



MEYVE SUYU ENDÜSTRİSİNDEN KAYNAKLANAN NAR İŞLEME ATIKLARI İLE HAZIRLANAN ÖN KOMPOSTLARIN VERMİKOMPOSTLAMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fevzi ŞEVİK^{1,2*}, İsmail TOSUN², Kamil EKİNCİ³

¹ Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Çevre Sağlığı Programı, Bingöl, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

³ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

Nar işleme atığı kompostu, Solucanlı kompostlaştırma, Eisenia fetida, Çimlenme indeksi. Kompostlaştırma, organik içerikli atıkların biyolojik süreçler aracılığıyla toprak iyileştirici bir ürüne dönüştürülmesi işlemidir. Bu çalışmada, meyve suyu endüstrisinden kaynaklanan nar işleme atıklarının; sığır gübresi, tavuk gübresi ve saman atıkları ile birlikte ön kompostlanması sonucu elde edilen karışımların solucanlı kompostlaştırmaya (vermikompostlamaya) uygunluğu araştırılmıştır. Vermikompostlama işlemi laboratuvar şartlarında, 38 L hacmindeki beş ayrı plastik kapta, *Eisenia fetida* türü solucanlar kullanılarak 150 gün süreyle yürütülmüştür. Uygulama sonunda elde edilen vermikompostların fizikokimyasal özellikleri ve çimlenme indeksi sonuçları değerlendirilmiştir. Vermikompost karışımlarının başlangıçtaki karbon/azot (C/N) oranları 11,70-12,50 aralığında iken, proses sonunda düşerek bu oranlar 9,95-10,20 aralığında gerçekleşmiştir. Solucan çoğalması en fazla, 2.563 bireyle K4 karışımında gerçekleşmiş; aynı karışımın en yüksek kütle ve hacim kaybı yaşanmış ve bu kayıplar sırasıyla %13,5 ve %24,0 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen solucan kompostları, Türkiye ulusal mevzuatında belirtilen organik madde oranı ($\geq 40\%$) ve C/N oranı (8-22) kriterlerini sağlamıştır. Bu sayede bitkiler için organik maddece zengin ve karbon-azot açısından dengeli bir toprak iyileştirici elde edilmiştir. Ayrıca, çimlenme indeksi testine göre %25 ve %50'lik uygulama dozlarında fitotoksisite gözlenmemiştir.

EVALUATION OF VERMICOMPOSTING POTENTIAL OF PRE-COMPOSTS PREPARED WITH POMEGRANATE PROCESSING WASTES FROM FRUIT JUICE INDUSTRY

Keywords

Pomegranate processing waste compost, Vermicomposting, Eisenia fetida, Germination index.

Abstract

Composting is the process of converting organic wastes into a soil improving product through biological processes. In this study, the suitability of pomegranate processing wastes from fruit juice industry for vermicomposting was investigated by pre-composting with cattle manure, chicken manure and straw wastes. The vermicomposting process was carried out under laboratory conditions in five separate plastic containers of 38 L volume using *Eisenia fetida* species earthworms for 150 days. The physicochemical properties and germination index results of the vermicomposts obtained at the end of the application were evaluated. While the initial carbon/nitrogen (C/N) ratios of vermicompost mixtures were in the range of 11,70-12,50, these ratios decreased at the end of the process and realized in the range of 9,95-10,20. The highest earthworm reproduction was realized in the K4 mixture with 2.563 individuals; the highest mass and volume losses were experienced in the same mixture and these losses were calculated as 13,5% and 24,0%, respectively. The resulting earthworm composts met the criteria of organic matter content ($\geq 40\%$) and C/N ratio (8-22) as specified in the Türkiye national legislation. This has resulted in a soil amendment that is rich in organic matter and balanced in terms of carbon and nitrogen for plants. Furthermore, according to the germination index test, no phytotoxicity was observed at application doses of 25% and 50%.

Alıntı / Cite

Şevik, F., Tosun, İ., Ekinci, K., (2025). Meyve Suyu Endüstrisinden Kaynaklanan Nar İşleme Atıkları ile Hazırlanan Ön Kompostların Vermikompostlama Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 13(3), 979-989.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F. Şevik, 0000-0002-7047-694X
İ. Tosun, 0000-0003-4296-9883
K. Ekinci, 0000-0002-7083-5199

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.06.2025
Revizyon Tarihi / Revision Date	29.08.2025
Kabul Tarihi / Accepted Date	01.09.2025
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2025

* İlgili yazar: fsevik@bingol.edu.tr, +90-426-216-0012 (6106)

EVALUATION OF VERMICOMPOSTING POTENTIAL OF PRE-COMPOSTS PREPARED WITH POMEGRANATE PROCESSING WASTES FROM FRUIT JUICE INDUSTRY

Fevzi ŞEVİK^{1,2†}, İsmail TOSUN², Kamil EKİNCİ³

¹ Bingöl University, Vocational School of Health Services, Environmental Health Program, Bingöl, Türkiye

² Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Environmental Engineering, Isparta, Türkiye

³ Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- Pre-composts prepared using pomegranate processing waste exhibited suitable characteristics for the vermicomposting process.
- According to the germination index test, no phytotoxicity was observed at 25% and 50% application doses.
- At the end of the vermicomposting process, TP and NO₃-N levels increased, while NH₄-N levels showed a decreasing trend.

Purpose and Scope

In this study, vermicompostability of the composts obtained after composting pomegranate wastes, one of the fruit juice industry wastes, with cattle manure, chicken manure and straw wastes was investigated. In addition, quality parameters and phytotoxic effect of vermicomposts were determined.

Design/methodology/approach

In the composting process, 5 compost mixtures (K1-K5) were prepared. Each of the mixtures was calculated to contain 7 kg of dry matter and moistened at 60%. Approximately 400 adult earthworms of *Eisenia fetida* species were placed in each mixture from the top. In the composting process, 5 plastic crates measuring 47.5x25.0x25.0x32.5 cm with a volume of 38 L and 1 cm diameter holes around the perimeter were used.

Findings

Physicochemical characteristics and germination index of vermicompost were determined. The initial C/N values of the mixtures ranged between 11.7-12.5 and decreased at the end of the process to 9.95-10.2. In vermicomposting, the highest number of earthworm proliferation occurred in K4 mixture with 2563 pieces. The highest mass and volume losses were 13.5% and 24.0%, respectively, in the same mixture where the number of worms increased the most.

Originality

In this study, composting of pomegranate wastes with different organic wastes and the subsequent use of the composts obtained as nutrients for vermicompost adds originality. Determination of physicochemical characteristics and germination index of vermicompost within the framework of national legislation increases its usability as an agricultural input.

[†] Corresponding author: fsevik@bingol.edu.tr, +90-426-216-0012 (6106)

1. Giriş (Introduction)

Kırmızı kaliforniya solucanı (*Eisenia fetida*) günümüzde solucanlı kompostlaştırma (vermikompostlama) işleminde en yaygın olarak kullanılan solucan türlerinden biridir. Toprak yapısını düzenleyici ve iyileştirici özellikleri sayesinde uygulandığı alanlarda toprak verimliliğinin ve kalitesinin artmasına katkı sağlamaktadır. Vermikompost; azot (N), fosfor (P), potasyum (K) gibi temel besin elementlerinin yanı sıra mikro elementler, bitki büyüme düzenleyicileri ile bitki hastalıklarına karşı koruyucu bileşikler bakımından zengin içeriğe sahip besleyici bir organik gübredir. (Boran, 2015). Vermikompostun düzenli kullanımı toprakta kimyasal gübre kullanımının zamanla azalmasına katkı sağlayacak ve toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerinin iyileşmesine katkı sağlayacaktır (Sülük vd., 2023).

Vermikompostlama çalışmalarında *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus*, *Lumbricus rubellus*, *Lampito mauritti*, *Drawida willsi*, *Allolobophora* gibi farklı solucan türleri kullanılmaktadır (Mago vd., 2021). Bu türler arasında yer alan *Eisenia fetida* çok çeşitli yemleri kabul etmekte olup yüksek büyüme hızına sahiptir. Ayrıca kompostlanmış fito-kütleli stabil ürünlere dönüştürebilmektedir (Gupta ve Garg, 2011; Yadav ve Garg, 2016). *Eisenia fetida*, yüksek organik madde tüketimi, sindirim ve asimilasyon oranı, çok çeşitli çevresel faktörlere adaptasyonu, kısa yaşam döngüleri, yüksek üreme oranları ve elleçleme sırasındaki direnci nedeniyle araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Javed ve Hashmi, 2021).

Vermikompostlama, solucanların sindirim kanallarında yaşayan mikrofloranın atık organik yapıları işleyerek ve değiştirerek OM dönüşümüne dayalı bir biyolojik teknolojidir. Organik atıkların verimli ve yüksek kaliteli organik maddelere dönüştürülmesinde çevresel ve sürdürülebilir bir metodoloji aracılığıyla, organik tarımsal girdilerin üretimini gerçekleştirilebilmektedir (Silva vd., 2021). Vermi iyileştirme, solucanın yaşam döngüsüne ve diğer abiyotik ve biyotik faktörlerle etkileşimine dayanan toprak kirleticilerini biriktirmek, özütlemek, dönüştürmek veya parçalamak için kullanılan bir teknolojidir (Shi vd., 2020). Vermikompostlama işlemi sırasında çevre koşulları, pH, sıcaklık, nem içeriği ve havalandırma gibi parametreler solucanların uygulamasında önemli roller oynamaktadır (Fayolle vd., 1997).

Meyve suyu endüstrisinden kaynaklı çok fazla atık oluşmakta ve bu atıkların yönetimi meyve suyu üretimi kadar önemli hale gelmiştir (Sülük vd., 2024). Bu çalışmada meyve suyu endüstrisinden kaynaklanan nar işleme atıklarının; sığır gübresi, tavuk gübresi ve saman atıkları ile birlikte kompostlaştırılması sonrası elde edilen ön kompostların vermikompostlaştırma uygunluğu araştırılmıştır. Farklı materyal karışım oranlarına sahip beş farklı ön kompost materyali solucanlara besin materyali olarak verilmiş, proses sonucu elde edilen vermikompostların fiziko-kimyasal karakteristikleri ve çimlenme indeks değerleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada, daha önce Şevik (2022) tarafından yapılan çalışmada, nar işleme atıklarının diğer organik atıklarla birlikte kompostlaştırılmasıyla üretilen beş farklı kompost karışımı kullanılmıştır. Kompost karışımlarında kullanılan materyallerin özellikleri ve karışım oranları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, nar işleme atığının (NA) nispeten düşük su muhtevası (SM) (%31,55) ve pH değeri (5,35) ile karakterize olduğunu, buna karşın yüksek bir organik madde (OM) konsantrasyonuna (%92,62) ve kompostlama süreci için optimum kabul edilen bir karbon azot (C/N) oranına (30,73) sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu özellikler, NA'nın kompostlama için değerli bir substrat olduğunu göstermektedir. Diğer materyallerden olan sığır gübresi (SG), tavuk gübresi (TG) ve saman (S) elektriksel iletkenlik (EC), toplam karbon (TC), toplam azot (TN) ve farklı fiziko-kimyasal özellikleri göz önüne alındığında bu materyallerin kompostlama sürecinde birbirlerini tamamlayıcı etki gösterdiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, seçilen ham maddelerin farklı özelliklerinin kombinasyonu, dengeli bir başlangıç karışımı oluşturarak etkin bir kompostlama süreci için uygun bir ortam hazırlamaktadır. Vermikompostlama işlemi Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Laboratuvarında 150 gün süreyle yürütülmüştür.

Tablo. 1. Çalışmada kullanılan kompost materyallerinin fiziko-kimyasal analiz sonuçları
(Physico-chemical analysis results of the compost materials used in the study)

Parametre	NA	SG	TG	S
SM (%)	31,55	77,61	8,10	4,94
OM (%)	92,62	80,47	66,93	92,75
pH	5,35	8,77	8,43	6,27
EC (dS/m)	2,40	6,25	6,03	1,10
TC (%)	41,49	37,12	29,38	40,07
TN (%)	1,35	1,85	2,26	1,01
C/N	30,73	20,06	13,00	39,67

Tablo. 2. Kompost karışımları, kuru madde bazında (Compost mixtures, dry matter basis)

Karışımlar	NA (%)	SG (%)	TG (%)	S (%)
K1	54,03	45,77	0,10	0,10
K2	51,77	44,11	1,41	2,72
K3	48,19	43,60	2,30	5,90
K4	45,28	41,49	4,00	9,23
K5	43,93	36,63	7,00	12,44

2.2. Vermikompostlama (Vermicomposting)

Vermikompostlama işlemi için Isparta ilinde faaliyet gösteren Yeşilvadi Kırmızı Solucan Çiftliği'nden temin edilen yetişkin *Eisenia fetida* türü solucanlar kullanılmıştır. Denemelerde K1'den K5'e kadar kodlanan beş farklı kompost karışımı hazırlanmıştır. Karışımların her biri 7 kg kuru madde olacak şekilde hazırlanmış ve başlangıç nem içeriği yaklaşık %60 seviyesine ayarlanmıştır. Hazırlanan her bir karışıma ortalama 400'er adet yetişkin *Eisenia fetida* bireyi yüzeyden bırakılmıştır. Kompostlaştırma işlemi 47,5x25,0x32,5 cm boyutlarında 38 L hacimli ve yan yüzeylerinde 1 cm çapında delikler bulunan beş adet plastik kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).

Kompost materyalinin dökülmesini ve solucanların kasadan kaçışını önlemek amacıyla, kasaların iç yüzeyleri 1 mm gözenek açıklığına sahip fiberglas malzeme ile kaplanmıştır. Ayrıca, solucanların fotofobik davranışları nedeniyle gece karanlığında kompost kütlesinden yüzeye doğru hareket ederek uzaklaşma eğilimlerini minimize etmek amacıyla, tüm plastik kasaların üzerine akşam saatlerinden sabah saatlerine kadar sürekli aydınlatma sağlanmıştır (Şekil 2).

Vermikompostlama süresince karışımların nem içeriğinin yaklaşık %60 seviyelerinde tutulması amacıyla, yüzeyden manuel olarak periyodik su ilaveleri yapılmıştır. Deneme başlangıcında, hazırlanan kompost karışımlarından örnekler alınarak başlangıç nem içerikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda, her bir kompost kasasındaki bireylerin toplam sayısı manuel olarak sayılarak popülasyon yoğunluğundaki değişim ve üreme performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca, kompost kütlelerindeki sıcaklık değişimleri, deneme süresince günlük periyotlarla el tipi dijital termometre kullanılarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan plastik kasalar
(Plastic boxes used in the study)



Şekil 2. Aydınlatma sistemi
(Lighting system)

2.3. Fizikokimyasal Analizler ve Çimlenme İndeksi (Physicochemical Analyses and Germination Index)

Vermikompostlama işleminin başlangıcında ve sonrasında her bir kompost karışımından alınan numunelerde; SM, OM, pH ve EC, C/N, toplam fosfor (TP), amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) ve nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) analizleri iki tekerrürlü olarak yapılarak ortalama değerleri verilmiştir. Ayrıca çalışma sonunda kasalardaki yetişkin solucanların sayımı gerçekleştirilmiştir.

Denemelerin başlangıcında ve sonunda her bir karışımdan ikişer adet örnek alınarak örneklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Su muhtevası analizi, örneklerin $70\pm5^\circ\text{C}$ 'de etüvde sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmasıyla, organik madde analizi ise kuru örneklerin 550°C 'de 4 saat süreyle yakılmasıyla belirlenmiştir (USCC, 2002). pH ve EC değerleri yaş örneklerin 1:10 (w/v), oranında 20 dk süre ve 180 rpm'de ekstrakte edilmesi sonucu multiparametre ölçer (WTW Multi 3410) ile belirlenmiştir. Toplam C ve N değerleri elemental analyzer (Vario MACRO CN) cihazı ile belirlenmiştir. $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ve $\text{NO}_3^- - \text{N}$ değerleri örneklerin 2 M KCl ile ekstraksiyonu sonucunda spektrofotometre (DR6000) ile belirlenmiştir (Mulvaney, 1996). Toplam fosfor perklorik asit ve nitrik asit parçalanması sonrası kalay klorür metoduna göre spektrofotometre (DR6000) ile belirlenmiştir (APHA 1998). Çimlenme indeksi analizi Zucconi vd. (1981) tarafından kullanılan yöntem esas alınarak tere tohumu uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Çimlenme indeksi kuru ve öğütülmüş örneklerin 1:10 (w/v), oranında 1 saat süre ve 180 rpm de ekstrakte edilmesi ve filtreden geçirilmesi sonucu belirlenmiştir. Örneklerin her biri farklı dozlarda (%25, 50, 75, 100) ve 3 tekerrür olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Whatman No. 2 filtre ile kaplanmış plastik petri kabına 10 adet tere tohumu (*Lepidium sativum*) yerleştirilerek üzerine 5 ml örnek dozlarından aktarılacak karanlık ortamda 25°C 'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda tohumların kök uzunluğu ölçülerek analiz edilmiştir.

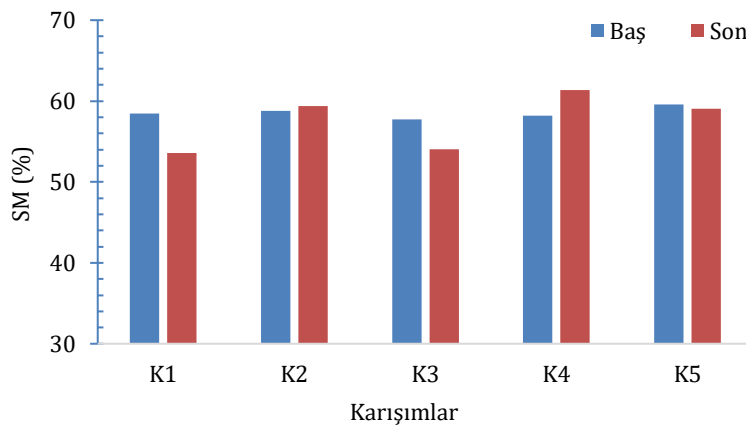
3. DeneySEL Sonuçlar (Experimental Results)

3.1. Sıcaklık Değişimleri (Temperature Changes)

Laboratuvarda gerçekleştirilen vermikompostlama denemeleri süresince tüm karışımların sıcaklıkları 150 gün boyunca günlük olarak takip edilmiş ve ortalama sıcaklık yaklaşık $20\pm2^\circ\text{C}$ seviyelerinde gerçekleşmiştir. Vermikompostlama işleminde kullanılan materyaller daha önceden ön kompostlama işlemine tabi tutulup aktif kompostlaştırma sürecini tamamladıkları için, süreç boyunca sıcaklık değişiminde belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.

3.2. Su Muhtevası (Water Content)

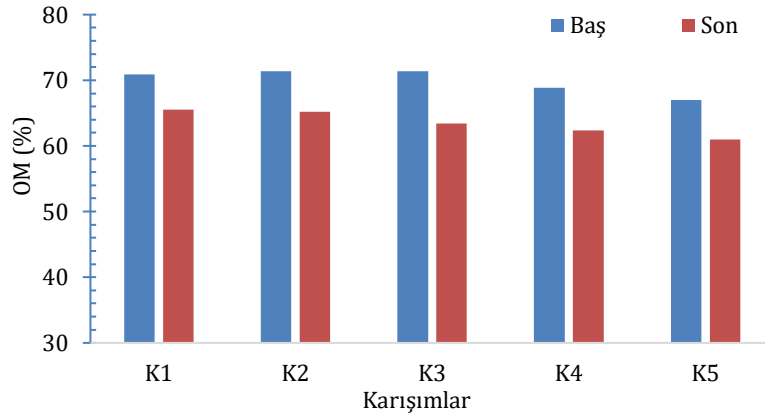
Mago vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi, vermikompostlama işlemine başlamadan önce tüm karışımların nem içeriği ortalama %60 düzeyine ayarlanmıştır. Yüksek sıcaklıklar ve kuru hava, solucanlar için stres oluşturmakta ve solucan gübresi üretimini azaltmaktadır (Yadav ve Garg, 2011; Chattopadhyay, 2012; Bhat vd., 2018). Solucanların yaşamını devam ettirebilmesi amacıyla kompost ortamı düzenli olarak nemlendirilmiş ve bu işlem, sızıntı suyu oluşumuna sebep olmayacak şekilde yüzeyden spreyleme yöntemi ile yapılmıştır. Bu nedenle proses sonunda karışımların nem içerikleri %53,60-61,39 aralığında değişim göstermiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Vermikompost karışımlarının başlangıç ve bitiş SM değişimleri, %
(Changes in the initial and final water content of vermicompost mixtures)

3.3. Organik Madde (Organic Matter)

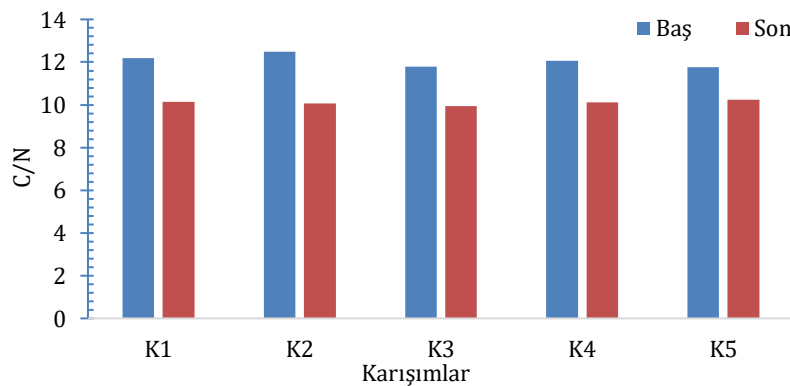
Vermikompostlama işlemi başlangıç ve bitiş OM değişimleri Şekil 4’de gösterilmiştir. Karışımların başlangıç OM değerleri %67,0-71,4 aralığında değişirken, bu değerler Silva vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi proses sonunda düşerek %60,9-65,5 aralığında gerçekleşmiştir. Organik maddenin mineralizasyonu ve solucan tarafından yem olarak kullanılması sonucu organik karbonda azalma gerçekleşmektedir (Song vd., 2014).



Şekil 4. Vermikompost karışımlarının başlangıç ve bitiş OM değişimleri, %
(Initial and final organic matter changes in vermicompost mixtures)

3.4. C/N Oranı (Carbon/Nitrogen Ratio)

C/N oranı vermicompostlama sürecinde temel parametrelerden biridir. Atık karışımının başlangıçtaki C/N oranı, solucanların hayatta kalabilmesi için uygun oranda olmalıdır (Mago vd., 2021). Bu çalışmada, vermicompostlama sürecinin başlangıç ve sonundaki C/N oranlarındaki değişimler Şekil 5’de gösterilmiştir. Karışımların başlangıç C/N oranları 11,7-12,5 aralığında iken, proses sonunda düşerek 9,9-10,2 aralığında gerçekleşmiştir. Benzer şekilde (Silva vd. (2021) kompostlama süreci sonunda C/N oranlarında düşüş gözlemlenmiştir. Biruntha vd. (2020), solucan büyümesinin başlangıç C/N oranına bağlı olduğunu, C/N oranlarındaki azalmanın ise solucanların artan biyolojik aktivitesinden, büyüme ve üremesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Boruah vd. (2019), solucanların organik atıkların ayrışmasını hızlandırarak azot içeriğini artırmaya katkı sağladığını vurgulamışlardır. Sharma ve Garg (2019) ise vermicompostlamanın ilk evrelerinde solucanlar tarafından organik madde, selüloz ve hemiselülozun hızlı tüketiminin, C/N oranındaki belirgin düşüşün temel nedeni olduğunu bildirmiştir.

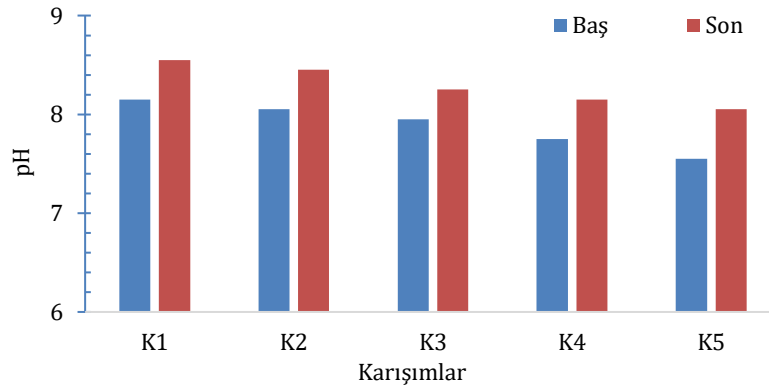


Şekil 5. Vermikompost karışımlarının başlangıç ve bitiş C/N oranı değişimleri
(Changes in the initial and final carbon-nitrogen ratio of vermicompost mixtures)

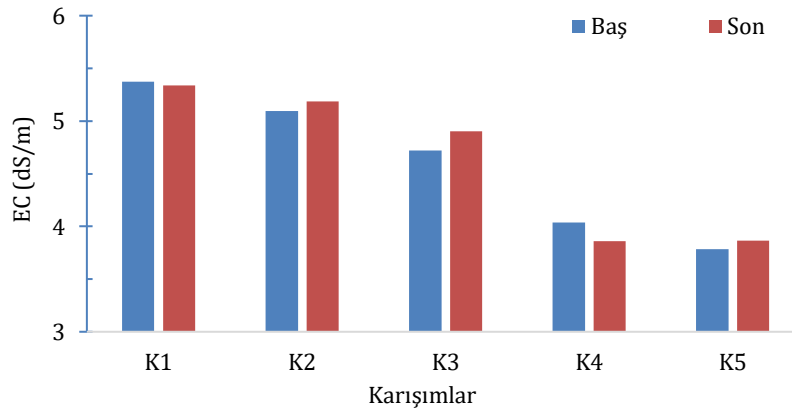
3.5. pH ve Elektriksel İletkenlik (pH and Electrical Conductivity)

Vermikompostlama sürecinde başlangıç ve bitiş pH değerlerindeki değişim Şekil 6’da gösterilmiştir. Karışımların başlangıç pH değerleri proses sonunda kısmen artış göstermiştir. Benzer şekilde, Sharma ve Garg (2018) tarafından sığır gübresi, kağıt atıkları ve pirinç samanı ile yapılan çalışmada da pH değerinin proses sonunda artarak 8’in üzerine gerçekleştiği kaydedilmiştir. Kompostlaştırma sürecinde pH değerindeki artış veya azalışın, organik asit ve amonyak üretimi ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Sharma ve Garg, 2018).

Prosesin başlangıç ve sonundaki EC değerlerindeki değişim ise Şekil 7’de gösterilmiştir. EC değeri, vermicompostlama sürecinin uygunluğunu değerlendirmede önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir (Taeporamaysamai ve Ratanatamskul, 2016). Bu çalışmada karışımların başlangıç ve bitiş EC değerleri genel olarak benzerlik göstermiştir. Ancak Mago vd. (2021) tarafından çalışmaya benzer şekilde K2, K3 ve K5 karışımlarında proses sonunda EC değerlerinde kısmi artış gözlenmiştir. Bu artış, kompostlaşma sürecinde çözünür tuzların salınımı ve organik maddenin parçalanmasıyla ilişkilendirilmektedir (Kaviraj ve Sharma, 2003). K1, K2 ve K3 karışımları hafif tuzlu sınıfında yer almakta olup, prosesin başlangıcında EC değerlerinin yüksekliği nedeniyle solucanların kompost kütlesinden uzaklaştığı gözlenmiştir. Nitekim, solucanların genellikle 2 dS/m’nin üzerindeki EC değerlerinde sahip ortamlardan uzaklaştığı bildirilmiştir (Gasch vd., 2021). Proses süresince solucanların tuzluluğa karşı davranışları, karışımların kütlesinin fazla olması ve karıştırma işleminin yapılamama durumuna bağlı homojen örnekleme gerçekleştirilememesinden kaynaklı takip edilememiştir.



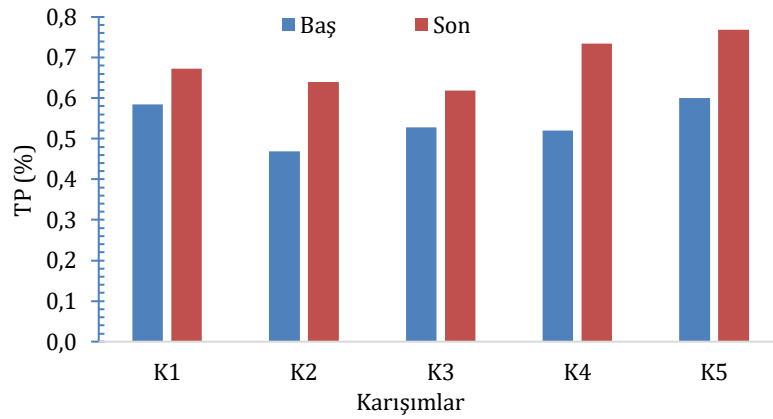
Şekil 6. Vermikompost karışımlarının başlangıç ve bitiş pH değişimleri (Initial and final pH changes in vermicompost mixtures)



Şekil 7. Vermikompost karışımlarının başlangıç ve bitiş EC değişimleri, dS/m (Initial and final EC changes in vermicompost mixtures)

3.6. Toplam Fosfor (Total Phosphorus)

Vermikompostlama işlemi başlangıç ve bitiş TP (%) değişimleri Şekil 8’de gösterilmiştir. Kompost karışımların başlangıç TP değerleri, proses sonunda artış göstermiştir. Bu artışın, solucanların mikrobiyal faaliyetleriyle ilişkili olarak, özellikle bakteriyel ve fosfataz enzim aktiviteleri sonucu fosforun mineralizasyonu ve mobilizasyonundan kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Taeporamaysamai ve Ratanatamskul, 2016; Ananthavalli vd., 2019; Devi ve Khwairakpam, 2020). Kompostlaştırma sürecinin sonunda karışımların TP değerleri %0,62-0,77 aralığında değişmiştir. Benzer şekilde, Silva vd. (2021) tarafından mısır atıkları kullanılarak gerçekleştirilen vermicompostlama çalışmasında TP değerleri %0,57-0,65 aralığında rapor edilmiştir. Bu bulgular, elde edilen kompostun fosfor içeriği açısından zenginleştiğini ve tarımsal kullanım potansiyelinin arttığını göstermektedir.



Şekil 8. Vermikompost karışımlarının başlangıç ve bitiş fosfor değişimleri, %
(Initial and final phosphorus changes in vermicompost mixtures)

3.7. Amonyum ve Nitrat (Ammonium and Nitrate)

Vermikompostlama işlemi sürecinde başlangıç ve bitiş $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değerlerindeki değişimler Tablo 3’de verilmiştir. Proses sonunda $\text{NH}_4\text{-N}$ değerlerinde azalma eğilimi gözlenirken, $\text{NO}_3\text{-N}$ değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bu durum, vermicompostlama sürecinde azotun mineralizasyonu ve nitrifikasyon mekanizmalarının etkin bir şekilde işlediğini göstermektedir. Benzer sonuçlar, Gunadi vd. (2002) tarafından yapılan ön kompostlanmış sığır gübresine ilişkin vermicompostlama çalışmasında da bildirilmiş olup, proses sonunda $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değerlerini sırasıyla 11,34-14,15 mg/kg ve 1511-3889 mg/kg aralığında gerçekleştirmiştir.

Tablo 3. Vermikompost karışımlarının başlangıç ve bitiş $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimleri
(Initial and final $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ changes in vermicompost mixtures)

Karışım	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/kg)		$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg)	
	Başlangıç	Son	Başlangıç	Son
K1	30,86	22,51	182,6	664,4
K2	31,51	12,16	482,4	1366,2
K3	34,08	12,73	531,5	1929,5
K4	33,44	23,03	265,7	859,4
K5	41,80	24,83	265,7	482,4

3.8. Solucan Sayılar, Kütle ve Hacim Değişimleri (Number of Worms, Mass and Volume Changes)

Ndegwa vd. (2000), organik kütle içerisine yerleştirilecek solucan miktarı için metrekaareye 1,60 kg solucan kullanımının optimum olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Taeporamaysamai ve Ratanatamskul (2016) ise 1 m³ kompost kütlesi için 5 kg solucan kullanımı önerisinde bulunmuştur. Solucanlar, genellikle kompost ortamına yerleştirilen çeşitli organik maddeleri tüketebilmekte ve vücut ağırlıklarına eşit miktardaki atığı günlük olarak dönüştürebilmektedir (El-Haddad vd., 2014). Bu çalışmada, vermicompostlama işleminde her bir nar işleme atığı kompost karışımına eşit sayıda solucan eklenmiş ve kompostlama süresi eş zamanlı olarak yürütülmüştür. Yetişkin solucanların ortalama canlı ağırlığını belirlemek amacıyla 20 adet yetişkin birey tartılmış ve bir solucanın ortalama ağırlığı 0,20 g olarak hesaplanmıştır. Sharma ve Garg (2018) tarafından yapılan çalışmada da başlangıç solucan ağırlıkları 0,28-0,34 g arası gerçekleşmiştir.

K1, K2 ve K3 karışımlarının hafif tuzlu iletkenlik sınıfında yer almasından dolayı solucanlar bu karışımlardan uzaklaşmış ve yalnızca 50 adet birey ortama adapte olarak sürece devam etmiştir. Buna karşılık, K4 ve K5 karışımlarında başlangıçta 400’er adet solucan kullanılmış ve bu ortamlarda solucanların adaptasyonu başarılı olmuştur. Vermikompostlama işlemi başlangıcında tüm karışımların başlangıç kuru maddeleri 7.000 gr olacak şekilde hazırlanmış olup kompostlama sonunda en fazla solucan sayısına sahip K4 karışımında en fazla kütle kaybı gerçekleşerek 6.052 g olarak gerçekleşmiştir. Proses sonunda tüm karışımlarda solucan sayılarında artış gözlenmiş, en fazla solucan çoğalması ise 2.563 birey ile K4 karışımında gerçekleşmiştir. Aynı karışım, %13,5 ile en yüksek kuru madde bazlı kütle kaybı ve %24,0 ile en yüksek hacim kaybı meydana gelmiştir (Tablo 4). Bu durum solucan aktivitesinin ayrışma sürecini hızlandırdığını ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Vermikompost karışımlarının solucan sayısı ve kütle hacimsel değişimleri
(Worm counts and mass-volume changes in vermicompost mixtures)

Karışımlar	Solucan sayısı (baş)	Solucan sayısı (son)	Proses sonu kuru madde (g)	Kütle kaybı (%)	Hacim kaybı (%)	EC (dS/m)
K1	50	427	6.582	5,97	14,0	5,40
K2	50	320	6.439	8,01	16,0	5,10
K3	50	184	6.408	8,46	18,0	4,70
K4	400	2.563	6.052	13,5	24,0	4,00
K5	400	1.627	6.220	11,1	23,0	3,80

3.9. Çimlenme İndeksi (Germination Index)

Çimlenme indeksi değerleri %50'nin üzerinde olan vermicompostlar, olgunlaşmış ve fitotoksik özellik içermeyen kompostlar olarak değerlendirilmektedir (Zucconi vd.,1981). Bu çalışmada elde edilen kompost örneklerinde gerçekleştirilen çimlenme indeksi ölçümleri, uygulanan dozlara bağlı olarak %100'den %25'e doğru azalan oranlarda kısmi farklılıklar göstermekle birlikte, genel olarak artış eğilimi sergilemiştir (Tablo 5). Elde edilen bulgular Sülük vd. (2023) tarafından yapılan çalışma sonuçları ile uyum göstermektedir.

Tablo 5. Vermikompost karışımlarının farklı seyrelme oranlarında çimlenme indeksi değerleri, %
(Germination index values (%) of vermicompost mixtures at different dilution ratios)

Karışımlar	Kontrol (Doz %0)	Doz (%100)	Doz (%75)	Doz (%50)	Doz (%25)
K1	97,4	9,02	73,0	58,9	128,0
K2	97,4	38,5	97,1	76,3	176,0
K3	97,4	31,3	77,8	89,0	124,0
K4	97,4	27,3	39,4	98,6	120,0
K5	97,4	14,7	38,8	126	142,0

4. Sonuç ve Tartışma (Result And Discussion)

Bu çalışmada nar işleme atıklarının; sığır gübresi, tavuk gübresi ve saman atıkları ile birlikte ön kompostlanması sonucu elde edilen ön kompost karışımları, Eisenia fetida türü solucanlar kullanılarak vermicompostlama tabi tutulmuştur. Denemeler sonucunda, solucan popülasyonunun en yüksek olduğu karışım 2563 birey ile K4 karışımı olmuştur. Aynı karışım, en fazla kütle kaybı (%13,5) ve hacim kaybı (%24,0) gerçekleşmiş olup bu durum, yüksek solucan aktivitesinin organik madde parçalanma hızını artırdığını göstermektedir. Solucan kompostlarının pH değerlerinde kısmi artışlar gözlenmiş, EC değerleri ise başlangıç seviyelerine yakın değerlerde kalmıştır. Bu durum, solucanların yaşadığı ortamın tuzluluk açısından dengeli olduğunu ve solucan faaliyetlerini olumsuz etkilemediğini dolayısıyla kompostlaştırma sürecinde kullanılacak materyalin tuzluluk düzeyinin "tuzsuz" sınıfında olması gerektiği ortaya koymaktadır. Karışımların başlangıçtaki C/N oranları 11,7–12,5 aralığında iken, proses sonunda bu oran 9,95–10,20 seviyelerine düşmüştür. Bu düşüş, organik materyalin mikrobiyal ayrışması ve solucanların sindirim aktiviteleri sonucunda karbon kaybının azot kaybına göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Nihai C/N oranlarının 8–22 aralığında olması, RG (2018) tarafından solucan kompostları için belirlenen kriterlerle uyumludur. Ayrıca, elde edilen vermicompostların organik madde içeriği %40'ın üzerinde olup, bu yönüyle de mevzuat kriterlerini sağlamaktadır.

Ulusal mevzuatta (RG, 2018) solucan kompostu için ağır metal limitleri (ppm; kadmiyum:3, bakır:450, nikel:120, kurşun:150, çinko:1100, civa:5, krom:350, kalay:10) verilirken hijyen kriterleri belirtilmemiştir. Ancak vermicompostlamada solucanın tüketeceği maddenin bu kriterleri sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle mama temini veya hazırlığı için ön kompostlama işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ön kompostlama için toplam bakteri: 1×10^3 kob/g veya kob/ml, *Salmonella* ve *E. Coli*: yok (25 g veya ml'de) olmalıdır (RG, 2018).

Çimlenme indeksi sonuçlarına göre, tüm karışımların %25 ve %50 dozlarında fitotoksisite gözlenmemiştir. Bu bulgu, elde edilen vermicompostların tarımsal uygulamalar açısından güvenli olduğunu ve bitki gelişimi üzerinde olumsuz etki oluşturmadığını göstermektedir. Sonuç olarak, nar işleme atığı gibi tarımsal yan ürünlerin farklı organik materyallerle karıştırılarak ön kompostlama sonrası vermicompostlama tabi tutulması hem organik atıkların geri kazanımı hem de yüksek kaliteli solucan gübresi üretimi açısından sürdürülebilir bir yönetim stratejisi sunmaktadır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FDK-2018-5778.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Ananthavalli, R., Ramadas, V., John Paul, J.A., Karunai Selvi, B., Karmegam, N., 2019. Seaweeds as bioresources for vermicompost production using the earthworm, *Perionyx excavatus* (Perrier). *Bioresour. Technol.* 275, 394-401.
- APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Bhat, S.A., Singh, S., Singh, J., Kumar, S., Bhawana, Vig, A.P., 2018. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. *Bioresour. Technol.* 252, 172-179.
- Biruntha, M., Karmegam, N., Jeyaprakasam, A., Selvi, B.K., Paul, J.A.J., Balamurali krishnan, B., Chang, S.W., Ravindran, B., 2020. Vermiconversion of biowastes with low-to-high C/N ratio into value added Vermicompost. *Bioresour. Technol.* 297, 122398.
- Boran, D., 2015. Farklı Isıl Teknikleri Uygulanmış Solucan Gübresinin Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Boruah, T., Barman, A., Kalita, P., Lahkar, J., Deka, H., 2019. Vermicomposting of citronella bagasse and paper mill sludge mixture employing *Eisenia fetida*. *Bioresour. Technol.* 294, 122147.
- Chattopadhyay, G.N., 2012. Use of vermicomposting biotechnology for recycling organic wastes in agriculture. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 1, 1-6.
- Devi, C., Khwairakpam, M., 2020. Bioconversion of Lantana camara by vermicomposting with two different earthworm species in monoculture. *Bioresour. Technol.* 296, 122308.
- El-Haddad, M.E., Zayed, M.S., El-Sayed, G.A.M., Hassanein, M.K., El-Satar, A.M.A., 2014. Evaluation of compost, vermicompost and their teas produced from rice straw as affected by addition of different supplements. *Annu. Agric. Sci.* 59, 243-251.
- Fayolle, L., Michaud, H., Cluzeau, D., Stawiecki, J., 1997. Influence of temperature and food source on the life cycle of the earthworm *Dendrobaena veneta* (Oligochaeta). *Soil Biol. Biochem.* 29, 747-750.
- Gasch, C.K., Utter, R. and Wick, A.F., 2021. Distribution of earthworm growth stages along a naturally occurring soil salinity gradient. *Soil Organisms* 93 (3).
- Gunadi, B., Blount, C., Edwards, C.A., 2002. The growth and fecundity of *Eisenia fetida* (Savigny) in cattle solids pre-composted for different periods. *Pedobiologia* 46 (1), 15-23.
- Gupta, R., Garg, V.K., 2011. Potential and possibilities of vermicomposting in sustainable solid waste management: a review. *Int. J. Environ. Waste Manage.* 7 (3-4), 210-234.
- Javed, F., Hashmi, I., 2021. Vermiremediation-remediation of soil contaminated with oil using earthworm (*Eisenia fetida*). In: *Soil and Sediment Contamination*, vol. 30. Bellwether Publishing, Ltd, pp. 639-662.
- Kaviraj, Sharma, S., 2003. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresour. Technol.* 90, 169-173.
- Mago, M., Yadav, A., Gupta, R., Garg, V.K., 2021. Management of banana crop waste biomass using vermicomposting technology, *Bioresource Technology* 326.
- Mulvaney, R.L. 1996. "Methods of soil analysis, Part 3, Chemical Methods, nitrogen-inorganic forms," In Sparks DL (ed.) SSSA Book Ser. 5. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA; pp 1123-1184.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A., Das, K.C. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology*. 71(1), 5-12.
- Resmi Gazete, 2018. Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelerle Dair Yönetmelik. Tarih: 23.02.2018, Sayı: 30341.
- Şevik, 2022. Sabit C/N Oranında ve Farklı Serbest Hava Boşluğu Oranlarında Hayvansal ve Bitkisel Atıklardan Kompost ve Solucan Kompostu Üretimi ve Elde Edilen Kompostların Zenginleştirilmesi: Nar İşleme Atığı Örneği, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sharma, K., Garg, V.K. 2018. Solid-state fermentation for vermicomposting, in: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 373-413.
- Sharma, K., Garg, V.K., 2019. Recycling of lignocellulosic waste as vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 14024-14035.
- Shi, Z., Liu, J., Tang, Z., Zhao, Y., Wang, C., 2020. Vermiremediation of organically contaminated soils: concepts, current status, and future perspectives. *Appl. Soil Ecol.* 147, 103377
- Silva, J.C., Siqueira, A.J.N., Maia, H.B., Nunes, R.R. 2021. Vermicomposting corn waste under cultural and climatic conditions of the Brazilian Backwoods. *Bioresource Technology Reports*. 15, 100730.

- Song, X., Liu, M., Wu, D., Qi, L., Ye, X., Jiao, J., Hu, F., 2014. Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. *Waste Manage.* 34, 1977–1983.
- Sülük, K., Tosun, İ., Ekinci, K., 2023. Elma İşleme Atıkları Kompostundan Solucan Kompostu Üretimi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(2), 844-856.
- Sülük, K., Coşkun, S., Budak H.N., 2024. Importance of Waste Management in terms of Quality Management System in Food Industry: Fruit Juice Concentrate Facility. *New Studies in Engineering*. Duvar Y., İzmir; pp 19-31.
- Taeporamaysamai, O. ve Ratanatamskul, C., 2016. Co-composting of various organic substrates from municipal solid waste using an on-site prototype vermicomposting reactor, *International Biodeterioration & Biodegradation* 113, 357-366.
- USCC. 2002. The US Composting Council Research and Education Foundation, and the United States Department of Agriculture. Test methods for the examination of composting and compost (TMECC). Edaphos International, Houston, TX.
- Yadav, A., Garg, V.K. 2019. Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting. *Bioresource Technology*. 274, 512-517.
- Zucconi, F.M., Forte, M., Monaco, A., De Bertoldi, M. 1981. Biological evaluation of compost maturity. *BioCycle*. 22, 27–29.