

Oluklu Mukavva Kutu Üretimi Atıksuyunun Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Arıtımı

Belgin KARABACAKOĞLU*, Filiz TEZAKIL

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Kimya Müh. Böl.,
Meşelik Kampüsü, Eskişehir*

Özet

Bu çalışmada, oluklu mukavva kutu üretim tesisi atık suyunun elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Ayrıca elektrot türü, uygulanan gerilim, işlem zamanı ve destek elektrolit(NaCl) ilavesinin KOİ giderim yüzdesi ve enerji tüketimine olan etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak; oluklu mukavva kutu üretimi atıksularının elektrokoagülasyon yöntemi ile yaklaşık %90'a kadar arıtımının yapılabileceği ve özellikle enerji tüketimi bakımından paslanmaz çelik elektrotların kullanımının daha uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: *Elektrokoagülasyon, KOİ giderimi, oluklu mukavva üretimi atıksuyu.*

Treatment of Corrugated Cardboard Box Manufacturing Plant Wastewater by Using Electrocoagulation Method

Abstract

In this study, treatment of a corrugated cardboard box manufacturing plant wastewater with electrocoagulation method was investigated. Also, the effects of anode type, applied voltage, treatment time and support electrolyte (NaCl) on energy consumption and COD removal rate was studied. As a result; the treatment of corrugated box production wastewater with electrocoagulation method can be made with up to 90%, and especially in terms of energy consumption the use of stainless steel electrodes is more available.

Keywords: *Electrocoagulation, COD removal, corrugated cardboard box manufacturing plant wastewater*

* Belgin KARABACAKOĞLU, bkara@ogu.edu.tr, Tel: (222) 239 37 50.

1. Giriş

Oluklu mukavva kutular gıda ve diğer alanlarda yaygın kullanılan ambalaj malzemesidir. Oluklu kutu üretiminden açığa çıkan atık sular baskı işleminden kaynaklanan boyaları içerdiğinden KOİ değeri oldukça yüksektir, bunun yanı sıra renkli boyalardan kaynaklanan ağır metalleri ve siyah mürekkepten kaynaklanan karbon siyahını içerebilir. Ayrıca kullanılan nişasta esaslı yapıştırıcılar KOİ değerinin artmasının yanında koku oluşumuna da neden olurlar.

Son yıllarda pek çok avantajları nedeniyle elektrokimyasal süreçlerle atıksuların arıtımı üzerine yoğun bir ilgi bulunmaktadır. Elektrokimyasal atıksu arıtım prosesleri arasında yer alan elektrokoagülasyon (EC) atıksuların arıtımı için basit ve etkili bir yöntemdir [1-3]. EC sürecinin kirleticileri uzaklaştırmadaki prensibi koagülasyon, adsorpsiyon, çöktürme ve flotasyon yöntemlerinin biri veya birkaçına dayanmaktadır. Alüminyum ve demir gibi metal anotların anodik çözülmeye uğraması ve hidrolizi ile metal hidroksitleri oluşmaktadır. Oluşan bu metal hidroksitler de, kirleticileri adsorplamakta ve çöktürme ya da flotasyon yoluyla sudan uzaklaştırmaktadır. Birçok avantajından dolayı EC süreci, farklı endüstriyel atıksuların arıtılmasında etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır [4-7].

Bu çalışmanın amacı, oluklu mukavva kutu üretimi atıksuyunun elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılabilirliğini ve ayrıca KOİ giderim yüzdesi üzerine gerilim, tuz ilavesi, elektrot türü ve işlem zamanının etkisini incelemektir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kullanılan maddeler

Çalışmalarda Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir oluklu mukavva kutu üretim tesisinin boya-baskı işlemlerinden açığa çıkan atıksu kullanılmıştır. Atık suyun orijinal pH değeri 7,2 ve KOİ derişimi 4206 mg/L olarak ölçülmüştür. Destek elektrolit olarak NaCl kullanılmıştır. Elektrot malzemesi olarak ise levha şeklinde paslanmaz çelik ve alüminyum kullanılmıştır.

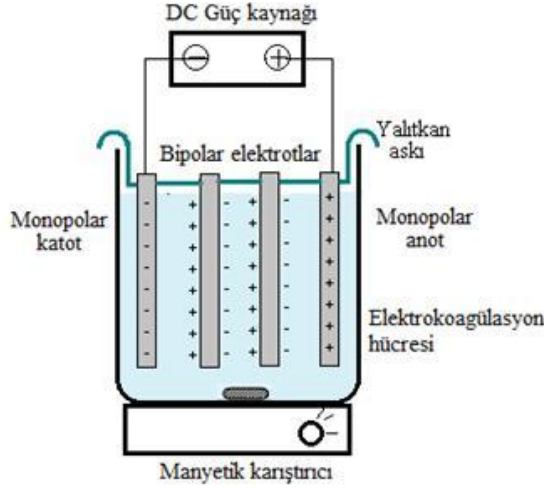
2.2. KOİ analizi

KOİ analizinde kapalı reflux kolorimetrik yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla Aquamate marka UV spektrofotometre, termoreaktör ve KOİ küvet test kitleri (Merck) kullanılmıştır. Deney boyunca belirli zaman aralıkları ile alınan örnekler santrifüjlendikten sonra bu örneklerden birer mL alınarak KOİ test tüplerine eklenmiştir. Bu tüpler termoreaktörde 148 °C'de 2 saat bekletildikten sonra soğutulmuştur. Daha sonra UV spektrofotometrede 605 nm dalga boyunda cihazda yüklü olan kalibrasyon doğrusu kullanılarak mg/L olarak KOİ derişimi ölçülmüştür.

2.3. Deney düzeneği

Elektrokoagülasyon sürecinde elektrotlar monopolar ve bipolar olmak üzere iki farklı şekilde bağlanabilmektedir [8]. Bu çalışmada bipolar bağlantı şekli kullanılmıştır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu tip bağlantıda sadece dışta kalan elektrotlar güç kaynağına bağlanmakta, aradaki elektrotlar ise bir yüzü anot diğer yüzü katot olacak şekilde kutuplanmaktadır.

Deney düzeneği elektrokimyasal reaktör, bir DC güç kaynağı ve elektrotlardan oluşmaktadır. Elektrotlar arası mesafe 1,2 cm'dir. 1 litrelik beherde yapılan deneylerde 500 mL atıksu kullanılmıştır. Elektrotların boyutları 10 cm x 6 cm x 0,2 cm' dir. Elektrot plakalarının çözeltiye daldırılmış yüzey alanı 48 cm² ve toplam aktif anot yüzey alanı 192 cm²'dir. Elektrokimyasal hücrede manyetik karıştırıcıyla sabit hızda karıştırma uygulanmıştır. Hücreye güç sağlamak için 0-15 V ve 0-3A aralığında çalışan bir DC güç kaynağı kullanılmış ve deneyler potansiyostatik olarak ortam sıcaklığında yürütülmüştür.



Şekil 1. Elektrokoagülasyon deney düzeneği

2.4. Deney yöntemi

Atıksu EC hücresine doldurulmuş ve elektrotlar yerleştirilmiştir. Elektrotlara belirlenen gerilim değeri uygulanmış ve belirli hızda karıştırılmıştır. Deney boyunca 15 dk'lık aralıklarla 3'er mL örnek alınmış ve santrifüjlemeden sonra analiz edilmiştir.

KOİ giderim verimi (R) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır:

$$R(\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Burada C_0 ve C sırasıyla $t=0$ ve $t=t$ anındaki KOİ derişimidir (mg/L).

Enerji tüketimi ise:

$$\text{Enerji Tük. (Wh/L)} = E \cdot I \cdot t / V \quad (2)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada E , uygulanan gerilim (V); I , akım şiddeti (A); t , zaman (st) ve V , atıksu hacmidir (L).

2.5. Deneysel parametreler

Elektrokoagülasyon deneylerinde; tuz ilavesinin, hücreye uygulanan gerilimin ve elektrot malzemesinin KOİ giderimine etkileri incelenmiştir. Tüm deneyler pH ayarlaması yapılmaksızın atıksuyun orijinal pH değeri olan ~7,2'de yürütülmüştür.

Tuz miktarının etkisi: Bu parametreyi incelemek için atıksuya sırasıyla 0,5; 1 ve 1,5 g NaCl ilave edilerek 10 Volt gerilim uygulanmıştır.

Gerilimin etkisi: Bu parametreyi incelemek için yapılan çalışmalarda, atıksuya 0,5 g NaCl ilave edilerek 10, 20 ve 30 Volt gerilim değerlerinde çalışılmıştır.

Elektrot türü: Bu parametreyi incelemek için ise anot olarak paslanmaz çelik (SS) veya alüminyum (Al) kullanılmıştır.

İşlem zamanının etkisi: Bunun için tüm deneyler 60 dakika sürdürülmüş ve her 15 dakikada bir örnek alınarak analiz edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

EC verimi; işlem koşulları, çözelti iletkenliği ve pH değerine önemli ölçüde bağlıdır. Ayrıca elektrokimyasal bir yöntem olması nedeniyle hücre performansı elektrot malzemesi, işlem türü ve uygulanan gerilim ya da akım yoğunluğu ile de değişir [9].

3.1. Gerilimin etkisi

EC sırasında tepkime hızını etkileyen faktörlerden en önemlisi hücrenin akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğunu artırmak için ya hücreye uygulanan gerilim artırılır ya da destek elektrolit ilave edilir (Şekil 2 ve 3). Akım yoğunluğunun artması ise anot ve katot tepkimelerini hızlandırır. Faraday yasasına göre elektrolitik hücrede çözünen anot miktarı aşağıdaki eşitliğe göre verilir [10]:

$$C = I \cdot t \cdot M / z \cdot FV \quad (3)$$

Burada C, elektrokoagülasyon hücresindeki Fe veya Al derişimi (g/L); I, akım şiddeti (A); t, zaman (s); M, anot metalinin molekül ağırlığı (g/mol); z, kimyasal eşdeğerlik (mole⁻); F, Faraday sabiti (96500 As/mole⁻); V, atıksu hacmidir (L). Bu eşitliğe göre hücreden geçen akım arttıkça çözeltideki demir veya alüminyum iyonlarının artacağı açıkça görülmektedir. Böylece hücredeki koagülant miktarı artar ve giderim veriminde bir ilerleme meydana gelir [11]. Gerilimin artışı aynı zamanda kabarcık oluşum hızını artırırken kabarcık boyutunu azaltır. Bunlar da etkili bir giderim için oldukça yararlıdır [9]. Şekil 4 ve 6 incelendiğinde gerilimin artmasının giderim ve enerji tüketimini önemli ölçüde artırdığı görülmektedir. Ancak gerilimdeki artışın, aşırı oksijen oluşumu ve ısı üretimi gibi istenmeyen yan etkilerinin olması ve enerji tüketimini arttırması nedeniyle belirli bir değerde sınırlandırılması gerekmektedir [10].

3.2. NaCl miktarının etkisi

EC işleminde çözelti iletkenliğini arttırmak için NaCl, Na₂SO₄ ve Na₂CO₃ gibi elektrolitler yaygın olarak kullanılır. Bunların içinde ucuz ve kolay elde edilebilir olması nedeniyle en çok tercih edilen NaCl'dir [12]. Sisteme elektrolit eklenmesiyle çözeltinin iletkenliği artmış bu da sistemden geçen akımı ve dolayısıyla da tepkime hızını arttırmıştır. Bu nedenle elektrolit miktarı arttıkça % KOİ giderimi artmaktadır (Şekil 5). Hiç tuz ilave edilmediği durumda hem paslanmaz çelik hem de Al elektrot için giderim verimi oldukça düşüktür. Ancak Şekil 7'den görüldüğü gibi tuz miktarının artması her iki elektrot için de enerji tüketimini arttırmaktadır.

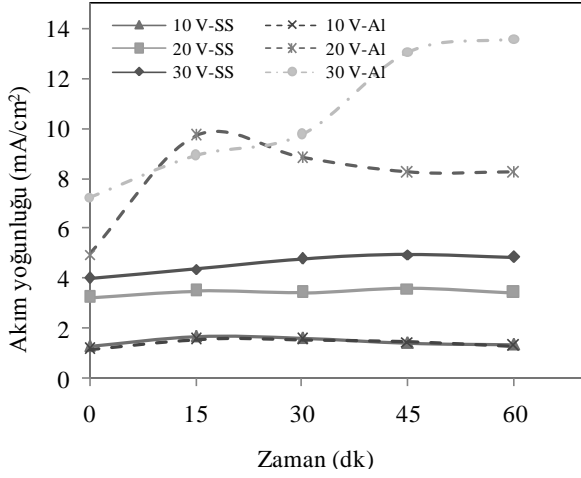
3.3. Elektrot türünün etkisi

EC prosesi anot malzemesinin elektrokimyasal olarak çözünmesiyle atık suda metal iyonlarının (Fe²⁺ ve Al³⁺) yerinde üretimini içerir. Kullanılan anot türüne göre anodik tepkimeler ve açığa çıkan metal hidroksitler farklılık gösterir. Ayrıca çözelti pH değerine bağlı olarak farklı metal kompleksleri oluşur [13]. EC için etkili elektrot arıtılacak atıksuyun karakteristiği ve işlem koşullarına göre değişmektedir. Kullanılan atıksu için enerji tüketimi ve maliyet bakımından paslanmaz çelik elektrot daha uygun görünmektedir (Şekil 6 ve 7).

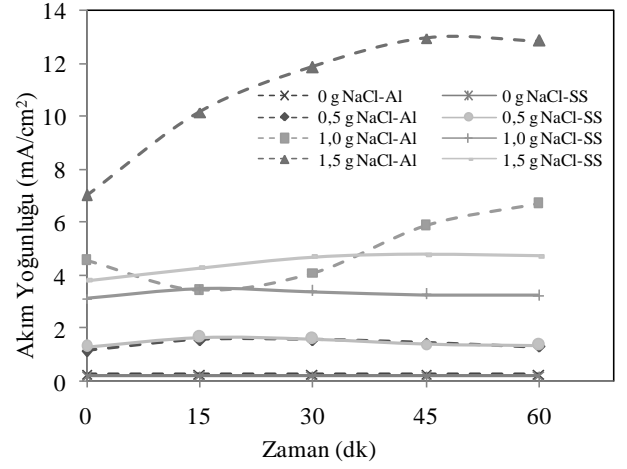
3.4. İşlem zamanının etkisi

İşlem zamanı EC süreci için en önemli parametrelerden biridir. EC prosesi boyunca metal hidroksitler üretilir ve kirlenmiş bileşenlerin koagülasyonunda kullanılır. Şekil 4 ve 5 incelendiğinde tüm koşullar için ortalama 30 dakikalık işlem süresinin yeterli olduğu ve bu dakikadan sonra giderim veriminin hemen hemen sabit kaldığı görülmektedir. Hatta yüksek gerilim ve tuz derişimleri için 15 dk arıtım yeterlidir. Ancak bu durumda

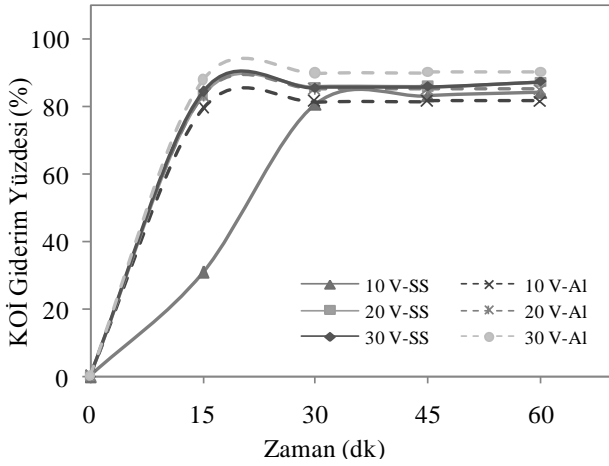
işlem süresinin artması enerji tüketiminin de belirgin olarak artmasına yol almaktadır (Şekil 6 ve 7).



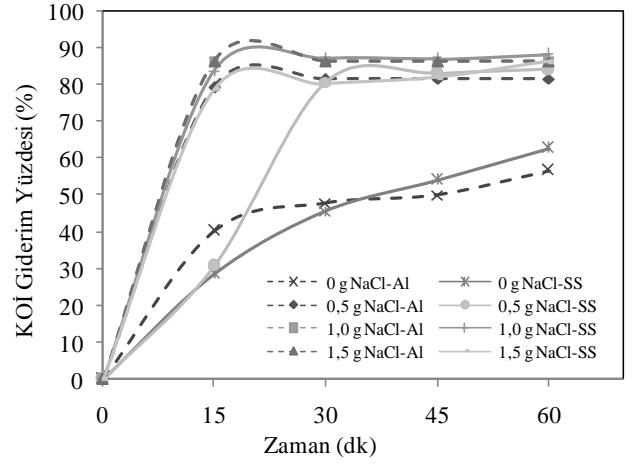
Şekil 2. Gerilimin akım yoğunluğuna etkisi



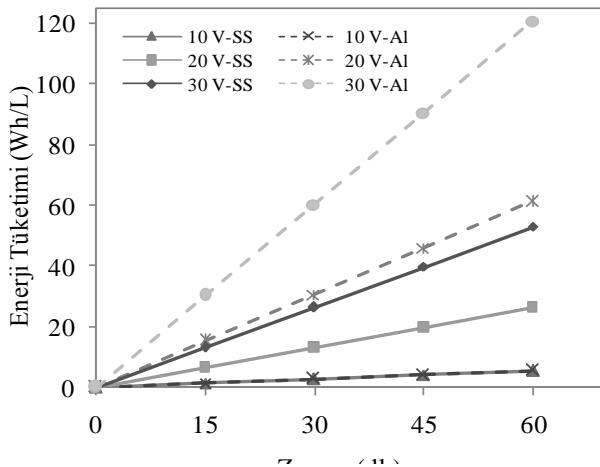
Şekil 3. Tuz derişiminin akım yoğunluğuna etkisi



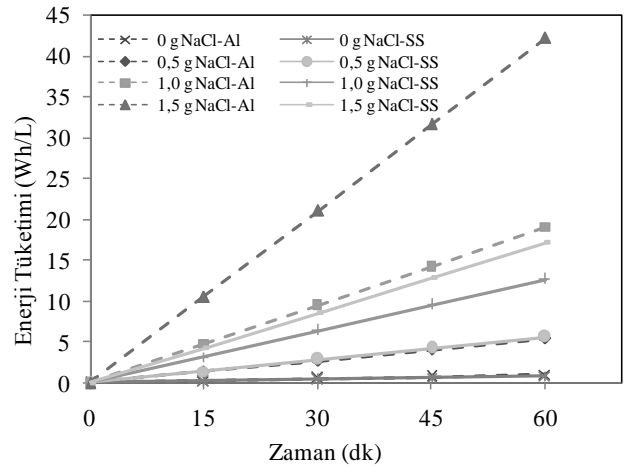
Şekil 4. Gerilimin giderim verimine etkisi



Şekil 5. Tuz derişiminin giderim verimine etkisi



Şekil 6. Gerilimin enerji tüketimine etkisi



Şekil 7. Tuz derişiminin enerji tüketimine etkisi

Kaynaklar

- [1] Phalakornkule, C., Polgumhang, S., Tongdaung, W., Karakat, B., ve Nuyutt, T., Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes, and application in treating textile effluent, **Journal of Environmental Management**, 91, 918-926, (2010).
- [2] Moises, T.P., Patricia, B.H., Barrera-Diaz, C.E., ve Gabriela, R.M., Treatment of industrial effluents by a continuous system: electrocoagulation–activated sludge, **Bioresource Technology**, 101, 7761-7766, (2010).
- [3] Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., ve Cocke, D.L., Electrocoagulation (ec)- science and applications, **Journal of Hazardous Materials**, B84, 29-41, (2001).
- [4] Zodi, S., Potier, O., Lapicque, F. And Leclerc, J-P., Treatment of the Industrial wastewaters by electrocoagulation: Oprimization of coupled electrochemical and sedimentation processes, **Desalination**, 261, 186-190, (2010).
- [5] Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., ve Djafarzadeh, N., Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: an investigation of the effect of operational parameters, **Journal of Hazardous Materials**, B129, 116-122, (2006).
- [6] Moussavi, C., Khosravi, R., Farzadkia, M., Removal of petroleum hydrocarbons from contaminated ground water using an electrocoagulation process: Batch and continuous experiments, **Desalination**, 278, 288-294, (2010).
- [7] Zhao, X., Zhang, B., Liu, H., Chen, F. , Li, A., Qu, J., Transformation characteristics of refractory pollutants in plugboard wastewater by an optimal electrocoagulation and electro-Fenton process, **Chemosphere**, 87 631–636, (2012).
- [8] Daneshvar, N., Ashassi Sorkhabi, H., ve Kasiri, M.B., Decolorization of Dye Solution Containing Acid Red 14 By Electrocoagulation With A Comparative Investigation of Different Electrode Connections, **Journal of Hazardous Materials**, B112, 55-62, (2004).
- [9] Ren, M., Song, Y., Xiao, S., Zeng, P., Peng, J., Treatment of berberine hydrochloride wastewater by using pulse electrocoagulation process with Fe electrode, **Chemical Engineering Journal**, 169, 84-90, (2011).
- [10] Mollah, M.Y.A., Pathak, S.R., Patil, P.K., Vayuvegula, M., Agrawal, T.S., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., ve Cocke, D.L., Treatment of orange II azo-dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes, **Journal of Hazardous Materials**, B109 , 165-171, (2004).
- [11] Aoudj, S., Khelifa, A., Drouiche, N., Hecini, M., ve Hamitouche, H., Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry, **Chemical Engineering and Processing**, 491, 176-118, (2010).
- [12] Chen, G., Electrochemical technologies in wastewater treatment, **Separation and Purification Technology**, 38, 11–41, (2004).
- [13] Akyol, A., Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation, **Desalination**, 285, 91-99, (2012).