

Mezbaha Atıksularından Bulanıklık ve AKM Gideriminde Farklı Anotların Etkinliklerinin Değerlendirilmesi

Sermin GÜNASLAN^{*1}, Baybars Ali FİL²

¹Çevre Mühendisliği Bölümü/ Fen bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

²Çevre Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Balıkesir Üniversite, Türkiye

*(gunaslansermin@gmail.com)

Özet – Bu çalışmada yerel bir işletmeden temin edilen mezbaha atıksularının elektrooksidasyon prosesiyle arıtımında bulanıklık ve askıda katı madde gideriminde farklı tip anotların etkinliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Günlük minimum 300 küçükbaş ve 100 büyükbaş hayvan kesimi yapılan bir tesisin arıtma sisteminin giriş ızgara yapısının çıkışından alınmıştır. Katot malzemesi olarak elek tipi kaplanmamış titanyum, anot malzemesi olarak Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt elek tipi anotlar kullanılmıştır. Bulanıklık ve askıda katı madde (AKM) giderimleri için farklı destek elektrolit türleri ve konsantrasyonları, pH ve akım parametrelerinde incelemeler yapılmıştır. Çalışmalar sırasında destek elektrolit olarak NaCl, KCl, NaNO₃ ve Na₂SO₄ kullanılmıştır. 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 M konsantrasyonda, pH 3, 9, 11 ve atıksuyun doğal pH değerinde denemeler yapılmıştır. 4,06, 6,09, 8,12, 10,15, 12,18 mA/cm² olarak farklı akım yoğunluklarında çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarda Ti/Pt anotun bulanıklık askıda katı madde giderimlerinde nispeten daha etkili olduğu görülmüştür. Her iki anot çeşiti için de oldukça yüksek giderimler elde edilmiştir. Akım yoğunluğu denemelerinde tüm akım değerleri için %98 üzerinde verim elde edilmiştir. Ayrıca farklı Ph şartlarında yapılan çalışmalarda Ti/IrO₂/RuO₂ anot için atıksuyun doğal pH değerinde en etkili giderim sağlandığı görülmüştür. En etkili destek elektrolit her iki anot için NaCl olarak bulunmuştur. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde her iki anot tipi de oldukça etkili olmakla birlikte Ti/Pt anot nispeten daha verimli görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Mezbaha Atıksuyu, Elektrooksidasyon, Ti/Pt Anot, Ti/IrO₂/RuO₂ Anot, Bulanıklık

I. GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetlerdeki gelişmeler ve hızlı nüfus artışı günümüzde tüketim yönünde de artışa sebep olduğundan çevre ve alıcı ortamlardaki kirlilik miktarı da doğal olarak artmaktadır. Özellikle su kaynaklarında meydana gelen kirlilikler tüm canlı yaşamı ve ekosistem için ciddi sorunlara sebep olmaktadır. Canlı hayatının devamlılığı için vazgeçilmez olan bu su kaynaklarının korunması ve kullanımı konusunda dikkat edilmelidir. Mezbaha atıksuları da içerdikleri yağ, protein ve organik madde bakımından zengin içeriğe sahip atıksulardan biridir. Organik madde konsantrasyonu orta-yüksek olup, yaklaşık %45'i çözünmüş formda ve % 55'i süspansiyon formda bulunmaktadır [1, 2]. Mezbaha atıksuları ayrıca

diğerlerinin yanı sıra ağır metaller, renk ve bulanıklık içermektedir. Ayrıca, bu atıksularda dezenfektan, temizlik maddeleri ve veterinerlik amaçlı kullanılan farmasötiklerin bulunabileceğini unutulmamalıdır [3]. Et işleme endüstrisi, hayvanların kesilmesi ve mezbaha tesislerinin temizlenmesi nedeniyle büyük miktarlarda mezbaha atık suyu üretir. Ayrıca bu ednsütri, yiyecek ve içecek endüstrisi tarafından tüketilen toplam tatlı suyun %24'ünü ve dünya çapında tarım sektörü tarafından tüketilen suyun %29'unu kullanmaktadır [4] [5]. Mezbaha atıksuları, kesim sürecinden elde edilen karmaşık yağ, protein ve lif bileşimi nedeniyle dünya çapında zararlı kabul edilmektedir [6] [7] [8] [9]

Mezbaha atıksularının arıtımında kullanılan anaerobik arıtım [10], anaerobik-aerobik kombine prosesler [11], gelişmiş oksidasyon prosesleri [12], membran teknoloji sistemleri [13] gibi çok çeşitli arıtım yöntemleri uygulanmaktadır.

Son yıllarda, atık su arıtımı için elektrokimyasal arıtım teknolojilerine artan bir ilgi vardır [14] [15]. Bir elektrokimyasal sistem bir anot ve bir katottan oluşan en az iki elektrot ve elektrolitle desteklenen bir sistemden oluşmaktadır [16] [17].

Bu çalışmada da yerel bir endüstriden temin edilen mezbaha atıksuyunun elektrooksidasyon yöntemiyle arıtımında farklı anot tiplerinin atıksudan bulanıklık ve askıda katı madde giderimindeki etkinliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Atıksu Temini ve Karakteristiği

Yapılan denemelerde kullanılan atıksu günlük minimum 300 küçükbaş ve 100 büyükbaş hayvan kesimi yapılan bir tesisin arıtma sisteminin giriş ızgara yapısının çıkışından alınmıştır. Atıksuya ait karakteristik özellikleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan mezbaha atıksuyuna 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

Literatürden alınan mezbaha atıksularına ait genel karakteristik özellikler tablosu aşağıda verilmiştir (Tablo 2).

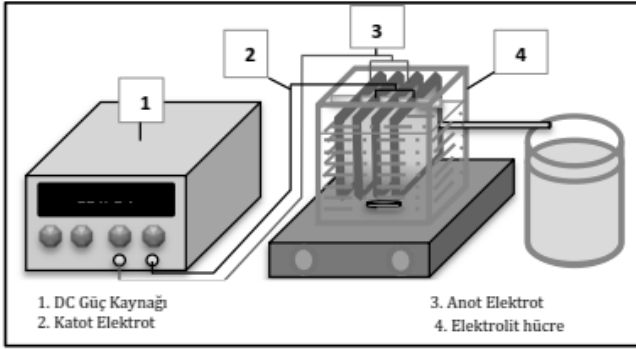
Tablo 2. Mezbaha atıksularının genel özellikleri [18]

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 ölçeği)	175–400	290
Bulanıklık (FAU ^a)	200–300	275

B. Elektrooksidasyon Çalışmalarının Yapıldığı Deney Düzenegi

Denemeler süresince 2000 mL'lik 15 cm derinlikte ceketli bir cam reaktör kullanılmıştır. Çalışmalarda 1.2 L atıksu ile çalışılmış ve kullanılan 4 anot ve 4 katotun toplam yüzey alanı yaklaşık 2464 cm²'dir. 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 atıksu deney süresince karıştırılmıştır. Thermo Orion 5 star marka cihaz ile deneyin başlangıç anından itibaren belli aralıklarla atıksuyun pH, iletkenlik ve sıcaklığı ölçülmüştür. Bulanıklık ölçümleri 530 nm ve AKM ölçümleri 660 nm dalga boylarında yapılmıştır. Katot malzemesi olarak elek tipi kaplanmamış titanyum, anot malzemesi olarak Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt elek tipi anotlar kullanılmıştır. Elektrotlar 70 mm x 100 mm x 2 mm

boyutlarında ve elektrotlar arası mesafe 5 mm'dir. Dene düzeneginin şematik gösterimi aşağıda Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Elektrooksidasyon deney seti

Giderim veriminin hesaplanmasında kullanılan formül;

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

Bu denklemde, C_0 başlangıç anında atıksuda bulunan kirletici miktarı (mg/L), $C_e = t$ anında atıksuda bulunan kirletici miktarı (mg/L) olarak gösterilmektedir.

Enerji sarfiyatı

$$W \left(\frac{kWsaat}{m^3} \right) = \frac{VxIxt}{v} \quad (2)$$

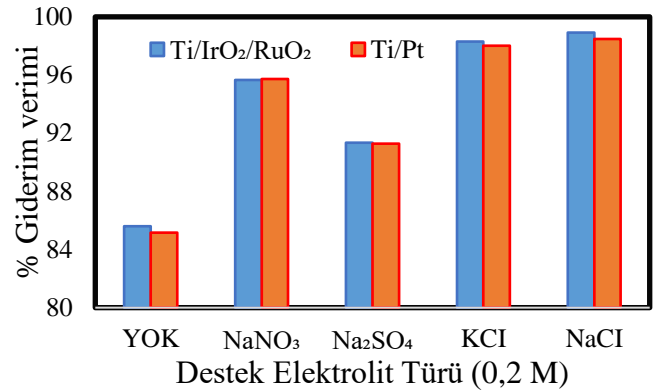
Bu denklemde, W ifadesi enerji sarfiyatı (kW-saat/ m^3), I akım şiddeti (A), V : Volt, t : zaman (dakika) ve v : toplamçözelti hacmi (m^3) olarak gösterilmektedir.

III. BULGULAR

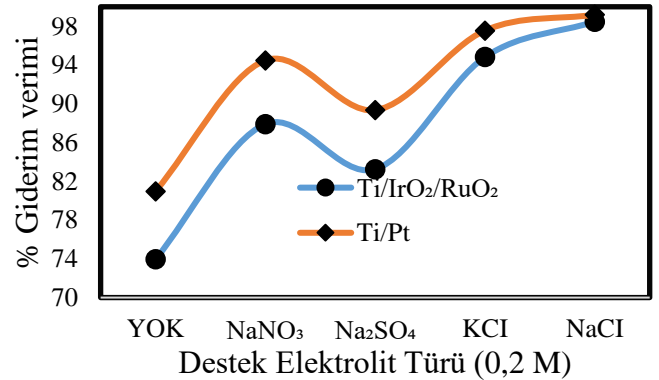
3.1. Bulanıklık ve AKM giderim üzerine destek elektrolit türünün etkisi

Destek elektrolit türü olarak NaCl, KCl, $NaNO_3$ ve Na_2SO_4 elektrolitleri kullanılmıştır. 0,2 M konsantrasyonda, atıksu doğal pH değerinde, 400 rpm karıştırma hızında ve 4,06 mA/cm² akım yoğunluğunda incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda bulanıklık giderim verimleri karışık kaplama anot (Ti/IrO₂/RuO₂) için yukarıda yazılan elektrolit türleri için sırasıyla sırasıyla %98,47, %94,81, %87,89, %83,25, %73,95 ve AKM verimleri ise sırasıyla %98,91, %98,30, %95,65, %91,35 ve %85,61 olarak bulunmuştur. Ti/Pt anot için aynı şartlarda bulanık giderim verimleri ise sırayla %99,18, %97,55, %89,34, %94,47 ve destek elektrolitsiz

%80,96 olarak bulunmuştur. AKM giderim verimleri ise sırasıyla %98,47, %98,01, %91,28, %95,72 ve destek elektrolitsiz için %85,15 olarak bulunmuştur. Denemelerde kullanılan tüm tuzların arıtma verimini önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca Chiang ve ark. tarafından sülfat, nitrat ve klorür arasında klorürün, dirençli organik kirleticilerin elektrokimyasal oksidasyonu için en iyi destekleyici elektrolit olduğu bildirilmiştir [19].



Şekil 2. AKM giderimine destek elektrolit türünün etkisi

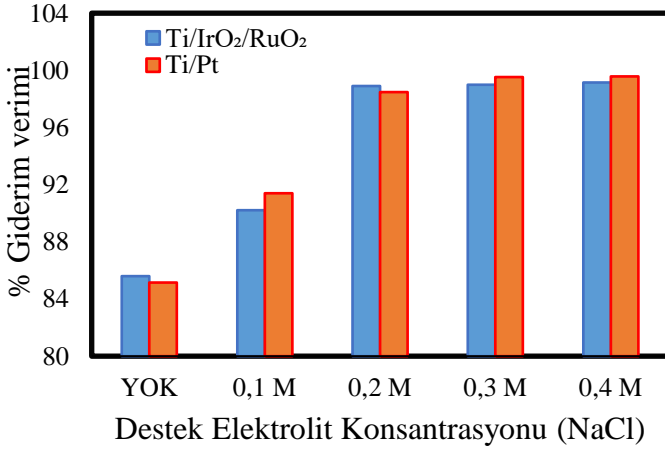


Şekil 3. Bulanıklık giderimi üzerine destek elektrolit türünün etkisi

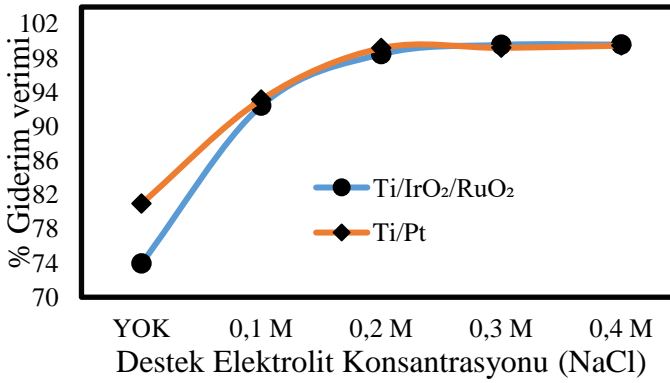
3.2. Bulanıklık ve AKM giderimi üzerine destek elektrolit konsantrasyonunun etkisi

Destek elektrolit konsantrasyonunun bulanık üzerine etkisini incelemek amacıyla doğal pH değeri, 400 rpm karıştırma hızı ve 4,06 mA/cm² akım yoğunluğu için destek elektrolitsiz, 0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 M konsantrasyon değerleri için incelenmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ anot için verilen konsantrasyonlarda sırasıyla bulanıklık giderim verimleri %73,95, %92,45, %98,47, %99,56 ve %99,60 olarak, AKM verimleri ise sırasıyla %85,61, %90,21, %98,91, %98,99 ve

%99.16 olarak bulunmuştur. Ti/Pt anot için bulanıklık giderim verimleri sırasıyla %80.96, %93.16, %99.18, %99.21 ve %99.47, AKM giderim verimleri ise sırasıyla %85.15, %91.40, %98.47, %99.52, %99.58 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan görüldüğü üzere her iki anot için de AKM ve bulanıklık verimleri oldukça yüksektir.



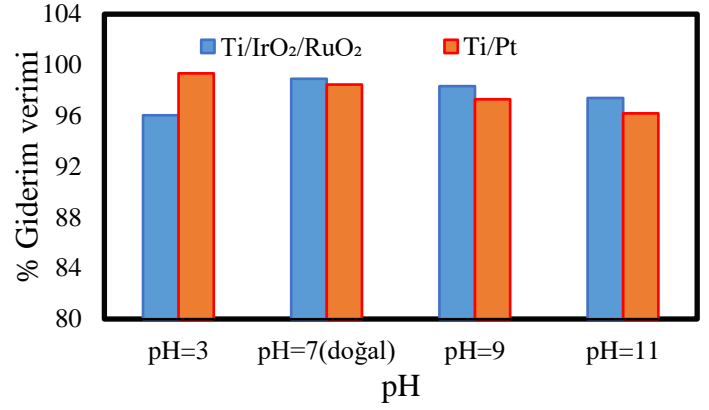
Şekil 4. AKM giderimi üzerine destek elektrolit konsantrasyonunun etkisi



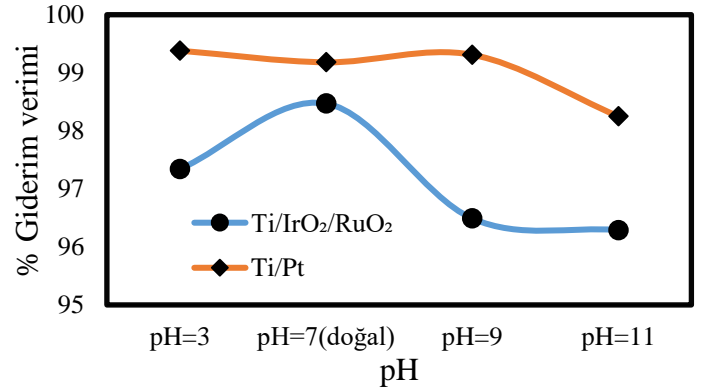
Şekil 5. Bulanıklık giderimi üzerine destek elektrolit konsantrasyonunun etkisi

3.3. Bulanıklık ve AKM giderimi üzerine pH etkisi

Çözelti pH'ı, elektrokimyasal olarak üretilen OH• radikallerinin miktarını doğrudan sınırlar ve bu nedenle; elektrooksidasyon arıtımı sırasında çözelti pH'ı arıtım etkinliğinde çok önemli bir role sahiptir [20]. Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemelerde en yüksek bulanıklık ve AKM gideriminin sırasıyla %98,47 ve %98,91 ile atıksuyun doğal pH değerinde elde edildiği görülmüştür. Ti/Pt anot için tüm pH değerleri birbirine çok yakın olmakla birlikte %99 seviyelerinde sonuçlar elde edilmiştir.



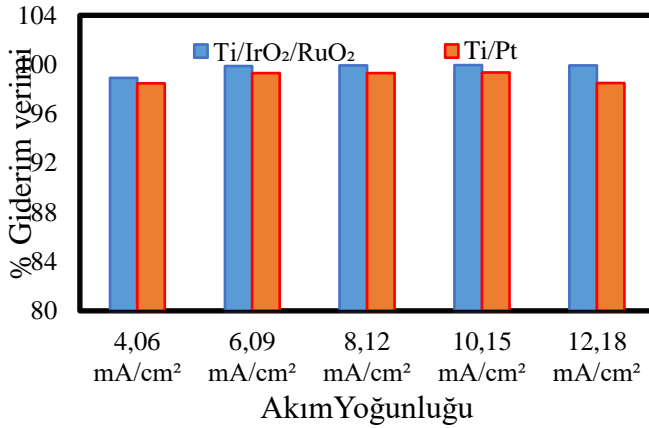
Şekil 6. AKM giderimi üzerine pH etkisi



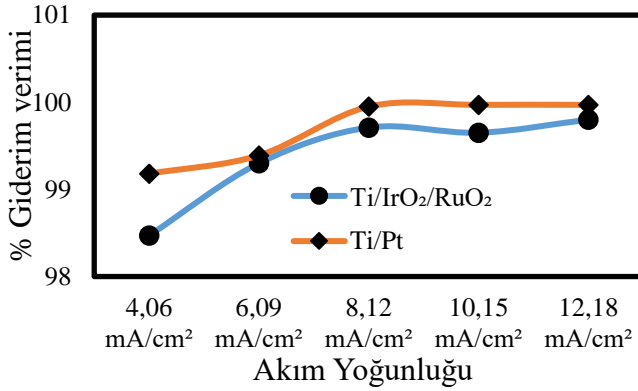
Şekil 7. Bulanıklık giderimi üzerine pH etkisi

3.4. Bulanıklık ve AKM giderimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi

Elektrooksidasyon süreci esas olarak akım yoğunluğuna bağlıdır. Elektrotların reaksiyonları ve performansları akım yoğunluğu tarafından kontrol edilir [21]. Akım yoğunluğu arttıkça proses verimi de buna bağlı olarak artmaktadır. Her iki anot için 4,06 mA/cm², 6,09 mA/cm², 8,12 mA/cm², 10,15 mA/cm², 12,18 mA/cm² akım yoğunluklarında yapılan çalışmalarda bulanıklık ve askıda katı madde giderimleri %98 üzerinde olduğu görülmüştür. Benzer sonuçlar diğer çalışmalarda da elde edilmiştir [21].



Şekil 8. Bulanıklık giderimi üzerine akımyoğunluğu etkisi



Şekil 9. AKM giderimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi

IV. TARTIŞMA

Yapılan çalışmalarda farklı anotlar kullanılarak mezhiba atıksularının elektrooksidasyon ile arıtımı incelenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlara ek olarak proses farklı parametreler ve anotlar kullanılarak daha detaylı araştırılabilir. Atıksular için önemli parametrelerden olan bulanıklık ve askıda katı maddelerin giderilmesi ve istenen deşarj kriterlerine uygun olarak alıcı ortamlara verilmesi gerekmektedir.

V. SONUÇLAR

Yapılan çalışmalarda mezhiba atıksulardan bulanıklık ve askıda katı madde gideriminde elektrooksidasyon prosesinin oldukça etkili olduğu görülmüştür. Her iki parametre için yüksek verim değerleri elde edilmiştir. İşletme şartlarında en uygun destekleyici elektrolit NaCl ve KCl diğer elektrolitlere göre daha etkili sonuçlar sunmuştur. Bunlara ek olarak optimum koşul kabul edilen şartlarda (4.06 mA/cm², 0.2 M NaCl, doğal pH) sistemin elektrik tüketimi Ti/IrO₂/RuO₂ anot için 183.6 kWsaat/m³ olurken Ti/Pt anot için 210.7 kWsaat/m³ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her iki

anotun da etkinlikleri yeterli olmakla birlikte Ti/Pt anot Ti/IrO₂/RuO₂ anota kıyasla nispeten daha yüksek verimlere ulaşmıştır. Daha düşük elektrik tüketimi açısından Ti/IrO₂/RuO₂ anot daha avantajlı görülebilir. Her iki anot türü de atıksulardan bulanıklık ve askıda katı madde gideriminde tavsiye edilebilir.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

- [1] N. T. Manjunath, I. Mehrotra and R. P. Mathur, "Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system," *Water Research*, vol. 34, pp. 1930-1936, 2000.
- [2] D. ÖZTÜRK, E. ALADAĞ, A. E. YILMAZ, R. BONCUKCUOĞLU and T. BAYRAM, "Mezhiba Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtılabilirliğinin Değerlendirilmesi," *Journal of the Institute of Science and Technology*, vol. 9, pp. 738-748, 2019.
- [3] W. Tritt and F. Schuchardt, "Materials flow and possibilities of treating liquid and solid wastes from slaughterhouses in Germany. A review," *Bioresource Technology*, vol. 41, pp. 235-245, 1992.
- [4] M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, "A global assessment of the water footprint of farm animal products," *Ecosystems*, vol. 15, pp. 401-415, 2012.
- [5] P. W. Gerbens-Leenes, M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, "The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems," *Water Resources and Industry*, vol. 1, pp. 25-36, 2013.
- [6] M. Johns, "Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: A review," *Bioresource technology*, vol. 54, pp. 203-216, 1995.
- [7] I. Ruiz, M. C. Veiga, P. De Santiago and R. Blazquez, "Treatment of slaughterhouse wastewater in a UASB reactor and an anaerobic filter," *Bioresource Technology*, vol. 60, pp. 251-258, 1997.
- [8] P. F. Wu and G. S. Mittal, "Characterization of provincially inspected slaughterhouse wastewater in Ontario, Canada," *Canadian Biosystem Engineering Journal*, vol. 54, pp., 2012.
- [9] 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.
- [10] A. D. Shende and G. R. Pophali, "Anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater: a review," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 35-55, 2021.
- [11] C. F. Bustillo-Lecompte, M. Mehrvar and E. Quiñones-Bolaños, "Combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic

- slaughterhouse wastewater," *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. 48, pp. 1122-1135, 2013.
- [12] Y. N. Kanafin, A. Makhatova, K. Meiramkulova and S. G. Pouloupoulos, "Treatment of a poultry slaughterhouse wastewater using advanced oxidation processes," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 47, pp. 102694, 2022.
- [13] F. Fatima, H. Du and R. R. Kommalapati, "Treatment of poultry slaughterhouse wastewater with membrane technologies: a review," *Water*, vol. 13, pp. 1905, 2021.
- [14] K. Meiramkulova, M. Userbayev, K. M. Aybakirova, K. Saiyabayev and S. Botakoz, "Electrochemical treatment of poultry industry wastewater," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 9, pp. 1249-1257, 2018.
- [15] S. Garcia-Segura, J. D. Ocon and M. N. Chong, "Electrochemical oxidation remediation of real wastewater effluents—A review," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 113, pp. 48-67, 2018.
- [16] K. Meiramkulova, M. Zhumagulov, G. Saspugayeva, Z. Jakupova and M. Mussimkhan, "Treatment of poultry slaughterhouse wastewater with combined system," *Potravinarstvo*, vol. 13, pp., 2019.
- [17] M. Bayramoglu, M. Kobya, M. Eyvaz and E. Senturk, "Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater," *Separation and Purification Technology*, vol. 51, pp. 404-408, 2006.
- [18] 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.
- [19] L.-C. Chiang, J.-E. Chang and S.-C. Tseng, "Electrochemical oxidation pretreatment of refractory organic pollutants," *Water Science and Technology*, vol. 36, pp. 123-130, 1997.
- [20] İ. Y. Köktaş and Ö. Gökkuş, "Removal of salicylic acid by electrochemical processes using stainless steel and platinum anodes," *Chemosphere*, vol. 293, pp. 133566, 2022.
- [21] P. Ojha, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava, R. Shrivastava and R. Shrivastava, "Electrochemical oxidation of textile effluents and further treatment by coupled system electrooxidation using *Prosopis cineraria*," *Indian Journal of Chemical Technology (IJCT)*, vol. 30, pp. 242-246, 2023.