

Biyolojik Çamurların Elektro-Oksidasyon Prosesi ile Şartlandırılması

Gülbin ERDEN

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 20070, Denizli
(ORCID: 0000-0001-5719-1950)

(Alınış / Received: 27.03.2018, Kabul / Accepted: 17.05.2018,
Online Yayınlanma / Published Online: 15.09.2018)

Anahtar Kelimeler
Biyolojik Çamur,
Elektro-
oksidasyon
Filtrelenebilirlik,
Yanıt Yüzey
Metodu

Özet: Bu çalışmada bir ileri oksidasyon yöntemi olan elektro-oksidasyon prosesinin evsel nitelikli arıtma çamurlarının su verme özelliklerini geliştiren bir şartlandırma yöntemi olarak uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Elektro-oksidasyon prosesi, Denizli’de bulunan bir evsel atıksu arıtma tesisinden alınan biyolojik çamurlara uygulanmıştır. Şartlandırma açısından en uygun proses koşullarının belirlenmesine yönelik olarak Yanıt Yüzey İstatistiksel Deney Metodu kullanılmıştır. Kapiler emme süresi (KES) değerindeki azalma yüzdesi (E_{KES}) sistem verimi olarak dikkate alınmış; değişken parametreler ise uygulanan gerilim ve süre olarak seçilmiştir. Kapiler emme süresinde en yüksek azalma yüzdesi 30 volt gerilimin 20 dakika süre ile uygulaması ile elde edilmiş olup, bu uygulamada E_{KES} değeri %30,5 olarak belirlenmiştir. Elektrolit ilavesi (15g Na_2SO_4/L) çamurun su verme özelliklerini geliştirmiştir ($E_{KES}=\%68$). Elektro-oksidasyon prosesinin şartlandırma amacıyla kullanılabilirliğini değerlendirmek ve hâlihazırda gerçek ölçekli tesislerde yaygın olarak kullanılan kimyasal şartlandırma işlemi ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla çamur örnekleri farklı konsantrasyonlarda katyonik polimer kullanılarak şartlandırma işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar elektro-oksidasyon prosesinin iyi bir şartlandırma yöntemi alternatifi olduğunu ortaya koymuştur.

Conditioning of Biological Sludge with Electro-oxidation Process

Keywords
Biological Sludge,
Electro-oxidation,
Filterability,
Response Surface
Method

Abstract: In this study, the feasibility of an advanced oxidation method of electro-oxidation process, as a conditioning method for improving the watering properties of domestic sludge was evaluated. Electro-oxidation process was applied biological sludge taken from a wastewater treatment plant in Denizli City. Response Surface Statistical Test Method was used for determination of optimum process conditions in terms of conditioning. While, percent decrease in Capillary Suction Time (CST) value (E_{CST}) was considered as system response, applied voltage and time were chosen as variable parameters. Maximum decrease in CST was

achieved at 30 volt and 20 minutes application and at this application, E_{CST} was determined as 30.5%. Addition of supporting electrolyte (15g Na_2SO_4/L) improved dewatering characteristics of sludge ($E_{CST}=68\%$). Sludge samples were subjected to conditioning treatment with using different concentrations of cationic polymer in order to evaluate the usability of the electro-oxidation process for conditioning purposes and to compare it with the chemical conditioning commonly used process in real scale treatment plants and obtained results showed the electro-oxidation process is a good alternative for sludge conditioning.

*Sorumlu yazar: gerden@pau.edu.tr

1. Giriş

Mekanik su alma işlemi çamurun nihai bertaraf alanına taşınma maliyetinin azaltılması ve nihai bertaraf işlemlerinin kolaylaştırılması açısından oldukça önemlidir [1]. Santrifüjleme, belt filtre ve plakalı pres filtre gibi mekanik su alma işlemleri çamur suyunun alınarak çamur hacminin azaltılması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Şartlandırma işlemi mekanik su alma işleminden önce çamurların su verme özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla uygulanmakta olup, en yaygın kullanılan şartlandırma işlemi kimyasal şartlandırmadır [3].

Elektro-oksidasyon yönteminin atıksu arıtımında kullanımına yönelik çalışmalar olmakla birlikte [4], yöntemin çamur şartlandırma amacıyla kullanımı oldukça yeni bir konudur. Yapılan literatür taramasına göre ulaşılabilen kaynaklar dikkate alındığında, elektro-oksidasyon ile çamur ön arıtımına yönelik olarak yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Literatürde karşımıza çıkan bir çalışmada Ti/RuO_2 elektrodunun kullanıldığı elektro-oksidasyon uygulamasının kentsel nitelikli arıtma çamurlarının filtrelenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada 21 volt ve 12 dakika uygulama süresi ile kapiler emme süresinin %18,8 oranında azaldığı, elektro-oksidasyon yönteminin arıtma

çamurunun filtrelenebilirlik özelliğini arttırdığı belirlenmiştir [5]. Benzer bir çalışmada Ti/RuO_2 kullanılarak 50 volt ve 5 dakika süreyle elektro-oksidasyon uygulamasının çamurların su vermesi açısından en uygun sistem koşulları olduğu KES parametresi dikkate alınarak belirlenmiş ve bu uygulama ile polielektrolit kullanımının %50 oranında azaltılabileceği belirtilmiştir [6]. Elektro-oksidasyon prosesi paslanmaz çelik, titanyum gibi inert elektrotların kullanımı ile doğrudan anodik oksidasyon ve dolaylı oksidasyon prosesleri ile yürütülmektedir. Doğrudan anodik oksidasyon prosesinde, organik maddeler anot yüzeyine adsorplanmakta ve sonra anodik elektron transfer reaksiyonu bu maddeleri parçalamaktadır. Elektro-kimyasal reaksiyonlar hipoklorit, hidrojen peroksit gibi güçlü oksitleyicileri oluşturabilmektedir [7]. Destekleyici elektrolit ilavesi bazı kimyasal oksitleyicileri oluşturmakta ve oksidasyonun gelişmesinde önemli rol oynayabilmektedir. Örneğin, Na_2SO_4 elektroliti ilavesi sülfat radikali ($SO_4^{\cdot-}$) oluşumuna neden olmaktadır [8]. Proses, mekanizması itibarı ile çamur hücrelerinin parçalanmasına neden olmaktadır. Yöntemin hücre parçalanmasına neden olması çamur üst suyu özelliklerini etkileyeceğinden, elektro-oksidasyon işleminin çamur üst suyu özellikleri üzerine etkisinin

belirlenmiş olması da çalışmanın özgünlüğü açısından önemlidir. Yürütülen bu çalışmada anot olarak titanyum elektrot, katot olarak ise paslanmaz çelik elektrotlar kullanılmıştır. Ayrıca, elektrolit ilavesinin çamurların su verme özellikleri üzerine etkisi de araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca, elektro-oksidasyon prosesinin şartlandırma amacıyla kullanılabilirliğini değerlendirmek ve hâlihazırda gerçek ölçekli tesislerde yaygın olarak kullanılan kimyasal şartlandırma işlemi ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla çamur örnekleri katyonik polimer ile şartlandırma işlemine tabi tutulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çamur Özellikleri

Deneysel çalışmalarının yürütülmesi sırasında kullanılan arıtma çamuru örnekleri için Denizli Belediyesi'ne ait Eysel Atıksu Arıtma Tesisi'nin son çökeltim havuzu geri devir hattından alınmıştır. Ham çamur özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ham çamur özellikleri

Parametre	Değer
pH	7
Elektriksel İletkenlik, Eİ ($\mu\text{mho} / \text{cm}$)	2540
Kuru Madde İçeriği, KM (%)	2,2
Organik Madde İçeriği, OM (%)	59,10
Askıda Katı Madde İçeriği, AKM (mg/L)	17700
Uçucu Askıda Katı Madde İçeriği, UAKM (mg/L)	14690

Çamur özelliklerini belirlemeye yönelik tüm parametreler Standart Metotlarda verilen prosedüre uygun olarak analizlenmiştir [9]. Şartlandırma işlemi sonrasında çamur üst suyu özelliklerinin belirlenmesine yönelik

olarak analizler yapılmış olup, çamur üst suyu çamur örneklerinin 15 dakika boyunca 3000 devir/dakika hızda santrifüjlenmesi ile elde edilmiştir.

2.2. Elektro-oksidasyon Prosesi

Çalışmada kullanılan elektro-oksidasyon düzeneği, 0-30 volt aralığında çalışabilen bir DC güç kaynağı, bir elektrot çifti, bir karıştırıcı tabladan oluşmaktadır. 500 mL çamur örneği 1 L hacminde behere konulmuş, manyetik karıştırıcı ile çamur homojenliği sağlanmıştır. Boyutları 10mmX10mmX0.5mm olan titanyum plakalar beher içerisine karşılıklı olarak yerleştirilmiş ve titanyum elektrotlar hem anot hem de katot olarak kullanılmıştır.

2.3. Kimyasal Şartlandırma Yöntemi

Ham çamur örnekleri, Tablo 2' de özellikleri verilen katyonik özellikte polimer kullanılarak şartlandırılmıştır. Şartlandırma çalışmalarında klasik jar testi metodu kullanılmıştır. %0,5' lik polimer çözeltisi ve 500 mL çamur hacmi ile çalışılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan polimerin özellikleri

Parametre	Özellik
Tipi	Katyonik
Görünüş	Beyaz
Yoğunluk	0.70 g/cm ³
Partikül Boyutu	%98 < 1750 μm
Molekül Ağırlığı	Çok Yüksek

1- 10 g/kg aralığında değişen konsantrasyonlarda polimer çamur örneklerine ilave edilmiş; örnekler 1 dakika süreyle 200 devir/dakika hızda; 30 dakika süreyle 25 devir/dakika hızda karıştırılarak şartlandırma sağlanmıştır.

2.4. Deney Koşullarının Belirlenmesi

Yürütülen çalışmada elektro-oksidasyon prosesi için en uygun proses koşullarının belirlenmesi amacıyla bir Yanıt Yüzey İstatistiksel Deney Metodu olan Merkez Kompozit Tasarımı

kullanılmıştır. İstatistiksel model iki değişken parametre (gerilim ve süre) üzerine kurulmuş olup; KES değerindeki azalma yüzdesi (E_{KES}) sistem verimi olarak dikkate alınmıştır. KES değerinde en fazla azalmaya olanak veren elektro-oksidasyon uygulaması sonrasında elektrolit konsantrasyonunun prosese olan etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Elektro-oksidasyon prosesi için belirlenen değişken parametreler olan gerilim 1 – 30 volt aralığında, süre ise 1 – 60 dakika aralığında uygulanmıştır. Model “Design Expert 7” programının kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Yanıt Yüzey İstatistiksel Deney Modeli’ne göre kullanılan bağıntı aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$E = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_{12} + b_{22}X_{22} \quad (1)$$

Bu bağıntıda, E: beklenen verim, X_1 , X_2 : değişken parametreler (sırasıyla volt ve süre), b_0 : sabit b_1 ve b_2 : lineer sabitler, b_{12} ve b_{13} : çapraz ürün sabitleri, b_{11} ve b_{22} : ikinci dereceden sabitler olarak verilmektedir.

Tablo 3. Yanıt Yüzey Metoduna Göre Belirlenen Deney Noktaları

No	Deney kodları	Deney noktaları		
	X_1	X_2	Gerilim (volt)	Süre (dakika)
1	-k	0	1	30,5
2	+k	0	30	30,5
3	0	0	15,5	30,5
4	+1	+1	25,8	51,4
5	0	0	15,5	30,5
6	0	0	15,5	30,5
7	-1	+1	5,3	51,4
8	-1	-1	5,3	9,6
9	0	+k	15,5	60
10	0	0	15,5	30,5
11	0	0	15,5	30,5
12	0	-k	15,5	1
13	+1	-1	25,8	9,6

Merkezi Kompozit Tasarım’da her bir parametrenin beş düzeyi vardır. Bunlar +1 ve -1 ile ifade edilen faktöriyel noktalar +k ve -k ile ifade edilen eksenel noktalar, 0 olarak ifade edilen merkez noktalarıdır. Faktöriyel noktalar, bir faktörün en yüksek (+1) ve en düşük (-1) düzeylerinden oluşur. Eksenel noktalar, faktöriyel noktaların daha ötesinde olan ve program tarafından belirlenen değerlerdir. Seçilen aralıklara (sınır değerlere) göre belirlenen deney noktaları Tablo 3’de verilmektedir. Yanıt yüzey metodu 2 değişken parametre için 13 adet deney noktası önermektedir.

3. Bulgular

Değişkenlerin kombine etkileri varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiş olup, sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir. göstermiştir.

Tablo 4. ANOVA Tablosu

Kaynak	Ortalama Kare	F-Değer	p-Değer
Model	60,07	109,2	<0,0001
Artık	0,55	1	
R^2	0,9873		
Ayarlanmış R^2	0,9783		
Yeterli hassasiyet	36,847		

Elde edilen regresyon katsayısı (R^2) değeri, veri noktalarının modele ne kadar uyduğunu göstermektedir. Düzeltilmiş R^2 ise veri noktalarının modele uygunluğunu gösterirken modeldeki sınır değerler içerisinde kalmaktadır [10]. Bu nedenle modelin değerlendirilmesinde düzeltilmiş R^2 değeri dikkate alınmış olup, belirlenen düzeltilmiş R^2 değeri (%97,8), bu çalışmadaki modelin deney verilerine tatmin edici bir şekilde uygun olduğunu göstermiştir. Elde edilmiş olan F-değeri modelin istatistiksel olarak önemli olduğunu, p-değeri (<0,0001) ise

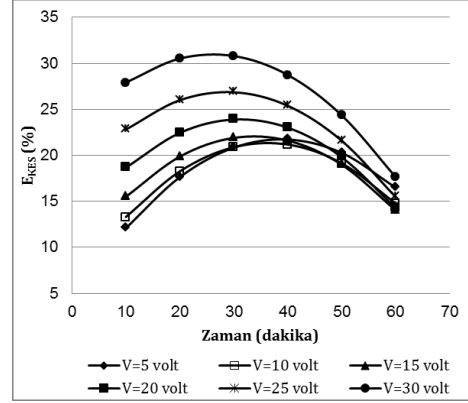
modelin %5 güven aralığında kaldığını göstermiştir. Modelden beklenen verimler ve deneyler sonucunda elde edilen verimler Tablo 5’de gösterilmektedir. Gözlenen ve beklenen verimlerin çok yakın değerler olması, modelin verim için de uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. Deneyler sonucunda gözlenen ve yanıt yüzey deney modelinde beklenen verimler

No	E _{KES} (%)	
	Gözlenen Verim	Beklenen Verim
1	21,3	21,3
2	30,7	30,8
3	21,8	22,1
4	21,6	21,5
5	21,9	22,1
6	22,0	22,1
7	21,9	21,4
8	11,2	11,9
9	15,1	16,0
10	22,0	22,1
11	22,1	22,1
12	12,9	11,9
13	24,0	25,2

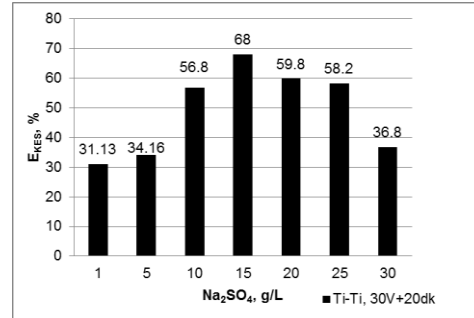
KES testi çamurun filtrelenebilirlik özelliğini değerlendiren basit ve çabuk sonuç veren bir testtir. Arıtma çamurlarının su verme kapasitesi hakkında fikir vermekle birlikte kayma gerilmelerinin ihmal edildiği bir test olduğu için çamurların farklı mekanik su alma işlemlerindeki performanslarını değerlendirmek amacıyla kullanılamaz [11]. Şekil 1’ de farklı gerilim uygulamalarında, artan süreye bağlı E_{KES} değişimi gösterilmiştir. Artan elektriksel gerilim çamurun filtrelenebilirlik özelliğini arttırmıştır. Kapiler emme süresinde en yüksek azalma verimi 30 volt gerilim uygulamasında elde edilmiştir. Süreye bağlı olarak E_{KES} değerleri incelendiğinde, 20 dakika uygulamasında elde edilen E_{KES} değeri (%30,5) ve 30 dakika uygulamasında elde edilen E_{KES} değeri (%30,8)’nin çok

yakın olduğu göz önüne alınarak en uygun koşulların 30 volt gerilim uygulaması ve 20 dakika uygulama süresi olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 1. Farklı gerilim uygulamalarında artan süreye bağlı E_{KES} değişimi

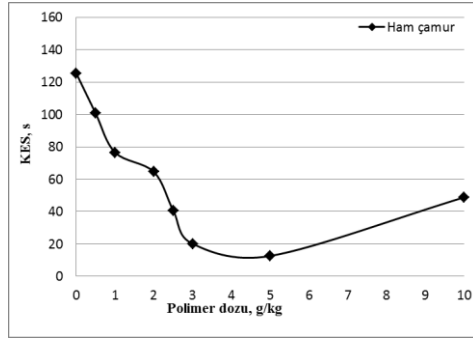
Elektrolit ilavesinin çamurun filtrelenebilirlik özelliklerine etkisini belirlemek için en uygun proses koşulu (30V+20dk) uygulaması öncesinde 1-30 g/L aralığında değişen farklı konsantrasyonlarda Na₂SO₄ ilavesi sonrasında E_{KES} değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 2’ de özetlenmiştir.



Şekil 2. Elektrolit ilavesinin E_{KES} üzerine etkisi

Elektrolit ilavesi çamurların fiziksel özelliklerini geliştirmiş ve en yüksek E_{KES} değeri 15 g /L Na₂SO₄ ilavesi ile elde edilmiştir. Bu uygulamada KES değerinin ham çamura oranla %68 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Gerçek ölçekli arıtma tesislerinde en yaygın olarak kullanılan şartlandırma yöntemi katyonik polimer kullanımıyla yürütülen kimyasal şartlandırmadır. Elektro-oksidasyon yönteminin çamur şartlandırma amacıyla kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi ve hâlihazırda yaygın olarak kullanılan kimyasal şartlandırma verimi ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla çamur örnekleri katyonik polimer ile şartlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Çamur örnekleri 1-30 g/ kg Kuru Madde (KM) arasında değişen dozlarda katyonik polimer ilavesi ile şartlandırılmış ve elde edilen KES değerleri Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 3. Katyonik polimer ile şartlandırma sonrası KES değişimi

Sonuçlar incelendiğinde en uygun doz aralığının 3 - 5 g/ kg KM olduğu sonucuna varılmıştır. Bu doz uygulamalarında KES değerleri sırasıyla, 20,1 s ve 12,6 s olarak belirlenmiştir. Elektrolit ilavesi (15 g /L Na₂SO₄) sonrasında elektro-oksidasyon uygulaması (30 V+ 20 dk), %68 oranında KES azalması sağlamış ve bu uygulamada KES değeri 40,13 s olarak belirlenmiştir. Elektro-oksidasyon uygulaması ile daha yüksek bir KES değeri elde edilmiş olmakla birlikte, her iki uygulamadan elde edilen KES değerleri oldukça düşük değerler olup, uygulamaların çamurların filtrelenebilme özelliklerini geliştirdiği görülmektedir. Bu sonuç, elektro-oksidasyon prosesinin çamur

şartlandırma amacıyla kullanılabilir olacak bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur.

Elektro-oksidasyon prosesi doğrudan anodik oksidasyon ve dolaylı oksidasyon prosesleri ile yürütülmektedir [7]. Elektro-oksidasyon prosesi bir ileri oksidasyon prosesi olduğu için dolaylı ve doğrudan oksidasyona bağlı mekanizmalar ile çamur içeriğindeki hücrelerin dezentegrasyonu gerçekleşebilir. Dezentegrasyon işlemi, organik çamur bileşenlerinin çamur sıvı fazına geçmesine sebep olmaktadır [12]. Elektro-oksidasyon uygulaması sonrasında çamur üst suyu özelliklerinin değişimini belirlemek amacıyla ham çamur üst suyu ve elektro-oksidasyon işlemi uygulanmış çamur suyunda analizler yapılmış ve analiz sonuçları Tablo 6' da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, elektro-oksidasyon işleminin çamur üst suyunda KOİ, toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonlarında artışa sebep olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Elektro-oksidasyon uygulaması sonrasında çamur üst suyu özellikleri

	Ham Çamur	Elektro-oksidasyon sonrası çamur
KOİ (mg/L)	1295	3675
Toplam azot (mg/L)	44,2	112,2
Toplam fosfor (mg/L)	18,6	35,4

Elektro-oksidasyon uygulaması sonrasında çamur üst suyunda KOİ, toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları artmıştır. Çamur üst suyundaki KOİ, toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları artışının tesise ilave bir organik yük getireceği göz önüne alınmalıdır. İleri biyolojik arıtma

yapan tesislerde azot giderimine yönelik olarak uygulanan denitrifikasyon aşaması ilave karbon kaynağı gerektirmektedir. Karbon kaynağı olarak çamur üst suyunun kullanımı dışardan karbon kaynağı almadan bu ilave yükün değerlendirilmesini sağlayabilecektir. Bunun yanı sıra kullanılan elektrolit dolayısıyla çamur üst suyu tuz konsantrasyonu açısından değerlendirilmelidir. Örneğin, literatürde 4-6 g Na⁺/L (10.9-16.3 g Na₂SO₄/L) konsantrasyon aralığı anaerobik çürüme prosesleri için toksik seviye olarak verilmektedir [13]. Çamur üst suyu debisi, tesise gelen atıksu debisi ile karşılaştırıldığında çok daha düşük olup, tuz konsantrasyonu atıksu debisi ile seyreceğinden tuz konsantrasyonunun biyolojik arıtma sırasında toksik seviyede olmayacağı görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma sonucunda elektro oksidasyon işleminin evsel nitelikli atıksu arıtma tesisinde oluşan biyolojik çamurların su verme özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir. En uygun proses koşulları 20 dakika süre ile 30 volt gerilim uygulamasında elde edilmiş olup; bu uygulamada KES değeri %30,5 oranında azalmıştır. Elektro-oksidasyon işleminde elektrolit ilavesinin çamurların filtrelenebilirlik özelliğini geliştirdiği ve 15 g Na₂SO₄/L ilavesinin %68 oranında KES azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Katyonik polimer ile yürütülen şartlandırma sonuçları, elektro-oksidasyon yöntemi ile elde edilen KES değerlerine oldukça yakın değerler olarak elde edilmiş ve elektro-oksidasyon yönteminin mekanik su alma işlemleri öncesinde bir şartlandırma yöntemi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) tarafından 112Y177 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Gray, N. F. 2005. Water Technology, Sludge Treatment and Disposal. 2nd edition. Butterworth-Heinemann, USA.
- [2] Filibeli, A. 2013. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. 7. Baskı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- [3] Tian, X., Trzcinski, A.P., Lin, L.L., Ng, W.J. 2015. Impact of ozone assisted ultrasonication pre-treatment on anaerobic digestibility of sewage sludge. Journal of Environmental Science, Cilt. 33, s.29-38.
- [4] Chu, Y.Y., Wang, W.J., Wang, M. 2010. Anodic oxidation process for the degradation of 2, 4-dichlorophenol in aqueous solution and the enhancement of biodegradability. Journal of Hazardous Material, Cilt. 180(1-3), s. 247-252.
- [5] Yuan, H., Zhu, N., Song, L. 2010. Conditioning of sewage sludge with electrolysis: Effectiveness and optimizing study to improve dewaterability, Bioresource Technology, Cilt. 101 (12), s. 4285-4290.
- [6] Yuan, H., Cheng, X., Chen, S., Zhu, N., Zhou, Z. 2011. New sludge pretreatment method to improve dewaterability of waste activated sludge, Bioresource Technology, Cilt. 102 (10), s. 5659-5664.
- [7] Chiangi, L.C., Changi, J.E., Wen, T.C. 1995. Indirect Oxidation Effect In Electrochemical Oxidation Treatment of Landfill Leachate.

- Water Research, Cilt. 29(2), s. 671-678.
- [8] Kim, S., Choi, S.K., Yoon, B.Y., Lim, S.K., Park, H. 2010. Effects of electrolyte on the electrocatalytic activities of RuO₂/Ti and Sb-SnO₂/Ti anodes for water treatment. Applied Catalysis B: Environment, Cilt. 97(1-2), s. 135-141.
- [9] APHA, AWWA, WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- [10] Parajo, J.C., Alonso, J.L., Lage, M.A., Vazquez, D. 1992. Empirical modeling of Eucalyptus wood processing. Bioprocess Engineering, Cilt. 8, s. 129-136.
- [11] Meeten, G.H. and Smeulders, J.B.A.F. 1995. Interpretation of filterability measured by the capillary suction time method. Chemical Engineering Science, Cilt. 50, s. 1273-1279.
- [12] Vranitzky, R., 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.
- [13] Speece, R. E. 1996. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater, Archae Press, Nashville, TN, USA.