

Ti/IrO₂/RuO₂ Anot Kullanılarak Organik İçerikli Gerçek Atıksulardan Renk Giderilmesinde pH ve Akım Yoğunluğunun Etkisi

Sermin GÜNANSLAN^{1*}, Baybars Ali FİL²

¹Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

²Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı / Mühendislik Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye

*(gunaslansermin@gmail.com)

Özet – Bu çalışmada organik içeriğe sahip gerçek atıksulardan elektrooksidasyon prosesi ile renk giderimi üzerine pH ve akım yoğunluğunun etkisi ve enerji tüketimleri incelenmiştir. Katot malzemesi olarak elek tipi kaplanmamış titanyum, anot malzemesi olarak Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılmıştır. Elektrotlar 70 mm x 100 mm x 2 mm boyutlarında ve elektrotlar arası mesafe 5 mm'dir. 3 saatlik reaksiyon süresinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. pH etkisini incelemek için 3.0, 7.0 (doğal pH), 9.0 ve 11.0 pH değerlerinde çalışmalar yapılmıştır. Akım yoğunluğu çalışmaları 4,06 mA/cm², 6,09 mA/cm², 8,12 mA/cm², 10,15 mA/cm², 12,18 mA/cm² akım yoğunluklarında gerçekleştirilmiştir. Akım ve pH değerlerinde yapılan çalışmalarda her iki parametre için de %98 üzerinde renk giderim verimleri elde edildiği görülmüştür. Elektrokimyasal proseslerde önemli faktörlerden biri de sistemin elektrik tüketimidir. Çalışılan pH ve akım yoğunlukları için enerji tüketimleri hesaplanmış ve akım yoğunluğu arttıkça enerji tüketiminin arttığı, ayrıca pH deneyleri için atıksuyun doğal pH değerinde en yüksek tüketim olduğu görülmüştür. Verilen akım yoğunluğu değerleri için enerji tüketimleri sırasıyla 183.6 kW-saat.m⁻³, 310.9 kW-saat.m⁻³, 529.1 kW-saat.m⁻³, 763.6 kW-saat.m⁻³, 940.9 kW-saat.m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Çalışmalarda kullanılan Ti/IrO₂/RuO₂ anotun elektrooksidasyonda oldukça verimli olduğu ve atıksulardan renk giderimi konusunda elektrooksidasyonun öncelikli tercih edilebilir bir yöntem olduğu görülmüştür.

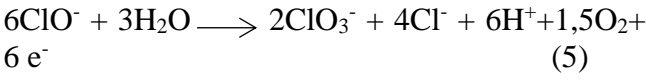
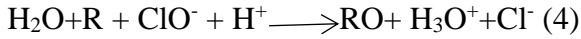
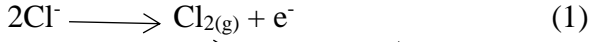
Anahtar Kelimeler – Elektrooksidasyon, Atıksu Arıtımı, Renk Giderimi, Ti/IrO₂/RuO₂, pH, Akım Yoğunluğu

I. GİRİŞ

ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA)'nın belirttiği gibi mezbaha atıksuları en tehlikeli atıksulardan biri olarak kabul edilmektedir[1]. Arıtılmamış mezbaha atıksularının deşarj edilmesi çevre ve halk sağlığı konusunda ciddi tehdit oluşturmaktadır [2]. Mezbaha atıksuları arıtılması zor olan organik yan ürünlerden ve yüksek protein ve yağ içeriğine sahiptir. Bu atıksuların karakteristikleri gereği inatçı olarak tabir edilmesinin temel organik kaynak sebebi kan ve bağırsak kalıntılarında kaynaklanan atıklardır [3, 4]. Ayrıca mezbaha tesisleri karkas kanı yıkamak, ekipmanların strelizasyonu ve temizlik işlemleri sırasında günlük büyük hacimlerde tatlı su tüketimi olan tesislerdir [5]. Atıksulardaki kirleticileri uzaklaştırmak için biyolojik, fizikokimyasal ve ileri

oksidasyon prosesleri gibi çeşitli arıtım yöntemleri vardır [6]. Son 20 yılda elektrokoagülasyon, elektrooksidasyon, elektrokoagülasyon,- elektrooksidasyon hibrit sistemler gibi elektrokimyasal arıtım yöntemleri verimli olmaları sebebiyle oldukça ilgi görmeye başlamıştır [7].

Elektrooksidasyon prosesi kirleticilerin doğrudan elektrot yüzeyinde oksitlendiği ya da çözeltide oksidanlar üretilerek dolaylı oksidasyon yoluyla iki şekilde gerçekleştirilmektedir [8]. Anodik oksidasyon işleminin performansı anot türüne bağlıdır [9]. Dolaylı oksidasyon sürecinde, hipoklorit/klor, ozon ve hidrojen peroksit gibi güçlü oksitleyiciler elektrokimyasal olarak üretilir. Oksidanlar yerinde üretilir ve kullanılır [10]. Dolaylı oksidasyon sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar aşağıda eşitlerde (eq. 1-5) gösterilmiştir [11].



Elektrokimyasal oksidasyon süreçleri organik maddelerin mineralizasyonu için temel olarak hidroksil radikallerini kullanmaktadır [12]. Atıksularda bulunan renk görüntü kirliliği ve çeşitli etkileri için giderilmesi gereken parametrelerden biridir.

Elektrokimyasal oksidasyon, kirleticileri gidermek veya atıksuyu biyolojik aşamalara hazırlamak ve biyolojik olarak parçalanabilir yan ürünlere dönüştürmek için sürdürülebilir bir yöntemdir [13, 14, 15, 16]. Atık sular için istenmeyen ve giderilmesi gereken parametrelerden biri olan elektrokimyasal yöntemlerle renk giderimi için de sıklıkla kullanılmakta ve pek çok yapılmış çalışma mevcuttur [12, 17, 18, 19, 20].

Bu çalışmada mezbaha tesislerinden kaynaklanan atıksuların elektrooksidasyon yöntemiyle arıtımında Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılarak renk giderimi ve elektrik tüketimi incelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan atıksu Marmara bölgesinde yerel bir işletmeden temin edilmiştir. Bahsedilen tesiste günlük minimum 300 küçükbaş ve 100 büyükbaş hayvan kesimi yapıldığı tahmin edilmektedir. Atıksu, arıtma sisteminin giriş ızgara yapısının çıkışından alınmıştır. Atıksuya ait karakteristik özellikler aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

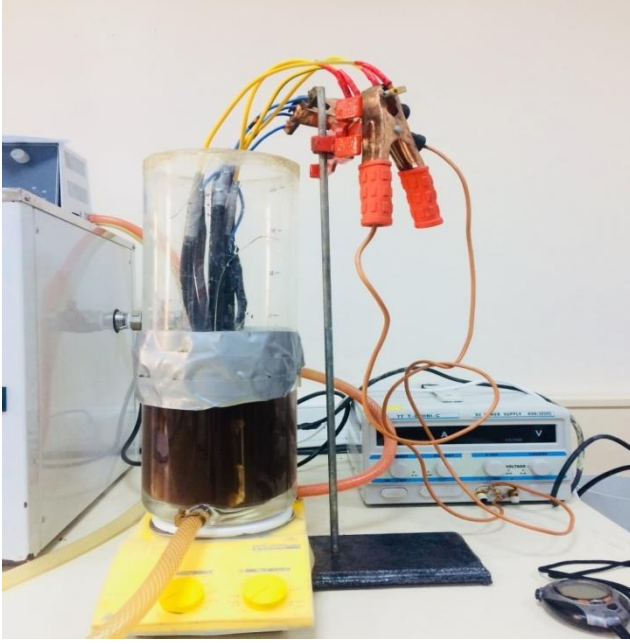
A. Atıksu Karakteristiği ve deney sisteminin kuruluşu

Mezbaha atıksuları yüksek renk ve yağ muhtevasına sahip atıksulardır. Mezbaha atıksularına ait genel karakteristik tablosu aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mezbaha atıksularının genel özellikleri [21]

Parametre	Aralık	Ortalama
TOK (mg/L)	70–1200	546
BOİ ₅ (mg/L)	150–4635	1209
KOİ (mg/L)	500–15.900	4221
TN (mg/L)	50–841	427
TSS (mg/L)	270–6400	1164
pH	4.90–8.10	6.95
TP (mg/L)	25–200	50
Orto-PO ₄ (mg/L)	20–100	25
Orto-P ₂ O ₅ (mg/L)	10–80	20
K (mg/L)	0,01–100	90
Renk (mg/L Pt ölçüğü)	175–400	290
Bulanıklık	200–300	275

Laboratuvar çalışmalarında 2000 mL'lik 15 cm derinlikte ceketli bir cam reaktör kullanılmıştır. 1.2 L atıksu ile çalışılmış ve toplam yüzey alanı yaklaşık 2464 cm² olan 4 anot ve 4 katot kullanılmıştır. Gerekli elektrik akımını sağlamak için DC-Power Supply marka KXN-3050D model güç kaynağı kullanılmıştır. Bu güç kaynağı ile sisteme elektrik verilmiş ve manyetik karıştırıcı yardımıyla atıksuda homojen bir karışım oluşturmak amacıyla deney süresince karıştırılmıştır. Thermo Orion 5 star marka cihaz ile deneyin başlangıç anından itibaren belli aralıklarla atıksuyun pH, iletkenlik ve sıcaklığı ölçülmüştür. Lovibond Multi Direct marka fotometre ile renk ölçümleri 430 nm dalga boyunda yapılmıştır. Katot malzemesi olarak elek tipi kaplanmamış titanyum, anot malzemesi olarak Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılmıştır. Elektrotlar 70 mm x 100 mm x 2 mm boyutlarında ve elektrotlar arası mesafe 5 mm'dir. 3 saatlik reaksiyon süresinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi aşağıda Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Elektrooksidasyon deney seti

Anot	Kirletici	Akım yoğunluğu (A/m ²)	Verim %	Yorum	Ref.
Pt ve Ti/Pt	Fenol	300	%30 TOK	pH 12, başlangıç konsantrasyonu 1000 mg/L, 0,25 M Na ₂ SO ₄	[22]
Ti/SnO ₂ -Sb ₂ O ₅	2-klorofenol	80-160	80-95 KOİ	Ara ürünler olarak oksalik asit	[23]
granül grafit	Fenol	0,03-0,32	70,50 mineral izasyon	5 aylık kararlı çalışma	[24]
	Amonyak	8.5	95	pH 8.2	[25]

Yukarıdaki tabloda da gösterildiği gibi elektrooksidasyon prosesinin uygulandığı çeşitli atıksu ve farklı anot malzemeleri ile yüksek verimler elde edildiği görülmüştür.

Tablo 2. Kullanılan organik içerikli gerçek atıksuya ait karakteristik özellikler

PARAMETRE	ORTALAMA DEĞER
Toplam KOİ	3099,82
Çözünmüş KOİ	2726,96
ÇKOİ/TKOİ	0,87
BOİ	2173,00
Askıda Katı Madde	158,91
Toplam Katı Madde	2688,30
Toplam Azot	213,67
Amonyum Azotu	50,96
Nitrat Azotu	13,36
Toplam Fosfor	33
Yağ-Gress	124,7
pH	6,3
İletkenlik	4,3

Giderim veriminin hesaplanmasında kullanılan formül;

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

Bu denklemde, C₀ başlangıç anında atıksuda bulunan kirletici miktarı (mg/L), C_e = t anında atıksuda bulunan kirletici miktarı (mg/L) olarak gösterilmektedir.

Enerji sarfiyatı

$$W \left(\frac{kWsaat}{m^3} \right) = \frac{V \times I \times t}{v} \quad (2)$$

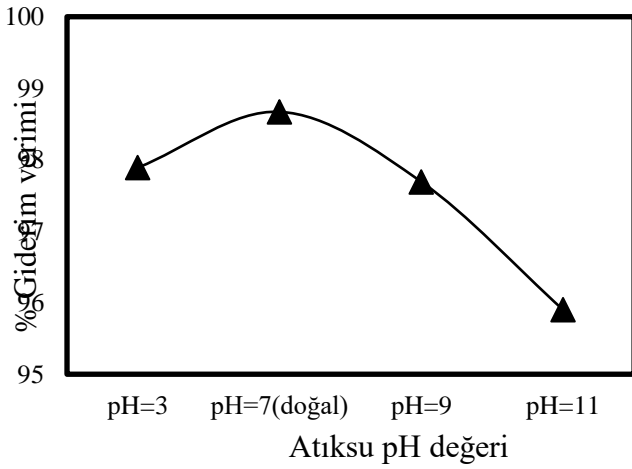
Bu denklemde, W ifadesi enerji sarfiyatı (kW-saat/m³), I akım şiddeti (A), V: Volt, t: zaman (dakika) ve v: toplamçözelti hacmi (m³) olarak gösterilmektedir.

III. BULGULAR

3.1. Renk giderimi üzerine pH etkisi

Mezbaha atıksularından renk giderimi için yapılan çalışmalarda pH parametresinin etkisinin

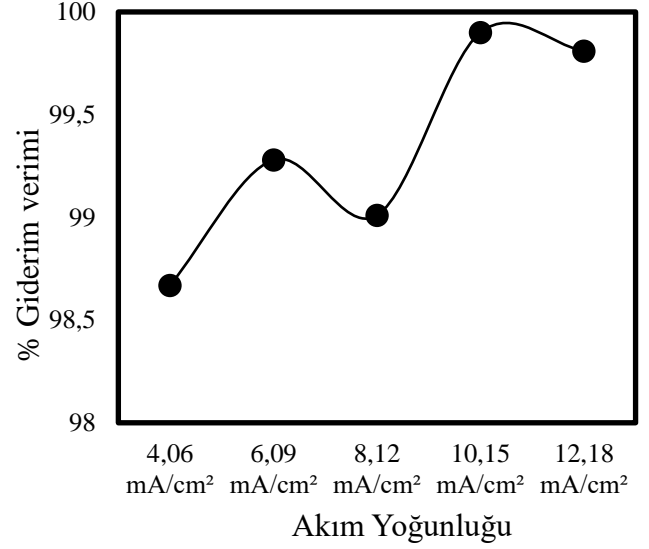
incelemek amacıyla pH 3.0, 7.0, 9.0, 11.0 değerlerinde 0.2 M NaCl destek elektroliti kullanılarak, 400 rpm karıştırma hızında, 4.06 mA/cm² akım yoğunluğunda denemeler yapılmıştır. Elde edilen verimler yukarıdaki pH değerleri için sırasıyla 97.89, 98.67, 97.69 ve 95.90 olarak elde edilmiştir. Sonuçlarda tüm verimlerin birbirlerine yakın ve oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ancak çok asidik ya da çok bazik koşullarda verimin nispeten düşme eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu yüzden en uygun pH değerinin atıksuyun doğal pH'ı olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer sonuçlar başka çalışmalarda da görülmektedir [12].



Şekil 2. Renk giderimi üzerine pH etkisi (400 rpm, 0.2 M NaCl, 4.06 mA/cm²)

3.2. Renk giderimi üzerine akım yoğunluğu etkisi

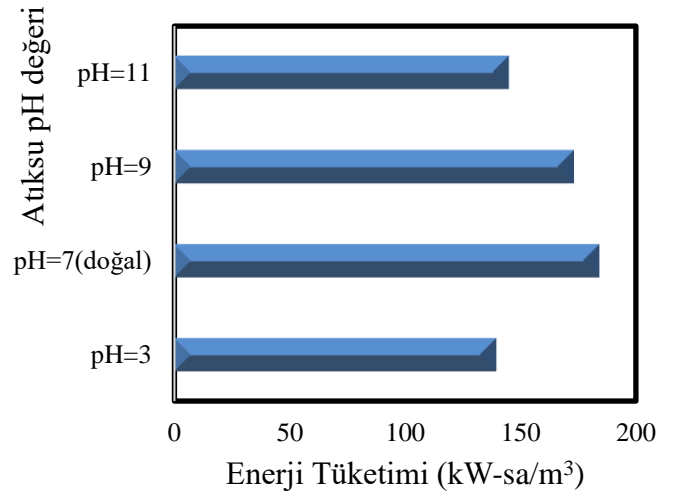
Akım yoğunluğu en önemli parametrelerden biridir [26, 27]. Elektrotun birim alan başına akım miktarı oksidasyon sürecinde en çok atıfta bulunan terimdir, çünkü reaksiyon hızını kontrol etmektedir [28]. Akım yoğunluğunun artması oksitleyici radikallerin artışına sebep olmaktadır. Bu nedenle daha yüksek akım yoğunluklarında daha yüksek verim elde edilir [29]. Çalışmada 4,06 mA/cm², 6,09 mA/cm², 8,12 mA/cm², 10,15 mA/cm², 12,18 mA/cm² akım yoğunluklarında, 0.2 M NaCl destek elektroliti ve 400 rpm karıştırma hızında denemeler yapılmıştır. Mezbaaha atıksularından renk gideriminde akım yoğunlukları için %99 üzerinde verimler elde edilmiştir.



Şekil 3. Renk giderimi üzerine akım yoğunluğu etkisi (4.06 mA/cm², 400 rpm, 0.2 M NaCl)

3.2. Elektrik tüketimi üzerine pH etkisi

Elektrokimyasal çalışmalarda önemli parametrelerden birisi de enerji tüketimidir. pH çalışmalarında sistemin enerji tüketimi de incelenmiş ve pH 3.0, 7.0, 9.0 ve 11.0 değerleri için sırasıyla 139.1 kW-saat.m⁻³, 183.6 kW-saat.m⁻³, 172.7 kW-saat.m⁻³, 144.5 kW-saat.m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Atıksuyun doğal pH değerinde su ortamına iletkenliği arttıracak herhangi bir kimyasal ekleme olmadığından en yüksek enerji tüketimi elde edilmiştir.

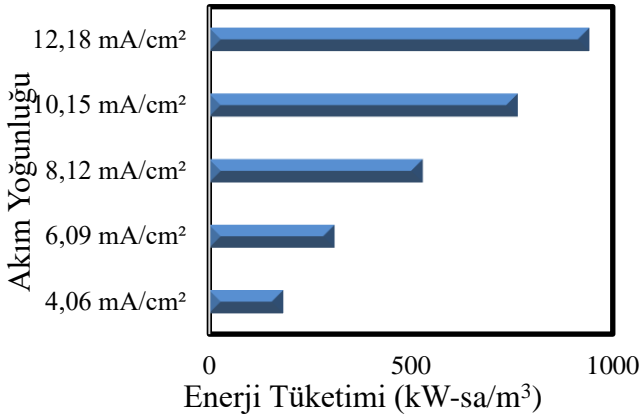


Şekil 4. Elektrik tüketimi üzerine pH etkisi (4.06 mA/cm², 400 rpm, 0.2 M NaCl)

3.3. Elektrik tüketimine akım yoğunluğu etkisi

Akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda 4,06

mA/cm², 6,09 mA/cm², 8,12 mA/cm², 10,15 mA/cm², 12,18 mA/cm² akım yoğunluklarında elde edilen sonuçlar sırasıyla 183.6 kW-saat.m⁻³, 310.9 kW-saat.m⁻³, 529.1 kW-saat.m⁻³, 763.6 kW-saat.m⁻³, 940.9 kW-saat.m⁻³ olarak bulunmuştur. Akım yoğunluğu arttıkça elektrik tüketiminin de arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Elektrik tüketimine akım yoğunluğu etkisi (400 rpm, 0.2 M NaCl)

IV. TARTIŞMA

Elektrokimyasal çalışmalar son yıllarda kullanımı oldukça artmakla birlikte yüksek verimliliğe sahip oldukları görülmüştür. Çeşitli atıksular için uygulanan ve diğer arıtım yöntemlerine kıyasla işletilmesinin kolay olması ve proses sonrası çamur miktarı oluşumunun az olması gibi avantajlara sahip olmasıyla tercih edilirliliği artan arıtım yöntemlerinden olmuştur. Çalışmanın farklı parametre ve farklı tip anot malzemeleri kullanılarak etkinlikleri araştırılabilir. Renk gideriminde verimli olmakla birlikte sistemin elektrik tüketimi konusu da önemlidir. Çünkü maliyetle ilişkili parametrelerden birisidir. Yüksek verimle birlikte en uygun maliyet sağlanmaya çalışarak optimum şartlarda çalışmalar yapılması tavsiye edilmektedir.

V. SONUÇLAR

Çalışmada yüksek organik kirlilik ve renge sahip olan mezbaha atıksularından renk giderimi ve sistemin enerji tüketiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Renk giderimine etki eden parametreler için pH ve akım yoğunluğu etkisi incelenmiştir. Tüm deneylerde destek elektrolit olarak NaCl kullanılmıştır ve 400 rpm karıştırma hızında çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlarda renk giderimi üzerinde farklı pH ve akım değerleri

için %98 üzerinde verimler elde edilmiştir. Elektrokimyasal çalışmalarda yüksek verimin yanısıra maliyetin de düşürülmesi önemlidir. Bu yüzden deneysel çalışmalarda optimum işletme koşulları belirlenmelidir. Bu çalışma için 0.2 M NaCl, 400 rpm karıştırma hızı ve 4.06 mA/cm² için elektrik tüketimi 183.6 kW-saat.m⁻³ olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalar sonucu

- Elektrokimyasal prosesinin renk gideriminde oldukça verimli olduğu
- Çalışmalarda kullanılan Ti/IrO₂/RuO₂ anotun elektrokimyasal süreçte etkili giderim sağladığı
- Verimlerin birbirine yakın olması sebebiyle enerji tüketimi en az olan şartlar seçilmiştir. Atıksuyun doğal pH değerinin en yüksek giderim elde edilen şartlar olduğu
- Akım yoğunluğu arttıkça elektrik tüketiminin de arttığı
- pH elektrokimyasal süreçler için önemli bir parametre olmasına rağmen tüm pH değerlerinde yüksek verimler elde edildiği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği Balıkesir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Atıksu Arıtma Laboratuvarına teşekkürler.

KAYNAKLAR

- [1] C. F. Bustillo-Lecompte, M. Mehrvar and E. Quiñones-Bolaños, "Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes," *Journal of Environmental Management*, vol. 134, pp. 145-152, 2014.
- [2] M. Barrera, M. Mehrvar, K. A. Gilbride, L. H. McCarthy, A. E. Laursen, V. Bostan and R. Pushchak, "Photolytic treatment of organic constituents and bacterial pathogens in secondary effluent of synthetic slaughterhouse wastewater," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 90, pp. 1335-1350, 2012.
- [3] K. Jayathilakan, K. Sultana, K. Radhakrishna and A. Bawa, "Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review," *Journal of food science and technology*, vol. 49, pp. 278-293, 2012.
- [4] M. A. Musa and S. Idrus, "Physical and Biological Treatment Technologies of Slaughterhouse Wastewater: A Review," *Sustainability*, vol. 13, pp. 4656, 2021.
- [5] L. K. Wang, Y.-T. Hung, H. H. Lo and C. Yapijakis, *Waste treatment in the food processing industry*. CRC press: 2005.
- [6] T. A. Kurniawan, W.-h. Lo and G. Y. Chan, "Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants

- from landfill leachate,"*Journal of hazardous materials*, vol. 129, pp. 80-100, 2006.
- [7] O. Can, "COD removal from fruit-juice production wastewater by electrooxidation electrocoagulation and electro-Fenton processes,"*Desalination and Water Treatment*, vol. 52, pp. 65-73, 2014.
- [8] B. Özyurt and Ş. Camcıoğlu, "Applications of combined electrocoagulation and electrooxidation treatment to industrial wastewaters,"*Wastewater and water quality*, vol. 56, pp. 71-89, 2018.
- [9] G. Chen, "Electrochemical technologies in wastewater treatment,"*Separation and Purification Technology*, vol. 38, pp. 11-41, 2004.
- [10] D. Rajkumar and K. Palanivelu, "Electrochemical treatment of industrial wastewater,"*Journal of hazardous materials*, vol. 113, pp. 123-129, 2004.
- [11] Y. G. Asfaha, A. K. Tekile and F. Zewge, "Hybrid process of electrocoagulation and electrooxidation system for wastewater treatment: A review,"*Cleaner Engineering and Technology*, vol. 4, pp. 100261, 2021.
- [12] S. El Aggadi, Z. El Abbassi and A. El Hourch, "Color removal from dye-containing aqueous solutions by electrooxidation,"*Desalination and Water Treatment*, vol. 215, pp. 232-236, 2021.
- [13] R. A. Torres, V. Sarria, W. Torres, P. Peringer and C. Pulgarin, "Electrochemical treatment of industrial wastewater containing 5-amino-6-methyl-2-benzimidazolone: toward an electrochemical-biological coupling,"*Water Research*, vol. 37, pp. 3118-3124, 2003.
- [14] E. Brillas, I. Sirés, C. Arias, P. L. Cabot, F. Centellas, R. M. Rodríguez and J. A. Garrido, "Mineralization of paracetamol in aqueous medium by anodic oxidation with a boron-doped diamond electrode,"*Chemosphere*, vol. 58, pp. 399-406, 2005.
- [15] E. Brillas, J. C. Calpe and J. Casado, "Mineralization of 2, 4-D by advanced electrochemical oxidation processes,"*Water Research*, vol. 34, pp. 2253-2262, 2000.
- [16] A. Kapałka, G. Fóti and C. Comninellis, "Kinetic modelling of the electrochemical mineralization of organic pollutants for wastewater treatment,"*Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 38, pp. 7-16, 2008.
- [17] S. Veli, A. Arslan, M. Isgoren, D. Bingol and D. Demiral, "Experimental design approach to COD and color removal of landfill leachate by the electrooxidation process,"*Environmental Challenges*, vol. 5, pp. 100369, 2021.
- [18] H. Rubí-Juárez, C. Barrera-Díaz, I. Linares-Hernández, C. Fall and B. Bilyeu, "A combined electrocoagulation-electrooxidation process for carwash wastewater reclamation,"*Int J Electrochem Sci*, vol. 10, pp. 6754-6767, 2015.
- [19] R. Keyikoğlu. Boyar maddelerin molekül ağırlığının elektrooksidasyon ve elektrokoagülasyon proseslerinde renk giderme verimine etkisi. Bursa Teknik Üniversitesi, 2018.
- [20] S. Günaslan, D. Tosun and B. A. Fil, "Drimaren Orange Boyar Maddesinden Renk Gideriminde Destek Elektrolit Türü ve Konsantrasyonunun etkisi,"*Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol., pp. 38-42, 2023.
- [21] C. F. Bustillo-Lecompte and M. Mehrvar, "Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances,"*Journal of Environmental Management*, vol. 161, pp. 287-302, 2015.
- [22] A. Polcaro, S. Palmas, F. Renoldi and M. Mascia, "On the performance of Ti/SnO₂ and Ti/PbO₂ anodes in electrochemical degradation of 2-chlorophenol for wastewater treatment,"*Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 29, pp. 147-151, 1999.
- [23] F. Bonfatti, S. Ferro, F. Lavezzo, M. Malacarne, G. Lodi and A. De Battisti, "Electrochemical incineration of glucose as a model organic substrate. II. Role of active chlorine mediation,"*Journal of the Electrochemical Society*, vol. 147, pp. 592, 2000.
- [24] Y. M. Awad and N. S. Abuzaid, "Electrochemical treatment of phenolic wastewater: efficiency, design considerations and economic evaluation,"*Journal of Environmental Science & Health Part A*, vol. 32, pp. 1393-1414, 1997.
- [25] L. Marinčić and F. Leitz, "Electro-oxidation of ammonia in waste water,"*Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 8, pp. 333-345, 1978.
- [26] E. Gengec, M. Kobya, E. Demirbas, A. Akyol and K. Oktor, "Optimization of baker's yeast wastewater using response surface methodology by electrocoagulation,"*Desalination*, vol. 286, pp. 200-209, 2012.
- [27] S. Kourdali, A. Badis and A. Boucherit, "Degradation of direct yellow 9 by electro-Fenton: Process study and optimization and, monitoring of treated water toxicity using catalase,"*Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 110, pp. 110-120, 2014.
- [28] G. Chen, J. Ye, H. Bao and P. Yang, "Determination of the rate constants and activation energy of acetaminophen hydrolysis by capillary electrophoresis,"*Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, vol. 29, pp. 843-850, 2002.
- [29] H. Jalife-Jacobo, R. Feria-Reyes, O. Serrano-Torres, S. Gutiérrez-Granados and J. M. Peralta-Hernández, "Diazo dye Congo Red degradation using a Boron-doped diamond anode: An experimental study on the effect of supporting electrolytes,"*Journal of hazardous materials*, vol. 319, pp. 78-83, 2016.