



# Mutfak atıklarının bahçe tipi kompostlaştırma sistemleri ile kaynağında yönetimi

## Kitchen waste management at source by yard composting systems

Hüseyin Güven<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Istanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul Türkiye

### Öz

Yapılan çalışmada yemek hazırlama aşamasında oluşan mutfak atıklarının bahçe tipi basit sistemlerle kompostlaştırılması incelenmiştir. Bu kapsamda boyutları 0.7m x 0.7m x 1.1m (R1) ve 0.6m x 0.6m x 1.1m (R2) olan iki adet reaktör kurulmuş ve 7 hafta müddetince işletilmiştir. Çalışma sonunda, reaktörlerdeki sıcaklık profili incelendiğinde R1 reaktörü için ölçülen en yüksek sıcaklık 50°C olurken, R2 reaktöründe gözlemlenen azami sıcaklık 70°C civarında olmuştur. Nihai ürünlerdeki pH değeri her bir reaktör için ~8.85 olurken, elektriksel iletkenlik (EI) değerleri R1 ve R2 reaktörleri için sırasıyla 1.58 ve 2.17 dS/m olmuştur. Elde edilen kompostta, R1 ile R2 reaktörleri için karbon/azot (C/N) oranları sırasıyla 30 ve 25 olmuşturken,  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerleri ise sırasıyla 0.70 ve 0.56 olarak bulunmuştur. Hesaplanan C/N oranları kararlı bir kompost için bir miktar yüksek olmakla beraber ( $>20$ ),  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerleri elde edilen ürünün kararlı sayılabileceğini göstermiştir. Nihai su muhtevası oranı R1 reaktöründen elde edilen kompost için %65, R2 reaktöründen elde edilen kompost için ise %74 olmuştur. Son ürünlerdeki uçucu katı madde/toplam katı madde (UKM/TKM) oranı ise R1 ve R2 reaktörleri için sırasıyla %70 ve %73 olarak gerçekleşmiştir. Yapılan çalışmaya göre, bahçe tipi kompostlaştırma sistemlerinin genel bir özelliği sayılabilecek uzun bekletme sürelerinin de yardımıyla elde edilen kompostun patojenler açısından zararsız ve arazide uygulanabilir faydalı bir ürün olabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bahçe tipi kompostlaştırma, Karbon/azot oranı, Kompost, Mutfak atıkları, Sıcaklık profili

### 1 Giriş

Gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı şehirleşme, yüksek nüfus artış hızı ve ekonomik kalkınma sonucu toplumsal refahtaki iyileşme birim atık oluşum hızını yukarı yönde değiştirerek toplam kentsel katı atık (KKA) oluşumunu artırmaktadır. Belirtilen bu başlıca sebeplerin yanı sıra toplumdaki sosyoekonomik profilin farklılaşması (hane başına nüfus, kadınların istihdam oranı vs.) ile tüketim alışkanlıklarındaki değişimler de KKA oluşumunu artış

### Abstract

In the study, the composting of kitchen wastes generated during the meal preparation stage with yard-type simple systems was investigated. In this context, two reactors with dimensions of 0.7m x 0.7m x 1.1m (R1) and 0.6m x 0.6m x 1.1m (R2) were installed and operated for 7 weeks. At the end of the study, when the temperature profile in the reactors was examined, the highest temperature measured for the R1 reactor was 50°C, while the maximum temperature observed in the R2 reactor was around 70°C. While the pH value in the final product was ~8.85 for both reactors, the electrical conductivity values were 1.58 and 2.17 dS/m for the R1 and R2 reactors, respectively. In the compost obtained, the carbon/nitrogen (C/N) ratios for the R1 and R2 reactors were 30 and 25, respectively, while the  $(C/N)_{final}/(C/N)_{initial}$  values were found to be 0.70 and 0.56, respectively. Although the calculated C/N ratios are somewhat elevated for a stable compost ( $>20$ ),  $(C/N)_{final}/(C/N)_{initial}$  values indicated that the obtained product can be considered stable. The final water content ratio was 65% for the compost obtained from the R1 reactor and 74% for the compost from the R2 reactor. The volatile solids/total solids (VS/TS) ratio in the final product was 70% and 73% for the R1 and R2 reactors, respectively. According to the study, it was concluded that the compost obtained with the help of long residence times, which can be considered a general characteristic of yard-type composting systems, can be a beneficial product that is harmless in terms of pathogens and can be applied in the field.

**Keywords:** Yard composting, Carbon/nitrogen ratio, Compost, Kitchen wastes, Temperature profile

yönünde etkilemektedir. Bu sebepten dolayı gelişmiş ülkelerdeki mahalli idareler, KKA yönetimini etkin ve verimli bir şekilde sürdürmek açısından birçok güçlüklerle karşılaşabilmektedir. KKA yönetiminde karşılaşılan güçlüklerin başında mali kısıtlar, planlamadaki yetersizlikler ve oluşturulan KKA yönetim planının yeni gereksinimlere cevap verebilecek esneklikte olmaması gelmektedir [1]. Eysel organik katı atıkların (EOKA) en önemli kısmını mutfak atıkları teşkil etmektedir [2]. Mutfak atıklarının KKA içindeki payı yaklaşık %25-70 oranında değişmektedir [3].

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: guvenhu@itu.edu.tr (H. Güven)

Geliş / Received: 07.02.2023 Kabul / Accepted: 12.05.2023 Yayınlanma / Published: 15.07.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1248793

Mutfak atıkları yüksek oranda organik madde ve su muhtevası ile karakterize edilmektedir. Mutfak atıklarının bertarafında en sık kullanılan düzenli depolama yönteminde, atık bünyesindeki organik maddeler anaerobik ortamda ayrıştırarak sızıntı suyu ve gaz oluşumuna sebep olmaktadır. Sızıntı suyu yüksek konsantrasyonda kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve amonyum konsantrasyonuna sahip iken, oluşan depo gazı ise önemli oranda metan (CH<sub>4</sub>) ihtiva etmektedir. Katı atık depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı sularının KOİ konsantrasyonu 70 000 mg/L'ye kadar çıkabilmektedir [4]. Sızıntı suyu ile işletilen anaerobik akışkan yataklı bir reaktör kullanılarak yapılan çalışmada elde edilen birim biyogaz miktarının 0.50 ila 0.55 L/g KOİ<sub>giderilen</sub> olduğu dikkate alındığında özellikle kuvvetli karakterdeki sızıntı sularının yüksek miktarda metan oluşumu sağlama potansiyeli bulunmaktadır [5, 6]. Üretilen biyogazın metan içeriğini içten yanmalı motorlar veya gaz türbinleri ile enerjiye dönüştürmek mümkün olmakla beraber egzoz çıkışında önemli miktarda karbondioksit emisyonu oluşabilmektedir. Sızıntı suyunun anaerobik arıtılması sonucunda oluşan biyogazın yanı sıra sahada depolanan atık kütesinden de ciddi miktarda depo gazı oluşmaktadır. Yukarıda ifade edildiği üzere, oluşan biyogazın/depo gazının enerjiye dönüştürülmesi mümkün olsa bile işletmeye bağlı olarak depolama sahalarındaki gaz toplama veriminin %50 gibi düşük seviyelerde olması halinde büyük oranda metan gazı toplanmadan atmosfere kaçmaktadır [7]. Dolayısıyla, düzenli depolama tesisleri (DDT), Dünya genelindeki antropojenik (insan) kaynaklı metan salımı açısından üçüncü sırada gelmektedir [8]. Gelişmekte olan ülkelerde mutfak atıklarının kaynağında ayrı toplanması daha düşük seviyelerde olduğu için bu ülkelerde düzenli depolama daha yaygın (oluşan mutfak atığının >%90'ı için) uygulanan bir yöntemdir. Bu sebepten ötürü, DDT kaynaklı sera gazı emisyonları başta olmak üzere mutfak atıklarının neden olduğu çevresel sorunlar gelişmekte olan ülkelerde daha yüksek seviyededir [9]. Bununla birlikte hem Avrupa Birliği (AB)'deki hem de Türkiye'deki yönetmelikler ile atıkların depolanmasına bazı sınırlamalar geliştirilmiştir. AB 2018 senesinde Düzenli Depolama Direktifini [10] tadil ederek üye devletlerin 2035 senesi itibarıyla oluşan KKA'nın ağırlıkça en fazla %10'unu DDT'lerde bertaraf edebileceğini belirtmiştir [11]. Buna benzer şekilde 2019 senesinde de ülkemizdeki ilgili mevzuat olan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik'te [12] bir değişiklik yapılarak 2035 senesi itibarıyla toplanan KKA'nın ağırlıkça %60'ının geri kazanılacağı ifade edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu tarihten geçerli olmak kaydıyla, toplanan KKA'nın en fazla %40'ı DDT'lere kabul edilebilecektir [13].

Mutfak atıklarının geri kazanımı için çeşitli uygulamalar mevcuttur. Kaynağında ayrı toplanan mutfak atıklarının önemli bir kısmı, Japonya, Güney Kore ve Tayvan gibi Uzakdoğu ülkelerinde hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Ancak bu uygulamanın mutfak atıklarının ağırlıklı olarak diğer atıklarla karışık olarak toplandığı ülkelerde gerçekleştirilmesi mümkün değildir [9]. Enerji geri kazanımı amacıyla kütleli yakmanın uygulanması atık hacmini %80-90 oranında azaltması açısından uygun bir proses olarak

gözükse de yüksek işletme maliyeti ile kül ve emisyon kontrolü gerektirmesi sebebiyle dezavantajları bulunan bir prosesdir [14]. Mutfak atıklarının yüksek su muhtevası sebebiyle doğrudan yakılması da enerji geri kazanımı bakımından olumsuz bir durum oluşturmaktadır. Bundan dolayı yakma uygulanan durumlarda herhangi bir ikili ayırma yapılmadan KKA'nın genellikle karışık olarak yakılması tercih edilir [3]. Mutfak atıklarının yönetiminde uygulanabilecek diğer bir seçenek ise anaerobik (havasız) çürütmedir. Anaerobik çürütme ile biyogaz üretimi üzerinden enerji geri kazanımı sağlanabileceği gibi, toprak şartlandırıcısı, uçucu yağ asitleri ve diğer ara ürünlerin elde edilmesi de mümkündür [15]. Ancak anaerobik çürütme esnasında bitkilerin büyümesi için faydalı olan besi maddeleri de ayrıştığı için, mutfak atığının besleyici özelliğinde kayıp gerçekleşmektedir [14].

Mutfak atıklarının biyolojik olarak stabilize edilip kararlı bir son ürün elde edilmesinde kompostlaştırma prosesi de uygulanabilir. Kompostlaştırmada organik maddeler kontrollü bir şekilde biyolojik olarak ayrıştırarak proses sonunda faydalı bir toprak şartlandırıcısı elde edilmiş olur [16, 17]. Organik maddelerin ayrışmasında içerisinde bakteri, mantar ve diğer mikroorganizmaların yer aldığı geniş bir mikrobiyal topluluk görev alır. Prosesin gerçekleşebilmesi için ortamdaki su muhtevası ve oksijenin yeterli seviyede olması gerekirken belirli aralıklarla karıştırma yapılması ve prosesdeki sıcaklığın takip edilmesi gerekmektedir [18].

Gelişmekte olan ülkelerde KKA'nın önemli bir kısmını organik atıklar oluşturduğu için bu ülkelerdeki atıkların %50'den fazlasının kolay bir şekilde kompostlaştırılabileceği söylenebilir. Türkiye genelinde oluşan KKA'nın en büyük kısmını organik atıklar teşkil ettiği için kompostlaştırmanın Türkiye için de oldukça uygun bir atık yönetim seçeneği olduğu görülmektedir [19]. Bunun yanı sıra, organik atık yönetim seçeneği olarak değerlendirildiğinde, kompostlaştırma diğer seçeneklere göre oldukça basit bir teknolojidir. Kompostlaştırmada, tabiatla kendiliğinden gerçekleşen proseslerden faydalanılarak atıkların hızlı bir şekilde stabilize edilmesi sağlanır. Düzenli depolama ve yakma gibi KKA yönetim seçenekleri ile kıyaslandığında hem oluşturduğu çevresel etkiler açısından (sera gazı emisyonları vs.) hem de düşük maliyetli olması bakımında kompostlaştırmanın avantajlı olduğu görülmektedir [20].

Bahçe veya ev tipi kompostlaştırma sistemleri, biyobozunur atıkların toplama veya taşıma yapılmaksızın kaynağında (oluştugu yerde) yönetilmesine yönelik kurulan küçük ölçekli sistemlerdir. Bu tip sistemler, özel mülklerin bahçelerinde kurulabileceği için büyük ölçekli merkezi kompostlaştırma tesislerindeki gibi yüksek ilk yatırım (arazi ve ekipman temini) ile işletme maliyetine (enerji maliyeti vs.) ihtiyaç duyulmaz [21]. Hiç şüphesiz, bahçe tipi kompostlaştırmanın en önemli avantajı atık toplama ve taşımının olmamasıdır [22]. Yerel şartlara bağlı olmakla birlikte, atık toplama ve taşıma, mahalli idarelerin atık yönetim hizmetleri için ayırdığı bütçenin %80 ila %95'ini oluşturduğu için oldukça yüksek maliyete sahiptir [1]. Dolayısıyla bahçe tipi kompostlaştırma ile atık yönetim

maliyetlerinde önemli bir düşüş sağlanabileceği öngörülebilir. Merkezi kompostlaştırma tesislerine göre, bahçe tipi sistemlerin çevresel etkisi de daha düşük seviyelerdedir. Atık toplama ve taşımının yanı sıra atık işleme esnasında oluşan emisyonlar sebebiyle merkezi kompostlaştırma tesislerinin daha yüksek çevresel etkiye sahip olduğu görülmektedir [23].

Kompostlaştırma sonunda elde edilen nihai ürünün hastalık yapıcı (patojen) mikroorganizmalardan tamamen arınması için belli bir süre ile sağlanması gereken sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Bu kapsamda kompost yığımında termofilik sıcaklıkların (>50°C) elde edilebilmesi önem taşımaktadır. Sıcaklık değerleri arttıkça ilgili sıcaklık değerlerinin sağlanması gereken asgari süre azalmaktadır (daha yüksek sıcaklık daha düşük süre) [24]. Bahçe tipi kompostlaştırma sistemlerinde termofilik sıcaklıklara ulaşılmasının her zaman mümkün olmaması, elde edilen nihai ürünün yeteri kadar patojen giderimi sağlanamamasına sebep olabilmektedir. Ancak bununla birlikte bahçe tipi kompostlaştırma sistemlerindeki bekletme sürelerinin büyük ölçekli kompostlaştırma tesislerine göre genellikle daha uzun olması, patojen mikroorganizmaların doğal süreçlerle inaktive hale gelmesini ve elde edilen nihai ürünün sağlık açısından güvenli olmasını sağlamaktadır [22].

Bu çalışmada İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Ayazağa Kampüsü yemekhanesinde oluşan yemek hazırlama atıkları kaynağında ayrı toplandıktan sonra iki adet bahçe tipi kompostlaştırma sisteminde kompostlaştırılmıştır. Yapılan çalışmada basit ve maliyeti düşük reaktörler kullanılarak temel kompostlaştırma prosesi parametreleri üzerinden sistemin verimliliği incelenmiştir. Kompostlaştırmaya alınan atık kütlesi ile kompostlaştırma sonunda elde edilen nihai ürün (kompost) üzerinde analizler gerçekleştirilerek elde edilen ürünün kalitesi ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bunun yanı sıra bazı deneysel parametreler çeşitli aralıklarla takip edilerek proses takip edilmiştir.

## 2 Materyal ve metod

### 2.1 Atık karakterizasyonu

Reaktörlere alınan atıklar İTÜ Ayazağa Kampüsü yemekhanesinden temin edilmiştir. Atık toplama ve çalışma kolaylığı göz önünde bulundurularak yemek hazırlama atıkları ile çalışılmıştır. Sisteme alınan atıklar esas olarak sebze kabukları ve artıklarından oluşmuştur. Temsil edici numune elde edebilmek için atık toplama süreci yaklaşık 2 hafta sürdürülmüştür. Çalışmaya başlanana dek, toplanan atıklar +4°C sıcaklığa ayarlı bir soğuk odada muhafaza edilmiştir. 2 haftanın sonunda toplanan atıklar reaktörlerin yanındaki beton zemin üzerine boşaltılarak bir kürek aracılığıyla karıştırılmış ve homojen bir karışım elde edildikten sonra reaktörlere aktarılmıştır. Atıklar içinden çıkan plastik, kağıt, eldiven ve benzeri inert malzemeler el ile mutfak atıklarından ayrılarak reaktörlere eklenmemiştir. Reaktörlere atık beslemesi sadece çalışmanın başlangıcında yapılmıştır. Atık yığımındaki başlangıç karbon/azot (C/N) oranını ayarlamak için atıkların karıştırılması esnasında bir miktar budama artığı, ağaç yongası ve talaş ilavesi de

yapılmıştır. Tablo 1’de reaktörlere beslenen karışımların karakterizasyonu görülmektedir.

**Tablo 1.** Reaktörlere beslenen atık karışımlarının karakterizasyonu

Parametre	Değer*
pH	8.66±0.34
Elektriksel iletkenlik (dS/m)	2.62±0.13
Su muhtevası (%)	75.0±4.4
Uçucu katı madde (% toplam katı madde)	82.9±2.1
Toplam karbon (%)	39.5±2.5
Toplam kjeldahl azotu (mg/kg)	9445±410
C/N oranı	43.9±1.2
Toplam fosfor (mg/kg)	1179±390

\* Ortalama±standart sapma

Çalışma başladıktan sonra, haftada bir kez olmak üzere bir kürek yardımıyla reaktörlerdeki içerik dışarı alınmış ve karıştırıldıktan sonra tekrar reaktörlere aktarılmıştır. Sistemin işletilmesi toplam 7 hafta (~50 gün) sürmüştür. Literatürde ev/bahçe tipi kompostlaştırma sistemleri için birbirinden farklı proses süreleri verilmekle beraber bu çalışmada olduğu gibi kesikli işletilen (atık beslemesinin sadece başlangıçta yapıldığı) sistemler için aktif kompostlaştırma süresinin genellikle 40 ila 60 gün arasında değiştiği görülmektedir [25]. Çalışma İstanbul’da, Eylül ile Aralık ayları arasında gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla çalışmanın devam ettiği esnada ağırlıklı olarak sonbahar mevsimine has hava şartlarının hüküm sürdüğü ifade edilebilir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre İstanbul’daki ortalama hava sıcaklığı Eylül ayında 21.1°C iken Aralık ayında 8.9°C’dir [26].

### 2.2 Deneysel sistem

Çalışmada kullanılan reaktörler dikdörtgen kesite sahip olup ahşaptan imal edilmiştir. Reaktör boyutları ise sırasıyla 0.7m x 0.7m x 1.1m (R1=0.54 m<sup>3</sup>) ve 0.6m x 0.6m x 1.1m (R2=0.40 m<sup>3</sup>)’dir. Reaktör tabanı açık tutulmuş, böylelikle tabandan hava girişi temin edilerek doğal bir havalandırma sağlanmıştır. Reaktör tabanından gerekli miktarda hava girişi sağlanabilmesi için tabanda yeteri kadar boşluk bırakılmıştır. Bu amaçla her iki reaktörün tabanına boşluk artırıcı malzeme olarak ağaç yongası ve küçük dal parçaları konmuştur. Bahçe tipi kompostlaştırma sistemlerinde daha donanımlı ve kontrollü reaktörler de kullanılabilirle beraber bu çalışma kapsamında kullanılan reaktörler hem maliyeti düşük hem de basit olması (seri üretim ürünü olmadan evde yapılabilecek özellikte olması) bakımından birçok uygulamada kullanılabilme imkanına sahiptir. Reaktörler dış ortamda, güneş görmeyen beton bir zemin üzerine yerleştirilmiştir. Şiddetli yağış durumlarında reaktörlere aşırı miktarda su girişi gerçekleşmemesi için reaktörlerin üzeri kalın plastik poşetler ile kapatılmıştır. Örnek olarak, R2 reaktörünün atık karışımı ile doldurulmadan önceki ve sonraki görünümü Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Kompostlaştırma reaktörünün (R2) atık ile doldurulmadan önceki (a) ve sonraki (b) görünümü

### 2.3 Analitik yöntemler

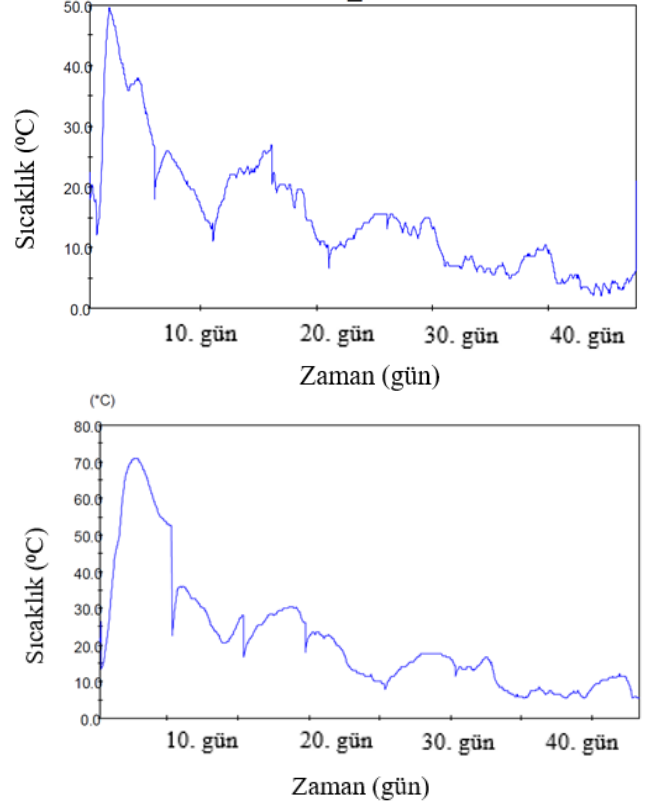
Kompostlaştırmaya alınan atık karışımında pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), toplam katı madde (TKM), uçucu katı madde (UKM), toplam karbon (TC), toplam kjeldahl azotu (TKN) ve toplam fosfor (TP) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kompostlaştırma prosesi için önemli bir takip parametresi olan C/N oranı, TC ile TKN arasındaki oran üzerinden tespit edilmiştir [27]. Süreç boyunca çeşitli aralıklarla numune alınarak pH, Eİ, su muhtevası, organik madde miktarı ve C/N oranının değişimi incelenmiştir. Kompost yığınlarındaki sıcaklık profilinin takip edilmesi için her bir yığın içerisinde Amerika Birleşik Devletleri (ABD) menşeli SpecWare marka veri toplayıcı piller yerleştirilmiştir. Deney başlangıcında piller faal hale getirilmiş ve saatte bir kez sıcaklık verisi toplanmıştır. pH, Eİ, TKM, UKM, TKN ve TP ölçümleri Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC)'a göre yapılmıştır [28]. TC ölçümleri ise Shimadzu Karbon Analizörü (Japonya) kullanılarak yürütülmüştür.

## 3 Bulgular ve tartışma

### 3.1 Sıcaklık profili

Kompostlaştırma esnasındaki biyolojik faaliyetler sebebiyle önemli miktarda ısı açığa çıkmaktadır. Dolayısıyla kompostlaştırma prosesinin ekzotermik bir proses olduğu belirtilebilir. Prosesin ilk günlerinde sıcaklığın 70°C'ye kadar çıkması mümkündür [29]. Çalışmadaki reaktörlerde elde edilen sıcaklık profili Şekil 2'de verilmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre R1 reaktörü için ölçülen en yüksek sıcaklık 50°C olurken, R2 reaktöründe gözlemlenen azami sıcaklık 70°C civarına kadar yükselmiştir. Bahçe tipi kompostlaştırma sistemlerinin boyutundan dolayı açığa çıkan ısının hızlı bir şekilde kaybolması mümkün olmakla birlikte [21], özellikle R2 reaktöründe elde edilen maksimum sıcaklıklar birkaç gün boyunca hipertermofilik seviyelerde seyretmiştir. R1 reaktörünün R2 reaktörüne göre hacminin biraz daha yüksek olmasının, bu reaktörde oluşan ısı kaybının diğer reaktöre biraz daha fazla olmasına ve dolayısıyla elde edilen maksimum sıcaklığın biraz daha düşük olmasına sebebiyet verdiği ileri sürülebilir.



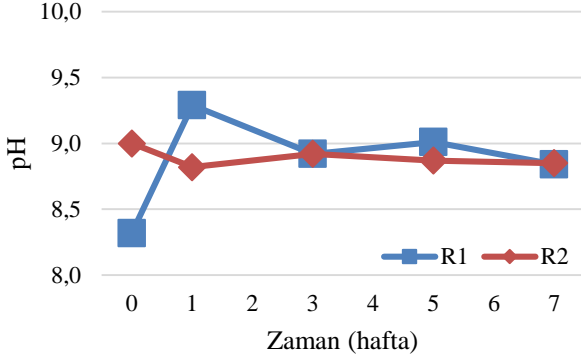
Şekil 2. Kompostlaştırma reaktörlerindeki sıcaklık profili (R1, üstte; R2, altta)

Buna ilave olarak, her ne kadar çalışmada kullanılan atık karışımı aynı olsa da R2 reaktöründeki başlangıç su muhtevası R1 reaktörüne göre bir miktar fazla olmuştur (~%80'e ~%70). Çalışmanın başlangıcında oluşturulan atık yığının reaktörlere ilavesi esnasında bu şekilde bir farklılığın oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. Storino vd. [30] atıktaki su muhtevasının kompostlaştırma için sınırlayıcı bir faktör olarak rol oynayabileceğini ve yığındaki su oranı azaldıkça mikroorganizma faaliyetinin yavaşlamasından dolayı yığın sıcaklığının azalabileceğini ifade etmiştir. Çalışmanın son safhasında ise her iki reaktördeki sıcaklıklar, ortam sıcaklığına (~10°C) yaklaşmıştır. Kompostlaştırma esnasındaki sıcaklık değişimi patojen giderimi açısından oldukça önem arz etmektedir. Tam patojen giderimi için kompost yığınının sıcaklığın en az üç gün boyunca 55°C'nin üzerinde olması tavsiye edilmektedir [31]. Bu bakımdan R2 reaktöründeki patojen mikroorganizma inaktivasyonunun R1 reaktörüne göre daha yüksek seviyede olduğu önerilebilir.

### 3.2 pH

Muhtevasındaki yüksek organik madde içeriği sebebiyle özellikle yemek atıklarının kompostlaştırılmasında düşük pH'ların gözlemlenmesi mümkün olmaktadır. 7'nin altındaki pH değerlerinde biyolojik faaliyetin sınırlandığı belirtilmektedir [24]. Bununla birlikte, nihai üründeki pH'ın 8 civarında olması uygun görülmektedir [22]. Yapılan çalışmada ise reaktörlerdeki pH değeri 8.3 ila 9.3 arasında değişiklik göstermiş (Şekil 3) ve son üründeki kompost

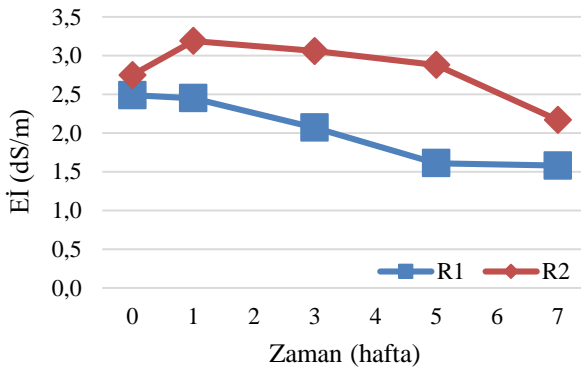
değeri 8.85 civarında gerçekleşmiştir. Buna göre her iki reaktördeki nihai kompost değerinin uygun olduğu belirtilebilir.



Şekil 3. Kompostlaştırma reaktörlerindeki pH değişimi

### 3.3 Elektriksel iletkenlik (Eİ)

Kompostun tarımsal alanda kullanımı söz konusu olduğunda Eİ önemli bir kalite parametresi olarak ele alınmaktadır. Yüksek Eİ ve tuzluluk değerleri bitki büyümesi ve gelişmesi açısından toksik bir etki oluşturabilmektedir [32]. Şekil 4'te çalışma boyunca reaktörlerde görülen Eİ değişimi verilmektedir.



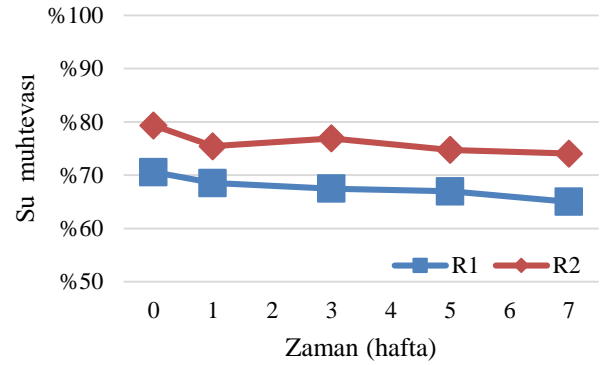
Şekil 4. Kompostlaştırma reaktörlerindeki elektriksel iletkenlik değişimi

Elde edilen sonuçlara göre Eİ değerleri çalışma zarfında genellikle stabil seyretmekle birlikte hafif bir azalma göstermiştir. Lleó vd. [23] yürüttükleri ev tipi kompostlaştırma çalışmasında da Eİ değerlerinin benzer şekilde son haftalara doğru hafif bir azalma kaydettiğini tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre R1 ve R2 reaktörlerindeki Eİ değerleri nihai ürün için sırasıyla 1.58 ve 2.17 dS/m olarak gerçekleşmiştir. Kompostlaştırmanın ilk haftalarında organik madde ayrışması yoğun şekilde gerçekleştiği için ortama çözünmüş organik madde salınması yolu ile Eİ değerleri yüksek seyredebilmektedir. İlerleyen haftalarda ise hümitik asit gibi stabil ürünlerin ortamda baskın hale gelmeye başlaması ile Eİ değerlerinde düşme görülmesi mümkündür [33]. Bu çalışmada ise ayrıntıları ilerleyen kısımlarda verileceği üzere organik madde giderimi R2

reaktöründe R1 reaktörüne göre daha yüksek olmuştur. Dolayısıyla R2 reaktöründe başlangıçta Eİ değerinde artış görülmüş ve bu durum proses sonundaki Eİ değerinin R2 reaktöründe daha yüksek olmasına sebebiyet vermiştir. Bununla birlikte elde edilen nihai Eİ değerleri Li vd. [24] tarafından verilen 2.87-12.4 dS/m aralığının altında kalmıştır.

### 3.4 Su muhtevası

Kompostlaştırmada görev alan mikroorganizmaların biyolojik faaliyetlerini sağlıklı bir şekilde sürdürebilmeleri için atık yığınında belli bir nem miktarının bulunması gerekmektedir. Kompostlaştırma için optimum su muhtevası oranı %25-80 gibi geniş bir aralıkta verilmektedir. Teorik olarak mikroorganizmaların bünyelerine maksimum miktarda besi maddesi alabileceği su muhtevası %100'dür (mutlak sıvı ortamı) ancak bu durumda ortamda yeterli porozite (boşluk hacmi) bulunmayacağından besi maddesi alımı gerçekleşmemektedir [34]. Yapılan çalışmada, reaktörlerdeki su muhtevasının değişimi Şekil 5'te görülmektedir.



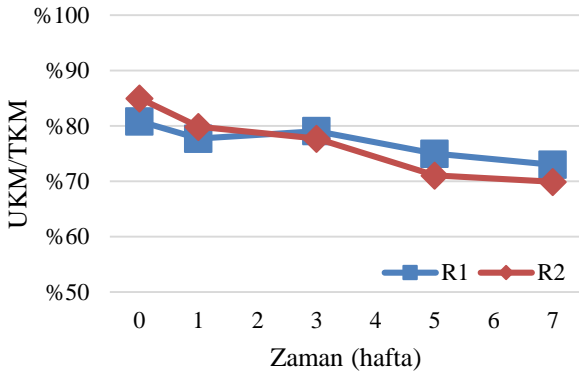
Şekil 5. Kompostlaştırma reaktörlerindeki su muhtevası değişimi

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde çalışma boyunca R2 reaktöründeki su muhtevasının R1 reaktörüne daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5'ten görüleceği üzere R2 reaktöründeki su muhtevası çalışmanın başında %79 iken R1 reaktöründe ise %71'dir. Bununla birlikte başlangıçtaki su muhtevasının her iki reaktör için yukarıda verilen optimum aralık (%25-80) içinde ve bu aralığın üst sınır değerine yakın bir seviyede bulunduğu görülmektedir. Su muhtevasının zamanla değişimine bakıldığında başlangıçtaki su muhtevası düşüşünün nispeten daha fazla olduğu, zaman içerisinde ise su muhtevası oranının stabil kaldığı anlaşılmaktadır. Kompostlaştırma süresince su muhtevasının başlangıçta tedrici olarak azalması ve daha sonra sabit seviyelerde kalması yaygın olarak karşılaşılan bir durumdur [27]. Kompostlaştırmanın ilk safhalarında (aktif kompostlaştırma) yüksek sıcaklıklar görülmesi sebebiyle, su muhtevasındaki düşüşün bu esnada daha yüksek olması beklenen bir durumdur [35]. Şekil 2'de verilen kompost yığını sıcaklık profilleri dikkate alındığında, R2 reaktöründe ulaşılan azami sıcaklıkların daha yüksek olmasının, aktif kompostlaştırma

aşamasında bu reaktördeki su muhtevası düşüşünün R1 reaktörüne göre nispeten daha fazla olmasına sebep olduğu söylenebilir. Çalışmanın başlangıcında R2 reaktöründe %79 olan su muhtevası çalışmanın sonunda %74'e gerilerken, R1 reaktöründe ise %71'den %65'e gerilemiştir.

### 3.5 Organik madde

Yapılan çalışmadaki organik madde değişimi UKM/TKM parametresi üzerinden takip edilmiştir (Şekil 6). Organik madde miktarındaki değişim, esas itibarıyla atıktaki organik maddenin biyobozunurluğuyla ilişkilidir. Yüksek biyobozunurluğa sahip atıkların kompostlaştırılmasında daha yüksek UKM giderimi sağlanmaktadır [36].



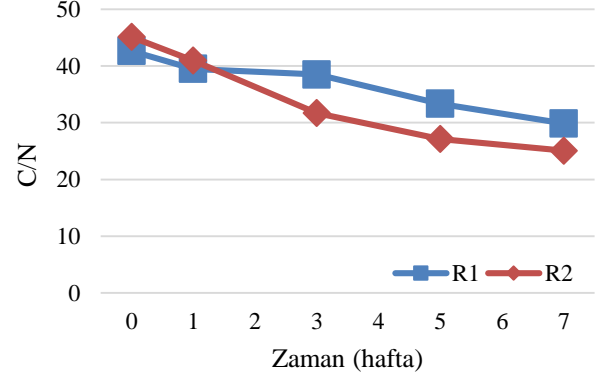
Şekil 6. Kompostlaştırma reaktörlerindeki organik madde değişimi

Reaktörlerdeki UKM/TKM oranının zamanla değişimi kıyaslandığında R2 reaktöründeki değişimin R1 reaktörüne nazaran biraz daha fazla olduğu ve R2 reaktöründeki oranın %85'ten %70'e düşerken, R1 reaktöründe ise %81'den %73'e gerilediği görülmüştür. R2 reaktöründe görülen yüksek sıcaklıkların aktif kompostlaştırma aşamasındaki su muhtevası değişiminde olduğu gibi organik madde muhtevası değişiminde de bu sonuca sebep olduğu belirtilebilir. Reaktörlere beslenen atık karışımı büyük oranda benzer özellikte olmasına rağmen UKM giderimi değerlerinde görülen farklılığın gerekçesi olarak reaktörlerde görülen farklı maksimum sıcaklıklar verilebilir. Daha önceden izah edildiği üzere, reaktör hacimleri (R1=0.54 m<sup>3</sup>, R2=0.40 m<sup>3</sup>) ile başlangıçtaki su muhtevası oranlarındaki (R1=%71, R2=%79) farklılığın gözlemlenen maksimum sıcaklık değerlerinde farklılık oluşmasına sebebiyet verdiği ifade edilebilir.

### 3.6 C/N oranı

Kompostlaştırmaya tabi tutulan atık yığının optimum C/N oranına sahip olması, proses sırasında karbon veya azot açısından herhangi bir sınırlayıcı faktörün mevcut olmaması bakımından önem taşımaktadır. Proses başlangıcındaki C/N oranının 30 civarında olması tavsiye edilmektedir [37]. C/N oranı aynı zamanda kompost stabilitesi ve olgunluğu açısından önemli bir indikatör olmakla beraber (C/N)<sub>son</sub>/(C/N)<sub>başlangıç</sub> değeri de benzer amaçla kullanılabilir bir parametre olarak önerilmektedir. Kararlı ürünün (C/N)<sub>son</sub>/(C/N)<sub>başlangıç</sub> değeri için literatürde farklı

aralıklar önerilmekle birlikte (0.45-0.89; 0.55-0.70; 0.45-0.60 vs.) verilen değerlerin ortalama olarak 0.60 civarında olduğu görülmektedir [38]. Yapılan çalışmadaki C/N oranı değerlerinin değişimi Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. Kompostlaştırma reaktörlerindeki C/N oranının değişimi

Yukarıda açıklandığı gibi, atık yığının başlangıçtaki C/N oranını ayarlamak için atık karışımına bir miktar ağaç yongası, talaş ve ufak dal parçaları ilave edilmiştir. Reaktörlerdeki başlangıç C/N oranının 40'ın üzerinde olmasının, ilave edilen bu katkı malzemelerinin miktarının olması gerekenden bir miktar fazla olduğunu göstermektedir. Talaş ve ağaç parçaları oldukça yüksek bir C/N oranına sahip olduğundan (~100-1000) [37] ham atıktaki C/N oranında önemli bir artışa sebep olduğu söylenebilir.

Şekil 7 dikkate alınarak reaktörlerdeki C/N oranının değişimi incelendiğinde, tipik bir kompostlaştırma prosesinde olduğu gibi başlangıçta nispeten hızlı bir düşüş ve sonrasında ise daha stabil bir trend gözlemlenmiştir. Şekil 7'ye göre, C/N oranındaki düşüşün R2 reaktöründe daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Başlangıç ve sondaki C/N oranları kıyaslandığında, düşüş yüzdesinin R1 ve R2 reaktörlerinde sırasıyla %30 ve %44 olduğu hesaplanmıştır. C/N oranının R2 reaktöründe daha yüksek oranda düşüş göstermesi bu reaktördeki sıcaklık değerlerinin R1 reaktörüne göre daha yüksek olmasıyla ilişkilendirilebilir. İkinci vd. [39] ve Sakarika vd. [40] da benzer atık türlerinin kompostlaştırılmasıyla ilgili çalışmalar yürütmüş ve C/N oranlarındaki düşüş yüzdesini sırasıyla %31-44 ve %21-32 olarak bulmuştur. R1 reaktörü için verilen değer (%30) Sakarika vd. [40] tarafından verilen aralık arasında kalmış iken, R2 reaktörü için verilen değer ise (%44) İkinci vd. [39] tarafından verilen aralık ile uyumlu bulunmuştur.

Kompostlaştırma sonundaki C/N değerleri ise R1 ve R2 reaktörleri için sırasıyla 30 ve 25 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler tipik bir kompost için beklenen maksimum C/N oranından (<20) yüksek olmakla beraber kompost stabilitesinin değerlendirilmesinde sadece bu parametrenin dikkate alınması yanıltıcı olabilmektedir [38]. Bu sebepten ötürü, nihai ürünün C/N oranının yanı sıra (C/N)<sub>son</sub>/(C/N)<sub>başlangıç</sub> değerinin de göz önünde bulundurulması tavsiye edilmektedir. Bu çerçevede R1 ve R2 reaktörlerindeki (C/N)<sub>son</sub>/(C/N)<sub>başlangıç</sub> değerleri hesaplanmış ve sırasıyla 0.70 ve 0.56 olarak bulunmuştur.

Stabil kompost için yukarıda verilen tipik  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerleri ile kıyaslandığında her iki reaktördeki nihai ürünlerin kararlı bir yapıda olduğu görülmektedir.

#### 4 Sonuçlar

Yapılan çalışma kapsamında mutfak atıklarının basit ve düşük maliyetli bir yöntem olan bahçe tipi kompostlaştırma sistemiyle yönetilmesi değerlendirilmiştir. Bu çerçevede iki adet basit bahçe tipi reaktör kurulmuş ve yaklaşık 7 hafta boyunca işletilmiştir. Çalışmada kullanılan atıklar ise İTÜ Ayazağa Kampüsü'nden toplanmıştır. Proses süresince atık yığınlarındaki sıcaklık saatte bir alınan verilerle takip edilmiş, yığınlardan belli aralıklarla alınan numunelerle çeşitli kalite parametreleri için ölçümler yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre nispeten diğerine göre daha büyük hacme sahip olan R1 reaktöründe ulaşılan azami sıcaklıklar (~50°C) daha düşük seviyede kalmıştır. Buna mukabil, daha küçük hacme sahip olan R2 reaktöründeki sıcaklıklar 70°C civarına kadar yükselmiştir. R1 reaktöründe elde edilen maksimum sıcaklıkların termofilik seviyelere fazla yaklaşmaması, bahçe tipi kompostlaştırma sistemlerinden elde edilen ürünün patojenler açısından kesin olarak zararsız hale gelmesinin sağlanması için bekletme sürelerinin büyük ölçekli sistemlere göre daha uzun olması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Her iki reaktörden elde edilen üründeki nihai pH değeri yaklaşık 8.85 olurken, Eİ değeri ise R1 ve R2 reaktörü için sırasıyla 1.58 ve 2.17 dS/m olmuştur. Buna göre her iki parametre için elde edilen değerler uygun seviyelerde gerçekleşmiştir. Buna karşın, nihai su muhtevası oranı için her iki reaktörde elde edilen değerler (R1 reaktörü için %65, R2 reaktörü için %74) olması gerekenden daha yüksek olmuştur. Dolayısıyla reaktörlerden elde edilen kompostun arazide uygulanabilmesi için su muhtevasının düşürülmesi gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için kurutma işlemi uygulanabileceği gibi yukarıda belirtildiği üzere reaktörlerdeki bekletme süresinin uzatılması ve komposttaki fazla su içeriğinin doğal havalanmayla azalmasını sağlamak da mümkündür.

Stabilite tahkiki amacıyla hesaplanan  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerlerine göre R1 reaktörü için 0.70 değeri bulunurken, R2 reaktörü için ise 0.56 değeri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar uyarınca, her iki reaktörden elde edilen nihai ürün için  $(C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç}$  değerinin uygun aralıkta olmakla birlikte, bekletme süresinin uzatılmasıyla su muhtevasında düşüş elde edilebileceği gibi C/N oranının da azalma sağlanabileceği söylenebilir.

Sonuç olarak, yapılan çalışma ile uygun koşullar altında bahçe tipi kompostlaştırma yönteminin mutfak atıklarının geri kazanımı ve kompost üretimi amacıyla kullanılabilmesi görülmüştür. Elde edilen ürünün herhangi bir ilave son işlem (kurutma, pastörizasyon vs.) olmadan kullanılabilmesi için sıcaklık kontrolü ve bekletme süresi optimizasyonunun önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Gelecek çalışmalarda daha fazla benzer deneme yapıp daha fazla sayıda proses parametresi incelenerek ev/bahçe tipi kompostlaştırma sistemlerinin verimliliği hakkında ayrıntılı bilgiler edinilmesinin mümkün olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı

sıra ev/bahçe tipi kompostlaştırma sistemlerinin, daha genel bir ifadeyle merkezi olmayan sistemlerin ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirilerek merkezi (tam ölçekli) tesislerle karşılaştırma yapılması faydalı olacaktır. Ancak böyle bir durumda yapılacak analizin çalışmanın yürütüldüğü bölgedeki koşulları yansıtacağı unutulmamalıdır.

#### Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Benzerlik oranı (iThenticate): %6

#### Kaynaklar

- [1] L.A. Guerrero, G. Maas, W. Hogland. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Manag*, 33, 220-32, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>.
- [2] W. Peng, A. Pivato. Sustainable Management of Digestate from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Food Waste Under the Concepts of Back to Earth Alternatives and Circular Economy. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 465-81, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0071-2>.
- [3] T.P. Pham, R. Kaushik, G.K. Parshetti, R. Mahmood, R. Balasubramanian. Food waste-to-energy conversion technologies: current status and future directions. *Waste Manag*, 38, 399-408, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.004>.
- [4] H. Gülşen, M. Turan. Katı atık depolama alanı sızıntı sularının Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktör'de arıtılabilirliği. *İTÜ Dergisi*, 19, 74-84, 2009.
- [5] H. Gülşen, M. Turan. Anaerobic Treatability of Sanitary Landfill Leachate in a Fluidized Bed Reactor. *Turkish J Eng Env Sci*, 28, 297 – 305, 2004.
- [6] H. Gulsen, M. Turan, B. Armagan. Anaerobic fluidized bed reactor for the treatment of landfill leachates. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*, 39, 2195-204, 2004. <https://doi.org/10.1081/ESE-120039384>.
- [7] M.A. Barlaz, J.P. Chanton, R.B. Green. Controls on Landfill Gas Collection Efficiency: Instantaneous and Lifetime Performance. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 59, 1399-404, 2012. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.12.1399>.
- [8] H. Fisgativa, A. Tremier, P. Dabert. Characterizing the variability of food waste quality: A need for efficient valorisation through anaerobic digestion. *Waste Manag*, 50, 264-74, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.041>.
- [9] N.B. Thi, G. Kumar, C.Y. Lin. An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective. *J Environ Manage*, 157, 220-9, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.022>.
- [10] Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the Landfill of Waste. *Official Journal of the European Communities*, L, 182, 0001-0019, 1999.
- [11] Directive (EU) 2018/850 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive

- 1999/31/EC on the Landfill of Waste. Official Journal of the European Union, L, 150, 100-108 (14.06.2018), 2018.
- [12] Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 27533 sayılı Resmi Gazete, 2010.
- [13] Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 30990 sayılı Resmi Gazete, 2019.
- [14] Y. Ma, Y. Yin, Y. Liu. A holistic approach for food waste management towards zero-solid disposal and energy/resource recovery. *Bioresour Technol*, 228, 56-61, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.090>.
- [15] L. Li, X. Peng, X. Wang, D. Wu. Anaerobic digestion of food waste: A review focusing on process stability. *Bioresour Technol*, 248, 20-8, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.012>.
- [16] P.K. Pandey, V. Vaddella, W. Cao, S. Biswas, C. Chiu, S. Hunter. In-vessel composting system for converting food and green wastes into pathogen free soil amendment for sustainable agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 139, 407-15, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.034>.
- [17] Y. Wei, Y. Zhao, B. Xi, Z. Wei, X. Li, Z. Cao. Changes in phosphorus fractions during organic wastes composting from different sources. *Bioresour Technol*, 189, 349-56, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.022>.
- [18] D. Karadag, B. Özkaya, E. Ölmez, M.E. Nissilä, M. Çakmakçı, Ş. Yıldız, et al. Profiling of bacterial community in a full-scale aerobic composting plant. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 77, 85-90, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.10.011>.
- [19] G. Kanat, A. Demir, B. Ozkaya, M. Sinan Bilgili. Addressing the operational problems in a composting and recycling plant. *Waste Manag*, 26, 1384-91, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.12.010>.
- [20] Y.-T. Chen. A Cost Analysis of Food Waste Composting in Taiwan. *Sustainability*, 8, 2016. <https://doi.org/10.3390/su8111210>.
- [21] J. Faverial, J. Sierra. Home composting of household biodegradable wastes under the tropical conditions of Guadeloupe (French Antilles). *Journal of Cleaner Production*, 83, 238-44, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.068>.
- [22] R. Barrena, X. Font, X. Gabarrell, A. Sanchez. Home composting versus industrial composting: influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. *Waste Manag*, 34, 1109-16, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.008>.
- [23] T. Lleó, E. Albacete, R. Barrena, X. Font, A. Artola, A. Sánchez. Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management. *Journal of Cleaner Production*, 47, 70-6, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.011>.
- [24] Z. Li, H. Lu, L. Ren, L. He. Experimental and modeling approaches for food waste composting: a review. *Chemosphere*, 93, 1247-57, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.064>.
- [25] M.K. Manu, R. Kumar, A. Garg. Decentralized composting of household wet biodegradable waste in plastic drums: Effect of waste turning, microbial inoculum and bulking agent on product quality. *Journal of Cleaner Production*, 226, 233-41, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.350>.
- [26] Meteoroloji Genel Müdürlüğü İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri. (2023). Erişim Tarihi: 20.04.2023. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=%C4%B0STANBUL/FLOR YA>.
- [27] S. Hemidat, M. Jaar, A. Nassour, M. Nelles. Monitoring of Composting Process Parameters: A Case Study in Jordan. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 2257-74, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0197-x>.
- [28] Test Methods for the Examination of Composting and Composts (TMECC). Wayne Thompson, the US Composting Council, US Government Printing Office 2002.
- [29] B. Hellmann, L. Zelles, A. Palojarvi, Q. Bai. Emission of Climate-Relevant Trace Gases and Succession of Microbial Communities during Open-Windrow Composting. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(3), 1011-8, 1997. <https://doi.org/10.1128/aem.63.3.1011-1018.1997>.
- [30] F. Storino, J.S. Arizmendiarieta, I. Irigoyen, J. Muro, P.M. Aparicio-Tejo. Meat waste as feedstock for home composting: Effects on the process and quality of compost. *Waste Manag*, 56, 53-62, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.004>.
- [31] K.M. Wichuk, D. McCartney. A review of the effectiveness of current time-temperature regulations on pathogen inactivation during composting. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6, 573-86, 2007. <https://doi.org/10.1139/S07-011>.
- [32] F. Abbasi, M. Mokhtari, M. Jalili. The impact of agricultural and green waste treatments on compost quality of dewatered sludge. *Environ Sci Pollut Res Int*, 26, 35757-66, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06618-5>.
- [33] C. Sun, Y. Wei, J. Kou, Z. Han, Q. Shi, L. Liu, et al. Improve spent mushroom substrate decomposition, bacterial community and mature compost quality by adding cellulase during composting. *Journal of Cleaner Production*, 299, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126928>.
- [34] E. Madejon, M. Jesus Diaz, R. Lopez, F. Cabrera. New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. *Bioresour Technol*, 85, 73-8, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00030-5).
- [35] E.I. Arslan, U. İpek, E. Öbek, M. Topal. In-Vessel Composting: II. Grass Clippings. Uludağ Üniversitesi



- Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14, 47-56, 2009.
- [36] W. Namkoong, E.-Y. Hwang, J.-G. Cheong, J.-Y. Choi. A Comparative Evaluation of Maturity Parameters for Food Waste Composting. *Compost Science & Utilization*, 7, 55-62, 1999. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1999.10701964>.
- [37] İ. Öztürk, İ. Demir, M. Altınbaş, O.A. Arıkan. *Kompost El Kitabı*. İSTAÇ Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul 2015.
- [38] O.A. Arıkan, İ. Öztürk. Arıtma çamuru kompostlaştırılmasında organik evsel katı atık ilavesinin etkisi. *İTÜ Dergisi*, 4, 15-24, 2005.
- [39] K. Ekinci, C. Soyöz, B. Kumbul, R. Yildirim, Ş. Yazıcı, H. Rüzgar. Nar Kabuklarının Döner Tambur Kompostlama Sisteminde Biyoaktivatör İle Kompostlanması. *European Journal of Science and Technology*, 2021. <https://doi.org/10.31590/ejosat.908927>.
- [40] M. Sakarika, M. Spiller, R. Baetens, G. Donies, J. Vanderstuyf, K. Vinck, et al. Proof of concept of high-rate decentralized pre-composting of kitchen waste: Optimizing design and operation of a novel drum reactor. *Waste Management*, 91, 20-32, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.049>.

