

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOSTLAMA İŞLEMİNDE BİYOKÖMÜR KULLANIMININ  
AMONYAK GİDERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**Umut BEKÇİ**

**Danışman  
Prof. Dr. İsmail TOSUN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2019**



© 2019 [UMUT BEKÇİ]

## TEZ ONAYI

Umut BEKÇİ tarafından hazırlanan "**Kompostlama İşleminde Biyokömür Kullanımının Amonyak Giderimine Etkisinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

**Prof. Dr. İsmail TOSUN**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

**Prof. Dr. Mehmet KILIÇ**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

**Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Umut BEKÇİ**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	V
TEŞEKKÜR .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XI
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	6
2.1. Kompost .....	6
2.1.1. Sıcaklık .....	6
2.1.2. C/N oranı .....	7
2.1.3. Su muhtevası .....	8
2.1.4. Oksijen ve havalandırma .....	9
2.2. Kompost stabilitesi .....	9
2.3. Kompostlama İşlemi Sırasında Meydana Gelen Amonyak Salınımı ...	10
2.4. Biyokömür .....	13
2.5. Biyokömürlerin Adsorban Olarak Kullanılması ve Amonyak Salınımlarının Azaltılması .....	15
3. MATERİYAL VE YÖNTEM .....	18
3.1. Kompostlama İşleminde Kullanılan Atıklar .....	18
3.1.1. Mutfak atıkları .....	18
3.1.2. Büyükbaş hayvan gübresi .....	19
3.1.3. Çim biçme atıkları .....	20
3.1.4. Budama atıkları .....	20
3.1.5. Biyokömür .....	21
3.2. Laboratuvar Ölçekli Kompostlama Sistemi .....	22
3.3. Kompostlama İşlemi .....	25
3.4. Analitik Yöntemler .....	26
3.4.1. Serbest hava boşluğu (FAS) .....	26
3.4.2. Birim hacim ağırlığı .....	26
3.4.3. pH ve elektriksel iletkenlik .....	27
3.4.4. Su muhtevası .....	28
3.4.5. Organik madde .....	29
3.4.6. Karbon ve azot analizi .....	30
3.4.7. Amonyum ve nitrat .....	30
3.4.8. Amonyak tayini .....	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	33
4.1. Ortam Sıcaklığı .....	33
4.2. Kompostlama İşlemi Süresince Kompostlama Sıcaklık Değişimleri ...	34
4.3. Havalandırma ve Karıştırma İşlemleri .....	44
4.4. Kompostlama İşlemi Süresince Reaktörlerde O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> Değişimi .....	46
4.5. Analiz Sonuçları .....	52
4.5.1. Su muhtevası değişimleri .....	52
4.5.2. Karışımların birim hacim ağırlığı değişimleri .....	55
4.5.3. Kütle ve hacim değişimleri .....	58
4.5.4. pH değişimleri .....	59

4.5.5. EC değişimleri.....	61
4.5.6. Organik madde değişimleri .....	63
4.5.7. Karbon, azot ve C/N değişimleri.....	66
4.5.8. Amonyum ve nitrat değişimleri .....	68
4.6. Amonyak Salınımları .....	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR .....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	80



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KOMPOSTLAMA İŞLEMİNDE BİYOKÖMÜRLERİN AMONYAK GİDERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Umut BEKÇİ

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail Tosun

Bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi (SDÜ) ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi (ISUBÜ) yerleşkelerinde oluşan organik atıkların kompostlaşabilirliği ve kompostlama süresince oluşan amonyak gazının azaltımı için adsorban özelliğe sahip biyokömür kullanımının etkisi araştırılmıştır. Kompostlama materyali olarak kampüs içerisinde fazla miktarda üretilen mutfak atıkları (MA), büyükbaş hayvan gübresi (BHG), çim biçme atıkları (ÇBA) ve budama atıkları (BA) birlikte kullanılmıştır. Başlangıçta bu atıklar kuru madde bazında eşit miktarlarda (%25) alınarak tek bir karışım elde edilmiştir. Daha sonra karışımların kuru ağırlıklarının %0 (BK0), %2 (BK2), %4 (BK4), %6 (BK6) ve %8'i (BK8) oranında kuru bazda pırsal meşesi (*Quercus ilex*) biyokömürü ilave edilerek ve her biri 3 tekerrürlü olacak şekilde kompostlamaya hazır hale getirilmiştir. Kompostlama işlemi her birinin etkin hacmi 100 L olan 15 adet reaktörde 16 gün boyunca yürütülmüştür. Kompostlama işlemi süresince reaktör sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı otomasyon sistemi ile düzenli olarak ölçülerek kaydedilmiştir. Kompostlamadan kaynaklanan amonyak emisyonları ise manuel olarak ve belli periyotlarla ölçülmüştür. Kompostlama işlemi süresince 2 defa karıştırma işlemi yapılmıştır. Kompostlama işleminin başlangıcında, karışımlar sırasında ve proses sonunda numuneler alınarak su muhtevası (SM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde (OM), karbon/azot oranı (C/N), amonyum ve nitrat analizleri yapılmıştır. Reaktörlerdeki nihai SM oranları biyokömürün su tutma özelliği nedeniyle BK0'dan BK8 karışımına doğru gidildikçe azalmıştır.

Tüm uygulamalarda kompostlama işlemi sonlandırıldığında pH değeri 9'un üzerinde gerçekleşmiştir. En yüksek nihai pH değerleri ise BK8 karışımında ölçülmüştür. Ölçülen EC değerleri de SM parametresi gibi BK0'dan BK8 karışımına doğru azalış göstermektedir. OM içerikleri tüm uygulamalarda kompostlama işlemi süresince azalış göstermiş ancak en yüksek OM kaybı BK0 grubu reaktörlerinde görülmüştür. C/N değerleri genel olarak azalmış ve en düşük seviyeler BK6 karışımında ölçülmüştür. Amonyum değerleri tüm reaktörlerde başlangıca göre azalış göstermiş, nitrat değerleri ise başlangıca göre tüm reaktörlerde artmıştır. Çalışmadan elde edilen genel sonuçlar, SDÜ ve ISUBÜ yerleşkelerinde oluşan organik atıklar kuru ağırlıkça eşit oranlarda karıştırıldığında iyi bir kompost elde edilebileceğini göstermiştir. Amonyak

emisy onları kümülatif olarak incelendiğinde BK0 karışımına göre, BK6 karışımı %20 amonyak azaltımı ile en iyi sonucu vermiş, BK8 karışımı %18'lik emisyon artışına yol açmış, BK2 karışımı %1'lik bir azalmaya, BK6 karışımı ise %17'lik bir azalmaya sebep olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kompost, Biyokömür, Amonyak Giderimi, Kampüs Atıkları

**2019, 80 sayfa**





## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DETERMINATION OF THE EFFECT OF BIOCHAR ON AMMONIA REMOVAL IN COMPOSTING PROCESS**

**Umut BEKÇİ**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. İsmail TOSUN**

In this study, the effect of using biochar which has adsorbent properties on ammonia emissions during composting and the compostability of organic wastes existed in the campuses of both Suleyman Demirel University (SDU) and Isparta University of Applied Sciences (ISUBU) were investigated. Kitchen wastes (KW), dairy cattle manure (DCM), lawn mowing wastes (LM) and pruning wastes (PW) produced in the campus area as composting materials were used. The initial composting mixture was prepared by taking equal amounts (%25) of all wastes on a dry weight basis. After the initial mixture was prepared, the biochar treated mixtures were prepared by adding holm oak (*Quercus ilex*) biochar by dry weight basis %0 (BK0), 2% (BK2), 4% (BK4), 6% (BK6) and 8% (BK8) of mixture dry weights and all different treatment trials conducted in three run. The composting process was conducted 15 reactors which have 100 L of active volume for 16 days. During the composting process, reactor temperatures and ambient temperature were measured and recorded regularly by the automation system. Ammonia emissions from the composting process were measured manually on a regular basis. The mixing was carried out twice during the composting process. Moisture content (MC), pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), carbon/nitrogen ratio (C/N), ammonium and nitrate analyzes were performed on samples which are taken at the beginning and ending of composting, and during the mixing processes. The final MC ratios in the reactors decreased due to the water retention capacity of the biochar from the BK0 to the BK8 treated mixture. The pH value in all treatments was over 9 when the composting process was terminated. The highest final pH values were measured in an BK8 treated mixture. The measured final EC values, like the MC parameter, show a decrease from the BK0 mixture to the BK8 treated mixture. OM contents decreased in all treatments during composting process, but the highest OM loss was observed in BK0 group reactors. C/N values were generally decreased and the lowest levels were measured in BK6 treated mixture. Ammonium values decreased and nitrate values increased in all reactors compared to initial. According to the general results obtained from the study, a good compost could be obtained when the organic wastes formed in the SDU and ISUBU campuses were mixed in equal proportions by dry weight basis. When the cumulative ammonia emissions were examined, BK6 mixture yielded the best results with 20%

ammonia reduction, 18% emission increase of BK8, BK2 mixture of 1% reduction and BK4 of the mixture caused a decrease of 17% in reference to BK0 in cumulative ammonia emissions.

**Keywords:** Compost, Biochar, Ammonia Removal, Campus Waste

**2019, 80 pages**



## TEŞEKKÜR

Bu araştırma alanında beni yönlendiren, pratik ve teorik tecrübesiyle karşılaştığım zorluklarda bana yol gösteren ve yeni ufuklar aan danışman hocam Prof. Dr. İsmail TOSUN'a teşekkür ederim.

Laboratuvar altyapısı konusunda sağladığı destek ve çalışmalarımın tıkanığı noktalarda beni farklı düşünmeye sevk ederek çözüm bulmama yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye teşekkür ederim.

Araştırmamın saha ve deney çalışmalarında desteğini esirgemeyen Mert MİNAZ'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Barbaros Salih KUMBUL'a laboratuvar çalışmalarımda tecrübeleriyle ve vaktiyle bana destek olduğu için teşekkür ederim.

Desteklerini her zaman hissettiğim aileme ve tez çalışmalarım boyunca bana karşı gösterdiği sabır ve desteği için eşim Berrak BEKI'ye teşekkür ederim.

Umut BEKI  
ISPARTA, 2019

Şekil 1.1. Türkiye Atık Karakterizasyonu.....	2
Şekil 2.1. Kompostlama işleminde sıcaklık, karbondioksit salınımı ve oksijen alımının zamana göre değişimi .....	7
Şekil 2.2. Kompostlama işleminde azot döngüsü.....	11
Şekil 2.3. pH değerine bağlı olarak ortamdaki NH <sub>3</sub> ve NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> dengesi.....	12
Şekil 3.1. Yemekhaneden farklı günlerde alınan atıklar .....	18
Şekil 3.2. Mutfak atıklarının su muhtevasının azaltılması .....	19
Şekil 3.3. Büyükbaş hayvan gübresinin su muhtevasının azaltılması .....	20
Şekil 3.4. Çim biçme atıklarının su muhtevasının azaltılması .....	20
Şekil 3.5. Kampüs alanındaki budama atıkları .....	21
Şekil 3.6. Kompost ve Biyogaz Laboratuvarı .....	22
Şekil 3.7. Denemede kullanılan reaktörler .....	23
Şekil 3.8. Reaktör elemanlarının görünümü.....	24
Şekil 3.9. Havalandırma elemanları .....	24
Şekil 3.10. Birim hacim ağırlığının belirlenmesi.....	27
Şekil 3.11. pH ve EC ölçümünde kullanılan cihazlar .....	28
Şekil 3.12. Analizde kullanılan hassas terazi ve etüv.....	28
Şekil 3.13. Analizde kullanılan laboratuvar cihazları ve ekipmanlar .....	29
Şekil 3.14. Karbon, Azot ve C/N ölçümlerinin gerçekleştirildiği cihaz.....	30
Şekil 3.15. NH <sub>3</sub> ölçüm sistemi akış şeması .....	31
Şekil 3.16. Titrasyon öncesi (yeşil) ve sonrası (mor) renk değişimleri.....	31
Şekil 4.1. Kompostlama işlemi süresince ortam sıcaklıkları .....	34
Şekil 4.2. R1'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	35
Şekil 4.3. R2'nin kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	35
Şekil 4.4. R3'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	35
Şekil 4.5. R4'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	37
Şekil 4.6. R5'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	37
Şekil 4.7. R6'nın kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	37
Şekil 4.8. R7'nin kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	39
Şekil 4.9. R8'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	39
Şekil 4.10. R9'un kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	39
Şekil 4.11. R10'un kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	41
Şekil 4.12. R11'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	41
Şekil 4.13. R12'nin kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	41
Şekil 4.14. R13'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	43
Şekil 4.15. R14'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	43
Şekil 4.16. R15'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi .....	43
Şekil 4.17. Kompostlama işlemi süresince karışımının değişimi .....	45
Şekil 4.18. R1 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	47
Şekil 4.19. R2 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	47
Şekil 4.20. R3 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	47
Şekil 4.21. R4 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	48
Şekil 4.22. R5 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	48
Şekil 4.23. R6 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	48
Şekil 4.24. R7 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	49
Şekil 4.25. R8 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	49
Şekil 4.26. R9 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	49
Şekil 4.27. R10 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	50

Şekil 4.28. R11 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	50
Şekil 4.29. R12 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	50
Şekil 4.30. R13 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	51
Şekil 4.31. R14 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	51
Şekil 4.32. R15 reaktörünün O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi.....	51
Şekil 4.33. BK0 karışımının su muhtevası değişimi .....	53
Şekil 4.34. BK2 karışımının su muhtevası değişimi .....	54
Şekil 4.35. BK4 karışımının su muhtevası değişimi .....	54
Şekil 4.36. BK6 karışımının su muhtevası değişimi .....	54
Şekil 4.37. BK8 karışımının su muhtevası değişimi .....	55
Şekil 4.38. BK0 reaktörlerinin BHA değişimi .....	56
Şekil 4.39. BK2 reaktörlerinin BHA değişimi .....	56
Şekil 4.40. BK4 reaktörlerinin BHA değişimi .....	56
Şekil 4.41. BK6 reaktörlerinin BHA değişimi .....	57
Şekil 4.42. BK8 reaktörlerinin BHA değişimi .....	57
Şekil 4.43. BK0 reaktörlerinin pH değişimi .....	59
Şekil 4.44. BK2 reaktörlerinin pH değişimi .....	59
Şekil 4.45. BK4 reaktörlerinin pH değişimi .....	60
Şekil 4.46. BK6 reaktörlerinin pH değişimi .....	60
Şekil 4.47. BK8 reaktörlerinin pH değişimi .....	60
Şekil 4.48. BK0 reaktörlerinde EC değişimi .....	61
Şekil 4.49. BK2 reaktörlerinde EC değişimi .....	62
Şekil 4.50. BK4 reaktörlerinde EC değişimi .....	62
Şekil 4.51. BK6 reaktörlerinde EC değişimi .....	62
Şekil 4.52. BK8 reaktörlerinde EC değişimi .....	63
Şekil 4.53. BK0 reaktörlerinde OM değişimi.....	64
Şekil 4.54. BK2 reaktörlerinde OM değişimi.....	64
Şekil 4.55. BK4 reaktörlerinde OM değişimi.....	64
Şekil 4.56. BK6 reaktörlerinde OM değişimi.....	65
Şekil 4.57. BK8 reaktörlerinde OM değişimi.....	65
Şekil 4.58. BK0 reaktörlerinde C/N değişimi .....	66
Şekil 4.59. BK2 reaktörlerinde C/N değişimi .....	66
Şekil 4.60. BK4 reaktörlerinde C/N değişimi .....	67
Şekil 4.61. BK6 reaktörlerinde C/N değişimi .....	67
Şekil 4.62. BK8 reaktörlerinde C/N değişimi .....	67
Şekil 4.63. Tüm reaktörlerin amonyum ve nitrat değişimleri.....	69
Şekil 4.64. Kompostlama süresince kümülatif amonyak salınımları.....	70
Şekil 4.65. BK0 karışımına göre diğer karışımların amonyak salınımları .....	72

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Atık Yönetimi Hiyerarşisi .....	2
Çizelge 2.1. Farklı bileşenlerin ayrıştırılabilme hızları .....	8
Çizelge 2.2. Kuru odundan üretilen biyokömürün farklı piroliz yöntemlerine göre ürün oranları .....	14
Çizelge 2.3. Biyokömürün amonyak azaltımına etkisi .....	17
Çizelge 3.1. Kompost materyalinin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	22
Çizelge 3.2. Bir kompost reaktörü için kullanılan materyal miktarları .....	25
Çizelge 3.3. Reaktörlere eklenen biyokömür miktarları .....	25
Çizelge 4.1. Reaktörlerin sıcaklık performansları .....	44
Çizelge 4.2. Reaktörlerin başlangıç ve son kütle ve hacim değişimleri .....	58
Çizelge 4.3. Toplam amonyak salınımları ve azaltım oranları .....	70



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AYY	Atık Yönetimi Yönetmeliği
BA	Budama Atıkları
BHA	Birim Hacim Ağırlığı
BHG	Büyükbaş Hayvan Gübresi
ÇA	Çim Atıkları
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EC	Electrical Conductivity
FAS	Free Air Space
ISUBÜ	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
KM	Kuru Madde
MA	Mutfak Atıkları
OM	Organik Madde
SDÜ	Süleyman Demirel Üniversitesi
SM	Su Muhtevası
SMEWW	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater
TC	Toplam Karbon
TMECC	Test Methods for Examination of Composting and Compost
TN	Toplam Azot
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

## 1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan nüfus ve buna paralel olarak artan talebi karşılamak için hızlanan endüstriyel üretim nedeniyle hem kısıtlı dünya kaynaklarının sürdürülebilir olarak kullanımı hem de ivme kazanan iklim ve çevre sorunlarına çözüm arayışı konuları önem kazanmıştır. Bu durum aynı zamanda modern kentleri, geleneksel kırsal alanları ve sanayi tesislerini üstesinden gelinmesi gereken bir atık sorunuyla karşı karşıya bırakmaktadır.

Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde (AYY) atık, "Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal." olarak tanımlanmıştır. Bu tanıma bağlı olarak atığın aslında geleneksel tabir olan "çöp" kelimesinden farklı olarak, kendisinden yine geleneksel yollarla kurtulmak gerekli olan eşyayı değil, yalnızca son kullanıcısının veya üreticisinin işine yaramayan ya da bunlar tarafından kullanılabilir olmayan, aynı zamanda bunlar tarafından artık işlenebilmesi mümkün olmayan maddeyi temsil etmektedir. Geçmişte uygulanan ve atığı çöp olarak tanımlayan bertaraf veya uzaklaştırma odaklı atık yönetimi sistemi dönemin tabiri ile çöpü homojen ve tek parça bir yığın olarak görmekteydi. Bu nedenle çöp toplandıktan sonra bertaraf için yığılmalı, gömülmeli veya yakılmalıydı. Ancak modern yaklaşıma göre atık farklı bileşenlerden oluşmakta ve her bir bileşenin fiziksel, teknik ve ekonomik özelliklerine göre farklı atık yönetim metodu uygulanmaktadır. Bu metotlar; atığın bazı bileşenlerinin hiç üretilmemesi, teknik ve ekonomik olarak uygun olan bazı bileşenlerinin geri dönüştürülmesi, bazı bileşenlerinin kompostlanması, bazı bileşenlerinden enerji geri kazanılması ve geri kalan kısımların kontrollü olarak düzenli depolanmasıdır. Bu yaklaşım günümüzde entegre atık yönetimi olarak bilinmektedir ve aynı zamanda atık hiyerarşisinin temelini oluşturmaktadır (Schall, 1992). Çizelge 1.1.'de atık hiyerarşisi ve bu hiyerarşinin dayanağı gösterilmiştir (Gertsakis ve Lewis, 2003).

Yirminci yüzyılın sonlarında kullanılan çıkış standartları yönteminin uzun vadede etkisiz olduğu ve kirliliğin önüne geçemediği günümüzde artık bilinmektedir. Bu nedenle modern yaklaşım, temiz üretim gibi kaynakta azaltım

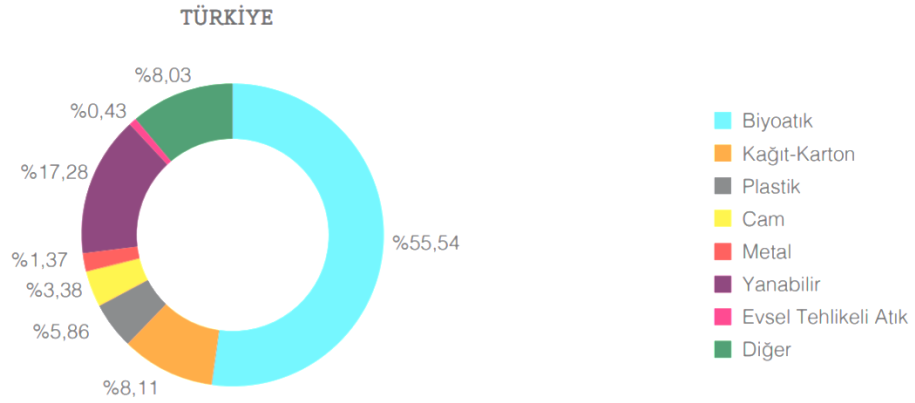


veya atığın kaynağında ayrıştırılması gibi geri dönüşüm yöntemlerini ön plana çıkartmaktadır.

Çizelge 1.1. Atık Yönetimi Hiyerarşisi (Gertsakis ve Lewis, 2003)

Hedef	Dayanak	Çıktı
Azaltım (Reduce)	Önleyici	En çok kabul gören
Yeniden Kullanım (Reuse)	Büyük ölçüde iyileştirici, kısmen	
Geri Dönüşüm (Recycle)	önleyici	
Aritma veya İşleme Tabii Tutma (Treatment)	Büyük ölçüde giderim, kısmi iyileştirici	
Bertaraf (Disposal)	Giderim	En az istenen

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2014) tarafından yayımlanan Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023 dokümanında 2014 yılına ait verilere göre Türkiye genelinde oluşan belediye atığı miktarı 27.126.138 ton ve kişi başı günlük üretilen atık miktarı ise 0.96 kg/kişi-gün olarak hesaplanmıştır. Aynı raporda gerçekleştirilen çalışma sonucu, Türkiye geneli ortalama atık kompozisyonu hesaplanmış ve Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye Atık Karakterizasyonu (ÇŞB, 2014)

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2014 yılı verilerine göre 31,6 milyon ton belediye atığı toplanmış, bu atıkların %61,2'si düzenli olarak depolanmış, %29'u düzensiz yöntemlerle bertaraf edilmiş, %9,3'ü geri kazanım tesislerinde değerlendirilmiş ve sadece %0,5'i kompostlaştırma işlemine tabii tutularak kaynak geri kazanımı gerçekleştirilmiştir. Bu verilere bakılarak kompostlama yöntemi ile atığın işlenmesinin çok düşük seviyelerde olduğu, biyobozunur atık

bileşiminin yüksek olması nedeniyle kompostlayarak kaynak geri kazanımının hali hazırda yüksek bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılabilir.

Kompost, AYY'de "Organik esaslı atıkların oksijenli ve oksijensiz ortamda ayrıştırılması sureti ile üretilen ürün" olarak tanımlanmıştır. Bu tanıma göre kompostun kaynağını üretilen atığın organik fraksiyonlarının oluşturduğu söylenebilir. 2010 yılında yayımlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair yönetmelik Geçici 1. Maddesi "Bu yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl içerisinde depolanacak olan toplam biyobozunur atık miktarının %75'ine, 8 yıl içinde %50'sine ve 15 yıl içinde %35'ine indirilir." denmektedir. Ayrıca 2019 yılında yayımlanan Sıfır Atık Yönetmeliği Ek-3A'da yer alan kurum ve kuruluşlara biyobozunur atıkların ayrı toplanarak geri kazanımı konusunda kompost, biyometanizasyon ve benzeri çalışmaların yapılması ve Ek-3B'de yer alan bina ve yerleşkelere biyobozunur atıkların, yoğun oluşum gösterdikleri yerlerde ayrı olarak biriktirilmesi zorunluluğu getirmiştir.

Kompostlama işleminde genellikle çeşitli faaliyetlerin sonucunda ortaya çıkan ve üreticisinin işine yaramayacak olan organik içerikli malzemeler kullanılır. Bu malzemeler kompostlanarak elde edilen ürün gerçekleştirilen faaliyette tekrar kullanılabilmesi gibi atık malzemelerden elde edilen bu ürün yeniden değerlendirilerek piyasaya da sürülebilmektedir. Örneğin hayvancılık faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan gübre, kesimhane atıkları; zirai faaliyetler sonucunda üretilen ürünlerin işlenmesi sonucunda ortaya çıkan organik içerikli sap, saman ve posa gibi atıklar; insanların konut ve iş yerlerinde yaşamsal faaliyetleri sonucu ortaya çıkan mutfak ve yemek atıkları; atıksu arıtma tesislerinde gerçekleştirilen arıtma işlemi sonucunda elde edilen arıtma çamurları kompostlama işleminde hammadde olarak kullanılabilir. Elde edilen kompost koku giderimi işleminde biyofiltre olarak, tarımda doğal gübre olarak ve biyokömür ile birlikte toprak iyileştirici olarak kullanılabilir.

Biyokömür doğada bulunan; odun, talaş, dal ve yaprak gibi veya çeşitli faaliyetler sonucunda meydana gelen organik atıkların; mısır, ayçiçeği ve domates gibi ürünlerin sapları ile ceviz, fındık ve fıstık gibi kabuklu yemişlerin kabukları ve tahıl sap ve samanları gibi malzemelerden piroliz işlemi

sonucunda elde edilen nihai üründür. Bu işlem sonucunda sisteme giren biyokütle, biyoyağ, gaz ve yüksek karbon içerikli gözenekli yapıya sahip biyokömür olmak üzere üç farklı ürüne dönüşmektedir (Bridgewater, 2007). Bahsi geçen organik atıkların biyokömür üretiminde girdi olarak kullanılabilmesi ile hem atık yönetimi ve toprak iyileştirmesi konularında hem de çevrenin korunması açısından biyokömür üretiminin önemini artırmaktadır.

Organik atıkların geri kazanımı için gerçekleştirilen kontrollü kompostlama işleminin de çevreye çeşitli etkileri vardır. Bunlar işlem sırasında oluşan sızıntı suyu, koku problemi ve çeşitli gaz salınımlarıdır. İşlem sırasında oluşan sızıntı suları arıtma işlemlerine tabii tutulmakta, koku problemi ise daha önceden elde edilen kompostun biyofiltre olarak kullanılmasıyla giderilebilmektedir. İşlem sırasında elde edilecek ürünün kalitesinde önemli rol oynayan azot ortamdan nitröz oksit ( $N_2O$ ) ve amonyak ( $NH_3$ ) formlarında gazlaşarak uzaklaşır. Bunlardan  $N_2O$  sera gazı olması nedeniyle ve  $NH_3$ 'te nitröz oksit öncülü olması nedeniyle çevresel açıdan ayrıca önem taşımaktadır.  $NH_3$ , doğal süreçler ve insan faaliyetleri sonucunda oluşan ve atmosferde sera gazı olarak bilinen nitröz oksidin ( $N_2O$ ) öncülü olması nedeniyle emisyonu kontrol altında tutulması gereken gazlardan biridir (Becidan vd., 2007). Kompostlaştırma işlemi süresince malzemenin içerdiği azot amonyak formunda ortamı terk ederek nihai üründe kalite kayıplarına yol açmaktadır.

Tez çalışması kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi kampüslerinde oluşan organik atıklar tespit edilmiş, bu atıkların kompostlanarak değerlendirilme imkanları araştırılmış, kompostlama süresince oluşan amonyak gazı emisyonları izlenmiş ve bu emisyonların azaltımı için biyokömür kullanımının etkisi araştırılmıştır. Böylece dolaylı olarak mevcut durumda düzenli depolama yöntemiyle bertaraf edilen bu organik atıkların kompostlama yöntemiyle geri kazanımı yapılarak düzenli depolama tesislerinin yükünün azaltılması, elde edilen ürünün yeşil alanlarda değerlendirilmesi, atık toplama ve taşıma maliyetlerinin azaltılması ve çalışmalar süresince iletişimde bulunan kişilere atığın değerli bir hammadde olduğu bilincinin kazandırılması hedeflenmiştir.

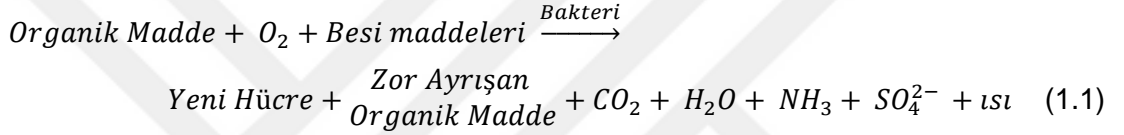
Laboratuvar ölçekli olarak gerçekleştirilen tez çalışmasında; organik atıkların kaynağında ayrı toplanarak etkin yönetiminin sağlanmasına ilişkin gözlemler yapılmış, yerleşkede üretilen organik atık türleri tespit edilmiş, bu atıkların birlikte kompostlanabilirliğinin ortaya konmuş, kompostlama sırasında ortaya çıkan amonyak gazı emisyonları belirlenmiş ve amonyak gazı azaltımı için biyokömür kullanımının etkisinin araştırılmıştır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Kompost

Biyokimyasal reaksiyonlar bütünü olan kompostlama işleminde substrat kompostlanacak atıktır. Diğer biyolojik süreçlerde olduğu gibi bu substratın kimyasal ve fiziksel özellikleri işlemin hızı ve sürdürülebilirliği için önemlidir. Özellikle de mikroorganizmalar için besin maddelerinin varlığı ve bunların birbiriyle oranları atığın kompostlama işlemi için uygunluğunu belirlemektedir (Diaz ve Savage, 2007). Kompostlama işleminde tüketilen substrat, diğer girdiler ve proses çıktıları Denklem 1.1'de verilmiştir (Tchobanoglous, 1993).

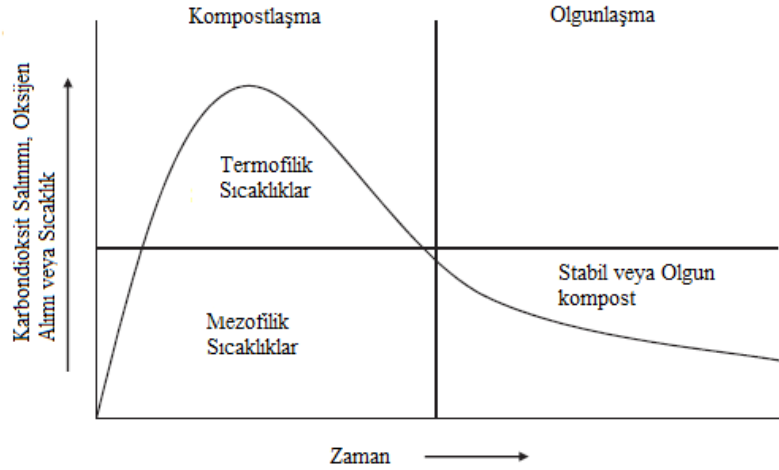


Kompostlama işlemi esnasında, öncesinde ve sonrasında takip edilmesi gereken, kompostun kalitesi ve olgunluğu hakkında bilgi veren temel parametreler sıcaklık, C/N oranı, su muhtevası, oksijen ve havalandırma olarak sayılabilir (Epstein, 2011; Öztürk, 2015). Bu parametreler ayrı ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

#### 2.1.1. Sıcaklık

Kompostlama işlemi esnasında gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonların en önemli indikatörü sıcaklık parametresidir. Yükleme yapılan substratın ortamda bulunan mikroorganizmalar tarafından biyokimyasal olarak dönüştürülmesi süresince ortaya çıkan ısı, ortam sıcaklığının artışı olarak kendini gösterir. Kompostlama aşamalarını ve kompost kalitesini takip edebilmek için sıcaklık verisinden faydalanılır. Şekil 2.1'de görülebileceği üzere, kompost sıcaklığı karışım hazırlandıktan sonra başlangıç fazı olarak da bilinen mezofilik (25-40 °C) koşullardan termofilik (35-65 °C) koşullara ulaşır. Kompostlama işleminin sonucunda kaliteli bir ürün elde edebilmek için sıcaklıklar 55-70 °C arasında tutulmalıdır. 55 °C'nin altında çalıştırılan kompost

sistemlerde insan, hayvan ve bitki sağlığı için tehdit oluşturabilecek patojenlerin giderimi için daha uzun süreler gerekmektedir. 70 °C üzerinde çıkıldığında ise kompost biyokütlesinde bu sıcaklığa adapte olabilen birkaç tür kalacak ve işlemin verimi düşecektir. Süreç ilerledikçe tüketilebilir besin kaynakları mikroorganizmalarca metabolize edildiğinden kompostun sıcaklığı düşmekte ve çevre sıcaklığına yaklaşmaktadır. Sıcaklıklardaki bu düşüş kompostlaştırma işleminin tamamlandığına, olgun ve stabil ürünün oluştuğunun işareti olabilmektedir (Haug, 1993; Diaz vd., 2007; Epstein, 2011; Öztürk, 2015).



Şekil 2.1. Kompostlama işleminde sıcaklık, karbondioksit salınımı ve oksijen alımının zamana göre değişimi (Epstein, 2011)

### 2.1.2. C/N oranı

Karbon mikroorganizmalar tarafından hücre oluşumu ve büyümesi işlemi için kullanılmaktadır. Mikrobiyal metabolik faaliyetler sırasında CO<sub>2</sub> oluşur ve atmosfere salınır. İşemin ilerleyen süreçlerinde yavaşlayan mikrobiyal aktivite nedeniyle bu salınım azalacaktır. Kompostlama için kullanılan hammaddenin uçucu katı madde içeriği ile CO<sub>2</sub> salınımı doğru orantılıdır. Artan uçucu katı madde miktarı daha fazla CO<sub>2</sub> salınmasına neden olacaktır. Uçucu katı madde miktarı kompost malzemesinin içerdiği toplam karbon miktarını temsil etmektedir. Bu parametre doğrudan tüketilebilir olan karbon miktarına eşit değildir. Tüketilebilir karbon malzemenin kimyasal bileşenlerinin bir

fonksiyonudur. Nişasta, şeker ve yağ gibi bileşenler protein, selüloz ve lignin gibi bileşenlere göre çok daha hızlı ayrışır. Farklı bileşen türlerinin mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılabilme hızları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Azot, mikroorganizmaların hücre yapısındaki azot ve hücre içi protein sentezi için ihtiyaç duydukları bir besi elementidir. Materyalin içerdiği azot miktarı, atığın türüne göre değişmektedir (Epstein, 2011; Diaz vd. 2007; Öztürk vd. 2015).

Çizelge 2.1. Farklı bileşenlerin ayrıştırılabilme hızları (Epstein, 2011)

Organik Madde İçerikleri	Ayrışma Hızı
Şekerler	Hızlı
Nişasta, glikojen, pektin	
Yağ Asitleri, gliserol, lipit, yağ, fosfolipit	
Aminoasit	
Nükleik asit	
Protein	Yavaş
Hemiselüloz	
Selüloz	
Kitin	
Düşük molekül ağırlıklı aromatikler	Direnci
Alifatik bileşikler	
Lignoselüloz	
Lignin	

Kompostlama işlemi esnasında gerçekleşen mikrobiyal aktivitenin en önemli iki ihtiyacı karbon ve azot besi elementleridir. Yüksek C/N oranı kompost işlemini yavaşlatacak, düşük C/N oranı ise amonyak salınımlarının meydana gelmesine yol açacaktır (Epstein,2011). Literatürde farklı yazarlar tarafından doğrudan ideal bir C/N değeri belirtilmese de Epstein (2011) ve Diaz vd. (2007) 25-30, Öztürk vd. (2015) 20-35 gibi ideal aralıklar öne sürülmüştür. Yine de Epstein (2011) kompostlama işleminin genel olarak 20-40 C/N oranları arasında gerçekleşebileceğini belirtmiştir. Şevik vd. (2018) C/N oranı 15’in üzerinde olan karışımların kompostun stabilitesi için önemli bir kriter olan 55 °C üzerinde en uzun süre kalan karışımlar olduğunu bildirmiştir.

### 2.1.3. Su muhtevası

Hem mikrobiyal aktivitenin devamlılığı için, hem de organik bileşikleri, suda çözünen besi maddelerini çözebildiği için su muhtevası kompostlama

prosesinde önemli bir parametredir (Öztürk vd., 2015). Su muhtevası kompostlama işlemi başlangıcında ve işlem süresince sınırlayıcı faktör olabilmektedir. Su muhtevasının %40'ın altına düşmesiyle mikrobiyal aktivite yavaşlar ve %20 seviyesine inmesiyle sona erer. %60'ı aşan nem oranlarında ise hava boşlukları su ile dolmaya başlar ve bu durumda oksijen azlığı aktiviteyi sınırlayarak yavaşlatır (Epstein, 2011). Diaz vd. (2007) ise %60 su muhtevası oranını yeterli kabul etmiş ve farklı malzemelerden oluşan kompost karışımının her bir maddenin farklı su tutma kapasiteleri nedeniyle su muhtevasının ideal bir oranının bulunmadığını belirtmiştir.

#### **2.1.4. Oksijen ve havalandırma**

Kompostlama süreci aerobik şartlar altında gerçekleşen bir işlem olduğundan süreç boyunca oksijene ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanması için süreç boyunca havalandırma yapılmalıdır. Malzemenin boşluklu olması oksijenin mikroorganizmalar tarafından erişilebilir olması açısından önemlidir. Boşluk miktarı hammaddeye, nem oranına ve partikül boyutuna göre değişmektedir. Biyokatılar ve yemek atıkları yoğun ve yüksek nem oranı olan atıklardır. Bu nedenle bu atıklarla kompostlama işlemi gerçekleştirilirken hacim (yoğunluk azaltıcı) malzemeleri kullanılmaktadır. Ağaç yongaları, talaş ve bahçe atıkları gibi doğal malzemeler veya dilimlenmiş kauçuk parçaları gibi yapay malzemeler hacim malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Oksijenin sınırlayıcı faktör olmaması için işlem boyunca ortamdaki oksijen miktarı %10 üzerinde tutulmalıdır. Oksijenin %5'in altına düşmesi durumunda ise metan gibi anaerobik metabolizma ürünü olan gazların oluşumu gözlenir (Epstein, 2011).

#### **2.2. Kompost stabilitesi**

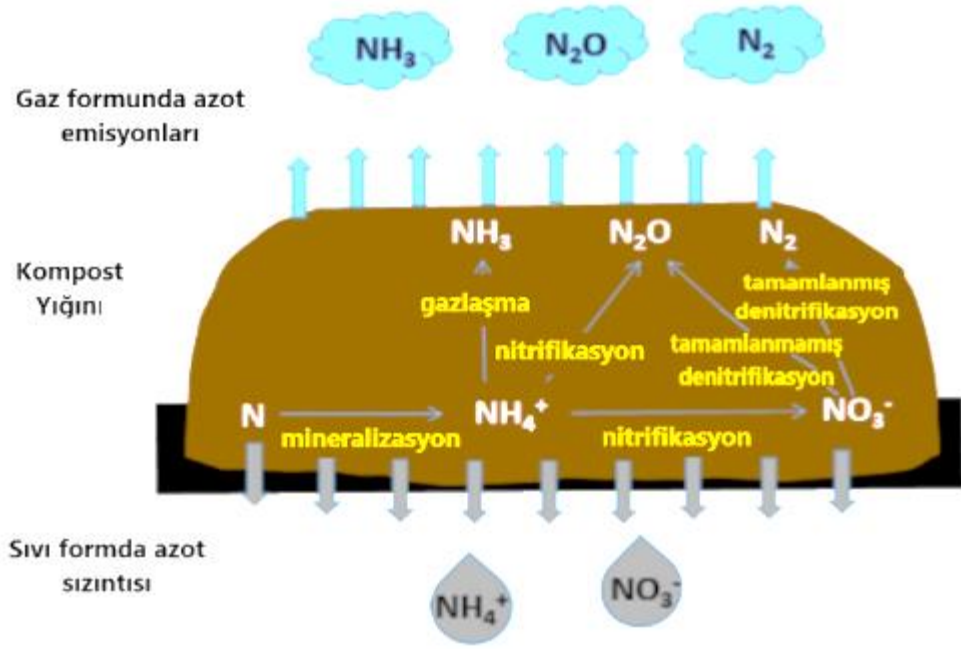
Stabilite organik maddenin bozulma basamağıdır ve biyolojik aktivitenin bir fonksiyonudur. Kompostlaştırma süresiyle doğrudan ilgilidir. Kompostun stabilitesi arttıkça koku ve yeniden ısınma problemleri azalır. Yeterince stabil olmayan kompost toprağa uygulandığında, toprakta mevcut olan azotu alarak bitkilerin azot konusunda eksiklik yaşamasına sebep olacaktır. Süreç



ilerledikçe tüketilebilir besin kaynakları mikroorganizmalarca metabolize edildiğinde kompostun sıcaklığı düşmekte ve çevre sıcaklığına yaklaşmaktadır. Sıcaklıklardaki bu düşüş kompostlaştırma işleminin tamamlandığına, olgun ve stabil ürünün oluştuğuna işaret edebilmektedir (Epstein,2011).

### **2.3. Kompostlama İşlemi Sırasında Meydana Gelen Amonyak Salınımı**

Azot varlığı canlılığın devamı ve hücre büyümesi için önemli bileşikler olan nükleik asitlerin ve proteinin sentezi açısından önemlidir. Özellikle bu bileşiklerde ve diğer organik bileşiklerde bulunan azot hücrelerde canlılığın sona ermesi sonucunda diğer canlılar tarafından tüketilerek yeniden çevreye döner (Caceres vd., 2017). Azot tüketen türlerin varlığında ortamda organik azotun inorganik azota dönüştürülmesi (mineralizasyon),  $\text{NH}_3$  azotunun atmosfere salınması (gazlaşma),  $\text{NO}_3$  azotunun azot gazı ( $\text{N}_2$ ) ve nitroz oksit ( $\text{N}_2\text{O}$ ) formunda atmosfere salınması (denitrifikasyon) ve mikrobiyal türler tarafından azotun hücre yapısına katılması (asimilasyon) işlemleri gerçekleşir (Edwards ve Daniel, 1992). Azotun kompostlama işleminde izlediği metabolik yollar ve bu yolların sonucunda elde edilen nihai ürünler Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Kompostlama işlemi esnasında meydana gelen azot içerikli gaz emisyonlarının yaklaşık %98'i  $\text{NH}_3$  %2'si  $\text{N}_2\text{O}$  şeklinde gerçekleşir (Dias vd., 2010).

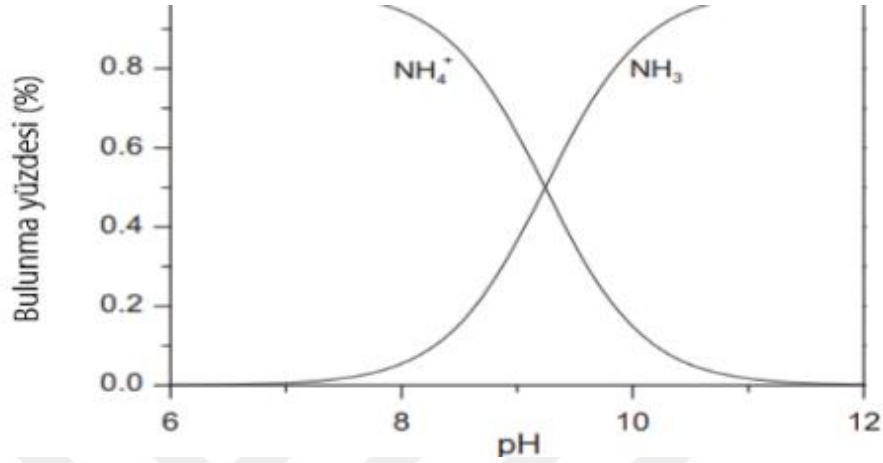


Şekil 2.2. Kompostlama işleminde azot döngüsü (Caceres vd., 2017)

Amonyak salınımı kompostlama işlemi süresince azot türleri tarafından gerçekleştirilen azot döngüsü reaksiyonlarından çevresel açıdan en önemli sonuçlarından biridir. Amonyak salınımı genel olarak düşük C/N oranına sahip karışımın aerobik kompostlaştırma prosesinin bir yan ürünüdür ve rahatsız edici bir kokuya ve elde edilen üründe kalite kaybına neden olur (Park ve Hong, 2004).

Kompostlama işleminin başlangıcında  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaynağı olan  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  konsantrasyonunun ortamda artmasının da etkisiyle termofilik fazda 65-70 °C'lere ulaşan sıcaklıklarda ve pH 8.4-9.0 aralığında  $\text{NH}_3$  gazı salınımları maksimum seviyeye ulaşır (Chowdhury vd., 2014). Aerobik kompostlaştırma esnasında organik maddelerin bozunmasıyla farklı formlarda atığın içinde bulunan organik azot sıvı formdaki amonyuma mineralize olur. Bu işlem tersinir olduğundan pH, sıcaklık, C/N oranı gibi çevresel ve yapısal parametrelere bağlı olarak reaksiyon  $\text{NH}_4^+$  ile  $\text{NH}_3$  arasında yön değiştirir. Sudaki amonyak bir pozitif değerlikli hidrojen iyonu ile birleşerek sıvı içinde amonyumu meydana getirir. Amonyum oluşumu ise kompost ortamının pH'sını yükseltir. Ortamdaki amonyumun amonyağa olan oranı bir denge teşkil eder (Şekil 2.3).

pH'nin yükselmesi bu dengenin bozulmasına ve sudaki amonyağın gaz fazına geçmesine neden olur. Farklı faza geçiş yapan amonyak gazı ise kompostun havalandırılması sonucunda amonyak emisyonu olarak ortamı terkeder (Wang ve Zeng, 2018).



Şekil 2.3. pH değerine bağlı olarak ortamdaki NH<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dengesi (Li vd., 2012)

Kompostlaştırma işlemi sırasında amonyak oluşumunun kontrolü için literatürde pek çok farklı çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler, pH ayarlaması (Chikae vd., 2006), başlangıç C/N oranı ayarlanması (Meng vd., 2016), farklı atıkları birlikte kompostlaştırma (Chang ve Chen, 2010) ve adsorban madde ilavesidir (Madrini vd.,2016). Sayılan kontrol yöntemlerinden pH, C/N oranı ve birlikte kompostlaştırma alanında çok sayıda çalışma yapılmış ve farklı yöntemler denenmiştir. Ekinci vd. (2013) başlangıç C/N oranının 18'den 30 değerine yükseltilmesiyle amonyak salınımının %50 oranında azaltılabileceğini belirtmiştir. Ancak bu yöntemler kompostlama işleminin temelinde çözüm olarak sunulduğu organik atıkların bütüncül değerlendirilmesi yaklaşımına uygun olmayacak şekilde ek malzemeler kullanılmasını gerektirmekte veya üretilen ve kompostlama işleminde kullanılan atıkların oranlarında ihtiyaca zıt değişiklikler uygulanarak gerçekleştirilmektedir.

Adsorban madde ilavesi yönteminde ise daha çok yapay ve pahalı maddeler ile çalışmalar yürütülmüş ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Steiner vd. (2010)'a

göre filtrasyon ve adsorpsiyon uygulamalarında da kullanılan aktif karbon amonyağı adsorblayabilme kapasitesine sahiptir fakat büyük ölçekli çalışmalar için gerekli olan miktarlar göz önünde bulundurulduğunda işletme ekonomisi açısından pahalı bir yardımcı malzemedir. Bu durum kompostlaştırma prosesinde amonyak kontrolü ve azaltımı için biyokömür gibi daha düşük maliyetli ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen bir adsorbanın kullanılmasını, adsorban madde ilavesi yönteminin uygulanabilirliğinin ekonomik ve çevresel açıdan artması için zorunlu kılmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009).

## **2.4. Biyokömür**

Biyokömür, piroliz yöntemiyle biyokütle olarak bilinen odun, hayvan gübresi veya yaprak gibi malzemelerin kapalı bir kaptaki çok az veya havasız olarak ısıtılmasıyla (<700 °C) elde edilen karbon zengini ürün olarak tanımlanır. Bu işlem odun kömürü (charcoal) olarak bilinen malzemenin elde edilme yöntemiyle benzerlik göstermektedir. İki ürün birbirinden kullanım amaçları doğrultusunda ayrılır (Lehmann ve Joseph, 2009).

Biyokömür birkaç farklı prosesin yan ürünü olarak elde edilebilmektedir. Biyokömürün özellikleri kullanılan üretim prosesine ve biyokömür hammaddesi olarak kullanılan malzemeye göre değişiklik göstermektedir (Manya, tarih). Üretim aşamasında elde edilecek biyokömürün özelliklerine etki eden parametreler en yüksek (pik) sıcaklık değeri, basınç, buhar bekletme süresi ve su muhtevasıdır (Antal ve Gonli, 2003).

Piroliz işleminin ardından üç farklı fazda ürün elde edilmektedir. Bu ürünlerin oluşma oranları pirolizin hızına, sıcaklığına ve buhar bekletme sürelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İşletme sıcaklıkları arttıkça elde edilen biyokömür oranı düşüş göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda elde edilen ürünlerde ise daha fazla yüzey alanı elde edilmektedir. Çizelge 2.2'de yöntemle ilgili olarak elde edilen ürün yüzdeleri gösterilmiştir (Bridgewater, 2007).

Çizelge 2.2. Kuru odundan üretilen biyokömürün farklı piroliz yöntemlerine göre ürün oranları (Bridgewater, 2007)

Piroliz Hızı	Üretim Koşulu	Sıvı	Biyokömür	Gaz
Hızlı	500 °C (Orta) Sıcaklık Kısa buhar bekletme süresi~1 saniye	%75	%12	%13
Orta	500 °C(Orta) Sıcaklık Orta buhar bekletme süresi ~10-20 saniye	%50	%20	%30
Yavaş	Düşük sıcaklık ~400 °C Çok uzun katı bekletme süresi	%30	%35	%35
Gazlaştırma	Yüksek sıcaklık ~800 °C Uzun buhar bekletme süresi	%5	%10	%85

Brewer vd. (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tek yıllık ve çok yıllık bitkilerden oluşan farklı hammaddelerden farklı sıcaklıklarda ve farklı piroliz yöntemleriyle biyokömür üretimi gerçekleştirilmiş çalışmanın sonucunda üretilen biyokömürün yüzey alanının kullanılan hammadde türüne ve göre değişiklik gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca tek yıllık bitkilerden üretilen biyokömürlerde kül içeriğinin yüksek (ağırlıkça %44-73) ve karbon içeriklerinin düşük (%22-43) olduğu görülmüştür. Odunsu kaynaklardan elde edilen biyokömürlerde ise kül içerikleri göreceli olarak daha düşük (%4-23) ve karbon içeriğinin yüksek (%62-79) olduğu tespit edilmiştir. Hızlı pirolizle üretilen biyokömürlerde yavaş pirolizle ve gazlaştırma işlemiyle üretilenlere nazaran uçucu bileşiklerin %12-30, karbon içeriklerinin %25-65 daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca bekletme süresi (hızlı piroliz < yavaş piroliz) ve sıcaklıklar (piroliz<gazlaştırma) artıkça biyokömürlerin yüzey alanlarında artış görülmüştür.

Biyokömür üretiminde hammadde olarak kullanılacak atıkların ülkemiz koşullarında tarımsal üretimin ardından yakılması veya sahada olduğu gibi bırakılması, işleme tabii tutulmamış hayvansal atıkların ise doğrudan tarım arazilerine uygulanması içerdikleri potansiyel zararlı maddeler nedeniyle kirliliğe yol açmakta ve toprak kalitesini düşürmektedir (Sümer vd., 2016). Son yıllarda özellikle biyokömürde yüksek miktarda bulunan karbonun gömülerek azaltılması ile iklim sorunlarının iyileştirileceği düşüncesi ve azotu adsorbe etme özelliğiyle toprağın besi maddesi ve mikrobiyal yönden verimini artırması nedeniyle biyokömür üzerine yapılan akademik ve ticari çalışmaların sayısında artış olmuştur (Clough vd., 2013).

## **2.5. Biyokömürlerin Adsorban Olarak Kullanılması ve Amonyak Salınımlarının Azaltılması**

Biyokömürün adsorban özelliğini içerdiği karbonsuz fraksiyonu sağlamaktadır. Bu bölüm topraktaki diğer kirleticilerle reaksiyona girmesini ve tutmasını sağlar (Uchimiya vd., 2011). Ahmad ve vd. (2014)'e göre biyokömürün çok fonksiyonlu özellikleri organik ve inorganik kirleticiler için çok etkili bir adsorban madde olarak kullanılmasının önünü açmaktadır.

Literatür taramalarından biyokömürün kompostlama işleminde adsorban olarak kullanması üzerine farklı yaklaşımlara göre çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bazı araştırmacılar amonyak emisyonu üzerindeki etkisini toplam azot kaybı üzerinden (Chen vd., 2010; Malinska vd., 2014; Vandescasteele vd., 2016), bazı araştırmacılar kompostlama işlemi kaynaklı amonyak emisyonlarını doğrudan ölçerken aynı kaynaktan biyokömürlerin karışımlara farklı oranlarda eklenmesinin etkisini (Steiner vd., 2010; Liu vd., 2017) ve farklı kaynaklardan elde edilen biyokömürlerin aynı oranda karışımlara ilave edilmesinin etkisini (Agyarko-Mintah vd., 2017; Chen vd., 2017) gözlemlemişlerdir.

Chen vd. (2010) domuz atıkları, talaş ve olgun kompost ile hazırlanan karışımlarda yaş ağırlıkça %3, %6 ve %9'luk farklı oranlarda bambu biyokömürü ilavesinin kompostlama işleminde toplam azot kaybı üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmada en iyi sonuç kontrol grubuna göre %65'lik toplam azot kaybı azaltımıyla %9'luk biyokömür karışımında elde edilmiş %3 ve %6'luk diğer karışımlarda oranlar sırasıyla %28 ve %61 olarak rapor edilmiştir. Malinska vd.(2014) arıtma çamuru ve ağaç yongası malzemelerinin kompostlanması süresince odunlardan elde edilmiş biyokömürün yaş ağırlıkça %4'lük ilavesinin kontrol grubuna göre toplam azot kaybı ve amonyak emisyonlarına etkisini incelemiş, amonyak emisyonlarının kontrol grubuna göre biyokömür ilave edilen grupta ilk hafta daha az, ikinci hafta ise daha fazla olduğunu belirtmiştir. Toplam azot kaybının ise biyokömürlü karışımda kontrol grubuna göre %62-69 arasında azaldığını bildirmiştir. Vandescasteele vd. (2016) ise, bahçe atıkları ve kentsel atıkların organik fraksiyonunun birlikte

kompostlanması işleminde yaş ağırlıkça eşit olarak hazırlanan karışımın kuru ağırlık bazında %10'u kadar pıral meşesi biyokömürü ilave ederek biyokömürün azot döngüsü üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda biyokömür ilave edilen karışımın kontrol karışımına göre  $NH_4^+$  azotunun biyokömürün geniş yüzey alanı sayesinde daha uzun süre tuttuğu ve bu sayede kompostlama işleminde inhibe edici etkisi olan  $NH_3$  oluşumunun (Kuok vd., 2013) engellendiği ve  $NH_3$  gazı emisyonlarının bu nedenle azaldığı sonucuna varılmıştır.

Steiner vd. (2010), yürüttükleri çalışmada biyokömürün kümes atıklarının kompostlanmasında azot kaybının azaltılmasına olan etkisini incelemiştir. Çalışmada 400 °C'de üretilen çam yongası biyokömürü kullanılmış kontrol grubuna ek olarak aynı karışıma ağırlıkça %5 ve %20 biyokömür ilave edilerek çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada en iyi sonuç kontrol grubuna göre %54 azalimla %20'lik biyokömür karışımında elde edilmiştir. Liu vd. (2017) buğday samanından elde edilen biyokömürlerin kompostlama prosesinde başlangıçta malzemelerin bünyesinde bulunan toplam azotun amonyak gazı olarak salınımına etkisini incelemiş ve bu kapsamda hazırlanan susuzlaştırılmış arıtma çamuru ve buğday samanı karışımına ağırlıkça %1, %3, %5 ve %7'lik biyokömür ilaveleri gerçekleştirmiştir. Çalışmaların sonucunda biyokömür ilave edilen %1, %3, %5 ve %7'lik karışımlarda kontrol grubunda gerçekleşen amonyak salınımına göre sırasıyla %35.7, %27.8, %22.4 ve %22.9 oranlarında azalma meydana geldiği bildirilmiştir.

Agyarko-Mintah vd. (2017), tarafından yürütülen çalışmada kümes atıkları ile şeker kamışı samanının birlikte kompostlanması işleminde kümes atıklarından ve bahçe atıklarından üretilen farklı biyokömürlerin amonyak azaltımına etkisi çalışılmıştır. Çalışma sonucunda kümes atıklarından elde edilen sonuçlara göre biyokömürün ilave edilmesi amonyak emisyonunu kontrol grubuna göre %38 ve bahçe atıklarından elde edilen biyokömürde ise %58 azaltmıştır. Chen vd., (2017) gerçekleştirdikleri araştırmada mısır sapı, bambu, odun, kümes atıkları ve hindistan cevizi lifinden üretilen biyokömürlerin kümes atıklarının kompostlanması işleminde amonyak emisyonlarını kontrol gruplarına göre sırasıyla %24.8, %20.1, %14.2, %11.8 oranlarında azalttığını bildirmiştir.

Literatür araştırması sonucunda elde edilen amonyak emisyonu azaltım sonuçları Çizelge 2.3'te özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.3. Biyokömürün amonyak azaltımına etkisi

Kompost malzemesi	Biyokömür hammaddesi	Biyokömür %	Amonyak azaltımı*	Referans
Kümes atıkları	Çam yongası (400 °C)	%5 (y.a)** %20 (y.a)	%8 %54	Steiner, vd. (2010)
Arıtma Çamuru Buğday Samanı	Buğday Samanı (350-550 °C)	%1 (y.a) %3 (y.a) %5 (y.a) %7 (y.a)	%35.6 %27.8 %22.4 %22.9	Liu vd. (2017)
Kümes atıkları Şeker kamışı samanı	Bahçe atıkları (550 °C) Kümes atıkları (550 °C)	% 10 (k.a)*** % 10 (k.a)	%58 %38	Agyarko-Mintah, vd. (2017)
Kümes Atıkları	Mısır sapı (500 °C) Odun (500 °C) Kümes atıkları (500 °C) Hindistan cevizi lifi (500 °C)	% 10 (y.a) % 10 (y.a) % 10 (y.a) % 10 (y.a)	%24.8 %20.1 %14.2 %11.8	Chen vd. (2017)
*Kontrol grubuna göre **Yaş ağırlık ***Kuru Ağırlık				



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Kompostlama İşleminde Kullanılan Atıklar

Çalışma kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Doğu ve Batı Kampüslerinde kompostlama işleminde kullanılabilecek noktasal ve yayılı organik atık kaynakları tespit edilmiştir. Bunlardan noktasal olanlar, üniversite yemekhanesi atıkları ile eğitim ve uygulama çiftliğinden kaynaklanan hayvansal atıklardır. Yayılı kaynaklar ise kampüs yeşil alanında belirli periyotlarla gerçekleştirilen çim biçme işlemi sonucunda üretilen çim biçme atıkları ile ağaçların budanmasından oluşan budama atıklarıdır.

##### 3.1.1. Mutfak atıkları

SDÜ-ISUBÜ yerleşke merkez yemekhanesinde yıllık olarak belirlenen yemek menüleri incelenmiş, yemeklerin mutfak atıkları (MA) ve yemek sonrası atıkları on gün boyuca takip edilmiş yemekhane mutfağında üretilen mutfak atıklarının daha az ön işlem gerektirmesi ve mevcut sistemde ayrıştırılıyor olması nedeniyle kompostlama işleminde kullanılması öngörülmüştür. Mutfak atıkları günlük menüye ve mevsim sebze ve meyvelerine bağlı olarak değişmekle birlikte Ekim ayında yapılan ön çalışmalarda ağırlıklı olarak, bütün olarak ıskartaya ayrılan çürümüş domates ve soğan; biber ve maydanoz demeti sapları; marul, soğan, patlıcan, taze fasulye, havuç ve barbunya kabukları tespit edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Yemekhaneden farklı günlerde alınan atıklar

Merkez yemekhanesinde oluşan mutfak atıkları resmi tatiller hariç hafta içi her gün günde iki defa olmak üzere on gün boyunca toplanmıştır. Üretilen mutfak atıkları günlük olarak yemekhaneden alınarak +4 °C'de soğuk hava deposunda saklanmıştır.

Kompostlama işleminden bir hafta öncesine kadar biriktirilen mutfak atıklarını, kompostlama işlemi için uygun partikül boyutu ve nem oranı seviyesine getirmek için atıklar öğütme ve kurutma (Şekil 3.2) işlemlerine tabii tutulmuştur.



Şekil 3.2. Mutfak atıklarının su muhtevasının azaltılması

### 3.1.2. Büyükbaş hayvan gübresi

Büyükbaş hayvan gübresi (BHG) Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Eğitim, Uygulama ve Araştırma Çiftliği'nden temin edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan gübre tesise getirilerek su muhtevasını kompostlama için uygun seviyeye gelene kadar kurutulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Büyükbaş hayvan gübresinin su muhtevasının azaltılması

### 3.1.3. Çim biçme atıkları

SDÜ-ISUBÜ Doğu ve Batı Yerleşkeleri toplamda 450.000 m<sup>2</sup> yeşil alana sahiptir. Yeşil alanda bulunan çimler üniversite park ve bahçe ekipleri tarafından düzenli olarak biçilmektedir. Günlük ölçekte üretilen ve yüksek kompostlama potansiyeline sahip çim biçme atıkları (ÇBA) çim biçme işlemi tamamlandıktan sonra traktörler vasıtasıyla laboratuvara taşınarak malzemenin su muhtevası içeriği uygun koşullara gelene kadar kurutulmuş (Şekil 3.4) ve daha sonra kompostlama işleminde kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Çim biçme atıklarının su muhtevasının azaltılması

### 3.1.4. Budama atıkları

Yerleşke alanında bulunan ağaçlar her yıl Nisan ayında budama işlemine tabii tutulmaktadır. Elde edilen kalorifik değeri yüksek budama atıkları (BA) küçük ölçeklerde üniversite içindeki eğitim ve uygulama seralarının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Geri kalan atık yerleşke alanı içinde yığın halinde geçici

olarak depolanmaktadır. Kampüs alanında bulunan ağaçlar her yıl Nisan ayında budama işlemine tabii tutulmakta ve çıkan ağaç kırıntıları, iğne yapraklar, yonga ve talaş kampüs alanı içinde kaba öğütme işleminden sonra yığın olarak (Şekil 3.5a) depolanmaktadır. Kampüste bulunan budama yığınının kompostlama işleminde dolgu malzemesi olarak kullanılmak üzere alınan numune boyutları kompostlama işlemi için büyük olduğundan yeniden öğütme işlemine tabii tutulmuş (Şekil 3.5b) ve kompostlama işlemi için hazır hale getirilmiştir.



a) Budama atıkları (parçalanmış) b) Budama atıkları (öğütülmüş)

Şekil 3.5. Kampüs alanındaki budama atıkları

### 3.1.5. Biyokömür

Kompost karışımında amonyak emisyonu azaltımı için kullanılan biyokömür downdraft pirolizerle 500-550 °C'de üretilmiş ve hammadde olarak pırnal meşesi budama atıkları kullanılmıştır.

Kompostlama işleminde kullanılan mutfak atıkları, büyükbaş gübresi, çim biçme ve budama atıklarına su muhtevası, organik madde, pH, EC ve CN analizleri uygulanmış. Elde edilen sonuçlara göre Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Kompost materyalinin kimyasal ve fiziksel özellikleri

	Mutfak atıkları	Çim Biçme atıkları	Budama atıkları	Büyükbaş Gübresi	Biyokömür
<b>Su Muhtevası (%SM)</b>	83*	15*	9	53*	42
<b>Kuru Madde (%KM)</b>	17	85	91	47	58
<b>Organik Madde (%OM)</b>	86	72	89	72	76
<b>pH</b>	4.65	9.07	6.56	9.57	7.55
<b>Elektriksel İletkenlik (EC) (mS/cm)</b>	5.90	5.03	0.23	10.01	0.81
<b>Toplam Karbon (% TC)</b>	40.4	35.1	46.2	35.8	72.8
<b>Toplam Azot (% TN)</b>	2.2	2.4	0.9	2.2	1
<b>C/N</b>	17.7	14.2	50.9	15.2	72.4

\*Kurutma işleminin ardından elde edilen SM değerleri

### 3.2. Laboratuvar Ölçekli Kompostlama Sistemi

Kompostlama işlemi ISUBÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Kompost ve Biyogaz Laboratuvarı'nda (Şekil 3.6) gerçekleştirilmiştir. Denemede laboratuvarda mevcut olan 15 aerobik reaktör, bunlara bağlı havalandırma fanları, reaktör içinde 3 farklı noktada gerçekleştirilen sıcaklık ölçüm sistemi, reaktör ve ortam sıcaklıklarını kaydeden ve havalandırma işlemini sağlayan otomasyon sistemi ve amonyak ölçümleri için kullanılan vakum pompası sistemi ile düzenli CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> ölçümlerinde kullanılan analizör kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Kompost ve Biyogaz Laboratuvarı

Denemede kullanılan reaktörler (Şekil 3.7) paslanmaz çelikten imal edilmiş olup ısı yalıtımları cam yünü ile sağlanmıştır. Her bir reaktörün iç çapı 47 cm,

sızıntı suyu ızgarasından itibaren yüksekliği 57.5 cm ve reaktör kompostlama haznesinin aktif hacmi 100 litredir.

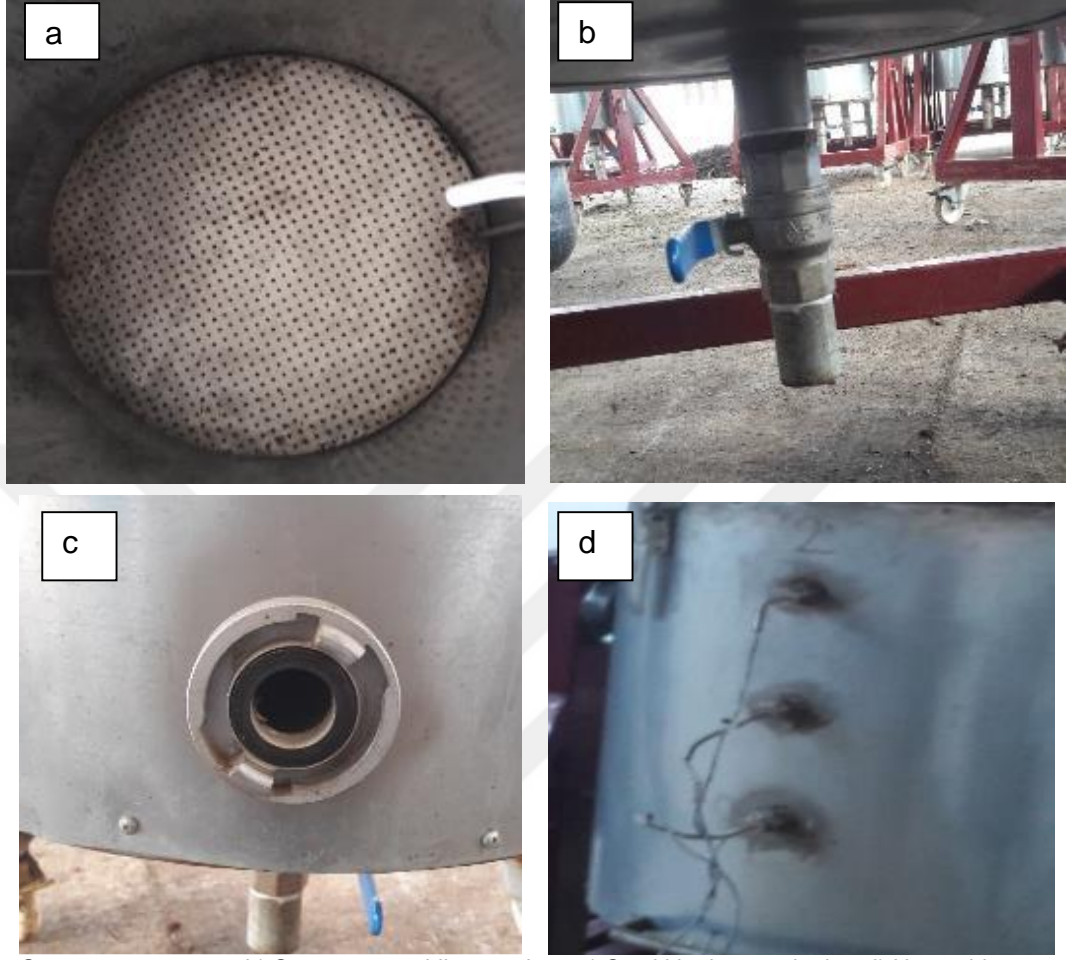


Şekil 3.7. Denemede kullanılan reaktörler

Reaktörlerde kompostlama işlemi esnasında oluşabilecek sızıntı suyunun tahliyesi için sızıntı suyu ızgarası (Şekil 3.8a), ızgaranın altında biriktirme haznesi ve tahliye musluğu (Şekil 3.8b) bulunmaktadır. Reaktör içine konulan malzemenin kompostlama işlemi takip için üst, orta ve alt noktalardan (Şekil Şekil 3.8c) beşer dakikalık periyotlarda sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Reaktörlerde ayrıca havalandırma işlemi için sızıntı suyu haznesinin üzerinde hava giriş ağız (Şekil 3.8d) bulunmaktadır. Sızdırmazlık için contalı kapak sistemi ile kapatılan reaktörlerin kapaklarının üzerinde gaz ve su buharı tahliyesi için egzoz çıkışları bulunmaktadır.

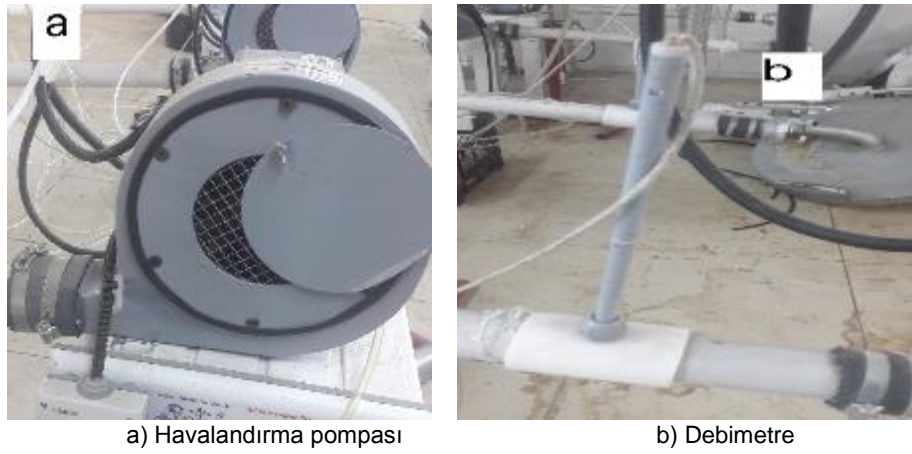
Aerobik kompostlama işlemi esnasında ihtiyaç duyulan oksijenin ortama sağlanması için reaktörler düzenli olarak saatte 5 dakika boyunca 0.25 W 150 m<sup>3</sup>/h kapasiteli havalandırma fanları (Şekil 3.9a) ile havalandırılmıştır. Kompostlama işleminin kontrolü Rutgers havalandırma tekniğine göre gerçekleştirilmekte, havalandırma fanlarının ölçülen sıcaklık verisine bağlı olarak maksimum mikrobiyal aktivitenin sağlanması amaçlanmaktadır. Orta seviyede ölçülen sıcaklık 60 °C'yi aşarsa otomasyon sistemi devreye girerek reaktör sıcaklığı 59 °C'nin altına düşene kadar sürekli olarak soğutma amacıyla havalandırma gerçekleştirilmektedir. Reaktöre verilen hava miktarları

SIEMENS QVM62.1 debimetreler (Şekil 3.9b) aracılığıyla ölçülerek kaydedilmektedir.



Sızıntı suyu ızgarası b) Sızıntı suyu tahliye musluğu c) Sıcaklık ölçüm noktaları d) Hava giriş ağız

Şekil 3.8. Reaktör elemanlarının görünümü



a) Havalandırma pompası

b) Debimetre

Şekil 3.9. Havalandırma elemanları

### 3.3. Kompostlama İşlemi

Kompostlama işlemi 15 reaktörde gerçekleştirilmiştir. Kompostlanacak MA, BHG, ÇBA ve BA malzemelerinden karbon azot oranı (C/N) 20.97 olan sabit bir başlangıç karışımı hazırlanarak tüm reaktörlere eşit olarak eklenmiştir. Hazırlanan başlangıç karışımının malzemelere göre yaş ve kuru madde miktarları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Bir kompost reaktörü için kullanılan materyal miktarları

	MA	BHG	BA	ÇA
Yaş Madde (kg)	14.89	5.33	2.77	2.95
Yaş Madde (%)	57.4	20.5	10.7	11.4
Kuru Madde (kg)	2.51	2.51	2.51	2.51
Kuru Madde (%)	25	25	25	25

Kontrol grubuna herhangi bir ilave yapılmamış, diğer uygulama gruplarına kontrol grubu ile eşit miktarda karışım eklenerek bunların kuru ağırlıklarına bağlı olarak %2, %4, %6 ve %8 oranında biyokömür kuru ağırlık bazında eklenmiştir. R1, R2 ve R3 reaktörleri kontrol grubu (BK0) olarak; R4, R5 ve R6 reaktörleri %2 biyokömür uygulaması (BK2) olarak; R7, R8 ve R9 reaktörleri %4 biyokömür uygulaması (BK4) olarak; R10, R11 ve R12 reaktörleri %6 biyokömür uygulaması (BK6) olarak ve R13, R14 ve R15 reaktörleri kuru ağırlıkça %8 biyokömür uygulaması (BK8) olarak yüklenmiştir

Çizelge 3.3. Reaktörlere eklenen biyokömür miktarları

	Biyokömür Kuru Ağırlık (g)	Biyokömür Yaş Ağırlık (g)	Karışımın Kuru Ağırlığına Göre Kullanılan Biyokömür Oranı (%)
<b>BK0</b> (R1,R2,R3)	0	0	0
<b>BK2</b> (R4, R5, R6)	201	348	2
<b>BK4</b> (R7, R8, R9)	401	696	4
<b>BK6</b> (R10, R11, R12)	602	1044	6
<b>BK8</b> (R13, R14, R15)	802	1391	8



### 3.4. Analitik Yöntemler

#### 3.4.1. Serbest hava boşluğu (FAS)

Numune ve hammadde analizinde serbest hava boşluğu tayini TMECC 03.01-C metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numune 1 litrelik ölçülü kap içine 1 litre çizgisine kadar doldurulmuştur. Kap içine alınan numunenin suya doymun hale gelmesi için kap 1 litre çizgisine kadar su ile doldurulmuştur. Doldurulan su daha sonra süzülerek boşaltılmıştır. Doymun hale getirme işleminden sonra kabın ağırlığı kaydedilmiştir. Kaba yeniden 1 litre seviyesine kadar su ilave edilmiş ve ağırlık yeniden kaydedilmiştir. Elde edilen verilere göre serbest hava boşluğu Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda suyun özgül ağırlığı 1 kg/L olarak kabul edilmiştir.

$$\text{Serbest Hava Boşluğu (\%)} = [(W2-W1)*1000] / V \quad (3.1)$$

W1 = Suya doymun ağırlık (g)

W2 = Su eklendikten sonraki ağırlık (g)

V = Kap hacmi (L)

#### 3.4.2. Birim hacim ağırlığı

Malzemenin birim hacim ağırlığı (BHA), çalışılan ölçeğin kompostlama işlemi süresince büyük olması nedeniyle ön hazırlık ve kompostlama işleminde farklı iki yöntemle hesaplanmıştır. Ön hazırlık aşamasındaki materyal 5 litre hacimli ve darası alınmış bir behere doldurulmuş ve ölçülen ağırlık kaydedilmiştir. Analizler süresince reaktörlerde hazır bulunan karışımların yoğunluğu ise hacmi belli olan silindirik reaktörlerde üst boşluk ölçümleri (Şekil 3.10a) ve darası bilinen reaktörlerdeki numune ağırlığı kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 3.10b)



a) Üst boşluk ölçümleri



b) Reaktörlerin tartımı.

Şekil 3.10. Birim hacim ağırlığının belirlenmesi

### 3.4.3. pH ve elektriksel iletkenlik

Yaş numunelerde pH ve elektriksel iletkenlik sırasıyla TMECC 04.11-A ve 04.10 metodu (kuru ağırlık:su hacmi) oranı kullanılarak ölçülmüştür. Su muhtevası bilinen yaş numunelere kuru ağırlık/su hacmi oranı 1:10 (dw:v) sağlanacak biçimde saf su eklenmiştir. Oluşturulan karışım orbital inkübatörde 20 dakika boyunca 180 devir/dk hızında çalkalanmış ve Inolab WTW-ph720 pH metre ile (Şekil 3.11) pH ölçümleri, WTW multi340i (Şekil 3.11) ile elektriksel iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

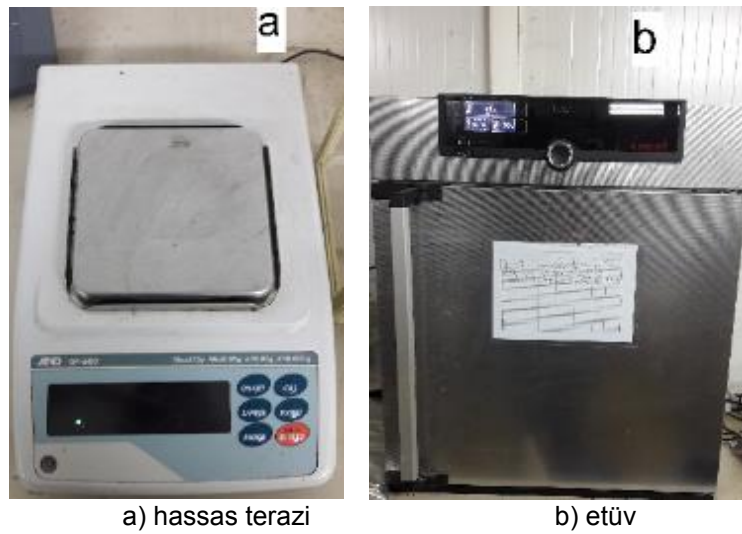


WTW multi340i (solda) ve Inolab WTW-ph720 (sağda)

Şekil 3.11. pH ve EC ölçümünde kullanılan cihazlar

#### 3.4.4. Su muhtevası

Su muhtevası analizleri TMECC 03.09 metoduna göre yapılmıştır. Ön hazırlık sürecinde, karışımlar esnasında ve son ürünlerden alınan numuneler, AND GF-600 hassas terazi (Şekil 3.12a) ile darası alınan numune kaplarına alındıktan sonra tartılarak Memmert UN110 etüv (Şekil 3.12b) ile 65 °C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve desikatörde oda sıcaklığına getirilmiştir. Oda sıcaklığına gelen numuneler tartılarak ölçülen ağırlıklar kaydedilmiştir. Bu işlem ağırlık değişimi sabitleninceye kadar sürdürülmüştür.



a) hassas terazi

b) etüv

Şekil 3.12. Analizde kullanılan hassas terazi ve etüv

Numunenin su muhtevası Denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

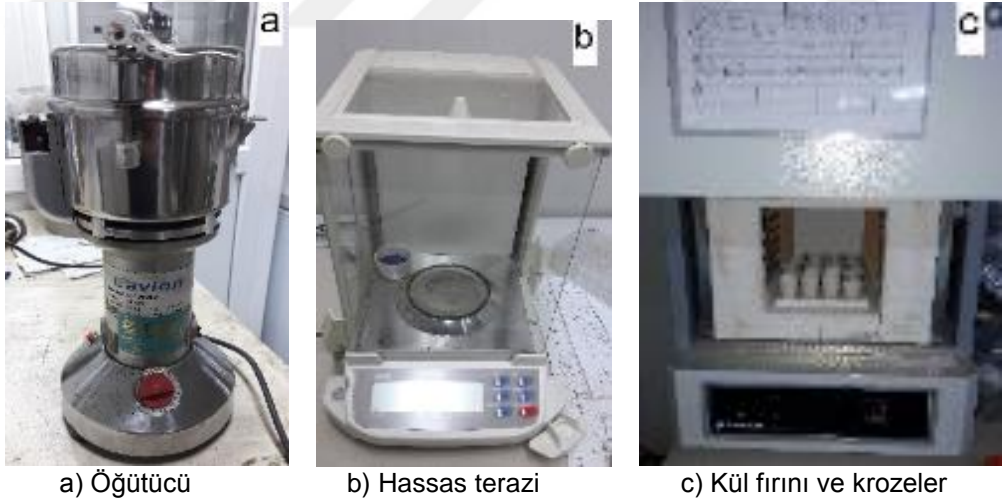
$$\% \text{ SM} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.2)$$

W1: Yaş numune ağırlığı

W2: Kuru numune ağırlığı

### 3.4.5. Organik madde

Organik madde tayini öncesinde kuru numuneler, öğütülüp boyutları küçültülerek hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.13a). Her bir numuneden yaklaşık 2 gram temsili örnek alınarak daraları Precise XB 220B hassas terazi (Şekil 3.13b) ile alınan porselen krozelere konmuş, eklenen numune miktarları yeniden tartılarak kaydedilmiş ve 550 °C sıcaklıkta 4 saat yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yakma işlemi Protherm Furnaces marka kül fırınında (Şekil Şekil 3.13c) gerçekleştirilmiştir. Yakma işlemi sonucunda krozelerde kalan kül miktarları hassas terazi ile tartılarak yeniden kaydedilmiştir.



Şekil 3.13. Analizde kullanılan laboratuvar cihazları ve ekipmanlar

Numunenin organik madde miktarı Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ OM} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (3.3)$$

W1: Kuru numune miktarı (g)

W2: Yakma sonrası kalan kül miktarı (g)

### 3.4.6. Karbon ve azot analizi

Karbon ve azot analizi, numunedeki toplam karbon ve toplam azot miktarları ile C/N oranını belirlemek için Elementar Vario Macro Cube CN (Şekil 3.14) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. CN analizöründe numuneler yüksek sıcaklıklarda yakılarak içeriğindeki elementler gaz fazına geçmekte, ayrıştırma işlemine tabii tutulan gazlar termal iletkenlik dedektörü (TCD) ile tayin edilmektedir.



Şekil 3.14. Karbon, Azot ve C/N ölçümlerinin gerçekleştirildiği cihaz

### 3.4.7. Amonyum ve nitrat

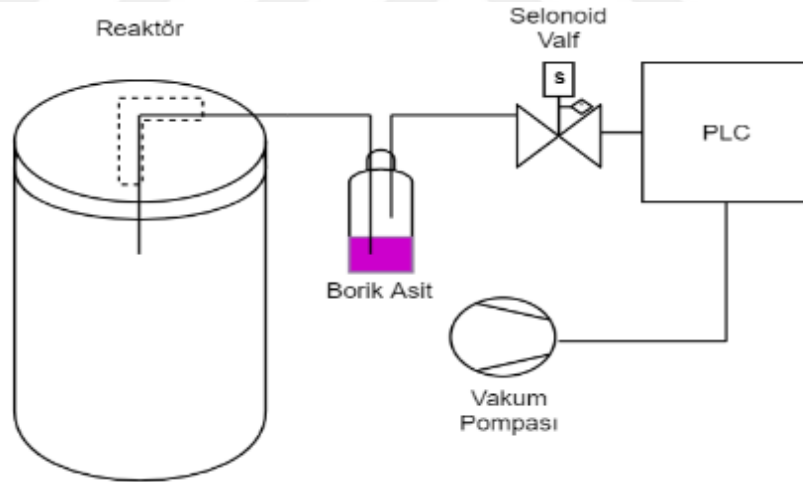
Amonyum ve nitrat tayini gerçekleştirebilmek için kuru numuneler öncelikle 2 M KCL ile ekstraksiyon işlemine tabii tutulmuştur. Bu işlem için 2 gr kuru numune alınarak 100 mL KCL içine eklenmiş ve orbital inkübatörde 150 devir/dk hızda 1 saat boyunca çalkalanmaya tabii tutulmuştur. Çalkalama işleminden sonra ekstrakte olan numuneler 42 numaralı Whatman filtre kağıdı ile süzülerek analize hazır hale getirilmiştir.

Ekstraksiyon ve süzme işleminden sonra elde edilen numunelerde amonyum analizi için Nessler metodu, nitrat analizi için ise nitrat kiti kullanılarak spektrofotometrik ölçümler sonucunda amonyum ve nitrat değerleri belirlenmiştir.

### 3.4.8. Amonyak tayini

Amonyak ölçümü reaktör egzoz çıkışlarından 1 litere/dk debiyle çekilen çıkış gazı numunesinin 50 ml 0.02 N H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (Borik Asit) içeren gaz şişelerinden geçirilerek NH<sub>3</sub> gazının tutulmasıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15). 20 dakikalık periyotlarla örnekleme yapılmış, her örnekleme periyodunda reaktörden 1 dakika boyunca gaz çekişi gerçekleştirilmiştir. Vakum pompasının reaktörler arasın geçişi kurulan selonoid valf sistemi aracılığıyla PLC sistemi kontrolünde gerçekleştirilmiştir.

Kompostlama işlemi sırasında oluşan amonyak gazı SMEWW 4500-NH<sub>3</sub> C yöntemine göre tayin edilmiştir. Borik asit içinde tutulan amonyak 0.02 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile renk dönüşümü oluncaya kadar titre edilerek sarfiyat miktarı kaydedilmiştir. Titrasyon öncesi ve sonrasında renk değişimleri Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.15. NH<sub>3</sub> ölçüm sistemi akış şeması



Şekil 3.16. Titrasyon öncesi (yeşil) ve sonrası (mor) renk değişimleri

Denklem 3.4 kullanılarak ölçümlenen sürede gerçekleşen ortalama NH<sub>3</sub>-N salınımları hesaplanmıştır.

$$\text{NH}_3\text{-N (mg/kg)} = A \times 280 / W \quad (3.4)$$

A= H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sarfiyatı (ml)

W = Numunenin kuru ağırlığı (g)

Denklem 3.5 kullanılarak kümülatif NH<sub>3</sub>-N miktarları hesaplanmıştır.

$$\text{Top. NH}_3\text{-N (mg/kg)} = \sum_1^n (\text{NH}_3 - N \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) * 24 * 20 * (t_s - t_i) \quad (3.5)$$

n = Ölçüm sayısı

NH<sub>3</sub>-N (mg/kg) = Ölçüm aralığında ortalama NH<sub>3</sub>- N emisyonu değeri

t<sub>s</sub> = ölçümün sonlandırılma zamanı (gün)

t<sub>i</sub> = önceki ölçümün sonlandırılma zamanı (gün)

#### **4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA**

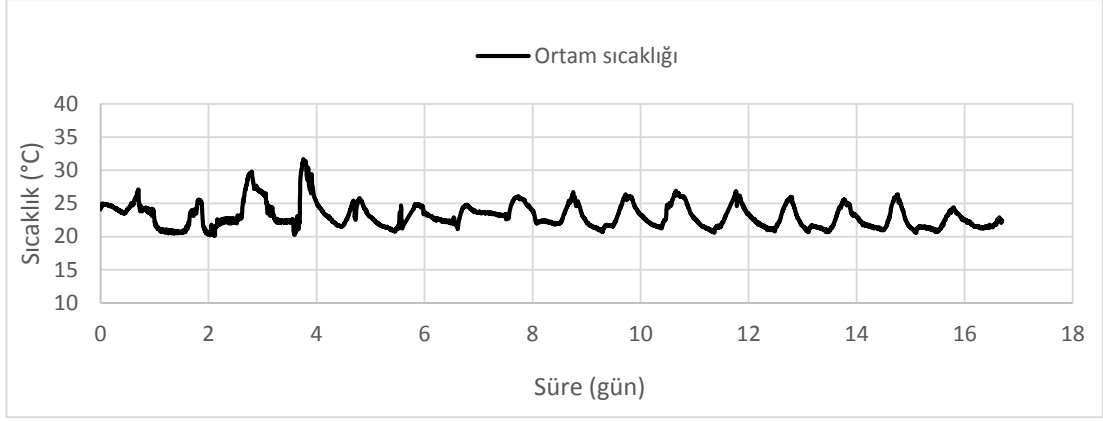
Deney kapsamında hazırlanan karışımın kompostlanması işlemi 16.69 gün sürdürülmüştür. Kompostlama işlemi boyunca reaktörlerdeki karışım sıcaklığı 30 °C'nin altına indiğinde 2 defa karıştırma işlemi yapılmış ikinci karıştırma işleminin sonucunda kompost sıcaklıkları ortam sıcaklıklarının üstüne çıkmadığı için işlem sonlandırılmıştır. Biyokömürün, kompostlamadan kaynaklanan NH<sub>3</sub> salınımına etkisini belirlemek için kompost karışımına %0, %2, %4, %6 ve %8 oranında kuru ağırlık bazında biyokömür karıştırılmıştır.

Çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular ortam sıcaklığı, kompostlama işlemi süresince reaktör sıcaklık değişimleri, havalandırma ve karıştırma süreci, fiziksel ve kimyasal analizler ve amonyak salınımları başlıkları altında sunulmuştur.

##### **4.1. Ortam Sıcaklığı**

Kompostlama işlemi süresince çalışmaların yürütüldüğü laboratuvarın iç ortam sıcaklıkları otomasyon sistemi ile 5 dakikalık periyotlarla sürekli olarak izlenerek kayıt altına alınmıştır. Ortam sıcaklıkları çalışmanın gerçekleştirildiği Isparta ili Ekim ve Kasım ayları mevsim normallerine paralel olarak gece ve gündüz arasında değişiklikler göstermekle birlikte genel olarak 20 °C'nin üzerinde ve ortalama 23 °C olarak ölçülmüştür. Kompostlama işleminin sürdürüldüğü zaman aralığında kaydedilen ortam sıcaklığı değişimleri kompost günlerine göre Şekil 4.1'de gösterilmiştir.





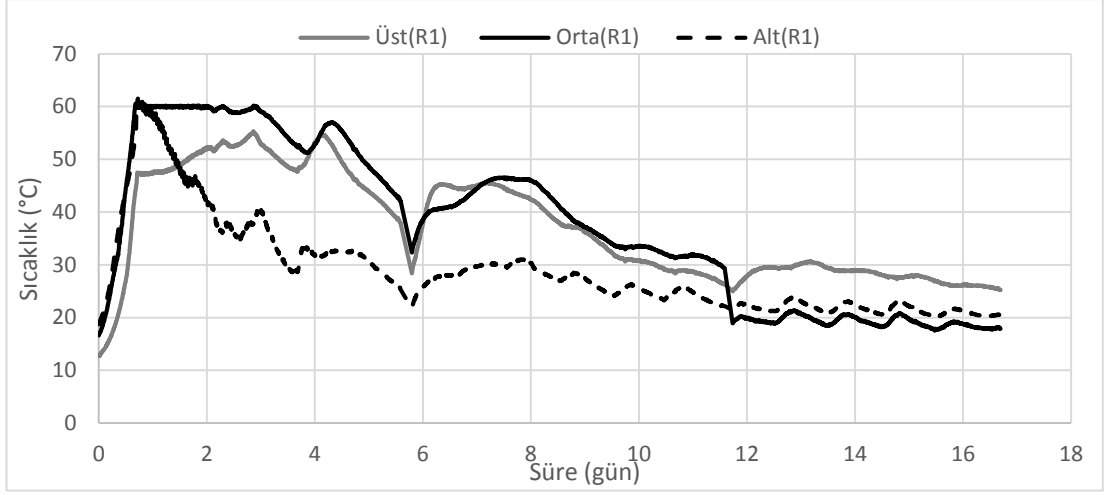
Şekil 4.1. Kompostlama işlemi süresince ortam sıcaklıkları

#### 4.2. Kompostlama İşlemi Süresince Kompostlama Sıcaklık Değişimleri

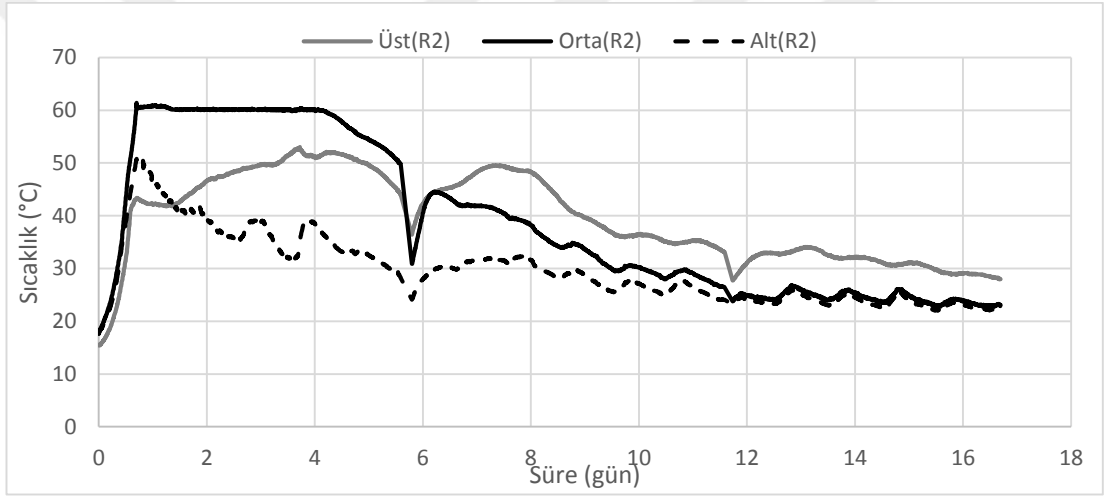
Amonyak emisyonlarının takibi için kurgulanan sistemde kontrol amaçlı kurulan BK0 karışımı reaktörlerinin (R1, R2 ve R3) kompostlama işlemi süresince ölçülen kompost sıcaklıkları değişimi Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

Kontrol grubu reaktörlerinin (R1, R2 ve R3) merkezlerinde ölçülen maksimum sıcaklıklar sırasıyla 60.6, 61.4 ve 60.2 °C'dir. Tekerrür amaçlı kurulan 3 reaktörde de maksimum sıcaklıklar ve kompostun olgunlaşma süreleri paralellik göstermektedir. Reaktörlerdeki merkez sıcaklığı deneme kurulup sıcaklık kaydı başlatıldıktan yaklaşık 15 saat sonra 60 °C'ye ulaşmıştır.

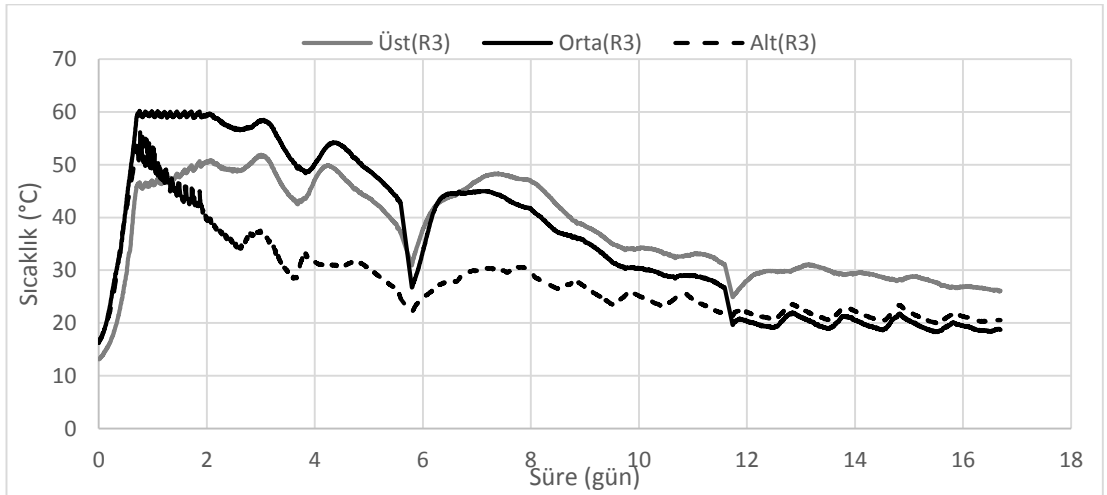
Kompost sıcaklıkları ölçüm noktaları bazında incelendiğinde orta seviye sıcaklıklarının 60 °C'ye ulaşmasının ardından alt seviyede ölçülen sıcaklıklar sürekli olarak çalışan ve soğutma amaçlı kullanılan havalandırma fanları nedeniyle genel sıcaklıklara göre düşük seyir izlemiştir. Merkez sıcaklıklarının 60 °C'nin altına inmesiyle alt seviye sıcaklıkları da diğer ölçümlere yaklaşmış ancak gerçekleştirilen saatlik havalandırma işlemi ve hızlı tüketilebilir besi maddelerinin ortamda azalması nedeniyle diğer ölçüm noktalarına göre daha düşük kalmıştır. Üst seviye sıcaklıkları ise soğutma işleminden doğrudan etkilenmediği için kompostlama işlemi süresince orta seviye sıcaklıklarını takip etmiş, kompost stabil hale geldikten sonra diğer seviyelere göre daha yüksek bir seyir izlemiştir.



Şekil 4.2. R1'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.3. R2'nin kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



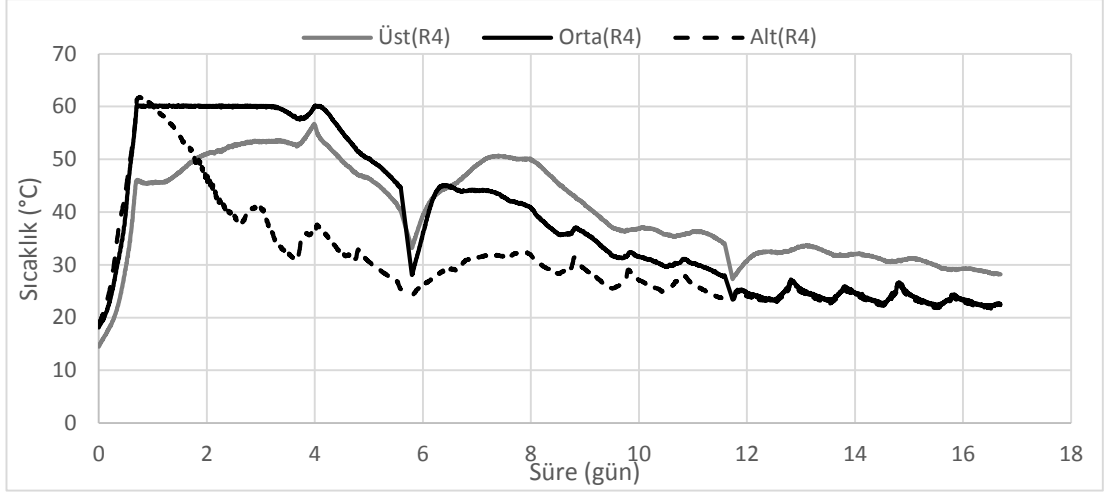
Şekil 4.4. R3'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi

%2 biyokömür uygulamasının gerçekleştirildiği BK2 karışımının eklendiği R4, R5 ve R6 reaktörlerinin kompostlama işlemi boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.

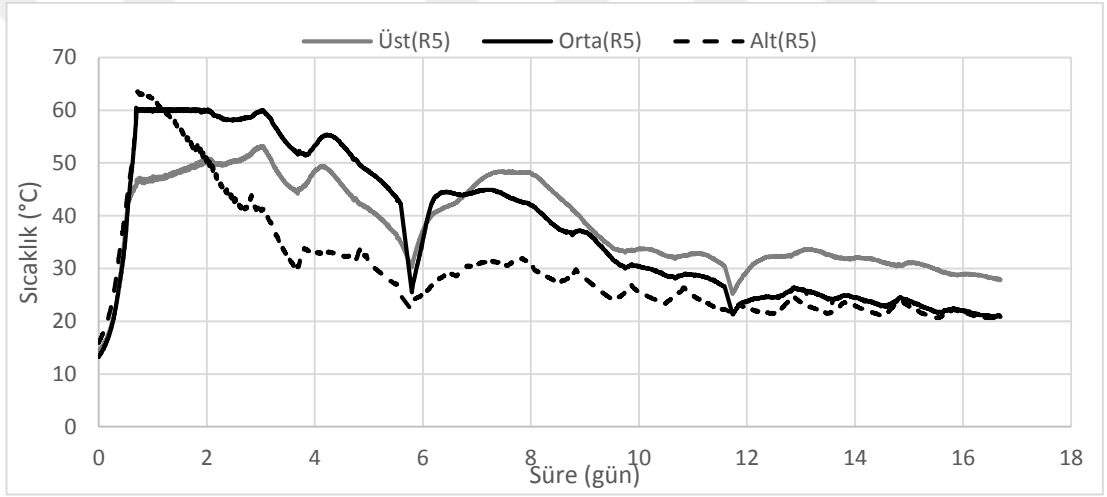
R4, R5 ve R6 reaktörlerinin orta noktalarında ölçülen maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 60.2, 60.2 ve 60.4 °C'dir. R4 ve R5 maksimum sıcaklık değerine sırasıyla 16.8 ve 17.2 saatte ulaşmıştır. R6 ise benzer sürede 60 °C seviyesine ulaşmakla birlikte kurulumu takip eden dördüncü günün sonunda 95 saatte en yüksek sıcaklık değerine ulaşmıştır.

R4 ve R5 reaktörlerinde görülen sıcaklık karakteristikleri BK0 grubu ile benzerlik göstererek 5.67. günde yapılan karıştırma işleminden sonra karışım öncesi sıcaklık seviyelerine geri dönerek azalma eğilimi göstermiştir. R6'da ise aynı karıştırma işleminden sonra sıcaklıklar karıştırma öncesi sıcaklık değerlerini aşarak 54 °C'ye kadar ulaşmış ve 2 gün daha 50 °C'nin üzerinde seyretmiştir.

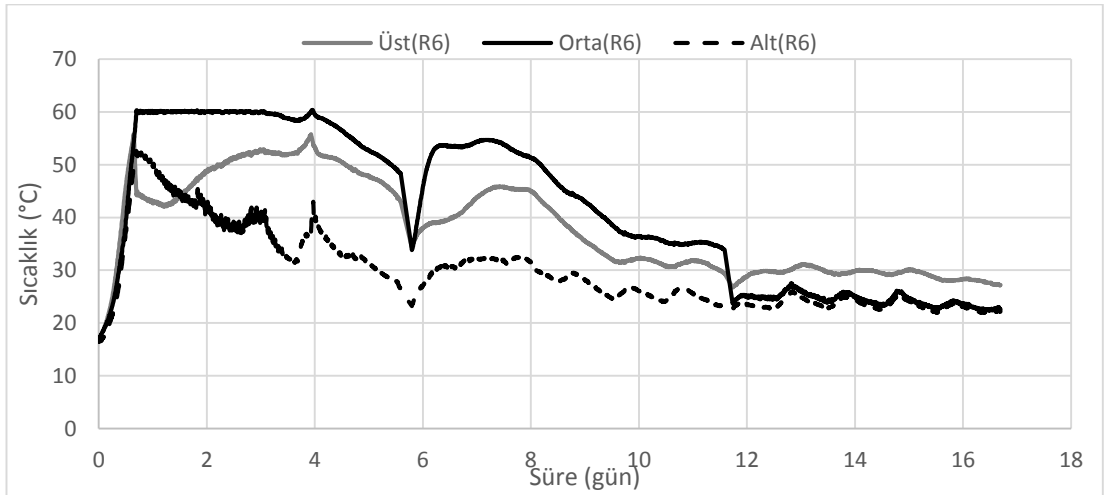
Reaktör orta nokta sıcaklıkları 30 °C'nin altına indiğinde gerçekleştirilen karıştırma işleminden sonra sıcaklıklar tekrar yükselmemiştir. Bu durum kompostun artık stabil hale geldiği ortamda bulunan mikroorganizmalar tarafından etkin olarak ayrıştırılabilecek bileşiklerin tükendiği şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 4.5. R4'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.6. R5'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



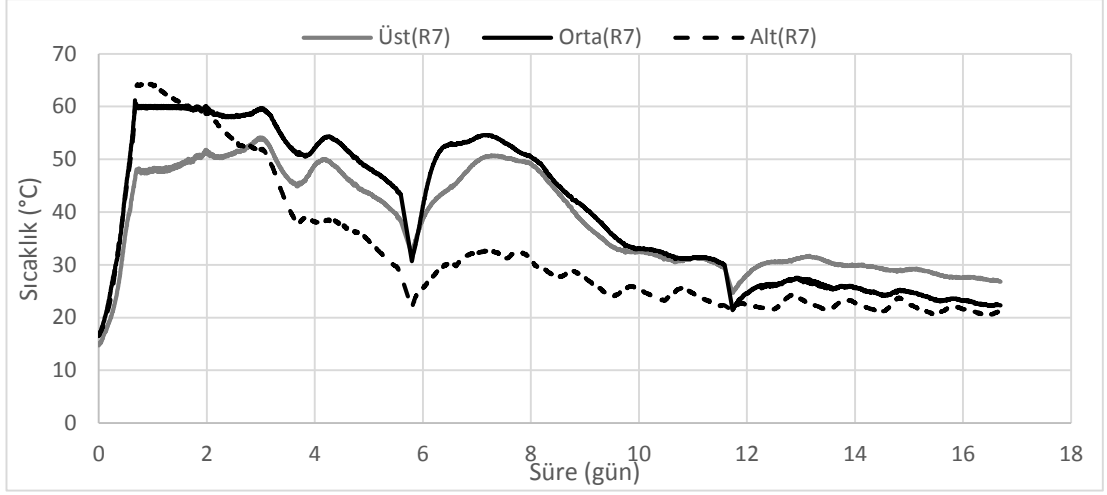
Şekil 4.7. R6'nın kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi

%4 biyokömür uygulamasının gerçekleştirildiği BK4 karışımının eklendiği R7, R8 ve R9 reaktörlerinin kompostlama işlemi boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

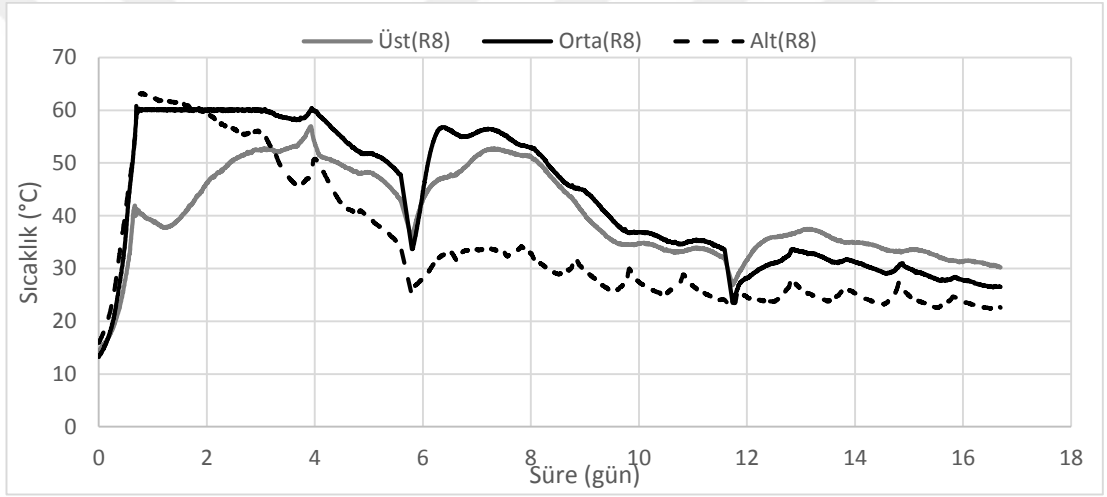
R7, R8 ve R9 reaktörlerinin orta noktalarında ölçülen maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 60.6, 60.4 ve 60.2 °C'dir. R7 ve R9 maksimum sıcaklık değerine sırasıyla 16.8 ve 19.2 saatte ulaşmıştır. R8 ise kurulumu takip eden dördüncü günün sonunda 94 saatte en yüksek sıcaklık değerine ulaşmıştır.

R7, R8 ve R9 reaktörlerinde görülen sıcaklık karakteristikleri BK0 ve BK2 grubundan farklı olarak 5.67. günde yapılan karıştırma işleminden sonra sıcaklıklar yeniden yükselerek 50 °C'yi aşmış ancak sınırlayıcı değer olan 60 °C'ye yeniden ulaşamamıştır. Grup içinde R7 ve R8 karıştırma sonrası sıcaklık artışı konusunda benzerlik gösterirken R9 reaktöründe sıcaklıklar 50 °C'nin hemen üzerinde seyretmiştir.

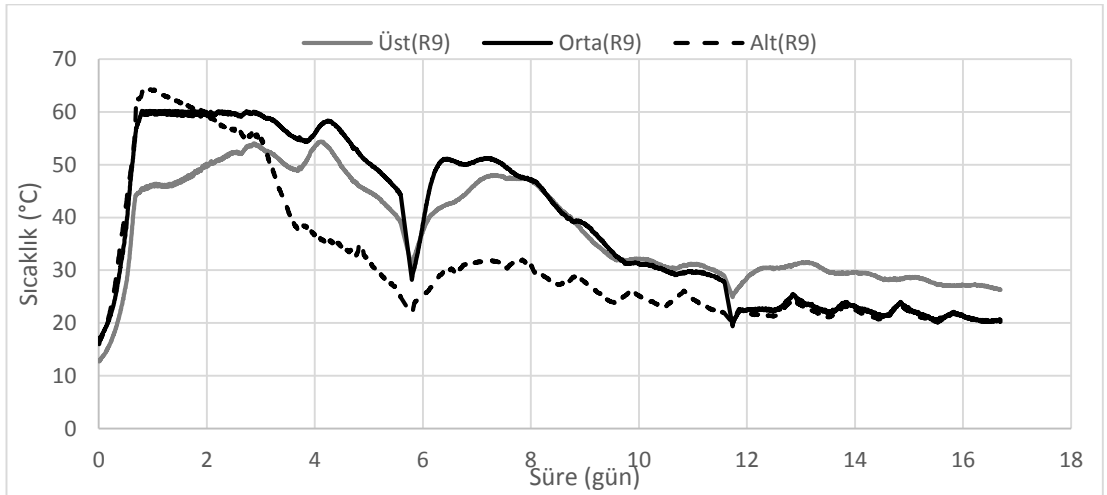
BK4 grubunda da reaktör orta nokta sıcaklıkları 30 °C'nin altına indiğinde gerçekleştirilen karıştırma işleminden sonra sıcaklıklar dikkate değer ölçüde yükselmemiştir. Bu durum kompostun artık stabil hale geldiği ortamda bulunan mikroorganizmalar tarafından etkin olarak ayrıştırılabilecek bileşiklerin tükendiği şeklinde yorumlanabilir. BK2 ve BK0 grubundan farklı olarak yalnızca R8'de orta seviye sıcaklığı yeniden 30 °C'nin üzerine çıkmış ve bir süre bu seviyede seyrederek yeniden ortam sıcaklığına inmiştir.



Şekil 4.8. R7'nin kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.9. R8'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



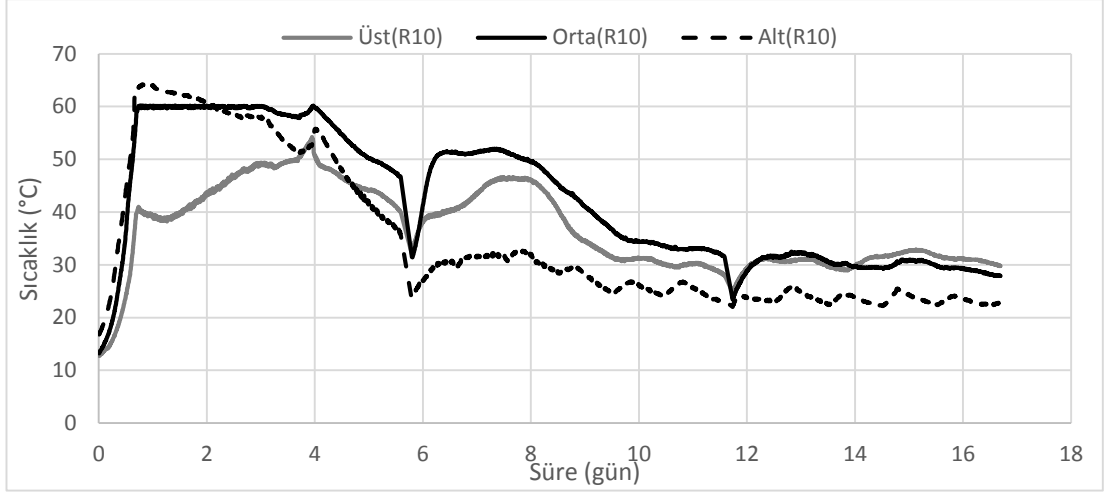
Şekil 4.10. R9'un kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi

%6 biyokömür uygulamasının gerçekleştirildiği BK6 karışımının eklendiği R10, R11 ve R12 reaktörlerinin kompostlama işlemi boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de verilmiştir.

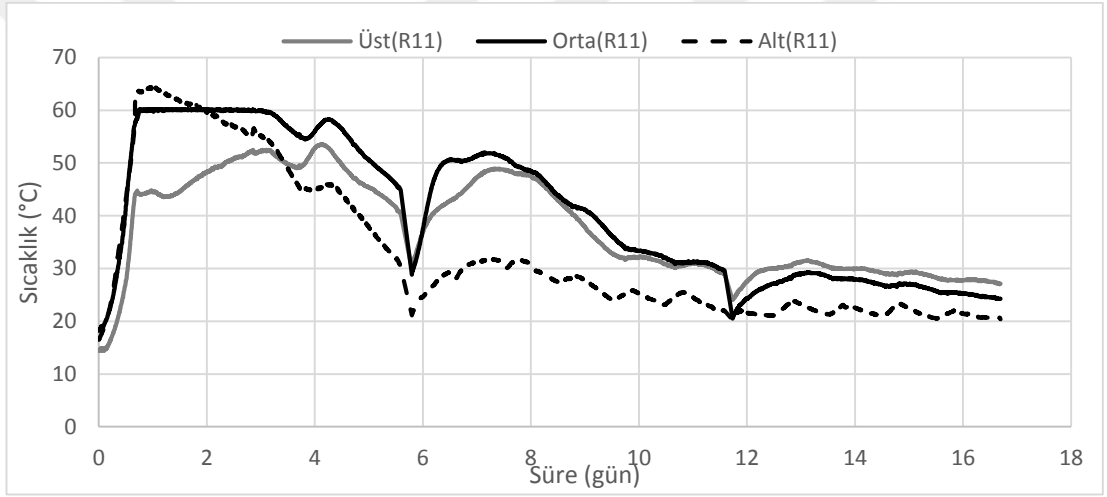
R10, R11 ve R12 reaktörlerinin orta noktalarında ölçülen maksimum sıcaklık değerleri ortak olarak 60.2 °C'dir. Maksimum sıcaklık noktasına R10, R11 ve R12 numaralı reaktörler birbirine benzer olarak sırasıyla 18, 18 ve 19 saattir.

R12 reaktöründe görülen sıcaklık karakteristiği BK4 grubuna benzer olarak 5.67. günde yapılan karıştırma işleminden sonra sıcaklık yeniden yükselerek 50 °C'yi aşmış ancak sınırlayıcı değer olan 60 °C'ye yeniden ulaşamamıştır. R11 ve R12 reaktörlerinde karıştırma işlemi sonrası sıcaklıklar 50 °C'yi aşmasına rağmen bu değerlerin hemen üzerinde seyretmiştir.

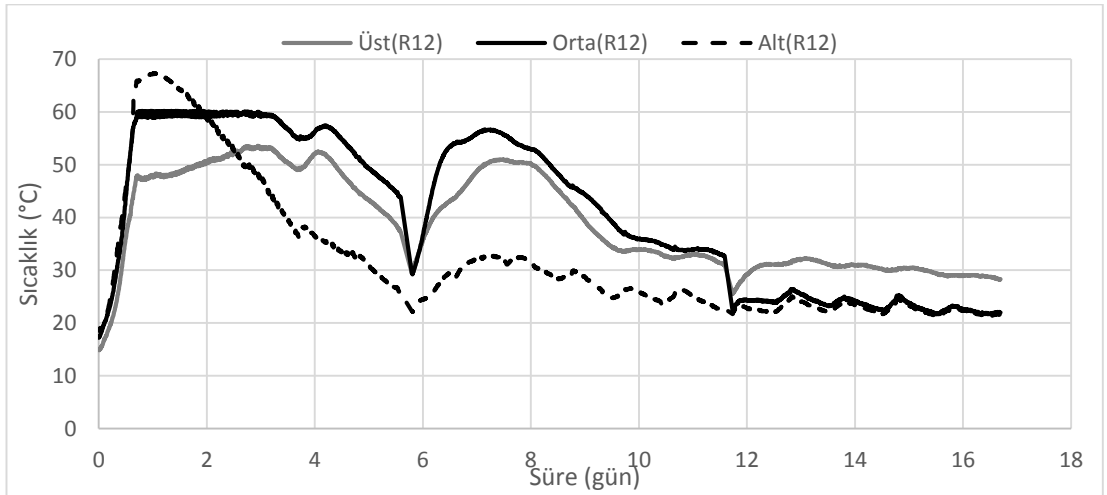
BK6 grubunda da reaktör orta nokta sıcaklıkları 30 °C'nin altına indiğinde gerçekleştirilen karıştırma işleminden sonra sıcaklıklar dikkate değer ölçüde yükselmemiştir. Bu durum kompostun artık stabil hale geldiği ortamda bulunan mikroorganizmalar tarafından etkin olarak ayrıştırılabilecek bileşiklerin tükendiği şeklinde yorumlanabilir. BK0, BK2 ve BK4 gruplardan farklı olarak yalnızca R10 ve R11'de orta seviye sıcaklığı yeniden 30 °C'nin üzerine çıkmış ve bir süre bu seviyede seyrederek yeniden ortam sıcaklığına inmiştir. R12'de ise diğer karışımlarla benzer olarak karıştırma sonrasında sıcaklık ortam sıcaklığına yakın seyretmiştir.



Şekil 4.11. R10'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.12. R11'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.13. R12'nin kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi

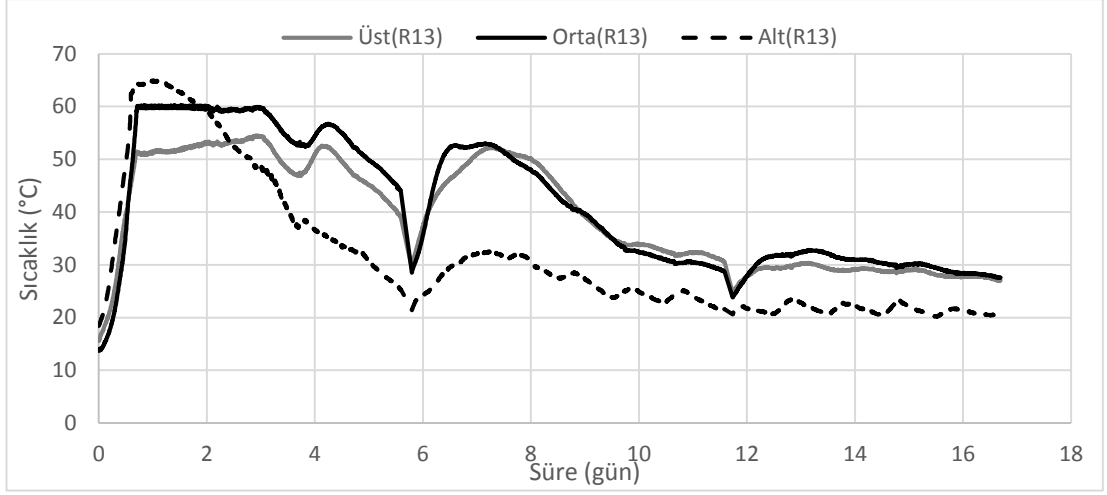


%8 biyokömür uygulamasının gerçekleştirildiği BK8 karışımının eklendiği R13, R14 ve R15 reaktörlerinin kompostlama işlemi boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.

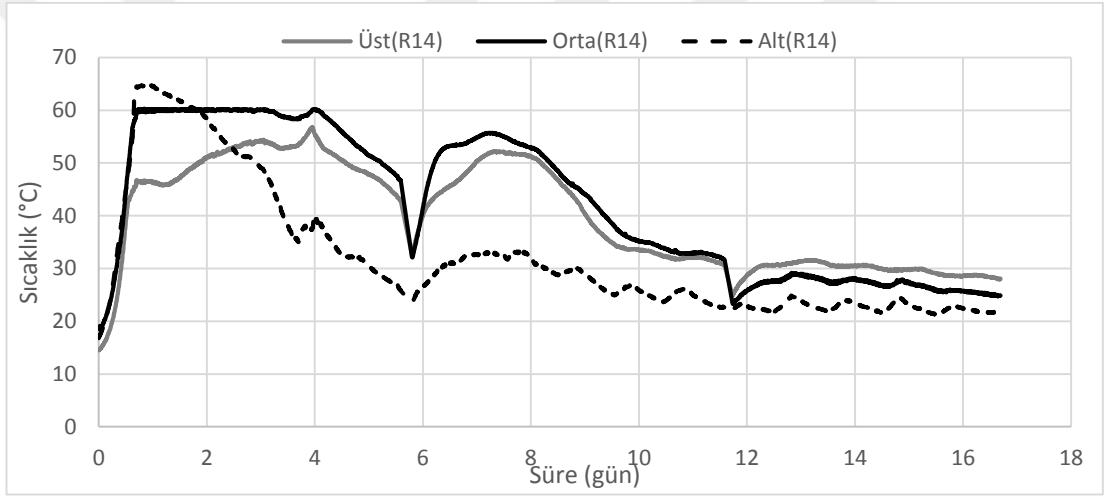
R13 ve R14 reaktörlerinde orta noktada ölçülen maksimum sıcaklık 60.3 °C'dir. R15'te ise orta noktada ölçülen maksimum sıcaklık 60.6 °C'dir. Maksimum sıcaklık noktasına R13 ve R14 20, R15 ise 16 saatte ulaşmıştır. Diğer karışımlarla kıyaslandığında %8'lik karışım daha uzun sürede maksimum sıcaklık değerine ulaşmıştır.

BK8 grubu reaktörlerinde görülen sıcaklık karakteristiği BK4 ve BK6 gruplarına benzer olarak 5.67. günde yapılan karıştırma işleminden sonra sıcaklık yeniden yükselerek °C'yi aşmış ancak sınırlayıcı değer olan 60 °C'ye yeniden ulaşamamıştır. R13 reaktöründe karıştırma işlemi sonrası sıcaklıklar 50 °C'yi aşmasına rağmen bu değer in hemen üzerinde seyretmiştir. R14 ve R15'te ise BK6 grubuna benzer ısınma özellikleri göstermiş, R15 karıştırma işlemi sonrası sıcaklığı en çok yükselen reaktör olmuştur.

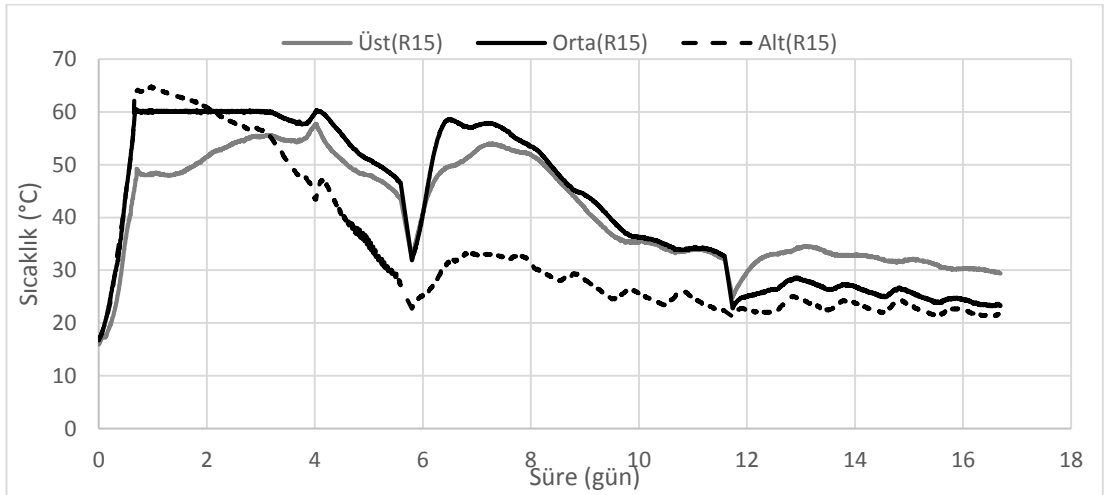
BK8 grubunda da reaktör orta nokta sıcaklıkları 30 °C'nin altına indiğinde gerçekleştirilen karıştırma işleminden sonra sıcaklıklar dikkate değer ölçüde yükselmemiştir. Bu durum kompostun artık stabil hale geldiği ortamda bulunan mikroorganizmalar tarafından etkin olarak ayrıştırılabilecek bileşiklerin tükendiği şeklinde yorumlanabilir. BK0, BK2 ve BK4 gruplardan farklı olarak ve BK6 grubuna benzer olarak BK8 grubunun tüm reaktörlerinde karıştırma işlemi sonrası orta noktalarda ısınmalar gözlenmiş R13 ve R14 reaktörleri bir süre daha 30 °C civarında seyretmiştir.



Şekil 4.14. R13'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.15. R14'ün kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.16. R15'in kompostlama işlemi süresince sıcaklık değişimi

Tüm gruptaki sıcaklık karakteristikleri kompostlama işleminin genel özelliklerine uygunluk göstermekle birlikte yerel ve grupsal farklılıklar görülmektedir. BK0 grubundan başlayarak BK8 grubuna kadar artan biyokömür uygulama oranları sıcaklık değerleri üzerinde etkisini göstermiş ve artış kompostlama işleminin süresini uzatmıştır (Vandescasteele vd., 2016). Bu duruma paralel olarak BK4 karışımından itibaren ikinci karıştırma işleminin ardından artan sıcaklıklar gözlenmiştir.

İşlemden kullanılan atıkların patojen, yabancı ot tohumu ve tarım zararlı larvaları içerme potansiyelleri nedeniyle kompostta istenilen hijyen değerine ulaşmak için farklı kaynaklarda ve ülke mevzuatlarında kompostun ulaşması istenen maksimum sıcaklıklar ve bu sıcaklıklarda malzemenin geçirmesi gereken süreler tanımlanmıştır. Denemeler süresince reaktörlerin ulaştığı maksimum sıcaklıklar, bu sıcaklıklara ulaşma süreleri ve 55 °C'nin üzerinde geçirdikleri süre Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

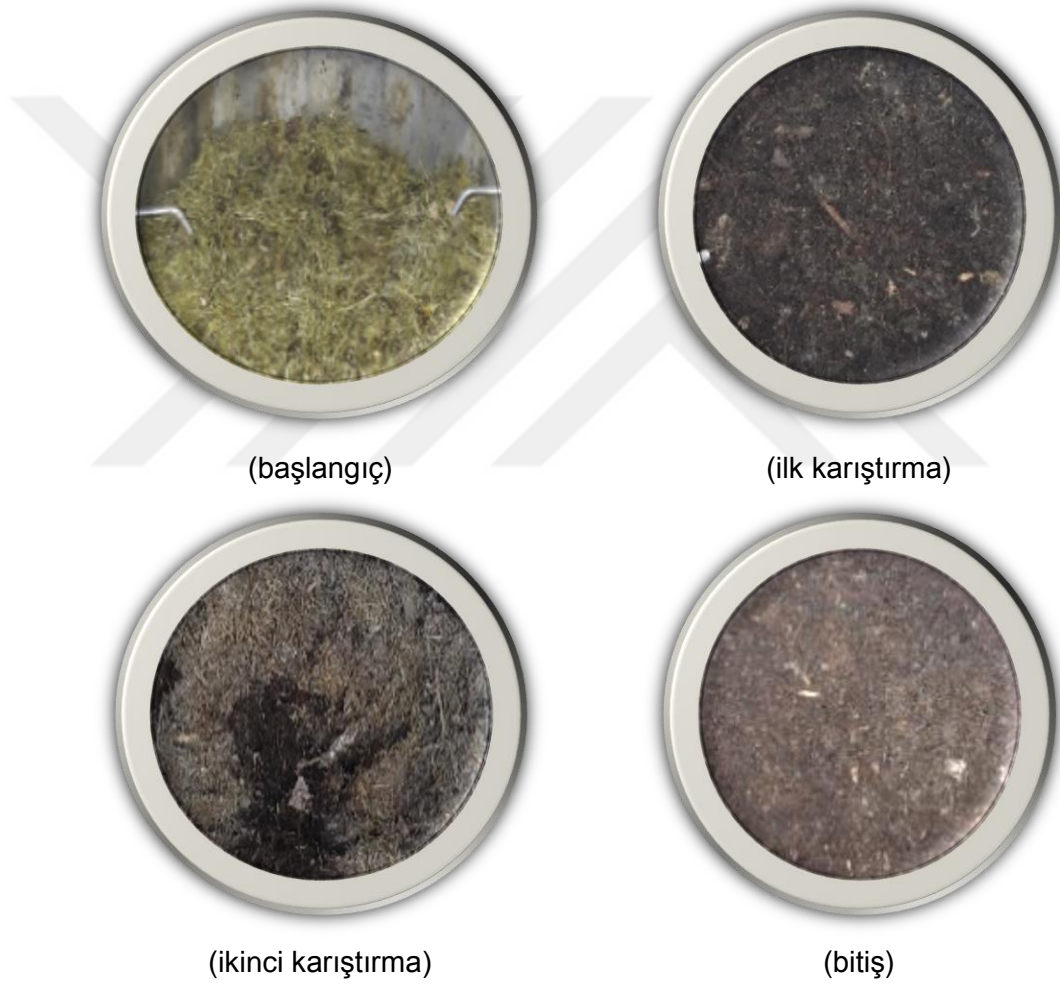
Çizelge 4.1. Reaktörlerin sıcaklık performansları

Reaktör	En yüksek sıcaklık (°C)	Ulaşma süresi (gün)	55 °C üstü geçen zaman (gün)
R1	60.6	0.69	3.9
R2	61.4	0.7	4.25
R3	60.2	0.75	2.67
R4	60.2	0.7	3.86
R5	60.2	0.72	3.68
R6	60.4	3.96	4.03
R7	60.6	0.7	2.73
R8	60.4	3.94	3.85
R9	60.2	0.8	3.91
R10	60.2	0.76	3.6
R11	60.2	0.75	3.98
R12	60.2	0.8	3.87
R13	60.3	0.84	3.84
R14	60.3	0.84	4
R15	60.6	0.69	3.93

### 4.3. Havalandırma ve Karıştırma İşlemleri

Deneme süresince ısı yalıtımlı olan reaktörlerde işletme parametrelerinden olan sıcaklık parametresi izlenerek reaktör içindeki mikrobiyal faaliyet dolaylı olarak takip edilmiş ve mikrobiyal faaliyetin azalması sonucunda azalan

sıcaklıklara bakılarak karıştırma zamanlarına karar verilmiştir. Karıştırma işlemleri denemenin kurulmasını takip eden 5.67. gün ve 11.58. günlerde yapılmıştır. Karıştırma işlemleri reaktör içindeki malzemenin karıştırma alanına dökülmesi mekanik olarak karıştırılması ve analizler için gerekli numunelerin alınmasının ardından reaktöre geri doldurulmasıyla tamamlanmıştır. İşlemin başlangıcından itibaren karışımın fiziksel durumu görsel olarak karışımlar esnasında takip edilmiştir. Karıştırma işlemleri esnasında karışımların fiziksel durumu Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Kompostlama işlemi süresince karışımının değişimi

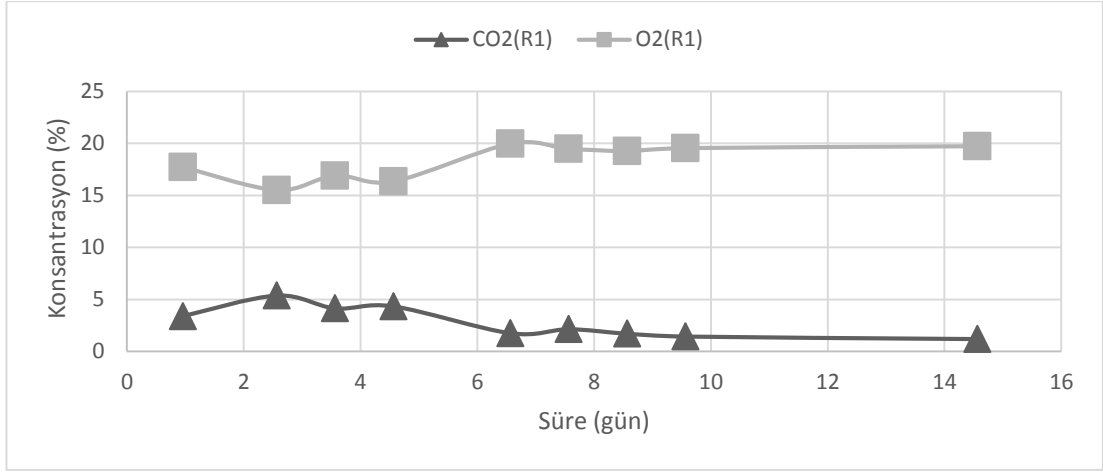
Karıştırma işleminde amaçlanan malzemenin reaktör içinde zamanla kaybettiği hacimli yapısını geri kazandırarak serbest hava boşluğunu artırmak ve kompost karışımı ile karıştırma işlemine kadar oluşan biyokütlenin reaktör içine yeniden homojen olarak dağıtılarak reaktör içinde tüm alanlarda

kompostlamanın birbirine paralel seyir izlemesini sağlamaktır. Böylece düzenli olarak gerçekleştirilen havalandırma işleminin verimini artırmak ve mikrobiyal kültür ile besin kaynağının reaktör içine homojen olarak yeniden dağılmasını sağlamaktır. Karıştırma işlemi öncesi belirli bir havalandırma debisinin reaktör içinden geçmesi için gerekli fan frekans değeri karıştırma sonrasında düşürüldüğünde yine aynı debi elde edilebilmiştir.

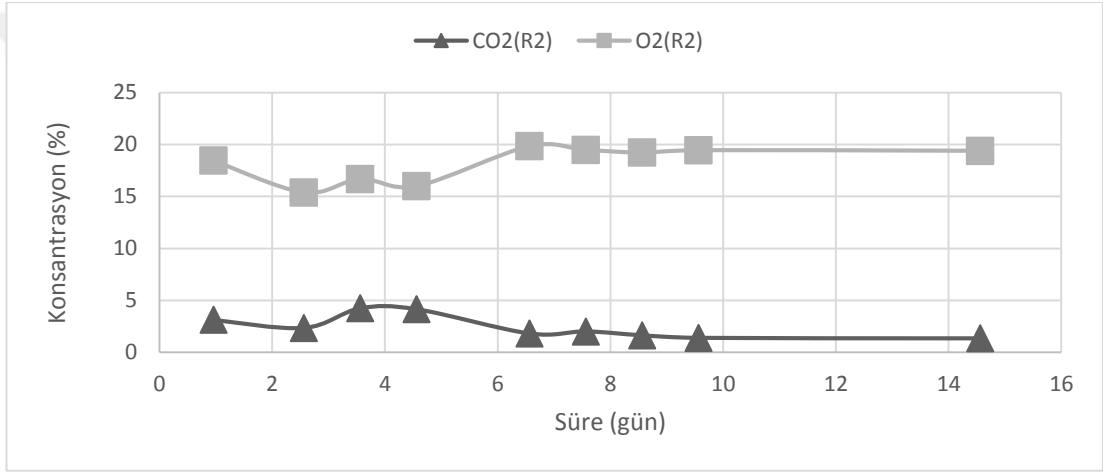
#### **4.4. Kompostlama İşlemi Süresince Reaktörlerde O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> Değişimi**

Kompost işleminde takip edilen işletme parametrelerinden bir diğeri de reaktör içindeki O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarıdır. Bu parametre reaktör içinde gerçekleşmekte olan aerobik aktivite hakkında fikir vermekle birlikte kompostlanan malzemenin havalandırılmasının iyi yapılıp yapılmadığı konusunda da yorum yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Reaktör içindeki O<sub>2</sub> konsantrasyonu atmosferik değere yaklaştıkça mikrobiyal aktivitenin azaldığına veya fazla havalandırma yapıldığına işaret etmektedir. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu değeri %3-10 aralığında yoğun mikrobiyal aktivitenin varlığına ve bunun üzerindeki konsantrasyonlar yeterli havalandırmanın yapılmadığına işaret etmektedir (Epstein, 2011).

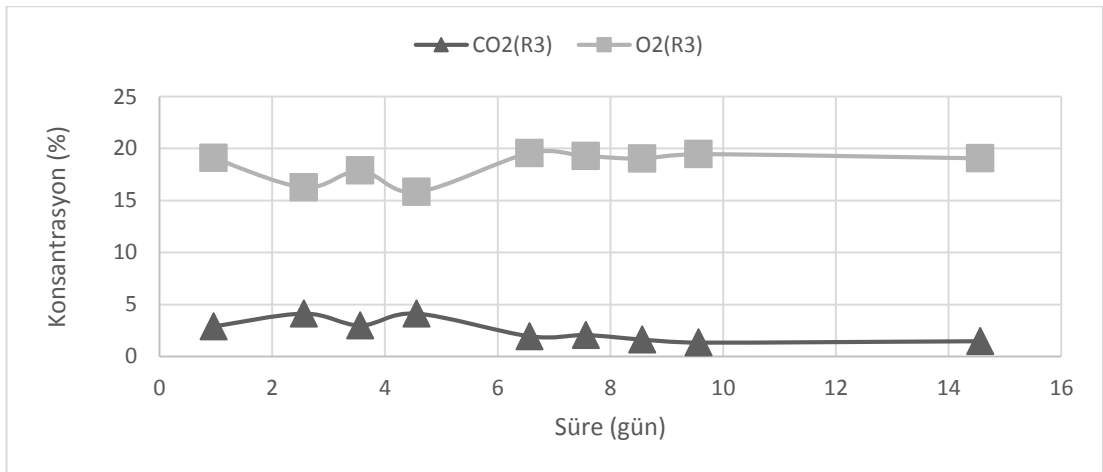
Tüm uygulamalarda sıcaklıkların yüksek, mikrobiyal aktivitenin yoğun olduğu termofilik dönemde CO<sub>2</sub> konsantrasyonları %3-5 arasında değişmekte, O<sub>2</sub> konsantrasyonları ise %15-17 arasında değişiklik göstermektedir. Reaktör iç ortamındaki CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> oranları Şekil 4.18 ile Şekil 4.32 arasında gösterilmiştir. Elde edilen verilere bakıldığında kompostlama işlemi süresince reaktörlerde herhangi bir havalandırma problemi yaşanmamakla birlikte, mikrobiyal aktiviteyle zıtlık oluşturabilecek yüzdesel değerler ölçülmemiştir. Bu veriler ışığında havalandırmanın yeterli miktarda yapıldığı ve reaktörlerde anaerobik ortam oluşması probleminin önüne geçildiği sonucuna varılabilir.



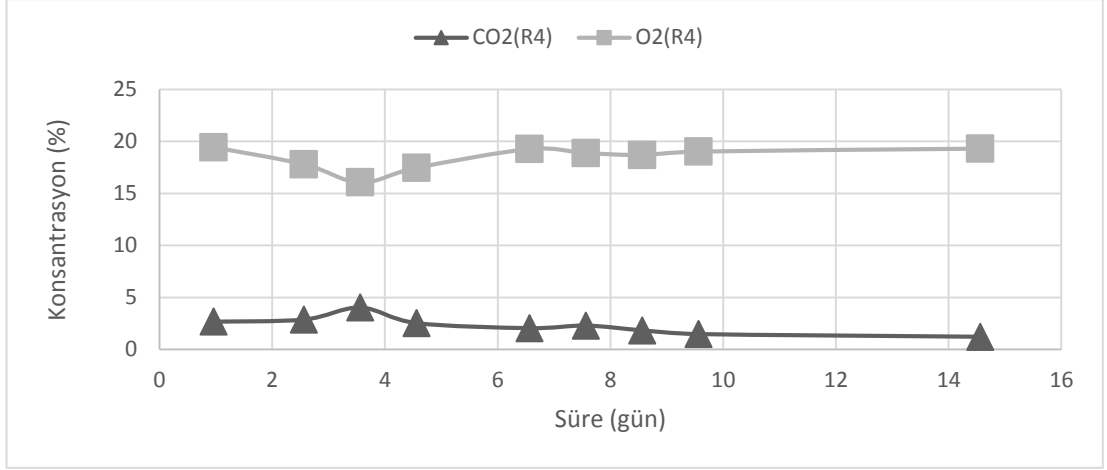
Şekil 4.18. R1 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



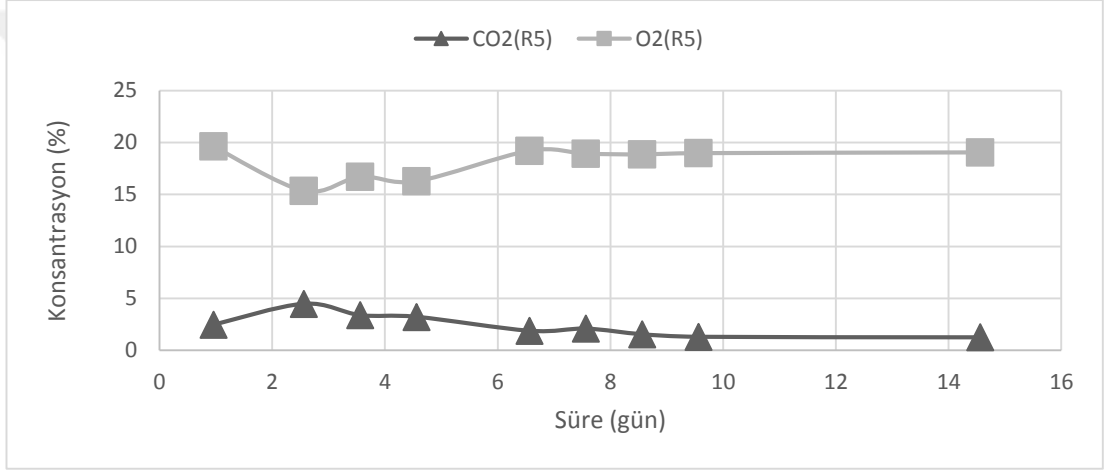
Şekil 4.19. R2 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



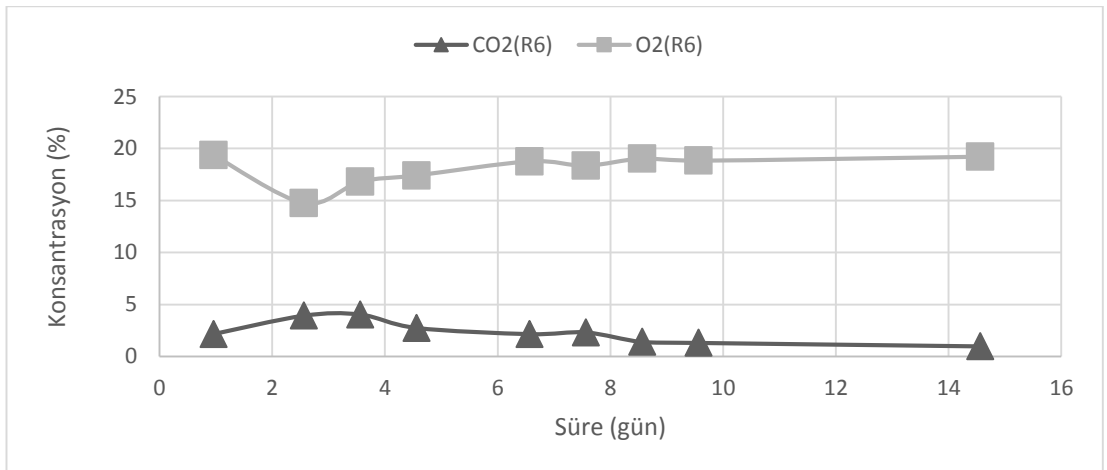
Şekil 4.20. R3 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



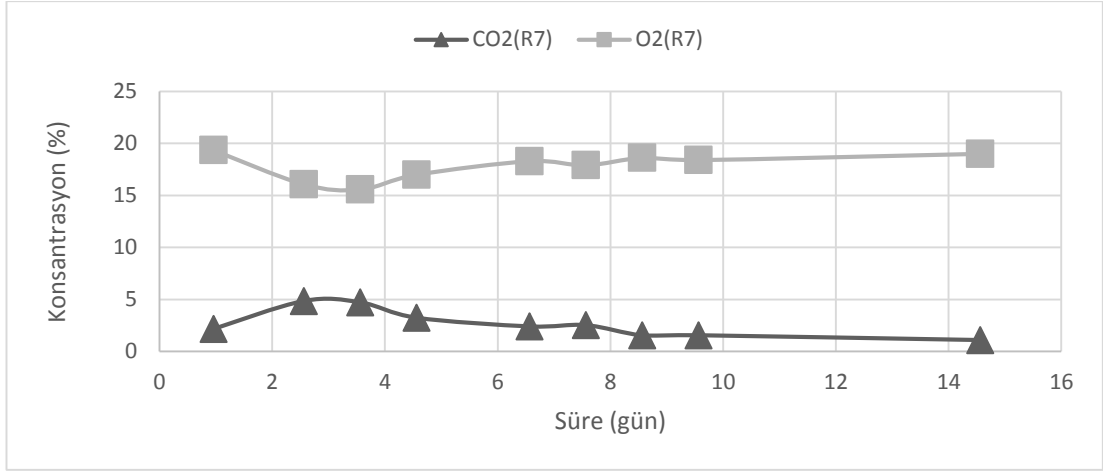
Şekil 4.21. R4 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



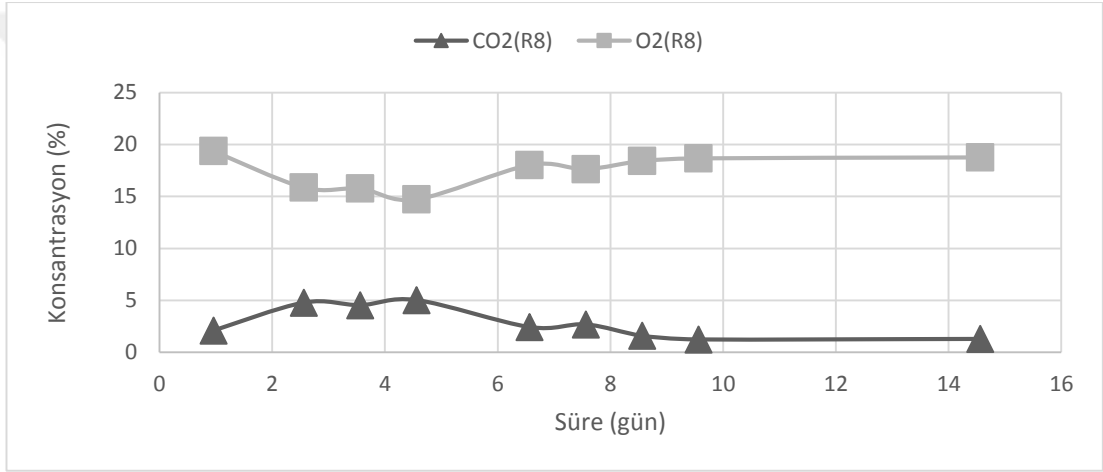
Şekil 4.22. R5 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



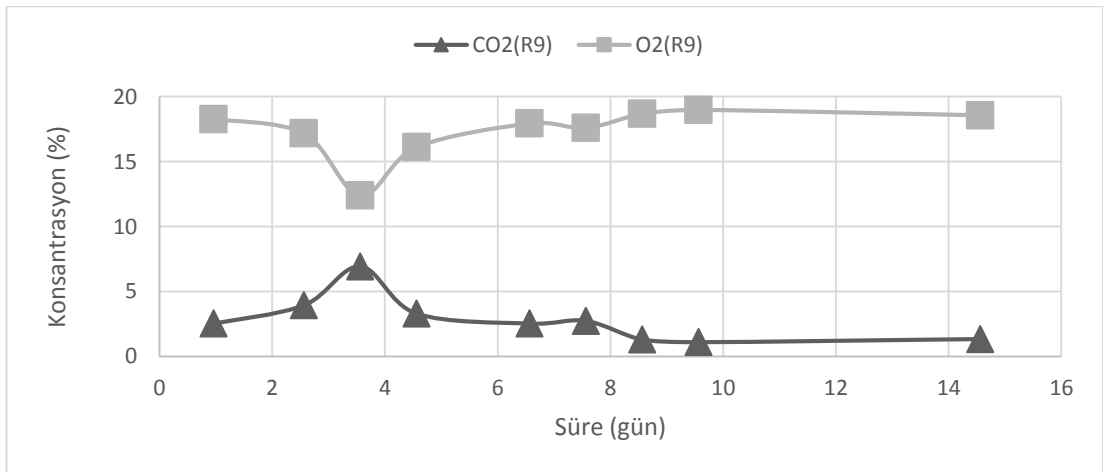
Şekil 4.23. R6 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



Şekil 4.24. R7 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi

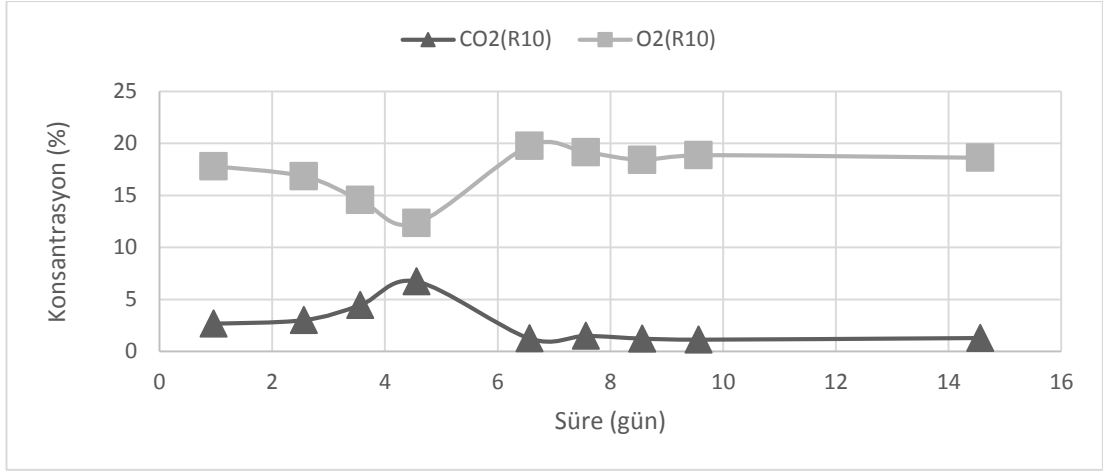


Şekil 4.25. R8 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi

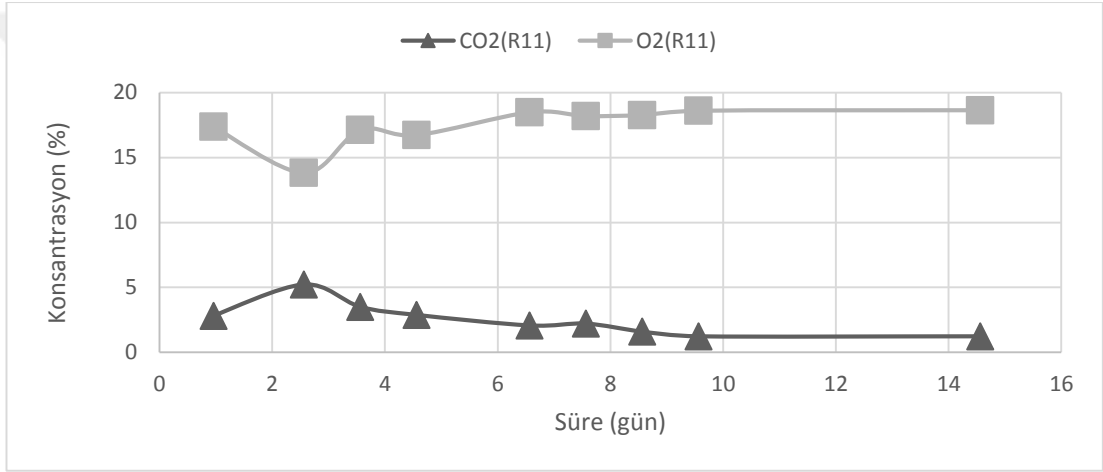


Şekil 4.26. R9 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi

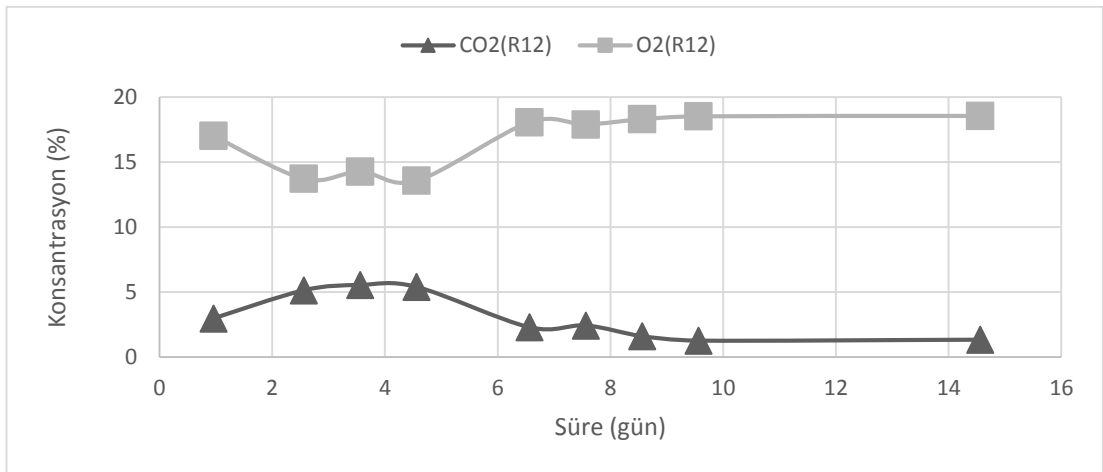




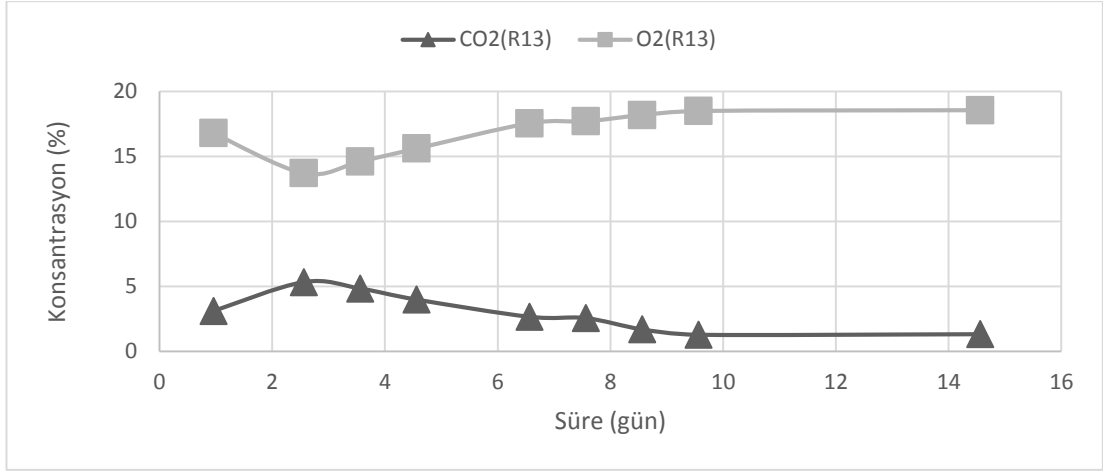
Şekil 4.27. R10 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



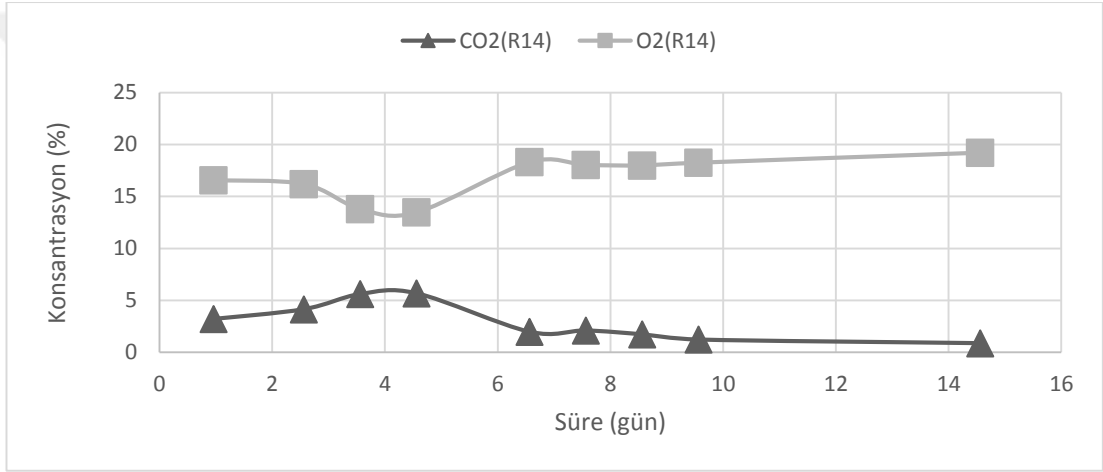
Şekil 4.28. R11 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



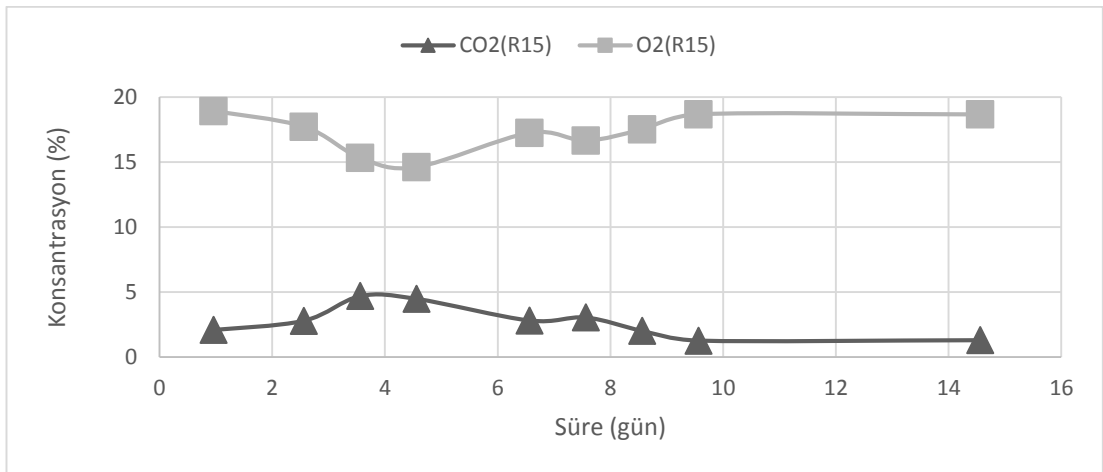
Şekil 4.29. R12 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



Şekil 4.30. R13 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



Şekil 4.31. R14 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi



Şekil 4.32. R15 reaktörünün O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimi

## 4.5. Analiz Sonuçları

İşletme parametreleri dışında kompostlama işlemi başlangıcında, süresince ve sonunda numuneler alınarak fiziksel ve kimyasal çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Su muhtevası değişimleri, birim hacim ağırlığı değişimleri, kütle ve hacim değişimleri fiziksel analizlerden sayılırken pH, EC, organik madde değişimleri, C/N değişimleri, amonyum ve nitrat değişimleri ise kimyasal analizlerdendir.

### 4.5.1. Su muhtevası değişimleri

Su muhtevası kompostlama işlemine başlamadan önce hesaplanması ve kontrol altında tutulması gereken parametrelerden biridir. Bununla birlikte kompostlama işlemi esnasında da takip edilerek kompost işlemi için uygun aralıkta tutulması için gerekli işlemler gerçekleştirilmelidir. Başlangıçta tespit edilen su muhtevası kompostlama işlemi esnasında mikrobiyal faaliyet, kütle kaybı, reaktörden tahliye edilen havadan yoğunlaşan su gibi nedenlerle değişiklik gösterebilmektedir.

Su muhtevası analizi tüm reaktörlerde kullanılan kontrol karışımı için uygulanmış ve %51.75 olarak tespit edilmiştir. Bu değer tüm karışımlar için eşit kabul edilmiştir.

BK0 karışımını içeren R1, R2 ve R3 reaktörlerinin su muhtevası değişimleri Şekil 4.33'te gösterilmiştir. Elde edilen veriye göre kontrol reaktörlerinin su muhtevaları ilk karıştırma işlemine kadar artış göstermiş ve ortalama %63 olmuştur. İkinci karıştırma işleminde ise su muhtevası değeri sabit kalarak %63 olarak bulunmuştur. Sonlandırma esnasında alınan numunede ise su muhtevası değeri karıştırma değerine göre artış göstermiş %64 olarak bulunmuştur.

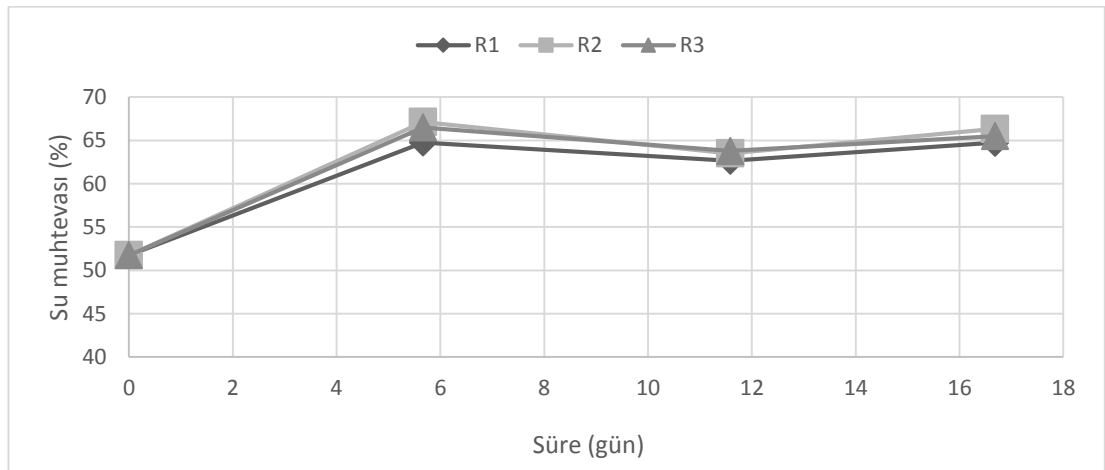
BK2 karışımını içeren R4,R5 ve R6 reaktörlerinin su muhtevası değişimleri Şekil 4.34'te gösterilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen verilere göre reaktörlerin ilk karıştırma işlemi esnasında su muhtevaları ortalama %63

olarak, ikinci karıştırma işlemi esnasında %62 olarak ve sonlandırma esnasında %62 olarak tespit edilmiştir.

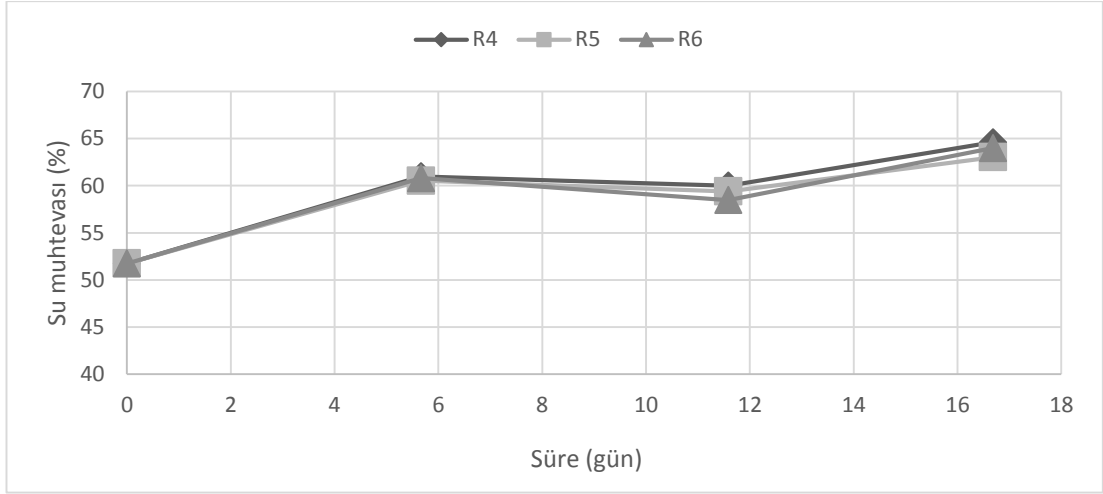
%4'lük biyokömür karışımını içeren R7, R8 ve R9 reaktörlerinin su muhtevası değişimleri Şekil 4.35'te gösterilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen verilere göre reaktörlerin ilk karıştırma işlemi esnasında su muhtevaları ortalama %57 olarak, ikinci karıştırma işlemi esnasında %62 olarak ve sonlandırma esnasında %59 olarak tespit edilmiştir.

BK6 karışımını içeren R10,R11 ve R12 reaktörlerinin su muhtevası değişimleri Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen verilere göre reaktörlerin ilk karıştırma işlemi esnasında su muhtevaları ortalama %59 olarak, ikinci karıştırma işlemi esnasında %59 olarak ve sonlandırma esnasında %59 olarak tespit edilmiştir.

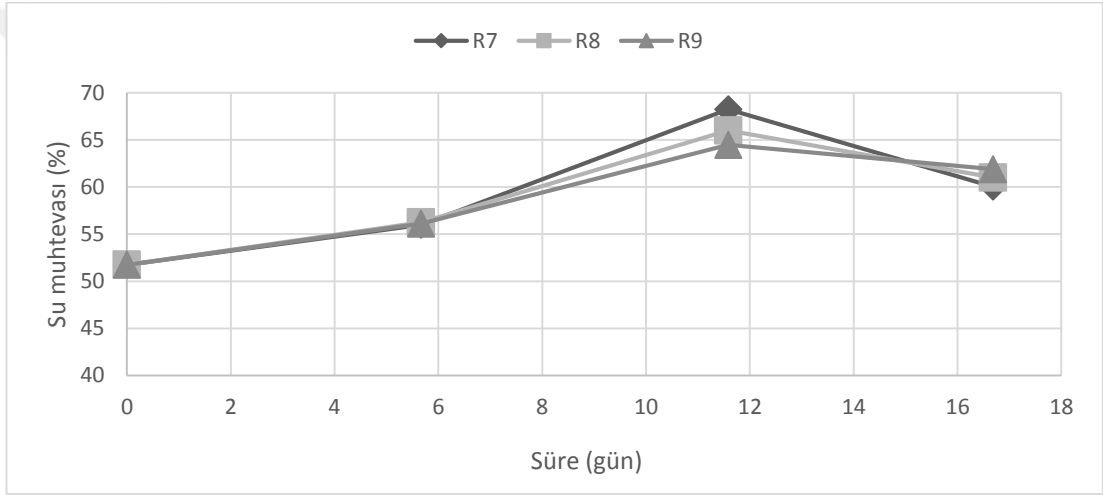
BK8 karışımını içeren R13, R14 ve R15 reaktörlerinin su muhtevası değişimleri Şekil. 4.37'de gösterilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen verilere göre reaktörlerin ilk karıştırma işlemi esnasında su muhtevaları ortalama %62 olarak, ikinci karıştırma işlemi esnasında %56 olarak ve sonlandırma esnasında %57 olarak tespit edilmiştir.



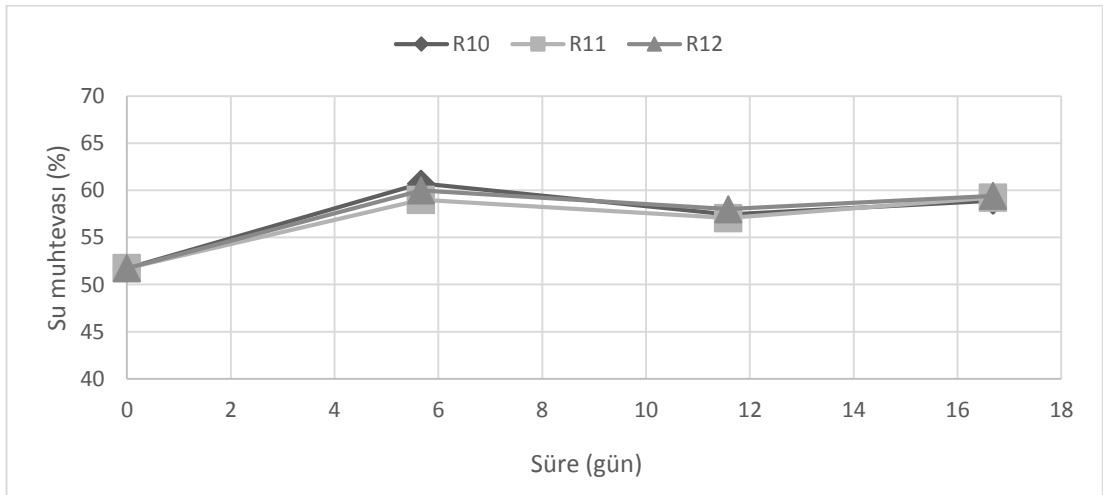
Şekil 4.33. BK0 karışımının su muhtevası değişimi



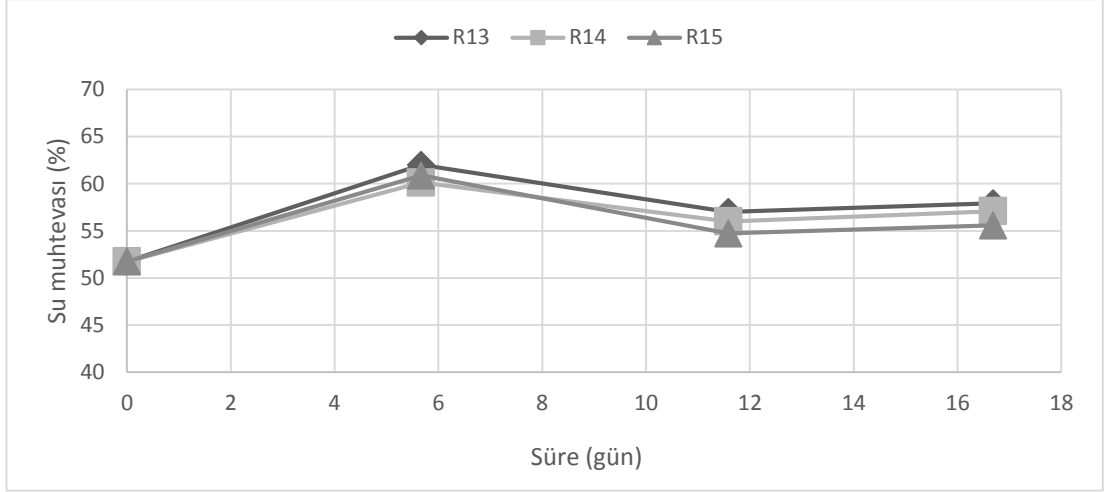
Şekil 4.34. BK2 karışımının su muhtevası değişimi



Şekil 4.35. BK4 karışımının su muhtevası değişimi



Şekil 4.36. BK6 karışımının su muhtevası değişimi



Şekil. 4.37 BK8 karışımının su muhtevası değişimi

#### 4.5.2. Karışımların birim hacim ağırlığı değişimleri

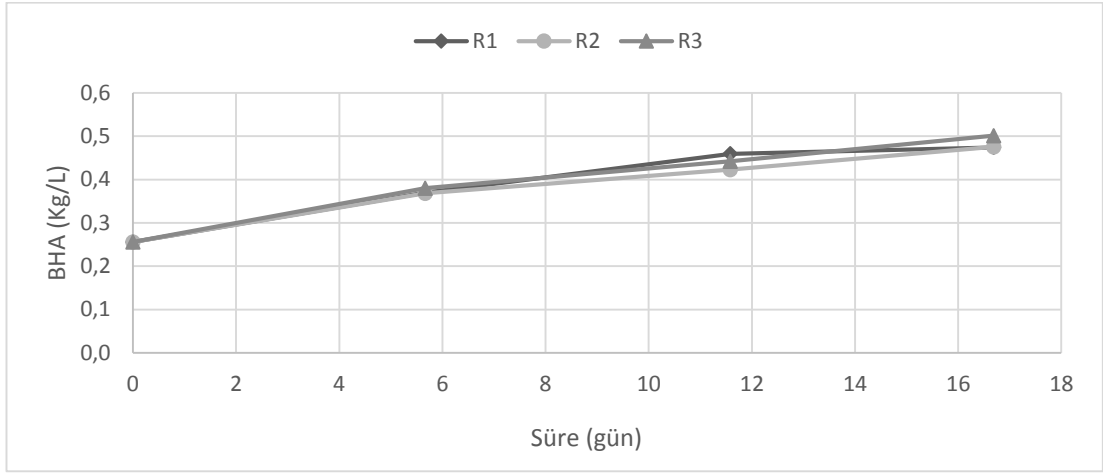
Birim hacim ağırlığı parametresi malzemenin birim hacimdeki ağırlığını temsil etmektedir. Bu parametre aynı zamanda malzemedeki hava boşlukluluğunun bir fonksiyonudur. Kompostlama işlemi süresince gerçekleşen mikrobiyal aktivite ve yer çekimi kuvveti nedeniyle reaktör içinde malzemenin çökmesi nedeniyle BHA verisinde artış gerçekleşmesi beklenmektedir.

Başlangıç karışımı üzerinde yapılan analizler sonucunda karışımın BHA değeri 0.3 kg/L olarak ölçülmüştür. BK0 grubunda BHA değerlerinin kompostlama işlemi süresince değişimi Şekil 4.38'de gösterilmiştir. Kontrol grubu reaktörlerinde BHA ilk karıştırmada ortalama 0.4 kg/L ikinci karıştırmada 0.45 kg/L ve sonlandırma esnasında 0.5 kg/L olarak ölçülmüştür.

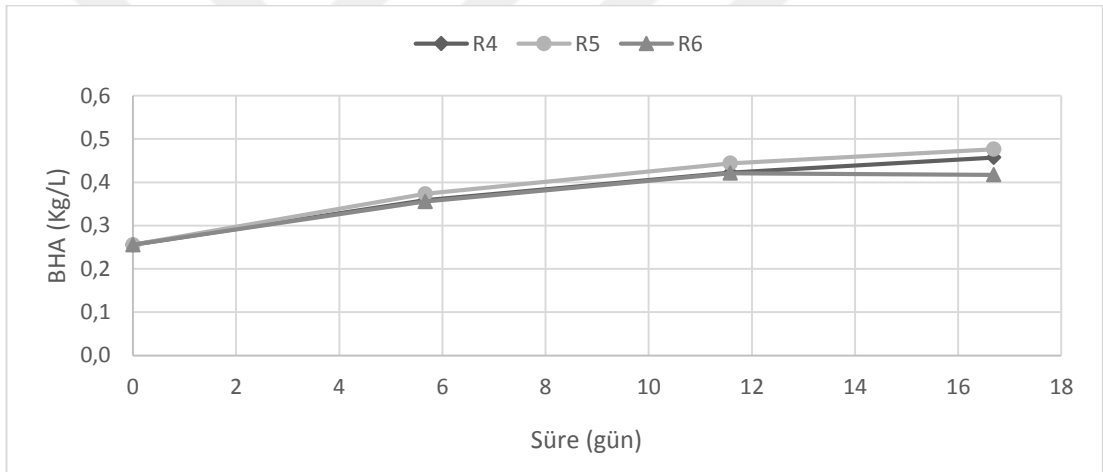
BK2 karışımında BHA değerlerinin kompostlama işlemi süresince değişimi Şekil 4.39'da gösterilmiştir. BK2 reaktörlerinde BHA ilk karıştırmada ortalama 0.4 kg/L ikinci karıştırmada 0.4 kg/L ve sonlandırma esnasında 0.5 kg/L olarak ölçülmüştür.

BK4 karışımında BHA değerlerinin kompostlama işlemi süresince değişimi Şekil 4.40'ta gösterilmiştir. BK4 reaktörlerinde BHA ilk karıştırmada ortalama

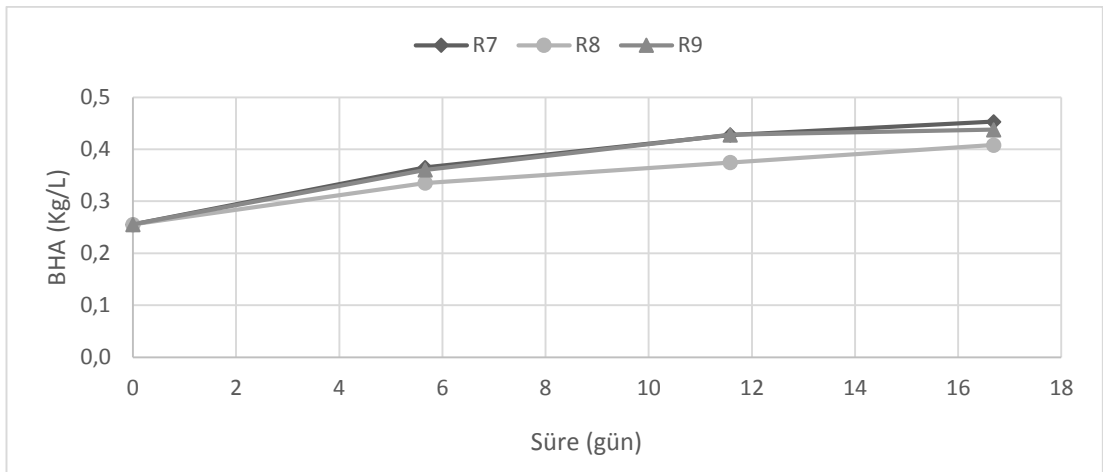
0.4 kg/L ikinci karıştırmada 0.4 kg/L ve sonlandırma esnasında 0.4 kg/L olarak ölçülmüştür.



şekil 4.38. BK0 reaktörlerinin BHA değişimi



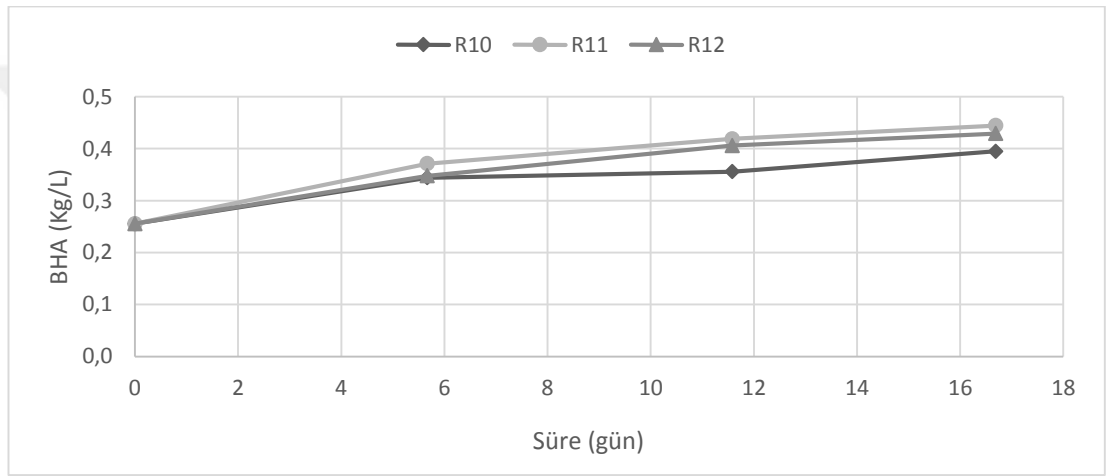
şekil 4.39. BK2 reaktörlerinin BHA değişimi



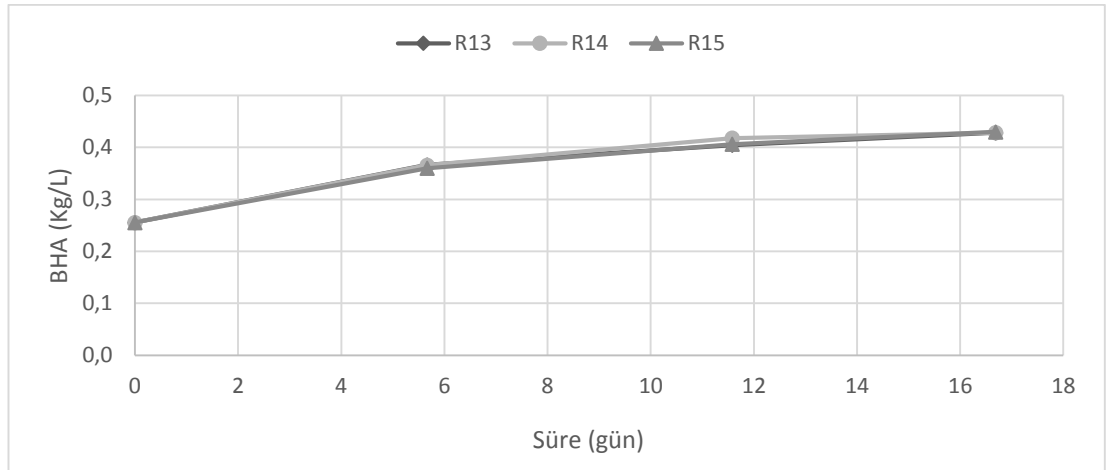
şekil 4.40. BK4 reaktörlerinin BHA değişimi

BK6 karışımında BHA değerlerinin kompostlama işlemi süresince değişimi Şekil 4.41'de gösterilmiştir. BK6 reaktörlerinde BHA ilk karıştırmada ortalama 0.4 kg/L ikinci karıştırmada 0.4 kg/L ve sonlandırma esnasında 0.4 kg/L olarak ölçülmüştür.

BK8 karışımında BHA değerlerinin kompostlama işlemi süresince değişimi Şekil 4.42'de gösterilmiştir. BK8 reaktörlerinde BHA ilk karıştırmada ortalama 0.4 kg/L ikinci karıştırmada 0.4 kg/L ve sonlandırma esnasında 0.4 kg/L olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.41. BK6 reaktörlerinin BHA değişimi



Şekil 4.42. BK8 reaktörlerinin BHA değişimi



#### 4.5.3. Kütle ve hacim değişimleri

Kompostlama işlemi süresince reaktör içinde gerçekleşen mikrobiyal aktivite, buharlaşma ve sızıntı suyu oluşumu gibi nedenlerle reaktöre eklenen malzeme miktarında değişiklikler gerçekleşmektedir. Mikrobiyal aktivite sonucunda ayrıştırılan malzemeler sıvı veya gaz formda ortamı terkederek kütle kayıplarına neden olmaktadır. Kompost prosesinde kütle kaybı gerçekleştirilen işlemin doğal sonucudur.

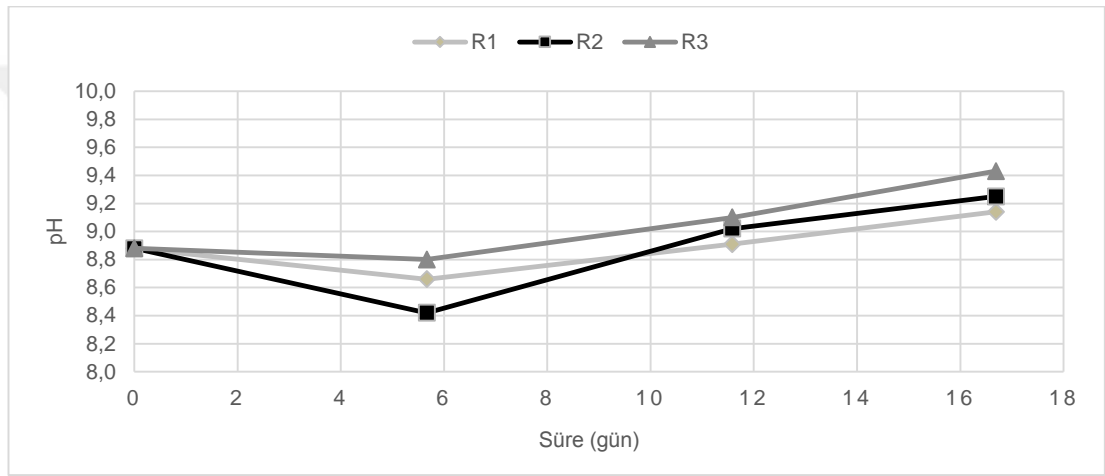
Kütle ve hacim değişiklikleri reaktörlerin başlangıç, karıştırmalar ve sonlandırma işlemleri sırasında tartılıp üst boşluklarının kaydedilmesi sonucunda hesaplanmıştır. Çizelge 4.2'de kompostlama işlemi süresince reaktörlerin başlangıç ve sonlandırma aşamasında kütle ve hacimleri ile yüzdesel olarak kütle ve hacim kayıpları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Reaktörlerin başlangıç ve son kütle ve hacim değişimleri

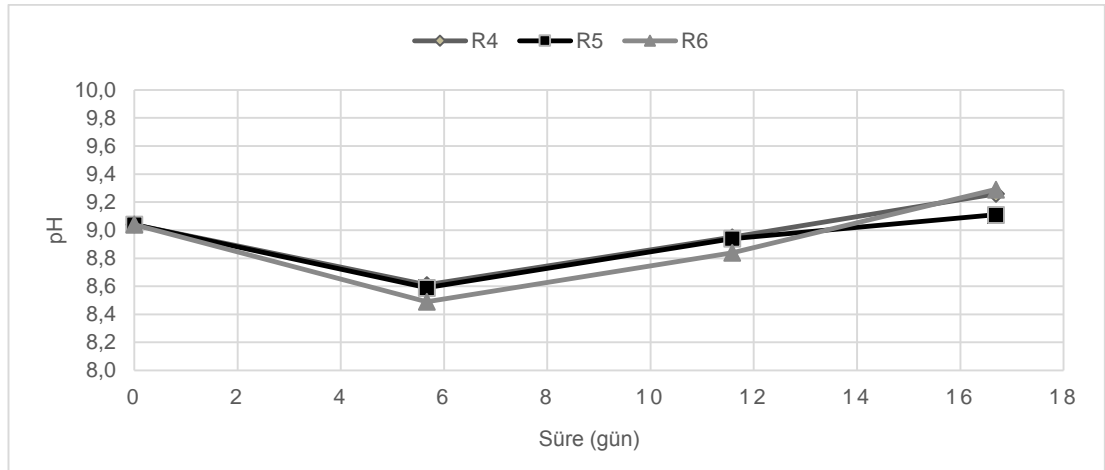
	Başlangıç		Son		% Değişim	
	Kütle(kg)	Hacim(L)	Kütle(kg)	Hacim(L)	Kütle	Hacim
R1	24.65	98	19.34	41	22	58
R2	24.65	98	18.56	39	25	60
R3	24.65	98	19.56	39	21	60
R4	25.50	100	18.63	41	27	59
R5	25.50	100	20.25	43	21	57
R6	25.50	100	19.9	48	22	52
R7	25.50	100	20.83	46	18	54
R8	25.50	100	18.77	46	26	54
R9	25.50	100	20.89	48	18	52
R10	25.50	100	19.53	49	23	50
R11	25.50	100	21.21	48	17	52
R12	25.50	100	21.21	49	17	50
R13	25.50	100	21.16	49	17	50
R14	25.50	100	21.18	49	17	50
R15	25.50	100	21.25	49	17	50

#### 4.5.4. pH değişimleri

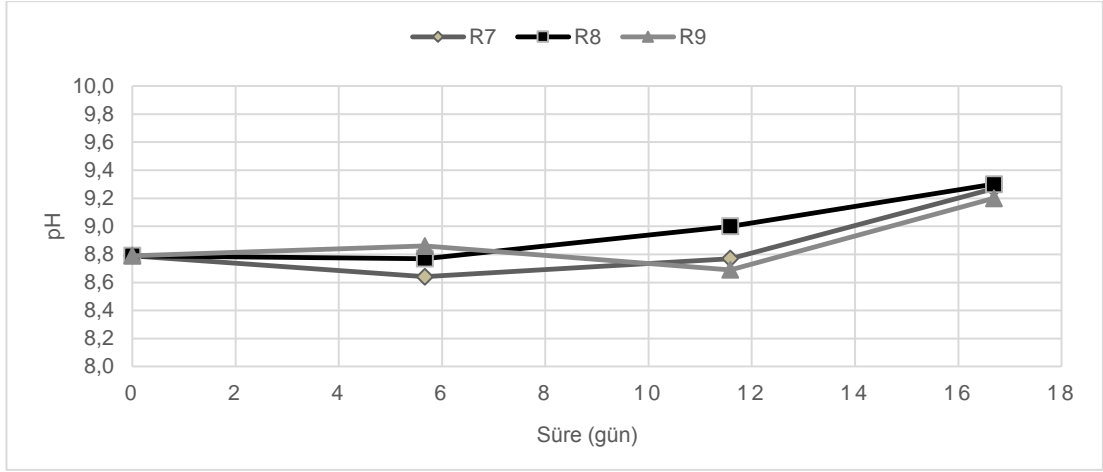
Malzemenin kompostlanması esnasında pH gerçekleşen mikrobiyal işlemler sonucu ortaya çıkan bileşikler nedeniyle değişiklik gösterebilir. Ortamın pH'sı kompostun kalitesi ve işlemin seyri açısından önemlidir. Gerçekleştirilen deneme sonucunda BK0 karışımında pH değişimi Şekil 4.43'de, BK2 karışımında pH değişimi Şekil Şekil 4.44'te, BK4 karışımında Şekil 4.45'te, BK6 karışımında Şekil Şekil 4.46'da ve BK8 karışımında pH değişimi Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



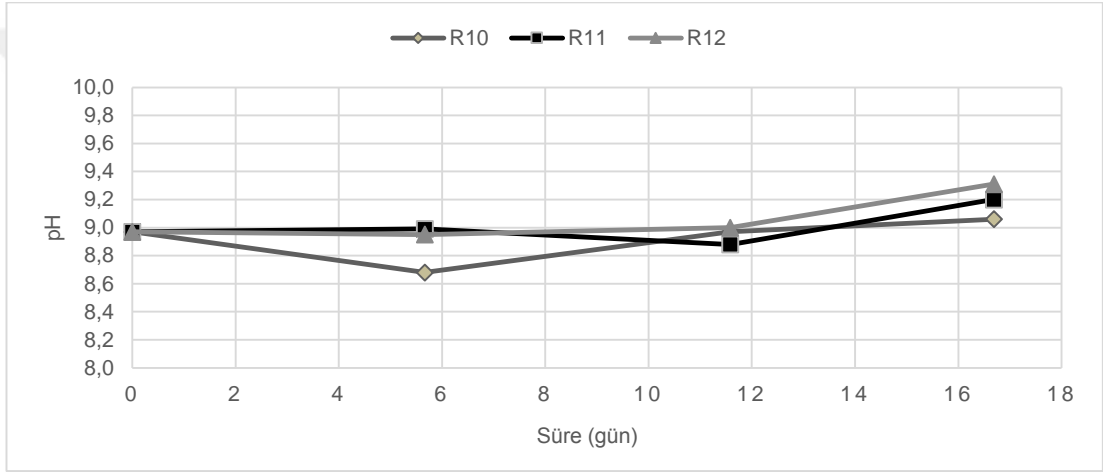
Şekil 4.43. BK0 reaktörlerinin pH değişimi



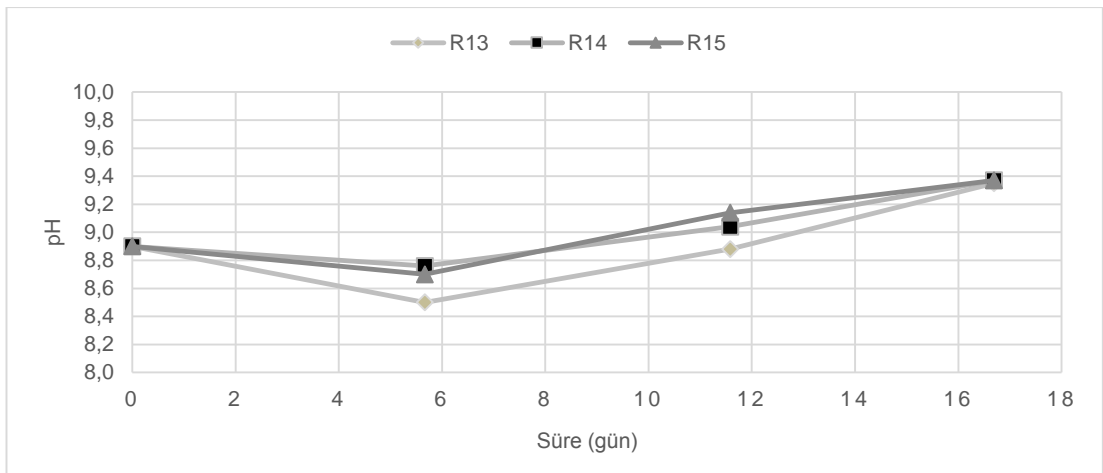
Şekil 4.44. BK2 reaktörlerinin pH değişimi



Şekil 4.45. BK4 reaktörlerinin pH değişimi



Şekil 4.46. BK6 reaktörlerinin pH değişimi



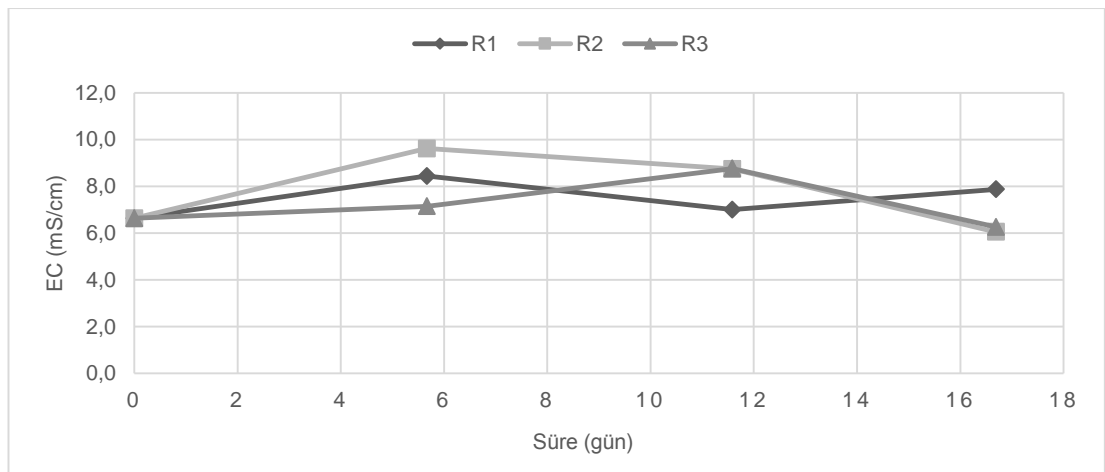
Şekil 4.47. BK8 reaktörlerinin pH değişimi

BK4 ve BK6 karışımlarında ortam pH değeri başlangıç ve ilk karışım arasında sabit bir seyir izlerken geri kalan reaktör gruplarında önce düşüş göstermiş ardından yeniden yükselişe geçmiştir. Amonyak kayıpları bakımından BK2 ve BK8'lik biyokömür karışımları ile BK0 benzerlik göstermektedir. pH trendlerindeki bu ara düşüş Vandecasteele vd. (2016) tarafından da kontrol grupları için bildirilmiştir. Son pH değerleri BK8 karışımında diğer gruplara göre daha yüksek seviyededir. Yüksek pH'a sahip biyokömürlerle yapılan çalışmada biyokömür kompostlama işlemi süresince ortamın pH'sını artırarak amonyak azaltımı etkisine ters bir etki üretmektedir (Steiner vd., 2010).

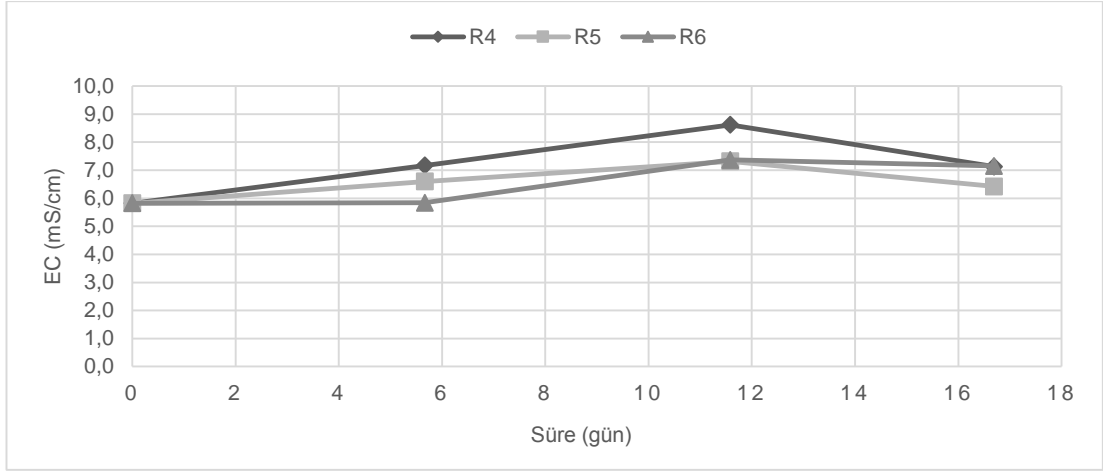
#### 4.5.5. EC değişimleri

Malzemenin kompostlanması esnasında EC gerçekleşen mikrobiyal işlemler sonucu ortaya çıkan bileşikler nedeniyle değişiklik gösterebilir. Ortamın EC değeri kompostun kalitesi ve işlemin seyri açısından önemlidir.

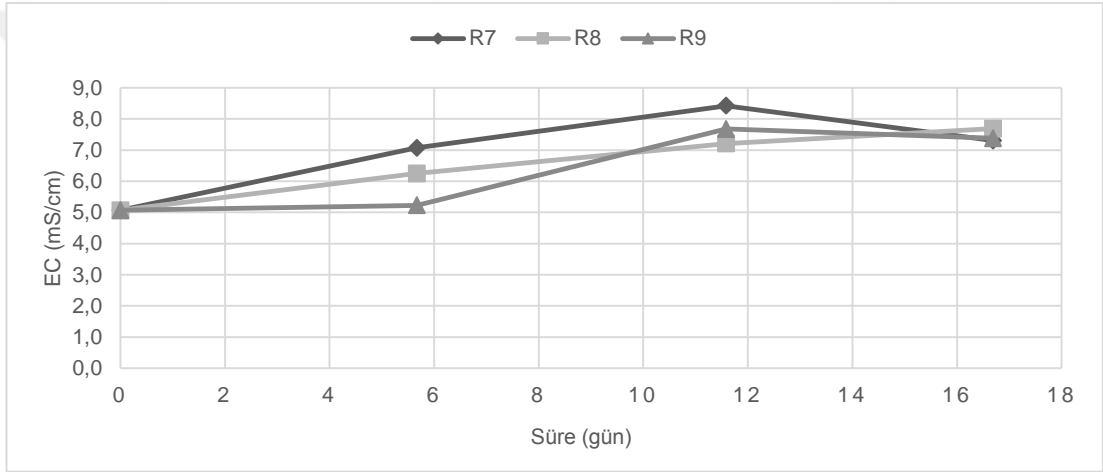
Gerçekleştirilen deneme sonucunda BK0 karışımı reaktörlerinde pH değişimi Şekil 4.48'de, BK2 karışımı reaktörlerinde EC değişimi Şekil 4.49'da, BK4 karışımı reaktörlerinde EC değişimi Şekil 4.50'de, BK6 karışımı reaktörlerinde EC değişimi Şekil 4.51'de ve BK8 karışımı reaktörlerinde EC değişimi Şekil 4.52'de gösterilmiştir.



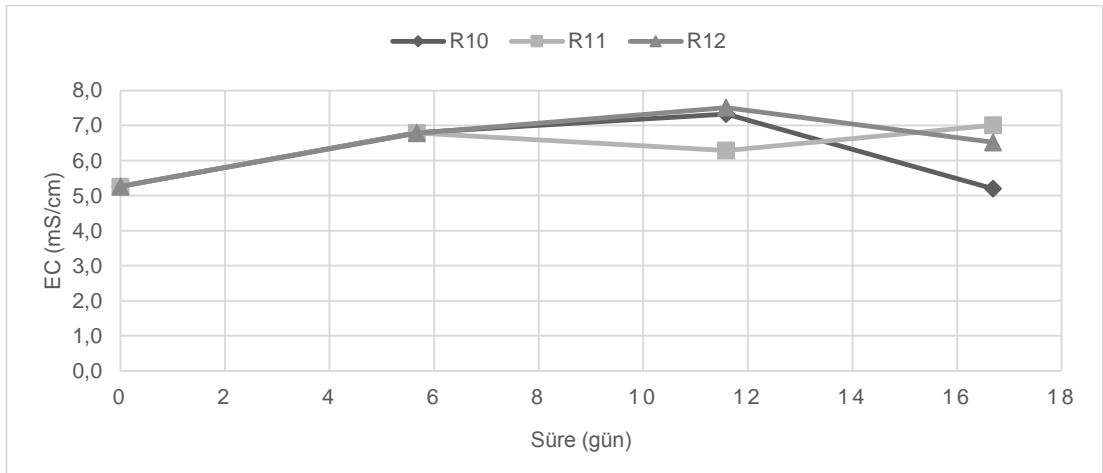
Şekil 4.48. BK0 reaktörlerinde EC değişimi



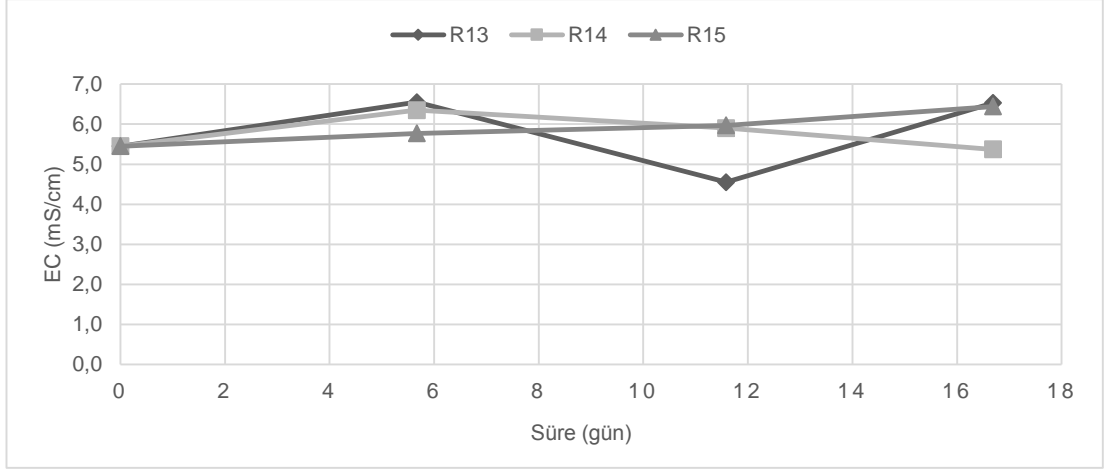
Şekil 4.49. BK2 reaktörlerinde EC değişimi



Şekil 4.50. BK4 reaktörlerinde EC değişimi



Şekil 4.51. BK6 reaktörlerinde EC değişimi



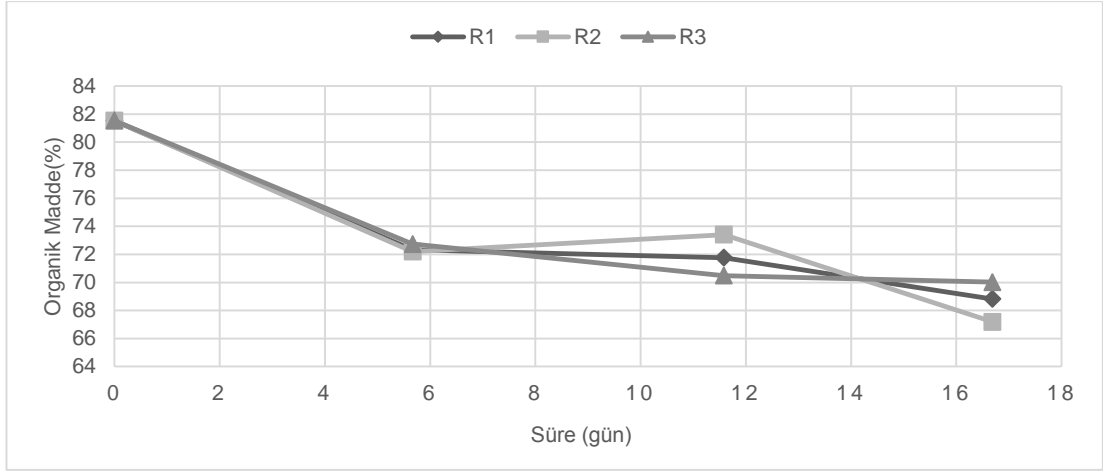
Şekil 4.52. BK8 reaktörlerinde EC değişimi

BK4 ve BK6 karışımlarında da ortam EC değeri başlangıç ve ilk karışım arasında sabit bir seyir izlerken geri kalan reaktör gruplarında önce düşüş göstermiş ardından yeniden yükselişe geçmiştir. Bu durum Vandescsateele vd. (2016), tarafından da biyokömürlü karışımlar karşısında kontrol grubu için de bildirilmiştir. Amonyak kayıpları bakımından BK2 ve BK8 karışımları ile BK0 karışımı benzerlik gösterdiğinden EC seyrinde benzerlik göstermeleri beklenebilir bir durumdur.

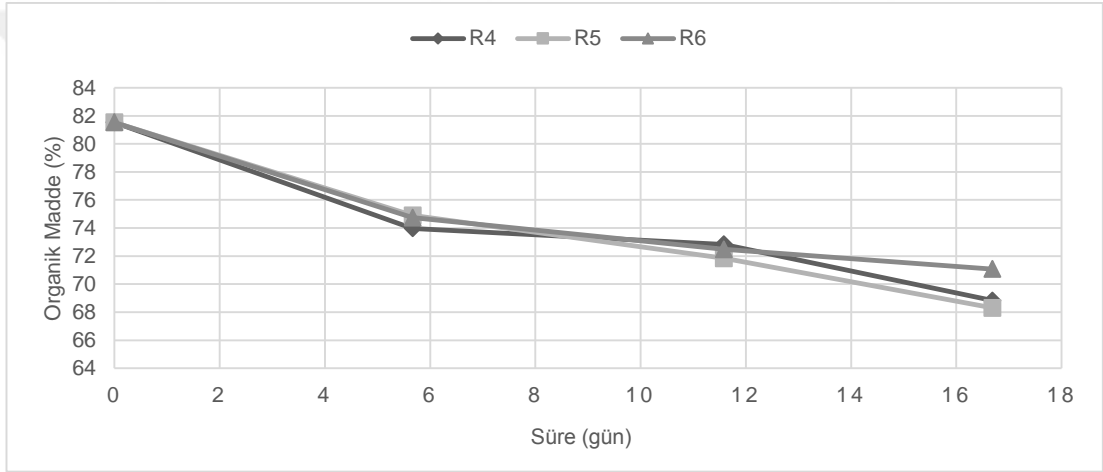
#### 4.5.6. Organik madde değişimleri

Kompostlama işleminde gerçekleşen ayrışma işlemi nedeniyle kompostlanan malzemenin içerdiği organik maddenin bir kısmının ayrışması ve bu nedenle organik madde içeriklerinde azalma beklenmektedir (Onursal ve Ekinci, 2015). Başlangıç OM değeri tüm reaktörler için %82 olarak hesaplanmıştır.

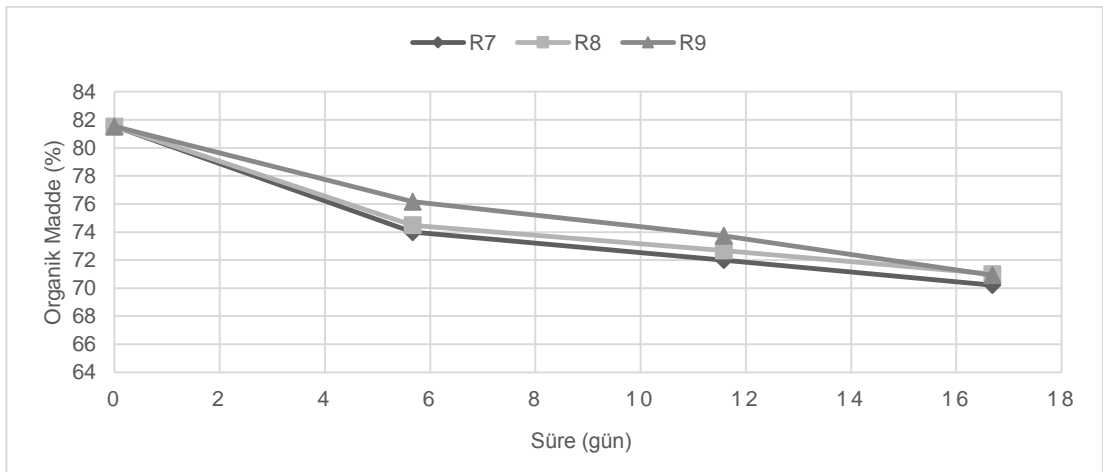
BK0 karışımını içeren reaktörlerdeki OM değişimi Şekil 4.53'te, BK2, BK4, BK6 ve BK8 karışımlarını ihtiva eden reaktörlerin OM değişimi sırasıyla Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56 ve Şekil Şekil 4.57'de gösterilmiştir.



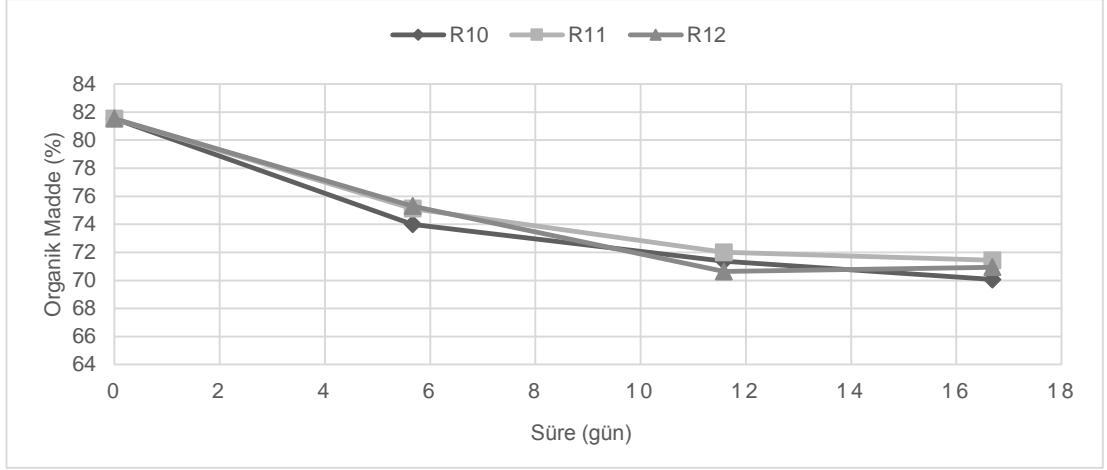
Şekil 4.53. BK0 reaktörlerinde OM değişimi



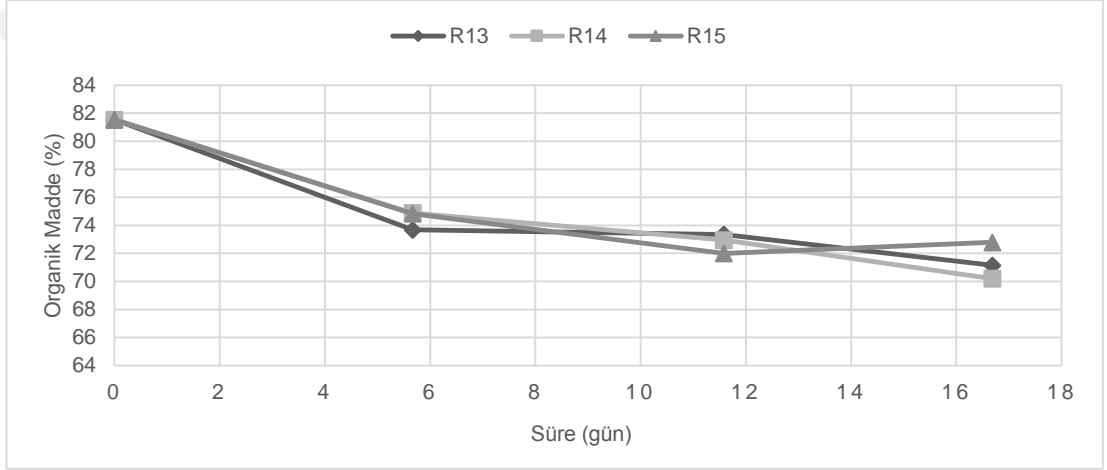
Şekil 4.54. BK2 reaktörlerinde OM değişimi



Şekil 4.55. BK4 reaktörlerinde OM değişimi



Şekil 4.56. BK6 reaktörlerinde OM değişimi



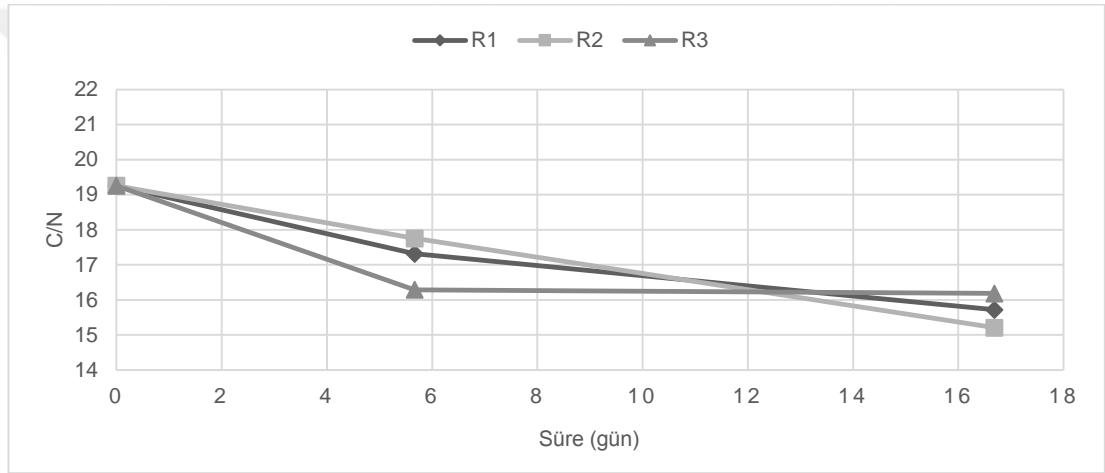
Şekil 4.57. BK8 reaktörlerinde OM değişimi

BK0 karışımında ortalama %13, BK2 karışımında ortalama %12, BK4 karışımında ortalama %10, BK6 karışımında ortalama %11 ve BK8 karışımında ortalama %10 OM kaybı gerçekleşmiştir. Malinska vd. (2014), %4 biyokömürlü karışımlarda OM kaybının daha yüksek gerçekleştiğini bildirmiştir. Karışımların genel OM kayıpları incelendiğinde BK0 1. ve 2. karışımlar esnasında da biyokömür uygulanan karışımlardan daha az organik madde içermektedir. Bu durum biyokömür uygulamasının sonucunda kompostlama prosesinde, uygulama yapılan karışımlarda kontrol grubuna göre termofilik fazda mikrobiyal faaliyetin daha yavaş gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (Awasthi vd., 2016).

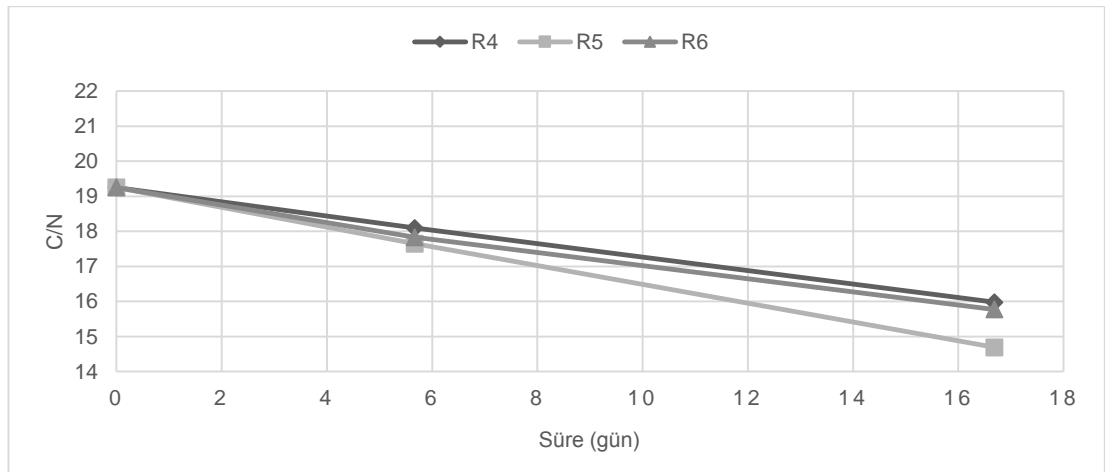


#### 4.5.7. Karbon, azot ve C/N değişimleri

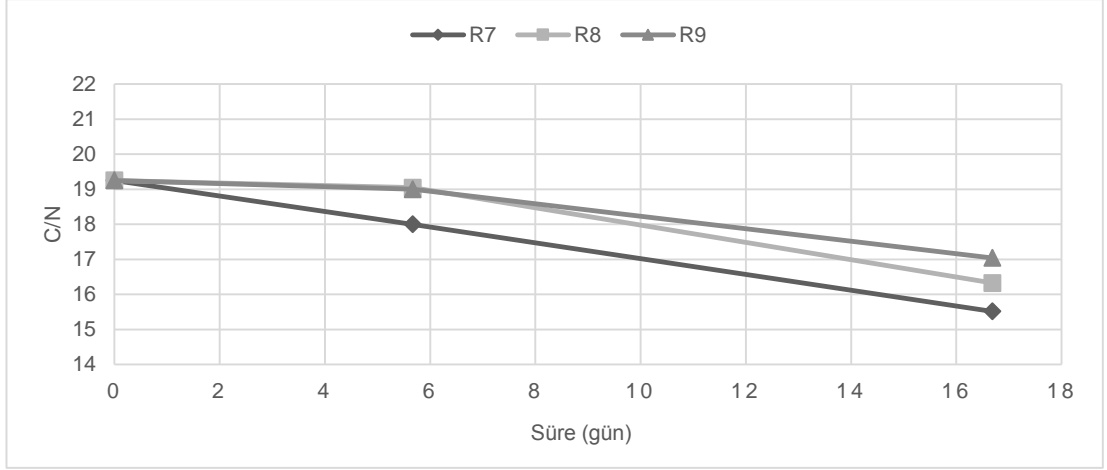
Kompostlama işleminde karbon ve azotun malzemenin içinde birbirlerine göre oranının mikroorganizmaların mikrobiyal aktivite için ihtiyaç duyduğu oranlarda olması beklenmektedir. Bu neden C/N takip edilmesi gereken ve kompost karışımı hazırlanırken oluşturulacak karışımında hesap edilmesi gereken parametrelerden biridir. Sabit başlangıç karışımına ait C/N değeri 19 olarak ölçülmüştür. Kompostlama işlemi süresince kontrol reaktörlerinde C/N değişimleri Şekil 4.58'te, BK2, BK4, BK6 ve BK8 karışımalarında C/N değişimi sırasıyla Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62'de gösterilmiştir.



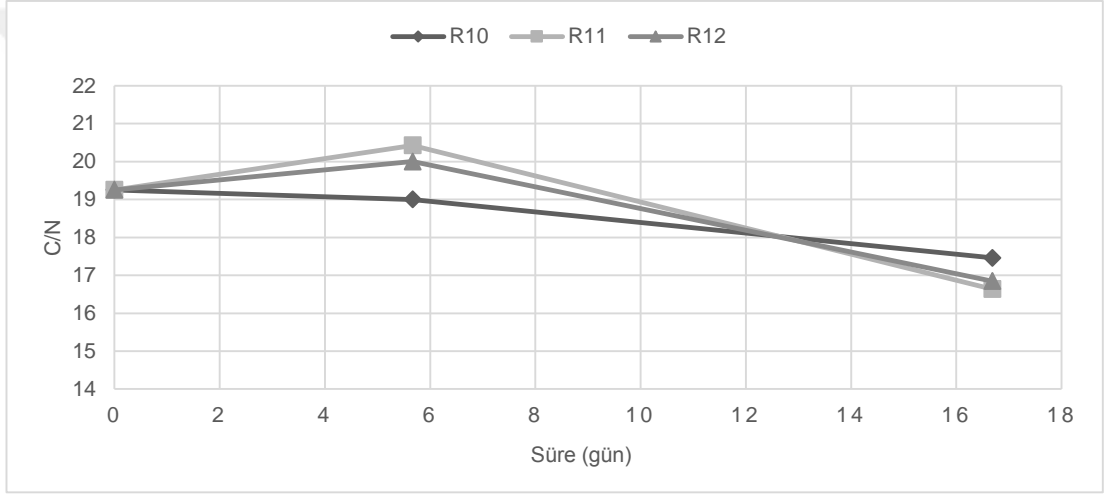
Şekil 4.58. BK0 reaktörlerinde C/N değişimi



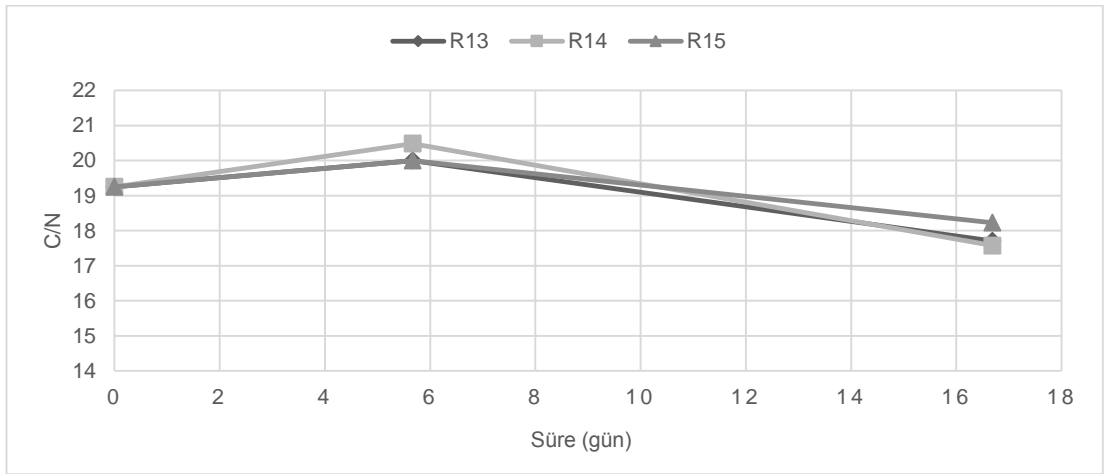
Şekil 4.59. BK2 reaktörlerinde C/N değişimi



Şekil 4.60. BK4 reaktörlerinde C/N değişimi



Şekil 4.61. BK6 reaktörlerinde C/N değişimi



Şekil 4.62. BK8 reaktörlerinde C/N değişimi

C/N analizi sonucunda elde edilen sonuçlara göre sonlandırma esnasında C/N oranları kontrol reaktörlerinden artan biyokömür uygulamalarına doğru artmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada biyokömür uygulamasının 6. gün alınan numunelerde BK4, BK6 ve BK8 gruplarında karışımın C/N azot oranlarını başlangıç C/N miktarının üzerine çıkardığı görülmüştür. Bu durum eklenen biyokömürün içerdiği yüksek organik karbon içeriğinden kaynaklanmaktadır. Steiner vd (2010), biyokömürün içerdiği organik karbonun mikroorganizmalar tarafından hızlıca tüketilemediğinden kompostlama işlemi esnasında mikrobiyal faaliyete karbon yönünden doğrudan katkıda bulunmadığını bildirmiştir. BK2 ve BK4 karışımlarının kompostlama işleminin sonunda içerdiği azot miktarı yüzdece diğerlerine karışım gruplarına göre daha fazladır. Bu durum biyokömür tarafından adsorbe edilen azotlu bileşiklerin devamında nitrifikasyon işlemiyle nitrate dönüştürülmesiyle ve bu karışımlarda elde edilen kilogram başına en yüksek nitrat miktarları ile uyumludur. Kompostlama işleminin sonunda yüzdece karbon içeriği en fazla olan karışım beklendiği gibi BK0 karışımıdır. Kontrolsüz azot kayıpları nedeniyle bu grupta karbon oranı diğerlerine göre daha yüksek tespit edilmiştir. Amonyak emisyonu performansı en yüksek olan grup olan BK6 karışımının BK2 ve BK4 karışımlarından daha düşük azot içermesi eklenen biyokömürün diğerlerine göre fazla olması nedeniyle ortamın pH'ını diğer karışımlara göre yükseltmesi ve ortamdaki NH<sub>3</sub>-N'in gazlaşmayla olmasa bile sıvı faza geçerek kompost karışımından uzaklaşmasından kaynaklanması beklenebilir.

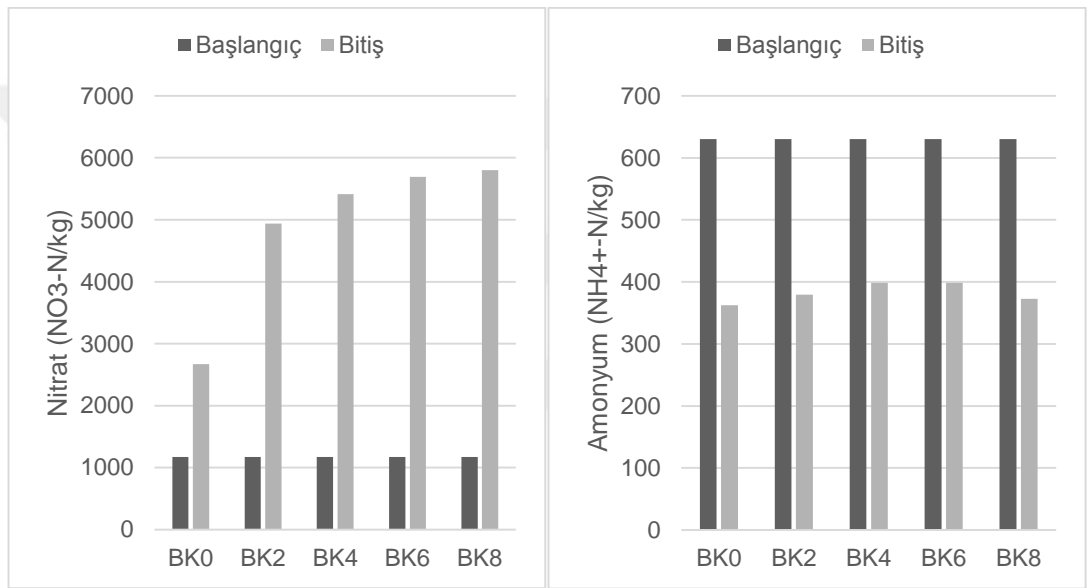
#### **4.5.8. Amonyum ve nitrat değişimleri**

Kuru numuneler üzerinde gerçekleştirilen kimyasal analizler sonucunda elde edilen kg madde başına amonyum ve nitrat değerlerinin değişimi Şekil 4.63'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre reaktörlerin tümünde nitrat artış eğilimi gösterirken amonyum azalma eğilimi göstermektedir. Tüm reaktörlerde ortak olan amonyum miktarındaki azalma Vandescasteele vd. (2016) tarafından da rapor edilmiştir.

Biyokömürlü uygulamalarıda, biyokömürün adsorban özelliği nedeniyle NH<sub>4</sub><sup>+</sup> konsantrasyonlarında sıcaklıkların termofilik düzende seyrettiği dönemlerde

kontrol grubuna göre azalma olduğu bildirilmektedir (Vandecasteele vd., 2016). BK4 ve BK6 karışımlarının da benzer bir azalma 2. karıştırmanın gerçekleştirildiği 12. günün değerlerinde gözlenebilmektedir.

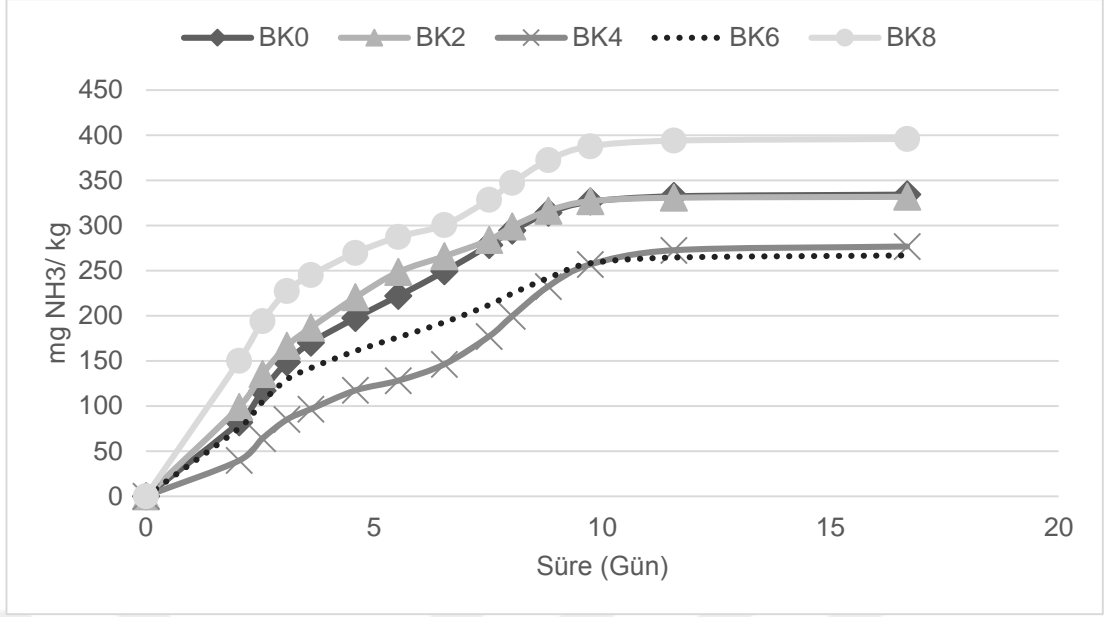
$\text{NO}_3^-$  konsantrasyonları kontrol grubuna göre sonlandırma anında alınan numunelerde biyokömür içeren gruplarda daha yüksektir. Kontrol grubunda azot gazı çıkışı engellenmediği için ortamdaki organik azotun bir kısmı  $\text{NH}_4^+$  formunda  $\text{NH}_3$  formuna dönüşerek uzaklaşmış olduğundan nitrifikasyon işlemi bu grup reaktörlerde daha az gerçekleşmiştir.



Şekil 4.63. Tüm reaktörlerin amonyum ve nitrat değişimleri

#### 4.6. Amonyak Salınımları

Kompostlama işlemi süresince oluşturulan karışımların amonyak emisyonları üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için düzenli olarak amonyak ölçümleri gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilen bu ölçümler g kuru madde başına amonyak ( $\text{NH}_3\text{-N/kg}$ ) cinsinden hesaplanarak toplanmıştır (Şekil 4.64).



Şekil 4.64. Kompostlama süresince kümülatif amonyak salınımları

Amonyak ölçüm sonuçlarına göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonucun BK6 karışımında alındığı görülmektedir. BK4 karışımı BK6 yakın performans göstermiştir. BK2 karışımı BK0 karışımıyla benzer salınımı özellikleri göstermiş, BK8 karışımı ise BK0 grubu salınımının üzerine çıkmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

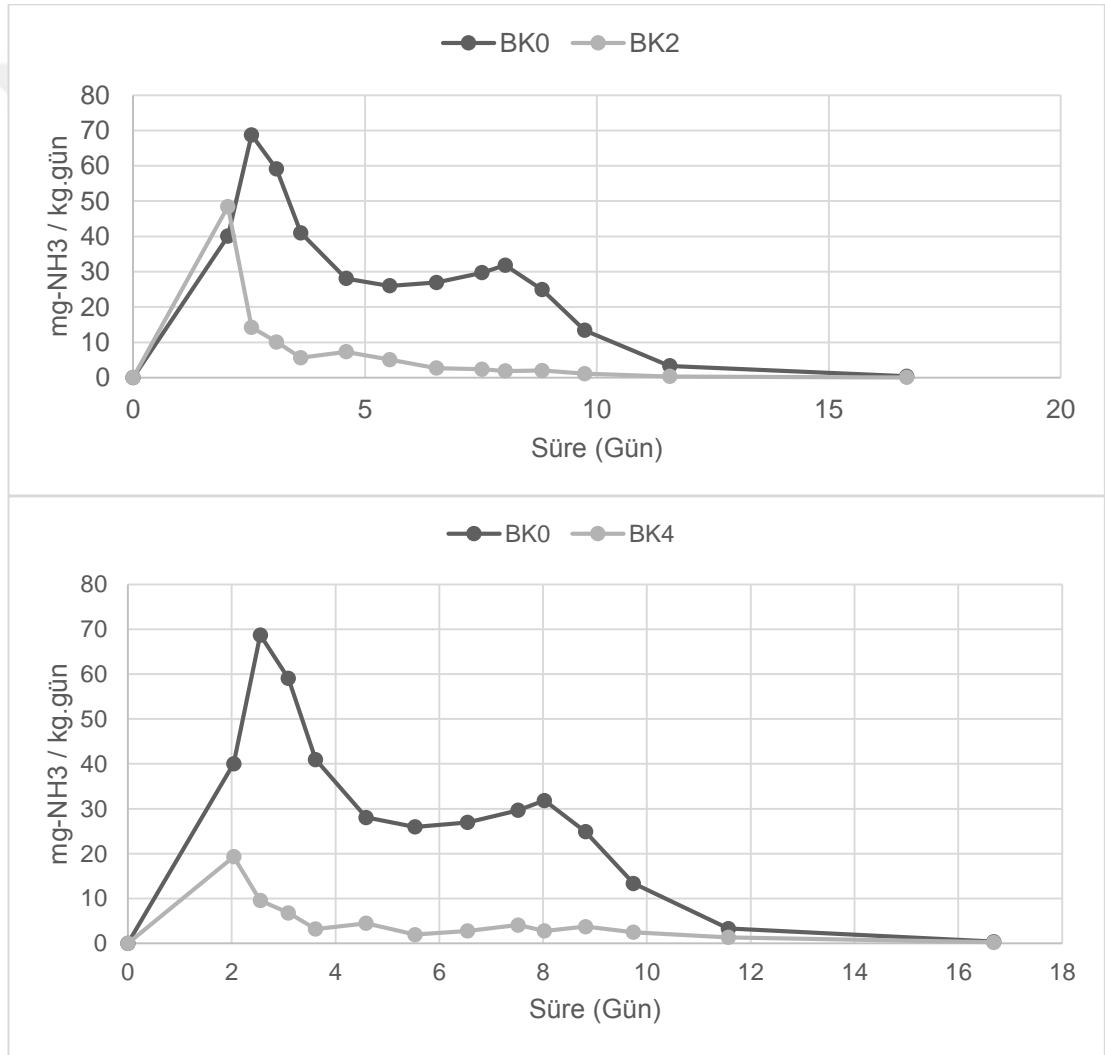
Çizelge 4.3. Toplam amonyak salınımları ve azaltım oranları

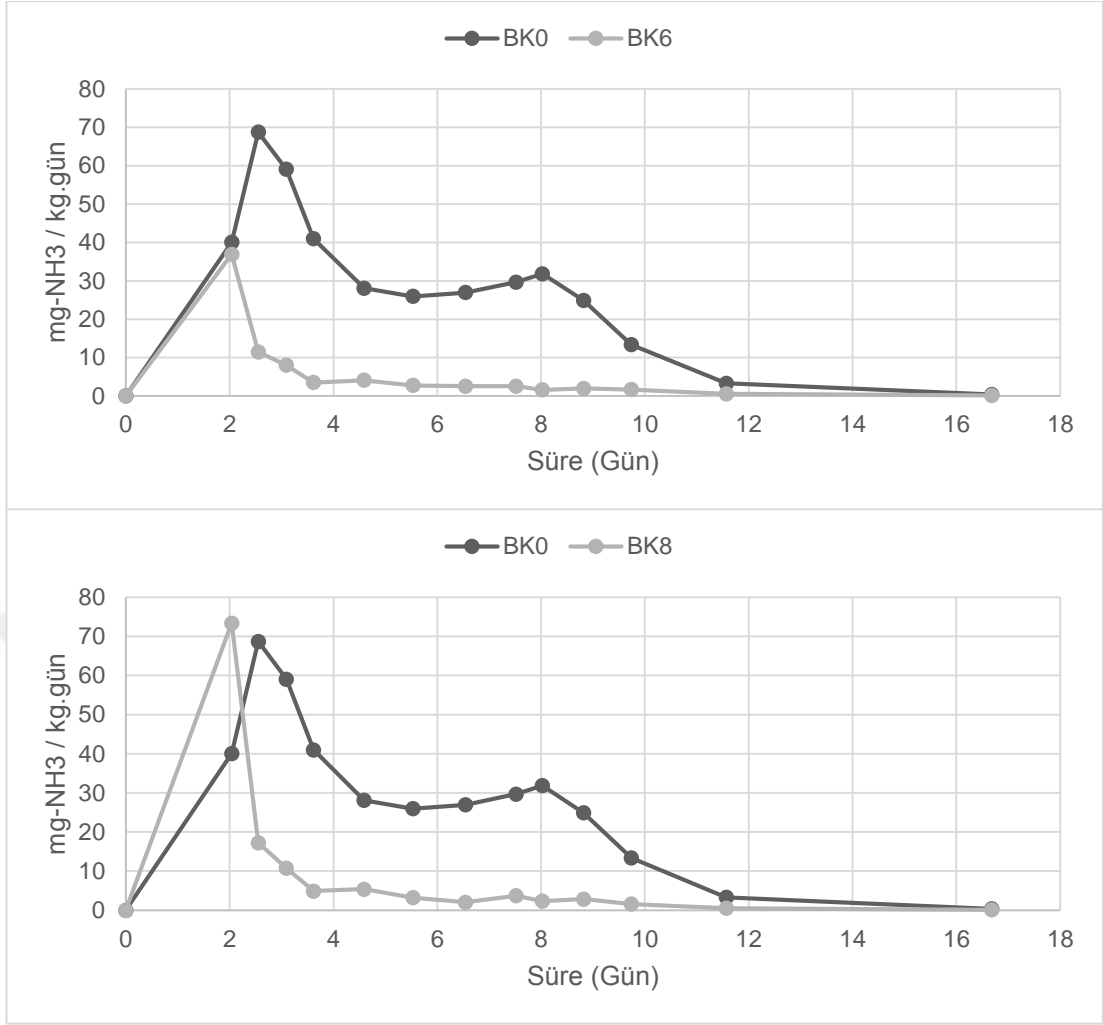
	Toplam mgNH <sub>3</sub> -N/kg	% Azaltım
<b>Kontrol</b>	334.3	0
<b>%2</b>	331.7	0.773
<b>%4</b>	276.5	17.28
<b>%6</b>	266.9	20.17
<b>%8</b>	395.7	-18.37

Steiner vd. (2010) %2'lik biyokömür karışımından %8 azaltım, %20'lik biyokömür karışımından ise %54 azaltım performansı elde etmiştir. Çalışma bu yönüyle literatürde bildirilen sonuçlarla uyumsuzdur. Ancak Liu vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada da benzer olarak artan biyokömür miktarı amonyak emisyonlarının azalmasına negatif etki görülmüştür. Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde (Chen vd., 2017; Agyarko-Mintah vd., 2017)

%10'luk biyokömür karışımlarının da %8'lik biyokömür karışımında elde edilen negatif azaltım değerinin aksine pozitif giderim değerleri elde edilmiştir.

Malinska vd. (2014) biyokömürlü karışımların amonyak emisyonlarının kompostlama işleminin ilk haftasında daha kontrol grubuna göre daha düşük olduğunu bildirmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada da %4 ve %6'lık biyokömürlü karışımların kümülatif olarak ilk hafta kontrol grubu ve %2 ile %8'lik biyokömür karışımlarına göre daha düşük amonyak emisyonu gerçekleştirdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.65).





Şekil 4.65. BK0 karışımına göre diğer karışımların amonyak salınımları

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında üniversitede oluşan atıkların kompostlanabilirliği değerlendirilmiş ve oluşturulan karışım üzerinden pırnal meşesi biyokömürünün kompost prosesinde amonyak oluşumuna etkisi ölçülmüştür. Toplamda 17 gün sürdürülen kompostlama işlemi süresince gerçekleştirilen fiziksel ve kimyasal analizler sonucu elde edilen veriler değerlendirilip maddeler halinde sıralanmıştır:

- Kontrol reaktörleri dahil denemede kullanılan tüm reaktörler 60 °C sıcaklığa ulaşmış ve bir süre bu sıcaklık seviyesinde seyretmiştir. Kontrol reaktörlerinden alınan bu sonuç üniversite organik atıklarının eşit kuru madde oranlarında karıştırılarak kompostlaştırılabileceğine işaret etmektedir.
- pH değeri karışımın başlangıcından sonuna doğru tüm reaktörlerde artış göstermiş, kontrol grubu reaktörleri ile %2'lik, %8'lik biyokömür karışımı reaktörlerinde ilk karıştırmada pH seviyelerinde düşüşler gerçekleşmiş %4 ve %6'lık karışımlar daha kararlı bir seyir izlemiştir.
- OM azalması tüm reaktörlerde %10 ve üzerinde gerçekleşmiştir. Kontrol grubundan artan biyokömür karışımlarına gidildikçe OM azalması yüzdece azalış göstermiştir. Artan oranlarda biyokömür kullanımı OM bozunma hızını yavaşlatmaktadır.
- Başlangıçta sabit olan CN oranları sonuçta kontrol grubunda en az olacak şekilde artan biyokömür yüzdelerinde artış göstermiştir. Eklenen biyokömürdeki parçalanamayan karbonun bu duruma yol açtığı düşünülmektedir.
- Amonyak azaltım etkisine bağlı olarak nihai azot oranı %2, %4 ve %6'lık biyokömürlerde daha fazladır. Bu oranlarda kullanılacak biyokömür miktarı elde edilecek kompostun zirai değerine katkı sağlamaktadır.



- Biyokömürün amonyak azaltımı etkisinin %6'lık karışımda maksimuma ulaştığı bu noktadan sonra %8'lik karışımda tersine etki göstererek amonyak salınımlarını artırdığı görülmüştür.
- Kullanılan biyokömürün pH değerinin alkali olması nedeniyle artan oranlarda eklenen biyokömür karışımda pH yükselmesine yol açmaktadır. Amonyak emisyonu azaltımı için daha yüksek biyokömür karışimli oranları araştırmak için daha düşük pH değerine sahip biyokömürleri kullanmak daha uygun olabilir.



## KAYNAKLAR

- Agyarko-Mintah, E., Cowie, A., Van Zwieten, L., Singh, B. P., Smillie, R., Harden, S., & Fornasier, F., 2017. Biochar lowers ammonia emission and improves nitrogen retention in poultry litter composting. *Waste management*, 61, 129-137.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim J. Eun., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage M., Lee, S. S., Ok Y. S., 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99,19-33.
- Antal, M. J., Gronli, M., 2003. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(8), 1619-1640.
- Atık Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi, 02.05.2015, Resmi Gazete Sayısı, 29314.
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete Tarihi, 26.03.2010, Resmi Gazete Sayısı, 27533.
- Awasthi, M. K., Wang, Q., Huang, H., Li, R., Shen, F., Lahori, A. H., Wang, P., Guo, Z., Jiang, S., Zhang, Z., 2016. Effect of biochar amendment on greenhouse gas emission and bio-availability of heavy metals during sewage sludge co-composting. *Journal of Cleaner Production*, 135, 829-835.
- Becidan, M., Skreiberg, O., Hustad, E. J., 2007. NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O Precursors (NH<sub>3</sub> and HCN) in Pyrolysis of Biomass Residues. *Energy & Fuel*, 21(2), 1173-1180.
- Brewer, C. E., Unger, R., Schmidt-Rohr, K., Brown, R. C., 2011. Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties. *Bioenergy Research*, 4(4), 312-323.
- Bridgwater, A., 2007. IEA Bioenergy Update 27: Biomass Pyrolysis. *Biomass and Bioenergy*, 31, 1-5.
- Chang, J.I., Chen, Y.J., 2010. Effects of bulking agents on food waste composting. *Bioresour. Technol.* 101 (15), 5917–5924.
- Chen, W., Liao, X., Wu, Y., Liang, J. B., Mi, J., Huang, J., Zhang, H., Wu, Y., Qiao, Z., Li, X., Wang, Y., 2017. Effects of different types of biochar on methane and ammonia mitigation during layer manure composting. *Waste Management*, 61, 506-515.

- Chen, Y. X., Huang, X. D., Han, Z. Y., Huang, X., Hu, B., Shi, D. Z., Wu, W. X., 2010. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. *Chemosphere*, 78, 1177-1181.
- Chikae, M., Ikeda, R., et al., 2006. Estimation of maturity of compost from food wastes and agro-residues by multiple regression analysis. *Bioresour. Technol.* 97 (16), 1979–1985.
- Chowdhury, M.A., de Neergaard, A., Jensen, L. S., 2014. Composting of solids separated from anaerobically digested animal manure: effect of different bulking agents and mixing ratios on emissions of greenhouse gases and ammonia. *Biosystems Engineering*, 124, 63-77.
- Clough, T.J., Condon, L.M., Kammann, C., Müller, C., 2013. A review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy (Basel)* 3, 275–293.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014. Ulusal Atık Yönetimi Eylem Planı 2023.
- Dias, B. O., Silva, C. A., Higashikawa, F. S., Roig, A., Sanchez-Monedero, M. A., 2010. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. *Bioresource Technology*, 101(4), 1239-1246.
- Diaz L.F., Savage G. M., 2007. Chapter IV: Factors that Affect the Process In: *Composting Science and Technology*, Waste Management series 9. Diaz L. F., de Bertoldi M., Bidlingmaier W. And Stentiford E.(ed.) Elsevier Ltd. The Netherlands ISBN-13:978-0-08-043960-0.
- Edwards, D. R., Daniel, T. C., 1992. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal-a review *Bioresource technology* 41,9-33.
- Ekinci, K., Keener, H. M., Elwell, D. L., 2013. Composting Short Paper Fiber with Broiler Litter and Additives: Part I: Effects of Initial pH and Carbon/Nitrogen Ratio on Ammonia Emission. *Compost Science & Utilization*, 8(2), 160-172.
- Epstein, E., 2011. *Industrial composting: environmental engineering and facilities management*. CRC Press.
- Fidero, K., Hiroshi, M., & Kiyohiko, N., 2013. Reduction of ammonia inhibition of organic matter degradation by turning during a laboratory-scale swine manure composting. *International Journal of Waste Resources (IJWR)*, 3(1), 5-8.
- Figueiredo, J. L., Valenzuela, C., Bernalte, A., & Encinar, J. M., 1989. Pyrolysis of holm-oak wood: influence of temperature and particle size. *Fuel*, 68(8), 1012-1016.

- Gertsakis J., Lewis H., 2003, Sustainability and the waste management hierarchy Retrieved on January, 30, 2008.
- Haug, R.T., 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- J. H. Hong, J. H., K. J. Park, K. J., 2004. Wood Chip Biofilter Performance of Ammonia Gas From Composting Manure. *Compost Science & Utilization* 12(1), 25-30.
- Kuok, F., Mimoto, H., Nakasaki, K., 2013. Reduction of ammonia inhibition of organic matter degradation by turning during a laboratory-scale swine manure composting. *International Journal of Waste Resources (IJWR)*, 3(1),5-8.
- Lehmann, J., Joseph, S., 2009. Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 1e12.
- Li, L., Lollar, B. S., Li, H., Wortmann, U. G., Lacrampe-Couloume, G., 2012. Ammonium stability and nitrogen isotope fractionations for  $\text{NH}_4^+$ - $\text{NH}_3(\text{aq})$ - $\text{NH}_3(\text{gas})$  systems at 20 – 70 °C and pH of 2-13: Applications to habitability and nitrogen cycling in low-temperature hydrothermal systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 84, 280-296.
- Liu, W., Huo, R., Xu, J., Liang, S., Li, J., Zhao, T., Wang, S., 2017. Effects of biochar on nitrogen transformation and heavy metals in sludge composting. *Bioresource Technology*, 235, 43-49.
- Madrini, B., Shibusawa, S., et al., 2016. Effect of natural zeolite (clinoptilolite) on ammonia emissions of leftover food-rice hulls composting at the initial stage of the thermophilic process. *J. Agric. Meteorol.* 72 (1), 12–19.
- Malinska, K., Zabochnicka-Swiatek, M., Dach, J., 2014. Effects of biochar amendment on ammonia emission during composting of sewage sludge. *Ecological Engineering*, 71, 474-478.
- Manya, J. J., 2012. Pyrolysis for Biochar Purposes: A Review to Establish Current Knowledge Gaps and Research Needs. *Environmental Science & Technology*, 46(15), 7939-7954.
- Meng, L., Li, W., Zhang, S., Wu, C., Wang, K., 2016. Effects of sucrose amendment on ammonia assimilation during sewage sludge composting. *Bioresource technology*, 210, 160-166.
- Mintah-Agyarko, E., Cowie, A., Van Zwieten, L., Singh, B. P., Smilie, R., Harden, S., Fornasier, F., 2016. Biochar lowers ammonia emission and

- improves nitrogen retention in poultry litter composting. *Waste Management*, 61,129-137.
- Onursal, E., Ekinci, K., 2015. Co-composting of rose oil processing waste with caged layer manure and straw or sawdust: Effects of carbon source and C/N ratio on decomposition. *Waste Management & Research*, 33(4), 332-338.
- Öztürk, İ., Demir, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O. A., Çiftçi, T., Çakmak, İ., Öztürk, L., Yıldız, Ş., Kiriş, A., 2015. *Kompost El Kitabı*. İSTAÇ A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi 1, 353s, İstanbul.
- Schall, J., 1992. Does the Solid Waste management Hierarchy Make Sense? A Technical, Economic and Environmental Justification for the Priority of Source Reduction and Recycling Working paper #1. Program on Solid Waste Policy, Yale University.
- Sıfır Atık Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi, 12.07.2019, Resmi Gazete Sayısı, 30829.
- Steiner, C., Das, K.C., et al., 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *J. Environ. Qual.* 39 (4), 1236–1242.
- Sümer S. K., Kavdur Y., Çiçek G., 2016. Türkiye’de Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi, *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(4), 379-387.
- 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.
- Tchobanoglous, G., 1993. *Integrated solid waste management engineering principles and management issues*. McGraw Hill International Editions.
- Tosun, İ., 2003. *Gül İşleme Posasının Evsel Katı Atıklarla Kompostlaşabilirliği*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2014. Erişim tarihi:18.02.2019, <http://tuikapp.tuik.gov.tr/cevredagitimapp/belediyeatiksuzul>.
- Uchimiya, M., Klasson, K.T., Wartelle, L.H., Lima, I.M., 2011b. Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biochar amendment: 1. Copper sorption isotherms and the release of cations. *Chemosphere* 82, 1431–1437.
- Vandecasteele, B., Sinicco, T., D’Hose, T., Nest, T. V., Mondini, C., 2016. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. *Journal of environmental Management*, 168, 200-209.

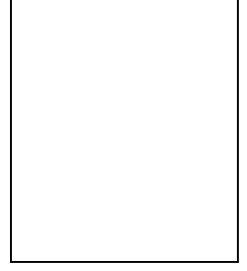
Wang, S., Zeng, Y., 2018. Ammonia emission mitigation in food waste composting: A review. *Bioresource Technology* 248, 13-19.

Zhang, L., Sun, X., 2014. Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource Technology*, 171, 274-284.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Umut BEKÇİ  
Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 1993  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : umud.be@gmail.com



## Eğitim Durumu

Lise : Büyükşehir Hüseyin Yıldız Anadolu Lisesi  
Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

## Yayınları

Bekçi, U., Tosun, İ., Ekinci, K., 2019. Organik Atıkların Kompostlaştırılmasında Biyokömür Kullanımının Amonyak Azaltımına Etkisi. Uluslararası Genç Araştırmacılar Öğrenci Kongresi, 28-30 Kasım, Burdur.