

## ELEKTROKİMYASAL PROSES İLE HÜMİK MADDE İÇEREN SIVI ORGANİK GÜBRE ÜRETİM ATIKSULARININ ARITIMI

Abdurrahman AKYOL<sup>a</sup>, Orhan Taner CAN<sup>b</sup>, Erhan DEMİRBAŞ<sup>c</sup>, Mehmet KOBYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Müh. Bölümü, 41400 Gebze-Türkiye

<sup>b</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitlis-Türkiye

<sup>c</sup>Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Bölümü, 41400 Gebze-Türkiye  
abdakyol@gyte.edu.tr

### ÖZET

*Bu çalışmada, humik madde içeren sıvı organik gübre üretim atıksularının elektrokoagülasyon (EC) yöntemi ile arıtımı kesikli bir reaktörde incelenmiştir. Başlangıç atıksu pH değeri 5.8, akım yoğunluğu 100 A/m<sup>2</sup> ve 45 dakikalık işletme süresi sonucunda %75 (26 NTU) bulanıklık, %91 COD (91 mg/L), %87 TOC (57 mg/L), %82 TP (88 mg/L) ve %6 TN (64 mg/L) giderim verimleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre renk ve TOC gideriminde EC prosesinin etkili olduğu, fakat TN giderim veriminin ise düşük olduğu görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Humik madde, Sıvı Gübre Atıksuları, Elektrokoagülasyon prosesi

## TREATMENT OF HUMIC SUBSTANCE CONTAINING LIQUID ORGANIC FERTILIZER MANUFACTURING WASTEWATER BY ELECTROCHEMICAL PROCESS

### ABSTRACT

*In this study, the treatment of liquid fertilizer producing wastewater containing humic substance by electrocoagulation (EC) was investigated carried out in a batch reactor. Removal efficiencies for 75% (26 NTU) of turbidity, 91% of COD (91 mg/L), 87% of TOC (57 mg/L), 82% of TP (86 mg/L) and 6% of TN (64 mg/L) were obtained at wastewater initial pH 5.80, current density of 100 A/m<sup>2</sup> and 45 min of operating time. EC process was found to be very effective for removal of TOC and colour except for TN.*

**Key words:** Humic substance, Liquid Fertilizer Wastewater, Electrocoagulation process

## 1. Giriş

Sıvı organik gübreler her türlü tarla ve bahçe bitkilerinde, sera, çiçek ve meyve ağaçlarında; kök, yaprak ve ürün gelişiminde kullanılmaktadır (Nelson ve ark., 2010). Ayrıca bu gübreler toprağa uygulandığında faydalı bakterilerin oluşumu ile bakterileri destekleyip topraktaki yararlı maddelerin bitkiler tarafından kolayca alınmasını sağlamaktadır. Toprağın su tutma kapasitesini ve bitkilerin bağışıklık sistemini güçlendirip, hastalık ve zararlılara karşı direncini artırmaktadır (Susilawati ve ark., 2011). Sıvı gübreler aynı zamanda fazla tuzluluğu ve kireçliliği gidererek toprağın pH'sını düzenlemektedir. Yukarıda ifade edilen yararlı etkilerinden dolayı son yıllarda tarımda sıvı gübre kullanımı artmıştır (Nelson ve ark., 2010). Sıvı organik gübreler genellikle makro ve mikro bitki besin maddelerinin yanı sıra, yüksek oranda hümik ve fülvik asitleri de içermektedir. Hümik ve fülvik maddeler, gerekli besin maddelerinin bitkiye geçişini sağlamaktadırlar. Suda çözünebilir hümik ve fülvik asitler; alkali ortamda kolayca çözünen fakat asidik ortamında ise çözünmeyen, koyu kahve renkli-gri-siyah organik maddelerdir.

Sıvı organik gübreler konsantre şekilde su, inorganik maddeler, hümik ve fülvik asitleri içerecek şekilde üretilerek piyasaya sunulmaktadır. Amacına göre uygun zamanda ve şekilde sulandırılarak bitkilere verilmektedir. Sıvı organik gübreler genellikle sanayi bölgelerinde yukarıda ifade edilen maddeler kullanılarak üretilmekte olup, bu gübrelerin üretim işlemleri sonucunda atıksular oluşmaktadır. Bu atıksular sıvı gübrelerin hazırlandığı reaktörlerin yıkanması ve sıvı gübre dolmuş tesisleri esnasındaki işlemlerden kaynaklanmaktadır. Sıvı organik gübre üretim atıksuları koyu kahve renkte olup yüksek oranda COD (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOC (toplam organik karbon), TN (toplam azot) ve TP (toplam fosfor) gibi kirleticileri içermektedir (Borowiec ve ark., 2009; Plascak ve ark., 2008). Sıvı organik gübre atıksularındaki bu kirleticilerin varlığı, arıtılmadan çevreye deşarjlarını olanaksız kılmaktadır. COD, TOC, TP, ve TN yüzeysel su kaynaklarında ötrifikasyona neden olmaktadır. Bu atıksulardaki hümik ve fülvik asitler, yüksek organik içeriği ve koyu kahverengi rengi nedeniyle su kaynaklarında çözülmüş oksijen konsantrasyonunda azalma, fotosentetik aktivitenin engellenmesi ve anaerobik koşullar gibi istenmeyen problemlere yol açmaktadır. Bu olumsuz etkilerden dolayı sıvı gübre üretim atıksuları çevresel yasal sınırlamalar ve doğal hayatın korunması için deşarj edilmeden önce arıtılması gerekmektedir.

Sıvı organik gübre üretim ve benzeri özelliklerdeki atıksularının arıtımında koagülasyon, adsorpsiyon, aerobik ve anaerobik oksidasyon, Fenton, ve elektrokoagülasyon metotları kullanılmaktadır. Bu metotların birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Fakat, son yıllarda endüstriyel atıksuların

arıtımında elektrokoagülasyonun (EC) hem renk hem de organik kirleticileri gidermede oldukça etkili bir metot olduğu görülmüştür (Gengec ve ark., 2012; Kalyani ve ark., 2009; Kobyta ve Delipinar, 2008; Kobyta ve ark., 2006; Kobyta ve ark., 2003). EC metodunun klasik arıtma metotlarına göre; basit ekipman yapısı, kolay işletme koşulları, gerekli arıtım tesis alanının diğer arıtım tesislerine göre az olması, daha kısa işletme süreleri ve düşük işletme maliyetleri ve daha az çamur gibi bir kısım avantajları bulunmaktadır (Mollah ve ark., 2010).

Bu çalışmanın amacı; elektrokimyasal (EC) metot ile sıvı organik gübre atıksularının arıtılabilirliği üzerine akım yoğunluğu, atıksuyun başlangıç pH değeri ve işletme süresi gibi parametrelere etkileri incelenmiştir. Bu parametrelerde, sıvı organik gübre atıksulardan COD, TOC, TN, TP ve bulanıklık giderim verimleri elde edilmiştir. Ayrıca elektrot ve enerji tüketimleri bulunarak işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Kullanılan Atık suyun Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan atıksu; İstanbul'da sıvı organik gübre üretimi yapan ve yaklaşık atıksu debisi 10 m<sup>3</sup>/gün olan bir işletmeden temin edilmiştir. Konsantr olarak üretilen sıvı organik gübrelerin hazırlanmasında hümik ve fülvik asitler, inorganik maddeler kullanılmaktadır. Bu sıvı organik gübre üretim işlemlerden kaynaklanan atıksular, atıksu toplama tankında birikmektedir. Çalışmada kullanılan atık suyun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo.1 Atık suyun Özellikleri

Parametre	Değeri
pH	7.80
İletkenlik (mS/cm)	2.28
Renk (NTU, koyu kahverengi)	104
AKM (mg/L)	65
COD (mg/L)	1010
TOC (mg/L)	435
TN (mg/L)	68
TP (mg/L)	488

### 2.2 Deneysel Düzenek ve İşlem

Bu çalışmada sıvı organik gübre atıksularının EC metodu ile arıtımı, pleksiglastan yapılmış 120 mm x 110 mm x 110 mm boyutlarında bir reaktör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Reaktörde 45 mm x 53 mm x 3 mm boyutlarında dört adet plaka tipi Fe elektrotlar kullanılmış ve elektrotlar arası aralık, 10 mm'dir.

Kullanılan reaktör ile ilgili detaylı bilgiler önceki çalışmada verilmiştir (Kobyta ve Delipinar, 2008).

Fe elektrotların yüzeyi temizlenip ve kurutulduktan sonra tartılıp EC reaktörüne yerleştirildi. Daha sonra reaktöre 0.80 L atıksu koyularak 400 rpm karıştırma hızında manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Elektrotlar bir elektriksel dc güç kaynağına (Agilent 6675A model) bağlandı. İstenen sabit akım koşullarında güç kaynağı çalıştırıldı. Belirli zaman aralıklarında reaktörden alınan örnekler filtre edildikten sonra analiz edildi. Deney sonunda elektrotlar saf su ile yıkandı ve kurutulup tartıldı, böylece harcanan deneysel elektrot miktarı hesaplandı. Ayrıca deney sonundaki çözelti filtre edilip, 105 °C’de kurutulup tartıldıktan sonra oluşan çamur miktarı belirlendi.

### 2.3. Analiz Metotları

Bütün analizler, su ve atıksu analiz yöntemleri (APHA, 1998) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) analizleri spektrofotometre ile yapılmıştır. Örneklerdeki toplam organik karbon (TOC) Tekmar Dohrman Apollo 9000 marka TOC cihazı ile analiz edilmiştir. Toplam fosfor (TP) ölçümleri, Optik Emisyon Spektrometre (ICP, PerkinElmer Optima 7000 DV) ve toplam azot (TN) ölçümleri ise Hach Lange IL 550-TN cihazları kullanılarak yapılmıştır. Örneklerde bulanıklık veya turbidite Mettler Toledo 8300 model türbidimetre cihazı ile analiz edilmiştir. pH ve iletkenlik sırasıyla Hach Lange HQ 40d ve Mettler Toledo 7100e model cihazlar kullanılarak ölçüldü.

## 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

### 3.1. Akım Yoğunluğunun Giderme Verimine Etkisi

EC metodunda, bir elektriksel güç kaynağından sulu çözelti içerisindeki metal elektrotlara (genellikle Fe veya Al elektrotlar kullanılır) akım ve voltaj uygulanırsa anot elektrotlarda yükseltgenme ve katot elektrotlarda ise indirgenme reaksiyonları gerçekleşecektir. EC işleminde Fe elektrotlar kullanılması durumun da genellikle aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelecektir:



Sulu çözeltide ise aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşmektedir:



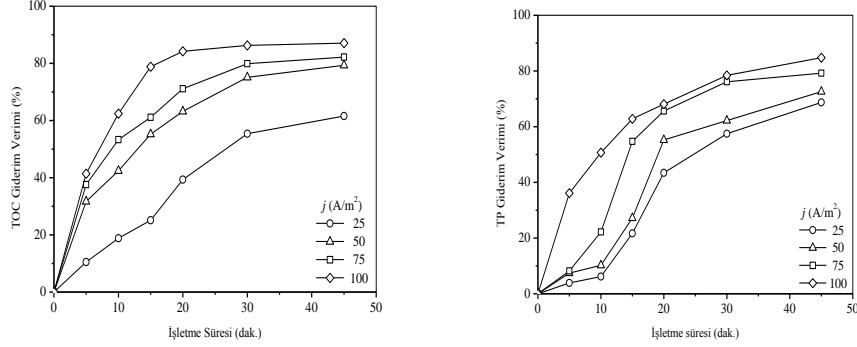


Atıksuyun pH'sı, akım yoğunluğu ( $j$  (amper/m<sup>2</sup>) =  $i/S$ ,  $i$ = elektrotlara uygulanan akım, amper;  $S$  = aktif elektrot yüzey alanı, m<sup>2</sup>) ve işletme süresi EC prosesi üzerine etki eden en önemli parametrelerdir (Kobyta ve ark., 2003). EC prosesinde uygulanan akım ( $i$ , amper) ve işletme süresi ( $t_{EC}$ , s) Faraday yasası'na göre anot elektrotlarda çözünen metal miktarını ( $C_{\text{elektrot}}$ , kg/m<sup>3</sup>) kontrol etmektedir.

$$C_{\text{elektrot}} = \frac{i t_{EC} M_{\text{Fe}}}{z F v} \quad (6)$$

Bu eşitlikte;  $M_{\text{Fe}}$ : elektrodun molekül ağırlığı (55.86 g/mol),  $F$ : Faraday sabiti (96487 C/eq),  $z_{\text{Fe}} = 2$ : electron sayısı(eq/mol) ve  $v$  EC reaktöründeki atıksu hacmi (m<sup>3</sup>). Faraday yasası'na göre  $i$  ve  $t_{EC}$  arttıkça çözünen anot miktarı artar. Anot elektrotlardan çözünerek çözeltiye geçen metal iyonları çözelti kimyasına bağlı olarak hidroliz reaksiyonlarını oluşturmaktadır.

Sıvı organik gübre atıksularından 25, 50, 75 ve 100 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluklarında 45 dakikalık EC işletme süresinde %62 (165 mg/L), %79 (91 mg/L), %82 (78 mg/L) ve %87 (57 mg/L) TOC giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 1). Bu atıksulardan COD giderimi aynı işletme süresi ve akım yoğunluklarında sırası ile %76 (232 mg/L), %83 (172 mg/L), %88 (121 mg/L) ve %91 (91 mg/L) olarak bulunmuştur. Akım yoğunluğu arttıkça Fe anot elektrotlardan çözünen metal miktarı artmakta, sonuçta çözültide  $\text{FeOH}^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^{4+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2^{3+}$ ,  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ,  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_8(\text{OH})_2^{4+}$ ,  $\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_6(\text{OH})_4^{2+}$  gibi polimerik Fe-hidroksil kompleksleri ve Fe hidroksit oluşmaktadır (Kobyta ve ark., 2003). Ayrıca Fe-hidroksil türlerinin oluşumu çözeltinin pH değerine bağlı olup, 25, 50, 75 ve 100 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluklarında başlangıç pH 5.8'den 45 dakika işletme süresinde 6.1, 7.3, 8.1 ve 8.9 değerlerine yükselmiştir. Bu sebeplerden dolayı akım yoğunluğu arttıkça oluşan bu türlerin TOC, COD gibi kirleticileri giderim verimleri de artmıştır. Ayrıca işletme süresi arttıkça EC esnasında çözeltinin pH değeri artarak (katot reaksiyonu, eşitlik 2), polimerik Fe kompleksleri ile kirleticilerin etkileşimi artarak; birlikte çökeltme, adsorpsiyon ve koagülasyon ile kirleticiler atıksudan giderilmektedir (Gengec ve ark., 2012).



Şekil 1 Akım Yoğunluğunun TOC ve TP Giderme Verimine Etkisi

Diğer taraftan, sıvı organik gübre üretim atıksularından; işletme süresi artışına bağlı olarak akım yoğunluğu arttıkça toplam fosfat giderim veriminin arttığı görülmüştür (Şekil 1). Aynı şekilde 25, 50, 75 ve 100 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluklarında ve 45 dakikalık EC işletme süresinde %68.7 (153 mg/L), %72.6 (134 mg/L), %79.2 (102 mg/L) ve %82.4 (86 mg/L) TP giderim verimleri elde edilmiştir. Bu atıksulardan fosfor, EC esnasında Fe elektrotlardan çözünen Fe<sup>2+</sup> iyonlarının atıksu içerisinde hidroliz reaksiyonları sonucu oluşturduğu Fe(OH)<sub>2(s)</sub> ve Fe(OH)<sub>3(s)</sub> tarafından adsorplanarak, FePO<sub>4(s)</sub> ve Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2(s)</sub> şeklinde bir bileşik oluşturarak giderilmektedir (Koby ve ark., 2010). Sıvı organik gübre atıksularından TN giderim verimi 25, 50 ve 75 ve 100 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluklarında ve 45 dakikalık EC işletme sonucunda %3, %4, %5 ve %6 olarak saptanmıştır. TN giderimi üzerine akım yoğunluğunun etkisinin olmadığı görülmüştür. Literatürdeki deneysel verilere göre TN'nin atıksulardan gideriminin ancak yüksek akım yoğunluklarında ve özel elektrotlar kullanılarak (Pt, Ir, Ru, grafit gibi) elektro-oksidasyon ile TN'nin giderilebileceği belirtilmektedir (Mollah ve ark., 2001). Sıvı organik gübre atıksularının en önemli sorunlardan biri de bulanıklık olup; 45 dakikalık süre sonucunda 25, 50, 75 ve 100 A/m<sup>2</sup> akım yoğunlukları için %35 (68 NTU), %50 (52 NTU), %64 (37 NTU) ve %75 (26 NTU) bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; atıksu içerisinde bulunan COD, TOC, renk ve bulanıklığa katkıda bulunan humik maddeler gibi bir kısım kolloidlerin önemli bir kısmının giderildiği görülmüştür.

Akım yoğunluğu 25, 50, 75 ve 100 A/m<sup>2</sup>'de elektrot tüketimi (eşitlik 6) 0.40, 0.48, 0.66 ve 0.93 kg/m<sup>3</sup> ve enerji tüketimleri ise 0.78, 1.82, 4.93 ve 6.73 kWh/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Burada enerji tüketimleri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (C<sub>enerji</sub>: enerji tüketimi ve U: elektrotlar arası voltaj değişimi):

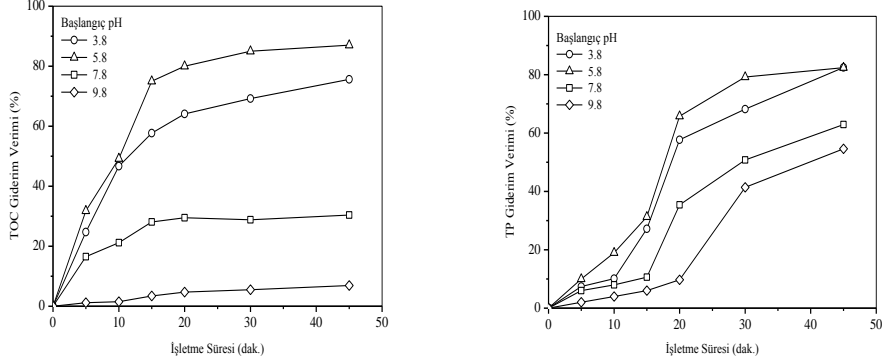
$$C_{\text{enerji}} = \frac{U i t_{EC}}{v} \quad (7)$$

Bu akım yoğunluklarında 45 dakika EC sonucunda 0.85, 1.61, 3.19 ve 4.61 kg/m<sup>3</sup> (105 °C'de kuru ağırlık olarak) çamur miktarları bulunmuştur. Birim enerji maliyeti 0.095 €/kWh ve birim Fe elektrot maliyeti 0.85 €/kg Fe göre; 25, 50, 75 ve 100 A/m<sup>2</sup> için işletme maliyeti 0.42, 0.60, 1.03 ve 1.43 €/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (işletme maliyeti = enerji + elektrot maliyetleri toplamıdır).

### 3.2. Başlangıç pH'sının Giderme Verimine Etkisi

EC reaktöründeki atıksuyun pH değeri ve EC prosesi esnasında gerçekleşen anot-katot ve çözelti reaksiyonları kirleticilerin giderim verimlerini etkilemektedir. Bundan dolayı EC prosesinde en önemli parametrelerden biri de atıksuyun başlangıç pH değeridir (Koby ve ark., 2003). EC prosesi esnasında katot reaksiyonu sonucu (eşitlik 2) reaktör içerisindeki atıksuyun pH değerinin reaksiyon süresi arttıkça arttığı ve belirli bir süre sonra çözeltideki çeşitli iyonların tamponlama kapasitesine bağlı olarak sabitlendiği bilinmektedir.

Bu gerçeği göz önünde bulundurarak pH 'nın etkisini incelemek için atıksu başlangıç pH 'sı 3.8, 5.8, 7.8 ve 9.8 gibi 4 farklı değere ayarlanarak kirletici giderme verimleri takip edilmiştir. Akım yoğunluğu 100 A/m<sup>2</sup>'de, sıvı organik gübre üretim atıksularından; işletme süresi bağlı olarak farklı başlangıç pH değerlerinde TOC ve TP giderim verimleri Şekil 2'de gösterilmiştir. İşletme süresi 45 dakikada başlangıç pH 3.8, 5.8, 7.8 ve 9.8 değerlerinde %76 (104 mg/L), %87 (57 mg/L), %31 (300 mg/L) ve %7 (405 mg/L) TOC ve %72 (137 mg/L), % 82.4 (86 mg/L), %62.9 (181 mg/L) ve %54.6 (222 mg/L) TP giderim verimleri elde edilmiştir. Bu atıksulardan 3.8, 5.8, 7.8 ve 9.8 başlangıç pH değerlerin de COD giderimi %55 (455 mg/L), %91 (91 mg/L), %83 (172 mg/L) ve %88 (121 mg/L) olarak bulunmuştur. Aynı şekilde,  $t_{EC} = 45$  dakikalık işletme süresinde sıvı organik gübre üretim atıksularından 3.8, 5.8, 7.8 ve 9.8 başlangıç pH'larında sırası ile %82.3 (105 mg/L), %82.4 (86 mg/L), %62.9 (181 mg/L) ve %54.6 (222 mg/L) TP giderimi elde edilmiştir. Çalışılan başlangıç pH aralığında ise %4-6 arasında TN giderimi görülmüştür. En yüksek giderme verimleri asidik başlangıç pH'larında gerçekleşirken, başlangıç pH'sının artışı ile giderme veriminin düştüğü görülmektedir. Başlangıç pH'sı 3.8, 5.8, 7.8 ve 9.8 için EC sonundaki pH değerleri ise 8.5, 8.9, 9.9, ve 11.4 olarak saptanmıştır. EC prosesinde Fe hidroksit kompleksleri pH 4.5-9.5 aralığında polimerize olma eğilimleri ile açıklanabilir. Çözelti oluşan Fe(OH)<sub>2(s)</sub> ve Fe(OH)<sub>3(s)</sub>'lerin sıvı organik gübre atıksularındaki kirleticileri adsorpsiyonu, koagülasyonu, birlikte çökmesi ile kirleticiler giderilebilmektedir. Atıksu içerisindeki fosfor ise FePO<sub>4(s)</sub> ve Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2(s)</sub> şeklinde çökebilmektedirler (Koby ve ark., 2010).



Şekil 2. Başlangıç pH'sının TOC ve TP Giderme Verimine Etkisi

#### 4. Sonuç

EC prosesi ile sıvı organik gübre üretim atıksularının arıtımı incelenmiş olup, başlangıç atıksu pH değeri 5.8, akım yoğunluğu  $100 \text{ A/m}^2$  ve 45 dakikalık işletme süresi sonucunda %75 bulanıklık (26 NTU), %91 COD (91 mg/L), %87 TOC (100 mg/L), %82 TP (98 mg/L) ve %6 TN (64 mg/L) giderim verimleri elde edilmiştir. Sıvı organik gübre atıksularının, optimum giderme koşullarında arıtımı için enerji ve elektrot maliyetleri toplamı  $1.43 \text{ €/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre renk ve TOC gideriminde EC prosesinin etkili olduğu, fakat TN giderim veriminin ise düşük olduğu görülmüştür. Sıvı gübre üretim atıksularından TN gideriminde elektrooksidasyon veya biyolojik arıtım prosesleri ile istenen TN ve TP atıksu deşarj değerleri elde edilebilir.

#### Kaynaklar

- APHA (American Public Health Association), 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition, Washington, DC.
- Gengec, E., Kobyas, M., Demirbas, E., Akyol, A. and Oktor, K., 2012. Optimization of baker's yeast wastewater using response surface methodology by electrocoagulation. Desalination, 286 (1): 200-209.
- Kalyani, K.S.P., Balasubramanian, N. and Srinivasakannan, C., 2009. Decolorization and COD reduction of paper industrial effluent using electrocoagulation, Chemical Engineering Journal, 151 (1-3): 97-104.
- Kobyas, M., Demirbas, E., Dedeli, A. and Sensoy, M.T., 2010. Treatment of rinse water from zinc phosphate coating by batch and continuous electrocoagulation processes. Journal of Hazardous Materials, 173 (1-3): 326-334.



- Kobyas, M. and Delipinar, S., 2008. Treatment of the baker's yeast wastewater by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 154 (1-3): 1133-1140.
- Kobyas, M., Hiz, H., Senturk, E., Aydiner, C. and Demirbas, E., 2006. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Desalination*, 190 (1-3): 201-211.
- Kobyas, M., Can, O.T. and Bayramoglu, M., 2003. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 100 (1-3): 163-178.
- Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.P. and Cocke, D.L., 2001. Electrocoagulation (EC)-science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84 (1): 29-41.
- Nelson, P.V., Pitchay, D.S., Niedziela, C.E. Jr. and Mingins, N.C., 2010. Efficacy of soybean-base liquid fertilizer for greenhouse crops. *Journal of Plant Nutrition*, 33 (3): 351-361.
- Plascak, I., Puvaca, V., Jurisic, M., Rapcan, I. and Duvnjak, V., 2008. Influence of mineral and organic fertilizer on primary contamination of the ground waters in Eastern Croatia. *Cereal Research Communications*, 36 (3): 151-154.
- Susilawati, K., Haruna, A.O. and Abd, M.N.M., 2011. Effectiveness of liquid organic-nitrogen fertilizer in enhancing nutrients uptake and use efficiency in corn (*Zea mays*). *African Journal of Biotechnology*, 10 (12): 2274-2281.