

Anaerobik yöntemle stabilize edilen kentsel nitelikli arıtma çamurlarının nihai bertaraf açısından değerlendirilmesi

Ayşe FİLİBELİ*, Gülbin ERDEN

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kaynaklar Kampüsü, 35160, Buca, İzmir

Özet

Bu çalışma, anaerobik yöntemle stabilize edildikten sonra mekanik su alma işlemlerinde susuzlaştırılan kentsel nitelikli arıtma çamurlarının düzenli katı atık depolama tesislerinde bertaraf edilebilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla yürütülmüştür. Atıkların düzenli depolama tesislerine depolanabilme kriterleri, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2005), EK-11 A kapsamında yer alan eluatta çözünmüş organik karbon (ÇOK) ve orijinal atıkta toplam organik karbon (TOK) parametreleri yüksek organik madde içeriğine sahip kentsel nitelikli arıtma çamurları için önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında İzmir'de bulunan bir kentsel atıksu arıtma tesisinden alınan biyolojik çamurlar mezofilik sıcaklık koşullarında anaerobik olarak stabilize edilmiştir. Anaerobik çürütme çalışmaları, laboratuvar ortamında kurulan 8.5 L hacimli iki reaktörün farklı çamur alıkonma sürelerinde 30 gün süreyle işletimi ile yürütülmüştür. Anaerobik olarak çürütülen çamurların mekanik su alma işlemlerindeki performansları bir belt-press simülatörü ile tayin edilmiştir. Laboratuvar ortamında elde edilen çamur keklerinde yapılan analizler ile anaerobik çürütme sonrasında mekanik yöntemle susuzlaştırılan çamurların düzenli depolama tesislerine depolanabilirlikleri eluatta ÇOK ve orijinal atıkta TOK parametreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, anaerobik yöntemle stabilize edildikten sonra mekanik olarak susuzlaştırılan çamurların kek katı madde içeriklerinin düşük olması sebebiyle mekanik su alma işlemi öncesinde şartlandırma işlemine tabi tutulması gerektiğini ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra anaerobik yöntemle stabilize edilmiş çamur keklerinin EK-11 A'da belirtilen TOK standartları uyarınca inert atık sınıfında yer aldığı ancak ÇOK standart değerleri uyarınca tehlikeli atık sınıfında yer aldığı ve evsel katı atık düzenli depolama tesislerinde bertarafının uygun olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik çürütme, biyolojik çamur, düzenli depolama, mekanik su alma, nihai bertaraf.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ayşe FİLİBELİ E-posta: ayse.filibeli @deu.edu.tr; Tel: (232) 453 10 08.
Makale metni 15.07.2010 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 08.08.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 28.02.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Final disposal evaluation of anaerobically stabilized municipal treatment plant sludge

Extended abstract

The main by-product of municipal wastewater treatment of waste activated sludge (WAS) has been increasing worldwide as a result of an increase in the amount of wastewater being treated. The sludge should be processed and disposed of in accordance with the environmental health criteria for environmental reasons. The main objectives of sludge treatment and disposal are stabilization of the organic matter contained in the sludge, reduction in the volume of sludge for disposal by removing some of the water, destruction of pathogens, collection of by-products, which may be used or sold to off-set some of the costs of sludge treatment, and disposal of sludge in a safe and aesthetically acceptable manner (Scholz, 2006). For many authorities and engineers, the effective sludge management is still a big challenge since the investment and operational costs (Metcalf & Eddy, 2003). Treatment and disposal of excess sludge in a biological wastewater treatment system requires enormously high cost which has been estimated to be 50–60% of the total expense of wastewater treatment plant (Egemen et al., 2001; Yasui, 1996). Sludge stabilization is an important issue in sludge management field for effective reduction of organic matter, removal of pathogen and odor potential. For this purpose, alkaline stabilization, aerobic and anaerobic stabilization, aerobic thermophilic digestion, and composting are introduced. Among these methods, anaerobic digestion has been widely used with its many advantages. The main advantages of anaerobic digestion in comparison with other processes are; the lower energy requirement, the production of biogas and the lower production of excess sludge including efficient degradation of biodegradable particulate organic matters in sludge (Novak et al., 2003; Speece, 1996). Mechanical dewatering processes have been widely used for reduction in the volume of sludge for disposal by removing some of the water (Scholz, 2006). Mechanical dewatering processes like centrifuging, belt filter press, and filter press reduce the total volume of sludge even further so reducing the ultimate transportation cost of disposal. The resultant sludge is a solid, not a liquid, and so can be easily handled by conveyers or tractors although experience has shown that the dried sludge, known as cake, is more easily handled at solids concentra-

tions of >20%. Its solid nature makes it suitable for many more disposal options than liquid sludge (Gray, 2005). This study was carried out for evaluation of final disposal of anaerobically stabilized sludge after mechanical dewatering in a municipal solid waste landfill area. Total organic carbon (TOC) in sludge cake and dissolved organic carbon (DOC) in eluate are important parameters for treatment plant sludge contained high organic matter in terms of Turkish Hazardous Waste Control Regulation, THWR EK- 11 A, 2005.

In this study, anaerobic stabilization was applied to biological sludge samples. The samples were taken from a municipal wastewater treatment plant located in Izmir, Turkey. Anaerobic sludge digestion studies were carried out using two 8.5 L lab-scale anaerobic reactors. The reactors were operated as semi batch system in mesophilic conditions at 37 ± 2 °C for 30 days of operation period. Different sludge retention time of 5 days and 10 days were used in digestion study. For evaluation of anaerobic digestion performance of reactors, total solids (TS), organic matter (OM), suspended solids (SS), and volatile suspended solids (VSS) were analyzed regularly. Daily methane productions in reactor content were also measured during the operation period. The belt press simulator of crown press was used for evaluation of mechanical dewatering properties of sludge. For final disposal evaluations of dewatered sludge in a municipal solid waste landfill area, TOC parameter in sludge cake obtained from crown-press application and DOC parameter in eluate samples were analyzed regularly during the operation period.

Results indicated anaerobic digestion is an effective method for sludge's solids reduction and it leads to decrease organic matter content of sludge. In contrast, anaerobic digestion has not a positive effect on increasing cake solids and some conditioning processes are required before mechanical dewatering operations. In addition, final sludge cake is classified as inert material based on the TOC parameter but it is classified as hazardous waste based on the DOC parameter according to Turkish Hazardous Waste Control Regulation, THWR EK- 11 A, 2005 and it can not be storage in a municipal solid waste landfill area for final disposal purpose.

Keywords: Anaerobic digestion, biological sludge, landfilling, mechanical dewatering, final disposal.

Giriş

Aritma uygulamaları sonucunda oluşan çamurun biyolojik arıtma sistemlerinde arıtımı ve bertaraf edilmesi toplam atıksu arıtma maliyetinin yaklaşık olarak yarısını oluşturmaktadır (Egemen vd., 2001; Yasui vd., 1996). Çamur miktarının kaynağında azaltılması, taşıma maliyetinin minimize edilmesi ve bertaraf işlemlerinin kolaylaşması açısından oldukça önemlidir. Aritma çamurlarının arazide depolanarak nihai bertarafı yapılacaksa, nihai bertaraf öncesinde yaratabilecekleri problemlerin en aza indirilmesi amacıyla arıtılması gerekmekte olup, çamurun stabilizasyonu çamur arıtımında karşılaşılan en büyük problemlerden biridir (Spinosa, 2007). Anaerobik çürütme, çamur stabilizasyonu için kullanılan en eski proseslerden biridir. Bu proses moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması olarak tanımlanmaktadır. Anaerobik çürütme prosesi; hidroliz, fermentasyon ve metanlaşma olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır. Bu proseste organik maddeler biyolojik olarak parçalanarak son adımda CO₂ ve CH₄'e dönüşmektedir (Filibeli, 1998). Anaerobik çürütme prosesinin en önemli avantajı çamurun stabilize edilerek organik madde içeriğinin azaltılması ve *biyokatı* adı verilen çevreye zararsız ve kolaylıkla susuzlaştırılabilen bir maddeye dönüştürülmesidir (Dentel, 2001). Anaerobik çürütme prosesinin diğer avantajları ise düşük enerji gereksinimi, düşük çamur oluşumu ve anaerobik çürütme uygulamasının son ürünü olan biyogazın bünyesindeki metanın enerji eldesi amacıyla kullanılabilmesidir (Novak vd., 2003; Speece, 1996). Santrifüjleme, belt filtre ve plakalı pres filtre gibi mekanik su alma işlemleri çamur suyunun alınarak çamur hacminin azaltılması amacıyla

yaygın olarak kullanılmaktadır (Scholz, 2006). Mekanik su alma işlemi çamurun nihai bertaraf alanına taşınma maliyetinin azaltılması ve nihai bertaraf işlemlerinin kolaylaştırılması açısından oldukça önemlidir (Gray, 2005). Anaerobik olarak çürütülen çamurların nihai olarak düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilebilmesi için şu anda ülkemizde yürürlükte olan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde (TAKY, 2005) yer alan atıkların düzenli depolama tesislerine depolanabilme kriterlerini sağlaması gerekmektedir. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre atıklar; inert, tehlikesiz ve tehlikeli olmak üzere üç sınıfta toplanmıştır (Tablo 1). Daha önce yapılmış olan çalışmalar ülkemizde evsel nitelikli atıksuları arıtmakta olan aktif çamur tesislerinden kaynaklanan atık çamurlarda toplam organik karbon (TOK) ve çözülmüş organik karbon (ÇOK) parametrelerinin katı atık depolama alanlarında düzenli depolama açısından öngörülen seviyede sağlanmadığını ve bu atık çamurların "Tehlikeli Atık" kategorisine girdiğini göstermiştir (Eldem vd., 2006; Uk vd., 2005). Kentsel nitelikli arıtma çamurlarında yüksek organik madde içeriğine bağlı olarak elde edilen yüksek TOK ve/veya ÇOK (eluatta) değerleri çamurların depolama alanlarına kabulünü imkânsızlaştırmakta ve nihai bertaraf öncesinde çamurdaki organik madde içeriğinin azaltılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kapsamında İzmir'de bulunan bir kentsel atıksu arıtma tesisinden alınan biyolojik çamurlar mezofilik sıcaklık koşullarında anaerobik olarak stabilize edilmiştir. Çamurların anaerobik çürütme performansları, stabilizasyon sonrasında mekanik olarak susuzlaştırma

Tablo 1. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek-11A'da verilen atık sınıflandırması

Eluat Kriterleri L/S=10 L/kg	İnert Atık	Tehlikesiz Atık	Tehlikeli Atık
DOC (çözülmüş organik karbon) ⁽¹⁾ , mg/L	≤ 50	50-80	<80-100
Orijinal atıkta bakılacak kriterler			
TOC (toplam organik karbon), mg/kg	≤30000 (%3)	50000 (% 5)- pH ≥ 6 ⁽²⁾	60000 (%6)

⁽¹⁾ DOC limit değeri atığın kendi pH değerinde sağlanamıyorsa, pH 7.5 – 8.0 değerinde test tekrarlanmalı ve limit değerin aşılmadığı tespit edilmelidir.

⁽²⁾ Tehlikesiz jips bazlı atıkların evsel atık düzenli depolama sahalarında çözünebilir atıkların kabul edilmediği ayrı bir hücrede depolanması gerekir. Jips bazlı atıklarla birlikte depolanacak atıkların bu limitleri sağlaması gerekir.

performansları laboratuvar ortamında yürütülen deneysel çalışma ile belirlenmiştir. Mekanik su-suzlaştırma sonrasında elde edilen çamur keklerinin düzenli depolama tesislerinde depolanabilirlikleri ise eluatta çözülmüş organik karbon (ÇOK) ve orijinal atıkta toplam organik karbon (TOK) parametreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Materyal ve yöntem

Çamur özellikleri

Deneysel çalışma kapsamında anaerobik çürütme prosesi, İzmir’de bulunan bir kentsel atıksu arıtma tesisinin son çökeltim havuzu çıkışından alınan atık aktif çamur örneklerine uygulanmıştır. Reaktörlerin devreye alınması aşamasında aşı çamur olarak kullanılan granüler anaerobik çamur ise bira endüstrisi atıksularının arıtıldığı tam ölçekli bir yukarı akışlı havasız çamur yataklı (UASB) reaktörden alınmıştır. Aktif çamur ve aşı çamurunun özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Anaerobik çürütme çalışmaları

Anaerobik çürütme çalışmaları laboratuvar ölçekli 8.5 L hacimli anaerobik reaktörler kullanılarak yürütülmüştür. Reaktörler ısıtılmalı ve otomatik karıştırıcıya sahip, PLC ünitesi ile kontrol edilen reaktörler olup; reaktörlerin içeriğindeki sıcaklık reaktörlerin etrafındaki ısı transfer ceketini ile sabitlenmiştir. Reaktörler sıvı transfer sistemiyle biyogaz ölçümüne olanak veren düzeneğe sahiptir. Reaktörler farklı işletim koşullarının anaerobik çürütme verimi üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla 5 gün ve 10 gün olmak üzere farklı alıkonma süreleri kullanılarak yarı kesikli olarak işletilmiştir. Çalışmada 5

günlük çamur alıkonma süresi ile işletilen reaktör R1, 10 günlük çamur alıkonma süresi ile işletilen reaktör R2 olarak adlandırılmıştır. Her bir reaktör mezofilik sıcaklık koşulunda (37 ± 2 °C) 30 gün süreyle işletilmiştir.

Analitik metotlar

Reaktörlerin işletim koşullarının değerlendirilmesi amacıyla pH ve sıcaklık parametreleri her gün, alkalinite ve uçucu yağ asidi (UYA) parametreleri ise haftada üç gün analiz edilmiştir. UYA parametresinin ölçümünde Agilent 1100 model bir HPLC ile C18 kolonu kullanılmıştır. Reaktör verimlerinin değerlendirilmesi amacıyla toplam katı madde (TKM), organik madde (OM) askıda katı madde (AKM), uçucu askıda katı madde (UAKM) parametreleri ve metan gazı oluşumları işletim süresi boyunca düzenli olarak ölçülmüştür. TKM, OM, AKM ve UAKM parametreleri Standart Metotlarda verilen prosedüre uygun olarak gerçekleştirilmiştir (APHA, 2005). Reaktörlerdeki günlük metan oluşumları sıvı değişim yöntemi ile belirlenmiştir (Kuşcu vd., 2005). Anaerobik olarak çürütülen çamurların filtrelenebilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan kapiler emme süresi testi Whatman #17 filtre kağıdı ve Triton marka A-304M model bir KES analizörü kullanılarak yürütülmüştür. Çamurların su verme özelliklerini belirlemede belt pres simülasyonu olarak Phipp ve Bird marka bir Crown-Press kullanılmıştır. Crown Pres uygulamasında 200 mL hacmindeki çamur örnekleri 2 dakika süre ile graviteli dreneja bırakılmış, sonrasında press uygulamasıyla çamur keki elde edilmiştir. Eluatta çözülmüş organik karbon (ÇOK) ve orijinal

Tablo 2. Aktif çamur ve anaerobik aşı çamur özellikleri

Parametre	Aktif Çamur	Anaerobik Aşı Çamur
pH	7 ± 0.2	8.22 ± 0.1
Elektriksel iletkenlik, EI ($\mu\text{S} / \text{cm}$)	7.21 ± 1.42	3.12 ± 0.3
Toplam katı madde içeriği, TKM (%)	1.81 ± 0.36	7.5 ± 0.3
Organik madde içeriği, OM (%)	56.72 ± 1.92	84.2 ± 1.7
Askıda katı madde içeriği, AKM (mg/L)	14650 ± 700	72750 ± 4975
Uçucu askıda katı madde içeriği, UAKM (mg/L)	9367 ± 441	64225 ± 4365
Kapiler emme süresi, KES (s)	120.6 ± 11.24	248.5 ± 1.9
Crown press uygulaması		
Kek katı madde içeriği (%)	10.31	-
Direnlenen çamur suyu hacmi, mL	140	-

atıkta toplam organik karbon (TOK) konsantrasyonları Shimadzu marka, ASI-V model bir TOC analizörü kullanılarak belirlenmiştir. Eluat prosedürü Katıdan Özütleme Analizi (TS EN 12457-4, 2004) uyarınca gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar

Anaerobik çürütme performansı

Reaktör içeriklerindeki pH değişimleri düzenli olarak her gün izlenmiş ve pH değerleri tüm reaktörler için 6.74 ile 7.81 arasında değişen değerler olarak ölçülmüştür. Reaktörlerin işletim kontrolü açısından haftada üç gün düzenli olarak toplam alkalinite analizleri gerçekleştirilmiş ve toplam alkalinite konsantrasyonları 1580-5917 mg CaCO₃/L arasında değişen değerler olarak belirlenmiştir. Reaktör kararlılığı açısından düzenli olarak kontrol edilen uçucu yağ asitleri ise işletimin ilk günlerinde dahi anaerobik metanogenler için aşılması önerilmeyen 1000-1500 mg/L seviyesini geçmemiştir (Malina vd., 1992). Tablo 3'te verilen sonuçlara bakıldığında her iki reaktörde de çamur içeriğindeki TKM, OM, AKM ve UAKM değerlerinin işletim süresine bağlı olarak azaldığı görülmektedir. 30 günlük işletim süresi sonunda ilk işletim gününe oranla TKM değerleri R1 reaktöründe %72.3, R2 reaktöründe ise %57.6 oranında indirgenmiştir. Bu sonuç anaerobik çürütme işleminin çamur katılarının indirgenmesi ve çamur miktarının azaltılmasında etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. 30 günlük işletim süresi sonunda ilk işletim gününe oranla OM değerleri R1 reaktöründe %42.3 R2 reaktöründe ise %36.3 oranında azalmıştır. İşletim süresine bağlı olarak çamurda OM içeriklerinde gözlenen azalma, anaerobik çürütme işleminin çamurun organik madde içeriğini azaltarak çamur stabilizasyonunu gerçekleştirdiğini göstermiştir.

UAKM/AKM oranındaki azalma da çamurların stabilize olduğunu gösteren bir fiziko-kimyasal parametre olarak kullanılmaktadır (Liu vd., 2009). İlk işletim gününde R1 ve R2 reaktörlerinde UAKM/AKM oranı sırasıyla 0.91 ve 0.87 iken 30. işletim gününde sırasıyla 0.64 ve 0.60 olarak hesaplanmıştır. İşletim türü açısından bakıldığında ise 5 günlük ve 10 günlük çamur alıkonma süresi ile işletilen reaktörlerde çok yakın değerler elde edilmesi; düşük alıkonma sürelerinde de çamur stabilizasyonunun gerçekleştiğini ortaya koymuştur.

Şekil 1'de verilen günlük metan gazı oluşumlarına bakıldığında 5 günlük çamur alıkonma süresiyle işletilen reaktörde (R1) elde edilen yüksek metan gazı değerleri de bu sonucu desteklemiştir.

Su verme özellikleri

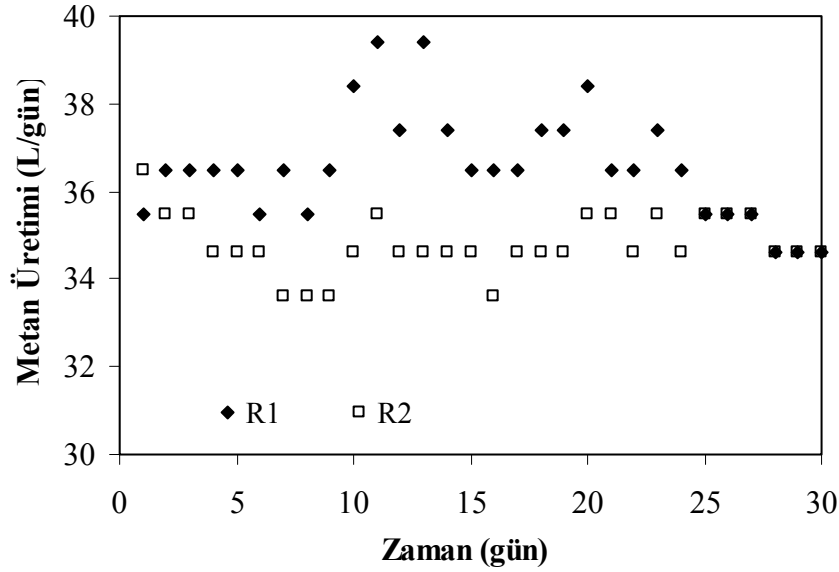
Kapiler emme süresi (KES) testi çamurun filtrelenebilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bir testtir. KES testi çamurun su verme kapasitesi ile ilgili fikir vermekle birlikte, bu testte çamurun kayma etkileri ihmal edildiğinden, su verme işlemlerinde, çamurun davranışına yaklaşım yapamamaktadır. İşletim süresine bağlı olarak reaktörlerdeki KES değişimleri Şekil 2'de verilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında artan işletim süresine bağlı olarak KES değerlerinin arttığı görülmektedir. Anaerobik çürütme işlemi çamurların filtrelenebilirlik özelliğini geliştirmiştir.

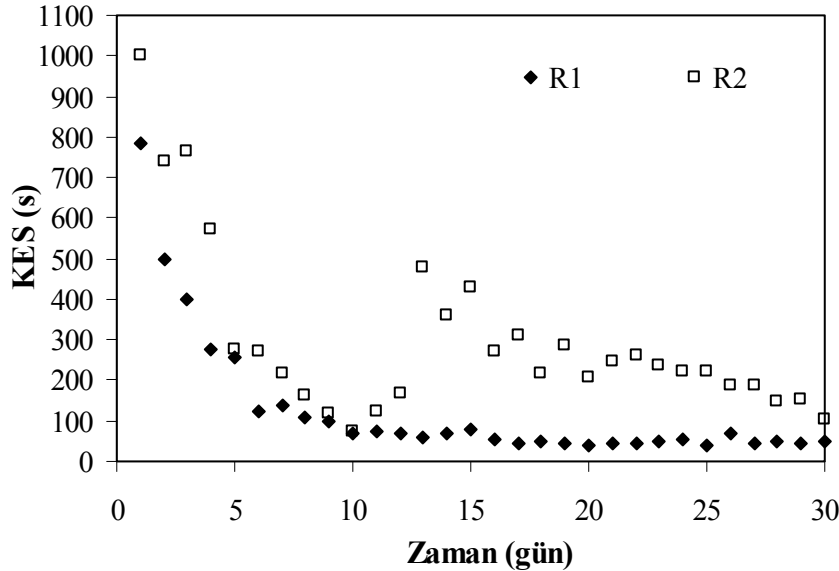
Anaerobik olarak çürütülmüş çamurların mekanik su alma işlemlerindeki performanslarını belirlemeye yönelik olarak belt-press ünitesini simüle eden bir crown press kullanılmış ve bu uygulama sonrasında direnlenen çamur suyu hacimleri ve oluşan çamur keki kuru madde

Tablo 3. İşletim süresi boyunca reaktörlerdeki TKM, OM, AKM ve UAKM değişimleri

Reaktör Parametre/ Günler	R1			R2		
	1	15	30	1	15	30
TKM, %	4.41	1.32	1.22	4.29	2.05	1.82
OM, %	78.2	54.44	45.1	79.06	58.83	50.37
AKM, mg/L	57250	12200	14600	49500	23600	15600
UAKM, mg/L	52150	11200	9350	43100	13000	9400



Şekil 1. İşletim süresi boyunca reaktörlerdeki metan gazı oluşumları



Şekil 2. İşletim süresi boyunca reaktörlerdeki KES değişimleri

içerikleri belirlenmiştir. Bu uygulamadan elde edilen sonuçlar Tablo 4 ve Tablo 5'te özetlenmiştir. Tablo 4'te verilen sonuçlar anaerobik çürütme işleminin kek katı madde içeriğini arttırmada etkili olmadığını göstermiştir. Bunun yanı sıra ham çamur örneğinde yapılan crown press uygulaması sonrasında direnlenen çamur suyu hacmi (140 mL), anaerobik stabilizasyon sonrasındaki uygulamalara oranla daha düşük olup; anaerobik stabilizasyon işlemi çamurun filtrelenebilirlik özelliğini geliştirmiştir.

Düzenli katı atık depolama tesislerinde bertaraf edilebilirlik

Laboratuvar ortamında elde edilen çamur keklerinde yapılan analizler ile anaerobik çürütme sonrasında mekanik yöntemle susuzlaştırılan çamurların düzenli depolama tesislerine depolanabilirlikleri, eluatta çözülmüş organik karbon (ÇOK) ve orijinal atıkta toplam organik karbon (TOK) parametreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne (TAKY, 2005) göre çamur kekinin

Tablo 4. İşletim süresi boyunca crown-press uygulaması sonrasında elde edilen çamur keki kuru madde içeriği

Reaktör / Günler	Çamur keki kuru madde içeriği, %					
	1	10	15	20	25	30
R1	13.05	11.44	13.15	11.51	13.94	9.63
R2	11.7	11.50	11.88	12.37	10.50	10.17

Tablo 5. İşletim süresi boyunca crown-press uygulaması sonrasında drenlenen çamur suyu hacmi

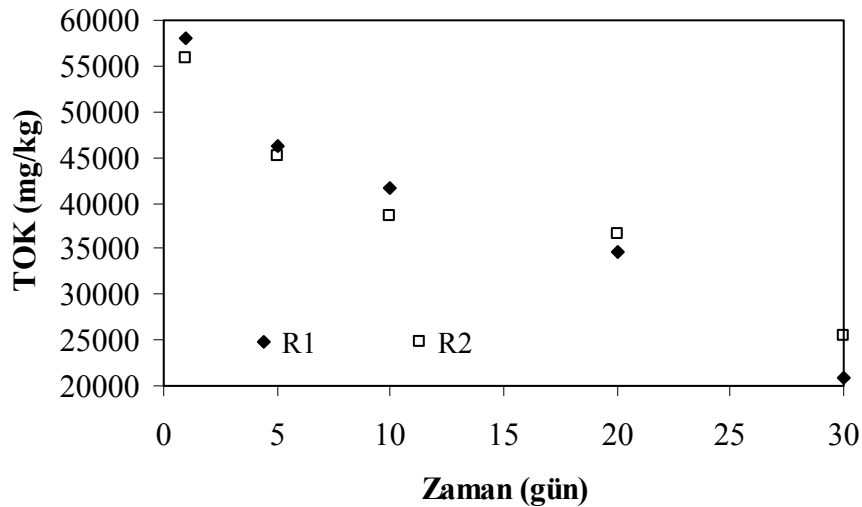
Reaktör / Günler	Direnlenen hacim, mL					
	1	10	15	20	25	30
R1	170	170	180	190	170	170
R2	150	160	175	185	195	175

TOK muhtevası, 30000 mg/kg değerinin altında ise atık inert atık olarak değerlendirilmekte ve katı atık düzenli depolama tesislerinde hiçbir özel işlem yapılmaksızın depolanabilmektedir.

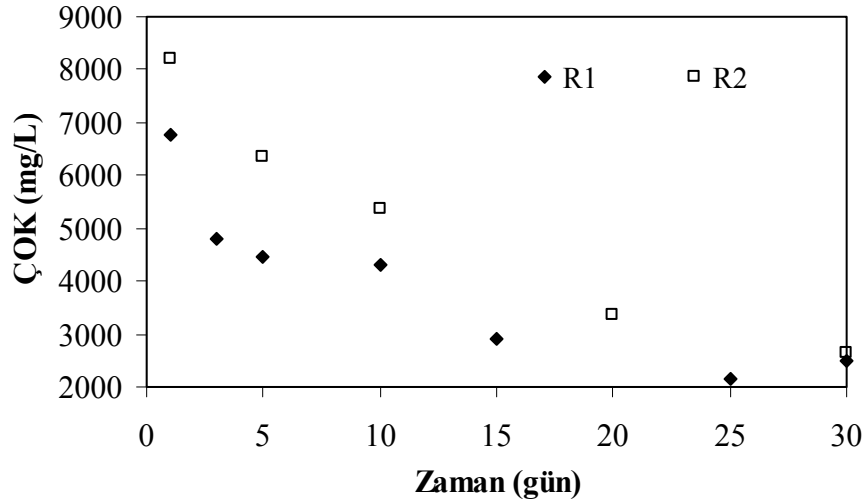
Anaerobik çürütücü reaktörlerin işletim süresine bağlı olarak elde edilen TOK değerleri Şekil 3'te verilmiştir. TOK değerleri işletim süresine bağlı olarak azalmıştır. İlk işletim gününde TOK değerleri R1 ve R2 reaktörlerinde sırasıyla 58140 mg/kg ve 55890 mg/kg olarak belirlenmiştir. 30 günlük işletim süresi sonunda TOK değerleri ilk işletim gününe oranla R1 ve R2 reaktörlerinde sırasıyla %64 ve %55 oranında azalmıştır. Sonuçlar 30 günlük işletim süresi sonunda her iki işletim türünde de çamur kekinin EK-11A uyarınca inert atık sınıfında değerlendirilebileceğini

(Tablo 1) ve anaerobik stabilizasyon prosesinin çamur keki organik madde içeriğini azaltmada oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

İşletim süresine bağlı olarak verilen eluatta ÇOK testi sonuçları (Şekil 4), çamur kekinden elde edilen eluat örneklerindeki ÇOK konsantrasyonlarının reaktör işletim süresine bağlı olarak azaldığını göstermiştir. İlk işletim gününde R1 ve R2 reaktörlerinde sırasıyla 6780 mg/L ve 8214 mg/L olarak belirlenmiş olan ÇOK değerleri, 30 günlük işletim süresi sonunda ilk işletim gününe oranla R1 ve R2 reaktörlerinde sırasıyla %63 ve %68 oranında azalmıştır. 30. işletim gününde elde edilen ÇOK konsantrasyonları EK-11 A'da verilen standart değerlerin üzerindedir (Tablo 1).



Şekil 3. İşletim süresi boyunca çamur keklerindeki TOK değişimleri



Şekil 4. İşletim süresi boyunca eluattaki ÇOK değişimleri

Değerlendirme

Anaerobik çürütme prosesi biyolojik çamurlarda toplam katı madde indirgenmesi ile sonuçlanarak çamur miktarının azaltılmasına olanak sağlamıştır. Anaerobik çürütme uygulamaları sonucunda elde edilen düşük organik madde içerikleri anaerobik çürütme prosesinin çamurun stabilizasyonunda etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Belt-press simülatörü olan crown-press kullanılarak yapılan mekanik su alma testi sonuçları anaerobik stabilizasyon prosesinin çamur keki katı madde içeriğini artırıcı bir etkisi olmadığını göstermiş ancak bu uygulamalarda çamurların su verme hızları artmıştır. Çamur filtrelenebilme özelliğini belirlemede kullanılan KES testi sonuçları da anaerobik çürütme prosesinin biyolojik çamurların filtrelenebilirlik özelliğini geliştirdiğini göstermiştir. Sonuçlar, anaerobik yöntemle stabilize edildikten sonra mekanik olarak susuzlaştırılan çamurların kek katı madde içeriklerinin düşük olması sebebiyle mekanik su alma işlemi öncesinde şartlandırma işlemine tabi tutulması gerektiğini ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra anaerobik yöntemle stabilize edilmiş çamur keklerinin EK-11 A'da belirtilen TOK standartları uyarınca inert atık sınıfında yer aldığı ancak ÇOK standart değerleri uyarınca tehlikeli atık sınıfında olduğu ve evsel katı atık düzenli depolama sahalarında bertarafının uygun olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada incelenen kentsel nitelikli atıksu arıtma tesisi çamurları organik madde içeriklerine göre

değerlendirildiğinde Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY), EK-11 A, 2005 kapsamında verilen atık sınıflandırmasına göre tehlikeli atık sınıfına girmektedir. Bu durumda bu çamurların nihai bertarafı amacıyla depolama alternatifinin kullanılabilmesi için çamurların ÇOK değerlerinin azaltılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu makale TÜBİTAK 105Y337 numaralı proje kapsamında yürütülen bilimsel çalışmalar sonucunda gerçekleştirilmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a sağladığı destek için teşekkür etmektedirler.

Kaynaklar

- APHA, AWWA, WEF, (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edn. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington D.C., USA.
- Çevre ve Orman Bakanlığı (2005). *Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*, Resmi Gazete No: 25755, 14.03.2005.
- Dentel, S.K., (2001). *Sludge into biosolids: Processing, disposal, utilization*, 278-311, IWA Publishing.
- Filibeli, A., (1998). *Arıtma çamurlarının işlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları No:225, ISBN 975-441-117-4.
- Egemen, E., Corpening, J. ve Nirmalakhandan, N., (2001). Evaluation of an ozonation system for reduced waste sludge generation, *Water Science and Technology*, **44**, 2-3, 445-452.

- Eldem, N., Ayaz, S., Alp, K. ve Ozturk, I., (2006). Aritma tesisi çamurlarının deneysel karakterizasyonu, İTÜ 10. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, 7-9 Haziran 2006, İstanbul.
- Gray, N.F., (2005). Sludge treatment and disposal, *Water Technology*, 2nd Edition, 572-602, USA: Butterworth-Heinemann.
- Kuscu, O.S. ve Sponza, D.T., (2005). Performance of anaerobic baffled reactor (ABR) treating synthetic wastewater containing p-nitrophenol, *Enzyme and Microbial Technology*, **36**, 7, 888-895.
- Liu, C., Xiao, B., Dauta, A., Pang, G., Liu, S. ve Hu, Z., (2009). Effect of low power ultrasonic radiation on anaerobic biodegradability, *Bioresource Technology*, **100**, 6217-6222.
- Malina, J.F. ve Pohland, G.F., (1992). Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes, *Water Quality Management Library*, **7**, TECHNOMIC Publication,
- Metcalf & Eddy, (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse*, McGraw Book Company, New York, USA.
- Novak, J.T., Sadler, M.E. ve Murthy, S.N., (2003). Mechanisms of floc destruction during anaerobic and aerobic digestion and the effect on conditioning and dewatering of biosolids, *Water Research*, **37**, 3136-3144.
- Scholz, M., (2006). *Sludge treatment and disposal, wetland systems to control urban runoff*, 1st edition, 163-174, UK: Elsevier Science & Technology.
- Speece, R.E., (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*, Published by Arche Press.
- Spinosa, L., (2007). *Wastewater sludge: A global overview of the current status and future prospects*, IWA Publishing, London, UK.
- TS EN 12457-4, (2004). Atıkların nitelendirilmesi-Katıdan özütleme analizi-granül katı atık ve çamurların özütlenmesi için uygunluk deneyi- Bölüm 4: Partikül boyutu 10 mm'den küçük, sıvı/katı madde oranı 10L/kg olan malzemeler için tek aşamalı parti deneyi.
- Uk, C., Erdogan, I., Saritemur, R., Deniz, O. ve Ozdemir, S., (2005). İstanbul'da çamur arıtımı, 1. Ulusal Aritma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, İzmir, Türkiye.
- Yasui, H., Nakamura, K., Sakuma, S., Iwasaki, M. ve Sakai, Y., (1996). A full-scale operation of a novel activated sludge process without excess sludge production, *Water Science and Technology*, **34**, 3-4, 395-404.