



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



Evsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının solucanlar (*Eisenia fetida*) ile kompostlanması

**Ayten Namlı*, Onur Akça, Ceyda Perçimli, Selin Beşe, Şafak Gür,
Hazal Arıkan, İdil Eser, Ezgi İzci, Esen Gümüşay, Gürcan Tunca,
Inrareque Jorge Khálau, Zeynep Mutafçılar, Özge Demirtaş**

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

Özet

Bu çalışmada; evsel nitelikli arıtma çamuru olan Yozgat Atıksu Arıtma Tesisi çamuru ile endüstriyel nitelikli Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çamurunun karton fabrikası atık çamuru (KA) ve ahır gübresi (AG) ile farklı oranlarda karışımlarının *Eisenia fetida* türü solucanlarla kompostlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla 90 günlük inkübasyon denemesi kurulmuş, inkübasyon süresi boyunca karışımların C, N, C/N, pH ve EC değişimleri izlenmiştir. Ayrıca deneme sonunda saksılarda bulunan solucan sayı ve biyokütleri de belirlenmiştir. Inkübasyon denemesi sonuçlarına göre, kağıt atığının bulunduğu bütün karışımlar ile içerisinde %50'den fazla arıtma çamuru (AÇ) bulunan karışımlarda solucanlar yaşayamamıştır. Inkübasyonun tüm dönemlerinde karışımdaki AÇ'nin miktarı arttıkça (maksimum %50 AÇ) toplam azot ve pH'nın arttığı buna karşın, organik C, C/N oranı ile EC'nin düştüğü belirlenmiştir. Solucan biyokütlesi ve sayıları ile vermikompostların özelliklerine göre optimum karışım oranı %50 AÇ + %50 AG ve optimum vermikompostlanma süresi ise 90 gündür.

Anahtar Kelimeler: Vermikompost, arıtma çamuru, kağıt atığı çamuru, *Eisenia fetida*, ahır gübresi.

Vermicomposting of domestic and municipal sewage sludge with earthworm (*Eisenia fetida*)

Abstract

In this research, various vermicomposts were prepared by composting domestic and municipal sewage sludge (AÇ), board paper mill sludge and livestock manure (AG) with *Eisenia fetida* earthworms. For this purpose; 90 days incubation experiment were set up and variation of organic C, N, C/N, pH and EC of vermicompost samples were monitored during the incubation period. As a results of incubation treatment; earthworms could not live in all mixtures of paper mill sludge and contains more than 50% of sewage. In all periods of incubation, total N and pH increased whereas decreased organic C, C/N ratio and EC with the increasing amounts of AÇ. Based on earthworm biomass and population data and various vermicompost characteristics, incubation experiments revealed an optimum mixture ratio of 50% AÇ + 50% AG and an optimum vermicomposting duration of 90 days.

Keywords: Vermicompost, sewage sludge, paper mill sludge, *Eisenia fetida*, livestock manure.

© 2014 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Vermikompost (solucanlı kompost) organik atık/artıkları kompostlaştırma işleminin solucanlara yaptırılması işlemidir. Bu yer solucanlarının sindirim sisteminden geçen organik atık/artıklar hızlandırılmış bir humifikasyon ve detoksifikasyon işlemine tabi tutulurlar. Vermikompost eldesi termofilik komposta göre çok daha kısa sürede gerçekleşmekte olup, Şimşek-Erşahin (2007)'e göre, kalitesi bakımından vermikompost ürünleri, termofilik kompost ürünlerinden fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan çok daha üstün niteliklere ve ekonomik değere sahiptir ve vermikompost son ürünüde insan sağlığını tehdit eden

* Sorumlu yazar:

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 06110 Dışkapı Ankara

Tel.: 0(312)5961758

e-ISSN: 2146-8141

E-posta: aytenkrc@gmail.com

patojenler olmadığı için uygulayıcıların ana materyal kanalizasyon atığı dahi olsa vermikomposta çıplak elle dahi dokunabilmektedir. Vermikompost, solucan ve mikroorganizmaların etkileşimi aracılığıyla organik materyallerin biyolojik parçalanmasıyla üretilir. Vermikompost; nitrat, fosfat, değişebilir kalsiyum ve çözülebilir potasyumu bünyesinde bulundurmaktadır. Ayrıca mikroorganizmalar tarafından salgılanan bitki büyüme teşvik edici hormonlarını da içermektedir (Joshi ve Pal Vig, 2010). Organik materyallerin solucanlarla kompostlanması sonucunda elde edilen vermikompostun özellikleri ve besin maddesi kapsamı, başlangıçtaki organik materyalin bileşenine göre önemli oranda farklılıklar göstermektedir. Vermikompostun besin maddesi içeriği vermikompostlanmamış materyale göre çok daha yüksek seviyelerdedir. Evsel ve endüstriyel organik atıkların geri kazanımında, vermikompost hem işlem hem de ürün itibarıyla aerobik komposttan daha üstün özelliklere sahiptir (Dominguez ve ark. 1997, Şimşek-Erşahin, 2011). Parvaresh ve ark. (2004), endüstriyel atık su arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurlarını *Eisenia fetida* türü solucanlar ile 9 haftalık inkübasyona tabi tutmuşlar ve arıtma çamurlarının bir kısmına *Eisenia fetida* ilavesi yaparak, solucan aşılması yapılmayan arıtma çamurları ile karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar arıtma çamuruna *Eisenia fetida* ilavesinin alınabilir P kapsamını artırmasına karşın toplam N üzerinde her hangi bir değişikliğe sebep olmadığını belirlemişlerdir. Contreras-Ramos ve ark. (2005), tekstil endüstrisi ve evsel atık sularından elde edilen arıtma çamurları ile yulaf samanı ve ahır gübresinin farklı oranlarda *Eisenia fetida* solucanları ile kompostlanması ve elde edilen kompostun kalitesinin USEPA standartlarına uygunlukların araştırmışlardır. 60 günlük inkübasyon denemesi sonunda araştırmacılar, tüm karışımların metal kapsamalarının USEPA standartlarına uygun olduğunu ancak, inkübasyon süresince bazı karışımların kimyasal özelliklerinde stabilite sağlanmadığı, hem USEPA standartlarına uygunluk ve hem de stabilite açısından en uygun karışımın 1400 gr arıtma çamuru + 200 gr yulaf samanı + 200 gr ahır gübresi karışımından elde edildiğini belirtmişlerdir. Kızılkaya ve ark (2010), arıtma çamuru (AÇ), fındık zuru (FZ) ve ahır gübresini (AG) içeren vermikompostların ideal karışım oranı ile ideal vermikompostlanma süresinin belirlenmesi amacıyla, *Eisenia fetida* türü solucanlarla AÇ, FZ ve AG'yi farklı oranlarda karıştırmışlar ve solucan sayı ve biyokütle verileri ile farklı vermikompostların özelliklerine (biyolojik, kimyasal ve ağır metal kapsamaları) göre ideal karışım oranının %30 AÇ + %35 FZ + %35 AG ve ideal vermikompostlanma süresinin ise 90 gün olduğunu belirtmişlerdir. Selladurai ve ark. (2009)'a göre, vermikompost prosesi zararlı arıtma çamurlarının besin açısından zengin, toksik içermeyen materyale dönüşmesi için potansiyel bir teknoloji olabilir, ayrıca belediye atık yönetimine biyolojik yeni bir yaklaşım sağlar.

Bu çalışmada, evsel ve endüstriyel nitelikli 2 farklı arıtma çamurunun karton fabrikası atık çamuru ve ahır gübresinin karıştırılması ve *Eisenia fetida* türü solucanlarla kompostlanması (vermikompost üretimi) ve en uygun kompost bileşeni ve kompostlama süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırmada evsel nitelikte Yozgat Atıksu Arıtma çamuru (YAÇ), endüstriyel nitelikli Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çamuru (AAÇ), karton fabrikası atık çamuru (KA), ahır gübresi (AG) ve kompostlayıcı materyal olarak da *Eisenia fetida* solucan türü kullanılmıştır.

Yozgat atıksu arıtma tesisi çamuru (YAÇ): Yozgat Belediyesi AAT, 73.000 kişiye hizmet etmektedir. Tesise herhangi bir endüstriyel atıksu katkısı bulunmamaktadır. Tesise, özellikle yağışların fazla olduğu dönemlerde Yozgat Belediyeler Birliği'ne ait düzenli depolama alanından belli aralıklarla sızıntı suyu taşınmaktadır. Tesisten çıkan çamurun analiz sonuçları değerlendirildiğinde, metal derişimlerinin Evsel ve Endüstriyel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'in Ek IB tablosunda listelenen sınır değerlerinin çok altında olduğu görülmüştür. Yozgat tesisi, İç Anadolu Bölgesi'nde görece yüksek kapasiteli, evsel nitelikte atıksuları arıtan tesislerden biri olduğundan ve bu tesiste İç Anadolu bölgesinde bulunan diğer tesislerden farklı olarak aerobik stabilizasyon yöntemi uygulanmakta olduğundan, evsel nitelikli bir tesis olarak seçilmiştir. Bu tesiste atıksu klasik aktif çamur sistemi ile arıtılmakta, oluşan çamur ise yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırmayı takiben belediye katı atık depolama sahasında depolanmaktadır.

Ankara atıksu arıtma tesisi çamuru (AAÇ): Ankara Büyükşehir Belediyesi AÇ yalnızca Türkiye'nin değil, Avrupa'nın en büyük atıksu arıtma tesislerinden biridir. Bu nedenle Türkiye'nin arıtma çamurlarının yönetilmesinde gerek miktar, gerekse de olası yararlı kullanımların olabileceği bölgelere yakınlık açısından büyük önem taşıyan bir tesistir. Tesiste ön arıtımı ve ön çökeltmeyi takiben klasik aktif çamur sistemi ile biyolojik arıtma gerçekleştirilmektedir. Ön çökeltim ve son çökeltim çamurları bir arada yoğunlaştırılmakta, anaerobik olarak çürütülmekte ve belt filtre ile susuzlaştırılmaktadır. Susuzlaştırılmış

çamur katı atık depolama sahasında bertaraf edilmektedir. Ankara AAÇ tesisine gelen atıksuyun yaklaşık %10'u endüstriyel niteliklidir. Gelen endüstriyel atıksular tam arıtım ya da ön arıtım sonrası kanala verilmekte, bu atıksular tekstil, kimya, maden ve metal sanayi, çinko kaplama sanayi ile bir miktar da Sincan Organize Sanayi Bölgesi'nden kaynaklanmaktadır. Bu nedenlerle tesisin uygun bir endüstriyel AÇ olduğuna karar verilerek seçilmiştir.

Karton fabrikası kağıt atık çamuru (KA): Ülkemizde geri dönüştürülmüş kağıt kullanan sanayi kuruluşlarının en büyük sıkıntısı atık kağıtların kalitesi olmaktadır. Atık kağıtların ülkemizde kaynağında ayrıştırılmaması bir yandan kağıtların geri dönüşümü esnasında daha zor temizlenmesine neden olurken diğer yandan da ortaya çıkan plastik, metal vb. kirliliklerin depolanması sorununu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca basım sanayinde gittikçe daha çok kullanılan selefona kaplı kağıt ürünleri ve yüksek oranda kuşe içeren kağıtlar geri dönüşüm oranlarının düşmesine neden olmaktadır." Ülkemizde geri dönüştürülmüş kağıt kullanan sanayi kuruluşlarının en büyük sıkıntılarının bir tanesi atık çamur olarak da nitelendirilen atıkların bertaraf edilmesi/yeniden değerlendirilmesidir. Söz konusu atık materyalinin farklı amaçlar doğrultusunda geri kazanım için ayrılmasında dikkat edilecek en önemli husus bunların kirlenmemiş/kirletilmemiş olmasıdır. Ancak bu şekilde geri dönüşümleri mümkün olacaktır. Bu özelliklere sahip atık materyalin değerlendirilmesi için Dünya'da değişik alternatif yöntem arayışları konusunda pek çok araştırma yapılıyor olmasına rağmen, ülkemizde ise bu tür karton fabrikasından çıkan atık materyallerin değerlendirilmesi yönünde yeterli araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışmada Muratlı Karton fabrikası kağıt atık çamuru kullanılmıştır.

İnkübasyon denemesinin kurulması: Kompostlama materyali olarak kullanılan organik atıklar (Yozgat ve Ankara arıtma çamuru-YAÇ ve AAÇ, ahır gübresi -TG ve karton fabrikası kağıt atığı-KA) tamamen kurutulduktan ve öğütüldükten sonra (2 mm) farklı oranlarda birbirleri ile karıştırılmış ve organik materyallerin farklı oranlarını kapsayan uygulamalara ait optimum nem ve sıcaklık koşullarında inkübasyon denemesi kurulmuştur.

Birinci inkübasyon denemesi uygulama konuları:

- [1] %0 AÇ + %100 AG (ahır gübresi kontrol)
- [2] %100 AÇ + %0 AG + %0 KA (çamur kontrol)
- [3] %50 AÇ + %25 AG + %25 KA
- [4] %25 AÇ + %50 AG + %25 KA
- [5] %25 AÇ + %25 AG + %50 KA
- [6] %70 AÇ + %15 AG + %15 KA
- [7] %15 AÇ + %70 AG + %15 KA
- [8] %15AÇ + %15AG + %70 KA

5lt'lik ışık geçirmeyen silindirik plastik saksılara 2500 gr yukarıda verilen karışımlar konulup, her bir karışımın içerisine eşit ağırlıkta 5'er adet Eisenia fetida türü solucan ilavesi yapılmıştır (Şekil 1). Solucan ilavesini müteakip, saksıların üst kısmı havalanmayı engellemeyecek tül ile kapatılıp solucan için optimum koşulları sağlamak amacı (Reincke ve ark. 1992) ile saksılara her bir karışımın %80 oranında su kapsayacak şekilde su ilavesi yapılmıştır. Saksılar 20 °C'de karanlıkta inkübasyona bırakılmıştır. Vermikompost denemesinin kurulmasından 24 saat sonra %100 AG (1 numaralı uygulama) dışındaki tüm uygulamalarda solucanlar karışımların içerisine girmemiş ve bu uygulamalardaki tüm solucanlar karışımların yüzeylerinde ölmüştür %100 Ahır gübresi bulunan saksılardaki solucanların ölmeyip, AÇ ve KA bulunan tüm saksılardaki solucanların ölmesinin nedeninin AÇ ve KA'nın içeriğinde bulunan yüksek kireç, toksik metaller veya yüksek amonyum azotu gazının ortaya çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. AÇ ve KA yüzdeleri düşürülerek deneme 2 kez daha tekrarlanmış ancak arıtma çamurunun %50 ve üzerindeki düzeylerinde ve KA bulunan karışımlarda inkübasyonun en başından itibaren vermikompost elde edilememiştir. Sadece ahır gübresi bulunan saksılarda solucanların yaşamlarını sürdürmesinden yola çıkılarak solucanı öldüren materyalin karışımdaki çamur veya kağıt atığı olduğu varsayılarak kağıt atığı içermeyen çamur ve ahır gübresinin farklı uygulamaları ile çamur içermeyen kağıt atığı ve ahır gübresi uygulamaları denemeye alınmıştır. Kağıt atığı bulunan tüm uygulamalarda solucanlar ölmüş, arıtma çamurunun ise maksimum %50 olduğu saksılarda solucanlar yaşamlarını devam ettirirken, çamur yüzdesinin %60 ve üzeri olduğu uygulamaların tamamında solucanlar 2. gün ölmüşlerdir. Solucanların yaşamlarını sürdürebildikleri uygulama konularıyla denemeye devam

edilmiş diğer konular sonlandırılmıştır. Aşağıda denemeye devam edilen ve analizleri yapılan uygulama konuları verilmiştir.



Şekil 1. İnkübasyon denemesinin kurulması

İkinci inkübasyon denemesi uygulama konuları:

- [1] % 0 AÇ + %100 AG (ahır gübresi kontrol)
- [2] %50 AÇ + %50 AG
- [3] %40 AÇ + %60 AG
- [4] %30 AÇ + %70 AG
- [5] %20 AÇ + %80 AG

90 günlük inkübasyon süresince saksılar her gün tartılarak eksilen su miktarı ilave edilmiştir. İnkübasyonun 1., 30., 60. ve 90. günlerinde karışımların toplam karbon, azot, C/N oranı, pH ve EC analizleri yapılmıştır. Ayrıca inkübasyonun son döneminde karışımlarda bulunan solucanlarda sayı ve biyokütle tespitleri de yapılmıştır. Organik karbon içerikleri kuru yakma ile (Ryan ve ark., 2001), toplam N Kjeldahl yöntemine göre (Bremner, 1965), pH ve EC 1:10 vermikompost : saf su süspansiyonunda (w/v) Ryan ve ark (2001)'e göre; toplam P kuru yakma yöntemiyle (Kacar, 1972), C/N oranı hesap yoluyla belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgulara ait istatistiksel değerlendirmeler (Varyans analizi, LSD testi, korelasyon analizi) Minitab 15 paket programında yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

İnkübasyon denemesinde kullanılan materyallerin genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Elazığ arıtma çamuru en yüksek OC, N ve NH⁺-N kapsamına sahip olup, toplam P ise en yüksek ahır gübresinde bulunmaktadır. pH bakımından birbirlerine yakın değerler içeren atıklardan, en yüksek kireç içeriği kağıt atığı çamurunda bulunmaktadır. Organik materyallerin EC kapsamları bakımından değerlendirildiğinde; AG'nin EC değerleri diğer 3 organik atığa göre yüksek ancak bütün organik atıkların EC değerleri kullanımı sınırlandıracak değer olan 4 dSm⁻¹'nin oldukça altındadır (Kirven, 1986). Denemede kullanılan arıtma çamurlarından Ankara çamurunun Zn miktarı Elazığ çamuruna kıyasla oldukça yüksek olup, diğer metaller bakımından Elazığ çamuru ile birbirine yakın değerler içermektedir. Denemede kullanılan çamurların metal

kapsamları Arıtma çamurları (2010) yönetmeliği sınır değerlerinin altındadır. Denemede kullanılan ahır gübresinin ağır metal kapsamları Elazığ çamurundan yüksek, Ankara çamurundan düşük; kağıt atığı çamurunun metal kapsamları ise diğer materyallere göre (Cu hariç) düşük bulunmuştur.

Çizelge 1. İnkübasyon denemesinde kullanılan materyallerin genel özellikleri

Özellikler	Yozgat AÇ	Ankara AÇ	Kağıt atığı	Ahır gübresi
Organik C %	37,08	26,06	19,05	28,42
pH	8,07	8,65	7,03	8,51
EC (dSm ⁻¹)	0,448	0,895	0,97	2,08
Kireç (%)	3,03	5,77	56,57	10,92
Toplam azot (N), %	3,39	2,62	0,18	0,71
NH ₄ ⁺ -N, mgkg ⁻¹	2318	2210	31	198
Toplam fosfor (P), %	0,07	0,07	0,014	2,61
Cd, mgkg ⁻¹	<0,05	1,2	<0,05	0,89
Cr, mgkg ⁻¹	1,15	153	2,91	98
Cu, mgkg ⁻¹	25,41	161,4	39,81	113
Ni, mgkg ⁻¹	7,64	92,16	0,46	48
Pb, mgkg ⁻¹	<0,5	62	1,54	7,5
Zn, mgkg ⁻¹	<5	644	17,22	315

İnkübasyon süresi boyunca organik karbon (OC) miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca Elazığ çamuru (EAÇ) uygulamasında en yüksek OC değerleri 2 numaralı karışımda belirlenmiş (Çizelge 2; P<0.05), Ankara çamuru (AAÇ) uygulamasında ise karışımlar arasındaki fark istatistiksel olarak inkübasyonun son periyodunda anlamlı bulunmamıştır. EAÇ uygulamasında 2 numaralı karışımda çamur miktarı diğer karışımlara göre yüksek olup, 2 numaralı karışımda diğerlerine göre yüksek karbon değerinin bulunmasının temelindeki nedeninin Elazığ çamurunun daha fazla karbon içermesindedir. Her iki AÇ uygulamasında da, karışımların tamamında OC kapsamları inkübasyon süresince organik atığın mineralizasyonuna bağlı olarak azalmaya başlamıştır (Smernik ve ark. 2004). Vermikompostlama süreci solucan ve mikropların aktif katılımını gerektirmektedir. Dominguez (2004)'e göre, solucan organik materyali kas hareketleriyle homojenize eder, mukus salgılar ve enzimce zengin bir çevre oluşturur, mikrobiyal faaliyet için yüzey alanı artar ve mikroorganizmalar biyokimyasal parçalanmayı gerçekleştirir. Mikrobiyal faaliyetler solucanın ekstraselüler enzimatik çevresinde tam olarak gerçekleşir ve bu biyolojik olaylar arıtma çamurunun ayrışması ve mineralizasyon sırasında C şeklinde TOC kaybına neden olmaktadır.

Çizelge 2. Doksan günlük inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun organik C kapsamı (%)

Uygulama	1.Gün	30. gün	60. gün	90. gün
ELAZIĞ ÇAMURU				
1	28,33bc	28,01c	27,66c	25,03c
2	33,08a	33,01a	31,14a	30,63a
3	32,41a	31,58b	30,16a	28,95b
4	30,13b	30,02b	29,65b	28,87b
5	29,36b	28,16c	28,01b	26,78c
ANKARA ÇAMURU				
1	28,33a	28,01a	27,66a	25,03öd
2	28,00a	27,36a	27,21a	25,13öd
3	27,25ab	27,01a	26,85a	25,89öd
4	26,58b	26,98b	25,87b	25,85öd
5	28,10a	27,85a	27,41a	25,11öd

Uygulama 1) %0 AÇ + %100 AG (ahır gübresi kontrol), 2) %50 AÇ + %50 AG; 3) %40 AÇ + %60 AG; 4) %30 AÇ + %70 AG, 5) %20 AÇ + %80 AG.

Elazığ için LSD>0.05=1.102; Ankara için LSD>0.05=1.033; Küçük harf düzey olarak uygulamalar arasındaki karşılaştırmayı gösteriyor; öd: uygulamalar arasındaki fark önemli değil

İnkübasyon süresi boyunca toplam azot (N) miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca EAÇ uygulamasında en yüksek N değerleri 2 ve 3 numaralı uygulamalarda belirlenmiş (Çizelge 3; $P < 0.05$), AAÇ uygulamasında ise en yüksek N değerleri 2 numaralı karışımda belirlenmiştir. Her iki çamur uygulamasında da uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Aritma çamuru miktarının karışımdaki oranı arttıkça karışımın N değerleri artmakta, bunun temeldeki nedeni Elazığ çamurunun diğer organik materyallere göre daha fazla azot içermesidir. Genel olarak materyallerden vermikompost üretimi sırasında solucanlar N bakımından zengin mukus, boşaltım ürünleri ve vücut sıvıları salgılayarak azot seviyesini artırmasına neden olmakta ayrıca ölü solucanların çürüyen dokuları da azotun artışıdaki diğer önemli nedendir (Selladurai ve ark, 2009). Karışımların tamamında toplam karbona benzer şekilde N kapsamları inkübasyon süresince organik atığın mineralizasyonuna bağlı olarak azalmaya başlamıştır.

Çizelge 3. Doksan günlük inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun toplam N kapsamı (%)

Uygulama	1.Gün	30. gün	60. gün	90. gün
ELAZIĞ ÇAMURU				
1	0,74c	0,79c	0,91c	0,87c
2	2,14a	2,18a	2,08a	2,00a
3	2,10a	2,10a	2,01a	1,98a
4	1,65b	1,63b	1,78b	1,72b
5	1,16b	1,17b	1,23b	1,19b
ANKARA ÇAMURU				
1	0,74c	0,79c	0,91c	0,87d
2	1,66a	1,67a	1,60a	1,71a
3	1,40b	1,35b	1,31b	1,39b
4	1,19bc	1,21bc	1,24b	1,24b
5	0,93c	0,96c	1,09c	1,18c

Uygulama 1) %0 AÇ + %100 AG (ahır gübresi kontrol), 2) %50 AÇ + %50 AG; 3) %40 AÇ + %60 AG; 4) %30 AÇ + %70 AG, 5) %20 AÇ + %80 AG.

Elazığ için $LSD > 0.05 = 0.105$; Ankara için $LSD > 0.05 = 0.114$; Küçük harf düzey olarak uygulamalar arasındaki karşılaştırmayı gösteriyor; öd: uygulamalar arasındaki fark önemli değil

İnkübasyon süresi boyunca C/N oranındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca karışımların karbon miktarının azalması ve azot miktarının artmasıyla C/N oranları da azalma göstermiştir (Çizelge 4). Borah ve ark. (2007)'ye göre, vermikompostun C/N oranı 20'den az olmalıdır. Buna göre 2, 3 ve 4 numaralı uygulamaların C/N oranları daha uygun gözükmektedir. Fatehi ve Seayegan (2010)'a göre, vermikompostlama işlemi süresince C/N oranındaki düşmenin nedeni, havadan N fiksasyonuna bağlı olarak N kapsamının artması ve solucanın metabolik aktivitesi sırasında organik C'nun CO_2 'ye mineralizasyonudur.

Çizelge 4. Doksan günlük inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun C/N oranı

Uygulama	1.Gün	30. gün	60. gün	90. gün
ELAZIĞ ÇAMURU				
1	38,28a	35,46a	30,40a	28,77a
2	15,46d	15,01d	15,87d	15,31cd
3	15,43d	15,04d	15,00d	14,62d
4	18,26c	18,42c	16,66c	16,78c
5	25,31b	24,07b	22,77b	22,50b
ANKARA ÇAMURU				
1	38,28a	35,46a	30,40a	28,77a
2	16,87e	16,38d	17,01d	14,70d
3	19,46d	20,01cd	20,50c	18,63c
4	22,34c	22,30c	20,86c	20,85b
5	30,22b	29,01b	25,15b	21,28b

Uygulama 1) %0 AÇ + %100 AG (ahır gübresi kontrol), 2) %50 AÇ + %50 AG; 3) %40 AÇ + %60 AG; 4) %30 AÇ + %70 AG, 5) %20 AÇ + %80 AG.

Elazığ için $LSD > 0.05 = 1,366$; Ankara için $LSD > 0.05 = 1,385$, Küçük harf düzey olarak uygulamalar arasındaki karşılaştırmayı gösteriyor; öd: uygulamalar arasındaki fark önemli değil

İnkübasyon süresi boyunca pH miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon periyodu süresince her iki çamur denemesinde de pH değerleri artma eğilimi göstermiş, EAÇ uygulamasında uygulamalar arasındaki fark $P>0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. En yüksek pH değeri 1 numaralı tek başına AG uygulamasında belirlenmiştir (Çizelge 5). AAÇ uygulamalarında ise ilk 1 ay boyunca pH'daki değişimler anlamlı bulunmamıştır, son 2 aylık periyotta ise 1, 2 ve 3 numaralı karışımlarda pH diğer 2 karışıma göre yüksek bulunmuştur ($P>0.05$).

Yetiştirme ortamlarında arzu edilen pH değerleri yetiştirilecek bitki çeşidine göre değişiklik göstermekle beraber büyük oranda organik materyal içeren toprak karışımlarında bu değer 5,3 – 6,0 arasında belirtilmektedir (Lucas ve ark. 1975). Bu pH değerleri fosfor ve mikro bitki besin maddelerinin yayılabilirliklerini arttırmaktadır (Çaycı ve ark., 1995). Buna göre inkübasyon denemesi süresince elde edilen vermikompostların pH değerleri yüksek olup uygulanacak bitki besleme programlarında bu konuya dikkat etmek gerekmektedir. Fatehi ve Seayegan (2010)'e göre, vermikompost işlemi boyunca artan pH değerine yönelik en muhtemel teori, solucanların kalsiferoz (kalsiyumlu) bezleri ve NH_4^+ salgıladıklarını ve H^+ iyonlarının azaldığı şeklindedir.

Çizelge 5. Doksan günlük inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun pH değeri

Uygulama	1.Gün	30. gün	60. gün	90. gün
ELAZIĞ ÇAMURU				
1	8,51a	8,59a	8,74a	8,89a
2	8,21c	8,24c	8,25c	8,22c
3	8,40b	8,42b	8,54b	8,68b
4	8,42a	8,45b	8,53b	8,70b
5	8,48a	8,48ab	8,63ab	8,70b
ANKARA ÇAMURU				
1	8,51öd	8,59öd	8,74a	8,89a
2	8,57öd	8,58öd	8,81a	8,89a
3	8,55öd	8,52öd	8,73a	8,91a
4	8,55öd	8,53öd	8,68b	8,79b
5	8,53öd	8,55öd	8,59b	8,69b

Uygulama 1) %0 AÇ + %100 AG (ahır gübresi kontrol), 2) %50 AÇ + %50 AG; 3) %40 AÇ + %60 AG; 4) %30 AÇ + %70 AG, 5) %20 AÇ + %80 AG.

Elazığ için $\text{LSD}>0.05=0.087$; Ankara için $\text{LSD}>0.05=0.093$, Küçük harf düzey olarak uygulamalar arasındaki karşılaştırmayı gösteriyor; öd: uygulamalar arasındaki fark önemli değil

İnkübasyon süresi boyunca EC miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca karışımlarda belirlenen EC değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. Denemeye alınan uygulamaların tamamında, inkübasyon zamanına bağlı olarak EC değerlerinde azalma görülmüştür. Uygulamaları kendi içerisinde kıyasladığımızda, EAÇ uygulamasında çamur dozunun en yüksek olduğu 2 numaralı uygulamada en düşük EC bulunmuş, AG'nin miktarının artmasıyla da karışımların EC miktarları artış göstermiştir. Şüphesiz bu artış AG materyalinin içermiş olduğu tuzlarla ilgili olup (Hargreaves ve ark. 2008) AG'nin uygulanan dozu arttıkça da bu etki belirginleşmektedir. Uygulamalara bağlı olarak karışımların EC değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Bu sonuçların aksine Fatehi ve Seayegan (2010), vermikompost işlemi boyunca EC miktarlarının arttığını, bu artışın organik madde kaybından ve alınabilir formda fosfor, amonyum ve potasyum gibi değişik minerallerin üretiminden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Kirven (1986), sature ortam ekstraktını esas alan çalışmalarda organik materyallerin EC kapsamının 2-4 dSm^{-1} 'nin orta, 4-6 dSm^{-1} 'nin yüksek ve 4-8 dSm^{-1} 'nin ancak iyi gelişmiş bitkiler için uygun olduğunu belirtmiştir. Bildirilen sınır değerleri ve bitkilerin tuza duyarlılıkları farklı olmakla beraber, 4 dSm^{-1} 'nin üzerindeki elektriksel iletkenlik değerleri risk taşımaktadır. Araştırmada kullanılan bütün arıtma çamuru materyallerinin tuz kapsamı 2-4 dSm^{-1} 'den düşüktür. Organik materyallerden vermikompost elde edilmesinden sonra da EC değerleri sınır değerlerin oldukça altında olup, toprakta kullanılmalarında tuzluluk oluşturmaları bakımından sorun bulunmamaktadır. ABD Kompost Kalite Standartları Rehberine göre, kompostun maksimum EC kapsamının 2 dSm^{-1} olması gerektiği ve 1-2 dSm^{-1} EC'ye sahip kompost materyalinden tuza toleranslı bitki yetiştirildiğinde 15 ltm^{-2} ve tuza dayanıklı bitki yetiştirilmesi durumunda da 60 ltm^{-2} uygulanması gerektiği, kompostun EC kapsamının 2-4 dSm^{-1} olması durumunda ise bu miktarların yarı yarıya düşürülmesi gerektiği bildirilmiştir (Brinton, 2000).

Solucan sayı ve biyokütlesindeki değişimler

İnkübasyon denemesine alınan arıtma çamurlarının %50'den fazla miktarlarda olduğu karışımlarda solucanlar karışımın içerisine girmeyip yüzeyde kaldıklarından dolayı 24 saat içerisinde ölmüşler ve arıtma çamurunun %50 ve üzerindeki düzeylerinde inkübasyonun en başından itibaren vermikompost elde edilememiştir. Edwards (1988) organik materyalin kapsadığı yüksek amonyumun (>500 mgkg⁻¹) *E.fetida* türü solucanlara toksik etki yaptığını bildirmiştir. İnkübasyon denemesinde kullanılan arıtma çamurları da yüksek seviyede NH₄⁺-N içermekte olup, solucan aktivitesi ve populasyonun yüksek amonyumdan olumsuz yönde etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde karton fabrikası atık çamuru (KA) içeren karışımlarda solucanlar yaşamlarını devam ettirememiş, bunun nedeninin de KA'nın çok yüksek kireç içermesinden kaynaklandığı düşünüülerek KA içeren uygulamalar deneme konusundan çıkarılmıştır.

Çizelge 6. Doksan günlük inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun EC değeri (dSm⁻¹)

Uygulama	1.Gün	30. gün	60. gün	90. gün
ELAZIĞ ÇAMURU				
1	2,01a	1,98a	1,78a	1,56a
2	1,12c	1,03c	0,93b	0,90b
3	1,59b	1,48b	1,14b	1,03b
4	1,85a	1,43b	1,20b	1,15b
5	1,91a	1,79a	1,65a	1,30a
ANKARA ÇAMURU				
1	2,01a	1,98a	1,78a	1,56a
2	1,48b	1,42b	1,25b	1,20b
3	1,67ab	1,54b	1,61a	1,35a
4	1,89a	1,74a	1,63a	1,41a
5	1,93a	1,71a	1,70a	1,36a

Uygulama 1) %0 AÇ + %100 AG (ahır gübresi kontrol), 2) %50 AÇ + %50 AG; 3) %40 AÇ + %60 AG; 4) %30 AÇ + %70 AG, 5) %20 AÇ + %80 AG.

Elazığ için LSD>0.05= 0.349; Ankara için LSD>0.05=0.327, Küçük harf düzey olarak uygulamalar arasındaki karşılaştırmayı gösteriyor; öd: uygulamalar arasındaki fark önemli değil

Arıtma çamuru miktarının azaltılarak yeniden tekrarlanan inkübasyon denemesinde ise solucanlar karışımların arasına girmiş ve çoğalarak yaşamlarını devam ettirmişlerdir. Doksan günlük inkübasyon süresi sonunda saksılardaki solucan sayıları ile toplam solucan biyokütlesindeki değişimler belirlenmiş olup sonuçlar Çizelge 7'de, karışımlarda belirlenen bütün parametrelere ait yüzde artış ve azalışlar ise Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 7. Deneme sonunda saksılarda belirlenen solucan sayı (adet) ve biyokütlesi (gr)

Uygulama	ELAZIĞ ÇAMURU		ANKARA ÇAMURU	
	Solucan sayısı	Solucan ağırlığı gr	Solucan sayısı	Solucan ağırlığı gr
1	105a	37,05öd	105a	37,05a
2	70b	20,35öd	73b	16,71b
3	75b	22,18öd	75b	14,45b
4	82b	25,34öd	75b	20,12b
5	92a	33,2öd	79bb	23,13b

Uygulama 1) %0 AÇ + %100 AG (ahır gübresi kontrol), 2) %50 AÇ + %50 AG; 3) %40 AÇ + %60 AG; 4) %30 AÇ + %70 AG, 5) %20 AÇ + %80 AG.

Elazığ için LSD>0.05= 18,31; Ankara için LSD>0.05=11,19, Küçük harf düzey olarak uygulamalar arasındaki karşılaştırmayı gösteriyor; öd: uygulamalar arasındaki fark önemli değil

İnkübasyonun başlangıcında tüm saksılara 5'er adet solucan konulmuş ve her bir solucanın biyokütlesi ortalama 0.5g olarak belirlenmiştir. İnkübasyonun sonlandırıldığı 90. günde saksılarda özellikle ergin ve orta ergin solucanların sayılmasına dikkat edilmiş, genç solucanlar sayıma alınmamaya çalışılmıştır. Doksanıncı günde başlangıca göre solucan sayı ve biyokütlesinde artışlar belirlenmiş, bu artışların karışım

oranlarına bağlı olarak da değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. Solucan biyokütlesi en fazla %100 AG bulunan saksılarda belirlenmiş, en düşük sayı ve biyokütle ise her iki arıtma çamurunda da en yüksek AÇ (%50 AÇ) bulunan saksılarda belirlenmiştir. Arıtma çamurları kıyaslandığında ise, her iki AÇ'nin benzer dozlarında belirlenen sayılar benzerlik gösterirken, biyokütle olarak Elazığ çamurundaki solucanların ağırlıkları Ankara çamuruna göre fazla bulunmuştur. [Harstenstein ve Mitschell \(1978\)](#)'e göre, arıtma çamurunun aerobik veya anaerobik olarak olgunlaştırılması solucan popülasyonunun aktivitesinde önemli oranda etkili olup, anaerobik olarak olgunlaştırılan arıtma çamurlarının *Eisenia fetida* türü solucanlar için akut toksisite oluşturduğunu bildirmişlerdir. Denemede kullanılan EAÇ aerobik, AAÇ ise anaerobik olarak olgunlaştırılan çamur olup, EAÇ içeren karışımlarda AAÇ içeren karışımlara göre daha fazla sayı ve biyokütle belirlenmesinin nedenlerinden bir tanesinin de AAÇ'nin anaerobik oluşundan dolayı, bu olgunlaştırma şeklinin *E.fetida* türü solucanlara toksisite göstermiş olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 8. Vermikompost üretimi süresince karışımların özelliklerindeki değişimler

Elazığ çamuru	OC	N	C/N	pH	EC	Solucan sayısı	Solucan biyokütlesi
1	-11,65	+17,57	-24,84	+4,47	-22,39	+2000	+1382
2	-7,41	-6,54	-0,97	+0,12	-19,64	+1300	+714
3	-10,68	-5,71	-5,25	+3,33	-35,22	+1400	+787
4	-4,18	+4,24	-8,11	+3,33	-37,84	+1540	+914
5	-8,79	+2,59	-11,10	+2,59	-31,94	+1540	+914
Ankara Çamuru	OC	N	C/N	pH	EC	Solucan sayısı	Solucan biyokütlesi
1	-11,65	+17,57	-24,84	+4,47	-22,39	+2000	+1382
2	-10,25	+3,01	-12,86	+3,73	-18,92	+1360	+568
3	-4,99	-0,71	-4,27	+4,21	-19,16	+1400	+478
4	-2,75	+4,20	-6,67	+2,81	-25,40	+1400	+705
5	-10,64	+26,88	-29,58	+1,88	-29,53	+1480	+825

Sonuçlar

Araştırma sonuçlarına göre; karton fabrikası kağıt atık çamurunun bulunduğu tüm karışımlar ile %50'den fazla atıksu arıtma tesisi arıtma çamuru (AÇ) içeren karışımlarda solucanların yaşamadıkları, %20-%50 arasında AÇ'nin ahır gübresiyle birlikte kullanıldığı uygulamalarda ise solucanların gerekli aktiviteyi göstererek vermikompost oluşturduğu belirlenmiştir. Arıtma çamuru (en fazla %50) yanmış ahır gübresi ile karıştırılmış, kırmızı kaliforniya (*A. Fetida*) solucanları karışıma ilave edilip ortalama 21 °C'de karanlıkta %65 nemli koşullarda yaklaşık 3 ay sürede kompostlanmış ve solucan gübresi elde edilmiştir. Elde edilen solucan gübresi (vermikompost) içeriğinde bulunan ağır metal miktarları organik gübre yönetmeliğinde belirtilen sınır değerlerin altında olup (çalışmanın ağır metalle ilgili bölümleri Environmental Monitoring and Assesment dergisinde hakem incelemesinde olduğundan sonuçlar burada verilmemiştir), verimlilik parametreleri bakımından da piyasada mevcut solucan gübreleriyle aynı kalitededir. Araştırmada %50 EAÇ +%50 AG karışımından 90 günün sonunda elde edilen vermikompostun OC, N, pH, EC ve C/N oranı değerleri sırasıyla %30.63, %2, 8.22, 0.90 dS⁻¹ ve 15.31 olarak belirlenmiş; %50 AAÇ +%50 AG karışımından ise sırasıyla %25.13, %1.71, 8.89, 1.20 dS⁻¹ ve 14.70 şeklinde belirlenmiştir. [Parvaresh ve ark. \(2004\)](#) ise kentsel arıtma çamurlarından elde edilen vermikompostun OC, N, pH ve C/N oranı değerlerini sırasıyla %22, %1.04, 7.5, 2.00 dS⁻¹ ve 22.6 olarak rapor etmişlerdir. ABD Kompost Kalite Standartları Rehberine göre de, kompostun maksimum OM kapsamının %>30, azotun en az %0.03, pH değerinin 6-7 ve EC'nin 2 dS⁻¹ olması gerektiği belirtilmiştir ([Brinton, 2000](#)). Araştırmamızda elde edilen vermikompostların içerikleri de pH hariç bu standart değerler arasındadır. Vermikompostların pH değerleri ise yüksek olup uygulanacak bitki besleme programlarında bu konuya dikkat etmek gerekmektedir.

İnkübasyonun tüm dönemlerinde gerek evsel gerekse endüstriyel atık su arıtma tesisi çamurunun ahır gübresiyle farklı oranlarda karıştırılıp solucanlarla kompostlanması süresince, arıtma çamurunun karışımdaki miktarı arttıkça toplam azot ve pH'nın arttığı buna karşın, organik C, C/N oranı ile EC'nin düştüğü belirlenmiştir. Benzer şekilde yapılan pek çok çalışma ile ([Tiwari ve ark. 1989](#); [Kızılkaya ve Hepşen, 2007](#)) solucanların vermikompostlaştırdığı ortamların veya solucan aktivitesinin olduğu toprağın

başta organik C olmak üzere toplam N kapsamlarının önemli oranlarda artış gösterdiği, karışıma dahil edilen organik materyalin içeriğinin vermikompostun içeriğini belirlemede önemli olduğu belirtilmiştir. [Edwards ve Burrows \(1998\)](#)'a göre, solucanlar ile kompostlanan organik atıklar, başlangıçtaki durumlarına göre su tutma kapasitesi ve boşluk hacmi yüksek olmakta, yapısındaki besin maddelerinin alınabilir miktarları da artmaktadır. [Fatehi ve Seayegan \(2010\)](#) ise vermikompostlama sürecinde karışımların OC miktarlarının azaldığını buna karşın azot, fosfor, pH ve EC değerlerinin arttığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmayla evsel veya endüstriyel nitelikli atık su arıtma tesisi çamurlarının %50'yi geçmeyecek şekilde ahır gübresiyle karıştırılıp *Eisina fetida* türü solucanlarla 90 gün sürede vermikompost elde edilmesinin mümkün olduğu belirlenmiştir. [Borah ve ark. \(2007\)](#)'ye göre, eğer vermikompostlama süresi 3 aydan fazla uzatılırsa vermikompostun kalitesi bozulmakta, auxin, giberellin vb büyüme hormonları ile enzimler kayba uğramaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen verilere göre; arıtma çamurlarının tarımsal kullanımı söz konusu olduğunda vermikompost (maksimum %50 AÇ) diğer kullanım şekillerine (doğrudan kullanım, termofilik kompostlama, vb) göre daha etkilidir. Ancak arıtma çamurlarından elde edilen vermikompostların bitki gelişimi ve toprak kalitesi üzerine etkilerine yönelik sera ve tarla denemelerine gereksinim bulunmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Ankara Üniversitesi BAP Öğrenci Odaklı Projeler kapsamında desteklenmiştir (Proje No: 13Ö4347001). Ayrıca proje analizlerinin yapılmasına katkıda bulunan Biyotar Organik Tarım Sanayi A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Borah MC, Mahanta P, Kakoty SK, Saha UK, Sahasrabudhe AD. 2007. Study of quality parameters in vermicomposting. *Indian J. Biotechnol.* 6(3): 410-413.
- Bremner JM, 1965. Total nitrogen pp:1149-1178. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Ed. C.A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series No: 9, Madison, Wisconsin, USA.
- Brinton WF. 2000. Compost quality standards and guidelines. New York State Association of Recyclers. Report to NYSAR by Woods End Research Laboratory, Inc.
- Contreras-Ramos SM, Escamilla-Silva EM, Dendooven L. 2005. Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw. *Biol. Fert. Soils* 41: 190-198.
- Dominguez J, Briones MJI, Mato S. 1997. Effect of the diet on growth and reproduction *Essenia andrei* (Oligochaeta, Lumbricidae), *Pedobiologia* 41: 566-576.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F. 1987. Araştırma ve Deneme Metodları (İstatistik Metodlar II). A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Kitabı: 295, Ankara.
- Dominguez J. 2004. State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research, in: Edwards, C.A., Eds., *Earthworm ecology.* CRC Press, Boca Raton, pp: 401-424.
- Edwards CA, Burrows I. 1998. The potential of earthworms composts as plant growth media. In: Edwards, C.A., Neuhauser, E.F. (Eds.) *Earthworms in waste and environmental management.* SPB Academic Press, The Hague, The Netherlands, pp.21-32.
- Edwards CA. 1988. Burrows, I., The potential of earthworms composts as plant growth media. In: Edwards, C.A., Neuhauser, E.F. (Eds.) *Earthworms in waste and environmental management.* SPB Academic Press, The Hague, The Netherlands, pp.21-32.
- Fatehi MH, Shayegan J. 2010. Vermicomposting of Organic Solid Waste with the *E. Fetida* in Different Bedding Materials. *J. Environ. Stud.* 36: 55.
- Hargreaves JC, Adl MS, Warman PR, 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agr. Ecosyst. Environ.* 123: 1-14.
- Harstenstein R, Mitchell MJ, 1978. Utilization of earthworms and microorganisms in stabilization, decontamination and detoxification of residual sludges from treatment of wastewater. Final Report, US Department of Commerce, National Technical Information Services, PB 286018, Springfield, Virginia. 34 pp,
- Joshi R, Pal Vig A. 2010. Effect of Vermicompost on Growth, Yield and Quality of Tomato (*Lycopersicum esculentum* L.). *African J. Basic Appl. Sci.* 2 (3-4): 117-123.
- Kirven DM. 1986. An Industry Viewpoint: Horticultural Testing is Your Language Confusing. *Proc. of the Sym. Interpretation of Extraction and Nutrient Determination Procedures for Organic Potting Substrates*, 215-217.
- Kızılkaya R, Hepşen Ş. 2007. Microbiological properties in earthworm *Lumbricus terrestris* L. cast and surrounding soil amended with various organic wastes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38: 2861-2876.
- Kızılkaya R, Türkay H, Aşkın T, Akça İ, Ceyhan V, Bayraklı B, Türkmen C. 2010. Fındık zurufu ve arıtma çamurunun solucanlar (*Eisena fetida*) ile kompostlanması, elde edilen vermikompostun sera ve tarla koşullarında buğday

- (*Triticum aestivum*) bitkisinin verim ve bazı toksik metal kapsamlarına etkisinin belirlenmesi (yayınlanmamış). TÜBİTAK Proje No: 1070128.
- Kütük C, Çaycı G, Baran A. 1995. Çay atıklarının bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılabilme olanakları. Tarım Bilimleri Dergisi. 1(1): 1.
- Jackson ML. 1969. Soil Chemical Analysis. Advanced Course, Univ.of Wisconsin, USA.
- Lucas RE, Rieke PE, Shicluna VC, Cole A. 1975. "Lime and Fertilizer Requirements for Peats". Peat in Horticulture, New York, Academic Press, 51-75.
- Parvaresh A, Movahedian H, Hamidian L. 2004. Vermistabilization of municipal wastewater sludge with *Eisenia fetida*. Iranian J. Environ. Health Sci. Eng. 1(2), 43-50.
- Reinecke AJ, Viljoen SA, Sayman RJ. 1992. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (*Oligochaeta*) for vermicomposting in Southern Africa in terms of their requirements. Soil Biol. Biochem. 24, 1295-1307.
- Ryan J, Estefan G, Rashid A, 2001. Soil and plant analysis laboratory manual. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Syria.
- Smernik RJ, Oliver IW, McLaughlin MJ. 2004.Changes in the nature of sewage Sludge organic matter during a twenty-one-month incubation. J. Environ. Qual, 33(5), 1924-1929.
- Selladurai G, Anbusaravanan N, Prakash Shyam K, Palanivel K, Kadalmani B. 2009. Biomangement of municipal sludge using epigenic earthworms *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida*. Adv. Environ. Biol. 3(3): 278-284.
- Şimşek-Erşahin Y. 2007. Vermikompost Ürünlerinin Eldesi ve Tarımsal Üretimde Kullanım Alternatifleri. GÖÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2007, 24 (2), 99-107.
- Simsek-Ersahin Y. 2011. The Use of Vermicompost Products to Control Plant Diseases and Pests. In: Karaca A (ed) Biology of Earthworms, Soil Biology Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Tiwari SC, Tiwari BK, Mishra RR. 1989. Microbial populations, enzyme activities and nitrogen-phosphorus-potassium enrichment in earthworm casts and in the surrounding soil of a pineapple plantation. Biol. Fertil. Soils 8, 178-182.