

Arıtma çamuru kompostlaştırılmasında organik evsel katı atık ilavesinin etkisi

Osman Atilla ARIKAN*, İzzet ÖZTÜRK

İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, evsel atıksu arıtma tesisi çamuru ile organik evsel katı atık(EKA)-evsel atıksu arıtma tesisi çamuru karışımı için havalı kompostlaştırma teknolojilerinin uygulanabilirliği ve evsel atıksu arıtma çamuru kompostlaştırılmasında organik EKA ilavesinin etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Havalı Kompostlaştırma, 180 l'lik statik reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Çalışma periyodu süresince sıcaklık, pH, uçucu katı madde, su muhtevası parametreleri izlenmiştir. Organik EKA-çamur karışımından elde edilen kompost kalitesi sadece çamurdan elde edilen komposttan yüksektir. Çalışma, her iki reaktörden oluşan ürünlerin park, bahçelerde gübre ve eski maden ocaklarının rehabilitasyonunda toprak ıslah malzemesi olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma tesisi çamuru, evsel katı atık, havalı kompostlaştırma.

Effect of organic municipal solid waste addition on wastewater treatment plant sludge composting

Abstract

In Turkey, a lot of organic solid wastes are produced in high quantities. Collection and disposal of these wastes cause important problems. A European Directive is being prepared to restrict landfills, especially for disposal of organic solid wastes. Biological treatments are the clearest alternative for the organic solid wastes. These technologies can maximise recycling and recovery of waste components. The objective of this study is to investigate applicability of aerobic composting technologies for wastewater treatment plant(WWTP) sludge, mixture of organic fraction of municipal solid waste (MSW) and WWTP sludge and the influence of addition organic fraction of MSW on WWTP sludge composting. Aerobic composting was performed in 180 l static vessels. Air was supplied with a compressor regulated using a rotameter passed through the reactors at a rate of 140 l/min. The solid wastes were unloaded from the reactor onto the floor, mixed and then loaded again on a weekly basis for homogenization. Temperatures, pH, volatile solids, moisture parameters were monitored during the experimental study. The quality of the composts produced with MSW-sludge mixture higher than sludge alone. The study has clearly shown that the products attained for both reactors can be utilized as a fertilizer in the parks, gardens and as a soil conditioner for the rehabilitation of old mines.

Keywords: Wastewater treatment plant sludge, municipal solid waste, aerobic composting.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Osman Atilla ARIKAN. arikan@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 67 85.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Farklı tipte organik katı atıkların havalı ve havasız kompostlaştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 02.10.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 04.12.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Entegre Katı Atık Yönetimi (EKAY), belirli atık yönetim gaye ve hedeflerine ulaşmak için uygun teknik, teknoloji ve yönetim programlarının seçimi ve uygulanması olarak tarif edilmektedir. EKAY'nin öncelik sırası en genel haliyle, atık azaltma, geri döndürme, atık dönüştürme, düzenli depolama olarak verilebilir (Öztürk vd., 1997).

Atık azaltmaya, genelde bütün atık yönetim sistemlerinde birinci öncelik verilmektedir. Gerçekte atık azaltma, atık yönetim sisteminin bir parçası olmaktan ziyade ön şartı konumundadır. Geri dönüşüm, entegre katı atık yönetim sisteminde ikinci öncelikli konudur. Geri dönüşüm başlıca, atık maddelerinin ayrılma ve toplanması, ayrılan maddelerin yeniden kullanım ve işlenmek üzere hazırlanması ile yeniden kullanım ve işleme faaliyetlerini kapsar. Geri dönüşüm, doğal ham madde kaynaklarına olan talebin ve düzenli depolamaya giden atık miktarının azaltılması bakımlarından büyük önem taşımaktadır. Atık dönüştürme, katı atık yönetim sisteminde üçüncü öncelikli yer alır. Bu kapsamda, atıklara fiziksel, kimyasal ve biyolojik dönüştürme prosesleri uygulanır. Böylece örneğin evsel katı atıklar için, katı atık işleme tesislerinin verimlerinin yükseltilmesi, yeniden kullanılabilir maddelerin geri kazanılması ile kompost, biyogaz, yanma ürünü enerji ve ısı gibi dönüşüm ürünlerinin geri kazanılması sağlanabilir. Yakma sistemleri organik atık miktarında en büyük hacim azalması sağlayan yaygın bir dönüştürme tekniğidir. Ancak bu yöntem düzenli depolamaya göre en az 2-3 kat daha pahalıdır. Ayrıca yakma neticesinde oluşacak hava kirliliği, gelişmiş baca gazı arıtma teknolojileri kullanılmadığı takdirde, çevreyi de olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Düzenli depolama, geri döndürülemeyen ve başka kullanım imkanı olmayan atıklara, geri kazanma tesislerinde açığa çıkan kalıntılara ve yakma tesislerinden çıkan kül ve cüruf gibi maddelere uygulanan nihai bertaraf işlemidir. Düzenli depolama, katı atık yönetiminde en az istenen ve en düşük önceliğe sahip yönetim seçeneği olarak görülmelidir. Buna rağmen, diğer uzaklaştırma teknolojilerine göre daha basit ve ucuz olması dolayısıyla, düzenli depolama bazı istisnalar hariç günümüzde en çok

kullanılan katı atık bertaraf yöntemidir. Ancak düzenli depo yerleri halkın giderek artan oranda tepkisini çekmektedir.

Avrupa Birliği, hazırlamakta olduğu yeni direktifte, organik atıkların düzenli depolama sahalarına uzaklaştırılmasını yasaklamaktadır (Mata Alvarez vd., 2000). Direktif henüz yürürlüğe girmemiş olmasına rağmen, Almanya gibi bazı Avrupa ülkeleri bu uygulamayı yönetmeliklerine koymuş, diğer birçoğu ise yönetmeliklerini kısa bir süre içinde bu direktife uygun hale getirmek için hazırlıklara başlamıştır. Türkiye'de de Avrupa Birliği ile uyum süreci çalışmalarına paralel olarak yakın bir zamanda organik atıkların depolama alanları yerine alternatif teknoloji ve sistemlerle bertarafı konusunda çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Ülkemizde organik evsel katı atıklar ile arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları organik atıklar içerisinde önemli yer tutmaktadır. İstanbul için yapılan araştırmada 2020 yılında 4.75 milyon ton katı atık oluşacağı ve bunun yaklaşık %50'sinin organik madde olacağı öngörülmektedir (Arıkan vd., 1997). Yine İstanbul'da arıtma tesislerinden 2010 yılında 620 ton KM/gün, 2040 da ise 1476.9 ton KM/gün arıtma çamuru çıkacağı tahmin edilmektedir (Sarıkaya, 2002). Önemli miktardaki bu atıkların uzaklaştırılması ve bertarafı ciddi sorun olmaktadır. Kompostlaştırma, bu atıklar için Entegre Katı Atık Yönetimi'nin bileşenlerinden birisi olan atık dönüştürmenin en önemli uygulamasıdır. Bu metot, düzenli depolamaya göre biraz daha pahalı, yakmadan ise çok ucuz bir uzaklaştırma yöntemidir. Kompostlaştırma prosesi, düzenli depolamaya gidecek katı atık miktarının azalmasını sağlama bakımından da, bütün dünyada çevre dostu bir katı atık yönetim sistemi olarak kabul edilmektedir.

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması özellikle ABD de yaygın olarak uygulanmaktadır. Ülkemizde ise organik evsel katı atıklar için bazı kompost tesisleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, evsel atıksu arıtma tesisi çamuru, organik evsel katı atık-evsel atıksu arıtma tesisi çamuru karışımı için alternatif bertaraf metodu olarak

havalı kompostlaştırma teknolojilerinin uygulanabilirliği ve evsel atıksu arıtma çamuru kompostlaştırılmasında organik evsel katı atık (EKA) ilavesinin etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Materyal ve metod

Havasız kompostlaştırma çalışmasında kullanılan materyal, evsel atıksu arıtma tesisi çamuru keki ile organik evsel katı atık(EKA)/evsel atıksu arıtma tesisi çamuru keki karışımıdır. Bu katı atıklar, Şekil 1’de şematik olarak gösterilen havalı kompost reaktörlerine doldurulmuştur. Reaktöre yerleştirilen katı atıkların bileşimi ve miktarları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Reaktörlere yerleştirilen katı atıkların bileşimi ve miktarları

Reaktör No	Katı atık bileşimi	Miktarı (kg)
1	% 100 Tuzla AAT çamur keki	113.450
2	% 67 Tuzla AAT çamur keki % 33 Organik evsel katı atık	69.210

Su muhtevasını ayarlamak için reaktörlere talaş eklenmiştir. Ayrıca, havanın reaktör içinde eşit olarak dağılmasını sağlamak amacıyla tahta parçası ve plastik dolgu malzemesi ilave edilmiştir.

Reaktörlere konulan katı atıkların özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Tuzla Biyolojik atıksu arıtma tesisi (AAT) çamurunun uçucu katı maddesi (UKM) %50, organik evsel katı atığının (EKA) ise %59’dur. Tuzla biyolojik AAT çamurunun UKM içeriği, literatürde verilen değerlerden düşüktür. Bu durum, sözkonusu arıtma tesisine derelerden su alınması nedeniyle gelen yüksek miktardaki inert (kum vb.) maddelerden kaynaklanmaktadır. Organik EKA’da Fe parametresi, Tuzla AAT çamurunda ise Cd hariç tüm ağır metal değerleri yüksektir. Tuzla AAT’nde ağır metallerin fazla olmasının nedeni, sözkonusu arıtma tesisine gelen kollektörlere çok sayıda endüstriyel deşarj olmasındandır.

Katı atıklar havalı reaktörlere yerleştirildikten sonra ısı yalıtımını sağlamak üzere kapakları kapatılmıştır. Atıkların homojenliği sağlamak ve

numune almak için atıklar haftalık periyotlarla reaktör dışına alınarak karıştırılmış ve tekrar reaktörlere yerleştirilmiştir.

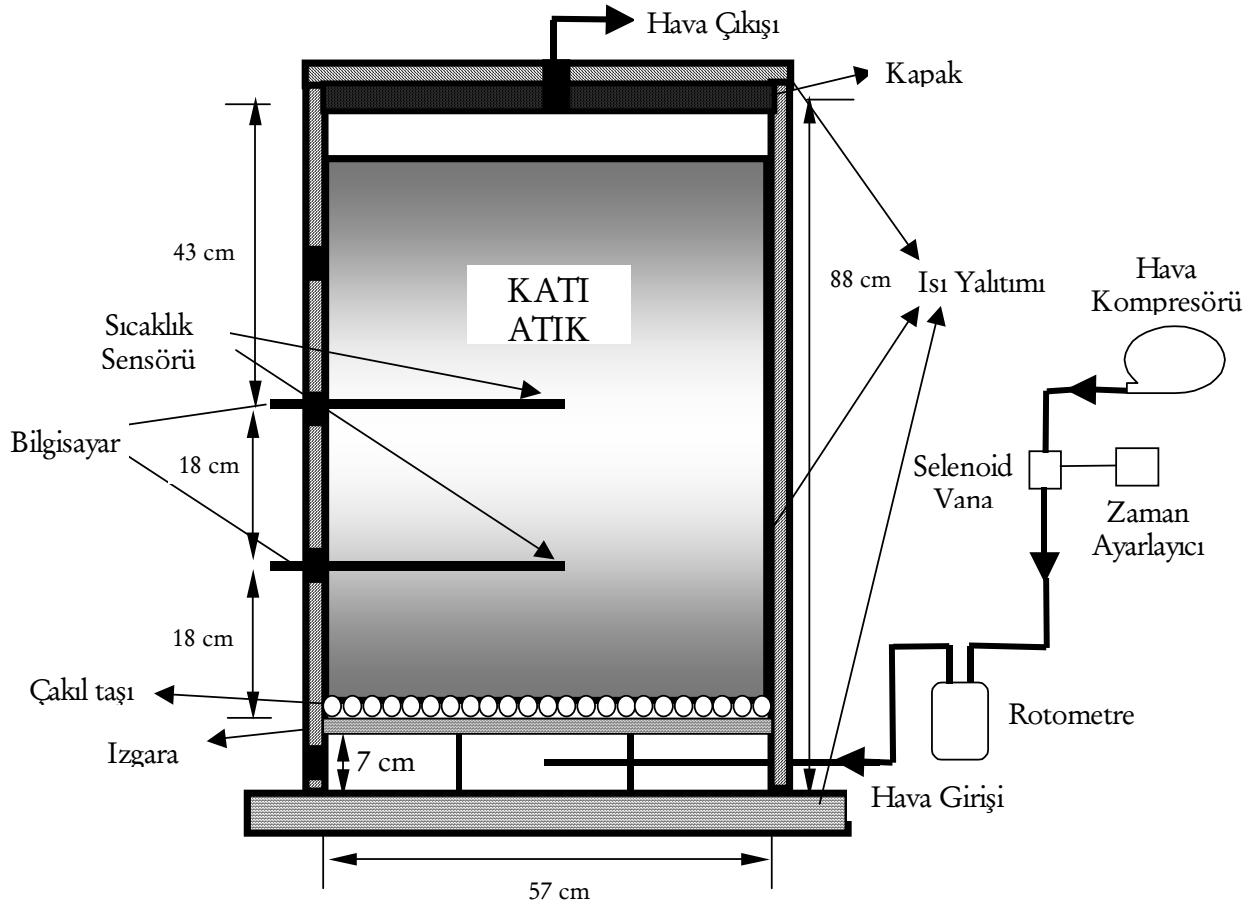
Tablo 2. Reaktörlere yerleştirilen katı atıkların özellikleri

Parametre	Organik Evsel Katı Atık	Tuzla Evsel AAT Çamuru
Uçucu Katı Madde, %	59	50
Su Muhtevası, %	84	75
C, %	30.2	27.9
N, %	1.9	2.7
C/N	15.7	10.3
TKN, g/kg	17.5	25.4
pH	7.7	7.3
Zn, mg/kg	61.4	1450.0
Fe, mg/kg	5659.2	10860.0
Mn, mg/kg	174.1	366
Cu, mg/kg	27.6	423
Ni, mg/kg	70.2	68.5
Cr, mg/kg	95.1	915.4
Cd, mg/kg	< 10	< 10
Pb, mg/kg	< 50	407.5

Havalı kompostlaştırma, kesikli reaktörde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Reaktöre hava bir kompresör vasıtasıyla debisi ayarlanarak bir rotometreden geçirilerek verilmiştir. Havalandırma, zaman ayarlayıcıya bağlı selenoid vana kullanılmak suretiyle 15 dakikada 1 dakika hava verecek şekilde yapılmıştır. Atık kütlelerinin sıcaklığını korumak, çevreyle ısı alış-verişini önlemek amacıyla reaktörün yan tarafları ve alt kısmı yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Havanın atığın içine homojen olarak dağılmasını sağlamak için, reaktör tabanından 7cm yükseklikte ızgara koyulmuştur. Izgaranın üzerine de çakıl tabakası yerleştirilmiştir. Havalı kompostlaştırma reaktörü, polietilen malzemeden imal edilmiştir.

Reaktörün iç çapı 570mm, et kalınlığı 10mm ve yüksekliği 880mm’dir. Faydalı hacmi ise 180 litredir.

Deneysel çalışma periyodu süresince, ölçülen parametrelerin ölçme sıklığı ve ölçme yöntemi/ aleti Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Tablo 3. Deneysel çalışma/izleme programı

Parametre	Ölçme Sıklığı	Ölçme Yöntemi/Aleti
Sıcaklık	10 dakikada bir	On-line (bilgisayar kontrollü)
pH	Haftada bir	SSSA, 1996
UKM	Haftada bir	SSSA, 1996
C, N	Haftada bir	Hewlett Packard CHN Cihazı
Su muhtevası	Haftada bir	APHA, 1998
Ağır metaller	Başta ve sonda	APHA, 1998
Fekal koliform	Başta ve sonda	APHA, 1998

Deneysel çalışma sonuçları

Reaktörlere yerleştirilen karışımların özellikleri

Havalı kompostlaştırma reaktörlerine yerleştirilen karışımların özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tuzla AAT çamuru konulan 1 nolu reaktörde, eklenen talaşdan ötürü uçucu katı maddede ve C'da önemli bir artış, su muhtevasında da azalma görülmektedir. Tuzla AAT ile organik EKA'nın karıştırıldığı 2 nolu reaktörde ise uçucu katı madde, C ve su muhtevası parametreleri, 1 nolu reaktörden yüksektir. Her iki reaktörde su muhtevası %70 seviyelerinde olup, uygun aralığın üst seviyesindedir. pH değerleri 8.0 civarındadır. Tuzla AAT çamuru reaktöründe, çamurdan kaynaklandığı üzere ağır metal içerikleri yüksek olup, 2 nolu reaktörde çamura organik EKA ilavesiyle bu değerler biraz azalmıştır.

Sıcaklık

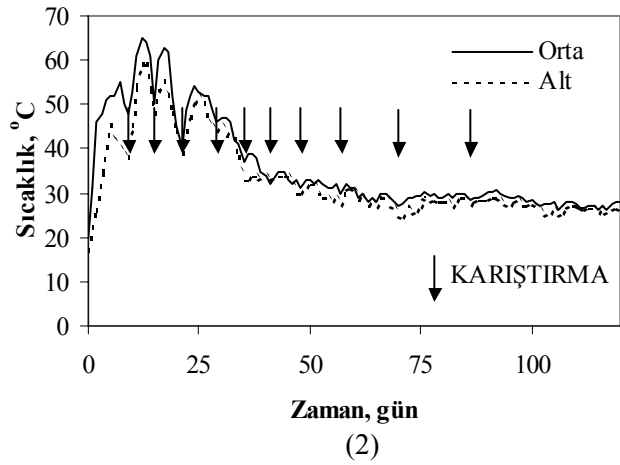
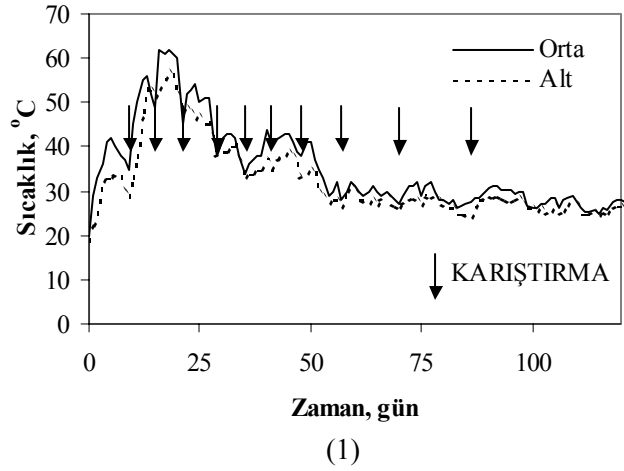
Havalı kompostlaştırma süresince reaktörlerin üst seviyesinden itibaren 43cm (orta) ve 61cm (alt) derinliklerinde 10 dakika aralıklarla bilgisayar kontrollü olarak sıcaklık ölçülmüş, bunların günlük ortalamaları alınarak elde edilen sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Reaktörlere yerleştirilen karışımların özellikleri

Parametre	Reaktör no	
	1	2
Uçucu Katı Madde, %	64	67
Su Muhtevası, %	68	71
C, %	33.1	33.9
N, %	2.0	1.8
C/N	16.6	18.8
TKN, g/kg	18.2	14.5
pH	7.9	8.0
Zn, mg/kg	1147.7	861.9
Fe, mg/kg	9269.6	8665.1
Mn, mg/kg	252.1	221.5
Cu, mg/kg	317.1	245.2
Ni, mg/kg	61.2	58.8
Cr, mg/kg	700.2	528.0
Cd, mg/kg	< 10	< 10
Pb, mg/kg	280.9	236.1
Fekal Koliform (CFU/gr yaş numune)	3.5×10^5	2.6×10^5

Sıcaklık, prosesin bir fonksiyonu olup, kompostlaştırmada önemli rol oynamaktadır. Biyolojik aktivite sonucu ısı açığa çıkması nedeniyle reaktördeki sıcaklıklarda hızlı bir artış görülmektedir. 1 nolu reaktörde çalışmanın başlangıcından itibaren sıcaklık 40 lı, 2 nolu reaktörde ise 50 li değerlere ulaşmıştır. İlk karıştırmadan sonra 2 nolu reaktörde 60°C'nin üstüne çıkmıştır. 1 nolu reaktörde ise ancak ikinci karıştırmadan sonra 60°C'li seviyelere gelinmiştir. Üçüncü karıştırmadan sonra reaktörler benzer seyir izlemekle birlikte, 1 nolu reaktörde 40. ila 60. günler arasında sıcaklık daha yüksek seyretmiş ve ayrışma süresi daha uzun zaman almıştır. Sıcaklık artışıdaki gecikmenin, ağır metal içeriğinin ve zor ayrışan kısımların yüksek olmasından dolayı, mikroorganizmaların alışma evresinin fazla olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Maksimum sıcaklık 1 nolu reaktörde ikinci karıştırmadan sonra(16. günde) 62°C, 2 nolu reaktörde birinci karıştırmadan sonra(12. günde) 65 °C olarak elde edilmiştir. Deney süresince, reaktördeki atıkların karıştırılmasından sonra sıcaklıkta bir düşüş ve arkasından kısa bir süre içerisinde yükselme gözlenmiştir. Sıcaklıktaki düşüşün nedeni, atığın reaktörden dışarı alınmasıyla birlikte atık kütesinin

ortamın sıcaklığı ile aynı olmasından dolayıdır. Sıcaklıktaki yükselişin nedeni ise katı partiküllerin parçalanması ve mikrobiyal faaliyet için büyük yüzey alanlarının ortaya çıkmasıdır. Prosesin sonuna doğru ise hızlı ayrışabilir organik madde azaldığından sıcaklıklar düşmeye başlamıştır. Çalışmanın sonunda sıcaklık reaktörlerde 25-30°C arasında değişmiştir.



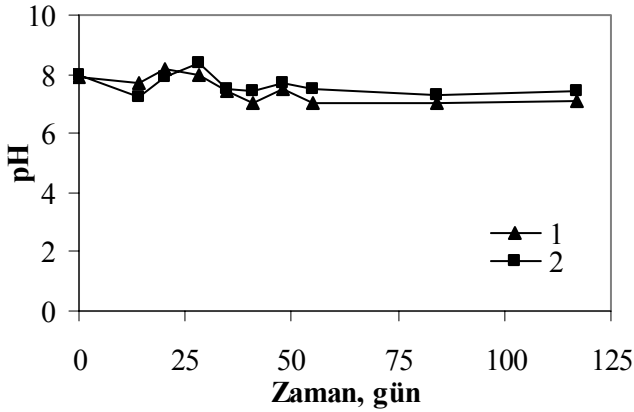
Şekil 2. Reaktörlerdeki sıcaklığın zamana göre değişimi

Havali kompostlaştırma prosesinde patojen giderimini sağlamak için, sıcaklığın 2-3 gün süresince 60°C'yi geçmesi istenmektedir (USEPA, 1995). Her iki reaktörde de USEPA tarafından istenen bu şart sağlanmıştır.

pH

Çalışmanın başlangıcından sonra reaktörlerdeki pH bir miktar azalmıştır (Şekil 3). Epstein (1997),

bu azalmanın organik asitlerin oluşumundan kaynaklandığını belirtmiştir. Reaktörlerdeki pH'nın değişimi paralellik göstermektedir. Başlangıçta 8 seviyelerindeki pH bir miktar azalmış, sonra bir miktar arttıktan sonra tekrar azalarak nötr seviyelerde kalmıştır. pH, reaktörlerde 7 ila 9 arasında değişmiştir. Bu durum, sistemin yeterli derecede havalandırıldığını, diğer bir ifadeyle anaerobik ortam koşullarının oluşmadığının bir göstergesidir.



Şekil 3. Reaktörlerdeki pH'nın zamana göre değişimi

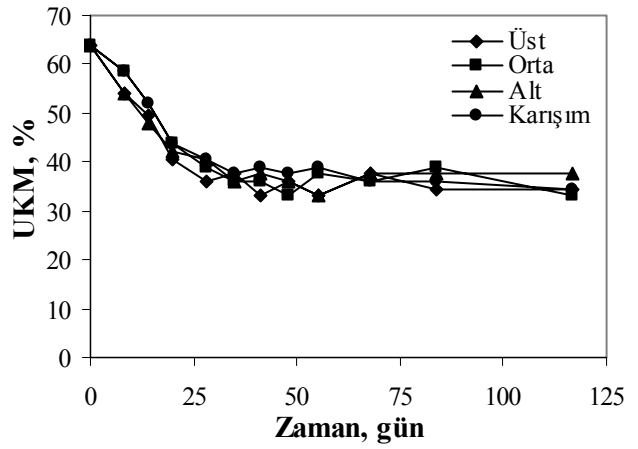
Uçucu katı madde (UKM)

Havali kompostlaştırma süresince reaktörlerin farklı noktalarındaki (üst, orta, alt ve karışım) uçucu katı maddenin zamana göre değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Reaktör içeriğinin haftada bir karıştırılmasından dolayı reaktör boyunca UKM değerlerinde önemli bir farklılık yoktur. Çalışmanın ilk 3-4 haftasında kolay ayrışabilir organik maddeler hızla azalmış ve UKM'nin büyük bir kısmı bu süre içerisinde giderilmiştir. Yavaş ayrışabilir organik maddelerin ayrışması oldukça uzun zaman gerektirdiğinden sonraki safhalarda UKM'de elde edilen azalma düşüktür. Buna göre, 1 ve 2 nolu reaktörlerde başlangıçtaki kuru maddeye göre sırasıyla 55. günde %39 ve %49, 117. günde %46 ve %53 lük UKM giderimi gerçekleşmiştir.

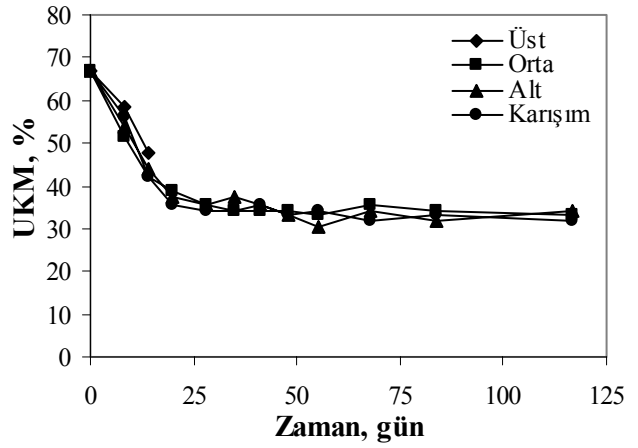
C/N oranı

Reaktörlerdeki başlangıç C/N oranı 1 nolu reaktörde 16.6, 2 nolu reaktörde 18.8 dir (Şekil 5). C/N oranı zamanla sırasıyla 11.6 ve 12.1 seviyelerine azalmıştır. Her iki reaktörde de C/N

oranında ilk 3-4 haftada hızlı bir azalma olduğu, sonraki zamanlarda ise önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

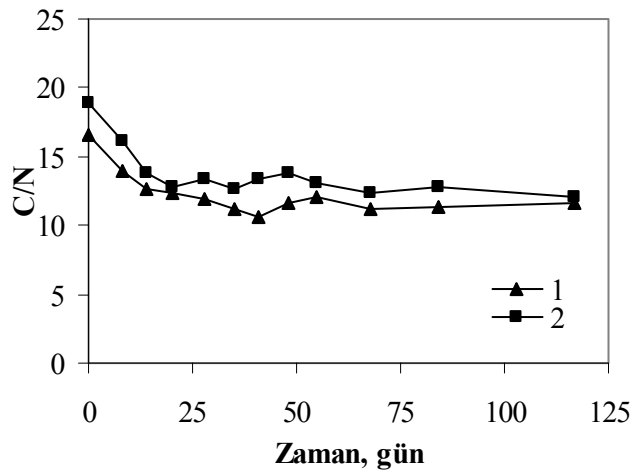


(1)



(2)

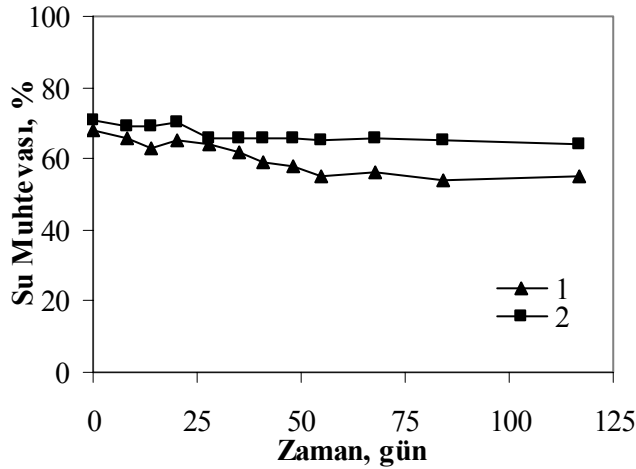
Şekil 4. Reaktörlerdeki UKM'nin başlangıçtaki kuru maddeye göre değişimi



Şekil 5. Reaktörlerdeki C/N oranının zamana göre değişimi

Su muhtevası

Reaktörlerdeki karışım numuneleri su muhtevasının zamana göre değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Su muhtevası 1 ve 2 nolu reaktörlerde sırasıyla %68 ve %71 dir. Bu değerler bir miktar yüksek olmakla birlikte, kompostlaştırmanın devam etmesi için gerekli aralığın üst sınırında kalmaktadır. Bütün reaktörlerde ilk 3-4 haftada su muhtevası başlangıç seviyesi civarındadır. Bunun nedeni uçucu katı maddenin azalmasından kaynaklanan azalma ile su kaybının yaklaşık olarak aynı olmasındandır. Ancak, özellikle 4. haftadan sonra reaktörlerdeki uçucu katı madde kaybı nispeten azaldığından, su muhtevasında azalma görülmüştür. Havalı kompostlaştırma reaktörlerindeki su muhtevası çalışma süresince kompostlaştırmanın sağlıklı şekilde yürümesi için gerekli aralıkta (%40-70) olmuştur. Bu nedenle herhangi bir su ilavesi yapılmamıştır. Reaktörlerdeki su muhtevasındaki azalma çalışma sonunda 1 nolu reaktörde %13, 2 nolu reaktörde ise %7 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6. Reaktörlerdeki su muhtevasının zamana göre değişimi

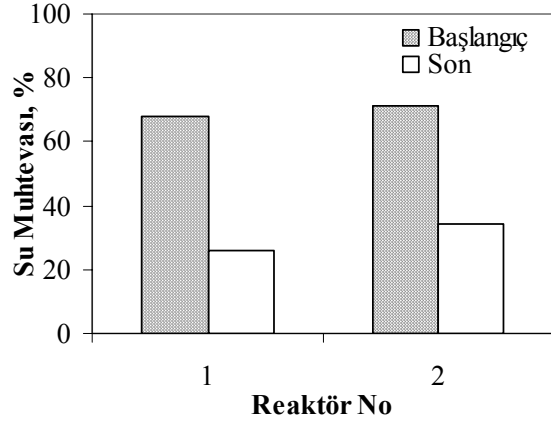
Bununla birlikte çalışma sonundaki su muhtevası, başlangıçtaki su muhtevasına göre hesaplanmıştır (Şekil 7). Buna göre 1 nolu reaktörde başlangıca göre su kaybı %62, 2 nolu reaktörde ise %52'dir.

Kinetik

Hamoda ve diğerleri (1998) organik maddenin ayrışmasının 1. derece kinetikle;

$$dC/ dt = - k C \quad (1)$$

şeklinde açıklanabileceğini belirtmiştir. Burada, C; toplam organik karbon (kg), t; zaman (gün), k ise reaksiyon hız sabiti (gün^{-1}) olarak ifade edilmiştir.



Şekil 7. Reaktörlerdeki başlangıç ve sondaki su muhtevası değerleri (başl. su muhtev. göre)

Haug (1993), farklı substratlar için reaksiyon kinetiğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, kompleks substratların ayrışma hızları farklı organik maddeleri içerdiğini belirtmiştir. Bu nedenle substratları hızlı ve yavaş olarak ayırmanın ve herbir kısmın kinetik sabitlerini ayrı olarak kullanmanın oldukça iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Tosun (2003) gül posasının havalı kompostlaştırılmasında ilk 30 günde hızlı bir ayrışma gerçekleştiğini, sonrasında daha yavaş bir ayrışma olduğunu ortaya koymuş ve ayrışmayı iki kademeye ayırmıştır.

Bu çalışmada, havalı kompostlaştırma deney sonuçlarından elde edilen toplam karbonun zamanla değişimi, 1. derece reaksiyon kinetiğine göre değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, Haug tarafından belirtildiği üzere, substratlar hızlı ve yavaş olarak ayrılmış ve herbir kısmın kinetik sabitleri ayrı ele alınmıştır. Bu nedenle ilk 28 günde ayrışan kısım hızlı, sonrası yavaş olarak ayrılmış, iki kısmın hız sabitleri ayrı olarak ortaya konmuştur. Elde edilen hız sabitleri ile korelasyon katsayıları Tablo 5'te özetlenmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, özellikle hızlı kısmın korelasyonu oldukça yüksek (0.9232-

0.9554), yavaş kısmın korelasyonu ise nispeten düşük (0.6244-0.6932) tür.

Tablo 5. Hız sabitleri ve korelasyon katsayıları

Kısım	Reaktör no			
	1	2	1	2
	k, gün ⁻¹	R ²	k, gün ⁻¹	R ²
Hızlı	0.0173	0.9554	0.0235	0.9232
Yavaş	0.0008	0.6244	0.0017	0.6932

Ürün stabilite ve olgunluğu

C/N oranı uzun yıllardır stabilite ve olgunluğun belirtisi olarak kullanılmıştır. Keller (1961) tarafından, 20' nin altındaki oranlar, stabil kompost olarak ifade edilmiştir. de Baere ise bu sınırı 18 olarak ortaya koymuştur (de Baere vd., 1985). 1 ve 2 nolu reaktörlerdeki ürün C/N oranları sırasıyla 11.6 ve 12.1 dir. Buna göre reaktörlerden elde edilen kompostun stabil olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, C/N oranı parametresinin kullanımı bazen yanıltıcı olabilmektedir. Örnek olarak ligninin C içeriği yüksek olmakla birlikte, mikroorganizmalar için iyi bir besi kaynağı değildir (Aydın ve Kocasoy, 2002). Ayrıca özellikle arıtma çamuru kompostlaştırılmasında başlangıç C/N oranı 18 in altında olabilmektedir. Bu nedenle, bu parametrenin yanında başka parametrelerin de kullanılması önerilmiştir. Morel ve diğerleri (1985), Jimenez ve Garcia (1989), Aydın ve Kocasoy (2002), Tosun (2003) gibi araştırmacılar stabilizasyon göstergesi olarak $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ parametresini kullanmışlardır. Jimenez ve Garcia, $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerinin farklı kompostlaştırma süreleri için, 0.49 ila 0.85 arasında değiştiğini göstermiştir. Aydın ve Kocasoy tarafından yapılan çalışmada $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ oranı 0.55-0.7, Tosun tarafından ise 0.45-0.6 aralığında bulunmuştur. Bu çalışmada, 1 ve 2 nolu reaktör kompost ürünlerindeki $(C/N)_{\text{son}}/(C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerleri 0.70 ve 0.64 olup, Aydın ve Kocasoy ile Tosun'un ortaya koyduğu değerlerden bir miktar yüksek olmakla birlikte, Jimenez ve Garcia tarafından elde edilen değerlerle uyum göstermektedir.

Kompost kalitesi ve mevzuat açısından değerlendirmesi

Çalışma sonunda reaktörlerden elde edilen kompost ürününün özellikleri Tablo 6'da gösteril-

miştir. Reaktörlerdeki ürün ağır metal konsantrasyonları başlangıç değerleriyle karşılaştırıldığında genelde arttığı görülmektedir. Bu artış, uçucu katı maddedeki azalmadan kaynaklanmaktadır. Reaktörlerde başlangıçta önemli miktarda fekal koliform bulunmakta iken havalı kompostlaştırma prosesindeki sıcaklık yükselmesi ile fekal koliform tamamen giderilmiştir. Reaktörlerden elde edilen kompostun toprakta kullanılabilmesi için 10.12.2001 tarih ve 24609 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (TKKY) Madde 8, 9 ve 10'da verilen sınırlamaları sağlaması gerekmektedir. Reaktörlerdeki UKM madde içerikleri TKKY Madde 10'da belirtilen kompostta olması istenen minimum %35 oranından yüksektir. Su muhtevası ise %55 ve 64 dür. TKKY Madde 10'da piyasaya sürülen kompostun su muhtevası oranının %50'yi geçmemesi istenmektedir. Dolayısıyla, reaktörlerdeki kompost son ürününün su muhtevasının azaltılması gerekmektedir. Özellikle ABD'de, arıtma çamurundan kompost elde edilen tesislerde kurutma yapılarak su muhtevasının düşürülmesi yaygın bir uygulamadır. TKKY'de C/N oranının 35 den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarla cereyan edebilmesi için kompostta azot beslemesinin yapılması istenmektedir. Bu çalışmadan elde edilen kompostlarda C/N oranı 35'den küçük olduğundan azot ilavesine gerek yoktur.

Reaktörler arıtma çamuru içerdiğinden, TKKY Ek II'deki kompostun kendisinde müsaade edilen maksimum konsantrasyonlarla ilgili sınırlamaları sağlaması gerekmektedir. Reaktörlerden elde edilen kompostdaki ağır metal muhtevaları, yönetmelikteki sınır değerleri ve ABD EPA limitleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 7'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere her iki reaktör ürünü TKKY limitlerini sağlamasına rağmen, 1 nolu reaktör Cd konsantrasyonu EPA sınır değerlerinin üstünde kalmaktadır. Ayrıca Ek I-A'da verilen topraktaki sınır değerleri ile Ek III'deki bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınırlamalarına kompostlar toprağa uygulanırken uyulması gerekmektedir.

Tablo 6. Kompost ürünü özellikleri

Parametre	Reaktör no	
	1	2
Uçucu Katı Madde, %	49	49
Su Muhtevası, %	55	64
C, %	25.5	25.4
N, %	2.2	2.1
C/N	11.6	12.1
TKN, g/kg	17.3	16.9
pH	7.1	7.4
Zn, mg/kg	1334.5	888
Fe, mg/kg	11161.1	12894.2
Mn, mg/kg	312.6	368.3
Cu, mg/kg	370.4	393.1
Ni, mg/kg	37.9	44.6
Cr, mg/kg	635.8	625.7
Cd, mg/kg	< 10	< 10
Pb, mg/kg	372	240.2
Hg, mg/kg	< 5	< 5
Fekal Koliform (CFU/gr yaş num.)	0	0

Tablo 7. Reaktörlerden elde edilen kompost ağır metal muhtevalarının TKKY Ek II ve EPA limitleriyle karşılaştırılması (mg/kg)

Ağır Metal	Reaktör no		TKKY, Ek II	ABD, EPA 503
	1	2		
Kurşun	372	240.2	1200	300
Kadmiyum	< 10	< 10	40	39
Krom	635.8	625.7	1200	-
Bakır	370.4	393.1	1750	1500
Nikel	37.9	44.6	400	420
Çinko	1334.5	888	4000	2800
Civa	< 5	< 5	25	17

Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çalışma arıtma tesisi çamuru ile organik evsel katı atık-arıtma çamuru karışımının havalı olarak kompostlaşabilirliğinin uygulanabilirliğini ortaya koymuştur.
- Havalı kompostlaştırma deney sonuçlarından elde edilen toplam karbonun zamanla değişimi, 1. derece reaksiyon kinetiğine uymakta olup, kinetik katsayıların korelasyonları yüksektir.

- Organik EKA-çamur karışımından elde edilen kompost kalitesi sadece çamurdan elde edilen komposttan daha yüksektir.
- Çalışma, her iki reaktörden oluşan ürünlerin park, bahçelerde gübre ve eski maden ocaklarının rehabilitasyonunda toprak ıslah malzemesi olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Kaynaklar

- APHA., (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th Ed., Washington D.C
- Arıkan, O., Demir, İ., Demir, A., Öztürk, İ., İnanç, B., Öztürk ve M., Tuyluoğlu, B.S., (1997). Changes in MSW quality and influence on waste management in Istanbul Metropolitan City, *Proceedings, Sixth International Landfill Symposium, Sardinia, İtaly.*
- Aydın, G.G. ve Kocasoy, G., (2002). Investigation of appropriate initial composting and aeration method for co-composting of yard waste and market wastes, *Proceedings, Appropriate environmental and solid waste management and technologies for developing countries, ISWA' 2002 Dünya Çevre Kongre ve Fuarı, 1277-1284, İstanbul.*
- De Baere, L., Verdonc, O. ve Verstrate, W., (1985). High rate dry anaerobic composting process for the organic fraction of solid waste, *Proceedings, Biotechnology and Bioengineering Symposium, 321-330.*
- Epstein, E., (1997). *The Science of Composting*, Technomic Publishing Company, Inc., PA, USA.
- Hamoda, M.F., Abu Qdais, H.A. ve Newham, J., (1998). Evaluation of municipal solid waste composting kinetics, *Resources, Conservation and Recycling*, **23**, 4, 209-223.
- Haug, R.T., (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, Florida, USA.
- Jimenez, E.I. ve Garcia, V.P., (1989). Evaluation of city refuse compost maturity, *Biol. Wastes*, **27**, 115-142.
- Keller, P., (1961). Methods to evaluate maturity of compost, *Compost Sci.*, **2**, 7, 20-26.
- Mata Alvarez, J. Mace, S. ve Llabres, P., (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. an overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, **74**, 1, 3-16.
- Morel J.L., Colin, F., Germon, J.C., Godin, P ve Juste, C., (1985). *Methods for the evaluation of*

- the maturity of municipal refuse compost*, Ed. Glasser, J. K. R., In *Composting of Agricultural and Other Wastes*, pp. 56-72, Elsevier Applied Sci. Pub., New York.
- Öztürk, İ., Arıkan, O.A., Baştürk, A., Tüylüoğlu, B.S. ve Öztürk, M., (1997). İstanbul'un katı atık yönetimi, *Çevre ve Toplum Sempozyumu*, 12-13 Nisan, İstanbul.
- Sarıkaya, H. Z., (2002). Master Plana Göre İstanbul'da arıtma çamurlarının yönetimi ve kontrolü, Türk-Alman atıksu arıtma çamurlarının yönetimi ve kontrolü semineri, 30 Ekim-1 Kasım 2002, İstanbul.
- SSSA, (1996). *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods*, Part 3., Eds. Sparks, D.L., American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, (2001). 10.12.2001 tarih ve 24609 sayılı Resmi Gazete, Çevre Bakanlığı, Ankara.
- Tosun, İ., (2003). Gül işleme posasının evsel katı atıklarla birlikte kompostlaşabilirliği, *Doktora Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- U.S.E.P.A., (1995). A Guide to the Biosolids Risk Assessment for the EPA Part 503 Rule, *U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management*, EPA832-B-93-005.