

## Kesikli ozonlama yöntemi ile atık çamur azaltımı

**Melis MUZ, M. Selcen SÖNMEZ, Okan T. KOMESLİ, Celal F. GÖKÇAY\***

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İnönü Bulvarı, 06531, Ankara*

### Özet

*Biyolojik atıksu arıtma tesislerinde atıksuyun arıtılmasının yanı sıra fazla çamurun da uzaklaştırılması önemlidir. Tesis işletme maliyetlerinin yaklaşık yarısından fazlası çamur bertarafına harcanmaktadır. Bu nedenle uygulanabilir, ekonomik ve yenilikçi yöntemler araştırılmaktadır. Araştırılan süreçler arasında ozon güçlü bir oksidan olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada 15-30 gün gibi uzun süren aerobik çürütmeyi kısaltmak için havalandırmaya ilave olarak ozon kullanılması araştırılmıştır. Benzer çalışmalardan farklı olarak araştırmada ozon sürekli olarak kullanılmamış olup bakterilerin ikileme zamanı dikkate alınarak 24 saatte bir kez pals şeklinde kısa sürelerle tatbik edilmiştir. Böylece ozonun biyolojik parçalanmaya olan etkisi de incelenmiştir. Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi Havalandırma Tankı'ndan alınan numuneler ile yapılan deneyler sırasında günde bir kez erlenlerdeki çamurlara 2, 3, 4 ve 6 dakikalık sürelerle ozonlama yapılmış, daha sonra çamur 24 saat süreyle çalkalayıcıda bekletilmiştir. Dört gün süreyle devam eden deneylerde rutin olarak TKM, UKM, KOİ ve OTH ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak bu süre bitiminde UKM indirgenmesi 2, 3, 4 ve 6 dakika ozonlamalar için sırasıyla %22.6, %40, %75 ve %84 olarak tespit edilmiştir. Standart havasal çamur çürütme ile elde edilen çamur azaltımı %40-50 iken kesikli ozonlama ile elde edilen çamur azaltımı % 80 üzerine çıkmıştır. Yine reaksiyon süresi 20-30 günden 4 günlere inmiştir. Ozon destekli çürütülmüş çamurda yapılan koli basili analizleri de çamurdaki koli basillerinin bu süre içerisinde tamamen öldürüldüğünü göstermiştir. Yine ozon destekli havasal çürütmede önemli miktarda ortama fosfor salınmadığı görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Ozon, çamur degradasyonu, bakteri, ikileme zamanı, pals.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Celal F. GÖKÇAY. [cfgokcay@metu.edu.tr](mailto:cfgokcay@metu.edu.tr); Tel: (312) 210 58 76.

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 19.12.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 09.04.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmektedir.

## Sludge reduction with pulse ozonation

### Extended abstract

Biological treatment is one of the most widely used treatment techniques. Although its high efficiency and easy design make it a preferable option, excess sludge production is a massive burden for the facilities. Approximately, half of the operation cost for domestic wastewater treatment plants is spent for sludge treatment and disposal. Even after treatment it may act as a secondary pollution source at the disposal site due to its heavy metal, pathogen and persistent organic pollutant contents. Therefore, several strategies are considered for excess sludge treatment. Incineration, dewatering, landfilling and use for agricultural purposes are some of them. However, since regulations on the use and disposal of excess sludge are much more stringent than past years, people tend to use methods which reduce the volume of sludge such as thermal, mechanical, chemical and oxidation pretreatment. Ozonation which is a chemical treatment method establishes disintegration by two mechanisms: first one is the destruction of the cell wall of the microorganism and the second one is the mineralization of the intracellular components. According to high degree of disintegration and cost effectiveness of ozonation make it a feasible technique among the other disintegration techniques. Consequently, ozone treatment of sludge gaining popularity and this leads to a new area of study in environmental engineering. The common point of previous studies is the continuous ozonation of the samples. However, ozone is a very expensive chemical to be wasted. Therefore it should be used properly. That led us to consider about pulse ozonation of sludge which would be economically more feasible if it can be as efficient as continuous ozonation. In this study it was planned to use ozone as a substitute to shorten the 15-30 day-long aerobic digestion process. Waste activated sludge samples from Ankara Tatlar Wastewater Treatment Plant were ozonated for 2, 3, 4 and 6 minutes respectively in Erlenmeyer flasks once a day on each of four consecutive days and left for incubation in between on a shaker. In the experiments, ozone was supplied by OSC-Modular 4HC, WEDECO ITT INDUSTRIES (2007) ozone generator. Operating pressure of the generator is 5 bar and the gas flow rate is 10-140 L/hr with a rated capacity of 4 g/hr. Ozone amount that is released to

water in time interval was measured by using Standard Methods 8021 (DPD chlorine reagent) and calibration curve was obtained by spectrophotometric measurement (for 25 mL sample). The MLVSS, MLSS, COD and OUR parameters were measured routinely during the four days. MLSS measurements were done according to Standard Methods (2540B) (APHA, 1998). Chemical oxygen demand (COD) was measured by Hach Lange kits according to HACH 8000(US EPA approved) method. Volatile Suspended Solids (MLVSS) was measured according to 2540 solids method. Total-P was analyzed by 365.4 EPA Method and ortho-phosphate was analysed with 365.3 EPA Method. Obviously, one of the most important reasons of sludge treatment is sludge disinfection. In order to have an opinion about this concept, it was decided to count *E.coli* in the sludge. Also considering the possibility of phosphorus release, total phosphorus and ortho-phosphate were checked in the 6' ozonated sample. At the first day, total phosphorus of the sludge was 0.006 g per g biomass and after the first ozonation this amount increased to 0.0082. By these results, it can be concluded that ozonation does not release significant amounts of phosphorus to the medium. At the end of the experiments, MLVSS reductions for 2, 3, 4, and 6 minutes were observed as 22.6%, 40%, 75% and 84% respectively. As a result of the experiments, by the pulse ozonation of the non-digested activated sludge, both stabilization and reduction of the sludge were achieved in such short period as 4 days. Moreover, it can be ascertained that the obtained sludge was both disinfected from *E.coli* and phosphorus rich. Furthermore, since the COD left in the medium after the experiments was biodegradable, it was concluded that it would be feasible to return to the beginning of the system. Hence, it became possible to save on both time of contact and the amount of ozone used in comparison with other studies where samples were ozonated on continuous bases. The obtained results show similar values for MLVSS, MLSS and COD for both 4' and 6' ozonation for first 3 days. Nevertheless, since the 6' ozonation is more effective in sludge stabilization, after the 4' ozonation for the first 3 days, 6' ozonation for the 4<sup>th</sup> day is suggested.

**Keywords:** Ozone, sludge degradation, bacteria, doubling time, pulse.

## **Giriş**

Biyolojik arıtım en yaygın kullanılan arıtma tekniklerinden biridir. Kolay dizaynı ve yüksek verimliliği bu tekniği diğer yöntemlerden ayırmasına rağmen atık çamur üretimi tesisler için büyük bir ekonomik yük teşkil etmektedir (Liu, 2003). Yaklaşık olarak evsel atıksu arıtma tesisi işletim maliyetinin yarısı çamur arıtımı ve bertarafına harcanmaktadır (Song vd., 2003; Saby vd., 2002). Arıtma çamurları içeriğindeki ağır metal, patojen ve kalıcı organik maddelerden ötürü arıtma sonrasında bile ikincil kirletici kaynak olarak görülmektedir (Zhang vd., 2008). Bu nedenle çamur arıtımı için birçok değişik strateji geliştirilmiştir. Bu uygulamalardan birkaçı yakma, susuzlaştırma, düzenli depolama ve tarımsal faaliyetlerde kullanma olarak sıralanabilmektedir. Ancak atık çamurun kullanımı ve depolanması üzerine düzenlenen yönetmeliklerin gittikçe sıkılaşmasından dolayı odak noktası çamurun hacmini azaltmaya yönelmiştir (Egemen vd., 2001). Örneğin; termal, mekanik, kimyasal ve oksidasyon ön arıtımı bunlardan bazılarıdır (Park vd., 2002). Park ve diğerlerinin makalesinde belirtildiği gibi ozon güçlü bir oksidan olduğu için, hem çamurun arıtılmasında hem de hacmini azaltılmasında ön plana çıkmıştır (Albuquerque vd., 2008). Ozonla çürütme birincisi bakterilerin hücre duvarlarının parçalanması ikincisi ise hücre içi maddelerin mineralize olması şeklindeki iki mekanizma ile gerçekleşir (Park vd., 2002). Muller (2000)'e göre ozonlama prosesini diğer ayrıştırma yöntemlerinden daha üstün yapan ozonun uygun maliyeti ve yüksek derecede ayrıştırma kapasitesidir. Böylece, atık çamurun ozonla arıtılması tüm dünyada popülerlik kazanmakta ve biz çevre mühendisleri için yeni bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Şimdiye kadar bu konuda pek çok bilimsel araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda sürekli düzende ozonlamanın arıtma tesislerinin biyolojik reaktörü, çamur supernatantı, aktif çamur geri dönüşüm hattı ve çamur arıtma ünitesi gibi farklı noktalarındaki çöktürülebilirlik, susuzlaştırılabilirlik, atık çamur azaltımı, pH, nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri mikrobik flok boyutu ve su kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir (Yasui ve Shibata, 1994; Goel vd., 2004; Böhler ve Siegrist, 2004;

Dytczak vd., 2006; Weemeas vd., 2000; Park vd., 2002; Paul ve Debellefontaine, 2007; Mines vd., 2009; Song vd., 2003). Bütün bu çalışmaların ortak noktası numunelerin devamlı olarak ozonlanmasıdır. Ancak ozon çok pahalı bir madde olduğundan boşa harcanmamalıdır. Ozonun bu özelliği bizi devamlı ozonlama yöntemine göre ekonomik açıdan daha makul olan onun kadar verimli olan çamurun aralıklı ozonlanması fikrine yönlendirmiştir.

Bu çalışmanın esas hedefi ozonlamanın biyolojik parçalanmaya olan etkilerini ortaya koymaktır. Bu hedefe ulaşmak için şimdiye kadar gerçekleştirilmiş çalışmalardan farklı bir yöntem uygulanmıştır. Havalandırma havuzu çamurunun ozonlanması, havuzun içerisindeki bakteri kültürünün ikileme zamanı dikkate alınarak yapılmıştır. 2, 3, 4 ve 6 dakikalık kısa süreli ozonlamaların ardından biokütle parçalanmış ve mineralize olmuş biokütleyi tüketerek çoğalması için 24 saat çalkalayıcıya konulmuştur. Bu da en basit şekliyle bakterinin kendi kendisini yemesi olarak tabir edilebilmektedir.

## **Materyal ve metod**

### **Çamur karakterizasyonu**

Atık çamur örnekleri Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi'nin havalandırma tankının geri dönüşüm hattından alınmıştır. Kullanılan çamurun TKM değeri 2.3 g/L'ye distile su ilave edilerek ayarlandı. Bu çamurun UKM değeri ise 1.9 g/L sabit olarak tespit edildi. Tatlar tesisi bir konvansiyonel aktif çamur tesisi olup; genellikle çok kısa çamur yaşında işletilmektedir. Tasarım ve tipik çamur yaşı 2 - 4 gündür. Fazla çamur havasız arıtma ile bertaraf edilmektedir.

### **Çamur hazırlama**

Deneyle başlanmadan önce ortamdaki çözülmüş KOİ girişimini engellemek amacıyla çamur pH 7'de fosfat tampon çözeltisiyle (0.013:0.013 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) yıkanmıştır. Böylece KOİ'nin sadece ortamdaki biokütleden kaynaklanıyor olması amaçlanmıştır. Çamur iki kez fosfat tamponu ile santrifüj edilerek yıkanmıştır. Santrifüj edilen çamurların üst fazları atılarak peletler tampon çözeltisi eklenerek 300 mL'ye tamamlanmıştır. Bu prosedür kontrol ve paralel gruplarına da aynen uygulanmıştır.

### Ç amurun ozonla parçalanması

Deneylerde WEDECO ITT INDUSTRIES (2007) yapımı OSC-Modular 4HC laboratuvar tipi ozon jeneratörü kullanılmıştır. Ozonatörün işletim basıncı 5 bar, gaz akış hızı 10-140 L/sa, kapasitesi 4gr/saattir. Zaman bazında suya geçirilen ozon miktarı, Standart Methods 8021 (DPD klor ayracı) metodu ile, kalibrasyon eğrisi çizilerek spektrofotometrik yolla ölçülmüştür.

### Analiz

Toplam katı madde (TKM-MLSS) Standard Methods (2540B) (APHA,1998)'e göre yapılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) Hach Lange kitleri kullanılarak HACH 8000 (US EPA onaylı) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Uçucu katı madde (UKM-LVSS) 2540 solids metoduna göre yapılmıştır. Toplam fosfor EPA Method 365.4 ve ortofosfat ise EPA 365.3'e göre analiz edilmiştir. Sudaki ozon Standart Methods 8021 (DPD klor ayracı) metodu ile ölçülmüştür.

### Sonuçlar ve değerlendirme

Bu araştırmada iki deney seti hazırlanmıştır. Her iki sette de ç amur ç ürümesi TKM ve UKM bakılarak takip edilmiş, erlenlerdeki katı madde süzülerek süzüntü de KOİ analizleri gerçekleştirilmiştir. İkinci sette bu analizlere ilave olarak oksijen tüketim hızı, OTH, da ölçülmüştür. 4 ve 6 dakika süre ile test erlenlerinde elde edilen ozon miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Ozon değerleri her bir erlene ilave edilen biokütle bölünerek g ozon/g biokütle değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 1. Biokütle başına düş en ozon dozu

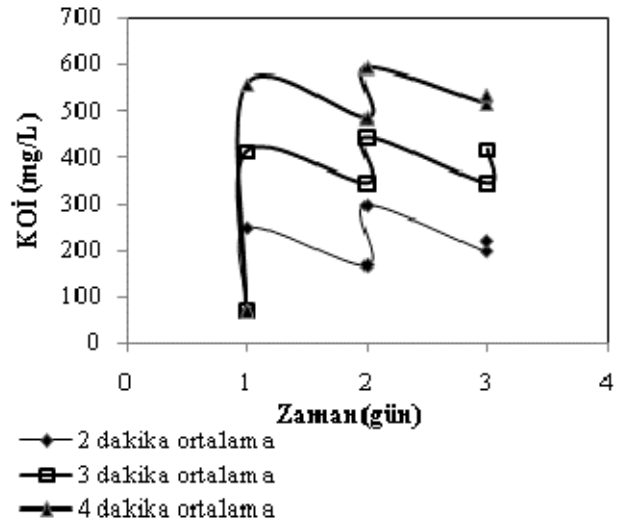
Süre (dk.)	Ozon (mg/L)	g ozon/g biokütle
4	3.2141	0.0017
6	4.0363	0.0021

Deneylerde başlangıçtan itibaren ozonlama öncesi ve hemen sonrasında TKM ve UKM ölçülmüş, filtratta ise sadece KOİ ölçümü yapılmıştır. Daha sonra 24 saat ç alkalanmaya bırakılan ç amurlar 4 gün boyunca orbital ç alkalayıcıda 75 dev/dk. hızla 25°C'de inkübe edilmiştir. Bu örnekler her gün aynı saatlerde belir-

tilen süreyle ozonlanmış ve her defasında ozonlama öncesi ve sonrası aynı ölçümler yapılmıştır

### Birinci set deneyler

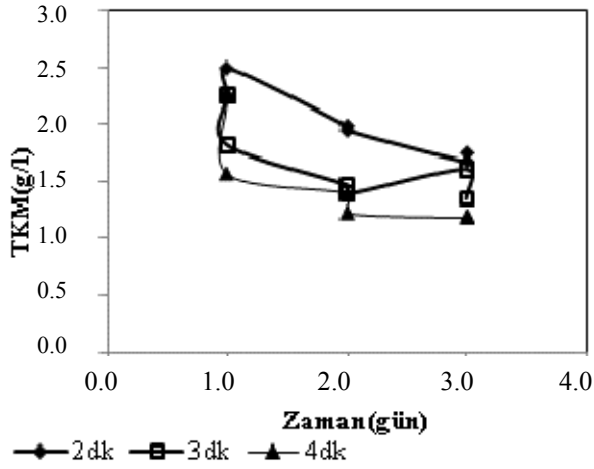
İlk deney setinde numuneler 2, 3 ve 4 dakikalık ozonlama işlemine tabi tutulduktan sonra elde edilen sonuçlar Ş ekil 1'de sunulmaktadır. Bu deneyler sonucunda 2 ve 3 dakikalık ozonlamanın yetersiz olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, 6 dakika ozonlanan numunede, takip eden günlerde ozonlamadan sonra dikkate değer miktarda KOİ açığa çıkmadığı Ş ekil 2'den anlaşılmaktadır. İlk günkü ozonlamanın biyokütleyle tamamen öldürmüş olabileceği ve buna bağlı olarak bakteri gelişiminin sürmemesi sonucunda yeniden KOİ salınımının neredeyse sıfır olduğu düşünülmüştür. Birinci set deneylerde elde edilen numerik değerler Tablo 2'de verilmektedir.



Ş ekil 1. KOİ değerlerinin karşılaştırılması

Birinci deney setinden elde edilen sonuçlardan sisteme ozon verildiğinde mikroorganizma hücre duvarlarının parçalanarak hücre içi maddelerin ortama salındığı ve KOİ'yi arttırdığı anlaşılmaktadır. Daha sonra bu erlenlerin 24 saat inkübasyonu sonucunda KOİ'nin tüketilerek ortamdaki uzaklaştırıldığı ve bunu takip eden ozonlama sırasında yeniden KOİ salınımı meydana geldiği görülmektedir. TKM (MLSS) ölçümlerinin verildiği Ş ekil 2'den de görüldüğü gibi 2, 3 ve 4 dakika ozonlama prosesine tabi tutulan erlenlerde beslenen ozon miktarı ile

doğru orantılı olarak TKM miktarında bir düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 2. 2, 3 ve 4 dakikalık numunelerin TKM değerlerinin karşılaştırması

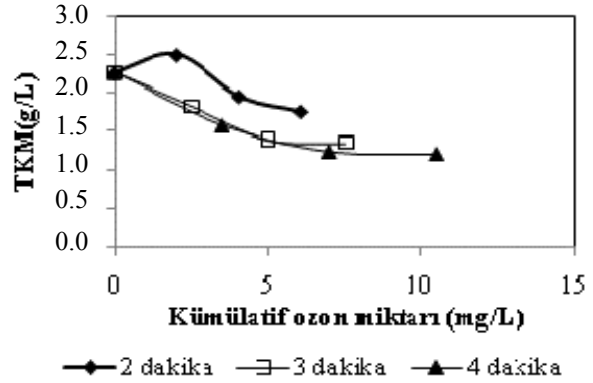
Tablo 2. Ozonlanma süresine göre TKM ve KOİ değerlerinin değişmesi

Parametre	Birim	2 dk.	3 dk.	4 dk.
TKM <sub>başlangıç</sub>	(g/L)	2.26	2.26	2.26
TKM <sub>son</sub>	(g/L)	1.75	1.35	1.2
TKM <sub>indirgenmesi</sub>	(%)	23	40	47
KOİ <sub>başlangıç</sub>	(mg/L)	71	71	71
KOİ <sub>son</sub>	(mg/L)	221	417	537

Ozonlamadan sonra ortamda kalan biokütle çalkalama süresi boyunca ortaya çıkan KOİ'yi tüketmektedir. Ortamdaki kalan biokütle miktarı giderek azaldığı için deney boyunca biyokütle tarafından tüketilen KOİ'nin azaldığı ve her ozonlama ile birlikte giderek daha az KOİ'nin filtrata salındığı anlaşılmaktadır. 6 dakika uygulamasında ilk gündeki biyokütle parçalanmasından dolayı ortaya çıkan KOİ artışı çok yüksek olmasına rağmen bu süreyi takip eden günlerde bu kadar yüksek bir artış gözlemlenmemiştir. Bu davranış iki olasılığı akla getirmektedir. Buna göre ya ilk gün ozonlamasının biyokütleyi tamamen parçalaması ve filtrata KOİ salınımını sağlamaktadır ve bundan sonraki ozonlamanın KOİ salınımına katkısı bulunmamaktadır, ya da yüksek ozon uygulaması biyokütleyi tamamiyle öldürmekte ve sonraki KOİ tüketimini engelle-

mektedir. 2, 3 ve 4 dakika ozonlama uygulamasına tabi tutulan erlenlerde 4. gün sonunda verilen toplam ozon miktarları ve elde edilen TKM azalması Şekil 3'te sunulmaktadır. Burada 4 dakika uygulamasında TKM azalmasının 6 mg/L toplam ozon uygulandığında sona erdiği görülmektedir.

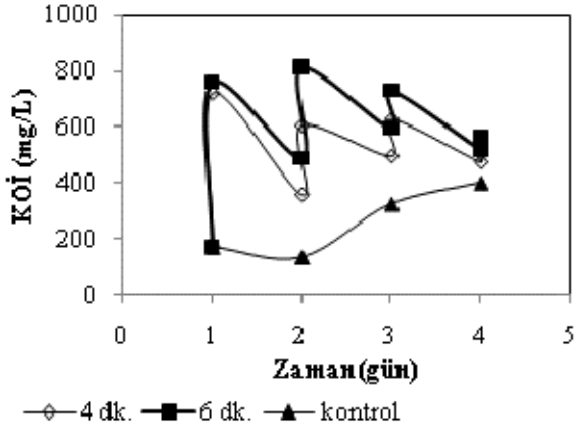
Bu ise 2.65 g ozon / g toplam kütle sarfiyatına karşılık gelmektedir.



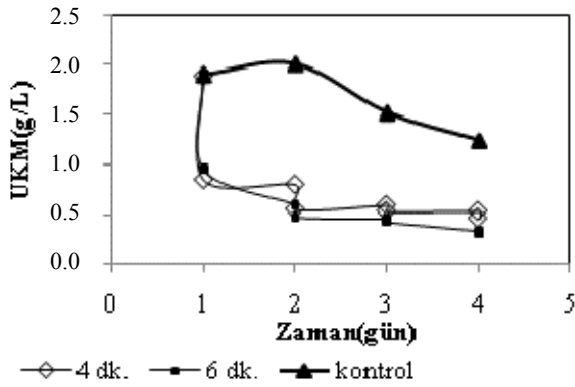
Şekil 3. Kümülatif ozon miktarının TKM üzerindeki etkisi

### İkinci set deneyler

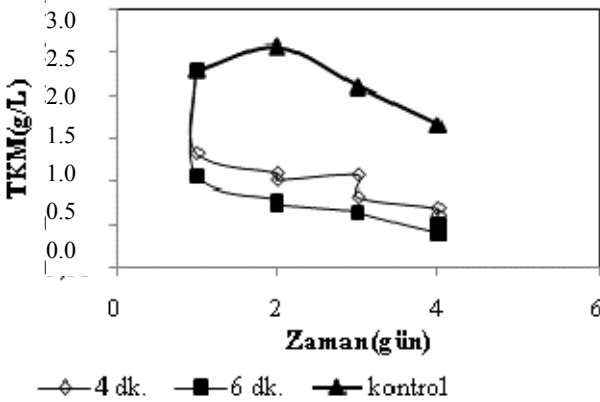
Bu deneyler birinci set deneyleri teyit ve eksik bulguları tamamlama amacıyla sadece seçilen 6 ve 4 dakika uygulaması ile ilgili yapılmıştır. Şekil 4'ten görüleceği gibi 4 ve 6 dakika ozon uygulaması ilk gün KOİ salınımında önemli bir fark göstermemektedir. Ancak zaman içinde uygulamasında KOİ salınımının yükseldiği anlaşılmaktadır. Bu ise 6' uygulamasının canlı biyokütleyi daha çok tahrip ettiğini göstermektedir. 4' uygulamasında kalan aktif biyokütle daha fazla olduğu için havalandırma sırasında daha yüksek KOİ tüketimi gözlemlenmiştir. Bu davranış Şekil 5'te gösterilen ölçümlerinden de anlaşılmaktadır. 3. gün sonunda 4' uygulamasında TKM azalmasının durduğu 6' uygulamasında ise halen devam etmekte olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6'da gösterilen TKM davranışı da bu gözlemleri teyit eder mahiyettedir. 3. gün sonunda 4' uygulamasında TKM değişimi olmadığı halde 6' uygulamasında TKM azalması devam etmiştir.



Şekil 4. Kontrol ve 4, 6 dakika ozonlanmış numunelerin KOİ değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5. Kontrol ve 4, 6 dakika ozonlanmış numunelerin UKM değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6. Kontrol ve 4, 6 dakika ozonlanmış numunelerin TKM değerlerinin karşılaştırılması

#### Oksijen tüketim hızı

4' ve 6' uygulamasından geriye kalan biyokütlenin stabilize olma durumu oksijen tüketim hızı

(OTH) verileri (Tablo 3) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3'ten de görüldüğü gibi, deney boyunca oksijen tüketim hızı tüm erlenlerde düşmektedir. Deney erlenlerinde OTH kontrolden çok daha düşük seyretmiştir. Özellikle 6' erleninde deney sürecinin sonunda neredeyse hiç biyokütle kalmadığı için en fazla düşüş burada görülmüştür. Bu erlendeki ortama salınan KOİ'nin biyolojik olarak ayrıştırılıp ayrıştırılmayacağını anlamak için, oksijen tüketim hızı bilinen biyokütle aşısı olarak 4 gün süresince 6 dakikalık ozonlamaya tabi tutulan numuneye son ozonlamadan sonra eklenmiştir ve OTH'ye bakılmıştır. Aşının dO/dt değeri -0.0004 ve aşısı eklenmiş numunenin de dO/dt değeri -0.0006 olarak ölçüldüğü için, 6 dakika ozonlanmış bu numunenin ortama bıraktığı KOİ'nin biyolojik olarak ayrıştırılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3. Günlere göre 4, 6 dakikalar ve kontrol grubunun oksijen kullanma hızları

OTH (dO/dt)	kontrol	4 dakika	6 dakika
Birinci gün	-0.0008	-0.0008	-0.0008
İkinci gün	-0.0006	-0.0008	-0.0003
Üçüncü gün	-0.0005	-0.0003	$-2 \times 10^{-5}$
Dördüncü gün	-0.0004	-0.0002	$-5 \times 10^{-5}$

Havali çürütme özellikle fosfor gideren proseslerde uygulanan bir çamur bertaraf etme uzaklaştırma yöntemidir. Bu türlü çamurlar fosfor salınımını gerçekleştirebilmek için havasız ortamlara sokulmamalıdır. Yapılan deneyler sonucunda fosfor açısından zengin çamur elde edilirse, bu çamurun ikincil amaçlar için de kullanılabilmesi mümkün olabilecektir. Deneyler sonunda ortama sadece KOİ değil fosfor da salınabileceği düşünülerek 6 dakika ozonlanan numunede toplam fosfor ve ortofosfat bakılmıştır. İlk gün çamurun toplam fosforu 11.36 mg/L, ozonlama sonrası ortofosfat ise 3.6 mg/L olarak ölçülmüştür. Başlangıçta g biyokütle başına 0.006 g fosfor düşerken ilk ozonlamadan sonra bu değerinin 0.0082'ye çıktığı tespit edilmiştir. Bu veriler ozonlama deneyleri sonucunda ortama önemli miktarda fosfor salınmadığına işaret etmektedir.

Bilindiği üzere çamur arıtımının en önemli biri de çamurların dezenfeksiyonudur. Bu konu hakkında bir fikir elde edebilmek için çamurda *E.coli* sayımı yapılmıştır.

Çamur homojenize edildikten sonra sıvıda yapılan *E.coli* sayımında ilk gün 800 bakteri kolonisi / 100 mL bulunurken ozonlama sonrasında hiç *E.coli* kolonisine rastlanmamıştır.

## Sonuç

Yapılan deneyler sonucunda, hiç çürütülmemiş aktif çamurun kesikli ozonlama yöntemi ile 4 gün gibi kısa bir sürede hem çürütülmesi hem de stabilizasyonu sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, elde edilen çamurun koli basili açısından dezenfekte edilmiş ve fosfor açısından da zenginleşmiş hale gelmiş olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca deneyler sonunda ortamda kalan KOİ'nin biyolojik olarak ayrıştırılabilir olduğu gösterildiği için sisteme geri dönüşünün mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Elde edilen sonuçların ışığında, ilk 3 gün için 4 ve 6 dakikalık ozonlamanın UKM, TKM ve KOİ açısından birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak stabilizasyon konusunda 6 dakika ozonlama daha verimli olduğu için, ilk üç gün 4 dakika ozonlamanın ardından dördüncü gün 6 dakikalık ozonlama yapılması burada önerilmektedir. Literatür değerlerine göre havalı çamur çürütme için atık çamur hidrolik bekleme süresi 10-15 gündür (20 °C) (Metcalf & Eddy 1991). Bu süre sonunda elde edilmesi beklenen UKM azalması ise %40-50 civarındadır. Bu çalışmada ozonlama ile birlikte elde edilen UKM azalması %84 (6 dk. için) ve gerekli temas süresi 4 gün olarak belirlenmiştir.

## Teşekkür

ODTÜ-Teknokent'e desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

Albuquerque, J.S., Domingos, J.C., Sant'Anna Jr., G.L. ve Dezotti, M., (2008). Application of ozonation to reduce biological sludge production in an industrial wastewater treatment plant, *Water Science and Technology*, **58**, 10, 1971-1976.

APHA, (1998). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 17<sup>th</sup> edition, American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation, Washington DC.

Böhler, M. ve Siegrist, H., (2004). Partial ozonation of acitvated sludge to reduce excess sludge, improve denitrification and control scumming and bulking, *Water Science and Technology*, **49**, 10, 41-49.

Dytczak, M.A., Londry, K.L., Siegrist, H. ve Oleszkiewicz, J.A., (2007). Ozonation reduces sludge production and improves denitrification, *Water Research*, **41**, 543-550.

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.

EPA, (1974). Method#365.4, Phosphorus, Total.

EPA, (1978). Method#365.3, Phosphorus, All Forms.

Goel, R., Takutomi, R. ve Yasui, H., (2003). Anaerobic digestion of excess activated sludge with ozone pretreatment, *Water Science and Technology*, **47**, 12, 207-214.

Hach Method 8021. DPD Chlorine reagent. (USEPA approved for drinking water analysis).

Hach Method 8000. Chemical oxygen demand. (USEPA approved for drinking water analysis).

Liu, Y., (2003). Chemically reduced excess sludge production in the activated sludge process, *Chemosphere*, **50**, 1, 1-7.

Metcalf & Eddy Inc. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, New York: McGraw-Hill.

Mines, Jr., R.O., Northen, C.B. ve Murchison, M., (2008). Oxidation and ozonation of waste activated sludge, *Journal of Environmental Science and Health*, **43**, 610-618.

Müller, J., (2002), Disintegration as a key step in sewage sludge treatment, *Water Science and Technology*, **41**, 8, 123-130.

Park, K.Y., Ahn, K.H., Maeng, S.K., Hwang, J.H. ve Kwon, J.H., (2002), Feasibility of sludge ozonation for stabilization and conditioning, *Ozone Science and Engineering*, **25**, 73-80.

Paul, E. ve Debellefontaine, H., (2007), Reduction of excess sludge produced by biological treatment processes: Effect of ozonation on biomass and on sludge, *Ozone: Science and Engineering*, **29**, 415-427.

Saby, S., Djafer, M. ve Chen G., (2002), Feasibility of using a chlorination step to reduce excess sludge in activated sludge process, *Water Research*, **36**, 656-666.

- Song, K., Choung, Y., Ahn, K., Cho, J. ve Yun, H., (2003). Performance of membrane bioreactor system with sludge ozonation process for minimization of excess sludge production, *Desalination*, **157**, 353-359.
- Weemaes, M., Grootaerd, H., Simoens, F. ve Verstraete, W., (2000), Anaerobic digestion of ozonized biosolids, *Water Research*, **34**, 8, 2330-2336.
- Yasui, H. ve Shibata, M., (1994), An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process, *Water Science and Technology*, **30**, 9, 395-404.
- Zhang, G., Yang, J., Liu, H. ve Zhang, J., (2009). Sludge ozonation: Disintegration, supernatant changes and mechanisms, *Bioresource Technology*, **100**, 1505-1509.