



## Mezbaha Atıksularından Elektrokoksidadasyon Sistemi ile KOİ ve Renk Giderilmesi Üzerine pH ve Akım Yoğunluğunun Etkisi

Onur Sözüdoğru<sup>1\*</sup>, Sermin Günaslan<sup>2</sup>, Baybars Ali Fil<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7885-2930>), [onur.sozudogru@atauni.edu.tr](mailto:onur.sozudogru@atauni.edu.tr)

<sup>2</sup> Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye (ORCID:0000-0003-2395-2808), [gunaslansermin@gmail.com](mailto:gunaslansermin@gmail.com)

<sup>3</sup> Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye (ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3085-224X>) [baybarsalifil2@gmail.com](mailto:baybarsalifil2@gmail.com)

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1111639)

**ATIF/REFERENCE:** Sözüdoğru, O., Günaslan, S., Fil, BA. (2022). Mezbaha Atıksularından Elektrokoksidadasyon Sistemi ile KOİ ve Renk Giderilmesi Üzerine pH ve Akım Yoğunluğunun Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 106-110.

### Öz

Çalışmada mezbaha atıksularından elektrokoksidadasyon sistemi ile Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve renk giderilirken sistemin giderim performansını etkileyen önemli parametrelerden akım yoğunluğu (4,06, 6,09, 8,12, 10,15 ve 12,18 mA/cm<sup>2</sup>) ve pH'nın (3,0, doğal pH (~7,0), 9,0 ve 11,0) etkisi incelenmiştir. Anot malzemesi olarak elek tipi Ti/Pt, katot malzemesi olarak elek tipi kaplanmamış Ti kullanılmıştır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, uygulanan akım yoğunluğunun artmasıyla KOİ ve renk gideriminde de artış meydana gelmiştir. Bu durum hem doğrudan hem de aracılı oksidasyon reaksiyonunun önemli bir rol oynadığı elektrokoksidadasyon sisteminin karakteristiğine bağlanabilir. Giderim verimlerinin başlangıç pH değerine bağlı olduğu kadar reaksiyon sonundaki pH değerine de bağlı olduğu bulunmuştur. Nötr ve zayıf bazik koşullarda sistemin giderim oranının daha iyi olduğu ve güçlü bazik koşullarda nispeten düşük olduğu ve mezbaha atıksularının laboratuvar ölçekte elektrokoksidadasyon sistemi ile arıtımında akım yoğunluğu ve pH etkin parametreler olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mezbaha atıksuyu, atıksu arıtımı, KOİ, renk, elektrokoksidadasyon, akım yoğunluğu, pH

## The Effect of pH and Current Density on COD and Color Removal from Slaughterhouse Wastewater by Electrooxidation System

### Abstract

In the study, the effect of current density (4,06, 6,09, 8,12, 10,15 ve 12,18 mA/cm<sup>2</sup>) and pH (3,0, ~7,0 (natural), 9,0, and 11,0), which are important parameters affecting the removal performance of the system, while removing chemical oxygen demand (COD) and color from slaughterhouse wastewater with the electrooxidation system was investigated. Sieve type Ti/Pt was used as anode material and sieve type uncoated Ti was used as cathode material. According to the results obtained from laboratory experiments, COD and color removal increased with the increase of applied current density. This can be attributed to the characteristic of the electrooxidation system, in which both direct and mediated oxidation reactions play an important role. It was found that the removal efficiencies depend not only on the initial pH but also, on the pH after the reaction completion. It has been observed that the removal efficiencies of the system are better in neutral and weakly basic conditions, and it is relatively low in strongly basic conditions, and current density and pH are effective parameters in the treatment of slaughterhouse wastewater by the lab-scale electrooxidation system.

**Keywords:** Slaughterhouse wastewater, wastewater treatment, COD, color, electrooxidation, current density, pH

\* Sorumlu Yazar: [onur.sozudogru@atauni.edu.tr](mailto:onur.sozudogru@atauni.edu.tr)

## 1. Giriş

Mezbaha atıksuları, tarım ve gıda endüstrileri kategorisinde endüstriyel atık olarak kabul edilmiş ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından çevreye en zararlı atıksulardan birisi olarak sınıflandırmıştır (EPA 2004; Tong et al. 2022). Bu atıksuların arıtılması ve bertarafı çevre ve halk sağlığı için bir gereklilik haline gelmiştir. Yüksek miktarda organik madde, nütrientler, renk, bulanıklık, patojenik ve patojenik olmayan virüsler ve bakterileri içermekle birlikte aynı zamanda başta zemin temizliği için kullanılan yüzey aktif maddeler ve dezenfektanlar olmak üzere kalıcı kimyasalları da içeren değişken bir bileşime sahiptir (Baker et al. 2021; Terán Hilares et al. 2021). Mezbaha atık suları herhangi bir arıtma işlemi yapılmadan alıcı ortama deşarj edildiğinde, yüzey sularında ötrofikasyona ve gelişmekte olan ülkelerde yaygın bir sorun haline gelen yeraltı sularının kirlenmesi gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Sun et al. 2021; Tong et al. 2022). Bu nedenle atık suların su ortamına deşarj edilmeden önce arıtılması gerekmektedir.

Mezbaha atıksularını arıtmak için biyolojik, fizikokimyasal ve ileri oksidasyon prosesleri gibi birçok arıtma tekniği kullanılmaktadır. Fizikokimyasal arıtma iyi bir arıtma verimliliğine sahip prostedir. Bununla birlikte, işlem sırasında gerekli olan büyük miktarda kimyasal madde ve arıtma sonunda büyük miktarda çamur oluşması nedeniyle kullanımları sınırlıdır (Crini and Lichtfouse 2019; Phoon et al. 2020; Terán Hilares et al. 2021). Biyolojik sistemlerin ise geniş alan ihtiyacı, yüksek havalandırma maliyeti, büyük miktarlarda atık çamur üretimi gibi dezavantajları varken aynı zamanda mikroorganizmaların bazı zararlı ve biyolojik olarak parçalanmayan organik maddelere karşı oldukça hassas olmaları ve yüksek hidrolik kalış sürelerinde çalıştırılmaları nedeniyle her zaman uygun değildirler (Ahmed et al. 2017; Bezirgiannidis et al. 2019; Luo 2014).

Son zamanlarda, kısıtlayıcı çevre düzenlemeleri ve yasaları nedeniyle, araştırmacılar ileri oksidasyon proseslerini kirlilik sorunlarını önlemek veya azaltmak için umut verici teknolojiler olarak görmektedir. Atık sulardaki organik ve zararlı kirlenmeler, titanyum, platin, rubidyum, grafit, bor kaplı elmas ve boyutsal olarak kararlı elektrotlar gibi çözünmeyen bir anot malzemesi kullanılarak organik maddelerin direk (elektrot yüzeyinde elektrooksidasyon veya elektroredüksiyon) veya dolaylı (arıtılmış su içerisinde oluşan kimyasal oksidantlar aracılığıyla) olarak oksitlenmesi esasına dayanır (Hernández-Rodríguez et al. 2022; Özyurt and Camcıoğlu 2018). Kirlenmelerin anot yüzeyine adsorbe olduktan sonra anot yüzeyinden doğrudan elektron transferiyle direkt oksidasyon oluşurken ve atıksu ortamında üretilen \*OH, \*Cl, \*SO<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve peroksosülfatlar gibi oksitleyiciler ile dolaylı oksidasyon gerçekleşir (Asfaha, Tekile, and Zewge 2021). Elektrooksidasyon prosesi son derece verimli ve çok yönlüdür, oksidantları üretmek için çok düşük miktarda kimyasal maddeye ihtiyaç duyar veya bazen hiç gerek duymaz, bu da elektrooksidasyonu güvenli ve çevre dostu teknoloji haline getirir. (Ganiyu et al. 2018; Song et al. 2022).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Atıksu Karakterizasyonu

Ham atıksuda ölçülen parametreler ve değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Ham atıksu günlük minimum 300 küçükbaş ve 100 büyükbaş hayvan kesimi yapılan bir tesisin arıtma sisteminin giriş e-ISSN: 2148-2683

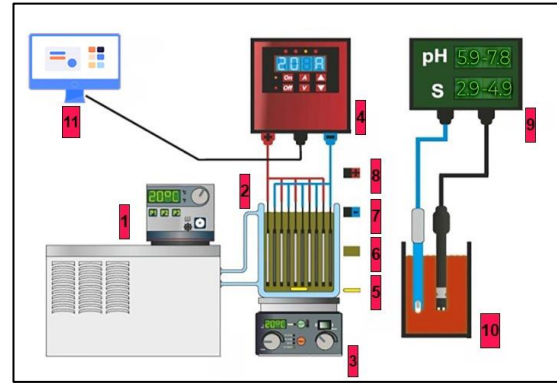
ızgara yapısının çıkışından alınmıştır. Mezbaha atıksuyunun KOİ'si ortalama 3099,82 mg/L ve renk değeri ortalama 28520 Pt/Co olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Atıksuda ölçülen parametreler ve değerleri

Parametre	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
Toplam KOİ (mg/L)	6691,20	626,45	3099,82
Renk (Pt/Co)	59160	21360	28520

### 2.2 Elektrooksidasyon Prosesi

EO prosesinin deney düzeneğinin gösterimi Şekil 1'de görülmektedir. Anot materyali olarak Ti/Pt elek plakalar, katot materyali olarak Ti elek plakalar kullanılmıştır. Kullanılan 4 anot ve 4 katot'un toplam yüzey alanı yaklaşık 2464 cm<sup>2</sup>'dir. Elektrotlar 70 mm x 100 mm x 2 mm boyutlarında olup ohmik kayıpları önlemek için elektrotlar arası mesafe 5 mm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1. Elektrooksidasyon sistemi deneysel düzenek (1- sirkülatörü, 2-Isı ceketli reaktör, 3-Magnetik karıştırıcı, 4-Doğru akım güç kaynağı, 5-Magnet, 6-Atıksu, 7- Katot (Ti), 8-Anot (Ti/Pt), 9- Multiparametre ölçer (pH ve İletkenlik), 10-Numune, 11-Bilgisayar)

Giderim verimleri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$GiderimVerimi = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$$

Burada; C<sub>0</sub>: Başlangıç kirlenici konsantrasyonu, C<sub>t</sub>: Herhangi bir t anındaki kirlenici konsantrasyonu, v: Atıksu hacmi (m<sup>3</sup>) olarak gösterilmiştir.

### 2.3. Deneysel Çalışmalar

Kesikli işletilen reaktörde 1.2 L atıksu kullanılmıştır. Çalışmada EO prosesini etkileyen pH ve akım yoğunluğu parametrelerinin KOİ ve renk giderim verimine etkileri incelenmiştir. Reaktör içerisinde çökeltme olmaması ve giderim veriminin yükseltilmesi amacı ile 400 devir/dakika karıştırma hızında manyetik karıştırıcı ile sürekli olarak karıştırılmıştır. Gerekli elektrik akımını sağlamak için DC-Power Supply marka KXN-3050D model güç kaynağı kullanılmıştır. Thermo Orion 5 star marka cihaz ile deneyin başlangıç anından itibaren belli aralıklarla atıksuyun pH ve iletkenlik ölçülmüştür. Lovibond Multi Direct marka fotometre ile renk ölçümleri 430 nm, dalga boylarında yapılmıştır. KOİ analizleri sonuçları 600 nm dalga

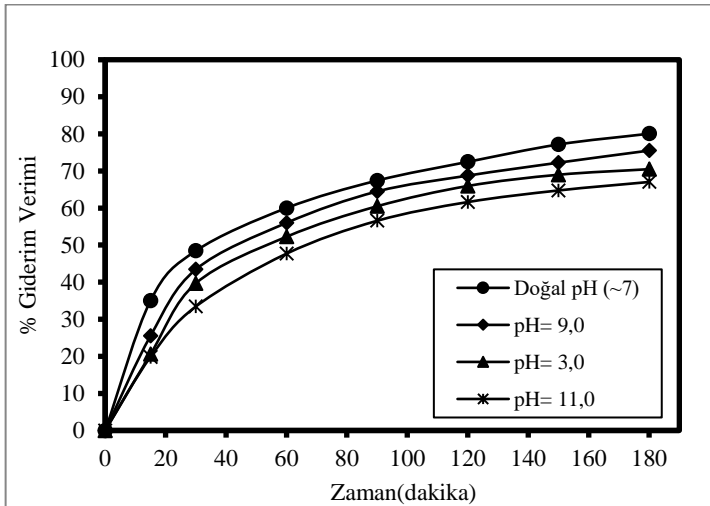
boyunda Hach Lange DR5000 marka spektrofotometre ile ölçülmüştür. Giriş atıksuyunun farklı başlangıç pH değerlerinin etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda 0,1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 0,1M NaOH kullanılarak pH ayarlaması yapılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

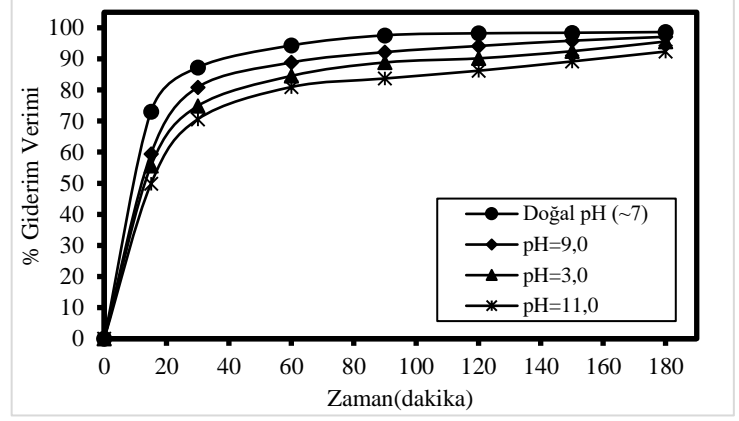
#### 3.1. KOİ ve Renk Giderimine pH'nın Etkisi

Mezbaha atıksularından KOİ ve renk gideriminde pH'nın etkisi pH= 3,0, ~7,0 (doğal), 9,0 ve 11,0 için 4,06 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu, 400 devir/dakika karıştırma hızı, 0,2 M NaCl destek elektrolit ile oda sıcaklığında incelenmiş ve 180 dakika reaksiyon süresi sonunda elde edilen giderim sonuçları KOİ ve Renk için sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Giderim verimleri; pH= 3,0, ~7,0 (doğal), 9,0 ve 11,0 için sırasıyla (KOİ)→%70,48, %80,05, %75,50 ve %67,03 ve (renk)→%95,58, %98,64, %97,09 ve %92,36 olarak hesaplanmıştır. Mezbaha atıksuyunda ki KOİ ve renk giderim veriminin pH= ~7,0'da (doğal) en yüksek olduğu sonucu açıktır. Aynı zamanda pH= 11,0 çalışmasında verim diğer pH değerlerine göre düşüktür. Giderim verimleri başlangıç pH değerine bağlı olduğu kadar reaksiyon sonundaki pH değerine de bağlıdır.

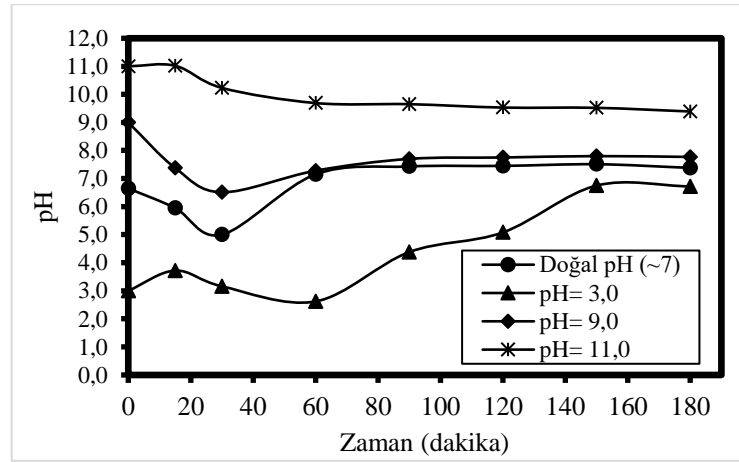
Reaktörde oluşan reaksiyonların pH'da değişimlere neden olduğu Şekil 4'te net bir biçimde gözükmemektedir. Atık suyun pH'ı, oluşan çeşitli hidroksit türlerinin stabilitesini etkilediği için organiklerin mineralizasyonu üzerinde hem olumlu hem de olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Giderim verimleri nötr pH değerinde yüksekken güçlü bazik koşullarda düşüktür. OH-kararsızlığı nedeniyle asidik koşullarda daha az ve bazik veya nötr pH durumlarının daha uygun olduğunu gösteren OCl<sup>-</sup> iyonunun oluşumu nedeniyle hafif alkali çözeltide belirgin şekilde daha fazla uzaklaştırma etkinliği olmuştur. Daha yüksek pH koşullarında, oksidasyon verimliliğini azaltan daha fazla klorat veya perklorat, klor/hipoklorit yerine oluşur. Deneysel sonuçlardan da görüleceği üzere pH=11,0 çalışmasında reaksiyon boyunca pH 9,0'un üstünde seyretmiştir.



Şekil 2. Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde KOİ giderim verimi üzerine atıksu başlangıç pH değerinin etkisi



Şekil 3. Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde renk giderim verimi üzerine atıksu başlangıç pH değerinin etkisi



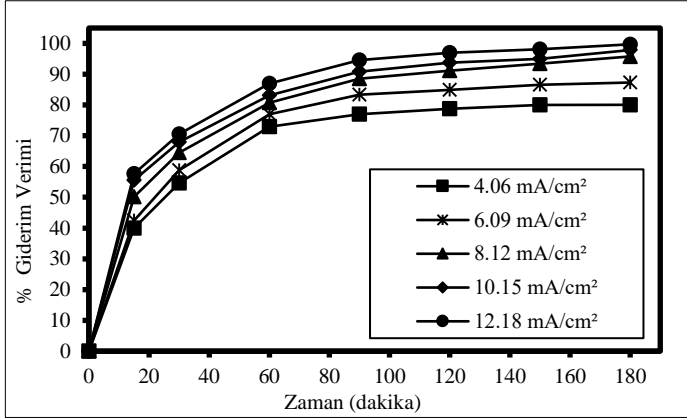
Şekil 4. Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde KOİ ve Renk gideriminde pH'nın değişimi

#### 3.2. KOİ ve Renk Giderimine Akım Yoğunluğunun Etkisi

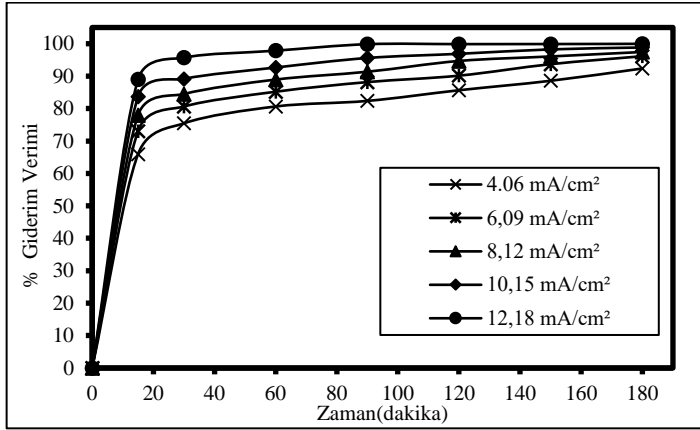
Mezbaha atıksularından KOİ ve renk gideriminde Akım yoğunluğunun etkisi, 4,06, 6,09, 8,12, 10,15 ve 12,18 mA/cm<sup>2</sup> için 400 devir/dakika karıştırma hızı, 0,2M NaCl konsantrasyonunda ve doğal pH (~7,0) değerinde oda sıcaklığında incelenmiş ve 180 dk reaksiyon süresi sonunda elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Giderim verimleri; 4,06, 6,09, 8,12, 10,15 ve 12,18 mA/cm<sup>2</sup> için sırasıyla (KOİ)→%80,05, %87,29, %95,76, %97,84 ve %99,70 ve (Renk)→%92,36, %96,15, %97,45, %98,84 ve %99,97 olarak bulunmuştur. Artan akım yoğunluğuna bağlı olarak KOİ ve renk gideriminde de artış meydana gelmiştir. Bu durum hem doğrudan hem de aracılı oksidasyon reaksiyonunun önemli bir rol oynadığı elektrokimyasal sistemlerin karakteristiğidir.

Akım yoğunluğu, elektron transferinde itici güç olduğu için elektrooksidasyon ile KOİ'nin verimli şekilde giderilmesinde önemli bir etkiye sahiptir (da Silva et al. 2019). Akım yoğunluğunda ki artışın, daha fazla elektron üretilmesini sağlayarak kirleticilerin uzaklaştırılmasını büyük ölçüde hızlandırdığı söylenebilir (Ma et al. 2019; Yu et al. 2020). Bununla birlikte, daha yüksek akım yoğunluğu değerleri, organik bileşiklerin uzaklaştırma verimini azaltabilen gaz kabarcıklarını (sırasıyla katot ve anotta hidrojen ve oksijen üretimi)

üretilmesinin yanında(Rivera et al. 2021) hipoklorit konsantrasyonunun tüketilmesine neden olan parazitik kayıp reaksiyonları gibi istenmeyen yan reaksiyonlara katkıda bulunabilir (Ozturk and Yilmaz 2019).



Şekil 5. Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde KOİ giderim verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi



Şekil 6. Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde renk giderim verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP-2019/044 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## Kaynakça

Ahmed, Mohammad Boshir, John L. Zhou, Huu Hao Ngo, Wenshan Guo, Nikolaos S. Thomaidis, and Jiang Xu. 2017. "Progress in the Biological and Chemical Treatment Technologies for Emerging Contaminant Removal from Wastewater: A Critical Review." *Journal of Hazardous Materials* 323:274–98.

Asfaha, Yemane G., Andinet Kebede Tekile, and Feleke Zewge. 2021. "Hybrid Process of Electrocoagulation and Electrooxidation System for Wastewater Treatment: A Review." *Cleaner Engineering and Technology* 4:100261.

Baker, Bakar Radhi, Radin Mohamed, Adel Al-Gheethi, and Hamidi Abdul Aziz. 2021. "Advanced Technologies for Poultry Slaughterhouse Wastewater Treatment: A Systematic Review." *Journal of Dispersion Science and Technology* 42(6):880–99.

Bezirgiannidis, Athanasios, Aikaterini Plesia-Efstathopoulou, Spyridon Ntougias, and Paraschos Melidis. 2019. "Combined Chemically Enhanced Primary Sedimentation and Biofiltration Process for Low Cost Municipal Wastewater Treatment." *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 54(12):1227–32.

Crini, Grégorio, and Eric Lichtfouse. 2019. "Advantages and Disadvantages of Techniques Used for Wastewater Treatment." *Environmental Chemistry Letters* 17(1):145–55.

EPA, U. S. 2004. "Effluent Limitations Guidelines and New Source Performance Standards for the Meat and Poultry Products, Point Source Category." *Federal Register* 69(173):54475–555.

Ganiyu, Soliu O., Elisama Vieira dos Santos, Emily Cintia Tossi de Araújo Costa, and Carlos A. Martínez-Huitle. 2018. "Electrochemical Advanced Oxidation Processes (EAOPs) as Alternative Treatment Techniques for Carwash Wastewater Reclamation." *Chemosphere* 211:998–1006.

Hernández-Rodríguez, Evelyn Anaid, Luis Antonio Castillo-Suárez, Elia Alejandra Teutli-Sequeira, Verónica Martínez-Miranda, Guadalupe Vázquez Mejía, Ivonne Linares-Hernández, Fortunata Santoyo-Tepole, and Abraham Benavides. 2022. "Electro-Oxidation and Solar Electro-Oxidation of Commercial Carbamazepine: Effect of the Support Electrolyte." *Separation Science and Technology* 57(3):465–83.

Luo, Yunlong. 2014. "A Review on the Occurrence of Micropollutants in the Aquatic Environment and Their Fate and Removal during Wastewater Treatment." 474:619–41.

Ma, Pengfei, Hongrui Ma, Alessandro Galia, Simona Sabatino, and Onofrio Scialdone. 2019. "Reduction of Oxygen to H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at Carbon Felt Cathode in Undivided Cells. Effect of the Ratio between the Anode and the Cathode Surfaces and of Other Operative Parameters." *Separation and Purification Technology* 208:116–22.

Ozturk, Dilara, and Alper Erdem Yilmaz. 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.

Özyurt, Baran, and Şule Camcıoğlu. 2018. "Applications of Combined Electrocoagulation and Electrooxidation Treatment to Industrial Wastewaters." Pp. 71–89 in *Wastewater and water quality*.

Phoon, Bao Lee, Chong Cheen Ong, Mohamed Shuaib Mohamed Saheed, Pau-Loke Show, Jo-Shu Chang, Tau Chuan Ling, Su Shiung Lam, and Joon Ching Juan. 2020. "Conventional and Emerging Technologies for Removal of Antibiotics from Wastewater." *Journal of Hazardous Materials* 400:122961.

Rivera, Fernando F., Tzayam Pérez, Locksley F. Castañeda, and José L. Nava. 2021. "Mathematical Modeling and Simulation of Electrochemical Reactors: A Critical Review." *Chemical Engineering Science* 239:116622.

da Silva, Salatiel W., Emma M. O. Navarro, Marco A. S. Rodrigues, Andréa M. Bernardes, and Valentin Pérez-Herranz. 2019. "Using P-Si/BDD Anode for the



- Electrochemical Oxidation of Norfloxacin.” *Journal of Electroanalytical Chemistry* 832:112–20.
- Song, Peipei, Chengye Sun, Jun Wang, Shiyun Ai, Shujun Dong, Jie Sun, and Shuai Sun. 2022. “Efficient Removal of Cu-EDTA Complexes from Wastewater by Combined Electrooxidation and Electrocoagulation Process: Performance and Mechanism Study.” *Chemosphere* 287:131971.
- Sun, Shengdan, Chuanping Feng, Shuang Tong, Yan Zhao, Nan Chen, and Ming Zhu. 2021. “Evaluation of Advanced Phosphorus Removal from Slaughterhouse Wastewater Using Industrial Waste-Based Adsorbents.” *Water Science and Technology* 83(6):1407–17.
- Terán Hilares, Ruly, Diego F. Atoche-Garay, Daniel A. Pinto Pagaza, Muhammad Ajaz Ahmed, Gilberto J. Colina Andrade, and Júlio César Santos. 2021. “Promising Physicochemical Technologies for Poultry Slaughterhouse Wastewater Treatment: A Critical Review.” *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(2):105174.
- Tong, Shuang, Shaoxiang Zhang, Yan Zhao, Chuanping Feng, Weiwu Hu, and Nan Chen. 2022. “Hybrid Zeolite-Based Ion-Exchange and Sulfur Oxidizing Denitrification for Advanced Slaughterhouse Wastewater Treatment.” *Journal of Environmental Sciences* 113:219–30.
- Yu, Fangke, Yang Chen, Yuwei Pan, Yang Yang, and Hongrui Ma. 2020. “A Cost-Effective Production of Hydrogen Peroxide via Improved Mass Transfer of Oxygen for Electro-Fenton Process Using the Vertical Flow Reactor.” *Separation and Purification Technology* 241:116695.