

Erzurum Şeker Fabrikası Atıksularının Elektrokoagülasyon Prosesi ile Arıtılmasında Akım Yoğunluğu ve Karıştırma Hızının Etkisi

Sebile ÖZCAN¹, Murat Tolga YILMAZ², Serkan BAYAR²

ÖZET: Bu çalışmada, Erzurum Şeker Fabrikası atıksularının Al plaka elektrot kullanılarak Elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. KOİ giderme verimi üzerine karıştırma hızı ve akım yoğunluğunun etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan atıksu Erzurum Şeker Fabrikasından temin edilmiştir. Çalışmalar atıksuyun kendi doğal pH'sında (pH 5.20) gerçekleştirilmiş olup sıcaklık 25 °C'de sabit tutulmuştur. Elektrotlar arası mesafe 0.5 cm olarak belirlenmiştir. Çalışmada 2.143 "mA cm⁻²" akım yoğunluğunda, 150 "dev.dak⁻¹" karıştırma hızında, atıksu başlangıç pH'sı 5.20'de 180 dakika deney süresi sonunda KOİ giderimi %90.5 olarak gerçekleşmiştir.

Anahtar kelimeler: Al plaka elektrot, akım yoğunluğu, elektrokoagülasyon, şeker fabrikası atıksuyu



The Effect of Stirring Speed and Current Density on Removal Efficiency of Erzurum Sugar Factory Wastewater by Electrocoagulation Method

ABSTRACT: In this study, the treatability performance of Erzurum Sugar Plant industry wastewaters was investigated by Electrocoagulation (EC) methods using Al plate electrodes. The effect of the stirring speed and the current density on the removal of chemical oxygen demand (COD) were investigated. The wastewater used in this work was obtained from Erzurum Sugar Plant. Experiments were conducted at initial wastewater pH 5.20 (natural pH) and the temperature was kept constant at 25°C. The distance between plates was determined at approximately 5 mm. Showed Al plate electrode electrocoagulation experiment that the best removal efficiency under the following conditions: electrolysis time 180 min, stirring speed 150 rpm, pH 5.20 and current density 2.143 "mA cm⁻²". These experimental conditions under COD removal efficiency have been obtained %90.5.

Keywords: Al plate electrode, current density, electrocoagulation, sugar plant wastewater.

¹ Fethiye Ali Sıtkı Mefharet Koçman Meslek Yüksekokulu Muğla/Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü 25240 Erzurum / Türkiye
Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Sebile ÖZCAN, sebileozcan@mu.edu.tr

GİRİŞ

Ülkelerde endüstrileşme sürecinin temel bileşenlerinden biri olma özelliğine sahip şeker fabrikaları, tarımsal kalkınma ve gelir bölüşümü, toplumun temel beslenme gereksiniminin karşılanması gibi vazgeçilmez işlevleri üstlenerek, ülkemizin kalkınma stratejisi içinde de oldukça köklü bir geleneğe sahiptirler. Bu sebeple bu endüstriye yönelik planlama ve uygulamalar çağdaş bilimsel gerçekçiliğin bir ürünü olmak zorundadır (Koyuncu, 2006).

Elektrokimyasal yöntemlerle organik madde giderimi, günümüzde birçok araştırmacı tarafından çalışılmakta olan bir konudur. Özellikle biyolojik parçalanmaya direnç gösteren organik maddelerin sulara karışması geleneksel su/atıksu arıtım yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmuş ve çalışmaları ileri arıtım tekniklerine yönelmeye zorlamıştır.

Elektrokoagülasyon prosesi son on yılda gelişmiş ülkelerde endüstriyel atık suların arıtımı için gittikçe artarak kullanılmaya başlanmış olan bir yöntemdir. Basit ve etkili bir yöntem olmasının yanı sıra ayrıca kimyasal madde ilavesi söz konusu olmadığından ikincil kirlilik problemi ile karşılaşmaz, basit ekipman, daha az iş gücü ve daha küçük alanlarda uygulanabilir. Ülkemizde ise bu prosesin uygulanabilmesi için en önemli sorun elektriğin pahalı olması sebebiyle ortaya çıkan maliyetlerdir.

Elektrokoagülasyon prosesi özellikle son yıllarda değişik türde atıksuların arıtılması için uygulanmış ve yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. Örneğin; fındık işleme sanayi atıksuları (Bayar et al., 2014), tavuk sanayi atıksuları (Bayar et al., 2011), kağıt sanayi atıksuları (Katal et al., 2011), kadmiyum giderimi (Bayar et al., 2013), tekstil boyar maddesi giderimi (Merzouk et al., 2011), bor giderimi (Isa et al., 2014).

Bu amaç ile bu çalışmada, Erzurum şeker fabrikası atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla monopolar paralel bağlı alüminyum elektrotlarının kullanıldığı bir reaktörde KOİ giderme verimi üzerine karıştırma hızının ve akım yoğunluğunun etkisi incelenmiştir.

Elektrokoagülasyon prosesinin kısa tanımı

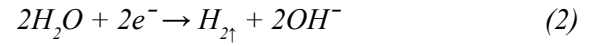
Elektrokoagülasyon prosesinde elektrotlarda hidroliz reaksiyonları sonucu oluşan metal hidroksit flokları sayesinde kısmi oksidasyon, koagülasyon, adsorpsiyon, çökeltme ve flotasyon işlemleri eşzamanlı

olarak gerçekleşerek renk, türbidite ve KOİ giderimi sağlanmaktadır. Elektrokoagülasyon; çözünebilen ve pıhtılaştırıcı özelliğe sahip metal bir elektrotun kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım sürecidir. Elektrokoagülasyon kullanılan elektrot malzemesinin elektriksel olarak çözünmesiyle koagülantların oluşturulması prensibine dayanır. Elektrot malzemesi olarak temini kolay ve ucuz olan demir ve alüminyum en çok tercih edilen malzemelerdir. Elektrokoagülasyon ile kimyasal koagülasyon arasındaki fark alüminyum veya demirin ortama ilave edilme şeklidir (Donini et al., 1994). Elektrokoagülasyonda, pıhtılaşma ve çökeltme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesi ile değil, elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir (Koparal ve ark., 1999). Elektrokoagülasyon; kolloidlerin, süspansiyonların ve emülsiyonların elektriksel yüklerden etkilenmesi prensibine dayanır. Elektrot malzemesi olarak alüminyum kullanıldığında elektrot reaksiyonları (Yıldız 2003):

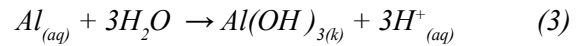
Anotta:



Katotta:



Çözeltide:



Bununla birlikte sulu ortamın pH değerine bağlı olarak reaksiyon sonucunda $Al(OH)_2$, $Al_2(OH)^{+2}$ ve $Al(OH)_4$ gibi diğer bazı alüminyum birleşik türleri görülebilir. Al^{+3} iyonlarının hidrolizi ile $Al(H_2O)_6^{+3}$, $Al(H_2O)_5OH^{+2}$, $Al(H_2O)_4OH^{+2}$ oluşur. Hidroliz ürünleri geniş bir pH aralığında $Al(OH)^{+2}$, $Al_2(OH)_2^{+4}$, $Al(OH)^{-4}$, $Al_6(OH)_{15}^{+3}$, $Al(OH)^{-4}$, $Al_{18}(OH)_{20}^{+4}$, $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{+7}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ gibi birçok monomerik ve polimerik türleri oluşturabilirler (Şimşeker, 2009).

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırmada Erzurum ilinde bulunan 73 günlük kampanya süresinde yaklaşık olarak 3 000 ton şeker pancarının işlendiği şeker fabrikasından sağlanan

atıksu kullanılmıştır. Deneyler esnasında kullanılan atıksuyun karakteristik özellikleri Çizelge 1’de verildiği gibidir. Atıksuyun başlangıç pH’sının ayarlanmasında derişik nitrik asit ve sodyum hidroksit kullanılmış olup analizlerde kullanılan tüm kimyasal maddeler analitik safliktadır.

Erzurum Şeker Fabrikası günlük atıksu debi miktarı 6.000 “m³ gün⁻¹” dür. Şeker fabrikası atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılmasında arıtma verimi ve enerji tüketimi aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$(\%) = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Burada, C₀ başlangıçta atıksudaki kirletici konsantrasyonunu “mg L⁻¹”, C_e t anında atıksuda kalan kirletici konsantrasyonunu “mg L⁻¹” göstermektedir.

$$W(kWsaatm^{-3}) = \frac{VxIxt}{v} \quad (2)$$

Burada, “W” enerji tüketim değerini, “I” uygulanan akım şiddetini, “V” sistemde oluşan potansiyel farkı, “t” zamanı ve “v” reaktördeki toplam çözelti hacmini göstermektedir.

Çizelge 1. Kullanılan atıksuyun özellikleri

Parametreler	Değerler
İletkenlik (µs cm ⁻¹)	1460
BOİ ₅ (mg L ⁻¹)	800
Bulanıklık (NTU)	9.40
pH	5.20
KOİ (mg L ⁻¹)	2580

Yöntem

Elektrotlar reaktöre yerleştirildikten sonra, atıksudan 1000 ml reaktöre konulmuştur. Güç kaynağı üzerinde istenen akım ayarlaması yapıldıktan sonra çalıştırılmıştır ve her adımda voltaj kaydedilmiştir. Elektrot potansiyel etkisi ile ısınan elektrolitin sıcaklığı 25 °C’de sabit tutulmuştur. Elektrokoagülasyon işlemi esnasında oluşan hidrojen gazı yardımıyla bazı demir veya alüminyum flokların reaktörün üst kısmında toplanmış olduğu ve bir köpük tabakası oluşturduğu

gözlenmiştir. Böylece reaktörün üst kısımlarında köpük tabakası oluşurken orta kısımda arıtılmış su en dipte ise çamur tabakası bulunmaktadır. Deney süresince zamana bağlı olarak alınan numuneler deney bitiminden hemen sonra çökmeye bırakılmış, çamur çöktükten sonra üst kısımdan alınan numuneler santrifüjlenerek analizlerde kullanılmıştır. Her deneyden sonra elektrotların yüzeyinde birikmiş olan kalıntılar, HNO₃ karıştırılmasıyla elde edilen yıkama çözeltisine daldırılarak 5 dakika bekletilmiştir. Son olarak saf su ile yıkanan elektrotlar etüvde (Ecocell) 105 °C’de kurutulup tekrar bir sonraki deney başlanılmıştır.

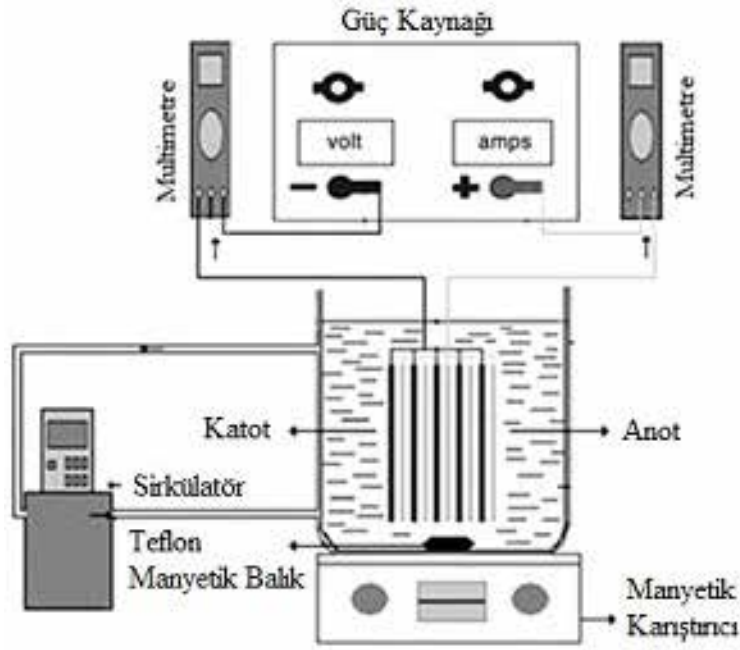
Ayrıca deney sırasında tükenen anot ve katot miktarını hesaplamak için, elektrotlar deneyden önce ve sonra hassas terazide tartılmıştır. Elektrokoagülasyon deneyleri Şekil 1’de gösterilen deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Akım ve voltaj kontrolü dijital bir güç kaynağı (Topward Dual-Tracking DC Power Supply model, 0-30V, 0-6A) ile sağlanmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı analizleri standart metotlarda (AWWA 1985) belirtilen kapalı sistem (reflux) yöntemine göre yapılmıştır. KOİ ölçümleri için öncelikle potasyum hidrojen fitalat standart çözeltisi kullanılarak bir standart eğri hazırlanmıştır.

Analizde kullanılan çözeltiler

- **Parçalama çözeltisi:** 10.216 gr K₂Cr₂O₇ ve 33 gr HgSO₄, 167 mL derişik H₂SO₄ içerisinde çözülmüş ve çözelti saf su ile bir litreye tamamlanmıştır.
- **Asit çözeltisi:** 11 gr Ag₂SO₄ derişik 1 litre H₂SO₄ içerisinde çözümlenerek hazırlanmıştır.
- **Potasyum Hidrojen Fitalat:** (KHC₈H₄O₄, M_A=204.23 gr mol⁻¹) KOİ testinde uygulanacak aralığa göre standart kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılmıştır.

Analizin yapılışı

Belli zaman aralıklarında alınan numuneler 0.45 µm membran filtreden süzöldükten sonra içerisinde 1.5 mL örnek alınarak bor silikat tüplere konulmuştur. Üzerine 1 mL parçalama çözeltisi, 2 mL asit çözeltisi ilave edildikten sonra 148 °C’de bir termoreaktörde (WTW CR 3200) 2 saat kaynatılmış ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 600 nm dalga boyunda spektrofotometre (Shimadzu UV 160A) yardımıyla absorbans değerleri okunarak standart KOİ eğrisinden KOİ konsantrasyonları tayin edilmiştir.



Şekil 1. Deney Düzenegi

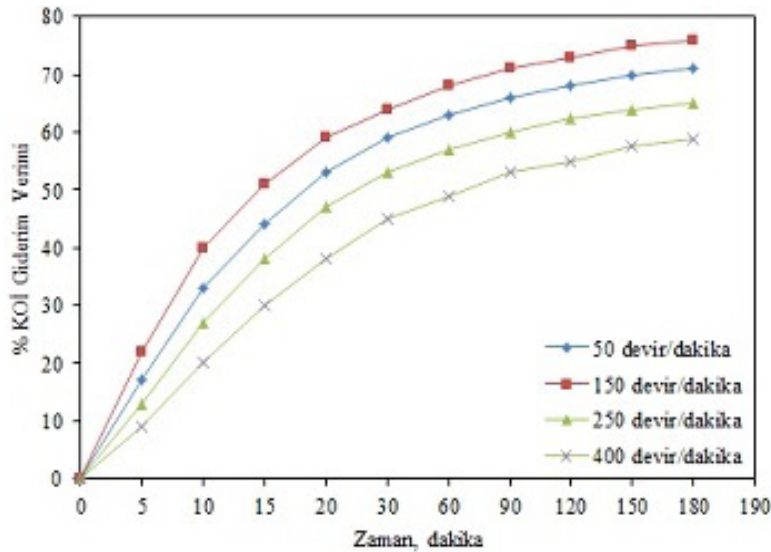
BULGULAR VE TARTIŞMA

Karıştırma hızının KOİ giderim verimi üzerine etkisi

Karıştırma hızının KOİ giderim verimleri üzerindeki etkisi 50, 150, 250 ve 400 “dev dak⁻¹” lık karıştırma hızlarında incelenmiş olup, elde edilen veriler Şekil 2’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Denemeler atıksuyun kendi doğal pH değeri 5.20’de yapılmıştır. Denemeler

süresince akım yoğunluğu 1.429 “mA cm⁻²” ve sıcaklık 25 °C’dir.

Elektrotların çözünmesi ile oluşan yumaklaştırıcının eşit bir şekilde reaktöre dağılımını karıştırma hızı parametresi sağlamaktadır. Etkin dağılımın sağlanamaması, reaktör içeriğinin homojen olmamasına sebep olur. Ayrıca karıştırma; sistem içerisinde sıcaklık, pH gibi sistem değişkenlerinin homojenize olmasına da sağlar (Can, 2010).



Şekil 2. Alüminyum elektrot kullanılan denemelerde, 25 °C sıcaklıkta, akım yoğunluğu 1.429 mA cm⁻² ve pH değeri 5.20’de karıştırma hızının KOİ giderim verimine etkisi

Şekil 2 incelendiğinde 50-400 “dev dak⁻¹” arasında değişen karıştırma hızlarında 180 dakika boyunca elde edilen KOİ giderim verimleri sırasıyla %71.33, %74, %65.19 ve %58.86 olarak bulunmuştur.

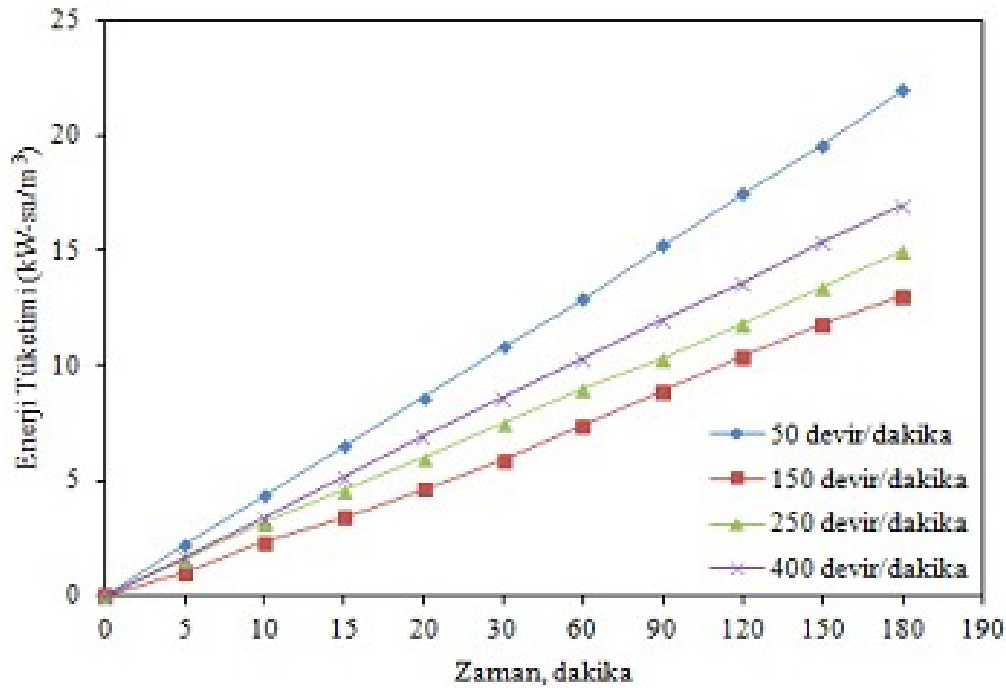
Şekil 2 incelendiğinde en iyi giderim verimi 150 “dev dak⁻¹”lık karıştırma hızı ile gerçekleştirilen denemelerde elde edilmiştir.

Bu hız değerinin altındaki değerlerde ve üstündeki değerlerde gerçekleştirilen denemelerde elde edilen giderim verimlerinde azalmalar görülmüştür.

50 “dev dak⁻¹” lık karıştırma hızında giderim veriminin azalmasının nedeninin, çözünen alüminyumun homojen dağılımının sağlanamaması ve kirletici ile reaksiyona girmeden reaktör tabanında birikiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

150 “dev dak⁻¹” lık karıştırma hızından büyük değerlerde giderim veriminin azalmasının sebebinin ise, elektrokimyasal olarak çözünen alüminyumun homojen dağılımının sağlanmasına rağmen artan karıştırma hızından dolayı flok oluşma eğiliminin azalması ve oluşan flokların kesme kuvvetlerinin etkisinden dolayı tekrar parçalanması şeklinde olduğu düşünülmektedir (Yılmaz, 2009).

Karıştırma hızının KOİ giderim verimine etkisinin incelendiği denemelerden elde edilen veriler yardımıyla, (2) eşitliği kullanılarak enerji tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Akım yoğunluğu 1.429 “mA cm⁻²”, pH 5.20 ve sıcaklık 25 °C’de farklı karıştırma hızları için sistemin enerji tüketiminin zamana göre değişimi Şekil 3’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Alüminyum elektrot kullanılan denemelerde, 25 °C sıcaklıkta, akım yoğunluğu 1.429 mA cm⁻² ve pHi değeri 5.20’de karıştırma hızının hızının enerji tüketimi üzerine etkisi

Elde edilen grafiksel sonuçlar düşük karıştırma hızlarında elektrokimyasal olarak çözünen alüminyumun homojen olarak karışmamasından ötürü elektrotlar arasında biriktiğini ve bu birikimin sonucu olarak da çözeltinin aynı iletkenlik değerine sahip olmasına rağmen hücre direncinin artmasına neden olduğunu göstermiştir. Hücre direncinin artması, sabit akım yoğunluğunda çalışılan sistemlerde potansiyel

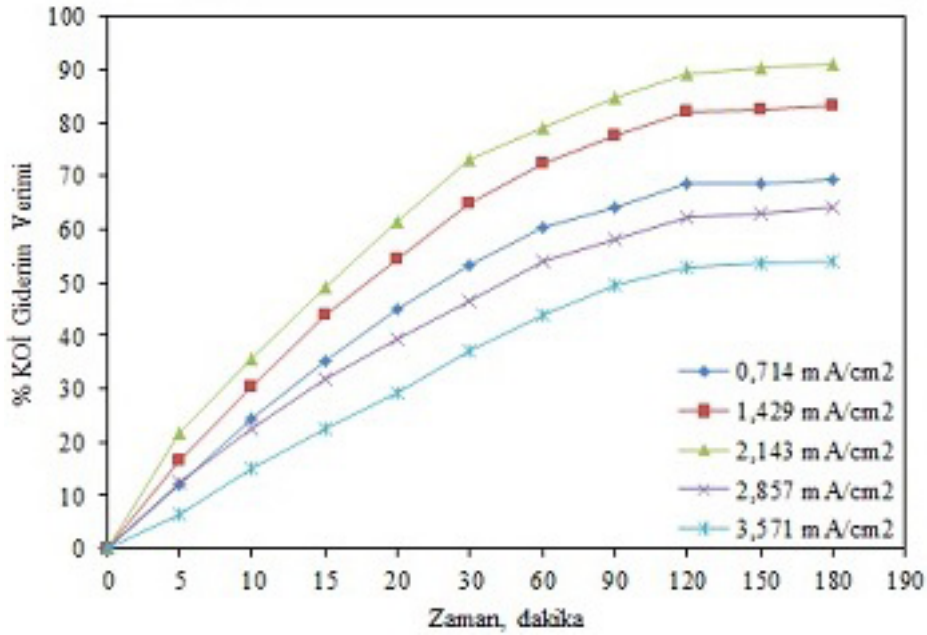
değerlerinin artmasına, bu da birim hacim başına daha çok enerji tüketimine yol açmaktadır. Yüksek karıştırma hızlarının enerji tüketimini artırmaların sebebinin ise, reaktör içerisinde meydana gelen yüksek hızın devreyi tamamlayan elektron akışı üzerinde olumsuz yönde oluşturduğu baskı neticesinde, elektron akışının yavaşlaması veya ilave bir direnç oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Yılmaz et al., 2008).

Akım yoğunluğunun sistem performansı üzerine etkisi

Birim elektrot alanına düşen akım, akım yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Bu bölümde akım yoğunluğunun arıtma verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Akım yoğunluğu elektrotlardan ayrılan alüminyum ve demir miktarını, gaz kabarcıklarının büyüklüğünü, oluşum hızını ve flokların gelişimini belirlemektedir (Mollah et al., 2004; Chen, 2004; Uğurlu et al., 2008). Şeker Fabrikası atıksularının

elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılmasında akım yoğunluğunun kirleticilerin giderim verimi üzerindeki etkisi 0.714; 1.429; 2.143; 2.857 ve 3.571 "mA cm⁻²" akım yoğunluklarında ve atıksu başlangıç pH'sı 5.20 değerinde incelenmiştir.

Denemeler esnasında karıştırma hızı 150 "dev dak⁻¹" da sabit tutulmuştur. Şekil 4'de pH 5.20 değerinde, 25 °C'de 0.714-3.571 "mA cm⁻²" akım yoğunluğu değerlerinde elde edilen KOİ giderim verimleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4. Alüminyum elektrot kullanılan denemelerde, 25 °C sıcaklıkta, pH = 5.20 ve 150 dev dak⁻¹, karıştırma hızında başlangıç akım yoğunluğunun KOİ giderim verimine etkisi

Şekil 4 incelendiğinde uygulanan akım yoğunluğu arttıkça ilk dakikalarda giderme veriminin hızlı bir şekilde arttığı, arıtma süresinin ve enerji tüketiminin kademeli olarak artmasına rağmen giderme verimlerinde bu parametrelerdeki artışa oranla daha düşük bir verimin görüldüğü arıtma periyodu gözlenmektedir. Bu genel bir eğilimdir (Yıldız, 2003). Sisteme uygulanan akım yoğunluğunun artması ile alüminyumun çözünme hızı artmakta ve sabit kirletici miktarı ile daha fazla Al(OH)_{3(katı)} reaksiyona girerek ortamdan daha fazla kirletici uzaklaştırılmaktadır. Akım yoğunluğunun artmasıyla kabarcıkların yoğunluğu ve oluşum hızları

artmakta ve boyutları küçülmektedir. Bu durum H₂ flotasyonuna neden olmakta bu da kirleticilerin daha hızlı giderilmesini sağlamaktadır (Merzouk et al., 2009; Abdelwahab et al., 2009). Literatürde bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da akım yoğunluğu arttıkça KOİ giderim veriminin arttığı rapor edilmiştir (Chen, 2004). Ancak denemelerin yapıldığı akım yoğunluğunun miktarı arttıkça, özellikle 2.857-3.571 "mA cm⁻²" akım yoğunluklarında, giderim veriminde azalma görülmüştür. Bunun nedeni, yüksek akım yoğunluğunun uygulandığı denemelerde reaktörde oluşan çamur miktarının çok fazla olması

sebebiyle alüminyumun oluşan aşırı çamur miktarından dolayı yeterince çözünemediğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Ciardelli and Ranieri, 2000). Bu sebepten dolayı, yüksek akım yoğunlukları ile yapılan denemelerde reaksiyonun ilk dakikalarında hızlı bir giderim verimi elde edilmesine rağmen müteakip dakikalarda giderim verimi düşük seviyelerde kalmaktadır.

Şayet yüksek akım yoğunluklarında sistemde oluşan çamur, reaksiyon boyunca ortamdan uzaklaştırılırsa düşük akım yoğunluklarında elde edilen giderim

verimlerinin çok daha kısa zamanlarda elde edileceği düşünülmektedir.

Atıksu başlangıç pH değeri 5.20, karıştırma hızı 150 “dev dak⁻¹”, sıcaklık 25 °C olduğu ortam şartlarında akım yoğunluğu arttıkça atıksu pH’sının yükselme hızının da arttığı görülmektedir (Çizelge 2). Akım yoğunluğu arttıkça anottaki elektrot malzemesinin çözünmesi artacak ve buna paralel olarak katot bölgesinde suyun hidrolizi sonucu sürekli olarak ortama hidroksil iyonu verilmesinden dolayı reaktör içerisinde pH artışı olacaktır.

Çizelge 2. Alüminyum elektrot kullanılarak farklı akım yoğunluklarında yapılan denemelerde elde edilen zamana bağlı pH değişimi verileri

Zaman (dakika)	0.714 mA cm ⁻² mA.cm ⁻²	1.429 mA cm ⁻² mA.cm ⁻²	2.143 mA cm ⁻² mA.cm ⁻²	2.857 mA cm ⁻² mA.cm ⁻²	3.571 mA cm ⁻² mA.cm ⁻²
0	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
5	5.28	5.23	5.17	5.13	5.09
10	5.34	5.36	5.4	5.41	5.35
15	5.46	5.52	5.61	5.67	5.44
20	5.61	5.63	5.89	5.9	5.73
30	5.74	5.74	6.00	6.14	6.04
60	5.9	6.14	6.17	6.4	6.32
90	6.15	6.3	6.38	6.65	6.57
120	6.31	6.44	6.55	6.89	6.85
150	6.49	6.73	6.89	6.21	7.14
180	6.74	6.91	7.21	7.46	7.59

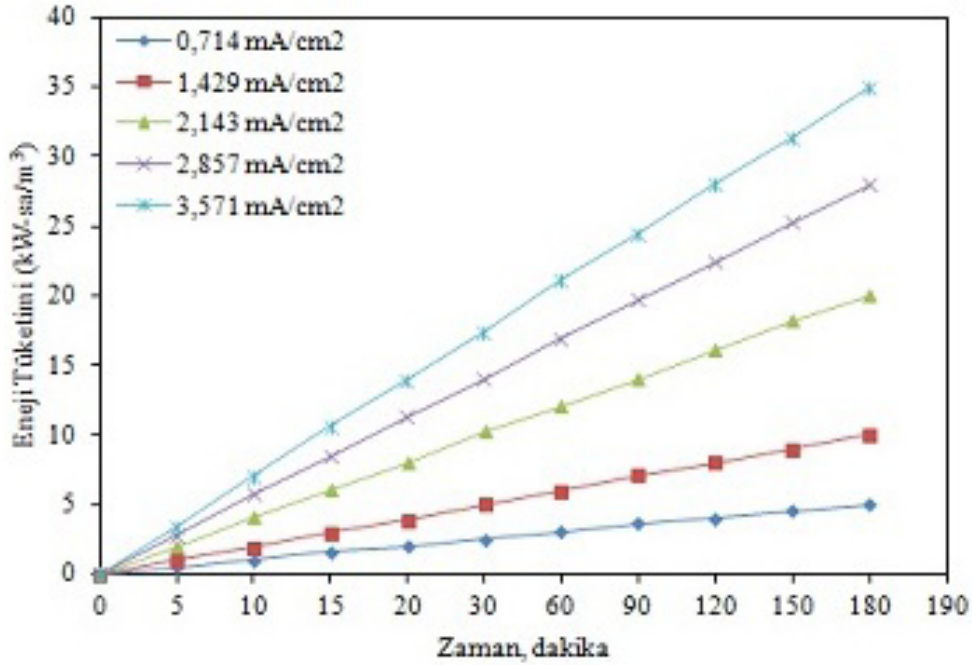
Şeker Fabrikası atıksularından kirleticilerin giderimine akım yoğunluğunun etkisinin incelendiği atıksuyun başlangıç pH’sı 5.20, karıştırma hızı 150 “dev dak⁻¹”, sıcaklık 25 °C olduğu ortam şartlarındaki denemelerden elde edilen veriler yardımıyla, (2) eşitliği kullanılarak enerji tüketimi değerleri hesaplanmıştır.

Bulunan değerler Şekil 5’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

180. dakikada 0.714 “mA cm⁻²” akım yoğunluğunda KOİ giderim verimi %69.21 ve enerji tüketimi 4.5 “kW-saat m⁻³” iken 2.143 “mA cm⁻²” akım yoğunluğunda KOİ giderim verimi %91.14 ve enerji tüketimi 19.1 “kW-saat m⁻³” dür.

Akım yoğunluğu arttıkça sisteme uygulanan potansiyel fark artmakta, potansiyel farkın artması da enerji tüketimini artırmaktadır. Ancak akım yoğunluğu ile potansiyel fark doğrusal olarak artarken enerji tüketimi üssel olarak artmaktadır. Ayrıca Faraday Yasası’na göre akım yoğunluğunun artması elektrot tüketimini de arttırmaktadır.

Sonuç olarak akım yoğunluğu arttıkça hem enerji hem de elektrot maliyeti yani toplam maliyet artmış olmakla birlikte giderim veriminde bir noktadan sonra azalma kaydedilmiştir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar tarafından da desteklenmektedir (Kumar et al., 2004; İrdemez, 2004; Gao et al., 2005; Yılmaz et al., 2009).



Şekil 5. Alüminyum elektrot kullanılan denemelerde, 25 °C sıcaklıkta, pH= 5.20 ve 150 dev dak⁻¹ karıştırma hızında başlangıç akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi

SONUÇ

Bu çalışmada, Şeker Fabrikası atıksularının elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılabilirliği incelenmiş ve karıştırma hızı ve akım yoğunluğu sistem parametrelerinin KOİ giderim verimi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Elektrot malzemesi olarak genellikle kolay bulunabilen, ucuz ve etkili malzeme olan alüminyum elektrotlar tercih edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan atıksu Erzurum Şeker Fabrikası'nın atıksu dengeleme havuzundan alınmıştır.

Şeker Fabrikası atıksuyunun elektrokoagülasyonla arıtımında ilk denemelerde karıştırma hızı değiştirilmiş diğer parametreler sabit tutulmuştur. Denemelerde karıştırma hızı aralıkları 50, 150, 250 ve 400 “dev dak⁻¹” seçilmiştir. En yüksek KOİ giderim verimi 150 “dev dak⁻¹” da gözlemlenmiştir. Karıştırma hızının 150 “dev dak⁻¹” olduğu denemede KOİ verimi %74 bulunmuştur.

Akım yoğunluğunun KOİ giderim verimleri üzerine etkisi incelenirken 0.714-3.571 “mA cm⁻²” aralığında denemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar atıksuyun kendi doğal pH'sında (pH 5,20) gerçekleştirilmiş olup karıştırma hızı 150 “dev dak⁻¹” da sabit tutulmuştur. Bu şartlar sabit kalıp akım yoğunluğu artırıldığında, KOİ giderim veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Akım yoğunluğundaki artışla elektrotlar arası potansiyel

farkının artmasından ötürü elektrot sarfiyatı ve enerji tüketimi artmıştır. Gerek sistemin bekletme süresi gerekse ortama verilen alüminyumun etkin kullanımı ve enerji tüketimi açısından 2.143 “mA cm⁻²” akım yoğunluğunda çalışılmasının uygun olduğu görülmüştür. Karıştırma hızının 150 “dev dak⁻¹”, başlangıç pH'sının 5.20, akım yoğunluğunun 2.143 “mA cm⁻²” olduğu denemede KOİ giderim verimi %91.14 bulunmuştur.

Elde edilen bu sonuçlar alüminyum elektrotlar ile yapılan elektrokoagülasyon arıtma yönteminin Şeker Fabrikası atıksularından KOİ giderimi için oldukça umut verici olduğunu göstermektedir. Mevcut laboratuvar ölçekli çalışmaların geliştirilmesiyle, pilot ölçekte elektrokoagülasyon sistemleri oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- Abdelwahab, O., Amin N.K., El-Ashtouky, E-S.Z. 2009. Electrochemical removal of phenol from oil refinery wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. 163(2): 711-716.
- Bayar, S. Yıldız, Y. S.; Yılmaz, A.E., Irdemez, S. 2011 The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. *Desalination*, 280: 103-107.
- Bayar, S., Yılmaz, A.E., Boncukcuoğlu, R., Fil, B.A., Kocakerim, M.M. 2013. Effects of operational parameters on cadmium removal from aqueous solutions by electrochemical coagulation. *Desalination and Water Treatment*. 51(13-15): 2635-2643.

- Bayar, S., Boncukcuoğlu, R., Yılmaz, A.E., Fil, B.A. 2014. Pre-Treatment of Pistachio Processing Industry Wastewaters (PPIW) by electrocoagulation using al plate electrode. *Separation Science and Technology* 49(7): 1008-1018.
- Can, B.Z., 2010. Sulu Çözeltilerden Arsenik ve Bor'un Birlikte Ve Seçimli Olarak Elektrokoagülasyon Yöntemi İle Giderimi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Chen, G. 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment, 38(1): 11-41.
- Ciardelli, G., Ranieri, N., 2000. The treatment and reuse of wastewater in the textile industry by means of ozonation and electroflocculation. *Water Research*, 35(2): 567-572.
- Donini, J.C., Kan, J., Szykarczuk, J., Hassan, T.A., Kar, K.L. 1994. The operating cost of electrocoagulation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 72(6): 1007-1012.
- Gao, P., Chen, X., Shen, F., Chen, G., 2005. Removal of chromium (VI) from wastewater by combined electrocoagulation–electroflotation without a filter, *Separation and Purification Technology*, 43(2): 117–123.
- İrdemez, A.T., 2004. Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Atıksulardan Fosfat Giderimi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Isa, M.H., Ezechia, E.H., Ahmed, Z., Magram, S.F., Kutty, S.R.M. 2014. Boron removal by electrocoagulation and recovery. *Water Research*. 51: 113–123.
- Katal, R., Pahlavanzadeh, H., 2011. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: application to the treatment of paper mill wastewater, *Desalination* 265: 199–205.
- Koparal, A.S., Gökçen, Ş., Ögütveren, Ü. 1999. Petrol formasyon suyunun elektrokimya ve geleneksel yöntemler ile arıtılabilirliğinin incelenmesi. in: Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, . İstanbul, pp. 370-390.
- Koyuncu, A.G., 2006. Şeker Endüstrisi Atıksularının Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kumar, P.R., Chaudhari, S., Khilar, K.C., Mahajan, S.P., 2004. Removal of arsenic from water by electrocoagulation, *Chemosphere*, 55 (9): 1245-1252.
- Merzouk, B., Gourich, B., Sekki, A., Madani, K., Chibane, M., 2009. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation–electroflotation technique: A case study. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1): 215-222.
- Merzouk, B., Yakoubi, M., Zongo, I., Leclerc, J.-P., Paternotte, G., Pontvianne, S., Lapique, F. 2011. Effect of modification of textile wastewater composition on electrocoagulation efficiency. *Desalination*, 275(1-3): 181-186.
- Mollah, M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., 2004. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal Hazardous Materials*, 114(1-3): 199-210.
- Şimşeker, M., 2009. Tekstil Endüstrisi İndigo Atıksularının Elektrokoagülasyon ve Diğer Fiziksel-Kimyasal Yöntemler ile Arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uğurlu M., Gürses A., Doğar Ç., Yalçın M., 2008. Theremoval of lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation. *Journal of Environmental Management*, 87(3): 420-428.
- Yıldız, Y.Ş., 2003. Humik Maddeler İçeren Atık Suların Elektrokoagülasyon Metodu ile Arıtımı. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yılmaz, A.E., Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M.M., Yılmaz, M.T., Paluluoğlu, C., 2008. Boron removal from geothermal waters by electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, 153(12): 146-151.
- Yılmaz, A.E., Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M.M., Kocadağistan, E., 2009. An empirical model for kinetics of boron removal from boron containing wastewaters by the electrocoagulation method in batchreactor. *Desalination*, 230(1–3): 288-297.