

Elektrokoagülasyon Prosesi İle Gıda Endüstrisi Atıksuyunun Arıtımında Optimum Koşulların Belirlenmesi

Sevil VELİ¹, Bilge ÖZBAY¹, İsmail ÖZBAY^{*1}, Ayla ARSLAN¹, Ecren ÇEBİ¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli

(Alınış / Received: 21.02.2017, Kabul / Accepted: 19.12.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 06.03.2018)

Anahtar Kelimeler

Gıda endüstrisi atıksuyu,
Elektrokoagülasyon,
Alüminyum elektrot,
KOİ giderimi

Özet: Bu çalışmada bir gıda endüstrisi atıksuyunun alüminyum elektrot kullanılarak kesikli sistemde elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtımı incelenmiştir. Anaerobik arıtma çıkışından alınan atıksuyun özellikleri 504 mg/L KOİ, 100 mg/L TOK, 3.37 mS/cm iletkenlik ve 7.8 pH parametreleri ile karakterize edilmiştir. Elektrokoagülasyon prosesinin etkinliği KOİ parametresindeki değişim gözlenerek değerlendirilmiştir. Çalışmada pH, iletkenlik, akım yoğunluğu ve reaksiyon süresinin etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan optimum koşullar pH=7, iletkenlik=3.5 mS/cm, akım yoğunluğu =1.83 mA/cm² ve süre=30 dak. olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda %95 KOİ giderim verimi elde edilirken işletme maliyeti de 0.98 TL/m³ arıtılan atıksu olarak belirlenmiştir.

Determination of Optimum Conditions for Treatment of Food Industry Wastewater by Electrocoagulation Process

Keywords

Food industry wastewater,
Electrocoagulation,
Aluminium electrode,
Removal of COD

Abstract: In this study, the treatment of a food industry wastewater by electrocoagulation method with using aluminum electrode was investigated in batch system. The characteristics of the wastewater taken from the anaerobic treatment outlet were determined by 504 mg/L COD, 100 mg/L TOC, 3.37 mS/cm conductivity and 7.8 pH. The effectiveness of the electrocoagulation process was evaluated by monitoring the change in the values of COD parameter. The effects of parameters such as pH, conductivity, current density and reaction time were studied in the study. Optimum process conditions determined by the results obtained were pH= 7, conductivity= 3.5 mS/cm, current density= 1.83 mA/cm² and reaction time= 30 min. In these optimum conditions, 95% COD removal was achieved while operating cost was determined as 0.98 TL/ m³ treated wastewater.

1. Giriş

Patates cipsi üretimi esnasında organik madde içeriği yüksek atıksular oluşur. Bu endüstriden kaynaklanacak atıksuların kontrolü çevre ve halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca sektörde oluşan atıksular yüksek seviyelerde kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) içermektedirler [1].

Atıksu arıtımında kimyasal yöntemler arasında elektrokimyasal arıtım, kurulumu ve proses işletilmesinde basit ekipmanlar ile yüksek verimlilik sunan gelişmiş teknolojilerden biridir [2].

Elektrokoagülasyon prosesi endüstriyel atıksuların arıtımında dikkat çeken bir yöntemdir. Zeytin fabrikaları, petrol rafinerileri, kağıt hamuru ve kağıt

fabrikaları, gıda endüstrisi, restaurant, boya imalat, metal kesme ve tekstil atıksularının arıtımında çok yönlülüğü ve sağladığı çevresel uyum ile tercih edilen bir prostestir [3].

Elektrokoagülasyon prosesi, atıksulardaki askıda, kolloidal ya da çözünmüş halde bulunan kirleticilerin elektrik akımı altında kimyasal reaksiyon ve çöktürme veya flotasyonla giderimini içeren bir proses olarak tanımlanabilir [4].

Elektrokoagülasyon prosesinin genel mekanizmasında koagülasyon, adsorpsiyon, absorpsiyon, çöktürme ve flotasyon prosesleri bulunur [5].

Elektrokoagülasyonda çok sık kullanılan çözünen alüminyum elektrotların sulu ortamda oluşturacağı

Al kompleksleri önemlidir. Sulu ortamda sudaki hidroksil iyonları elektrotlardan çözülmüş olan Al^{3+} iyonları ile birleşerek kompleksler oluştururlar. Oluşan kompleksler ortamın pH değerine bağlıdır. Al elektrot kullanımı durumunda çok sayıda anyonik ve katyonik kompleksler oluşur. Bu iyonlar su içindeki kirleticilerle koagüle olup, alüminyum iyonları oluştururlar ve kirleticilerin sudan kolayca ayrılmasını sağlarlar [6].

Bu çalışmanın amacı, bir patates cipsi üretim tesisinden kaynaklanan anaerobik arıtma çıkış atıksuyunun ileri arıtımı için elektrokoagülasyon prosesi kullanımının etkinliğini değerlendirmektir. Sistemin KOİ giderim performansı, Al elektrotlar kullanılarak izlenmiştir. Süreç parametreleri uygulanan akım yoğunluğu, pH, iletkenlik ve reaksiyon süresidir.

2. Materyal ve Metot

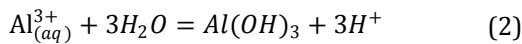
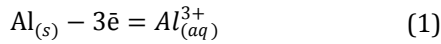
2.1. Çalışmada kullanılan atıksuyun karakterizasyonu

Deneyel çalışmada kullanılan atıksu bir gıda endüstrisinin anaerobik arıtma çıkışından temin edilmiştir. Karakterizasyon çalışmalarında yapılan üç örnekleme ortalaması alınarak atıksuyun pH'sı 7.8, iletkenliği 3.37 mS/cm, AKM 140 mg/L, KOİ 504 mg/L, TOK 100 mg/L, Cl⁻ 114.96 mg/L, SO₄²⁻ 135 mg/L olarak belirlenmiştir.

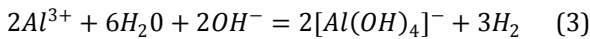
2.2. Elektrokoagülasyon prosesi ve deneysel prosedür

Elektrokoagülasyon prosesinin esası, elektroliz sonucu anodun çözünmesi ile metal hidroksit floklarının oluşmasına ve bu floklarla birlikte atıksudaki kirleticilerin uzaklaştırılmasına dayanır. Bu çalışmada kullanılan alüminyum elektrot ile Al^{3+} 'ün hidrolizi ve bunun sonucunda çeşitli alüminyum hidroksitin polimerik yapıda kompleks oluşumu beklenir. Alüminyum elektrot kullanıldığında anot ve katotta oluşabilecek reaksiyonlar aşağıda verilmiştir:

Al-anot



Al-katot

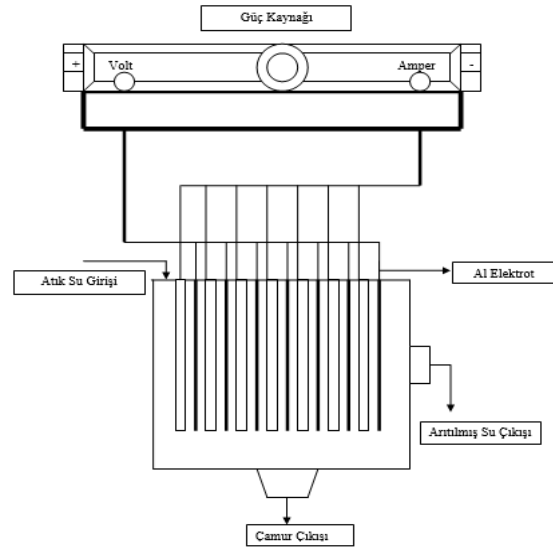


Elektrokoagülasyon deneylerinde kullanılan reaktör 15cmx15cmx15cm boyutlarında ve 2 litre numune hacmine sahiptir. Karşılıklı 7 adet alüminyum elektrot 14 adet paralel levhadan oluşmakta ve her bir levha 11cmx16cm boyutlarındadır. Kullanılan alüminyum elektrot ucuzdur, üretimi basittir ve %99.52 saflıktadır. Akım ve voltaj kontrolü MERSAN

MR12 (24V-50A) model güç kaynağı ile sağlanarak, direkt akım elektrotlara uygulanmıştır. Anot ve katot olarak elektrotların iki grubu dikey olarak yerleştirilmiştir ve elektrotlar tamamen çözelti içerisine batırılmıştır. Elektrotlara 1-2 mA/cm² aralığında akım yoğunluğu uygulanmıştır. Deneylerden önce elektrotlar %1'lik HCl ile 8 saat muamele görmüştür. Atıksuyun pH ayarı 0.1N HCl / NaOH çözeltileri kullanılarak yapılmıştır. İletkenlik ayarı ise 1N ve 6N Na₂SO₄ çözeltisi kullanılarak yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tüm deneyler oda sıcaklığında farklı pH, akım yoğunluğu, iletkenlik ve sürede yapılmıştır. 2L numune elektrokoagülasyon reaktörüne aktarılmış ve alüminyum elektrot reaktöre yerleştirilmiştir. Akım değeri cihazın güç kaynağından ayarlanmıştır. Belirlenen reaksiyon şartlarında yapılan deney sonucunda alınan numuneler 0.45 µm filtre kağıdından süzülerek KOİ analizleri yapılmıştır.



Şekil 1. Elektrokoagülasyon deney düzeneğinin şematik görünümü

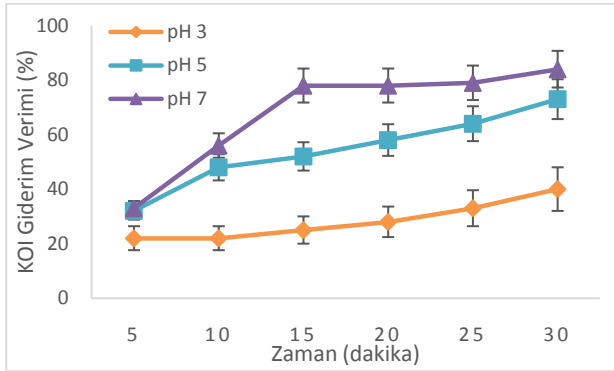
3. Bulgular

3.1. Başlangıç pH değerinin etkisi

Elektrokoagülasyon prosesinde anot ve katotta oluşabilecek reaksiyonlar sonucu çözeltinin pH değerinde değişimler olmaktadır. Ayrıca pH'daki değişim partiküllerin yüzey yükünü değiştirmekte, dolayısıyla atıksuda bulunan kirlilik yükünü etkilemektedir [7].

Başlangıç pH değerinin etkisini belirlemek amacıyla gıda endüstrisi atıksuyunun alüminyum elektrotlu elektrokoagülasyon çalışmasında 3.5mS/cm iletkenlik ve 1.83mA/cm² akım yoğunluğunda ve farklı pH değerlerinde (3, 5 ve 7) deneyler yapılmıştır. Çalışmada periyodik numuneler alınarak

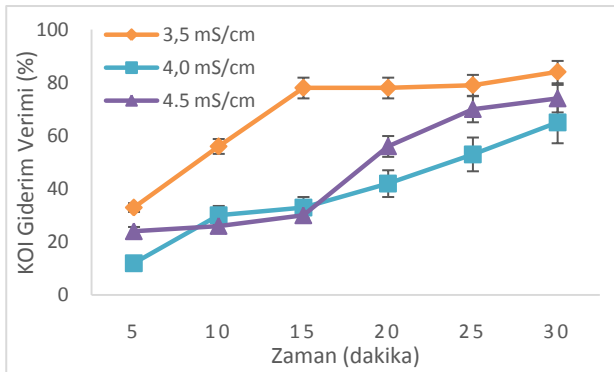
30 dakikada deneyler tamamlanmıştır. Sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Bu şekilden de görülmektedir ki, en yüksek KOİ giderim verimi pH 7' de elde edilmiştir. Arıtım sonrası pH değerleri de ölçülmüştür. Başlangıç pH değerlerinde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Alüminyum elektrot kullanılarak üretilen Al^{+3} iyonları pH'ya bağlı olarak monomerik ve polimerik alüminyum hidroksit kompleks türlerini oluşturur. Yüksek pH değerlerinde kirleticiler için etkin olan $Al(OH)_3$, $Al(OH)^{+2}$, $Al_{17}(OH)_{32}^{+7}$ gibi kompleksler oluşmaktadır [8]. Dolayısıyla pH= 5.0-7.5 aralığında ortamda yeterli yumaklaştırıcının bulunması ve bu aralıkta alüminyumun en düşük çözünürlüğe sahip olması maksimum arıtımın gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 2. Başlangıç pH değerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Reaksiyon şartları: Akım 1.83 mA/cm^2 , İletkenlik 3.5 mS/cm , Süre (30 dak)

3.2. İletkenliğin etkisi

Elektrokoagülasyon prosesinde KOİ giderimi üzerine iletkenliğin etkisini araştırmak için belirlenen optimum pH=7 değeri, 1.83 mA/cm^2 akım yoğunluğunda ve farklı iletkenliklerde (3.5 , 4.0 ve 4.5 mS/cm) deneyler yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.

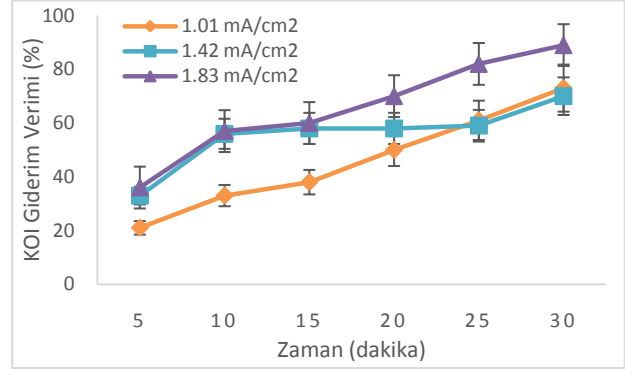


Şekil 3. İletkenliğin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Reaksiyon şartları: Başlangıç KOİ: 504 mg/L , Akım 1.83 mA/cm^2 , pH=7, Süre 30 dak.)

Şekil 3'den görülmektedir ki, en yüksek giderim verimi 3.5 mS/cm değerinde elde edilmiştir. Bu değer atıksuyun orijinal iletkenlik değerine yakındır. Maksimum giderim verimine proseste herhangi bir iletkenlik ayarı yapılmasına gerek olmadan ulaşılabileceği gözlenmiştir.

3.3. Akım yoğunluğunun etkisi

Elektrokoagülasyonla arıtımda önemli parametrelerden biri de akım yoğunluğudur. Bu nedenle çalışmada farklı akım yoğunluklarında (1.01 ; 1.42 ve 1.83 mA/cm^2) deneyler yürütülmüş ve sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir.



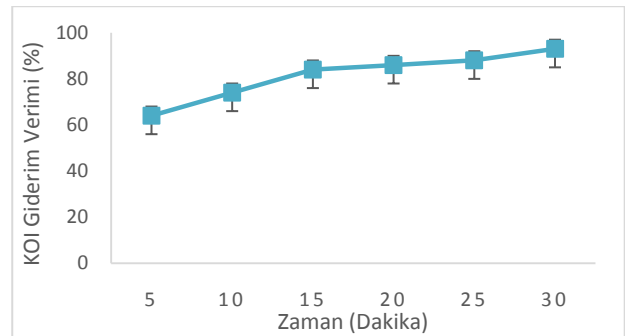
Şekil 4. Akım yoğunluğunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Reaksiyon şartları: İletkenlik 3.5 mS/cm , pH=7, Süre 30dak.)

Akım yoğunluğu 1.83 mA/cm^2 de en yüksek verime ulaşılmıştır. Yüksek akım yoğunluğunda Faraday yasasına göre elektrotlarda üretilen iyon miktarı ve dolayısıyla H_2 kabarcıkları da artmaktadır. Bu da kirleticilerin çözüldüden uzaklaşmasını sağlamaktadır [9].

3.4. Elektrokoagülasyon süresinin etkisi

Elektrokoagülasyon prosesinde zamanın etkisini incelemek için belirlenen optimum şartlarda (pH=7 ve iletkenlik= 3.5 mS/cm , akım yoğunluğu 1.83 mA/cm^2) deneyler gerçekleştirilmiştir. Elektrokoagülasyon süresi 5-30 dak. arasında yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 5'de gösterilmiştir.

Bu prosede yeterli miktarda flokların oluşumu zamana bağlı olarak gerçekleşir. Şekil 5'den de görülmektedir ki, reaksiyon süresindeki artışa bağlı olarak kirleticilerin giderim verimlerinde artış sağlanmaktadır ve 30. dakikada KOİ giderim veriminin %95'e ulaştığı görülmektedir. Bu nedenle uygun Elektrokoagülasyon süresi 30 dakika olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Reaksiyon süresinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Reaksiyon şartları: Akım 1.83 mA/cm^2 , İletkenlik 3.5 mS/cm , pH=7)

Alüminyum elektrodun kullanıldığı elektrokoagülasyon çalışmasının sonuçları literatür ile karşılaştırıldığında benzer sonuçların elde edildiği gözlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.

Kullanılan Atıksu	Optimum Şartlar	Giderim Verimi	Kaynaklar
Kağıt Endüstrisi	14 mA/cm ² pH=7 50 dak.	% 98 KOİ % 99 Renk	[8]
Boya Atıksuyu	35 A/m ² pH=6.95 15 dak.	%94 KOİ %89 TOK	[10]
Sentetik Boyar Madde	8A pH=7.57 120 dak.	%96 Renk %57 KOİ	[11]

3.5. İşletme maliyeti

Elektrokoagülasyon prosesinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesinde en önemli parametre işletme maliyetidir. Bu proseslerde enerji, elektrot ve kimyasal madde olmak üzere üç temel tüketim gerçekleşmektedir. Optimum arıtma verimi olarak suyun kendi iletkenliği yeterli olduğundan yapılan bu çalışmada işletme maliyeti enerji ve elektrot tüketiminden kaynaklanmaktadır. Enerji ve elektrot tüketimleri ile işletme maliyeti aşağıdaki formüller yardımıyla belirlenmiştir.

$$C_{enerji} = \frac{V \times I \times T}{v} \quad (4)$$

$$C_{elektrod} = \frac{I \times T \times M_{Al}}{z \times F \times v} \quad (5)$$

Burada;

V= Gerilim (volt)

I= Akım (amper)

T= Reaksiyon süresi (saat)

v= Elektrolitik hücre hacmi (m³)

M_{Al} = Alüminyumun molekül ağırlığı (26.98gr/mol)

z= Elektrodun kimyasal ekivalent değeri (z_{Al} = +3)

F= Faraday sabiti (96487Cloumb/mol)

C_{elektrod}=Reaktörde çözünen elektrod miktarı (gr elektrod/m³ atıksu)

C_{enerji}= Prosesin enerji tüketimi (kWh/ m³ atıksu)

$$\text{İşletme maliyeti} = a \times C_{enerji} + b \times C_{elektrod} \quad (6)$$

Burada a birim enerji maliyeti, 2017 EPDK tarifelerinde sanayiler için belirlenen verilere göre 0.36 TL/ kWh, b elektrot maliyeti ise 6.9 TL/kg Al olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucu optimum arıtma koşulu için enerji tüketimi 2.72 kWh/m³ ve tüketilen elektrod miktarı ise 0.105 g Al⁺³/m³ olarak hesaplanmıştır. Toplam işletme maliyeti de m³ arıtılan atıksu başına yaklaşık 0.98 TL olmuştur.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada bir gıda endüstrisi atıksuyunun elektrokoagülasyon yöntemiyle arıtımı gerçekleştirilmiştir. Alüminyum elektrotların kullanıldığı elektro

koagülasyon prosesinde sisteme etki eden pH, iletkenlik, akım yoğunluğu ve süre gibi parametrelerin etkisi incelenerek optimum koşullar belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda yürütülen deneysel çalışmalarda, 504 mg/l olan atıksuyun KOİ değeri 25 mg/L'ye düşürülerek, %95 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Bu proses esnasında arıtılan m³ atıksu başına 2.72 kWh enerji ve 0.105 g Al⁺³ tüketilmiştir.

Gıda endüstrisi anaerobik arıtma çıkışından alınan atıksuyun orijinal pH ve iletkenlik değerleri değiştirilmeden elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılabileceği ortaya konmuştur.

Sonuç olarak elektrokoagülasyon prosesi gıda endüstrisi atıksuyunun arıtımında etkili bir yöntemdir.

Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü AR-GE İleri Arıtım Teknolojileri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yürütülmesine 2015 yılında 8800 TL destek ile katkı sağlayan Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Custodio, S.C., Tongco, E.O., Tiangco, C.C., 2006. Waste to Energy Project: Pineapple Processing Waste Biomethanation and Treatment Plant. Promotion of Renewable Energy and Greenhouse Gas Abatement (Prega), Pre-Feasibility Study Report, 1-76.
- [2] Guven, G., Perendeci, A., Tanyolaç, A., 2009. Electrochemical treatment of simulated beet sugar factory wastewater. Chemical Engineering Journal, 151, 149-159.
- [3] El-Naas, M.H., Al-Zuhair, S., Al-Lobaney, A., Makhlof, S., 2009. Assessment of Electrocoagulation for the Treatment of Petroleum Refinery Wastewater. Journal of Environmental Management, 91, 180-185.
- [4] Martinez-Huitle, C.A., Brillas, E., 2009. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. Applied Catalysis B: Environmental, 87, 105-145.
- [5] Kushwaha, J.P., Srivastava, V.C., Mall, I.D., 2010. Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residual disposal. Separation and Purification Technology, 76, 198-205.
- [6] Emamjomeh, M.M., Sivakumar, M., 2009. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. Journal of Environmental Management, 90, 1663-1679.

- [7] Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., Cocke, D.L., 2001. Electrocoagulation (EC)- science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84, 29-41.
- [8] Zaied, M., Bellakhal, N., 2009. Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 995-1000.
- [9] Adhoum, N., Monser, L., 2004. Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation. *Chemical Engineering Processing: Process Intensification*, 43, 1281-1287.
- [10] Akyol, N.H., 2012. Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Desalination*, 285, 91-99.
- [11] Akbaş, H., 2014. Elektrokoagülasyon yöntemi ile renk gideriminin incelenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.