

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



**ZEYTİN SEPERATÖR ATIKSUYUNUN
ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİYLE ARITIMININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDA NUR DEREL

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 “**ZEYTİN SEPERATÖR ATIKSUYUNUN ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİYLE ARITIMININ İNCELENMESİ**” 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.

EDA NUR DEREL

ÖZET

ZEYTİN SEPERATÖR ATIKSUYUNUN ELEKTROOKSİDASYON TÖNTEMİYLE ARITIMININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDA NUR DEREL

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. BAYBARS ALİ FİL)

BALIKESİR, ŞUBAT - 2022

Bu çalışmada, günlük olarak yaklaşık 60 ton ürünün işlendiği bir yerel endüstrinin zeytin seperatör atıksularının elektrooksidasyon yöntemi ile giderimi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda, 1100 mL gerçek atıksu örnekleri ceketli cam reaktörde kesikli denemelerde; katot materyali olarak kaplanmamış titanyum, anot materyalleri olarak, Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar kullanılmıştır. Toplamda 8 adet (4 anot ve 4 katot) elek tipi titanyum elektrotların yaklaşık ıslak yüzey alanı 2464 cm² olarak hesaplanmıştır. Giderim verimine etki eden deneysel parametreler olarak destek elektrolit türü ve konsantrasyonu, atıksu başlangıç pH'sı ve akım yoğunluğu seçilmiştir. Optimum şartlarda: KOİ, Renk, Bulanıklık, AKM giderim verimleri sırasıyla, Ti/IrO₂/RuO₂ kaplama elektrotlar için %54,00, %85,53, %84,55 ve %85,96, Ti/Pt kaplama elektrotlar için de %58,08, %88,83, %88,51 ve %88,53 olarak elde edilmiştir. Atıksu başlangıç pH ($\approx 4,8$) değerinde 0,2 M NaCl konsantrasyonlarında, 400 devir/dakika karıştırma hızında 12,18 mA cm⁻² denemeler yapılmış olup Ti/IrO₂/RuO₂ kaplama elektrotlar için enerji tüketimi 924,5 (kW-sa m⁻³), Ti/Pt kaplama elektrotlar için ise 908,2 (kW-sa m⁻³)'tür.

ANAHTAR KELİMELELER: Zeytin seperatör atıksuyu, elektrooksidasyon, Ti/IrO₂/RuO₂ anot, Ti/Pt anot.
Bilim Kod/ Kodları : 90319

Sayfa Sayısı: 79

ABSTRACT

ZEYTİN SEPERATÖR ATIKSUYUNUN ELEKTROOKSİDASYON TÖNTEMİYLE ARITIMININ İNCELENMESİ

MSC THESIS

EDA NUR DEREL

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: DOÇ. DR. BAYBARS ALİ FİL)

BALIKESİR, FEBRUARY 2022

In this study, the elimination of olive separator wastewater of a local industry, where approximately 60 tons of products per day is processed, by electrooxidation method has been investigated. In the studies, 1100 mL real wastewater samples were collected in batch trials in jacketed glass reactor; Uncoated titanium was used as cathode material, Ti/IrO₂/RuO₂ and Ti/Pt anodes were used as anode materials. Approximate wet surface area of 8 (4 anode and 4 cathode) sieve type titanium electrodes in total was calculated as 2464 cm². Support electrolyte type and concentration, wastewater initial pH and current density were selected as the experimental parameters affecting the removal efficiency. Under optimum conditions: COD, Color, Turbidity, AKM removal efficiencies are 54.00%, 85.53%, 84.55% and 85.96% for Ti/IrO₂/RuO₂ coated electrodes, respectively, and% for Ti/Pt coating electrodes 58.08%, 88.83%, 88.51% and 88.53% were obtained. Trials were carried out at 0.2 M NaCl concentrations at the initial pH (4.8) of the wastewater, at a mixing speed of 400 rpm, 12.18 mA cm⁻², and the energy consumption for Ti/IrO₂/RuO₂ coated electrodes was 924.5 (kW-hr m⁻³) and 908.2 (kW-hr m⁻³) for Ti/Pt coated electrodes.

KEYWORDS: Olive separator wastewater, electrooxidation, Ti/IrO₂/RuO₂ anode, Ti/Pt anode.

Science Code/ Codes : 90319

Page Number:79

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
KISALTMALAR VE SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	2
2.1 Zeytinin Tarihi	2
2.2 Türkiye’de Zeytin Çeşitleri	2
2.3 Dünya Sofralık Zeytin İstatistikleri	3
2.3.1 Dünya sofralık zeytin üretimi	3
2.3.2 Dünya sofralık zeytin ihracatı, ithalatı ve tüketimi	4
2.3.3 Dünya’daki sofralık zeytin arz-talep dengesi	6
2.3.4 Türkiye’deki zeytinyağı ve sofralık zeytin üretimi	7
2.4 Tesis Hakkında Genel Bilgiler	9
2.5 Elektrokimyasal Arıtım Yöntemlerinin Genel Özellikleri.....	11
2.5.1 Elektrokimya.....	11
2.5.1.1 Faraday yasası ve Elektrokimyasal Hücre Potansiyeli	11
2.5.2 Elektrokimyasal işlemler	12
2.5.3 Elektrokoagülasyon Yöntemi	12
2.5.3.1 Elektrokoagülasyonun avantajları.....	14
2.5.3.2 Elektrokoagülasyonun dezavantajları	14
2.5.4 Elektroflotasyon Yöntemi.....	15
2.5.5 Elektrofiltasyon Yöntemi	15
2.5.6 Elektrodializ Yöntemi.....	16
2.5.7 Elektro-Fenton Yöntemi	16
2.5.8 Elektrooksidasyon Yöntemi	16
2.5.8.1 Elektrooksidasyonun Avantajları	21
2.5.8.2 Elektrooksidasyonun Dezavantajları	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Atıksu Temini Özellikleri	24
3.2 Elektrooksidasyon Denemelerinin Yapıldığı Düzenek.....	24
3.3 Deney Parametreleri.....	26
3.1 Analiz Metotları ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı Analizi.....	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	30
4.1 Ti/IrO ₂ /RuO ₂ Anotlar İle Yapılan Çalışmalar.....	30
4.1.1 Giderim Verimine Destek Elektrolit Türünün Etkisi	30
4.1.2 Giderim Verimine Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Etkisi	34
4.1.3 Giderim Verimine Atıksu Başlangıç pH Değerinin Etkisi	38
4.1.4 Giderim Verimine Uygulanan Akım Yoğunluğunun Etkisi.....	41
4.2 Ti/Pt Anotlar İle Yapılan Çalışmalar	45
4.2.1 Giderim Verimine Destek Elektrolit Türünün Etkisi	45
4.2.2 Giderim Verimine Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Etkisi	48

4.2.3 Giderim Verimine Atıksu Başlangıç pH Değerinin Etkisi	52
4.2.4 Giderim Verimine Uygulanan Akım Yoğunluğunun Etkisi.....	55
4.3 Enerji Tüketim Değerleri	59
4.3.1 Enerji Tüketimine Destek Elektrolit Türünün Etkisi.....	59
4.3.2 Enerji Tüketimine Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Etkisi.....	61
4.3.3 Enerji Tüketimine pH Değerinin Etkisi.....	63
4.3.4 Enerji Tüketimine Uygulanan Akım Yoğunluğunun Etkisi	65
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	68
5.1 Destek Elektrolit Türünün Her İki Anot İçin Etkisi.....	68
5.2 Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Her İki Anot İçin Etkisi	69
5.3 Atıksu Başlangıç pH Değerinin Her İki Anot İçin Etkisi	70
5.4 Uygulanan Akım Yoğunluğunun Her İki Anot İçin Etkisi.....	71
6. ÖNERİLER.....	74
7. KAYNAKLAR.....	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Zeytin Üretiminin Yayılışı (Anonim 2019)	3
Şekil 2.2: Zeytin Seperatör Suyu Akış Şeması.....	9
Şekil 2.3: Kirleticilerin parçalanması (Elektrooksidasyon Prosesi)	17
Şekil 2.4: Kirleticilerin anot ve katot yüzeyindeki parçalanma mekanizması parçalanması (Elektrooksidasyon Prosesi).....	17
Şekil 2.5: Organik bileşiklerin aktif (a, c, d ve f) ve aktif olmayan (a, b ve e) reaksiyonlarının anot yüzeyinde eş zamanı olarak anodik oksidasyonu ve de klor bulunması halinde anot yüzeyinde dolaylı anodik oksidasyonu	18
Şekil 2.6: Elektrooksidasyon reaktörü (Tek kutuplu seri bağlı).....	22
Şekil 2.7: Elektrooksidasyon reaktörü (Çift kutuplu seri bağlı).....	23
Şekil 3.1: Kullanılan deney düzeneği	25
Şekil 3.2: Düzenek Şeklindeki; Multi-parametre ölçer (1), güç kaynağı (2), magnetik karıştırıcı (3), Kullanılan atıksu (4), Anot :TiIrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt (5), Magnet (6), Katot (7).....	26
Şekil 3.3: Kullanılan kalibrasyon eğrisi (KOİ analizi)	28
Şekil 4.1: Destek elektrolit türünün KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8).....	30
Şekil 4.2: Destek elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8).....	31
Şekil 4.3: Destek elektrolit türünün bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH:4,8).....	32
Şekil 4.4: Destek elektrolit türünün AKM giderim verimi üzerine (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8).....	33
Şekil 4.5: Destek elektrolit türünün KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH:4,8)	33
Şekil 4.6: Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	34
Şekil 4.7: Destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	35
Şekil 4.8: Destek elektrolit konsantrasyonunun bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8,DET: NaCl)	36
Şekil 4.9: Destek elektrolit konsantrasyonunun AKM giderim verimi üzerine etkisi (anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	37
Şekil 4.10: Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	37
Şekil 4.11: Atıksu pH değerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)	38

Şekil 4.12: Atıksu pH değerinin renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)	39
Şekil 4.13: Atıksu pH değerinin bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)	40
Şekil 4.14: Atıksu pH değerinin AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)	40
Şekil 4.15: Atıksu başlangıç pH değerinin KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)	41
Şekil 4.16: Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)	42
Şekil 4.17: Uygulanan akım yoğunluğunun renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)	43
Şekil 4.18: Uygulanan akım yoğunluğunun bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)	43
Şekil 4.19: Uygulanan akım yoğunluğunun AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)	44
Şekil 4.20: Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)	44
Şekil 4.21: Destek elektrolit türünün KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8)	45
Şekil 4.22: Destek elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8)	46
Şekil 4.23: Destek elektrolit türünün bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8)	47
Şekil 4.24: Destek elektrolit türünün AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8)	47
Şekil 4.25: Destek elektrolit türünün KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8)	48
Şekil 4.26: Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	49
Şekil 4.27: Destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	50
Şekil 4.28: Destek elektrolit konsantrasyonunun bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	50
Şekil 4.29: Destek elektrolit konsantrasyonunun AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	51
Şekil 4.30: Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻² , pH: 4,8, DET: NaCl)	51
Şekil 4.31: KOİ giderim verimine atıksu pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)	52

Şekil 4.32: Renk giderim verimine Atıksu pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)	53
Şekil 4.33: Bulanıklık giderim verimine atıksu pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm).....	54
Şekil 4.34: AKM giderim verimine atıksu pH değerinin üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm).....	54
Şekil 4.35: KOİ, Renk, Bulanıklık ve AKM giderim verimlerine atıksu başlangıç pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm ⁻² , DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm).....	55
Şekil 4.36: Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm).....	56
Şekil 4.37: Uygulanan akım yoğunluğunun renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm).....	57
Şekil 4.38: Uygulanan akım yoğunluğunun bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)	58
Şekil 4.39: Uygulanan akım yoğunluğunun AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm).....	58
Şekil 4.40: Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ, Renk, Bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)	59
Şekil 4.41: Destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , pH: 4,8, 4,06 mA cm ⁻² , KH: 400 rpm)	60
Şekil 4.42: Destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH: 4,8, 4,06 mA cm ⁻² , KH: 400 rpm).....	60
Şekil 4.43: Destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm ⁻² , KH: 400 rpm)	62
Şekil 4.44: Destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm ⁻² , KH: 400 rpm)	62
Şekil 4.45: Başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm ⁻² , KH: 400 rpm).....	64
Şekil 4.46: Başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm ⁻² , KH: 400 rpm)	64
Şekil 4.47: Uygulanan akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm).....	66
Şekil 4.48: Uygulanan akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)	66
Şekil 5.1: Optimum olarak kabul edilen deney şartlarındaki giderme verimleri (Anot türü: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ , Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm ⁻²)	73

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Dünya'daki Sofralık Zeytin Üretimi (Bin Ton olarak).....	4
Tablo 2.2: Dünya'daki Sofralık Zeytin İhracatı ve İthalatı (bin ton).....	5
Tablo 2.3: Dünya'daki Sofralık Zeytin Tüketimi (Bin Ton).....	6
Tablo 2.4: Dünya'daki Sofralık Zeytin Arz-Talep Dengesi (Bin Ton).....	7
Tablo 2.5: TÜİK verilerine göre Türkiye Zeytin ve Zeytinyağı Üretimi.....	8
Tablo 2.6: Türkiye'deki Zeytin Tüketimi	8
Tablo 2.7: Demir'in elektrot malzemesi olarak kullanıldığında elektrot reaksiyonları	13
Tablo 2.8: Alüminyum 'un elektrot malzemesi olarak kullanıldığında elektrot reaksiyonları	14
Tablo 2.9: Elektroflotasyon prosesindeki reaksiyonlar.....	15
Tablo 2.10: Elektrokoksasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar.....	19
Tablo 2.11: Çalışmalarda kullanılan bazı anot malzemeleri	20
Tablo 3.1: Seperatör Suyunun Özellikleri.....	24
Tablo 3.2: Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot ile yapılan denemelerin çalışma şartları	26
Tablo 3.3: Ti-Pt anot ile yapılan denemelerin çalışma şartları	27
Tablo 4.1: Destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi	61
Tablo 4.2: Destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi ..	63
Tablo 4.3: Atıksu başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi.....	65
Tablo 4.4: Uygulanan akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi.....	67
Tablo 5.1: Destek elektrolit türünün giderim verimi üzerine etkisi	69
Tablo 5.2: Destek elektrolit konsantrasyonunun giderim verimi üzerine etkisi ..	70
Tablo 5.3: Atıksu başlangıç pH değerinin giderim verimi üzerine etkisi	71
Tablo 5.4: Uygulanan akım yoğunluğunun giderim verimi üzerine etkisi	72

KISALTMALAR VE SEMBOL LİSTESİ

A	Amper
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
As	Aktif elektrot yüzey alanı (cm ²)
AT	Anot Türü
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
C₀	Başlangıçta atıksudaki kirletici konsantrasyonunu (mg L ⁻¹)
C_e	t anında atıksuda kalan kirletici konsantrasyonunu (mg L ⁻¹)
DEK	Destek Elektrolit Konsantrasyonu
DET	Destek Elektrolit Türü
E°	Standart elektromotor kuvveti (pil gerilimi)
EO	Elektrooksidasyon
ET	Enerji Tüketimi
F	Faraday sabiti
I	Akım Şiddeti (Amper)
J	Akım Yoğunluğu (mA cm ⁻²)
KH	Karıştırma Hızı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Kw	Kilowatt
MÖ	Milattan Önce
n_e	Reaksiyon sırasında alınan verilen elektron sayısı
Q	Kütlelerin etkisi
R_g	Gaz sabiti
STD	Sabit Tutulan Değişkenler
t	Zaman
T	Sıcaklık
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UZK	Ulusal Zeytin ve Zeytinyağı Konseyi
V	Sistemde oluşan potansiyel fark (Volt)
v	Reaktördeki toplam çözelti hacmi (m ³)
W	Enerji tüketim değeri (kW-saat m ⁻³)

ÖNSÖZ

Öncelikle tez süresince, bana yol gösteren, çalışmalarımnda destek olan aynı zamanda tecrübelerinden yararlanma imkânı sunan değerli danışman hocam Doç. Dr. Baybars Ali FİL'e sonsuz saygı ve şükranlarımı sunuyorum. Beni bu yaşıma getiren her zaman arkamda duran, varlıklarını hep yanımda hissettiğim, bana sonsuz destek olan aileme; canım babam Güven KARA ve canım annem Seda KARA ya çok teşekkür ediyorum. Aynı zamanda bana destek veren manevi olarak yanımda olan hayat arkadaşım; eşim Fatih DEREL'e de çok teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Dünya'da hızla artan nüfus ve bununla birlikte artan ihtiyaçlar, hızla gelişen teknoloji ve endüstriyelleşme çevre kirliliği için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Çevre kirliliğinin çoğu hava, su ve toprak kaynaklı olmaktadır. Bu da şüphesiz en önemli ihtiyaçlarımızdan olan suyun kirlenmesini önemli ölçüde tetiklemektedir. İnsanoğlu var oluşundan itibaren suya ihtiyaç duymaktadır.

Su kirliliği hayatımızı birçok yönden olumsuz etkileyeceği gibi yaşam standartlarımızı da olumsuz etkilemektedir. Hal böyle olunca su arıtımı oldukça önemli bir yere sahiptir. Çeşitli tesislerden, yerleşim alanlarından, tarım ve hayvancılık uygulamalarından ve daha birçok alandan atık su çıkmaktadır. Çıkan bu atıksular; yer altı sularına, denizlere, göllere ve akarsulara karışarak kirlilik oluşturmaktadır. Oluşan bu kirlilikler direkt veya dolaylı olarak bizi etkilemektedir. Suyun kalitesini ve miktarını etkileyen sebeplerin başında; gelişen teknoloji ve buna bağlı büyüyen endüstriyel faaliyetler gösterilebilir.

Mevcut tatlı su kaynaklarının kullanımını en aza indirmek için endüstriyel üretim kademelerinde daha yeni teknolojiler kullanılmalı veya mevcut teknolojiler daha az su tüketen şekilde revize edilmelidir. Böylece nispeten az miktarda oluşan atıksuların arıtımı için daha etkili arıtma yöntemleri tasarlanabilecek ve bu yöntemlerin daha verimli şekilde uygulanabilirlikleri de sağlanabilecektir. Su kaynaklarımızın bu şekilde kirletilmesinin önüne geçmek ve oluşan tahribatı en aza indirmek için birçok arıtım yöntemi mevcuttur. Yapılan veya yapılması amaçlanan bu yöntemlerin çoğu suyun kirliliğini tamamen önlemeyi amaçlamaktadır. Çeşitli metotlardan yararlanılarak yapılan çalışmalarda farklı alternatiflerden yararlanılıp güzel ve etkili sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemlerden biri de elektrokimyasal yöntemlerdir. Bu çalışmanın amacı, yüksek kalitede ürün elde edebilmek için fazla miktarda tatlı su kaynağı kullanan zeytin seperatör atıksularının arıtımında elektrokimyasal yöntemlerden olan elektrooksidasyon yönteminin arıtma performansını incelemektir. Atıksu temin edilen endüstri dönemsal çalışmaktadır. Her yıldaki çalışma periyodunda 100 gün boyunca işlenen ürün günlük yaklaşık 60 ton 'dur. İşlenen her 1 ton ürün için yaklaşık günlük 200 m³ atıksu oluşmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

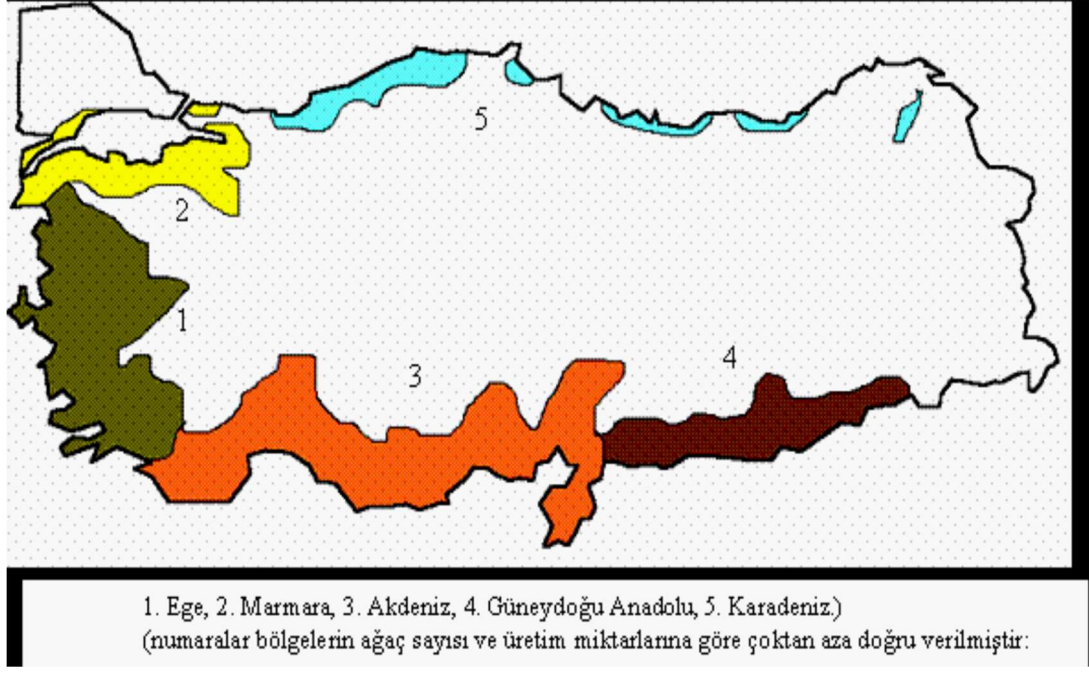
2.1 Zeytinin Tarihi

Oleaceae familyasından olan zeytinin, adının kökeni Yunanca *elaia*, Latince *olea*'dan gelir. Zeytin bitkisinin boyu 2-10 metre arasında değişirken, 15-20 metreye kadar da çıkabilmektedir. İlk önce yeşil renk olan meyveleri Ekim ve Kasım aylarında koyulup morarıp olgunlaşmaktadır. Genel olarak 300-400 yıl yaşayan uzun ömürlü bir ağaç olan zeytinin, 2000 yıl yaşayanları da görülmektedir. Bu da onun büyük olasılıkla kuraklıktan etkilenmeyen bir bitki olmasından kaynaklanmaktadır (Dara 2010).

M.Ö. 4000'lerde kültür bitkisine dönüştürülen zeytinin yağının çıkarılması ve kullanımının yaygınlaşması ancak 1500-2000 yıl sonra gerçekleşmiştir. Arkeolojik buluntular arasında Tunç Çağı'nda ve daha sonraki dönemlere ait Akdeniz'de zeytinciliğin yaygınlaştığını gösteren yağ presleri, saklama kapları, zeytin gösterimleri olan vazo ve duvar resimleri, zeytin çekirdekleri sayılabilir. Zeytinyağı ticaretiyle başlayan zeytinin yayılması süreci sonrasında zeytin fidelerinin taşınmasıyla da kültür bitkisi olarak yayılması hız kazanmıştır. Fenikelilerin ticareti ile başlamış olan yolda önce Mısır, Kıbrıs, Girit ve Anadolu yoluyla Yunanistan M.Ö. 700'lerde Kuzey Afrika'da Libya ve Tunus'a kadar yayılma sağlanmıştır. Araştırmacılar bu yerlerde zeytinin kullanımının yaygınlaşma sürecinde tarihsel olarak farklılıklar bulmuştur. Akdeniz coğrafyasında zeytin, kültürel bitki haline dönüşmüş ve tüm Akdeniz coğrafyasını kaplamıştır (Ünsal 2011).

2.2 Türkiye'de Zeytin Çeşitleri

1960'lı yıllarda başlayıp büyük uğraşlarla günümüze kadar gelen zeytin çeşitlerinin agronomik, pomolojik ve morfolojik özellikleri incelenerek ülkemizin zeytin çeşit bankası oluşturulmuş ve de Türkiye'nin zeytin gen materyali tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışmalarda Türkiye'deki zeytin çeşitliliğinin büyük bir kısmı yağlık bir tür olan Memecik çeşidi iken Ayvalık Yağlık (Edremit) ise ikinci önemli çeşit olarak yer almaktadır. Ülkemizde bulunan bazı önemli çeşitler de Yamalak, Edincik Su, Çelebi, Halhalı, Karamürsel Su, Çilli, Kaba, Erkence, Trilya, Uslu, İzmir Sofralık olarak bilinmektedir (Sakar and Ünver 2011).



Şekil 2.1: Zeytin Üretiminin Yayılışı (Anonim 2019)

TÜİK verilerine göre, 2000’li yıllarda zeytin ağacı varlığımız 100 milyon adet iken, 2019 yılında bu sayı yaklaşık 182 milyon adete yükselmiştir. Zeytinyağı üretimi ise son 5 yılda ortalama 190 bin tondur. Sofralık zeytin üretim ortalaması 413 bin ton ve yağlık zeytin üretimi ortalaması ise 1 milyon 330 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’de önemli zeytin üretimi yapılan iller Aydın, İzmir, Muğla, Balıkesir, Bursa, Manisa, Çanakkale, Gaziantep ve Mersin olarak gösterilebilir. Zeytin üretilen bölgeler Ege, Marmara, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu Bölgeleridir (Anonim 2019).

2.3 Dünya Sofralık Zeytin İstatistikleri

2.3.1 Dünya sofralık zeytin üretimi

AB, Türkiye, Mısır, Cezayir, Fas ve Suriye sırası ile Dünya’daki sofralık zeytin üretiminde önemli olan ülkelerdir. AB ülkelerinden İspanya ilk sırayı alırken, arkasından Yunanistan ve İtalya gelmektedir. Dünyadaki zeytin üretim miktarları aşağıda Tablo 2.1’de verilmiştir (Anonim 2019).

Tablo 2.1: Dünya'daki Sofralık Zeytin Üretimi (Bin Ton olarak)

ÜLKELER	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19*	2019/20**
AB	886	842	903	798	776
Mısır	336	550	750	400	690
Türkiye	397	400	450	424	420
Cezayir	221	293	318	342	350
Fas	120	120	130	130	130
Suriye	150	190	100	100	100
Arjantin	73	96	106	80	105
Diğer	393	408	531	310	380
Toplam	2576	2899	3288	2584	2951

Kaynak: UZK, Kasım 2019 * Tahmin **Öngörü(Nisan 2020 itibariyle)

2.3.2 Dünya sofralık zeytin ihracatı, ithalatı ve tüketimi

Üretimde olduğu gibi ihracatta da ilk sırayı AB ülkeleri almaktadır. Bu sırayı Mısır, Türkiye ve Fas izlemektedir. Dünya da sofralık zeytin ithalat, ihracat ve tüketimi aşağıdaki Tablo 2.2' de verilmiştir (Anonim 2019).

Tablo 2.2: Dünya'daki Sofralık Zeytin İhracatı ve İthalatı (bin ton)

Zeytinin ihracatı					
ÜLKELER	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19*	2019/20**
İspanya	297	291	292	339	320
İtalya	208	199	186	190	186
Tunus	102	89	205	160	200
Türkiye	15	45	66	55	45
Portekiz	40	39	58	57	54
Fas	17	9	11	20	20
Arjantin	31	16	38	22	19
Yunanistan	19	18	19	21	10
Zeytinin ithalatı					
ÜLKELER	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19*	2019/20**
ABD	314	305	310	313	315
AB	98	90	180	139	122
Brezilya	50	60	76	81	82
Japonya	54	54	56	67	68
Kanada	41	40	47	49	50
Çin	34	39	38	35	34
Diğer	199	194	246	241	253
Toplam	790	782	946	890	924

Kaynak: UZK, Kasım 2019 * Tahmin **Öngörü (Nisan 2020 itibariyle)

Tablo 2.3: Dünya'daki Sofralık Zeytin Tüketimi (Bin Ton)

ÜLKELER	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19*	2019/20**
Mısır	319	400	555	450	500
Türkiye	318	332	390	360	360
Cezayir	234	297	316	340	350
ABD	215	206	216	177	208
İspanya	183	191	192	185	205
Suriye	147	185	105	100	100
Brezilya	102	114	110	115	110
İtalya	126	85	80	80	94
Diğer	856	914	942	936	947
Toplam	2500	2724	2906	2743	2874

Kaynak: UZK, Kasım 2018 * Tahmin **Öngörü

2.3.3 Dünya'daki sofralık zeytin arz-talep dengesi

Dünya sofralık zeytinin arz talep dengesi miktarları Tablo 2.4'de verilmiştir. UZK verilerinden yapılan hesaplama göre, 2018/19 sezonunda yaşanan düşüşün bakteri hastalıkları nedeniyle olduğu ve üretimdeki bu düşüşle stokların da azaldığı görülmektedir Tablo 2.4'de yıllara göre bu değişimler verilmiştir(Anonim 2019).

Tablo 2.4: Dünya'daki Sofralık Zeytin Arz-Talep Dengesi (Bin Ton)

Yıllar	2017/18	2018/19*	2019/20**
Sezon Başı Stoku	508	756	466
Üretim	3.288	2.584	2.951
İthalat	641	664	624
İhracat	642	664	687
İç Tüketim	2906	2743	2874
Üretim kayıpları	134	130	114
Sezon Sonu Stoku	756	466	366

Kaynak: UZK, Kasım 2019 * Tahmin **Öngörü

2.3.4 Türkiye'deki zeytinyağı ve sofralık zeytin üretimi

TUİK verilerine göre; zeytin dikim alanı 2018 yılında 879.176 hektar olarak hesaplanmıştır. 2018/19 yılında zeytinyağı üretiminin yaşanan kuraklık ve hastalıkların olmasından kaynaklı bu miktar azalmış ve yaklaşık olarak 194 bin ton olduğu düşünülmektedir. Türkiye'de sofralık zeytin tüketiminde ise; 2007/08 sezonundan itibaren yükselerek 2018/19 sezonunda 360.000 ton olduğu tahmin edilmektedir. Bununla ilgili değerler aşağıdaki Tablo 2.5'de belirtilirken, Türkiye'deki zeytin tüketim miktarı da Tablo 2.6'da gösterilmektedir (Anonim 2019).

Tablo 2.5: TÜİK verilerine göre Türkiye Zeytin ve Zeytinyağı Üretimi

SEZONLAR	Ağaç Başına Zeytin Danesi (Kg)	Elde Edilen Zeytin (Ton)	Yemekliğe Ayrılan Zeytin (Ton)	Yağlığa Ayrılan Zeytin (Ton)	Elde Edilen Zeytinyağı (Ton)	1 kg Zeytinyağı için Zeytin Miktarı (Kg)
2013/14	6,7	1.676.000	390.000	1.286.000	160.000	8,0
2014/15	12,5	1.768.000	438.000	1.330.000	190.000	7,0
2015/16	11,7	1.700.000	400.000	1.300.000	175.000	7,4
2016/17	9,0	1.730.000	430.000	1.300.000	175.000	7,4
2017/18	13,4	2.100.000	460.000	1.640.000	263.000	6,25
2018/19*	9,9	1.500.000	423.000	1.074.000	193.613	5,6
2019/20*	10,0	1532.501	414.000	1.110.277	224.595	4,9

Kaynak: UZK* Öngörü

Tablo 2.6: Türkiye'deki Zeytin Tüketimi

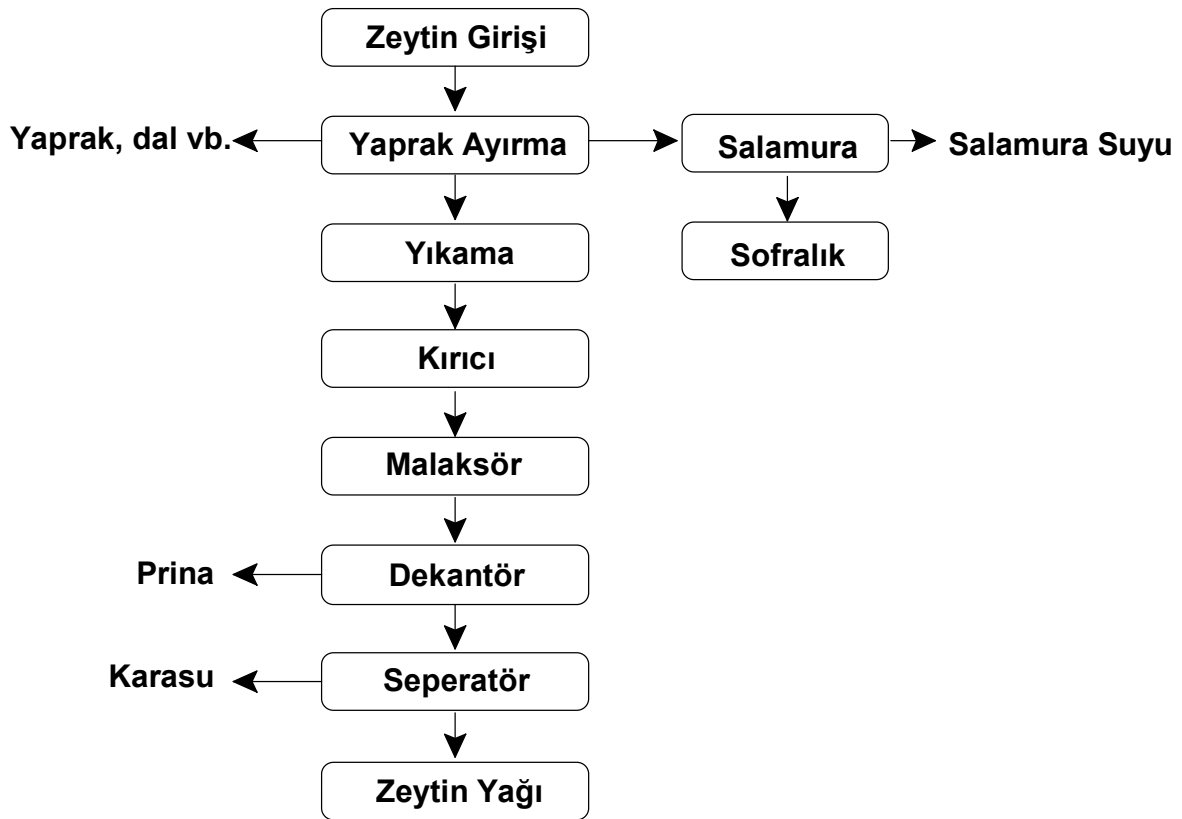
Sezonlar	Tüketim Miktarı (bin ton)
2009/2010	260
2010/2011	300
2011/2012	350
2012/2013	410
2013/2014	430
2014/2015	390
2015/2016	397
2016/2017	332
2017/2018	390
2018/2019*	360

Kaynak: UZK *Tahmin

2.4 Tesis Hakkında Genel Bilgiler

Marmara bölgesinden yerel bir işletmeden alınan atıksu ile çalışma yapılmıştır. Tesis salamura zeytin, zeytinyağı ve yağlı prina üretim tesisi olarak faaliyet göstermektedir. Zeytinyağı üretim tesislerinde farklı üretim yöntemleri izlenmektedir. Bu yöntemler; Geleneksel Presleme (kesikli) üretim ve Sürekli (kontinü) üretim olarak ayrılmaktadır.

Kesikli üretim proseslerinde, proses suyu ilave edilerek yıkanan zeytin daha sonra ezilerek öğütülüp sıcak suyla yoğurulur. Yoğurulma işleminden sonra elde edilen hamur preslenerek yağ fazı ayrılır. Presleme sonrasında meydana gelen sıvı atık, zeytin özsuyu, kalıntı yağ ve prosese eklenen ilave suyu içermektedir. Son olarak düşey santrifüj veya dekantörlerle ayırma işleminin gerçekleşmesinin ardından yağ elde edilmektedir. Katı faz ise prina olarak meydana gelmektedir. İşletme dönemsel olarak çalışmaktadır. Akış şeması aşağıdaki gibidir;



Şekil 2.2: Zeytin Seperatör Suyu Akış Şeması

Yaprak ayırma ve yıkama ünitesi; Zeytinler farklı boyutlu bant sisteminden geçerek büyüklüklerine göre ayrılır ve yaprak ayırma prosesine gelir. Bu esnada uygulanan yoğun

hava akımı etkisi ile oluşan üfleme esnasında zeytinler yapraklarından ayrılır ve içme suyu ile temas ettirilerek yaprağından ayrılmış zeytinler yıkanır.

Salamura ünitesi; Yaprak ayırma ve yıkama ünitesinden boyutlarına göre elenen zeytinlerden sofralık zeytin üretimine uygun olanlar salamura ünitesine alınır. Salamura zeytin fermantasyon yöntemi ile yapılmaktadır. Fermantasyon gerçekleşmesi için malzemelerin konulduğu ve tuz oranı %50 den fazla olan tuzlu suya da salamura adı verilir. Salamura zeytinin olgunlaşması için gereklidir. Zeytin ve salamura arasında olan osmoz sayesinde suya eriyen maddeler salamuraya geçerken tuz almış olur. Böylece salamuradaki tuz oranı düşmektedir. Salamura ile tuz oranı denge salamura konulduktan 1-1.5 ay içerisinde kurulmaktadır.

Kırma ünitesi; Yıkanan zeytinler, acılık veren oleuropein maddesinin kısa sürede giderilmesini sağlamak için kırıcı helezonu bunkerine dökülerek kırıcıya taşınır ve sonrasında kırıcıda, zeytinler kırılarak yarı hamur haline gelir.

Malaksör ünitesi; Kırıcıdan gelen zeytinler malaksör ünitesine gönderilir. Malaksör yani yoğurucu kırılan ve elekten geçirilen zeytinlerin aktarıldığı zeytin hamuru karıştırma makinesidir. Malaksör ünitesinde belli devirde dönen bu zeytin hamurundaki yağ hamurun üzerinde birikmektedir. Biriken bu yağı hamurdan ayırmak amacıyla malaksörün dış ceketlerinde sıcak su dolaştırılıp zeytin hamuru ısıtılmaktadır. Malaksör işlemi biten zeytin hamuru, dekantör ünitesine aktarılır.

Dekantör ünitesi; Malaksörden dekantöre gelen zeytin hamuru, içi ve dışı farklı devirle hareket eden koni şeklinde yatay bir silindirik düzeyinden geçer. Dekantörde işlemi tamamlanan zeytin hamuru; zeytinin, zeytinyağına dönüştürülmesindeki son adım olarak seperatör (ayırıştırıcı) ünitesine gönderilir.

Seperatör ünitesi; Dekantörden sonra seperatöre gelen zeytinyağı, burada tortusundan ayrılır ve daha sonra bekleme tanklarına aktarılır. Dekantörde karasu ve pirinadan ayrıştırıldıktan sonra çıkan zeytinyağı içerisinde kalan son tortularından da arındırılması amacıyla gönderilen hammadde burada yüksek devirle çalışan seperatör içerisinde zeytinyağı tortusundan ayrılarak stoklama tanklarına aktarılır ve elde etme işlemi tamamlanmış olur.

2.5 Elektrokimyasal Arıtım Yöntemlerinin Genel Özellikleri

2.5.1 Elektrokimya

Elektrokimya; elektrik enerjisi üreten, yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları için gereken elektrik enerjisi içerirken, aynı zamanda elektrik akımı ile kimyasal reaksiyonların ilişkisini inceleyen bilim dalıdır. Her elektrokimyasal olay mutlaka bir redoks reaksiyonudur, elektrik üretir ya da elektrik akımı ile reaksiyona yardımcı olur. İndirgenme ve yükseltgenme yarı reaksiyonu olmak üzere her redoks reaksiyonunda da iki yarı reaksiyon olmaktadır (Baker 1991). Elektrokimyasal pil; elektrik akımı üreten veya elektrik akımı yardımıyla kimyasal bir olayın gerçekleştiği sisteme veya cihaza denir. Elektrolit ise bir pilde iyon akımının geçirildiği çözeltiliye denirken, bu çözeltiliye batırılmış olan ve elektron akımının sağlandığı metal veya grafit çubuklara elektrot adı verilir. Her türlü elektrokimyasal pilde; yükseltgenme yarı reaksiyonunun olduğu elektrota anot, indirgenme yarı reaksiyonunun olduğu elektrota da katot adı verilir (Baker 1991). İstemli redoks reaksiyonlarında, reaksiyonlar yazıldığı şekilde ürünler vermek üzere yürür ve böylece uygun düzeneklerde sağlanırsa, sahip oldukları kimyasal enerjinin bir kısmı elektrik enerjisine dönüşür. İstemsiz bir redoks reaksiyonlarda ise ancak dış kaynaktan elektrik enerjisi verilmesiyle bir elektrokimyasal hücrede yazıldığı şekilde yürümesi mümkün olur. Bu olaya elektroliz denir (Yıldırım 2007).

2.5.1.1 Faraday yasası ve Elektrokimyasal Hücre Potansiyeli

M. Faraday'ın Elektroliz Kanunlarına göre; elektroliz sırasında serbest halde bulunan cismin ağırlığı, geçtiği süreyle ve de geçen akımın şiddetiyle orantılıdır. Aynı zamanda 2. elektroliz esnasında serbest haldeki cismin miktarı, o cismin eşdeğer ağırlığıyla orantılıdır. Bir çözeltiden 96.493 Coulomb'luk bir elektrik akımı geçirildiğinde, anotta ve katotta birer tane olmak üzere eşdeğer gram madde açığa çıkmaktadır. Genellikle 96.500 olarak alınan bu rakamın adına 1 Faraday (F) denir. 1 amper (I), 1 saniyede geçen 1 coulomb'luk (Q) elektrik miktarıdır (Mortimer 1993).

Bir elektrokimyasal reaksiyondaki gerilim farkı elektronların bir dış iletken aracılığıyla anottan katoda doğru akmasını sağlamaktadır. Bunun temel sebebi anotun katota göre daha

yüksek negatif gerilime sahip olmasıdır (Türk 1999). Elektrokimyasal hücre potansiyeli, elektromotor kuvveti, pil gerilimi olarak bilinen elektrokimyasal hücreyi oluşturan iki yarı hücrenin gerilim farkıdır. Gerilim farkının değeri reaksiyonun sıcaklığına, derişimine ve bileşenlerine bağlıdır. Elektromotor kuvvetinin değeri elektrotların boyutuna ve elektrolit hacmine göre değişmez, birimi ise voltur (Türk 1999). Redoks reaksiyonlarında, elektrokimyasal hücreyi oluşturan yarı-reaksiyonların elektrot gerilimleriyle elektromotor kuvveti hesabı yapılır. Redoks reaksiyonlarında istemli bir standart elektromotor kuvveti daima artı ($E^\circ > 0$) olurken, istemsiz olması durumunda ise eksi ($E^\circ < 0$) dir. Standart elektromotor kuvvetlerini hesaplamak için standart elektrot gerilimleri kullanılır. Bu da standart basınç, derişimler ve sıcaklık için geçerlidir. Nernst eşitliği ise elektrokimyasal hücrenin standart olmadığı koşullarındaki elektromotor kuvvetini hesaplamak için kullanılır ve bu eşitlik aşağıda gösterilmiştir (Türk 1999).

$$E = E^\circ - \frac{2,303R_g T}{n_e F} \log Q \quad (2.1)$$

Denklemden pil gerilimi yani elektromotor kuvveti E° ile gösterilirken, Gaz sabiti R_g ile reaksiyon sırasındaki alınan elektron sayısı n_e ile kütlelerin etkisi ise Q gösterilir. Aynı zamanda sıcaklığın göstergesi T ve Faraday sabiti F ile gösterilir.

2.5.2 Elektrokimyasal işlemler

Elektrokimyasal arıtım metotları; kolay elde edilebilip işletme şartlarının basit olması ve yüksek etkinlikleri sebebiyle kullanımları yaygınlaşmaktadır. Hem çevresel hem de ekonomik açıdan daha az atık çıkması buna ilave olarak gösterilebilir (Sahu et al. 2014). Elektrokimyasal metotların kullanıldığı birçok arıtım prosesi mevcuttur. Bunlar;

2.5.3 Elektrokoagülasyon Yöntemi

Elektrokoagülasyon; alüminyum (Al^{+3}) ve demir (Fe^{+3} , Fe^{+2}) elektrotlar kullanılmasıyla oluşmaktadır ve bu elektrotların prosesin çalışma aşamasında suyla reaksiyona girmesi sonucu $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksitler oluşmaktadır. Sistemde arıtım ise metal hidroksitlerin oluşmasıyla başlamaktadır. Adsorpsiyon kapasitesi çok yüksek olan

bu metal hidroksitler aynı zamanda sudaki farklı kirletici parametreleri emerek çökelti yoluyla sudan atmaktadır. Elektrokoagülasyon en yaygın kullanılan elektrokimyasal yöntemlerden biridir. Elektrokoagülasyonun en önemli şartlarından biri de elektrot cinsidir (Sakarya 2018).

Malzeme seçimi, malzemenin ucuz ve kolay temin edilebilir olması elektrokoagülasyon işlemi için çok önemlidir. En yaygın olarak kullanılan elektrot malzemesi demir ve alüminyumdur. Demir elektrot malzemesi olarak kullanıldığında, n=2 veya 3 olmak şartı ile $Fe(OH)_n$ demir hidroksitler oluşur. Oluşan bu $Fe(OH)_n$ için iki farklı durum söz konusudur. Her iki durum içinde elektrot reaksiyonları Tablo 2.7’de gösterilmiştir.

Tablo 2.7: Demir’in elektrot malzemesi olarak kullanıldığında elektrot reaksiyonları

Fe için;	
Anotta gerçekleşen reak	$4Fe_{(s)} \rightarrow 4Fe^{2+}_{(aq)} + 8e^{-}$
	$4Fe^{2+}_{(aq)} + 10H_2O_{(l)} + O_{2(g)} \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H^{+}_{(aq)}$
Katotta gerçekleşen reak	$8H^{+}_{(aq)} + 8e^{-} \rightarrow 4H_{2(g)}$
Toplam reak (nihai)	$4Fe_{(s)} + 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)} \rightarrow 4Fe(OH)_{3(s)} + 4H_{2(g)}$
Fe için;	
Anotta gerçekleşen reak	$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$
Katotta gerçekleşen reak	$2H_2O_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^{-}_{(aq)}$
Toplam reak (nihai)	$Fe_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow Fe(OH)_{2(s)} + H_{2(g)}$

Oluşan $Fe(OH)_{n(s)}$ demir, sistemdeki kirleticileri kompleksleştirir aynı zamanda da koagülasyonu takiben elektrostatik çekim ile uzaklaştırmaktadır. H_2 gazı ise askıda katı maddelerin ve ya çözülmüş organiklerin yüzdürülmesi işlemiyle giderilebilirken, hidrosyana uğrayan Fe^{3+} iyonları, $Fe(OH)^{2+}$, $Fe(OH)^+$ ve $Fe(OH)_3$ gibi bileşikler çözeltinin pH’sına bağlı olarak ortamda asidik koşullarda bulunabilir.

Elektrot malzemesi olarak alüminyum kullanılması durumundaki reaksiyonlar ise Tablo 2.8’de gösterilmiştir.

Tablo 2.8: Alüminyum ‘un elektrot malzemesi olarak kullanıldığında elektrot reaksiyonları

Al için;	
Anotta gerçekleşen reak	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$
Çözeltide gerçekleşen reak	$Al^{3+}_{(aq)} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^{+}_{(aq)}$

2.5.3.1 Elektrokoagülasyonun avantajları

1. Basit ekipmanlar gerektirir ve işletmesi oldukça kolaydır,
2. Az miktarda kimyasal gerektirirler,
3. Biyolojik olarak bozunmayan organik maddeleri uzaklaştırabilme,
4. Çok küçük kolloidal tanecikleri uzaklaştırabilme,
5. Koagülant dozajının kolayca kontrol edilebilmesi adsorpsiyonla ağır metal iyonlarını uzaklaştırabilme
6. Sürekli pH kontrolü gerektirmeme
7. Verim olarak %90 civarında yüksek verim elde edilebilme, 10 dakika gibi kısa temas süresi gerektirme ve düşük yatırım maliyeti gerektirme gibi avantajlara sahiptir. (Mert 2008).

2.5.3.2 Elektrokoagülasyonun dezavantajları

1. Elektrik kullanımı bakımından fazladır,
2. Yükseltgenme olduğu için anot malzemelerinde çözünme olmaktadır bu da belirli aralıklarla anodun yenilenmesi anlamına gelmektedir,
3. Katot yüzeyinde oluşan geçirimsiz bir oksit tabakadan dolayı elektrokoagülasyon ünitesinin veriminin kaybetmesine neden olabilir,
4. Arıtılacak atıksuyun yüksek iletkenliğe sahip olması gerekir.

2.5.4 Elektroflotasyon Yöntemi

Elektroflotasyon yöntemi; genellikle tek başına kullanılmayıp başka bir kimyasal prosesle birlikte kullanılmaktadır. Bu yöntemde kirlilik, elektrotlardan çıkan gaz kabarcıkların kirliticileri adsorbe ederek yüzeye taşınmasıyla giderilmektedir (Akbaş 2014). Giderim mekanizması olarak flotasyonla benzerlik gösterirken, ortamda olan gaz kabarcıkları elektroflotasyon işleminde belli ölçüde kendiliğinden oluşmaktadır (Kurt et al. 2012).

Tablo 2.9: Elektroflotasyon prosesindeki reaksiyonlar

Anotta meydana gelen reak	$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ $4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$ $2OH^- \rightarrow H_2O_2 + 2e^-$ $H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$
Katotta meydana gelen reak	$2H_2O + O_2 + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

2.5.5 Elektrofiltrasyon Yöntemi

Elektrofiltrasyon yöntemi; filtrasyon için uygulanan potansiyel fark sayesinde parçacıkların filtreden uzak tutulmasıdır. Bu da filtrenin verimini arttırarak, ömürlerinin uzamasını sağlamaktadır. Elektrofiltrasyon yöntemi genel olarak diğer elektrokimyasal yöntemlere ek olarak kullanılmaktadır. Uygulandığı alanlardan bazıları; kanalizasyon, kâğıt sanayi ve liman sanayi gibidir (Karakaş 2013).

2.5.6 Elektrodiyaliz Yöntemi

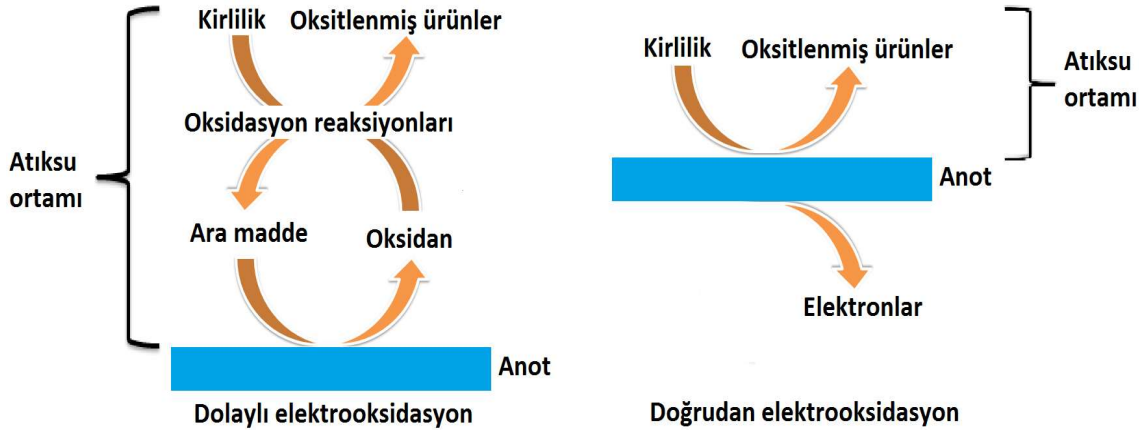
Elektrodiyaliz prosesi, diyaliz ve elektrolizin bileşiminden oluşan, elektriksel alan etkisi altında olan seçici geçirgenliğe sahip membranlar ile iyonların aktarıldığı bir elektrokimyasal ayırma sürecidir (Çetin 2006). Elektrodiyaliz hücreleri, tek bir membran olarak işlem görmekte katyonik membranlardan (+) yüklü iyonların anyonik membranlardan (-) yüklü iyonların geçmesine izin vermektedir. Bu yöntem genellikle tuzlu sulardan içme suyunun elde edilmesinde kullanılmaktadır (Özdemir et al. 2008). Elektrodiyalizin kimyasal madde gerektirmemiş olması, geri kazanım oranının yüksek olması, yüklü bileşenler için yüksek seçicilik sağlaması, besleme suyu bileşenlerini en az değişikliğe uğratması, yatırım maliyetinin düşük olması ve düşük enerji ile sürekli işlem yapabilmesi gibi avantajlar diğer birçok yöntemden üstün olmasını sağlamaktadır (Özdemir 2005, Yazıcı 2012).

2.5.7 Elektro-Fenton Yöntemi

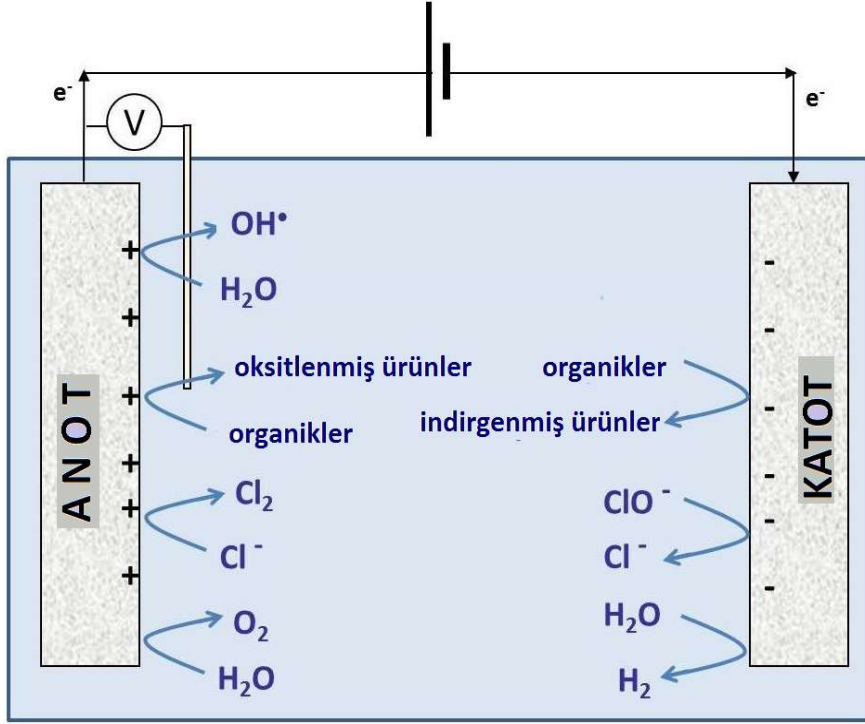
Elektrofenton; ileri oksidasyon yöntemi olup, (Liu et al. 2007, Zhang et al. 2007) bu yöntemde O_2 ile doyurulmuş olarak elektrokimyasal süre boyunca katottan O_2 geçirilir. Fe^{2+} içeren sulu çözeltide H_2O_2 ve takiben $\bullet OH$ radikalleri üretimi anında gerçekleşirken aynı ortamda bulunan kirletici organikler $\bullet OH$ radikalleri ile reaksiyonlara girerek parçalanırlar. Parçalandıktan sonra işlem yeterli sürede gerçekleşirse gitgide mineralize olmaktadır (Kaplan 2007).

2.5.8 Elektrooksidasyon Yöntemi

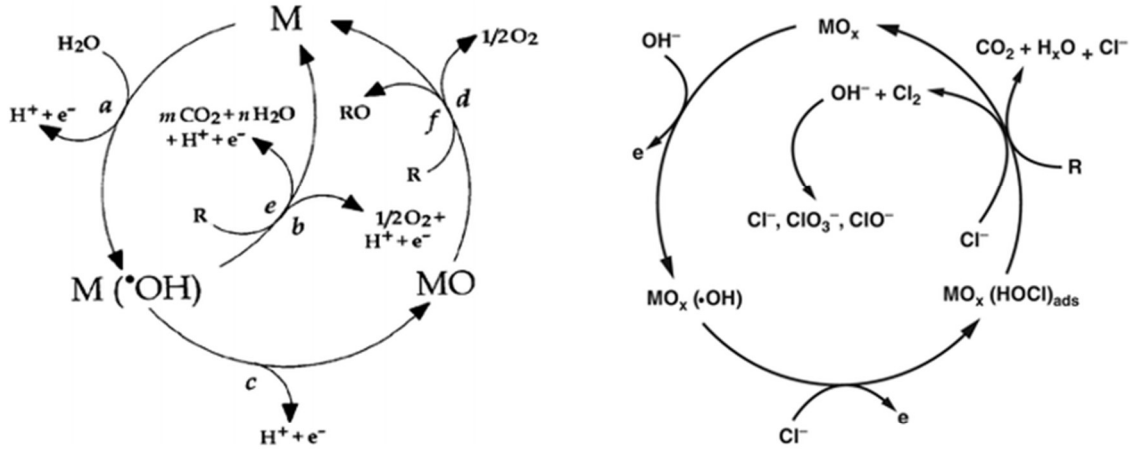
Elektrooksidasyon çözünmeyen bir anot malzemesi kullanılarak organik maddelerin elektrokimyasal olarak doğrudan veya dolaylı olarak oksitlenmesi esasına dayanmaktadır (Fil et al. 2012). Anot, elektrooksidasyon prosesinde aktif rol oynamaktadır. Bu sebeple anotun katalitik aktivesi önemli parametrelerin başında gelmektedir. Bunun yanında akım, sıcaklık, oksidantların difüzyon hızı ve pH da önemlidir. Atıksudaki klorür iyonları, anodun yüksek potansiyelli olmasından dolayı klora dönüşürler. Ayrıca bu anottaki yüksek potansiyel organik bileşiklerin doğrudan oksidasyonu gibi ikincil reaksiyonlar da meydana gelebilmektedir (İlhan et al. 2007). Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5’de gösterilmiştir (Fil, 2014).



Şekil 2.3: Kirlenmelerin parçalanması (Elektrooksidasyon Prosesi)

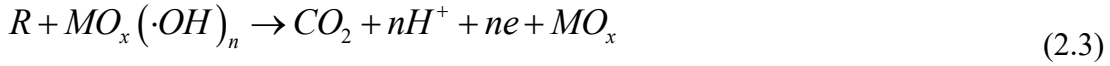


Şekil 2.4: Kirlenmelerin anot ve katot yüzeyindeki parçalanma mekanizması parçalanması (Elektrooksidasyon Prosesi)



a: Hidroksil radikallerin oluşumu ($\cdot\text{OH}$), b: Hidroksil radikallerinin elektrooksidasyon ile oksijen dönüşümü, c: Aktif metal oksit oluşumu (MO), d: Oluşan aktif metal oksidin kimyasal ayrışması ile oksijenin dönüşümü, e: Hidroksil radikalleri ile organik bileşiklerin (R) elektrokimyasal parçalanması, f: aktif metal oksit ile organik bileşğin (R) elektrokimyasal dönüşümü

Şekil 2.5: Organik bileşiklerin aktif (a, c, d ve f) ve aktif olmayan (a, b ve e) reaksiyonlarının anot yüzeyinde eş zamanı olarak anodik oksidasyonu ve de klor bulunması halinde anot yüzeyinde dolaylı anodik oksidasyonu



(MO_x): Elektrokimyasal olarak aktif olan oksijenin iki oksit türünün anot yüzeyinde üretilmesi durumudur. (MO_{x+1}) ise kimyasal olarak adsorplanmış aktif oksijeni göstermektedir. Burada; R , organik bileşikler; n , anot yüzeyinde adsorbe edilmiş olan $\cdot\text{OH}$ 'nin sayısıdır. Organik maddelerin belirli bir kısmı, elektrokimyasal çevrimde parçalanabilmektedir. Tamamen uzaklaştırılması için ekstra arıtım gerekmektedir. Fakat son ürünlerdeki CO_2 ve H_2O tam bir arıtımın olduğunun göstermektedir (Grimm et al. 1998).

Tablo 2.10: Elektrooksidasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar

Anotta gerçekleşen reak	$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$ $6HOCl + 3H_2O \rightarrow 2ClO_3^- + 4Cl^- + 12H^+ + 1.5O_2 + 6e^-$ $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 6e^-$
Çözeltide gerçekleşen reak	$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$ $HOCl \rightarrow H^+ + OCl^-$
Katotta gerçekleşen reak	$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$ $OCl^- + H_2O + 2e^- \rightarrow Cl^- + 2OH^-$

Elektrokimyasal tepkimelerde; ara yüzeyinde gerçekleşen olaylarda anot, elektrot ve elektrolitin özellikleri ile uygulanan potansiyel, elektrokimyasal tepkimenin gidişini etkileyen etkenler önemlidir. Anot malzemesi, ön arıtım, pH, akım yoğunluğu, elektrolit türü ve konsantrasyonu elektrokimyasal proseslerin giderim verimlerini etkileyen faktörlerdendir. Kısaca değinecek olursak;

Ön arıtım: Katı maddelerinden ayrılmış olan bir atıksuya uygulanan elektrooksidasyon prosesinin verimini artırmaya yardımcı olur. Çünkü ortamdaki katı maddeler ortamdaki direnci artırır ve böylece hem akım verimini düşürür hem de buna bağlı elektrik maliyetini artırmaktadır.

Anot Malzemesi: Elektrooksidasyon parametresini etkileyen en önemli faktörlerden biri de anot malzemesinin seçimi ve kullanımınıdır. Bunun yanında kullanılan anotların korozyona karşı olan direnci ve de katalitik aktiviteleri de önemli faktörlerdendir. Organik içeriği yüksek atıksular için birçok anot malzemesi kullanılmaktadır.

Tablo 2.11: Çalışmalarda kullanılan bazı anot malzemeleri

Sn-Pd-Ru	Kalay/ Paladyum/Rutenyum kaplanmış titanyum (SPR)
Ti/IrO₂/RuO₂	İridyumoksit/Rutenyumoksit kaplanmış titanyum
Ti/RuO₂	Rutenyumoksit kaplanmış titanyum
Ti/IrO₂	İridyumoksit kaplanmış titanyum
Ti/PbO₂	Kurşunoksit kaplanmış titanyum
Ti/SnO₂	Kalayoksit kaplanmış titanyum
Ti/Pt	Platin kaplı titanyum
BDD	Bor Kaplı Elmas
Grafit	Grafit

pH: Elektrooksidasyon prosesinde pH, ortamda oluşan elektrolitik reaksiyonları direkt olarak etkilediği için büyük öneme sahiptir. Hidroksil radikallerinin oluşumu için pH birinci dereceden etkilidir çünkü belirli bir pH değerleri dışında hidroksil radikallerinin oluşum yüzdesi büyük oranda azalacaktır (Kahraman 2019). Aynı zamanda giderim verimleri hem başlangıç hem de son haldeki pH değerine bağlıdır. Çalışmalarda pH değerleri farklı sonuçlar vermektedir. Örneğin bazı çalışmalarda en yüksek verim asidik şartlarda olurken kimi zaman en yüksek verim bazik ya da nötral pH değerlerinde elde edilmiştir. Bu da atıksuların kompozisyonlarının kompleks olmasından ve kullanılan farklı pH aralıklarından kaynaklı olabilmektedir.

Akım Yoğunluğu: Elektrokimyasal arıtmada diğer önemli parametrelerden biri de akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğu gerek sistemin reaksiyon hızının kontrolünde gerekse akım yoğunluğunun optimizasyonunda önemli rol oynamaktadır. Sisteme uygulanan fazla akım yoğunluğu daha fazla maliyet demektir. Aynı zamanda akım yoğunluğunun artması sistemin arıtım süresini kısaltmaktadır.

Eklenecek Destek Elektrolit Türü ve Konsantrasyonu: Elektrolit türü, atıksuyun iletkenliğini arttırmasından dolayı sistemin hızını ve etkinliğini arttırmak için sisteme ilave edilmektedir. Elektrolit konsantrasyonu ise oluşacak oksidant miktarını arttırdığından dolayı elektrooksidasyonun da iletkenliğini arttırmaktadır.

Elektrooksidasyon yönteminin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir (Hege 2002);

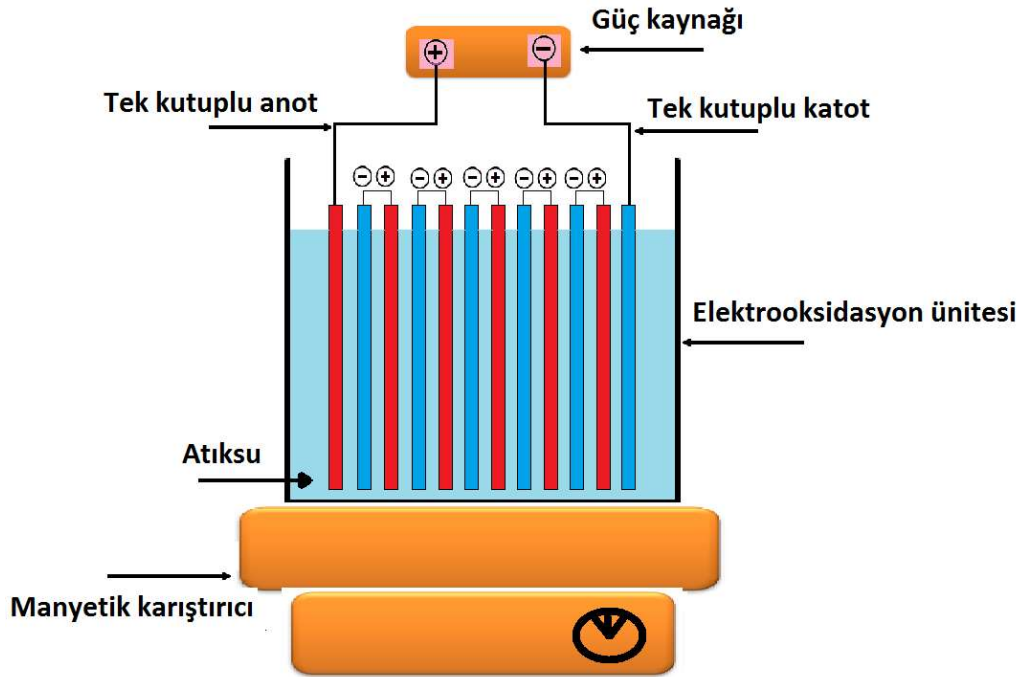
2.5.8.1 Elektrooksidasyonun Avantajları

1. Basit ekipmanlarla, düşük sıcaklık ve basınçta çalıştırılır. Kimyasal madde eklemeye gerek yoktur,
2. Kullanılan elektronlar sayesinde kimyasal maddeler elde edildiği için ekstra kimyasal madde eklenmesi gerekmez,
3. Elektriğin ucuz olduğu yerlerde oldukça düşük maliyetlidir,
4. Kolay uygulanabilmekte ve reaksiyon istenildiği gibi kontrol edilebilmektedir,
5. Toksik kirletici içeren ve geleneksel yöntemlerle arıtılamayan atıksuların arıtımını sağlanabilmektedir.

2.5.8.2 Elektrooksidasyonun Dezavantajları

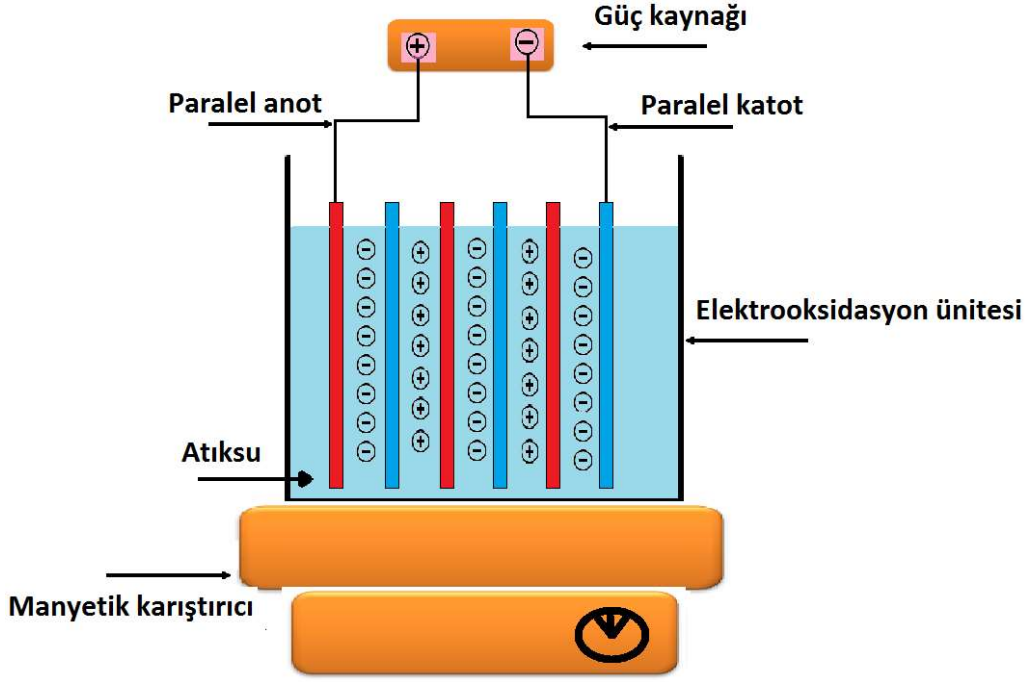
1. Elektrotların yüzeyinde geçirimsiz tabakalar oluşabileceği için elektrotların kirliliğinin önlenmesi gerekmektedir,
2. Elektrotlar ucuz ve uzun ömürlü olması gerekmektedir,
3. Arıtılacak suyun iletkenliği olması gerekmektedir,
4. Konsantrasyon miktarındaki düşüş (kütle taşınımının sınırlamasından kaynaklı) akımın verimliliğini azaltabilmektedir.

Anot ve katottan oluşan elektrooksidasyon prosesinin harici bir güç kaynağına bağlanmasıyla katot malzemesi pasifleşirken, anot malzemesi yükseltgenme sebebiyle aşınır böylece etkinliğini kaybeder. Anottaki çözünme hızını en aza indirgeyebilmek için daha büyük yüzey alanlı elektrotlar kullanılabilir fakat bu da yukarıda belirtildiği gibi şekilde düzenleme yapılması çoğunlukla uygun olmayacaktır. Bu olayın elektrotların tek kutuplu şekilde seri veya paralel olarak bağlanmasıyla önüne geçilmiştir. Şekil 2.6' da (Fil, 2014) bir çift anot ve katodun seri olarak bağlanması durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Elektrooksidasyon reaktörü (Tek kutuplu seri bağlı)

Çift kutuplu olan elektrotların seri ve ya paralel bağlı olarak kullanıldığı reaktör şekil 2.7'de (Fil, 2014) şematize edilmiştir.



Şekil 2.7: Elektrooksidasyon reaktörü (Çift kutuplu seri bağlı)

Yükseltgenme ile etkinliği azalan anot ve de katodun yüzeyinde geçirimsiz tabakanın oluşması gibi etkenler doğru akım elektrooksidasyon da sık görülen problemlerdendir. Bu gibi problemlerin azaltılması amacıyla alternatif akım elektrooksidasyon tekniği gösterilebilir. Bu yöntemle Alternatif akımla elektrotların anot ve katot sıralamasını belirli periyotlarda değiştirmesi sebebiyle pasifleşme olmasını engelleyerek, elektrot ömrünü de kabul edilebilir olarak kullanılacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Balıkesir ilinde bulunan yerel işletmeden alınan zeytin seperatör atıksularının elektrooksidasyon yöntemi ile kesikli reaktörde arıtımı incelenecektir. İşletme dönemsel olarak faaliyet göstermektedir. Anot malzemesi olarak Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kaplama anotlar seçilecektir. Destek elektrolit türü, destek elektrolit konsantrasyonu, atıksu başlangıç pH'sı ve akım yoğunluğunun giderim verimi üzerindeki etkileri, KOİ, renk, bulanıklık ve AKM gibi kirlilik parametrelerinin zamana karşı alınan numunelerle değişimleri incelenecektir. Destek elektrolit türü olarak NaCl, KCl, Na₂SO₄ ve NaNO₃ gibi tuzlar tercih edilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

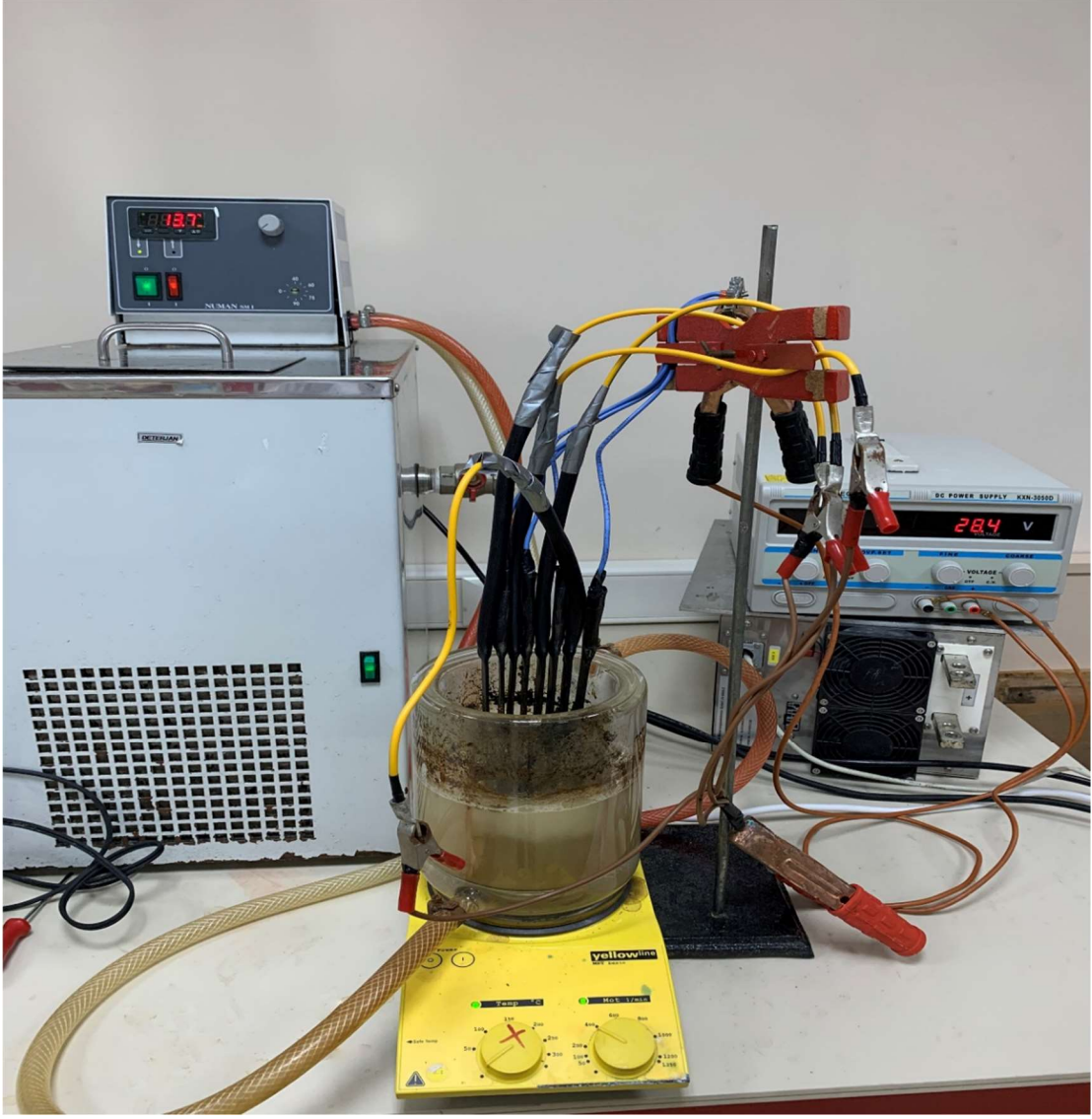
3.1 Atıksu Temini Özellikleri

Tablo 3.1: Seperatör Suyunun Özellikleri

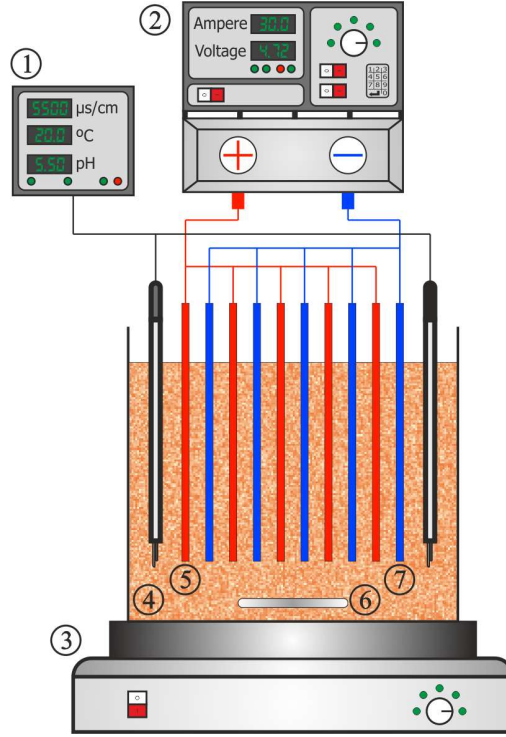
PARAMETRELER	BİRİM	DEĞERLER
İletkenlik	($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1900-2000
pH	-	4-5
Bulanıklık	(NTU)	3000-4500
Renk	(Pt-Co)	30000-45000
AKM	(mg/L)	5400-8500
KOİ	(mg/L)	14000-18000

3.2 Elektrooksidasyon Denemelerinin Yapıldığı Düzenek

Deneysel çalışmalar, 11 cm çapında 15 cm derinlikte ceketli cam reaktörde zeytin seperatör atıksuyunun 1,1 L hacmi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, yaklaşık ıslak yüzey alanı 2464 cm² olan, toplamda 8 adet (4 anot ve 4 katot) elek tipi elektrotlar kullanılmıştır. Kaplanmamış titanyum katot olarak, Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot materyalleri olarak kullanılmıştır. Çalışmalar esnasında gerekli elektrik akımını sağlamak için dijital kontrollü doğru akım güç kaynağı TT T-ECHNI-C (KXN-3050D) kullanılmıştır. Sistemdeki atıksuyun homojenizasyonu için dijital manyetik karıştırıcı yellowline MST basicC, reaksiyon başlangıcında atıksuyun iletkenlik, pH, ve sıcaklık değerlerini ayarlayabilmek ve reaksiyon süresi boyunca anlık olarak bu değerleri okuyabilmek için Thermo Orion 5 star marka multimetre sisteme monte edilmiştir. Aynı zamanda denemelerde arıtma parametreleri olarak, NaCl, KCl, Na₂SO₄ ve NaNO₃ gibi elektrolit türlerinin, atıksu başlangıç pH değerinin, destek elektrolit konsantrasyonlarının, ve akım yoğunluğunun etkisi incelenmiştir. Deneylerin yapıldığı düzenek şekilleri (Şekil 3.1-Şekil 3.2 (Fil, 2014))'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Kullanılan deney düzeneği



Şekil 3.2: Düzenek Şeklindeki; Multi-parametre ölçer (1), güç kaynağı (2), magnetik karıştırıcı (3), Kullanılan atıksu (4), Anot :TiIrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt (5), Magnet (6), Katot (7)

3.3 Deney Parametreleri

Anot türü olarak seçilen Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt elektrotlarıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan denemelerin hangi şartlarda yapıldığı ve çalışma aralıkları Tablo 3.2’de gösterilmiştir;

Tablo 3.2: Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemelerin çalışma şartları

İncelenen parametre	Parametre aralığı	Sabit tutulan değişkenler
DET	NaCl; KCl; NaNO ₃ ; Na ₂ SO ₄	pHi≈4,8, J=4,06 mA cm ⁻² , T=20±1°C, KH=400 rpm
DEK (NaCl, M)	0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4	pHi≈4,8, J=4,06 mA cm ⁻² , T=20±1 °C, KH=400 rpm
pH (pHi)	3; 5, 4,8; 7; 9; 11	J=4,06 mA cm ⁻² , T=20±1°C, KH= 400 rpm, DE=0,200 M NaCl
J (mA cm ⁻²)	4,06; 6,09; 8,12; 10,15; 12,18	pHi≈4,8, KH=400 rpm, T=20±1°C, DE=0,200 M NaCl

Tablo 3.3: Ti-Pt anot ile yapılan denemelerin çalışma şartları

İncelenen parametre	Parametre aralığı	Sabit tutulan değişkenler
DET	NaCl; KCl; NaNO ₃ ; Na ₂ SO ₄	pHi≈4,8, J=4,06 mA cm ⁻² , T=20±1°C, KH=400 rpm
DEK (NaCl, M)	0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4	pHi≈4,8, J=4.06 mA cm ⁻² , T=20±1 °C, KH=400 rpm
pH (pHi)	3; 5, 4,8; 7; 9; 11	J=4,06 mA cm ⁻² , T=20±1°C, KH= 400 rpm, DE=0,200 M NaCl
J (mA cm ⁻²)	4,06; 6,09; 8,12; 10,15; 12,18	pHi≈4,8, KH= 400 rpm, T=20±1°C, DE=0,200 M NaCl

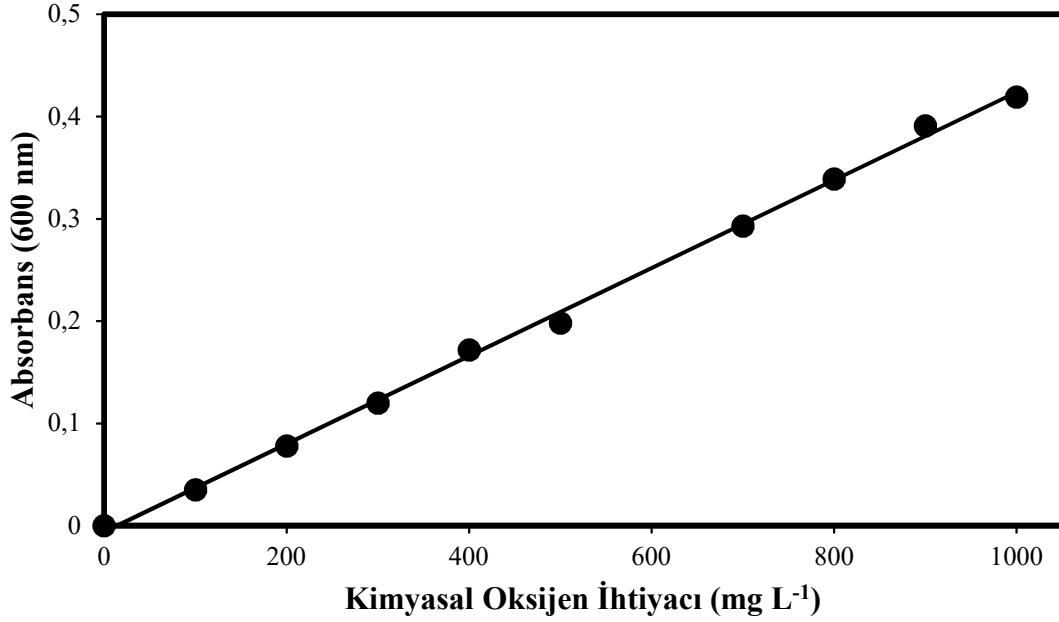
3.1 Analiz Metotları ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı Analizi

Zeytin seperatör suyunun elektrooksidasyon yöntemiyle arıtılabilirliği KOİ, renk, bulanıklık ve AKM ölçümüyle izlenmiştir. Numunelerin pH ve iletkenlik değerleri ise Thermo Orion 5 star marka cihaz ile belirlenmiştir. Aynı zamanda renk, bulanıklık ve AKM parametreleri de Lovibond MultiDirect cihazı ile belirlenmiştir.

Standart metotlarda (APHA 2012) belirtilen kapalı sistem (reflux) yöntemine göre yapılan kimyasal oksijen ihtiyacı analizleri için, parçalama ve asit çözeltisi hazırlanmıştır. Parçalama çözeltisi için 10,216 g K₂Cr₂O₇ ve 33 g HgSO₄, 167 mL derişik H₂SO₄ içerisinde çözülmüştür. Çözelti 1 litreye saf su ile tamamlanmıştır. 11 g Ag₂SO₄ derişik 1 litre H₂SO₄ içerisinde çözülecek asit çözeltisi hazırlanmıştır. (KHC₈H₄O₄, M_A=204,23 g/mol) potasyum hidrojen fitalat KOİ'nin uygulanacak aralığa göre standart kalibrasyon eğrisinin hazırlanması için kullanılmıştır.

Belirli aralıklarla alınan numuneler, 0,45 µm membran filtreden süzülür, süzülen numunelerden 1,5 mL örnek alınarak borosilikat tüplere konulur. Daha sonra üzerine 1 mL parçalama çözeltisi, 2 mL asit çözeltisi ilave edilir, 148°C'de bir termoreaktörde (WTW CR 3200) 2 saat kaynatılır ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 600 nm dalga boyunda spektrofotometre (HACH LANGE Dr-5000) yardımıyla absorbans değerleri okunur.

Yukarıdaki yöntemler kalibrasyon eğrisinin hazırlanması içinde uygulanmıştır. Potasyum-hidrojen-fitalat çözeltisi model kirletici olarak kullanılmıştır. KOİ analizlerinde kullanılan kalibrasyon eğrisi Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3: Kullanılan kalibrasyon eğrisi (KOİ analizi)

Deneydeki verilere göre hesaplamalarda kullanılan eşitlikler ve açıklamaları aşağıda verilmiştir;

$$\text{Giderim (arıtım) veriminin hesabı; } \eta = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100$$

Yukarıdaki eşitlikte C_0 atıksuda başlangıçta bulunan kirletici konsantrasyonu miktarı (mg L⁻¹) gösterirken C_e ise atıksuda t anında kalan kirleticinin konsantrasyon miktarını (mg L⁻¹) göstermektedir.

$$\text{Enerji tüketiminin hesabı; } W = \frac{V.I.t}{v}$$

Eşitlikte W enerji tüketim değerini (kW-saat m⁻³), I : uygulanan akım şiddetini (A), V : sistemde oluşan potansiyel farkı (Volt), t : zamanı (sa) v : reaktördeki toplam çözelti hacmini (m³) göstermektedir.

Akım yoğunluğunun hesabı; $J = \frac{I}{A_s}$

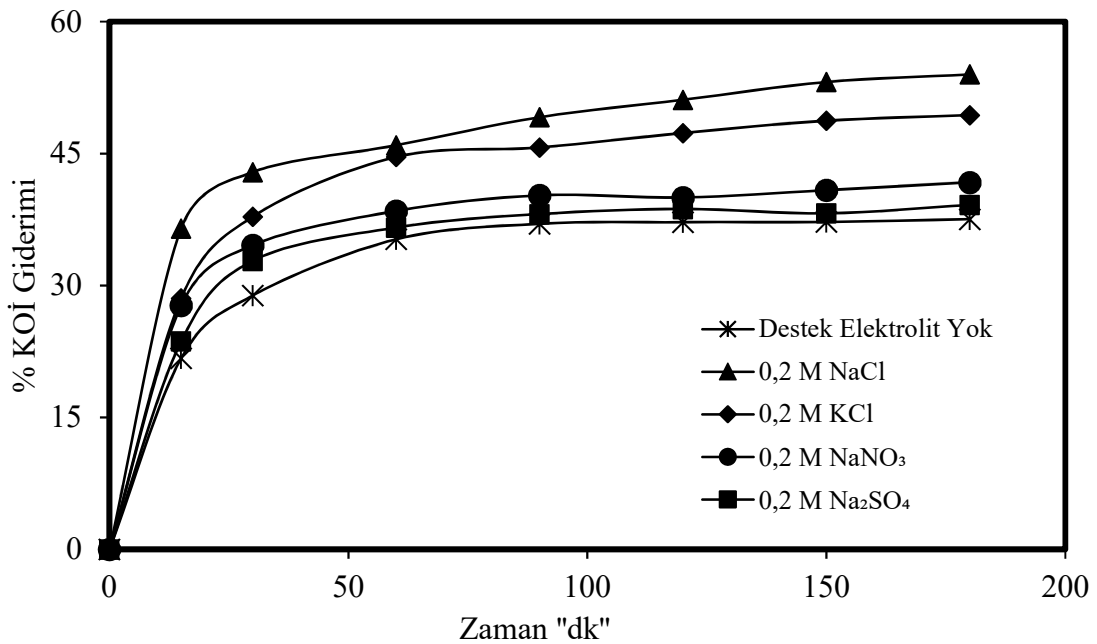
Yukarıdaki eşitlikte, akım yoğunluğunu J (mA cm⁻²) gösterirken; uygulanan akımın şiddetini I (A) ve de elektrot yüzey alanını A_s (cm²) göstermektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Ti/IrO₂/RuO₂ Anotlar İle Yapılan Çalışmalar

4.1.1 Giderim Verimine Destek Elektrolit Türünün Etkisi

Anot türü Ti/IrO₂/RuO₂ ile yapılan çalışmalarda atıksu arıtma verimlerine destek elektrolit türünün etkisini incelemek için Sodyum Klorür, Potasyum Klorür, Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat gibi tuz türleri kullanılmıştır. Bu tuz türleri 0,2 M konsantrasyonlarında, 400 devir/dakika karıştırma hızında, 4,06 mA cm⁻² akım yoğunluğunda ve atıksu başlangıç doğal pH (≈4,8) değerindedir. Sonuçlar aşağıdaki grafiklerde (Şekil 4.1-Şekil 4.5)'te gösterilmiştir.

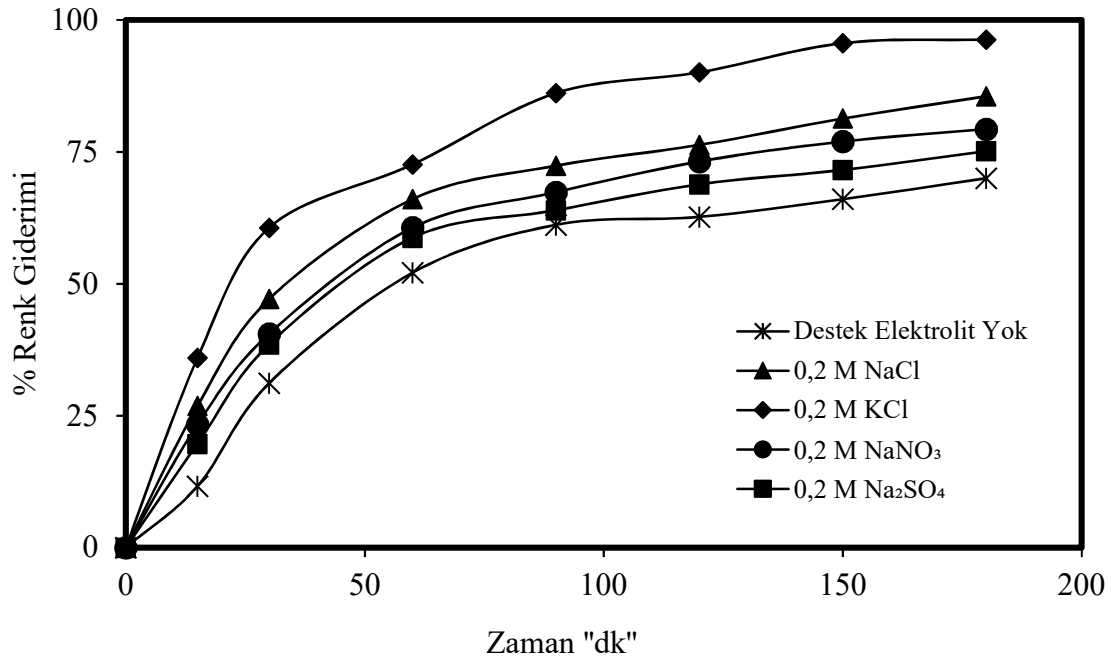


Şekil 4.1: Destek elektrolit türünün KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8)

Şekilden de görüleceği gibi KOİ giderim verimleri; NaCl için %54,00, KCl için %49,36, NaNO₃ için %41,73, Na₂SO₄ için ise %39,15'dir. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar ile yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda en yüksek arıtımın elde edildiği destek elektrolit türü olarak NaCl ve KCl'nin olduğu belirlenmiştir. NaCl destek elektrolit türünün seçiminde bir diğer etken ise maliyetinin düşük olmasıdır (Ighilahriz et al. 2014). Literatürde benzer

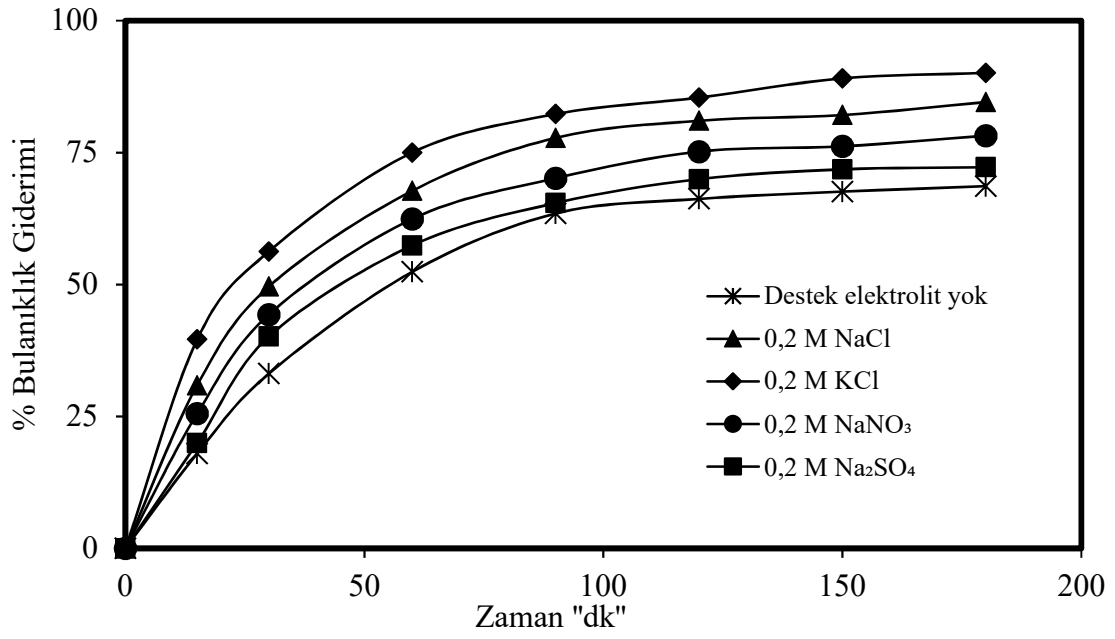
çalışmalar mevcuttur (Altay 2020, Fil 2014, Sivri 2020). Destek elektrolit türlerinde yüksek arıtma veriminin elde etmesinin temel sebebi yapısındaki klorun dolaylı elektrooksidasyonla organik kirliliklerin parçalanmasını daha kolay hale getirmesidir (Comminellis and Nerini 1995, Iniesta et al. 2001, Karupiah and Raju 2009, Sivri 2020).

Şekil 4.2' de Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemelerde farklı elektrolitler renk giderim verimini etkilediği görülmektedir. Renk giderim verimi en çok KCl ve NaCl destek elektrolit türünde görülmektedir. Destek elektrolitsiz yapılan denemelerde renk giderim verimi %70 iken KCl destek elektrolit türüyle yapılan denemelerde bu verim %96,28 olarak bulunmuştur.



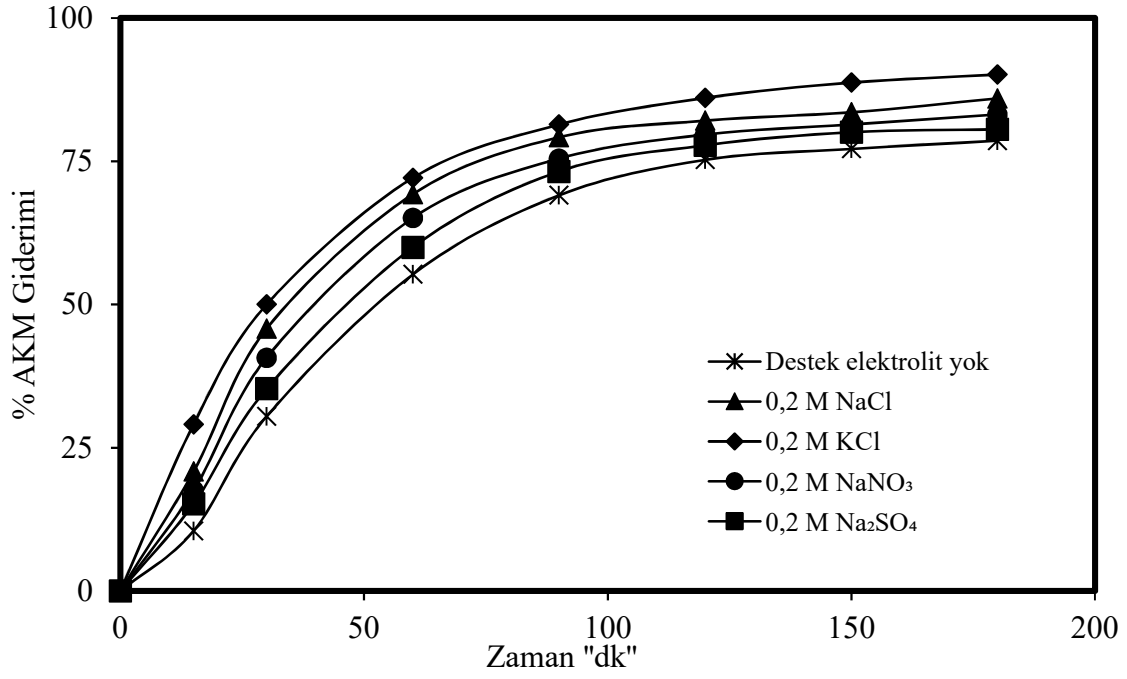
Şekil 4.2: Destek elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8)

Anot türü Ti/IrO₂/RuO₂ ile yapılan denemeler için destek elektrolit türü ile bulanıklık giderim verimi değişimi aşağıdaki Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Grafikte bulanıklık giderimi KCl için %90,10 olurken en az giderim ise Na₂SO₄ %72,22 olmuştur.

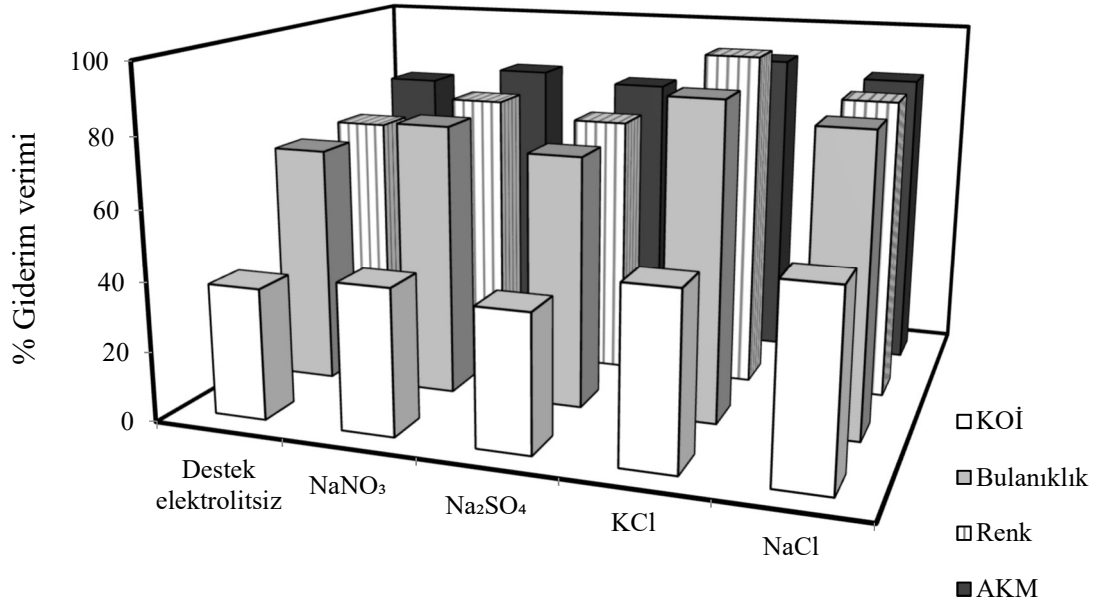


Şekil 4.3: Destek elektrolit türünün bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH:4,8)

Anot türü Ti/IrO₂/RuO₂ ile yapılan denemelerde AKM giderim verimi üzerine destek elektrolit türünün etkisi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. AKM giderim verimleri arasındaki verim farkı %5 ila %10 civarında olup; destek elektrolitsiz ortam için verim %78,57, NaCl için %85,96, KCl için %90,12, Na₂SO₄ ve NaNO₃ için ise sırayla %83,16 ve %80,56 bulunmuştur.



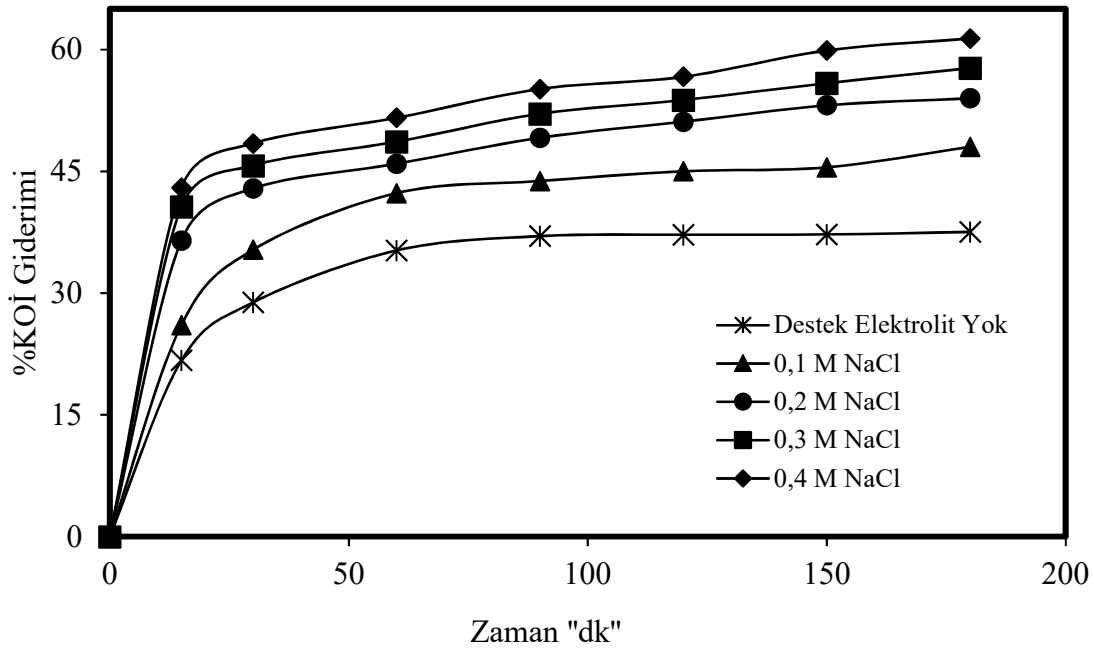
Şekil 4.4: Destek elektrolit türünün AKM giderim verimi üzerine (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8)



Şekil 4.5: Destek elektrolit türünün KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH:4,8)

4.1.2 Giderim Verimine Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Etkisi

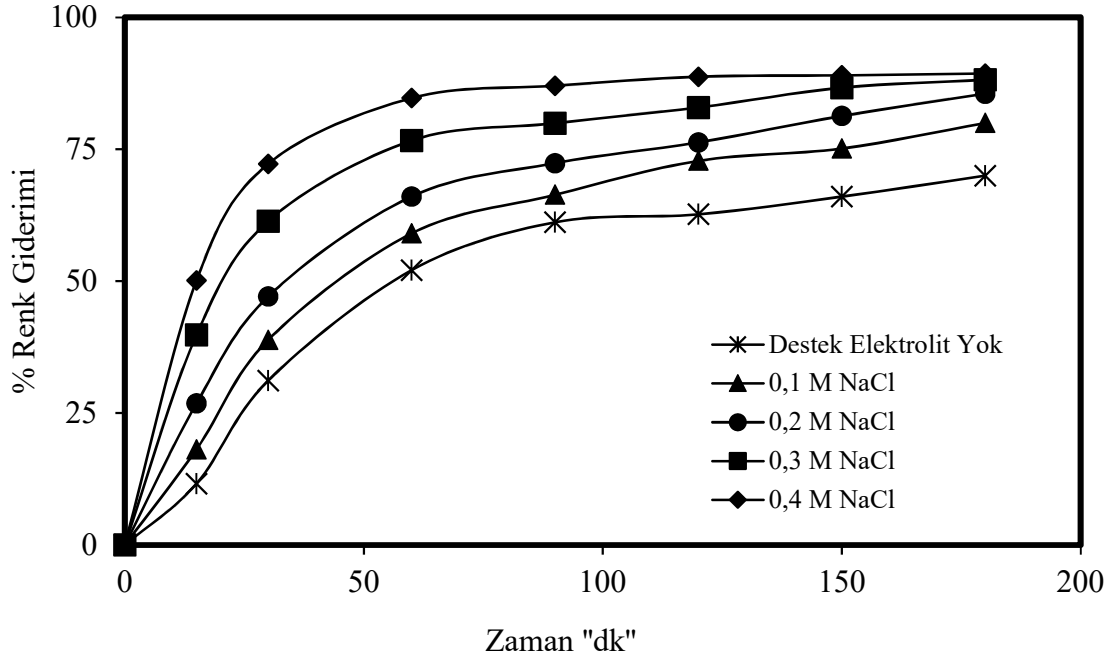
Destek elektrolit türü olarak belirlenen NaCl'nin değişen konsantrasyonlarda arıtma verimi üzerinde etkisini incelemek için, atıksu doğal pH değerinde ($\approx 4,8$), 400 devir/dakika karıştırma hızında ve $4,06 \text{ mA cm}^{-2}$ akım yoğunluğunda denemeler yapılmıştır. Bu amaçla destek elektrolit konsantrasyonunun etkisi NaCl'nin 0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 M olarak belirlenen değerlerde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



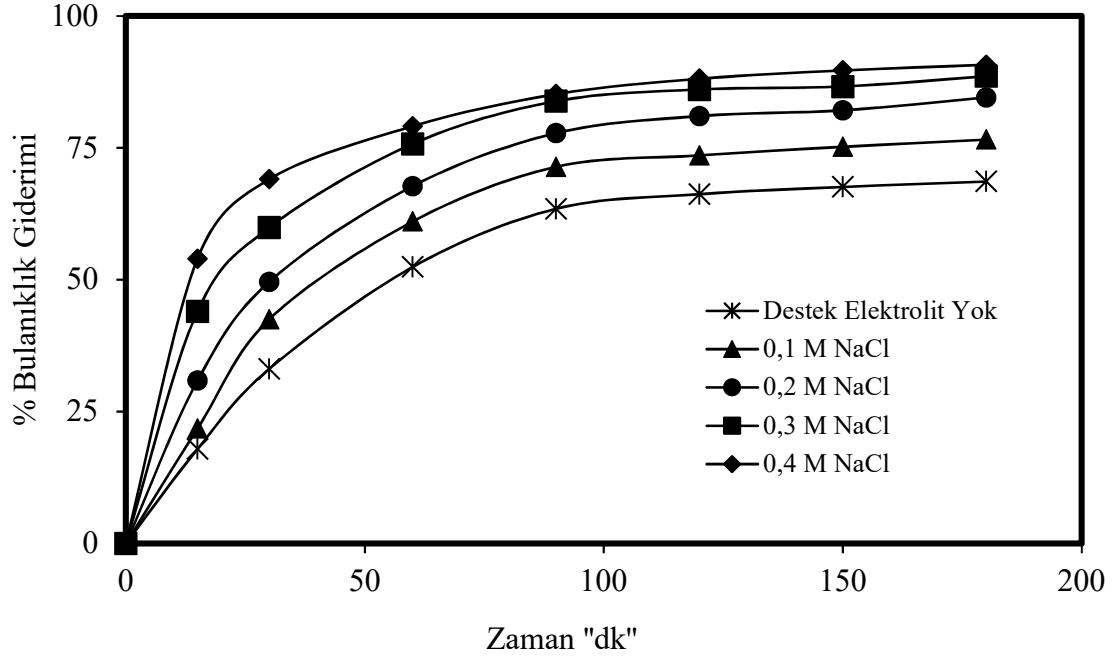
Şekil 4.6: Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)

Şekil 4.6' da görüleceği üzere yapılan denemelerde 0,1 M'da elde edilen KOİ giderim verimi %48,02 iken 0,2 M'de %54,00, 0,3 M'de %57,72 ve 0,4 M'da %61,36 dır. Elde edilen değerler arasındaki fark hemen hemen hepsinde %3-10 arasında değişmektedir. Bu değerlerden yola çıkarak konsantrasyonunun çok artması verimi çok değiştirmediği için Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar ile yapılan denemeler sonucunda 0,2 M NaCl tuz konsantrasyonu optimum konsantrasyon olarak belirlenmiştir. Benzer çalışmaların birinde Sundarapandiyan ve arkadaşları 10-40 g NaCl arasında denemeler yapmış ve denemelerin sonucunda KOİ giderim oranının, tuz konsantrasyonu ile doğru orantılı olduğunu gözlemlemiştir (Sundarapandiyan et al. 2010).

Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim verimi üzerine etkisi Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Yapılan denemeler sonucunda en çok renk giderim verimi 0,4 M’da %89,36 iken 0,3 M için bu verim %88,17, 0,2 M için %85,53, 0,1 M için ise %79,97’dir. Sonuç olarak konsantrasyon miktarı renk giderim verimiyle doğru orantılı şekilde arttığı gözlemlenmektedir.

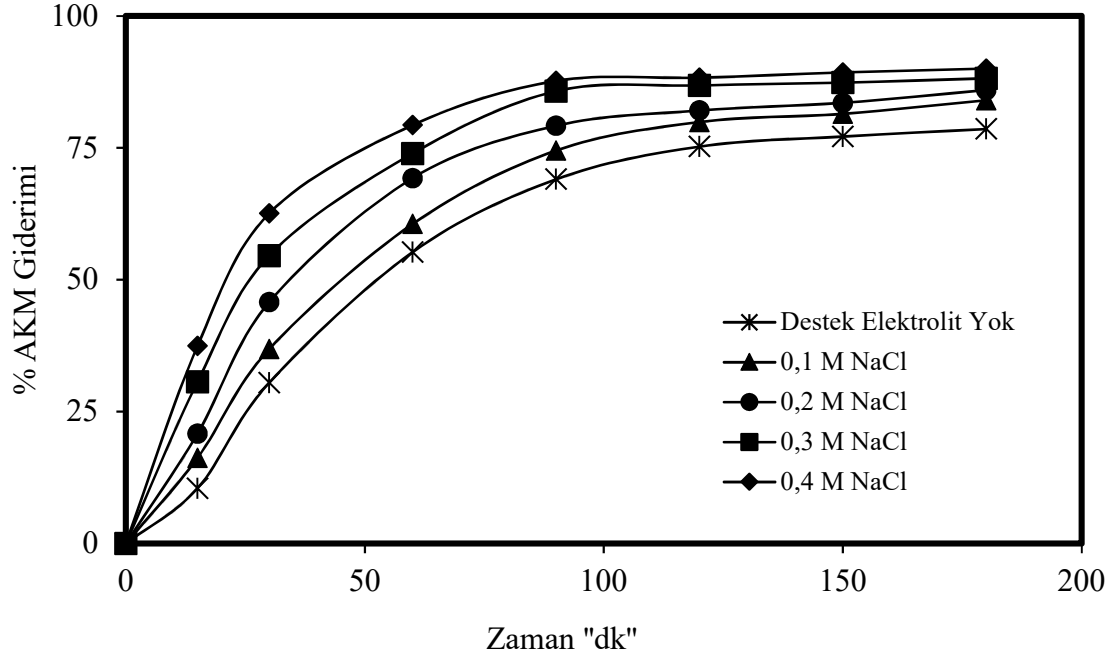


Şekil 4.7: Destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)

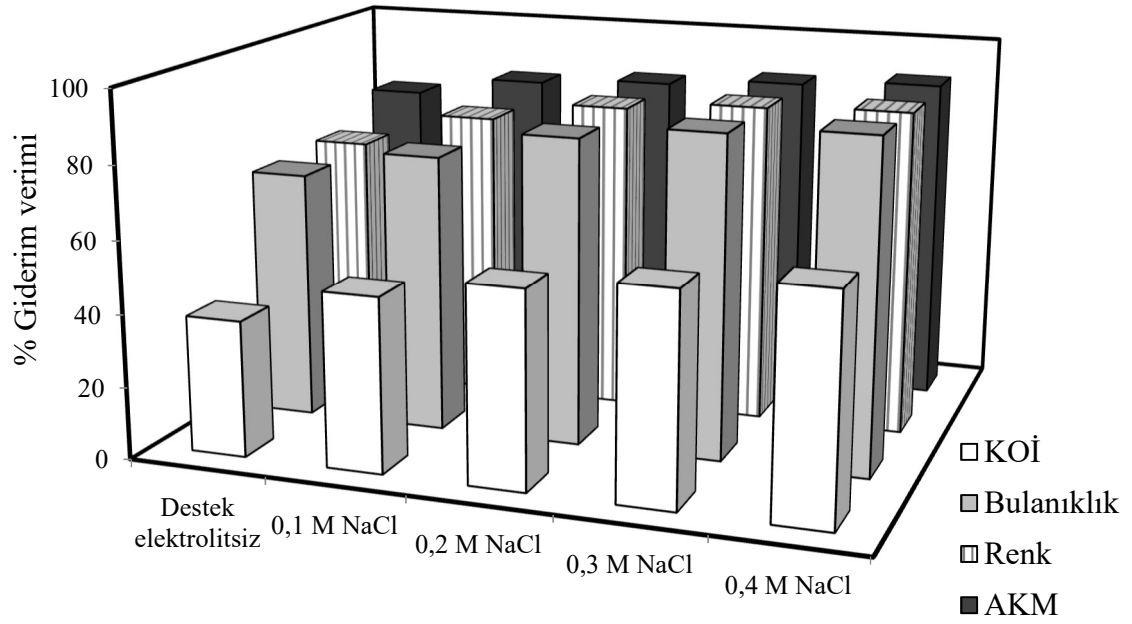


Şekil 4.8: Destek elektrolit konsantrasyonunun bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi
(Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8,DET: NaCl)

Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemeler için bulanıklık gideriminin verim üzerine destek elektrolit konsantrasyonunun etkisi yukarıda bulunan Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Suda bulunan klor miktarının artması bulanıklık verimini de arttırmaktadır. 0,1 M’da bulanıklık giderimi %76,57 iken 0,4 M için bu giderim %90,74 olarak bulunmuştur. Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonunun AKM giderim verimi üzerine etkisi Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Artan elektrolit konsantrasyonu ile askıda katı madde miktarı azalmaktadır.



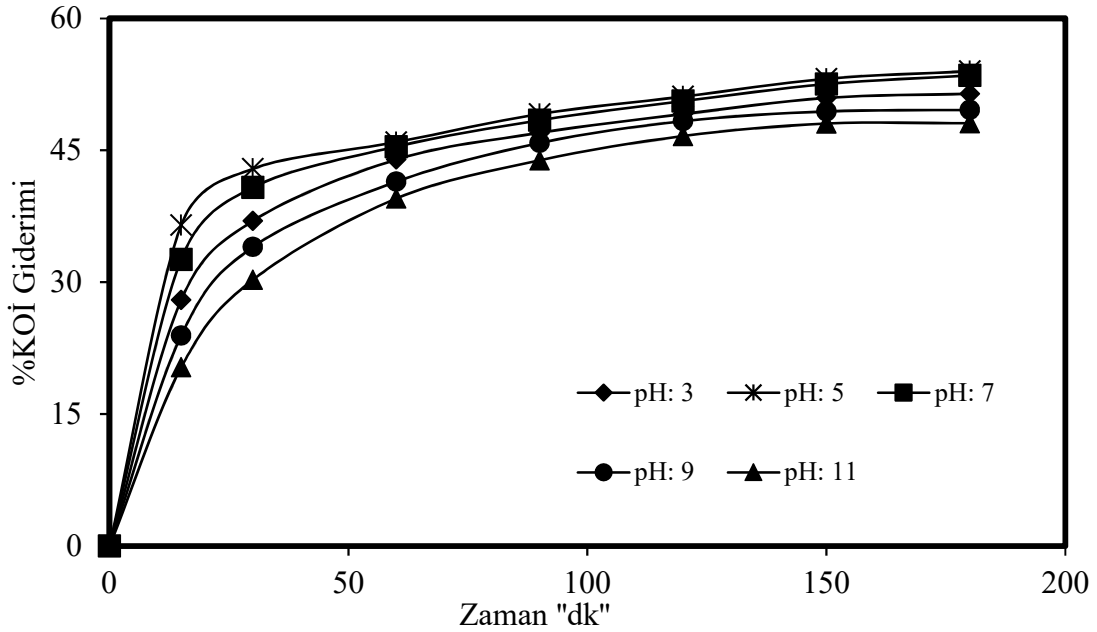
Şekil 4.9: Destek elektrolit konsantrasyonunun AKM giderim verimi üzerine etkisi (anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)



Şekil 4.10: Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)

4.1.3 Giderim Verimine Atıksu Başlangıç pH Değerinin Etkisi

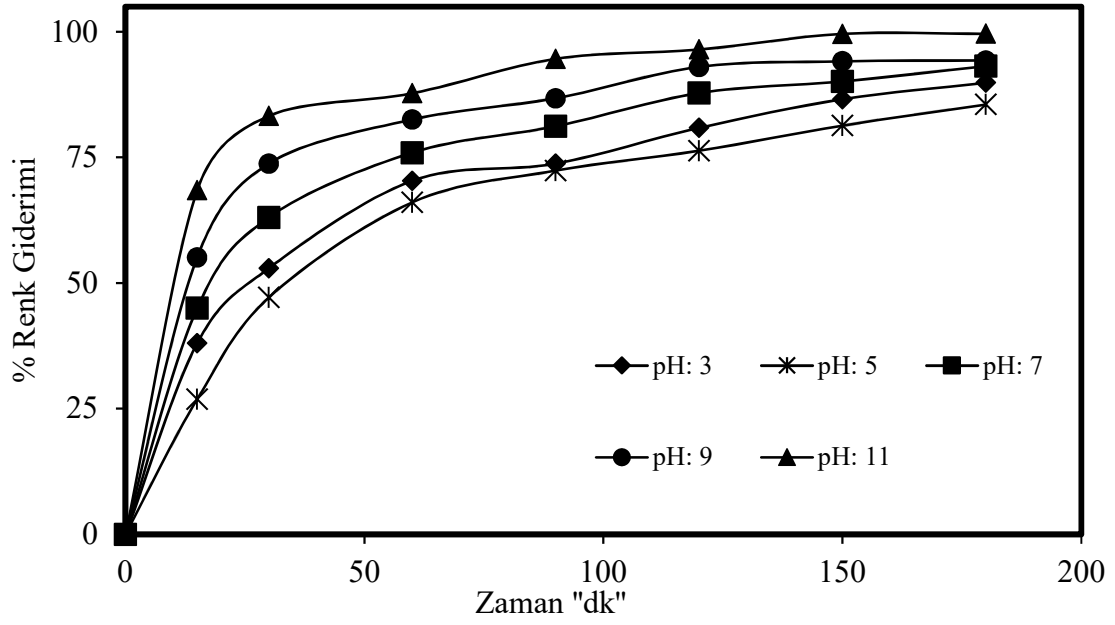
Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar ile yapılan denemelerde pH değeri 3, 5, 7, 9 ve 11 arasındaki değerlerde, 400 devir/dakika karıştırma hızında ve 4,06 mA cm⁻² akım şiddetinde oda sıcaklığında (20±1°C) incelenmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçları Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11: Atıksu pH değerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)

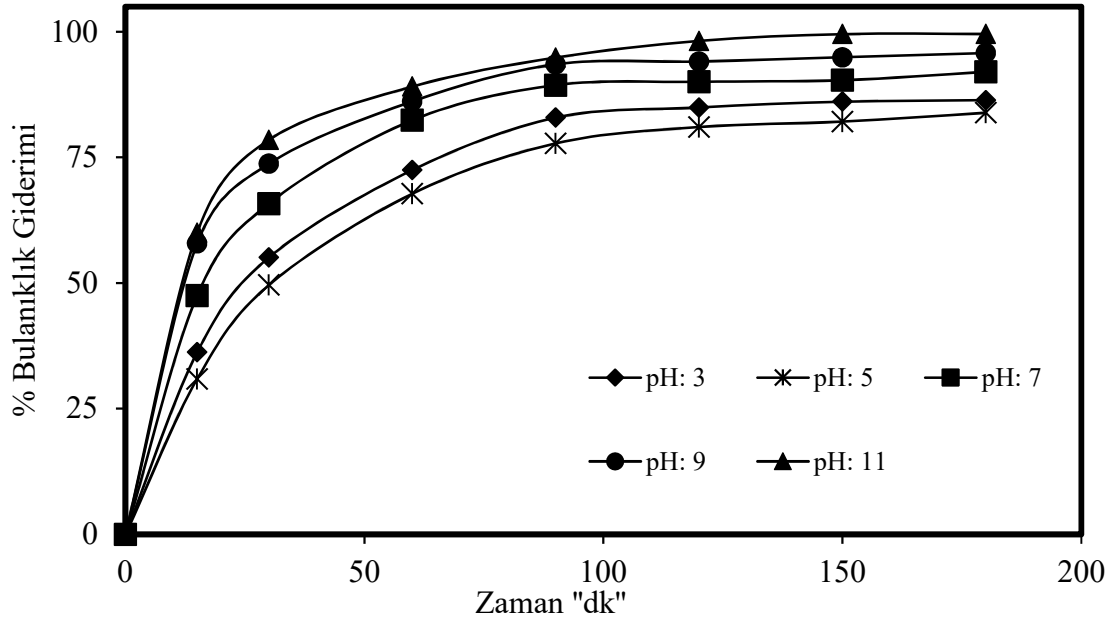
Şekil 4.11’deki grafikte de görüleceği üzere pH 3, 5, 7, 9 ve 11 için KOİ giderim verimleri sırasıyla %52,73, %54,00, %53,53, %49,59 ve %48,08 olarak bulunmuştur. Doğal pH (≈4,8) değerindeki verimlerle sonrasında ki verimler arasındaki fark pH 3 ile 5 arasında %1,27 iken pH 5 ile 7 arasında %1 civarındadır. Atıksu pH’daki değişimlerin kirlilik parametrelerinin giderim oranlarında kayda değer bir fark oluşturmamasından dolayı, atıksu pH’sı doğal değerinde (≈4,8) çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalara ait grafikler renk için Şekil 4.12, bulanıklık için Şekil 4.13 ve AKM için Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere pH’nın artması verimin artmasıyla doğru orantılıdır. Renk için pH 5’de giderim verimi %85,53 iken pH 11’de bu verim %99,59 olarak bulunmuştur. Yine bulanıklık için yapılan denemelerde pH 3’de bulanıklık giderim verimi %86,38, pH 9’da bu değer %95,76 ya çıktığı görülmektedir.

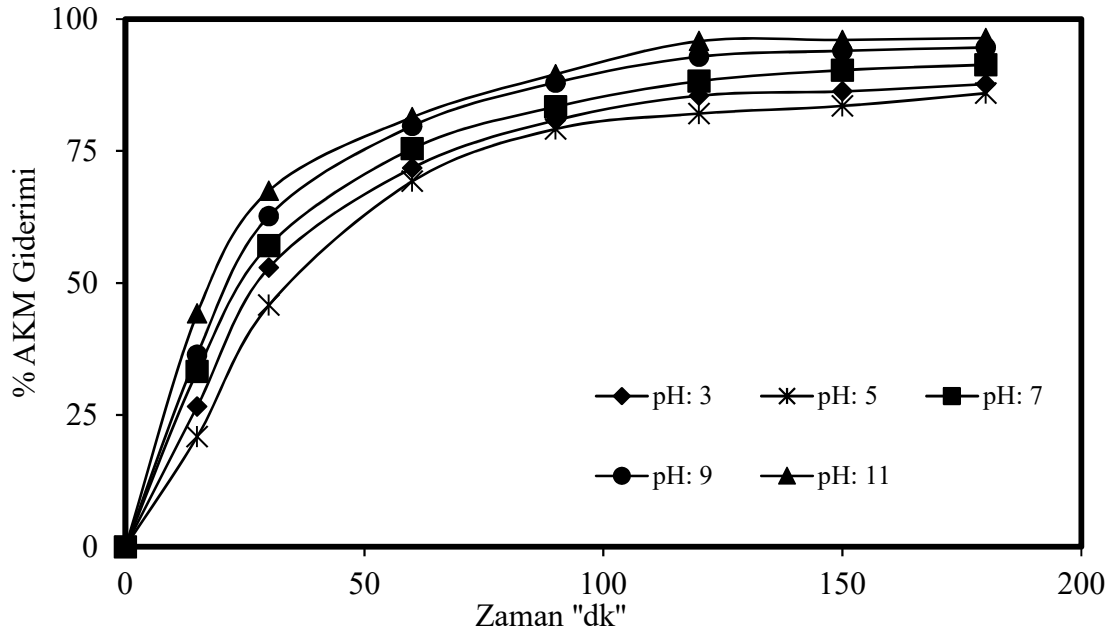


Şekil 4.12: Atıksu pH değerinin renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)

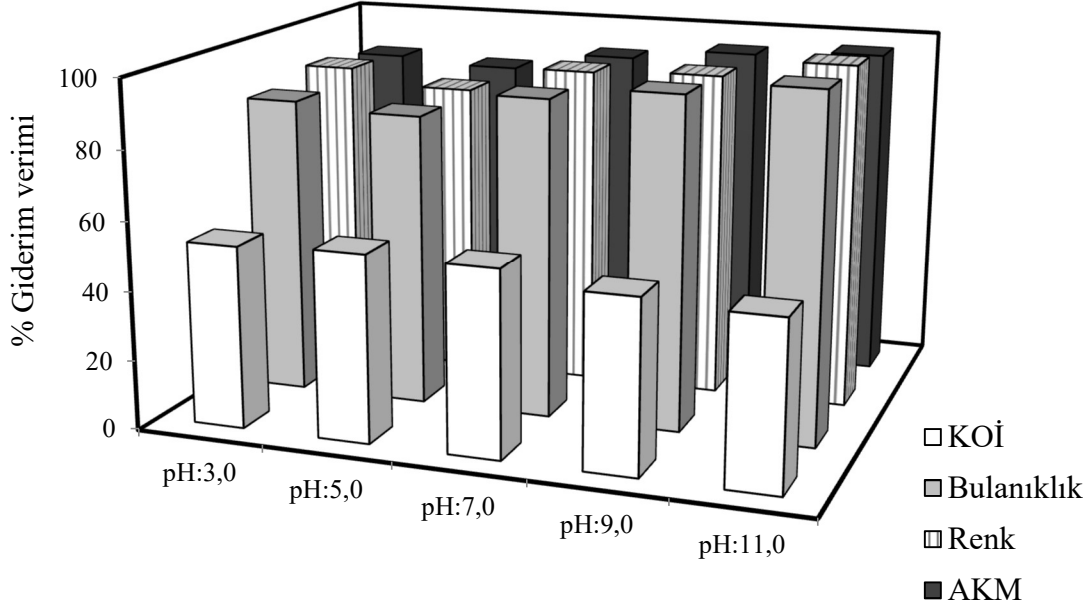
Kahraman ve ark da renk giderim veriminin pH üzerindeki etkisini incelemek amacıyla pH 3-11 arasında denemler yapmış, pH'ın artmasıyla renk giderim veriminin de arttığını gözlemlemiştir. pH ham atıksu (8,27) değerinde 436 nm dalga boyunda %97,9, 525 nm dalga boyunda %99,8 ve 620 nm dalga boyunda ise %99,3 verim elde edilmiştir (Kahraman and Şimşek 2020).



Şekil 4.13: Atıksu pH değerinin bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)



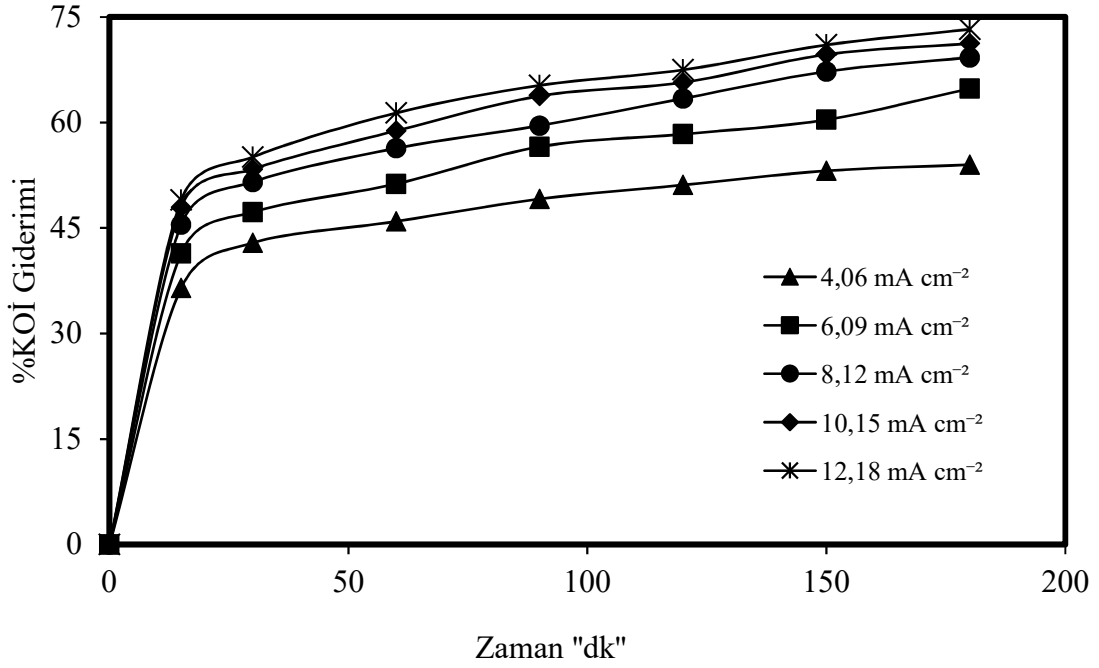
Şekil 4.14: Atıksu pH değerinin AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)



Şekil 4.15: Atıksu başlangıç pH değerinin KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)

4.1.4 Giderim Verimine Uygulanan Akım Yoğunluğunun Etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemelerde KOİ, renk, bulanıklık, AKM giderim verimi üzerine uygulanan akım yoğunluğunun etkisini belirlemek için 4,06-12,18 mA cm⁻² arasındaki değerler ile 0,2 M NaCl konsantrasyonlarında atıksu başlangıç pH (≈4,8) değerinde, 400 devir/dakika karıştırma hızında denemeler yapılmıştır. Yapılan bu denemelere ait sonuçlar Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

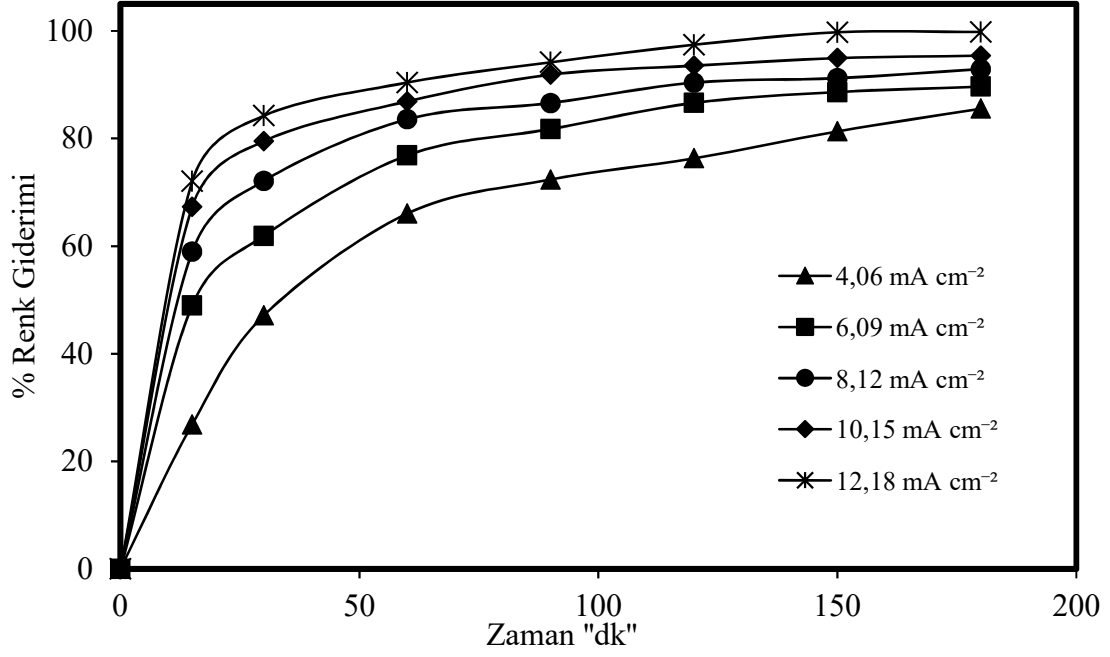


Şekil 4.16: Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)

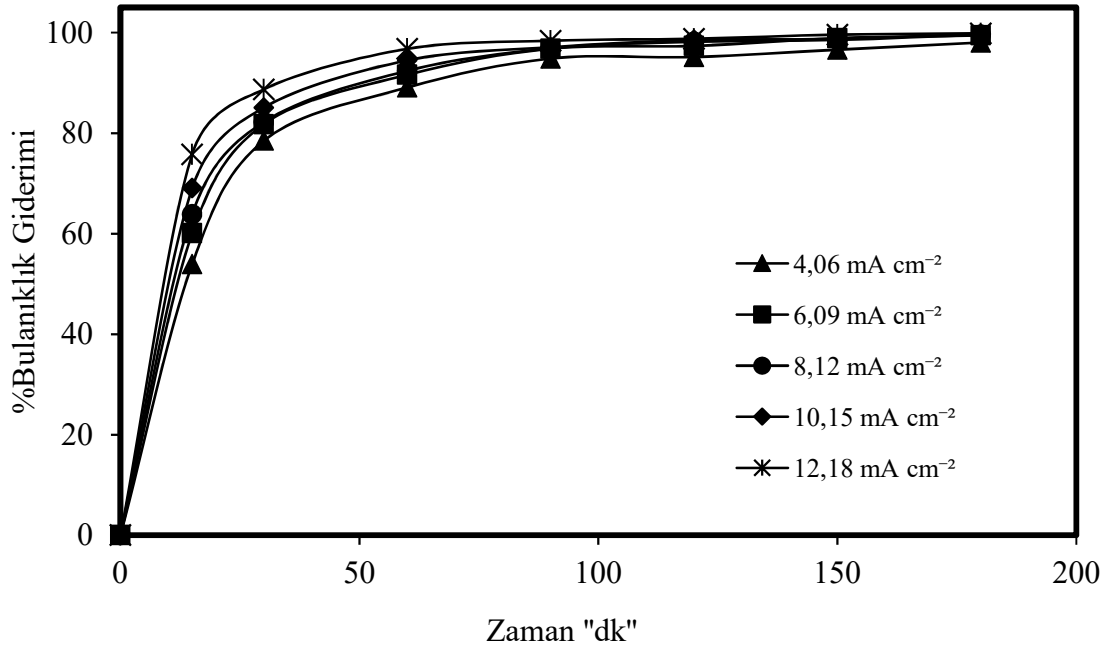
Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere verimin artmasında akım büyük rol oynamaktadır. 4,06 mA cm⁻² daki KOİ giderim verimi %54 civarındayken, akım 6,09 mA cm⁻² da KOİ giderim verimi %64,81, 8,12 mA cm⁻²'de %69,24, 10,15 mA cm⁻²'de %71,22 ve son olarak 12,18 mA cm⁻² ye çıkarıldığında akım verimi %73,23 dür. Hal böyle olunca akım miktarının artması verimi de önemli ölçüde arttırmıştır. Literatüre de bakıldığında KOİ giderme verimlerinin artan akım yoğunluklarıyla arttığı görülmektedir (Tien and Luu 2019). Un ve arkadaşları da 25-135 mA/cm² arasında değişen akımlarda denemeler yapmış ve başlangıçta 41000 mg L⁻¹ olan KOİ konsantrasyonunu 135 mA cm⁻²'de 15000 mg/L⁻¹'e kadar düşürmüştür (Un et al. 2008).

I. Faraday yasasına göre de artan akım miktarı elektrotlardaki yükseltgenen ve indirgenen madde miktarını da arttırmaktadır. Yine akım yoğunluğundaki artış elektrooksidasyon süresince serbest klor miktarını artırdığı için kirleticilerin dolaylı olarak parçalanmasında da katkıda bulunmaktadır (Govindaraj et al. 2010).

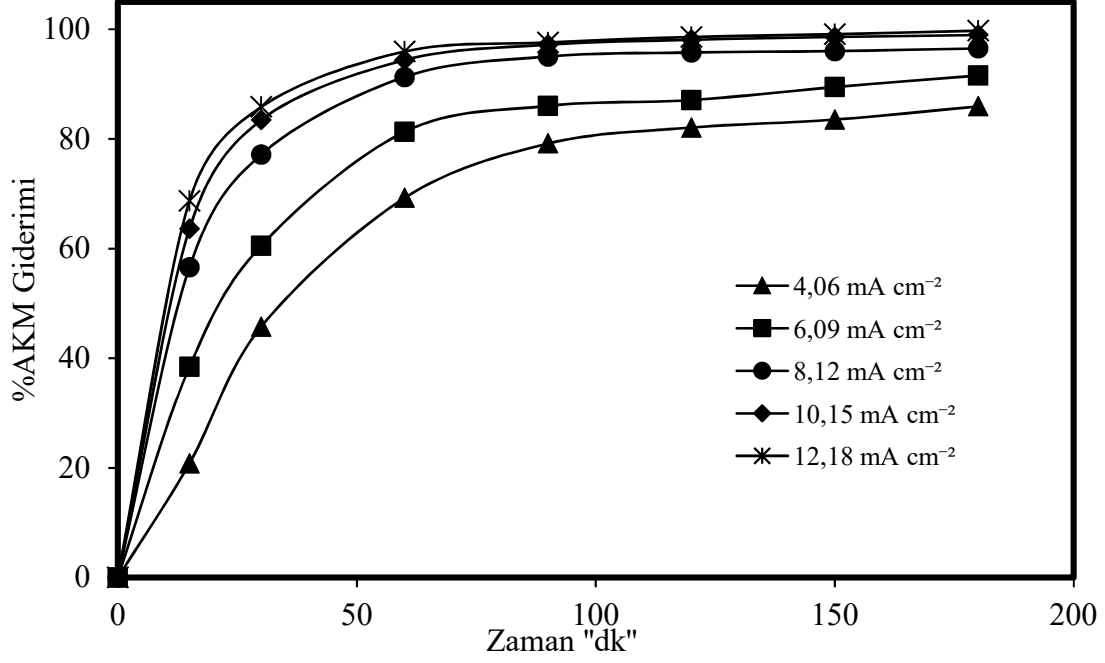
Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan çalışmalarda akım yoğunluğunun etkisi; renk giderimi için 4,06 mA cm⁻²'de %85,53 iken bu değer son akımda (12,18 mA cm⁻²) %99,79 olarak ölçülmüştür. Bulanıklık giderimin de 12,18 mA cm⁻² daki giderim verimi %99,87, AKM için ise %99,76'dır.



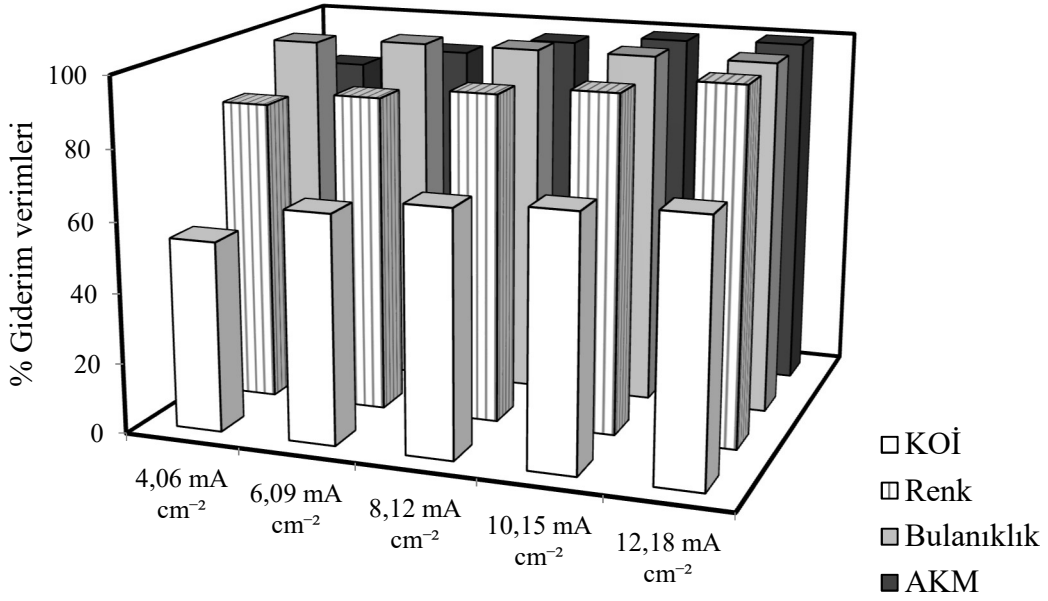
Şekil 4.17: Uygulanan akım yoğunluğunun renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)



Şekil 4.18: Uygulanan akım yoğunluğunun bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)



Şekil 4.19: Uygulanan akım yoğunluğunun AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)

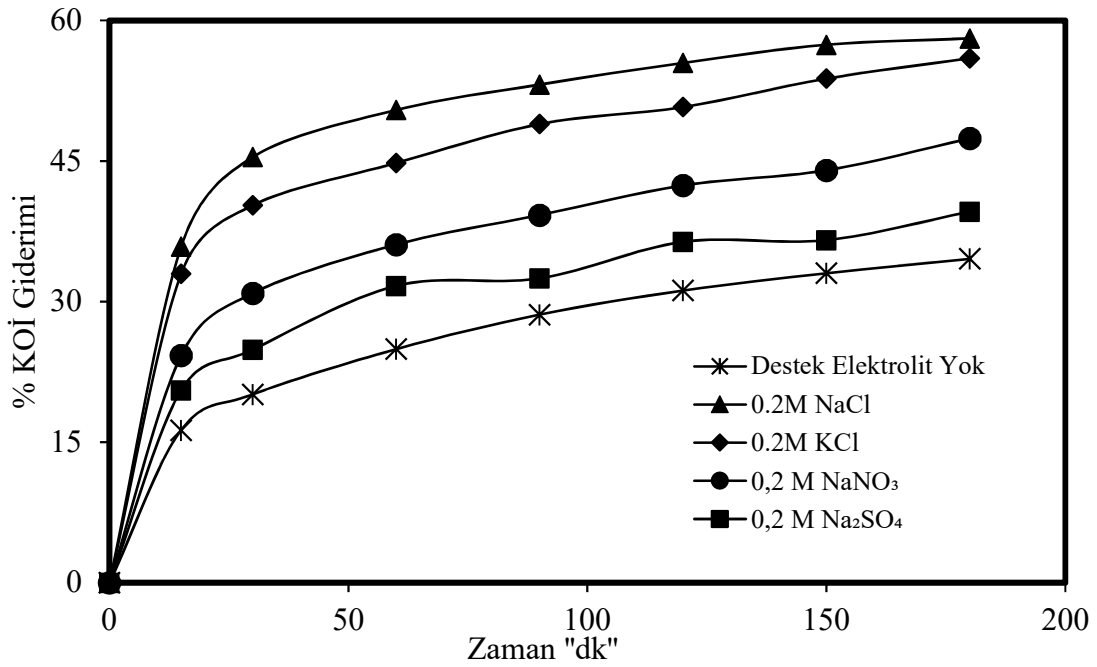


Şekil 4.20: Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)

4.2 Ti/Pt Anotlar İle Yapılan Çalışmalar

4.2.1 Giderim Verimine Destek Elektrolit Türünün Etkisi

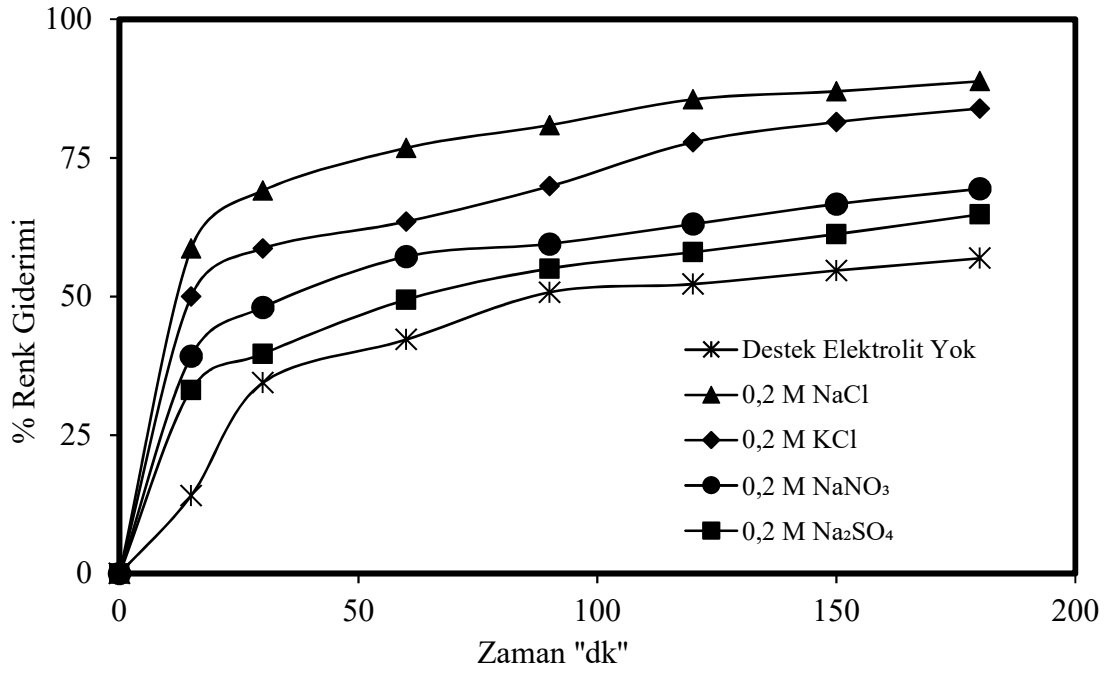
Anot türü Ti/IrO₂/RuO₂ ile yapılan çalışmalarda atıksu arıtma verimlerine destek elektrolit türünün etkisini incelemek için Sodyum Klorür, Potasyum Klorür, Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat gibi tuz türleri kullanılmıştır. Bu tuz türleri 0,2 M konsantrasyonlarında, 400 devir/dakika karıştırma hızında, 4,06 mA cm⁻² akım yoğunluğunda ve atıksu başlangıç doğal pH (≈4,8) değerindedir. Yapılan denemelerdeki sonuçlar Şekil 4.21’de grafik edilmiştir.



Şekil 4.21: Destek elektrolit türünün KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8)

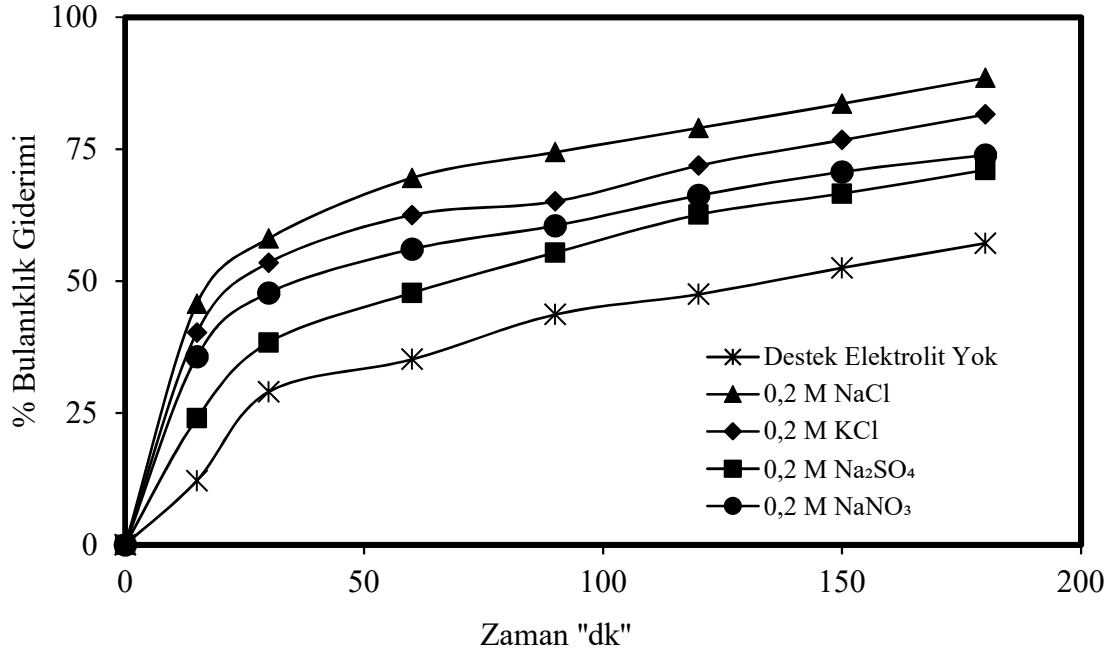
NaCl, KCl, Na₂SO₄, NaNO₃ ve destek elektrolitsiz atık su ortamı için KOİ giderim verimleri sırasıyla %58,08, %55,97, %39,60, %47,41 ve %34,57 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda belirtilen tuzlardan verim olarak en yüksek olan destek elektrot türü NaCl seçilmiştir.

Destek elektrolit türünün renk, bulanıklık ve AKM için giderim verimleri incelenmiştir. Renk için giderim verimleri Şekil 4.22’de gösterilmiştir. En yüksek renk giderim verimi 0,2 M NaCl’de %88,83 olurken en az renk giderim verimi ise destek elektrolit türü kullanılmadan yapılan deneme sonucundadır (%56,89).

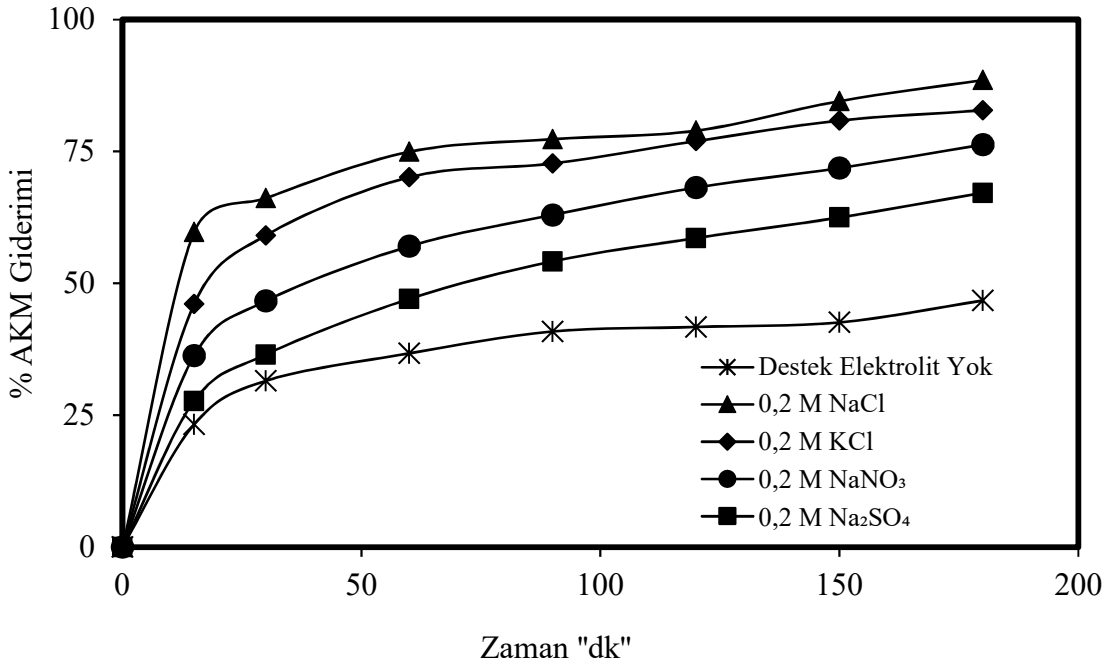


Şekil 4.22: Destek elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8)

Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde bulanıklık giderimi destek elektrolitsiz %57,17, 0,2 M NaCl'de %88,51, 0,2 M KCl'de %81,58, 0,2 M NaNO₃'de %73,89 ve Na₂SO₄'de %71,06 olarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlar Şekil 4.23'de gösterilmiştir. AKM giderimi için ise 0,2 M NaCl'de giderim %88,53 olurken 0,2 M KCl'de giderim %82,79' dur.

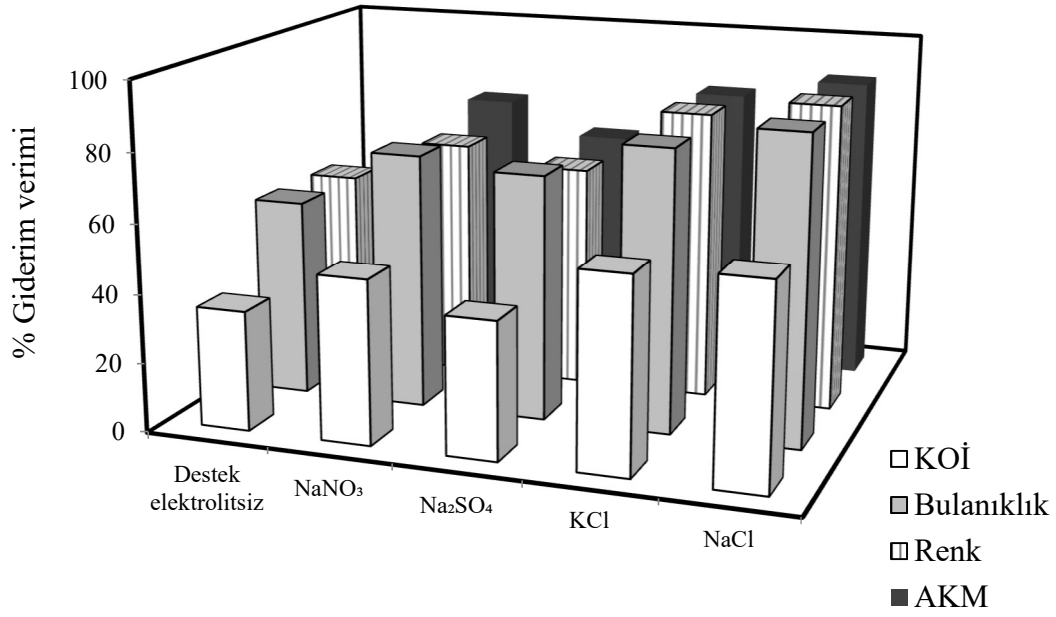


Şekil 4.23: Destek elektrolit türünün bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8)



Şekil 4.24: Destek elektrolit türünün AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8)

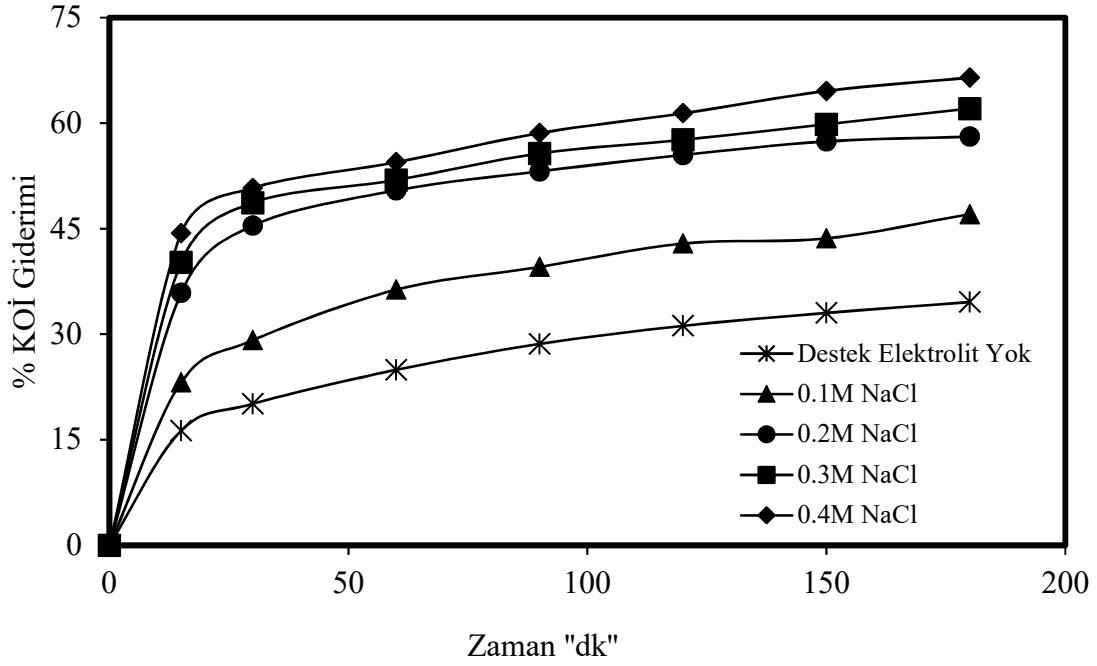
KOİ, renk, bulanıklık ve AKM'nin Ti/Pt anot ile yapılan giderim çalışmaları toplu olarak Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25: Destek elektrolit türünün KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8)

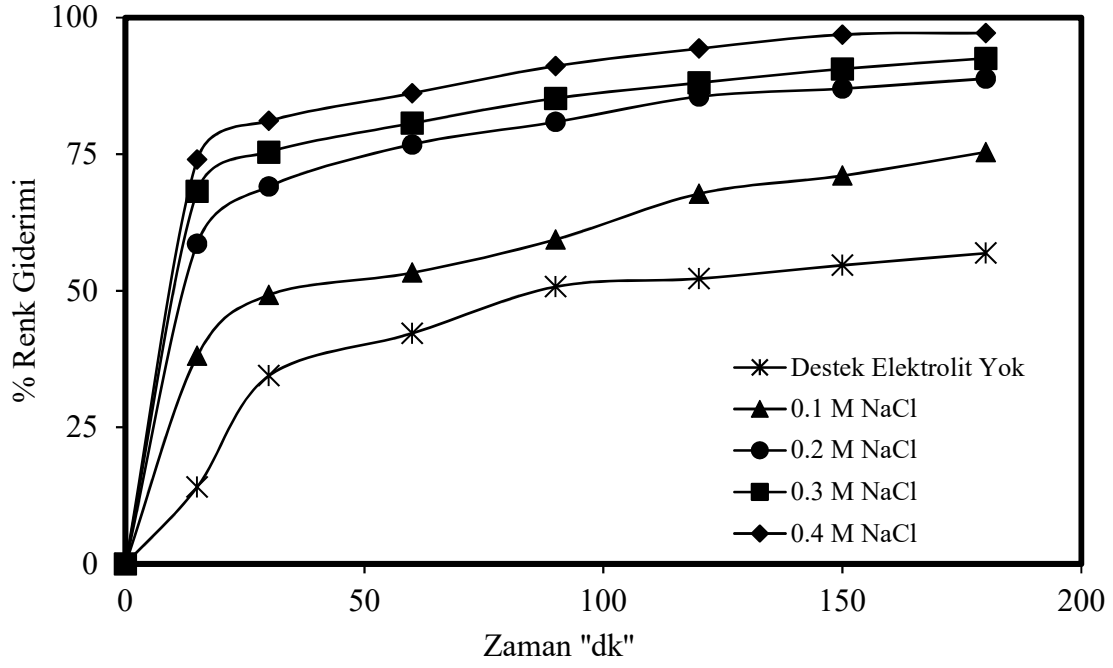
4.2.2 Giderim Verimine Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Etkisi

Anot türü Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonunun etkisini incelemek için 0,1-0,4 M arasında değişen konsantrasyonlarda denemeler yapılmıştır. Yapılan bu denemelerde 400 devir/dakika karıştırma hızında, atıksu başlangıç pH ($\approx 4,8$) değerindedir. Şekil 4.26'da Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi gösterilmiştir. Destek elektrolit türü olarak belirlenen NaCl için farklı konsantrasyonlarda (0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 M) yapılan denemeler sonucunda en fazla giderim 0,4 M NaCl de olurken sırasıyla 0,3 M, 0,2 M, 0,1 M olarak verim azalmaktadır. Umran ve arkadaşları da KOİ giderim verimi için farklı elektrolit konsantrasyonları denemiş (1, 2, 3, 5 M) 5 M kadar NaCl ilavesi KOİ giderme oranını önemli ölçüde hızlandırır da daha düşük kimyasal tüketimi ve aktif klorun yeterince hızlı elektrojenasyonuna izin verdiği için 2 M NaCl seçilmiştir (Un et al. 2008).

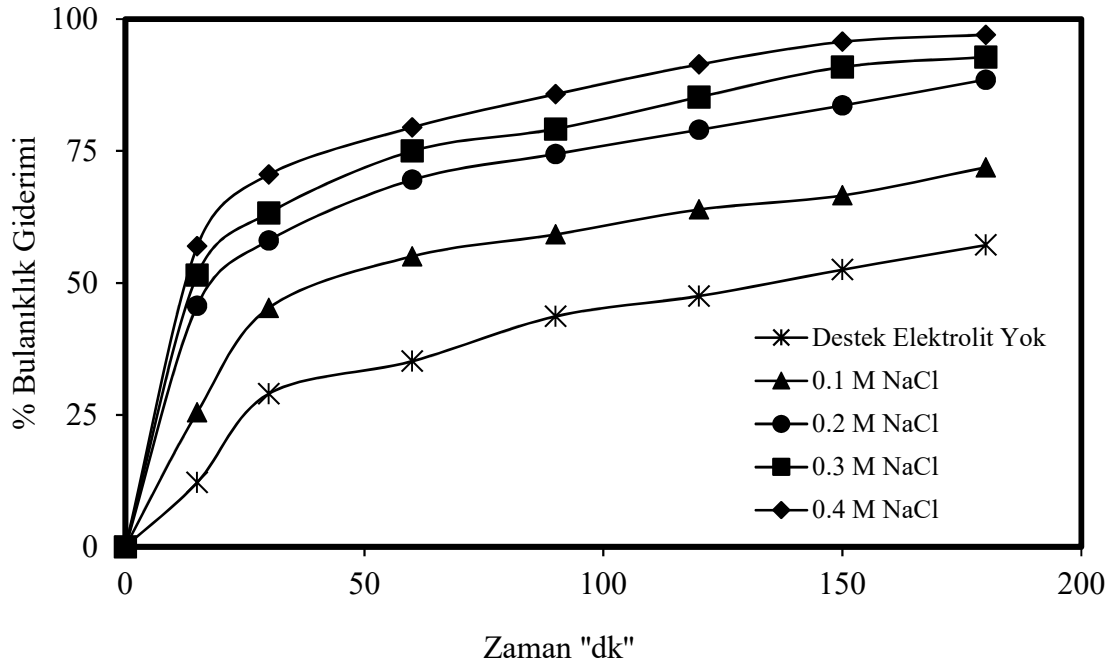


Şekil 4.26: Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)

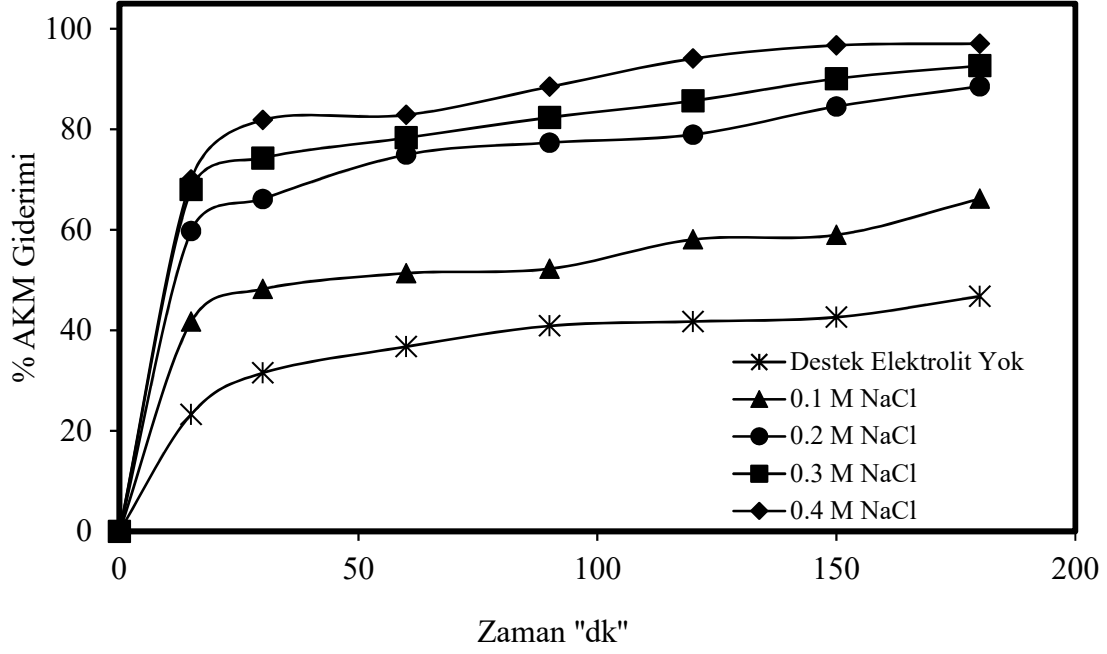
Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde renk giderim verimleri NaCl konsantrasyonunun artmasıyla artmaktadır. Örneğin 0,1 M NaCl için renk giderim verimi %75,38 iken 0,2 M da bu değer %88,83 olarak artmıştır. Şekil 4.27’de de görüldüğü üzere en yüksek renk giderim verimi 0,4 M NaCl %97,18’de bulunmuştur. Aynı artış bulanıklık ve AKM parametreleri içinde görülmektedir. Bulanıklık giderimi için 0,1 M’da giderim %71,89 iken 0,4 M’da bu verim %97,02 olarak bulunmuştur. Yine AKM için renk giderim verimi 0,1 M’da %66,14, 0,2 M’da %88,53, 0,3M’da %92,65 ve 0,4 M’da ise %97,03 olarak bulunmuştur.



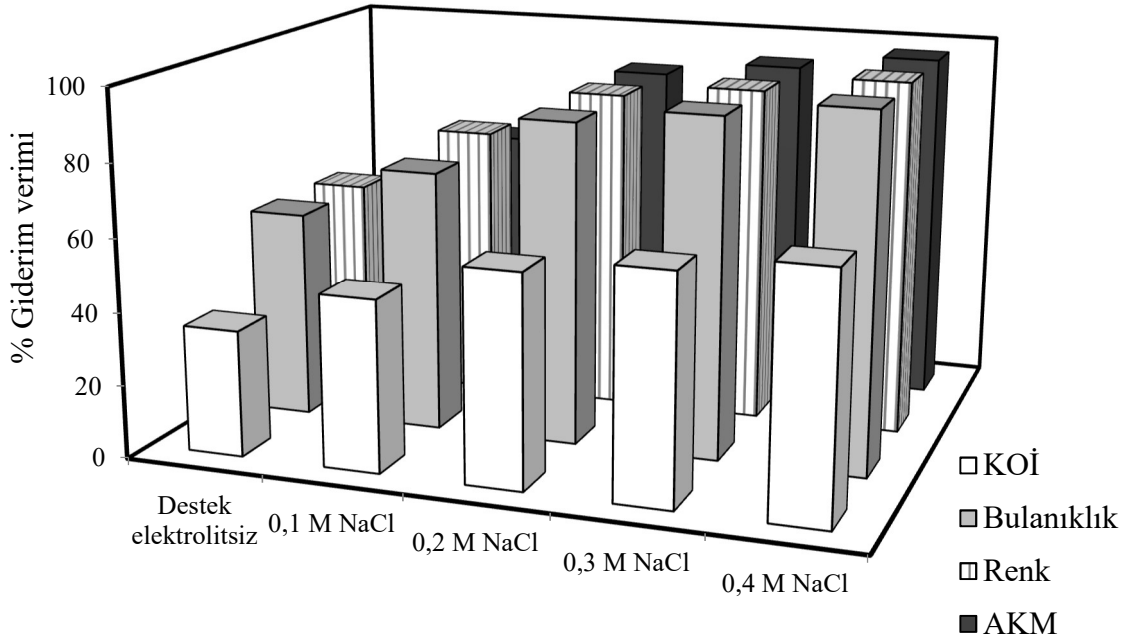
Şekil 4.27: Destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)



Şekil 4.28: Destek elektrolit konsantrasyonunun bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)



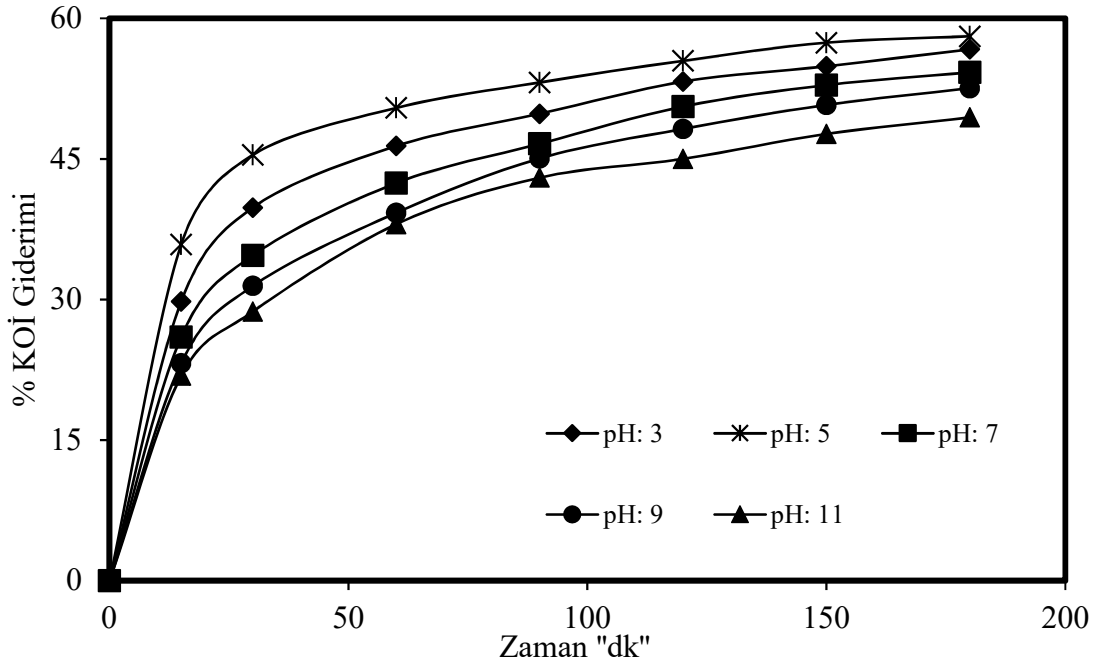
Şekil 4.29: Destek elektrolit konsantrasyonunun AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)



Şekil 4.30: Destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻², pH: 4,8, DET: NaCl)

4.2.3 Giderim Verimine Atıksu Başlangıç pH Değerinin Etkisi

pH etkisinin KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimlerinin incelendiği çalışmalarda Ti/Pt anot kullanarak; destek elektrolit türü olarak 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm⁻², 400 devir/dakika karıştırma hızında ve oda sıcaklığında (20±1°C) denemeler gerçekleştirilmiştir. pH değeri 3-11 arasındaki değerlerde seçilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 4.31’de verilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi örneğin KOİ giderim verimi için; pH 3’de % 56,70, pH 5’de %58,08, pH 7’de %54,24, pH 9’da %52,55 ve pH 11’de ise %49,43 olarak elde edilmiştir. Asidik ortamda giderim verimi daha yüksek gözlemlenmiştir. Bu durum, daha etkili bir ara oksidant olan (HClO)’nin düşük pH değerlerinde baskın olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Benzer sonuçlar Barrios ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada; pH’ın verime etkisini incelemek için 3, 5 ve 7 pH denemeler yapmış; pH 5 ve 7 için %25 ve %14’e kıyasla %42’lik bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca, pH 3’teki KOİ azalmasının çoğu (%35), işlemin ilk 30 dakikasında meydana geldiği gözlemlenmiştir (Barrios et al. 2015).

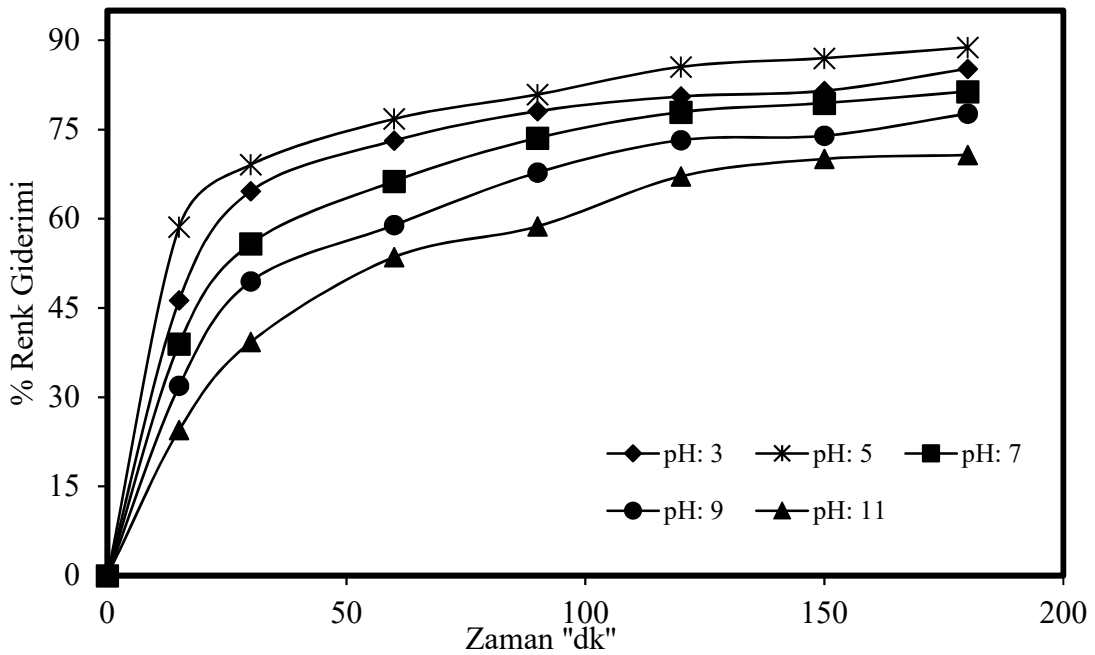


Şekil 4.31: KOİ giderim verimine atıksu pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)

pH:3-9 arasındaki denemeler de pH:3 de %57,57, pH:5 de %59,73 KOİ giderim elde edilirken; pH:9 da ise KOİ %89.11 azaldığı görülmüştür. pH’ın artması anot verimliliğini de

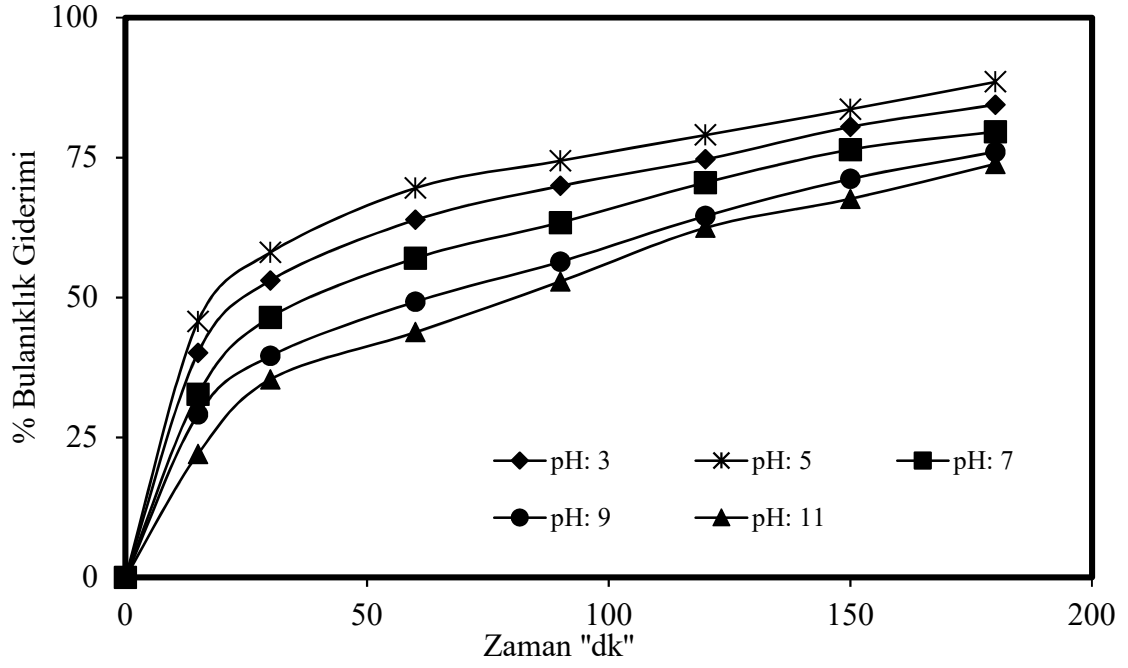
arttırmıştır. Aynı zamanda pH artışıyla enerji tüketiminde azalma görülmüştür (Sundarapandiyan et al. 2010).

Ti/Pt anotla yapılan denemeler için Renk giderim verimi grafiği Şekil 4.32’de gösterilmiştir. pH 3, 5, 7, 9 ve 11 için denemeler yapılmış ve pH’ın artmasıyla renk giderim verimi azaldığı görülmüştür. Suyun normal pH değeri olan 5 de renk verimi %88,83, en son uygulanan pH 11 de ise verim %70,72 olarak bulunmuştur. Fakat bu farklı denenen pH değerlerindeki verimler arası fark %5-15 arasında değiştiği için başlangıç pH ($\approx 4,8$) değerinde doğal olarak bırakılmıştır. Kul, Ti/Pt anotla yaptığı denemelerde doğal pH’da renk ve bulanıklık giderim kesirlerini sırasıyla 0,80 ve 0,45 bulurken; pH 2 ye düşürüldüğünde renk ve bulanıklık giderim kesirleri 0,98, 0,74 yine pH 8’e çıkarıldığında ise renk ve bulanıklık giderim kesirleri 0,87 ve 0,84 olarak bulunmuştur. pH’ın artması ve azalmasıyla verimler değişkenlik (artış) göstermiş olsa da bu oranlar az olduğu için pH doğal bırakılmıştır (Kul 2015).

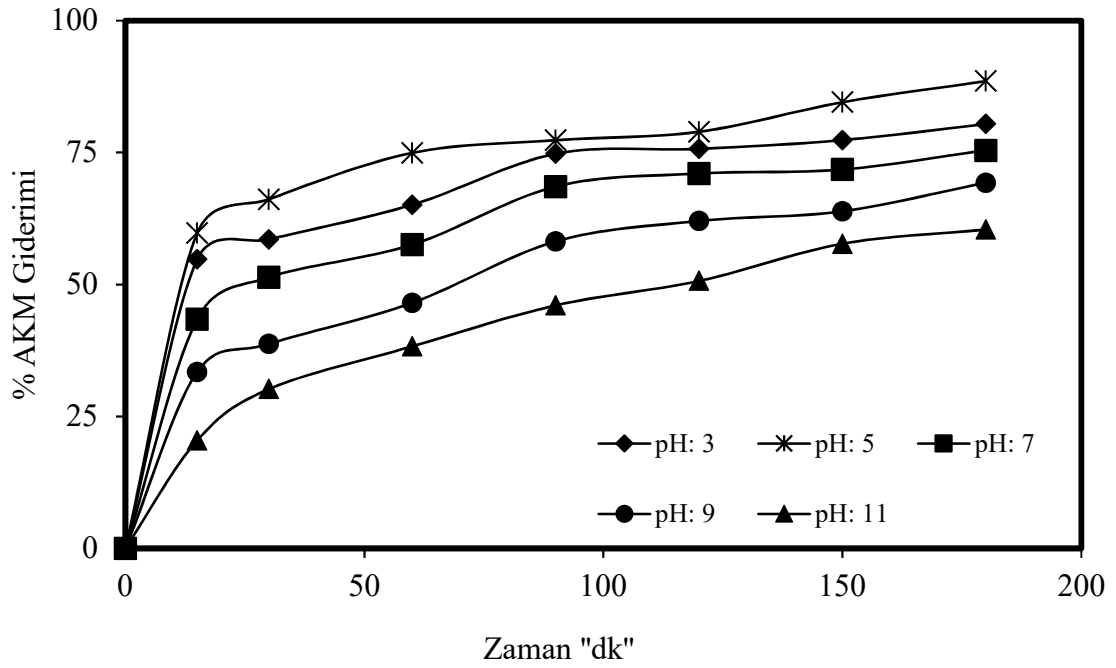


Şekil 4.32: Renk giderim verimine Atıksu pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)

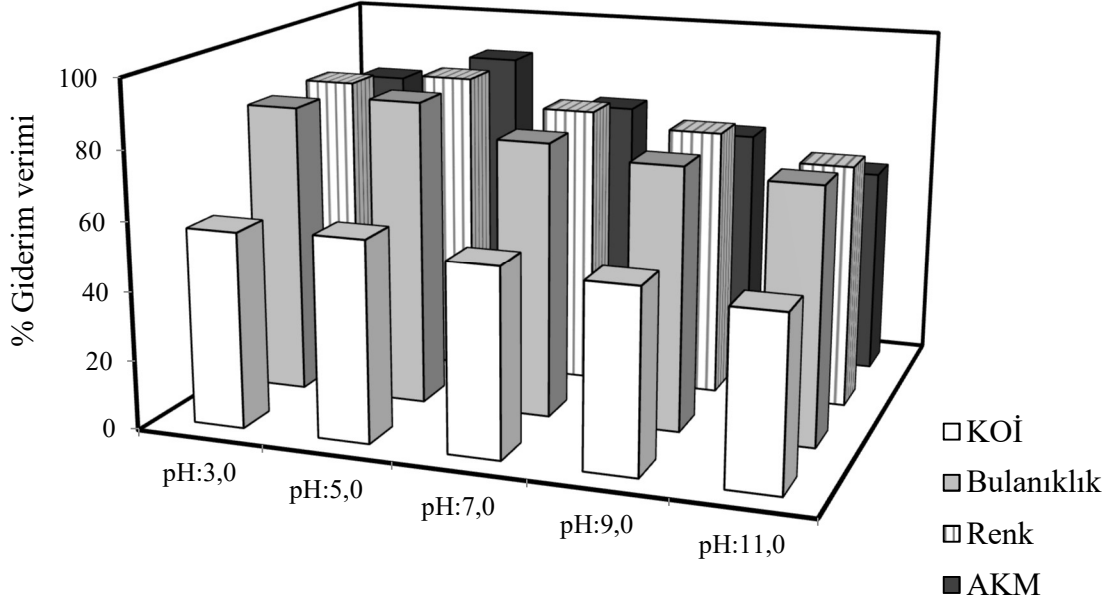
Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde bulanıklık verimleri Şekil 4.33’de gösterilmiştir. pH 3’de %84,43, pH 5’de %88,51, pH 7’de %79,61, pH 9’da %76,02 ve pH 11’de %73,83 olarak bulunmuştur. Yine AKM için giderim verimleri pH 3’de %80,40, pH 5’de %88,53, pH 7’de %75,42, pH 9’da %69,28 ve pH 11’de %60,41 dir. KOİ, renk, bulanıklık, AKM giderim verimleri ayrıca Şekil 4.35 deki toplu grafikte de gösterilmiştir.



Şekil 4.33: Bulanıklık giderim verimine atıksu pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)



Şekil 4.34: AKM giderim verimine atıksu pH değerinin üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)

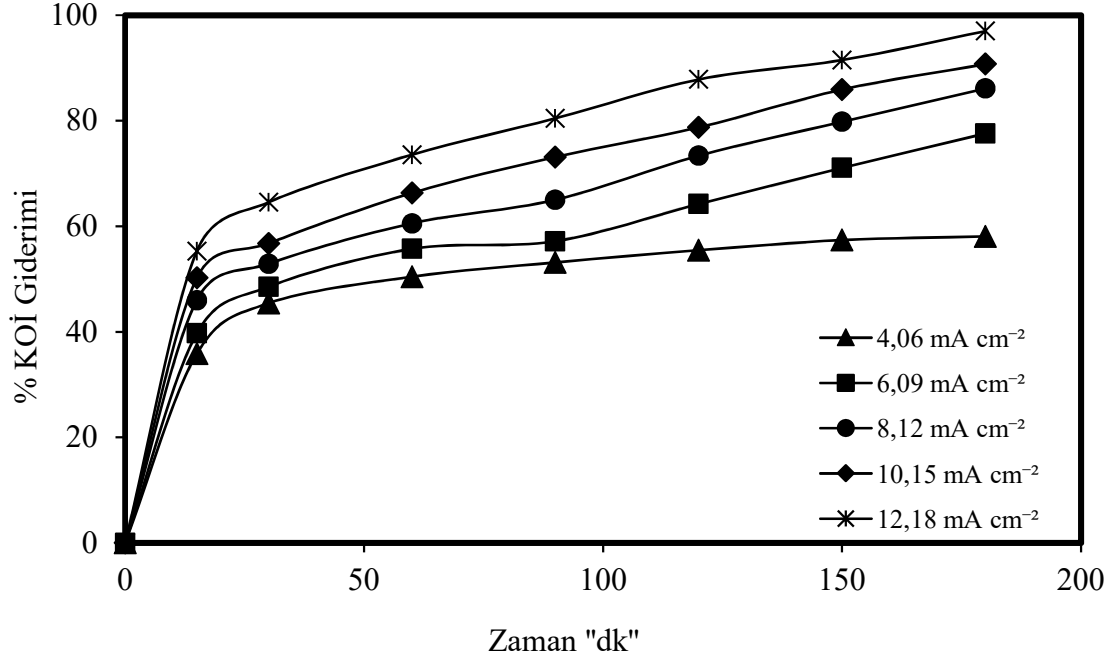


Şekil 4.35: KOİ, Renk, Bulanıklık ve AKM giderim verimlerine atıksu başlangıç pH değerinin etkisi (Anot türü: Ti/Pt, J: 4,06 mA cm⁻², DE: 0,2 M NaCl, KH: 400 rpm)

4.2.4 Giderim Verimine Uygulanan Akım Yoğunluğunun Etkisi

Ti/Pt anot ile yapılan denemeler; NaCl destek elektrolit türünün 0,2 M konsantrasyonunda atıksu başlangıç pH ($\approx 4,8$) değerinde, 400 devir/dakika karıştırma hızında, 4,06-12,18 mA cm⁻² arasındaki değerler de yapılmıştır. Yapılan çalışmalar Şekil 4.36'da gösterilmiştir.

Grafikte de görüldüğü gibi KOİ verimleri için akım yoğunluğu 4,06, 6,09, 8,12, 10,15, 12,18 mA cm⁻² olup verimler ise sırasıyla %58,08, %77,60, %86,13, %90,75, %96,99 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere akım ve verim doğru orantılı olarak artmaktadır. Fakat fazla akım yoğunluğu daha fazla enerji tüketimi olarak hesaplandığı için Ti/Pt anot denemelerin de akım 4,06 mA cm⁻² olarak belirlenmiştir. Fil, KOİ giderim verimleri için 5, 7,5, 10, 12,5 ve 15 mA cm⁻² için amper yoğunluklarını denemiş ve sırasıyla %80,11, %89,64, %96,22, %99,03 ve %99,98 verimler elde etmiştir. Elde edilen bu değerlerden yola çıkarak artan akım yoğunluğunun KOİ giderim verimini önemli miktarda arttırdığı görülmüştür (Fil 2014). Literatürde örnekler mevcuttur (Karakaş 2013, Panizza and Cerisola 2006, Sivri 2020).

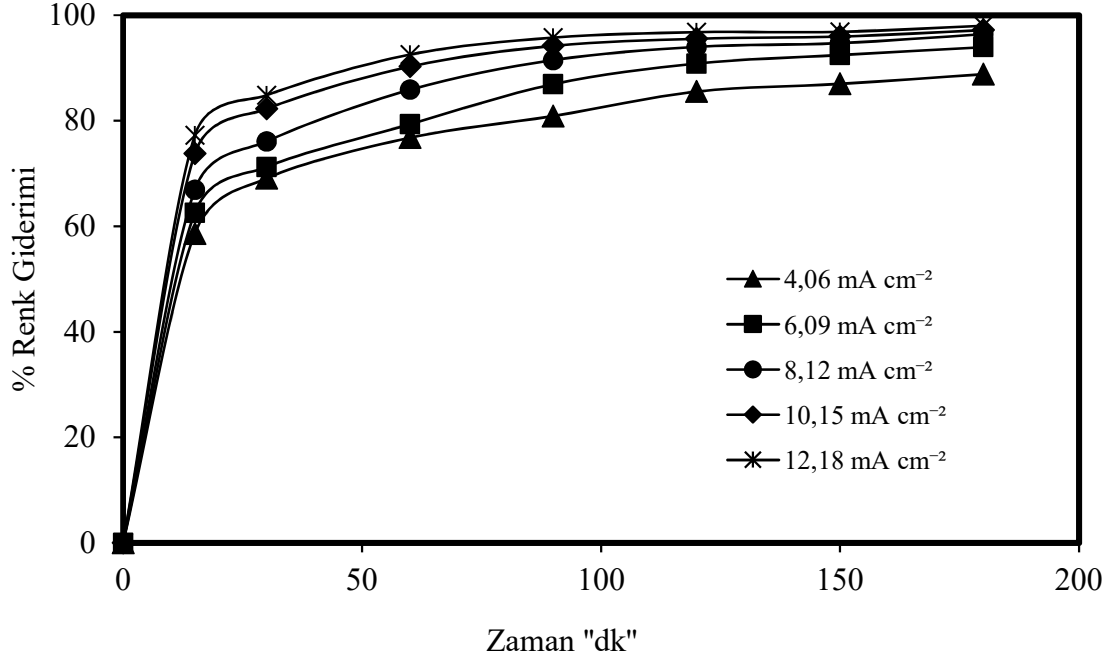


Şekil 4.36: Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)

Akım yoğunluğunun KOİ ve renk giderimine etkisinin belirlenmesi için atıksuya elektrolit eklenmeden kendi iyon içeriğinde pH değeri 9 ve elektroler arası mesafe 1 cm sabit olarak akım yoğunlukları 10, 15, 20 ve 25 volt olarak uygulanmıştır. Akım yoğunluğunun artışına bağlı olarak KOİ ve renk giderimleri artmaktadır (Alsheek Mohammed and Yılmaz 2018, Sakarya 2018).

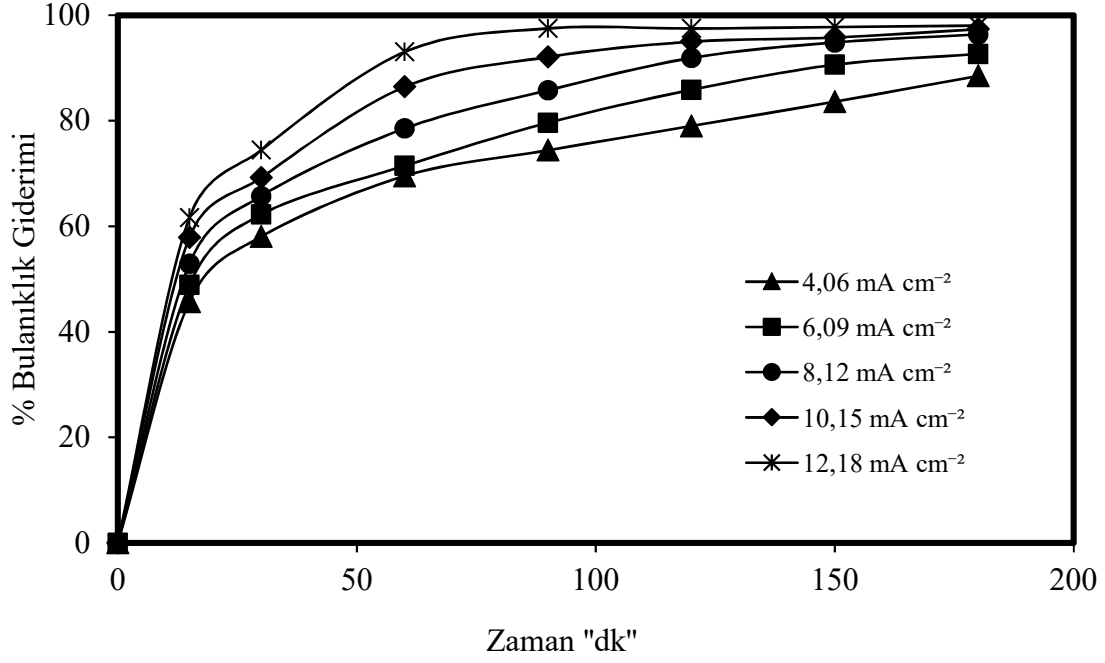
Karakaş, farklı akım yoğunluğunda çalışmalar yapmış ve çalışmalar sonucunda akım yoğunluğunu arttırmanın verimi arttırdığını gözlemlemiştir fakat bir noktadan sonra bunun bir dengeye ulaştığını gözlemlemiştir. 20-80 A m⁻² aralığında çalışıldığında %92-97 giderim verimi elde etmiş ve toplam maliyet 0.34\$/m³ olarak hesaplamıştır. Akım yoğunluğunun enerji tüketimi ve işletme maliyetine etkisinden dolayı zaman denemesinde 60 A/m² akım yoğunluğu yeterli görmüştür (Karakaş 2013).

Şekil 4.37'de de görüleceği üzere uygulanan akım yoğunluğuna bağlı olarak renk giderimi de artmaktadır. En düşük renk giderim verimi akım 4,06 mA cm⁻² de iken daha sonraki akımlarda renk giderimi düzenli şekilde artış göstermiştir. 12,18 mA cm⁻² de renk giderim verimi ise %98,03'tür. Başlangıçtaki akım ile en son akım arasındaki verim farklı %9,2 olarak bulunmuştur.

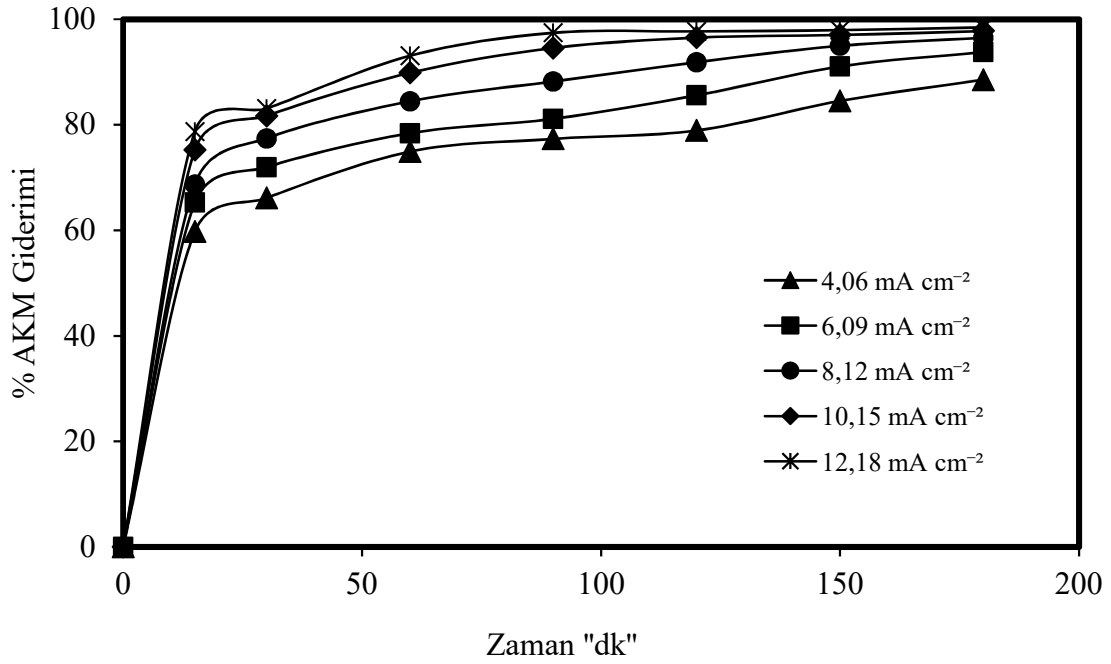


Şekil 4.37: Uygulanan akım yoğunluğunun renk giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)

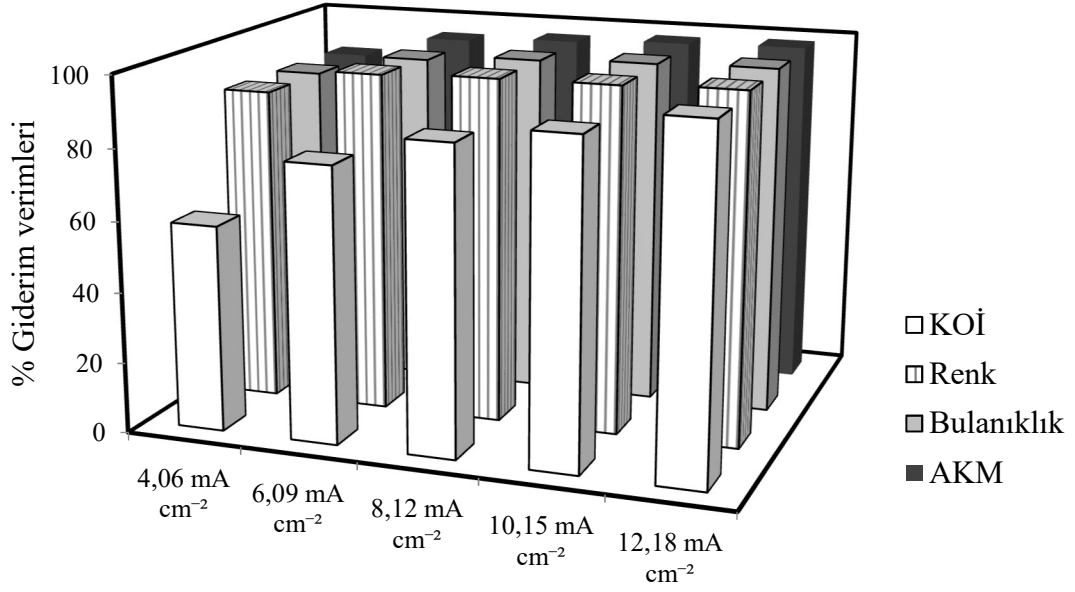
Bulanıklık (Şekil 4.38) ve AKM (Şekil 4.39) da görüleceği üzere akımın artması verimleri önemli ölçüde arttırmaktadır. 12,18 mA cm⁻² bulanıklık verimi %98,06 iken AKM için bu değer %98,46 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.38: Uygulanan akım yoğunluğunun bulanıklık giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)



Şekil 4.39: Uygulanan akım yoğunluğunun AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)

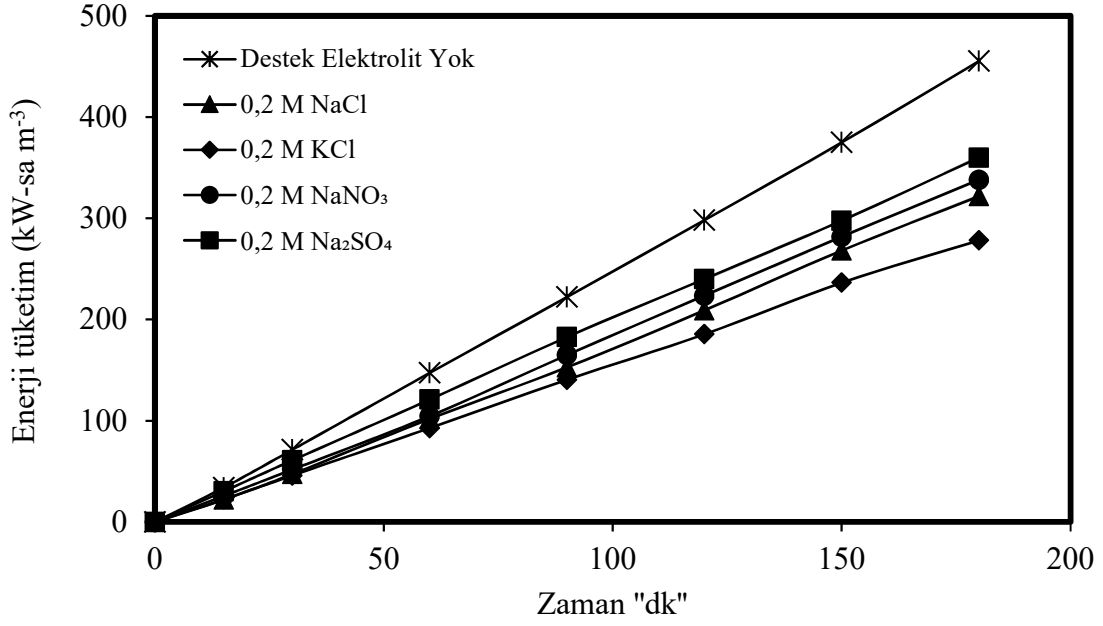


Şekil 4.40: Uygulanan akım yoğunluğunun KOİ, Renk, Bulanıklık ve AKM giderim verimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)

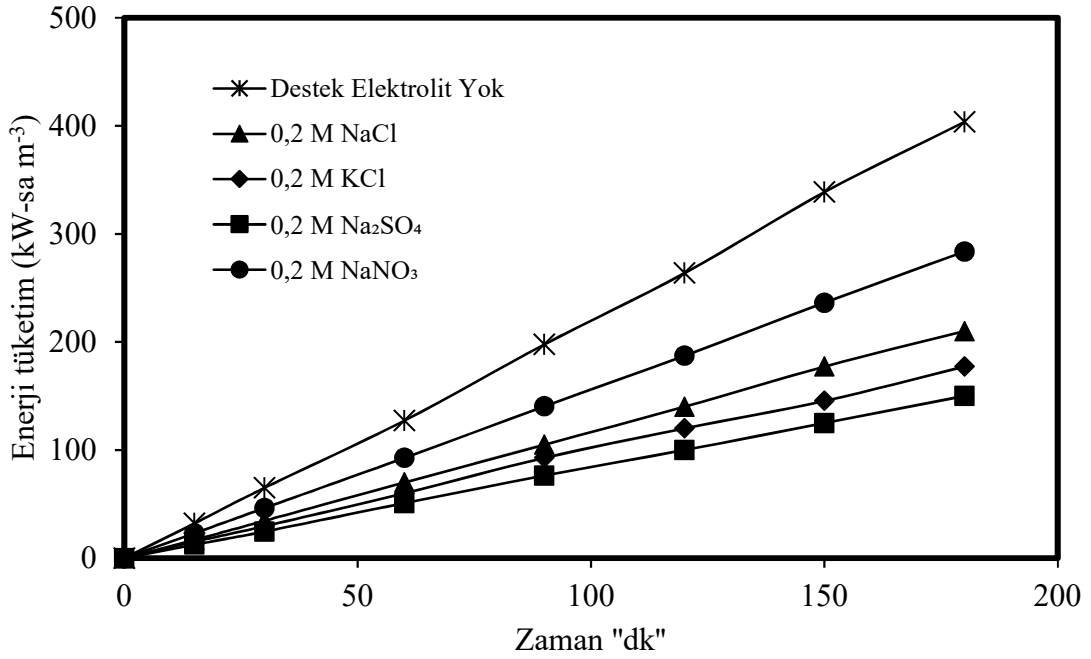
4.3 Enerji Tüketim Değerleri

4.3.1 Enerji Tüketimine Destek Elektrolit Türünün Etkisi

Destek elektrolit türünün Ti/Pt, Ti/IrO₂/RuO₂ anodun kullanıldığı denemeler Tablo 4.1' de belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir Destek elektrolit türü için enerji tüketimi grafikleri altta gösterildiği gibidir. Elektrolit türünün değişimi ile enerji tüketimi de değişmektedir. Aşağıdaki şekiller incelendiğinde destek elektrolit türünün enerji tüketimine etkisinin önemli ölçüde olduğu görülmüştür. Kullanılan tüm destek elektrolit türlerinin enerji tüketimlerinin, destek elektrolitsiz gerçekleştirilen denemelere göre daha düşüktür. Bunun sebebi, çözünürlükleri çok yüksek olan kimyasal madde kullanılması ve buna bağlı olarak çözeltilerdeki elektriksel iletkenliğin artmasıdır. Anot türü Ti/IrO₂/RuO₂ ile yapılan denemelerde enerji tüketimi Şekil 4.41' de gösterilirken, anot türü Ti-Pt ile yapılan denemelerde enerji tüketimi Şekil 4.42' de gösterilmektedir.



Şekil 4.41: Destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, pH: 4,8, 4,06 mA cm⁻², KH: 400 rpm)



Şekil 4.42: Destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, pH: 4,8, 4,06 mA cm⁻², KH: 400 rpm)

Yapılan denemelerdeki enerji tüketimleri her iki destek elektrolit türü içinde, destek elektrolitsiz olarak gerçekleştirilen denemelerin enerji tüketiminden düşük olduğu görülmektedir. Buna sebep olarak ortamdaki iyonlaşma ve buna bağlı olarak elektriksel

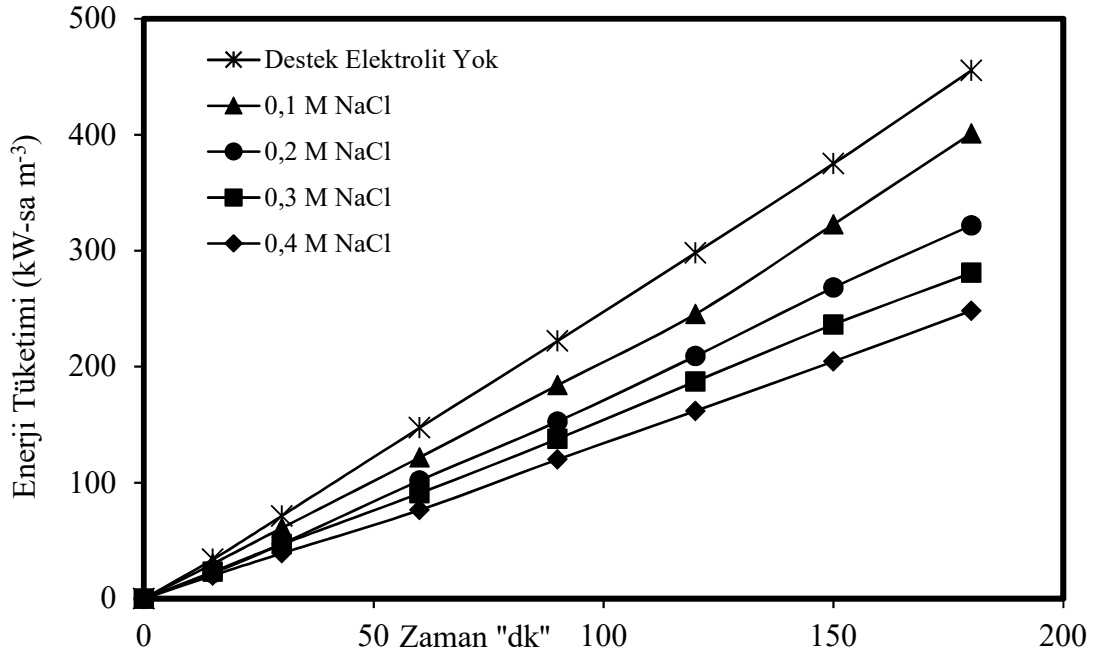
iletkenliğin artması gösterilebilir. Çözeltideki artan elektriksel iletkenlik, potansiyel farkın düşmesine neden olur buda enerji tüketiminin düşük olmasını sağlar.

Tablo 4.1: Destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi

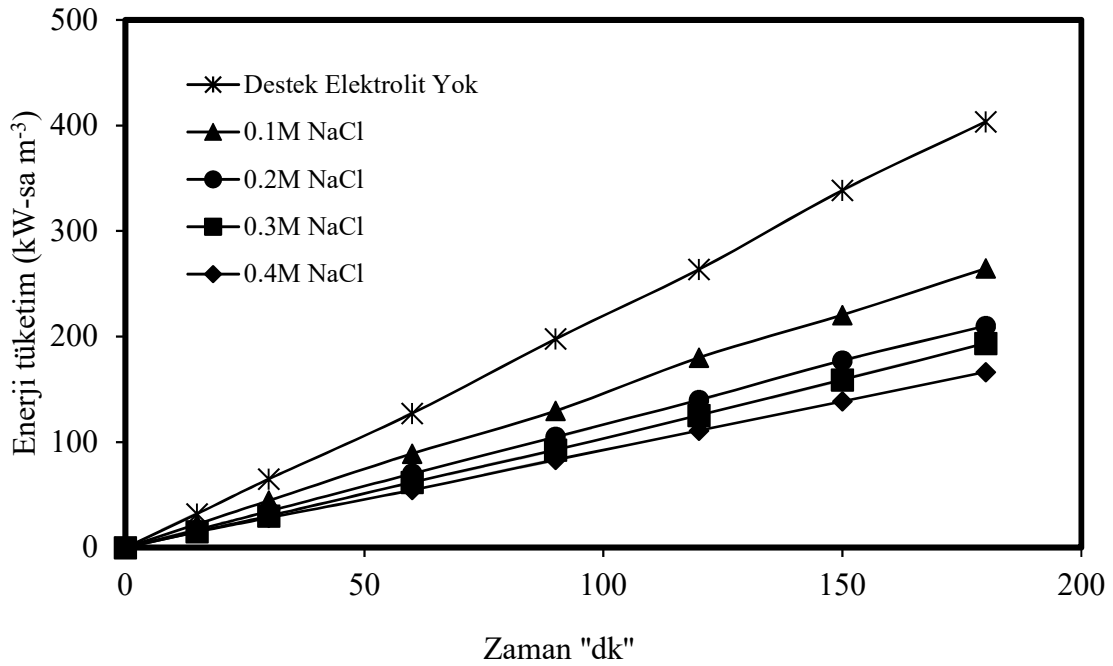
Ti/IrO₂/RuO₂		
DET (M)	ET (kW-sa m⁻³)	STD
Yok	455,5	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm, DE=0,200 M NaCl
NaNO ₃	379,1	
Na ₂ SO ₄	349,1	
KCl	261,8	
NaCl	321,8	
Ti/Pt		
DET (M)	ET (kW-sa m⁻³)	STD
Yok	403,6	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm, DE=0,200 M NaCl
NaNO ₃	283,6	
Na ₂ SO ₄	240,0	
KCl	177,3	
NaCl	210,0	

4.3.2 Enerji Tüketimine Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt elektrotlar kullanılarak yapılan çalışmalarda belirlenen destek elektrolit konsantrasyonun giderim verimine etkisinin incelendiği denemeler Tablo 4.2'deki şartlarda gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bu destek elektrolit konsantrasyonlarının zamana bağlı enerji tüketimleri Şekil 4.43-4.44'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ anot için sonuçlar incelendiğinde destek elektrolitsiz deneme sonucunda enerji tüketimi 455,5 kW-saat/m³ bulunurken, destek elektrolit konsantrasyonunun optimum olarak seçildiği 0,2 M NaCl için enerji tüketimi 321,8 kW-saat m⁻³ olarak elde edilmiştir. Yine Ti/Pt anot için destek elektrolitsiz deneme sonucunda enerji tüketimi 403,6 kW-saat m⁻³ iken destek elektrolit konsantrasyonunun optimum olarak seçildiği 0,2 M NaCl için enerji tüketimi 210,0 kW-saat m⁻³ olarak bulunmuştur. KOİ giderimi için farklı enerji tüketimi NaCl konsantrasyonları ve elektroliz süreleri denenmiştir. 5 dakikadan uzun elektroliz süreleri için NaCl konsantrasyonu ne kadar yüksekse enerji tüketimi o kadar düşük olduğu görülmüştür (Santos et al. 2010).



Şekil 4.43: Destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm⁻², KH: 400 rpm)



Şekil 4.44: Destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm⁻², KH: 400 rpm)

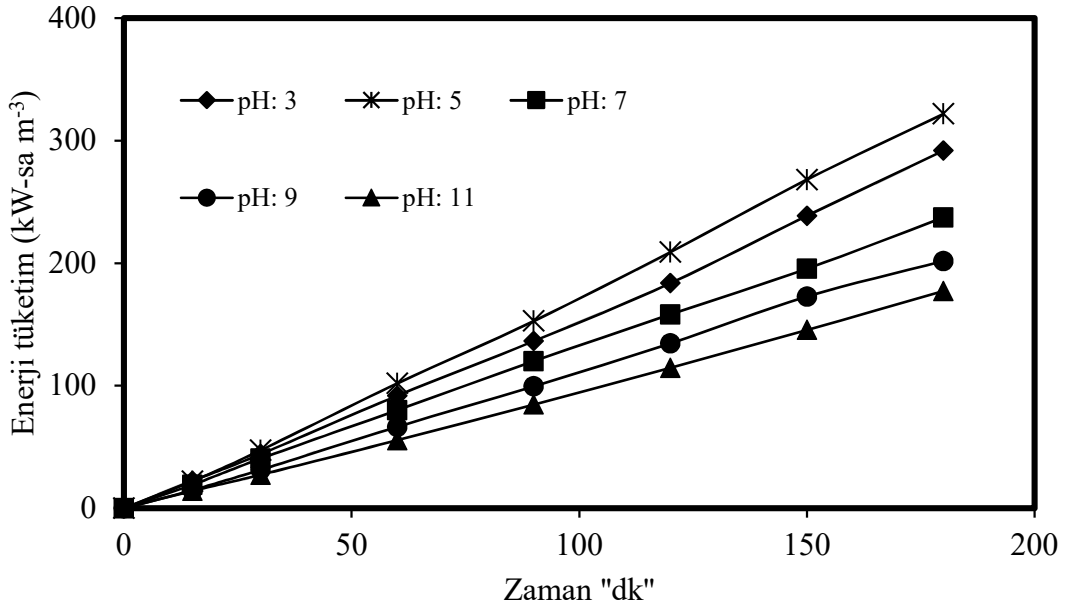
Tablo 4.2: Destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
DEK(M NaCl)	ET (kW-sa m⁻³)	STD
Yok	455,5	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm, DE=0,200 M NaCl
0,1	400,9	
0,2	321,8	
0,3	280,9	
0,4	248,2	
Ti/Pt		
DEK(M NaCl)	ET (kW-sa m⁻³)	STD
Yok	403,6	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm, DE=0,200 M NaCl
0,1	264,5	
0,2	210,0	
0,3	193,6	
0,4	166,4	

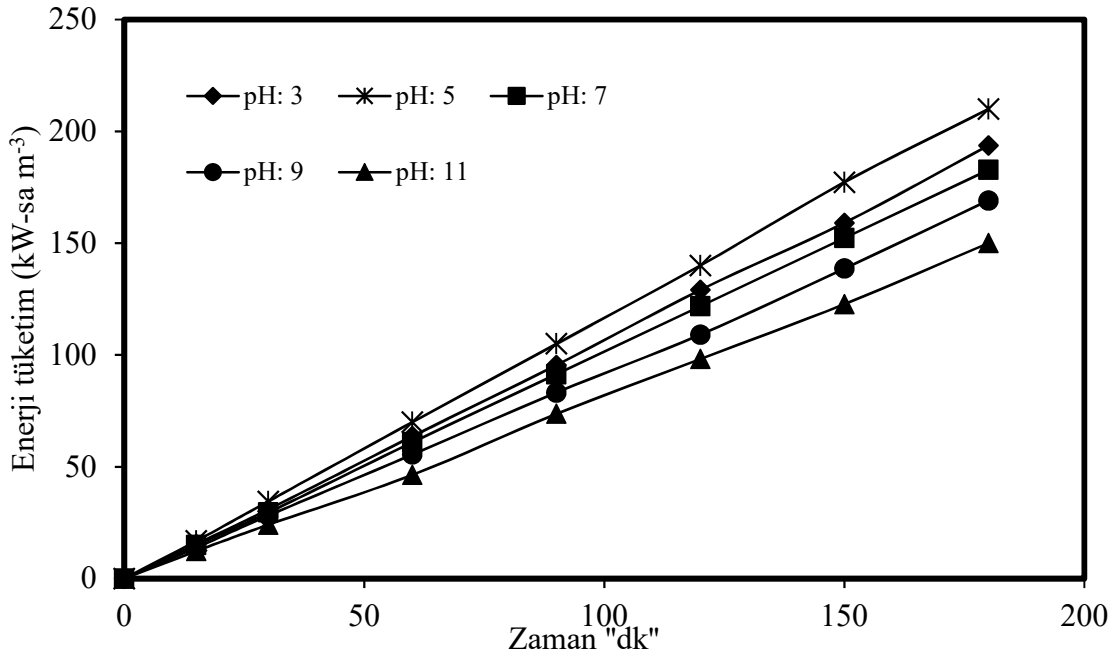
4.3.3 Enerji Tüketimine pH Değerinin Etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt elektrotlar kullanılarak yapılan çalışmalarda atıksuyun başlangıç pH değeri ile yapılan denemelerin sonuçlarıyla zamana bağlı enerji tüketim miktarları hesaplanmıştır. Şekil 4.45’de incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemelerde pH 5’den sonra enerji tüketim miktarında azalma görülmektedir. pH 5’ de 321,8 kW-saat m⁻³, pH 7’de 237,3 kW-saat m⁻³, pH 9’da 201,8 kW-saat m⁻³ yine pH 11’de 177,3 3 kW-saat m⁻³ olarak bulunmuştur. Bulunan değerler Tablo 4.3’de de gösterilmektedir. Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde en düşük enerji tüketimi pH 11’ de 150,0 kW-saat m⁻³ olarak bulunmuştur. En yüksek enerji tüketimi pH 5’de 210,0 kW-saat m⁻³ olup pH 5’ den pH 11’e kadar enerji tüketiminde azalma olduğu görülmüştür. Ti/Pt anot ile yapılan denemelere ait enerji tüketim grafiği Şekil 4.45’ de gösterilmiştir.

Her iki anotta da (Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt) doğal pH 5’de en fazla enerji tüketimi olurken en fazla arıtma verimleri yine bu pH’da olmaktadır. Sistem pH ayarlaması yapmak için suya H₂SO₄ ve NaOH ilavesi yapılmış ve bu da atıksuyun iletkenliğini artırmıştır. Sistemdeki potansiyel fark, sabit akım yoğunluğuyla artan iletkenlikle düşürülmüştür. Potansiyel farkta ki bu azalış da enerji tüketim miktarının düşmesine sebep olmuştur.



Şekil 4.45: Başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm⁻², KH: 400 rpm)



Şekil 4.46: Başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, 4,06 mA cm⁻², KH: 400 rpm)

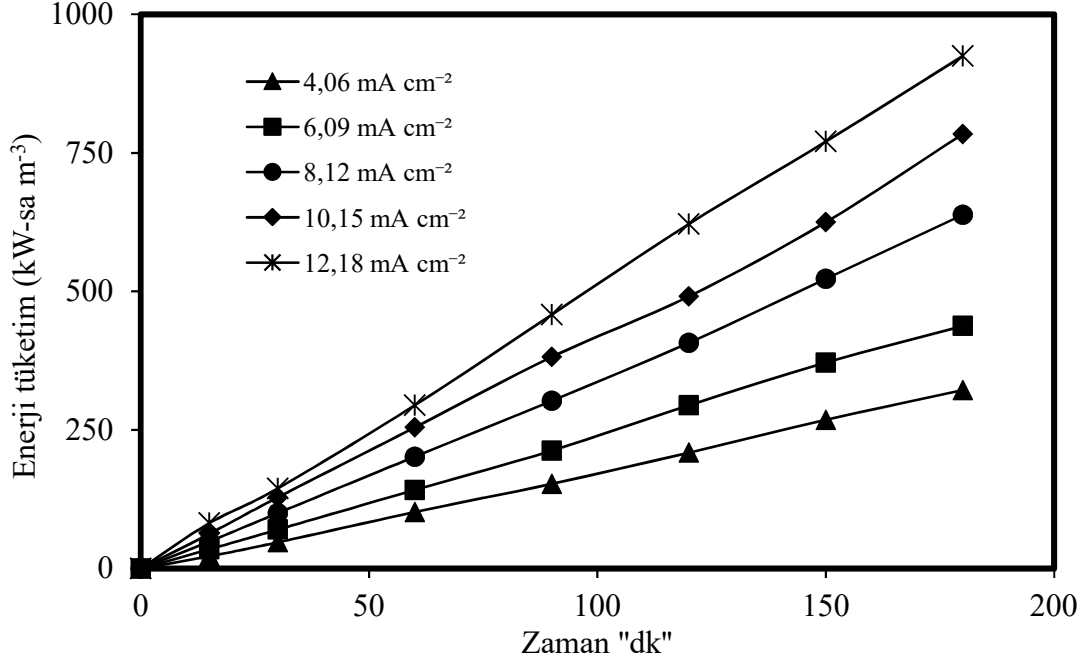
Tablo 4.3: Atıksu başlangıç pH değerinin enerji tüketimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
Atıksu başlangıç pH değeri	ET (kW-sa m⁻³)	STD
pH 3	291,8	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm, DE=0,200 M NaCl
pH 5	321,8	
pH 7	237,3	
pH 9	201,8	
pH 11	177,3	
Ti/Pt		
Atıksu başlangıç pH değeri	ET (kW-sa m⁻³)	STD
pH 3	193,6	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm, DE=0,200 M NaCl
pH 5	210,0	
pH 7	182,7	
pH 9	169,1	
pH 11	150,0	

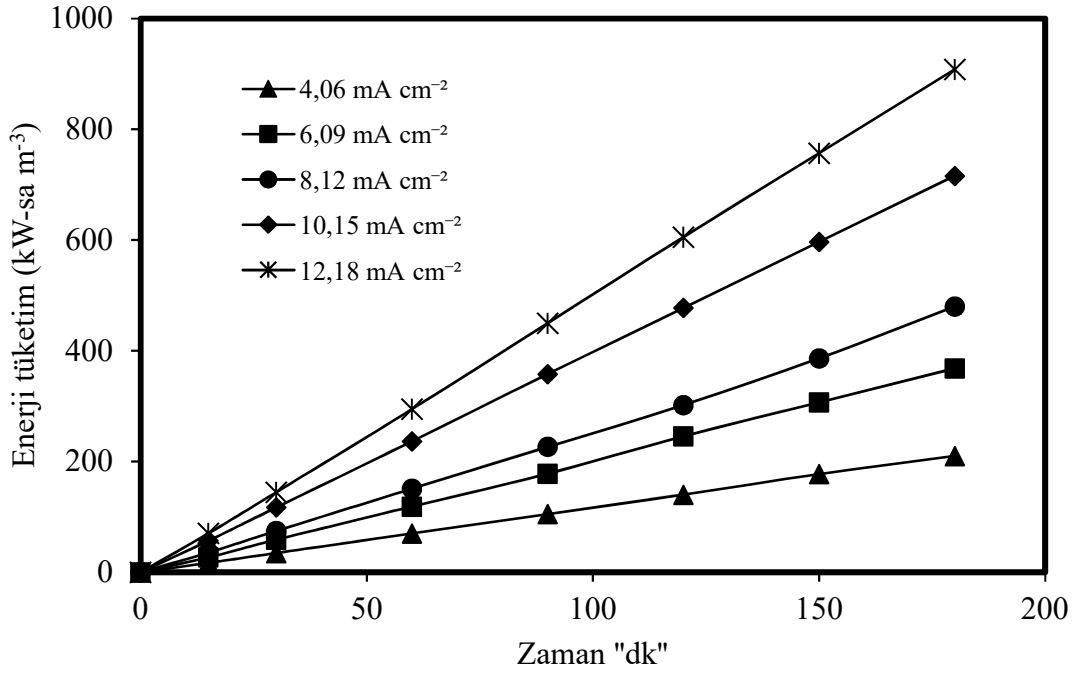
4.3.4 Enerji Tüketimine Uygulanan Akım Yoğunluğunun Etkisi

Akım yoğunluğu miktarının enerji tüketimine etkisini incelemek için Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt elektrotlar kullanılarak elektrooksidasyon prosesi ile denemeler yapılmıştır. Şekil 4.47' de Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan denemelerde enerji tüketimi incelendiğinde akım 4,06, 6,09, 8,12, 10,15 ve 12,18 mA cm⁻² olduğunda enerji tüketim miktarları sırasıyla 321,8 kW-saat m⁻³, 437,7 kW-saat m⁻³, 638,2 kW-saat m⁻³, 784,1 kW-saat m⁻³ ve 924,5 kW-saat m⁻³ olarak bulunmuştur. Şekil 4.48 ve Tablo 4.4'de görüleceği üzere Ti/Pt anot ile yapılan denemelerde enerji tüketim miktarı en az 4,06 mA cm⁻² için 210,0 kW-saat m⁻³, en fazla enerji tüketimi ise 12,18 mA cm⁻²'de 908,2 kW-saat m⁻³ bulunmuştur. Her iki anotta yapılan denemelerde artan akım miktarının enerji tüketiminin de artırdığı görülmüştür.

Akım yoğunluğunun artması beklendiği gibi enerji tüketimini artırır. Enerji tüketimi açısından yüksek bir akım yoğunluğu tavsiye edilmez, çünkü enerji tüketiminde keskin bir artış meydana gelir. Un ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da KOİ giderimleri 25–135 mA cm⁻²'de sırasıyla %63,4 ve %99,2 arasında değiştiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda enerji tüketimi zaman ve akıma göre değişiklik göstermiştir. Zaman ve akım arttırıldıkça enerji tüketimi de doğru orantılı olarak artmaktadır (Un et al. 2008).



Şekil 4.47: Uygulanan akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)



Şekil 4.48: Uygulanan akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi (Anot türü: Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm)

Tablo 4.4: Uygulanan akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
J (mA cm⁻²)	ET (kW-sa m⁻³)	STD
4,06	321,8	pHi≈4,8, T=20±1 °C, KH=400 rpm, DE=0,200 M NaCl
6,09	437,7	
8,12	638,2	
10,15	784,1	
12,18	924,5	
Ti/Pt		
J (mA cm⁻²)	ET (kW-sa m⁻³)	STD
4,06	210,0	pHi≈4,8, T=20±1 °C, KH=400 rpm, DE=0,200 M NaCl
6,09	368,2	
8,12	480,0	
10,15	715,9	
12,18	908,2	

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Marmara bölgesinden yerel bir işletmeden alınan zeytin seperatör atıksuyunun elektrooksidasyon yöntemi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Uygulanan bu yöntemle sistem parametrelerinin giderim verimleri üzerindeki etkileri belirlenmiş olup aynı zamanda sistem performansı KOİ, Renk, Bulanıklık ve AKM parametreleri ölçülerek belirlenmiştir. Destek elektrolit türünün etkisi, destek elektrolit konsantrasyonunun etkisi, pH etkisi, akım yoğunluğunun etkisi gibi parametreler her iki anot içinde (Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt) incelenmiş olup giderim verimleri ve giderim verimleri üzerindeki etkileri aşağıda belirtilmiştir.

5.1 Destek Elektrolit Türünün Her İki Anot İçin Etkisi

KOİ, Renk, Bulanıklık ve AKM giderimine destek elektrolit türünün etkisini incelemek için Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlarıyla sabit sıcaklıkta (20±1°C), atıksu doğal pH değerinde (≈4,8), NaCl, KCl, NaNO₃ ve Na₂SO₄ destek elektrolit türleri için 3 saatlik çalışmalar yapılmıştır. Her iki anot (Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt) için de yapılan denemelerde destek elektrolit türlerinin 0,2 M konsantrasyonlarında yapılan çalışmalar sonucunda giderim verimi olarak en yüksek verim klor içeren KCl ve NaCl tuzlarında elde edildiği gözlemlenmiştir. NaCl için Ti/IrO₂/RuO₂ anot ile yapılan çalışmalarda KOİ, renk, bulanıklık ve AKM için elde edilen sonuçlar sırasıyla %54,00, %85,53, %84,55 ve %85,96 bulunurken Ti/Pt anot için ise yine sırasıyla %58,08, %88,83, %88,51 ve %88,53 olarak bulunmuştur. Ortamda bulunan klorür iyonunun varlığı dolaylı elektrooksidasyonu pozitif olarak etkilediği görülmektedir. İki anot içinde (Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt) yapılan denemelerin sonuçları Tablo 5.1'de gösterilmiştir. Tablo 5.1'de görüleceği üzere ortama ilave edilen destek elektrolit türü dolaylı elektrooksidasyonu artırmaktadır.

Tablo 5.1: Destek elektrolit türünün giderim verimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂					
DET (M)	KOİ (%)	Renk (%)	Bulanıklık (%)	AKM (%)	STD
Yok	37,53	70,00	68,62	78,57	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm
NaNO ₃	39,15	79,30	78,19	83,16	
Na ₂ SO ₄	41,73	75,14	72,22	80,56	
KCl	49,36	96,28	90,10	90,12	
NaCl	54,00	85,53	84,55	85,96	
Ti/Pt					
DET (M)	KOİ(%)	Renk(%)	Bulanıklık(%)	AKM(%)	STD
Yok	34,57	56,89	57,17	46,74	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm
NaNO ₃	47,41	69,41	73,89	76,30	
Na ₂ SO ₄	39,60	64,79	71,06	67,16	
KCl	55,97	83,90	81,58	82,79	
NaCl	58,08	88,83	88,51	88,53	

5.2 Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Her İki Anot İçin Etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlarıyla atıksu doğal pH değerinde (≈4,8), sabit sıcaklıkta (20±1°C) ve 4,06 mA cm⁻² akımda destek elektrolit konsantrasyonunun etkisini incelemek için 0, 0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 M NaCl destek elektrolit konsantrasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Destek elektrolit konsantrasyonunun artmasıyla her iki anotta da (Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt) KOİ, renk, bulanıklık ve AKM parametrelerinin giderim verimlerin de artış olmuştur çünkü destek elektrolit konsantrasyonu elektrooksidasyonu pozitif yönde etkileyen önemli bir parametredir. Fakat bu artışın belli bir noktadan sonra %'de olarak az olması ve ekstra eklenen konsantrasyon miktarının gerek maliyet olarak gerekse iletkenliği arttırmasından dolayı optimum değer olan 0,2 M NaCl olarak belirlenmiştir. Giderim verimlerine ait değerler Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Destek elektrolit konsantrasyonunun giderim verimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂					
DEK (M NaCl)	KOİ (%)	Renk (%)	Bulanıklık (%)	AKM (%)	STD
Yok	37,53	70,00	68,62	78,57	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm
0,1	48,02	79,97	76,57	84,02	
0,2	54,00	85,53	84,55	85,96	
0,3	57,72	88,17	88,58	88,17	
0,4	61,36	89,36	90,74	90,02	
Ti/Pt					
DEK (M NaCl)	KOİ (%)	Renk (%)	Bulanıklık (%)	AKM (%)	STD
Yok	34,57	56,89	57,17	46,74	pHi≈4,8, J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm
0,1	47,06	75,38	71,89	66,14	
0,2	58,08	88,83	88,51	88,53	
0,3	62,06	92,54	92,80	92,65	
0,4	66,47	97,18	97,02	97,03	

5.3 Atıksu Başlangıç pH Değerinin Her İki Anot İçin Etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlarıyla atıksu doğal pH değerinde (≈4,8), sabit sıcaklıkta (20±1°C), 4,06 mA cm⁻² akımda ve 0,2 M NaCl konsantrasyonunda pH 3, 5, 7, 9 ve 11 değerleri için 3 saatlik denemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında pH'ın sistemdeki giderim verimleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Bu etki %5-10 civarında değişmektedir. Ti/IrO₂/RuO₂ anot için en fazla KOİ giderim verimi pH 5'de olurken, renk, bulanıklık ve AKM giderim verimleri için ise pH 11'de dir. Ti/Pt anot için de yapılan çalışmalar incelendiğinde en yüksek KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderim veriminin pH 5'de olduğu görülmektedir. Yapılan diğer pH denemeleriyle ilgili sonuçlar aşağıdaki Tablo 5.3'de gösterilmiştir. Denemeler sonucunda en uygun pH değeri başlangıç değeri olan pH 5 olarak seçilmiştir.

Tablo 5.3: Atıksu başlangıç pH değerinin giderim verimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂					
Atıksu başlangıç pH değeri	KOİ (%)	Renk (%)	Bulanıklık (%)	AKM (%)	STD
pH 3	52,73	89,85	86,38	87,67	J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm DE=0,200 M NaCl
pH 5	54,00	85,53	84,55	85,96	
pH 7	53,53	93,17	92,03	91,35	
pH 9	49,59	94,29	95,76	94,62	
pH 11	48,08	99,59	99,56	96,40	
Ti/Pt					
Atıksu başlangıç pH değeri	KOİ (%)	Renk (%)	Bulanıklık (%)	AKM (%)	STD
pH 3	56,70	85,22	84,43	80,40	J=4,06 mA/cm ² , T=20±1 °C, KH=400 rpm DE=0,200 M NaCl
pH 5	58,08	88,83	88,51	88,53	
pH 7	54,24	81,39	79,61	75,42	
pH 9	52,55	77,67	76,02	69,28	
pH 11	49,43	70,72	73,83	60,41	

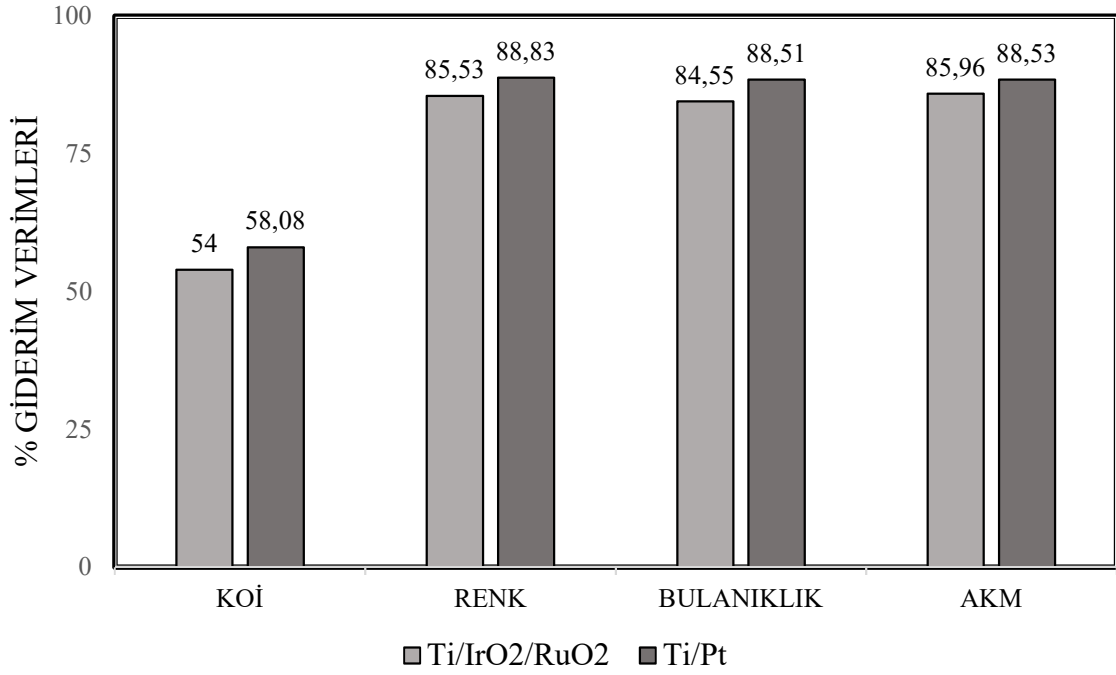
5.4 Uygulanan Akım Yoğunluğunun Her İki Anot İçin Etkisi

Destek elektrolit konsantrasyonu 0,2 M NaCl, atıksu doğal pH değerinde ($\approx 4,8$), sabit sıcaklıkta ($20 \pm 1^\circ\text{C}$), karıştırma hızı 400 devir/dakika'da sabit tutularak Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlarıyla 4,06-12,18 mA cm⁻² arasındaki değerlerde denemeler yapılmıştır. Denemeler sonucunda akımın artmasıyla KOİ, renk, bulanıklık ve AKM verimleri doğru orantılı olarak artmıştır. Her iki anot için de en yüksek giderim verimleri 12,18 mA cm⁻²'de görülmüştür. Sonuçlar tablo 5.4'de gösterilmiştir. Akım yoğunluğunda ki bu artış elektrotlar arasındaki potansiyel farkın artmasından kaynaklanmaktadır. Bu artış direkt ve dolaylı

elektrooksidasyonun hızını ve enerji sarfiyatını arttırmıştır. Aynı zamanda akımın artması giderim verimini oldukça arttırmasına rağmen enerji sarfiyatını da önemli ölçüde arttırmıştır.

Tablo 5.4: Uygulanan akım yoğunluğunun giderim verimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂					
J (mA cm⁻²)	KOİ (%)	Renk (%)	Bulanıklık (%)	AKM (%)	STD
4,06	54,00	85,53	98,03	85,96	pHi≈4,8, T=20±1 °C, KH=400 rpm DE=0,200 M NaCl
6,09	64,81	89,64	99,45	91,58	
8,12	69,24	92,89	99,61	96,53	
10,15	71,22	95,38	99,72	98,98	
12,18	73,23	99,79	99,87	99,76	
Ti/Pt					
J (mA cm⁻²)	KOİ (%)	Renk (%)	Bulanıklık (%)	AKM (%)	STD
4,06	58,08	88,83	88,51	88,53	pHi≈4,8, T=20±1 °C, KH=400 rpm DE=0,200 M NaCl
6,09	77,60	95,89	94,57	95,04	
8,12	86,13	96,85	96,38	96,49	
10,15	90,75	97,20	97,37	97,77	
12,18	96,99	98,03	98,06	98,46	



Şekil 5.1: Optimum olarak kabul edilen deney şartlarındaki giderme verimleri (Anot türü: Ti/IrO₂/RuO₂, Ti/Pt, DE: 0,2 M NaCl, pH: 4,8, KH: 400 rpm, J: 4,06 mA cm⁻²)

6. ÖNERİLER

- Destek elektrolit türü çalışmaları incelendiğinde her iki anot türü içinde en uygun destek elektrolit türünün NaCl olduğu belirlenmiştir.
- Destek elektrolit konsantrasyonu ve atıksu pH değerinin incelendiği çalışmalarda 0,2 M NaCl, pH 4,8, $J=4.06 \text{ mA cm}^{-2}$, $T=20\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, $KH=400 \text{ rpm}$ şartlarının optimum olduğu belirlenmiştir. Bu şartlarda; Ti/Pt anot türü için KOİ, renk, bulanıklık ve AKM verimleri sırasıyla %58,08, %88,83, %88,51, %88,53 olarak bulunurken, Ti/IrO₂/RuO₂ anot için %54,00, %85,53, %98,03 ve %85,96 olarak hesaplanmıştır.
- Her iki anot türü için de akım yoğunluğunun artışıyla özellikle KOİ giderim verimlerinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Ti/Pt anot türü için KOİ verimlerinde akımın 4.06 mA cm^{-2} den $12,18 \text{ mA cm}^{-2}$ ye arttırılmasıyla verim %38,91 oranında artmıştır. Benzer şekilde Ti/IrO₂/RuO₂ anot türü için de akımın 4.06 mA cm^{-2} den $12,18 \text{ mA cm}^{-2}$ ye arttırılmasıyla verim %19,23 oranında artmıştır.
- Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot için de enerji tüketim verimleri incelenmiştir. Ti/Pt anot ile yapılan çalışmalarda enerji tüketim miktarı en az $4,06 \text{ mA cm}^{-2}$ için $210,0 \text{ kW-saat/m}^3$ 'te, en fazla enerji tüketimi ise $12,18 \text{ mA cm}^{-2}$ 'de $908,2 \text{ kW-saat m}^{-3}$ bulunmuştur. Ti/IrO₂/RuO₂ anot türü için $4,06 \text{ mA cm}^{-2}$ 'de bu tüketim $321,8 \text{ kW-saat m}^{-3}$ ve $12,18 \text{ mA cm}^{-2}$ 'de ise $924,5 \text{ mA cm}^{-2}$ 'dir.
- Her iki anot türü de (Ti/Pt ve Ti/IrO₂/RuO₂) giderim verimleri açısından uygun elektrot malzemesi olarak önerilebilir.
- Yapılan çalışmalar neticesinde incelenen KOİ, renk, bulanıklık ve AKM parametrelerinden elde edilen verilere göre Zeytin Seperatör Atıksularında bulunan organik bileşiklerinin giderilmesinde kullanılan elektrooksidasyon prosesi alan ihtiyacının düşük olması ve işletmesinin kolay olması sebebiyle alternatif bir proses olarak önerilebilir.

7. KAYNAKLAR

- Akbaş, H. (2014). Elektrokoagülasyon Yöntemi İle Renk Gideriminin İncelenmesi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Alsheek Mohammed, N. and Yılmaz, T. (2018). Elektrokimyasal Oksidasyon Yöntemi İle Tekstil Endüstrisi Atıksularından Renk Ve Organik Madde Gideriminin Araştırılması. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(1).
- Altay, M. (2020). Kok anotların kullanıldığı sabit yatak elektrooksidasyon reaktörü ile tekstil atıksularının arıtımı. Yüksek Lisans, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Anonim (2019) Zeytin ve Zeytinyağı Raporu. Esnaf, S.v.K.G.M. (ed), Ticaret Bakanlığı, Türkiye.
- Baker, H. (1991). Genel kimya. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları*, 152.
- Barrios, J.A., Becerril, E., De León, C., Barrera-Díaz, C. and Jiménez, B. (2015). Electrooxidation treatment for removal of emerging pollutants in wastewater sludge. *Fuel*, 149, 26-33.
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11-41.
- Comminellis, 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.
- Çetin, B. (2006). Bakır ve nikel iyonlarının hibrit iyon değişimi-elektrodiyaliz süreci ile giderilmesi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Dara, R. (2010) Sofralara Geldi Bahar Baharatlar- Kokulu Otlar Yerel ve Evrensel Tatlar, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.
- Fil, B.A. (2014). Antep Fıstığı İşleme Atıksularının Elektrooksidasyon Yöntemiyle Arıtılması, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Fil, B.A., Boncukcuoğlu, R., Yılmaz, A. and Bayar, S. (2012). Antep Fıstığı İşleme Atıksularının Elektrooksidasyon Yöntemiyle Ön Arıtım Çalışmaları. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2, 29-36.
- Govindaraj, M., Muthukumar, M. and Bhaskar Raju, G. (2010). Electrochemical oxidation of tannic acid contaminated wastewater by RuO₂/IrO₂/TaO₂-coated titanium and graphite anodes. *Environmental Technology*, 31(14), 1613-1622.

- Grimm, J., Bessarabov, D. and Sanderson, R. (1998). Review of electro-assisted methods for water purification. *Desalination*, 115(3), 285-294.
- Hege, V.K. (2002). Bottlenecks of Sustainable Water Reuse: Advanced Treatment of Municipal Wastewater and Membrane Concentrates. pHD Thesis, Ghent University, Agricultural Applied and Biological Sciences, Belgium.
- Ighilahriz, K., Ahmed, M.T., Djelal, H. and Maachi, R. (2014). Electrocoagulation and electro-oxidation treatment for the leachate of oil-drilling mud. *Desalination and Water Treatment*, 52(31-33), 5833-5839.
- İlhan, F., Kurt, U., Apaydın, Ö., Arslankaya, E. and Gönüllü, M.T. (2007) Elektrokimyasal Arıtım Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Iniesta, J., González-García, J., Expósito, E., Montiel, V. and Aldaz, A. (2001). Influence of chloride ion on electrochemical degradation of phenol in alkaline medium using bismuth doped and pure PbO₂ anodes. *Water Research*, 35(14), 3291-3300.
- Kahraman, Ö. (2019). Kot Kumaşı Üretim Tesisi Atıksularının Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılabilirliği, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray.
- Kahraman, Ö. and Şimşek, İ. (2020). Color removal from denim production facility wastewater by electrochemical treatment process and optimization with regression method. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122168.
- Kaplan, F. (2007). Zeytin kara suyundaki toksik fenolik bileşiklerin, farklı karbon elektrotlar kullanılarak, elektrofenton yöntemi ile parçalanmaları. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Karakaş, A. (2013). Model Süt Endüstrisi Atıksuyunun Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılması, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Karuppiah, M.T. and Raju, G.B. (2009). Anodic Degradation of CI Reactive Blue 221 Using Graphite and IrO₂/TaO₂/RuO₂ Coated Titanium Electrodes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(4), 2149-2156.
- Kul, S. (2015). Zeytin karasuyunun elektrooksidasyon yöntemi ile arıtımının incelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

- Kurt, E., Koseoglu-Imer, D., Dizge, N., Chellam, S. and Koyuncu, I. (2012). Pilot-scale evaluation of nanofiltration and reverse osmosis for process reuse of segregated textile dyewash wastewater. *Desalination*, 302, 24–32.
- Liu, H., Li, X.Z., Leng, Y.J. and Wang, C. (2007). Kinetic modeling of electro-Fenton reaction in aqueous solution. *Water Research*, 41(5), 1161-1167.
- Mert, B. (2008). Kağıt vekarton fabrikası atıksuyunun elektrokimyasal olarak arıtılması, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Ankara.
- Mortimer, C.E. (1993). *Modern Üniversite Kimyası*, Çağlayan Kitapevi.
- Özdemir, K. (2005). Meyvesuyu Fabrikası Atıksularının Elektrokimyasal Olarak Arıtılması, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Özdemir, S., Özdemir, C., Yangılar, F. and Yılmaz, M. (2008) Süt Sanayinde Elektrodializ kullanımı pp. 661-664, Erzurum.
- Panizza, M. and Cerisola, G. (2006). Olive mill wastewater treatment by anodic oxidation with parallel plate electrodes. *Water Research*, 40(6), 1179-1184.
- Sahu, O., Mazumdar, B. and Chaudhari, P.K. (2014). Treatment of wastewater by electrocoagulation: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(4), 2397-2413.
- Sakar, E. and Ünver, H. (2011). Türkiye’de Zeytin Yetiştiriciliğinin Durumu Ve Ülkemizde Yapılan Bazı Seleksiyon Ve Adaptasyon Çalışmaları. *Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü*, 15(2), 19-25.
- Sakarya, M. (2018). Ham Ve Membran Biyoreaktör Çıkışı Sızıntı Suyunun Elektrokimyasal Yöntemi İle Arıtımının İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Santos, I.D., Afonso, J.C. and Dutra, A.J.B. (2010). Behavior of a Ti/RuO₂ anode in concentrated chloride medium for phenol and their chlorinated intermediates electrooxidation. *Separation and Purification Technology*, 76(2), 151-157.
- Sivri, S. (2020). Elektrokimyasal Yöntemi İle Nonilfenoletoksilat-10 (Np10e) Arıtımı Ve Yüzey Yanıt Metodu İle Optimizasyonu, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Sundarapandiyan, S., Chandrasekar, R., Ramanaiah, B., Krishnan, S. and Saravanan, P. (2010). Electrochemical oxidation and reuse of tannery saline wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1), 197-203.

- Tien, T. and Luu, T. (2019). Electrooxidation of tannery wastewater with continuous flow system: Role of electrode materials. *Environmental Engineering Research*, 25.
- Türk, H. (1999). *Elektrokimya*, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İlköğretim Öğretmenliği Lisans Tamamlama Programı Yayınları, Eskişehir.
- Un, U.T., Altay, U., Koparal, A.S. and Ogutveren, U.B. (2008). Complete treatment of olive mill wastewaters by electrooxidation. *Chemical Engineering Journal*, 139(3), 445-452.
- Ünsal, A. (2011) Ölmez Ağacın Peşinde-Türkiye’de Zeytin ve Zeytinyağı (8. Baskı), Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.
- Yazıcı, S. (2012). Elektrodializ bipolar membran proseslerin tıkanma mekanizması ve önleme çalışmalarının analizi: Sızıntı suyu örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yıldırım, Ö. (2007). Kağıt endüstrisi atıksularının elektro-fenton yöntemiyle arıtılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Zhang, H., Fei, C., Zhang, D. and Tang, F. (2007). Degradation of 4-nitrophenol in aqueous medium by electro-Fenton method. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1), 227-232.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :Eda Nur DEREL

Doğum tarihi ve yeri :1993/Balıkesir

e-posta :edanrkara@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2022
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2017
Lise	Balıkesir Cumhuriyet Anadolu Lisesi	2011