

Elektrokoagülasyon Prosesi Kullanılarak Mezbaha Atıksularının Arıtımı Üzerine Ortam Parametrelerinin Etkisi

Mehtap Tanyol^{1*}, Servet Tevkur²

^{1*}Munzur Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü, Kentleşme ve Çevre Sorunları Anabilim Dalı, Tunceli, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Tunceli, Türkiye

*mtanyol@munzur.edu.tr^{ID}, Servettevkur@hotmail.com^{ID}

Makale gönderme tarihi: 11.09.2020, Makale kabul tarihi: 08.12.2020

Öz

Mevcut çalışmada, mezbaha atıksuyunun arıtımı üzerine elektrokoagülasyon prosesinin etkinliği kesikli bir reaktör kullanılarak araştırılmıştır. Akım yoğunluğu (5-20 mA m⁻²), başlangıç pH'ı (3-10) ve elektrotlar arası mesafe (4-16 mm) gibi çeşitli parametrelerin etkisi optimum elektrokoagülasyon koşulunu belirlemek için incelenmiştir. Paralel bağlanmış monopolar demir elektrotlar tüm deneyler için kullanılmıştır. Deneylerin performansı temel olarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi kullanılarak değerlendirilmiştir. 15 mA m⁻² akım yoğunluğu, doğal pH (7.47) ve 16 mm elektrotlar arası mesafe optimum koşullar olarak seçilmiştir. Bu koşullar altında %90.63'lük KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Sistemin işletme maliyeti, enerji ve elektrot tüketimi dikkate alınarak hesaplanmış ve 9.15 TL kg⁻¹ KOİ⁻¹ olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Demir elektrot, elektrokoagülasyon, mezbaha atıksuları

Effect of Medium Parameters on Treatment of Slaughterhouse Wastewater Using Electrocoagulation Process

Abstract

In the present study, the efficiency of the electrocoagulation process on the treatment of slaughterhouse wastewater was investigated using a batch reactor. The effect of several parameters such as current density (5-20 mA m⁻²), initial pH (3-10), and distance between electrodes (4-16 mm) was investigated to determine the optimum electrocoagulation condition. Parallel-connected monopolar iron electrodes were used for all experiments. The performance of the experiments was mainly evaluated using the chemical oxygen demand (COD) removal. The optimum conditions were selected as 15 mA m⁻² current density, natural pH (7.47), and 16 mm distance between electrodes. Under these conditions a COD removal efficiency of 90.63% was achieved. The operating cost of the process was calculated taking into account the energy and electrode consumption and found to be 9.15 TL kg⁻¹ COD⁻¹.

Keywords: Iron electrode, Electrocoagulation, slaughterhouse wastewaters

GİRİŞ

Et, insanların temel tüketim maddelerinden biri olduğu için mezbahalar yaygın bir endüstri dalıdır. Son yıllarda et tüketimi hızlanarak artmaya devam etmektedir. Mezbaha sektörü, hayvanların kesilmesi ve mezbaha fabrikalarının temizlenmesi nedeniyle hem üretim hem de üretim dışı birimlerden önemli miktarda atıksu üretmektedir (Rajakumar ve ark., 2012). Mezbaha atıksuları, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından en tehlikeli atıksulardan biri olarak sınıflandırılmaktadır (Alfonso-Muniozguren ve ark., 2020). Atıksu, askıda katı maddeler ve yağ, kan,

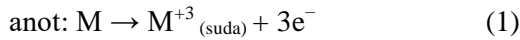
protein ve selüloz gibi koloidal maddeler nedeniyle biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), azot, fosfor, yağ ve gres gibi önemli biyolojik olarak parçalanabilir organik bileşikler içermektedir. Ayrıca bu atıksular, patojenik ve patojenik olmayan mikroorganizmalar, deterjanlar, antibiyotikler, aşular ve diğer farmasötikler nedeniyle eser miktarda ilaç kalıntıları içermektedir.

Bu atıksular arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilirse çözünmüş oksijen seviyesini azaltabilir ve dolayısıyla biyolojik yaşamı olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle sucül ortama deşarj edilmeden önce

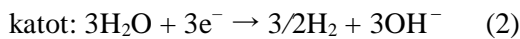
Araştırma makalesi/Research article
 DOI: 10.29132/ijpas.793904

atıksuyun arıtılması gereklidir (Öztürk ve Yılmaz, 2019).

Genellikle mezbaha atıksularının arıtımı için, aktif çamur, stabilizasyon havuzları, anaerobik reaktörler ve kombine prosesler gibi biyolojik prosesler kullanılır. Bu prosesler başarılı olsalar da, genellikle uzun hidrolik alıkoyma süresi ve geniş alanlar gerektirirler. Aynı zamanda fazla miktarlarda çamur oluştururlar. Ayrıca mezbaha atıksuları zararlı ve biyolojik olarak parçalanamayan organik maddelerde içerebildiğinden biyolojik arıtma yetersiz olabilir. Elektrokoagülasyon, atıksu arıtma sistemleri için alternatif bir teknolojidir ve inorganik ve organik kirleticileri ve patojenleri gidermede oldukça etkilidir. Geleneksel kimyasal pıhtılaşma ile karşılaştırıldığında elektrokoagülasyon, basit ekipman, kolay işletme ve otomasyon, kısa alıkoyma süresi, düşük çamur üretimi ve kimyasal gerektirmemesi gibi birçok avantaja sahiptir. Mezbaha atıksuları genellikle kan içerdiğinden kandaki iyonlar ve elektrolitler elektriksel iletkenliği indüklemektedir. Bu mezbaha atıksularının elektrokimyasal işlemlerle arıtılmasını avantajlı hale getirmektedir (Daneshvar ve ark., 2007; Nery ve ark., 2007; Öztürk ve Yılmaz, 2019). Elektrokoagülasyon, ortama bir elektrik akımı uygulayarak sulu bir ortamda süspansiyon haline getirilmiş, emülsifiye edilmiş veya çözünmüş kirleticileri stabilize etme işlemidir (Bayar ve ark., 2011). Elektrokoagülasyon süreci aşağıda verildiği gibi kurban anotlar kullanılarak atıksuda elektrokimyasal olarak M^{+3} iyonlarının yerinde üretilmesinden oluşur.



Burada M genellikle demir (Fe) veya alüminyum (Al)'dur. Hidrojen gazı, anot olarak kurban malzemedenden veya paslanmaz çelik gibi inert bir malzemedenden yapılan katotta salınır.



Kurban elektrotlar ayrıca asidik ortamda H^{+} iyonları ile veya alkali ortamda OH^{-} iyonları ile kimyasal olarak aşındırılabilir. Elektrot reaksiyonları (1) ve (2) ile üretilen $M^{+3}_{(\text{suda})}$ ve OH^{-} iyonları, pH aralığına bağlı olarak çeşitli hidrokso monomerik ve polimerik türler oluşturmak için

reaksiyona girerler ve sonunda kompleks çökelme kinetiklerine göre $M(OH)_3$ 'e dönüşürler. Yeni oluşmuş amorf $M(OH)_3$ "süpürme flokları", çözünür organik bileşiklerin hızlı adsorpsiyonu ve kolloidal partiküllerin yakalanması için faydalı olan geniş yüzey alanlarına sahiptir. Bu floklar ayrıca $M_n(OH)_{3n}$ olarak polimerize olurlar ve hidrojen gazı ile sedimantasyon ve/veya flotasyon yoluyla sulu ortamdan kolayca giderilirler (Bayramoglu ve ark., 2006).

Bu çalışmada elektrokoagülasyon süreci kullanılarak mezbaha atıksularından KOİ giderimi üzerine pH, akım yoğunluğu, elektrotlar arası mesafe gibi farklı parametrelerin etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Atıksu Temini ve Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan mezbaha atıksuyu Tunceli'de bulunan Dersim Et Mezbaha ve Karkas Et Üretim Tesisinden (coğrafi koordinatları: 38°57'36.9"N 39°34'14.0"E) Ocak 2018'de 2 saatlik kompozit numune olacak şekilde temin edilmiştir. Tesis günlük olarak 500 küçükbaş ve 100 büyükbaş hayvan kesimi yapma kapasitesine sahiptir. Atıksuda yapılan analizler standart metotlara göre yapılmıştır (APHA, 2005) ve kullanılan metotlar şunlardır: KOİ, 5220 D; yağ ve gres, 5520 B; toplam katı madde (TKM), 2540 B; uçucu katı madde (UKM), 2540 B; NH_3-N , 4500- NH_3 F; NO_3^-N , 4500- NO_3^- B; NO_2^-N , 4500- NO_2^- B; toplam kjeldahl azotu (TKN), 4500 N_{org} B; PO_4^{3-} , 4500-P C; bulanıklık 2130 B, renk 2120 C. pH, iletkenlik ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri multiparametre cihazı (YSI Pro Plus) kullanılarak numune alınırken yerinde ölçülmüştür.

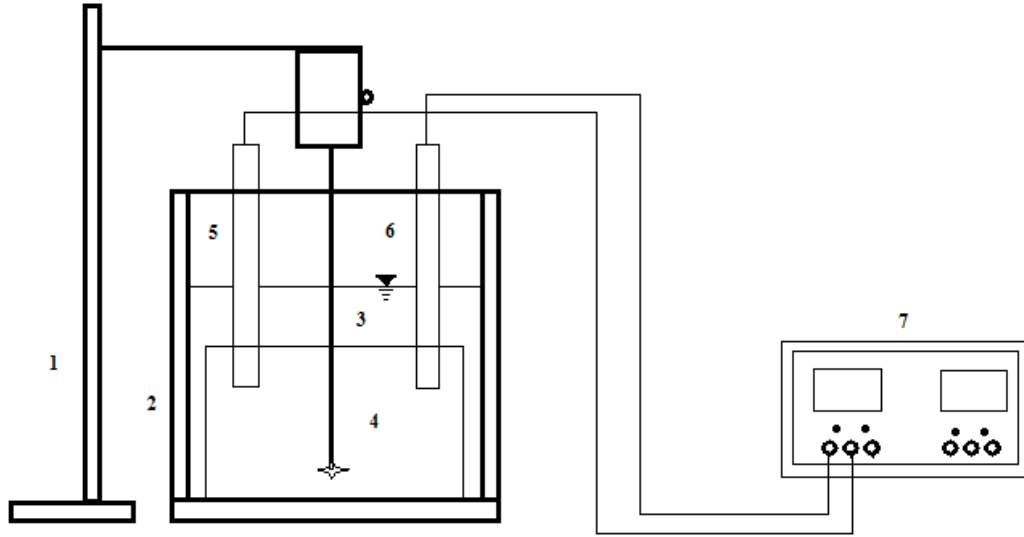
Deneyel Düzenek

Mezbaha atıksuyunun arıtımında kullanılan elektrokoagülasyon reaktörü Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneyel çalışmada kullanılan reaksiyon hücresi 1 L etkili hacme sahip pleksiglas malzemedenden üretilmiştir ve 180 mm uzunluk, 170 mm genişlik ve 110 mm yüksekliğe sahiptir. Her bir deneyde 500 mL atıksu kullanılmıştır. 50 mm × 80 mm boyutuna sahip demir plakalar anot ve katot olarak reaktöre yerleştirilmiştir. Elektrotlar, akım için 0-3 A ve voltaj için 0-30 V aralıklarında çalışan bir dijital DC kaynağına monopolar-paralel şekilde

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.793904

bağlanmıştır. Deneyler sabit sıcaklıkta (25 °C) 60 dakikalık bir arıtım süresinde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığı sabit tutabilmek için reaksiyon hücresi su ceketli olarak yapılmıştır. Atıksuyun karışmasını sağlamak için deney sürecince sabit karıştırıcı kullanılarak atıksu 200 rpm’de karıştırılmıştır. Her deney çalışmasından sonra, kullanılan demir elektrotlar 10 dakika boyunca 0.25 M H₂SO₄

çözeltisine daldırılmıştır ve deiyonize su ile durulanmıştır. Atıksuyun pH’ı 0.1 M HCl ve 0.1 M NaOH çözeltileri kullanılarak ayarlanmıştır. Elektrokoagülasyon prosesi süresince zamana bağlı olarak peristaltik pompa ile alınan örnekler 45 dakika doğal çökelmeye bırakılmıştır ve üstte kalan durusu 5000 rpm’de 5 dakika santrifüjlenerek analizlerde kullanılmıştır.



Şekil 1. Deneysel dizayn (1: mekanik karıştırıcı, 2: su ceketli, 3: elektrokoagülasyon reaktörü, 4: sabitleme plakası, 5: katot, 6: anot, 7: DC güç kaynağı)

İşletme Maliyeti

Genel olarak, enerji tüketimi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Tevkur, 2019):

$$E = U \times I \times t \quad (3)$$

Burada, E tüketilen elektrik enerjisi (kWh), U hücre potansiyeli (volt), I akım (A) ve t zamandır (sa).

Elektrokoagülasyon prosesinin verimliliği (Φ) aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır (Tevkur, 2019):

$$\Phi = \left[\frac{\Delta m_{\text{deneysel}}}{\Delta m_{\text{teorik}}} \right] \times 100 \quad (4)$$

Burada, $\Delta m_{\text{deneysel}}$ elektrokoagülasyon işlemi sırasında elektrotların deneysel ağırlık kaybının karşılaştırılmasına dayanır. Ayrıca, Δm_{teorik} elektroliz hücresinde indüklenen akımla çözeltide çözünen teorik metal çözünme miktarıdır ve Faraday yasasına göre hesaplanmıştır (Tevkur, 2019):

$$M_{\text{teorik}} = \frac{M_w \times I \times t}{z_{\text{Fe}} \times F} \quad (5)$$

Burada M_{teorik} , elektrot tüketimi (kg/m³); M_w , demirin moleküler kütlesi (55,85 g/mol); z_{Fe} , aktarılan elektron sayısı ($z_{\text{Fe}} = 2$) ve F Faraday sabitidir (96485 C/mol).

Elektrokoagülasyon prosesinin işletme maliyeti aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{İşletme Maliyeti} = aC_{\text{enerji}} + bC_{\text{elektrot}} \quad (6)$$

Burada, a, elektrik birim fiyatı (Aralık ayı 2018 yılı için 0.4612 TL kWh⁻¹) ve b, demir elektrot fiyatı (Aralık ayı 2018 yılı için 11.56 TL kg⁻¹)’dır.

C_{enerji} ve C_{elektrot} ise aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Canizares ve ark., 2008; Palahouane ve ark., 2015; Tevkur, 2019):

Araştırma makalesi/Research article
 DOI: 10.29132/ijpas.793904

$$C_{enerji}(\text{kWh/kg KOİ}) = \frac{U \times I \times t}{V \times C_i \times R_e} \quad (7)$$

$$C_{elektrot}(\text{kg/kg KOİ}) = \frac{I \times t \times M_w \times \Phi}{z_{Fe} \times F \times V \times C_i \times R_e} \quad (8)$$

Burada, V, atıksuyun hacmi (m³); C_i, giriş atıksuyunun KOİ konsantrasyonu (kg m⁻³) ve R_e, KOİ giderim verimidir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Akım Yoğunluğunun Etkisi

Uygulanan akım ve dolayısıyla akım yoğunluğu, tüm elektrokimyasal sistemlerde en etkili parametrelerden biridir.

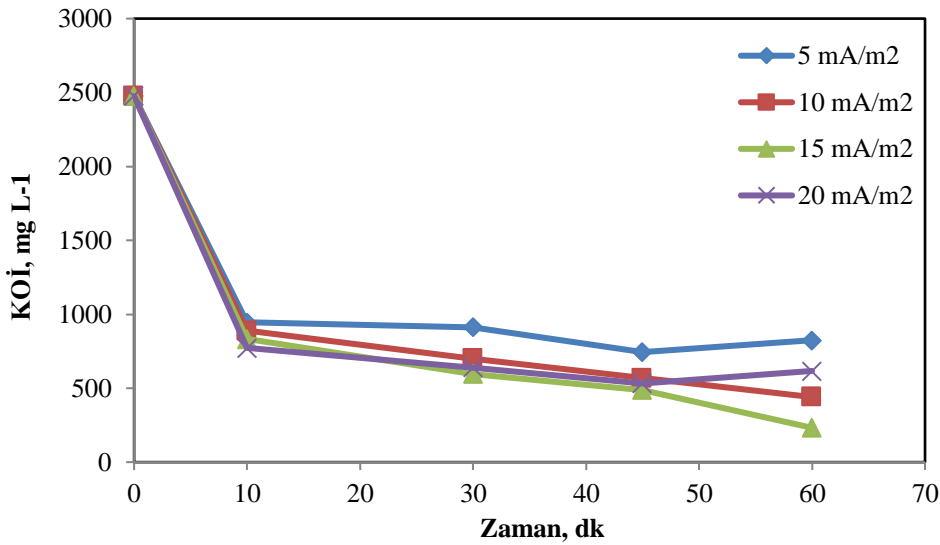
Elektrokoagülasyon prosesi boyunca hidrojen kabarcıklarının oluşma oranını ve flok büyümesini belirleyen akım yoğunluğu, koagülant türlerini oluşturmak üzere elektrot çözünmesini arttırmak için

kullanılır (Fajardo ve ark., 2015).

Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ giderimi üzerindeki etkisini test etmek için, doğal pH (7.47), 25 °C sıcaklık ve 16 mm elektrotlar arası mesafede dört farklı akım yoğunluğu uygulanarak deneyler yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekilden de görüldüğü gibi KOİ giderim hızı ilk 10 dakika içerisinde hızla artmıştır ve bundan sonra desorpsiyon nedeniyle KOİ giderim hızı azalmıştır (Safwat, 2020).

Akım yoğunluğunun 15 mA m⁻²’ye yükselmesiyle KOİ giderim verimi %90.63’e yükselmiştir. Faraday yasasına göre, akım yoğunluğundaki artışlar, kurban anot metal iyon konsantrasyonunun ve topak oluşumunun artmasına neden olan elektrot malzemesinin çözünme oranını arttırır. Bu nedenle kirletici giderimi, artan akım yoğunluğu ile artar.



Şekil 2. Farklı akım yoğunluklarında KOİ değerlerinin zamanla değişimi (T:25 °C, pH: 7.47 (doğal), elektrotlar arası mesafe 16 mm)

Ancak akım yoğunluğunun 20 mA m⁻²’ye yükseltilmesiyle giderim verimi %75’e düşmüştür. Akım yoğunluğundaki artışlar, korozyonu destekleyen ve demir anot elektrotun aktif yüzeyinde oksit tabakası oluşturan oksidasyon reaksiyonunun hızını arttırır. Bu tabakanın oluşması nedeniyle pasivasyon etkileri oluşmuş ve KOİ giderim etkinliğini azaltmıştır. Ayrıca yükseltilmiş akım yoğunluğu kirleticileri flotasyon yoluyla gideren çok sayıda küçük hidrojen kabarcıklarının oluşumunu destekler. Artan akım

yoğunluğu, hava kabarcıklarının yoğunluğunu artırır ve flotasyon yoluyla atıksudan kirletici maddenin uzaklaştırılmasını arttıran hava kabarcığının boyutunu azaltır. Aynı zamanda artan metal çözünme hızı (koagülant dozu) flokların büyümesini artırır. Eş zamanlı olarak akım yoğunluğundaki artışlar reaktördeki türbülansı yönlendirir, bu nedenle kirleticilerin topaklanma yoluyla uzaklaştırılmasından sorumlu olan parçacıklar (pıhtılaştırıcılar) arasındaki etkileşimi azaltır (Priya ve Jeyanthi, 2019).

Başlangıç pH'ının Etkisi

Elektrokoagülasyon işlemi sırasında metalik hidroksitlerin oluşumu atıksuyun pH'ına bağlıdır ve atıksuyun başlangıç pH'ı elektrokoagülasyon prosesinin performansını etkilemektedir (Bener ve ark., 2019).

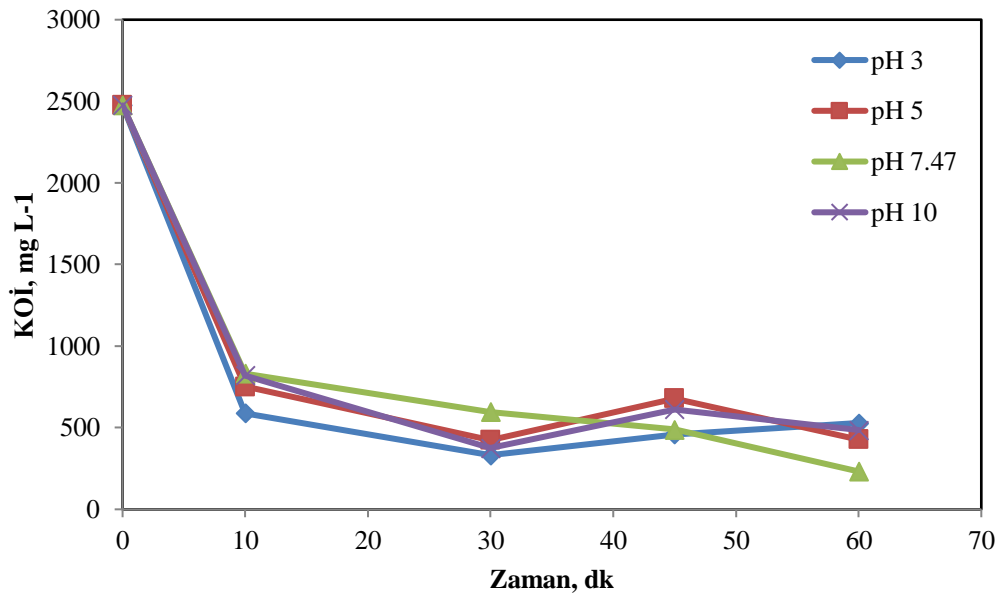
Deneyler sırasında akım yoğunluğu 15 mA m^{-2} 'ye, sıcaklık $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ve elektrotlar arası mesafe 16 mm 'ye ayarlanmıştır. Atıksuyun başlangıç pH'ının etkisini araştırmak için dört farklı pH değeri test edilmiştir ve deneysel sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. pH 3, 5, doğal pH (7.47) ve 10 için giderim verimleri sırasıyla %79, %83, %90.63 ve %80 olmuştur ve en yüksek KOİ giderim verimi atıksuyun doğal pH'ında elde edilmiştir. pH'ın 7.47'ye kadar yükselmesiyle giderim verimi artarken, daha sonra pH'ın 10'a yükselmesiyle giderim verimi düşmüştür. Düşük ve yüksek pH'larda, çözünebilir demir hidroksit türleri, demirin Pourbaix diyagramına göre oluşur. Asidik pH'da, katotta protonlar tarafından üretilen hidroksit iyonlarının çökmesi sonucunda yetersiz demir hidroksit oluşumu nedeniyle nispeten daha düşük giderim verimleri elde edilmiştir. Yüksek bir pH'da, flok oluşumu için uygun olmayan çözünür $\text{Fe}(\text{OH})^{4-}$ 'in baskın oluşumu nedeniyle giderim etkinliği azalmıştır. Nötre yakın pH'da, demir komplekslerinin çoğu oluşmuştur ve daha yüksek bir giderim etkinliği elde edilmiştir (Eryuruk ve ark., 2018).

Mevcut çalışmada atıksuyun doğal pH'ında arıtım yapıldığı zaman çıkış suyunun nihai pH'ı 7.81 olmuştur. Bu durum, giriş suyunun beslenmesinde ve atık akışlarının boşaltılmasında pH'ı ayarlamak için kimyasal kullanımını ortadan kaldırmaktadır.

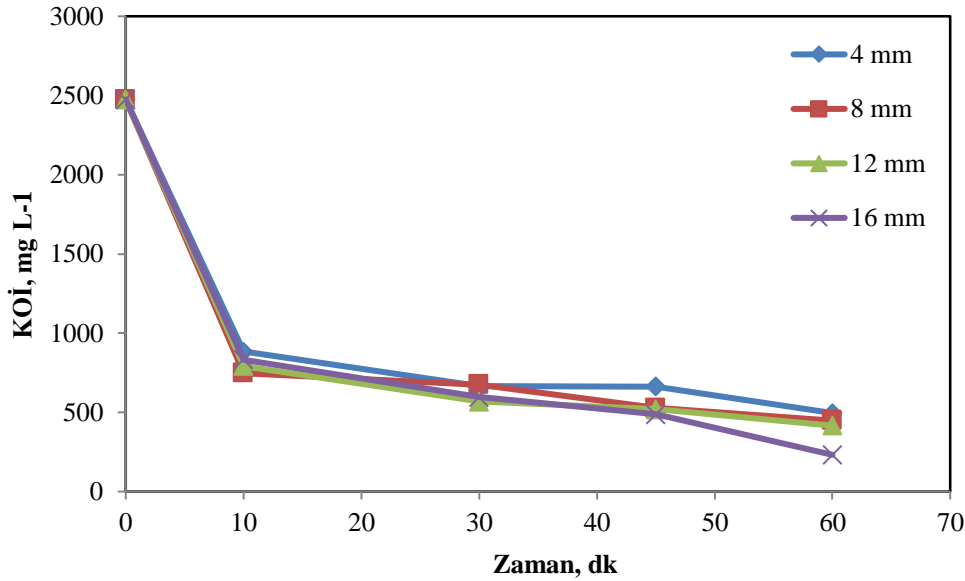
Elektrotlar Arası Mesafenin Etkisi

Elektrotlar arasındaki mesafe açısından, kurulum konfigürasyonu, elektrotun gerekli etkili yüzey alanı için oldukça önemlidir ve ayrıca elektrokimyasal hücredeki potansiyel ohmik indirgeme, elektrotlar arası mesafe ile orantılıdır (Atashzaban ve ark., 2016).

Bu çalışmada, bu parametrenin mezbaaha atıksularından KOİ giderimi üzerindeki etkisini araştırmak için elektrotlar arasındaki mesafe $4-16 \text{ mm}$ arasında değiştirilmiştir. Deneyler boyunca akım yoğunluğu 15 mA m^{-2} , sıcaklık $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ve başlangıç pH'ı doğal değerinde (7.47) tutulmuştur. Elektrotlar arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak KOİ giderim verimleri Şekil 4'te sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi elektrotlar arası mesafenin artırılması KOİ giderim verimini arttırmıştır. Elektrotlar arasındaki mesafe arttıkça, metal iyonlarının çözülmüş olması nedeniyle KOİ giderimi artmıştır (Tevkur, 2019).



Şekil 3. Farklı pH'larda KOİ değerlerinin zamanla değişimi (T: $25 \text{ }^\circ\text{C}$, elektrotlar arası mesafe: 16 mm , akım yoğunluğu: 15 mA m^{-2})



Şekil 4. Elektrotlar arası mesafenin KOİ değerlerinin zamanla değişimine etkisi (T: 25 °C, pH: 7.47 (doğal), akım yoğunluğu: 15 mA m⁻²)

Optimum KOİ Giderim Şartları ve İşletme Maliyeti

Çalışılan elektrokoagülasyon prosesinde elde edilen en yüksek KOİ giderim verimi; 60 dakika işletme süresi, 15 mA m⁻² akım yoğunluğu, 7.47 pH ve 16 mm elektrotlar arası mesafe olduğu zaman %90.63 olarak elde edilmiştir. Bu şartlarda elde edilen diğer parametrelerin değişimi Tablo 1'de

verilmiştir. Elektrokoagülasyon prosesinde ortaya çıkan ana maliyetler enerji ve elektrot tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu süreçte işletme maliyeti giderilen kg KOİ başına tüketilen enerji miktarı ve elektrot miktarının toplamı olarak ifade edilmiştir (Eşitlik 6). En yüksek KOİ gideriminin elde edildiği şartlarda işletme maliyeti 9.15 TL kg⁻¹ KOİ⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. En yüksek KOİ giderimi şartlarında ortam parametrelerinin değişimi ve giderim yüzdeleri (T: 25 °C, pH: 7.47, elektrotlar arası mesafe: 16 mm, akım yoğunluğu: 15 mA m⁻², t: 60 dk)

Parametre	Birim	Ham atıksu	Aritılmış atıksu	Giderim verimi, %
pH	-	7.47	7.81	-
İletkenlik	µs cm ⁻¹	2131	1468	31.11
TDS	mg L ⁻¹	1521	1378	9.40
KOİ	mg L ⁻¹	2475	232	90.63
Yağ ve gres	mg L ⁻¹	105.40	8.20	92.22
TKM	mg L ⁻¹	2867	1636	42.94
UKM	mg L ⁻¹	1580	389	75.38
NH ₃ -N	mg L ⁻¹	48.76	23.71	51.37
NO ₃ ⁻ -N	mg L ⁻¹	18.90	5.35	71.69
NO ₂ ⁻ -N	mg L ⁻¹	0.355	0.081	77.18
TKN	mg L ⁻¹	148.80	30.30	79.64
PO ₄ ⁻³	mg L ⁻¹	263.30	8.30	96.84
Bulanıklık	NTU	401	0.76	99.81
Renk	m ⁻¹	436 nm _(sarı) : 460 525 nm _(kırmızı) : 302 620 nm _(mavi) : 205	436 nm _(sarı) : 22.75 525 nm _(kırmızı) : 7.25 620 nm _(mavi) : 3.25	95.05 97.60 98.41

SONUÇLAR

Bu çalışmada elektrokoagülasyon prosesi kullanılarak mezbaha atıksularının arıtımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, demir elektrotlu laboratuvar ölçekli kesikli bir reaktörde KOİ giderimi üzerine akım yoğunluğu, pH ve elektrotlar arası mesafe olmak üzere üç proses değişkeninin etkisi değerlendirilmiştir. En yüksek KOİ gideriminin elde edildiği şartlarda (15 mA m⁻² akım yoğunluğu, 7.47 pH ve 16 mm elektrotlar arası mesafe) çıkış KOİ, yağ ve gres ve pH değerleri sırasıyla 232 mg L⁻¹, 8.20 mg L⁻¹ ve 7.81 olmuştur. Bu değerler Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY, 2004) mezbaha atıksuları için verilmiş olan alıcı ortama deşarj standartlarını sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar elektrokoagülasyon prosesinin mezbaha atıksularının arıtımı için etkili bir yöntem olduğunu doğrulamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından YLMUB017-08 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu çalışmalarında herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmalarında, araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Alfonso-Muniozguren, P., Cotillas, S., Boaventura Rui A.R., Moreira F.C., Lee, J., Vilar, V.J.P.,** 2020. Single and combined electrochemical oxidation driven processes for the treatment of slaughterhouse wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 270:121858.
- APHA,** 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed. American public health association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, USA.
- Atashzaban, Z., Seidmohammadi, A., Nematollahi, D., Azarian, G., Shayesteh, O.H., Rahmani, A.R.,** 2016. The efficiency of electrocoagulation and electroflotation processes for removal of polyvinyl acetate from synthetic effluent, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 3(2):74-69.
- Bayar, S., Yıldız, Y.Ş., Yılmaz, A.E., İrdemez, Ş.,** 2011. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. *Desalination*, 280:103-107.
- Bayramoğlu, M., Kobya, M., Eyvaz, M., Senturk, E.,** 2006. Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. *Separation and Purification Technology*, 51:404-408.
- Bener, S., Bulca, Ö., Palas, B., Tekin, G., Atalay, S., Ersöz, G.,** 2019. Electrocoagulation process for the treatment of real textile wastewater: Effect of operative conditions on the organic carbon removal and kinetic study. *Process Safety and Environmental Protection*, 129:47-54.
- Canizares, P., Martinez, F., Rodrigo, M.A., Jimenez, C., Saez, C., Lobato, J.,** 2008. Modelling of wastewater electrocoagulation processes Part II: Application to dye-polluted wastewaters and oil-in-water emulsions. *Separation and Purification Technology*, 60:147-154.
- Daneshvar, N., Khataee, A.R., Ghadim, A.R., Rasoulifard, M.H.,** 2007. Decolorization of C.I. Acid yellow 23 solution by electrocoagulation process: investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC). *Journal of Hazardous Material*, 148(3):566-572.
- Eryuruk, K., Tezcan Un, U., Ogutveren, U.B.,** 2018. Electrochemical treatment of wastewaters from poultry slaughtering and processing by using iron electrodes. *Journal of Cleaner Production*, 172: 1089-1095.
- Fajardo, A.S., Rodrigues, R.F., Martins, R.C., Castro, L.M., Quinta-Ferreira, R.M.,** 2015. Phenolic wastewaters treatment by electrocoagulation process using Zn anode. *Chemical Engineering Journal*, 275:331-341.
- Nery, V.D., de Nardi, I.R., Damianovic, M.H.R.Z., Pozzi, E., A.K. Amorim, B., Zaiat, M.,** 2007. Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant, *Resources, Conservation & Recycling*, 50(1):102-114.
- Ozturk, D., Yılmaz, A.E.,** 2019. Treatment of slaughterhouse wastewater with the electrochemical oxidation process: Role of operating parameters on treatment efficiency and energy consumption. *Journal of Water Process Engineering*, 31:100834.
- Palahouane, B., Drouiche, N., Aoud, S., Bensadok, K.,** 2015. Cost-effective electrocoagulation process for the remediation of fluoride from pretreated photovoltaic wastewater. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 22:127-131.

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.793904

- Priya, M., Jeyanthi, J.,** 2019. Removal of COD, oil and grease from automobile wash water effluent using electrocoagulation technique. *Microchemical Journal*, 150:104070.
- Rajakumar, R., Meenambal, T., Saravanan, P.M., Ananthanarayanan, P.,** 2012. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater in hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor packed with pleated polyvinyl chloride rings. *Bioresource Technology*, 103(1):116-122.
- Safwat, M.S.,** 2020. Treatment of real printing wastewater using electrocoagulation process with titanium and zinc electrodes. *Journal of Water Process Engineering*, 34:101137.
- Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği,** 2004. 31.12.2004 tarih ve 25867 sayılı Resmi Gazete.
- Tevkur, S.,** 2019. Mezbaha atıksularının elektrokoagülasyon prosesi kullanılarak arıtılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.