

Peyniraltı Suyunun Kompostlaştırmada Karbon/Azot Oranına Etkisinin İncelenmesi

Cem ŞAHİN¹, Nurdan Gamze TURAN^{2*}

Öz

Peyniraltı suyu, peynir üretiminden kaynaklanan ve süt endüstrisindeki en kontamine atıksudur. Son yıllarda, peyniraltı suyunun farklı kullanım amaçları üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, kümes hayvanları atıklarının kompostlaştırılmasında peyniraltı suyunun karbon/azot (C/N) oranı üzerine etkisi incelenmiştir. Kümes hayvanı atıkları reaktör (in-vessel) kompostlaştırma sistemlerine yerleştirilmiş ve %1, %3 ve %5 oranlarında peyniraltı suyu ilave edilerek, peyniraltı suyu ilave edilmemiş kontrol reaktörü ile proses süresince toplam organik karbon (TOC) ve toplam azot (TN) içerikleri haftalık olarak izlenmiştir. Kompostlaştırma süreci başlangıcında, kontrol reaktöründe C/N oranı 14.82 olarak belirlenmiştir. Kümes hayvanı atıklarına peyniraltı suyu ilavesi C/N oranının artışı sağlanmış ve proses verimini artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompostlaştırma, Kümes hayvanı atığı, Peyniraltı suyu, C/N oranı.

Investigation of the Effect of Whey on Carbon/Nitrogen Ratio in Composting

Abstract

Whey is the most contaminated wastewater in the dairy industry, originating from cheese production. In recent years, studies on different uses of whey have been concentrated. In this study, the effect of whey on the carbon/nitrogen (C/N) ratio in the composting of poultry waste was examined. Poultry wastes were placed in reactor (in-vessel) composting systems and whey was added at the rates of 1%, 3% and 5%, and the total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) contents were determined weekly during the process with the control reactor without added whey. was observed as. At the beginning of the composting process, the C/N ratio was determined as 14.82 in the control reactor. Addition of whey to poultry waste increased the C/N ratio and increased the process efficiency.

Keywords: Composting, Poultry waste, Whey, C/N ratio.

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, cemsahin1907@yahoo.com

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, gturan@omu.edu.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 25.05.2024

Kabul/Accepted: 21.06.2024

Yayın/Published: 15.09.2024

1. Giriş

Organik atıklar genellikle anaerobik çürütme, kompostlama, termal yöntemler ve düzenli depolama ile bertaraf edilmektedir. Bunlar arasında kompostlaştırma, düşük yatırım ve işletme maliyetleri, sosyal ve çevresel faydaların fazla olması ve pazarlanabilir nihai ürün oluşturması nedeniyle tercih edilmektedir. Kompostlama, organik atıkları bitki büyümesi için substrat ve besin kaynağı olarak kullanılacak stabil ve güvenli bir ürüne dönüştüren biyokimyasal bir işlemdir (Bayındır ve ark., 2022). Olgunlaşma süreci, yüksek kaliteli kompost üretmek için kritik öneme sahiptir. Olgunluk indeksi, hammaddelerin ayrışma derecesi ve kompostlama işleminin tamamlanması için kullanılan bir değerlendirme prosedürüdür (Wang ve ark., 2017). Üreticiye ve kullanıcıya en büyük güvenceyi sağlayan spesifik testleri içermektedir. Kompostun olgunlaşması için bu testlerden iki veya daha fazlasını sağlaması gerekmektedir. Bu test sonuçlarına göre kompostlar çok olgun, olgun ve olgunlaşmamış olarak sınıflandırılmaktadır. Olgun kompost bitkiler için faydalı iken, olgunlaşmamış kompost yüksek konsantrasyonlarda uçucu yağ asitleri, serbest amonyak veya diğer toksik bileşikler içermesi nedeniyle tohum çimlenmesini, kök ve fide büyümesini engelleyebilmekte ve koku yayabilmektedir. Ayrıca olgunlaşmamış kompost depolama, nakliye ve kullanım sırasında sorunlara neden olabilir (Lu ve ark., 2018; Shan ve ark., 2021)

Hammaddelerin karbon (C) ve azot (N) içerikleri kompostlama sürecini ve son kompostun kalitesini etkilemektedir. Kompostlama sürecinin ana aktörleri olan mikroorganizmalar, protein üretimi ve hücre üreme için azota, enerji ihtiyaçları ve büyüme için ise karbona ihtiyaç duyarlar (Wang ve ark., 2022). Genel olarak mikroorganizmalar ağırlıkça birim azot başına 10 ila 15 birim karbona sahiptir. Ancak mikroorganizmalar solunum yoluyla sürekli olarak karbon kaybederler. Mikroorganizmalar, CO₂ olarak kaybettikleri karbonu geri kazanmak için azottan yaklaşık 25 kat daha fazla karbon kaynağı tüketmek zorundadır. Bu nedenle kompostlama işleminin başlangıcında kompostlaştırılacak hammaddelerin seçimi ve karıştırılması sırasında karbon ve azotun uygun oranlarda tutulması önemlidir. Sürecin başında 20/1 ila 60/1 C/N oranıyla başarılı kompostlama yapılabileceği belirtilmektedir. Ancak, 20/1-40/1 arasındaki C/N oranı ideal olarak kabul edilmektedir (Rynk ve Schwarz, 2022). 20/1'in altındaki C/N değerlerinde sürecin başlangıcındaki toplam azot içeriğinin neredeyse yarısı kaybolmaktadır ve amonyak mikrobiyal aktiviteyi engelleyebilmektedir (Wang ve Zeng, 2018). Azot eksikliği nedeniyle C/N oranı 40/1'in üzerinde olduğunda hücre üreme yavaşlamaktadır. Proses başlangıcındaki yüksek C/N oranı kompostlama verimliliğini azaltmakta ve süreç yönetimini karmaşıktırmaktadır. Hemen hemen tüm hammaddelerdeki azot tamamen biyolojik olarak parçalanabilirken, lignin içeren karbon bileşikler düşük biyolojik olarak parçalanabilirliğe sahiptir (Sanchez-Monedero ve ark., 2018). Hammaddelerin C/N oranını ayarlamak için katkı maddeleri, hacim artırıcılar ve mikrobiyal eklemeler gibi

uygulamalar yapılmaktadır. Böylece proses verimliliği ve kompost kalitesi artırılmaktadır (Manu ve ark., 2021; Zhou ve ark., 2022).

Peyniraltı suyu, (PAS), peynir üretiminden kaynaklanan, besin açısından zengin yeşil/sarı renkte bir sıvıdır (Ferraz ve ark., 2021). Peyniraltı suyunun içeriği sütün kalitesine, dolayısıyla hayvanın türüne, laktasyon evresine ve sağlık durumuna, tükettiği yemin türüne göre değişmektedir (Soltani ve ark., 2022). Peynirin türü ne olursa olsun, peyniraltı suyu süt endüstrisindeki en kontamine atık olarak kabul edilmekte, önemli çevresel etkilere neden olabilmektedir (Yadav ve ark., 2015).

Bu çalışmada, kümes hayvanları atıklarının kompostlaştırılmasında katkı maddesi olarak peyniraltı suyu kullanımının C/N oranı üzerine etkisi araştırılmıştır. Farklı oranlarda peyniraltı suyu ilave edilen kompostlaştırma reaktörleri ile peyniraltı suyu içermeyen kontrol kompostlaştırma reaktörü oluşturulmuş ve proses süresince TOC ve TN içerikleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre, peyniraltı suyunun C/N oranının proses verimine ve kompost kalitesine etkisi değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan kümes hayvanı atığı Ernur Tavukçuluk A.Ş. (Kavak/Samsun), peyniraltı suyu OTAT A.Ş. (Havza/Samsun), pirinç kabuğu ise Şahin Pirinç San. ve Tic. A.Ş. (Bafra/Samsun)'den temin edilmiştir. Peyniraltı suyunun karakteristiği Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Peyniraltı suyunun karakteristikleri

Parametreler	Değer
pH	5,34
Nem İçeriği (%)	92,90
Elektriksel İletkenlik (mS/cm)	8,71
TOC	27,62
TN	1,31
NH ₄ ⁺ -N	258,71
NO ₃ ⁻ -N	9,18
C/N	21,07

Kompostlaştırma denemeleri in-vessel olarak tasarlanan 4 adet 30 L'lik havalandırılmalı reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Tüm reaktörlerde hacim artırıcı ajan olarak %5 oranında pirinç kabuğu kullanılmıştır. Kontrol reaktörü peyniraltı suyu içermeyen kümes hayvanı atığından

oluşturulmuştur. Diğer reaktörlere %1, %3 ve %5 oranlarında peyniraltı suyu ilave edilmiştir. Reaktörlerin içeriği Tablo 2’de verilmiştir.

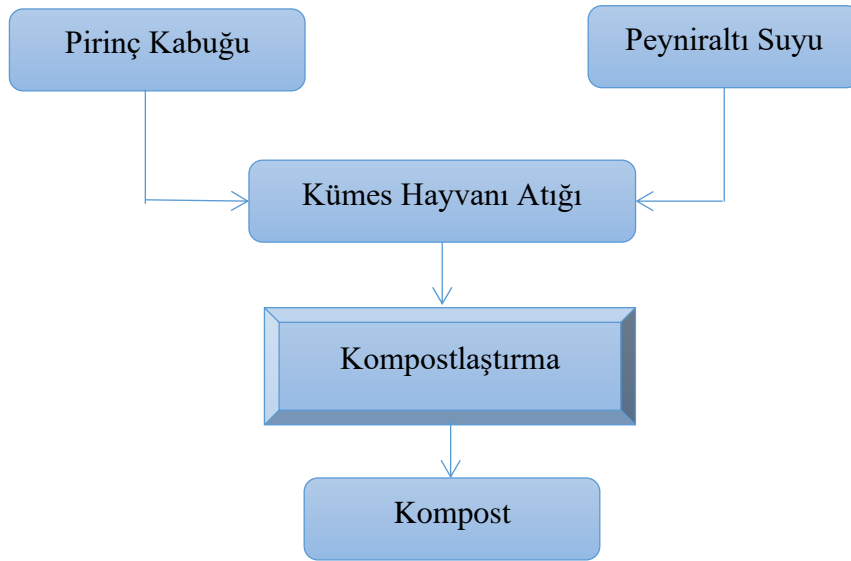
Tablo 2. Reaktörlerin içeriği

Reaktör Adı	Reaktör İçeriği
%0 PAS	%95 Kümes Hayvanı Atığı + %5 Pirinç Kabuğu
%1 PAS	%94 Kümes Hayvanı Atığı + %5 Pirinç Kabuğu + %1 Peyniraltı Suyu
%3 PAS	%92 Kümes Hayvanı Atığı + %5 Pirinç Kabuğu + %3 Peyniraltı Suyu
%5 PAS	%90 Kümes Hayvanı Atığı + %5 Pirinç Kabuğu + %5 Peyniraltı Suyu

Çalışmada kullanılan akış şeması Şekil 1’de sunulmuştur. Tüm reaktörlere proses süresince eşit şartlar uygulanmıştır. Reaktörlerden haftalık olarak numuneler alınarak, 15 hafta süresince TN ve TOC içerikleri analiz edilmiştir. TN analizi, kurutulmuş kompost numunesinin parçalanarak konsantre H₂SO₄ ile sindirime tabi tutulması sonucunda analitik test kitleri yardımıyla spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. TOC analizi ise, kurutulmuş kompost numunesinin 550 °C’de 2 saat kül fırınında yakılması sonucu kül içeriğinden hesaplanmıştır. Kül içeriği ve TOC içeriği formülleri sırasıyla Denklem (1) ve (2)’de verilmiştir.

$$\text{Kül İçeriği (\%)} = (A-B)/(A) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{TOC İçeriği (\%)} = (100 - \% \text{ Kül İçeriği}) / 1.8 \quad (2)$$



Şekil 1. Çalışmada kullanılan akış şeması

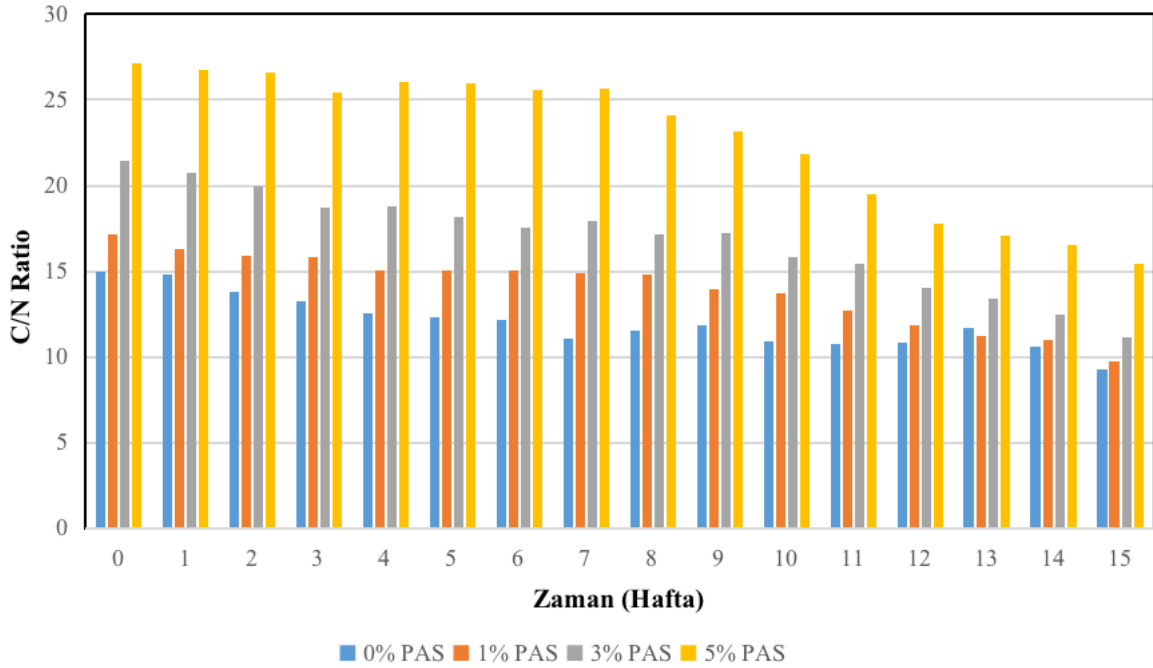
3. Bulgular ve Tartışma

Kompostlama prosesinde mikroorganizmalar için hammadde ve enerji kaynakları suda çözünebilir organik maddelerdir. Organik maddelerin sudaki çözünürlüğü, organik maddenin dönüşüm derecesine ve malzemelerin stabilitesine bağlıdır (Loow ve ark., 2017; Ravindran vd., 2022; Yu vd., 2019). Karbon, organik maddeyi oluşturan moleküllerin omurgasıdır (Stehouwer ve ark., 2021). Mikroorganizma hücresinin yapısı ve çeşitli organik moleküllerin sentezi için karbon gereklidir. Ayrıca karbon, mikroorganizmaların kuru kütesinin yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Kompostlama işlemi sırasında metabolik aktivite azaldıkça karbon içeriği ve CO₂ oluşum hızı azalmaktadır (Epstein, 1997; Aydın Temel ve ark., 2023). Karbon içeren ayrışma gazları karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve karbon monoksittir (CO). Kompostlama sırasında karbon kaybı, oluşan gazlardan ve organik maddenin mineralizasyonundan kaynaklanmaktadır (Cui ve ark., 2016; Said-Pullicino ve ark., 2007). Çalışmada, tüm reaktörlerde işlem sırasında TOC değerleri düşmüştür. Proses sonunda TOC değeri kontrol reaktöründe %11,22 olarak belirlenmiştir. Peyniraltı suyu içeren reaktörlerde ise TOC değerleri %14,41-22,74 arasında gözlenmiştir. Peyniraltı suyu miktarının artmasıyla TOC değerinin arttığı görülmüştür. Olgun kompost için proses sonunda TOC değerinin %8-35 arasında olması önerilmektedir (Yılmaz ve ark., 2022). Tüm reaktörlerden elde edilen kompostların TOC değerleri önerilen aralıkta bulunmuştur. TOC kayıpları kontrol reaktörlerinde %75,95 olarak gerçekleşmiştir. Peyniraltı suyunun eklenmesiyle TOC kayıpları azalmıştır. En düşük TOC kayıpları %5 peyniraltı suyu içeren reaktörde %63,33 oranında elde edilmiştir. Farklı çalışmalarda, kompostlaştırma prosesindeki başlangıç değerine göre %34-77 oranında TOC kaybı gerçekleştiği rapor edilmiştir (Guo et al., 2012). Peyniraltı suyu ilavesi, kontrol reaktörü ile kıyaslandığında TOC kayıplarını az da olsa düşürmüştür.

Azot (N), biyokimyasal süreçlerde önemli bir besindir. Azot, organik maddede çoğunlukla organik azot, nitrat (NO₃⁻) ve amonyum (NH₄⁺) formlarında bulunmaktadır. Azotun nitrat ve amonyum formları suda çözünebildiği ve mikroorganizmalar ve bitkiler tarafından doğrudan kullanılabilirdiği için yararlı azot formları olarak değerlendirilmektedir. Kompostlama sırasında azotun dönüşümü sonucu oluşan gaz emisyonları nedeniyle büyük miktarlarda azot (TN) kaybı oluşmaktadır (Lu ve ark., 2018; Liu ve ark., 2021). Azot kaybı, koku kirliliğine, ekipman korozyonuna, asit yağmuruna ve atmosferik nitrojen artışına neden olur (Aydın Temel, 2023). Aynı zamanda nihai ürünün tarımsal kalitesini de düşürmektedir (Cáceres ve ark., 2018; ; Shan ve ark., 2021; Wang ve ark., 2017). Çalışmada, kümes hayvanları atıklarına peyniraltı suyu ilave edildiğinde toplam azot içeriği azalma göstermiştir. Peyniraltı suyunun ilavesi mikroorganizma faaliyetlerini arttırmış ve kompostlaştırma prosesi süresince amonyak (NH₃-N) oluşumunu önemli ölçüde önlemiştir. Azot kaybı, peyniraltı suyu içermeyen kontrol reaktöründe %61,59 olarak gerçekleşmiştir. Peyniraltı suyu

ilavesinin kompostlaştırma prosesinde azot kayıplarını azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca peyniraltı suyu miktarının artmasıyla azot kayıpları da azalmıştır. En düşük azot kaybı %5 peyniraltı suyu içeren sistemden elde edilen kompostta elde edilmiştir. %5 peyniraltı suyu ilave edilen reaktörde azot kaybı, kontrol reaktörüne kıyasla %40,51 azalarak %36,64'e düşmüştür. Yapılan çalışmalar farklı materyallerle gerçekleştirilen kompostlaştırma prosesleri süresince %21-77% oranında azot kaybı gerçekleştiğini göstermiştir (Chan ve ark., 2016). Peynir altı suyu ilavesinin, literatürde kullanılan katkı materyallerine göre azot kaybını önemli miktarda gözlenmiştir.

Proses başlangıcında peyniraltı suyu içermeyen kontrol reaktöründe C/N oranı 14,82 olarak belirlenmiştir. C/N oranı proses başlangıcında %1 peyniraltı suyu ilave edilen reaktörde 16,32, %3 peyniraltı suyu ilave edilen reaktörde 20,77, %5 peyniraltı suyu ilave edilen reaktörde ise 26,73 olarak belirlenmiştir. C/N oranı 20'nin altında olduğunda, mikroorganizmalar hızla karbonu tüketmekte ve azot amonyak ve nitröz oksit gibi uçucu azot bileşiklerini oluşturan hücresel bileşiklere dönüşerek mikrobiyal aktivitenin engellenmesine ve komposttan azot kaybına neden olmaktadır (Cerde ve ark., 2018; Aycan Dümenci ve ark., 2021). Kompostlaştırma süreci süresince C/N oranı değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Peyniraltı suyunun kompostlaştırma süreci süresince değişimi

Kümes hayvanı atıklarına %3 ve %5 peynir altı suyu ilavesiyle başlangıç C/N oranının 20'yi aşabildiği görülmektedir. Bu reaktörlerde, C/N oranının proses başlangıcında optimum aralıkta olması, proses verimini arttırmış, TOC ve TN kayıplarının daha az gerçekleşmesini sağlamıştır. Tüm reaktörlerde proses sırasında C/N oranı azalma göstermiştir. Bununla birlikte, peyniraltı suyu ilavesinin artmasıyla nihai kompostların C/N oranlarının arttığı görülmektedir. Tarımda

kullanılabilmesi için nihai kompostun 20/1'den az olması tavsiye edilmektedir (O'Neill ve Rynk, 2021; Rynk ve Schwarz, 2022; Wang ve Zeng, 2018). Çalışmada tüm reaktörlerde nihai C/N değerleri 20'nin altında bulunmuştur.

Elde edilen kompostların karakteristikleri Tablo 3'te verilmiştir. 05.03.2015 tarih ve 29286 sayılı Kompost Tebliği'ne göre elde edilen kompostların pH değeri 5.5-8.5 arasında, nem içeriği ise %30'dan küçük olmalıdır. Peyniraltı suyu içermeyen kontrol reaktörünün pH ve nem içeriği değeri Kompost Tebliği'nde verilen limit değerlerin üzerinde bulunmuştur. Ayrıca, Kompost Tebliği uyarınca elde edilen nihai kompostun C/N oranının 10-30 arasında olması istenmektedir. Peyniraltı suyu içermeyen kontrol reaktöründen ve %1 oranında peyniraltı suyu içeren reaktörden elde edilen kompostların C/N oranı, proses sonunda 10'un altında bulunmuştur (Resmi Gazete, 2015).

Tablo 3. Elde edilen kompostların karakteristikleri

Parametre	Değer			
	%0 PAS	%1 PAS	%3 PAS	%5 PAS
pH	8,59	7,86	7,12	7,45
Nem içeriği (%)	33,11	25,83	23,64	26,82
Elektriksel iletkenlik (mS/cm)	3,44	2,27	1,46	1,96
TN (%)	1,21	1,48	1,64	1,47
TOC (%)	11,22	14,41	18,33	22,74
C/N	9,27	9,74	11,18	15,47

4. Sonuçlar ve Öneriler

C/N oranı kompostlaştırma prosesini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Gerek kompostlaştırma prosesinin verimi, gerekse nihai kompost kalitesi açısından C/N oranının proses başlangıcında optimum aralığa ayarlanmasında çeşitli materyalle kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kümes hayvanları atıklarının kompostlaştırılmasında peyniraltı suyunun C/N oranına etkisi araştırılmıştır. Peyniraltı suyu, kümes hayvanları atıklarının düşük C/N oranını dengeleyerek proses başlangıcındaki C/N oranının optimum aralığa getirilmesini sağlamıştır. Ayrıca, proses süresince peyniraltı suyu ilave edilen reaktörlerde TN ve TOC kayıplarının daha az gerçekleştiği görülmüştür. Sonuç olarak, peyniraltı suyu kümes hayvanları atıklarının kompostlaştırılmasında kompost kalitesini ve proses verimini artırıcı bir etki göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nin PYO.MUH.1904.23.012 nolu Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Çalışma Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN'ın danışmanlığında Doktora öğrencisi Cem ŞAHİN tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Aycan Dümenci, N., Cagcag Yolcu, O., Aydın Temel, F., Turan, N.G., 2021. Identifying the maturity of co-compost of olive mill waste and natural mineral materials: Modelling via ANN and multi-objective optimization. *Bioresour. Technol.* 338. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125516>
- Aydın Temel, F., 2023. Evaluation of the influence of rice husk amendment on compost quality in the composting of sewage sludge. *Bioresour. Technol.* 373, 128748. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128748>
- Aydın Temel, F., Cagcag Yolcu, O., Turan, N.G., 2023. Artificial intelligence and machine learning approaches in composting process: A review. *Bioresour. Technol.* 370, 128539. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128539>
- Bayındır, Y., Cagcag Yolcu, O., Aydın Temel, F., Turan, N.G., 2022. Evaluation of a cascade artificial neural network for modeling and optimization of process parameters in co-composting of cattle manure and municipal solid waste. *J. Environ. Manage.* 318, 115496. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115496>
- Cáceres, R., Malińska, K., Marfà, O., 2018. Nitrification within composting: A review. *Waste Manag.* 72, 119–137. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.049>
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., Sánchez, A., 2018. Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresour. Technol.* 248, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
- Chan, M.T., Selvam, A., Wong, J.W.C., 2016. Reducing nitrogen loss and salinity during “struvite” food waste composting by zeolite amendment. *Bioresour. Technol.* 200, 838–844. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.093>
- Cui, E., Wu, Y., Zuo, Y., Chen, H., 2016. Effect of different biochars on antibiotic resistance genes and bacterial community during chicken manure composting. *Bioresour. Technol.* 203, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.030>
- Epstein, E., 1997. *The Science of Composting*. CRC Press, Florida.

- Ferraz, A.D.N., Fuentes, L., de la Sovera, V., Bovio-Winkler, P., Eng, F., García, M., Etchebehere, C., 2021. Potentialities of biotechnological recovery of hydrogen and short- and medium-chain organic acids from the co-fermentation of cheese whey and Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) waste. *Ind. Crops Prod.* 171. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113897>
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., Shen, Y., 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour. Technol.* 112, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>
- Liu, T., Awasthi, S.K., Qin, S., Liu, H., Awasthi, M.K., Zhou, Y., Jiao, M., Pandey, A., Varjani, S., Zhang, Z., 2021. Conversion food waste and sawdust into compost employing black soldier fly larvae (diptera: Stratiomyidae) under the optimized condition. *Chemosphere* 272, 129931. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129931>
- Loow, Y.L., New, E.K., Yang, G.H., Ang, L.Y., Foo, L.Y.W., Wu, T.Y., 2017. Potential use of deep eutectic solvents to facilitate lignocellulosic biomass utilization and conversion. *Cellulose* 24, 3591–3618. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1358-y>
- Lu, Y., Gu, W., Xu, P., Xie, K., Li, X., Sun, L., Wu, H., Shi, C., Wang, D., 2018. Effects of sulphur and *Thiobacillus thioparus* 1904 on nitrogen cycle genes during chicken manure aerobic composting. *Waste Manag.* 80, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.050>
- Manu, M.K., Li, D., Liwen, L., Jun, Z., Varjani, S., Wong, J.W.C., 2021. A review on nitrogen dynamics and mitigation strategies of food waste digestate composting. *Bioresour. Technol.* 334, 125032. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125032>
- Ravindran, B., Awasthi, M.K., Karmegam, N., Chang, S.W., Chaudhary, D.K., Selvam, A., Nguyen, D.D., Rahman Milon, A., Munuswamy-Ramanujam, G., 2022. Co-composting of food waste and swine manure augmenting biochar and salts: Nutrient dynamics, gaseous emissions and microbial activity. *Bioresour. Technol.* 344, 126300. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126300>
- Resmi Gazete, 2015. Kompost Tebliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Sayı: 29286.
- Rynk, R., Schwarz, M., 2022. Compost feedstocks, in: *The Composting Handbook: A How-to and Why Manual for Farm, Municipal, Institutional and Commercial Composters*. Elsevier, p. 935.
- Said-Pullicino, D., Erriquens, F.G., Gigliotti, G., 2007. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresour. Technol.* 98, 1822–1831. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.018>
- Sanchez-Monedero, M.A., Cayuela, M.L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., Bolan, N., 2018. Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresour. Technol.* 247, 1155–1164. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.193>
- Shan, G., Li, W., Gao, Y., Tan, W., Xi, B., 2021. Additives for reducing nitrogen loss during composting: A review. *J. Clean. Prod.* 307, 127308. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127308>
- Soltani, M., Saremnezhad, S., Faraji, A.R., Hayaloglu, A.A., 2022. Perspectives and recent innovations on white cheese produced by conventional methods or ultrafiltration technique. *Int. Dairy J.* 125, 105232. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105232>
- Stehouwer, R., Cooperband, L., Rynk, R., 2021. Compost characteristics and quality soils, in: *The Composting Handbook*. pp. 737–775.
- Wang, M., Awasthi, M.K., Wang, Q., Chen, H., Ren, X., Zhao, J., Li, R., Zhang, Z., 2017. Comparison of additives amendment for mitigation of greenhouse gases and ammonia emission during sewage sludge co-composting based on correlation analysis. *Bioresour. Technol.* 243, 520–527. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.158>
- Wang, S., Zeng, Y., 2018. Ammonia emission mitigation in food waste composting: A review. *Bioresour. Technol.* 248, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.050>
- Wang, N., Ren, L., Zhang, J., Kumar Awasthi, M., Yan, B., Zhang, L., Wan, F., Luo, L., Huang, H., Zhao, K., 2022. Activities of functional enzymes involved in C, N, and P conversion and their stoichiometry during agricultural waste composting with biochar and biogas residue amendments. *Bioresour. Technol.* 345, 126489. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126489>
- Yadav, J.S.S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y., 2015. Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnol. Adv.* 33, 756–774. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002>
- Yılmaz, E.C., Aydın Temel, F., Cagcag Yolcu, O., Turan, N.G., 2022. Modeling and optimization of process parameters in co-composting of tea waste and food waste : Radial basis function neural networks and genetic algorithm. *Bioresour. Technol.* 363, 127910. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127910>
- Yu, H., Xie, B., Khan, R., Shen, G., 2019. The changes in carbon, nitrogen components and humic substances

during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresour. Technol.* 271, 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.088>

Zhou, Y., Xiao, R., Klammsteiner, T., Kong, X., Yan, B., Mihai, F.C., Liu, T., Zhang, Z., Kumar Awasthi, M., 2022. Recent trends and advances in composting and vermicomposting technologies: A review. *Bioresour. Technol.* 360, 127591. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127591>