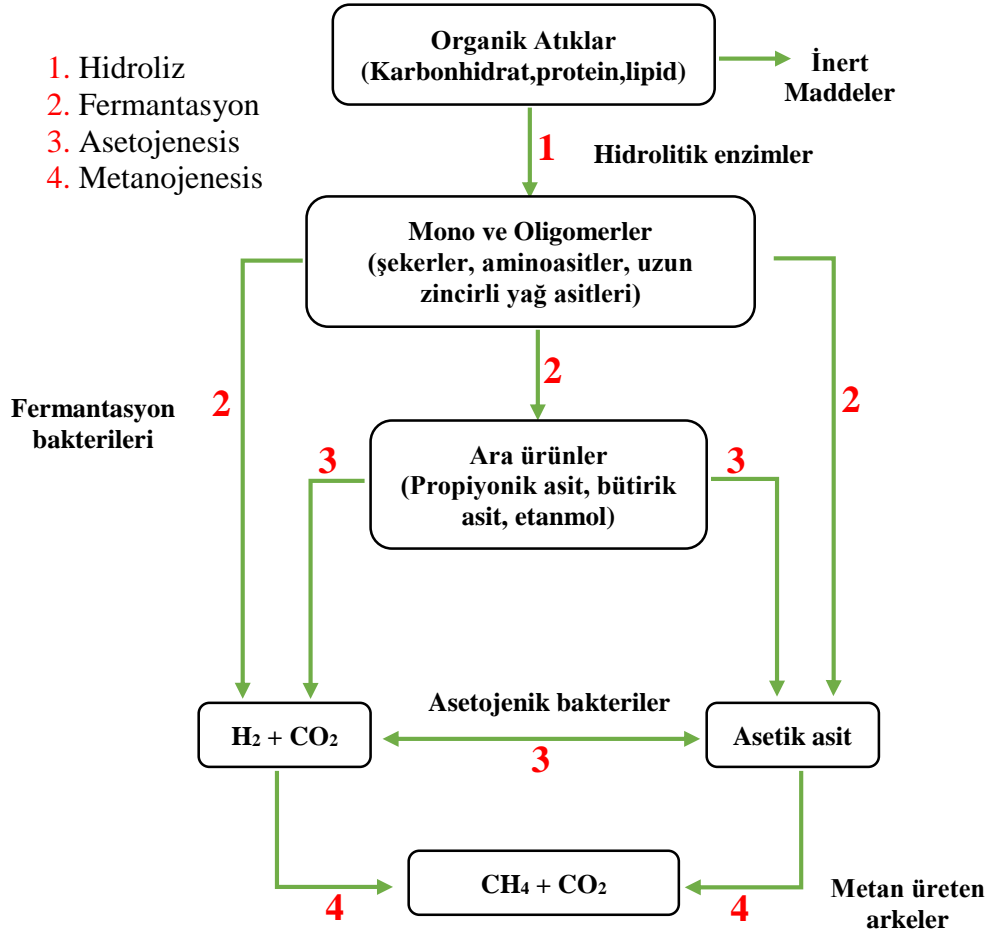
### 2.2.2. Hayvan gübrelerinin bertaraf yöntemleri

Hayvanların barındıkları ortam, yedikleri besinler, bakıcıları tarafından sıcaklık farkını ortadan kaldırmak için altlarına serilen samanlar dahil olmak üzere birçok faktör gübrelerinin karakterizasyonuna etki etmektedir. Bu değişen karakterizasyon özelliklerine göre gübrelerin hangi yollarla bertaraf edilebileceği konusu gündeme gelmektedir. Bu hususta gübreler için çeşitli bertaraf yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları; biyogaz üretimi, organik gübre yapımı, yakma, kurutarak depolama, kompostlama, gazlaştırma ve kurutarak hayvan yemi olarak kullanımınıdır.

#### a) Biyogaz üretimi

Artan nüfus, doğal enerji kaynaklarının her geçen gün daha hızlı tükenmesine neden olmaktadır. Bu durum otoritelerce yeni kaynak arayışını doğurmaktadır. Bu doğrultuda hayvan gübrelerinden biyogaz üretimine yönelim başlamıştır. Biyogaz anaerobik ortamda mikroorganizmalar vasıtası ile organik maddenin renksiz, yanıcı, yüksek oranlarda karbondioksit, metan ve düşük miktarlarda hidrojen sülfür ve azot benzeri maddeler içeren bir gazdır. Biyogazın yakıt eşdeğeri 0.60-0.65 L petrol/m<sup>3</sup> biyogazdır (Tınmaz-Köse, 2017). Hem organik atıkların kullanılıyor oluşu hemde enerji elde edilebiliyor olmak biyogaz üretiminin etkili bir bertaraf yöntemi olduğunu göstermektedir. Türkiye’de henüz kullanım alanı çok olmamakla beraber dünyada birçok biyogaz tesisi bulunmaktadır. Dünyadaki bu tesislerin %80’i Çin’de, %10’u Hindistan, Nepal ve Tayland’da bulunmaktadır (Öztürk, 2005). Avrupa’nın hayvan gübresi ile elde ettiği biyogaza ve tesis sayısına bakılacak olursa bu noktada Almanya 2.200 tesis ile en fazla üretim yapan ülke

konumundadır (Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı [BAKKA], 2019). Şekil 2.1’de biyogaz üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Biyogaz üretim aşamaları (Çallı, 2012)

## b) Organik gübre yapımı

Dünya genelindeki topraklarda çok uzun yıllardır tarım yapılmaktadır. Bu uygulamalar sırasında topraklar gözle görülür bir şekilde fakirleşmiştir. Teknolojik gelişmelerin hız kazanması ile birlikte yeni bitki türleri oluşmakta olup toprak verimliliğininde arttırılması gerekmektedir. Diğer bir yandan toprak erozyonu gerçekleşen bazı bölgelerde besin maddesi kayıpları da oluşmaktadır. Tüm bu göstergeler incelendiğinde besin maddesi açısından oldukça zengin malzemeler olan hayvan gübrelere belli aralıklarla toprağa uygulanabilmektedir. Ülkemizde kırsal kesimlerde çiftçiler besledikleri hayvanların gübrelere karıştırarak veya tek şekilde toprağa uygulamaktadır.

### **c) Kurutarak depolama**

Sıvı halde depolandıkları zaman sızıntı oluşturarak toprak ve yeraltı sularına karışma riskleri bulunan gübreler, belli alanlarda kurutularak daha sonra düzenli bir şekilde depolanabilmektedir. Diğer bir yandan sığır gübreleri toplandıktan sonra saman vb. malzemelerle karıştırılarak yuvarlak toplar haline getirilip kurumaya bırakılmaktadır. Kuruyarak oluşan bu yeni maddeye tezek adı verilmektedir. Tezekler daha sonra yakılarak ısınma amaçlı kullanılacak olan malzemelerdir.

### **d) Gazlaştırma**

Gazlaştırma, biyokütlenin termo-kimyasal bir yöntem ile sentez gazı elde edildiği bir yöntemdir. Gazlaştırma sürecinde biyokütlenin sahip olduğu enerjinin yaklaşık %85'i gaza dönüştürülebilmektedir (Deloitte, 2014). Oluşan sentetik gazın büyük bir çoğunluğu H<sub>2</sub> ve CO iken az bir miktarı da CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'den oluşmaktadır. Merkezi Hollanda'da bulunan bir şirket ürettikleri gazlaştırma sistemi ile hayvan gübrelerini yeni bir enerji kaynağına dönüştürerek çevresel bir soruna çözüm sunmaktadır. Bu işlem sonucunda ekonomik değere sahip bir toprak ıslah edici besin maddesi olan EcoChar oluşmaktadır. Böylelikle atık hacminde de %80'e varan bir azalma olacaktır.

### **e) Kurutarak hayvan yemi olarak kullanım**

Kanatlı gübreleri içeriklerinde barındırdıkları besin maddesi açısından oldukça zengin olan gübrelerdir. Bu özelliğinden dolayı bazı ülkelerde 50 yılı aşkın bir süredir tavuk gübreleri hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır (Akın ve Çelen, 2019). Yığınlar halinde toplanıp kurutulduktan ve ufalandıktan sonra çeşitli aşamalardan geçirilip içeriklerinde bulundukları patojenlerden arındırılırlar. Daha sonra diğer hayvan yemleri ile karıştırılarak zengin besin maddesi içeren yeni bir yem elde edilmiş olacaktır.

### **2.2.3. Türkiye’de hayvan gübrelerinin mevcut durumu ve değerlendirilme yöntemleri**

Türkiye İstatistik Kurumu (TİİK, 2021) yayımlanan verilerine göre 2020 yılında büyükbaş hayvan sayısı bir önceki yıla göre %1,6 artışla 18 milyon 158 bine ulaşmıştır. Bir inek günde ortalama canlı ağırlığının %8’i kadar (dışkı+idrar) gübre oluşturmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Ortalama 500 kg’lık bir ineği ele aldığımızda günlük 40 kg, yıllık ise 14.600 kg gübre oluştuğu görülmektedir. Ülkemizde oluşan büyükbaş hayvan gübrelerinin büyük bir kısmı vahşi şekilde depolanmaktadır. El sürülmeden doğaya terkedilip bırakılmaktadır. Geri kalan kk bir kısım ise tezек olarak kullanılmakta veya tarımda organik gübre olarak kendine yer bulmaktadır.

Kanatlı hayvanlardan canlı ağırlığının %3-4’ kadar günlük dışkı elde edilmektedir. Ortalama olarak bir kümes hayvanı 22 kg/yıl dışkı üretmektedir (Eleroğlu ve diğerleri, 2013). Tavuklar yediklerinin çoğunu sindirmeden dışkı olarak bırakırlar. Bu nedenle tavuk dışkıları yüksek kalitede bitki besinleri içerir. TİİK (2021) verilere göre 96.185 tavuk yetiştirilip kesilmiştir. Türkiye’de etlik ve yumurtalık olmak üzere iki tür tavuk yetiştiriciliği yapılmaktadır. Buna ek olarak köylerde kk kümeslerde bakılan tavuklarda bulunmaktadır. Ülkemiz tavukçuluğu halen yükseliş eğilimindedir ve önümüzdeki 10 yıl içinde üretim %30 artacağı tahmin edilmektedir (Camcı ve diğerleri, 2013). Bu büyümeyle birlikte oluşacak olan gübre miktarının da %20-30 oranında bir artış olabileceği tahmin edilmektedir. Ülkemizde oluşan tavuk gübreleri genel olarak ya doğaya bırakılmakta ya da organik tarımda kullanılmaktadır. Fakat organik tarımda kullanılmakta olan tavuk gübreleri ya toprağa doğrudan uygulanarak bitkilerin yanmasına sebep olmakta ya da çok fazla miktarda uygulanarak toprak yapısının bozulmasına neden olmaktadır.

Atların yıllık gübre üretimi 8-16 ton’dur (Yetgin, 2010). Taze bir şekilde toprağa uygulandığında içeriklerinde barındırdıkları tohumlar dolayısı ile toprakta yabancı otların birikmesine ve verimsizliğin artmasına neden olurlar. Bunun yanı sıra gerekli işlemlerden geğmiş at gübreleri uygun miktarlarda toprağa eklenirse ekinler için gerekli organik madde toprağa verilmiş olur. Türkiye’de at gübreleri salatalık, kabak ve patates benzeri bitkilerin yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Diğer bir yandan at gübreleri meyve

bahçelerinde ağaçların diplerine dökülerek toprağın sıcak tutulmasını sağlayıp kırağıdan etkilenmemeleri için kullanılmaktadır.

Ülkemiz domuz yetiştiriciliği konusunda diğer ülkelere nazaran alt sıralarda yer alan bir ülkedir. Türkiye’de 80 adet domuz çiftliği bulunmaktadır. Fakat kayıtlı olan çiftlikler dışında ülkemizde kaçak domuz çiftlikleri de bulunmaktadır. Yasal olan çiftlik sayısının az olmasının en önemli sebebi domuz eti ticaretinin ülkemizde çok yapılmıyor olmasıdır. Tüm faktörler göz önüne alındığında diğer hayvan gübrelerine nazaran domuz gübresinin ülkemizde büyük miktarlarda oluşmadığını söyleyebiliriz. Oluşan gübrenin çoğunun serbest bir şekilde doğaya bırakıldığını, az miktarda gübrenin de organik tarımda kullanıldığını dile getirebiliriz.

Türkiye’nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının ise 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Ülkemiz genelinde toplamda 106 adet biyogaz tesisi bulunmaktadır. Oluşan atıkların bir kısmının bu biyogaz tesislerinde işlem gördüğünü düşünürsek, geri kalan kısmın özellikle köy yerleşkelerinde tarlalarda gübre olarak kullanımı, yakılarak ısınma amaçlı kullanımı ve serbestçe doğaya bırakılması olduğunu söyleyebiliriz.

### **2.3. Organik Atıkların Bertaraf Yöntemleri**

Kentsel, tarımsal ve gıda sektörlerinin atık su arıtımı dahil olmak üzere hayvancılık atıkları, gıda atıkları ve biyo katılar şeklinde önemli miktarda organik atık üretilmektedir (Sampat ve diğerleri, 2019). Dünya çapında kentsel katı atık üretiminin yılda yaklaşık 7-10 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Kentsel katı atıkların organik fraksiyonu ise bir şehirde üretilen toplam kentsel katı atığın en önemli bileşenidir (Franca ve Bassin, 2020). Küresel organik atık, 2016'da 2 milyar ton iken 2050'de 3,4 milyar tona çıkacaktır (Karim ve diğerleri, 2019; Huang ve diğerleri, 2021). Organik katı atıkların geleneksel arıtma ve geri dönüşüm yöntemleri, düşük verimlilik, düşük doğruluk, yüksek maliyet ve potansiyel çevresel riskler gibi doğal kusurları içerir. Bu nedenle mümkün olduğu kadar çok organik atık, kaynaklar veya enerji şeklinde geri dönüştürülebilirse, bu sorunlar büyük ölçüde azalacaktır (Guo ve diğerleri, 2021).

### **2.3.1. Düzenli depolama**

Depolama sahası, biyolojik olarak parçalanabilir organik maddeyi parçalamak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin etkileşimli olarak gerçekleştiği ve böylece çöp sızıntı suyu ve çöp gazı oluşumuyla sonuçlanan karmaşık bir ekosistemdir (Pearse ve diğerleri, 2020). Otoritelerce belirlenmiş olan bu alanlarda atıklar yığınlar halinde depolanmakta ve gerektiğinde bu atıkların üzerleri örtülmektedir. Çeşitli atık işleme ve bertaraf yöntemleri arasında, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde düzenli depolama, çoğu ülkede önde gelen yöntemdir (Kaza ve diğerleri, 2018; Duan ve diğerleri, 2021). Bunun en önemli nedeni düzenli depolamanın maliyet açısından en uygun ve uygulanabilirlik açısından en kolay yöntem olmasıdır. Birçok ülkede tercih ediliyor olmasına rağmen aslında atık yönetimi hiyerarşisinde en son adımda yer almaktadır. Bu bertaraf yönteminde arıtma çamurları ve hayvan gübreleri gibi yüksek nem içeriğine sahip ve ayrıca çeşitli patojenler içeren atıklar depolama sahasının çevresinde bulunan toprak ve yeraltı suyu kaynaklarını kirletmemesi için olabildiğince suyunun alınıp sahaya gönderilmesi gerekmektedir.

### **2.3.2. Yakma**

Kentsel katı atıkların bertarafı için kullanılan teknolojilerden biri de yakmadır. Atıkların yakılması sonucu elektrik ve ısı kazanımının yanı sıra atık kütlelerini %70 ve hacmini %90 azaltabilmektedir (Cudjoe ve Acquah, 2021). Yakma işleminin temel amacı, oksijenin kalıntılarda bulunan yanıcı bileşenlerle -oksijen, karbon, kükürt- 800°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda reaksiyona girmesini sağlamak ve böylece kimyasal enerjisini ısıya dönüştürmektir (Silva ve diğerleri, 2020). Küresel olarak üretilen atığın yaklaşık %11'i yakılmaktadır. Bununla birlikte ekonomik nedenlerle geri dönüşümü mümkün olmayan atıkların yakılıp enerji üretilmesi de en verimli olanıdır (Joseph ve diğerleri, 2020).

### **2.3.3. Anaerobik ayrışma**

Anaerobik ayrışma, enerji ve besin geri kazanımı ile birlikte çok sayıda organik katı atığın stabilize edilmesi için uygun, yerleşik bir biyolojik işleme tekniğidir (Wainaina ve diğerleri, 2020). Bertaraf yöntemleri arasında anaerobik ayrışma, etkili, ekonomik ve

çevre dostu bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem arıtma çamurlarını stabilize ederek koku ve patojen giderilmesine yardımcı olmakla beraber kayda değer oranlarda metan gazı da üretmektedir (Nguyen ve diğerleri, 2021).

#### **2.3.4. Kompostlama**

Kompostlama, mikroorganizmaların faaliyetleri ile organik tehlikeli kirletici madde konsantrasyonlarının azaldığı ve kompost, su, karbondioksit ve ısı üretimiyle sonuçlanan, atıkların aerobik ayrıştırılması işlemidir (Chia ve diğerleri, 2020). Mevcut organik atık bertaraf yöntemleri arasında kompostlama, daha temiz bir üretim ve sürdürülebilirlik sağlamak için tarımsal, endüstriyel, kırsal ve kentsel kaynaklı organik katı atıkların bertarafı için çevre dostu bir teknolojidir (Yuvaraj ve diğerleri, 2021). Kompostlama sırasında, mikroorganizmalar organik atıkları toksik olmayan, besin açısından zengin, toprak verimliliğini artırmak için kullanılacak biyo-gübrelere dönüştürebilir, böylece ürün verimini ve kalitesini arttırabilirler (Xu ve diğerleri, 2021). Kompostlama için kullanılan ham maddeler süreç sonunda orijinal yapılarını kaybederek farklı özellikler edinirler. İşlem devam ederken eser miktarda çıkan kötü kokular sürecin sonuçlanması ile toprak kokusuna benzer bir kokuya dönüşürler. Bu durumda proses sonucu oluşan ürünün uzun süreli depolanması için bir avantajdır.

Atıkların kompostlanarak bertaraf edilmesi aslında doğadan alınanın tekrardan doğaya dönmesi işlemidir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde son yıllarda kompostlama teknolojileri giderek artmaktadır. Almanya, İngiltere ve Fransa'da evsel atıksu arıtma tesislerinden oluşan arıtma çamurlarının %50'den fazlası kompostlama ve stabilizasyon işlemlerinden sonra tarım arazilerinde kullanılmaktadır. Ayrıca Almanya bünyesinde bulunan 800 adet kompost tesisinde yılda 8 milyon ton organik atıktan 5 milyon ton kompost üretilmektedir (Öztürk, 2019). Küresel olarak uygulanırlığı artmasına rağmen kompostlama Türkiye'de hala çok gelişmiş bir teknoloji değildir. Küçük çaplı kompost tesisleri bulunmaktadır. Fakat bu tesisler de genel olarak kapasitelerinin çok altında atıkla kompost üretimi yapmaktadır. Bunun en önemli nedeni ise ülkemiz genelinde atıkların karışık olarak toplanıyor olmasıdır. Atıklarımızın %60'a varan kısmının organik kaynaklı olduğunu düşünürsek ülkemizde kompostlama ile ilgili daha çok çalışma yapılması gerekmektedir. Kompostlama prosesi ile ilgili detaylı bilgi 2.4 bölümünde verilmiştir.



## **2.4. Kompostlama Prosesi**

Kompostlama, organik atıkların belirli koşullar altında, oksijenli veya oksijensiz ortamda, mikroorganizmalar tarafından parçalanarak humus benzeri toprak iyileştirici bir malzemeye dönüştürülmesi prosesidir. Bu durumda proses boyunca faaliyet gösteren mikroorganizmaların bir kısmı oksijene ihtiyaç duyarken, bir kısmı da oksijensiz ortamda daha rahat davranabilirler. Diğer bir deyişle proses aerobik veya anaerobik olarak çalıştırılabilir.

### **a) Aerobik kompostlama**

Organik atıkların oksijen varlığında mikroorganizmalarca parçalanması ve stabil humus benzeri bir ürüne dönüştürülmesi prosesidir. Bu prosesin uygulanması sırasında kötü kokuların eser miktarda çıkması, fermantasyon süresinin kısa olması ve patojen mikroorganizmaların ölmesi gibi avantajlar bulunmaktadır. Fakat bununla beraber sürekli bir oksijen temini ve nem kontrolü gerekmesi de dezavantaj olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

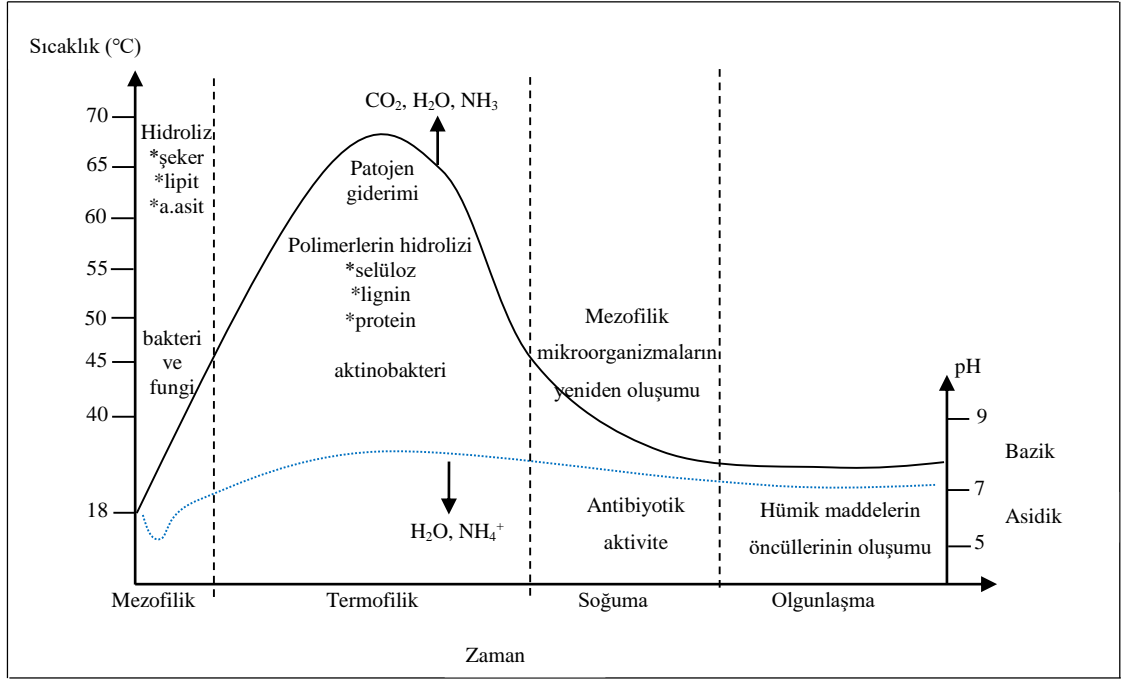
### **b) Anaerobik kompostlama**

Ortamda yeteri kadar oksijen bulunmadığı durumlarda proses anaerobik olarak çalıştırılmaktadır. Anaerobik yöntemle kompost üretimi yapılması durumunda ortama hoş olmayan kokular yayılmaktadır. Bunun yanı sıra proses çok uzun zamanda tamamlanmakta ve prosese dışarıdan ısı verilmesi gerekebilmektedir. Tüm bu etkiler göz önünde bulundurulduğunda proste sıcaklık 60°C'ye çıkamayacaktır ve patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu gerçekleşmeyecektir. Fakat diğer bir yandan evlerde küçük ölçekli olarak yapılmak istenen kompostlama için uygun bir yöntem olan anaerobik kompostlamada metan oluşumu gözlenmektedir. Bu süreçte metan yakalanabilir ise daha sonra yakıt olarak da kullanılabilir.

### **2.4.1. Kompostlama mekanizması**

Kompostlama, organik maddenin termofilik bir aşamadan geçtikten sonra stabilize edildiği, biyolojik bozunmanın gelişmesiyle beslendiği ve performansı doğrudan mikroorganizmaların aktivitesine bağlı olan dinamik, biyolojik ve aerobik bir süreçtir

(Siles-Castellano ve diğeri, 2020). Bu süreçte faaliyet gösteren mikroorganizmalar atıkların içerisinde doğal olarak kendiliğinden bulunurlar. Kompostlama sürecinin farklı aşamalarında farklı mikroorganizma topluluklarının faaliyet gösterdiği bilinmektedir. Süreç boyunca değişik sıcaklıklarda bakteriler, aktinomisetler, mantarlar, protozoalar ve nematodlar gibi mikrobik gruplar bulunmaktadır. Kompostlama, mezofilik mikroorganizmalar tarafından kolaylıkla parçalanabilen çözünebilir bileşiklerin ayrıştırılmasını içeren orta sıcaklıkta bir aşama ile başlar (Qiao ve diğeri, 2019). Mezofillerin metabolik aktiviteleri ve büyümesi, ısı salınımına ve hızlı sıcaklık artışına neden olur (Chen ve diğeri, 2020). Isı, genel olarak organik karbon bileşiklerinin aerobik metabolizmasında bulunan egzotermik olarak gerçekleşen reaksiyonlarda üretilen enerjinin fazlalığının bir sonucudur (Moreno ve diğeri, 2021). Eğer ısı çıkışı ısı kaybından daha hızlı şekilde meydana gelirse sıcaklık giderek artacak ve ısıya duyarlı mikrobik topluluklar ölerek yerini ısıya karşı dayanıklı bakteriler alacaktır (Erdin, 2006). Oluşan termofilik bakteriler de ortamda bulunan zor parçalanabilecek organikleri tüketmeye başlarlar. Bu süreçle birlikte sıcaklık artışı da 60°C ve üzerine çıkacaktır. Proses bünyesinde bulunan patojenler bu sıcaklık değişimine adapte olamayacak ve kısa süre içinde öleceklerdir. Son aşamada termofilik mikroorganizma topluluğu yeterli tüketim yaptığından veya proses içerisinde yeterli besin bulamadığından ölecek ve yerlerini yeni bir mezofilik topluluğa bırakacaklardır. Sonuç olarak, proses esas olarak işlenen malzemelerde ulaşılan sıcaklıkla karakterize edilen farklı aşamalardan geçer. Moreno ve diğeri (2021) göre bu aşamalar mezofilik, termofilik, soğuma ve olgunlaşma olarak adlandırılır. Kompost prosesi belli bir noktada durmaz. Kalan organik maddeler, ortamdaki mikroorganizmalar tarafından tüketilinceye ve tüm giderilebilir karbon karbondioksit döndürülünceye kadar parçalanma devam eder (Yıldız ve diğeri, 2009). Şekil 2.4'de sıcaklığa bağlı olarak kompost oluşumu sırasında gerçekleşen olaylar gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.** Kompost oluşumu sırasında gerçekleşen olaylar (Sanchez ve diğerleri, 2017)

### 2.4.2. Kompostlamaya etki eden faktörler

Kompostlama sürecinin verimliliği ve kalitesi, başlangıç materyallerinin özellikleri, sistemin çalışma koşulları ve olgunlaşma süresi dahil olmak üzere birçok etkiye bağlıdır (Soto-Paz ve diğerleri, 2019b; Nguyen ve diğerleri, 2020). Kompostlama süreci, sıcaklık, karbon/azot (C/N) oranı, havalandırma, parçacık boyutu, nem içeriği ve pH gibi fizikokimyasal parametrelerden etkilenir (Onwosi ve diğerleri, 2017).

#### a) C/N oranı

Karbon/azot oranı kompostlama prosesinde bulunan mikrobiyal topluluğun gelişimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Karbon mikroorganizmalar için enerji kaynağı olmakla birlikte hücre kütlelerinin %50'sini oluşturan temel yapı taşıdır. Azot ise, hücrelerin büyümesi ve çoğalması için gerekli olan protein, nükleik asit, aminoasit ve enzimlerin temel yapı taşıdır. Genel olarak, 20:1-30:1 arasındaki oranların, kompostlamadaki mikroorganizmalar için optimum ortam sağladığı düşünülmektedir (Wang ve diğerleri, 2019). C/N oranının düşük olması ortamda bulunan azotun amonyak gazına dönüşmesi ile hoş olmayan kokuların çıkmasına neden olacaktır. Diğer bir yandan C/N oranının yüksek olması ise, mikroorganizma topluluğunun yeterli azot

bulamamasından dolayı büyümemesi ve organik madde parçalanmasının yavaş bir şekilde gerçekleşmesine neden olacaktır. Yavaş gerçekleşen parçalanmada kompostun soğuk kalmasından sorumlu olacaktır.

### **b) Sıcaklık**

Kompostlama boyunca sıcaklık değişiklikleri, sürecin düzgün çalıştığını doğrulamak için yaygın olarak kullanılan önemli bir faktördür. Sıcaklık, kompostlama boyunca mikrobiyal popülasyonların yapısını ve dinamiklerini niteliksel ve niceliksel olarak belirler (Moreno ve diğerleri, 2021). Başka bir deyişle prosesdeki sıcaklık değişimlerinden mikrobik topluluklar sorumludur denebilir. Planlaması iyi yapılmış bir kompostlama prosesinde sıcaklığın 60-70°C'ye ulaşması 3-5 gün gerektirir. Ayrıca süreç boyunca sıcaklığın 65°C'yi aşmamasına dikkat edilir. Çünkü kompost içerisinde bulunan yararlı mikroorganizmaların yapılarının bozulması engellenmelidir ki süreç durma noktasına gelmesin. Eğer böyle bir durum ile karşılaşılır ise daha fazla karıştırma ve havalandırma ile sıcaklık tekrardan istenilen seviyelere çekilebilir. Bir kompost prosesinde sıcaklığın 60°C civarına yükselmiş olması demek sıcaklığa duyarlı patojenlerin de yok olması demektir.

### **c) Havalandırma**

Havalandırma kontrolü, gözenek O<sub>2</sub> konsantrasyonu ile doğrudan ilişkili olduğundan, kompostlama sırasındaki en etkili faktörlerden biridir. Ayrıca procese ihtiyacı kadar oksijen verilmesi sera gazı emisyonlarının azalmasını da sağlamaktadır (Zeng ve diğerleri, 2018). Uygun havalandırma, kompostlama için yeterli oksijen sağlar, reaktör sıcaklığını düzenler, su kaybını kontrol eder ve kokulu maddelerden kaynaklanan emisyonları azaltır (Zhang ve diğerleri, 2016; Ge ve diğerleri, 2020). Yetersiz havalandırma, oksijen eksikliğinden dolayı anaerobik koşullara neden olurken, aşırı havalandırma ise ısı, su ve amonyak kayıpları yoluyla kompostlama sürecini yavaşlatabilir (Guo ve diğerleri, 2012). Yavaşlayan süreçle birlikte kompost soğumaya başlar ve istenilen termofilik koşullar elde edilemeyebilir. Bu yüzden kompostlama prosesindeki oksijen seviyesinin %5-%15 arasında olması gerekmektedir (Ruggieri ve diğerleri, 2008).

#### **d) pH**

Kompostlama sırasında pH gelişimi, sıcaklıktaki değişimlerle yakından bağlantılıdır (Sundberg ve diğerleri, 2004). Sıcaklık değişimleri ile ortamda bulunan mikroorganizma popülasyonları değişmekte ve mikroorganizmaların organik maddeleri parçalarken salgıladıkları enzimler vasıtasıyla pH değerleri de değişmektedir. Kompost için ideal pH değerleri 5,5-8,5 arasındadır. Düşük pH değerleri mikrobiyal büyümeyi engeller ve bu da sonuç olarak bozunma veriminin azalmasına yol açar (Wang ve diğerleri, 2017). Başarılı ve tam gelişmiş kompostlama sırasında, pH genellikle 8-9'a yükselir (Sundberg ve diğerleri, 2004).

#### **e) Nem**

Bir kompostlama prosesindeki nem içeriği, biyolojik reaksiyonların gerçekleşmesini etkileyen önemli bir faktördür (Luangwilai ve diğerleri, 2018). Kompostlama sırasında mikroorganizmalar büyümek ve çoğalmak için belli oranda neme ihtiyaç duyarlar. Besinlerini suda çözülmüş şekilde tükettiklerinden dolayı nem içeriği %40'ın altına düşerse mikroorganizmaların aktiviteleri durma noktasına gelir. Bu durum sürecin yavaşlamasına ve uzamasına neden olacağından istenmeyen bir durumdur. Bununla birlikte, Luangwilia ve diğerleri (2018)'e göre çok fazla nem olduğunda, kompost sıcaklığı düşük kalır ve bu, biyolojik reaksiyon için ideal değildir. Ayrıca uygun olmayan nem içeriği sızıntıya, besin kaybına ve ikincil bir kirliliğe de neden olabilmektedir (Li ve diğerleri, 2021).

#### **f) Parçacık boyutu**

Mikroorganizmaların organik fraksiyonları en iyi şekilde bünyelerine alabilmesi için partikül yüzey alanının büyüklüğü önemli bir parametredir. Parçacık boyutu çok küçük ise, oksijen ve karbondioksit transferi engellenir, süreç anaerobik hale gelir ve mikrobiyal aktivite azalır. Diğer bir yandan, parçacık boyutu çok büyükse, kompostlama işlemi sırasında su tutma kapasitesi düşebilir (Zhang ve Sun, 2014). Yüzey alanını büyütme amacı ile alınan büyük çaplı partiküller öğütme işlemine tabi tutulabilir. İyi bir kompostlama için partikül boyutlarının 8mm'den küçük olması tavsiye edilmemektedir.

### **g) Mikroorganizmalar**

Mikrobiyal topluluk bileşimi ve yapısı, mikroekolojik işlemi doğrudan etkiler ve kompostlama kalitesini belirler (Pan ve diğerleri, 2021). Mikrobiyal aktiviteyi etkileyen en önemli iki faktör ise sıcaklık ve nem olarak bilinmektedir (Wang ve diğerleri, 2021). Proses sürecince fungi, aktinomiset ve bazı bakteri türlerine rastlanmaktadır. Atık karakteristiğine bağlı olarak alg ve protozoalara rastlamak da mümkündür.

### **e) Zararlı maddeler**

Katı atıklar heterojen yapıları atıklar olmaları dolayısıyla bünyelerinde cıva, bakır ve kurşun benzeri birçok türde ağır metaller bulunmaktadır. Kompostlama prosesinde bulunan mikroorganizmaların ağır metallere karşı tolerans aralığı düşük olmasından dolayı karışımda ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları istenmemektedir. Ağır metaller kompostlama sırasında her zaman mikrobiyal organizmalar üzerinde çevresel bir baskı oluşturarak bir stres faktörüne neden olacaktır (Chen ve diğerleri., 2020). Eğer karışım içerisinde yüksek konsantrasyonlarda ağır metal bulunuyor ise hassas olan mikroorganizma türleri ideal bir ortam bulamayacaklarından dolayı proseste sıcaklık yükselmesi meydana gelemeyecektir. Sıcaklıklar yükselmediğinden dolayı da proseste istenilen hijyenizasyon sağlanamayacaktır.

### **2.4.3. Kompostlamada kullanılacak organik atıklar**

Kompostlama prosesinde kullanılan atıkların hepsi organik içeriklere sahip olup mikroorganizmalara yaşamsal alan sağlayacak niteliktedir. Nem içeriği %85-90'dan az olan biyolojik olarak parçalanabilen organik fraksiyondan oluşan katı organik atıkların çoğu kompostlama işlemine tabii tutulabilir. Bu atıklara örnek olarak arıtma çamurları, gıda atıkları, mutfak atıkları, bahçe atıkları, tarımsal atıklar ve hayvan atıkları verilebilir (Mata-Alvarez ve diğerleri, 2000; Chen ve diğerleri, 2020). Bugüne kadar birçok araştırmacı farklı türden hayvan gübreleri ile kompostlama işlemi gerçekleştirmiştir. Bunlara örnek olarak ise sığır, tavuk, koyun, domuz, at ve benzeri gübreler sayılabilir. Bunların dışında Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) kompostlanabilir olan atıklara örnek olarak;

- Meyve ve sebzeler
- Yumurta kabukları
- Kahve telvesi ve filtreleri
- ay poşetleri
- Fındık kabukları
- im kırpıntıları
- Saman
- Ev bitkileri
- Pamuklu yün bezler
- Talaş
- Yaprak
- şömine külü ve benzeri materyalleri vermiştir.

#### **2.4.4. Kompostlamanın faydaları**

Küresel olarak üretilen atığın yaklaşık %50'sinden fazlası organik atıklardan oluşmaktadır. Oluşan bu atığın tamamına yakın kısmı geçmişten beri düzenli depolama yöntemi ile bertaraf edilmektedir. Fakat düzenli depolama, atık arıtımı için çevresel olarak sürdürülemez bir yöntemdir. Bu yüzden kompostlama organik atıkları arıtmak ve değerlendirmek için değerli bir yöntemdir (Walling ve diğerleri, 2020). Ayrıca kompostlama ile üretilen atığın depolama sahalarında yığınlar halinde kaderine terk edilmesi, kötü kokuların çevreye yayılması ve yığın sızıntı sularının yeraltı sularına karışması gibi riskler minimize edilmiş olur. Organik atıklar biriktirilmemiş ve doğal süreçler sayesinde değerli bir kaynağa dönüşüm sağlanmış olur. Kompostlamanın ekonomik faydaları, kompost kullanımıyla toprak özelliklerinin iyileştirilmesi, kimyasal gübre kullanımının azaltılması ve çevre kirliliğinin en aza indirilmesi gibi birçok faydası bulunmaktadır (Vaverkova ve diğerleri, 2020). Kompostlama sonucu elde edilen ürün gerekli kalite parametreleri incelendikten sonra toprak gelişimi ve iyileştirilmesi için kullanılabilir. Böylelikle toprağın su tutma kapasitesi artmakta, toprak nefes almakta ve topraktaki mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetleri bir düzene girmektedir. Ayrıca, kompost toprağa uygulandığı zaman bitkilere ihtiyacı olan besinleri tam

zamanında vererek bitki gelişimini en iyi şekilde destekler ve böylelikle büyüme hızlanırken bitkilerde güçlenmiş olur. Sonuç olarak eğer kompostlama süreci doğru bir şekilde yönetilirse ve kompost stabil ve olgun ise, kompost kimyasal gübrelerin yerini alabilecek makro ve mikro besinlerin bir kaynağıdır (Sayara ve diğerleri, 2020).

#### **2.4.5. Arıtma çamurları ve hayvan gübrelerinin birlikte kompostlanması ile ilgili yapılmış bilimsel çalışmalar**

Rehman ve Qayyum (2020) yapmış olduğu çalışmada arıtma çamuru (AÇ), çiftlik gübresi (ÇG) ve kaya fosfatı (KF) kullanarak 6 farklı karışım reçetesi oluşturularak bu materyallerin ayrı ayrı ve birlikte kompostlabirliğini araştırmışlardır. Kompostlama işlemi olgunlaşma sağlanana kadar yaklaşık üç ay boyunca devam etmiştir. Çalışmanın asıl amacı, AÇ, ÇG ve KF'nin birlikte kompostlanması ile AÇ'de bulunan toprak için yararlı fosforu geri dönüştürmektir. Bu doğrultuda, birinci yığında %50 AÇ, %50 ÇG; ikinci yığında %75 AÇ, %25 ÇG; üçüncü yığında %25'er AÇ, ÇG ve %50 KF; dördüncü yığında %50 AÇ, %25'er ÇG, KF ; beşinci yığında %75 AÇ, %25 KF ve son yığında ise %50 AÇ, %50 KF oranlarına sahip olan materyallerle kompost karışımı hazırlanmıştır. Süreç sonunda olgunlaşmış olan bu kompost karışımlarını pirinç ve buğday ekimi yapılmış bir alanda toprağa uygulamışlardır. İlerleyen süreçte topraktan numuneler olarak çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyler sonucunda %25 AÇ, %25 ÇG ve %50 KF ile oluşturulmuş olan kompost karışımının pirinç-buğday ekimi için çevre dostu bir gübre olduğu sonucuna varılmıştır.

Şevik ve diğerleri (2018)'nin yapmış olduğu çalışmada arıtma çamuru (AÇ), mandıra gübresi (MG) ve domates sapları (DS) kullanılarak çalışma başında belirlenmiş olan C/N oranı ve FAS değerlerine göre 8 ayrı karışım hazırlanmıştır. Süreç 32 boyunca devam etmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü karışımda C/N oranları 15, dördüncü, beşinci ve altıncı karışımda 20, yedinci karışımda 12 ve sekizinci karışımda 23 olarak belirlenmiştir. FAS değerleri ise birinci ve dördüncü karışımda %27, ikinci, beşinci, yedinci ve sekizinci karışımda %32, üçüncü ve altıncı karışımda ise %37 olarak belirlenmiştir. C/N oranı 20 ve %37 FAS değerine sahip altıncı karışım (%6 AÇ, %54 MG, %40 DS) 66,9°C'ye ulaşırken, C/N oranı 15 FAS değeri %27 olarak belirlenen birinci karışım (%43 AÇ, %37 MG, %21 DS) 42,2°C'ye ulaşmıştır. Karışımların FAS oranlarındaki artışa bağlı olarak



organik madde içeriğindeki kayıp artmıştır. En yüksek sıcaklığa ulaşan altıncı karışımda en yüksek organik madde kaybı (%57,9) gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda en iyi karışımda bu veriler ışında altıncı karışım olarak tespit edilmiştir.

Fu ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada arıtma çamurunda bulunan ftalik asit esterlerinin (FAE) biyolojik bozunmasını karşılaştırmalı olarak incelemek için arıtma çamuru (AÇ), domuz gübresi (DG) ve pirinç samanı (PS) ile birlikte 4 ayrı karışım hazırlanmıştır. Birinci ve ikinci karışımda AÇ ve DG, üçüncü ve dördüncü karışımlarda ise AÇ ve PS kullanılmıştır. Birinci ve üçüncü karışımlara aralıklı havalandırma yapılırken diğer karışımlara sürekli havalandırma uygulanmıştır. Toplam kompostlama süresi 60 gün olarak belirlenmiştir. Kompostlamanın ilk 8 gününde FAE değerleri çok yavaş bir şekilde düşmesine rağmen 8.günden sonra DG ilavesi oluşturulan karışımlarda diğerlerine oranla daha hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir. Ayrıca tüm karışımlar 8. gün sonunda maksimum sıcaklıklarına (62°C) ulaşmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre de arıtma çamurundaki FAE'lerin DG'nin yardımı ile kompostlanarak biyolojik bozunmasının daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Awasthi ve diğerleri (2016) yapmış olduğu çalışmada %10'luk zeolit kullanan belediye katı atıklarının, kümes hayvanı atıkları ve jelatin sanayi çamuruyla birlikte kompostlanması araştırılmıştır. Çalışmada 5 ayrı karışım hazırlanmıştır. Her karışımda kuru ağırlık bazında aynı oranlarda belediye katı atığı ve kümes hayvanı atığı kullanılırken jelatin sanayi çamuru oranları değiştirilmiştir. Kompostlama işlemi 42 gün boyunca devam etmiştir. Karışımlar arasında en fazla çamurun kullanıldığı dördüncü yığımda kompostlama sürecinin etkin ve hızlı bir şekilde ilerlemiş olduğunu belirtmişlerdir. Diğer bir yandan çamur ilavesi yapılmayan birinci yığımda yavaş bir ayrışma ve stabilizasyon gözlemlenmiştir.

Arias ve diğerleri (2017) yapmış olduğu çalışmada, kompost prosesinde yeşil orman atıkları, sunta fabrikası çamuru, domuz gübresi ve organik gıda atıklarını kullanmışlardır. Kompost karışımlarında yeşil orman atıkları; kestane yaprakları, yeraltı bitki örtüsü ve eğrelti otu kullanılmıştır. Kompostlama denemeleri için 4 adet deney düzeneği hazırlanmıştır.

- M<sub>1</sub>; 1:2,4 oranında sırasıyla organik gıda atığı ve yeşil orman atıkları
- M<sub>2</sub>; 1:1,3 oranında sırasıyla yeşil orman atığı ve çamur
- M<sub>3</sub>; 1:2,4 oranında sırasıyla yeşil orman atığı ve çamur
- M<sub>4</sub>; 0:1 oranında sırasıyla yeşil orman atığı ve çamur

Karışımlar hazırlandıktan sonra C/N oranları ve nem içeriklerini ayarlamak için her bir karışıma belli miktarlarda (sırasıyla 6, 32, 36, 29 litre) sıvı domuz gübresi ilave edilmiştir. Çalışma deney düzeneklerinin yağmurlu havalardan etkilenmemesi için deneyler 48 gün boyunca kapalı bir kulübede gerçekleştirilmiştir. Süreç sonunda sıvı domuz gübresi ilavesinin diğer reaktörlere oranla daha fazla olduğu M<sub>2</sub> ve M<sub>3</sub> karışımlarında organik madde parçalanmasının hızlı olduğunu ve organik madde kayıplarının diğer reaktörlere oranla daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Kompostlamada kullanılan ham materyaller**

Bu çalışmada kompostlamada kullanılan atıklar; gıda endüstrisi kaynaklı arıtma çamuru (AÇ), sığır gübresi (SG), domuz gübresi (DG), at gübresi (AG), tavuk gübresi (TG) ve ayçiçeği sapıdır. Çalışma 3 farklı iş paketi şeklinde yürütülmüş olup iş paketleri aşağıdaki gibidir;

- 1. İş Paketi: R1, R2, R3 reaktörleri
- 2. İş Paketi: K1, K2, K3, K4, K5, K6 reaktörleri
- 3. İş Paketi: K7, K8 reaktörleri

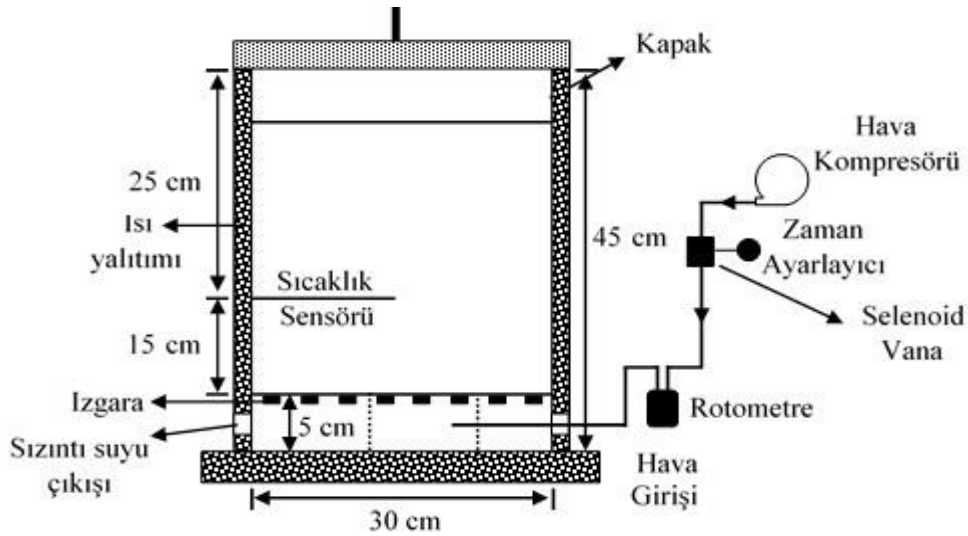
Tüm iş paketlerinde kullanılan arıtma çamuru numuneleri Bursa'da bulunan bir gıda endüstrisinden temin edilmiştir. Firmada, mevsimlere göre değişiklik göstermesi ile birlikte 40 çeşit ürünle turşu, dondurulmuş gıda, konserve, reçel ve salça üretimi yapılmaktadır. Tesisin atık su kapasitesi 5500 m<sup>3</sup>/gün olup aylık ortalama 15 ton ham arıtma çamuru oluşmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan arıtma çamuru numuneleri arıtım işlemi sonundaki beltpres çıkışından alınmıştır. Firmaya ait arıtma tesisi şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Sığır gübresi, domuz gübresi, at gübresi ve tavuk gübresi Bursa Uludağ Üniversitesi Veterinerlik Fakültesine ait uygulama çiftliklerinden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan ayçiçeği sapları ise Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Mühendisliği Fakültesi'ne ait tarlalardan hasat sonrası tarlada kalan saplar toplanarak elde edilmiştir. Toplanan ayçiçeği sapları kompostlama prosesinde kullanılmak için Ziraat Fakültesi'ne ait uygulama çiftliğinde bulunan öğütücüler vasıtası ile 0.5-1 cm boyutlarında öğütülmüştür.

### 3.1.2. Aerobik kompost reaktörleri

Kompostlama denemeleri, iç çapı 30 cm, yüksekliği 45 cm ve faydalı hacmi 30 L olan paslanmaz çelikten imal edilmiş aerobik kesikli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Reaktörlere ait şematik gösterim Şekil 3.2'de verilmiştir. Reaktörlere verilen hava 8 çıkışlı 1 adet akvaryum pompa aracılığı ile rotometreden geçirilip debisi ayarlanarak verilmiştir. Havalandırma, zaman ayarlayıcıya bağlı selenoid vana kullanılarak saatte 15 dakika yaklaşık 600-700 ml/dk hava verecek şekilde yapılmıştır. Reaktör tabanından 5 cm yüksekliğe, havanın karışım içine homojen olarak dağılımını sağlamak için, ızgara yerleştirilmiştir. Reaktörlerdeki sıcaklık verileri, reaktörde bulunan sıcaklık problemleri vasıtası ile ölçülmüş ve laboratuvar bünyesinde bulunan bilgisayarda kayıt altına alınmıştır. Karışımların sıcaklığının korunması ve çevre ile ısı alışverişinin önlenmesi için reaktörlerin dış yüzeyleri yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır.



Şekil 3.2. Aerobik kompostlama reaktörü

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması

Gıda endüstri kaynaklı evsel nitelikli arıtma çamurlarının, farklı türden hayvan gübreleri (SG, DG, AG, TG) ve düzenleyici katkı maddesi olarak ayçiçeği sapı ilavesi ile kompostlanabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada 3 farklı iş paketi halinde 11 adet farklı karışım hazırlanmıştır. Çizelge 3.2’de tüm reaktörlerin karışım reçeteleri verilmiştir. Karışımlar aerobik kompost reaktörleri içerisinde 21 gün boyunca aktif kompost fazında kalmıştır. Reaktörlerden 0., 2., 7., 14., ve 21. günlerde örnekler alınmıştır. Reaktörlere yüklenen karışımların homojenliğinin sağlanması ve havalanması amacı ile reaktörler örnek alma günlerinde ve günün ortası manuel olarak karıştırılmıştır. Kompostlama prosesinde dakikada bir veri olacak şekilde sıcaklık ve hava değerleri SCADA programı ile 21 gün boyunca kaydedilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Kompost reaktörleri için karışım reçeteleri

Reaktörler	AÇ (%)	SG (%)	DG (%)	AG (%)	TG (%)	AS (%)
<b>R1</b>	70	-	-	-	-	30
<b>R2</b>	-	70	-	-	-	30
<b>R3</b>	35	35	-	-	-	30
<b>K1</b>	80	-	-	-	-	20
<b>K2</b>	-	80	-	-	-	20
<b>K3</b>	40	40	-	-	-	20
<b>K4</b>	40	-	40	-	-	20
<b>K5</b>	40	-	-	40	-	20
<b>K6</b>	40	-	-	-	40	20
<b>K7</b>	-	-	-	80	-	20
<b>K8</b>	-	-	-	-	80	20

### 3.2.2. Ham malzemeler ve kompost numunelerinde yapılan analizler

Karışımlardan 0, 2, 7, 14 ve 21. günlerde örnekler alınmış ve örneklerin kurutma işlemleri sonucunda deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Proses boyunca sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde (OM), nem, C/N oranı, toplam kjeldahl azotu (TKN) ve toplam fosfor (TP) parametrelerinin değişimi izlenmiştir. Kompost karışımlarından alınan örneklerdeki katı madde (KM) miktarı 105°C’de kurutulan örneklerdeki ağırlık kaybı, uçucu madde miktarı da 550°C’de yanma kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır

(APHA, AWWA, WEF, 1998). KM miktarı 100'den çıkartılarak nem miktarı hesaplanmıştır. Uçucu madde miktarı OM olarak kabul edilmiştir (Okalebo ve diğerleri, 1993; Diaz ve diğerleri, 2007; Khalil ve diğerleri, 2011). Kompostlamada kullanılan ham malzemelerin ve kompost karışımlarının kolay okside olabilir organik karbon konsantrasyonları, örneklerin OM içerikleri baz alınarak 1,83 faktörü kullanılarak ( $\%C = (100 - \%k\ddot{u}l) / 1,83$ ) hesaplanmıştır (Barrington ve diğerleri, 2002; Adhikari ve diğerleri, 2009). Kompost karışımdan alınan örneklerin pH ve EC değerleri 1:10 saf su ekstraktında belirlenmiştir (Rhoades, 1982; Mc Lean, 1982). Toplam kjeldahl azotu içeriğinin belirlenmesi için Kjeldahl yöntemiyle yakma yapılmış ve TKN su buharı destilasyonu ile belirlenmiştir (Bremner ve Mulvaney, 1982). Toplam fosfor konsantrasyonları askorbik asit yöntemi ile tayin edilmiştir (Olsen ve diğerleri, 1954).

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Ham Materyallerin ve Kompost Karışımlarının Karakterizasyonu

Reaktörlerin içerisine yerleştirilmiş olan AÇ, SG, DG, AG, TG, AS ve başlangıç kompost karışımlarının karakterizasyonu iş paketleri halinde Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Birinci iş paketinde kullanılan arıtma çamuru ve sığır gübresinin nem içerikleri, sırasıyla %83,6 ve %61,4, kompostlama prosesinde tek başlarına kullanım için uygun olmayacak yüksek değerlere sahiptir. Bu nedenle nem içeriğini ayarlamak için %10,3 nem değerine sahip düzenleyici katkı maddesi olarak karışımlara ayçiçeği sapı ilavesi yapılmıştır. Ayçiçeği sapı ilavesinin ardından arıtma çamurunun kullanıldığı R1 reaktöründe nem içeriği %61,5 , sığır gübresinin kullanıldığı R2 reaktöründe %46,1 ve her iki materyalin kullanıldığı R3 reaktöründe %53,9 seviyelerine düşmüştür. Ayrıca karışımlara ayçiçeği sapı ilavesi yapılması ile birlikte düşük seviyelerde olan organik madde miktarları (AÇ: %62,2, SG: %70) ve C/N oranları da (AÇ: 8,65, SG: 19,0) kompostlama prosesi için literatürde belirlenen uygun seviyelere getirilmiştir. Zhang ve diğerleri (2019), yapmış oldukları çalışmada benzer olarak düzenleyici katkı maddelerinin ana ham materyallerin nem içeriğini ve C/N oranını kompostlama için uygun bir aralığa çektiğini dile getirmişlerdir.

Birinci iş paketinde çalışmaya ilk başlama aşamasında düzenleyici katkı maddesi olarak kullanılan AS oranı %30 olarak belirlenmiştir. Kompostlama çalışmaları gerçekleştirildikten sonra elde edilen veriler ışığında AS oranında düzenleme yapılma gereği belirlenmiş ve bir sonraki iş paketleri %20 oranında AS ilavesi ile hazırlanmıştır.



**Çizelge 4.1.** Birinci iş paketine ait ham materyallerin ve kompost karışımlarının karakterizasyonu

Parametre	Aritma	Sığır	Ayçiçeği	R1	R2	R3
	Çamuru (AÇ)	Gübreşi (SG)	Sapı (AS)			
pH	6,4	8,74	6,7	7,1	7,66	7,62
EC, mS/cm	2,63	6,66	2,83	4,73	6,18	6,1
Nem, %	83,6	61,4	10,3	61,5	46,1	53,9
OM, %	62,2	70,0	91,6	82,8	80,8	81,6
TKN, %	3,93	2,01	0,50	1,53	1,26	1,37
TP, %	2,01	1,18	0,3	1,87	1,98	1,89
C/N Oranı	8,65	19,0	100	29,6	35,0	32,5

İkinci iş paketinde kullanılan arıtma çamuru ve sığır gübresinin nem içerikleri birinci iş paketinde kullanılan materyallere göre daha yüksek seviyelerdedir. Bunun en önemli sebepleri arasında arıtma çamurunun alındığı işletmenin mevsimsel olarak farklı ürünleri işlemesi ve sığırların mevsimsel olarak yedikleri besinlerin değişmesi bulunmaktadır. Diğer bir yandan yine aynı sebeplerden dolayı ikinci iş paketinde arıtma çamuru ve sığır gübresinin C/N oranları ilk iş paketine oranla daha yüksek seviyelerdedir.

**Çizelge 4.2.** İkinci iş paketine ait ham materyallerin ve kompost karışımlarının karakterizasyonu

Parametre	Aritma	Sığır	Domuz	At	Tavuk	Ayçiçeği
	Çamuru (AÇ)	Gübreşi (SG)	Gübreşi (DG)	Gübreşi (AG)	Gübreşi (TG)	Sapı (AS)
pH	6,6	8,18	7,51	7,21	7,47	6,7
EC, mS/cm	4,36	3,56	2,3	2,87	9,07	2,83
Nem, %	85,2	81,6	78,7	71,2	77,0	10,3
OM, %	56,1	82,2	83,4	86,0	67,6	91,6
TKN, %	2,24	2,01	1,14	1,51	2,3	0,50
TP, %	1,75	1,18	1,27	1,05	1,54	0,3
C/N Oranı	13,7	22,3	40,0	31,1	18,3	100

**Çizelge 4.2.** İkinci iş paketine ait ham materyallerin ve kompost karışımlarının karakterizasyonu (devam)

Parametre	K1	K2	K3	K4	K5	K6
<b>pH</b>	7,29	7,92	7,62	7,01	6,72	6,85
<b>EC, mS/cm</b>	4,58	6,35	5,83	4,29	4,16	5,88
<b>Nem, %</b>	70,2	68,0	68,9	66,7	61,1	67,0
<b>OM, %</b>	76,6	84,3	82,1	83	83,8	78,5
<b>TKN, %</b>	2,29	1,18	1,51	1,35	1,21	1,41
<b>TP, %</b>	1,27	1,14	1,24	1,38	1,04	1,31
<b>C/N Oranı</b>	18,3	39,0	29,7	33,6	37,8	30,4

İkinci iş paketinde kullanılan ve düzenleyici katkı maddesi olarak karışımlara ilave edilen ayçiçeği sapı %91,6 organik madde içeriğine sahipken, arıtma çamuru ve hayvan gübrelere bu değer %56 ile %86 arasında değişmektedir. Ayçiçeği sapı ilavesinden sonra tüm reaktörlerde organik madde içerikleri %75 üzerinde seyretmektedir. Benzer şekilde C/N oranları da arıtma çamuru (13,7) ve hayvan gübrelere (SG:22,3-DG:40,0 AG:31,1-TG:18,3) düşük seviyelerde iken ayçiçeği sapında 100'dür. Bu nedenlerle ayçiçeği sapı bu iş paketinde de kompostlama için uygun koşullar oluşturulmak üzere karışımlara ilave edilmiştir.

Üçüncü iş paketinde kullanılan at gübresi ve tavuk gübresinin de nem içerikleri diğer iş paketlerinde kullanılan ham materyallerde olduğu gibi yüksek seviyelerdedir. Nem değerlerinin kompostlama prosesi için literatürde belirlenen değerlere indirilmesi için ayçiçeği sapı ilavesi yapılmış olup sonuçta başarıya ulaşılmıştır. Diğer bir yandan ayçiçeği sapı ilavesi ile ham maddelerin düşük organik madde ve C/N oranlarının, yükselmesi de sağlanmıştır.

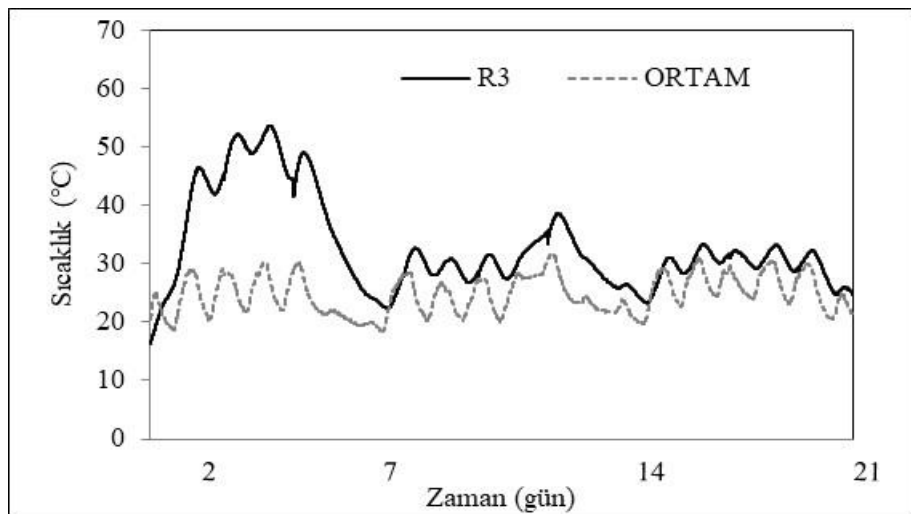
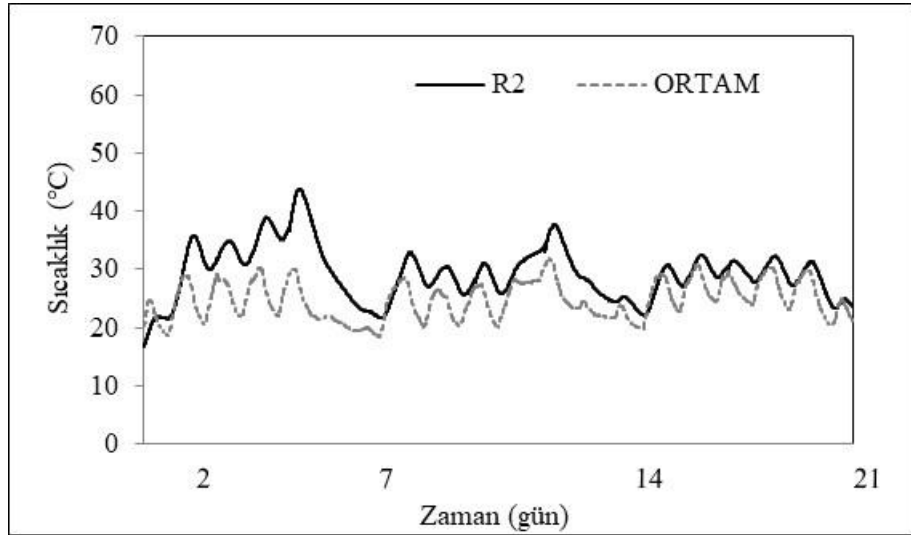
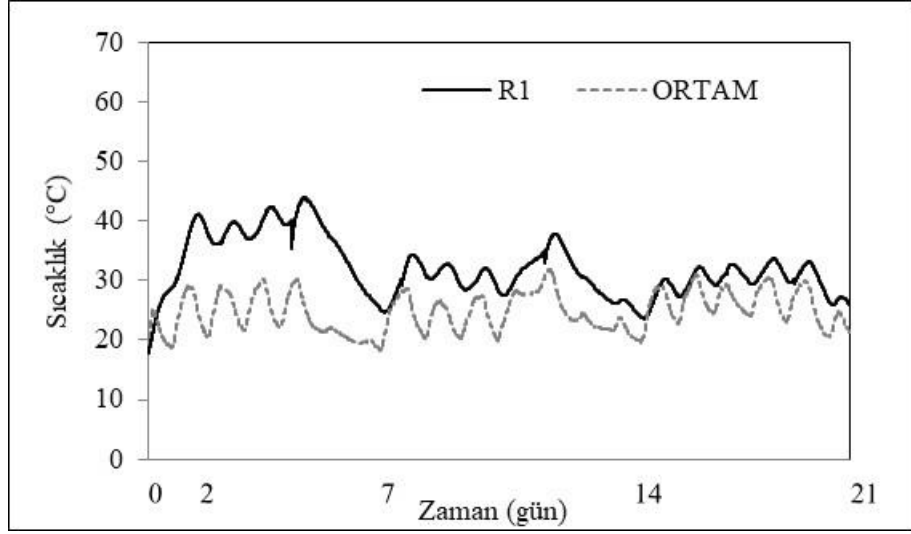
**Çizelge 4.3.** Üçüncü iş paketine ait ham materyallerin ve kompost karışımlarının karakterizasyonu

Parametre	At	Tavuk	Ayçiçeği	K7	K8
	Gübbresi (AG)	Gübbresi (TG)	Sapı (AS)		
pH	7,56	9,16	6,7	7,79	7,72
EC, mS/cm	2,27	7,55	2,83	3,69	7,35
Nem, %	76,3	76,5	10,3	61,9	61,7
OM, %	91,0	77,9	91,6	92,2	84,1
TKN, %	1,75	2,15	0,50	1,14	1,34
TP, %	1,05	1,54	0,3	0,84	1,21
C/N Oranı	28,4	19,8	100	44,2	34,3

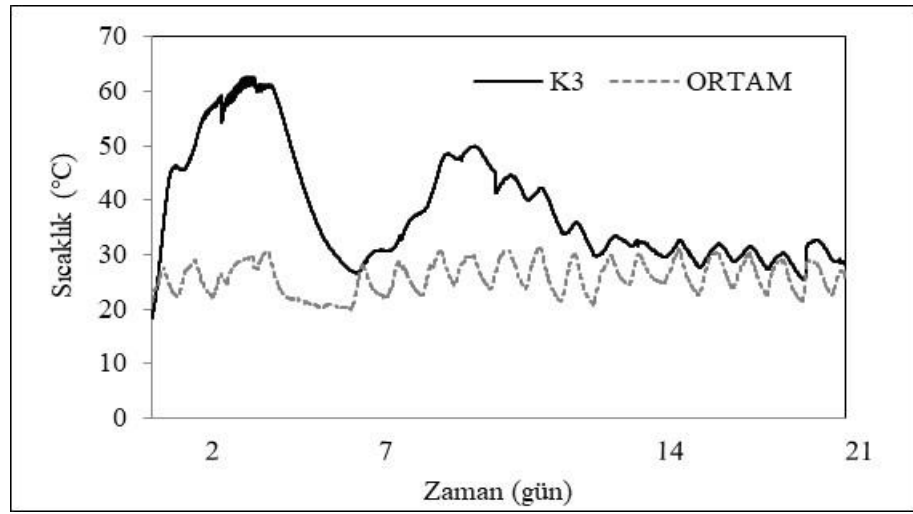
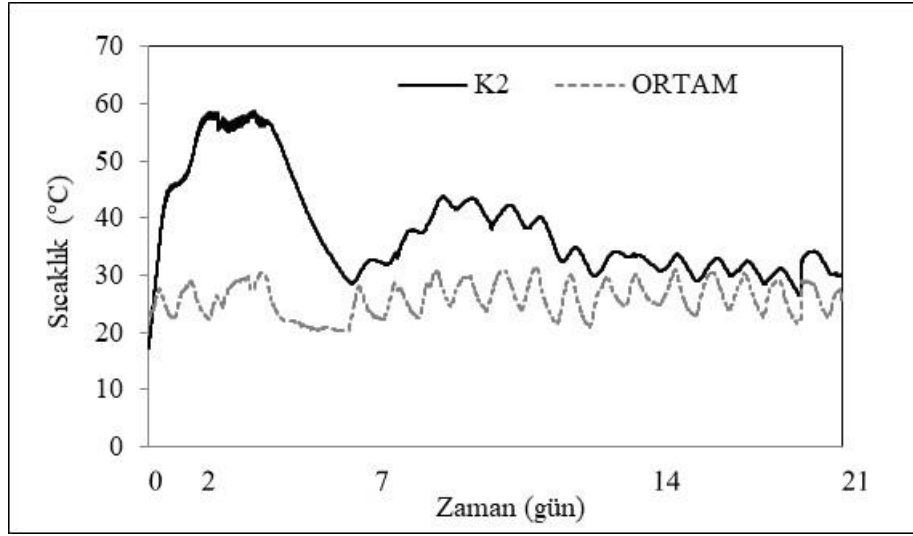
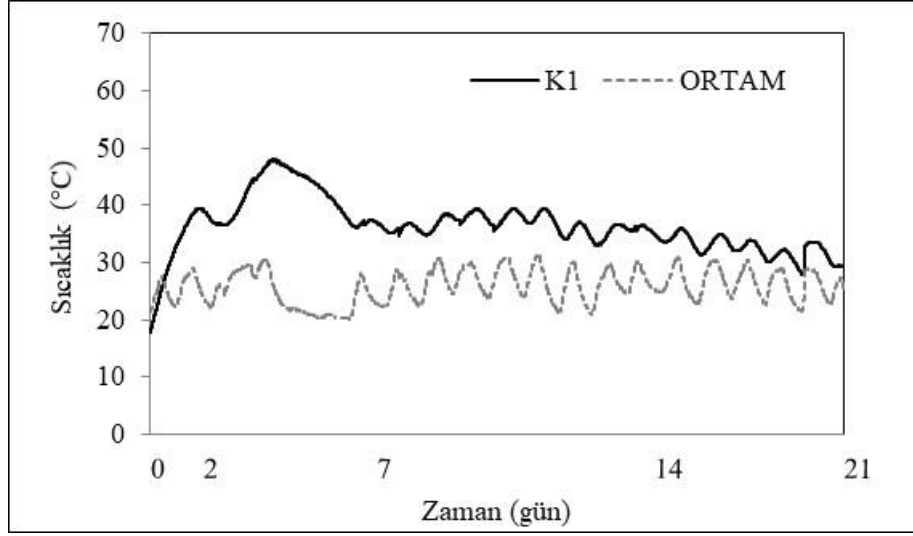
## 4.2. Kompostlama Prosesinde Meydana Gelen Değişimler

### 4.2.1. Sıcaklık

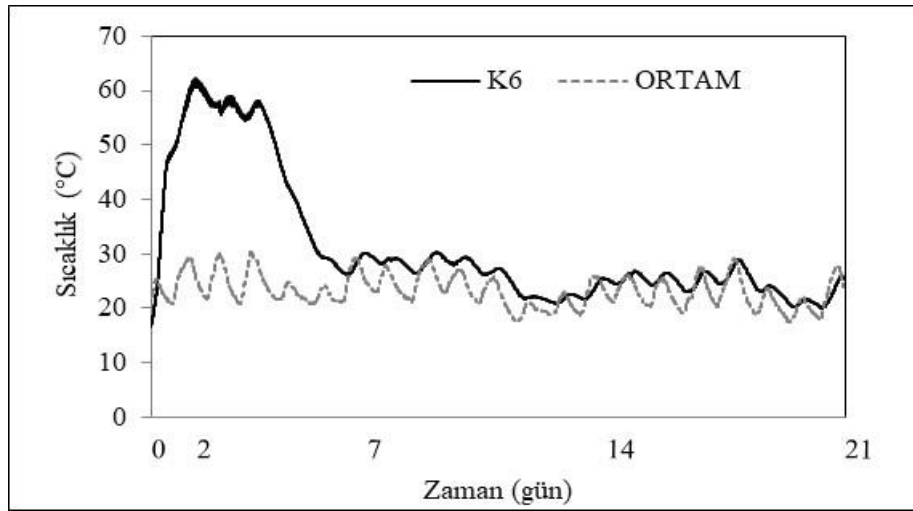
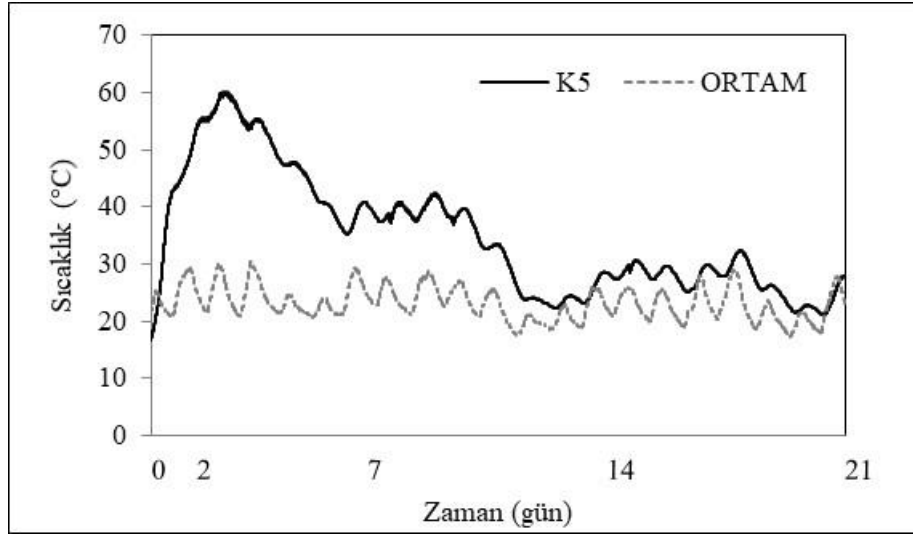
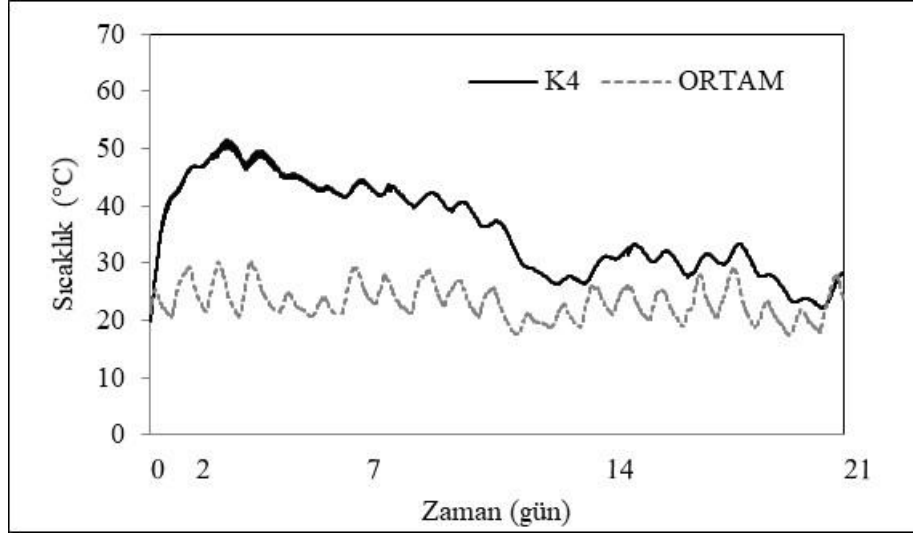
Kompostlama işlemi genellikle, sıcaklık rejimlerine bağlı olarak mezofilk, termofilik, soğutma ve olgunlaşma olmak üzere dört fazdan oluşur (Partanen ve diğerleri, 2010; Fan ve diğerleri, 2021). Karışımlardaki ısı üretimi, mikrobiyal ayrışma ile birlikte başlar ve metabolik olarak üretilen enerji artışı nedeniyle sıcaklıklar yükselmeye başlar (Duan ve diğerleri, 2021). Genel olarak tüm reaktörlerde sıcaklık, termofilik faz seviyelerine (>40°C) yükselmiştir. Süreç sonunda da ortam sıcaklığı seviyesine kadar düşmüştür. Ezemagu ve diğerleri (2021) yapmış oldukları çalışmada benzer olarak, kompost karışımında kolay parçalanabilen bileşenlerin tükenmesiyle birlikte sıcaklıkların proses sonunda ortam sıcaklığına düştüğünü dile getirmişlerdir. Kompost reaktörlerindeki sıcaklık ve ortam sıcaklıkları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Kompostlamanın ilk günlerinde reaktörlerde gözlemlenen artışlar, kolayca bozunabilen organik maddenin verimli bir mineralizasyonunun olduğunun göstergesidir (Cucina ve diğerleri, 2018; Cucina ve diğerleri, 2021).



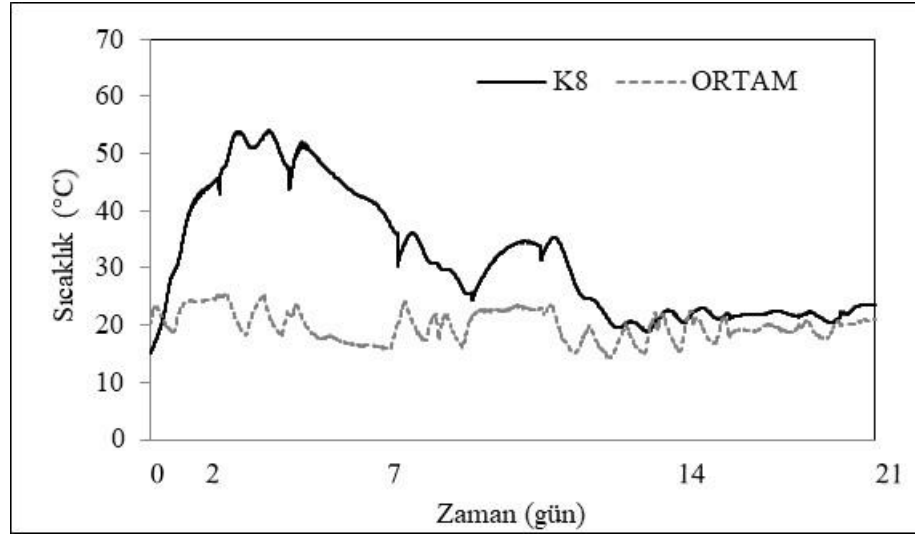
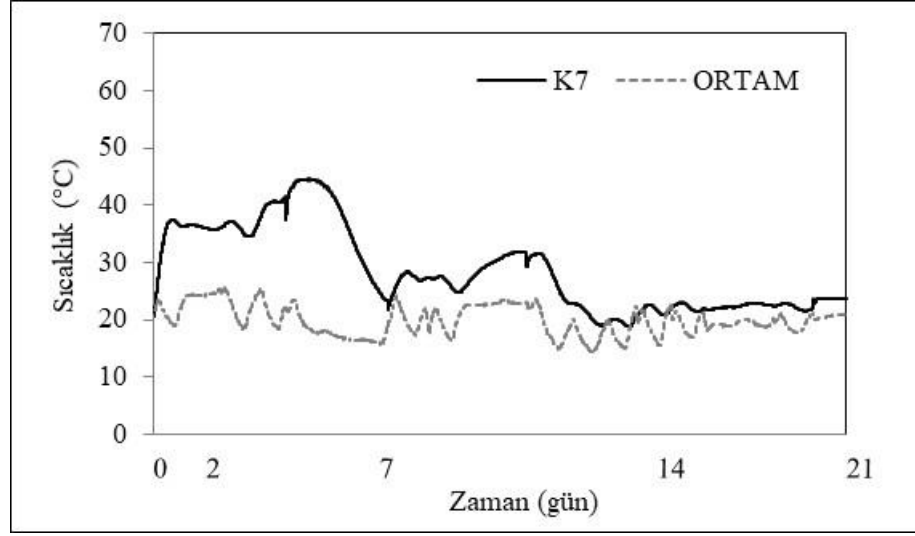
Şekil 4.2. Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları



Şekil 4.2. Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devam)



Şekil 4.2. Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devam)



**Şekil 4.2.** Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar ve ortam sıcaklıkları (devam)

Hayvan gübresi eklenmeden sadece arıtma çamuru ile hazırlanan R1 ve K1 reaktörlerinde maksimum sıcaklıklar sırasıyla 43,9°C ve 48°C, sadece sığır gübresi ile hazırlanan R2 ve K2 reaktörlerinde ise maksimum sıcaklıklar sırasıyla 43,9°C ve 58,7°C olarak ölçülmüştür. R1 ve R2 reaktörlerinde düzenleyici katkı maddesi olarak ayçiçeği sapı %30 ilave edilirken, K1 ve K2 reaktörlerinde %20 eklenmiştir. Sıcaklık parametresi göz önünde bulundurulduğunda, %20 ayçiçeği sapının ilave edildiği reaktörlerde, reaktör sıcaklıkları daha yüksek tespit edilmiştir. %20 ilavesinin mikroorganizma faaliyetlerini arttırarak sıcaklıkları yükseltmesi nedeniyle çalışmada diğer reaktörlerde %20 düzenleyici katkı maddesi ilavesine karar verilmiştir. Sadece at gübresi eklenen K7 reaktöründe ise maksimum sıcaklık 44,6°C iken tavuk gübresi eklenen K8 reaktöründe

maksimum sıcaklık 54°C olarak ölçülmüştür. Arıtma çamuruna sığır gübresi eklenen R3 ve K3 reaktörlerinde maksimum sıcaklıklar 53,7°C, 62,7°C, domuz gübresi eklenen K4 reaktöründe 51,5°C, at gübresi eklenen K5 reaktöründe 60,2°C ve tavuk gübresi eklenen K6 reaktöründe 62,2°C olarak ölçülmüştür. Sonuçlara göre, arıtma çamuruna hayvan gübresi ilavesi yapılan reaktörlerde daha yüksek sıcaklıklar elde edildiği söylenebilir. Tüm reaktörler maksimum sıcaklık değerlerine kompostlamanın ilk bir haftasında ulaşmıştır. Sıcaklık aynı zamanda organik atıkların kompostlama sürecini karışım içerisinde bulunan mikroorganizmaların faaliyetleri doğrultusunda etkileyecek bir faktördür (Mason ve Milke 2005; Bao ve diğerleri, 2021). Mahón ve diğerleri (2020) 70°C üzerinde sıcaklıklarda atık karışımlarının içerisinde bulunan kompostlama için yararlı mikroorganizmaların sayısının önemli oranda düştüğünü tespit etmiş ve mikroorganizmalar için optimum sıcaklığın 50-60°C olduğunu gözlemlemişlerdir.

Çevre Koruma Ajansı (EPA, 1993) verilerine göre yüksek oranda patojen kontrolü sağlanabilmesi için atık materyallerinin reaktörlerde en az 5 gün 40°C’de kalması ve bu süreç içinde 4 saat boyunca da 55°C’yi aşması gerekmektedir. Reaktörlerin maksimum sıcaklıkları ile 40 ve 55°C’yi aşma süreleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. R1 (%70 AÇ), K1 (%80 AÇ) ve R2 (%70 SG) reaktörlerinde 40°C ve üzerinde sırasıyla 4 gün, 3 gün ve 1,5 gün kalmış ancak 55°C’ye ulaşamamıştır. K2 (%80 SG), K7 (%80 AG) ve K8 (%80 TG) reaktörlerinde 40°C ve üzerinde sırasıyla 3 gün, 2 gün ve 5 gün kalmış, K7 ve K8 55°C’ye ulaşamazken K2 2 gün 55°C üzerinde kalmıştır. R3 (%35 AÇ, %35 SG), K3 (%40 AÇ, %40 SG) ve K4 (%40 AÇ, %40 DG) reaktörlerinde 40°C ve üzerinde 5 günden fazla kalmış, R3 ve K4 55°C’ye ulaşamazken K3 2 gün boyunca 55°C üzerinde kalmıştır. K5 (%40 AÇ, %40 AG) ve K6 (%40 AÇ, %40 TG) reaktörlerinde 40°C ve üzerinde sırasıyla 7 gün ve 4 gün kalmış, her iki reaktörde 55°C üzerinde 4 saatten fazla kalmıştır. Sıcaklık değerlerine göre EPA (1993) kriterleri göz önüne alındığında, yeterli seviyede patojen kontrolü sadece tek başına sığır gübresinin kullanıldığı K2 reaktöründe, arıtma çamuruna sığır gübresi eklenen K3 reaktöründe, at gübresi eklenen K5 reaktöründe ve tavuk gübresi eklenen K6 reaktöründe sağlanmıştır. Arıtma çamurunun tek başına kullanıldığı reaktörlerde (R1, K1) ve hayvan gübrelerinin tek başına kullanıldığı reaktörlerde (R2, K7, K8) mikroorganizma faaliyetleri için yeterli oranda substrat bulunmadığı için, inaktivasyonlar gerçekleşmiş ve istenilen sıcaklık değerlerine ulaşamamıştır. Ortam ve



mezofilik sıcaklıklar patojenlerin yok olması için yeterli değildir. Buna karşın bakteriyel patojenlerin çoğu termofilik koşullar altında etkin bir şekilde inaktive edilebilir (Li ve diğerleri, 2022). Benzer olarak Ezugworie ve diğerleri (2021)'de termofilik fazdaki yüksek sıcaklıkların insan ve bitki bünyesi için zararlı olabilecek patojenleri yok ettiğini, ilerleyen günlerde karışım içerisinde kalan organik maddenin hızla parçalanmasını sağlayarak, yabancı ot tohumlarını yok edip toksik bileşikleri parçaladığını dile getirmiştir.

5 Mart 2015 tarihinde 29286 tarihli Resmi Gazete' de yayınlanan Kompost Tebliği'nde ise elde edilen kompost ürününün toprak iyileştirici malzeme olarak kullanılabilmesi için sıcaklık değeri kesintisiz 2 hafta 55°C, 60°C'de ise 1 hafta kalması öngörülmektedir. Kompost Tebliği göz önünde bulundurulduğunda ise, çalışmanın laboratuvar ölçekli küçük reaktörlerde yapılmasından dolayı substrat miktarlarının yetersiz olması nedeniyle hiçbir reaktör bu standartları sağlayamamıştır. Maksimum sıcaklıkların 60°C ve civarında olduğu K2, K3, K5 ve K6 reaktörlerinde uygulanan karışım reçeteleri ile yeterli substrat olması durumunda tebliğdeki hijyenizasyon değerlerinin sağlanabileceği söylenebilir.

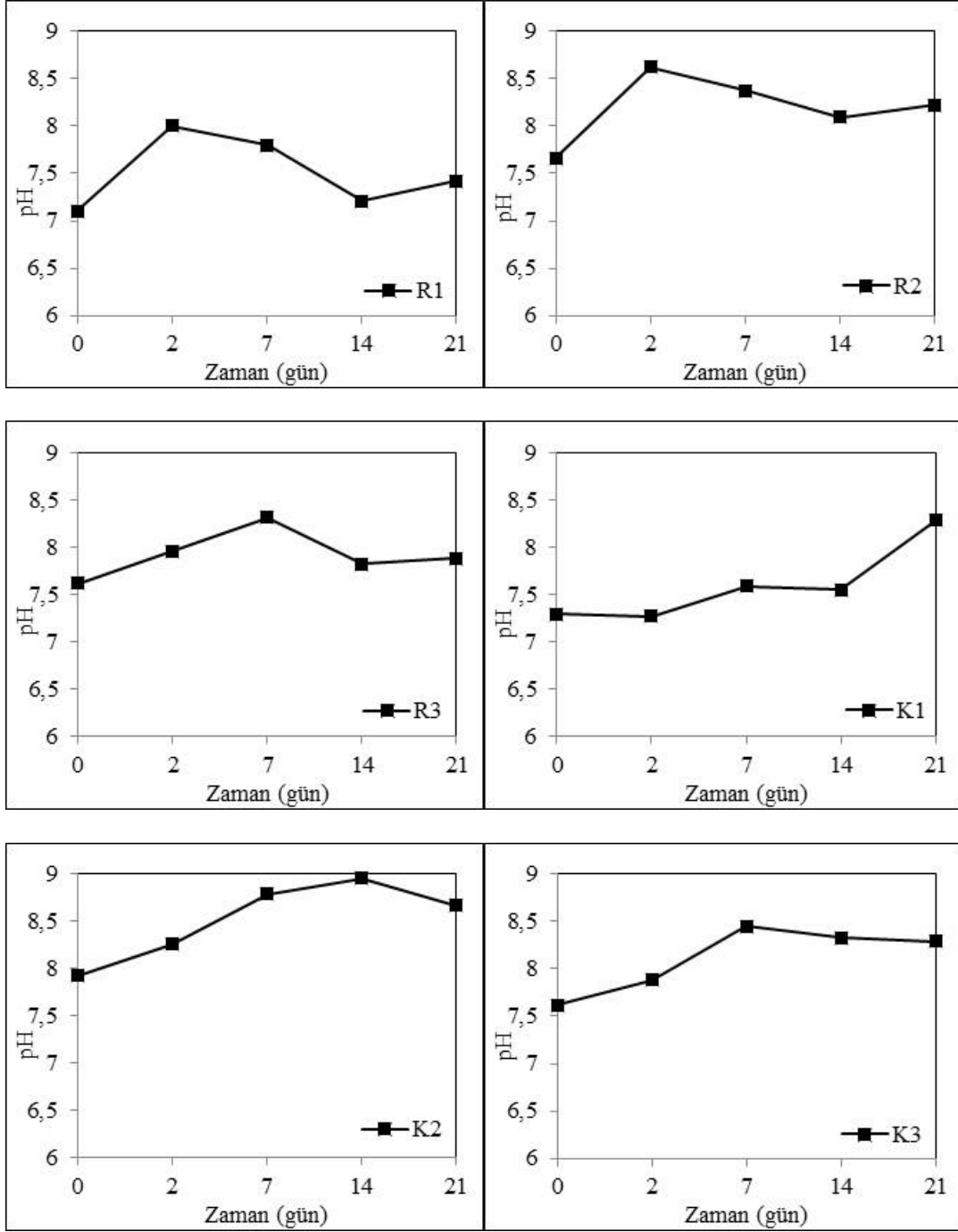
Yapılan kompost denemelerinde sıcaklık parametresi göz önünde bulundurulduğunda, arıtma çamurunun tek başına kompostlandığı R1 ve K1 reaktörleri ile hayvan gübrelere tek başına kompostlandığı R2 (%70 SG), K2 (%80 SG), K7 (%80 AG) ve K8 (%80 TG) reaktörlerinde sıcaklıklar 60°C'nin altında seyretmiştir. Diğer bir yandan arıtma çamuruna sığır gübresi eklenen K3 reaktöründe, at gübresi eklenen K5 reaktöründe ve tavuk gübresi eklenen K6 reaktöründe sıcaklıklar 60°C'nin üzerine çıkmıştır. Bu nedenle, arıtma çamuruna hayvan gübresi ilave edilmesi prosesi verimli yönden etkilemiş olup, sıcaklıkların yükselmesine ve mikroorganizmaların optimum şartlarda faaliyet göstererek patojenleri yok etmesine yardımcı olmuştur.

**Çizelge 4.4.** Reaktörlerdeki maksimum sıcaklıklar

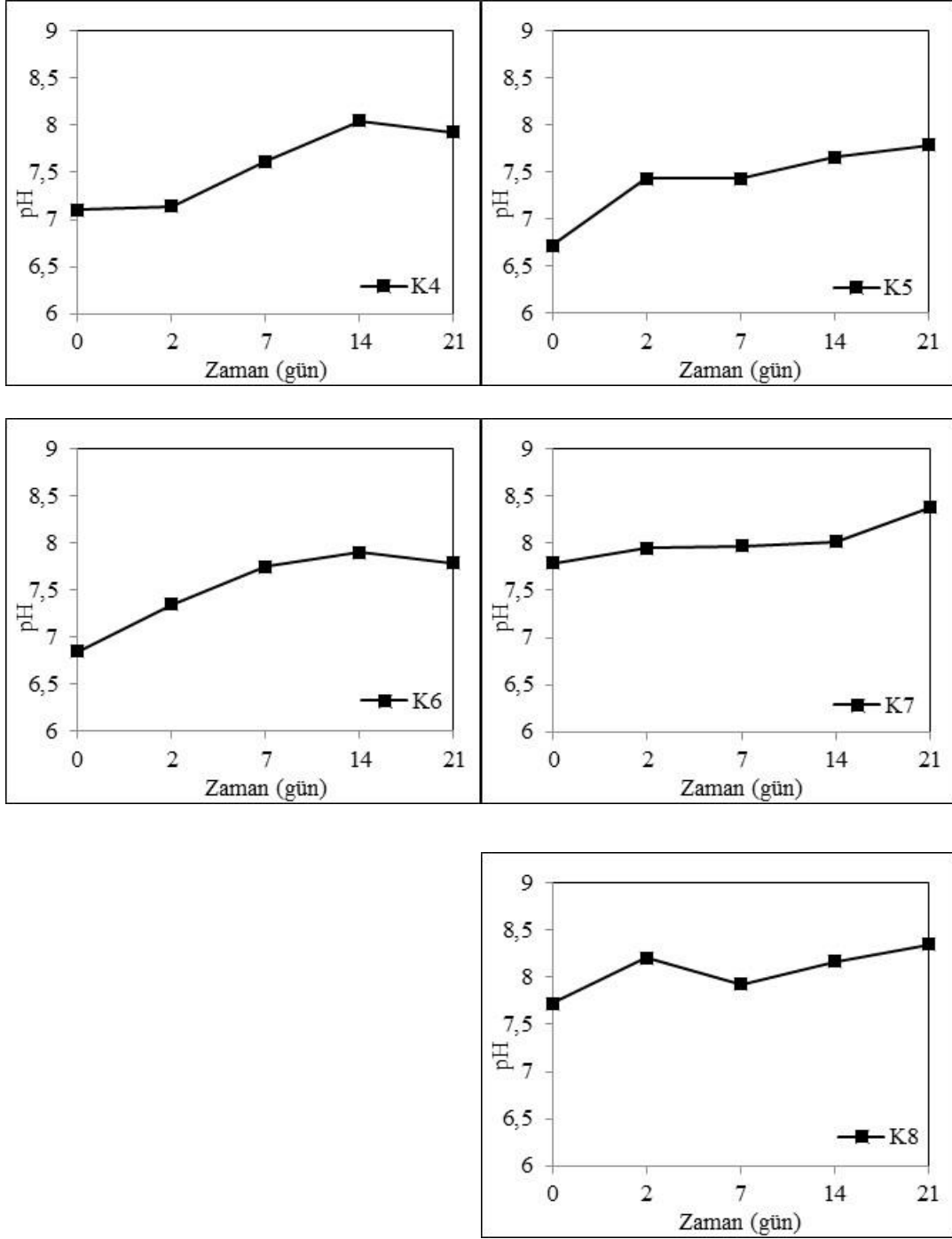
<b>Reaktör</b>	<b>Ulaşılan maksimum sıcaklık (°C)</b>	<b>40°C'nin üstünde geçen süre (gün)</b>	<b>55°C'nin üstünde geçen süre (gün)</b>
<b>R1</b>	43,9	4	-
<b>R2</b>	43,9	1,5	-
<b>R3</b>	53,7	10	-
<b>K1</b>	48	3	-
<b>K2</b>	58,7	8	2
<b>K3</b>	62,7	8	2
<b>K4</b>	51,5	8	-
<b>K5</b>	60,2	7	1,5
<b>K6</b>	62,2	4	2
<b>K7</b>	44,6	2	-
<b>K8</b>	54	5	-

#### **4.2.2. pH**

pH, mikroorganizmalar için hem minerallerin çözünürlüğünü hem de besinlerin biyolojik dönüşümünü sağlayan biyokimyasal reaksiyonları etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Makan ve diğerleri, 2020). Uygun olmayan pH değerlerinde mikroorganizmaların aktiviteleri azalacak ve kompostun bozunma hızı yavaşlayacaktır (Torkashvand, 2010; Ge ve diğerleri, 2022). Hoornweg ve diğerleri (1999) ve Mandpe ve diğerleri (2021) benzer olarak pH'nın kompostlama sürecini etkileyen hayati bir parametre olduğunu belirtmiş ve pH'sı 3-11 aralığında olan organik atıkların kompostlabiler özelliklere sahip olduğunu dile getirmiştir. Kompostlama işlemi boyunca sıcaklık değişimlerine de bağlı olarak karışım içerisinde birçok farklı türde mikroorganizma görev yapmaktadır. Bu mikroorganizma türlerinin faaliyetlerini yüksek verimlilikte sürdürebilmeleri için belli pH aralıkları mevcuttur. Cui ve diğerleri (2022)'ye göre kompostlamadaki mikrobiyal aktivite için optimum pH aralığı 6,7-9'dur. pH değeri 7-8 olduğunda mikroorganizmalar hızla büyümeye başlar, çoğalır ve bunun sonucunda organik madde bozunma verimliliği yükselir (Ajmal ve diğerleri, 2021). Reaktörlerdeki pH değişimleri Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Kompost reaktörlerindeki pH değişimleri



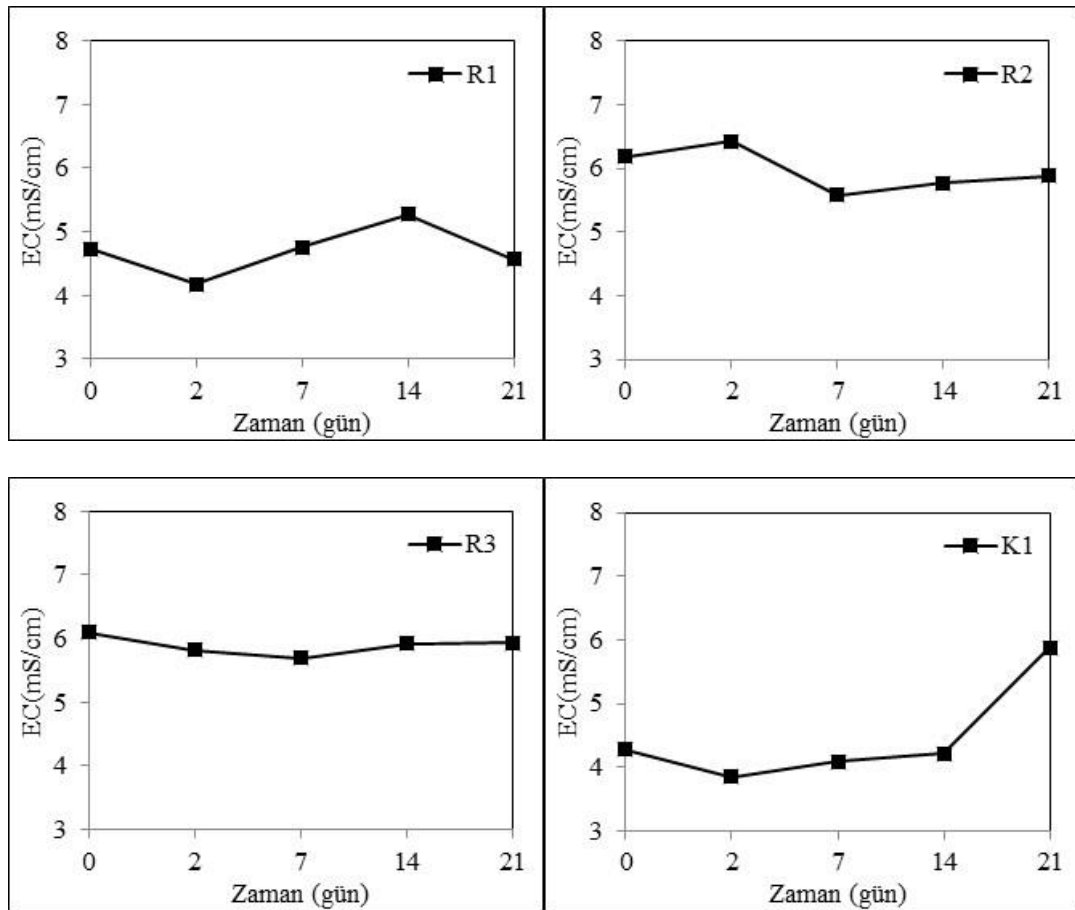
**Şekil 4.3.** Kompost reaktörlerindeki pH değişimleri (devam)

pH değerlerinin kompostlama başlangıcında genelde asidik veya nötr olması, süreç sonunda da artması beklenmektedir (Lin ve diğerleri, 2016; Martins ve diğerleri, 2022). Yapılan çalışmada en yüksek başlangıç pH değerine sahip olan reaktör %80 sığır gübresi ve %20 ayçiçeği sapı kullanılan K2 (7,91) reaktörü olurken, en düşük değere sahip reaktör ise %40 arıtma çamuru, %40 at gübresi ve %20 ayçiçeği sapı kullanılan K5 (6,72)

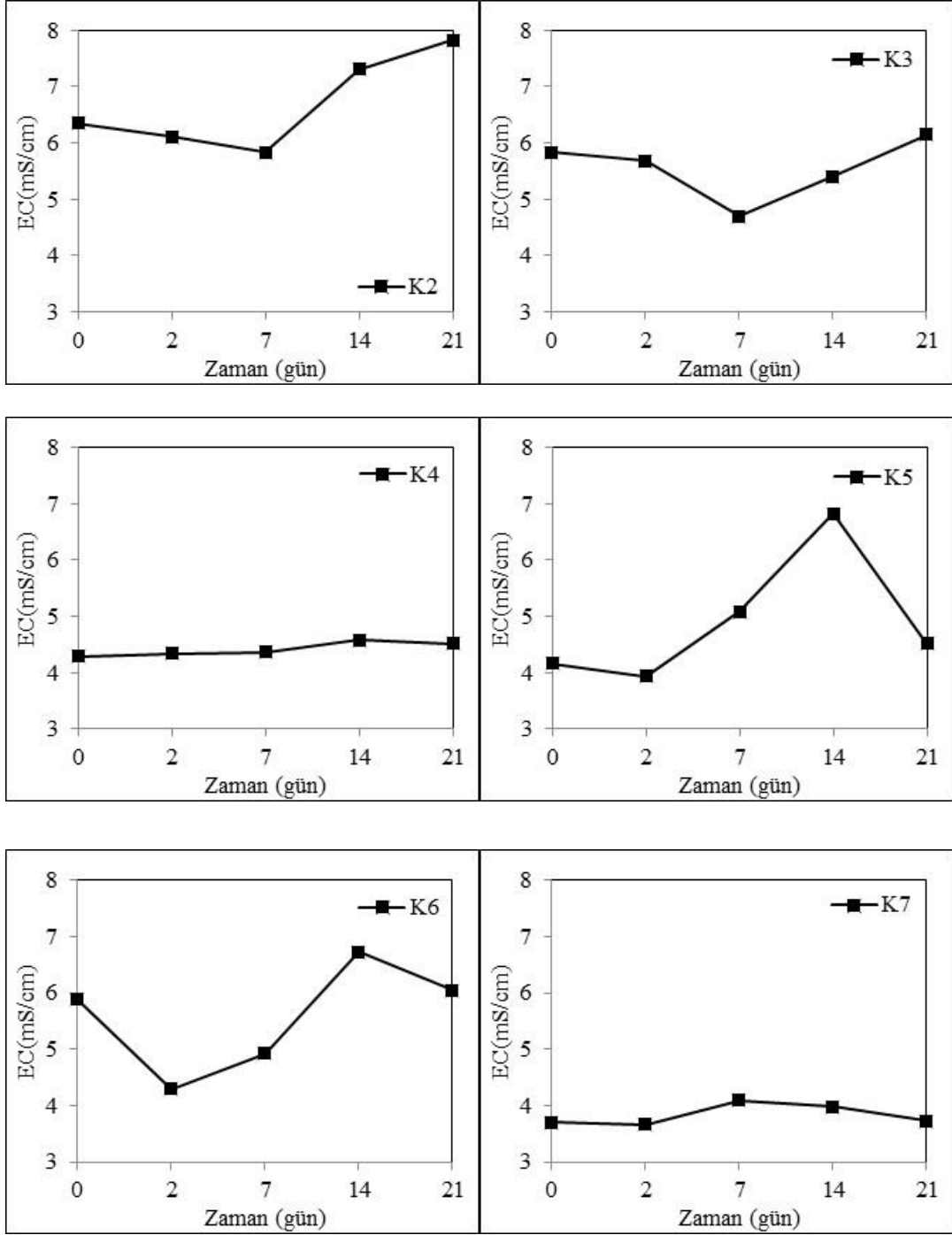
reaktörüdür. Diğer reaktörlerdeki başlangıç değerleri de yine nötr seviyelere yakın olup 6,85 ile 7,72 aralığında yer almaktadır. K1 ve K4 hariç tüm reaktörlerde ilk günlerde yoğun mikrobiyal aktivitenin bir göstergesi olarak pH değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. K1 ve K4 reaktörlerinde ise ilk günlerde önemli bir değişiklik olmamıştır. Bu iki reaktörde başlangıçta önemli bir mikrobiyal aktivite ve mineralizasyonun gerçekleşmediği söylenebilir. Takip eden günlerde bu iki reaktörde de pH değerinde artış olmuştur. Diğer reaktörlerde ilk günlerde meydana gelen pH artışlarının sebebi, proteinlerin ve azotun bakteriyel hidrolize uğraması ve bu durumun amonyak gazı üretimine yol açmasıdır (Lalremruati ve Devi, 2021). Dümenci ve diğerleri (2021)'de benzer olarak kompostlamanın ilk günlerinde, karışımlar içinde bulunan azotun çoğunun mikroorganizmalar tarafından tutulduğunu ve amonyak çıkışı gözlenmesi ile birlikte pH değerinin yükseldiğini söylemişlerdir. Atık kütlesi içerisinde bulunan mikroorganizmalar organik asitleri tüketerek, kendi gelişimlerine en uygun ortam şartlarını oluşturmak için pH seviyelerini yükseltmektedir. Başka bir deyişle pH değerleri mikrobiyal aktiviteler tarafından değiştirilmektedir (Estrada-Bonilla ve diğerleri, 2017; Lalremruati ve Devi, 2021). Tüm reaktörlerde termofilik fazın gerçekleştiği ve maksimum sıcaklıkların elde edildiği günlerde (1.-5.gün arası) diğer günlerden daha fazla pH artışı gözlemlenmiştir. Bu pH artışına termofilik fazdaki yüksek sıcaklık dolayısı ile kısa zincirli organik asitlerin uçucu hale gelmesi neden olmuştur (Yang ve diğerleri, 2019; Lin ve diğerleri, 2021). Chen ve diğerleri (2019) ve Martins ve diğerleri (2022)'ne göre ilerleyen günlerde gözlemlenen bu alkalizasyon kompostun olgunlaştığının bir işaretidir. Tüm reaktörlerde pH bitiş değerleri başlangıç değerlerinden daha yüksek seviyelerdedir. Proses sonunda 8,66 pH değerine sahip %80 sığır gübresi ile oluşturulan K2 değeri maksimum seviye iken, %80 arıtma çamuru ile oluşturulan R1 reaktörü de 7,42 ile en düşük pH değerine sahiptir. Diğer reaktörlerdeki bitiş pH değerleri de 7,79 ile 8,38 aralığında yer almaktadır. Kompost Tebliği'ne göre olgun kompostta pH 5,5-8,5 aralığında olmalıdır. K2 reaktörü hariç tüm reaktörler aktif kompost fazında bu değerleri sağlamış olup, K2 içinde belirli bir olgunlaşma süresi sonucunda bu değerlerin sağlanabileceği düşünülmektedir. Wan ve diğerleri (2020)'ne göre kompostlama süreci boyunca pH değerindeki değişiklikler kompost malzemesinin ilk seçimi ile yakından ilişkilidir.

### 4.2.3. Elektriksel iletkenlik (EC)

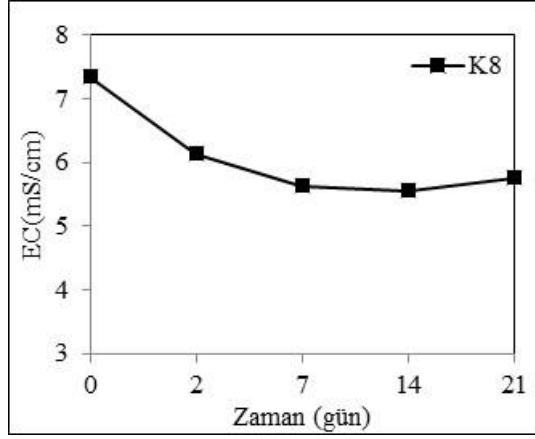
Elektriksel iletkenlik, kompost karışımındaki iyonik moleküllerin ve mineral fraksiyonlarının içeriğini temsil eder (Liu ve diğerleri, 2022). Başka bir deyişle komposttaki çözülmüş tuz konsantrasyonlarının bir göstergesidir. Mishra ve Yadav (2021) yapmış oldukları çalışmada 3 ile 12 mS/cm arasındaki EC aralığının nihai kompost için ideal olduğunu söylemiştir. Fakat başka bir görüşte de, 4 mS/cm'nin üzerindeki EC değerlerinin kompostlama ürünleri için istenmeyen bir durum olduğu ve fitotoksik özellikler göstererek mahsul üretimini olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir (Meng ve diğerleri, 2020; Wang ve diğerleri, 2022). Bunun en önemli nedeni de, tuzlar ve iyonların, hücrelerin ozmotik basıncını ve enzim aktivitesini ayarlayarak bitkilerin büyümesi üzerinde etkileri olmasıdır (Santos ve diğerleri, 2021; Wang ve diğerleri, 2022). Reaktörlere ait EC değişimleri Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Reaktörlerde meydana gelen EC değişimleri



Şekil 4.4. Reaktörlerde meydana gelen EC değişimleri (devam)



**Şekil 4.4.** Reaktörlerde meydana gelen EC değişimleri (devam)

Reaktörlerdeki EC değişimlerinin farklı olmasının ana sebebi karışımlar içerisinde bulunan tuzların çözünme hızlarının değişkenlik göstermesidir. Başlangıç EC değeri 7,35 mS/cm ile en yüksek olsan reaktör %80 tavuk gübresi ve %20 ayçiçeği sapı kullanılan K8 reaktörüdür. Bunun nedeni tavuk gübresinin EC değerinin (9,07 mS/cm) oldukça yüksek olmasıdır. Onu takiben sığır gübresi ile oluşturulan K2 ve R2 reaktörlerinde EC değerleri sırasıyla 6,35 ve 6,18 mS/cm'dir. En düşük EC değerine sahip reaktör ise 3,69 mS/cm ile %80 at gübresi ve %20 ayçiçeği sapı kullanılan K7 reaktörüdür. Hayvan gübrelere tek başına kompostlandığı (R2, K2, K8) reaktörlerinde EC değerleri Şekil 4.4'de de görüldüğü üzere diğer reaktörlere oranla daha yüksek seviyelerde iken, sadece arıtma çamurunun kullanıldığı (R1: 4,73 mS/cm, K1: 4,58 mS/cm) ve arıtma çamurunun hayvan gübrelere ile birlikte kullanıldığı reaktörlerde (R3: 6,1 mS/cm, K3: 5,83 mS/cm, K4: 4,29 mS/cm, K5: 4,16 mS/cm, K6: 5,88 mS/cm) daha düşüktür. Bunun en önemli nedeni, dünya genelinde hayvan verimliliğini artırarak ekonomik getirileri en üst düzeye çıkartmak isteyen üreticilerin hayvan yemlerine düzenli olarak mineral tuzlar eklemesi olabilir (Li-Xian ve diğerleri, 2007).

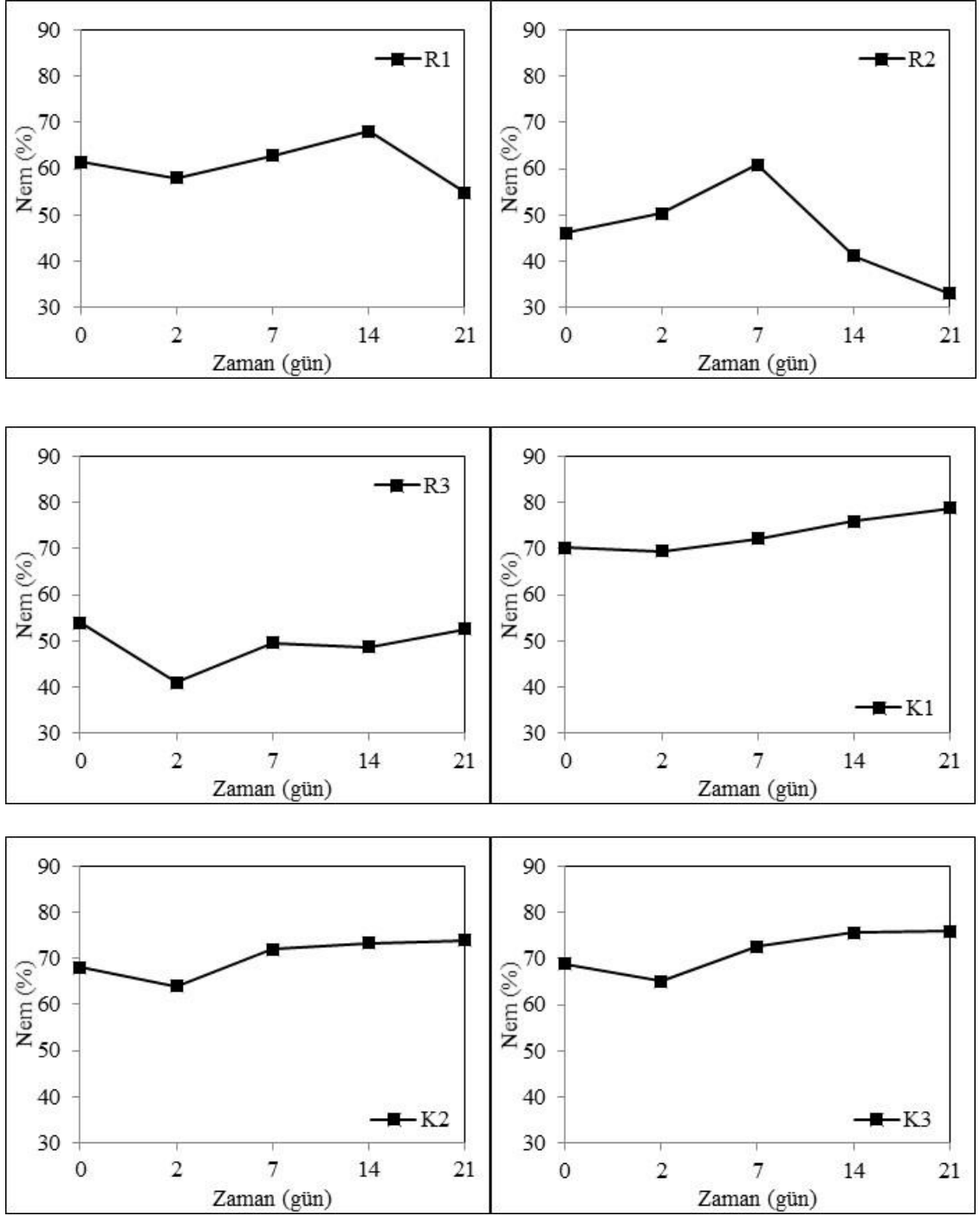
Tüm reaktörlerde süreç sonunda EC değerleri 3,73 ile 7,83 mS/cm arasında değişmektedir. Sıcaklık yükselmesinin fazla olduğu (58,7°C) ve mineralizasyon seviyesinin yüksek olduğu K2 reaktöründe başlangıç ve bitiş arasında en fazla EC artışı gözlemlenmiştir. Başlangıçta 6,35 mS/cm olan EC değeri süreç sonunda 7,83 mS/cm'ye ulaşmıştır. Sadece arıtma çamurunun kullanıldığı K1 reaktöründe de başlangıçta 4,58 mS/cm olan EC değeri gözle görülür bir artış göstererek süreç sonunda 5,88 mS/cm'ye



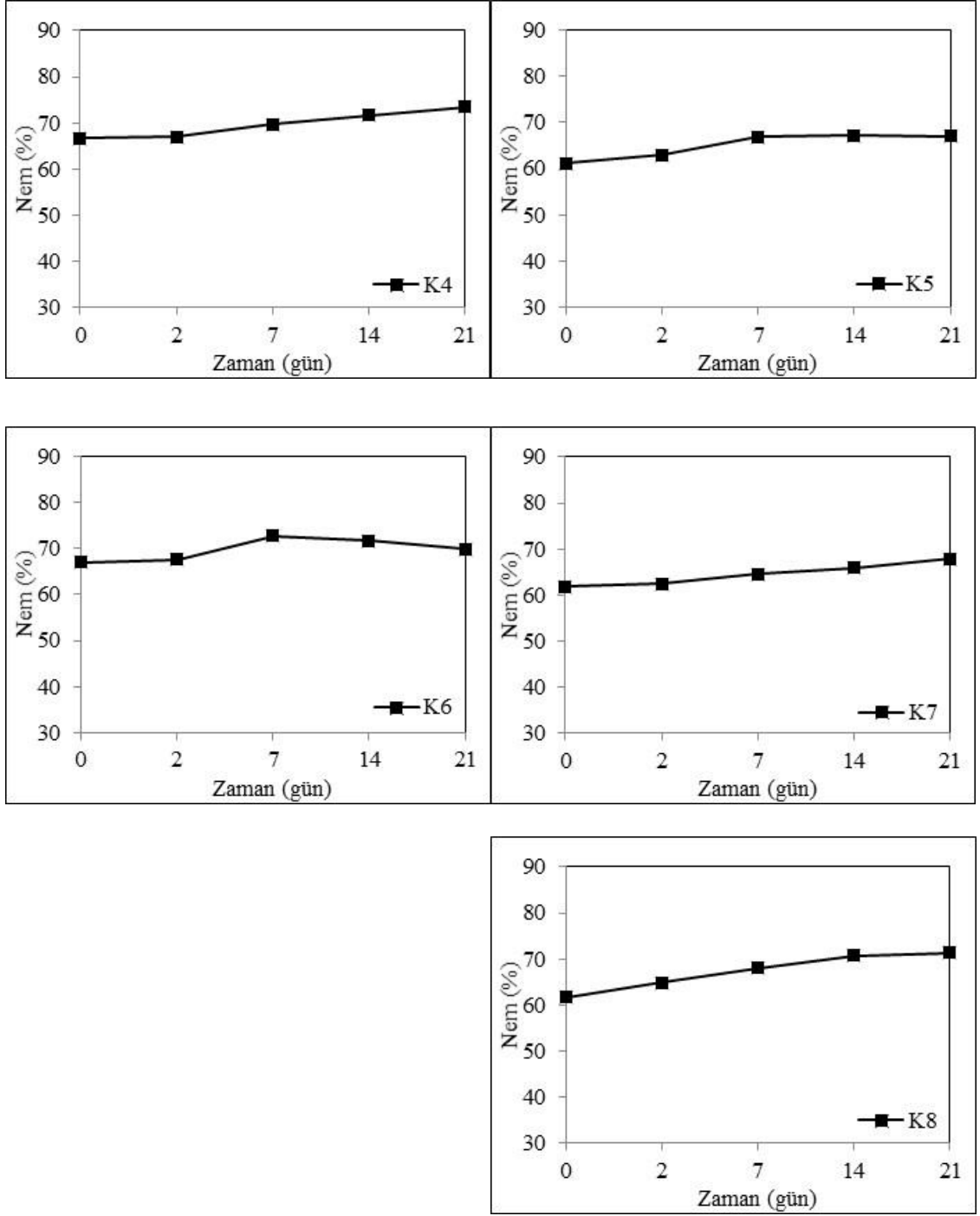
ulaşmıştır. Onları takiben sıcaklıkların 60°C üzerine çıktığı ve sıcaklıkla orantılı olarak organik madde bozunmasının yüksek seviyelerde olduğu K3, K5 ve K6 reaktörlerinde de artışlar meydana gelmiştir. Tam tersi olarak, tavuk gübresi ile oluşturulan K8 reaktöründe de diğerlerine göre gözle görülür bir azalma izlenmiştir. K8 reaktörünün EC değeri 7,35 mS/cm'den 21 gün sonunda 5,76 mS/cm'ye düşmüştür. Bunun nedeni K8 reaktörü içerisindeki atık karışımında çözünür tuz konsantrasyonunun yüksek oranlarda bulunmasına rağmen çözünür tuzların yeterli sıcaklığa ulaşamamasından dolayı çözünememesinden kaynaklanmış olabilir.

#### **4.2.4. Nem**

Atık kütlelerinin nem içeriği karışım içerisinde bulunan mikroorganizmaların aktivitelerini, kompost sıcaklığını ve bozunma hızını etkiler (Al-khadher ve diğerleri, 2021). Kullanılan materyallerin nem içerikleri, atık kütlelerinde bulunan mikroorganizma topluluklarının ihtiyaç duydukları besinlerin taşınması için uygun bir ortam yaratmaktadır. Düşük bir nem içeriği, kompostlama sırasında mikroorganizmaların dehidratasyonuna neden olurken, yüksek bir nem içeriği de su birikmesiyle birlikte atık kütlelerinde anaerobik koşullar oluşmasına neden olacaktır (Ge ve diğerleri, 2022). Karışımın nem içeriği, kompostlama prosesinde bulunan çözünebilir organik maddelerin bozunmasını ve lifli formda olan besinlerin hidrolizini önemli ölçüde etkileyeceğinden, kompostlama süreci boyunca proses üzerinde kritik bir öneme sahiptir (Wang ve diğerleri, 2015). Hayvan gübreleri ile kompostlama denemeleri gerçekleştiren araştırmacılar, çalışmalarında kullandıkları bazı hayvan gübrelerinin kompostlanabilmesi için optimum nem değerlerinin sağlanması gerektiği düşüncesini savunmuşlardır. Domuz gübresinin kompostlanması için optimum nem aralığının %65-75 (Chen ve diğerleri, 2019), tavuk gübresi kompostlanması için ise optimum nem aralığının %60-70 olduğu dile getirilmiştir (Zang ve diğerleri, 2016; Li ve diğerleri, 2021). Reaktörlere ait nem değişimleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Reaktörlere ait nem değişimleri



**Şekil 4.5.** Reaktörlere ait nem değişimleri (devam)

Başlangıç nem oranları incelendiğinde en yüksek nem oranı %80 arıtma çamuru ile %20 ayçiçeği sapının kullanıldığı, %70,2 nem içeriğine sahip K1 reaktörüdür. Bir diğer sadece arıtma çamurunun kullanıldığı reaktör olan R1 reaktöründe ise nem içeriği %61,5 olarak tayin edilmiştir. İki reaktör arasındaki %10'luk farkın düzenleyici katkı maddesi olarak kullanılan ayçiçeği sapının R1 reaktöründe %30 oranında kullanılmasından

kaynaklandığı söylenebilir. Diğer bir yandan en düşük nem oranına sahip reaktör %46,1 ile %70 sığır gübresi ve %30 ayçiçeği sapı ile oluşturulan R2 reaktörüdür. Bu reaktörde düşük bir nem oranı elde edilmesinin sebebi ham materyal olarak kullanılan sığır gübresinin nem oranının (%61,4) diğer ham materyallere nispeten daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Hayvan gübrelerinin tek başlarına kompostlama işlemine tabii tutulduğu K2 (%80 SG) reaktöründe nem oranı %68,0, K7 (%80 AG) reaktöründe %61,9 ve K8 (%80 TG) reaktöründe %61,7 olarak tayin edilmiştir. Arıtma çamuruna sığır gübresi eklenen R3 ve K3 reaktörlerinde sırasıyla %53,9 ve %68,9 nem oranları tayin edilirken, domuz gübresi ilave edilen K4 reaktöründe %66,7, at gübresi ilave edilen K5 reaktöründe %61,1 ve tavuk gübresi ilave edilen K6 reaktöründe %67,0 olarak tayin edilmiştir. Reaktörlerin başlangıç nem oranlarının değişmesinin ana sebebi kullanılan ham materyallerin farklı nem oranlarına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Guo ve diğerleri (2012)'ne göre kompostlama prosesinin verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için optimum nem içeriğini proseste kullanılan malzemelerin fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri belirlemektedir. Petric ve diğerleri (2009) kanatlı hayvan gübresi ve buğday samanı ile yapmış oldukları çalışmada %69,1 oranında başlangıç nem oranının en yüksek mikrobiyal aktiviteye ve organik madde bozunmasına sebep olmasıyla birlikte en uzun termofilik fazın gerçekleştiğini söylemişlerdir. Benzer olarak çalışmamızda da %68,9 başlangıç nem oranına sahip K3 reaktöründe mikrobiyal aktivite istenilen seviyelerde olup termofilik faz diğer reaktörlere oranla daha fazla sürmüştür.

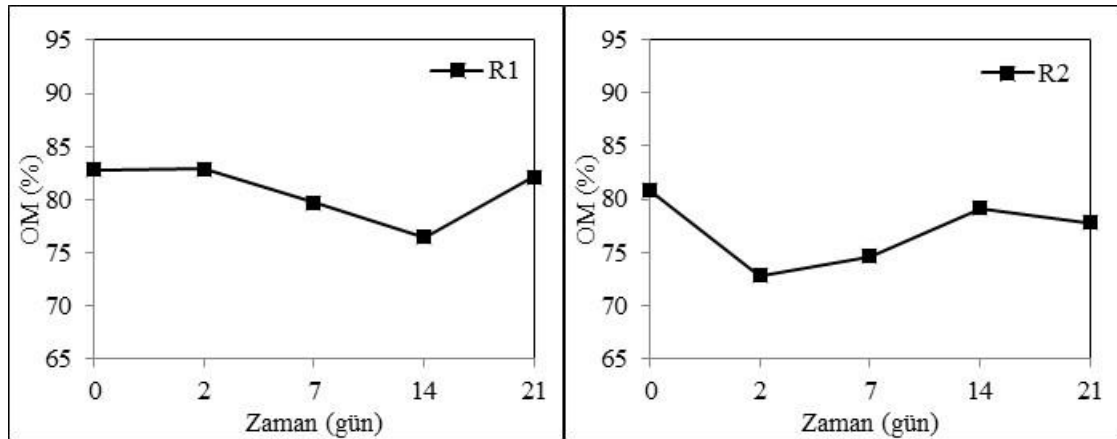
Süreç boyunca reaktörlerdeki nem içerikleri genel olarak artış eğilimindedir. Bunun ana sebeplerinden birinin reaktörlerin kapalı hazne olması dolayısıyla sıcaklık yükselmesi ile birlikte yükselen suyun reaktörlerin kapaklarında su damlacıkları halinde birikmesi ve tekrar atık kütesinin üzerine damlaması olduğu düşünülmektedir. Kapaklarda biriken bu su damlacıkları örnek alma günlerinde ve reaktörler gınaşırı karıştırılırken de gözle görülür niteliktedir. Açık haznelerde yığınlar halinde kompostlama yapılması durumunda ısı çıkışıyla birlikte yükselen su, su buharı olarak ortamdan uzaklaşacağı için nem oranlarında düşüşler gerçekleşmesi olağan bir durum olacaktır.

Yapılan kompostlama çalışmasında başlangıç ve bitiş günleri arasındaki nem değerleri göz önüne alındığında nem oranı sadece R1, R2 ve R3 reaktörlerinde sırasıyla %10,7, %28,4 ve %2,6 azalma göstermiştir. Geri kalan tüm reaktörlerde nem oranı artış

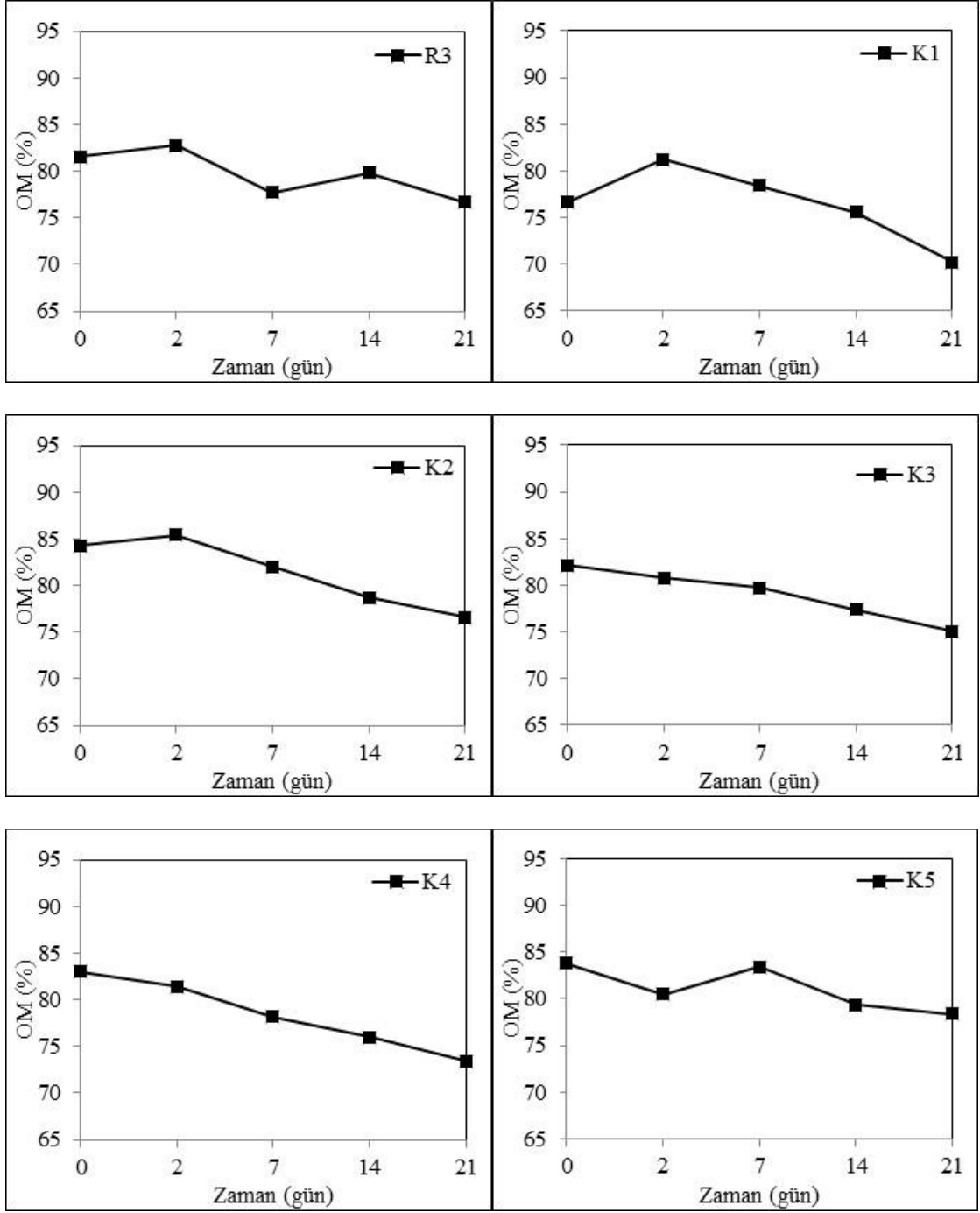
göstermiştir. En yüksek nem oranı artışı ise %61,7'den %71,3'e çıkarak %13,5 artış gösteren K8 reaktöründe gerçekleşmiştir. Diğer reaktörlerdeki nem artışları da %8-9 oranında olmuştur. Kompost Tebliği Ek-2'de yer alan Kompost Kalite Parametreleri'ne göre olgun kompostun nem içeriğinin %30'nun altında olması istenmektedir. Tüm reaktörlerdeki nem içerikleri tebliğde belirtilen sınır değerden yüksek olmakla birlikte kompost örnekleri belirli bir süre zarfında bekleyerek olgunlaştıklarında sınır değerlere ulaşılacaktır.

#### 4.2.5. Organik madde (OM)

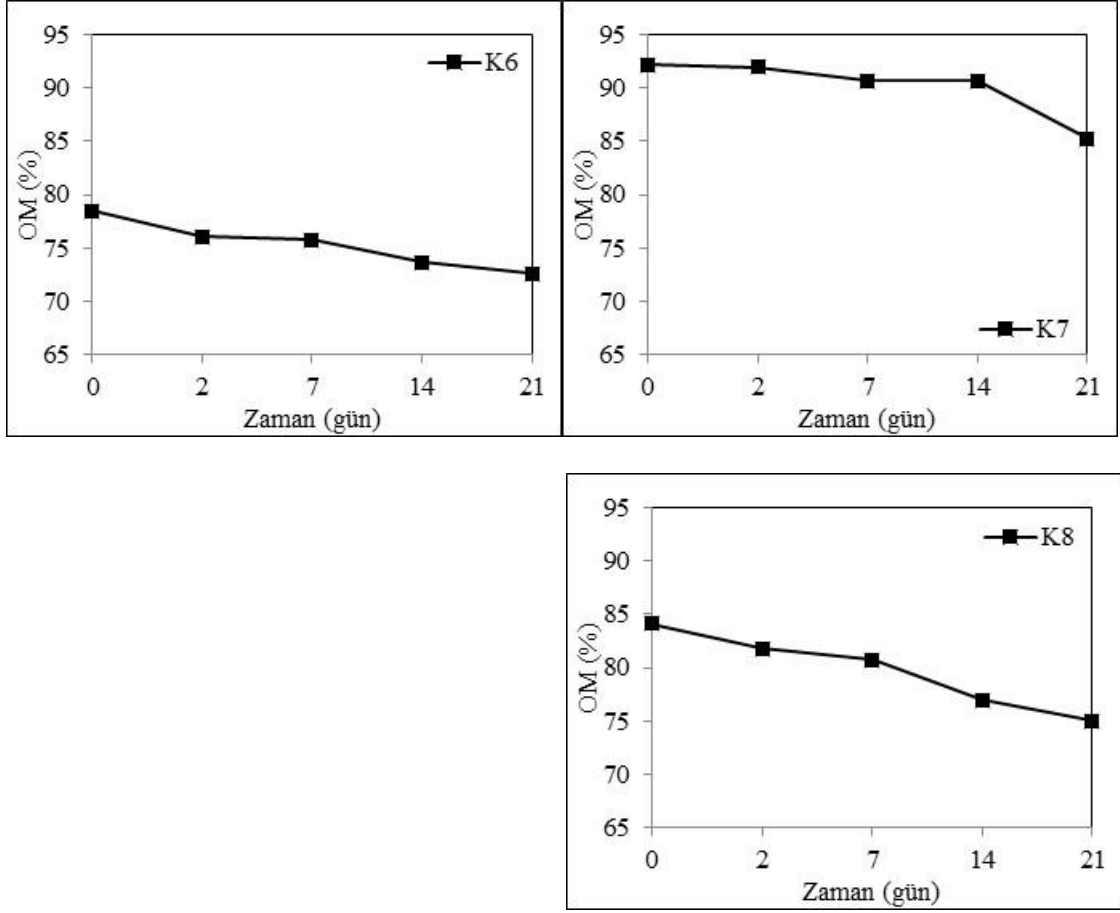
Kompostlamada kullanılan hammaddeler büyük miktarda organik madde içerir. Bu bileşenlerin çoğu da kararsızdır ve kolayca ayrışır (Wu ve diğerleri, 2021). Kompostlama prosesi, mikroorganizma topluluklarının kararlı hümik maddeler üretmek için OM'yi ayrıştırdığı karmaşık bir biyokimyasal süreç olarak tanımlanır ve OM içeriği kompostun kalitesini yansıtmada önemli bir rol oynar (Niu ve diğerleri, 2021). Wei ve diğerleri (2022) domuz gübresinin aerobik kompostlanması sırasında fizikokimyasal özellikleri inceledikleri çalışmalarında organik maddelerin mikroorganizmalar için önemli bir karbon ve enerji kaynağı olduğunu dile getirmiş ve organik madde değişimlerinin kompostun olgunluğunu ve kalitesini yansıttığını söylemişlerdir. Mikroorganizmalar için son derece önemli bir karbon ve enerji kaynağı olarak OM, birkaç karmaşık mikrobiyal metabolik süreçte yer alır ve içerik değişiklikleri kompostun olgunluğunu ve kalitesini yansıtır. Reaktörlere ait organik madde değişimleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Reaktörlerde meydana gelen OM değişimleri



Şekil 4.6. Reaktörlerde meydana gelen OM değişimleri (devam)



**Şekil 4.6.** Reaktörlerde meydana gelen OM değişimleri (devam)

Başlangıç organik madde içerikleri incelendiğinde %92,2 ile en yüksek OM içeriğine sahip reaktör %80 at gübresi ve %20 ayçiçeği sapı ile oluşturulan K7 reaktörüdür. En düşük organik madde içeriğine sahip reaktör ise %76,6 ile %80 arıtma çamuru ve %20 ayçiçeği sapı ile oluşturulan K1 reaktörüdür. Diğer reaktörlerdeki OM içerikleri de %78,5 ile %84,3 arasında değişmektedir. Kompostlamanın ilk günlerinde tüm reaktörlerde organik madde miktarları azalma eğilimi göstermiştir. Bu azalmalar başlangıçta bol miktarda bulunan organik maddenin aktif mikroorganizma faaliyetleri ile birlikte kimyasal reaksiyonlara uğraması ve organik madde bozunmasının esas olarak bu aşamada meydana geldiğinin göstergesidir (He ve diğerleri, 2017; Sun ve diğerleri, 2022). Mikroorganizma faaliyetlerinin artması ve bu doğrultuda sıcaklıklarında termofilik faza geçişleriyle birlikte OM bozunma hızları artarak OM kayıplarında da ciddi artışlar meydana gelmektedir. Nakasaki ve diğerleri (2019) gıda atıkları, ticari tavşan yemi ve pişmiş pirinç karışımı ile birlikte yaptıkları kompostlama çalışmasında OM'nin termofilik faz sırasında

termofilik bakteriler tarafından hızlıca bozunduğunu ve OM kayıplarının gerçekleştiğini tespit etmiştir.

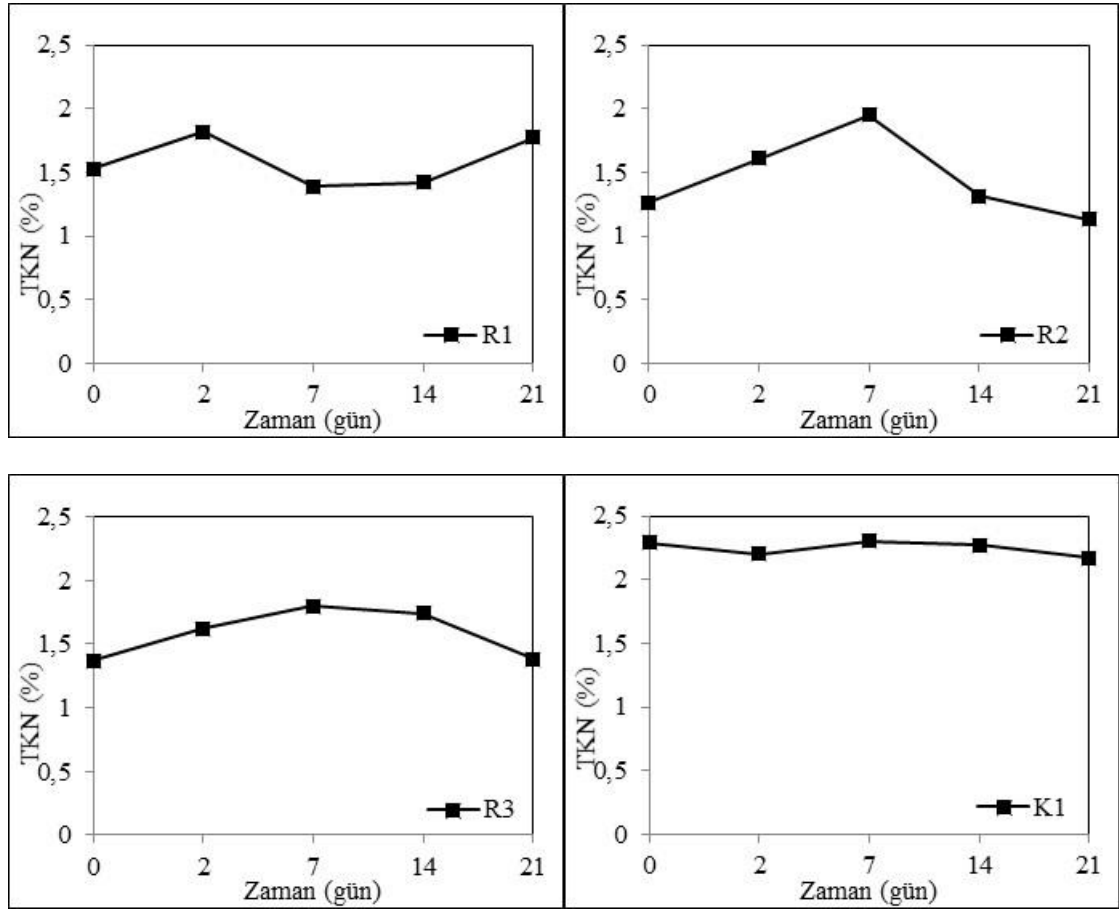
Diaz ve diğerleri (2007)'ne göre kompostlama prosesi boyunca, organik madde kayıpları %30 ile %60 arasında gerçekleşmektedir. Reaktörlerde meydana gelen OM değişimleri hesaplandığında; %0,8 ile en az OM kaybının %70 arıtma çamuru kullanılarak oluşturulan R1 reaktöründe gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu reaktörde mikrobiyal faaliyetlerin istenilen seviyelerde olmaması ve sıcaklık yükselmesinin az olmasıyla birlikte (43,9°C) termofilik faz seviyelerine ulaşamadığından OM bozunma hızları yavaş seyretmiş ve OM kayıpları az gerçekleşmiştir. %70 sığır gübresi ile oluşturulan R2 reaktöründe de aynı koşullar söz konusu olup OM kaybı %3,7 olarak tespit edilmiştir. En fazla OM kaybı gerçekleşen reaktör ise %64,8 ile %40 arıtma çamuru, %40 sığır gübresi ve %20 ayçiçeği sapı kullanılan K3 reaktörü olmuştur. Bu reaktörde mikrobiyal faaliyetlerin istenilen seviyelerde gerçekleşmesi ve sıcaklık yükselmesinin fazla olmasıyla birlikte (62,7°C) termofilik faz süresinin uzun sürmesiyle OM bozunma hızları artmış ve OM kayıpları diğer reaktörlere nispeten daha fazla gerçekleşmiştir. Arıtma çamuruna tavuk gübresi eklenen K6 reaktöründe %60, at gübresi eklenen K5 reaktöründe %58,3, domuz gübresi eklenen K4 reaktöründe %51,2 oranında OM kaybı olduğu tespit edilmiştir. Sığır gübresinin tek başına kompostlandığı K2 reaktöründe %57, at gübresinin tek başına kompostlandığı K7 reaktöründe %41 ve tavuk gübresinin tek başına kompostlandığı K8 reaktöründe %53 oranında OM kaybı tespit edilmiştir.

Arıtma çamuru veya hayvan gübrelerinin tek başlarına kompostlandığı reaktörlerde (R1, R2, K1, K2, K7, K8), birlikte kompostlama yapılan reaktörlere (K3, K5, K6) nispeten OM kayıpları daha az seviyelerdedir. Bunun ana nedeni birlikte kompostlama yapılan reaktörlerde karışık bir OM ortamı oluşturularak, mikrobiyal topluluğun ihtiyaç duyduğu substratın (C/N oranı) sağlanmış olmasıdır. Ayrıca bu substrat mikrobiyal topluluklar tarafından tüketilerek, reaktörlerde ısı çıkışı gerçekleştirmiş ve termofilik faz seviyelerine yükselen sıcaklıklar OM'nin bozunma hızını arttırarak OM kayıplarının da artmasına neden olmuştur.

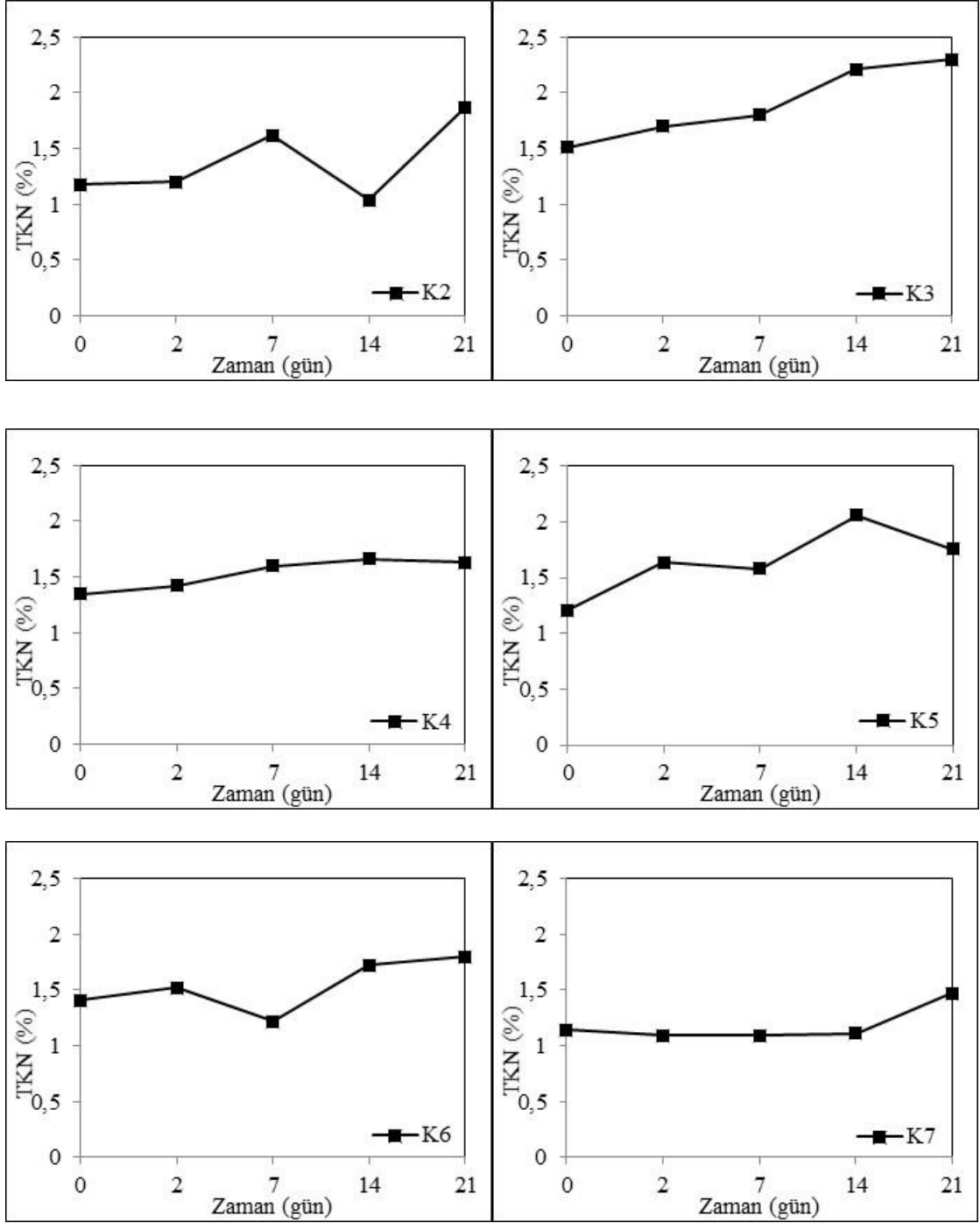


#### 4.2.6. Toplam kjeldahl azotu (TKN)

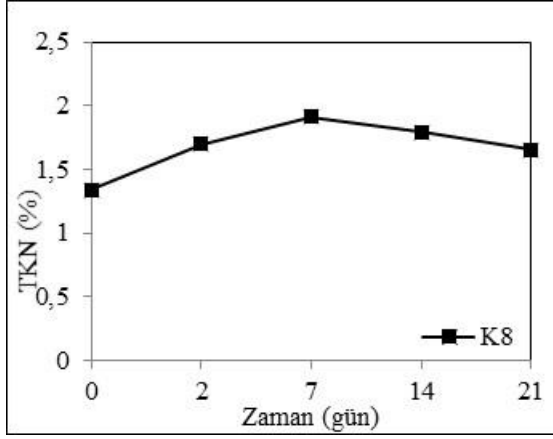
Toplam kjeldahl azotu, kompost olgunluğunun bir göstergesi olarak kabul edilir. Proses işleyişinde kritik bir öneme sahip olan azot değerleri, prosesin C/N oranını doğrudan etkileyerek mikrobiyal yaşamın üzerinde stres oluşturabilecek bir parametre olması dolayısı ile atık kütlesi içerisinde yüksek oranlarda bulunmaları istenilen bir durum değildir. Reaktörlere ait TKN değişimleri Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Reaktörlerde meydana gelen TKN değişimleri



Şekil 4.7. Reaktörlerde meydana gelen TKN değişimleri (devam)



**Şekil 4.7.** Reaktörlerde meydana gelen TKN değişimleri (devam)

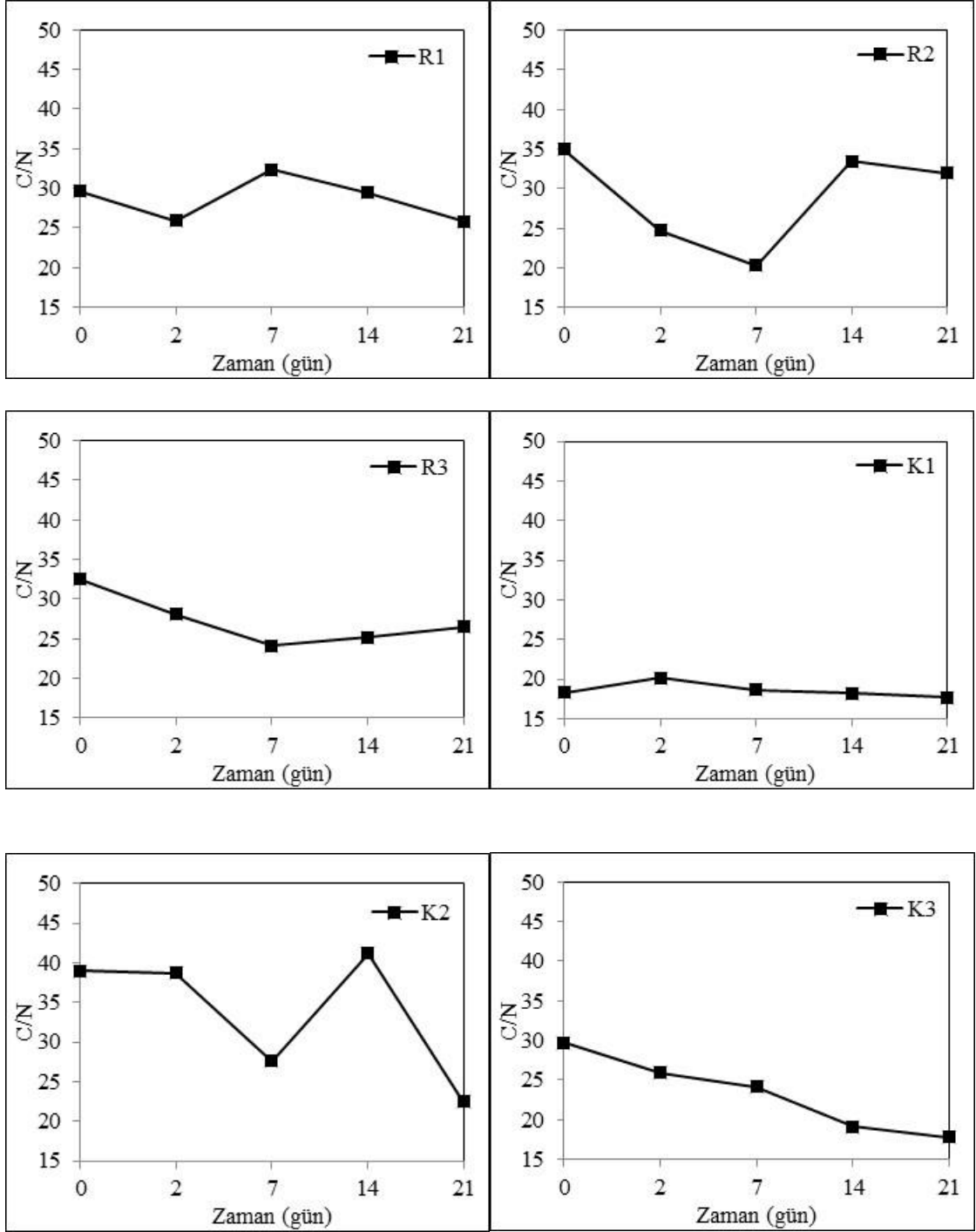
%1,14 ile en düşük TKN değerine sahip reaktör %80 at gübresi ve %20 ayçiçeği sapı ile oluşturulan K7 iken, %2,29 ile en yüksek TKN değerine sahip reaktör de %80 arıtma çamuru ve %20 ayçiçeği sapı ile oluşturulan K1'dir. Diğer reaktörlerdeki başlangıç TKN değerleri ise %1,18 ile %1,53 arasında değişmektedir. Proses boyunca reaktörlerde artış ve azalışlar gözlemlenmiştir. De Guardia ve diğerleri (2010)'a göre kompostlama sırasında TKN'nin atık miktarına ve havalandırma hızına bağlı olarak artış veya azalışlar gözlemlenmektedir. TKN içeriğindeki ilk artışların ise, muhtemelen kompostlama prosesinde sürecinde ilerlemesiyle birlikte atık kütledeki azot içeren maddelerin zenginleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. (Li ve diğerleri, 2012; Tu ve diğerleri, 2019).

Arıtma çamuru ile oluşturulan R1 reaktöründe %1,53 olan TKN değeri, süreç sonunda (21.gün) %0,24'lük bir artışla %1,77 değerine yükselmiştir. Arıtma çamuru ile oluşturulan bir diğer reaktör olan K1 reaktöründe ise %2,29 olan başlangıç değeri %5,2'lik bir azalışla %2,17'ye düşmüştür. Sığır gübresi ile oluşturulan R2 reaktöründe %1,26'dan %1,13'e düşmüş ve sığır gübresi ile oluşturulan bir diğer reaktör olan K2 reaktöründe ise %1,18'den %1,87'ye yükselmiştir. At gübresi ile oluşturulan K7 reaktöründe %1,14'ten %1,47'ye yükselmiş ve tavuk gübresi ile oluşturulan K8 reaktöründe de %1,34'ten %1,65'e yükselmiştir. Arıtma çamuruna %35 sığır gübresi eklenen R3 reaktöründe başlangıç değerine çok yakın bir değer gözlemlenmiş olup %40 sığır gübresi eklenen K3 reaktöründe ise %1,51'den %2,3'e yükselmiştir. Arıtma çamuruna domuz gübresi eklenen K4 reaktöründe %20,7'lik bir artış, at gübresi eklenen

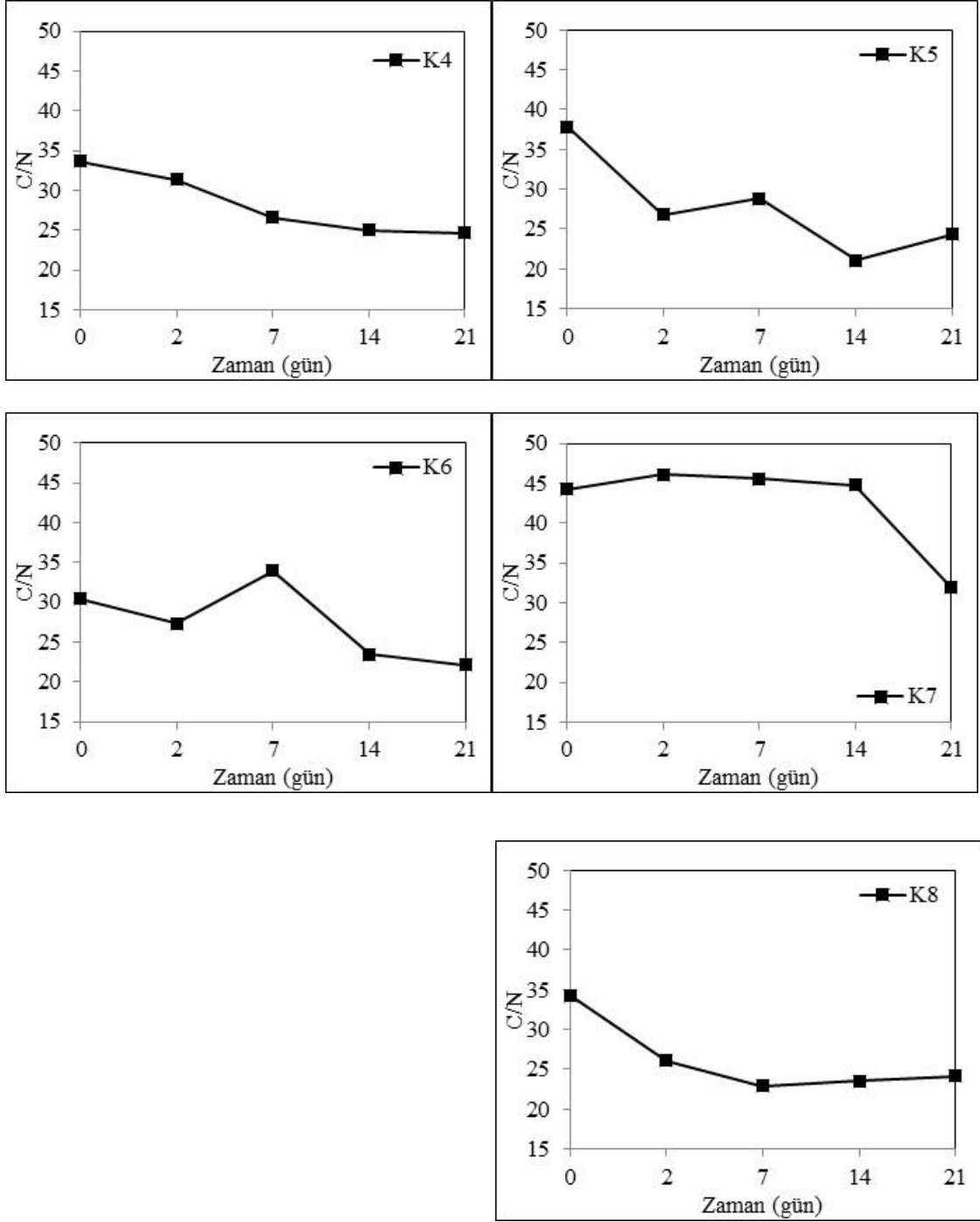
K5 reaktöründe %45'lik bir artış gözlemlenirken, tavuk gübresi eklenen K6 reaktöründe ise %28'lik bir artış gözlemlenmiştir. Artışların sebebinin başlangıç fazında yüksek miktarda kolay ayrışabilir organik maddenin mikroorganizmalar tarafından tüketilmesiyle reaktörlerde oluşan kuru madde ve organik madde kayıpları olduğu düşünülmektedir. En yüksek sıcaklığın (62,7°C) ölçüldüğü ve en fazla OM kaybının gerçekleştiği (%64,8) K3 reaktöründe %52,3'lük bir TKN artışı ile en fazla yükselmenin olması bu bilgiyi doğrular niteliktedir. Ayrıca, TKN'nin artmasına biyobozunma sırasında kompost yığınlarından kaynaklanan buharlaşma kayıplarına rağmen azot sabitleyen bakteriler de katkıda bulunmuş olabilir (Yin ve diğerleri, 2018; Kebibeche ve diğerleri, 2019). Bir diğer yaklaşım da, kompostlama sırasında organik maddeyi parçalayan mikroorganizmaların hücre yapılarındaki mevcut azotu geçici olarak depolaması ve kompostlama işlemi sırasında ölümleri gerçekleştikten sonra azotun serbest kalarak tekrar atık kütesine dönmesi ile azot konsantrasyonlarının artabileceği yönündedir (Haug, 1993; Bhave ve Kulkarni, 2019)

#### **4.2.7. Karbon/Azot oranı (C/N)**

Karbon ve azot mikroorganizmalar için temel besinlerdir ve içerikleri, farklı beslenme tercihleriyle kompostlamada görev alan mikroorganizmaların zenginleşmesini yani büyüyüp gelişmesini sağlarlar (Zhu ve diğ., 2021). Karbon temel bir enerji kaynağı olarak ve mikrobiyal hücreler oluşturmak için kullanılırken protein sentezi yoluyla mikrobiyal gelişim ve üreme için de azot gereklidir (Sweeten ve Auvermann, 2008; Nolan ve diğerleri, 2011). Farklı başlangıç C/N oranları karışım içerisinde çeşitli OM bozunma süreçlerine yol açarak kompostlama prosesindeki biyokimyasal süreçleri değiştirebilir (Wang ve diğerleri, 2019). Ekinci ve diğerleri (2020) gül posası ile kompostlama denemeleri yapmış oldukları çalışmalarında başlangıç aşamasındaki C/N oranının ayrışma hızını, kompost olgunluğunu, kuru madde ve organik madde kayıplarını önemli ölçüde etkilediğini söylemişlerdir. Reaktörlere ait C/N oranı değişimleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Reaktörlere ait C/N oranı değişimleri



**Şekil 4.8.** Reaktörlere ait C/N oranı değişimleri (devam)

Wei ve diğerleri (2020) arıtma çamuru ve saman ile yapmış oldukları kompostlama denemelerinde düşük C/N oranının termofilik fazda önemli rol oynayan termofilik mikroorganizmaların aktivitesini engelleyebileceğini öne sürmüşlerdir. Yapılan kompostlama denemelerinde 18,3 ile en düşük başlangıç C/N oranına sahip reaktör %80 arıtma çamuru ve %20 ayçiçeği sapı ile oluşturulan K1 reaktörüdür. En yüksek C/N

oranına sahip reaktör ise 44,2 ile %80 at gübresi ve %20 ayçiçeği sapı ile oluşturulan K7 reaktörüdür. Diğer reaktörlerin başlangıç C/N oranları ise 29,6 ile 39,0 arasında değişmektedir. Sadece arıtma çamuru ile oluşturulan reaktörlerde (R1, K1) diğer reaktörlere nispeten daha düşük C/N oranlarına rastlanmıştır. Fakat arıtma çamuruna hayvan gübrelere ilave edilen reaktörlerde başlangıç C/N oranlarında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Żukowska ve diğerleri (2019)'a göre arıtma çamurundan çok daha iyi C/N oranına sahip yardımcı substratların eklenmesi mikrobiyal büyüme için faydalı olmaktadır.

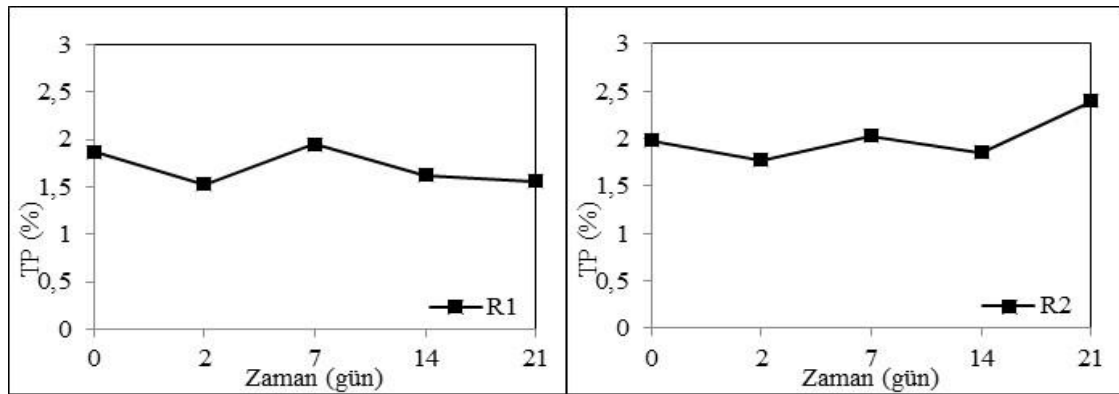
Organik azot, organik karbondan daha düşük oranda mineralize olur ve kompostlama işlemi sırasında C/N oranının düşmesine neden olmaktadır (Elango ve diğerleri, 2009; Zhan ve diğerleri, 2021). C/N oranı karbonhidratlar, yağlar ve amino asitler gibi karbonlu materyallerin kompostlamanın ilk aşamasında hızla bozunması ve daha sonraki süreçlerde selüloz, hemiselüloz ve ligninin dönüşüme uğraması nedeniyle kademeli olarak azalır (Moharana ve diğerleri, 2020). Arıtma çamuru ile oluşturulan R1 reaktöründe %12,8 azalma gözlemlenirken, bir diğer arıtma çamuru ile oluşturulan K1 reaktöründe ise %3,3 azalma gözlemlenmiştir. R1 reaktöründe sıcaklıkların termofilik faza ulaşamaması ile birlikte atık kütlesi içerisindeki mikroorganizmalar faaliyetlerini gerçekleştirememiş ve yeterli C/N oranı azalması sağlanamamıştır. K1 reaktöründe ise başlangıç C/N oranının %20'nin altında olması ve yine termofilik faza ulaşamamasından kaynaklı C/N oranı azalması düşük seviyelerde seyretmiştir. Düşük başlangıç C/N oranı, kompostlamanın başlangıcında, karbon kaynağı eksikliği nedeniyle mikroorganizmaların büyümeleri için uygun koşulları elde edememiştir (Huang ve diğerleri, 2004; Wei ve diğerleri, 2020). Sığır gübresi ile oluşturulan R2 reaktöründe %8,6'lık bir azalma gözlemlenirken, sığır gübresi ile oluşturulan bir diğer reaktör olan K2'de %42,4'lük bir azalma gözlemlenmiştir. İki reaktör arasındaki farklılığın sebebi R2 reaktöründe sıcaklığın (43,9°C) termofilik faz seviyesine yükselememesi, K2 reaktöründe ise sıcaklığın (58,7°C) termofilik faz seviyesine yükselmesi ve 8 gün boyunca bu sıcaklıklarda seyretmesi ile birlikte istenilen mikroorganizma faaliyetlerinin gerçekleşmesidir. At gübresi ile oluşturulan K7 reaktöründe %27,9 azalma gözlemlenirken, tavuk gübresi ile oluşturulan K8 reaktöründe %29,7 azalma tespit edilmiştir. Arıtma çamuruna sığır gübresi eklenen R3 ve K3 reaktörlerinde sırasıyla

%18,5, %40, domuz gübresi eklenen K4 reaktöründe %26,7, at gübresi eklenen K5 reaktöründe %35,7 ve tavuk gübresi eklenen K6 reaktöründe %27,4 azalma tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara bakıldığında arıtma çamurunun tek başına kompostlandığı reaktörlerde (R1, K1) atık kütlelerinde bulunan karbonun diğer reaktörlerdekilere nispeten daha zor parçalanabilir olduğu veya mikroorganizmalar için yararlı karbon içeriğinin düşük olduğu ve bu nedenlerden dolayı sıcaklık yükselmelerinin de az olmasının etkisiyle birlikte C/N oranındaki azalmaların diğer reaktörlerden daha az olduğu söylenebilir. Arıtma çamuruna hayvan gübrelerinin eklendiği reaktörlerde (K3, K4, K5, K6) iki ham materyalin birlikte kullanılması ile hem mikroorganizmalar için gerekli olan başlangıç C/N oranları sağlanmış olup hem de istenilen seviyelerde azalmalar da meydana gelmiştir.

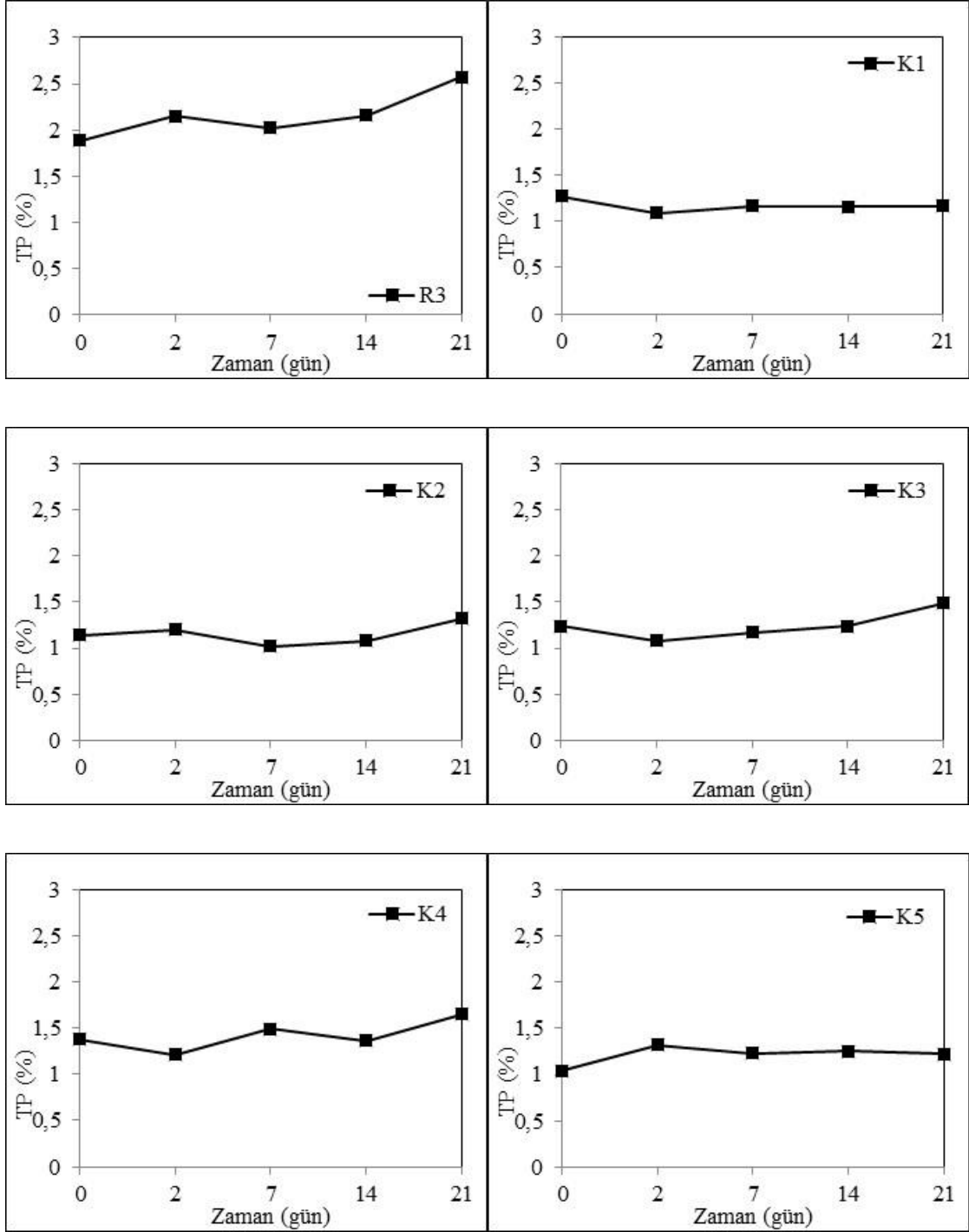
#### 4.2.8. Toplam fosfor (TP)

Organik atıklardaki fosfor miktarı çeşitli etkenlere göre değişkenlik göstermektedir. Bu miktar hayvan gübreleri için hayvanların yediklerine bağlı olarak, arıtma çamurları için ise arıtma tipine ve depolama yöntemlerine bağlı olarak değişebilmektedir. (Shober ve diğerleri, 2007; Galvez-Sola ve diğerleri, 2010). Komposttaki fosfor içeriği ise temel olarak atık kütlesi bileşenlerinin özelliklerine ve organik maddenin mikroorganizmalar tarafından bozunmasına bağlıdır (Galvez-Sola ve diğerleri, 2010). Bu etkilerin yanında kompostlama süresinin de toplam fosfor içeriği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir (Jakubus, 2016). Reaktörlere ait toplam fosfor değişimleri Şekil 4.9'da verilmiştir.

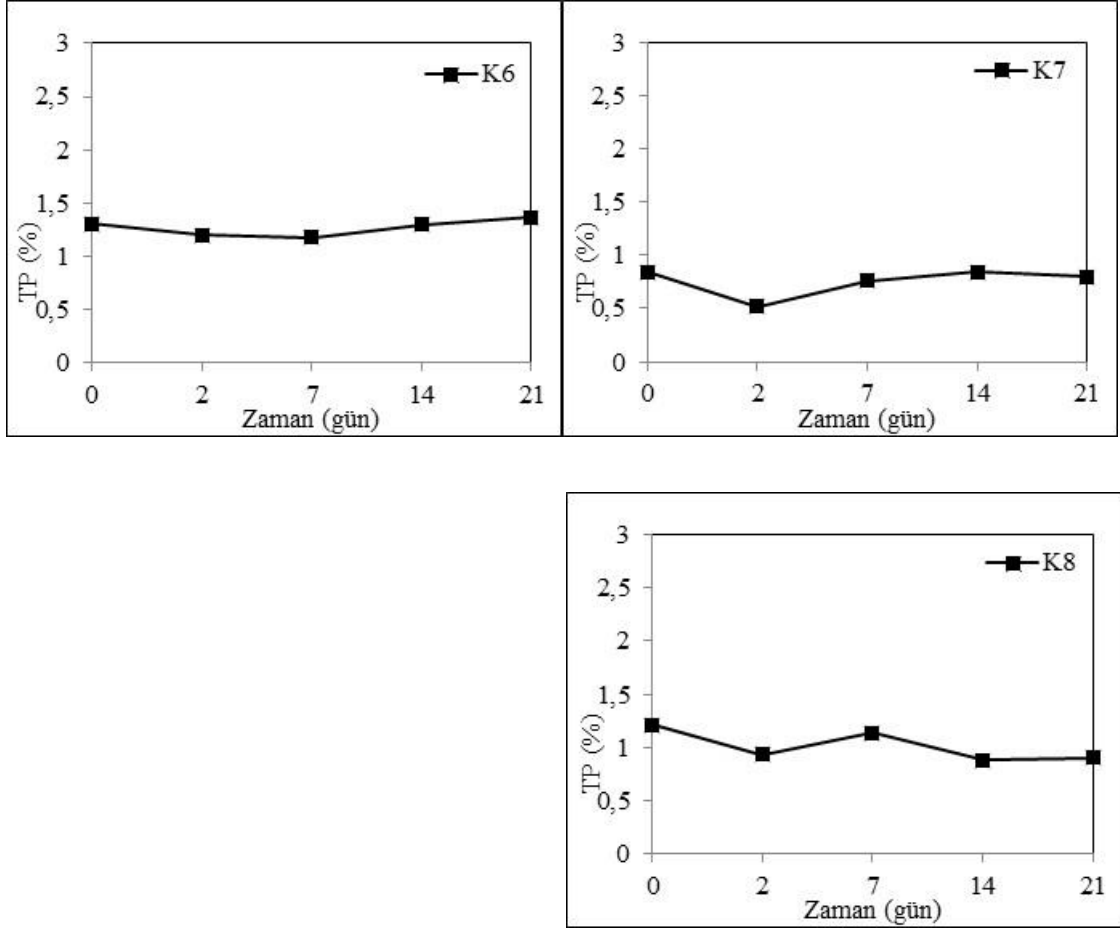


Şekil 4.9. Reaktörlere ait TP değişimleri





Şekil 4.9. Reaktörlere ait TP değişimleri (devam)



**Şekil 4.9.** Reaktörlere ait TP değişimleri (devam)

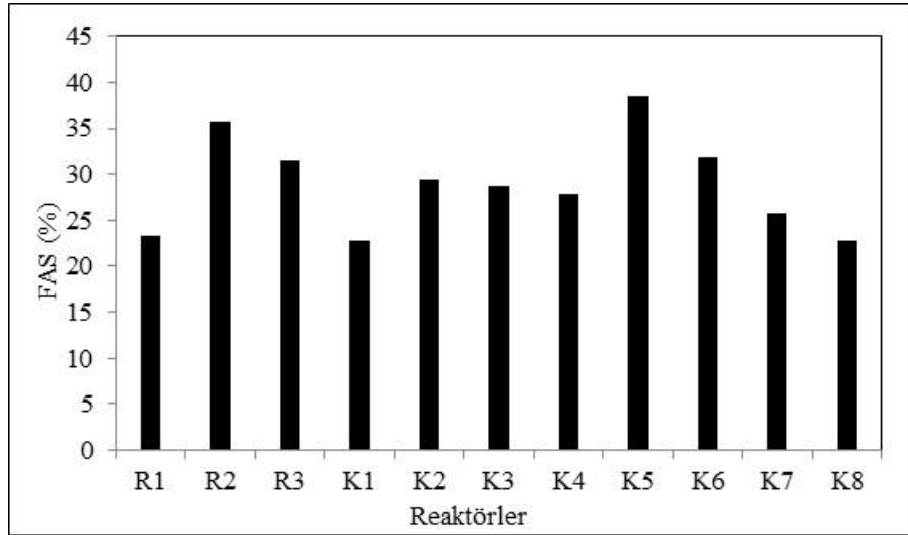
Reaktörlerdeki başlangıç TP konsantrasyonları kullanılan ham materyallerin de TP içeriklerine bağlı olarak %0,84 ile %1,98 arasında değişmektedir. En yüksek TP içeriğine sahip reaktör %70 sığır gübresi ve %30 ayçiçeği sapı ile oluşturulan R2 reaktörü olurken, en düşük TP içeriğine sahip reaktör %80 at gübresi ve %20 ayçiçeği sapı kullanılan K7 reaktörüdür.

Reaktörlerde sıcaklıkların yükselmesi, OM bozunması, C/N oranının azalması ile pH yükselmesine bağlı olarak fosfor konsantrasyonlarında artışlar gözlemlenmiştir. Süreç sonunda TP konsantrasyonları artan reaktörler R2, R3, K2, K3, K4, K5 ve K6 reaktörleridir. Zhen ve diğerleri (2021) farklı türden hayvan gübreleri (sığır, domuz, tavuk) ve mısır sapı ile gerçekleştirmiş oldukları kompostlama denemelerinde organik maddenin ayrışması ve mineralize olması sonucu kompost yığınlarındaki kuru madde içeriğinin azaldığını ve bunun bir sonucu olarak süreç sonunda TP konsantrasyonlarının arttığını dile getirmişlerdir. K7 reaktöründe TP konsantrasyonu süreç sonunda başlangıç

değerine yakın bir değerde seyretmiştir. R1 ve K8 reaktöründe ise süreç sonunda TP konsantrasyonlarında azalış gözlemlenmiştir.

#### 4.2.9. Serbest Hava Boşluğu (FAS)

Serbest hava boşlukları ortamda havanın yayılmasına izin verir ve mikroorganizmalar için ihtiyaç duydukları oksijeni sağlar. Birçok malzemenin karıştırılarak biyobozunması ve yeterli aerobik şartların sağlanması için %20-30 oranında FAS oranının sağlanması önerilmektedir (Haug, 1993). Yüksek seviyelerdeki FAS değerlerinde kompostlama sürecinde termofilik sıcaklıklar korunamamakta ve uçucu katıların biyozunma hızları düşmektedir (Michel ve diğerleri, 2004; Külcü, 2015). Reaktörlere ait FAS değerleri Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Reaktörlere ait FAS değerleri

Yapılan çalışmada %80 tavuk gübresi ile oluşturulan karışımda (K8) FAS değeri en düşük (%22,9), at gübresi ve arıtma çamuru ilavesi ile oluşturulan karışımda (K5) ise en yüksek (%38,5) olarak belirlenmiştir. Diğer reaktörlerdeki FAS değerleri %22,8 ile %35,7 aralığında bulunmaktadır. %70 sığır gübresi ile oluşturulan R2 reaktörü (%35,7), %35 arıtma çamuruna %35 sığır gübresi eklenen R3 reaktörü (%31,4) ve %40 arıtma çamuruna %40 tavuk gübresi eklenen K6 reaktöründe (%31,8) FAS değerleri %30'un üzerinde tespit edilmiştir.

Bu reaktörler dışındaki FAS değerleri literatür değerleri arasında yer almaktadır. Düzenleyici katkı maddeleri FAS değerlerini doğrudan etkilediği için gerekli miktarlarda kullanılması durumunda FAS değerleri tavsiye edilen aralıklarda bulunabilecektir.

## 5. SONUÇ

Yapılan çalışmada gıda endüstrisi arıtma tesisi kaynaklı evsel nitelikli arıtma çamurunun farklı hayvan gübrelere ve düzenleyici katkı maddesi olarak ayçiçeği sapı ilavesi ile kompostlanabilirliği incelenmiştir. Hayvan gübresi olarak sığır gübresi, domuz gübresi, at gübresi ve tavuk gübresi %40 oranında arıtma çamuruna eklenmiştir. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Arıtma çamurunun tek başına kompostlama işlemine tabi tutulduğu R1 ve K1 reaktörlerinde sıcaklıklar 40°C'yi aşmalarına rağmen daha yüksek sıcaklıklara ulaşamamaları termofilik faza geçiş yapamamıştır. 55°C'yi aşmayan bu reaktörler literatürde belirlenen sıcaklık ve sürelerin sağlanamaması dolayısıyla yeterli hijyenizasyon gerçekleşmemiştir.
- Hayvan gübrelere tek başına kompostlama işlemine tabi tutulduğu R2, K7 ve K8 reaktörlerinde sıcaklıklar 40°C'yi aşmalarına rağmen literatürde belirlenen süreler boyunca sıcaklıklarını koruyamamış ve yeterli hijyenizasyon sağlanmadığı gözlemlenmiştir. %80 sığır gübresi ve %20 ayçiçeği sapı ilavesi ile oluşturulan reaktör olan K2 reaktörü ise 55°C'yi aşmış ve hijyenizasyon koşullarını sağlamıştır.
- Arıtma çamuruna sığır gübresi eklenen R3 (%35 AÇ, %35 SG) reaktöründe literatürde belirlenen hijyenizasyon kriterleri sağlanamazken bir diğer arıtma çamuru ve sığır gübresi ile oluşturulan K3 (%40 AÇ, %40 SG) reaktöründe çalışmadaki en yüksek sıcaklık olan 62,7°C gözlemlenmiş olup hijyenizasyon kriterleri sağlanmıştır. İki reaktör arasındaki farklılık karışım reçetesi ile ilgilidir. %20 düzenleyici katkı maddesi ilavesinin kompost verimliliğini arttırdığı tespit edilmiştir.
- Arıtma çamuruna domuz gübresi eklenen K4 (51,5°C) reaktöründe sıcaklık yükselmesi istenen seviyede olmazken, at gübresi eklenen K5 (60,2°C) reaktöründe ve tavuk gübresi eklenen K6 (62,2°C) reaktöründe termofilik faz seviyelerinde ulaşılmış ve istenilen hijyenizasyon koşulları sağlanmıştır. Domuz gübresinin bulamaç halinde olması ve domuzların beslenme alışkanlıklarına bağlı

olarak oluşan gübrenin fizikokimyasal özelliklerinin sıcaklıkların yükselmesine engel olduğu düşünülmektedir.

- 21 günlük proses sonunda pH ve EC değerlerinin standartlara uygun aralıktadır olduğu tespit edilmiştir. Sadece K2 reaktöründe pH değeri 8,66 olarak tespit edilmiş olup istenilen seviyenin (5,5-8,5) biraz üzerinde kalmıştır. Ancak aktif kompost fazını takiben olgunlaştırma fazı uygulanmasının ardından bu reaktörde de pH değeri istenilen seviyelere gelecektir.
- Başlangıç nem içeriği açısından birinci iş paketinde kullanılan sığır gübresinin diğer materyallere nispeten daha düşük nem içeriğine sahip olmasından dolayı bu materyalin kullanıldığı R2 ve R3 reaktörlerinde nem içerikleri diğer reaktörlere göre daha düşük seviyelerdedir. Fakat düşük olmakla birlikte tüm reaktörlerde, bu iki reaktörde dahil, kompostlama için literatürde belirlenen başlangıç nem içerikleri kriterleri sağlanmıştır. Kompost Tebliği'ne göre elde edilen kompostun araziye uygulanması için nem içeriğinin %30'un altında olması gerekmektedir. Fakat tüm reaktörlerde proses sonunda başlangıç nem içeriklerine yakın değerler elde edilmiş olup içeriklerin %30 altına düşmesi için olgunlaşma süresine ihtiyaç duyulduğu söylenebilir.
- Hazırlanan 11 karışımın tamamında proses sonunda organik madde kayıpları meydana gelmiştir. Sıcaklığın yeterince yükselmediği R1 (%70 A), R2 (%70 SG) ve R3 (%35 A, %35 SG) reaktörlerinde organik madde kayıpları çok az miktarda gerçekleşmiştir. Bu durum atık kütleleri içerisinde kolay parçalanabilir formda organik maddenin yeterli seviyelerde olmaması ve düzenleyici katkı maddesinin oranı ile ilgilidir. Termofilik fazda uzun süre kalan reaktörlerde organik madde kayıplarının diğer reaktörlere nispeten daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca arıtma çamuruna hayvan gübresi eklenen reaktörlerde ise (K3, K5, K6) en yüksek organik madde kaybına ulaşılmıştır.
- Başlangıç TKN içeriği açısından, C/N oranını olumsuz yönde etkileyecek kadar yüksek değerlere sadece K1 reaktöründe rastlanmıştır. %2,29 ile en yüksek başlangıç TKN içeriğine sahip reaktör olan K1 reaktöründe, bu yüksek değerin

etkisiyle reaktörde başlangıç C/N oranı düşük kalmıştır ve istenilen verimliliğe ulaşamamıştır. Diğer reaktörlerdeki başlangıç TKN içerikleri ise proses işleyişini etkileyecek kadar yüksek seviyelerde değildir.

- 21 günlük proses sonunda %70 sığır gübresi ile oluşturulan R2 reaktörü ve %80 arıtma çamuru ile oluşturulan K1 reaktörü hariç tüm reaktörlerde TKN içeriklerinde artışlar tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen en yüksek sıcaklığa (62,7°C) sahip ve en fazla OM kaybının gerçekleştiği (%64,8), %40 arıtma çamuru, %40 sığır gübresi ve %20 ayçiçeği sapı ile oluşturulan reaktör olan K3 reaktöründe süreç sonunda %52,3 ile en fazla TKN artışı gözlemlenmiştir. Onu takiben sıcaklıkların 60°C üzerine çıktığı ve OM kayıplarının diğer reaktörlere nispeten fazla olduğu K5 reaktöründe (%40 AÇ, %40 AG) %45 ve K6 reaktöründe (%40 AÇ, %40 TG) %28 TKN artışı gözlemlenmiştir. Arıtma çamurlarına ek substrat olarak hayvan gübrelerinin eklendiği bu reaktörlerde sıcaklık ve OM kayıplarına bağlı olarak süreç sonunda artan TKN miktarlarının proses verimliliğinin bir göstergesi olduğu gözlemlenmiştir.
- Yapılan çalışmada tüm reaktörlerde mikroorganizma faaliyetlerine ve sıcaklık yükselmesine bağlı olarak C//N oranında azalmalar meydana gelmiştir. Sıcaklığın yükselmediği R1 (%70 AÇ), R2 (%70 SG) ve K1 (%80 AÇ) reaktörlerinde C/N oranı azalması az miktarda olmuştur. K1 reaktöründe bu durum başlangıç C/N oranının düşük olması ile birlikte atık kütlesi içerisindeki mikroorganizmaların büyümek amaçlı karbon bulamaması ve bu eksiklik dolayısı ile strese girerek inaktive olmasından kaynaklanmış olabilir. R1 (12,8) ve R2 (%8,6) reaktörlerinde ise sıcaklık yükselmesi sağlanamaması dolayısı ile mikroorganizma faaliyetleri düşük seviyelerde kalmış ve yeterli C/N oranı azalmasının sağlanamamış olduğu söylenebilir. Ayrıca sığır gübresinin tek başına kompostlandığı K2 (%42,4) ve arıtma çamuruna sığır gübresi eklenen K3 (%40) reaktörlerinde en yüksek C/N oranı azalması gözlemlenmiştir.
- Kompost Tebliği'ne göre olgunlaşmış kompostta C/N oranının 10 ile 30 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. R2 (%70 SG) ve K7 (%80 AG) reaktörleri hariç tüm reaktörler olgunlaşma fazına geçmeden aktif kompost fazında bu kriteri

sağlamıştır. R2 ve K7 reaktörleri de belirli bir süre olgunlaşma fazında bekletilmeleri sonucunda bu kriterleri sağlayabileceklerdir.

- Fosfor laboratuvarında sentezlenmesi mümkün olmayan bir element olduğundan ve kimyasal gübre kullanımı ile toprağa fosfor verilmesinin yanlış kullanımlar dolayısı ile çevresel riskler oluşturduğu düşünüldüğünde, topraktaki fosfor mevcudiyetini arttırmak için kompost kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu doğrultuda toprak özelliklerine göre, yapılmış olan çalışmada elde edilen ve yeterli hijyenizasyon sağlanmış kompostlar (K2, K3, K5, K6) toprağa uygulanarak deneme amaçlı çalışmalar yürütülebileceği düşünülmektedir.
- FAS değerleri %70 sığır gübresi ile oluşturulan R2 reaktörü (%35,7), arıtma çamuruna %35 sığır gübresi eklenen R3 reaktörü (%31,4), %40 at gübresi eklenen K5 reaktörü (%38,5), ve %40 tavuk gübresi eklenen K6 reaktöründe (%31,8) literatürde belirtilen %20-30 aralığına uymamaktadır. Reaktörlerin FAS değerlerini doğrudan etkileyen düzenleyici katkı maddesinin gerekli miktarlarda kullanılması ile %30'un altında değerler elde edilebileceği düşünülmektedir.
- Dünya genelinde nüfus artışının ve bu artışla birlikte hem kişisel ihtiyaçlar dolayısı ile hem de endüstrilerin üzerinde oluşan yoğun talep baskısının etkisiyle birlikte kullanılan atık su miktarları sürekli artmaktadır. Buna paralel olarak da arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları miktarları artmaktadır. Oluşan bu çamurlar için depolama sahalarında büyük alanlar ayırmak yerine miktarları sürekli artan hayvan gübreleri ile kompostlama işlemi yapılması hem daha ekonomik hem de daha çevreci bir yaklaşım olacaktır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda arıtma çamurlarının sadece bir düzenleyici katkı maddesi yardımı ile kompostlanması yerine ek bir substrat olarak hayvan gübrelerinin de sürece ilave edilmesi ile kompostlama kalitesinin arttığı tespit edilmiştir. Arıtma çamuruna hayvan gübresi ilave edilen reaktörlerde sıcaklıkların ilk günlerden yükselerek termofilik faza geçmesi ve uzun süreler boyunca bu aralıkta kalarak istenilen hijyenizasyon seviyelerine ulaşılması kompost kalitesinin arttığının en büyük kanıtı olarak gösterilebilir. Ayrıca laboratuvar ölçekli bu çalışmada sıcaklıkların 60°C ve



üzerine çıktığı düşünülecek olursa aynı kompost reçetelerinin büyük ölçekli atık kütleleri üzerinde denenmesi sonucu Kompost Tebliği'nde istenilen daha yüksek ve uzun süreli sıcaklıkların da elde edilebileceği düşünülmektedir. Arıtma çamuruna %40 oranında hayvan gübresi ilave edilen reaktörlerde organik madde kayıplarının da yüksek seviyelerde olduğunu düşünürsek kompostlama prosesinin her aşamasında büyük öneme sahip mikroorganizma topluluklarının zenginleşmesi ve faaliyetlerini sürdürmesi için uygun ortamın arıtma çamuru ve hayvan gübreleri ile birlikte sağlandığını söyleyebiliriz.

## KAYNAKLAR

- Adhikari, B. K., Barrington, S., Martinez, J., & King, S. (2009). Effectiveness of three bulking agents for food waste composting. *Waste Management* (Oxford), 29(1), 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.04.001>
- Ajmal, M., Shi, A., Awais, M., Mengqi, Z., Zihao, X., Shabbir, A., Faheem, M., Wei, W., & Ye, L. (2021). Ultra-high temperature aerobic fermentation pretreatment composting: parameters optimization, mechanisms and compost quality assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105453. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105453>
- Akın, Y., & Çelen, M. F. (2019). Kanatlı Hayvan Sektörünün Atık Sorunu Ve Atıklar Bazı Yöntemlerle Değerlendirilebilme Olanakları. II. Uluslararası Bilim ve Akademik Kongresi. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36035.63523>
- Al-khadher, S. A. A., Kadir, A. A., Al-Gheethi, A. A. S., & Azhari, N. W. (2021). Takakura composting method for food wastes from small and medium industries with indigenous compost. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(46), 6551365524. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15011-0>
- Amerika Çevre Koruma Ajansı, EPA. (1993) Standards for the use and Disposal of Sewage, 40 CFR Parts 257, 403, and 503 (FRO-4203-3), Final Rule, Fed. Register, 58, 9248, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Amerika Çevre Koruma Ajansı, EPA. (n.d.) *Composting at home*. [https://www.epa.gov/recycle/composting-home?fbclid=IwAR3x4Wnb3gn7-Um\\_CYMBBSGAgys73uyxcLrLdeJUSQ5Rot9tNQhmF-LFymE](https://www.epa.gov/recycle/composting-home?fbclid=IwAR3x4Wnb3gn7-Um_CYMBBSGAgys73uyxcLrLdeJUSQ5Rot9tNQhmF-LFymE)
- Angın, İ. (2016). Arıtma çamurlarının stabilizasyonuna alternatif bir yaklaşım: vermistabilizasyon. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 47(2), 123-129.
- APHA, AWWA, WPCF. (1998). Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. Copyright by American Public Health Association, 20th edition, Baltimore, USA, 1269.
- Arias, O., Vina, S., Uzal, M., & Soto, M. (2017). Composting of pig manure and forest green waste amended with industrial sludge. *Science of the Total Environment*, 586, 1228-1236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.118>
- Aşık, B. B. (2004). *Penguen gıda sanayi arıtma tesisi atıklarının tarımsal açıdan kimi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi*, (Yayın No.154110) [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi] Yök Tez.

- Atık Yönetimi Yönetmeliği. (2015 Nisan 2). *Atıkların yönetilmesine dair usul ve esaslar*. T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm>
- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Bundela, P. S., Wong, J. W. C., Li, R., & Zhang, Z. (2016). Co-composting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. *Bioresource Technology*, 213, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.026>
- Bao, Y., Feng, Y., Qui, C., Zhang, J., Wang, Y., & Lin, X. (2021). Organic matter- and temperature-driven deterministic assembly processes govern bacterial community composition and functionality during manure composting. *Waste Management*, 131, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.033>
- Barrington, S., Choinière, D., Trigui, M., & Knight, W. (2002). Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource Technology*, 83(3), 189-194. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00229-2](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00229-2)
- Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı. (2019). Bartın ili biyogaz ve biyokütle potansiyelinin hesaplanmasına yönelik ön fizibilite raporu. *Bakka Kütüphanesi*. <http://bakkakutuphane.org/>
- Bernal, M., Bescos, B., Burgos, L., Bustamante, M. A., Clemente, R., Fabbri, C., Flotats, X., Garcia-Gonzalez, M. C., Herreo, E., Mattachini, G., Moscatelli, G., . . . Wisniewska, H. (2015). Evaluation of manure management systems in Europe. *Aragonese Society of Agroenvironmental Management*, 1-180.
- Bhave, P. P., & Kulkarni, B. (2019). Effect of active and passive aeration on composting of household biodegradable wastes: a decentralized approach. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 335-344. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00306-7>
- Brady, N. C. (1991). *The Nature and Properties of Soil*. (10. Ed.) MacMillan Publishing Co. Inc. Newyork. ISBN: 0-02-313361-9
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). *Nitrogen-total in: Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. (A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney Eds.), ASA and SSSA, Agronomy Monograph No. 9, Madison, WI, 95-624.
- Camcı, Ö., Sarıca, M., & Şekeroğlu A. (2013). Kafes Sisteminde Gübrenin Uzaklaştırılması ve Yönetimi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, (10)1, 35-39.

- Cerne, M., Palcic, I., Pakovic, I., Major, N., Romc, M., Filipovic, V., Igrc, M. D., Percin, A., Ban, S. G., Zorko, B., Vodenik, B., Cindro, D. G., Milacic, R., Heath, D. J., & Ban, D. (2019). The effect of stabilization on the utilization of municipal sewage sludge as a soil amendment. *Waste Management*, 94, 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.032>
- Chia, W. Y., Chew, K. W., Le, C. F., Lam, S. S., Chee, C. S. C., Ooi, M. S. L., & Show, P. L. (2020). Sustainable utilization of biowaste compost for renewable energy and soil amendments. *Environmental Pollution*, 267, 115662. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115662>
- Chen, C., Zhang, P., Zeng, G., Deng, J., Zhou, Y., & Lu, H. (2010). Sewage sludge conditioning with coal fly ash modified by sulfuric acid. *Chemical Engineering Journal*, 158(3), 616-622. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.02.021>
- Chen, J., Hou, D., Pang, W., Nowar, E. E., Tomberlin, J. K., Hu, R., Chen, H., Xie, J., Zhang, J., Yu, Z., & Li, Q. (2019). Effect of moisture content on greenhouse gas and NH<sub>3</sub> emissions from pig manure converted by black soldier fly. *Science of The Total Environment*, 697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133840>
- Chen, X., Zhao, Y., Zeng, C., Li, Y., Zhu, L., Wu, J., Chen, J., & Wei, Z. (2019). Assessment contributions of physicochemical properties and bacterial community to mitigate the bioavailability of heavy metals during composting based on structural equation models. *Bioresource Technology*, 289, 121657. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121657>.
- Chen, T., Zhang, S., & Yuan, Z. (2020). Adoption of solid organic waste composting products: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122712. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122712>
- Chen, X., Zhao, Y., Zhao, X., Wu, J., Zhu, L., Zhang, X., Wei, Z., Liu, Y., & He, P. (2020). Selective pressures of heavy metals on microbial community determine microbial functional roles during composting: Sensitive, resistant and actor. *Journal of Hazardous Materials*, 398, 122858. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122858>
- Cucina, M., Tacconi, C., Sordi, S., Pezzolla, D., Gigliotti, G., & Zadra, C., (2018). Valorization of a pharmaceutical organic sludge through different composting treatments. *Waste Management*. 74, 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.017>
- Cucina, M., De Nisi, P., Trombino, L., Tambone, F., & Adani, F. (2021). Degradation of bioplastics in organic waste by mesophilic anaerobic digestion, composting and soil incubation. *Waste Management*, 134, 66-77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.016>.

- Cudjoe, D., & Acquah, P. M. (2021). Environmental impact analysis of municipal solid waste incineration in African countries. *Chemosphere*, 265, 1291186. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129186>
- Cui, H., Ou, Y., Wang, L., Yan, B., & Bao, M. (2022). Tetracycline hydrochloride-stressed succession in microbial communities during aerobic composting: Insights into bacterial and fungal structures. *Chemosphere*, 289, 133159. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133159>
- Czechowski, F., & Marcinkowski, T. (2006). Sewage sludge stabilisation with calcium hydroxide: Effect on physicochemical properties and molecular composition. *Water Research*, 40(9), 1895-1905. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.02.023>
- Çallı, B. (2012). Atıklardan biyogaz üretimi. *Türkiye Kimya Derneği – Genç Kimyacılar Platformu*.
- Dadrasnia, A., Munoz, I. B., Yanez, E. H., Lamkaddam, I. U., Mora, M., Ponsa, S., Ahmed, M., Argelaguet, L. L., Williams, P. M., Oatley-Radcliffe, D. L. (2021). Sustainable nutrient recovery from animal manure: A review of current best practice technology and the potential for freeze concentration. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128106. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128106>
- Dede, G. (2017). Süs bitkisi toprağında arıtma çamuru stabilizasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 217-225.
- de Guardia, A., Mallard, P., Teglia, C., Marin, A., Le Pape, C., Launay, M., Benoist, J. C., & Petiot, C. (2010). Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting: part 2, nitrogen dynamic. *Waste Management*, 30(3), 415-425. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.018>
- Deloitte. (2014). Biyokütlenin altın çağı. *Deloitte Türkiye. Member of Deloitte Touche Tohmatsu Limited Yayını*. <https://www2.deloitte.com/tr/tr/pages/energy-and-resources/articles/golden-age-of-biomass-article.html>
- Demir, E. (2019). *Arıtma çamurlarının anaerobik çürütülmesinde hidrodinamik kaviteasyonun biyogaz verimine etkisi*, (Yayın No. 596005) [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi] Yök Tez.
- Diaz, L. F., Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (2007). *Compost Science and Technology*. Elsevier Publishers, 51(8), 1478-7482.
- Drózd, D., Wystalska, K., Malińska K., Grosser A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. (2020). Management of poultry manure in Poland – current state and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, 264, 110327. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110327>

- Duan, H., Ji, M., Chen, A., Zhang, B., Shi, J., Liu, L., Li, X., & Sun, J. (2021). Evaluating the impact of rice husk on successions of bacterial and fungal communities during cow manure composting. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 102084. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102084>
- Duan, Z., Scheutz, C., & Kjeldsen, P. (2021). Trace gas emissions from municipal solid waste landfills: A review. *Waste Management*, 119, 39-62. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.015>
- Dümenci, N. A., Yolcu, Ö. C., Temel, F. A., Turan, N. G. (2021). Identifying the maturity of co-compost of olive mill waste and natural mineral materials: Modelling via ANN and multi-objective optimization. *Bioresource Technology*, 338, 125516. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125516>
- Ekinci, K., Tosun, İ., Kumbul, B. S., Şevik, F., Sülük, K., & Bitrak, N. B. (2020). Aeration requirement and energy consumption of reactor-composting of rose pomace influenced by C/N ratio. *Environmental Monitoring And Assessment*, 192, 563. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08528-3>
- Elango, D., Thinakaran, N., Panneerselvam, P., & Sivanesan, S. (2009). Thermophilic composting of municipal solid waste. *Applied Energy*, 86(5), 663-668. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.06.009>
- Eleroğlu, H., Yıldız, S., & Yıldırım, A. (2013). Tavuk Dışkımasının Çevre Sorunu Olmaktan Çıkarılmasında Uygulanan Yöntemler. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 2, 14-24.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). *Enerji: Biyokütle*. [Bilgi formu]. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle>
- Erdin, E. (2006). Türkiye'deki kompost üretimi [PowerPoint slayt]. . [http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/tr\\_kompost\\_uretimi.pdf](http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/tr_kompost_uretimi.pdf)
- Estrado-Bonilla, G. A., Lopes, C. M., Durrer, A., Alves, P. R. L., Passaglia, N., & Cardoso, E. J. B. N. (2017). Effect of phosphate-solubilizing bacteria on phosphorus dynamics and the bacterial community during composting of sugarcane industry waste. *Systematic and Applied Microbiology*, 40(5), 308-313. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2017.05.003>
- Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına dair Yönetmelik. (2010 Ağustos 3). *Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair usul ve esaslar*. T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/08/20100803-5.htm>
- Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi. (2015). *Çamur yönetimi*. T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>

- Ezemagu, I. G., Ejimofor, M. I., Mekiti, M. C., & Diyoke, C. (2021). Biofertilizer production via composting of digestate obtained from anaerobic digestion of post biocoagulation sludge blended with saw dust: physiochemical characterization and kinetic study. *Environmental Challenges*, 5, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100288>
- Ezugworie, F. N., Igbokwe, V. C., & Onwosi, C. O. (2021). Proliferation of antibiotic-resistant microorganisms and associated genes during composting: an overview of the potential impacts on public health, management and future. *Science of The Total Environment*, 784, 147191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147191>
- Fan, Shiyang, Li, A., Heijne, A. T., Buisman, C. J. N., & Chen, W. S. (2021). Heat potential, generation, recovery and utilization from composting: a review. *Resources, Conservation & Recycling*, 175, 105850. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105850>
- Franca, L. S., & Bassin, J. P. (2020). The role of dry anaerobic digestion in the treatment of the organic fraction of municipal solid waste: A systematic review. *Biomass and Bioenergy*, 143, 105866. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105866>
- Fu, J., Pan, F., Song, S., Zhang, L. R., Luo, Y., Chen, W., & Liang, Y. (2013). Biodegradation of phthalic acid esters in sewage sludge by composting with pig manure and rice straw. *Environmental Earth Sciences*, 68(8), 2289-2299. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1915-5>
- Galvez-Sola, L., Morales, J., Mayoral, A. M. Marhuenda-Egea, F. C., Martinez-Sabater, E., Perez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A, Paredes, C., & Moral, R. (2010). Estimation of phosphorus content and dynamics during composting: use of near infrared spectroscopy. *Chemosphere*, 78(1), 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.09.059>
- Ge, M., Zhou, H., Shen, Y., Meng, H., Li, R., Zhou, J., Cheng, H., Zhang, Xi, Ding, J., Wang, J., & Wang, J. (2020). Effect of aeration rates on enzymatic activity and bacterial community succession during cattle manure composting. *Bioresource Technology*, 304, 122928. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122928>
- Ge, M., Shen, Y. Ding, J., Meng, H., Zhou, H., Zhou, J., Cheng, H., Zhang, X., Wang, J., Wang, H., Cheng, Q., Li, R., & Liu, J. (2022). New insight into the impact of moisture content and pH on dissolved organic matter and microbial dynamics during cattle manure composting. *Bioresource Technology*, 344. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126236>.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 112, 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>.

- Guo, H. N., Wu, S. B., Tian, Y. J., Zhang, J., & Liu, H. T. (2021). Application of machine learning methods for the prediction of organic solid waste treatment and recycling processes: A review. *Bioresource Technology*, 319, 124114. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124114>
- Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering* (1st edn.) Lewis Publishers, Boca Raton.
- He, Z., Pagliari, P. H., & Waldrip, H. M. (2016). Applied and environmental chemistry of animal manure: a review. *Pedosphere*, 26(6), 779-816. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60087-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60087-X)
- He, X., Chen, L., Han, L., Liu, N., Cui, R., Yin, H., & Huang, G. (2017). Evaluation of biochar powder on oxygen supply efficiency and global warming potential during mainstream large-scale aerobic composting. *Bioresource Technology*, 245, 309-317. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.076>
- Hoorweg, D., Thomas, L., & Otten, L. (1999). Composting and its applicability in developing countries. *The World Bank*, 2010–2010.
- Huang, G. F., Wong, J., Wu, Q. T., & Nagar B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, 24(8), 805. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011>
- Huang, S., Ma, Q., Hou, Q., Zuo, T., Zhang, Z., & Ni, W. (2021). Identification and quantitative chemical analysis of betaines in different organic wastes and their bioconversion composts. *Bioresource Technology*, 328, 124857. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124857>
- Hwang, H. Y., Kim, S. H., Kim, M. S., Park, S. J., & Lee, C. H. (2020). Co-composting of chicken manure with organic wastes: characterization of gases emissions and compost quality. *Applied Biological Chemistry*, 63, 3. <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0483-8>
- Jakubus, M. (2016). Estimation of phosphorus bioavailability from composted organic wastes. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 28(1-4), 189-198. <https://doi.org/10.1080/09542299.2016.1227687>
- Joseph, A. M., Snellings, R., Nielsen, P., Matthys, S., & Belie, N. D. (2020). Pre-treatment and utilisation of municipal solid waste incineration bottom ashes towards a circular economy. *Construction and Building Materials*, 260, 120485. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120485>
- Karim, A. A., Kumar, M., Mohapatra, S., Singh, S.K., (2019). Nutrient rich betaine aldehyde biomass and effluent sludge wastes co-utilization for production of biochar fertilizer through different thermal treatments. *Journal of Cleaner Production*, 228, 570–579. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.330>



- Katkat, A. V., Namlı, A., Akça, E., Erdal, İ., Ortaş, İ., İrget, M. E., Aydın, M., Yıldız, N., Tamer, N., Yaldız, O., Külcü, R., Gezgin, S., . . . Anacak, S., Kınacı, E. (Eds.). (2018). *Organomineral gübre çalıştayı bildiriler*.  
<https://www.sutas.com.tr/uploads/images/TEMA-organomineral-gubre-calistayi-bildirileri.pdf>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Woerden, F. V. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Group.
- Kebibeche, H., Khelil, O., Kacem, M., & Harche, M. K. (2019). Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168, 423-430.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.075>
- Khalil, A I., Hassouna, M. S., El-Ashqar, H. M. A., & Fawzi, M. (2011). Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge. *World Journal Microbiology Biotechnology* 27, 2359–2369.
- Kızılgöz, İ. (2012). Organik Bitkisel Üretimin Vazgeçilmez Girdisi: Ahır Gübresi. *Ziraat Mühendisliği*, (358), 14-17 . Retrieved from  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/zm/issue/52108/680906>
- Kolecka, K., Gajewska, M., Obarska-Pempkowiak, H., & Rohde, D. (2017). Integrated dewatering and stabilization system as an environmentally friendly technology in sewage sludge management in Poland. *Ecological Engineering*, 98, 346-353.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.011>
- Kompost Tebliği. (2015 Mart 5). *Kompost tebliği*. T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.  
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/03/20150305-8.htm>
- Külcü, R. (2015). Determination of the relationship etermination of the relationships between FAS values and energy consumption in the composting process. *Ecological Engineering*, 81, 444-450.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.026>
- Lalremruati, M., & Devi, A. S., (2021). Changes in physico-chemical properties during composting of three common household organic solid wastes amended with garden soil. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100727.  
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100727>
- Leip, A., Vries, W., Achermann, B., Billen, G., Bleeker, A., Bouwman, A. F., Johnes, P., J., Monni, S., Orlandini, L., Johnes, P. J., . . . Winiwarter, W. (2011). Integrating nitrogen fluxes at the European scale. In book *European Nitrogen Assessment* (pp.345-376) Chapter: 16 Publisher: Cambridge University Press.

- Li, R., Wang, J. J., Zhang, Z., Shen, F., Zhang, G., Qin, R., Li, X., & Xiao, R. (2012). Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite. *Bioresource Technology*, 121, 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.065>
- Li, J., Akdeniz, N., Kim, H. H. M., Gates, R. S., Wang, X., & Wang, K. (2021). Quantification of sustainable animal manure utilization strategies in Hangzhou, China. *Agricultural Systems*, 191, 103150. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103150>
- Li, M. X., He, X. S., Tang, J., Li, X., Zhao, R., Tao, Y. Q., Wang, C., Qiu, Z. P. (2021). Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting. *Chemosphere*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128549>.
- Li, H., Xu, Y., Zheng, X., Tan, L., Cheng, W., Zhang, C., Wang, Q., Yang, B., & Gao, Y. (2022). Optimising mixed aerobic and anaerobic composting process parameters for reducing bacterial pathogenicity in compost-derived products. *Journal of Environmental Management*, 304, 114293. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114293>
- Lin, C., Wei, C. C., Tsai, C. C. (2016). Prediction of influential operational compost parameters for monitoring composting process. *Environmental Engineering Science*, 33(7), 494–506. <https://doi.org/10.1089/ees.2015.0259>
- Lin, C., Cheruiyot, N. K., Hoang, H. G., Le, T. H., Tran, H. T., & Bui, X. T. (2021). Benzophenone biodegradation and characterization of malodorous gas emissions during co-composting of food waste with sawdust and mature compost. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101351. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101351>
- Liu, H., Luo, G. Q., Hu, H. Y., Zhang, Q., Yang, J. K., & Yao, H. (2012). Emission characteristics of nitrogen- and sulfur-containing odorous compounds during different sewage sludge chemical conditioning processes. *Journal of Hazardous Materials*, (225-226), 298-306. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.060>
- Liu, H., Wang, L., Zhong, R., Bao, M., Guo, H., & Xie, Z. (2022). Binding characteristics of humic substances with Cu and Zn in response to inorganic mineral additives during swine manure composting. *Journal of Environmental Management*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114387>
- Li-Xian, Y., Guo-Liang, L., Shi-Hua, T., Gavin, S., & Zhao-Huan, H. (2007). Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Science of The Total Environment*, 383(1-3), 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.05.027>

- Luangwilai, T., Sidhu, H. S., & Nelson, M. I. (2018). One-dimensional spatial model for self-heating in compost piles: Investigating effects of moisture and air flow. *Food and Bioprocess Processing*, 108, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.12.001>
- Mahmoud, A., Olivier, J., Vaxelaire, J., & Hoadley, A. F. A. (2013). Advances in mechanical dewatering of wastewater sludge treatment. *Wastewater Reuse and Management*, 253-303. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4942-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4942-9_9)
- Mahon, R., Gomez-Silvan, C., Anderson, G. L., Calvo, C., & Aranda, E. (2021). Assessment of bacterial and fungal communities in a full-scale thermophilic sewage sludge composting pile under a semipermeable cover. *Bioresource Technology*, 298, 122550. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122550>
- Makan, A., Fadili, A., Oubenali, M. (2020). Interaction of physicochemical parameters during pressurized in-vessel composting of food waste. *Bioresource Technology Reports*, 10, 100350. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100350>
- Mandpe, A., Tyagi, L., Paliya, S., Chaudry, S., Motghare, A., & Kumar, S. (2021). Rapid-in-house composting of organic solid wastes with fly ash supplementation: performance evaluation at thermophilic exposures. *Bioresource Technology*, 337, 125386. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125386>
- Mason, I. G., & Milke, M. W. (2005). Physical modelling of the composting environment: a review. Part 1: reactor systems. *Waste Management*, 25(5), 481-500. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.015>
- Martins, G. A., Correa, L. B., Guidoni, L. L. C., Lucia, Jr. T., Gerber, M. D., & Correa, E. K. (2022). Toxicity and physicochemical parameters of composts including distinct residues from agribusiness and slaughterhouse sludge. *Waste Management*, 138, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.032>
- Mata-Alvarez, J., Mace, S., Llabres, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes: an overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74(1), 3-16. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00023-7)
- Mc Lean, E. O. (1982). *Soil pH and Lime Requirement in Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. (A.L. Page, ed.), ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA, 199-223.
- Meng, X., Yan, J., Zuo, B., Wang, Y., Yuan, X., & Cui, Z. (2020). Full-scale of composting process of biogas residues from corn stover anaerobic digestion: Physical-chemical, biology parameters and maturity indexes during whole process. *Bioresource Technology*, 302, 122742. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122742>

- Michel, F. C., Pecchia, J. A., Rigot, J., & Keener, H. M. (2004). Mass and nutrient loss during the composting of dairy manure amended with sawdust. *Compost Science & Utilization*, 12(4), 323-334.  
<https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702201>
- Mishra, S. K., & Yadav, K. D. (2021). Application of locally available microbial inoculant to accelerate green waste composting at a community level. *Bioresource Technology Reports*, 16.  
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100859>
- Moharana, P. C., Biswas, D. R., Ghosh A., & Sarkar, A. (2020). Variability of crop residues determines solubilization and availability of phosphorus fractions during composting of rock phosphate enriched compost vis-à-vis ordinary compost. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(15), 2085-2101. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1784921>
- Mohee, R., & Mudhoo, A. (2005). Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix. *Powder Technology*, 155(1), 92-99.  
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2005.05.051>
- Moreno, J., Lopez-Gonzalez, J. A., Arcos-Nievas, M. A., Suarez-Estrella, F., Jurado, Estrella-Gonzalez, M. J., & Lopez, M. J. (2021). Revisiting the succession of microbial populations throughout composting: A matter of thermotolerance. *Science of the Total Environment*, 773, 145587.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145587>
- Nakasaki, K., Hirai, H., Mimoto, H., Quyen, T. N. M., Koyama, M., & Takeda, K. (2019). Succession of microbial community during vigorous organic matter degradation in the primary fermentation stage of food waste composting. *Science of The Total Environment*, 671, 1237-1244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.341>
- Nguyen, V. T., Le, T. H., Bui, X. T., Nguyen, T. N., Vo, T. D. H., Vu, T. M. H., Nguyen, H. H., Nguyen, D. D., Senoro, D. B., & Dang, B. T. (2020). Effects of C/N ratios and turning frequencies on the composting process of food waste and dry leaves. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100527.  
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100527>
- Nguyen, V. K., Chaudhary, D. K., Dahal, R. H., Trinh, N. H., Kim, J., Chang, S. W., Hong, Y., La, D. D., Nguyen, X. C., Ngo, H. H., Chung, W. J., & Nguyen, D. D. (2021). Review on pretreatment techniques to improve anaerobic digestion of sewage sludge. *Fuel*, 285, 119105. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119105>
- Niu, Q., Yan, H., Meng, Q., Wang, S., Li, G., Zhu, Q., Li, X., & Li, Q. (2021). Hydrogen peroxide plus ascorbic acid enhanced organic matter deconstructions and composting performances via changing microbial communities. *Journal of Environmental Management*, 295.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113126>

- Nolan, T. Troy, S. M., Healy, M. G., Kwapinski, W., Leahy, J. J., & Lawlor, P. G. (2011). Characterization of compost produced from separated pig manure and a variety of bulking agents at low initial C/N ratios. *Bioresource Technology*, 102(14), 7131, 8. <https://doi.org/7131-7138.10.1016/j.biortech.2011.04.066>
- Okalebo, J. R., Gathua, K. W., & Woomer P. L. (1993). Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual. TSBF programe, Soil Science Society of East Africa technical publication no. 1, UNESCO, Rosta, Kenya.
- Olsen, S. R., Cole, C. V. & Watanabe, F. S. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, *Colorado Agricultural Experiment Station Scientific Journal Series*, 418, 18-19.
- Onwosi, C. O., Igbokwe, V. C., Odimba, J. N., Eke, I. E., Nwankwoala, M. O., Iroh, I. N., & Ezeogu, L. I. (2017). Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Management*, 190, 140-157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>
- Özlü E., Sandhu, S. S., Kumar, S., Arriaga, F. J., (2019). Soil health indicators impacted by long-term cattle manure and inorganic fertilizer application in a corn-soybean rotation of South Dakota. *Scientific Reports*, 9, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48207-z>
- Öztürk, M. (2005). Hayvan gübresinden biogaz üretimi. *Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yayını*. [http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider\\_pdf/UWDntXjXQmfS.pdf](http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/UWDntXjXQmfS.pdf)
- Öztürk, M. (2019 Kasım 9). *Sıfır Atık Projesi (3): Çöpten kompost üretimi* Independent Türkçe. <https://www.indyturk.com/node/89866/t%C3%BCrkiyeden-sesler/s%C4%B1f%C4%B1r-at%C4%B1k-projesi-3-%C3%A7%C3%B6pten-kompost-%C3%BCretimi>
- Pan, C., Zhao, Y., Zhao, L., Wu, J., Zhang, X., Xie, X., Kang, K., & Jia, L. (2021). Modified montmorillonite and illite adjusted the preference of biotic and abiotic pathways of humus formation during chicken manure composting. *Bioresource Technology*, 319, 124121. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124121>
- Partanen, P., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P., & Romantschuk, M. (2010). Bacterial diversity at different stages of the composting process. *BMC Microbiology*, 10, 94. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-10-94>.
- Pearse, L. F., Hettiaratchi, P. A., & Costa, D. (2020). A new biochemical methane potential assay for landfilled waste using the organic fraction of municipal solid waste. *Bioresource Technology Reports*, 12, 100579. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100579>

- Petric, I., Sestan, A. M., & Sestan, I. (2009). Influence of initial moisture content on the composting of poultry manure with wheat straw. *Biosystems Engineering*, 104(1), 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.06.007>
- Qiao, C., Penton, R., Liu, C., Shen, Z., Ou, Liu, Z., Xu, X., Li, R., & Shen, Q. (2019). Key extracellular enzymes triggered high-efficiency composting associated with bacterial community succession. *Bioresource Technology*, 288, 121576. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121576>
- Rehman, R. A., & Qayyum, M. F. (2020). Co-composts of sewage sludge, farm manure and rock phosphate can substitute phosphorus fertilizers in rice-wheat cropping system. *Journal of Environmental Management*, 259, 109700. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109700>
- Rhoades, J. D. (1982). *Soluble salts in methods of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties*. (A.L. Page, ed.), ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA, 167-178.
- Rosen, V., & Chen, Y. (2014). The influence of compost addition on heavy metal distribution between operationally defined geochemical fractions and on metal accumulation in plant. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 713-720. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0819-7>
- Ruggieri, L., Gea, T., Mompeo, M., Sayara, T., & Sanchez, A. (2008). Performance of different systems for the composting of the source-selected organic fraction of municipal solid waste. *Biosystems Engineering*, (101)1, 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.014>
- Sampat, A. M., Hu, Y., Sharara, M., Aguirre-Villegas, H., Ruiz-Mercado, G., Larson, R. A., & Zavala, V. M. (2019). Coordinated management of organic waste and derived products. *Computers & Chemical Engineering*, 128, 352-363. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.06.008>
- Sanchez, O. J., Ospina, D. A., & Montoya S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management*, 69, 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>
- Santos, C., Fonseca, J., Coutinho, J., Trindade, H., & Jensen, L. S. (2021). Chemical properties of agro-waste compost affect greenhouse gas emission from soils through changed C and N mineralisation. *Biology and Fertility of Soils*, 57, 781-792.
- Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., & Sanchez, A. (2020). Recycling of organic wastes through composting: process performance and compost application in agriculture. *Agronomy*, 10(11), 1838. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>

- Shober, A. L., Sims & Thomas, J. (2007). Integrating phosphorus source and soil properties into risk assessments for phosphorus loss. *Soil Science Society of America Journal*, 71(2), 551-560.
- Siles-Castellano, A. B., Lopez, M. J., Lopez-Gonzales, J. A., Suarez-Estrella, F., Jurado, M. M., Estrella-Gonzales, M. J., & Moreno, J. (2020). Comparative analysis of phytotoxicity and compost quality in industrial composting facilities processing different organic wastes. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119820. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119820>
- Silva, L. J. D. V. B., Santos, I. F. S., Mensah, J. H. R., Goncalves, A. T. T., & Barros, R. M. (2020). Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential. *Renewable Energy*, 149, 1386- 1394. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.134>
- Soto-Paz, J., Oviedo-Ocaña, E. R., Manyoma, P. C., Marmolejo-Rebellón, L. F., Torres-Lozada, P., Barrena, R., Sánchez, A., Komilis, D. (2019b). Influence of mixing ratio and turning frequency on the co-composting of biowaste with sugarcane filter cake: a mixture experimental design. *Waste and Biomass Valorization*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00592-2>.
- Sun, B., Li, Y., Song, M., Li, R., Li, Z., Zhuang, G., Bai, Z., & Zhuang, X. (2022). Molecular characterization of the composition and transformation of dissolved organic matter during the semi-permeable membrane covered hyperthermophilic composting. *Journal of Hazardous Materials*, 425. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127496>
- Sundberg, C., Smars, S., & Jönsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technology*, 95(2), 145-150. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.01.016>
- Sweeten, J. M., & Auvermann, B. W. (2008). Composting manure and sludge. *Agrilife Extension*, 479,6-8.
- Şevik, F., Tosun, İ., & Ekinci, K. (2018). The effect of FAS and C/N ratios on co-composting of sewage sludge, dairy manure and tomato stalks. *Waste Management*, 80, 450-456. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.051>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). *Büyükbaş hayvan yetiştiriciliği* [Bilgi formu]. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Hayvancilik/Buyukbas-Hayvancilik>
- Tınmaz-Köse, E. (2017). Trakya bölgesinde hayvan gübrelerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi ve sayısal haritaların oluşturulması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(6), 762-772. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.33600>
- Torkashvand, A. M. (2010). Improvement of compost quality by addition of some amendments. *Australian Journal of Crop Science*, 4(4), 252–257.

- Tu, Z., Ren, X., Zhao, J., Awasthi, S. K., Wang, Q., Awasthi, M. K., Zhang, Z., & Li, R. (2019). Synergistic effects of biochar/microbial inoculation on the enhancement of pig manure composting. *Biochar*, 1(9), 127-137. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00003-8>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2021). *Hayvansal üretim istatistikleri*. <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=hayvan%20say%C4%B1lar%C4%B1&dil=1>
- Vaverková, M., Adamcová, D., Winkler, J., Koda, E., Petrželová, L., & Maxianová, A. (2020). Alternative method of composting on a reclaimed municipal waste landfill in accordance with the circular economy: Benefits and risks. *Science of the Total Environment*, 723, 137971. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137971>
- Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2020). Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. *Bioresource Technology*, 301, 122778. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778>
- Walling, E., Tremier, A., & Vaneckhaute, C. (2020). A review of mathematical models for composting. *Waste Management*, 113, 379-394. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.018>
- Wan, L., Wang, X., Cong, C., Li, J., Xu, Y., Li, X., Hou, F., Wu, Y., & Wang, L. (2020). Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw. *Bioresource Technology*, 301, 122730. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122730>
- Wang, Y., Ai, P., Cao, H., & Liu, Z. (2015). Prediction of moisture variation during composting process: A comparison of mathematical models. *Bioresource Technology*, 193, 200-205. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.100>
- Wang, S. P., Zhong, X. Z., Wang, T. T., Sun, Z. Y., Tang, Y. Q., & Kida, K. (2017). Aerobic composting of distilled grain waste eluted from a Chinese spiritmaking process: The effects of initial pH adjustment. *Bioresource Technology*, 245, 778-785. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.051>
- Wang, L., Li, Y., Prasher, S. O., Yan, B., Ou, Y., Cui, H., & Cui, Y. (2019). Organic matter, a critical factor to immobilize phosphorus, copper, and zinc during composting under various initial C/N ratios. *Bioresource Technology*, 289(26), 121745. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121745>



- Wang, K., Ma, X-c., Yin, X., Wu, C., Wang, Z., Wu, Y., Zhao, Y., Tian, Y. (2021). Difference and interplay of microbial communities, metabolic functions, trophic modes and influence factors between sludge and bulking agent in a composting matrix. *Bioresource Technology*, 336, 125085. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125085>
- Wang, B., Wang, Y., Wei, Y., Chen, W., Ding, G., Zhan, Y., Liu, Y., Xu, T., Xiao, J., & Li, J. (2022). Impact of inoculation and turning for full-scale composting on core bacterial community and their co-occurrence compared by network analysis. *Bioresource Technology*, 345. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126417>
- Wang, G., Yang, Y., Kong, Y., Ma, R., Yuan, J., & Li, G. (2022). Key factors affecting seed germination in phytotoxicity tests during sheep manure composting with carbon additives. *Journal of Hazardous Materials*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126809>
- Waskom, R. M. (1999). Best management practices for manure utilization, 568A, Colorado State University Cooperative Extension, Fort Collins.
- Wei, H., Ma, J., Su, Y. & Xie, B. (2020). Effect of nutritional energy regulation on the fate of antibiotic resistance genes during composting of sewage sludge. *Bioresource Technology*, 297, 122513. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122513>
- Wei, Y., Liang, Z., & Zhang, Y. (2022). Evolution of physicochemical properties and bacterial community in aerobic composting of swine manure based on a patent compost tray. *Bioresource Technology*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126136>
- Wojcik, M., & Stacjowicz, F. (2019). Influence of physical, chemical and dual sewage sludge conditioning methods on the dewatering efficiency. *Powder Technology*, 344, 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.001>
- Wong, J. W. C., Murugesan, K., Selvam, A., Ravindran, B., Kurade, M. B., & Yu, S. M. (2016). Dewatering of saline sewage sludge using iron-oxidizing bacteria: Effect of substrate concentration. *Bioresource Technology*, 213, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.118>
- Wu, B., Dai, X., & Chai, X. (2020). Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations. *Water Research*, 180, 115912. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115912>
- Wu, W., Wang, J., Shen, L., Wu, X., Amanze, J., & Zeng, W. (2021). Effect of bamboo sphere amendment on the organic matter decomposition and humification of food waste composting. *Waste Management*, 133, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.030>

- Xu, Z., Ma, Y., Zhang, L., Han, Y., Yuan, J., Li, G. & Luo, W. (2021). Relating bacterial dynamics and functions to gaseous emissions during composting of kitchen and garden wastes. *Science of The Total Environment*, 767, 144210.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144210>
- Yang, F., Li, Y., Han, Y., Qian, W., Li, G., & Luo, W. (2019). Performance of mature compost to control gaseous emissions in kitchen waste composting. *Science of The Total Environment*, 657, 262-269.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.030>
- Yetgin, M. A. (2010). Organik gübreler ve önemi. *Samsun İl Tarım Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayım Şubesi Yayını*, Dizgi/Baskı Ofset.
- Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş, A. (2009). Kompost teknolojileri ve İstanbul'daki uygulamaları. *Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı*. İstanbul.
- Yin, Y., Gu, J., Wang, X., Zhang, K., Hu, T., Ma, J., & Wang, Q. (2018). Impact of copper on the diazotroph abundance and community composition during swine manure composting. *Bioresource Technology*, 255, 257-265.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.120>
- Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Ravindran, B., Chang, S. W., Karmegam, N. (2021). Centrality of cattle solid wastes in vermicomposting technology – A cleaner resource recovery and biowaste recycling option for agricultural and environmental sustainability. *Environmental Pollution*, 268, 115688.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115688>
- Zang, B., Li, S., Michel Jr., F., Li, G., Luo, Y., Zhang, D., & Li, Y. (2016). Effects of mix ratio, moisture content and aeration rate on sulfur odor emissions during pig manure composting. *Waste Management*, 56, 498-505.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.026>
- Zeng, J., Yin, H., Shen, X., Liu, N., Ge, J., Han, Huang, G. (2018). Effect of aeration interval on oxygen consumption and GHG emission during pig manure composting. *Bioresource Technology*, 250, 214-220.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.010>
- Zhan, Y., Wei, Y., Zhang, Z., Zhang, A., Li, Y., & Li, J. (2021). Effects of different C/N ratios on the maturity and microbial quantity of composting with sesame meal and rice straw biochar. *Biochar*, 3, 557-564.  
<https://doi.org/10.1007/s42773-021-00110-5>
- Zhang, L., & Sun, X. (2014). Effects of rhamnolipid and initial compost particle size on the two-stage composting of green waste. *Bioresource Technology*, 163, 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.041>

- Zhang, H., Li, G., Gu, J., Wang, G., Li, Y., & Zhang, D. (2016). Influence of aeration on volatile sulfur compounds (VSCs) and NH<sub>3</sub> emissions during aerobic composting of kitchen waste. *Waste Management*, 58, 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.022>
- Zhang, J., Lin, H., Ma, J., Sun, W., Yang, Y., & Zhang, X. (2019). Compost-bulking agents reduce the reservoir of antibiotics and antibiotic resistance genes in manures by modifying bacterial microbiota. *Science of the Total Environment*, 649, 396-404. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.212>
- Zhang, X., Fang, Q., Zhang, T., Ma, W., Velthof, G. L., Hou, Y., Oenema, O., Zhang, F., (2020). Benefits and trade-offs of replacing synthetic fertilizers by animal manures in crop production in China: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 26, 888–900. <https://doi.org/10.1111/gcb.14826>
- Zhen, X. F., Luo, M., Dong, H. Y., Li, S. B., Li, M. C., & Kang, J. (2021). Variations of N-P-K contents in livestock and livestock manure composting. *Applied Ecology And Environmental Research*, 19(1), 249-261. [https://dx.doi.org/10.15666/aeer/1901\\_249261](https://dx.doi.org/10.15666/aeer/1901_249261)
- Zhu, P., Qin, H., Zhang, H., Luo, Y., Ru, Y., Li, J., San, K. W., Wang, L., Yu, X. & Guo, W. (2021). Variations in antibiotic resistance genes and removal mechanisms induced by C/N ratio of substrate during composting. *Science of The Total Environment*, 798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149288>
- Żukowska, G., Mazurkiewicz, J., Myszura, M., & Czekala, W. (2019). Heat energy and gas emissions during composting of sewage sludge. *Energies*, 12(24), 1-13. <https://doi.org/10.3390/en12244782>