

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**MEZBAHA ATIKSULARININ ELEKTROKİMYASAL**  
**YÖNTEMLERLE ARITIMININ İNCELENMESİ**

**SERMİN GÜNASLAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri:** **Doç. Dr. Baybars Ali FİL (Tez Danışmanı)**  
**Prof. Dr. Alper Erdem YILMAZ**  
**Dr. Öğr. Üyesi Atilla MUTLU**

**BALIKESİR, ŞUBAT - 2022**

## **ETİK BEYAN**

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Mezbaha Atıksularının Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtımının İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**SERMİN GÜNASLAN**

## ÖZET

**MEZBAHA ATIKSULARININ ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLERLE  
ARITIMININ İNCELENMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
SERMİN GÜNASLAN  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. BAYBARS ALİ FİL  
BALIKESİR, ŞUBAT - 2022**

Bu çalışmada mezbaha atıksularının elektrokimyasal arıtım yöntemlerinden biri olan elektrooksidasyon yöntemi ile arıtımı incelenmiştir. Yapılan tüm çalışmalarda anot materyali olarak Ti/Pt ve Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlar, katot elektrot materyali olarak ise elek tipi kaplanmamış titanyum kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar 3 saatlik reaksiyon süresinde ceketli cam reaktörde ve kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. 5 mm aralıklarla yerleştirilen 70x100x2 mm boyutlarındaki elek tipi elektrotların ıslak yüzey alanı yaklaşık 2464 cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. 4 anot ve 4 katot olmak üzere toplam 8 elektrot kullanılmıştır. Giderim verimine etki eden farklı parametre çeşitleri olarak destekleyici elektrolit türü ve konsantrasyonu, atıksu başlangıç pH'sı ve akım yoğunluğu çalışılmıştır. Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot için 0.2 M NaCl, atıksu doğal pH değeri ve akım yoğunluğu 4.06 mA/cm<sup>2</sup> olarak seçilen optimum koşullarda KOİ giderimi %66,46 ve elektrik sarfiyatı 183,6 kwsaat/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Ti/Pt anot ile yapılan çalışmalarda ise aynı koşullarda KOİ giderimi %80.05 elektrik tüketimi ise 210.7 kWsa/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Her iki anot için renk, bulanıklık ve askıda katı madde giderimi %95'in üzerinde bulunmuştur.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Elektrooksidasyon; atıksu arıtımı, Ti/Pt anot, Ti/IrO<sub>2</sub>RuO<sub>2</sub> anot, mezbaha atıksuyu

Bilim Kod: 90319

Sayfa Sayısı : 93

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE TREATMENT OF SLAUGHTERHOUSE WASTEWATERS BY ELECTROCHEMICAL METHODS

MSC THESIS  
SERMİN GÜNASLAN  
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR.BAYBARS ALİ FİL )  
BALIKESİR, FEBRUARY - 2022

In this study, the treatment of slaughterhouse wastewater by electrooxidation method, which is one of the electrochemical treatment methods, was investigated. In all studies, Ti/Pt and Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> electrodes were used as anode material, and sieve type uncoated titanium was used as cathode electrode material. Experimental studies were carried out in a jacketed glass reactor and batch system with a reaction time of 3 hours. The wet surface area of the 70x100x2 mm sieve type electrodes placed at 5 mm intervals was calculated as approximately 2464 cm<sup>2</sup>. A total of 8 electrodes, 4 anodes and 4 cathodes, were used. Supporting electrolyte type and concentration, wastewater initial pH and current density were studied as different parameter types affecting the removal efficiency. For the Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anode, the COD removal was calculated as 66.46% and the electricity consumption as 183.6 kWh/m<sup>3</sup> in the optimum conditions selected as 0.2 M NaCl, wastewater natural pH value, and current density 4.06 ma/cm<sup>2</sup>. In studies with Ti/Pt anode, the COD removal was 80.05% and the electricity consumption was 210.7 kWh/m<sup>3</sup> under the same conditions. The removal of color, turbidity, and suspended solids for both anodes was over 95%.

**KEYWORDS:** Electrooxidation; wastewater treatment, Ti/Pt anode, Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anode, slaughterhouse wastewater

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	<b>3</b>
2.1 Türkiye’de Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Yetiştiriciliği .....	3
2.2 Dünyada Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Varlığı.....	5
2.3 Mezbaha Tesis Düzeni .....	5
2.3.1. Kesme .....	6
2.3.2.Döş Açma .....	6
2.3.3. Karkas Ayırma Yıkama .....	6
2.3.4. Mezbahalardan Kaynaklanan Çevre Sorunları .....	6
2.3.5. Mezbaha ve Et İşleme Endüstrisi Atıksu Karakterizasyonu .....	8
2.3.6. Literatürde Çalışılan Mezbaha Atıksuyu Örnekleri .....	12
2.4 Elektrokimyasal Arıtım Yöntemleri ve Özellikleri.....	13
2.4.1. Elektrokimya .....	13
2.4.2. Faraday Yasası .....	14
2.4.3. Elektrokimyasal hücre potansiyeli.....	14
2.4.4. Elektrokimyasal Prosesler .....	15
2.4.5. Elektroliz .....	15
2.4.6. Elektrokoagülasyon Prosesi .....	17
2.4.7. Elektrokoagülasyon yönteminin avantajları .....	18
2.4.8. Elektrokoagülasyon yönteminin dezavantajları.....	19
2.4.9. Elektrokoagülasyon teorisi.....	20
2.4.10. Elektrolotasyon Prosesi .....	20
2.4.11. Elektro fenton Prosesi.....	21
2.4.12. Elektrolotasyon Prosesi .....	22
2.4.13. Elektrolotasyon Prosesi .....	22
2.4.14. Elektrolotasyona etki eden parametreler .....	26
2.4.15. Elektrolotasyon yönteminin avantajları .....	28
2.4.16. Elektrolotasyon yönteminin dezavantajları.....	28
2.4.17. Elektrolot Düzenlemeleri.....	28
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>30</b>
3.1 Atıksu Temini ve Karakteristiği.....	30
3.2 Elektrolotasyon Çalışmalarının Yapıldığı Deney Düzenegi .....	32
3.3 Deneysel koşullar ve çalışılan parametreler .....	35

3.4 Analiz Yöntemleri.....	35
3.4.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) analizi .....	36
Potasyum Hidrojen Fitalat: .....	36
3.5 Deneysel Sonuçların Hesaplanmasında Kullanılan Formüller .....	37
3.5.1. Arıtım veriminin hesaplanması .....	37
3.5.2. Enerji sarfiyatının hesaplanması.....	37
3.5.3. Akım yoğunluğunun hesaplanması .....	37
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>38</b>
4.1. Giderim Verimi Üzerine Destekleyici Elektrolit Türünün Etkisi .....	38
4.2. Giderim Verimi Üzerine Destekleyici Elektrolit Konstrasyonunun Etkisi.....	44
4.3. Giderim Verimi Üzerine Atıksu Başlangıç pH Değerinin Etkisi.....	49
4.4. Giderim Verimi Üzerine Uygulanan Akım Yoğunluğunun Etkisi .....	55
4.5. Enerji Tüketim Değerleri .....	61
4.5.1. Destekleyici Elektrolit Türünün Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi .....	61
4.5.2. Destekleyici Elektrolit Konsantrasyonunun Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi .....	63
4.5.3. Atıksu başlangıç pH Değerinin Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi.....	65
4.5.4. Akım Yoğunluğunun Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi .....	67
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>70</b>
5.1. Destekleyici Elektrolit Türünün Tüm Parametreler için Etkisi .....	70
5.2. Destekleyici Elektrolit Konsantrasyonunun Tüm Parametreler için Etkisi .....	72
5.3. Atıksu Başlangıç pH Değerinin Tüm Parametreler için Etkisi .....	74
5.4. Uygulanan Akım Yoğunluğunun Tüm Parametreler için Etkisi.....	76
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>93</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Mezbaaha atıksuyu kesim şeması.....	5
Şekil 2.2: Elektroliz hücresinde reaksiyon yönü.....	16
Şekil 2.3: Elektrooksidasyonda kirleticilerin doğrudan ve dolaylı parçalanması.....	23
Şekil 2.4: Kirleticilerin katot ve anot yüzeyinde parçalanması.....	23
Şekil 2.5: Organik bileşiklerin “aktif”(a,c,d,f) ve “inaktif”(a,b,e) anotlarda elektrokimyasal oksidasyon şeması .....	24
Şekil 2.6: Klorlu ortamda organik maddelerin anot yüzeyinde dolaylı parçalanması .....	25
Şekil 2.7: Seri bağlı monopolar elektrooksidasyon düzeneği .....	29
Şekil 2.8: Seri bağlı bipolar elektrooksidasyon düzeneği .....	29
Şekil 3.1: Denemelerde kullanılan anot katot düzeneği dizilimi .....	31
Şekil 3.2: Çalışmalarda kullanılan deney düzeneği .....	33
Şekil 3.3: 10,12 mA/cm <sup>2</sup> akımda deneyin ilk 10 dakikasında atıksuyun görüntüsü.....	34
Şekil 3.4: Deneyler sırasında alınan numunelerin renk değişimi.....	34
Şekil 3.5: KOİ Analizi için Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi.....	36
Şekil 4.1: Destekleyici elektrolit türünün KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.: 0,2 M NaCl) 38	
Şekil 4.2: Destekleyici elektrolit türünün bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> ,D.E.K.: 0,2 M NaCl) .....	39
Şekil 4.3: Destekleyici elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.: 0,2 M NaCl) 39	
Şekil 4.4: Destekleyici elektrolit türünün AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.: 0,2 M NaCl) 40	
Şekil 4.5: KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine destekleyici elektrolit türünün etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.: 0,2 M NaCl) .....	40
Şekil 4.6: Destekleyici elektrolit türünün KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> ,D.E.K.: 0,2 M).....	41
Şekil 4.7: Destekleyici elektrolit türünün bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> ,D.E.K.: 0,2 M) .....	42
Şekil 4.8: Destekleyici elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.: 0,2 M).....	42
Şekil 4.9: Destekleyici elektrolit türünün AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.: 0,2 M).....	43
Şekil 4.10: KOİ renk bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine destekleyici elektrolit türünün etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.: 0,2 M) .....	43
Şekil 4.11: Farklı NaCl konsantrasyonlarının KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T: NaCl)....	44
Şekil 4.12: Farklı NaCl konsantrasyonlarının renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.: NaCl)...	45
Şekil 4.13: Farklı NaCl konsantrasyonlarının bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.: NaCl) .....	45
Şekil 4.14: Farklı NaCl konsantrasyonlarının AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.: NaCl)...	46

<b>Şekil 4.15:</b> KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine farklı NaCl konsantrasyonlarının etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.: NaCl ) .....	46
<b>Şekil 4.16:</b> Farklı NaCl konsantrasyonlarının KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:NaCl) .....	47
<b>Şekil 4.17:</b> Farklı NaCl konsantrasyonlarının renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.: NaCl) .....	47
<b>Şekil 4.18:</b> Farklı NaCl konsantrasyonlarının bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.: NaCl) .....	48
<b>Şekil 4.19:</b> Farklı NaCl konsantrasyonlarının AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.: NaCl) .....	48
<b>Şekil 4.20:</b> KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine farklı NaCl konsantrasyonlarının etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.: NaCl) .....	49
<b>Şekil 4.21:</b> Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2M NaCl).....	50
<b>Şekil 4.22:</b> Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl) .....	50
<b>Şekil 4.23:</b> Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin bulanıklık giderimi üzerine etkisi.....	51
<b>Şekil 4.24:</b> Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	51
<b>Şekil 4.25:</b> KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	52
<b>Şekil 4.26:</b> Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	53
<b>Şekil 4.27:</b> Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	53
<b>Şekil 4.28:</b> Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin bulanıklık giderimi üzerine etkisi.....	54
<b>Şekil 4.29:</b> Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	54
<b>Şekil 4.30:</b> KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	55
<b>Şekil 4.31:</b> Uygulanan farklı akım yoğunluklarının KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl).....	56
<b>Şekil 4.32:</b> Uygulanan farklı akım yoğunluklarının renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl).....	56
<b>Şekil 4.33:</b> Uygulanan farklı akım yoğunluklarının bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl).....	57
<b>Şekil 4.34:</b> Uygulanan farklı akım yoğunluklarının AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl).....	57
<b>Şekil 4.35:</b> KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine uygulanan farklı akım yoğunluklarının etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl).....	58
<b>Şekil 4.36:</b> Uygulanan farklı akım yoğunluklarının KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	58
<b>Şekil 4.37:</b> Uygulanan farklı akım yoğunluklarının renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	59



<b>Şekil 4.38:</b> Uygulanan farklı akım yoğunluklarının bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:0,2 M NaCl).....	59
<b>Şekil 4.39:</b> Uygulanan farklı akım yoğunluklarının AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl).....	60
<b>Şekil 4.40:</b> KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine uygulanan farklı akım yoğunluklarının etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl).....	60
<b>Şekil 4.41:</b> Destekleyici elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.:0,2 M).....	62
<b>Şekil 4.42:</b> Destekleyici elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M ).....	62
<b>Şekil 4.43:</b> Farklı NaCl konsantrasyonlarının enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl).....	64
<b>Şekil 4.44:</b> Farklı NaCl konsantrasyonlarının enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl).....	64
<b>Şekil 4.45:</b> Atıksu başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl).....	66
<b>Şekil 4.46:</b> Atıksu başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl).....	66
<b>Şekil 4.47:</b> Farklı akım yoğunluklarının enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl).....	68
<b>Şekil 4.48:</b> Farklı akım yoğunluklarının enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2M NaCl).....	68
<b>Şekil 5.1:</b> KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine destekleyici elektrolit türünün etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl).....	71
<b>Şekil 5.2:</b> KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine destekleyici elektrolit türünün etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl).....	71
<b>Şekil 5.3:</b> KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine destekleyici elektrolit konsantrasyonunun etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl).....	73
<b>Şekil 5.4:</b> KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine destekleyici elektrolit konsantrasyonunun etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:NaCl).....	73
<b>Şekil 5.5:</b> KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine atıksu başlangıç pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl).....	75
<b>Şekil 5.6:</b> KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine atıksu başlangıç pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, D.E.K.:0,2 M NaCl).....	75
<b>Şekil 5.7:</b> KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine akım yoğunluğunun etkisi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7 K.H.: 400 rpm, D.E.K.:0,2 M NaCl).....	78
<b>Şekil 5.8:</b> KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine akım yoğunluğunun etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.:0,2 M NaCl).....	78
<b>Şekil 5.9:</b> Optimum olarak seçilen deney şartlarında hesaplanan giderim verimleri (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> , pH≈7 K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl, D.E.K.: 0,2 M NaCl).....	79
<b>Şekil 5.10:</b> Optimum olarak seçilen deney şartlarında hesaplanan giderim verimleri (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:NaCl, D.E.K.: 0,2 M NaCl).....	79
<b>Şekil 5.11:</b> Optimum olarak seçilen deney şartlarında hesaplanan enerji tüketimi (Anot türü: Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> ve Ti/Pt, pH≈7 K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl, D.E.K.: 0,2 M).....	80

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Türkiye’de yıllara göre toplam büyükbaş hayvan sayısı.....	3
<b>Tablo 2.2:</b> Türkiye’de yıllara göre toplam küçükbaş hayvan sayısı.....	4
<b>Tablo 2.3:</b> Türkiye’de kesilen hayvan sayısı (baş) .....	4
<b>Tablo 2.4:</b> Bazı araştırmacılara göre mezbaha atıksuyu karakteristiği.....	9
<b>Tablo 2.5:</b> Mezbaha atıksularının genel karakteristiği (Bustillo-Lecompte and Mehrvar, 2015).....	10
<b>Tablo 2.6:</b> Su Kalite ve Kontrol Yönetmeliğinin Alıcı Ortama Deşarj Standartları .....	10
<b>Tablo 2.7:</b> Et entegre tesislerinin üretim proseslerinden kaynaklanan atıksuların karakterizasyonu .....	11
<b>Tablo 2.7:</b> Farklı anotlara ait oksijen oluşum potansiyelleri .....	27
<b>Tablo 2.8:</b> Bazı Kimyasal Reaktanların Oluşum Potansiyelleri .....	27
<b>Tablo 3.1:</b> Atıksuda ölçülen parametreler ve değerleri .....	30
<b>Tablo 3.2:</b> Değişik mezbaha atıksularının kimyasal özellikleri.....	31
<b>Tablo 3.3:</b> Benzer atıksularda kullanılan elektrotlar ve giderim verimleri.....	33
<b>Tablo 3.4:</b> Giderimi etkileyen çalışma parametreleri (Ti/Pt anot).....	35
<b>Tablo 3.5:</b> Giderimi etkileyen çalışma parametreleri (Ti/IrO <sub>2</sub> /RuO <sub>2</sub> anot) .....	35
<b>Tablo 4.1:</b> Enerji tüketimi üzerine destekleyici elektrolit türü etkisi .....	63
<b>Tablo 4.2:</b> Enerji tüketimine destekleyici elektrolit konsantrasyonu etkisi.....	65
<b>Tablo 4.3:</b> Başlangıç pH değerinin enerji tüketimine etkisi .....	67
<b>Tablo 4.4:</b> Akım yoğunluğunun enerji tüketimine etkisi.....	69
<b>Tablo 5.1:</b> Destekleyici elektrolit türünün giderim verimi üzerine etkisi.....	70
<b>Tablo 5.2:</b> Destekleyici Elektrolit Konsantrasyonunun Tüm Parametreler Üzerine etkisi	72
<b>Tablo 5.3:</b> Atıksu Başlangıç pH Değerinin Tüm parametreler Üzerine Etkisi.....	74
<b>Tablo 5.4:</b> Uygulanan Akım Yoğunluğunun Tüm Parametreler Üzerine Etkisi .....	77

## SEMBOL LİSTESİ

<b>AKM</b>	: Askıda Katı Madde
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>DAF</b>	: Çözünmüş Hava Flotasyonu
<b>D.E.K.</b>	: Destek Elektrolit Konsantrasyonu
<b>D.E.T</b>	: Destek Elektrolit Türü
<b>E<sub>anot</sub></b>	: Anotta oluşan gerilim
<b>EF</b>	: Elektroflotasyon
<b>EK</b>	: Elektrokoagülasyon
<b>E<sub>katot</sub></b>	: Katotta oluşan gerilim
<b>EMK</b>	: Elektromotor kuvveti
<b>EO</b>	: Elektrooksidasyon
<b>F</b>	: Faraday sabiti
<b>g</b>	: Gram
<b>I</b>	: Akım Şiddeti (Amper)
<b>J</b>	: Akım Yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )
<b>K</b>	: Reaksiyon Hız Sabiti
<b>KCl</b>	: Potasyum Klorür,
<b>KH</b>	: Karıştırma Hızı
<b>KOİ</b>	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>L</b>	: Litre
<b>mA</b>	: Mili Amper
<b>M<sub>A</sub></b>	: Molekül Ağırlığı
<b>mg</b>	: Miligram
<b>NaCl</b>	: Sodyum Klorür,
<b>NaNO<sub>3</sub></b>	: Sodyum Nitrat,
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	: Sodyum sülfat
<b>NH<sub>3</sub>-N</b>	: Amonyum Azotu
<b>pH</b>	: Atıksuyun Başlangıç pH'sı
<b>rpm</b>	: Devir/dakika
<b>η</b>	: Arıtma Verimi

## **ÖNSÖZ**

Çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, destek ve deneyimleriyle yoluma ışık tutan, her konuda hoşgörüsünü ve sabrını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Baybars Ali FİL'e sonsuz saygılarımı ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım için su temini konusunda yardımcı olan hocam Arş. Gör. Dr. Süleyman UZUNER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çıktığım bu yolda beni her zaman destekleyen ve fedakârlıklarını esirgemedi maddi manevi her durumda sonsuz destekçim olan kıymetli ailem; babam Nurbahit GÜNASLAN, annem Sevinç GÜNASLAN ve ablam Yasemin NEMLİ'ye sonsuz teşekkürler.

**Bahkesir, 2022**

**Sermin Günaslan**

# 1. GİRİŞ

Günümüzde hızlı nüfus artışı ve beraberinde tüketimin artması ile suya olan ihtiyaç da artmakta ve kullanılmış bu sular çevrede çeşitli kirliliklere sebep olmaktadır. Bu kirlilikler doğrudan ya da dolaylı yollardan oluşan çeşitli faktörlerle meydana gelir. İnsan faaliyetleri de bunlardan biridir. İnsanlar doğaya farklı şekillerde müdahalede bulunabilirler. Bunun sonucunda da ekosistem ve canlı yaşamına zarar verebilen tehditler ortaya çıkmaktadır. Yeşil alanların tahribatı, endüstri ve insan kaynaklı hava kirliliği, su kaynaklarının kirlenmesi, bazı canlı türlerinin yok olması, iklim ve hava olaylarının değişmesi bunlardan bazılarıdır. Ekosistemin bozulması en başta gezegenimize zarar vermektedir. Sera gazları olarak adlandırılan karbonmonoksit (CO), karbondikoksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve ozon (O<sub>3</sub>) gibi gazlar atmosferimizin ısınmasına neden olarak iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Tüm dünyayı etkileyen iklim değişikliği en büyük etkiyi su kaynakları üzerinde göstermektedir. Dünya yüzeyinin dörtte üçünü oluşturan su yeryüzündeki tüm canlı yaşamı için en gerekli temel maddedir. Su kirliliği; suda zararlı kimyasal ve hastalık yapıcı bileşenlerin bulunmasıdır. Endüstriler tarafından yeterli miktarda arıtılmadan göl, deniz, akarsu, nehir gibi alıcı ortamlara bırakılan sular sudaki doğal dengeyi bozmakta ve istenmeyen sonuçlara sebep olabilmektedir. İşletmelerden kaynaklanan bu atıksuların yönetmelik tarafından belirlenen standartlara kadar arıtılarak alıcı ortamlara bırakılmaları gerekmektedir. Su kirliliğinde insan faaliyetleri büyük etkiye sahiptir. Su kaynaklarının kısıtlı ve değerli olması da mevcut suların arıtımını ve yeniden kullanımını gerekli hale getirmektedir. Ayrıca bu suların arıtılmadan deşarj edilmesi su ortamındaki çözülmüş oksijeni tüketerek suda yaşayan canlı yaşamı için de risk oluşturmaktadır. Sulardaki kirliliklerin kaynağı endüstrilerden gelen boyar maddeler, yüksek organik içerikli atık sular, tarımda pestisit ve çeşitli kimyasalların kullanımı sonucu ortaya çıkar. Bu maddelerin sudan uzaklaştırılması ve yeterli düzeyde arıtımın gerçekleştirilebilmesi için çeşitli arıtım yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntem atık suyun türüne ve karakteristiğine göre farklılık gösterebilmektedir. Bunlardan bazıları; biyolojik arıtım, membran arıtım sistemleri, kimyasal arıtımı kapsayan koagülasyon, flokülasyon, nötralizasyon, adsorpsiyon ve elektrokimyasal arıtım yöntemleridir. Farklı karakteristikteki atıksular için uygulanabilen elektrokimyasal yöntemler yüksek verim elde edilmesi ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle kullanımı artan proseslerden biridir. Elektrooksidasyon uygulamasında organik maddeler çözünmenin etkisiyle parçalanır ve su ortamından uzaklaştırılmış olur. Bu işlem sonucunda CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O gibi son ürünler ve diğer ara ürünler

oluşur. Dünyamız ve canlı hayatının devamlılığı için son derece önemli olan su kaynaklarının doğru kullanımı ve kullanılmış suların arıtımı sürdürülebilirlik için hayati önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışmada amaç organik kirlilik içeriği yüksek mezbaha atıksularının elektrokimyasal arıtım çeşitlerinden olan elektrooksidasyon ile arıtımının incelenmesi ve buna etki eden destek elektrolit türü, konsantrasyonu, akım yoğunluğu, başlangıç pH değeri, gibi parametrelerin etkilerinin belirlenmesidir. Çalışmada kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk, bulanıklık ve askıda katı madde (AKM) parametreleri incelenmiştir. Çalışmalarda Marmara Bölgesi'ne ait yerel bir işletmeden alınan atıksular kullanılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1 Türkiye’de Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Yetiştiriciliği

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konum ve yer şekillerinin çeşitliliği sebebiyle hayvancılık için uygun koşullara sahip durumdadır. Ülke ekonomisi açısından da hayvancılık önemli bir yere sahiptir. Su kullanımının çok olduğu mezbahalarda kesilen hayvan sayısı ve su tüketimi en önemli konulardan biridir. Aşağıdaki tablolarda Türkiye’de yıllara göre hayvan sayıları verilmiştir (Anonim, 2021a).

**Tablo 2.1:** Türkiye’de yıllara göre toplam büyükbaş hayvan sayısı

<b>YIL</b>	<b>SİĞİR</b>	<b>MANDA</b>
2002	9.803.498	121.077
2003	9.788.102	113.356
2004	10.069.346	103.900
2005	10.526.440	104.965
2006	10.871.364	100.516
2007	11.036.753	84.705
2008	10.859.942	86.297
2009	10.723.958	87.207
2010	11.369.800	84.726
2011	12.386.337	97.632
2012	13.914.912	107.435
2013	14.415.257	117.591
2014	14.223.109	122.114
2015	13.994.071	133.766
2016	14.080.155	142.073
2017	15.943.586	161.439
2018	17.042.506	178.397
2019 1.dönem	18.070.500	180.826

**Tablo 2.2:** Türkiye’de yıllara göre toplam küçükbaş hayvan sayısı

<b>YIL</b>	<b>KOYUN</b>	<b>KEÇİ</b>
2002	25.173.706	6.780.094
2003	25.431.539	6.771.675
2004	25.201.155	6.609.937
2005	25.304.325	6.517.464
2006	25.616.912	6.643.294
2007	25.475.293	6.286.358
2008	23.974.591	5.593.561
2009	21.749.508	5.128.285
2010	23.089.691	6.293.233
2011	25.031.565	7.277.953
2012	27.425.233	8.357.286
2013	29.284.247	9.225.548
2014	31.140.244	10.344.936
2015	31.507.934	10.416.166
2016	30.983.933	10.345.299
2017	33.677.636	10.634.672
2018	35.194.972	10.922.427
2019 1.Dönem	38.448.476	11.367.584

**Tablo 2.3:** Türkiye’de kesilen hayvan sayısı (baş)

<b>YIL</b>	<b>KOYUN</b>	<b>KEÇİ</b>	<b>SİĞİR</b>	<b>MANDA</b>	<b>TOPLAM</b>
2009	3.997.348	606.042	1.0502.073	4.857	6.110.320
2010	6.873.626	1.219.504	2.602.246	15.720	10.711.096
2011	5.479.546	1.254.092	2.571.765	7.255	9.312.658
2012	4.541.122	926.799	2.791.034	7.426	8.266.381
2013	4.958.226	1.340.909	3.430.723	2.403	9.732.261
2014	5.179.289	1.570.239	3.712.281	2.176	10.481.985
2015	5.008.411	1.999.241	3.765.077	1.3391	10.774.120
2016	4.083.620	1.756.360	3.900.307	1.499	9.741.786
2017	2.068.338	2.068.866	3.602.115	6.123	10.811.442
2018	4.652.525	693.405	3.426.180	1.880	8.773.990

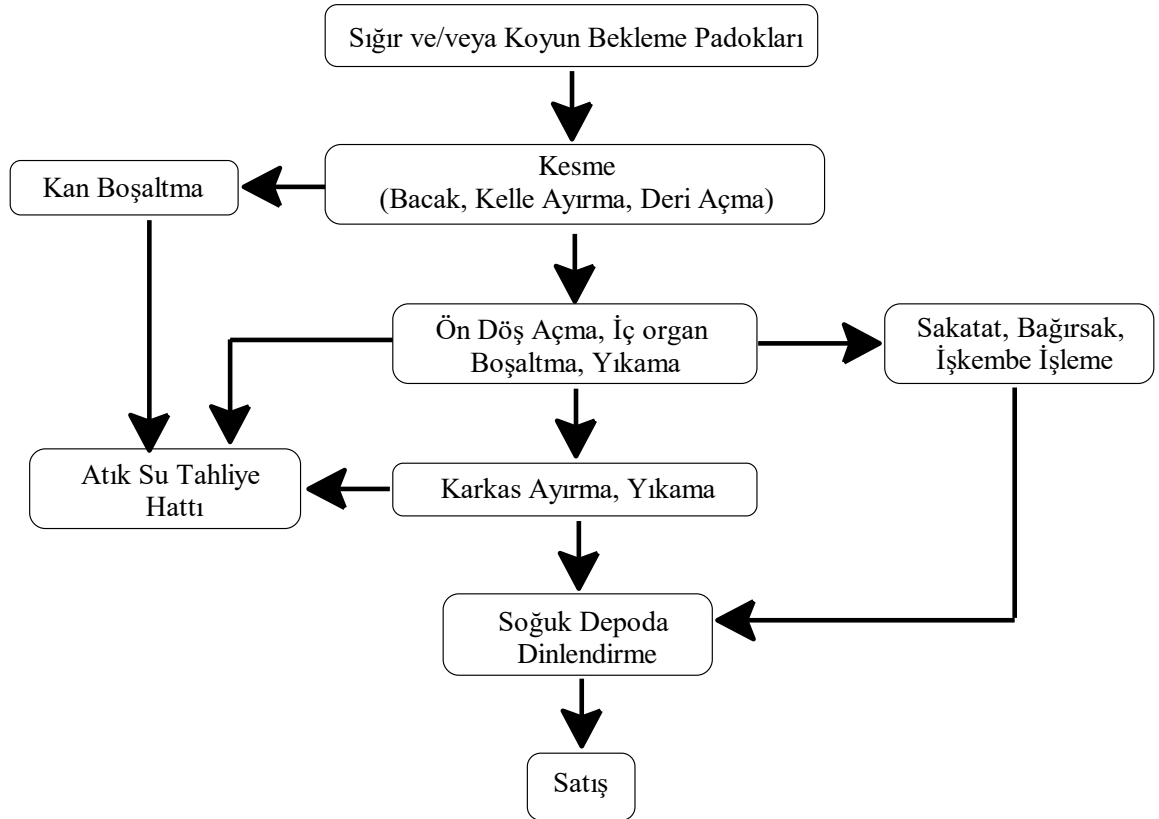


Yukarıda bir yılda yapılan kesim sayısı Tablo 2.3.'te verilmiştir. Son on yıldaki verilere bakıldığında, yılda yaklaşık 10 milyon civarında hayvanın (kırmızı et) kesildiği, bunun yaklaşık %55'ini koyun, %14'ünü keçi, %31'ini sığır oluşturduğu söylenebilir (TUİK, 2019).

## 2.2 Dünyada Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Varlığı

Dünya genelinde yıllık 50 milyar tavuk, 500 binden fazla koyun, 400 binden fazla keçi ve oğlak ve yaklaşık 300 bin inek kesilmektedir. Etin insan sağlığı üzerindeki etkileri, endüstriyel et üretiminin çevreye olumsuz yansımaları bilim çevrelerince tartışılmaktadır (Rûdaw, 2019). Kasaplık sektörü, hayvancılık sektörü kategorisi altında herhangi bir ülke için ekonomik önemi olan en büyük sektörlerden biridir. Mezbahalar et işleme endüstrilerinin bir parçasıdır, ancak etin işlenmesi sırasında büyük miktarda su esas olarak temizlik ve yıkama amacıyla kullanılır. Bu da yüksek miktarda atıksu ortaya çıkması demektir.

## 2.3 Mezbaha Tesis Düzeni



Şekil 2.1: Mezbaha atıksuyu kesim şeması.

### **2.3.1. Kesme**

Kesimden önce hayvanlar padoklarda toplanır. Kesme işleminde hayvanlar mekanik yöntemlerle kelle kısmından ayrılır ve öldürülür. Kesimden sonra da kanın iyice akıtılması için bir süre beklenir, ilk atıksu burada çıkar. Kesme işleminin aralarında basınçlı su ile yerlerin ve kanalların yıkaması yapılır. Kesimhaneden çıkan tüm atıksular ayrı tahliye kanallarından tek bir toplama kuyusunda birleşmektedir (Öztürk, 2019).

### **2.3.2.Döş Açma**

Hayvanın parçalanmasından önce derisi karkasından ayrılır. Sonrasında karkas yarılarak tüm iç organlar alınır ve yenilebilir/yenilemez şeklinde ayırma yapılır. Bu şekilde ayrılan karkas ve bazı iç organlar önce yıkanarak sonrasında soğutmaya gönderilir. İşkembe ve bağırsakların içlerinin temizlenmesi de burada gerçekleşmektedir. Yenilmeyen sakatatlar, bağırsakların içinden çıkan hayvan dışkıları ve diğer atıklar susuzlaştırılmak üzere sıkıştırılmakta ve üzerlerine sönmemiş kireç serpilerek katı atık depolama sahasına gönderilmektedir .

### **2.3.3. Karkas Ayırma Yıkama**

Karkasın satış için parçalanıp, kemiklerin ayrılması işlemidir. Hayvanlar tüm karkas, yarım veya çeyrek karkas olarak satışa sunulmaktadır. Parçalama sonucu ortaya çıkan et kırpıntıları ve kemikler susuzlaştırılmak üzere sıkıştırılmakta ve mikrobiyolojik faaliyetleri ve kontaminasyonu engellemek amacıyla üzerlerine sönmemiş kireç serpilerek katı atık depolama sahasına gönderilmektedir. Son olarak temizlenmiş, parçalanmış karkas tazyikli su ile yıkanarak soğuk hava depolarında satışa sunulmak üzere dinlendirilmektedirler (Öztürk, 2019).

### **2.3.4. Mezbahalardan Kaynaklanan Çevre Sorunları**

Birleşmiş Milletler (BM) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, çiftlik hayvanlarının, asit yağmurunun başlıca nedenlerinden amonyak salımının üçte ikisinden fazlasına yol açan 100 kadar kirletici gaz ürettikleri belirtilmiştir. Çiftlik kurmanın dünya çapında ormanların yok olmasının başlıca nedeni olduğu ve ihtiyaç fazlası otlak arazisi açmanın var olanların beşte birinin çölleşmesine yol açtığı vurgulanan raporda, ayrıca bir litre süt üretmek için 990 litre su tüketen büyükbaş hayvanların su kaynaklarını da ortadan kaldırdıkları

kaydedilmiştir. BM raporunda, büyükbaş hayvanları beslerken üretilen çöp ve atıkların da tüm diğer canlılar için tehlike yarattığı, ayrıca bu hayvanları tedavi için kullanılan böcek ilacı, antibiyotik ve hormonların içme sularını ve insan hayatını tehdit ettiğinin altı çizilmiştir. Rapor, bu konuda kararlı önlemler alınmazsa, çiftlik hayvanlarının yol açacağı zararın 2050'ye kadar ikiye katlanacağına dikkat çekmiştir (Anonim, 2021b). İklim değişikliğinin en kötü etkilerini azaltmak için gerekli olan küresel sera gazı emisyonlarını azaltma hedeflerini yerine getirmemiz gerekirse, hayvansal ürün tüketimini azaltmak esastır .Hayvancılık yapılırken çok fazla su harcanmaktadır. Amazon ve yağmur ormanlarında sadece hayvancılıktan kaynaklanan büyük kayıplar görülmüştür. Özellikle endüstriyel hayvancılığın çevreye etkileri çok büyüktür. Araziler ve suyun bozulmasına, biyolojik çeşitlilik kaybına, asit yağmurlarının artmasına, mercan resiflerinin bozulmasına ve ormansızlaşmaya neden olur. Sadece iklim değişikliği, sel, kuraklık ve sıcak hava dalgası gibi aşırı hava olayları riskinin artması nedeniyle sağlık ve refah için birçok risk oluşturmaktadır ve 21. yüzyılda insan sağlığına en büyük tehdit olarak tanımlanmaktadır (Rûdaw, 2019). Mezbahalar kesim esnasında ortaya çıkan kötü koku problemlerinin yanısıra hayvanların tedavi ve bakımları için kullanılan antibiyotiklerin suya karışmasına sebep olmaktadır. Suyu karışan antibiyotikler su ortamının bozulmasına sebep olur. Ayrıca kesim sonrasında çürüyen ya da bozulan etler kötü koku oluşturmaktadır. Kesimhane atıksuları yoğun renk, yüksek miktarda organik madde ve yağ içerdiği için izin verilen değerlere kadar arıtılması gerekmektedir. Mezbaha atıksuyu ayrıca çok çeşitli dışkı koliformu/patojen popülasyonu içerir (Farzadkia et al., 2016). Et işleme endüstrisi, dünya çapında tarım ve hayvancılık endüstrisinde kullanılan toplam tatlı suyun en büyük tüketicilerinden biridir.

Et işleme tesisleri , kesim süreci ve tesislerin temizliği nedeniyle büyük miktarlarda atıksu üretir. Mezbaha atıksularının, yüksek organik ve besin içeriği nedeniyle çevreye sürdürülebilir ve güvenli bir boşaltım için önemli bir işleme ihtiyacı vardır. Bu nedenle, bu atıksuların arıtımı ve nihai bertarafı bir halk sağlığı gerekliliğidir (C. Bustillo-Lecompte and M. Mehrvar, 2017). Mezbaha atıksularında kan izleri, yağlar, proteinler gibi organik maddenin doğal bozunma süreci, sudaki en kararlı nitrojen formu olan nitratları üretmiştir. Alg patlaması, yeryüzündeki su kütlelerindeki aşırı nitrat seviyesinin zararlı sonucudur (Al-Gheethi et al., 2016; Yaakob et al., 2018).

### 2.3.5. Mezbaha ve Et İşleme Endüstrisi Atıksu Karakterizasyonu

Mezbaha atıksuyunun fizyokimyasal karakterizasyonu çeşitli araştırmacılar tarafından hakemli makalelerde bildirilmiştir. Araştırma çalışmaları, kesim endüstrisinin su kirliliğine en önemli katkıda bulunduğunu, çünkü yağlar, askıda katı maddeler, kimyasal oksijen ihtiyacı, klorürler ve nitratlar gibi yüksek konsantrasyonlarda kirletici maddelerden oluştuğunu göstermektedir (bte Jais et al., 2015). Mezbaha atıksuyunun nitrojen ve fosfor açısından zengin olduğunu bildirmiştir (Azam et al., 2020). Ayrıca mezbaha atıksu pH'ı yüksek bulanıklık, kırmızı renkte ve rahatsız edici koku ile 6,5-7,6 aralığında bulunmuştur. Mezbaha atıksuyunda bulunan bu yüksek besin konsantrasyonları, alg büyümesi ve biyoyakıt üretimi için uygun bir koşul oluşturur (Kitrungloadjanaporn et al., 2017; Kothari et al., 2017). Mezbaha atıksuyu, yüksek düzeyde organik madde, patojenik ve patojenik olmayan virüsler ve temizlik faaliyetlerinde kullanılan bakteriler, deterjanlar ve dezenfektanlar ile karakterizedir (Moukazis et al., 2018).

Son yıllarda dünya genelinde et üretimi artış göstermekte olup 2050 yılına kadar bu artışın daha da devam edeceği öngörülmektedir. Dünya Bankasının 2007 verilerine göre bir mezbaha tesisinde et üretiminde proses sonucu ton başına 2,5-40 m<sup>3</sup> atıksu oluşmaktadır. Mezbahalarda kesilen ve işlenen hayvanlarla ilgili ortaya çıkan atıksuda bulunan kirletici yükler; toplam fosfor, toplam azot, toplam organik karbon, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam askıda katı madde ve biyolojik oksijen ihtiyacı değerleridir (Bustillo-Lecompte and Mehrvar, 2015). Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı mezbaha atıksularını en tehlikeli atıksulardan biri olarak belirtmiştir (Bustillo-Lecompte et al., 2014). Bu tip atık su değişken bir bileşim sunar ve sadece hayvan kalıntılarının varlığıyla değil, aynı zamanda kalıcı kimyasallarla, özellikle de zemin temizleme ürünleri ve dezenfektanlarla da karakterize edilir (Alfonso-Muniozguren et al., 2018). Ancak arıtılmadan çevreye atık su deşarjı yapılması, ötrofikasyona büyük ölçüde zemin hazırlar. Daha önceki çalışmalar, mikroalglerin süt, evsel, kentsel ve tekstil atık sularını içeren çeşitli atıksu türlerini arıtma kapasitesine sahip olduğunu ve alternatif olarak organik maddelerini büyüme için bir besin maddesi olarak kullanarak yüksek biyokütle üretebildiğini göstermiştir (Ahmad et al., 2018). Ayrıca, mezbaha atıksuları toksik ve biyolojik olarak parçalanamayan organik maddeler içerebilir ve bu da biyolojik arıtmayı tek başına yetersiz kılar. Bu nedenle, biyolojik olarak parçalanamayan organikler içeren atıksuların biyolojik olarak

parçalanabilirliğini iyileştirmek ve tehlikeli yan ürünlerin oluşumunu önleyerek, buna ek kimyasallar eklemekten hem patojenik hem de patojenik olmayan mikroorganizmaları inaktive etmek için gelişmiş oksidasyon süreçleri kullanılır . Sonuç olarak, gelişmiş oksidasyon prosesleri geleneksel arıtma sistemlerine çekici bir alternatiftir ve mezbaha atıklarının arıtılması için biyolojik işlemlere tamamlayıcı bir arıtma yöntemidir (Barrera et al., 2012; C. Bustillo-Lecompte et al., 2016; C. F. Bustillo-Lecompte et al., 2016; Bustillo-Lecompte and Mehrvar, 2015; Oller et al., 2011). Literatürde mezbaha atıksularının karakteristiği ile ilgili yapılan bazı çalışmalar Tablo 2.4'te sunulmuştur (Li et al., 1986) .

**Tablo 2.4:** Bazı araştırmacılara göre mezbaha atıksuyu karakteristiği

PARAMETRE	Li ve Ark. (1986)	Manjuat ve ark.(2000)	Norcross ve ark.(1987)
BOİ <sub>5</sub> (mg/l) 11	399-1037	600-3900 31	10000
KOİ (mg/l)	628-1437	1100-7250	--
Yağ ve Gres (mg/l)71	97-452	125-400	13000
TKN (mg/l) 101	44-126	90-150	--
NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	25-105	--	--
AKM	92-430	300-2300	150
pH	6,3-7,2	6,5-7,3	4,5-11

Arıtılmadan deşarj edilen atıksu içeriğindeki yüksek yağ ve gres dolayısıyla su yüzeyinde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak suyun oksijen ve ışık almasını engeller. Bu şartlarda oksijen tükeneceğinden su ortamında anaerobik ayrışma meydana gelir. Bu da su ortamındaki canlı yaşamı için tehlike oluşturmaktadır. Ülkemizde 31.12.2004 tarihinde ve 25687 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren SKKY Gıda Sanayi Sektörü'nde yer alan mezbaha ve et entegre tesisleri için belirlenen standartlar Tablo 2.6'da gösterilmiştir (Anonim, 2004). Mezbaha ve entegre et tesisleri Tablo 2.6'da verilen deşarj standartlarını sağlayamaz ve oluşan atıksuları direct olarak alıcı ortama verirse, 2872 Sayılı Çevre Kanunu'nun 8. Madde'sinde yer alan 'Her türlü atık ve artığı, çevreye zarar verecek şekilde, ilgili yönetmeliklerde belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak, taşımak, uzaklaştırmak ve benzeri faaliyetlerde bulunmak yasaktır' maddesi gereğince idari para cezasına çarptırılır (Topal and Arslan Topal, 2011).

Mezbaha atıksularına ait genel karakteristiklerini gösteren bilgiler aşağıda Tablo 2.5'te verilmiştir.

**Tablo 2.5:** Mezbaha atıksularının genel karakteristiği (Bustillo-Lecompte and Mehrvar, 2015)

Parametre	Aralık	Ortalama Değer
TOK (mg/L)	70 - 1200	546
BOİ5 (mg/L)	150 - 4635	1209
KOİ (mg/L)	500 - 15900	4221
Toplam Azot (mg/L)	50 - 841	427
AKM (mg/L)	270 - 6400	1164
pH	4,90 - 8,10	6,95
Toplam Fosfor (mg/L)	25 - 200	50
Orto-PO <sub>4</sub> (mg/L)	20 - 100	25
Orto-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/L)	10 - 80	20
Potasyum (mg/L)	0,001 - 100	90
Renk (mg/L) Pt ölçeği	175 - 400	290
Bulanıklık (FAU)	200 - 300	275

**Tablo 2.6:** Su Kalite ve Kontrol Yönetmeliğinin Alıcı Ortama Deşarj Standartları

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE
		(2 SAATLİK)	(24 SAATLİK)
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	250	160
Yağ ve Gres (mg/L)	(mg/L)	30	20
pH	-	6	9
Renk	Pt-Co	280	260

**Tablo 2.7:** Et entegre tesislerinin üretim proseslerinden kaynaklanan atıksuların karakterizasyonu

Proses	BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	AKM (mg/L)	TKN (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)	Yağ-Gres (mg/L)
Öldürme (kesme)	825	220-320	-	6	-
Kan ve tank suyu	32000-44800	3690-191 200	-	205	-
Kan odası yıkama suyu	1000-23000	6000-16 500	-	-	-
Sindirim atıkları	28240	-	-	-	-
Bağırsak yıkama	13200	15120	-	43	120
Yaş sindirim atık ayıklama	-	200-300	-	-	1200-2000
Et parçalama	520	610	36	2.5	-
Tuzlama odası	2040	1800	95	12	-
Tuzlama odası duşu	460	1720	280	2.5	-
Yağ ayırma (kondansatör suyu)	1723	60.9	493	-	109
Tuzlanmış et yıkama	1470-1960	900-920	127	17.5	970
Salamura	18 000	-	2790	37	-
Sosis	650-1220	300-2100	140	4	200-370
Yan ürünler	2200	1380	236	50	-
Ağıl yıkama	3900	-	510	380	-
İşkembe haşlama	-	-	1100	-	5220

Yukarıda Tablo 2.5'te et entegre et tesislerinin üretim proseslerinden kaynaklanan atıksuların karakterizasyonu verilmiştir (Öztürk et al., 2019).

Mezbaha atıksuları için çeşitli arıtım prosesleri uygulanmaktadır. Aktif çamur prosesleri, biyolojik prosesler, stabilizasyon havuzları, anaerobik reaktörler ve kombine sistemler mezbaha atıksularının arıtımı için kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. Bu prosesler verimli olmalarına rağmen, genellikle uzun alıkoyma süresi ve geniş alanlara ihtiyaç duyar. Aynı zamanda çok miktarda çamur oluştururlar. Ayrıca mezbaha atıksuları zararlı ve biyolojik olarak parçalanamayan organik maddelerde içerebildiğinden biyolojik arıtma yeterli olmayabilir (Tanyol and Tevcur, 2020). Son zamanlarda organik kirleticilerin sulu ortamda arıtılması için elektrokimyasal gelişmiş oksidasyon süreçleri teşvik edilmiştir (Davarnejad and Sahraei, 2016). Elektrot malzemesinin seçimi elektrooksidasyon işleminin verimliliğini ve toksik yan ürünlerin oluşum potansiyelini belirler (Radjenovic and Sedlak, 2015).

### 2.3.6. Literatürde Çalışılan Mezbaha Atıksuyu Örnekleri

Edris Bazrafshan ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada kesimhane atık sularının kombine kimyasal pıhtılaştırma ve elektrokoagülasyon işlemleriyle arıtılmasının fizibilitesi araştırılmıştır. Pıhtılaştırıcı doz, elektrik potansiyeli ve reaksiyon süresi gibi çalışma değişkenlerinin ana kirleticilerin giderim verimi üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Kirleticilerin uzaklaştırılma oranı, artan Polialuminyum klorür dozları ve uygulanan voltaj ile doğrusal olarak arttırılmıştır. %99'dan fazla KOİ ve BOİ<sub>5</sub> giderimi, 100 mg/L Polialuminyum klorür ilave edilerek ve voltaj 40 V uygulayarak elde edilmiştir (Bazrafshan et al., 2012).

V. Del Nery ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada çözünmüş hava flotasyon (DAF) sisteminin performansını ve Brezilya'nın Sorocaba kentindeki bir kümes hayvanı kesimhanesinde iki adet 450 m<sup>3</sup> UASB reaktörünün çalışmasını incelemiştir. Reaktör başlangıcında, maksimum organik yükleme hızı değeri 2.1 kg KOİ/m<sup>3</sup> ve KOİ azalması %80'den yüksek bulunmuştur (Del Nery et al., 2007).

Yali Liu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada kesimhane atık suyunun biyolojik olarak besinden uzaklaştırılması için aerobik granül çamur oluşumunu ve özelliklerini incelemek için laboratuvar ölçekli deney yapılmıştır. Deneysel sonuçlarda kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), amonyak ve fosfatın uzaklaştırılma performanslarının çamur granülasyonu ile arttırıldığını ve ayrılma verimliliklerinin sırasıyla %95,1, %99,3 ve %83,5'e ulaştığını göstermiştir (Y. Liu et al., 2015).

M. Asselin ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir denemede mezbaha atıksularının elektrokimyasal arıtım yöntemlerinden olan elektrokoagülasyon ile arıtımı test edilmiştir. Deneyler sonucunda 60 ile 90 dakikalık alıkonma süresi sonucu %86 BOİ %99 yağ ve gress giderimi görülmüştür. Toplam katı madde giderim verimi ve bulanıklık gideriminin de %90 olduğu belirlenmiştir (Asselin et al., 2008).

Jorge Vidal ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada sentetik mezbaha atık suyundan KOİ giderimi için kombine bir yarı sürekli anaerobik sindirim/güneş fotoelektro-Fenton işlemi incelenmiştir. Yukarı akışlı anaerobik çamur battaniyesi reaktörü, uygulanan en yüksek organik yükleme hızı (8,15 g KOİ/L.gün ) için %70'e varan KOİ giderimi ve düşük



bir askıda katı ayırma verimliliği elde etmiştir. Anaerobik atık bu işlemle arıtılmıştır ve sırasıyla yaklaşık 200 mg/L ve 900 mg/L başlangıç konsantrasyonları için %88 ve %72 KOİ giderimi elde edilmiştir. Yarı sürekli anaerobik sindirim güneş fotoelektro-fenton işlemiyle bulanıklık da %80'e kadar düşürülmüştür ve daha düşük başlangıç KOİ konsantrasyonlarında daha yüksek katı uzaklaştırıldığı görülmüştür. Bu nedenle, önerilen birleşik işlemle, her iki çıkış suyundaki toplam KOİ'nin %91-97'sini ortadan kaldırmanın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır (Vidal et al., 2019).

## **2.4 Elektrokimyasal Arıtım Yöntemleri ve Özellikleri**

### **2.4.1. Elektrokimya**

Elektrokimya uygulamada önemli bir yere sahip bilimdir. Genel olarak elektrokimya kimyasal enerjinin çeşitli reaksiyonlarla elektrik enerjisine dönüşümünü inceler. Bir başka ifadeyle kimyasal reaksiyonlar ve elektrik akımının ilişkisini tanımlar. Elektrokimyasal olay bir indirgenme ve yükseltgenme tepkimesidir. Elektrik akımı sayesinde reaksiyon gerçekleşir ve elektrik üretilir. Bu reaksiyon indirgenme yarı reaksiyonu ve yükseltgenme yarı reaksiyonu olmak üzere iki yarı reaksiyondan oluşur. Elektrik akımı üreten veya elektrik akımı yardımıyla kimyasal bir olayın gerçekleştiği sisteme veya cihaza elektrokimyasal pil adı verilir. Bir pilde iyon akımının geçirildiği çözeltiliye elektrolit, bu çözeltiliye batırılmış olan ve elektron akımının sağlandığı metal veya grafit çubuklara elektrot adı verilir. Anot veya negatif elektrot, indirgeyici elektrottur ve katot veya pozitif elektrot, oksitleyici elektrottur (Zhao and Burke, 2021). Her türlü elektrokimyasal pilde; yükseltgenme yarı reaksiyonunun olduğu elektrot anot, indirgenme yarı reaksiyonunun olduğu elektrota da katot adı verilir (Baker, 1991) Eğer istemli reaksiyonların elektrokimyasal hücre olarak adlandırılan uygun düzeneklerde devam etmeleri sağlanırsa, elde edilen kimyasal enerjinin bir kısmı elektrik enerjisine çevrilir. İstemsiz bir reaksiyonunun bir elektrokimyasal hücrede devam etmesi, ancak reaksiyona dış bir kaynaktan elektrik enerjisi uygulanarak sağlanabilir. Elektroliz de bu istemsiz reaksiyona dışarıdan elektrik enerjisi verilerek gerçekleşen reaksiyona verilen isimdir (Yıldırım, 2007) Elektrokimyasal prosesler endüstriyel atıksu arıtımı için son derece verimli bir yöntem olarak bilinmektedir (Tran et al., 2017).

### 2.4.2. Faraday Yasası

Michael Faraday, tarihin en etkili bilim adamlarından biriydi ve elektromanyetizma ve elektrokimya çalışmalarına önemli bir katkıda bulunmuştur. Başlıca keşifleri arasında elektromanyetik indüksiyon , diyamanyetizma ve elektrolizin altında yatan ilkeler yer almaktadır (Gaynor et al., 2018). 1830'larda Faraday, zamanla değişen (atımlı) bir elektromanyetik alanın bakır veya doku gibi yakındaki bir iletkende bir elektrik alanını nasıl indükleyeceğini açıklayan denklemleri önermiştir (Gaynor et al., 2018). 1833'de Faraday elektrokimyasal reaksiyonlarda hücreden geçen elektrik miktarıyla kimyasal değişim arasında bir bağlantı olduğunu tespit etmiştir. Buna göre, elektrotlarda oluşan maddelerin kütleleri, devreden geçen yük miktarı ile doğru orantılıdır ve devreden geçen aynı miktarda elektrik yüküne karşı farklı maddelerin aynı eşdeğer kütlesi açığa çıkar (Aytaç, 2011). Elektrik yükünün birimi Coulomb'tur. Bir saniyede bu akımdan geçen elektrik miktarı da elektrik yükü olarak bilinir. Elektrik iletimini katılarda elektronlar sağlar. 96485 Coulomb bir mol elektronun taşıdığı yüküdür. 1 Faraday olarak bilinen değer de budur (Yıldırım, 2007).

### 2.4.3. Elektrokimyasal hücre potansiyeli

İki elektrot arasındaki gerilim bir dış iletken vasıtasıyla elektronların anottan katoda akmasıyla gerçekleşir. Anotun negatif gerilimi fazladır ve katoda elektron akışı buradan olur (Türk, 1999). Elektromotor kuvveti veya pil gerilimi bir kimyasal hücreyi oluşturan iki yarı hücrenin gerilim farkı olarak tanımlanır. Faraday yasası tarafından tahmin edilen elektromotor kuvveti (EMK), bir cihaz veya devre boyunca hareket eden bir elektronun yüküne etki eden kuvvetleri yansıtır ve manyetik alanın zaman türeviyle orantılıdır (Pham Nam Hai, 2009). Birimi voltur. Yükseltgenme-indirgenme reaksiyonlarının standart emk değeri, elektrotların gerilimden hesaplanmaktadır. Standart emk istemli bir reaksiyonda her zaman pozitifdir. Bu değer negatif olması bir reaksiyonun istemsiz olduğu anlamına gelir. Bu standart elektrot gerilimlerinden hesaplandığı için sadece standart basınç, konsantrasyon ve sıcaklık için geçerlidir. Standart olmayan koşullar için ise Nernst eşitliği kullanılır. Bu denklem aşağıda (2.1) 'de gösterilmiştir.

$$E = E^{\circ} - \frac{2,303R_sT}{n_eF} \log Q \quad (2.1)$$

Nernst eşitliği, modern elektrokimyanın temel direklerinden biridir. Nernst denklemi terimi, çağdaş literatürde üç durumu açıklamak için kullanılmaktadır. 1. bir elektron akımının dönüştürüldüğü bir arayüze sahip bir elektrotun denge potansiyeli bir iyon akımını (örneğin bir redoks elektrodu) (b) bir elektrokimyasal hücrenin hücre reaksiyonunun potansiyelini (voltaj, elektromotor kuvveti) ve (c) denge potansiyelini açıklamak için (Scholz, 2017). Bu denklemde belirtilen “ $E^\circ$  ifadesi: Pil gerilimini,  $R_g$ : Gaz sabiti,  $T$ : Sıcaklık,  $F$ : Faraday sabiti,  $n_e$ : Reaksiyon esnasında yapılan elektron alışverişi sayısı,  $Q$ : Kütlelerin etkisi” ifadesini tanımlar.

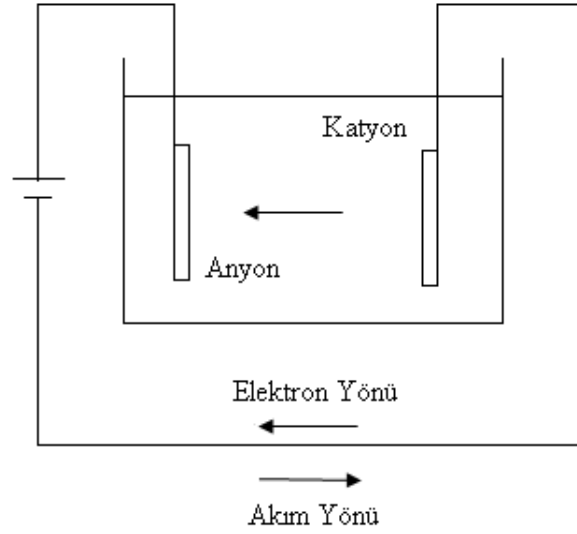
#### **2.4.4. Elektrokimyasal Prosesler**

Elektrokimyasal işlemler kolay kurulum ve işletme, yüksek verimlilik ve işletim sonucu oluşan çamur miktarının az olması gibi avantajlarından dolayı su ve atıksu arıtımında kullanımı son zamanlarda giderek artmaktadır. Elektrokimyasal prosesin verimliliği birkaç parametrenin bir fonksiyonudur ve en önemlisi elektrot malzemesi, elektrolit tipi ve arıtılmış atıksuyun özellikleridir (Abdelhay et al., 2021). Kimyasal arıtım sistemlerinde aynı verime ulaşabilmek için reaksiyon süresi daha uzun tutulmalıdır. Ayrıca gerekli alan miktarı ve hacim daha fazla olmalıdır. Kimyasal yöntemlerde kullanılan kimyasalların maliyetli olması, fazla çamur oluşumu da bu sebeple elektrokimyasal yöntemlere talebi arttırmaktadır. Gelişmiş oksidasyon prosesleri atıksularda mevcut olan organik yükü ve toksisiteyi azaltmak için başarıyla uygulanmıştır, çünkü bunlar çözelti içinde organikleri kendilerine kadar yok edebilen güçlü oksitleyici türlerin hidroksil radikalleri oluşumuna dayalıdır. Elektrokimyasal oksidasyon kullanımı ve kontrolü kolay olan çevre dostu bir yöntem olarak görünmektedir. Bu teknoloji, iki farklı mekanizma aracılığıyla yüksek verimlilik elde edebilir: doğrudan ve dolaylı anodik oksidasyon. İlkinde, kirleticiler doğrudan yük aktarımı ile oksitlenir. Öte yandan, dolaylı oksidasyonda, anotta elektrokimyasal olarak güçlü bir oksidan üretilebilir ve bu da toplu çözeltilerdeki kirletici maddeleri bozar (Fajardo et al., 2017).

#### **2.4.5. Elektroliz**

Bir elektrolit içine iki elektrot yerleştirilerek elektrik akımı yoluyla kimyasal bileşiklerin parçalanması olayıdır. Bu olayın meydana gelebilmesi için hücreye verilen dış akımın anot ve katot hücre potansiyelleri toplamından daha fazla olması gerekmektedir. Çözeltinin iletkenliğini sağlayan bileşen elektrolit, çözeltiliye yerleştirildiğinde kimyasal değişimlerin

oluştugu maddeye elektrot ve çözeltideki yüklü tanecikler de iyondur. Aşağıda Şekil 2.2’de elektroliz hücresi gösterilmiştir (Fil, 2014).



**Şekil 2.2:** Elektroliz hücresinde reaksiyon yönü

Katotta meydana gelecek olan indirgenme reaksiyonları için elektrona ihtiyaç vardır. Bu elektronlar dış akım kaynağından sağlanır. Elektroliz hücresinde akım yönü katottan anoda doğrudur. Bir elektroliz hücresiyle bir pil arasında elektrokimyasal süreçler açısından hiçbir fark yoktur. Aradaki fark pillerde anot ve katot reaksiyonlarının doğal olarak oluşmasıdır. Elektroliz olayında ise sisteme akım verilerek anot ve katot potansiyelleri denge potansiyelinden daha yüksek bir değere çıkarılır ve kimyasal reaksiyonların oluşması bu dış kuvvetle sağlanır (Anonim, 2011). Sistemden akım geçmediği zamandaki bulunan elektrot potansiyeline ‘denge potansiyeli’ adı verilir. Bir elektroliz reaksiyonunun meydana gelmesi için ihtiyaç olan minimum potansiyele ayrışma gerilimi denir. Nernst eşitliği ile anot ve katot denge potansiyeli bulunabilir (Türk, 1999).

$$E_{A.G.} = E_{katot} - E_{anot} \quad (2.2)$$

Örneğin suyun elektrolizi olayında aşağıda gösterilen reaksiyonlar meydana gelmektedir. Suyun elektrolizinin temel amacı sudan oksijen ve hidrojen gazı ( $H_2O$ ) üretmektir. Hücre, bir elektrolit ve güç kaynağına bağlı iki elektrottan oluşur. Her iki elektrot arasında belirlenen voltajda, bu elektrotlar negatifte hidrojen gazı, diğerinde oksijen gazı üretmeye başlar (Chakik et al., 2017).

Katotta meydana gelen reaksiyon:



Anotta meydana gelen reaksiyon:



Toplam reaksiyon ise;



#### 2.4.6. Elektrokoagülasyon Prosesi

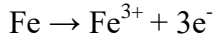
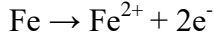
Elektrokoagülasyon, bir elektrolit sistemi içerisine elektrotların dizilmesi ile sisteme akım uygulanarak atıksudaki organik bileşiklerin su ortamından uzaklaştırılmasıdır. En basit elektrokoagülasyon reaktör tasarımı, her biri bir anot ve katot görevi gören iki metal elektrot içerir. Elektrotlar harici bir güç kaynağına bağlandığında, oksidasyon süreci anotta başlar ve sonuç olarak metalik katyonlar oluşturur. Aynı zamanda, katotta hidrojen gazı kabarcıkları ve hidroksit iyonları oluşturmak için su indirgenir. Atık suda bulunan kirletici maddelerin yük nötralizasyonu, koagüle edici maddeler tarafından indüklenir. Bu türler çarpışarak kirletici maddelerin uzaklaştırılmasına neden olan hızlı büyüyen, daha büyük ve emici topraklar oluşturur (Sandoval et al., 2021). Kimyasal koagülasyon ile aralarındaki temel fark alüminyum veya demirin sisteme eklenme şeklidir. Çökeltme ve yumaklaştırma işlemleri kimyasal madde eklenmesiyle değil sistemdeki elektrotlar vasıtasıyla yapılır. 1946 ve 1956 yıllarında yapılan çalışmalarda bulanıklık ve renk gideriminde yüksek verimli sular elde edilerek gelecek sunan bir sistem olmasına rağmen kimyasal koagülasyon ile kıyaslandığında yatırım maliyeti fazla olduğu için kalıcı olmamıştır. Elektrokoagülasyon prosesinde elektrot malzemesinin seçimi sistemin temelini oluşturur. Bu sebeple uygun elektrot malzemesinin seçimi son derece önemlidir. En yaygın kullanılan elektrot malzemeleri Al veya Fe'dir çünkü zeminde bol miktarda kaynağa sahiptirler ve nispeten düşük fiyatlar, toksik olmayan özellikler ve kirletici madde giderme kabiliyetleri

vardır. Katot ve anot malzemeleri normalde aynı metalden yapılırsa da, elektrot çözünmesi yalnızca anotta gerçekleşir. Demir ve alüminyum elektrot kullanımında gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir (Zaied et al., 2020).

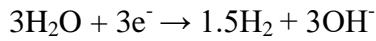
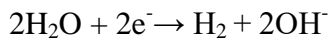
---

#### **Demir elektrotlar kullanılıyorsa**

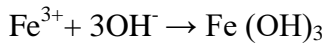
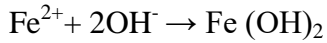
Anot oksidasyon reaksiyonu yapar,



Katot indirgeme reaksiyonu yapar,



Bu nedenle, elektroliz sırasında, genel reaksiyon şu şekilde gerçekleşir:

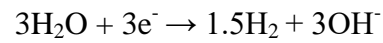


#### **Alüminyum elektrot kullanılıyorsa**

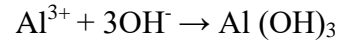
Anot oksidasyon reaksiyonu yapar,



Katot indirgeme reaksiyonu yapar,



Yani, elektroliz sırasında genel reaksiyon aşağıdaki gibi olur.



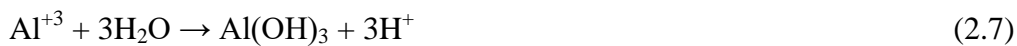
---

Yuukarıdaki reaksiyonlarda gösterildiği gibi elektrokoagülasyon yumaklaşma ve yüzdürme olaylarının birleşimidir. Katottan çıkan hidrojen gazı kabarcıkları oluşan yumaklara yapışarak onları yüzmeye iterler ve reaktörün üst kısmına doğru taşırlar bu elektrokoagülasyon işlemine elektroflotasyonun eşlik ettiğinin bir kanıtıdır (Koparal et al., 2008). Elektrokoagülasyon prosesinin alkali ve asidik şartlardaki reaksiyonları aşağıda verilmiştir.

Alkali durumlarda;



Asidik durumlarda;



#### **2.4.7. Elektrokoagülasyon yönteminin avantajları**

1. Kullanılan ekipmanların kurulumu ve işletilmesi kolaydır.

2. Arıtılmış olan su temiz, renksiz ve kokusuzdur.

3. Elektrokoagülasyon sonucu oluşan çamur büyük oranda metal oksitler/hidroksitlerden meydana geldiği için kolaylıkla çöktürülebilir ve susuzlaştırılabilir özelliktedir. Çamur oluşumu daha azdır.
4. Elektrokoagülasyon sonucu oluşan yumaklar kimyasal olarak oluşan yumaklara yapıcı banzeseler de boyut olarak daha büyük ve daha az bağlı su tutma eğilimindedirler. Asitlere karşı daha dayanıklı ve kararlı yapıları vardır.
5. Elektrokoagülasyon işlemi ile toplam çözünmüş katı madde içeriği daha düşük su elde edilir. Bu da suyun yeniden kullanımı durumunda geri kazanım maliyetinin daha düşük olması demektir.
6. Elektrokoagülasyon işleminde koagülasyon işleminde oluşan fazla kimyasal madde kullanımından kaynaklanan ikincil bir kirlilik oluşmaz.
7. Elektrokoagülasyon prosesinde uygulanan akım şiddeti, potansiyel fark kolayca kontrol edilebilir.
8. Elektroliz sırasında oluşan gaz kabarcıkları, ortaya çıkan kirleticileri yüzdürme etkisiyle su yoluna çıkartır ve kirleticilerin sudan uzaklaştırılmasını sağlar.
9. Elektrokoagülasyon işleminde en küçük kolloidal tanecikler bile uzaklaştırılır. Elektriksel alan tanecikleri hızla hareket ettirerek yumaklaşmasını sağlar.
10. Elektrokoagülasyon güneş panellerinin yardımıyla elektrik olmayan kırsal kesimlerde de uygulanabilir..

#### **2.4.8. Elektrokoagülasyon yönteminin dezavantajları**

1. Yükseltgenme dolayısıyla anot malzemesi zamanla aşınır, belli zamanlarda yenilenmesi gerekir.
2. Elektrik kullanımının pahalı olduğu yerlerde maliyetli olabilir.
3. Katot yüzeyinin geçirgen olmayan oksit tabakasının oluşmasıyla verimin azalmasına sebep olabilir.
4. Arıtılacak atıksuyun yüksek iletkenlikte olması gerekir.

5. Jel kıvamındaki hidroksit, zaman zaman çözünebilir.

#### **2.4.9. Elektrokoagülasyon teorisi**

Elektrokoagülasyon prosesi çözünen bir anot yardımıyla atıksuda metal hidroksit floklarının oluşturulması temeline dayanır ve 3 aşamada gerçekleşir;

1. Koagülant oluşumu
2. Kirlenmelerin stabilizasyonunun bozulması
3. Stabilizasyonu bozulan kirlenmelerin bir araya gelerek yumaklar oluşturması.

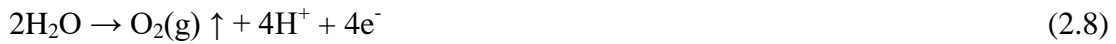
#### **2.4.10. Elektroflotasyon Prosesi**

Elektroflotasyon, suyun elektrolizi sırasında elektrotlarda oluşan gaz kabarcıkları vasıtasıyla suda kalan partiküllerin sudan ayrılmasıdır. Proses ilk olarak maden endüstrisinde kullanıldı ve daha sonra su ve atık su arıtımında uygulandı. Süreç boyunca, ince kabarcıklar elektrotlarda çekirdeklenir, ayrılır ve su yüzeyine yükselirken suda asılı katı veya sıvı parçacıklarla çarpışır. Bu çarpışmalardan bazıları, parçacıkların ve kabarcıkların bağlanmasına ve kabarcık-parçacık kümelerinin oluşumuna yol açar. Daha sonra agregalar su yüzeyine yükselir ve mekanik sıyırma ile toplanır (R. Mohtashami and J. Shang, 2019). Elektroflotasyon, kimyasal arıtma yöntemlerine bir alternatif olabilir. Kimyasal yöntemler, atık suya pıhtılaştırıcı ve topaklaştırıcı kimyasalların eklenmesini içerir. Bu da daha maliyetli olabilir ve aynı zamanda büyük miktarlarda geri kazanılamayan çamur üretir (Mohtashami, 2018). Yöntem, doğru akım işlenmiş çözeltilerden geçtiğinde elektroflotasyon anot veya katot üzerinde oluşan oksijen ve hidrojen kabarcıkları ile etkileşimleri nedeniyle su çözeltilerinden dağılmış asılı parçacıkların uzaklaştırılmasını içerir. Buna göre metal iyonlarının az çözünür bileşiklere dönüştürülmesi elektroflotasyon işleminin başarısını sağlayan ana aşamadır (Brodskiy et al., 2021). Sistem verimi elektrot materyalinin cinsi, akım yoğunluğu, pH değeri, atıksuyun iletkenliği, gaz kabarcıklarının hacmi gibi parametrelere göre değişir (Chen, 2004). İşlem, hidrofobik/yüzeyde aktif olmayan iyonların veya partiküllerin sulu çözeltilerden, genellikle yüzey aktif maddeler veya toplayıcılar eklenerek uzaklaştırılmasını ve ardından gaz kabarcıklarının geçişini içerir. Bununla birlikte, flotasyon günümüzde, özellikle endüstriyel atık su arıtımı (yani metal iyonlarının geri kazanımı) için geniş uygulamalar bulmuştur



(Kyzas and Matis, 2016). Elektroflotasyon işleminde oluşan gaz kabarcıkları, yumakların su yüzeyine yüzdürülmesine hizmet eder. Çözeltide bulunan H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonları, flokülasyon-pıhtılaşma mekanizması aracılığıyla flok oluşumu sürecine yardımcı olur. Genellikle, elektroflotasyon işleminde kullanılan elektrotlar, her bir özel durumdaki gereksinimlere bağlı olarak anot veya katot olarak kullanılabilen aşındırıcı olmayan malzemelerdir (örn. platin, grafit ve titanyum) (Putra et al., 2021). .Bu işlemlerde çelik genelde katot materyali olarak tercih edilmektedir. Sebebi ise elektrolizden dolayı korozyona neden olmaması ve kabarcık oluşturabilmesidir. Ayrıca çelik levha kullanılması reaktör için uniform dağılım olmasını sağlar. Demir, alüminyum, Grafit, Pb, Pt, TiO<sub>2</sub>, IrO<sub>2</sub>, Ti/TiOx gibi malzemeler de atıksuyun özelliğine bağlı olarak anot materyali olarak kullanılır (Huang and Liu, 1999; Nahui et al., 2008). Demir ve alüminyum akıma bağlı olarak zamanla çözünebildiği için ve büyük hacimli gaz kabarcıkları oluşturmaları sebebiyle çok tercih edilmezler. Ti/IrOx son zamanlarda elektrokimyasal kararlılığı ve yüksek aktivitesi sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır (Khelifa et al., 2005; Mohammed and Al-Gurany, 2010) . Klasik sistemler ile arıtımı güç olan sular bu sistemlerle kolaylıkla arıtılabilmektedir. Bu yüzden bu sistemler teknolojik işletimi kolaylaştırır ve alan ihtiyacını daha aza indirir. Elektroflotasyon prosesi sırasında anot ve katotta meydana gelen reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir.

Anotta gerçekleşen reaksiyon:



Katotta gerçekleşen reaksiyon:



#### **2.4.11. Elektro fenton Prosesi**

Elektrokimyasal ileri oksidasyon süreçleri arasında, elektro-Fenton (EF) prosesi OH<sup>-</sup> üretmenin dolaylı bir yoludur ve toksik organik kirleticilerin bertarafı için güçlü bir proses olarak bilinir (Titchou, Zazou, Afanga, El Gaayda, Akbour, et al., 2021). EF işleminde, OH<sup>-</sup> radikalleri, toplu çözeltide ve uygun bir anot yüzeyinde üretilebilir. Elektrokimyasal olarak üretilen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve harici olarak eklenen katalizörden (Fe<sup>2+</sup>) fenton reaksiyonu ile çözeltide homojen olarak üretilirler ve çözeltiliye sürekli OH<sup>-</sup> sağlarlar. Genel olarak, EF prosesi için gerekli olan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> üretimi için karbonlu malzemeler tavsiye edilir (Titchou, Zazou, Afanga,

El Gaayda, Ait Akbour, et al., 2021). EF ortamında bulunan Fe<sup>2+</sup> iyonları ile bu şekilde oluşturulan HOCl'nin reaksiyonu, esas olarak OH veya Cl (güçlü bir oksidan) üretebilir. Eşitlik aşağıda 2.12'de verilmiştir.

Elektro fenton prosesinde oluşan reaksiyonlar aşağıdaki 2.10-2.11 eşitliklerinde verilmiştir.



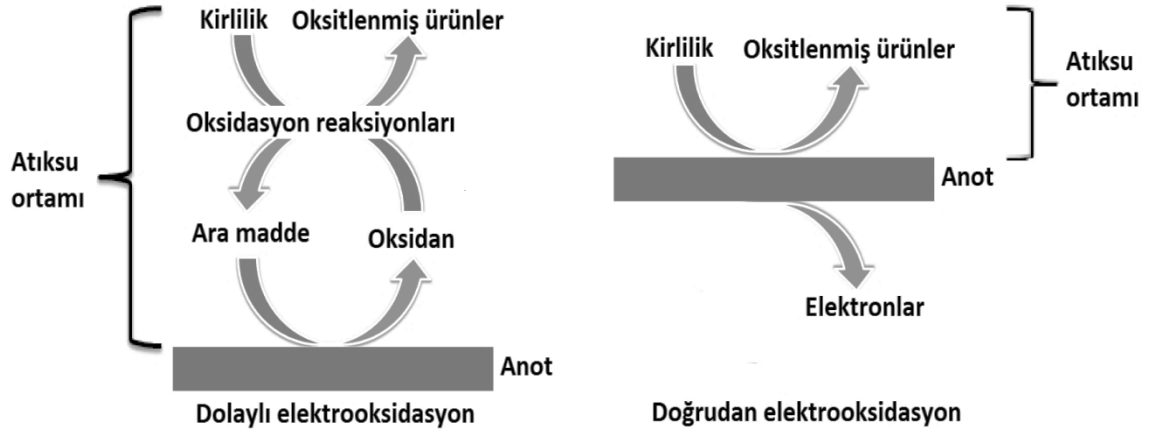
#### **2.4.12. Elektrofilyasyon Prosesi**

Su az ya da çok fazla kimyasal ve biyolojik bileşiklerin yanı sıra ortadan kaldırılması gereken patojenler içerir; bu nedenle, fiziksel ayırma işlemleri (çökeltme veya yüzdürme), demir veya alüminyum tuzları gibi kimyasal katkı maddeleri ile pıhtılaşma, polimerlerle flokülasyon, filtrasyon ve adsorpsiyon her su arıtma tesisinin temel işlemleri arasındadır. Sıradan negatif yüklerin nötralizasyonu, pıhtılaşma/flokülasyon ve filtrasyon proseslerinde arıtmanın verimliliğini artırır. Bununla birlikte, kimyasal katkı maddelerinin kullanılması ve filtrelerin geri yıkanması, depolama alanlarına veya atıksu toplayıcılarına boşaltılan önemli miktarda katı tortu veya çamur üretir. Günümüzde ileri teknolojiler, kimyasal katkı maddelerini en aza indirerek, süreci basitleştirerek ve çamur miktarını azaltarak daha verimli bir arıtma arayışındadır. Bu tekniklerin çoğu, akustik, manyetik, termal ve elektrik alanlar gibi ek itici güçlerden yararlanır. Dolayısıyla bu teknolojinin kullanılması, kimyasal katkı dozajının en aza indirilmesine ve kalıntı oluşumunun azalmasına ve böylece kimyasalların ve atık bertarafının maliyetinin düşmesine neden olur (Khosravanipour Mostafazadeh et al., 2016). Elektrofilyasyonda hücre ortamına uygun miktarda elektrik akımı verilerek, taneciklere çekim kuvveti kazandırılır. Bunun amacı taneciği filtre ortamından uzaklaştırmaya yöneliktir.

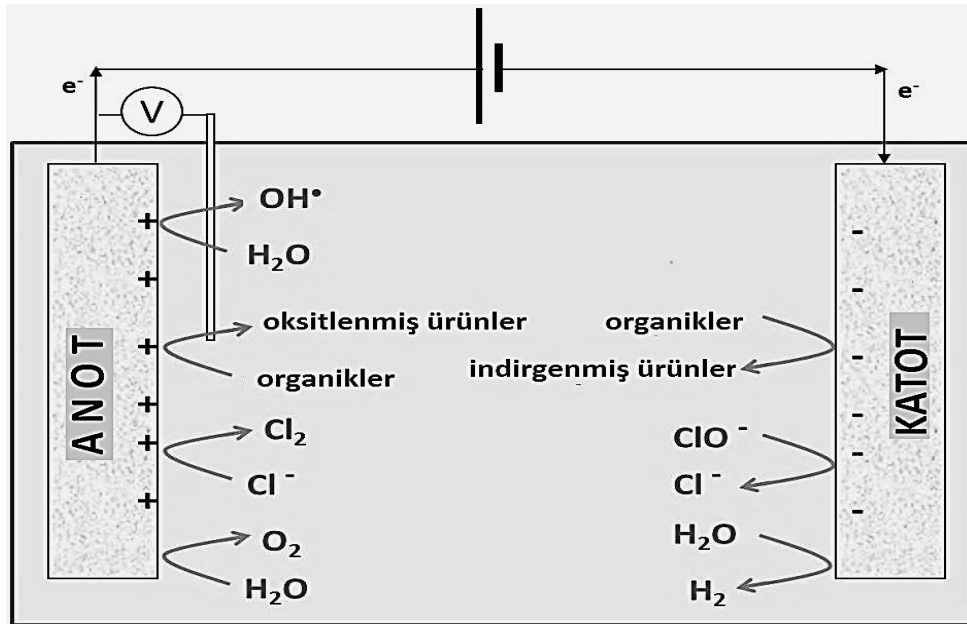
#### **2.4.13. Elektrooksidasyon Prosesi**

Elektrooksidasyon prosesi çözünmeyen bir anot yardımıyla sudaki organik maddelerin direkt ya da dolaylı olarak son ürünlere parçalanmasıdır. Bu işlemler sırasında kullanılan anot malzemeleri; grafit, bor kaplı elmas, kaplanmış titanyum ve platin gibi anotlardır.

Organiklerin elektrokimyasal oksidasyon yoluyla bozunması, su ile oksitlenecek organik bileşik arasında bir elektron transferinin gerçekleştiği dolaylı ve/veya doğrudan anodik reaksiyonlarla garanti edilir. Doğrudan anodik oksidasyon, anot yüzeyindeki kirleticilerin adsorpsiyonunu içerir; burada elektron transfer reaksiyonu veya yüksek derecede reaktif serbest radikallerin (OH<sup>•</sup>), bunların bozulmasına neden olur (Abdelhay et al., 2021). Bu prosesteki parçalanma işlemi aşağıda Şekil 2.3 ve 2.4'te verilmiştir (Fil, 2014).



Şekil 2.3: Elektrokimyasal oksidasyonda kirleticilerin doğrudan ve dolaylı parçalanması



Şekil 2.4: Kirleticilerin katot ve anot yüzeyinde parçalanması

Direkt oksidasyonda kirleticiler ilk olarak anot yüzeyine tutunur ve yüzeyde elektron alışverişi gerçekleşir. Direkt anodik oksidasyon iki farklı şekilde gerçekleştirilir. Bunlardan

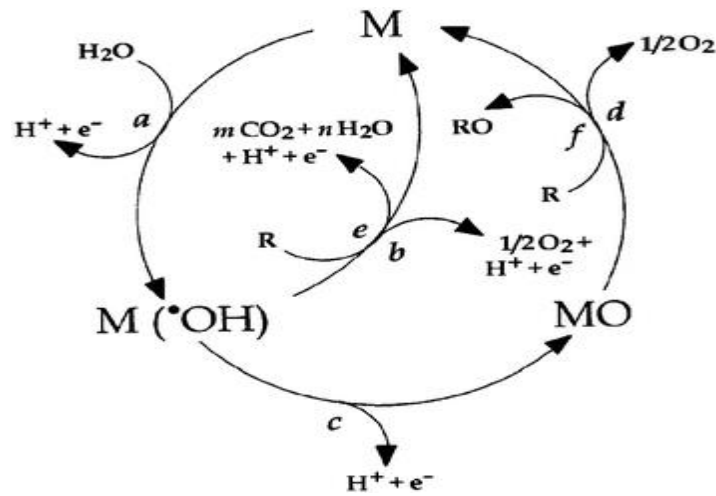
birincisi elektrokimyasal çevrim ikincisi ise elektrokimyasal parçalanmadır (Christos Comninellis, 1994; Comninellis and Nerini, 1995). Dolaylı oksidasyon, hidroksil serbest radikallerin doğrudan oksidasyonuna dayanır ve arıtım süresini kısaltır (Abdelhay et al., 2021). Comninellis ve ark. elektrot malzemesinin doğasının hem proses seçiciliğini hem de verimliliği güçlü bir şekilde etkilediğini bulmuştur. Johnson tarafından önerilen mekanizmaya benzer şekilde, oksijen transfer reaksiyonundaki ilk adım, adsorbe edilmiş hidroksil radikalleri oluşturmak için su moleküllerinin boşaltılmasıdır. Direkt elektrolizde, kirleticiler, anot yüzeyinde adsorpsiyondan sonra, “temiz bir reaktif” olan elektron dışında herhangi bir maddenin katılımı olmadan oksitlenir.



Aşağıdaki adımlar elektrot malzemelerinin doğasına bağlıdır ve “aktif” ve “aktif olmayan” anotlar olarak tanımlanan iki sınırlayıcı elektrot sınıfını ayırt etmeyi mümkün kılar: Elektrot yüzeyinde daha yüksek oksidasyon durumlarının mevcut olduğu “aktif” elektrotlarda, adsorbe edilen hidroksil radikalleri anot ile etkileşime girerek yüksek oksit denilen şeyi oluşturabilir:

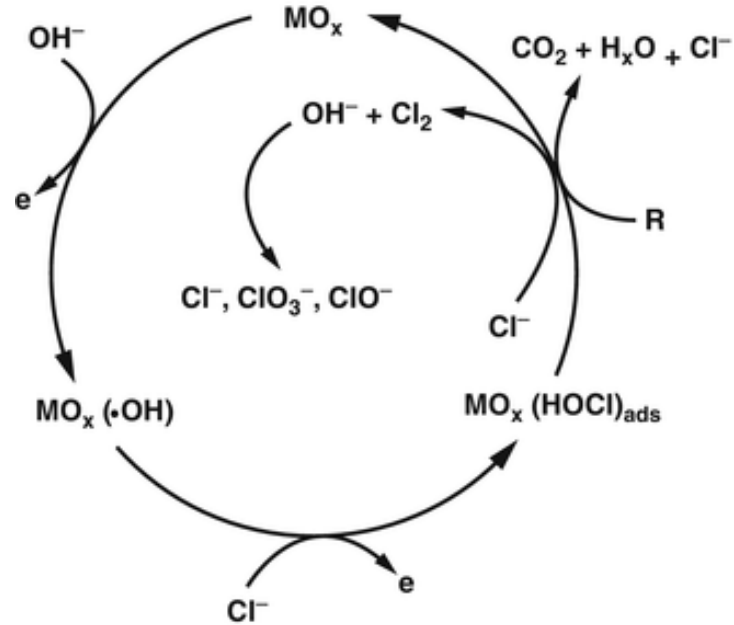
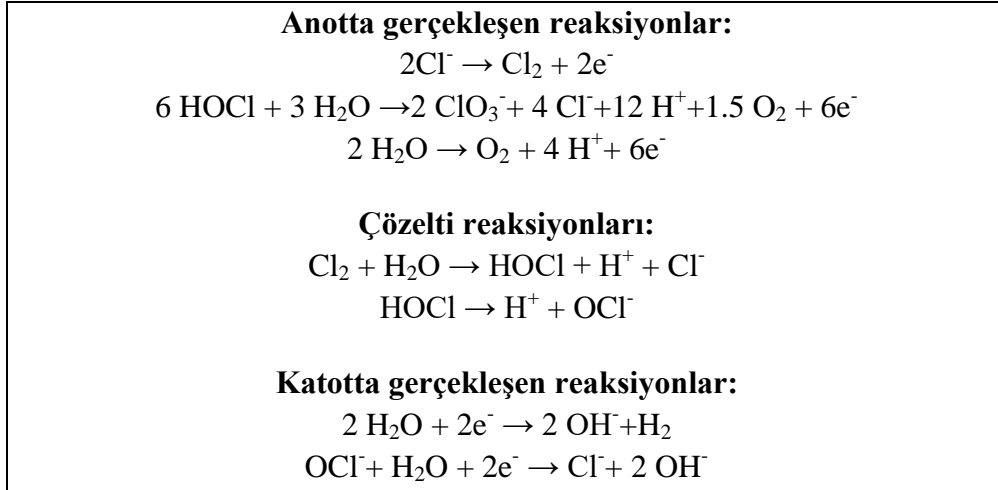


Aşağıda Şekil 2.5.’te Comninellis ve arkadaşları tarafından önerilen organik bileşiklerin aktif ve aktif olmayan elektrokimyasal oksidasyon modeli gösterilmiştir (Panizza and Cerisola, 2009).

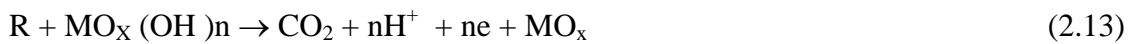
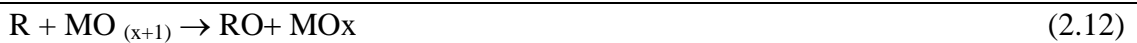


**Şekil 2.5:** Organik bileşiklerin “aktif”(a,c,d,f) ve “inaktif”(a,b,e) anotlarda elektrokimyasal oksidasyon şeması

Yukarıda gösterilen şemada a) OH radikalleri meydana gelmesi, b) OH radikallerinin EO ile O<sub>2</sub> çevrimi, c) Metal oksitlerin meydana gelmesi (MO), d) kimyasal parçalanma sonucu oksijen aktif metal oksitin çevrimi, e) OH radikalleri yardımıyla organik bileşiklerin (R) EK bölünmesi, f) Organik bileşiklerin daha aktif metal oksitler vasıtasıyla EK çevrimini ifade etmektedir.



**Şekil 2.6:** Klorlu ortamda organik maddelerin anot yüzeyinde dolaylı parçalanması



Bu denklemlerde; R ile gösterilen, organik bileşikler; n: anot yüzeyinde tutunan hidroksit iyonlarının miktarıdır. Elektrokimyasal dönüşüm boyunca organik maddeler belirli oranda parçalanır ve su ortamından tamamıyla giderilmek istenirse ardından ilave bir arıtım prosesi gerekebilir. Bunun tersine elektrokimyasal çevrim sonucunda son ürünlerin CO<sub>2</sub> ve su olması tam bir arıtım olduğunun ispatıdır (Christos Comninellis, 1994).

#### **2.4.14. Elektrooksidasyona etki eden parametreler**

Organik kirlilik içeriği yüksek atıksuların arıtımına etki eden faktörler şöyledir;

- ✓ Ön arıtım,
- ✓ Kullanılan anot materyali,
- ✓ Atıksu pH'ı,
- ✓ Akım yoğunluğu,
- ✓ İlave edilen destekleyici elektrolit çeşitleri ve konsantrasyonları,
- ✓ Elektrotlar arası mesafe,
- ✓ Kirletici partikül büyüklüğü,

**Ön arıtım:** Ön arıtım prosesi genel olarak tüm arıtım yöntemlerinde verimi arttıran önemli işlemlerden biridir. Elektrokimyasal işlemlerde de katı parçacık maddelerin ön arıtımla sistemden uzaklaştırılması anot yüzeyinde temasın engelsiz yapılmasını sağlayarak verime olumlu katkılar sunmaktadır.

**Anot Malzemesi:** Elektrooksidasyonda kullanılan anot materyali prosesi etkileyen temel faktörlerden birisidir. Anotların katalitik aktivitesi ve akım etkisiyle meydana gelen aşınma elektrooksidasyon için son derece önemlidir. Anotların direnci arıtım verimini ve anot kullanım ömrünü arttırmaktadır. Yapılan deneylerde de titanyum üzeri rutenyum oksit kaplama (Ti/RuO<sub>2</sub>) ve titanyum üzeri iridyum oksit kaplama (Ti/IrO<sub>2</sub>) olmak üzere 2 farklı anot türü denenmiştir. Aşağıda Tablo 2.7'de farklı anotlara ait oksijen oluşum potansiyelleri verilmiştir.

**Tablo 2.8:** Farklı anotlara ait oksijen oluşum potansiyelleri

Anot Türleri	Değer (V)
Pt	1,3-1,6
IrO <sub>2</sub>	1,6
Grafit	1,7
PbO <sub>2</sub>	1,9
SnO <sub>2</sub>	1,9
Pb-Sn	2,5
Ebonex (Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub> )	2,2
Si/BDD	2,3
Ti/BDD	2,7-2,8

**Tablo 2.9:** Bazı Kimyasal Reaktanların Oluşum Potansiyelleri

Oksidanlar	Oluşum potansiyelleri
H <sub>2</sub> O/ •OH (hidroksil radikali)	2.80
O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> (ozon)	2.07
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> (peroksodisülfat)	2.01
MnO <sub>2</sub> /MnO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (permanganat iyonu)	1.77
H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (hidrojen peroksit)	1.77
Cl <sup>-</sup> /ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (klor dioksit)	1.57
Ag <sup>+</sup> /Ag <sup>2+</sup> (gümüş (II) iyonu)	1.5
Cl <sup>-</sup> /Cl <sup>2</sup> (klor)	1.36
Cr <sup>3+</sup> /Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (dikromat)	1.23
H <sub>2</sub> O/O <sub>2</sub> (oksijen)	1.23

Yukarıda Tablo 2.9’da bazı kimyasal reaktiflerin oluşum potansiyelleri verilmiştir (Vardar B, 2006)

**pH:** pH, ortamda oluşan elektrolitik reaksiyonları direkt olarak etkilediği için önemli bir parametredir. Elektrooksidasyonda da hidroksil radikallerinin oluşumu için pH birinci derece etkindir. Hidroksil radikallerinin belirli bir pH değeri dışında oluşum yüzdesi azalmaktadır. Proses sonucu ayrıca pH değişimi de olabilmektedir. Elektrooksidasyonda pH zamanla düşme eğilimindedir. Arıtım verimleri başlangıç atıksu pH’ına bağlı olduğu gibi aynı zamanda reaksiyon sonundaki pH değerlerine de bağlıdır. Yapılan denemelerde de farklı başlangıç pH değerlerinde çalışmalar yapılmış ve anot türlerine göre farklı sonuçlar elde edilmiştir. Atıksuyun özelliğine de bağlı olarak yüksek asidik ve bazik şartların uygun olmadığı görülmüştür.

**Akım yoğunluğu:** Elektrokimyasal arıtım yöntemlerinde akım yoğunluğu arıtım süresi ve verimi için en önemli parametredir. Akım yoğunluğu arttıkça birim yüzeyden geçen akım

miktarı artacağından hem verimi hem de arıtım süresini etkilemektedir. Fakat belirli bir akım yoğunluğunun üzerinde verimde meydana gelen değişim az olduğunda maliyeti düşürmek açısından optimum akım yoğunluğun tercih edilmesi gerekmektedir.

**Eklenen Destek Elektrolit Türü ve Konsantrasyonu:** Elektrooksidasyon prosesinin verimli kullanım şartlarından biri atık suyun yüksek iletkenliğe sahip olmasıdır. Bu yüzden suyun iletkenliğini artırmak amacıyla destek elektrolit eklenmektedir. Bunlar iletkenliğin yanı sıra prosesin hızını ve verimini artırmak için ilave edilir.

#### **2.4.15. Elektrooksidasyon yönteminin avantajları**

- ✓ Kimyasal madde kullanımına gerek kalmaksızın arıtım elektrotlar aracılığıyla sağlanır ve kimyasal yüküne gerek kalmaz.
- ✓ Elektriğin ucuz olduğu yerlerde özellikle maliyet düşüktür ve basit ekipman gerektirir.
- ✓ Prosesin kontrolü ve kurulumu kolaydır.
- ✓ Yüksek organik içerikli atık suların arıtımı için uygun ve verimli bir prosestir.

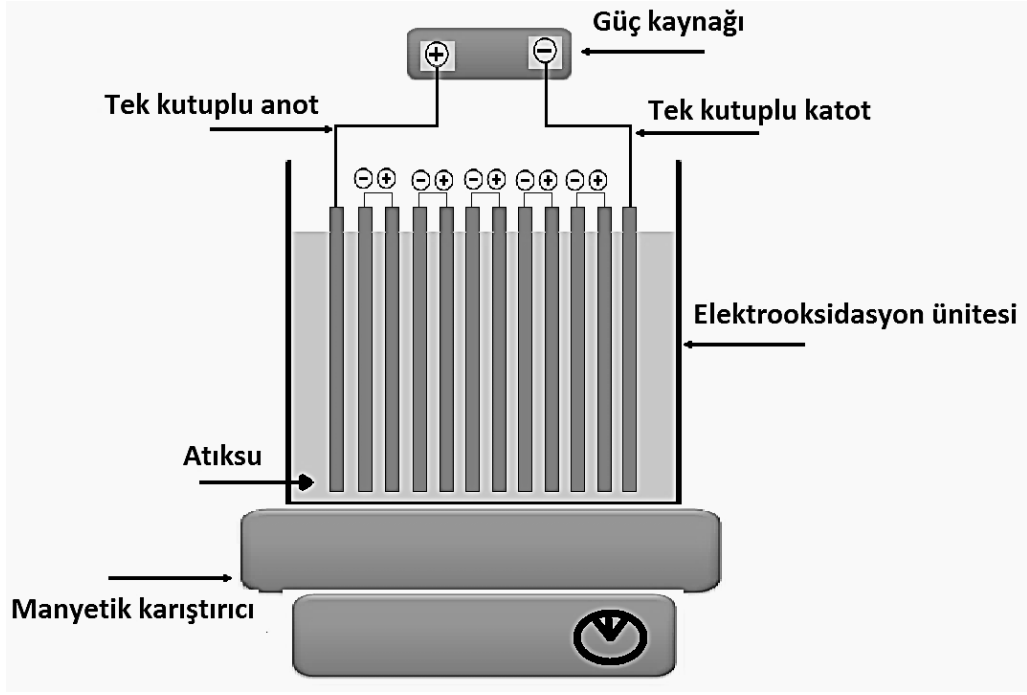
#### **2.4.16. Elektrooksidasyon yönteminin dezavantajları**

- ✓ Elektrot kirliliğinin önlenmesi gerekmektedir.
- ✓ Ucuz ve uzun ömürlü elektrotlar gerektirir.
- ✓ Arıtılacak suyun belirli bir iletkenliğe sahip olması istenir.
- ✓ Anot yüzeyi ile temas eden su miktarı azaldığında verimi düşürebilir.

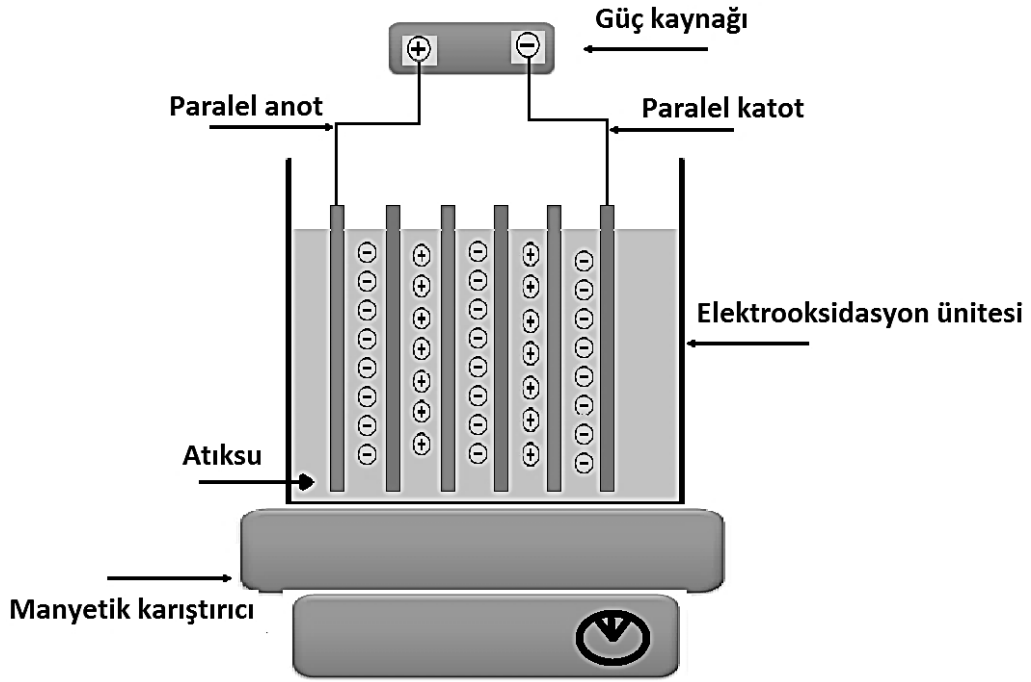
#### **2.4.17. Elektrot Düzenlemeleri**

Elektrooksidasyon reaktörü anot ve katottan oluşan basit bir düzenektir. Güç kaynağı bağlanarak sisteme elektrik verilen ve manyetik bir karıştırıcı ile karıştırma işlemi gerçekleştirilen kolay kurulumu sahip bir düzenekten oluşmaktadır. Aşağıda iki farklı elektrooksidasyon düzeneği Şekil 2.7 ve 2.8’de gösterilmiştir (Fil, 2014).





Şekil 2.7: Seri bağlı monopolar elektrooksidasyon düzeneği



Şekil 2.8: Seri bağlı bipolar elektrooksidasyon düzeneği

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Atıksu Temini ve Karakteristiği

Yapılan denemelerde kullanılan atıksu günlük minimum 300 kkbaş ve 100 büyükbaş hayvan kesimi yapılan bir tesisin arıtma sisteminin giriş ızgara yapısının çıkışından alınmıştır. Atıksuya ait özellikler aşağıda Tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1:** Atıksuda llen parametreler ve değerleri

<b>PARAMETRE</b>	<b>En yüksek</b>	<b>En düşük</b>	<b>Ortalama</b>
Toplam KOİ	6691,20	626,45	3099,82
Çözünmüş KOİ	6565,80	605,34	2726,96
KOİ/TKOİ	1,00	0,57	0,87
BOİ	5145,00	325,00	2173,00
Askıda Katı Madde	520,00	35,00	158,91
Toplam Katı Madde	13635,00	310,90	2688,30
Toplam Azot	632,00	48,00	213,67
Amonyum Azotu	144,00	2,30	50,96
Nitrat Azotu	44,00	5,00	13,36
Toplam Fosfor	80	7	33
Yağ-Gress	387,50	21,4	124,7
pH	7,8	5,9	6,3
İletkenlik	4,98	2,90	4,3

**Tablo 3.2:** Değişik mezbaha atıksularının kimyasal özellikleri

Endüstri	BOİ <sub>5</sub> mg/L	KOİ mg/L	pH	Yağ mg/ L	TKM mg/L	TAK M mg/L	Referans
Mezbaha	658	1494	7,8	-	-	19717	(Vidal et al., 2016)
Mezbaha	10172,5	16910	7,28	-	16218	7267	(Loganath and Mazumder, 2018)
Mezbaha	-	10604	-	1881	5162	-	(Jensen et al., 2015)
Mezbaha	4635	15900	8,10	-	-	6400	(Bustillo-Lecompte and Mehrvar, 2015)
Sentetik mezbaha	1143	2305	6,52	-	-	-	(Cao and Mehrvar, 2011)
Mezbaha	1339	2080	7	-	-	103,5	(C. F. Bustillo-Lecompte and M. Mehrvar, 2017)



**Şekil 3.1:** Denemelerde kullanılan anot katot düzeneği dizilimi

### 3.2 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 cm<sup>2</sup>'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. Lovibond Multi Direct marka fotometre ile renk ölçümleri 430 nm, bulanıklık ölçümleri 530 nm ve AKM ölçümleri 660 nm dalga boylarında yapılmıştır. KOİ analizleri sonuçları 600 nm dalga boyunda Hach Lange DR5000 marka spektrofotometre ile ölçülmüştür. Katot malzemesi olarak elek tipi kaplanmamış titanyum, anot malzemesi olarak Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> ve Ti/Pt elek tipi anotlar kullanılmıştır. Elektrotlar 70 mm x100 mm x 2 mm boyutlarında ve elektrotlar arası mesafe 5 mm'dir. Arıtma parametreleri olarak destek elektrolit türü ve konsantrasyonu, atık su başlangıç pH değeri ve akım yoğunluğunun etkileri araştırılmıştır. Destek elektrolit olarak NaCl, KCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaNO<sub>3</sub> tuzları kullanılmıştır. Bir elektrot, güç kaynağının pozitif kaynağına (anot) bağlanır ve diğer elektrot, negatif kaynağa (katot) bağlanır (Chakik et al., 2017). Deneysel düzenek Şekil 3.2'de verilmiştir. Ayrıca 10.12 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda atıksudan renk gideriminin gösterimi Şekil 3.3-3.4'te gösterilmiştir.



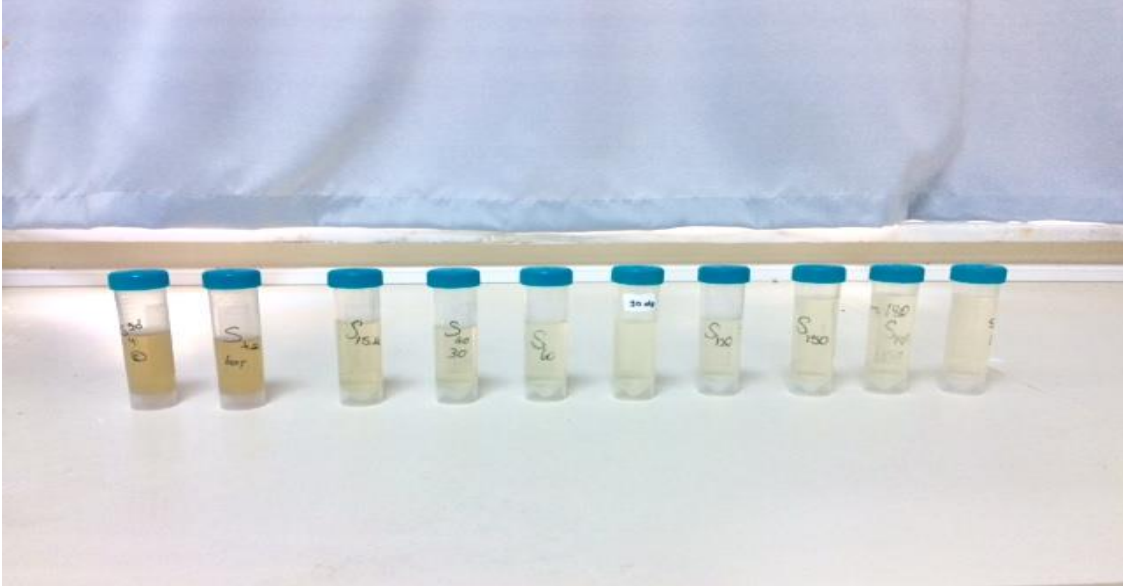
**Şekil 3.2:** Çalışmalarda kullanılan deney düzeneği

**Tablo 3.3:** Benzer atıksularda kullanılan elektrotlar ve giderim verimleri

Atıksu	Kullanılan Elektrot	Giderim verimi	Optimum koşullar	Referans
Hayvancılık Atıksu	Demir ve alüminyum	Sürekli Sistem; pH:5, elektroliz süresi: 30 dakika ve voltaj: 29,5 V	KOİ:%92,8	(Pinedo-Hernández et al., 2020)
Tavuk işleme tesisi atıksu	Demir	Akım yoğunluğu: 4 mA/ cm <sup>2</sup> Süre: 6 dk	KOİ:%96,2; BOİ <sub>5</sub> /KOİ% 53	(Gomes et al., 2018)



Şekil 3.3: 10,12 mA/cm<sup>2</sup> akımda deneyin ilk 10 dakikasında atıksuyun görüntüsü



Şekil 3.4: Deneyler sırasında alınan numunelerin renk değişimi

### 3.3 Deneysel koşullar ve çalışılan parametreler

Deney şartları ve çalışma aralıkları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

**Tablo 3.4:** Giderimi etkileyen çalışma parametreleri (Ti/Pt anot)

Çalışılan Parametre	Parametre Aralığı	Sabit Tutulan Değişkenler
Destekleyici elektrolit türü	NaCl; KCl; NaNO <sub>3</sub> ; Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pHi≈7 (Doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm
Destekleyici elektrolit konsantrasyonu (NaCl, M)	0, 0,1, 0,2 0,3, 0,4	pHi≈7 (Doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm
Atıksu başlangıç pH'sı (pHi)	3; ≈7.0 (Doğal pH), 9; 11	J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm DE:0,2 M NaCl
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	4,06; 6,09; 8,12; 10,15; 12,18	pHi≈7 (Doğal), T=20±1°C, KH=400 rpm DE:0,2 M NaCl

**Tablo 3.5:** Giderimi etkileyen çalışma parametreleri (Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot)

Çalışılan Parametre	Parametre Aralığı	Sabit Tutulan Değişkenler
Destekleyici elektrolit türü	NaCl; KCl; NaNO <sub>3</sub> ; Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pHi≈7 (Doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm
Destekleyici elektrolit konsantrasyonu (NaCl, M)	0; 0,1; 0,2;0,3; 0,4	pHi≈7 (Doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm
Atıksu başlangıç pH'sı (pHi)	3; ≈7.0 (Doğal pH); 9;11	J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm DE:0,2 M NaCl
Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	4,06; 6,09; 8,12; 10,15; 12,18	pHi≈7 (Doğal), T=20±1°C, KH=400 rpm DE:0,2 M NaCl

### 3.4 Analiz Yöntemleri

Mezbaha atıksularının elektrooksidasyonla arıtımında KOİ, renk, bulanıklık ve AKM parametreleri incelenmiştir.

### 3.4.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) analizi

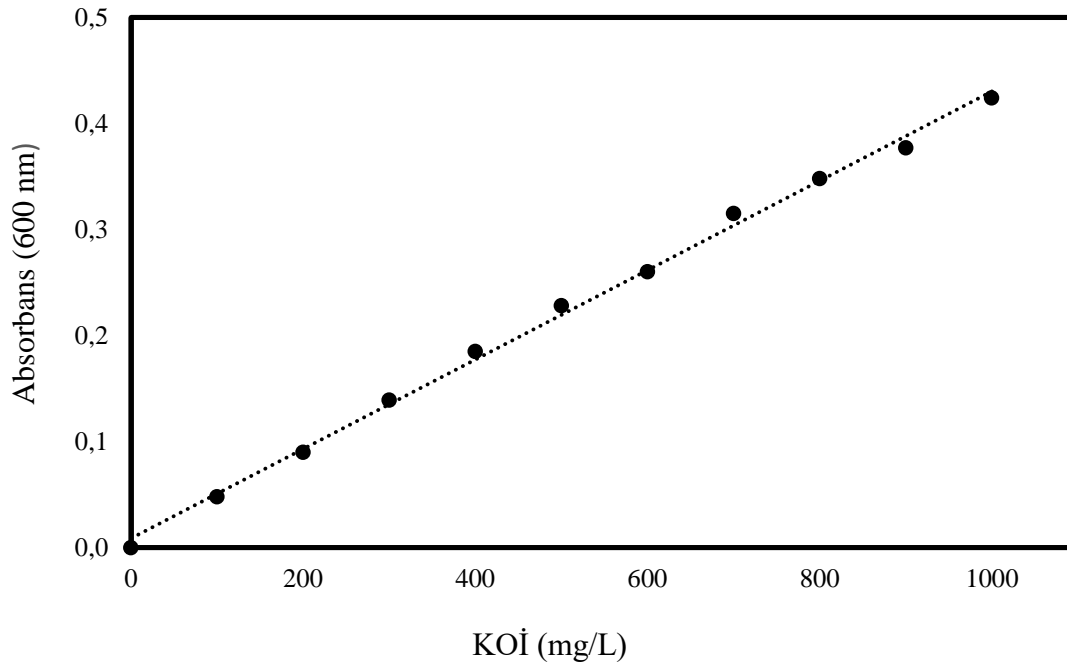
KOİ analizi standart metotlarda (Ma, 2017) belirtilen kapalı sistem (reflux) yöntemine göre yapılmıştır. KOİ ölçümleri için öncelikle çözeltiler hazırlanarak oluşturulan kalibrasyon eğrisi aşağıda Şekil 3.5'te verilmiştir.

#### Çözeltilerin hazırlanmasında kullanılan kimyasallar ve analizin yapılışı

**Potasyum Hidrojen Fitalat:** ( $C_8H_5KO_4$ ,  $M_A=204,23$  g/mol) 850 mg  $C_8H_5KO_4$  saf su ile 1 litreye tamamlanmıştır. KOİ analizi için standart kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılmıştır.

**Parçalama çözeltisi:** 10,216 g Potasyum Dikromat( $K_2Cr_2O_7$ ) ve 33 g civa sülfat ( $HgSO_4$ ), 167 mL derişik sülfürik asit içerisinde çözülmüş ve çözelti saf suyla 1 litreye tamamlanarak hazırlanmıştır.

**Asit çözeltisi:** 11 g gümüşsülfat derişik 1 litre sülfürik asit içerisinde çözülmüş ve çözelti saf suyla 1 litreye tamamlanarak hazırlanmıştır. Çözelti 1 gün bekletilerek hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.5: KOİ Analizi için Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi



### 3.5 Deneysel Sonuçların Hesaplanmasında Kullanılan Formüller

#### 3.5.1. Aritım veriminin hesaplanması

$$\eta(\%) = \left( \frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Bu denklemde,  $C_0$  başlangıç anında atıksuda bulunan kirletici miktarı (mg/L)

$C_e = t$  anında atıksuda bulunan kirletici miktarı (mg/L) olarak gösterilmektedir.

#### 3.5.2. Enerji sarfiyatının hesaplanması

$$W \left( \frac{kWsaat}{m^3} \right) = \frac{VxIxt}{v} \quad (3.2)$$

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

#### 3.5.3. Akım yoğunluğunun hesaplanması

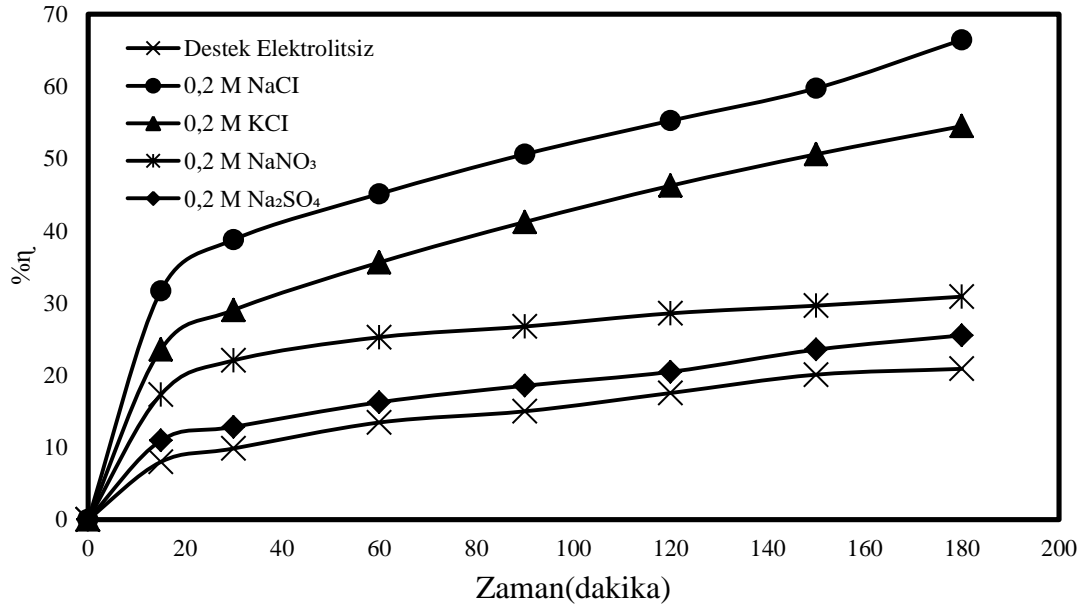
$$J = \frac{I}{A_s} \quad (3.3)$$

Burada,  $J$  akım yoğunluğu (mA/ $cm^2$ ),  $I$ : akım şiddeti (A),  $A_s$  aktif elektrot yüzey alanı ( $cm^2$ ) olarak verilmiştir.

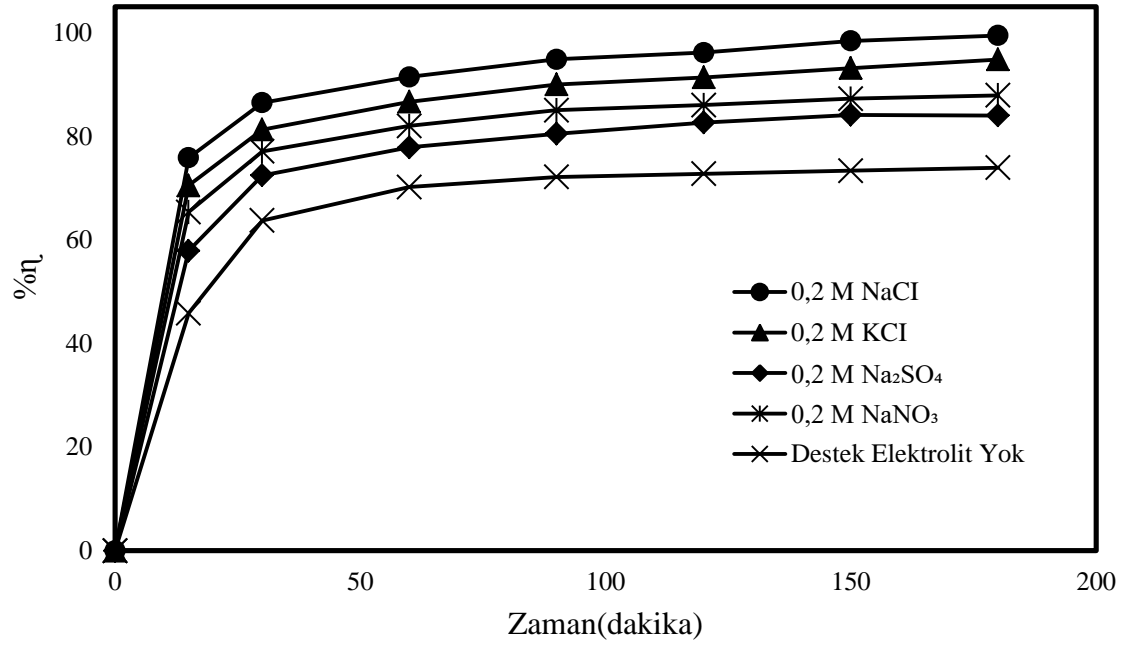
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1.Giderim Verimi Üzerine Destekleyici Elektrolit Türünün Etkisi

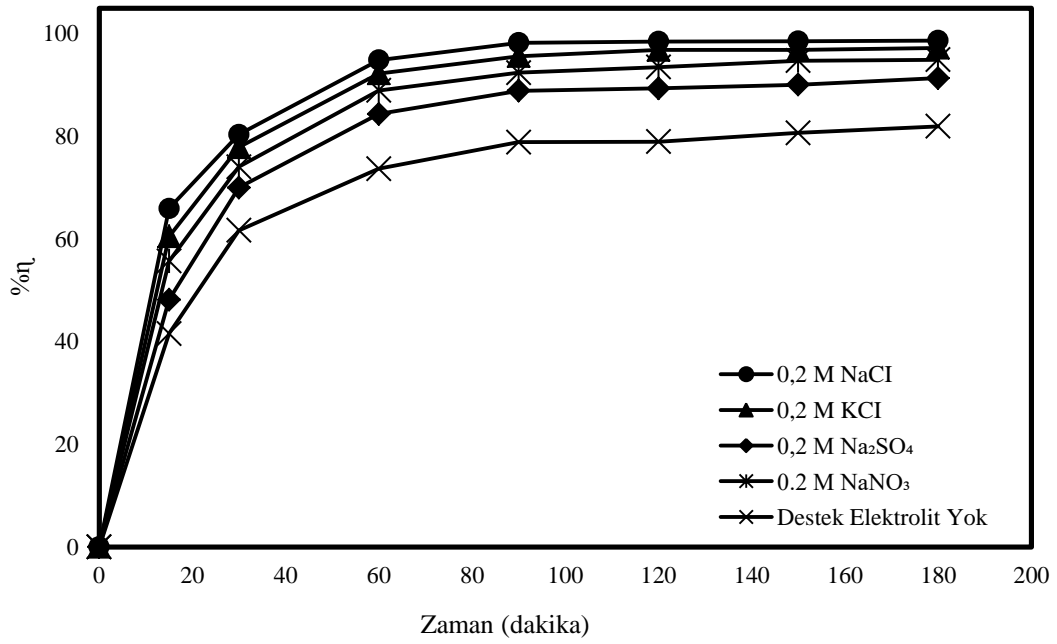
Destekleyici elektrolit türünün giderim verimine etkisi Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anotlar için incelenmiştir. Aynı konsantrasyonlarda NaCl (Sodyum Klorür), KCl (Potasyum Klorür), NaNO<sub>3</sub> (Sodyum Nitrat), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Sodyum sülfat), ve destek elektrolitsiz, 400 rpm karıştırma hızında, 4,06 mA/cm<sup>2</sup> akım şiddetinde ve doğal pH (≈7) şartlarında deneyler yapılmıştır. Aşağıdaki grafikte elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. 3 saatlik deneyler sonucunda en yüksek giderim verimi elde edilen tuzun %66,46 ile NaCl olarak bulunmuştur. Daha sonra sırasıyla %54,50 ile KCl, %30,88 ile NaNO<sub>3</sub>, %25,52 ile Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve %20,88 ile destek elektrolit kullanılmayan deneyler olduğu sonucuna varılmıştır. Renk verimleri ise NaCl, KCl, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve destek elektrolitsiz deneyler için sırasıyla %98,67, %98,26, %94,95, %91,35 ve %81,96 olarak bulunmuştur. Bulanıklık verimleri ise 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. NaCl elektrokimyasal teknoloji üzerindeki doğrudan etkisi nedeniyle en çok tercih edilen ortamlardan biridir. Bunun sebebi elektroliz sırasında klor radikali, hipokloröz asit (HCIO) ve hipoklorit iyonu gibi güçlü oksitleyici türlerin oluşmasıdır. Bu oksitleyici türler, daha hızlı organik bileşik bozulmasını teşvik etmektedir (Aquino Neto and de Andrade, 2009).



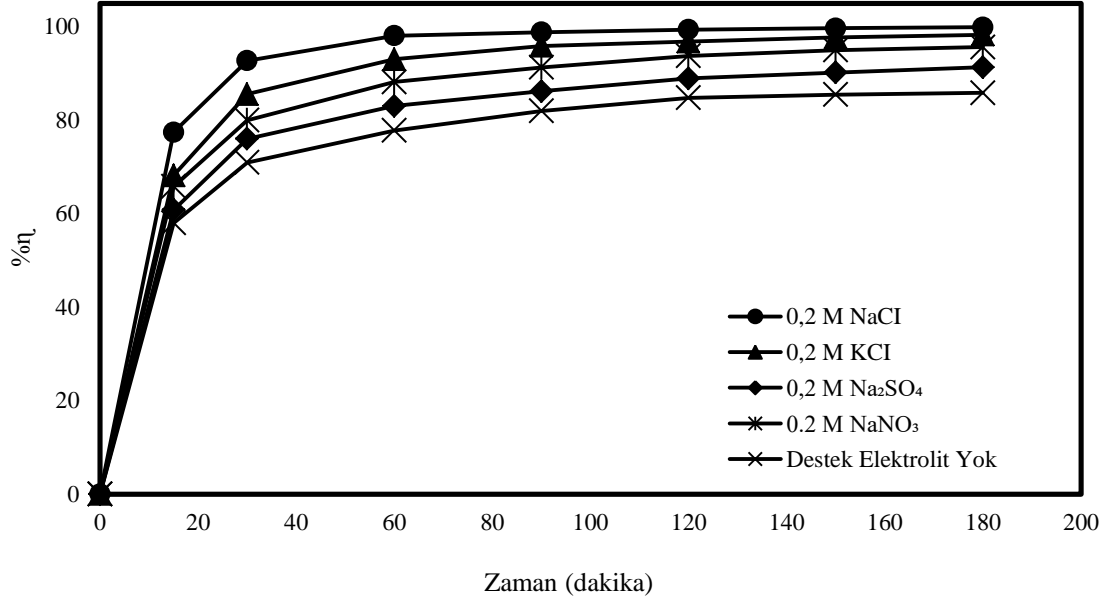
Şekil 4.1: Destekleyici elektrolit türünün KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



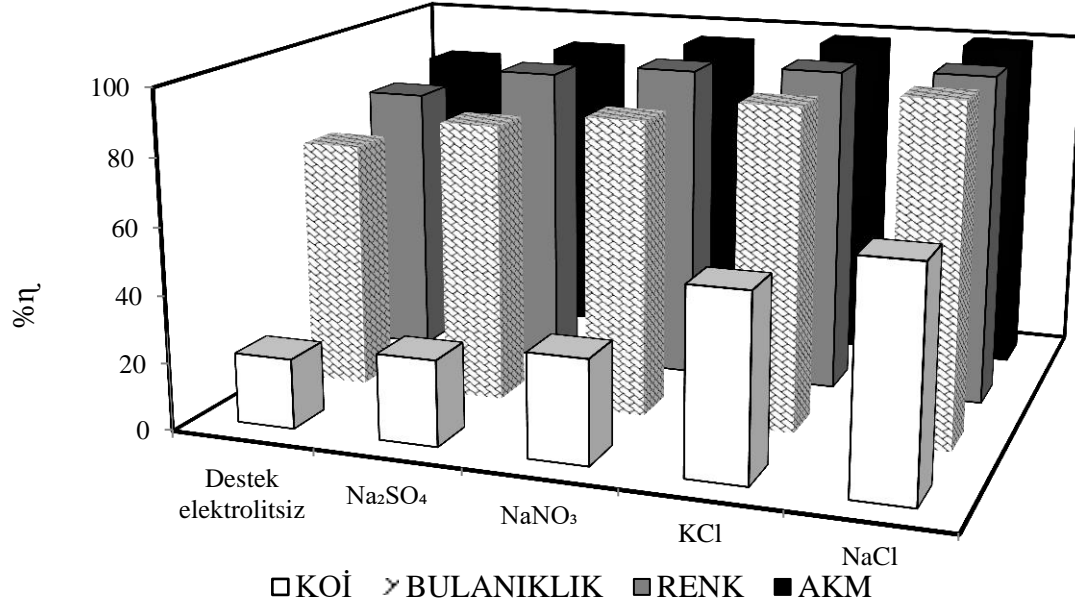
**Şekil 4.2:** Destekleyici elektrolit türünün bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



**Şekil 4.3:** Destekleyici elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



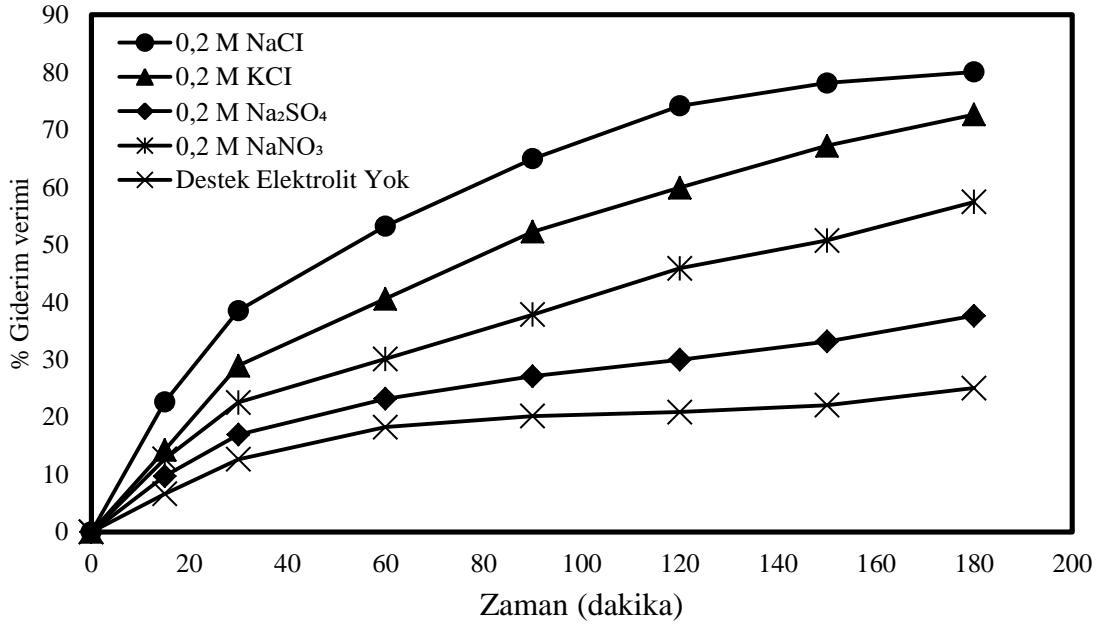
**Şekil 4.4:** Destekleyici elektrolit türünün AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



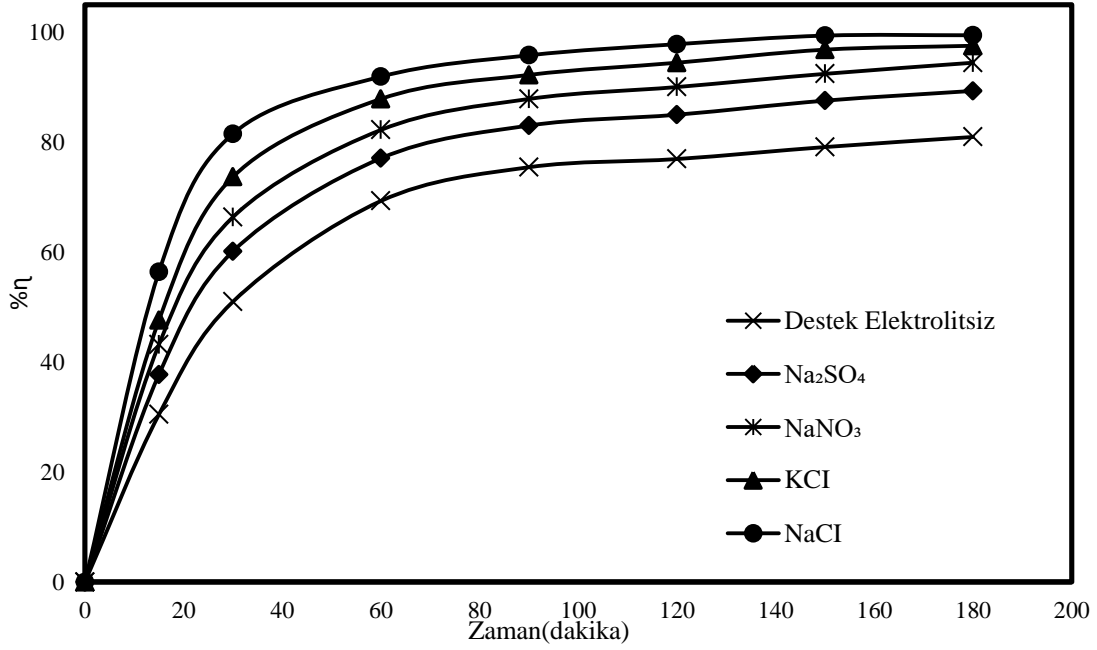
**Şekil 4.5:** KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine destekleyici elektrolit türünün etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M NaCl)

Ti/Pt ile yapılan çalışmalarda destekleyici elektrolit olarak sodyum nitrat, sodyum sülfat, potasyum klorür ve sodyum klorür kullanılmıştır. Bu tuzlar 0,2 M konsantrasyonda, atıksu tabii pH değerinde, 400 rpm karıştırma hızında ve 4,06 mAcm<sup>-2</sup> akım yoğunluğunda

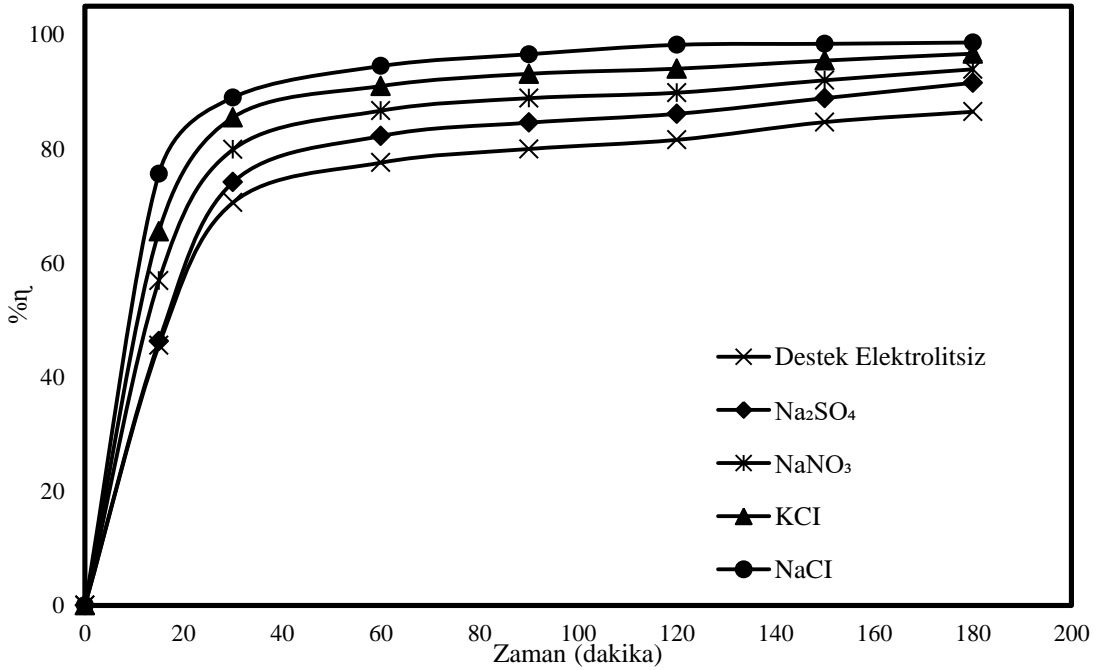
incelenmiştir. KOİ giderim verimleri sodyum klorür, potasyum klorür, sodyum sülfat, sodyum nitrat ve destek elektrolit kullanılmayan denemeler için sırasıyla %80,05, %73,67, %37,63, %57,42 ve destek elektrolitsiz %25,03 olarak bulunmuştur. Renk giderim verimleri sırasıyla %98,64, %97,68, %91,57, %93,94 ve destek elektrolitsiz %86,50 olarak bulunmuştur. 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. Elde edilen sonuçlarda da en yüksek verim sağlayan NaCl tuzu diğer deneyler için en uygun tuz olarak belirlenmiştir. Sonuçlar aşağıda Şekil 4.6-4.10'da gösterilmiştir. Benzer sonuçlar literatürde de mevcuttur (Belal et al., 2021; Hai et al., 2020).



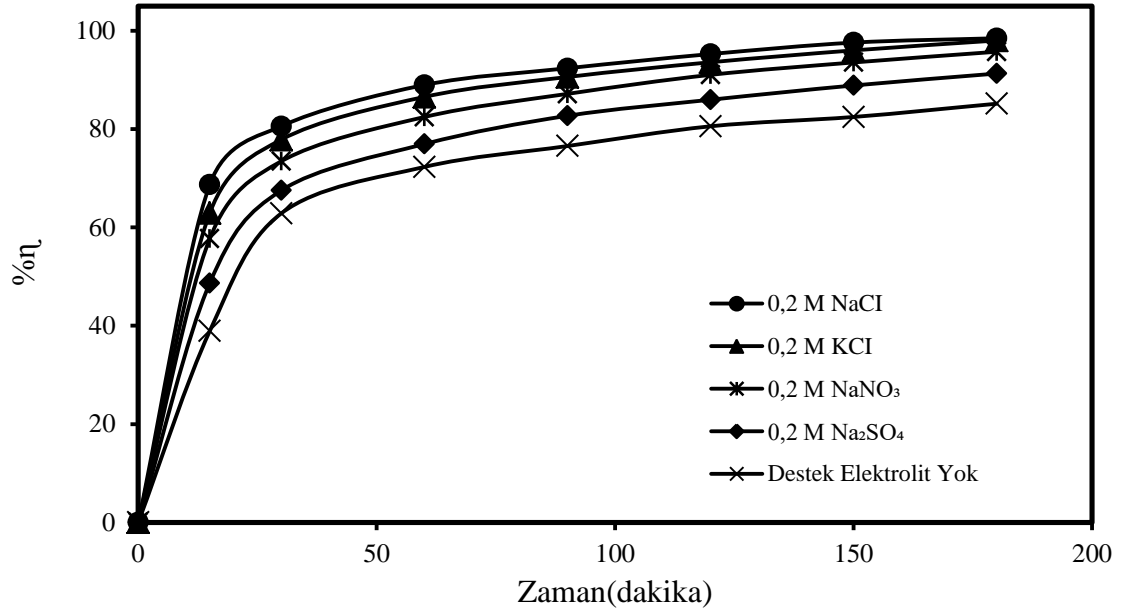
**Şekil 4.6:** Destekleyici elektrolit türünün KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M)



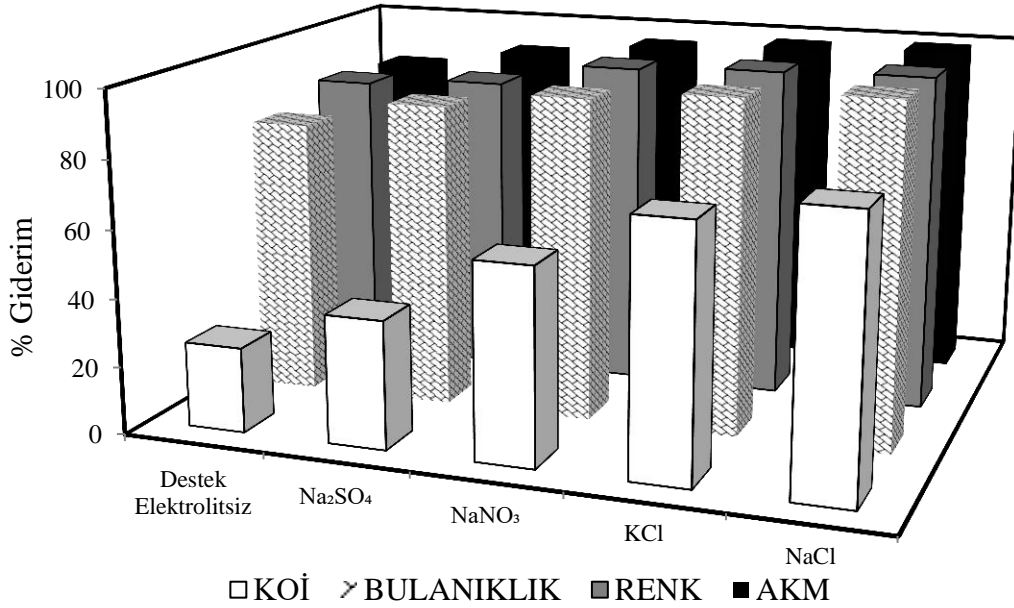
Şekil 4.7: Destekleyici elektrolit türünün bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH $\approx$ 7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M)



Şekil 4.8: Destekleyici elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH $\approx$ 7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M)



**Şekil 4.9:** Destekleyici elektrolit türünün AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M)



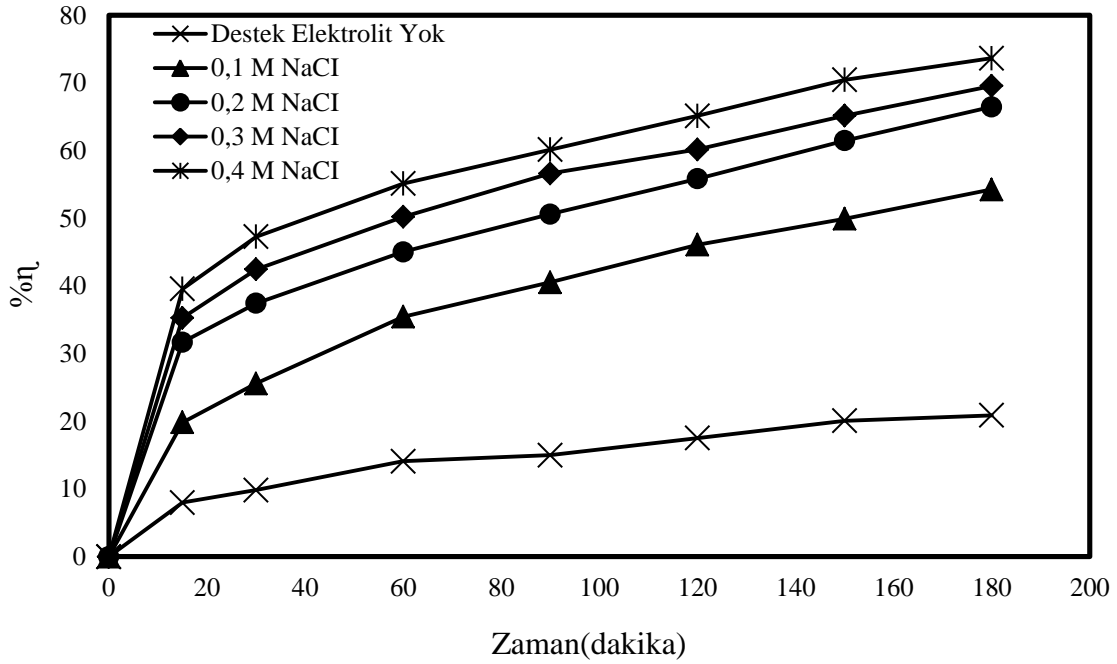
**Şekil 4.10:** KOİ renk bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine destekleyici elektrolit türünün etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.K.: 0,2 M)

Elde edilen sonuçlarda elektrooksidasyonda kullanılan tuzların iletkenliği artırarak arıtım verimine önemli ölçüde etki ettiği gözlenmiştir. En yüksek verim olarak NaCl ve KCl tuzlarının olduğu, NaNO<sub>3</sub> ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tuzlarının ise NaCl ve KCl kadar etkili olmadığı gözlenmiştir. Klorür iyonu elektrooksidasyon denemelerinde arıtıma olumlu yönde etki

etmektedir ve buna bağılı olarak da verimi artırmaktadır. En yüksek verime ulaşılan NaCl tuzunun bundan sonraki denemelerde de kullanılmasına karar verilmiştir.

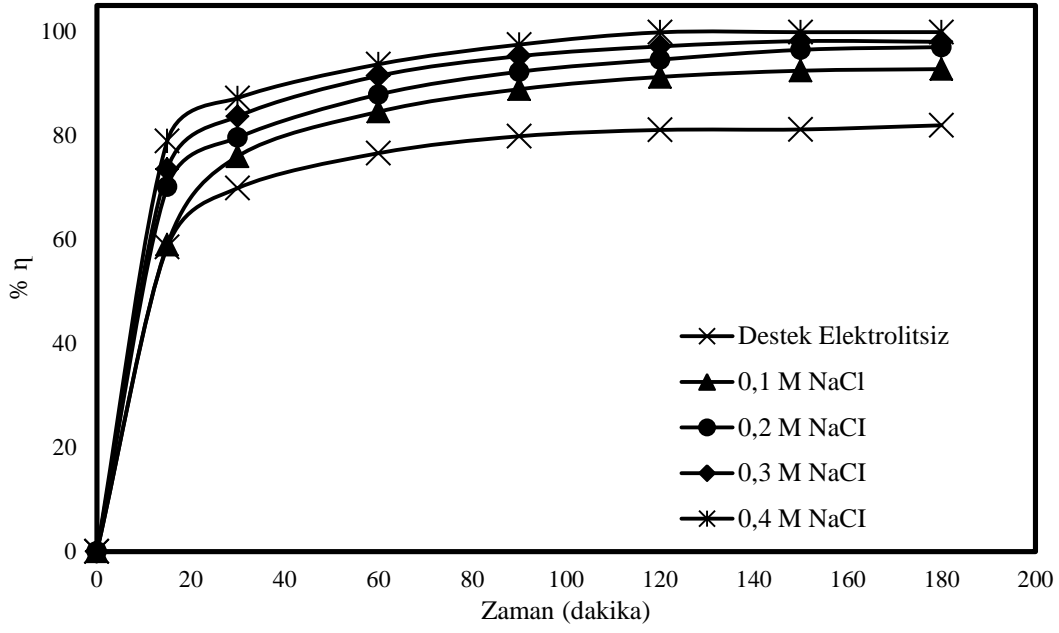
#### 4.2.Giderim Verimi Üzerine Destekleyici Elektrolit Konstrasyonunun Etkisi

Yapılan denemelerde kullanılacak olan destek elektrolitin NaCl olduğu belinlendikten sonra en uygun konsantrasyonu bulmak amacıyla doğal pH, 400 rpm karıştırma hızı ve  $4,06 \text{ mA/cm}^2$  akım şiddeti için 0,1-0,4 M konsantrasyon aralığında değerler için incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda KOİ giderimi için elde edilen verimler destek elektrolitsiz, 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M ve 0,4 M destek elektrolitler için sırasıyla %20,88, %52,25, %66,46, %70,14 ve %74,48 olarak bulunmuştur. Şekillerde de görüleceği gibi konsantrasyon arttırıldığında arıtma veriminin de yükseldiği fakat 0,2 M sonrasında verimin kayda değer miktarda artmaması dolasıyla ve maliyet dikkate alınarak optimum konsantrasyonun 0,2 M olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Benzer çalışmalarda da NaCl'nin uygun elektrot olduğu görülmüştür (Afanga et al., 2021).

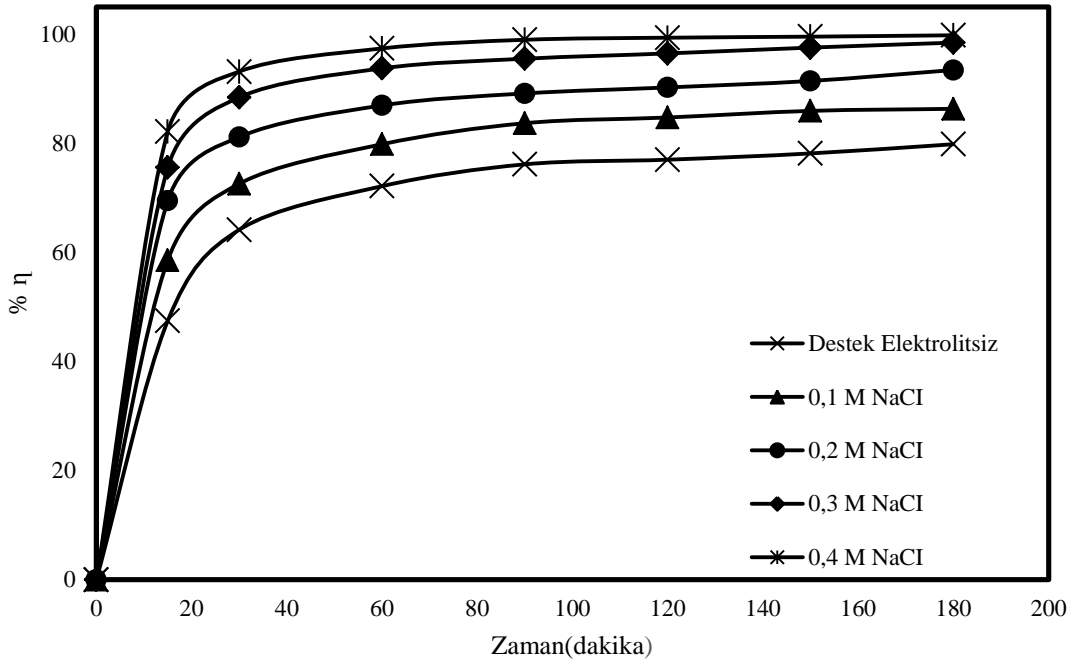


Şekil 4.11: Farklı NaCl konsantrasyonlarının KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J:  $4,06 \text{ mA/cm}^2$ , D.E.T: NaCl)

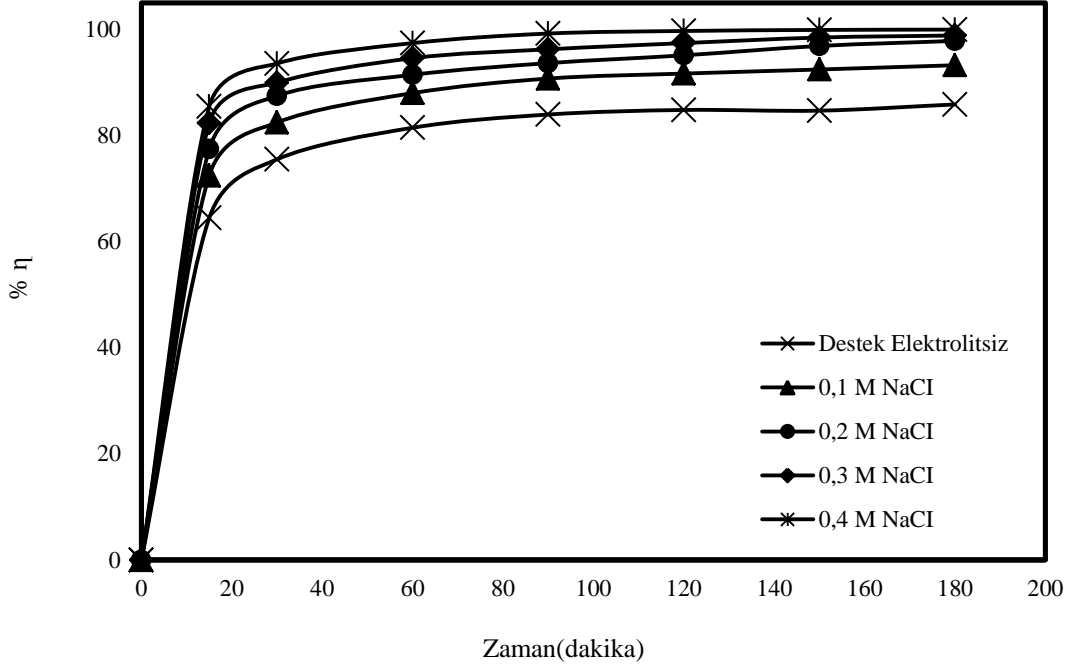




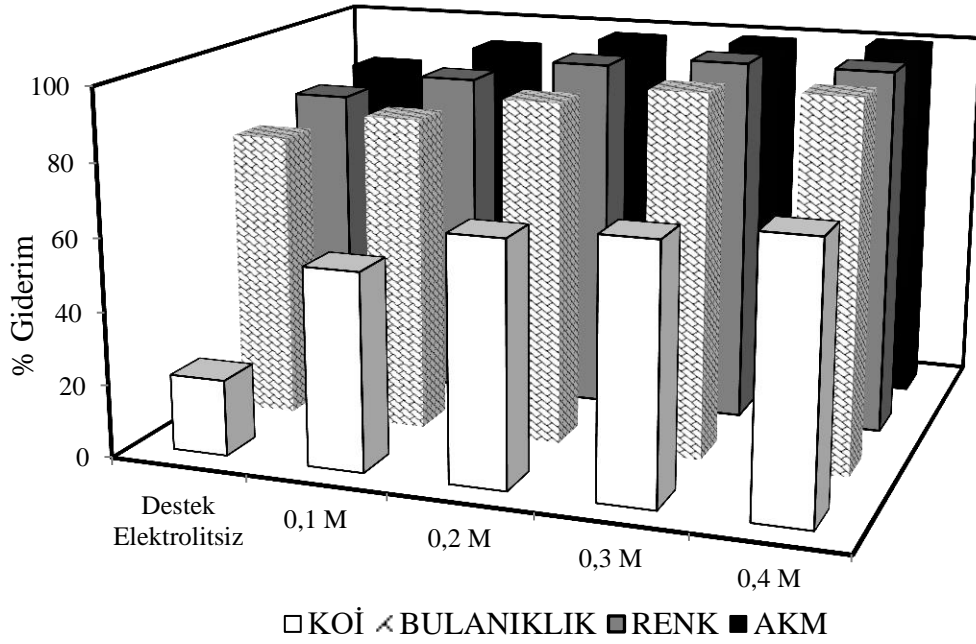
**Şekil 4.12:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.: NaCl)



**Şekil 4.13:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.: NaCl)



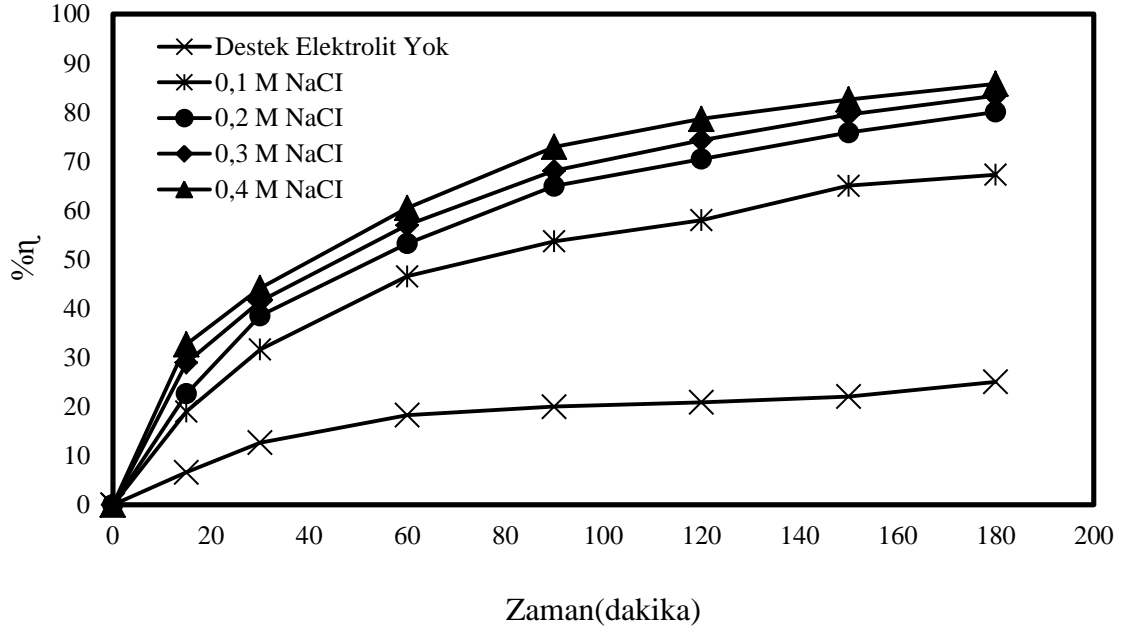
**Şekil 4.14:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.: NaCl)



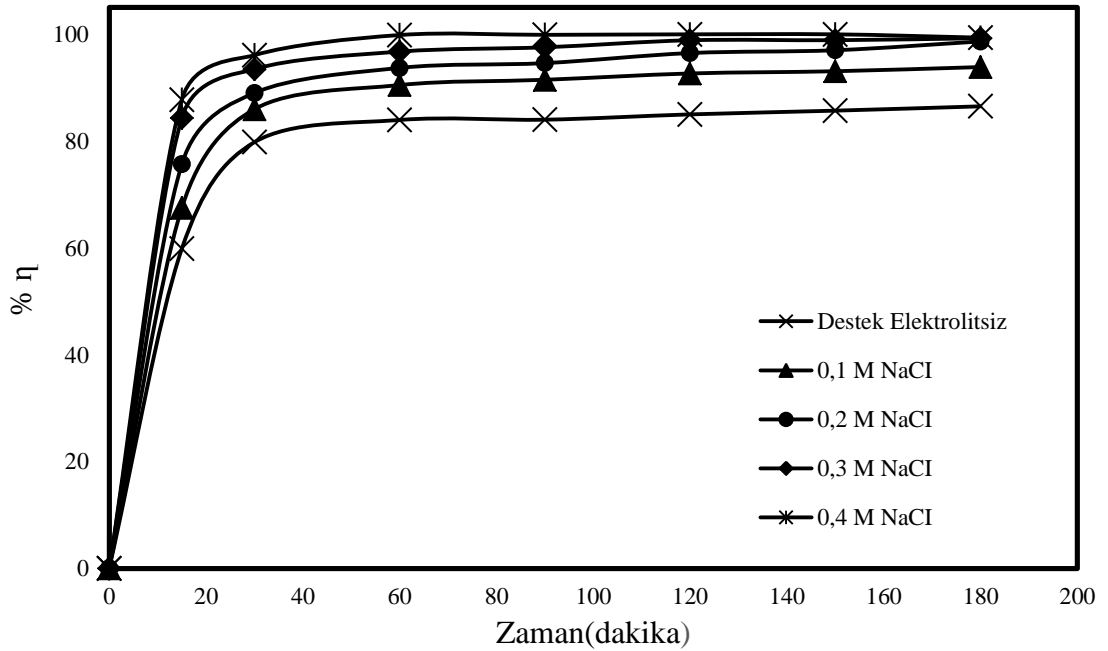
**Şekil 4.15:** KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine farklı NaCl konsantrasyonlarının etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.: NaCl)

Anot malzemesi olarak Ti/Pt'nin kullanıldığı denemelerde destek elektrolit konsantrasyonunun etkisi 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 M ve destek elektrolitsiz olarak farklı konsantrasyonlarda, atıksuyun doğal pH değerinde ve 4,06 mA/cm<sup>2</sup> akım şiddetinde

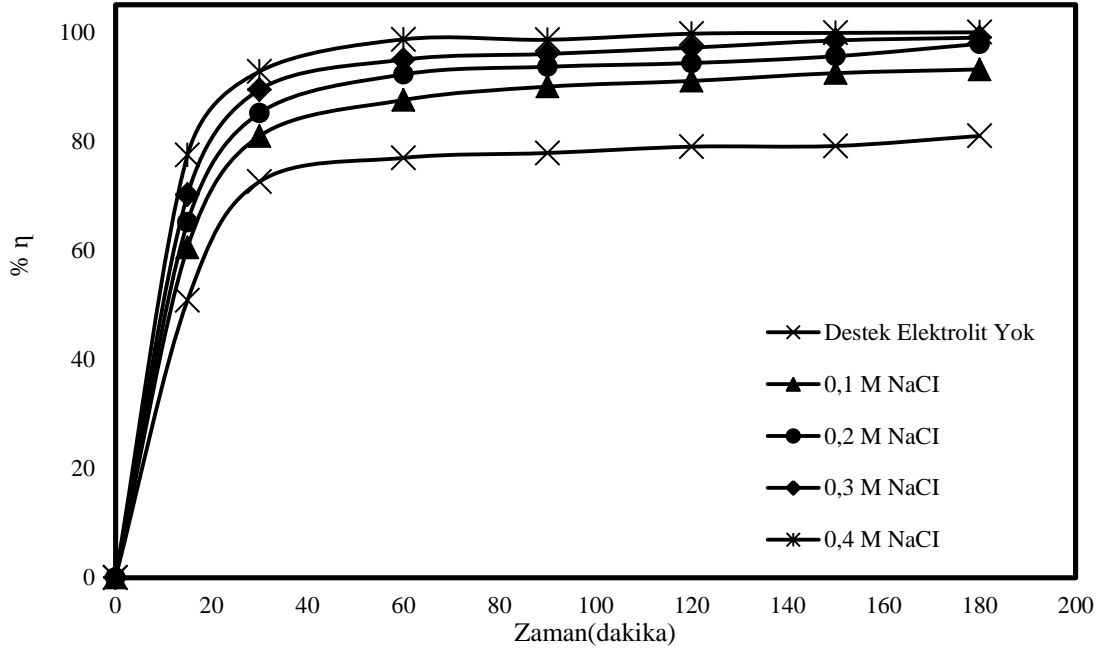
gerçekleştirilmiştir. İncelenen sonuçlarda verimler sırasıyla %67,25, %80,05, %83,36, %85,78 ve %25,03 olarak bulunmuştur. Sonuçlar Şekil 4.16-4.20’de verilmiştir.



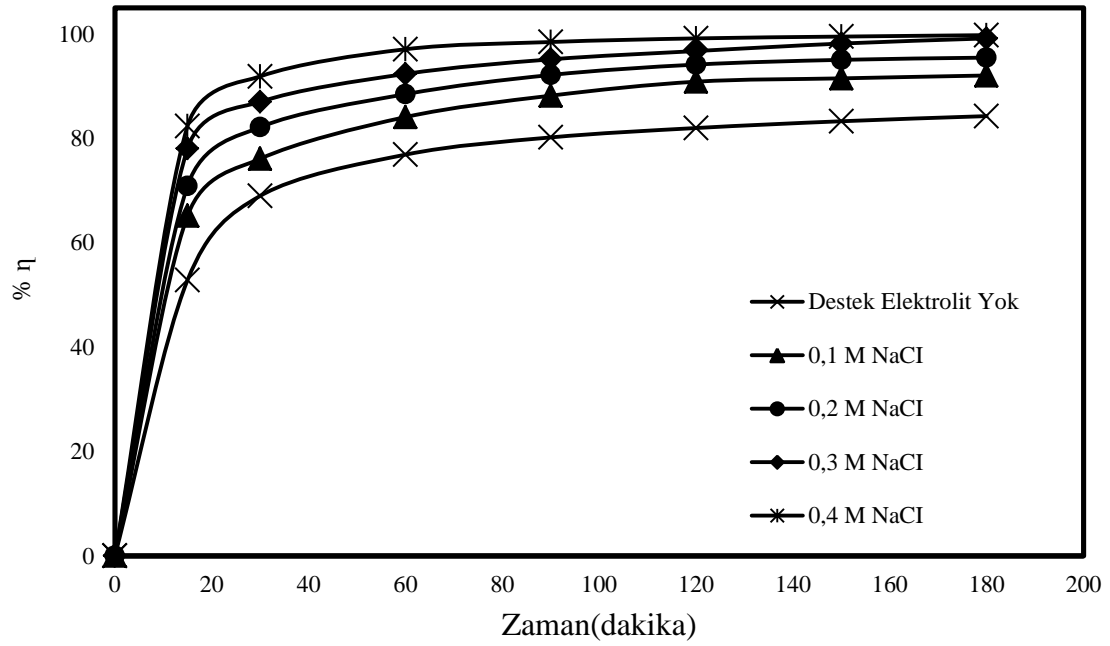
**Şekil 4.16:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:NaCl)



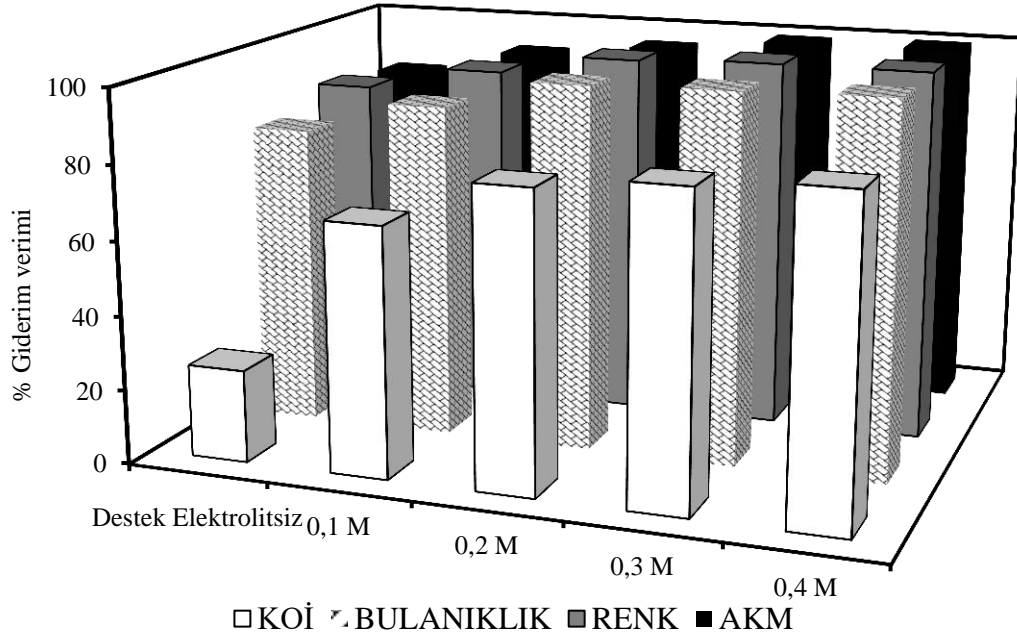
**Şekil 4.17:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.: NaCl)



**Şekil 4.18:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH $\approx$ 7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm $^2$ , D.E.T.: NaCl)



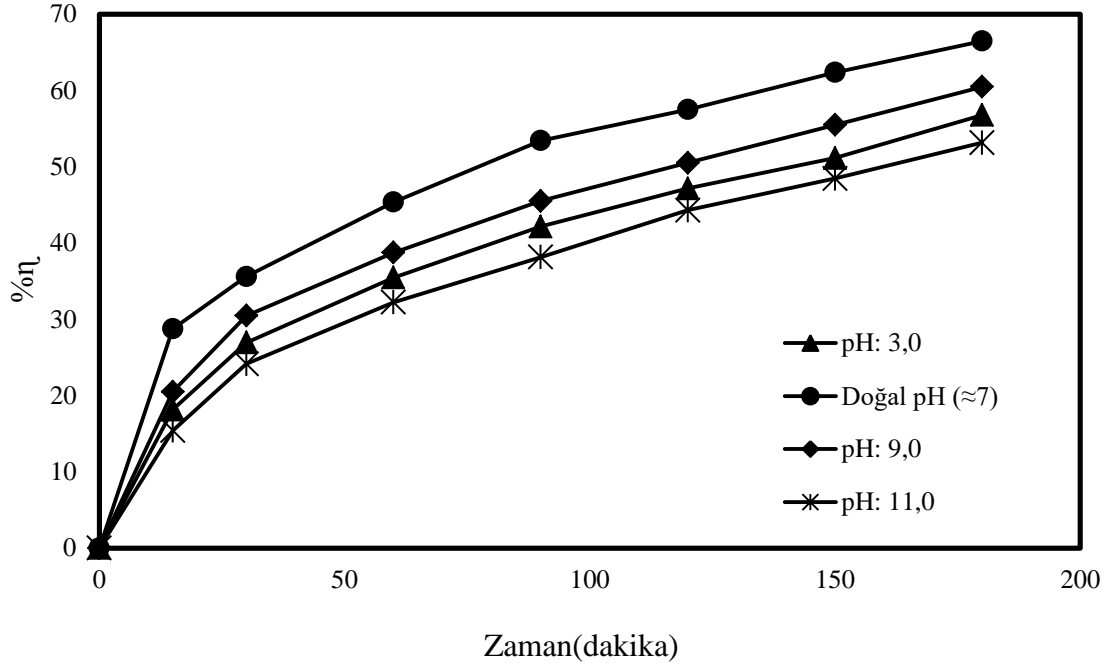
**Şekil 4.19:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH $\approx$ 7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm $^2$ , D.E.T.: NaCl)



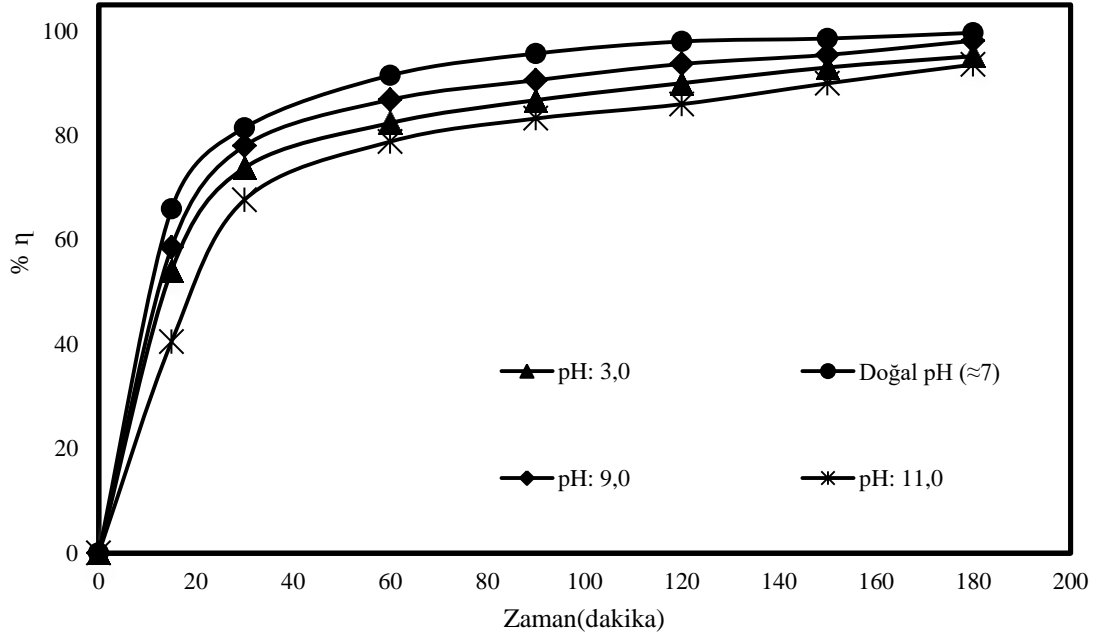
**Şekil 4.20:** KOİ,renk,bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine farklı NaCl konsantrasyonlarının etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.: NaCl)

#### 4.3. Giderim Verimi Üzerine Atıksu Başlangıç pH Değerinin Etkisi

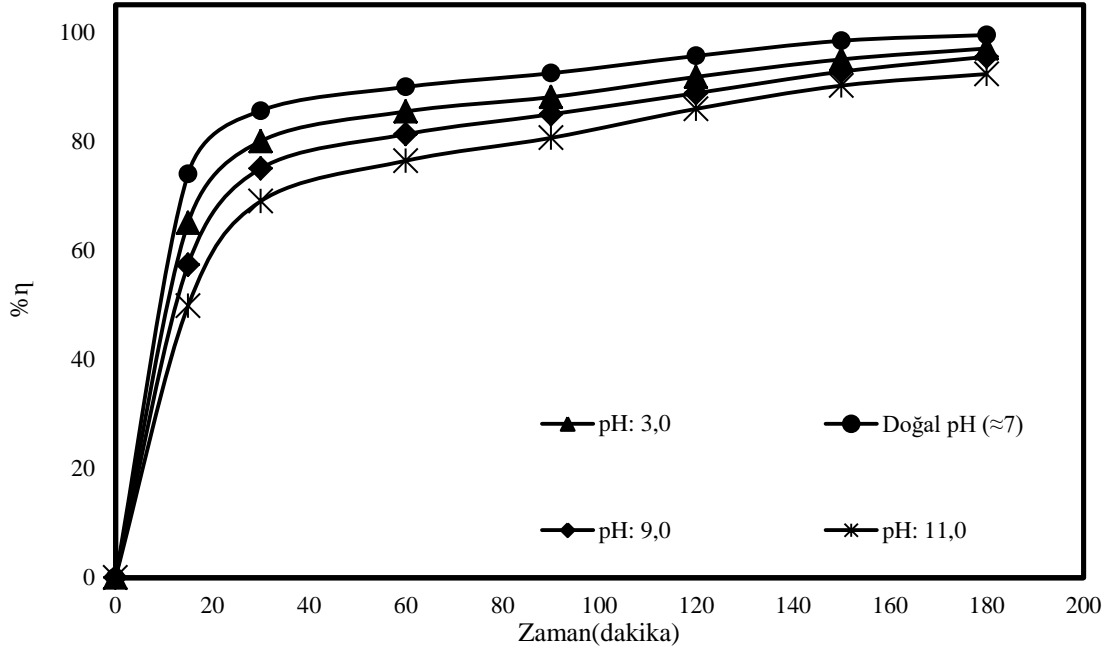
Denemelerin bu bölümünde Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot ile atık su başlangıç pH değeri 3-11 arasında çalışmalar yapılmış ve en ideal olan pH değeri incelenmiştir. 400 rpm karıştırma hızı, Sodyum klorür tuz türü ve 0.2 M konsantrasyonda sodyumklorür tuzu kullanılarak 4,06 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda 3 saatlik reaksiyon süresi için başlangıç pH değerinin etkisi incelenmiş ve bulunan sonuçlar Şekil 4.11-4.14'te verilmiştir. Grafiklerden görüleceği üzere atık su başlangıç pH değeri en yüksek doğal pH olan yaklaşık 7 değerinde en yüksek arıtım verimine ulaşılmıştır. Çok asidik ve çok bazik şartlarda verimin nispeten düştüğü gözlenmiştir. Bu yüzden çalışmalar için optimum pH değeri doğal pH olarak belirlenmiştir. Doğal pH için KOİ, renk bulanıklık ve akm verimleri sırasıyla şöyledir: %66,46, %98,67, %98,47 ve %.98,91 olarak bulunmuştur. Elektrooksidasyon işleminde sulu çözeltinin pH değeri önemli bir kontrol parametresidir. Elektrooksidasyon sırasında çeşitli oksidanlar üretilir. Organiklerin mineralizasyonu türüne, konsantrasyonuna ve oksidasyon potansiyeline bağlıdır (Kaur et al., 2018). Yüksek asidik veya daha düşük pH (pH <4) aralığında, yüksek H<sup>+</sup> iyon konsantrasyonunun mevcudiyeti aktif oksitleyici türleri nötralize eder, bu da bu pH'ta kirleticilerin düşük uzaklaştırma verimlilikleri olarak yansıtılır (Ken and Sinha, 2021).



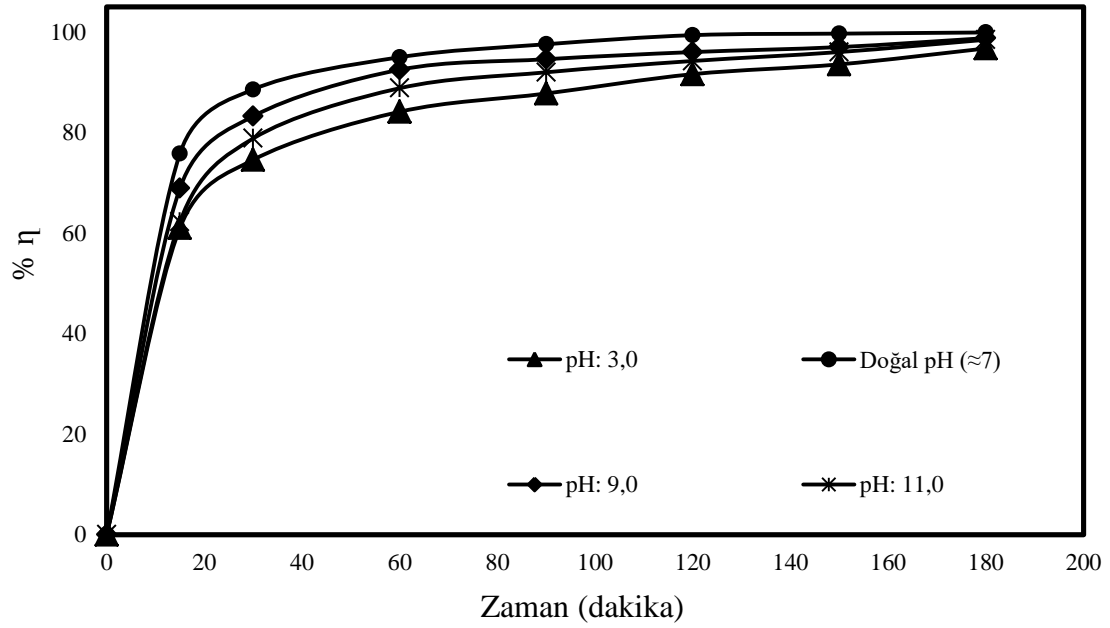
**Şekil 4.21:** Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2M NaCl)



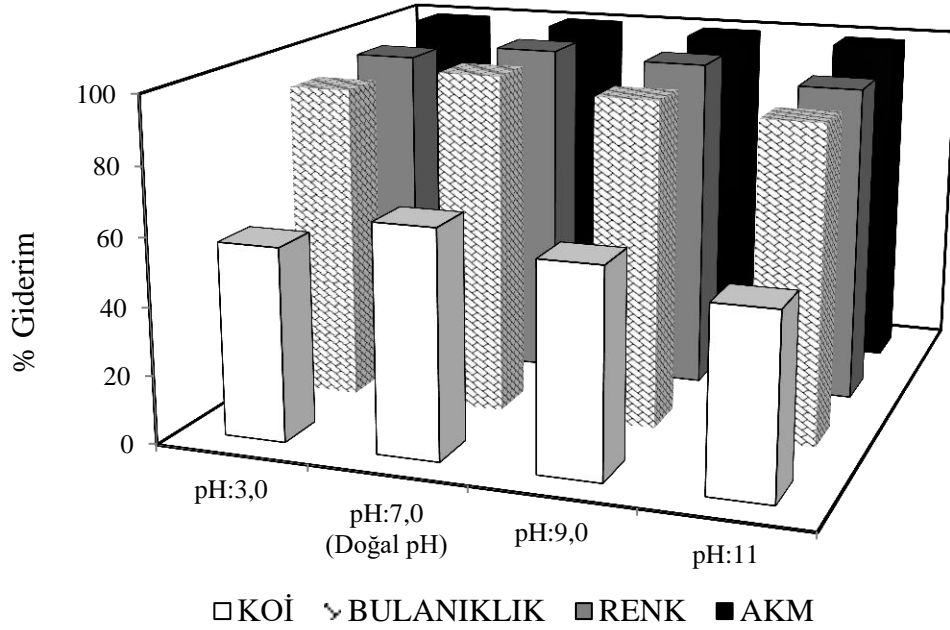
**Şekil 4.22:** Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)



**Şekil 4.23:** Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin bulanıklık giderimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)



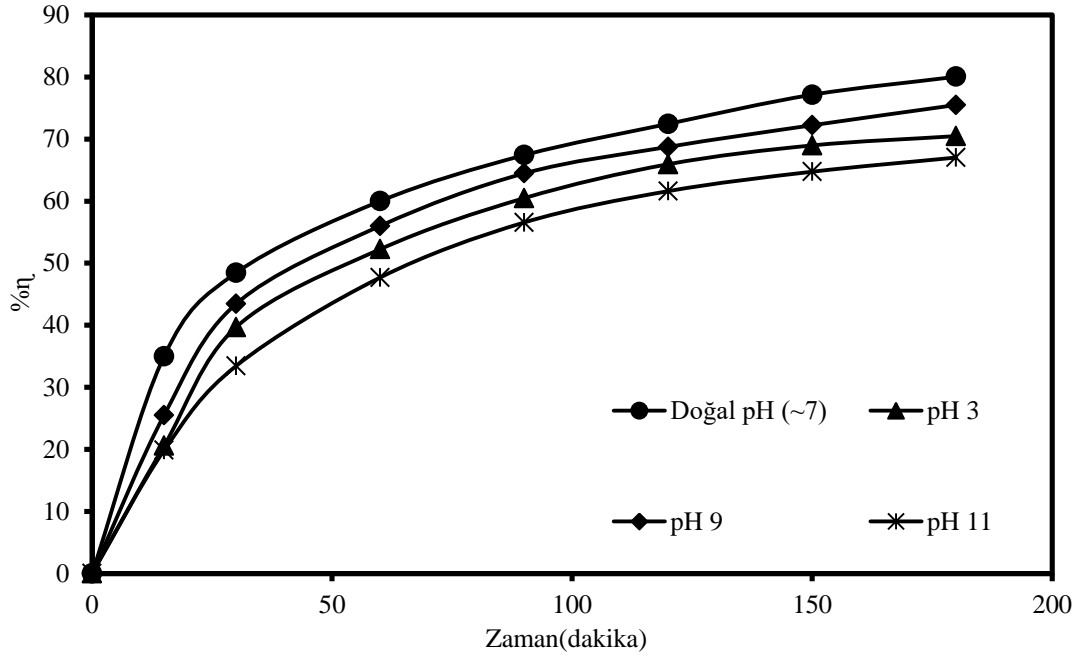
**Şekil 4.24:** Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)



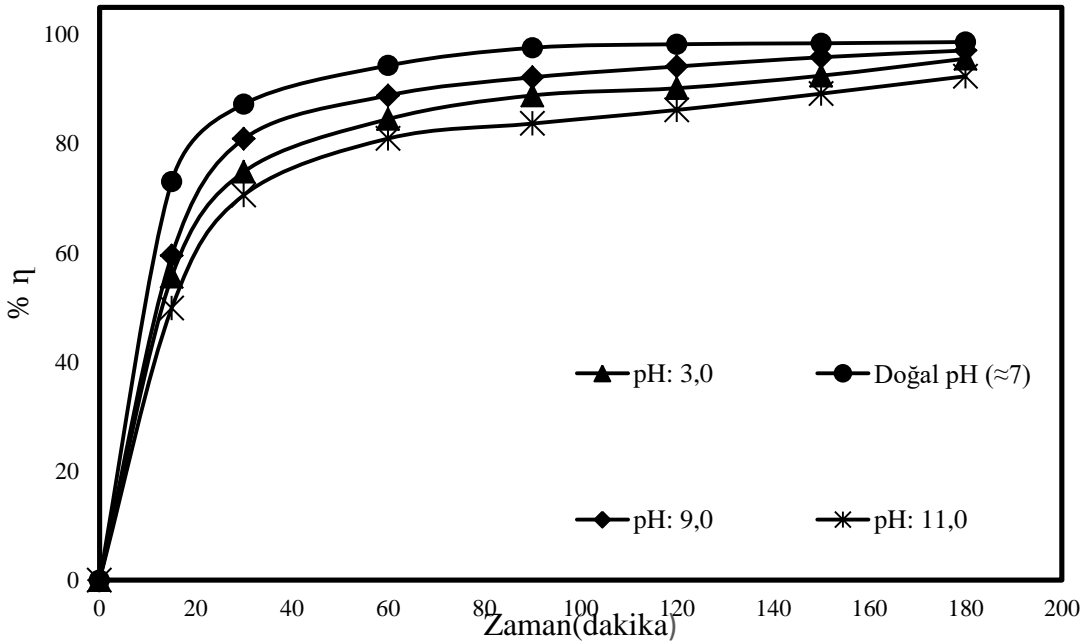
**Şekil 4.25:** KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)

Atıksu başlangıç pH değeri etkisinin incelendiği denemeler için Ti/Pt' nin anot malzemesi olarak kullanıldığı çalışmalarda, 4,06 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda 0,2 M NaCl destek elektrolit türünde, 400 rpm karıştırma hızında 3 saatlik reaksiyon süresi için pH:3, 7, 9, ve 11'de çalışılmıştır. Belirtilen pH değerlerinde KOİ, renk, bulanıklık verimleri incelenmiştir. Doğal pH ( $\approx 7$ ) pH:3, pH:9, pH:11 için verimler sırasıyla şöyledir: %80,05, %68,54, %76,7, %72,36 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan görüleceği üzere en yüksek arıtım verimine doğal pH değeri olan pH( $\approx 7$ )'de ulaşılmıştır. Çok asidik ortamda (pH:3 değerinde) ve çok bazik ortamda (pH:11 değerinde) arıtım veriminin nispeten düştüğü gözlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak mezbaha atıksularının elektrooksidasyon denemelerinde atıksu doğal pH değeri ideal pH olarak belirlenmiştir. Anot yüzeyinde "aracılı oksidasyon" yoluyla organiklerin oksidasyonunda önemli bir rol oynayabilen güçlü oksidanlar olan türler (ClO<sup>-</sup>, HClO ve Cl<sub>2</sub>) başlıca oksidasyon ajanlarıdır. Bunlardan pH 7'nin üzerinde ClO<sup>-</sup>(hipoklorit), pH 7 den 3'e HClO (hipokloröz asit) ve pH<3 olan durumlarda Cl<sub>2</sub> (klor gazı) baskındır (Dominguez et al., 2018; Moreira et al., 2017).

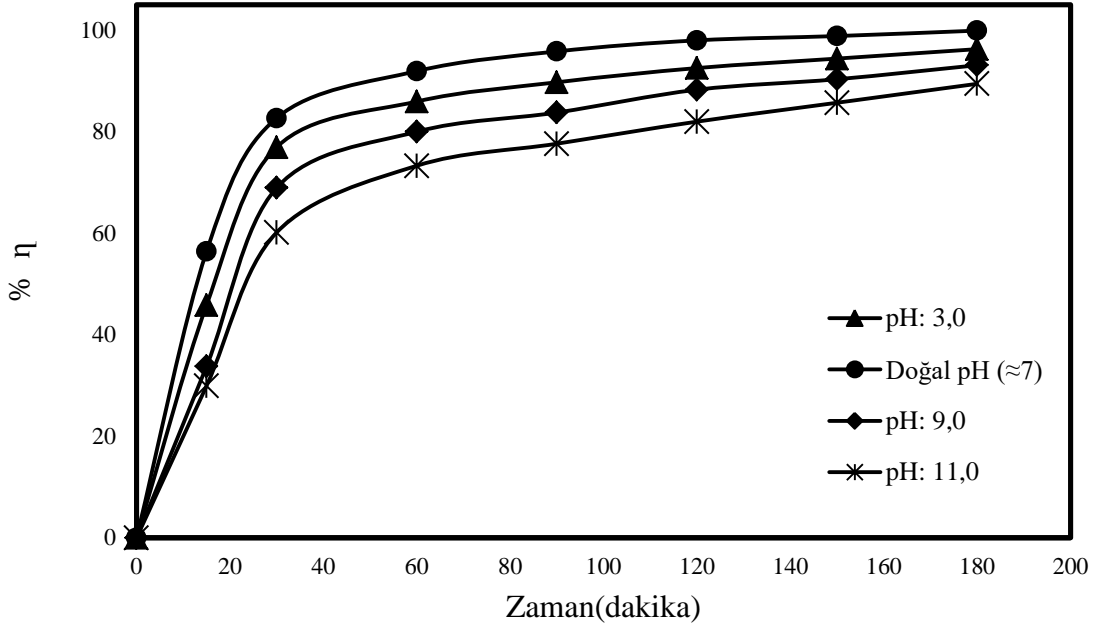




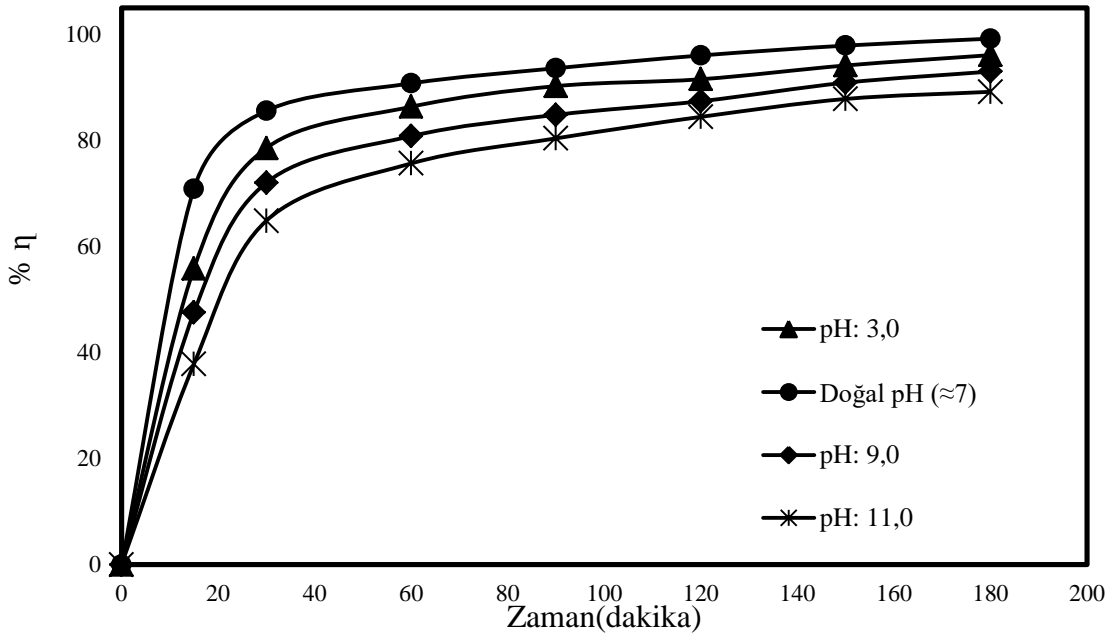
**Şekil 4.26:** Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)



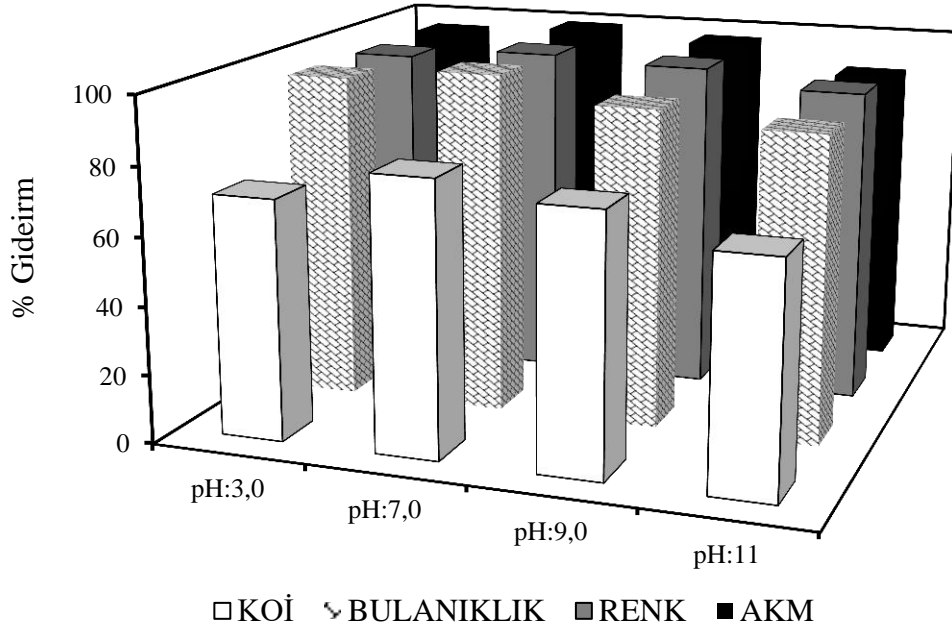
**Şekil 4.27:** Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)



**Şekil 4.28:** Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin bulanıklık giderimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)



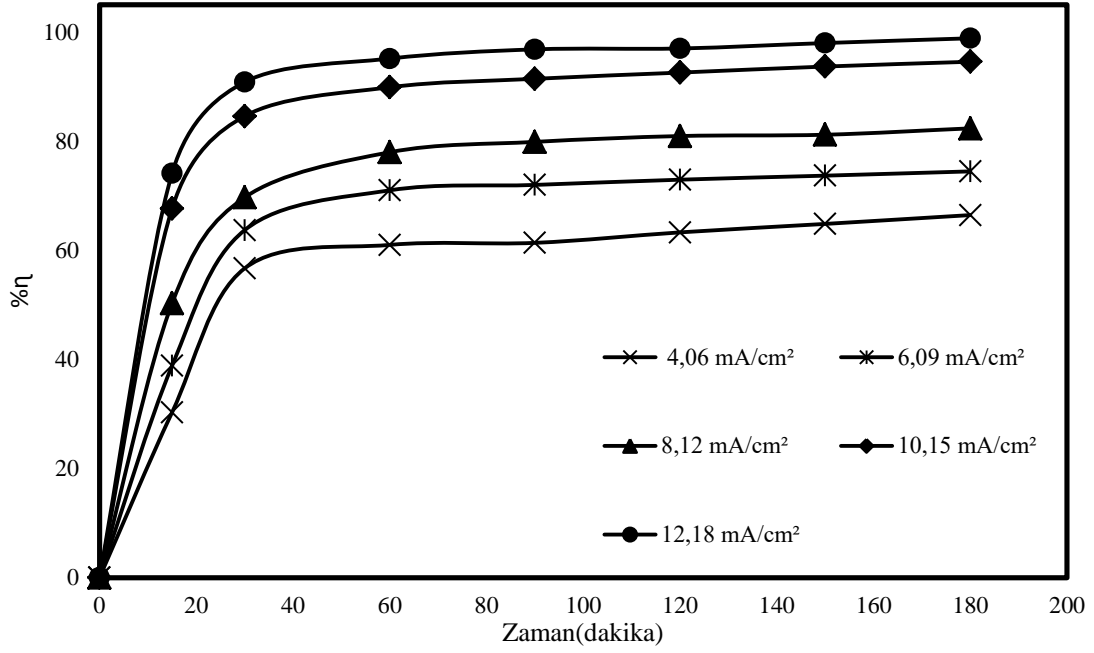
**Şekil 4.29:** Farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)



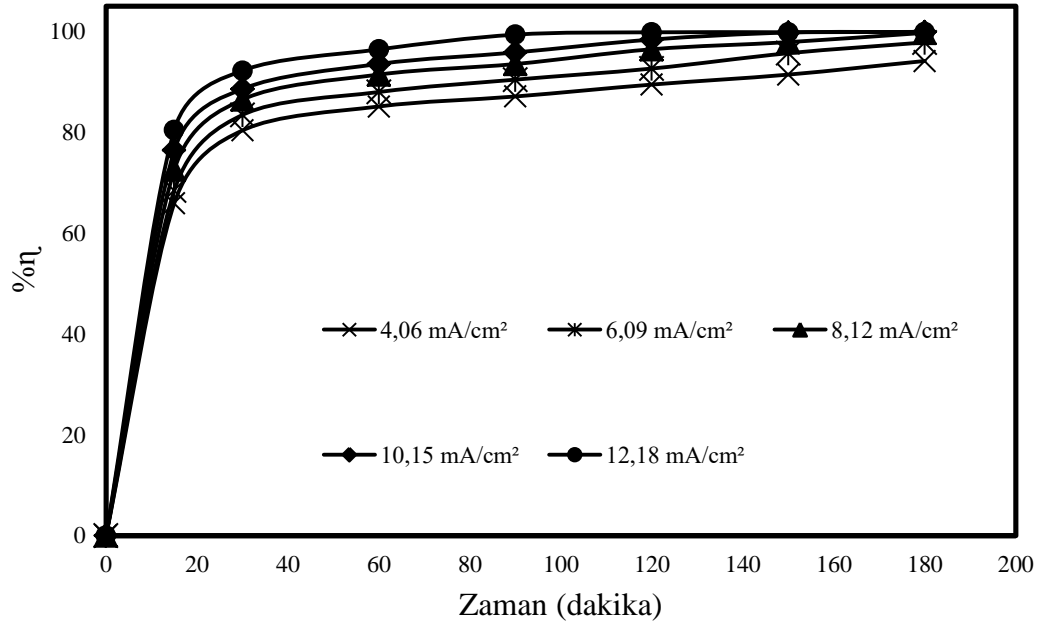
**Şekil 4.30:** KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine farklı atıksu başlangıç pH değerlerinin (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, J: 4,06 mA/cm<sup>2</sup>, D.E.T.:0,2 M NaCl)

#### 4.4.Giderim Verimi Üzerine Uygulanan Akım Yoğunluğunun Etkisi

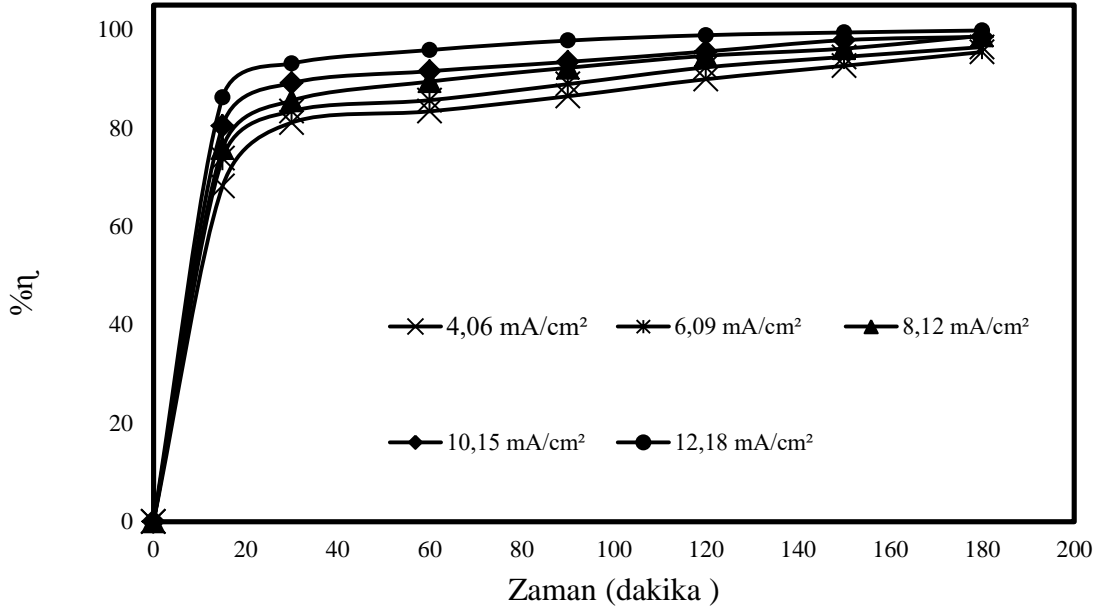
Akım yoğunluğu, elektrokimyasal oksidasyondaki en önemli parametrelerden biridir, çünkü yükün yer değiştirmesindeki itici gücü yansıtır (Fajardo et al., 2017). Akım yoğunluğu tüm elektrokimyasal proseslerde reaksiyon hızını kontrol etmek için en önemli parametredir (Körbahti, 2007; Körbahti and Taşyürek, 2015). Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot ile yapılan denemelerde atıksu doğal pH değerinde 0.2 M NaCl destek elektrolit ve 3 saatlik reaksiyon süresinde akım yoğunluğu 4,06, 6,09, 8,12, 10,15, 12,18 mA/cm<sup>2</sup> olan değerlerde incelenmiş ve sonuçlar aşağıdaki Şekil.4.13-16'da gösterilmiştir. Artan akım yoğunluğu artan reaksiyon hızı, klorür türlerinin anoda difüzyon hızlarının artmasına bağlanabilir (Y.-J. Liu et al., 2019). Sonuçlarda da görüleceği gibi KOİ giderim verimi için 4,06 mA/cm<sup>2</sup> de verim %66,46 iken sırasıyla diğer akımlarda %72,28, %82,36, %94,57 ve %98,87 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak akım yoğunluğunun artım verimini önemli ölçüde etkilediği yorumuna varılabilir. Sonuçların renk, bulanıklık ve AKM değerleri için de aynı ölçüde etkili olduğu gözlenmiştir. Akım yoğunluğu artırılarak sistemin oksitleme kapasitesi artırılabilir. Böylece büyük miktarda klor üretilir (Guo et al., 2022). Akım yoğunluğu arttıkça giderim verimlerinin arttığı başka çalışmalar da elde edilen sonuçlarla desteklenmiştir (Zhuo et al., 2020). Bunun nedeni anot yüzeyinde hidroksil radikallerinin oluşumunun artmasıdır (Moussavi and Aqanaghad, 2015).



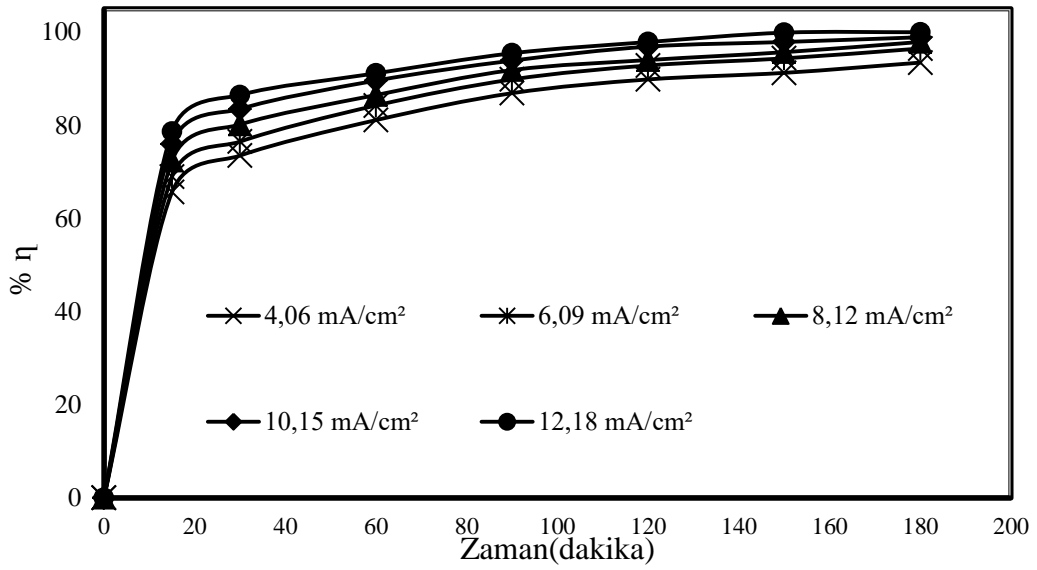
Şekil 4.31: Uygulanan farklı akım yoğunluklarının KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



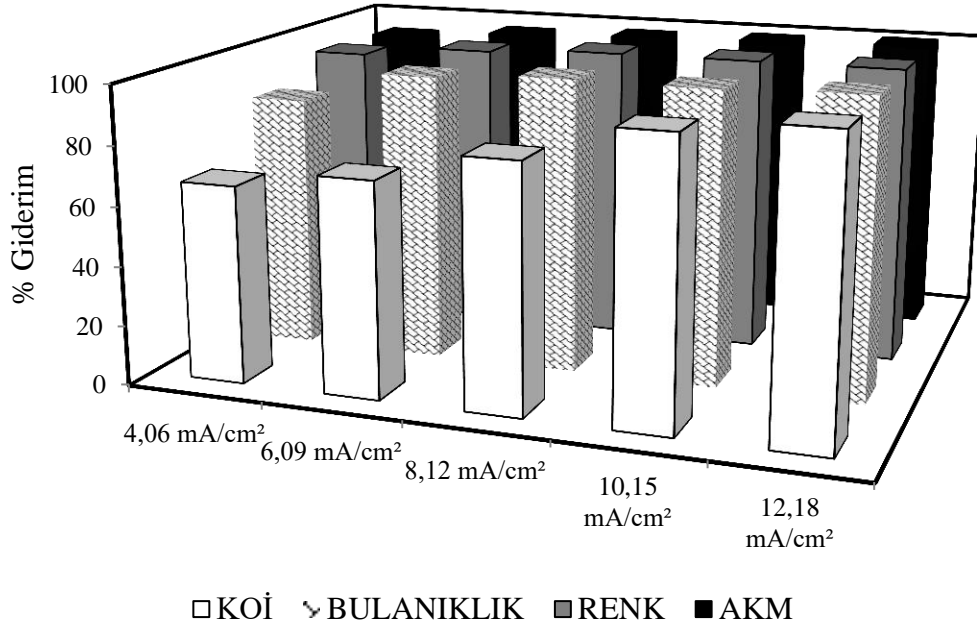
Şekil 4.32: Uygulanan farklı akım yoğunluklarının renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



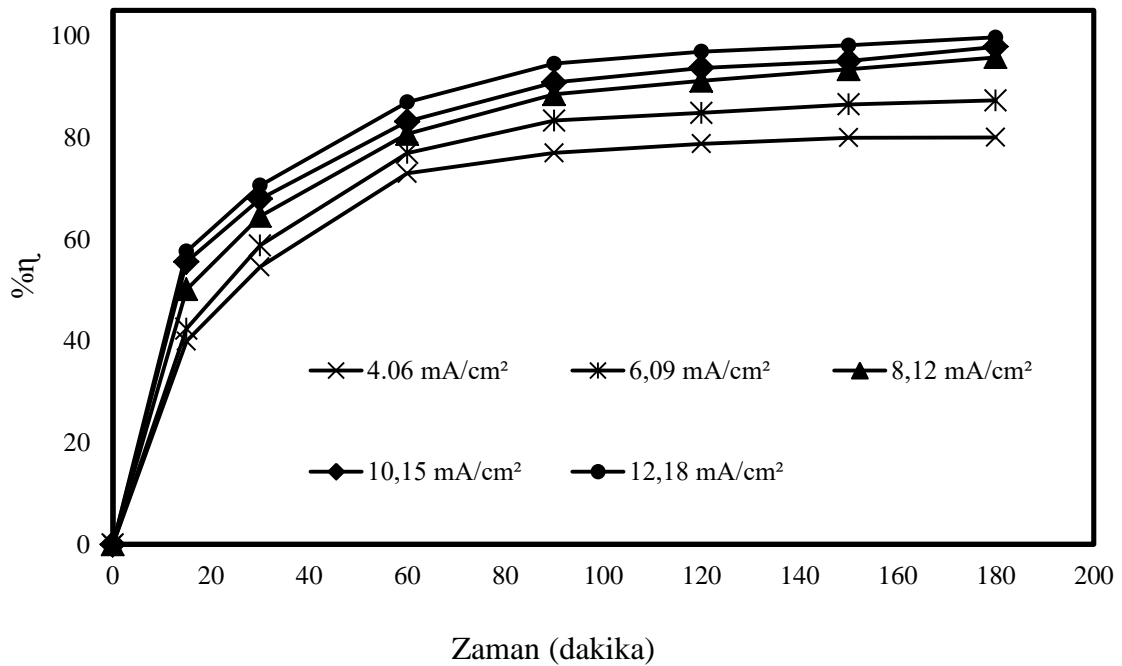
Şekil 4.33: Uygulanan farklı akım yoğunluklarının bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



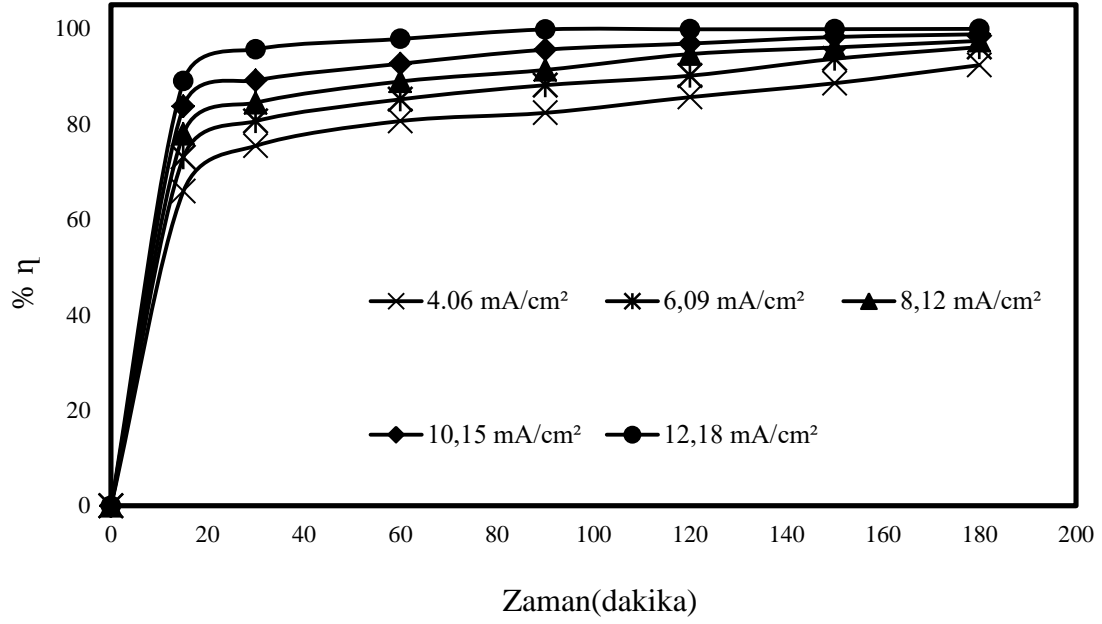
Şekil 4.34: Uygulanan farklı akım yoğunluklarının AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



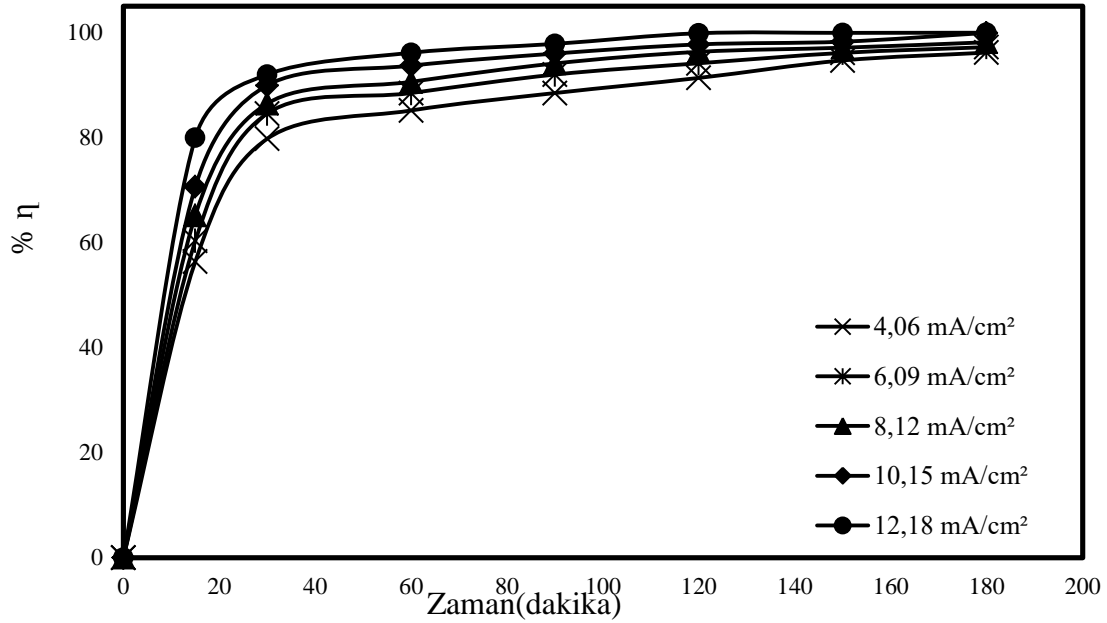
Şekil 4.35: KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine uygulanan farklı akım yoğunluklarının etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



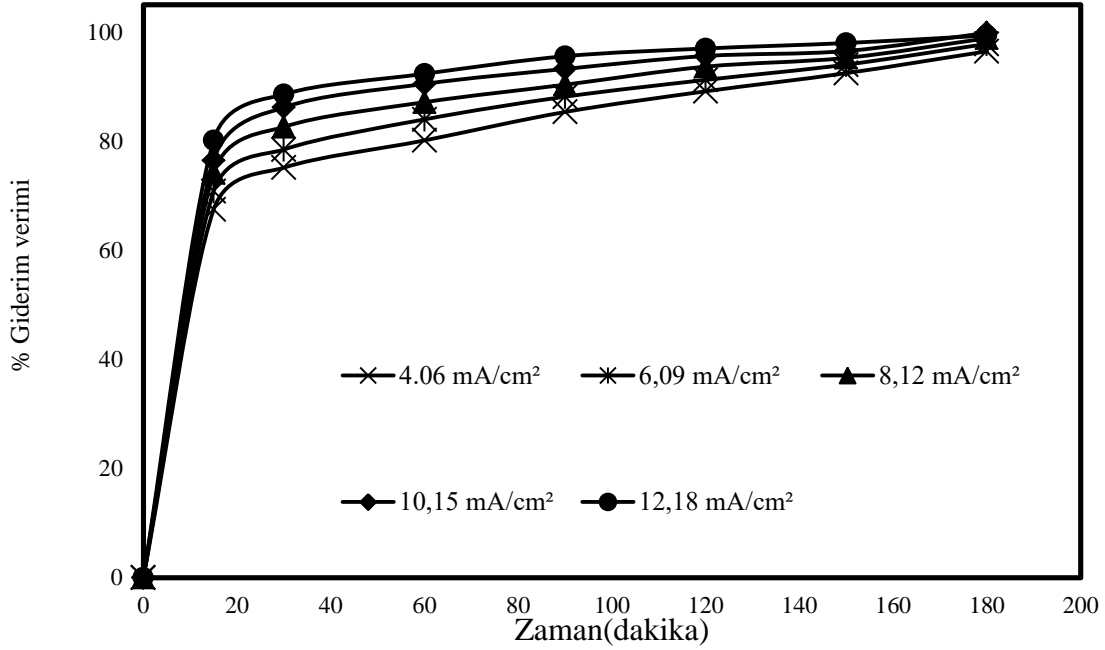
Şekil 4.36: Uygulanan farklı akım yoğunluklarının KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:0,2 M NaCl)



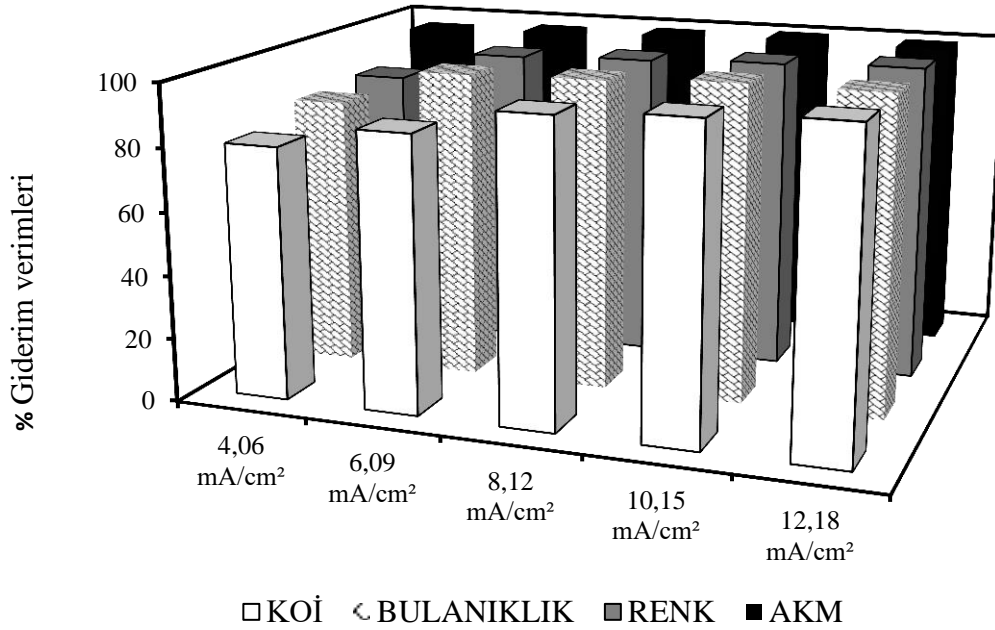
Şekil 4.37: Uygulanan farklı akım yoğunluklarının renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:0,2 M NaCl)



Şekil 4.38: Uygulanan farklı akım yoğunluklarının bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:0,2 M NaCl)



Şekil 4.39: Uygulanan farklı akım yoğunluklarının AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl)



Şekil 4.40: KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine uygulanan farklı akım yoğunluklarının etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl)

Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde atıksu doğal pH değerinde 0.2 M NaCl destek elektrolit ve 3 saatlik reaksiyon süresinde akım yoğunluğu 4,06, 6,09, 8,12, 10,15, 12,18 mA/cm<sup>2</sup> olan değerlerde incelenmiş ve sonuçlar aşağıdaki Şekil.4.36-4.40'ta gösterilmiştir. Sonuçlarda da görüleceği gibi KOİ giderim verimi için 4,06 mA/cm<sup>2</sup> de verim %80,05

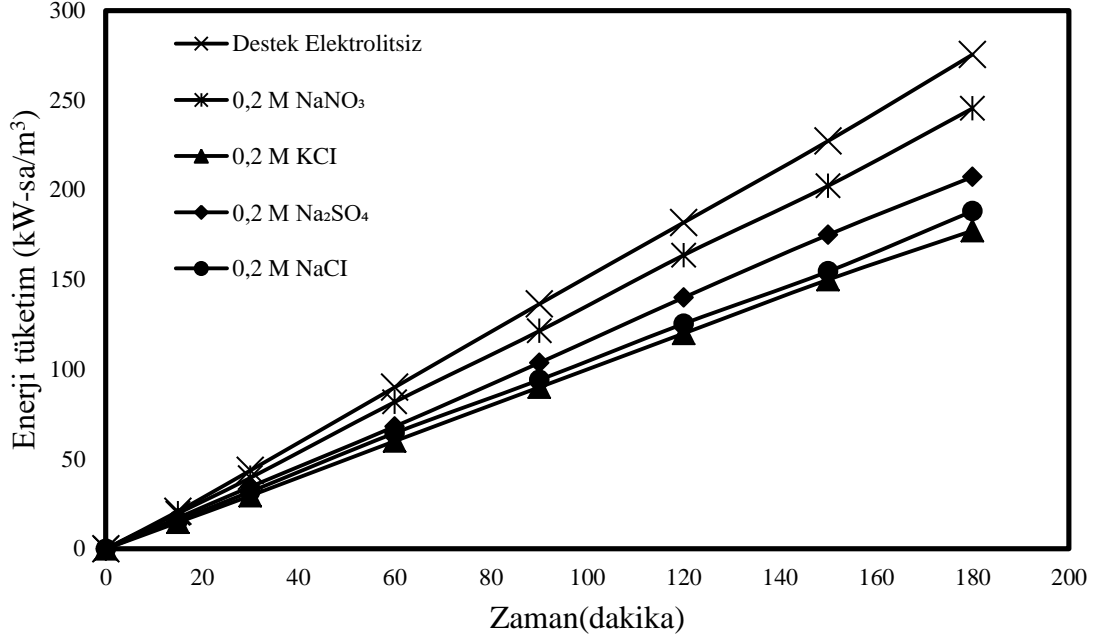


iken sırasıyla diğ er akımlarda %87,29, %95,76, %97,84 ve %99,75 olarak elde edilmiştir. Uygulanan akım yoğunluğunun artırılması, elektrot yüzeyinden elektron transfer verimliliğini artırır ve radikal türlerin üretimini artırır (Barisci and Suri, 2021). Elde edilen sonuçlardan akım yoğunluğu arttıkça verimin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Bunun arkasındaki temel neden, organik içeriğin mineralizasyon verimini artıran, ortamdaki yüksek elektron transferinin etkisine bağlı olarak OH ve aktif Cl<sub>2</sub> türlerinin daha yüksek üretilmesidir (Ken and Sinha, 2021). Çalışılacak akım yoğunluğuna karar verilirken sadece verim değil aynı zamanda enerji maliyeti ve anot ömrü de göz önüne alınmalıdır.

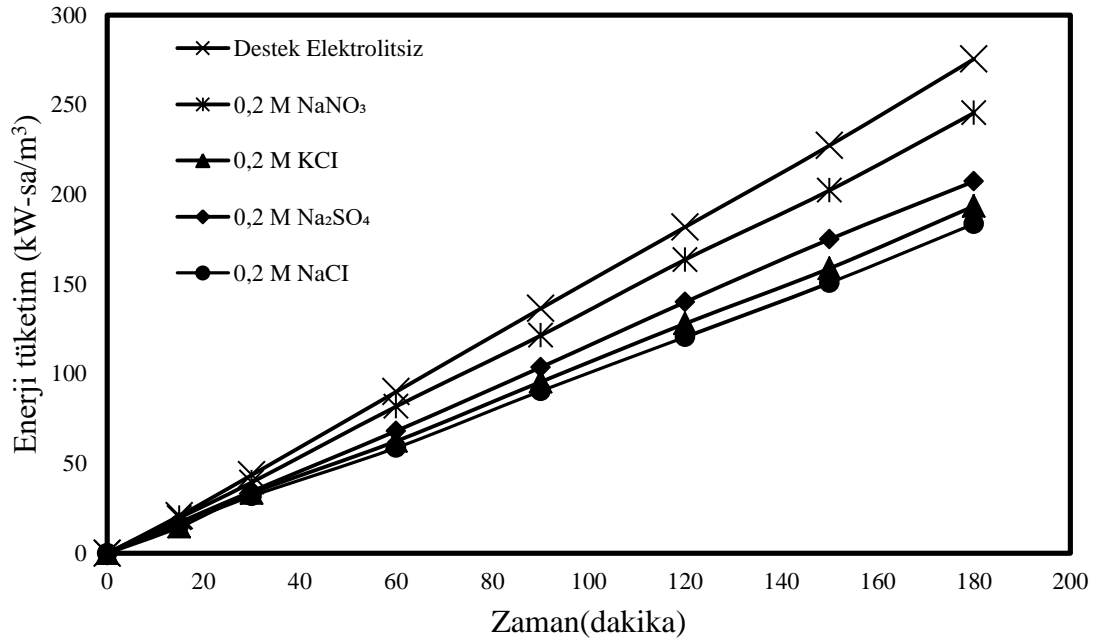
#### **4.5. Enerji Tüketim Değ erleri**

##### **4.5.1. Destekleyici Elektrolit Türünün Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi**

Bir elektrokimyasal iş lemlle ilişkili enerji harcaması, herhangi bir arıtma sisteminde önemli bir faktördür. Bu nedenle, bu çalışmada incelenen deney koş ullarının her biri için enerji tüketimi incelenmiştir (Salazar et al., 2018). Destek elektrolit türünün KOİ, renk, bulanıklık ve akm giderim verimine etkisi her iki anot için incelenmiş ve bu sonuçlardan elde edilen veriler yardımıyla enerji tüketim değ erleri bulunmuştur. Tüm çalış malar atıksu doğal pH değ erinde 4.06 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğ unda ve 400 rpm karış tırma hızında gerçekleştirilmiştir. Enerji tüketiminin farklı destekleyici türler için değ erleri aşağıda Ş ekil.4.41 ve 4.42'de gösterilmiştir. Sonuç lar incelendiğ inde destekleyici elektrolitlerin enerji tüketimini önemli derecede etkilediğ i görülmüştür. Her iki anot için de en yüksek enerji tüketiminin destek elektrolitsiz yapılan denemelerde olduğ u görülmüştür. Elektrolit kullanılan diğ er tüm denemelerde enerji tüketimi daha düş üktür. Bunun nedeni kullanılan elektrolitlerin ç özünürlüklerinin çok yüksek olması sebebiyle, su içerisinde iyonlaş malarının fazla olması ve dolayısı ile ç özeltilerin elektriksel iletkenliklerinin artmasıdır. Uygulanan potansiyel farkın düş mesi ç özeltinin elektriksel iletkenliğ inin artması ile olur. Bu da enerji tüketiminin daha az olmasını sağ lar (Fil, 2014).



**Şekil 4.41:** Destekleyici elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.:0,2 M)



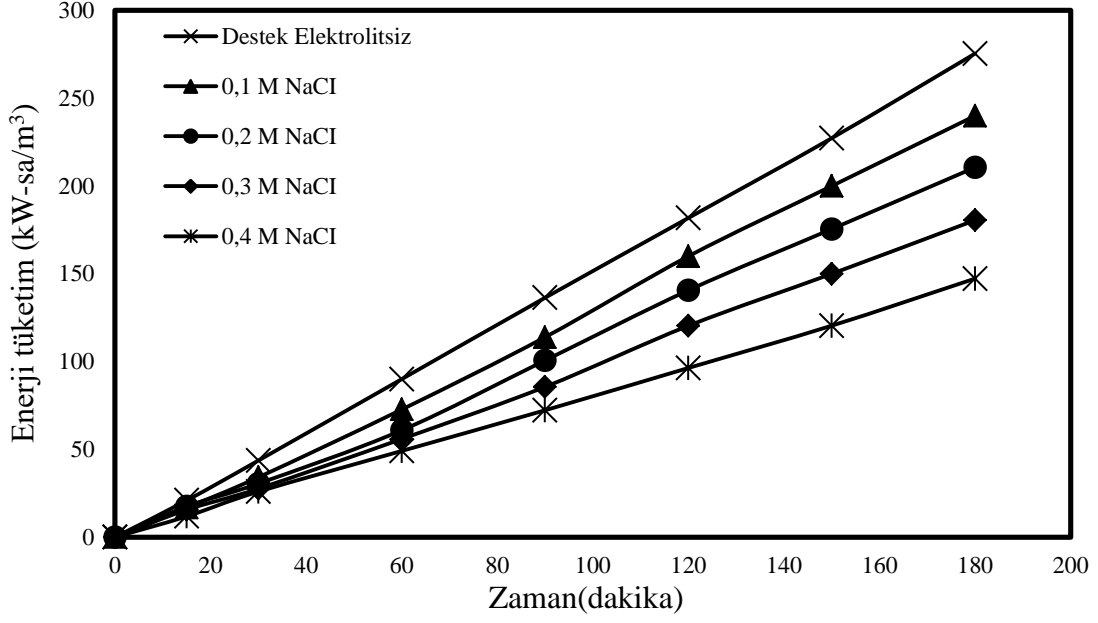
**Şekil 4.42:** Destekleyici elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.: 0,2 M)

**Tablo 4.1:** Enerji tüketimi üzerine destekleyici elektrolit türü etkisi

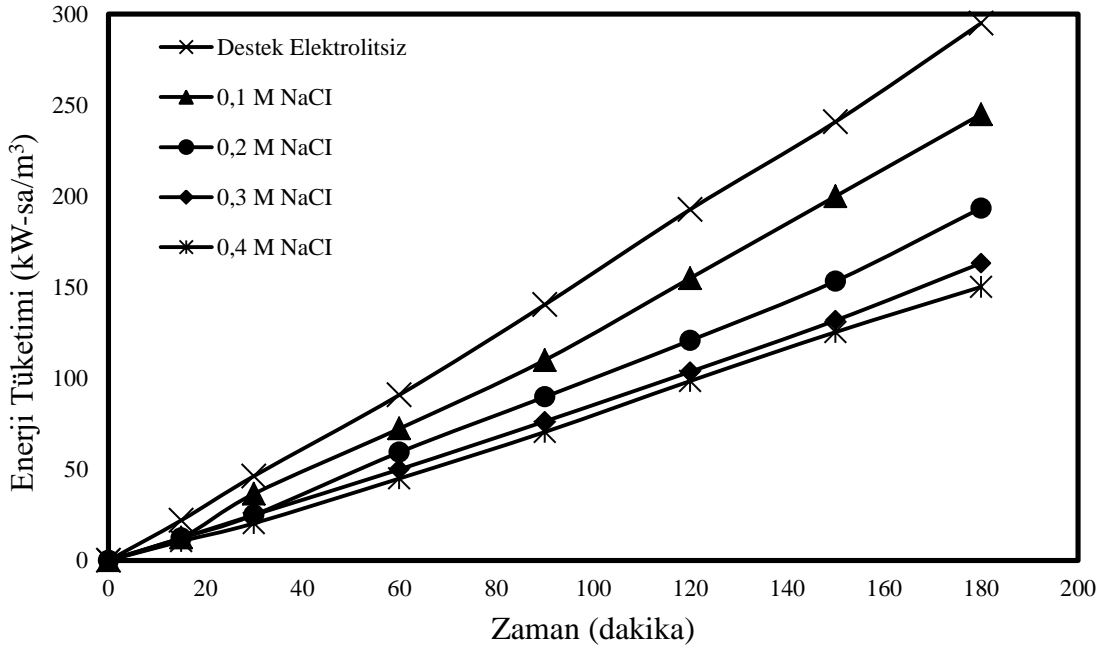
<b>Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot</b>		
<b>Destekleyici elektrolit türü (M)</b>	<b>Enerji sarfiyatı (kW-saat.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Sabit tutulan değerler</b>
Yok	295,0	pHi≈7 (Doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.:0,2 M T=20±1 °C, KH=400 rpm
NaNO <sub>3</sub>	263,6	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	240,5	
KCl	205,8	
NaCl	183,6	
<b>Ti/Pt anot</b>		
<b>Destekleyici elektrolit türü (M)</b>	<b>Enerji sarfiyatı (kW-saat.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Sabit tutulan değerler</b>
Yok	285,5	pHi≈7 (Doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.K.:0,2 M T=20±1 °C, KH=400 rpm
NaNO <sub>3</sub>	245,8	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	227,3	
KCl	187,3	
NaCl	210,7	

#### 4.5.2. Destekleyici Elektrolit Konsantrasyonun Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi

Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimine etkileri incelenmiş ve 3 saatlik reaksiyon süreleri sonunda enerji tüketim değerleri Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> ve Ti-Pt anotlar için (3.2) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan enerji sarfiyatı değerleri aşağıda Şekil 4.43- 4.44'te gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde her iki anot için de destek elektrolit kullanılmayan denemelerde en yüksek elektrik tüketimi olduğu ve elektrolit konsantrasyonu arttıkça enerji tüketiminin düştüğü görülmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda enerji tüketiminin düşmesinin sebebi atıksuyun iletkenliğinin artması ve sistemde aynı miktarda akımın oluşması için gerekli olan potansiyel farkın düşmesine sebep olur. Bu da enerji tüketiminin azalmasını sağlamaktadır (Fil, 2014). Şekillerden de görüldüğü üzere destek elektrolit konsantrasyonunun artması enerji sarfiyatını önemli ölçüde düşürmektedir.



**Şekil 4.43:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl)



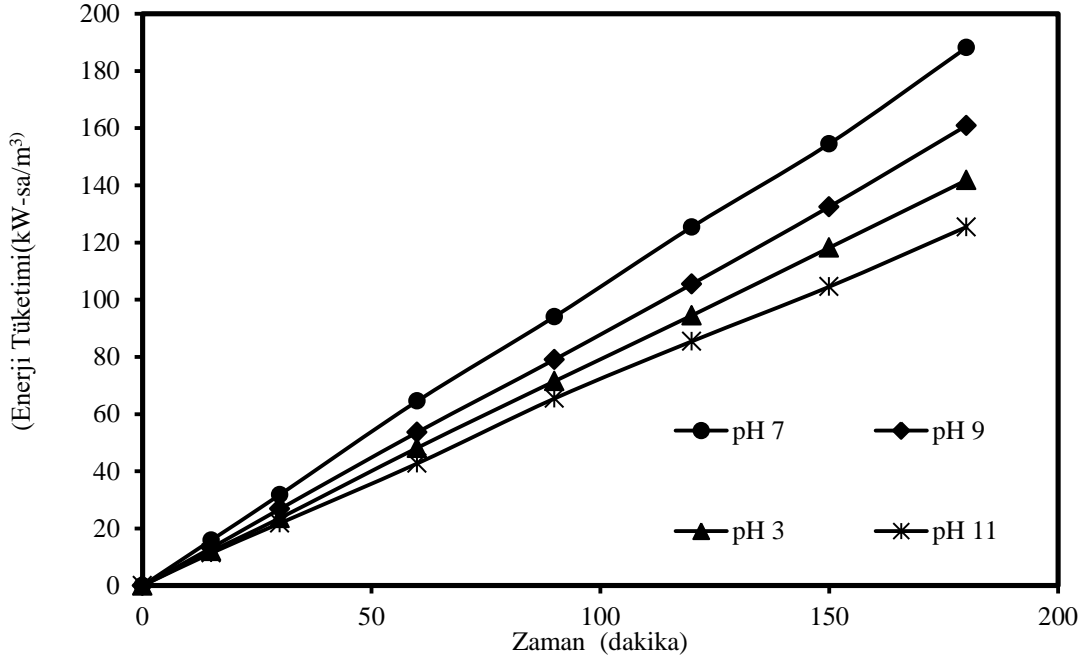
**Şekil 4.44:** Farklı NaCl konsantrasyonlarının enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl)

**Tablo 4.2:** Enerji tüketimine destekleyici elektrolit konsantrasyonu etkisi

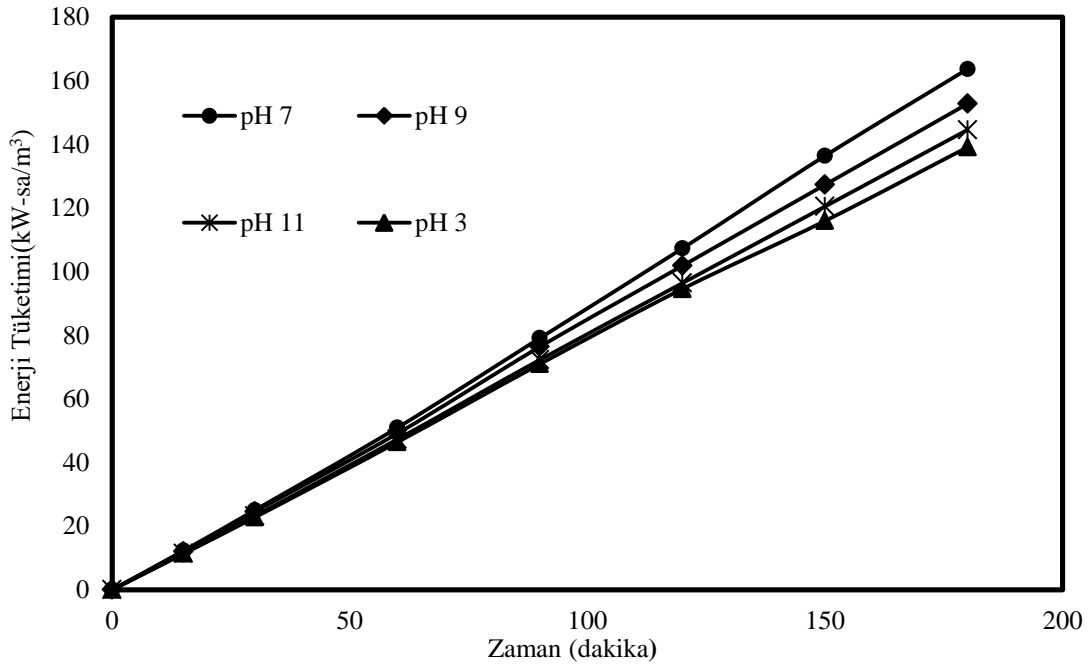
<b>Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot</b>		
<b>Destekleyici elektrolit konsantrasyonu (M)</b>	<b>Enerji sarfiyatı (kW-saat.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Sabit tutulan değerler</b>
Yok	295,0	pH <sub>i</sub> ≈7 (Doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1 °C, D.E.T.:NaCl KH=400 rpm
0,1 M	245,0	
0,2 M	183,6	
0,3 M	163,6	
0,4 M	150,2	
<b>Ti/Pt anot</b>		
<b>Destekleyici elektrolit konsantrasyonu (M)</b>	<b>Enerji sarfiyatı (kW-saat.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Sabit tutulan değerler</b>
Yok	275,5	pH <sub>i</sub> ≈7 (Doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1 °C, D.E.T.:NaCl KH=400 rpm
0,1 M	240,0	
0,2 M	210,7	
0,3 M	180,5	
0,4 M	147,3	

#### **4.5.3. Atıksu başlangıç pH Değerinin Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi**

Elektrooksidasyon ile Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> ve Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde atıksuyun başlangıç pH değerinde KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimlerinin incelendiği denemelerde enerji tüketim değeri miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.45-4.46'da gösterilmiştir. Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot için enerji tüketimi 7>9>3>11 olarak elde edilmiştir. Ti/Pt anot için ise 7>9>11>3 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan da görüleceği gibi en yüksek enerji sarfiyatı pH 7 değerindedir. Çünkü enerji tüketiminin az olabilmesi için ortamın iletkenliğinin yüksek olması gerekir. Atıksuyun doğal pH'ında da iletkenlik az olduğundan enerji tüketim fazladır.



**Şekil 4.45:** Atıksu başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl)



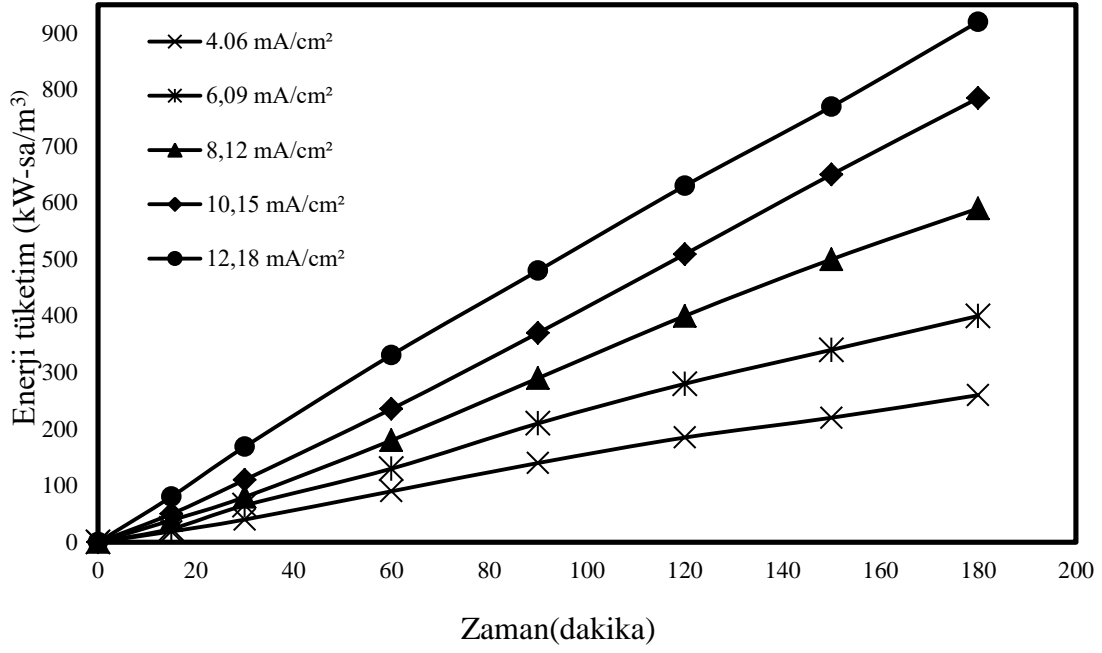
**Şekil 4.46:** Atıksu başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl)

**Tablo 4.3:** Başlangıç pH değerinin enerji tüketimine etkisi

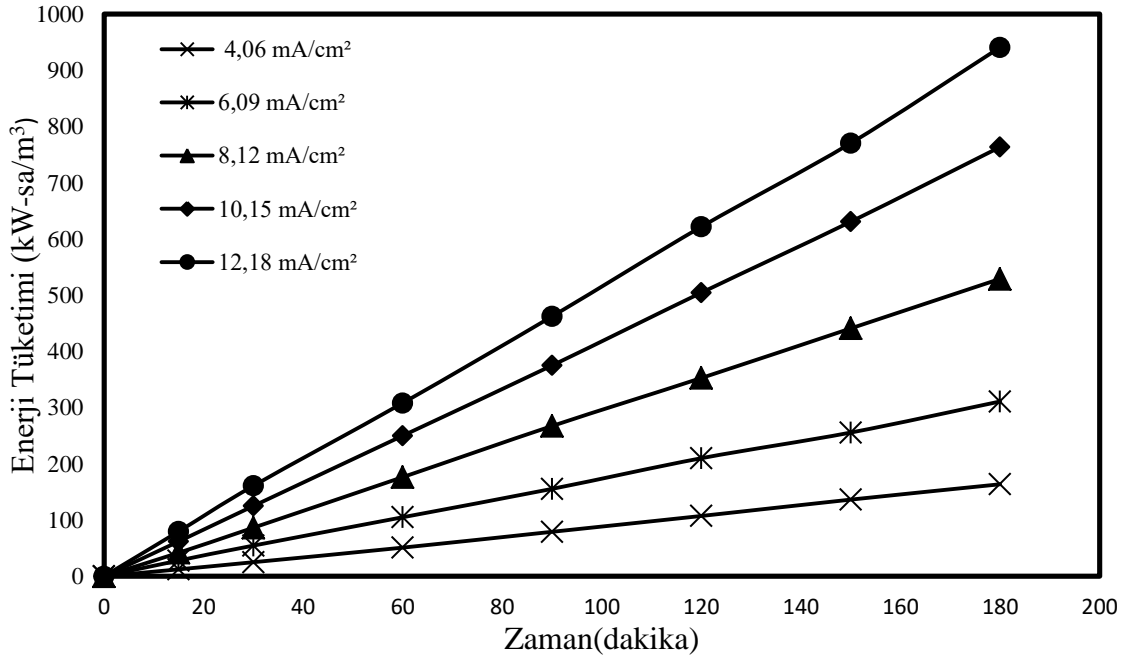
<b>Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot</b>		
<b>Atıksu başlangıç pH değeri</b>	<b>Enerji sarfiyatı (kW-saat.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Sabit tutulan değerler</b>
pH: 3,0	139,1	J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl T=20±1 °C, KH=400 rpm
pH: 7,0	183,6	
pH: 9,0	172,7	
pH: 11,0	144,5	
<b>Ti/Pt anot</b>		
<b>Atıksu başlangıç pH değeri</b>	<b>Enerji sarfiyatı (kW-saat.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Sabit tutulan değerler</b>
pH: 3,0	141,8	J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , D.E.T.:0,2 M NaCl T=20±1 °C, KH=400 rpm
pH: 7,0	210,7	
pH: 9,0	160,9	
pH: 11,0	125,5	

#### 4.5.4. Akım Yoğunluğunun Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi

Farklı akım yoğunluklarında gerçekleştirilen elektrooksidasyon denemelerinde enerji tüketimi üzerine uygulanan akım yoğunluğunun etkisi incelenmiş ve Şekil 4.47-4.48'deki sonuçlar elde edilmiştir. Enerji tüketim miktarları üçüncü kısımda belirtilen (3.2) eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Akım yoğunluğunun artması sisteme uygulanan gerilimi arttırmakta, gerilimin artmasıyla da enerji sarfiyatı artmaktadır. Ayrıca Faraday Yasası kurallarına göre akım yoğunluğunun artması elektrot ömrünün azalmasına da sebep olmaktadır (Ratna Kumar et al., 2004). Şekiller incelendiğinde en yüksek enerji tüketimi 12,18 mA/cm<sup>2</sup> de en düşük enerji tüketimi 4.06 mA/cm<sup>2</sup> akım değerinde elde edilmiştir. Sonuç olarak akım yoğunluğunun artması enerji tüketimini önemli ölçüde arttırmaktadır. Elde edilen sonuçlardan dikkat edilmesi gereken işletme parametrelerinden hangisinin öncelikli olduğudur. Çünkü akım yoğunluğunun düşük olduğu değerlerde sistemin dengeye gelmesi daha uzun zaman almakta ve ortamdaki organik madde oksidasyonu daha uzun sürede gerçekleşmektedir. Enerji tüketimi de buna bağlı olarak azalmaktadır. Akım yoğunluğu arttıkça reaksiyon süresi kısalmakta ve enerji tüketimi artmaktadır. İdeal akım yoğunluğu seçilirken arıtım süresinin en hızlı olduğu değer yanısıra, enerji tüketiminin de düşük olduğu akım yoğunluğu da dikkate alınmalıdır (Yildiz et al., 2007).



**Şekil 4.47:** Farklı akım yoğunluklarının enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl)



**Şekil 4.48:** Farklı akım yoğunluklarının enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2M NaCl)



**Tablo 4.4:** Akım yoğunluğunun enerji tüketimine etkisi

<b>Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot</b>		
<b>J(Akım Yoğunluğu)</b>	<b>Enerji sarfiyatı (kW-saat.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Sabit tutulan değerler</b>
4,06 mA/cm <sup>2</sup>	183,6	pH <sub>i</sub> ≈7 (Doğal), T=20±1 °C, D.E.T.0,2 M NaCl KH=400 rpm
6,09 mA/cm <sup>2</sup>	310,9	
8,12 mA/cm <sup>2</sup>	529,1	
10,15 mA/cm <sup>2</sup>	763,6	
12,18 mA/cm <sup>2</sup>	940,9	
<b>Ti/Pt anot</b>		
<b>J(Akım Yoğunluğu)</b>	<b>Enerji sarfiyatı (kW-saat.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Sabit tutulan değerler</b>
4,06 mA/cm <sup>2</sup>	210,7	pH <sub>i</sub> ≈7 (Doğal), T=20±1 °C, D.E.T.0,2 M NaCl KH=400 rpm
6,09 mA/cm <sup>2</sup>	302,7	
8,12 mA/cm <sup>2</sup>	501,8	
10,15 mA/cm <sup>2</sup>	784,1	
12,18 mA/cm <sup>2</sup>	988,2	

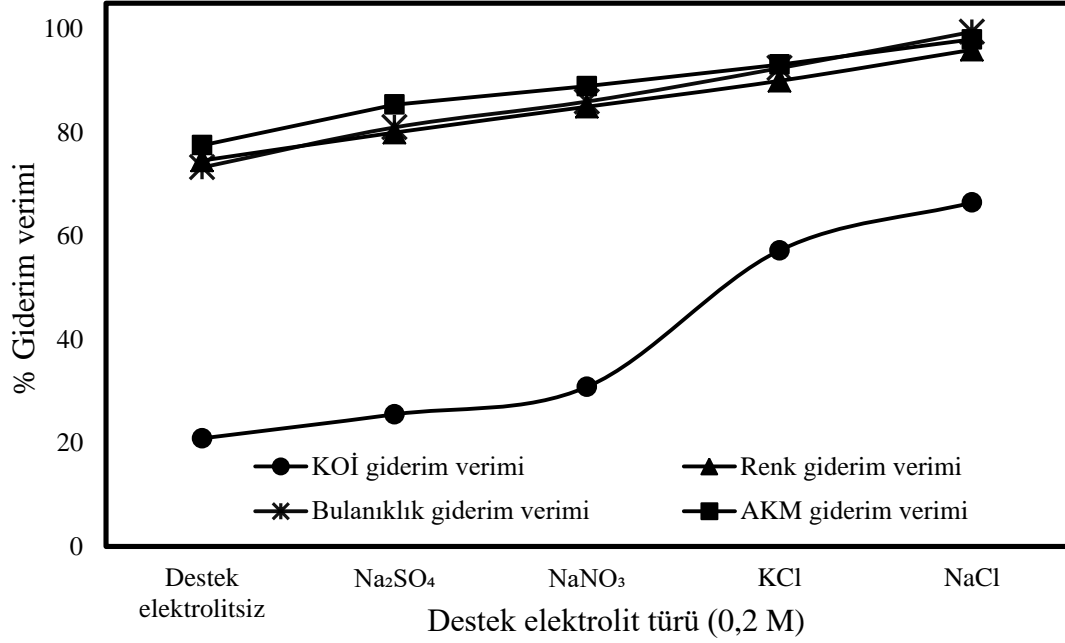
## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 5.1. Destekleyici Elektrolit Türünün Tüm Parametreler için Etkisi

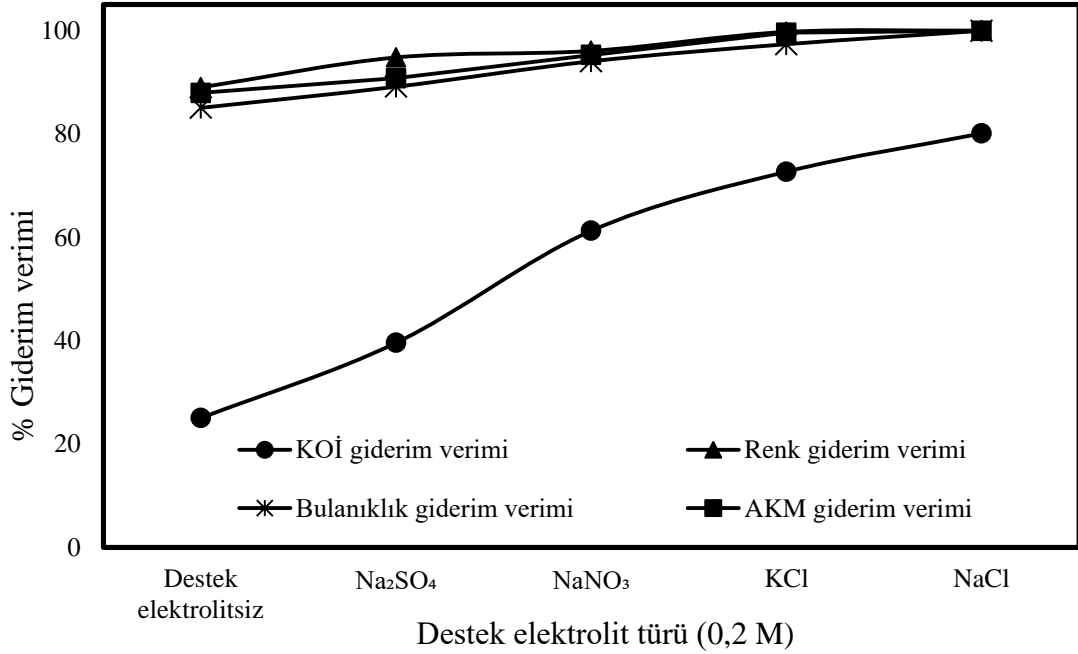
Destek elektrolit türünün etkisi Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> ve Ti/Pt anot için doğal pH değerinde 4,06 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, 3 saatlik reaksiyon süresinde, sabit sıcaklıkta NaCl, KCl, NaNO<sub>3</sub> ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> destek elektrolit türleri için 400 devir/dakika karıştırma hızında incelenmiştir. Destek elektrolit türü için özetlemek gerekirse her iki anot için de verimler sırasıyla NaCl>KCl>NaNO<sub>3</sub>>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> şeklinde bulunmuştur. NaCl ve KCl elektrolitlerinin daha verimli çıkması yapılarında klor bulundurmaları sebebiyle daha fazla aktif klor oluşturmalarına bağlanabilir. Renk, bulanıklık ve AKM giderimleri ise her iki anot için de ortalama %95 üzerinde verim sağlamıştır.

**Tablo 5.1:** Destekleyici elektrolit türünün giderim verimi üzerine etkisi

<b>Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> Anot</b>					
<b>Destekleyici Elektrolit Türü</b>	<b>KOİ (%)</b>	<b>AKM (%)</b>	<b>RENK (%)</b>	<b>BULANIKLIK (%)</b>	<b>Sabit Tutulan Değişken</b>
YOK	20,88	85,61	81,96	73,95	pH≈7 (doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm, D.E.K=0,2 M
NaNO <sub>3</sub>	30,88	95,65	94,95	87,89	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25,52	91,35	91,35	83,25	
KCl	54,50	98,30	98,26	94,81	
NaCl	66,46	98,91	98,67	98,47	
<b>Ti/Pt Anot</b>					
<b>Destekleyici Elektrolit Türü</b>	<b>KOİ (%)</b>	<b>AKM (%)</b>	<b>RENK (%)</b>	<b>BULANIKLIK (%)</b>	<b>Sabit Tutulan Değişken</b>
YOK	25,03	85,15	86,50	80,96	pH≈7 (doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm, D.E.K=0,2 M
NaNO <sub>3</sub>	57,42	95,72	93,94	94,47	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	37,63	91,28	91,57	89,34	
KCl	73,67	98,01	97,68	97,55	
NaCl	80,05	98,47	98,64	99,18	



Şekil 5.1: KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine destekleyici elektrolit türünün etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl)



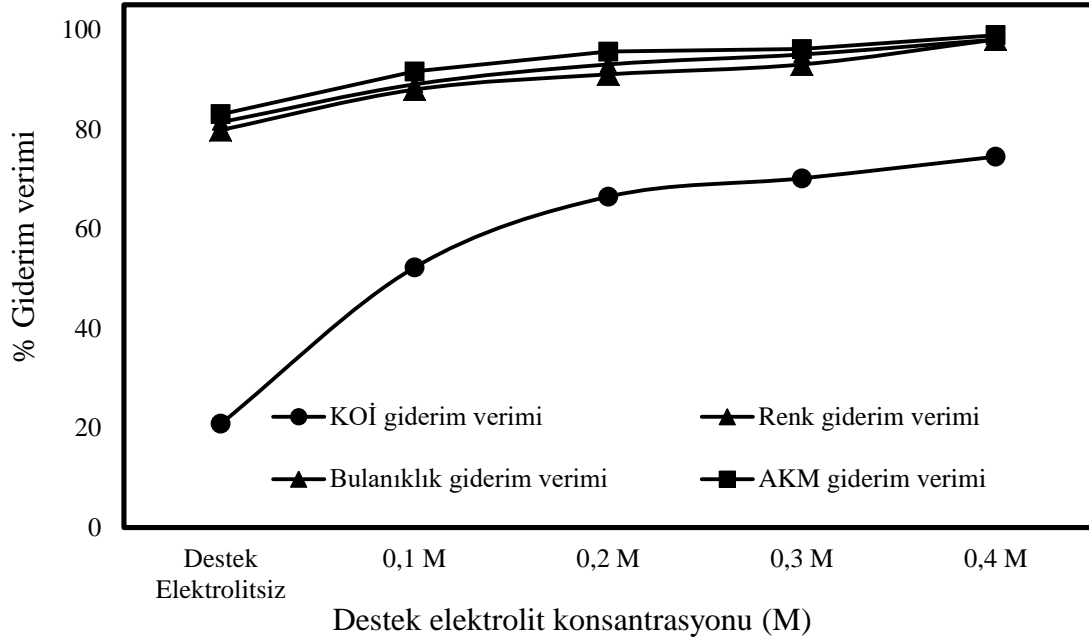
Şekil 5.2: KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine destekleyici elektrolit türünün etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl)

## 5.2. Destekleyici Elektrolit Konsantrasyonunun Tüm Parametreler için Etkisi

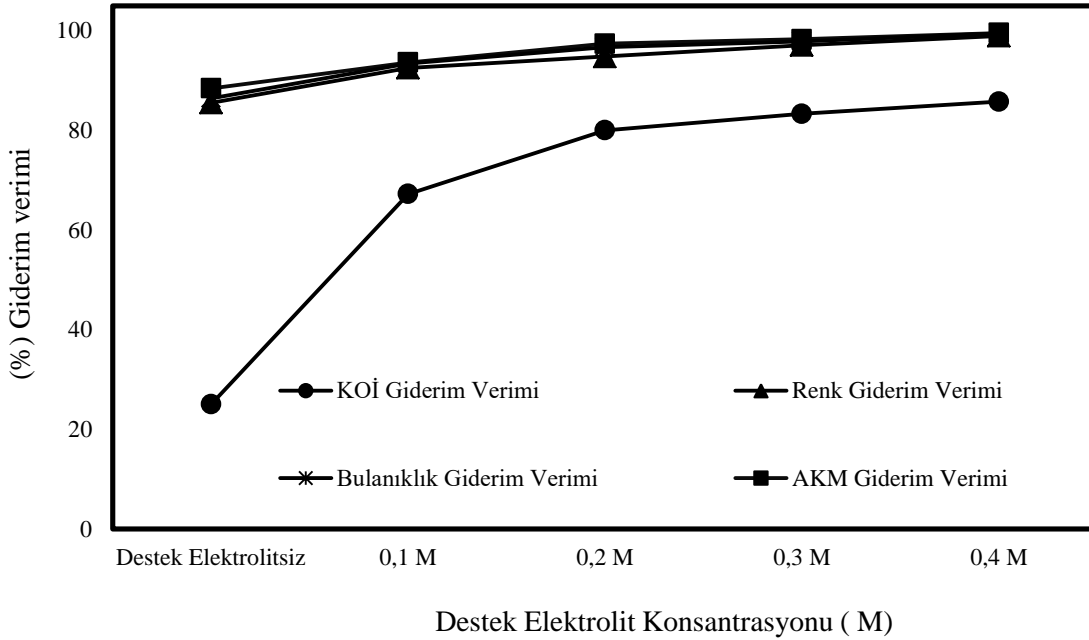
Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> ve Ti/Pt anotlar ile yapılan denemelerde atıksu doğal pH değerinde, 4,06 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, sabit sıcaklıkta, 400 devir/dakika karıştırma hızında 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M, 0.4 M ve destek elektrolitsiz olarak incelenmiştir. Yapılan denemelerde destek elektrolitin artırım verimini arttırdığı ancak belli bir değerden sonra artışın az olduğu göz önüne alınarak ve maliyet açısından da düşünülerek en uygun destek elektrolit konsantrasyonunun 0.2 M olduğuna karar verilmiştir. Destek elektrolit konsantrasyonunun artmasıyla verimin de tüm sonuçlarda arttığı görülmüştür. Benzer sonuçlar Mohammed Darvishmotevalli tarafından da bulunmuştur. Tuz konsantrasyonundaki artışla birlikte reaktörde meydana gelen NaCl'nin elektroliz işlemine tepki olarak klorür veya hipoklorit üretiminin neden olduğu dolaylı oksidasyon nedeniyle KOİ giderim yüzdesi artar, üretilen hidroksil radikali ile organik bileşiklerin bozulmasına neden olur (Darvishmotevalli et al., 2019).

**Tablo 5.2:** Destekleyici Elektrolit Konsantrasyonunun Tüm Parametreler Üzerine etkisi

<b>Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> Anot</b>					
<b>Destekleyici Elektrolit Konsantrasyonu</b>	<b>KOİ (%)</b>	<b>AKM (%)</b>	<b>RENK (%)</b>	<b>BULANIKLIK (%)</b>	<b>Sabit Tutulan Değişken</b>
YOK	20,88	85,61	81,96	73,95	pH≈7 (doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm
0,1 M	52,25	90,21	92,76	92,45	
0,2 M	66,46	98,91	98,67	98,47	
0,3 M	70,14	98,99	99,45	99,56	
0,4 M	74,48	99,16	99,88	99,60	
<b>Ti/Pt anot</b>					
<b>Destekleyici Elektrolit Konsantrasyonu</b>	<b>KOİ (%)</b>	<b>AKM (%)</b>	<b>RENK (%)</b>	<b>BULANIKLIK (%)</b>	<b>Sabit Tutulan Değişken</b>
YOK	25,03	85,15	86,50	80,96	pH≈7 (doğal), J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm
0,1 M	67,25	91,40	93,85	93,16	
0,2 M	80,05	98,47	98,64	99,18	
0,3 M	83,36	99,52	99,25	99,21	
0,4 M	85,78	99,58	99,36	99,47	



**Şekil 5.3:** KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine destekleyici elektrolit konsantrasyonunun etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl)



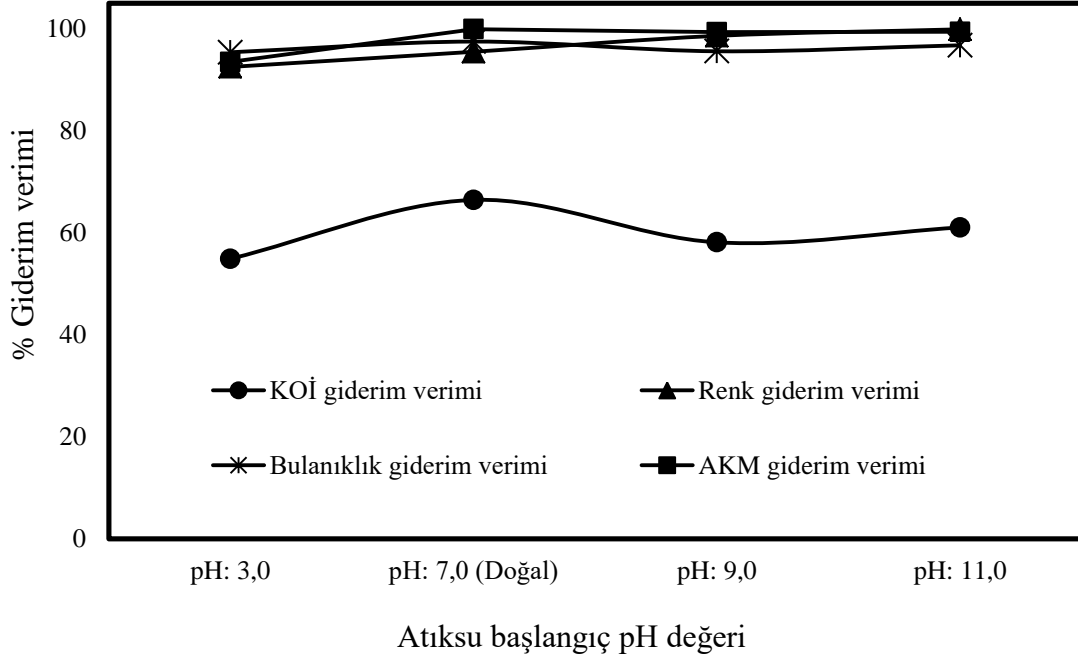
**Şekil 5.4:** KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine destekleyici elektrolit konsantrasyonunun etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:NaCl)

### 5.3. Atıksu Başlangıç pH Değerinin Tüm Parametreler için Etkisi

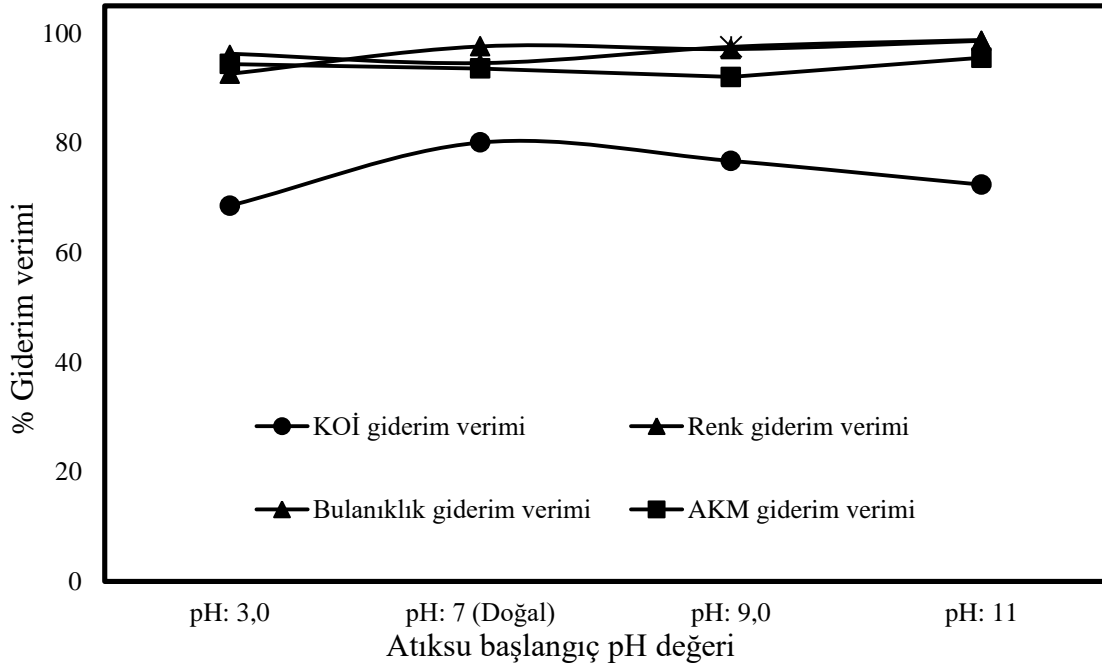
pH, birçok kirleticinin EO tarafından oksidasyonu için önemli bir faktördür, bu nedenle proses performansını doğrudan etkiler. EO işleminde hidrojen iyonları, atık su pH'ında bir azalmaya neden olabilecek oksijen oluşumu reaksiyonu gerçekleştiğinde üretilir (Iskurt et al., 2020). Yapılan çalışmalarda anot malzemesi olarak Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>'nin kullanıldığı denemeler pH 3, 7 (doğal pH), 9, 11 değerlerinde sabit sıcaklık, 400 devir/dakika karıştırma hızında, 4,06 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, 0,2 M NaCl içeren atıksularda incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda en yüksek artım verimin atıksuyun doğal pH değerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Anot malzemesi olarak Ti/Pt 'nin kullanıldığı denemelerde aynı şartlarda ve pH değerlerinde çalışılmış olup bu anotlar için de en yüksek verimin doğal pH değerinde elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Her iki anot için de çok asidik şartlarda verimin düştüğü gözlenmiştir. pH 3'teki yüksek H<sup>+</sup> konsantrasyonu, hidroksil radikali oluşumunu engelleyebilir (Barisci and Suri, 2020).

**Tablo 5.3:** Atıksu Başlangıç pH Değerinin Tüm parametreler Üzerine Etkisi

<b>Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> Anot</b>					
<b>Atıksu Başlangıç pH Değeri</b>	<b>KOİ (%)</b>	<b>AKM (%)</b>	<b>RENK (%)</b>	<b>BULANIKLI K (%)</b>	<b>Sabit Tutulan Değerler</b>
pH=3	55,54	96,03	97,89	97,34	J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm DE=0,2 M NaCl
pH=7(doğal)	66,46	98,91	98,67	98,47	
pH=9	61,61	98,34	97,69	96,49	
pH=11	54,34	97,39	95,90	96,29	
<b>Ti/Pt Anot</b>					
<b>Atıksu Başlangıç pH Değeri</b>	<b>KOİ (%)</b>	<b>AKM (%)</b>	<b>RENK (%)</b>	<b>BULANIKLI K (%)</b>	<b>Sabit Tutulan Değerler</b>
pH=3	72,36	99,35	98,12	99,38	J=4,06 mA/cm <sup>2</sup> , T=20±1°C, KH=400 rpm DE=0,2 M NaCl
pH=7 (doğal)	80,05	98,47	98,64	99,18	
pH=9	76,7	97,30	97,29	99,31	
pH=11,0	68,54	96,18	96,41	98,25	



**Şekil 5.5:** KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine atıksu başlangıç pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, K.H.: 400 rpm, D.E.T.:0,2 M NaCl)



**Şekil 5.6:** KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine atıksu başlangıç pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, K.H.: 400 rpm, D.E.K.:0,2 M NaCl)

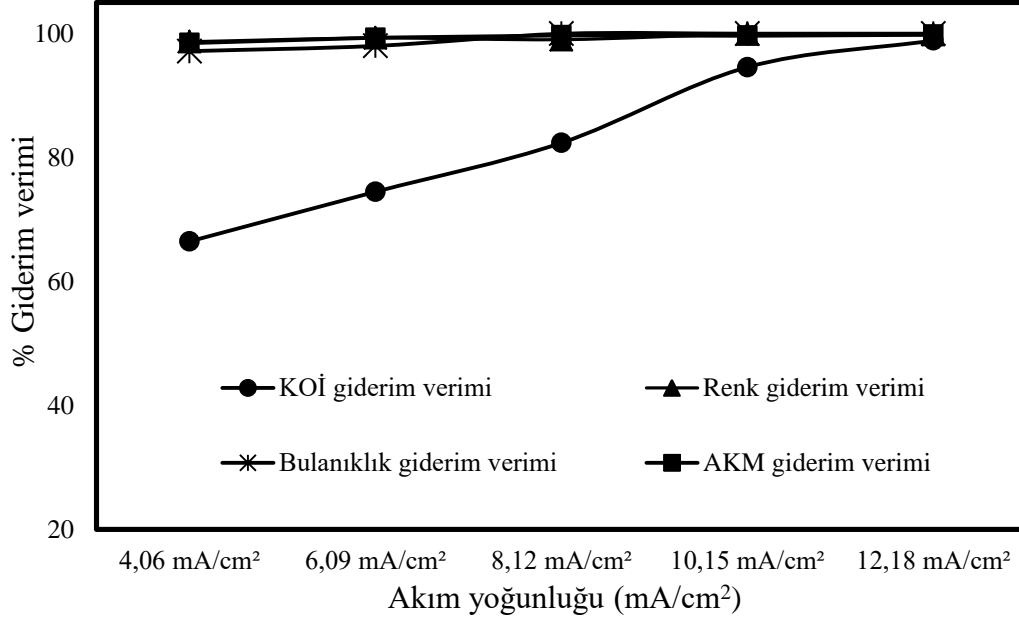
#### 5.4. Uygulanan Akım Yoğunluğunun Tüm Parametreler için Etkisi

Uygulanan akımın elektrotların aktif yüzey alanına oranı olarak tanımlanan uygulanan akım yoğunluğu, elektrokimyasal arıtımda anahtar tasarım parametrelerinden biridir (R. Mohtashami and J. Q. Shang, 2019). Anot malzemesi olarak Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> ve Ti/Pt anotun kullanıldığı denemelerle her iki anot için doğal pH değerinde, 20±1°C sabit sıcaklıkta, 400 devir/dakika karıştırma hızında ve 0.2 M destek elektrolit kullanılarak 4,06 mA.cm<sup>-2</sup>, 6,09 mAcm<sup>-2</sup>, 8,12 mAcm<sup>-2</sup>, 10,15 mAcm<sup>-2</sup>, 12,18 mAcm<sup>-2</sup> akım yoğunluklarında 3 saatlik reaksiyon süresinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarda beklendiği gibi akım yoğunluğu arttıkça tüm parametrelerde giderim veriminin de arttığı gözlenmiştir. En yüksek arıtım verime 12,18 mA/cm<sup>2</sup> olan akım yoğunluğunda ulaşılmıştır . Elektrik enerjisi tüketimi, uygulanan akım ve hücre voltajı ile doğrudan ilişkili olduğundan, kararlı durum koşulunun korunduğu zamanda prosesin enerji tüketimi, daha yüksek akım yoğunluğunda artmıştır (Eryuruk et al., 2018). Bu sonuçlar, düşük akım yoğunluğunda çalışmanın enerji verimliliği ve anot performansı açısından daha karlı olduğunu göstermektedir (Can et al., 2019). Ayrıca akım yoğunluğunun arttırılmasıyla tüketilen enerji miktarı artacağından bu da sistemin maliyetinin artması demektir. Mühendislik uygulamalarında önemli bir parametre olan maliyet bu hususta göz önüne alınmalıdır. Amaç minimum maliyetle yüksek verim elde etmek olmalıdır. Bu yüzden yapılan çalışmalarda uygun akım yoğunluğu olarak 4.06 mA/cm<sup>2</sup> tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

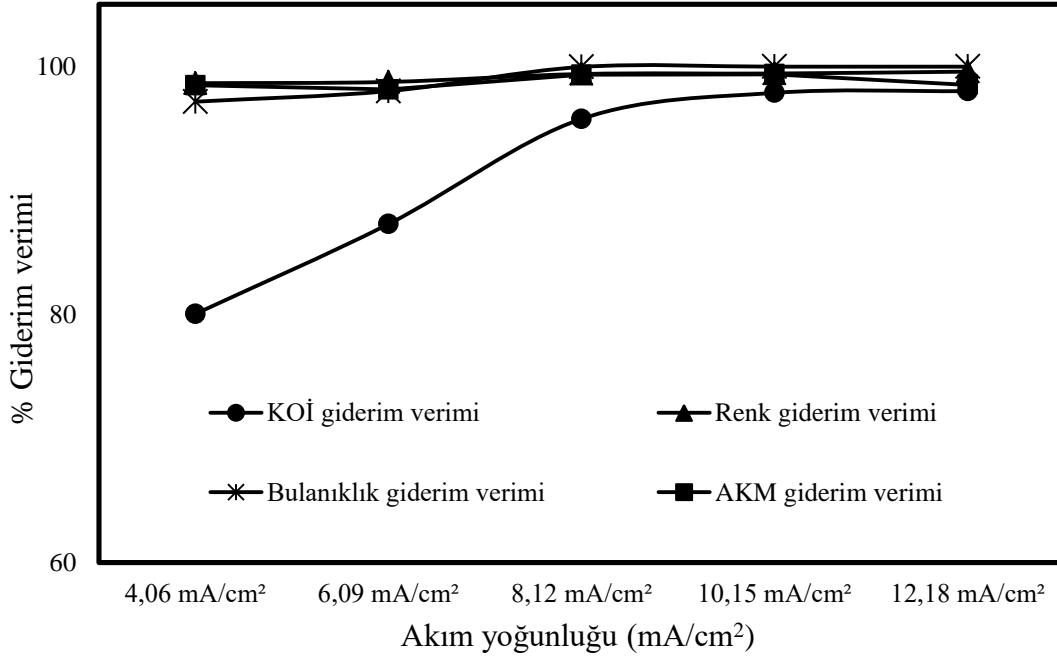


**Tablo 5.4:** Uygulanan Akım Yoğunluğunun Tüm Parametreler Üzerine Etkisi

<b>Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> Anot</b>					
<b>J(Akım Yoğunluğu)</b>	<b>KOİ (%)</b>	<b>AKM (%)</b>	<b>RENK (%)</b>	<b>BULANIKLIK (%)</b>	<b>Sabit Tutulan Değerler</b>
J=4,06 mA/cm <sup>2</sup>	66,46	98,91	98,67	98,47	pH≈7 (doğal), T=20±1°C, KH=400 rpm, DE=0,2 M NaCl
J=6,09 mA/cm <sup>2</sup>	74,47	99,89	99,28	99,30	
J=8,12 mA/cm <sup>2</sup>	82,36	99,92	99,01	99,71	
J=10,15 mA/cm <sup>2</sup>	94,57	99,95	99,90	99,65	
J=12,18 mA/cm <sup>2</sup>	98,87	99,92	99,81	99,80	
<b>Ti/Pt Anot</b>					
<b>J(Akım Yoğunluğu)</b>	<b>KOİ (%)</b>	<b>AKM (%)</b>	<b>RENK (%)</b>	<b>BULANIKLIK (%)</b>	<b>Sabit Tutulan Değerler</b>
J=4,06 mA/cm <sup>2</sup>	80,05	98,47	98,64	99,18	pH≈7 (doğal), T=20±1°C, KH=400 rpm, DE=0,2 M NaCl
J=6,09 mA/cm <sup>2</sup>	87,29	99,31	99,31	99,39	
J=8,12 mA/cm <sup>2</sup>	95,76	99,32	99,38	99,95	
J=10,15 mA/cm <sup>2</sup>	97,86	99,35	99,42	99,97	
J=12,18 mA/cm <sup>2</sup>	99,70	98,50	99,57	99,97	

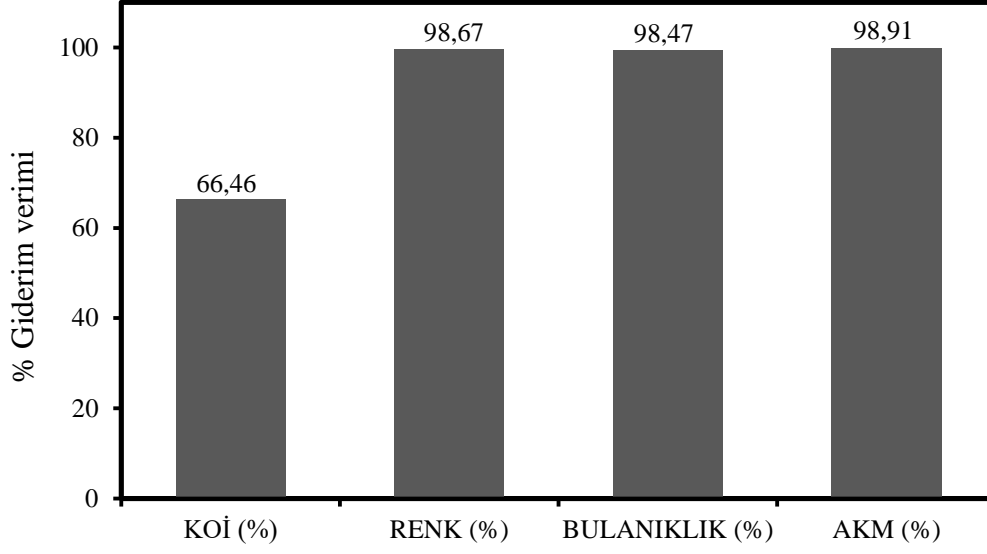


**Şekil 5.7:** KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine akım yoğunluğunun etkisi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7 K.H.: 400 rpm, D.E.K.:0,2 M NaCl)

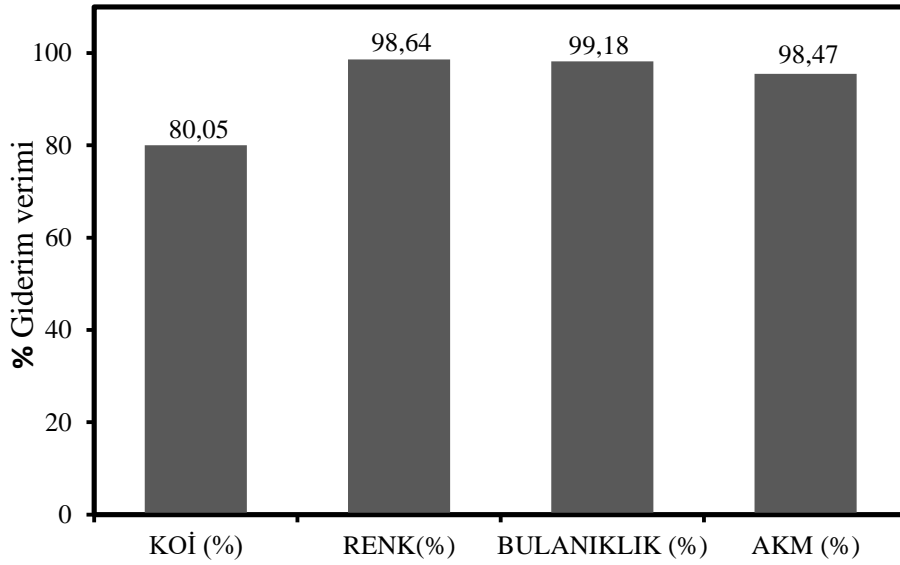


**Şekil 5.8:** KOİ, renk bulanıklık ve AKM giderim verimleri üzerine akım yoğunluğunun etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, D.E.K.:0,2 M NaCl)

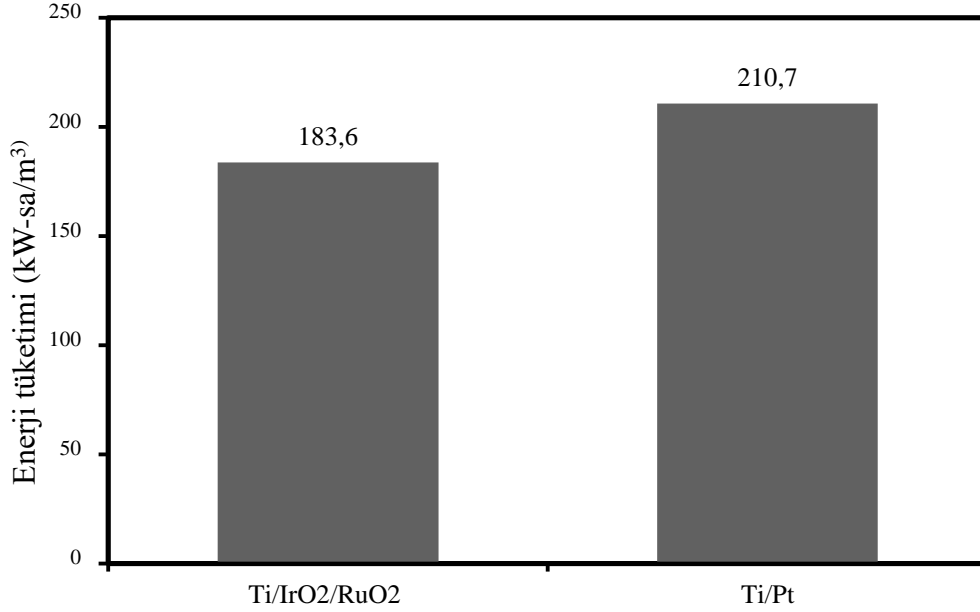
Yukarıdaki şekiller incelendiğinde her iki anot türü için de akım yoğunluğu ve verimin doğru orantılı olduğu görülmektedir. Yapılan tüm çalışmalarda renk bulanıklık ve akm gideriminin %95'in üzerinde olduğu görülmüştür.



**Şekil 5.9:** Optimum olarak seçilen deney şartlarında hesaplanan giderim verimleri (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>, pH≈7 K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl, D.E.K.: 0,2 M NaCl)



**Şekil 5.10:** Optimum olarak seçilen deney şartlarında hesaplanan giderim verimleri (Anot türü: Ti/Pt, pH≈7, K.H.: 400 rpm, , D.E.T.:NaCl, D.E.K.: 0,2 M NaCl )



**Şekil 5.11:** Optimum olarak seçilen deney şartlarında hesaplanan enerji tüketimi (Anot türü: Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> ve Ti/Pt, pH≈7 K.H.: 400 rpm, D.E.T.:NaCl, D.E.K.: 0,2 M)

Optimum koşullar için bulunan yukarıdaki sonuçlarda elde edilen verimler hesaplanmıştır. Bu sonuç maliyet de göz önüne alınarak 0,2 M ve 4,06 mA/cm<sup>2</sup> olarak seçilmiştir.

## 6. ÖNERİLER

Yapılan tüm çalışmalar neticesinde incelenen parametrelerden elde edilen sonuçlar dikkate alındığında yüksek organik kirliliğe sahip olan mezabaha atıksuları için elektrooksidasyon prosesinin alternatif olarak kullanılabilceği düşünülmektedir. Bu işletmelerin tüm aşamalarında çok miktarda su tüketilir ve bu atıksular arıtdıktan sonra deşarj edilir. Mezabaha suları alıcı ortamlar için en tehlikeli sulardan biri olması sebebiyle belediyelerin öngördüğü limitlere kadar artırılması zorunludur. Bu sular içeriğindeki yağ ve yüksek organik madde nedeniyle arıtılması zor atıksu türlerindedir. Mezabaha atıksularının arıtımı için kullanılacak yöntemlerden biri de elektrokimyasal arıtmadır. Elde edilen bu sonuçlara göre her iki anot çeşidi için de (Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> ve Ti/Pt) çalışılan atıksuyun elektrooksidasyon yöntemi ile arıtımında renk, bulanıklık ve askıda katı madde gideriminde oldukça yüksek verimler elde edilebilir. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderimi Ti/Pt anot için daha yüksek olmasına rağmen elektrik tüketimi ve kimyasal maliyeti göz önüne alınarak öncelikli tercih yapılmalıdır. Az alanda uygulanabilir ve kolay işletilebilir olması sebebiyle elektrooksidasyon organik içeriğe sahip atıksuların arıtımında kolaylıkla kullanılabilir. En ideal akım maliyet ve giderim göz önüne alınarak düşünülmelidir. Sonuç

olarak her iki anot türü de giderim açısından oldukça uygun olsa da proses için eğer öncelik yüksek verim elde etmek ise Ti/Pt anot, düşük maliyet öncelikli ise Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abdelhay, A., Jum'h, I., Albsoul, A., Abu Arideh, D. and Qatanani, B. (2021). Performance of electrochemical oxidation over BDD anode for the treatment of different industrial dye-containing wastewater effluents. *Water Reuse*, 11(1), 110-121.
- Afanga, H., Zazou, H., Titchou, F. E., Gaayda, J. E., Sopaj, F., Akbour, R. A. and Hamdani, M. (2021). Electrochemical oxidation of Naphthol Blue Black with different supporting electrolytes using a BDD /carbon felt cell. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104498. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104498>
- Ahmad, S., Pathak, V. V. and Kothari, R. (2018). Optimization of nutrient stress using *C. pyrenoidosa* for lipid and biodiesel production in integration with remediation in dairy industry wastewater using response surface methodology. 8(8), 326. doi: 10.1007/s13205-018-1342-8
- Al-Gheethi, A., Mohamed, R., Rahman, M. A. A., Johari, M. and Kassim, A. (2016). *Treatment of wastewater from car washes using natural coagulation and filtration system*. Paper presented at the IOP conference series: materials science and engineering.
- Alfonso-Muniozguren, P., Lee, J., Bussemaker, M., Chadeesingh, R., Jones, C., Oakley, D. and Saroj, D. (2018). A combined activated sludge-filtration-ozonation process for abattoir wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 25, 157-163.
- Anonim. (2004). Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, SKKY (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği). 25687 sayılı Resmi Gazete
- Anonim. (2011). Ayrışma Elektrolizi [Online]. (14.05.2020), <https://www.lokmanbas.net/fen-ve-teknoloji-ders-notlari-ayrisma-elektrolizi>
- Anonim. (2021a). Tarım ve Orman Bakanlığı, Türkiye'de Yıllara Göre Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Sayısı [Online]. (07.04.2021), <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/HAYGEM.pdf>
- Anonim. (2021b). Sığırlar çevre için taşıtlardan daha zararlı [Online]. (27.11.2021), <https://www.hurriyet.com.tr/dunya/sigirlar-cevre-icin-tasitlardan-daha-zararli-5594189>

- Aquino Neto, S. and de Andrade, A. R. (2009). Electrooxidation of glyphosate herbicide at different DSA® compositions: pH, concentration and supporting electrolyte effect. *Electrochimica Acta*, 54(7), 2039-2045. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2008.07.019>
- Asselin, M., Drogui, P., Benmoussa, H. and Blais, J. F. (2008). Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells. *Chemosphere*, 72(11), 1727-1733. doi: [10.1016/j.chemosphere.2008.04.067](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.067)
- Aytaç, E. (2011). *Elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak tekstil atıksularının arıtımı*. Anadolu Üniversitesi.
- Azam, R., Kothari, R., Singh, H. M., Ahmad, S., Ashokkumar, V. and Tyagi, V. V. (2020). Production of algal biomass for its biochemical profile using slaughterhouse wastewater for treatment under axenic conditions. *Bioresource Technology*, 306, 123116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123116>
- Baker, H. (1991). Genel kimya. *Karedeniz Teknik Üniversitesi Yayınları*, 152.
- Barisci, S. and Suri, R. (2020). Electrooxidation of short and long chain perfluorocarboxylic acids using boron doped diamond electrodes. *Chemosphere*, 243, 125349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125349>
- Barisci, S. and Suri, R. (2021). Electrooxidation of short- and long-chain perfluoroalkyl substances (PFASs) under different process conditions. *Journal of environmental chemical engineering*, 9(4), 105323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105323>
- Barrera, M., Mehrvar, M., Gilbride, K. A., McCarthy, L. H., Laursen, A. E., Bostan, V. and Pushchak, R. (2012). Photolytic treatment of organic constituents and bacterial pathogens in secondary effluent of synthetic slaughterhouse wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(9), 1335-1350.
- Bazrafshan, E., Moein, H. and Mostafapour, F. (2012). Application of Electrocoagulation Process for Dairy Wastewater Treatment. *Journal of Chemistry*, 2013. doi: [10.1155/2013/640139](https://doi.org/10.1155/2013/640139)
- Belal, R. M., Zayed, M. A., El-Sherif, R. M. and Abdel Ghany, N. A. (2021). Advanced electrochemical degradation of basic yellow 28 textile dye using IrO<sub>2</sub>/Ti meshed electrode in different supporting electrolytes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 882, 114979. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.114979>

- Brodskiy, V., Kolesnikov, V., Malkova, Y. and Gaydukova, A. (2021). The effect of high-molecular compounds nature on the electroflotation removal of the metal compounds from electrolyte solutions. *Separation and Purification Technology*, 279, 119689. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119689>
- bte Jais, N. M., bte Radin Mohamed, R. M. S., Wan Mohamad Apandi, W. A. and Matias Peralta, H. M. (2015). Removal of Nutrients and Selected Heavy Metals in Wet Market Wastewater by Using Microalgae *Scenedesmus* Sp. *Applied Mechanics and Materials*, 773-774, 1210-1214. doi: [10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1210](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1210)
- Bustillo-Lecompte, C. and Mehrvar, M. (2017). Slaughterhouse wastewater: treatment, management and resource recovery. *Physico-chemical wastewater treatment and resource recovery*, 153-174.
- Bustillo-Lecompte, C., Mehrvar, M. and Quiñones-Bolaños, E. (2016). Slaughterhouse wastewater characterization and treatment: an economic and public health necessity of the meat processing industry in Ontario, Canada. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(4), 175-186.
- Bustillo-Lecompte, C. F., Ghafoori, S. and Mehrvar, M. (2016). Photochemical degradation of an actual slaughterhouse wastewater by continuous UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photoreactor with recycle. *Journal of environmental chemical engineering*, 4(1), 719-732.
- Bustillo-Lecompte, C. F. and Mehrvar, M. (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of environmental management*, 161, 287-302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.008>
- Bustillo-Lecompte, C. F. and Mehrvar, M. (2017). Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic–aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: An optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 141, 278-289. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.060>
- Bustillo-Lecompte, C. F., Mehrvar, M. and Quiñones-Bolaños, E. (2014). Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic–aerobic and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Journal of environmental management*, 134, 145-152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.035>



- Can, O. T., Gengec, E. and Kobya, M. (2019). TOC and COD removal from instant coffee and coffee products production wastewater by chemical coagulation assisted electrooxidation. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 28-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.01.002>
- Cao, W. and Mehrvar, M. (2011). Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(7), 1136-1143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.12.001>
- Chakik, F. e., Kaddami, M. and Mikou, M. (2017). Effect of operating parameters on hydrogen production by electrolysis of water. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(40), 25550-25557. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.015>
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006>
- Comninellis, C. (1994). Electrocatalysis in the electrochemical conversion/combustion of organic pollutants for waste water treatment. *Electrochimica Acta*, 39(11-12), 1857-1862.
- Comninellis, C. and Nerini, A. (1995). Anodic oxidation of phenol in the presence of NaCl for wastewater treatment. *Journal of Applied Electrochemistry*, 25(1), 23-28. doi: [10.1007/BF00251260](https://doi.org/10.1007/BF00251260)
- Darvishmotevalli, M., Zarei, A., Moradnia, M., Noorisepehr, M. and Mohammadi, H. (2019). Optimization of saline wastewater treatment using electrochemical oxidation process: Prediction by RSM method. *MethodsX*, 6, 1101-1113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.03.015>
- Davarnejad, R. and Sahraei, A. (2016). Industrial wastewater treatment using an electrochemical technique: an optimized process. *Desalination and Water Treatment*, 57(21), 9622-9634. doi: [10.1080/19443994.2015.1030776](https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1030776)
- Del Nery, V., de Nardi, I. R., Damianovic, M. H. R. Z., Pozzi, E., Amorim, A. K. B. and Zaiat, M. (2007). Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(1), 102-114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.06.001>
- Dominguez, C. M., Oturan, N., Romero, A., Santos, A. and Oturan, M. A. (2018). Lindane degradation by electrooxidation process: Effect of electrode materials on oxidation

- and mineralization kinetics. *Water research*, 135, 220-230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.02.037>
- Eryuruk, K., Tezcan Un, U. and Bakır Oğutveren, U. (2018). Electrochemical treatment of wastewaters from poultry slaughtering and processing by using iron electrodes. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1089-1095. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.254>
- Fajardo, A. S., Seca, H. F., Martins, R. C., Corceiro, V. N., Freitas, I. F., Quinta-Ferreira, M. E. and Quinta-Ferreira, R. M. (2017). Electrochemical oxidation of phenolic wastewaters using a batch-stirred reactor with NaCl electrolyte and Ti/RuO<sub>2</sub> anodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 785, 180-189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.12.033>
- Farzadkia, M., Vanani, A., Golbaz, S., Sajadi, H. and Bazrafshan, E. (2016). Characterization and evaluation of treatability of wastewater generated in Khuzestan livestock slaughterhouses and assessing of their wastewater treatment systems. *Glob. Nest J*, 18, 108-118.
- Fil, B. A. (2014). *Antep Fıstığı İşleme Atıksularının Elektrokimyasal Yöntemiyle Arıtılması*. (Doktora Tezi Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Gaynor, J. S., Hagberg, S. and Gurfein, B. T. (2018). Veterinary applications of pulsed electromagnetic field therapy. *Research in Veterinary Science*, 119, 1-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.05.005>
- Gomes, A. J., Atambo, D. O., Das, K. K., Cocke, D. L. and Das, K. P. (2018). Electrochemical remediation of chicken processing plant wastewater. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(5), 6028-6036.
- Guo, Z., Zhang, Y., Jia, H., Guo, J., Meng, X. and Wang, J. (2022). Electrochemical methods for landfill leachate treatment: A review on electrocoagulation and electrooxidation. *Science of The Total Environment*, 806, 150529. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150529>
- Hai, H., Xing, X., Li, S., Xia, S. and Xia, J. (2020). Electrochemical oxidation of sulfamethoxazole in BDD anode system: Degradation kinetics, mechanisms and toxicity evaluation. *Science of The Total Environment*, 738, 139909. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139909>
- Huang, C. J. and Liu, J. C. (1999). Precipitate flotation of fluoride-containing wastewater from a semiconductor manufacturer. *Water Research*, 33(16), 3403-3412. doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00065-2)

- Iskurt, C., Keyikoglu, R., Kobya, M. and Khataee, A. (2020). Treatment of coking wastewater by aeration assisted electrochemical oxidation process at controlled and uncontrolled initial pH conditions. *Separation and Purification Technology*, 248, 117043. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117043>
- Jensen, P. D., Yap, S. D., Boyle-Gotla, A., Janoschka, J., Carney, C., Pidou, M. and Batstone, D. J. (2015). Anaerobic membrane bioreactors enable high rate treatment of slaughterhouse wastewater. *Biochemical Engineering Journal*, 97, 132-141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.02.009>
- Kaur, R., Kushwaha, J. P. and Singh, N. (2018). Electro-oxidation of Ofloxacin antibiotic by dimensionally stable Ti/RuO<sub>2</sub> anode: Evaluation and mechanistic approach. *Chemosphere*, 193, 685-694. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.065>
- Ken, D. S. and Sinha, A. (2021). Dimensionally stable anode (Ti/RuO<sub>2</sub>) mediated electro-oxidation and multi-response optimization study for remediation of coke-oven wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 105025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105025>
- Khelifa, A., Moulay, S. and Naceur, W. (2005). Treatment of metal finishing effluents by the electroflotation technique. *Desalination*, 181, 27-33. doi: [10.1016/j.desal.2005.01.011](https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.01.011)
- Khosravanipour Mostafazadeh, A., Zolfaghari, M. and Drogui, P. (2016). Electrofiltration technique for water and wastewater treatment and bio-products management: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 14, 28-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.10.003>
- Kitrungloadjanaporn, P., Sripongpun, G. and Triampo, W. (2017). Nutrient removal from the effluent of swine slaughterhouse wastewater by *Chlorella vulgaris* TISTR 8580. *Int'l Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engineering*, 4, 28-32.
- Koparal, A. S., Yildiz, Y. Ş., Keskinler, B. and Demircioğlu, N. (2008). Effect of initial pH on the removal of humic substances from wastewater by electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, 59(2), 175-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.06.004>
- Kothari, R., Pandey, A., Ahmad, S., Kumar, A., Pathak, V. V. and Tyagi, V. V. (2017). Microalgal cultivation for value-added products: a critical enviro-economical assessment. *3 Biotech*, 7(4), 243. doi: [10.1007/s13205-017-0812-8](https://doi.org/10.1007/s13205-017-0812-8)

- Körbahti, B. K. (2007). Response surface optimization of electrochemical treatment of textile dye wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1), 277-286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.031>
- Körbahti, B. K. and Taşyürek, S. (2015). Electrochemical oxidation of ampicillin antibiotic at boron-doped diamond electrodes and process optimization using response surface methodology. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3265-3278. doi: 10.1007/s11356-014-3101-7
- Kyzas, G. Z. and Matis, K. A. (2016). Electroflotation process: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 220, 657-664. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.04.128>
- Li, C. T., Shieh, W. K., Wu, C. S. and Huang, J. S. (1986). Chemical/bio-fluidized bed treatment of slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Engineering*, 112(4), 718-728.
- Liu, Y.-J., Hu, C.-Y. and Lo, S.-L. (2019). Direct and indirect electrochemical oxidation of amine-containing pharmaceuticals using graphite electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 366, 592-605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.037>
- Liu, Y., Kang, X., Li, X. and Yuan, Y. (2015). Performance of aerobic granular sludge in a sequencing batch bioreactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 190, 487-491. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.008>
- Loganath, R. and Mazumder, D. (2018). Performance study on organic carbon, total nitrogen, suspended solids removal and biogas production in hybrid UASB reactor treating real slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 3474-3484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.031>
- Ma, J. (2017). Determination of chemical oxygen demand in aqueous samples with non-electrochemical methods. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 14, 37-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.teac.2017.05.002>
- Mohammed, A. A. and Al-Gurany, A. J. M. (2010). Separation of oil from O/W emulsion by electroflotation technique. *Journal of Engineering*, 3(16), 5503-5515.
- Mohtashami, R. and Shang, J. (2019). Electroflotation for Treatment of Industrial Wastewaters: A Focused Review. *Environmental Processes*, 6. doi: 10.1007/s40710-019-00348-z
- Mohtashami, R. and Shang, J. Q. (2019). Treatment of automotive paint wastewater in continuous-flow electroflotation reactor. *Journal of Cleaner Production*, 218, 335-346. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.326>

- Mohtashami, S. R. (2018). *Electroflotation for Treatment of Paint Wastewater: Experiments, Kinetics and Hydrodynamics* The University of Western Ontario Electronic Thesis and Dissertation Repository.
- Moreira, F. C., Boaventura, R. A., Brillas, E. and Vilar, V. J. (2017). Electrochemical advanced oxidation processes: a review on their application to synthetic and real wastewaters. *Applied Catalysis B: Environmental*, 202, 217-261.
- Moukakis, I., Pellerá, F.-M. and Gidarakos, E. (2018). Slaughterhouse by-products treatment using anaerobic digestion. *Waste Management*, 71, 652-662. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.009>
- Moussavi, G. and Aqanaghad, M. (2015). Performance evaluation of electro-Fenton process for pretreatment and biodegradability improvement of a pesticide manufacturing plant effluent. *Sustainable Environment Research*, 25, 249-254.
- Nahui, F., Rodrigues, M., Cavalcanti, E. and O. Vilar, E. (2008). Electroflotation of emulsified oil in industrial wastes evaluated with a full factorial design. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25. doi: 10.1590/S0104-66322008000300001
- Oller, I., Malato, S. and Sánchez-Pérez, J. (2011). Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination—a review. *Science of the total environment*, 409(20), 4141-4166.
- Öztürk, D. (2019). *Mezbaha Atıksularının Elektrokimyasal Arıtım Prosesi İle Kesikli Ve Sürekli Sistemde Arıtımının İncelenmesi*. (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Erzurum.
- Öztürk, D., Aladağ, E., Yılmaz, A. E., Boncukcuoğlu, R. and Bayram, T. (2019). Mezbaha Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtılabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 738-748.
- Panizza, M. and Cerisola, G. (2009). Direct And Mediated Anodic Oxidation of Organic Pollutants. *Chemical Reviews*, 109(12), 6541-6569. doi: 10.1021/cr9001319
- Pham Nam Hai, S. O., Masaaki Tanaka, Stewart E. Barnes and Sadamichi Maekawa (2009). Electromotive force and huge magnetoresistance in magnetic tunnel junctions. *Nature*, 458, 489–492.
- Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J. and Díez, S. (2020). Removal of Cypermethrin and Chemical Oxygen Demand from Livestock Wastewater by Electrocoagulation. *Chemical Engineering & Technology*, 43(2), 211-217. doi: <https://doi.org/10.1002/ceat.201800742>

- Putra, R. S., Arrunillah, D., Fitria, F. and Ripki, N. (2021, 14-16 July 2021). *Measurement of Gas Bubbles Distribution on Electroflotation Process Using Titanium and Stainless Steel Electrode with DinoCapture 2.0*. Paper presented at the 2021 IEEE International Conference on Health, Instrumentation & Measurement, and Natural Sciences (InHeNce).
- Radjenovic, J. and Sedlak, D. L. (2015). Challenges and Opportunities for Electrochemical Processes as Next-Generation Technologies for the Treatment of Contaminated Water. *Environmental Science & Technology*, 49(19), 11292-11302. doi: 10.1021/acs.est.5b02414
- Ratna Kumar, P., Chaudhari, S., Khilar, K. C. and Mahajan, S. P. (2004). Removal of arsenic from water by electrocoagulation. *Chemosphere*, 55(9), 1245-1252. doi: 10.1016/j.chemosphere.2003.12.025
- Rûdaw. (2019). Dünyada hayvan kesim oranları ve et üzerine tartışmalar. Retrieved 27-05-2019, from <https://www.rudaw.net/turkish/lifestyle/27052019>
- Salazar, R., Ureta-Zañartu, M. S., González-Vargas, C., Brito, C. d. N. and Martínez-Huitle, C. A. (2018). Electrochemical degradation of industrial textile dye disperse yellow 3: Role of electrocatalytic material and experimental conditions on the catalytic production of oxidants and oxidation pathway. *Chemosphere*, 198, 21-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.092>
- Sandoval, M. A., Fuentes, R., Thiam, A. and Salazar, R. (2021). Arsenic and fluoride removal by electrocoagulation process: A general review. *Science of The Total Environment*, 753, 142108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142108>
- Scholz, F. (2017). Wilhelm Ostwald's role in the genesis and evolution of the Nernst equation. *Journal of Solid State Electrochemistry volume*, 1847–1859 (2017).
- Tanyol, M. and Tevcur, S. (2020). Elektrokoagülasyon Prosesi Kullanılarak MezbaHa Atıksularının Arıtımı Üzerine Ortam Parametrelerinin Etkisi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(2), 140-147.
- Titchou, F. E., Zazou, H., Afanga, H., El Gaayda, J., Ait Akbour, R., Hamdani, M. and Oturan, M. A. (2021). Electro-Fenton process for the removal of Direct Red 23 using BDD anode in chloride and sulfate media. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 897, 115560. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115560>
- Titchou, F. E., Zazou, H., Afanga, H., El Gaayda, J., Akbour, R. A., Nidheesh, P. V. and Hamdani, M. (2021). An overview on the elimination of organic contaminants from

- aqueous systems using electrochemical advanced oxidation processes. *Journal of Water Process Engineering*, 41, 102040.
- Topal, M. and Arslan Topal, I. E. (2011). Bir Entegre Et Tesisine Ait Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Yaz Sezonunda Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne (SKKY) Uygunluğunun Araştırılması. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 68-77.
- Tran, T.-K., Chiu, K.-F., Lin, C.-Y. and Leu, H.-J. (2017). Electrochemical treatment of wastewater: Selectivity of the heavy metals removal process. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(45), 27741-27748. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.156>
- TUİK. (2019). Kurbanlık Hayvanlar Üzerinden Hayvancılık Raporu. [https://www.zmo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=31668&tipi=5&sube=0#](https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=31668&tipi=5&sube=0#) (Erişim Tarihi: 07.04.2021)
- Türk, H. (1999). Elektrokimya. *Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesilköğretim Öğretmenliği Lisans Tamamlama Programı Yayınları*, 281-302.
- Vardar B. (2006). *Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarının Elektrokimyasal Yöntemler ile Arıtımı*. (Master Degree Master Thesis), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Vidal, J., Carvajal, A., Huiliñir, C. and Salazar, R. (2019). Slaughterhouse wastewater treatment by a combined anaerobic digestion/solar photoelectro-Fenton process performed in semicontinuous operation. *Chemical Engineering Journal*, 378, 122097. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122097>
- Vidal, J., Huiliñir, C. and Salazar, R. (2016). Removal of organic matter contained in slaughterhouse wastewater using a combination of anaerobic digestion and solar photoelectro-Fenton processes. *Electrochimica Acta*, 210, 163-170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.05.064>
- Yaakob, M. A., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A. A. S. and Kassim, A. H. M. (2018). Characteristics of chicken slaughterhouse wastewater. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 637-642.
- Yıldırım, Ö. (2007). Kağıt Endüstrisi Atıksularının Elektro-fenton yöntemiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi.
- Yildiz, Y. S., Koparal, A. S., Irdemez, S. and Keskinler, B. (2007). Electrocoagulation of synthetically prepared waters containing high concentration of NOM using iron cast electrodes. *J Hazard Mater*, 139(2), 373-380. doi: [10.1016/j.jhazmat.2006.06.044](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.044)

- Zaied, B. K., Rashid, M., Nasrullah, M., Zularisam, A. W., Pant, D. and Singh, L. (2020). A comprehensive review on contaminants removal from pharmaceutical wastewater by electrocoagulation process. *Science of The Total Environment*, 726, 138095. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138095>
- Zhao, J. and Burke, A. F. (2021). Electrochemical capacitors: Materials, technologies and performance. *Energy Storage Materials*, 36, 31-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.12.013>
- Zhuo, Q., Wang, J., Niu, J., Yang, B. and Yang, Y. (2020). Electrochemical oxidation of perfluorooctane sulfonate (PFOS) substitute by modified boron doped diamond (BDD) anodes. *Chemical Engineering Journal*, 379, 122280. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122280>



# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :Sermin GÜNASLAN

Doğum tarihi ve yeri : 28.02.1994/IĞDIR

e-posta :gunaslansermin@gmail.com

## Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2018-2022
Lisans	Balıkesir. Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2013-2017
Lise	Çanakkale Ali Haydar Önder Lisesi	2011-2012

## Yayın Listesi

A. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Fil Baybars Ali, **Günaslan Sermin** (2022). Investigation Of Turbidity Removal And Energy Consumption From Pistachio Processing Industry Wastewater By Electro-oxidation Process, Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia , Accepted Paper.

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

1. Fil Baybars Ali, Kara Eda Nur, Farizoğlu Burhanettin, Uzuner Süleyman, **Günaslan Sermin**, Kul Sinan (2019). Electrooxidation method for the treatment of olive brine wastewater: Effect of support electrolyte type and concentration. 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2019) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5713576).

## Projelerde Yaptığı Görevler:

1.Zeytin Salamura Atıksularının Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi (2019/045) Araştırmacı

2. Elektrokoagülasyon Prosesinin Uygulamaları (2019/044) Araştırmacı

3. Elektrokimyasal Yöntemlerle Atıksulardan Renk Giderimi (2018/183) Araştırmacı