

# Kentsel nitelikli arıtma çamurlarının ultrasonik yöntemle ön arıtımı

Gülbin ERDEN\*, Ayşe FİLİBELİ

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

## Özet

*Bu çalışmada, bir ileri oksidasyon tekniği olan ultrasonik arıtmanın biyolojik çamurların anaerobik çürümesi öncesinde bir ön arıtma işlemi olarak kullanılabilirliği üzerine yapılan deneysel çalışmanın sonuçları verilmiştir. Çalışmada oldukça düşük ultrasonik frekans (20 kHz) uygulamasında, özgül enerji değişiminin çamur dezentegrasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 0 ile 15880 kJ/kg KM arasında değişen özgül enerji değerleri kullanılarak flok dezentegrasyonu açısından en uygun enerji seviyesi dezentegrasyon derecesi parametresi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, ultrasonik ön arıtma işleminin biyolojik çamurların üst suyu özellikleri, çamur katılarının çözünürlüğü ve çamurların filtrelenebilirlik özellikleri üzerine olan etkisi değerlendirilmiştir. Ultrasonik yöntemle ön arıtılan çamurların anaerobik çürüme potansiyelleri ise yürütülen biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) testleri ile değerlendirilmiştir. En yüksek dezentegrasyon derecesi (%57.9) değeri 9690 kJ/kg KM özgül enerji uygulamasında elde edilmiş; 9690 kJ/kg KM özgül enerjinin flok dezentegrasyonu için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Daha yüksek özgül enerji uygulaması dezentegrasyon derecesinin düşmesine neden olmuştur. BMP testi sonuçları ise ultrasonik ön arıtma işleminin çamurların biyolojik olarak parçalanabilirliklerini geliştirdiğini göstermiştir. 9690 kJ/kg KM özgül enerji kullanılarak ön arıtılmış çamurda ham çamura oranla %44 daha fazla metan gazı üretimi sağlamıştır. Ultrasonik ön arıtma uygulaması çamur üst suyunda kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonlarının artışına neden olmuştur. Ultrasonik ön arıtma uygulamasıyla azalan toplam katı madde ve organik katı madde içerikleri de ultrasonik ön arıtma uygulamasının çamur katılarının çözünürlüğüne neden olduğunu göstermiştir. Kapiler emme süresi (KES) testi sonuçları ile ultrasonik ön arıtma uygulamasının çamurların filtrelenebilirlik özelliklerini olumsuz etkilediği belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik parçalanabilirlik, biyolojik çamur, flok dezentegrasyonu, ultrasonik ön arıtma.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Gülbin ERDEN. gulbin.erden@deu.edu.tr; Tel: (232) 412 71 29.

Bu makale 04-06 Bu makale, 04-06 Kasım 2009 tarihleri arasında İzmir'de düzenlenen 2. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu'nda sunulan bildiriler arasından, İTÜ Dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü dergisinde basılmak üzere seçilmiştir. Makale metni 24.02.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 02.04.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Ultrasonic pre-treatment of treatment plant sludge

### Extended abstract

Disintegration was developed as the pretreatment process of sludge to accelerate the digestion processes. Ultrasonic treatment may be a good alternative for sludge disintegration. Ultrasonic energy can be applied biological sludge to disintegrate flocs and disrupt bacterial cells' walls, and the hydrolysis can be improved, so that the rate of sludge digestion and methane production is improved. Ultrasonic treatment as sludge disintegration results in increase of chemical oxygen demand in the sludge supernatant and size reduction of sludge solids (Tiehm *et al.*, 1997). Ultrasonic process leads to cavitation bubble formation in the liquid phase. These bubbles grow and then violently collapse when they reach a critical size. Cavitation collapse produces intense local heating and high pressure on liquid-gas interface, turbulence and high shearing phenomena in the liquid phase. Because of the extreme local conditions,  $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{HO}_2\cdot$ ,  $\text{H}\cdot$  radicals and hydrogen peroxide can be formed. Thus, three mechanisms (hydrochemical shear forces, thermal decomposition of volatile hydrophobic substances in the sludge, and oxidizing effect of free radicals produced under the ultrasonic radiation) are responsible for the ultrasonic activated sludge disintegration (Bougrier *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2005; Riesz *et al.*, 1985). Previous studies showed that low frequency ultrasound like 20 kHz is very effective in activated sludge disintegration, Gonze *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2008). The effects of initial total solids content of sludge, power density, and sonication time on floc disintegration were investigated by several researchers (Chu *et al.*, 2001; Gonze *et al.*, 2003; Show *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2008). Previous studies showed that low density and long duration sonication is more efficient than high density and short duration (Pham *et al.*, 2009; Xie *et al.*, 2009). In this work, feasibility of using an oxidative technique of ultrasonic treatment to improve anaerobic biodegradability of biological sludge was investigated. Different specific energy inputs ranged 0 to 15880 kJ/kg DS was applied to biological sludge for disintegration purpose and optimum energy input was evaluated based on disintegration degree parameter. The disintegration degree permits to evaluate the maximum level of sludge solubilization. Increase of DD is determined as the substance that can be readily

used to produce methane in the anaerobic digestion (Wang *et al.*, 2005). The disintegration degree of sonicated sludge increased with increasing specific energy in each experiment. The highest disintegration degree was achieved 9690 kJ/kg DS application; hence 9690 kJ/kgTS of supplied energy is efficient for cell lysis. Particle size of sludge is another important parameter for floc disintegration. The reduction in particle size generally allows an easier hydrolysis of solids within the sludge due to larger surface areas in relation to the particle volumes. The result is an accelerated and enhanced degradation of the organic fraction of the solid phase (Muller, 2003). Ultrasonic treatment led to change of physico-chemical characteristics of sludge. For instance, temperature increased almost linearly with increasing specific energy. In contrast, pH decreased during ultrasonic pre-treatment. The destruction of floc structure and disruption of cells results in the release of organic sludge components into the liquid phase. Thus, sludge's supernatant characteristics were also affected the ultrasonic pre-treatment. For 9690 kJ kg-1TS, the soluble chemical oxygen demand (SCOD), dissolved organic carbon (DOC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) in sludge's supernatant increased by 340%, 860%, 716%, and 207.5%, respectively. In sludge disintegration processes organic material is transferred to the liquid phase from the solid phase. Higher solubilisation degree of volatile solids in sludge is important for the elimination of hydrolysis phase of anaerobic biodegradation further. Ultrasonic treatment induced sludge reduction due to the solubilization of total and volatile solids. The main purpose of disintegration is the elimination of hydrolysis step to accelerate the anaerobic degradation. The potential for improving anaerobic digestion through ultrasonic pre-treatment was also evaluated with biochemical methane potential (BMP) tests. BMP results obtained in this study suggest that ultrasonic pre-treatment lead to increase the anaerobic biodegradability of biological sludge. For 9690 kJ/kg TS, 44% higher methane production in pre-treated sludge was obtained comparing to the raw sludge. Protein hydrolysis was also performed successfully by ultrasonic pre-treatment even at very low ultrasonic density levels. Furthermore, CST results showed that ultrasonic pre-treatment deteriorates the filterability of biological sludge.

**Keywords:** Anaerobic biodegradability, biological sludge, floc disintegration, ultrasonic pre-treatment.

## **Giriş**

Çamur dezentegrasyonu, anaerobik çürüme öncesinde anerobik çürüme uygulamasında hız sınırlayıcı adım olan hidroliz aşamasını elimine etmek ve anaerobik stabilizasyon derecesini artırmak amacıyla ön arıtma olarak geliştirilmiştir (Bougrier vd., 2005; Weemaes vd., 2001). Arıtma çamuru dezentegrasyonu, dış gerilmelerin etkisiyle arıtma çamurunun yapısal özelliklerinin bozulması olarak tanımlanabilmektedir. Fiziksel, kimyasal veya biyolojik etkenler uygulanarak dezentegrasyon gerçekleştirilebilmektedir. Dezentegrasyon yönteminde çamurun pek çok özelliğini değiştirmektedir (Muller vd., 2004). Dezentegrasyon uygulamasında, çamura uygulanan gerilmeler sayesinde çamur flok yapısı bozulmakta, mikroorganizma hücre duvarları parçalanmakta, hücre içeriğindeki organik bileşenleri sıvı faza geçmektedir (Vranitzky vd., 2005). Dezentegrasyon uygulamasıyla stabilizasyon derecesinin artmasına bağlı olarak klasik anaerobik çürüme işlemine göre daha düşük miktarda çamur üretimi, daha stabil bir çamur ve daha yüksek miktarda biogaz eldesi mümkün olmaktadır (Wang vd., 2005). Daha önce yapılmış olan çalışmalar ultrasonik enerjinin ön arıtma uygulaması olarak çamur floklarının dezentegrasyonu amacıyla kullanılabilirliğini göstermiştir (Tiehm vd., 2001; Nickel vd., 2007; Zawieja vd., 2008; Pham vd., 2009; Biyu vd., 2009). Ultrasonik arıtma uygulamasıyla çamur suyunda kimyasal oksijen ihtiyacı artmakta ve çamur katı maddeleri indirgenmektedir (Thiem vd., 1997). Ultrasonik arıtma işlemi çamur sıvı fazında kabarcık oluşumuna neden olmaktadır. Oluşan kabarcıklar belirli bir büyüklüğe ulaştıktan sonra şiddetli bir şekilde sönmektedir. Balonların sönmeye başlaması bölgesel ısınma, sıvı-gaz ara yüzeyinde yüksek basınç ve sıvı fazda yüksek gerilime neden olmaktadır. Meydana gelen bu olağan üstü koşullarda,  $\bullet\text{OH}$ ,  $\text{HO}_2\bullet$ ,  $\text{H}\bullet$  ve hidrojen peroksit oluşmaktadır. Ultrasonik arıtma işleminde hidro-mekanik kesme kuvvetleri, çamurdaki hidrofobik uçucu maddelerin termal birikimi ve ultrasonik radyasyon altında oluşan radikaller olmak üzere üç temel mekanizma bulunmaktadır (Bougrier vd., 2005; Riesz vd., 1985; Wang vd., 2005). Ultrasonik arıtma mekanizması ultrasonik ener-

ji, ultrasonik frekans ve ultrasonik arıtma uygulanan maddenin yapısından etkilenmektedir (Bougrier vd., 2005). Çamurda başlangıç katı madde konsantrasyonu, ultrasonik güç yoğunluğu ve ultrasonik arıtma uygulama süresinin flok dezentegrasyonu üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından araştırılmış olup (Chu vd., 2001; Gonze vd., 2003; Show vd., 2007; Zhang vd., 2008) daha önce yapılmış olan çalışmalar düşük güç yoğunluğu ve uzun uygulama süresinin, yüksek güç yoğunluğu ve düşük uygulama süresinden daha etkili olduğunu göstermiştir (Pham vd., 2009; Xie vd., 2009).

Bu makale kapsamında ultrasonik arıtma işlemi kentsel nitelikli arıtma çamurlarının dezentegrasyonu amacıyla uygulanmış; 0.04 ile 0.1 W/mL arasında değişen oldukça düşük güç yoğunluklarında ve düşük ultrasonik frekansta (20 kHz) özgül enerjinin flok dezentegrasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun yanı sıra, ultrasonik arıtma uygulamasının çamur ve çamur üst suyu özelliklerine etkisi incelenmiştir. Son olarak, ultrasonik yöntemle ön arıtılmış çamurların anaerobik çürüme potansiyeli yürütülen deneysel çalışma ile araştırılmıştır.

## **Materyal ve yöntem**

### **Çamur özellikleri**

Deneysel çalışma kapsamında ultrasonik ön arıtma, İzmir'de bulunan bir kentsel atıksu arıtma tesisinin son çökeltim havuzu çıkışından alınan atık aktif çamur örneklerine uygulanmıştır. BMP testinde aşı çamur olarak kullanılan granüller anaerobik çamur ise bira endüstrisi atıksularının arıtıldığı tam ölçekli bir yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörden alınmıştır.

Çalışmada ilk olarak çamurların özelliklerini belirlemeye yönelik olarak analizler yapılmış ve tüm parametreler Standart Metotlarda verilen prosedüre uygun olarak analizlenmiştir (APHA, 2005). Aktif çamur ve aşı çamurun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

### **Ultrasonik ön arıtma**

Ultrasonik ön arıtma uygulaması Bandelin-Sonopuls HD 2200 marka bir ultrasonik homojenleştirici ve homojenleştirici ile bağlantılı

Tablo 1. Aktif çamur ve anaerobik aşı çamur özellikleri

Parametre	Aktif çamur	Aşı çamur
pH	6.95	7.93
Eİ, Elektriksel iletkenlik ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ )	7.23	3.07
KM, Kuru madde içeriği (%)	2.14	7.40
OM, Organik madde içeriği (%)	47.99	82.20
ÇOK, Çözünmüş organik karbon (mg/L)	252.6	-
KOİ <sub>ç</sub> , Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı, (mg/ L)	1200	1920
TN, Çamur üst suyunda toplam azot (mg/ L)	25	95.5
TP, Çamur üst suyunda toplam fosfor (mg/ L)	41.3	125

çalışan VS 70 T model bir ultrasonik prob kullanılmıştır. Bu sistem 20 kHz gibi düşük frekansa ve 200 W güce sahiptir. Çalışmada 500 mL hacmindeki çamur örnekleri cam beherlere konmuş ve 0 ile 60 dakika arasında değişen farklı sürelerde ultrasonik arıtma uygulanmıştır. Değişen sürelerle bağlı olarak ise 0 ile 15880 kJ/kg KM arasında değişen farklı özgül enerji (ÖE) değerleri ile çalışılmıştır. Ultrasonik arıtma uygulamasında kullanılan deney koşulları Tablo 2’de verilmiştir.

Özgül enerji (Bougrier vd., 2006) ultrasonik güç (P), uygulama süresi (t), örnek hacmi (V) ve başlangıç kuru madde konsantrasyonu (KM<sub>0</sub>) kullanılarak aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\text{ÖE} = P (W) * t (s) / V (L) * \text{KM}_0 (g/L) \quad (1)$$

### BMP testi

Ultrasonik ön arıtma işleminin çamurun mezofilik koşullar altında anaerobik parçalanabilirliği üzerine etkisini belirlemek amacıyla BMP testi uygulanmıştır. Bu amaçla, ham çamur örneğinde ve optimum özgül enerji kullanılarak ultrasonik ön arıtma uygulanmış çamur örneğinde BMP testi yürütülmüştür. BMP testinde 150 mL hacmindeki serum şişelerine 1/2 oranında aktif çamur ve anaerobik aşı çamuru ilave edilmiştir. Toplam hacimin (60 mL) %20’si olacak şekilde tüm makro ve mikro nütrientleri içeren bazal solüsyon eklenmiştir (Speece, 1996). Anaerobik koşulların sağlanması amacıyla serum şişeleri 3-4 dakika süreyle %25 CO<sub>2</sub> ve %75 N<sub>2</sub> içeren gaz karışımından geçirilmiştir. Serum şişeleri 35 ± 2°C sıcaklıktaki inkübatörde bekletilmiş; metan gazı oluşumu, şişelerin %3 NaOH (ağırlık/hacim) içeren sıvıdan geçirilmesiyle ölçülmüştür (Razo-Flores vd., 1997).

Tablo 2. Deney koşulları

Uygulama süresi (dk.)	Ultrasonik güç (Watt)	Özgül enerji (kJ/ kg KM)	Güç yoğunluğu (W/mL)
1	20	112	0.040
5	26	729	0.052
10	32	1794	0.064
15	36.2	3045	0.072
20	39.4	4419	0.079
25	40	5607	0.080
30	40.4	6796	0.081
35	41.2	8086	0.082
40	43.2	9690	0.086
45	44.4	11204	0.089
50	46	12897	0.092
55	46.4	14310	0.093
60	47.2	15880	0.094

### Analitik metotlar

Ultrasonik ön arıtma sonrasında çamurların dezentegrasyonu, KOİ<sub>ç</sub> ölçümlerine dayanarak belirlenen dezentegrasyon derecesi (DD) parametresi esas alınarak değerlendirilmiştir (Muller 2000). KOİ parametresi Standart Metotlarda verilen prosedüre (5220 B. Open Reflux Method) göre belirlenmiştir (APHA, 2005). Çamur suyundaki çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ<sub>ç</sub>) ile azot ve fosfor konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla çamur örnekleri, analiz öncesinde 4°C sıcaklık, 10000 rpm hız değerinde 30 dk. santrifüjlenmiştir. Çözülmüş organik karbon (ÇOK) konsantrasyonları Shimadzu marka, ASI-V model bir TOC analizörü kullanılarak belirlenmiştir. Çamur suyundaki azot ve fosfor konsantrasyonları Nova 60 marka bir fotometre ile sırasıyla 14537 ve 00616 nolu Merck marka kitler kullanılarak belirlenmiştir. KM ve OM parametreleri Standart Metotlarda verilen prosedüre göre analizlenmiştir (APHA, 2005).

KM çözünürlüğü ve OM çözünürlüğü aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır (Bougrier vd., 2006):

$$\text{Ç}_{\text{KM}} = [(KM_0 - KM_u) / KM_0] \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Ç}_{\text{OM}} = [(OM_0 - OM_u) / KM_0] \times 100\% \quad (3)$$

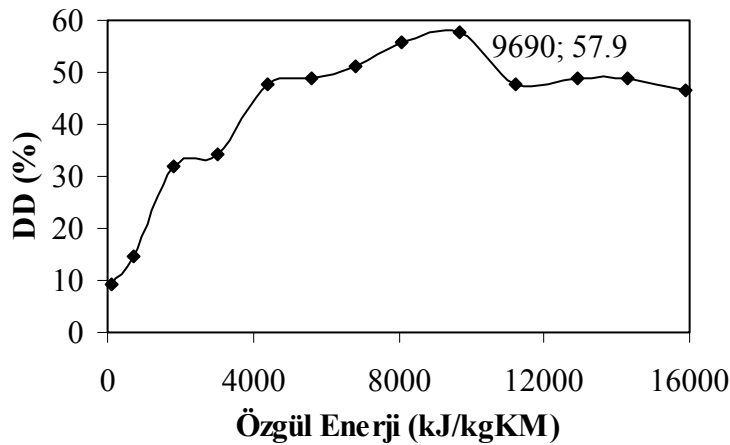
Partikül boyutu dağılımları Malvern marka, 2000QM model bir partikül boyutu analizörü kullanılarak belirlenmiştir. Çamur içeriğindeki hücre dışı polimerik maddeler ısıl ekstraksiyon tekniği kullanılarak ekstrakte edilmiştir

(Goodwin vd., 1985; Frolund vd., 1996). Ekstraksiyon sonrasında örneklerdeki protein içerikleri protein kitleri kullanılarak spektrofotometrik olarak analizlenmiştir (Prosedür No. TP0300 Micro Lowry, Sigma). Anaerobik olarak çürütülen çamurların filtrelenebilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan kapiler emme süresi testi Triton marka A-304M model bir KES analizörü kullanılarak yürütülmüştür.

### Sonuçlar

Dezentegrasyon derecesi, çamurun çözünebilirliğinin son kademesini belirlemede kullanılan bir parametredir (Bougrier vd., 2005). Şekil 1'de görüldüğü gibi dezentegrasyon derecesi artan özgül enerji seviyesine bağlı olarak artmıştır.

1000 kJ/kg KM değerinden daha düşük özgül enerji seviyelerinde oldukça düşük dezentegrasyon derecesi değerleri elde edilmiştir. 729 kJ/kg KM uygulamasında DD değeri %14.8 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuç Bougrier ve diğerleri (2005) tarafından elde edilen sonuç ile uyum içindedir. En yüksek DD değeri 9690 kJ/kg KM özgül enerji ve 40 dakika ultrasonik arıtım süresiyle elde edilmiş ve bu uygulamada DD değeri %57.9 olarak belirlenmiştir. 9690 kJ/kg KM'nin üzerindeki uygulamalarda düşen DD değerlerini hidroksil radikallerinin yüksek oksidasyon etkisi ile açıklamak mümkündür. Yüksek enerji seviyelerinde ultrasonik arıtma, çamur çözünürlüğünü takiben çamur mineralizasyonuna yönelik bir etki göstermektedir.



Şekil 1. Özgül enerjinin fonksiyonu olarak değişen dezentegrasyon derecesi değerleri

Ultrasonik ön arıtma işlemi biyolojik çamurların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesine yol açmaktadır. Çamur örneklerinin sıcaklıkları artan özgül enerji seviyesine bağlı olarak artış göstermiş ve uygulanan en yüksek enerji seviyesinde 22°C'den 72°C'ye yükselmiştir. Buna karşılık ultrasonik ön arıtma işlemi ile çamurların pH değerleri azalmış; ham çamurda 6.95 iken en yüksek özgül enerji uygulamasında 6.16 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3'te farklı özgül enerji değerleri için elde edilen partikül boyutu sonuçları özetlenmiştir. Ultrasonik arıtma uygulaması çamurda partikül boyutu azalmasına neden olmuştur. Artan özgül enerji seviyesine bağlı olarak çamur partikül boyutunda azalma meydana gelmiştir. Partikül boyutu sonuçları çamur dezentegrasyonunun varlığını göstermekle birlikte proses optimizasyonu açısından yeterli bir parametre değildir. Hacim ağırlıklı ortalama dikkate alındığında, en yüksek partikül boyutu indirgenmesi %62 olarak 9690 kJ/kg KM özgül enerji uygulamasında elde edilmiştir.

Ultrasonik işlem ile hücre içi materyalin çözünmesi sıvı fazda toplam azot ve toplam fosfor artışına neden olmaktadır. Çamur sıvı fazındaki toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları değişimi Şekil 2(b)'de verilmiştir. Çamur sıvı fazındaki toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları artan özgül enerjiye bağlı olarak artmıştır. Toplam azot konsantrasyonu 11204 kJ/kg KM özgül enerji ve 45 dakika ultrasonlama süresi uygulandığında 25 mg/L'den 256 mg/L'ye çıkmış ve ham çamur suyundaki azot konsantrasyonuna oranla %924 artmıştır.

Toplam fosfor konsantrasyonu 6000 kJ/kg KM'nin üzerindeki özgül enerji değerlerinde neredeyse sabitlenmiştir. 40 dakika ultrasonlama süresi ve 9690 kJ/kg KM özgül enerji uygulamasında toplam fosfor ham çamur suyundaki fosfor konsantrasyonuna oranla %208 artmış, 41.3 mg/L'den 127 mg/L'ye çıkmıştır.

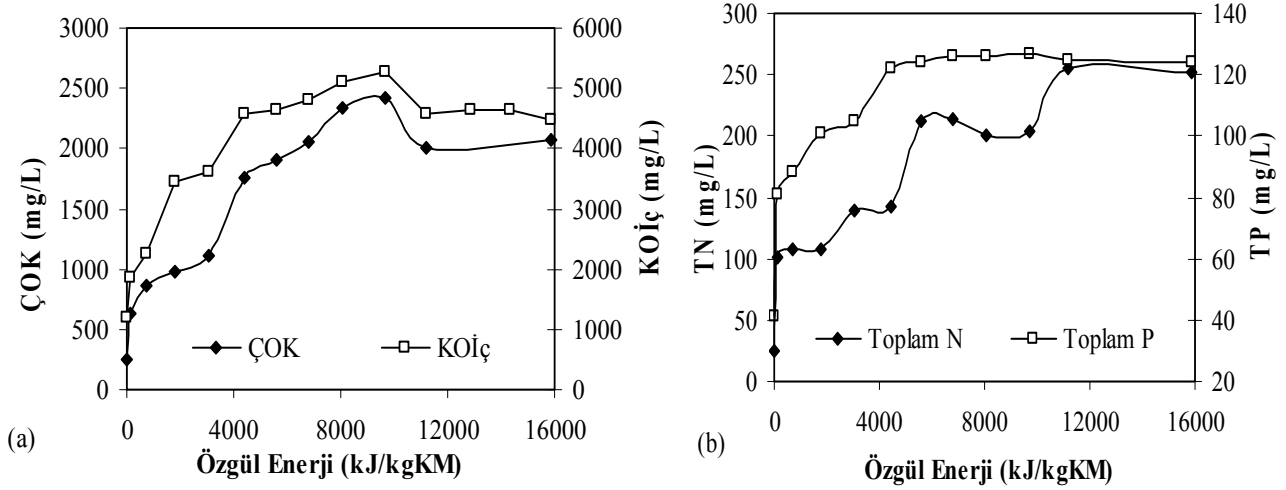
Ultrasonik arıtma uygulaması sonrasında çamurların filtrelenebilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan KES testi sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında artan özgül enerji seviyesine bağlı olarak KES değerlerinin arttığı görülmektedir. Ultrasonik arıtma uygulaması çamurların filtrelenebilirlik özelliğini olumsuz etkilemiştir.

Ultrasonik ön arıtma işlemi çamurda toplam ve organik katı maddelerin çözünürlüğünü artırarak çamurlarda katı madde indirgenmesine olanak sağlamıştır (Şekil 4). Toplam organik katıların çözünürlüğü artan özgül enerji seviyelerine bağlı olarak artmıştır. En yüksek katı madde ve organik madde çözünürlük değerleri sırasıyla %11.45 ve %13.31 olarak 11204 kJ/kg KM özgül enerji uygulamasında elde edilmiştir. Organik madde çözünürlüğündeki artış anaerobik çürüme işlemindeki hidroliz aşamasının ortadan kalkması açısından oldukça önemlidir.

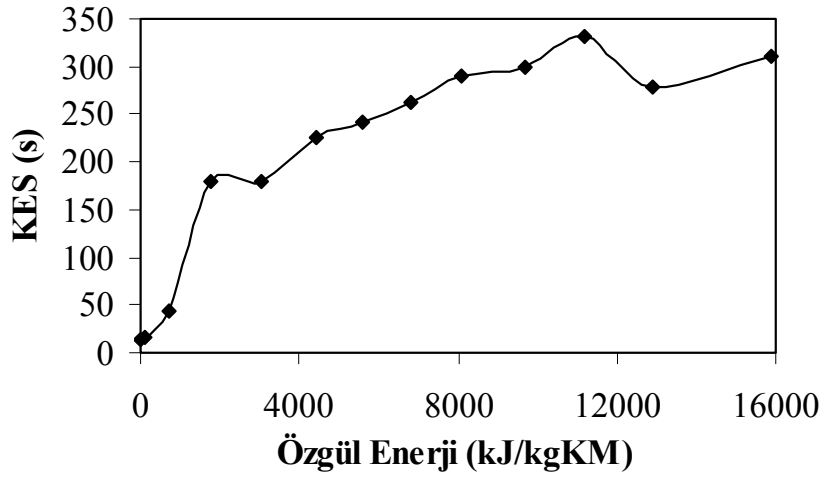
Şekil 5'te verilen protein sonuçlarına bakıldığında, 6000 kJ/kg KM özgül enerji Flok dezentegrasyonunun ilk aşaması hücre parçalanması ve hücre içi materyalin çamur sıvı fazına geçmesi, son aşaması ise hücre dışı polimerlerin parçalanması olduğu için ilk aşamada çamur üst suyunda protein içeriği artmakta ve daha sonra

Tablo 3. Farklı özgül enerji seviyelerinde elde edilen partikül boyutu değişimleri

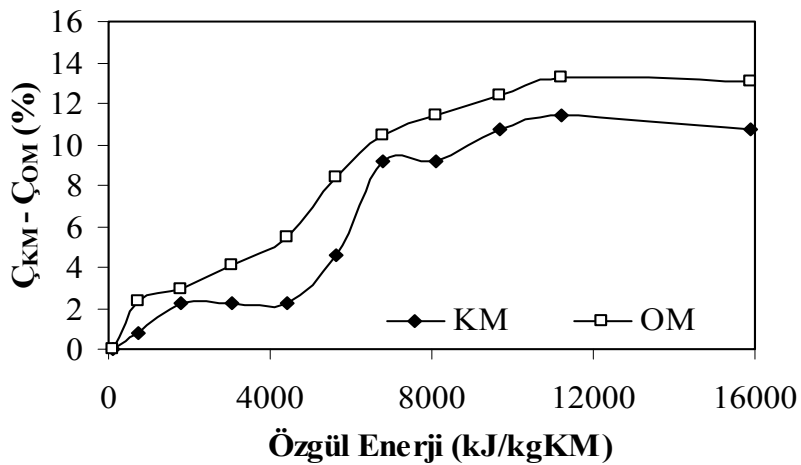
Özgül enerji (kJ/kg KM)	Partikül boyutu ( $\mu\text{m}$ )				
	Yüzey ağırlıklı ortalama D[3,2]	Hacim ağırlıklı ortalama D[4,3]	d (0.1)	d (0.5)	d (0.9)
0	16.155	107.822	8.010	45.230	265.591
112	12.426	98.091	6.011	36.879	261.668
1794	9.787	73.467	4.647	29.944	191.988
5607	9.583	63.571	4.744	24.407	197.345
9690	8.142	40.644	4.064	18.070	110.642
11204	4.768	47.360	1.858	13.303	121.986
15880	5.867	48.052	2.592	15.561	121.807



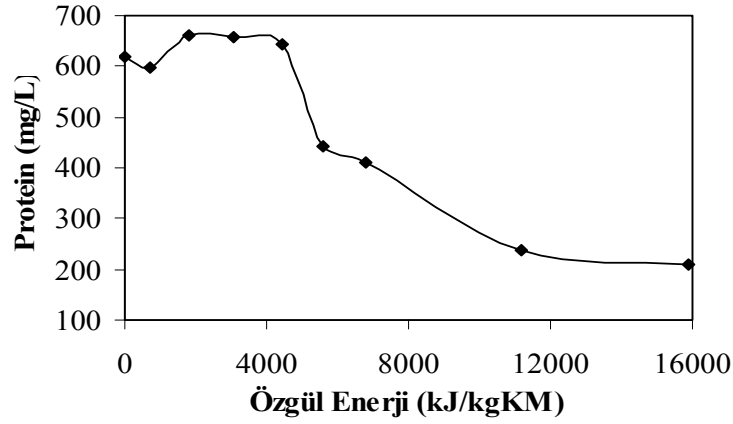
Şekil 2. Özgül enerjinin fonksiyonu olarak değişen çamur üst suyu özellikleri  
(a) ÇOK ve KOİç konsantrasyonları, (b) TN ve TP konsantrasyonları



Şekil 3. Özgül enerjinin fonksiyonu olarak değişen KES değerleri



Şekil 4. Özgül enerjinin fonksiyonu olarak değişen katı madde ve organik madde çözünürlük değerleri



Şekil 5. Özgül enerjinin fonksiyonu olarak değişen protein konsantrasyonları

hücre dışı polimerlerin parçalanması ile çamurda protein içeriği azalmaktadır. Ultrasonik ön arıtma işlemi ile çamur içeriğindeki proteinlerin hidrolizi gerçekleşmiş; bu sonuç ultrasonik ön arıtma işleminin bir sonraki aşamadaki anaerobik çürüme işleminin hızlanmasına olanak sağlayacağını göstermiştir.

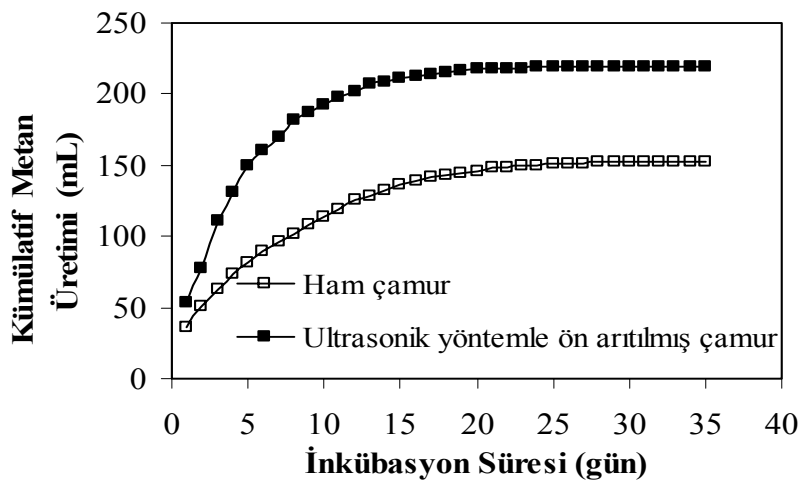
Ham çamur ve DD parametresi esas alınarak belirlenmiş en uygun koşulda (9690 kJ/kg KM özgül enerji, 40 dakika uygulama süresi) ultrasonik ön arıtma işlemi uygulanmış çamurların anaerobik parçalanabilirlik ve metan gazı oluşumu açısından değerlendirilmesi amacıyla uygulanmış olan BMP testi sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

Serum şişelerindeki 35 günlük inkübasyon sonrasında ultrasonik yöntemle ön arıtma işlemi

uygulanmış çamur örneğinde ham çamura kıyasla %44 daha fazla metan gazı oluşumu gözlenmiştir. Bu sonuç ultrasonik ön arıtma işleminin çamurun dezentegrasyonu amacıyla kullanıldığında çamurların anaerobik çürüme performansını geliştirdiğini göstermiştir.

### Değerlendirme

Bu çalışma sonucunda ultrasonik arıtma işleminin anaerobik çürüme öncesinde bir ön arıtma işlemi olarak kullanıldığında çamurun dezentegrasyonunu sağlayarak stabilizasyon derecesini artırdığı ve çürüme işleminde daha fazla metan gazı oluşumuna olanak sağladığı belirlenmiştir. En yüksek DD değeri (% 57.9) 9690 kJ/kg KM özgül enerji uygulamasıyla elde edilmiş olup bu enerji değerinin flok dezentegrasyonu için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ultrasonik ön



Şekil 6. BMP testi sonuçları



arıtma uygulaması çamurların pek çok özelliğini değiştirmiştir. KOİç, ÇOK, çamur suyunda toplam azot ve toplam fosfor analizi sonuçları, ultrasonik arıtma uygulaması ile artan özgül enerji seviyesine bağlı olarak çamurda çözülmüş organik madde konsantrasyonunun arttığını göstermiştir. Ultrasonik ön arıtma uygulaması çamurda partikül boyutu azalmasına neden olmuştur. Artan özgül enerji seviyesine bağlı olarak çamur partikül boyutunda azalma meydana gelmiştir. Ultrasonik ön arıtma işleminin çamurların filtrelenebilirlik özellikleri üzerine etkileri incelendiğinde ultrasonik arıtma uygulamasının biyolojik çamurların filtrelenebilirlik özelliğini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Ultrasonik ön arıtma uygulaması ile çamurda toplam katı madde ve organik madde çözünürlüğü artarak çamurlarda katı madde indirgenmesine ve anaerobik çürüme işleminin performansının artmasına neden olacağı sonucuna varılmıştır. Ultrasonik ön arıtma uygulaması sonucunda çamur içeriğinde azalan protein konsantrasyonları da bu sonucu desteklemiştir.

## 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*, 21<sup>st</sup> edition, Eaton, A.D. Clesceri, L.S. and Greenberg, A.E., eds.
- Biyu, S. ve Xiaofei, C., (2009). Effect of Aeolosoma hemprichi on excess activated sludge reduction, *Journal of Hazardous Materials*, **162**, 300-304.
- Bougrier, C., Albasi, C., Delgenés, J.P. ve Carrère, H., (2006). Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability, *Chemical Engineering and Processing*, **45**, 711-718.
- Bougrier, C., Albasi, C. ve Delgenés, J.P., (2005). Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment, *Chemical Engineering Journal*, **106**, 163-169.
- Chu, C.P., Chang, B.V., Liao, G.S., Jean, D.S. ve Lee, D.J., (2001). Observations on changes in ul-

- trasonically treated waste-activated sludge, *Water Research*, **35**, 4, 1038-1046.
- Frolund, B., Palmigren, R., Keiding, G.K. ve Nielsen, P.H., (1996). Extraction of extracellular polymer from activated sludge using a cation Exchange resin, *Water Research*, **30**, 8, 1749-1758.
- Gonze, E., Pilot, S., Valette, E., Gonthier, Y. ve Bernis, A., (2003). Ultrasonic treatment of an aerobic activated sludge in a batch reactor, *Chemical Engineering and Processing*, **42**, 965-975.
- Goodwin, J.A.S. ve Forster, C.F., (1985). A further examination into the composition of activated sludge surfaces in relation to their settlement characteristics, *Water Research*, **19**, 4, 1038-1046.
- Li, Y.Y. ve Noike, T., (1992). Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by thermal pretreatment, *Water Science and Technology*, **26**, 857-866.
- Muller, J.A., (2003). Conditioning, thickening and dewatering of mechanically disintegrated excess sludge, *Separation Science and Technology*, **38**, 4, 889-902.
- Muller, J.A., (2000). Disintegration as a key-step in sewage sludge treatment, *Water Science and Technology*, **41**, 8, 123-130.
- Muller, J.A., Winter, A. ve Strükmann, G., (2004). Investigation and assessment of sludge pretreatment processes, *Water Science and Technology*, **49**, 10, 97-104.
- Nickel, K. ve Neis, U., (2007). Ultrasonic disintegration of biosolids for improved biodegradation, *Ultrasonics Sonochemistry*, **14**, 450-455.
- Pham, T.T.H., Brar, S.K., Tyagi, R.D. ve Surampalli R.Y., (2009). Ultrasonication of wastewater sludge-Consequences on biodegradability and flowability, *Journal of Hazardous Materials*, **163**, 891-898.
- Razo-Flores, E., Lujton, M., Donlon, B.A., Lettinga, G. ve Field, J.A., (1997). Biodegradation of selected azo dye under methanogenic conditions, *Water Science and Technology*, **36**, 65-72.
- Riesz, P., Berdahl, D. ve Christman, L., (1985). Free radical generation by ultrasound in aqueous and nonaqueous solutions, *Environmental Health Perspectives*, **64**, 233-252.
- Show, K.Y., Mao, T. ve Lee, D.J., (2007). Optimisation of sludge disruption by sonication, *Water Research*, **41**, 4741-4747.
- Speece, R.E., (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*, Arche Press.
- Tiehm, A., Nickel, K. ve Neis, U., (1997). The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge, *Water Science and Technology*, **36**, 11, 121-128.

- Tiehm, A., Nickel, K., Zellhorn, M. ve Neis, U., (2001). Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization, *Water Research*, **35**, 8, 2003-2009.
- Vranitzky, R. ve Lahnsteiner, J., (2005). Sewage sludge disintegration using ozone – A method of enhancing the anaerobic stabilization of sewage sludge, VA TECH WABAH, R&D Process Engineering, Siemensstrasse 89, A-1211, Vienna, Austria.
- Wang, F., Wang, Y. ve Ji, M., (2005). Mechanisms and kinetics models for ultrasonic waste activated sludge disintegration, *Journal of Hazardous Materials*, **B1231**, 45-150.
- Weemaes, M. ve Verstraete, W., (2001). Other treatment techniques, *Sludge into Biosolids Processing, Disposal and Utilization*, Spinosa, L. ve Vesilind, P.A., eds, London, IWA Publishing: 364-383.
- Xie, B., Liu, H. ve Yan, Y., (2009). Improvement of the activity of anaerobic sludge by low-intensity ultrasound, *Journal of Environmental Management*, **90**, 260-264.
- Zawieja, I., Wolny, L. ve Wolski, P., (2008). Influence of excessive sludge conditioning on the efficiency of anaerobic stabilization process and biogas generation, *Desalination*, **222**, 374-381.
- Zhang, G., Zhang, P., Yang, J. ve Liu, H., (2008). Energy-efficient sludge sonication: Power and sludge characteristics, *Bioresource Technology*, **99**, 9029-9031.