

**ZEYTİN KARASUYUNUN ELEKTROOKSİDASYON
YÖNTEMİ İLE ARITIMININ İNCELENMESİ**

Sinan KUL

Doktora Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Teknolojileri Bilim Dalı

Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU

2015

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ZEYTİN KARASUYUNUN ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİ
İLE ARITIMININ İNCELENMESİ**

Sinan KUL

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Çevre Teknolojileri Bilim Dalı**

**ERZURUM
2015**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ ONAY FORMU



ZEYTİN KARASUYUNUN ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİ İLE ARITIMININ
İNCELENMESİ

Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU danışmanlığında, Sinan KUL tarafından hazırlanan bu çalışma, 30/03/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Teknolojileri Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Bülent KESKİNLER

İmza :

Üye : Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Ensar OĞUZ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Alper Erdem YILMAZ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Murat Tolga YILMAZ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 07.05/2015 tarih ve 18. / 670 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ertan YILDIRIM
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2013/99

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Doktora Tezi

ZEYTİN KARASUYUNUN ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİ İLE ARITIMININ İNCELENMESİ

Sinan KUL

Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Teknolojileri Bilim Dalı

Danışman: Recep BONCUKCUOĞLU

İleri oksidasyon prosesleri pek çok endüstri atıksuyunun arıtımı için etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada zeytin karasuyunun elektrooksidasyon yöntemi ile arıtımı incelenmiş ve çalışmaların sonuçları verilmiştir. Bu atıksu için KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), TK (Toplam Karbon), TOK (Toplam Organik Karbon), Toplam Azot (TN), TF (Toplam Fenol), renk ve bulanıklılık giderimlerinden elde edilen veriler incelenmiştir. Anot materyali olarak ilk aşamada Ti/IrO₂/RuO₂, ikinci aşamada ise Ti/Pt elek plakalar kullanılmıştır. Her iki aşamada da katot materyali olarak titanyum elek plakalar kullanılmıştır. Kesikli reaktörde yapılan denemelerde zaman, karıştırma hızı (0-600 rpm), seyreltme oranı (1/5-5/5), pH (2-8), destek elektrolit türü (Na₂SO₄, NaNO₃, KCl ve NaCl), destek elektrolit konsantrasyonu (0.25-1.25 M), akım yoğunluğu (2.5-15 mA/cm²) ve sıcaklık (10-50°C) gibi parametrelerin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderimi üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen bu arıtım verilerine göre zeytin karasuyunun elektrooksidasyon yöntemi ile arıtılabileceği ve biyolojik arıtıma girmeden önce bir ön arıtım sistemi olarak önerilebileceği söylenebilir.

2015, 160 sayfa

Anahtar Kelimeler: Zeytin karasuyu, elektrooksidasyon, fenol, titanyum anot, kimyasal oksijen ihtiyacı

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EXAMINATION TREATMENT OF OLIVE MILL WASTEWATER BY ELECTRO-OXIDATION METHOD

Sinan KUL

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering
Department of Environmental Technology

Supervisor: Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU

Advanced oxidation processes are used effectively for many industrial wastewater treatments. In this study, olive mill wastewater of treatment was investigated by electro-oxidation method and presented the results of treatment. For this wastewater, COD (Chemical Oxygen Demand), TC (Total Carbon), TOC (Total Organic Carbon), TN (Total Nitrogen), TF (Total Phenols), color and turbidity for removal the data obtained were examined. Ti/IrO₂/RuO₂ mixed metal oxide (MMO) doped titanium and Ti/Pt doped titanium as the anode material and the titanium as the cathode material plates were used. Batch reactor experiments time, stirring speed (0-600 rpm), dilution (1/5-5/5), pH (2-8), support electrolyte parameters (Na₂SO₄, NaNO₃, KCl ve NaCl), support electrolyte parameters (0.25-0.5 M), the initial current density (2.5-15 mA/cm²), temperature (10-50°C) and COD, TC, TOC, TN, TF, color and turbidity on the effects of treatment were investigated. According to data obtained from this treatment with olive mill wastewater electro-oxidation method could be treatment and before entering the biological treatment to be offered as a pre-treatment system can be said.

2015, 160 pages

Keywords: Olive mill wastewater, electro-oxidation, phenol, titanium anode, chemical oxygen demand

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca benden sabrını, emeğini, vaktini, desteğini, bilgilerini, tecrübelerini ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmamın yönetimini üstlenen, deneysel çalışmaları beraber yürüttüğüm; değerli hocam Sayın Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez ve derslerle ilgili tüm konularda benimle bilgilerini paylaşan, yaydıkları pozitif enerji ve dostluk duygularıyla mükemmel bir çalışma ortamı sağlayan Sayın Prof. Dr. Ensar OĞUZ, Sayın Prof. Dr. Oral LAÇİN'e, Sayın Doç. Dr. Alper Erdem YILMAZ'a ve Sayın Doç. Dr. Murat Tolga YILMAZ'a teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ergün YILDIZ'a ve kıymetli arkadaşlarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Baybars Ali FİL ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Nejdet DEĞERMENCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tüm imkânlarından yararlandığım ve mezunu olmaktan her zaman gurur duyduğum Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde beraber çalışmış olduğum, her an yardıma hazır, çalışma arkadaşlarım Sayın Arş. Gör. İbrahim CENGİZ, Sayın Arş. Gör. Erdinç ALADAĞ, Sayın Arş. Gör. Onur SÖZÜDOĞRU, Sayın Arş. Gör. Atila TAŞDEMİR ve bölümümüzün değerli öğretim üyeleri ve personeline de teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın tüm evrelerinde olduğu gibi, yüksek lisans eğitimim boyunca da bana maddi manevi desteğini esirgemeyen ve desteklerine ömrüm boyunca ihtiyaç duyacağım başta annem ve babam olmak üzere aileme, doktora öğrenimim boyunca sabrını esirgemeyen eşime ve kıymetli aile fertlerine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Sinan KUL

Mayıs, 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Zeytinyağı Üretim Prosesleri.....	9
2.2. Zeytinyağı Üretim Proseslerinin Kıyaslanması.....	10
2.3. Zeytinyağı Üretimi Atıksularının Özellikleri.....	11
2.4. Zeytin Karasuyunun Arıtılmasında, Değerlendirilmesinde ve Bertaraf Edilmesinde Uygulanan Yöntemler.....	12
2.4.1. Zeytin karasuyunun fiziksel yöntemlerle giderilmesi.....	12
2.4.2. Zeytin karasuyunun kimyasal yöntemlerle giderilmesi.....	13
2.4.3. Zeytin karasuyunun biyolojik yöntemlerle giderilmesi.....	14
2.4.4. Zeytin karasuyunun gideriminde kullanılan diğer yöntemler.....	17
2.5. Elektrokimyasal Arıtım Sistemlerinin Genel Özellikleri ve Zeytin Karasuyunun Elektrokimyasal Arıtımı.....	17
2.5.1. Zeytin karasuyunun arıtımında elektrokimyasal işlemler.....	19
2.5.2. Elektrokoagülasyon.....	21
2.5.3. Elektroflotasyon.....	26
2.5.4. Elektroflokülasyon.....	27
2.5.5. Elektrofiltrasyon.....	27
2.5.6. Elektrodializ.....	28
2.5.7. Elektrofenton.....	30
2.5.8. Elektrooksidasyon.....	30
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	38
3.1. Materyal.....	38

3.1.1. Kimyasal maddeler	38
3.1.2. Zeytin karasuyu	38
3.1.3. Deney sistemi	39
3.1.4. Deney şartları ve çalışma aralıkları	40
3.2. Yöntem	42
3.2.1. KOİ konsantrasyonlarının belirlenmesi	42
3.2.2. Toplam karbon (TK) ve toplam organik karbon (TOK) analizleri	43
3.2.3. Toplam azot (TN) tayini	45
3.2.4. Toplam fenol (TF) tayini	46
3.2.5. Diğer ölçümler	48
3.3. Deneysel Verilerin Hesaplanması İçin Kullanılan Eşitlikler	49
3.3.1. Giderim (arıtma) veriminin hesaplanması	49
3.3.2. Akım yoğunluğunun hesaplanması	49
3.3.3. Enerji tüketiminin hesaplanması	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	50
4.1. Zamanın Etkisi	50
4.2. Karıştırma Hızının Etkisi	52
4.3. Seyreltme Oranının Etkisi	62
4.4. pH Değişiminin Etkisi	72
4.5. Destek Elektrolit Türünün Etkisi	81
4.6. Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Etkisi	91
4.7. Akım Yoğunluğunun Etkisi	101
4.8. Sıcaklığın Etkisi	110
4.9. Enerji Tüketim Değerleri	119
4.9.1. Zaman	119
4.9.2. Karıştırma hızı	120
4.9.3. Seyreltme oranı	122
4.9.4. pH değişimi	125
4.9.5. Destek elektrolit türü	128
4.9.6. Destek elektrolit konsantrasyonu	131
4.9.7. Akım yoğunluğu	134
4.9.8. Sıcaklık	137

5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	141
5.1. Karıştırma Hızı.....	141
5.2. Seyreltme Oranı.....	142
5.3. pH değişimi	143
5.4. Destek Elektrolit Türü.....	145
5.5. Destek Elektrolit Konsantrasyonu.....	146
5.6. Akım Yoğunluğu.....	147
5.7. Sıcaklık.....	149
5.8. Genel Değerlendirme	150
5.9. Öneriler.....	153
KAYNAKLAR	155
ÖZGEÇMİŞ	161

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Amper
C	Kulomb sabiti
C ₀	Başlangıçta atıksudaki kirletici konsantrasyonu
C _t	t anında atıksudaki kirletici konsantrasyonu
E	Elektrokimyasal hücre potansiyeli
E°	Standart elektrokimyasal hücre potansiyeli
emk	Elektromotor kuvveti
F	Faraday sabiti
I	Akım yoğunluğu
n	Reaksiyon sırasında alınan ve ya verilen elektron sayısı
R	İdeal gaz sabiti
T	Sıcaklık
v	Hacim
V	Volt
W	Güç tüketimi
X ₀	Giderim kesri

KISALTMALAR

AKM	Askıda katı madde
DEK	Destek elektrolit konsantrasyonu
DET	Destek elektolit türü
KH	Karıştırma hızı
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
SO	Seyreltme oranı
TF	Toplam fenol
TK	Toplam karbon
TN	Toplam azot
TOK	Toplam organik karbon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünya genelinde zeytin üretiminin en fazla olduğu ülkeler ve üretim miktarları	5
Şekil 2.2. 2002-2003 üretim sezonundan bu yana ülkelere göre zeytin yağı üretiminin yıllara göre değişimi	7
Şekil 2.3. Dünya zeytin yağı ithalat verilerinin karşılaştırılması.....	8
Şekil 2.4. Dünya zeytin yağı ihracat verilerinin karşılaştırılması.....	8
Şekil 2.5. Dünya genelinde zeytinyağı üretim miktarlarının sezonluk dağılımı	11
Şekil 2.6. Bir elektroliz hücresinin şematik gösterimi, akım ve elektronların yönü.....	20
Şekil 2.7. Tek ve çift kutuplu seri ve paralel bağlı elektrokoagülasyon reaktörlerinin şematik gösterimi.....	23
Şekil 2.8. Elektrooksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanma mekanizması.....	31
Şekil 3.1. Deneysel düzenek	39
Şekil 3.2. Deneysel düzenek	40
Şekil 3.3. Analizlerde kullanılan standart KOİ eğrisi	43
Şekil 3.4. Analizlerde kullanılan standart TK eğrisi.....	44
Şekil 3.5. Analizlerde kullanılan standart TOK eğrisi.....	45
Şekil 3.6. Analizlerde kullanılan standart TN eğrisi.....	46
Şekil 3.7. Analizlerde kullanılan standart TF eğrisi	48
Şekil 4.1. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ plaka kullanılarak yapılan denemelerde giderim kesirlerinin zamanla değişimi	51
Şekil 4.2. Ti/Pt plaka kullanılarak yapılan denemelerde giderim kesirlerinin zamanla değişimi	52
Şekil 4.3. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının KOİ giderim kesri üzerine etkisi	54
Şekil 4.4. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının TK giderim kesri üzerine etkisi	54
Şekil 4.5. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının TOK giderim kesri üzerine etkisi	55

Şekil 4.6. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının TN giderim kesri üzerine etkisi	55
Şekil 4.7. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının TF giderim kesri üzerine etkisi	56
Şekil 4.8. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının renk giderim kesri üzerine etkisi	56
Şekil 4.9. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının bulanıklık giderim kesri üzerine etkisi.....	57
Şekil 4.10. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının KOİ giderim kesri üzerine etkisi	58
Şekil 4.11. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının TK giderim kesri üzerine etkisi	59
Şekil 4.12. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının TOK giderim kesri üzerine etkisi	59
Şekil 4.13. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının TN giderim kesri üzerine etkisi	60
Şekil 4.14. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının TF giderim kesri üzerine etkisi	60
Şekil 4.15. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının renk giderim kesri üzerine etkisi	61
Şekil 4.16. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının bulanıklık giderim kesri üzerine etkisi.....	61
Şekil 4.17. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının KOİ giderim kesri üzerine etkisi.....	64
Şekil 4.18. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının TK giderim kesri üzerine etkisi.....	64
Şekil 4.19. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının TOK giderim kesri üzerine etkisi.....	65
Şekil 4.20. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının TN giderim kesri üzerine etkisi.....	65
Şekil 4.21. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının TF giderim kesri üzerine etkisi.....	66

Şekil 4.22. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının renk giderim kesri üzerine etkisi.....	66
Şekil 4.23. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi	67
Şekil 4.24. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının KOİ giderim kesri üzerine etkisi	68
Şekil 4.25. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının TK giderim kesri üzerine etkisi	68
Şekil 4.26. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının TOK giderim kesri üzerine etkisi	69
Şekil 4.27. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının TN giderim kesri üzerine etkisi	69
Şekil 4.28. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının TF giderim kesri üzerine etkisi	70
Şekil 4.29. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının renk giderim kesri üzerine etkisi	70
Şekil 4.30. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi.....	71
Şekil 4.31. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ kullanılan denemelerde pH'nın KOİ değişimi üzerine etkisi	73
Şekil 4.32. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ kullanılan denemelerde pH'nın TK değişimi üzerine etkisi	73
Şekil 4.33. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ kullanılan denemelerde pH'nın TOK değişimi üzerine etkisi	74
Şekil 4.34. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ kullanılan denemelerde pH'nın TN değişimi üzerine etkisi	74
Şekil 4.35. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ kullanılan denemelerde pH'nın TF değişimi üzerine etkisi	75
Şekil 4.36. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ kullanılan denemelerde pH'nın renk değişimi üzerine etkisi	75
Şekil 4.37. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ kullanılan denemelerde pH'nın bulanıklılık değişimi üzerine etkisi	76

Şekil 4.38. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın KOİ değişimi üzerine etkisi	77
Şekil 4.39. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın TK değişimi üzerine etkisi	78
Şekil 4.40. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın TOK değişimi üzerine etkisi	78
Şekil 4.41. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın TN değişimi üzerine etkisi	79
Şekil 4.42. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın TF değişimi üzerine etkisi	79
Şekil 4.43. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın renk değişimi üzerine etkisi	80
Şekil 4.44. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın bulanıklılık değişimi üzerine etkisi	80
Şekil 4.45. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit türünün KOİ giderim kesri üzerine etkisi	83
Şekil 4.46. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit türünün TK giderim kesri üzerine etkisi	83
Şekil 4.47. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit türünün TOK giderim kesri üzerine etkisi	84
Şekil 4.48. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit türünün TN giderim kesri üzerine etkisi	84
Şekil 4.49. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit türünün TF giderim kesri üzerine etkisi	85
Şekil 4.50. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit türünün renk giderim kesri üzerine etkisi	85
Şekil 4.51. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit türünün bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi	86
Şekil 4.52. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün KOİ giderim kesri üzerine etkisi	87
Şekil 4.53. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün TK giderim kesri üzerine etkisi	88
Şekil 4.54. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün TOK giderim kesri üzerine etkisi	88
Şekil 4.55. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün TN giderim kesri üzerine etkisi	89
Şekil 4.56. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün TF giderim kesri üzerine etkisi	89

Şekil 4.57. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün renk giderim kesri üzerine etkisi	90
Şekil 4.58. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi	90
Şekil 4.59. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim kesri üzerine etkisi	93
Şekil 4.60. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TK giderim kesri üzerine etkisi	93
Şekil 4.61. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TOK giderim kesri üzerine etkisi	94
Şekil 4.62. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TN giderim kesri üzerine etkisi	94
Şekil 4.63. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TF giderim kesri üzerine etkisi	95
Şekil 4.64. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim kesri üzerine etkisi	95
Şekil 4.65. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi.....	96
Şekil 4.66. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim kesri üzerine etkisi.....	97
Şekil 4.67. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TK giderim kesri üzerine etkisi.....	97
Şekil 4.68. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TOK giderim kesri üzerine etkisi.....	98
Şekil 4.69. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TN giderim kesri üzerine etkisi.....	98
Şekil 4.70. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TF giderim kesri üzerine etkisi.....	99
Şekil 4.71. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim kesri üzerine etkisi.....	99
Şekil 4.72. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi	100

Şekil 4.73. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için akım yoğunluğunun KOİ giderim kesri üzerine etkisi	102
Şekil 4.74. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için akım yoğunluğunun TK giderim kesri üzerine etkisi	102
Şekil 4.75. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için akım yoğunluğunun TOK giderim kesri üzerine etkisi	103
Şekil 4.76. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için akım yoğunluğunun TN giderim kesri üzerine etkisi	103
Şekil 4.77. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için akım yoğunluğunun TF giderim kesri üzerine etkisi	104
Şekil 4.78. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için akım yoğunluğunun renk giderim kesri üzerine etkisi	104
Şekil 4.79. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için akım yoğunluğunun bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi.....	105
Şekil 4.80. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun KOİ giderim kesri üzerine etkisi	106
Şekil 4.81. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun TK giderim kesri üzerine etkisi	106
Şekil 4.82. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun TOK giderim kesri üzerine etkisi	107
Şekil 4.83. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun TN giderim kesri üzerine etkisi	107
Şekil 4.84. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun TF giderim kesri üzerine etkisi	108
Şekil 4.85. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun renk giderim kesri üzerine etkisi	108
Şekil 4.86. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi	109
Şekil 4.87. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için sıcaklığın KOİ giderim kesri üzerine etkisi	111
Şekil 4.88. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için sıcaklığın TK giderim kesri üzerine etkisi	111
Şekil 4.89. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için sıcaklığın TOK giderim kesri üzerine etkisi	112
Şekil 4.90. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için sıcaklığın TN giderim kesri üzerine etkisi	112

Şekil 4.91. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için sıcaklığın TF giderim kesri üzerine etkisi.....	113
Şekil 4.92. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için sıcaklığın renk giderim kesri üzerine etkisi	113
Şekil 4.93. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anotlar için sıcaklığın bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi	114
Şekil 4.94. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın KOİ giderim kesri üzerine etkisi.....	115
Şekil 4.95. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın TK giderim kesri üzerine etkisi.....	115
Şekil 4.96. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın TOK giderim kesri üzerine etkisi.....	116
Şekil 4.97. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın TN giderim kesri üzerine etkisi.....	116
Şekil 4.98. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın TF giderim kesri üzerine etkisi	117
Şekil 4.99. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın renk giderim kesri üzerine etkisi.....	117
Şekil 4.100. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi.....	118
Şekil 4.101. Enerji tüketimi üzerine zamanın etkisi	119
Şekil 4.102. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine karıştırma hızının etkisi	121
Şekil 4.103. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine karıştırma hızının etkisi.....	121
Şekil 4.104. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine seyreltme oranının etkisi	124
Şekil 4.105. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine seyreltme oranının etkisi	124
Şekil 4.106. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot kullanılan çalışmalarda pH değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi.....	127
Şekil 4.107. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda pH değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi	127
Şekil 4.108. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türünün enerji sarfıyatı üzerine etkisi.....	130
Şekil 4.109. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi.....	130
Şekil 4.110. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi	133
Şekil 4.111. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi	133

Şekil 4.112. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi.....	136
Şekil 4.113. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi.....	136
Şekil 4.114. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot kullanılan çalışmalarda sıcaklık değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi.....	139
Şekil 4.115. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda sıcaklık değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi.....	139
Şekil 5.1. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda karıştırma hızının optimum şartlarında giderim kesirleri	142
Şekil 5.2. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda seyreltme oranının optimum şartlarında giderim kesirleri	143
Şekil 5.3. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda pH değerinin optimum şartlarında giderim kesirleri	144
Şekil 5.4. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türü çalışmalarının optimum şartlarında giderim kesirleri	145
Şekil 5.5. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda farklı destek elektrolit konsantrasyon çalışmalarının optimum şartlarında giderim kesirleri	147
Şekil 5.6. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğu çalışmalarının optimum şartlarında giderim kesirleri.....	148
Şekil 5.7. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğu çalışmalarının optimum şartlarında giderim kesirleri.....	149
Şekil 5.8. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot kullanılan çalışmaların optimum şartlarında giderim kesirleri	151
Şekil 5.9. Ti/Pt anot kullanılan çalışmaların optimum şartlarında giderim kesirleri	151
Şekil 5.10. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ anot ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmaların optimum şartlarında enerji sarfiyatları.....	153

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye’de bölgelere göre zeytin ağacı sayısı	5
Çizelge 2.2. Türkiye’deki zeytin ağaçlarının sayısı ve üretim miktarları,	6
Çizelge 2.3. Elektrokoagülasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar	22
Çizelge 2.4. Elektrokoagülasyon prosesinin avantaj ve dezavantajları	24
Çizelge 2.5. Elektroflotasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar.....	26
Çizelge 2.6. Elektrodializ prosesinin avantaj ve dezavantajları	29
Çizelge 2.7. Elektrofenton prosesinin avantaj ve dezavantajları	30
Çizelge 2.8. Elektrooksidasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar.....	32
Çizelge 2.9. Bazı anot materyallerinin oksijen dönüşüm potansiyel değerleri.....	34
Çizelge 2.10. Bazı kimyasal oksidant türlerine ait oluşma potansiyel değerleri	35
Çizelge 2.11. Elektrooksidasyon prosesinin avantaj ve dezavantajları	36
Çizelge 3.1. Zeytin karasuyunun özellikleri	38
Çizelge 3.2. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ elektrot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde, prosesi etki eden parametrelerin çalışma aralıkları ve sabit tutulan değişkenler	41
Çizelge 3.3. Ti/Pt elektrot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde, prosesine etki eden parametrelerin çalışma aralıkları ve sabit tutulan değişkenler	41
Çizelge 3.4. KOİ analizleri için kullanılan çözeltilerin hazırlanması	42
Çizelge 3.5. Stok organik karbon çözeltisi ve fosforik asit çözeltisinin hazırlanması	43
Çizelge 3.6. TN analizleri için kullanılan çözeltilerin hazırlanması.....	45
Çizelge 3.7. TF analizleri için kullanılan çözeltilerin hazırlanması	47
Çizelge 4.1. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak yapılan denemelerde sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler.....	50
Çizelge 4.2. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak karıştırma hızının etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler	53

Çizelge 4.3. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak seyreltme oranının etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler.....	63
Çizelge 4.4. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak pH değişiminin etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler	72
Çizelge 4.5. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak destek elektrolit türünün değişimin etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler	82
Çizelge 4.6. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak destek elektrolit konsantrasyonlarındaki değişimin etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler.....	92
Çizelge 4.7. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak akım yoğunluğunun etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler.....	101
Çizelge 4.8. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak sıcaklığın etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler	110
Çizelge 4.9. Enerji tüketimi üzerine zamanın etkisi	119
Çizelge 4.10. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine karıştırma hızının etkisi	120
Çizelge 4.11. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine seyreltme oranının etkisi.....	123
Çizelge 4.12. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda pH değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi	126
Çizelge 4.13. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi.....	129
Çizelge 4.14. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi	132
Çizelge 4.15. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi	135

Çizelge 4.16. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda sıcaklık değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi	138
Çizelge 5.1. Ti/IrO ₂ /RuO ₂ ve Ti/Pt anotlar için optimum deney şartları.....	150

1. GİRİŞ

Endüstriyel gelişmenin hızlı bir şekilde arttığı günümüzde, kentlerin hızla büyümesiyle birlikte nüfus yoğunluğunun da hızla artması çevre kirliliği sorunlarını da süratle arttırmakta ve dönüşümü mümkün olmayan çevresel sorunlara yol açmaktadır. Kalkınmanın ana sektörlerinden endüstri ve çevre arasında çok yönlü bir etkileşim olup bu etkileşimin yarattığı olumlu sonuçların yanı sıra, olumsuz durumlarda ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak doğal kaynaklar tahrip olmakta ve çevre hızla kirlenmektedir. Endüstrinin gelişmesi ile birlikte birçok teknoloji alanında ham madde ve ara ürün olarak kimyasal ve toksik maddelerin kullanılması sonucunda da çevreye kontrolsüzce deşarj edilen atık sular içinde yaşadığımız çevreye ve özellikle su kaynaklarına ciddi bir şekilde zarar vermektedir.

Günümüzde karşılaşılan çevre sorunlarının en önemlilerinden birisi olan su kirliliğinin ana kaynakları olarak evsel ve endüstriyel atıksular gösterilebilmektedir. Bu atıksular alıcı su ortamında; estetik kirlenme ve taban birikmelerine sebep olmalarının yanı sıra biyolojik olarak parçalanarak oksijen sarfına neden olduklarından dolayı alıcı su ortamı ve çevresinden yararlanmakta olan canlı hayatı için olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadırlar.

Mevcut kirliliğin etkilerinin uzunca bir süre devam edeceği düşünüldüğünde modern yaşamın bütün olanaklarından vazgeçilmesi halinde bile çevre kirlenmesinin tamamen ortadan kaldırılması, günümüz şartlarında imkânsız gibi görülmektedir.

Önlem alınmadığı takdirde çevreye zarar veren endüstriyel kuruluşlarından birisi olan zeytinyağı endüstrisinden kaynaklanan sıvı (karasu) ve katı (pirina) atıklar, bileşimleri ve etrafa yaydıkları kötü koku sebebiyle İtalya, İspanya, Yunanistan, Tunus ve Türkiye gibi zeytin üretiminin yoğun olarak gerçekleştiği Akdeniz ülkelerinde yüzyıllardan beri önemli bir kirlilik kaynağıdır.

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, zeytinyağı üretim miktarları da son 30 yıl boyunca önemli ölçüde artış göstermektedir. Üretim yapılan işletmelerin küçük ölçekli ve dağınık yapıları nedeniyle atık sular direkt olarak toprağa veya yer altı suyuna deşarj edilmekte, zeytinyağı üretiminden kaynaklanan çevresel etkileri ön plana çıkarmakta ve bilinçsiz bir şekilde deşarj edilmesiyle birlikte çevreye ve içinde bulunduğu ekosisteme büyük ölçüde zarar vermektedir. Bütün bu sebeplerden dolayı karasu ve pirina olarak adlandırılan bu atıkların çevreyi kirletmeden arıtımı ve bertarafı zeytinyağı üreticisi diğer ülkeler gibi Türkiye açısından da büyük bir önem arz etmektedir.

Zeytinyağı endüstrisinden kaynaklanan ve karasu olarak nitelendirilen atıksu, gerek yüksek miktardaki organik madde, askıda katı madde, yağ ve gres gerekse düşük moleküler ağırlıklı fenolik maddeler nedeniyle arıtılabilirliği geleneksel metotlarla oldukça zor ve aynı oranda arıtım maliyeti yüksek olan atıksulardandır.

Dünyada birçok ülke de olduğu gibi Türkiye’de de hem Çevre ve Şehircilik Bakanlığı hem de zeytin üreticileri zeytin karasuyunun arıtımına yönelik araştırmaları sürdürmektedirler. Düşük maliyet gerektiren arıtım yöntemleri belirlenen arıtım standartlarını tam olarak karşılamazken, karasuyun belirlenen standartlarda arıtılması için bulunan yöntemler de çok yüksek maliyetlerinden dolayı tercih edilmemektedirler.

İleri oksidasyon prosesleri pek çok endüstriyel atıksuyun arıtımı için etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada Balıkesir ilinde bulunan yerel bir zeytinyağı fabrikasından temin edilen zeytin karasuyun özellikleri belirlenerek elektrooksidasyon yöntemi ile arıtımı incelenmiş ve çalışmaların sonuçları verilmiştir. Bu atıksu için KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), TK (Toplam Karbon), TOK (Toplam Organik Karbon), TN (Toplam Azot), TF (Toplam Fenol), renk ve bulanıklılık giderim kesirlerinden elde edilen veriler incelenmiştir. Anot materyali olarak ilk aşamada Ti/IrO₂/RuO₂, ikinci aşamada ise Ti/Pt elek plakalar kullanılmıştır. Her iki aşamada da katot materyali olarak titanyum elek plakalar kullanılmıştır. Kesikli bir reaktörde yapılan denemelerde zaman, karıştırma hızı (0-600 rpm), seyreltme oranı (1/5-5/5), pH (2-8), destek elektrolit türü (Na₂SO₄, NaNO₃, KCl ve NaCl), destek elektrolit konsantrasyonu (0,25-1,25 M), akım

yoğunluğu (2,5-15 mA/cm²) ve sıcaklık (10-50°C) gibi parametrelerin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri üzerine etkileri incelenmiştir.

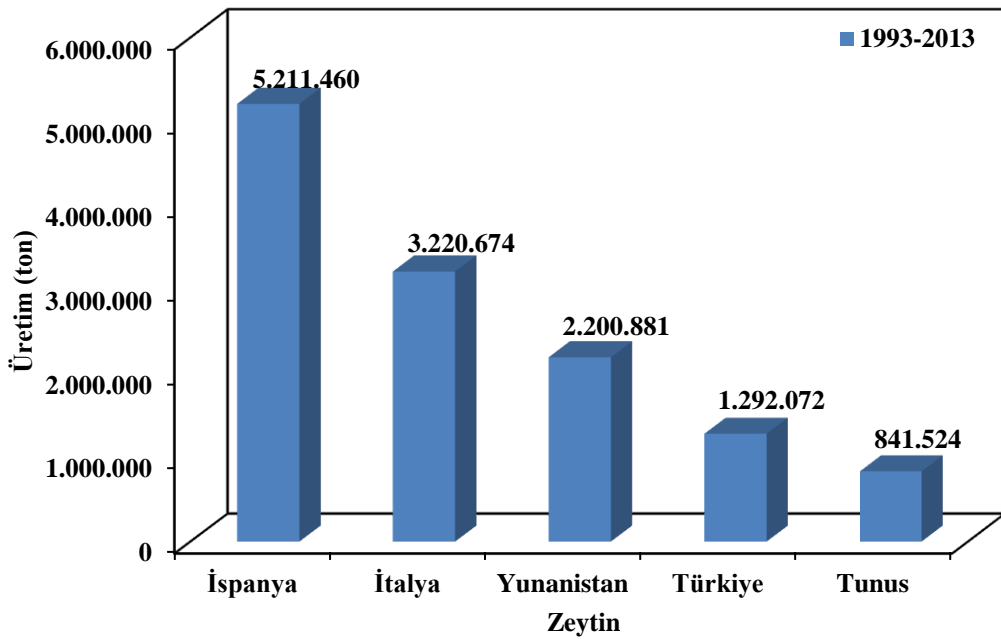
2. KURAMSAL TEMELLER

Binlerce yıldır Akdeniz ve Ege havzalarında üretimi yapılan zeytin ağacı dünyada yetiştirilen en eski ağaçlardan biridir (Sesli and Yegenoglu 2009). Birçok türü olmasına karşın en yaygın olanı *Oleaceae* ailesinden *Olea europaea* L.'dir. Dünyada 1 000'e yakın türü olup, 850 milyon civarında zeytin ağacı bulunmaktadır (Luchetti 2002). Bu ağacın ana vatanı hakkında farklı bilgiler bulunmaktadır. Bir teoriye göre 6 000 yıl öncesinde Suriye ve Filistin'in Akdeniz kıyılarında yetiştirilmeye başlanmış, Kıbrıs üzerinden Anadolu'ya ve Girit üzerinden Mısır'a kadar ulaşmıştır. M.Ö 16. yüzyılda Fenikeliler tarafından Yunanistan adalarına getirilmiş, daha sonra M.Ö 12-M.Ö 14. yüzyıllar arasında Yunanistan anakarasında tanıtılmıştır. M.Ö 6. yüzyıla gelindiğinde Tunus'tan Tripoli'ye, Güney İtalya'dan Sicilya'ya kadar Akdeniz bölgesi boyunca zeytin üretimi yapıldığı bilinmektedir (Luchetti 2002). Bir diğer teoriye göre ise 5000 yıl önce İran ve Mezopotamya'da yetiştirilmiş, buradan Suriye ve Filistin'e yayılmıştır. Buradan da gerek kara, gerek deniz yoluyla kuzey Afrika'ya taşınmıştır (Fiorino and Nizzi Griffi 1992). Bir başka teoriye göre zeytinin ana vatanı Afrika'dır ve eski Mısırlılar zeytin yetiştiriciliği yapmışlardır (Fiorino and Griffi 1992).

Zeytin ağacının en iyi yetişme alanı, kuzey ve güney yarımkürelerin 30° ve 45° paralelleri arasındadır. Bu bölgeler genelde Akdeniz ikliminin hâkim olduğu alanlardır. Zeytin ağacı düşük yağış miktarlarına dayanıklıdır (220 mm/yıl). Silisli ve kireçli topraklarda da yetişebilmektedir (Luchetti 2002).

Oval şeklinde olan zeytin meyvesi perikarp (etli kısım) ve endokarptan (çekirdek) oluşmuştur. Perikarp ise epikarp (kabuk) ve mezokarptan (etli kısım) meydana gelmiştir. Meyve eti meyvenin yaklaşık %68-83'ünü, çekirdek ise %13-30'unu teşkil etmektedir. Meyvedeki su oranı %70'lere kadar çıkabilse de genellikle %50 civarındadır. Bunun yanında meyvede %1,6 protein, %20 yağ, %19 karbonhidrat, %5,8 selüloz, %1,5 mineraller bulunmaktadır (Boskou 2006).

Akdeniz ve çevresi pek çok zeytin ağacı çeşidinin yetişmesi için uygun bir bölgedir. Bu bölge dünya zeytin üretiminin %99'unu karşılamaktadır. Dünya zeytin tüketiminin %87'si ise burada gerçekleşmektedir (Loumou and Giourga 2003). Başlıca üretici ülkeler sırasıyla; İspanya, İtalya, Yunanistan, Tunus ve Türkiye olup, bu beş ülkenin üretim miktarları Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Anonymous 2015).



Şekil 2.1. Dünya genelinde zeytin üretiminin en fazla olduğu ülkeler ve üretim miktarları

Ekonomik olarak önemli bir ürün olan zeytinin, dünyanın önemli üreticilerinden olan Türkiye'de, küçük parsellerde ve küçük aile işletmeleri şeklinde ve iç kesimleri hariç neredeyse bütününde üretimi yapılmakta, toplam tarım alanlarının %2,2'si, bağ bahçe alanlarının %22 zeytinliklerden oluşmaktadır. Bölgelere göre zeytin ağacı sayısı ise Çizelge 2.1'de verilmektedir (Efe vd 2013).

Çizelge 2.1. Türkiye'de bölgelere göre zeytin ağacı sayısı (*10⁶)

Bölgeler	Ege	Akdeniz	Marmara	Güneydoğu	Karadeniz	Toplam
Ağaç Sayısı	98,5	29,9	19,4	10,6	0,4	158,8

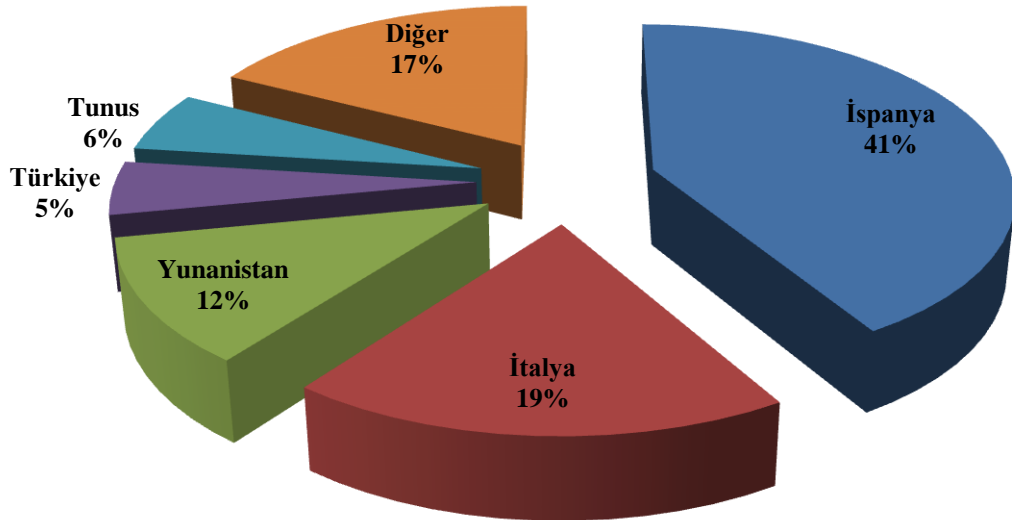
Bunun yanı sıra 1988-2014 yılları arasındaki Türkiye'deki zeytin ağaçlarının sayısı ve zeytin üretim miktarlarının verildiği Çizelge 2.2 incelendiğinde istisnalar söz konusu olsa da zeytin ağaçlarının sayısı ve üretim miktarlarının hızlı bir şekilde arttığı anlaşılmaktadır (Anonim 2014).

Çizelge 2.2. Türkiye'deki zeytin ağaçlarının sayısı ve üretim miktarları, 1988-2014

YIL	Ağaç sayısı (*1 000)			Üretim (Ton)
	Toplam	Meyve Veren	Meyve vermeyen	Toplam
1988	85 646	79 319	6 327	1 100 000
1989	85 710	79 460	6 250	500 000
1990	86 560	80 600	5 960	1 100 000
1991	87 705	81 520	6 185	640 000
1992	87 088	81 260	5 828	750 000
1993	87 163	81 703	5 460	550 000
1994	88 147	82 192	5 955	1 400 000
1995	87 581	81 437	6 144	515 000
1996	89 740	83 200	6 540	1 800 000
1997	95 730	85 780	9 950	510 000
1998	93 450	85 850	7 600	1 650 000
1999	95 500	87 130	8 370	600 000
2000	97 770	89 200	8 570	1 800 000
2001	99 000	90 000	9 000	600 000
2002	101 600	91 700	9 900	1 800 000
2003	102 750	92 250	10 500	850 000
2004	107 100	94 950	12 150	1 600 000
2005	113 180	96 625	16 555	1 200 000
2006	129 265	97 773	31 492	1 766 749
2007	144 329	104 219	40 110	1 075 854
2008	151 630	106 139	45 491	1 464 248
2009	153 723	109 127	44 596	1 290 654
2010	157 156	111 398	45 758	1 415 000
2011	155 427	117 941	37 486	1 750 000
2012	157 904	120 820	37 084	1 820 000
2013	167 030	129 161	37 869	1 676 000
2014	168 997	140 712	28 285	1 768 000

Zeytinyağı, Akdeniz bölgesinde yaygın olarak yetişen zeytin ağacının (*Olea europaea* L.) olgun meyvelerinden mekanik yolla elde edilen, oda sıcaklığında sıvı olan, berrak, yeşilden sarıya değişen renkte, kendine özgü tat ve kokuda, doğal olarak tüketilebilen önemli bir bitkisel kaynaklı yağdır (Gümüşkesen ve Yemişçioğlu 1999; Tokuşoğlu 2010).

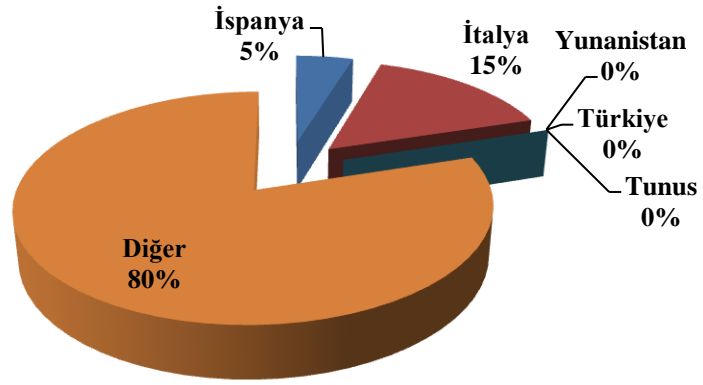
Günümüzde zeytinyağı üretimi dünya genelinde 2 393 000 tona ulaşmıştır. 2002-2003 üretim sezonundan bu yana, dünya genelindeki bu miktarın yaklaşık %75'i Avrupa Birliği ülkelerinde üretilmektedir. İspanya, İtalya ve Yunanistan'ın ise Avrupa Birliği içerisindeki üretim payı yaklaşık %97 düzeyindedir. Türkiye ise dünya zeytinyağı üretiminin %5'ini karşılamaktadır. Şekil 2.2'de 2002-2003 üretim sezonundan bu yana dünya genelindeki zeytin yağı üretim verileri açık bir biçimde verilmektedir (Anonymous 2014).



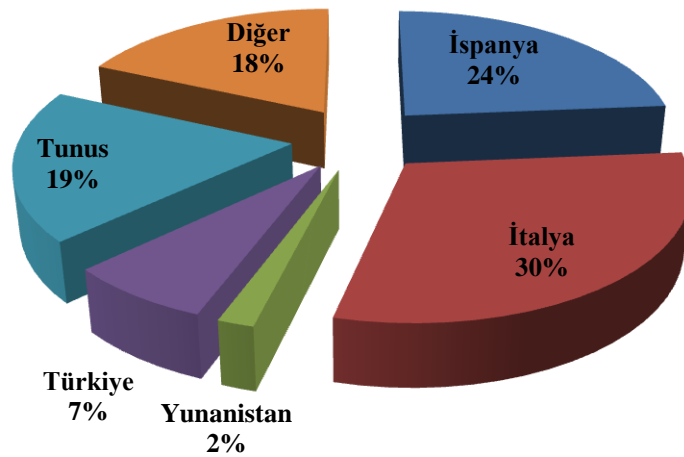
Şekil 2.2. 2002-2003 üretim sezonundan bu yana ülkelere göre zeytin yağı üretiminin yıllara göre değişimi

Dünya zeytinyağı üretiminin yarısına yakını İspanya tarafından üretilmekte, fakat Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verilen ithalat ve ihracat verileri incelendiğinde %5'lik bir ithalat verisinin yanı sıra zeytinyağı ihracatının %24'ünü gerçekleştirerek dünya genelinde

İtalya'nın ardından ikinci sıraya gerilemektedir. Yunanistan ise dünya zeytinyağı üretiminin %12'lik bir kısmını karşılarken ihracat oranı %2 gibi çok düşük bir değerde kaldığı görülmektedir. Tunus'a bakıldığında %6'lık üretiminin yanında ürünlerinin %19'luk kısmını ihraç ettiği, dahası Yunanistan ve Türkiye'yi geride bırakarak dünya zeytinyağı ihraç eden ülkeler arasında üçüncü sıraya yükseldiği görülmektedir. Türkiye'de ise %5'lik dünya zeytinyağı üretiminin ancak %7'si ihraç edilmektedir (Anonymous 2014).



Şekil 2.3. Dünya zeytin yağı ithalat verilerinin karşılaştırılması



Şekil 2.4. Dünya zeytin yağı ihracat verilerinin karşılaştırılması

Türkiye’de zeytinyağının toplam sıvı yağ pazarı içindeki payı %10 olarak belirtilmektedir. Bölgesel açıdan bu tüketimin %40’ı Marmara Bölgesi’nde, %30’u Ege Bölgesi’nde olup zeytinyağı tüketiminin %90’ı kentsel nüfus tarafından gerçekleştirilmektedir (Gümüşkesen ve Yemişçiöğlü 1999).

2.1. Zeytinyağı Üretim Prosesleri

Zeytinyağı üretimi günümüzde kesikli (geleneksel presleme) ve sürekli (santrifüj) yöntemlerle yapılmaktadır (Oktav vd 2003; Oktav ve Şengül 2003). Binlerce yıldır süregelen geleneksel bir üretim yöntemi olan kesikli proses, insan ve hayvan gücüyle değirmen taşları kullanılarak öğütülen zeytinin, preslerde sıkıştırılarak yağının alınması esasına dayanır. Günümüzde elektrik motorlarıyla çalışan öğütücüler ve hidrolik preslerin kullanılması sayesinde bu yöntemle elde edilen verim artmıştır. Fakat son zamanlarda çok küçük çapta üretim yapan işletmeler dâhil, üreticilerin büyük çoğunluğu sürekli yöntemi kullanmaya başlamıştır. Bu yöntemde öğütülmüş zeytin yüksek hızlı silindirik tamburlarda, santrifüj prensibiyle yağından ayrılmaktadır (Şengül vd 1996). Üretim sonucunda her iki yöntemde de pirina ve karasu gibi iki yan ürün oluşmaktadır. Oluşan atıksuyun miktarı üretim türüne göre değişiklikler gösterebilmektedir. Kesikli üretim yapan sistemlerde 100 kg zeytin için açığa çıkan su miktarı 50 kg iken, sürekli sistemlerde ise 110 kg’dır (Vitolo *et al.* 1999).

Kesikli sistemlerde, proses suyu ilave edilen zeytin sırasıyla yıkanmakta, ezilmekte ve hamur elde etmek için yoğrulmaktadır. Oluşturulan hamurun bileşimi %20 yağ, %25 katı madde ve %55 zeytin özsuğu biçiminde olup daha sonra içerdiği yağ ve suyu katı içeriğinden ayırmak için preslenmektedir (Demicheli and Bontoux 1996; Oktav vd 2003). Bütün işlemlerin sonucu olarak zeytin karasuyu adı verilen sıvı atık ve %3-6 oranında zeytinyağı, %20-25 oranında su içeren katı atık (pirina) oluşmaktadır (Masghouni and Hassairi 2000).

Sürekli sistemlerde ise presin yerini santrifüj almakta ve üretim sırasında kullanılan santrifüj tipine göre iki proses tanımlanabilmektedir. Bu proseslerden ilki üç fazlı sistem

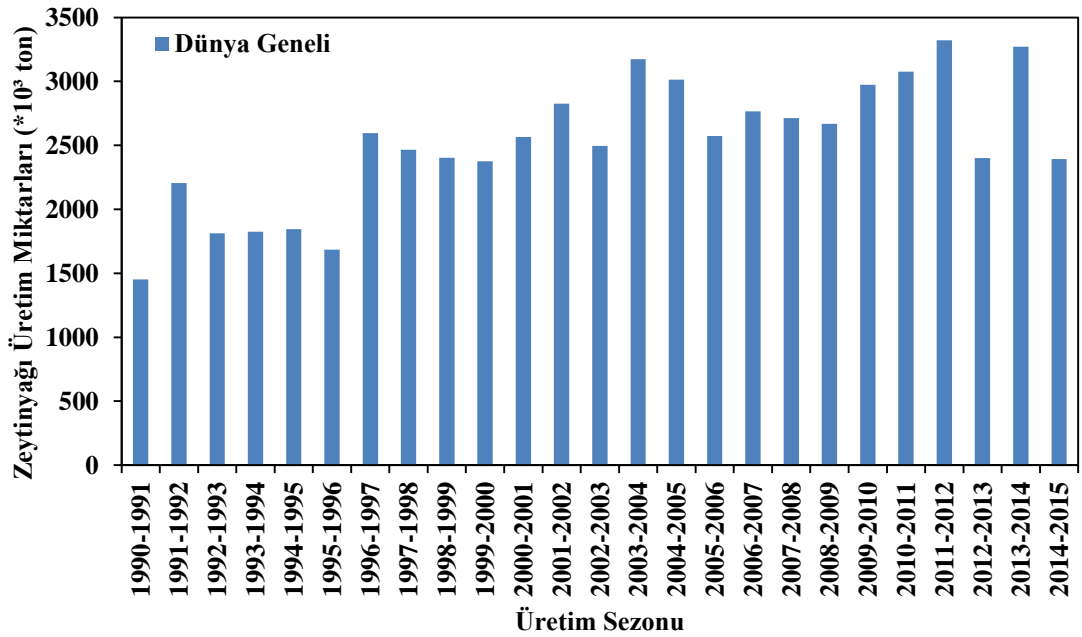
olup, üretim sonucu 2 sıvı faz (zeytinyağı ve zeytin karasuyu) ve bir katı faz (pirina) oluşmaktadır. Önemli miktarda su gereksinimi olan bu proses kesikli sistemlerle kıyaslandığında 3 kat daha fazla zeytin karasuyu üretimine sebep olmaktadır. İki fazlı sistem olarak adlandırılan ikinci proses daha yeni bir varyanta sahip olup kullanılan dekantör sayesinde üretim sonucunda sıvı (zeytin yağı) ve katı (pirina) olmak üzere iki faz oluşmaktadır. Ekolojik olarak etkin olan bu sistem sayesinde zeytin karasuyu oluşumu neredeyse sıfıra kadar indirgenir. Oluşan katı faz ise %50-60 su ile %2-3 zeytinyağı içermektedir (Masghouni and Hassairi 2000).

2.2. Zeytinyağı Üretim Proseslerinin Kıyaslanması

Zeytin karasuyunun karakterizasyonu üretim proseslerinde uygulanacak yöntem ve teknolojiye bağlı olarak değişebilmektedir. 2 fazlı sürekli santrifüj prosesinde proses suyu gereksinimi olmadığından, su ve enerji gereksinimi, atıksu hacmi, kirlilik yükü çok az olup diğer prosesler ile karşılaştırıldığında en avantajlı prostestir. Bu prosesin kullanımıyla elektrik tüketiminin azalmasının yanı sıra oluşan atıksuyun kolaylıkla uzaklaştırılması sağlanmaktadır. 3 fazlı sürekli santrifüj prosesi, 2 fazlı sürekli santrifüj prosesi ile karşılaştırıldığında daha fazla atıksu ve kirlilik yüküne neden olmaktadır. Kesikli proseslerde ise daha az atıksu oluşmakta, fakat 2 fazlı sürekli santrifüj prosesi ile karşılaştırıldığında daha fazla kirlilik yüküne neden olmaktadır (Demicheli and Bontoux 1996). Kesikli proseslerde zeytinyağı üretimi yapılan tesislerde kirlilik yükü 100-200 gr KOİ/L aralığında değişmektedir. Atıksuyun yüksek tuz konsantrasyonu nedeniyle ultrafiltrasyon ve ters osmoz gibi sistemler için elverişli olmamakla birlikte, distilasyon yöntemi gibi proses sonrasında konsantre katı kısmın oluştuğu yöntemler, bu tür atıksular için uygundur. Sürekli santrifüj proseslerinde ise oluşan atıksu daha seyreltik haldedir. Son teknolojik gelişmelerle atıksuyun pirina içinde yer alması sayesinde atıksu miktarı sıfıra kadar düşmektedir. Fakat bu üretim tekniği avantajlı gibi görünse de, pirinanın ayrıştırılması için gereken enerji miktarı oldukça yüksektir (Rozzi and Malpei 1996).

2.3. Zeytinyağı Üretimi Atıksularının Özellikleri

Zeytinyağı üretimi kasım ayında başlamakta, 2-3 ay gibi kısa bir sürede tamamlanmasına rağmen oluşan atıksu miktarı ve atıksuyun kirlilik potansiyeli oldukça yüksek ve arıtılması oldukça zordur (Beltrán *et al.* 1999). Şekil 2.5'te verilen istatistikler, zeytinyağı üretiminin son 25 yılda dünya genelinde önemli ölçüde artmış olduğu görülmektedir (Anonymous 2014). Küçük işletmeler ve bu işletmelerin dağınık yapıda olmaları sonucu zeytin karasuyu olarak bilinen atıksuların toprağa veya yeraltı suyuna direkt deşarjı nedeniyle çevresel etkileri gün yüzüne çıkmış ve bunun sonucunda zeytin karasuyunun arıtımına verilen önem giderek artmıştır (Rozzi and Malpei 1996). Bu atıksuyun arıtımında başlıca karşılaşılan güçlükler; sezonluk üretim yapılması, organik madde içeriğinin fazlalığı, fenolik bileşenleri ve yağ asitlerini ihtiva etmesiyle ilişkilidir. Ayrıca zeytin karasuyu süspanse halde katılar, polifenoller ve çözünmüş mineral tuzları gibi yüksek kirletici özelliğe sahip organik maddeleri de içermektedir. pH değerleri 4,6-5,8 arasında değişen asidik karakterli bu suların AKM (askıda katı madde) değerleri 6 000-69 000 mg/L, KOİ değerleri 37 000-318 000 mg/L, BOİ değerleri 15 000-135 000 mg/L arasında değişebilmektedir (Oktav vd 2003).



Şekil 2.5. Dünya genelinde zeytinyağı üretim miktarlarının sezonluk dağılımı

2.4. Zeytin Karasuyunun Arıtılmasında, Değerlendirilmesinde ve Bertaraf Edilmesinde Uygulanan Yöntemler

Zeytin karasuyunun karakterizasyonu zeytinyağı üretim proseslerinde uygulanacak yöntem ve teknolojiye bağlı olarak değişebilmektedir (Demicheli and Bontoux 1996). Zeytinyağı endüstrisinden kaynaklanan ve karasu olarak nitelendirilen bu atıksu, gerek içerdiği yüksek miktardaki organik madde, askıda katı madde, yağ ve gres gerekse düşük moleküler ağırlıklı fenolik maddeler nedeniyle arıtılabilirliği geleneksel metotlarla oldukça zor ve aynı oranda arıtım maliyeti yüksek olan atıksulardandır. Düşük maliyet gerektiren arıtım yöntemleri belirlenen arıtım standartlarını tam olarak karşılamazken, karasuyun belirlenen standartlarda arıtılması için bulunan yöntemler de çok yüksek maliyetlerinden dolayı tercih edilmemektedirler (Oktav vd 2003). Dünyada birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de hem kamu kurumları (Bakanlıklar, üniversiteler, araştırma merkezleri vb.) hem de zeytin üreticileri, zeytin karasuyunun arıtımına yönelik araştırmaları sürdürmektedirler.

2.4.1. Zeytin karasuyunun fiziksel yöntemlerle giderilmesi

Zeytin karasuyunun arıtılabilmesi için uygulanabilecek fiziksel ve fizikokimyasal arıtım yöntemleri; seyreltme, buharlaştırma, çökeltme, santrifüjleme, filtrasyon, adsorpsiyon, distilasyon, havalandırma, membran uygulamaları vb. olarak sıralanabilmektedir (Paraskeva and Diamadopoulos 2006).

Membran prosesleri çeşitli su ve atıksu arıtım uygulamaları için kullanılabilir (Yıldız 2004). Zeytin karasuyunun başlangıç KOİ konsantrasyonlarının 1 500, 2 700 ve 5 300 mg/L’ye ayarlandığı ve zeytin karasuyunun arıtımı için membran biyoreaktörlerin (MBR) kullanıldığı bir çalışmada, KOİ giderim verimleri araştırılmış ve bu değerler sırasıyla %81, %58 ve %37 olarak belirlenmiştir (Dhaouadi and Marrot 2008). Ultra filtrasyon (UF) prosesinin kullanıldığı bir çalışmada KOİ, renk, toplam katı madde ve fenol giderimleri zeytin karasuyu için incelenmiştir. Maksimum TF giderim verimi pH

12’de %30, maksimum renk giderim verimi pH 4’te %83 ve maksimum KOİ giderim verimi pH 2’de %60 olarak bulunmuştur (El-Abbassi *et al.* 2014).

Yapılan bir çalışmada önce santrifüjleme ve filtrasyon gibi işlemler uygulanmış olan zeytin karasuyu, daha sonra aktif hale getirilmiş kilden geçirilerek adsorpsiyona tabi tutulmuştur. Bu işlem sonrasında fenol için %81, organik madde için %71 oranında giderim sağlanmıştır (Al-Malah *et al.* 2000). Santrifüjleme ve ultrafiltrasyon proseslerinin bir arada kullanıldığı başka bir çalışmada ise askıda katı madde ve KOİ giderim verimlerinin değişimi incelenmiş, sonuç olarak proseste %90 oranında bir KOİ giderimi ve %80 oranında bir askıda katı madde giderimi gözlemlenmiştir (Turano *et al.* 2002).

Zeytin karasuyunun santrifüjleme ve filtrasyon prosesinden sonra aktif karbon kullanılarak adsorpsiyon prosesi ile arıtmaya çalışıldığı bir çalışmada fenol konsantrasyonları, pH ve KOİ konsantrasyonları farklı aktif karbon konsantrasyonlarında maksimum adsorpsiyon kapasitesi belirlenmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi belirlenen proseste yapılan denemelerde 4 saatten daha kısa bir süre içerisinde %94 oranında fenol gideriminin yanı sıra %83 oranında bir organik karbon giderimi elde edilmiştir (Azzam *et al.* 2004).

2.4.2. Zeytin karasuyunun kimyasal yöntemlerle giderilmesi

Zeytin karasuyu ile yapılan bir kimyasal arıtılabilirlik çalışmasında, ferriklorür, alüm, ferrosülfat ve kireç, ferrosülfat, kireç ve anyonik polielektrolit, sülfirik asit, kireç ve anyonik polielektrolit ayrı ayrı denenmiş, %50 mertebesinde KOİ ve AKM giderimi elde edilmiştir (Samsunlu *et al.* 1998).

Fenton prosesi kullanılarak zeytin karasuyunda KOİ gideriminin amaçlandığı bir çalışmada farklı parametrelerin KOİ giderimi üzerine etkileri incelenmiş, başlangıç pH değeri 3,5 ve sıcaklık 30°C’de sabitlenerek yapılan denemelerde H₂O₂/Fe⁺² oranı 16 ve H₂O₂/KOİ oranı 1,76 iken yani optimum şartlarda %70 oranında KOİ giderimi

sağlanmıştır (Lucas and Peres 2009). H_2O_2 varlığında $FeCl_3$ kullanılarak fenton benzeri bir proses ile ikifazlı zeytinyağı üretimi yapılan bir tesisten elde edilen zeytin karasuyunun arıtımı için pH değeri 3'e ayarlanarak $FeCl_3/H_2O_2$ oranı 0,04 olacak şekilde sisteme 100 gr/dm^3 H_2O_2 ilave edilmiştir. 8-12°C aralığında bir sıcaklıkta yapılan denemelerin sonucunda ise %92,6 oranında KOİ gideriminin yanı sıra %99,8 oranında TF giderimi sağlanmıştır (Nieto *et al.* 2011).

Oksijen kaynağı olarak H_2O_2 kullanılan bir süper kritik su oksidasyonu prosesinde, 10-30 MPa basınç, 400-650°C sıcaklık ve 147-588 mmol/L arasında değişen giriş TOK konsantrasyonları için giderim verimleri incelenmiştir. 147-588 mmol/L aralığında oksijen girişi sağlanan sistemde optimum şartlar 600°C sıcaklık, 25 MPa basınç, 64,12 mmol/L TOK başlangıç değeri ve 441 mmol/L oksijen girişi olarak belirlenmiş, optimum şartlarda çok kısa süre içinde %99,96 oranında bir TOK giderimi sağlanmıştır (Erkonak *et al.* 2008).

2.4.3. Zeytin karasuyunun biyolojik yöntemlerle giderilmesi

Aerobik biyolojik prosesler, aerobik mikroorganizmaların, oksijen varlığında, kirlilikleri okside ederek parçalaması esasına dayanırlar. Organizmalar kirlilikleri kullanarak biokütle ve çamur gibi yeni hücreler üretirler. Aktif çamur, damlatmalı filtre gibi aerobik prosesler genellikle atıksuda düşük konsantrasyonlarda bulunan çözünmüş ve kolloidal haldeki kirlilikleri artırırlar. Prosesin etkili işletilmesi 1 g KOİ/L gibi düşük konsantrasyonlarda mümkündür. Yüksek konsantrasyonlardaki kirlilikler ise ancak yüksek alıkonma sürelerinde ve yüksek geri devir oranlarında artırılabilir. Bu nedenle karasuyun aerobik biyolojik arıtımı, yüksek KOİ ve fenol içeriği nedeniyle, uygun değildir. Bunun yanı sıra, aerobik biyolojik artım sonrasında çok yüksek miktarda çamur oluşmaktadır. Ham atıksuyun KOİ konsantrasyonu 50 gr/L gibi oldukça yüksek değerlerde olduğundan, proses sonrası oluşacak çamur miktarı yaklaşık olarak arıtılan atıksu miktarına eşittir (Rozzi and Malpei 1996).

Aerobik, anoksik veya anaerobik ortamlarda, karışık kültür veya saf kültür kullanılarak zeytin karasuyunun arıtılması konusunda birçok çalışma mevcuttur. Saf kültür olarak *Geotrichum sp.*, *Aspergillus sp.* ve *C. Tropicalis*'in kullanıldığı bir çalışmada zeytin karasuyunda KOİ ve polifenol giderilmeye çalışılmış, maksimum polifenol giderim verimleri sırasıyla %46,6, %44,3 ve %51,7 olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra KOİ konsantrasyonları arttıkça giderim verimleri azalmakla beraber, ortalama KOİ giderim verimleri bu üç mikroorganizma kültürü için sırasıyla %55, %52,5 ve %62,8 olarak belirlenmiştir (Fadil *et al.* 2003). Fungi biyokütlesi kullanılarak zeytin karasuyunun giderilmeye çalışıldığı bir başka çalışmada KOİ ve TF giderim verimleri sırasıyla %86 ve %70 olarak gerçekleşmiştir (Caffaz *et al.* 2007). Saf kültür olarak *Candida tropicalis*'in kullanıldığı bir çalışmada aerobik ve anaerobik olmak üzere iki aşamalı olarak arıtmaya çalışılmış, KOİ giderim verimleri aerobik arıtım aşamasında %62 ve anaerobik arıtım aşamasında %83 olmak üzere genel toplamda %93 olarak gerçekleşmiştir. Fenol giderimleri %54 olarak gerçekleşmiş, anaerobik arıtım aşamasında %68-%75 aralığında metan gazı üretilmiştir (Martinez-Garcia *et al.* 2007). Ham zeytin karasuyunun arıtımı için saf kültür olarak *Rhodotorula glutinis* kullanıldığı bir çalışmada 30°C ve 150 rpm karıştırma hızında TF konsantrasyonu 120 sa'lik deney süresi sonunda %89 oranında azaltılmıştır (Karakaya *et al.* 2012).

Zeytin karasuyunun arıtımında kombine ileri oksidasyon prosesi ve aerobik arıtımın kullanıldığı bir çalışmada 4 farklı kombinasyon kullanılarak KOİ giderim verimleri arttırılmaya çalışılmıştır. Ozonlama (giderim verimi %21,5) ve aerobik arıtım (giderim verimi %83,4) proseslerinin uygulandığı atıksuda toplam giderim verimi %87'ye ulaşırken, aerobik arıtmadan (giderim verimi %69,5) sonra ozonlama (giderim verimi %34,4) prosesi kullanıldığında toplam giderim verimi %80'e kadar gerilemiştir. UV/O₃ (giderim verimi %28,9) prosesi sonrası aerobik arıtım (%86,9) prosesi kullanıldığında toplam giderim verimi %90,7 iken, aerobik arıtmadan (%60) sonra UV/O₃ (giderim verimi %54,4) prosesi kullanıldığında toplam giderim verimi %81,8 olarak belirlenmiştir (Lafi *et al.* 2009).

Biyolojik olarak zeytin karasuyunun arıtımının optimize edilmesinin amaçlandığı bir çalışmada sodyum hidroksit veya kireç ile pH optimize edilmeye çalışılmış, farklı C/N oranlarında polifenol giderimi araştırılmıştır. Minimum giderim C/N oranı 35,86'da iken giderim verimi %50,63 olarak belirlenmiş, maksimum giderim verimi C/N oranı %27,03 iken %75,85'e kadar yükselmiştir (El Hajjouji *et al.* 2008).

Erlenlerde ve paket yataklı reaktör kullanılarak yapılan kesikli denemeler yapılmış, %20, %50 ve %100 oranında seyreltilmiş zeytin karasuyu ile erlenlerde yapılan denemelerde 11, 23 ve 30 günde %82 oranında fenol ve %90 oranında KOİ giderimi gözlemlenmiştir. Paket yataklı reaktörlerde 28°C yapılan denemelerde ise sadece 27 saatlik bir zaman periyodunda maksimum fenol ve çözünmüş KOİ giderimi sırasıyla %60 ve %70 olarak bulunmuştur (Tziotzios *et al.* 2007).

Zeytin karasuyunun biyolojik arıtılabilirliği incelendiği bir çalışmada %25, %50, %75 ve %100 oranlarında seyreltilerek karasu numuneleri hazırlanmış, 5 günlük bir çalışmanın sonunda %64,3 toplam KOİ, %66,6 çözünmüş KOİ giderimi gözlenmiştir. Aynı çalışmada karasuyun matematiksel modellemesi yapılmaya çalışılmış biokütle sabiti 0,30 g AKM/g KOİ, biyolojik olarak parçalanamayan, toplam ve çözünmüş KOİ değerleri sırasıyla 3 ve 2 g/L olarak bulunmuştur (Pelillo *et al.* 2006).

Zeytin karasuyunun biyolojik arıtımı boyunca mikroflora profilleriyle hidrodinamik reaktörlerin etkileşimlerini saptamayı amaçlayan bir çalışmada 20 dm³ JAKTO biyoreaktör kullanılarak 12 günlük hidrolik kalış süresi içerisinde fenolik içerik ve KOİ'nin %70 oranında giderilmesi başarılmıştır. 200 dm³'lük bir JAKTO biyoreaktör kullanılarak %87 KOİ ve %80 fenol giderimi sağlanmıştır (Eusébio *et al.* 2007).

Zeytin karasuyunun matematiksel modellemesinin yapılmasının amaçlandığı bir çalışmada *Pleurotus ostreatus* kullanılmış spesifik büyüme hızı 0,02 sa⁻¹, biokütle sabiti 0,063 g AKM/g KOİ olarak bulunmuştur (Aggelis *et al.* 2003).

Karasuyun anaerobik biyolojik olarak arıtılmasında, anaerobik doldur-boşalt tipi çürütücüler, yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler kullanılmaktadır (Şengül *et al.* 1996). Sürekli ve kesikli sistemler kullanılarak zeytin karasuyunun anaerobik arıtımının incelendiği bir başka çalışmada kesikli bir sistemde kum filtrasyonunu takiben aktif karbon kullanılmış ve fenolik içeriğin %95 oranında giderilmesi sağlanmıştır. 1-10 arasında musluk suyuyla seyreltilen ham zeytin karasuyu anaerobik olarak arıtılmış ve %65 KOİ giderimi gözlemlenmiştir. Ancak yukarı akışlı anaerobik reaktörde (UASB) 40 g/L besleme ve 5 günlük hidrolik kalış süresi içinde %80-85 oranında KOİ giderimi gözlemlenmiştir (Sabbah *et al.* 2004). Zeytin karasuyunun arıtımı için kimyasal ve fiziksel prosesleri takiben anaerobik arıtılabilirlik çalışmalarının yapıldığı başka bir çalışmada %78-89 oranında KOİ, %33-43 oranında polifenol gideriminin yanı sıra %83-85 oranında biyogaz üretimi gözlemlenmiştir (Filidei *et al.* 2003).

2.4.4. Zeytin karasuyunun gideriminde kullanılan diğer yöntemler

İspanya'da yapılan bir araştırmada ise 1 000 m³/ha.yıl gibi yüksek miktardaki karasuyun boşaltıldığı topraklarda; organik madde, toplam ve çözünmüş azot, fosfor, tuz, ağır metal içeriğinin arttığı gözlemlenmiştir. Karasu 100 m³/ha.yıl gibi düşük hacimlerde araziye verildiğinde ise, toprağın biyolojik çürütücü gibi çalışıp, karasuyu arıttığı belirlenmiştir (Demicheli and Bontoux 1996).

2.5. Elektrokimyasal Arıtım Sistemlerinin Genel Özellikleri ve Zeytin Karasuyunun Elektrokimyasal Arıtımı

Elektrokimya, elektrik enerjisi ile birlikte yürüyen kimyasal olayları inceleyen bir bilim dalıdır (Yalçın ve Gürü 2010). Pratikte büyük öneme sahip bir bilim dalı olan elektrokimya, genel anlamda elektrik enerjisi üreten veya elektrik enerjisiyle yürüyen yükseltgenme, indirgenme reaksiyonlarının tümünü içine alır. Diğer bir deyişle elektrik akımının kimyasal reaksiyonlarla ilişkisini açıklar (Baker 1991; Fil 2014).

Yarı hücre olarak adlandırılan bir metal ve çözeltisinden oluşan sisteme ikinci bir elektrot daldırılarak metalik bir iletkenle dış devreden birbirlerine bağlanmasıyla elektrokimyasal hücreler oluşturulur. Elektrokimyasal hücreler, elektroliz hücreleri ve elektrokimyasal piller olarak ikiye ayrılırlar. Elektrokimyasal hücreler dışarıdan uygulanan elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren hücreler iken, elektrokimyasal piller kendiliğinden akım üretmekte ve kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedirler (Yalçın ve Gürü 2010).

1833 yılında Michael Faraday tarafından bulunmuş olan, elektrokimyasal reaksiyonlarda hücreden geçen elektrik miktarıyla kimyasal değişme arasındaki ilişkiye göre elektrotlarda açığa çıkan maddelerin kütleleri, devreden geçen yük miktarıyla orantılıdır. Bu sebeple elektrokimyasal hücrelerde elektronlar, reaksiyona giren maddeler ve oluşan ürünler gibi değerlendirilip hesaplama yapılabilir. Elektrik yükü ise 1 A'lık bir akımın 1 saniyede taşıdığı elektrik yükü 1 C (coulomb) olup, 1 mol elektronun taşıdığı yük 96485 C yani 1 F (Faraday) olarak bilinmektedir (Baker 1991; Fil 2014).

Her türlü elektroliz hücreleri veya elektrokimyasal pilde yükseltgenme yarı reaksiyonunun olduğu elektrot anot, indirgenme yarı reaksiyonunun olduğu elektrot katot olarak adlandırılır (Baker 1991; Fil 2014). Her iki elektrotta da yürüyen tepkimelerin toplamına hücre tepkimesi adı verilir (Üneri 1988). Bir elektrokimyasal reaksiyonda, elektronların gerilim farkı ve anot geriliminin katot geriliminden daha yüksek olması sebebiyle elektron akımı bir dış iletken yardımıyla anottan katoda doğru olur. Pil gerilimi, elektromotor kuvveti (emk) veya elektrokimyasal hücre potansiyeli olarak adlandırılan gerilim farkının değeri reaksiyonun bileşenlerine, sıcaklığa ve derişime bağlıdır. Elektrokimyasal hücre potansiyelinin birimi volt (V) olup, değeri elektrolit hacmine ve elektrotların boyutlarına bağlı olarak değişmez. Redoks reaksiyonlarının elektrokimyasal hücre potansiyelleri, hücreyi oluşturan yarı-reaksiyonların elektrot gerilimleri kullanılarak hesaplanabilir. İstemli bir redoks reaksiyonunun elektrokimyasal hücre potansiyeli (E°) daima pozitifdir. Elektrokimyasal hücre potansiyelinin negatif olması reaksiyonun var olan koşullarda istemsiz olduğunu

gösterir. Standart elektrokimyasal hücre potansiyeli elektrot gerilimleri dikkate alınarak hesaplandığından sadece basınç, derişimler ve sıcaklık için geçerlidir (Türk, 1999). Bir elektrokimyasal hücrenin elektrokimyasal hücre potansiyeli hesaplamak için Nernst eşitliği olarak bilinen eşitlik kullanılabilir (Brett and Brett 1993; Türk 1999).

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

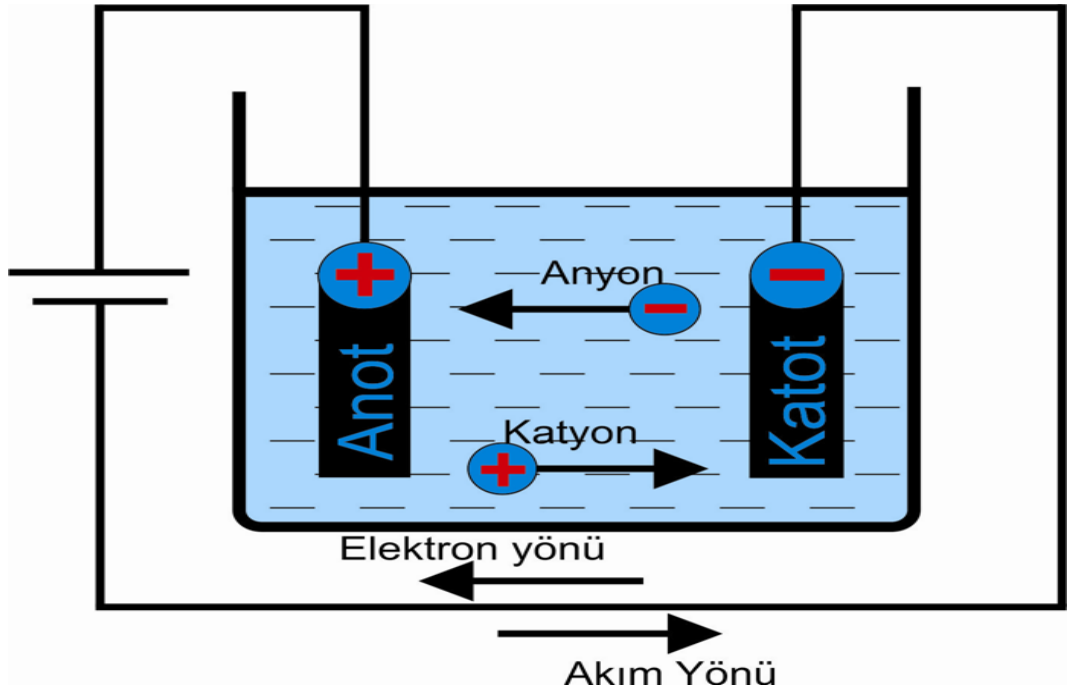
Burada; E° : Standart elektrokimyasal hücre potansiyeli, R : İdeal gaz sabiti, T : Mutlak sıcaklık, F : Faraday sabiti, n : Reaksiyon sırasında alınan verilen elektron sayısı, Q : Kütlelerin etkisi olarak ifade edilmektedir.

2.5.1. Zeytin karasuyunun arıtımında elektrokimyasal işlemler

Su arıtımında elektrik kullanımı ilk olarak 1889 yılında İngiltere’de önerilmiştir (Strokach 1975; Chen 2004). Mineral zenginleştirme için elektroliz uygulamasının patenti 1904 yılında (Elmore 1905; Chen 2004), alüminyum ve demir elektrotlarla elektrokoagülasyon sisteminin patenti ise 1909 yılında ABD’de alınmıştır (Chen 2004). 1946 yılına gelindiğinde içme suyu arıtımında büyük ölçekte elektrokoagülasyon uygulaması ilk kez ABD’de uygulanmıştır (Stuart 1946; Bonilla 1947; Chen 2004). Fakat sonraki yıllarda su ve atıksu arıtma için elektrokimyasal teknolojiler nispeten yüksek ilk yatırım maliyeti ve pahalı elektrik giderlerinden dolayı dünya çapında geniş bir uygulama alanı bulamamıştır. Ancak son yarım yüzyılda ABD ve SSCB’de yapılan kapsamlı araştırmalar sayesinde fazla miktarda bilgi birikimi oluşturulmuştur. Son 20 yıl içerisinde içme suyu standartları iyileşmesi ve atık su deşarj standartlarının sıkılaşması nedeniyle elektrokimyasal arıtım uygulamaları büyük önem kazanmıştır. Metal geri kazanımının yanı sıra içme suyu ve endüstriyel atıksu arıtımı için elektrokimyasal proseslerin kullanımı yaygınlaşmış, maliyet açısından karşılaştırılabilir olmasa da elektrokimyasal proseslerin su ve atıksu arıtımında kullanımı daha verimli ve kompakt bir hale gelmiştir (Chen 2004). Günümüzde su ve atıksu arıtımında basit

işletme şartları ve yüksek etkinlikleri nedeniyle kullanımları yaygınlaşmaktadır (Fil 2014).

Bir elektrolit içine iki elektrot daldırılarak oluşturulan hücreye dışarıdan bir akım uygulayarak elektrotlar üzerinde kimyasal reaksiyonlar oluşturulmasına elektroliz adı verilmektedir. Şekil 2.6'da şematik olarak verilmiş olan elektroliz sisteminin işletilebilmesi için hücrede bulunan anot ve katot materyallerinin toplam denge potansiyellerinden daha büyük bir potansiyelde olacak şekilde dış akımın verilmesi gerekmektedir (Yalçın ve Gürü 2010; Fil 2014).



Şekil 2.6. Bir elektroliz hücresinin şematik gösterimi, akım ve elektronların yönü

Katotta yürüyecek olan indirgenme reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için harici bir akım kaynağından sağlanacak olan elektronlara ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 2.6'da görüleceği üzere bir elektroliz hücresindeki akım yönü her zaman katottan anoda doğru gerçekleşmektedir. Elektrokimyasal olaylar açısından pillerle karşılaştırıldığında hiçbir fark olmamasına rağmen dışarıdan akım verilerek kimyasal reaksiyonların oluşabilmesi için sistem zorlanır. Elektroliz hücresine akım verilmeden ölçülen elektrot potansiyeline

ise denge potansiyeli adı verilmektedir. Elektroliz reaksiyonlarının başlaması için gerekli minimum potansiyele ise ayrışma gerilimi adı verilmekte olup teorik olarak anot ve katotun denge haline karşılık gelen elektrot potansiyelleri Nernst denklemi kullanılarak bulunabilmektedir (Yalçın ve Gürü 2010; Fil 2014).

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

Kimyasal ve biyolojik arıtım metotları elektrokimyasal sistemlerle karşılaştırıldığında daha düşük verimle çalışmakta, bunun yanı sıra aynı dönüşüm verimini elde etmek için çok daha uzun reaksiyon sürelerine ve çok daha büyük reaktör hacimlerine ihtiyaç duymaktadırlar (Fil 2014). Elektrokoagülasyon, elektrofiltrasyon, elektroflotasyon gibi örnekleri olan elektrokimyasal arıtım metotları dünya çapında ve endüstriyel ölçekte yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

2.5.2. Elektrokoagülasyon

Elektrokoagülasyon; alüminyum ve demir gibi çözünebilen ve yumaklaştırıcı özelliğe sahip metal elektrotların kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım olarak tanımlanabilir. Alüminyum ya da demirin sisteme ilave edilme şekline göre kimyasal koagülasyondan ayrılan elektrokoagülasyonda, yumaklaştırma ve çökeltme reaksiyonları elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığı ile gerçekleştirilmekte, kimyasal madde ilavesine gerek duyulmamaktadır. Kolloidlerin, süspansiyonların ve emülsiyonların elektriksel yüklerden etkilendiği gerçeğine dayanan elektrokoagülasyon prosesinde; yüklü taneciklere uygun elektrotlar üzerinden ilave elektriksel yükler uygulanırsa, taneciklerin yüzey yükleri nötralize edilir ve sudan ayrılacak daha büyük boyutta floklar oluşturmak üzere birleşir (Fil 2014).

Elektrokoagülasyon prosesi ile atıksu arıtımında en önemli noktalardan birisi elektrot seçimidir. Ucuz ve kolay bulunabilmelerinin yanı sıra yüksek verimleri sebebiyle demir ve alüminyum elektrotlar elektrokoagülasyon proseslerinde sıklıkla tercih edilen elektrot türleridir (Fil 2014).

Elektrokoagülasyon prosesinde reaksiyonların gerçekleşmesi anodun elektrolitik yükseltgenmesi sonucu yumaklaştırıcının oluşması, kirleticilerin partiküler destabilizasyonu ile birlikte emülsiyonların kırılması ve destabilize edilmiş bileşenlerin yumaklar oluşturmak üzere bir araya gelmelerine (Fil 2014), prosesinin mekanizması ise başta iletkenlik olmak üzere pH, partikül boyutu ve kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları gibi sulu ortamın kimyasına bağlıdır (Mollah *et al.* 2001).

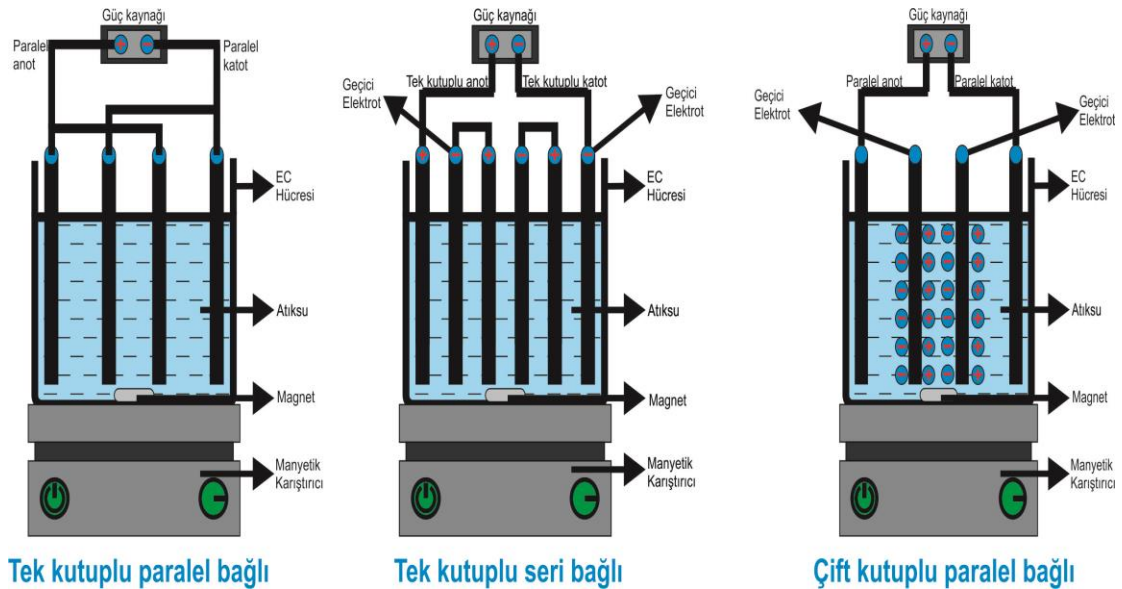
Çizelge 2.3'te elektrot malzemesi olarak demir kullanıldığı durumlar iki mekanizma ve alüminyum kullanıldığı durumda bir mekanizma önerilmiştir (Endyuskin *et al.* 1983; Vik *et al.* 1984; Wilcock and Hay 1991; Mollah *et al.* 2001).

Çizelge 2.3. Elektrokoagülasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar

Fe	Anotta	$4\text{Fe}_{(s)} \rightarrow 4\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 8e^{-}$ $4\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 10\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)} + 8\text{H}^{+}_{(aq)}$
	Katotta	$8\text{H}^{+}_{(aq)} + 8e^{-} \rightarrow 4\text{H}_{2(g)}$
	Toplam reaksiyon	$4\text{Fe}_{(s)} + 10\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)} + 4\text{H}_{2(g)}$
Fe	Anotta	$\text{Fe}_{(s)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$ $\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$
	Katotta	$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)}$
	Toplam reaksiyon	$\text{Fe}_{(s)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_{2(s)} + \text{H}_{2(g)}$
Al	Anotta	$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3e^{-}$
	Çözeltide	$\text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^{+}_{(aq)}$
	Toplam reaksiyon	$n\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}_n(\text{OH})_{3n}$

Yukarıdaki reaksiyonlarda görüldüğü üzere elektrokoagülasyon; yükseltgenme, yumaklaşma ve flotasyon proseslerinin bir bileşimidir. Katottan çıkan hidrojen gazı kabarcıkları oluşan yumaklara yapışarak onları yüzeye çıkmaya zorlar ki bu elektrokoagülasyon prosesinde elektroflotasyonun varlığının tipik bir kanıtıdır (Fil 2014).

En basit formu ile elektrokoagülasyon reaktörü bir anot ve katottan oluşan elektoliz hücresinden oluşur. Elektrotlar harici bir güç kaynağına bağlandığında, katot pasifleşmeye maruz kalırken anot malzemesi yükseltgenerek çözünür. Fakat çözünme hızını uygun bir seviyede tutmak için daha büyük yüzey alanına sahip elektrotların gerekliliği bu uygulama için bir handikaptır. Bu handikap, elektrotların tek kutuplu modda seri yada paralel bağlanması ile aşılmıştır. Şekil 2.7’de bir çift anot ve katodun tek kutuplu modda seri ve paralel bağlı, çift kutuplu modda paralel bağlı olduğu durum şematik olarak gösterilmektedir (Mollah *et al.* 2001).



Şekil 2.7. Tek ve çift kutuplu seri ve paralel bağlı elektrokoagülasyon reaktörlerinin şematik gösterimi

Şekil 2.7’de gösterildiği üzere tek kutuplu seri bağlı elektrotların kullanıldığı sistemlerde dış kısımlardaki elektrotlar güç kaynağına bağlanırken iç kısımdaki elektrotlarda herhangi bir elektriksel bağlantı bulunmamaktadır. Elektrokoagülasyon

teknğinde, yükseltgenme sebebi ile anodun etkinliğinin azalması kadar, katot yüzeyinde oluşan geçirimsiz oksit tabakası oluşumu da sık karşılaşılan problemlerden birisi olup bu durum elektrokoagülasyon hücresinin etkinliğini kaybetmesine sebep olmaktadır. Doğru akım elektrokoagülasyon tekniğinin bu problemler, geçici ya da kurban elektrotlar olarak adlandırılan elektrotların ilavesi ile bir miktar azaltılmaktadır (Fil 2014).

Kolay işletme ve ucuz elektrotların varlığı atıksu arıtımında elektrokoagülasyon prosesinin sahip olduğu avantajlar olarak bilinmektedir. Anotun sürekli yükseltgenerek çözünmesi ve yenisiyle değiştirilmesi elektrokoagülasyon sistemi için bir dezavantaj olarak görülmektedir. Çizelge 2.4'te elektrokoagülasyon sisteminin avantaj ve dezavantajları sıralanmıştır (Fil 2014).

Çizelge 2.4. Elektrokoagülasyon prosesinin avantaj ve dezavantajları

Elektrokoagülasyon prosesinin avantajları

- Daha az bakım gerektiren elektroliz hücresinin kontrolü kolay ve reaktiflerin alıkonma süreleri kısadır.
 - Arıtılmış su temiz, renksiz ve kokusuz, oluşan çamur ise kolaylıkla çöktürülebilir ve susuzlaştırılabilir yapıdadır.
 - Oluşan yumaklar daha büyük boyutlarda, daha az su tutmalarının yanı sıra asitlere karşı daha kararlı olduklarından filtrasyon ile daha hızlı ayrılabilirler.
 - Suda çözülmüş katı madde içeriği kolaylıkla giderilebilir. Suyun yeniden kullanımı göz önüne alındığında daha düşük geri kazanım maliyeti sağlar.
 - Koagülasyon prosesinde olduğu gibi kimyasal madde gereksinimi olmadığından ikincil bir kirlenmeye sebep olmaz.
 - Oluşan gaz kabarcıklarının su yüzeyine çıkmasıyla, kirleticileri çözeltinin üst kısmına doğru taşıyabilir ve bu sayede kirleticiler kolaylıkla ana çözeltiden ayrılabilir.
 - Güneş panellerinin sisteme entegre edilmesiyle elektrik bulunmayan kırsal alanlarda da kullanılabilir.
-
-

Çizelge 2.4. (devam)

Elektrokoagülasyon prosesinin dezavantajları

- Yükseltgenmenin bir sonucu olarak çözünen anot materyalinin düzenli aralıklarla yenilenmesi gerekmektedir.
 - Elektrik kullanımı çoğu yerde pahalı olabilmektedir.
 - Katot yüzeyinde, geçirimsiz bir oksit tabakasının oluşumu sistem veriminin azalmasına neden olabilmektedir.
 - Arıtım için yüksek iletkenliğe sahip atıksu kullanılması gerekmektedir.
 - Jelimsi yapıdaki hidroksit, zaman zaman çözünme eğiliminde olabilir.
-

Bütün bu özelliklerinin yanında elektrokoagülasyon prosesi, yeraltı sularının arıtımı (Hamdan and El-Naas 2014), ağır metal giderimi (Lu *et al.* 2015), boya giderimi (Pi *et al.* 2014), bor kazanımı ve giderimi (Isa *et al.* 2014), maden drenaj atıksularının giderimi (Oncel *et al.* 2013) vb. endüstriyel atıksuların arıtımının yanı sıra zeytin karasuyunun arıtılması için günümüzde sıklıkla kullanılan prosesler arasında yer almaktadır. Alüminyum elektrotlar kullanılan bir elektrokoagülasyon prosesinde 20 000 mg/L KOİ, 3,6 mS/cm iletkenlik ve 4,2 pH değerine sahip zeytin karasuyunun arıtılabilirliği incelendiği bir çalışmada 15 dk'lık elektroliz süresi boyunca destek elektrolit türü, pH ve akım yoğunluğunun etkileri incelenmiş ve yapılan çalışmada %70'lere varan KOİ ve polifenol giderimi sağlanmıştır. Bu işlemler sonrasında *Bacillus cereus* kültürü için toksik olmadığı belirlenmiştir (Hanafi *et al.* 2010). Yapılan bir başka çalışmada ise zeytin karasuyundan KOİ, yağ-gres ve bulanıklılık giderimi araştırılmıştır. Akım yoğunluğunun etkisi, elektrot materyali, polarizasyon etkileri incelenmiştir. %62-86 arasında KOİ gideriminin yanı sıra yağ-gres ve bulanıklılık değerlerinin tamamı zeytin karasuyundan uzaklaştırılmıştır (Ün *et al.* 2006).

Zeytin karasuyundan renk ve KOİ gideriminin amaçlandığı bir çalışmada elektrokoagülasyon prosesinde elektrot materyali olarak alüminyum ve demir kullanılmıştır. Reaktör voltajı 12 V olan elektrokoagülasyon sisteminde 10-40 mA/cm² aralığında akım yoğunluğu, 4-9 aralığında pH ve 2-30 dk arasında sürdürülen denemeler

sonucunda alüminyum anotlar için %52, demir anotlar için %42 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır. Akım yoğunluğu arttıkça KOİ giderim verimlerinin arttığı gözlenen çalışmada 10 dk'lık alıkonma süreleri için 10-40 mA/cm² aralığında değişen akım yoğunluklarının her biri için renk giderim verimleri %90-97 aralığında gerçekleşmiştir (Inan *et al.* 2004).

2.5.3. Elektroflotasyon

Elektroflotasyon yöntemi, atıksuda bulunan kirliliklerin (organik, ve çözünmüş çok küçük partikül halindeki süspansiyon maddeler) elektrik akımı kullanılarak, elektrotlarda suyun elektrolizi sonucu oluşan gaz kabarcıkları (H₂ ve O₂ gazı) ile birleşerek su yüzeyinde toplanması ve yüzeyde oluşan çamurun bir sıyrıcı yardımıyla uzaklaştırılması işlemidir (Muller 1992; Fil 2014). Elektroflotasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Elektroflotasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar

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

Bu proste verimin artırılması elektrot materyali, akım yoğunluğu, suyun iletkenliği, pH, gaz kabarcıklarının miktarları ve hacimlerine bağlı olarak değişmektedir (Chen 2004). Katotta çelik elektrot materyali olarak seçilir ki, bunun nedeni çeliğin elektroliz sonucu korozyona sebebiyet vermemesi ve saf kabarcık oluşumunu sağlayabilmesidir. Buna ek olarak çelik levha kullanılması akım yoğunluğu, kabarcık hacmini, miktarını ve

hızlı hareket etmesini sağlamakta, dolayısıyla kabarcıkların reaktör içerisinde üniform şekilde dağılımını sağlamaktadır. Anot materyali ise atık suyun içeriğine bağlı olarak Fe, Al, grafit, Pb, Pt, TiO₂, IrO ve Ti/TiO_x olabilmektedir. Fe ve Al'un uygulanan elektrik akımı nedeniyle çözünebilmesi ve büyük hacimli kabarcık oluşturması elektroflotasyon prosesinde pek tercih edilmemesine neden olmaktadır. Son yıllarda ise yüksek elektrokimyasal kararlılığı ve elektro katalitik aktivitesi nedeniyle Ti/IrO_x tercih edilmektedir (Huang & Liu, 1999). Elektroflotasyon sistemleri klasik arıtma prosesleri ile çok zor arıtılabilen atıksuları çok daha yüksek verimlerde arıtılabildiğinden dolayı teknolojik ve endüstriyel işlemleri basitleştirmekte ve arıtma sistemleri için gereken alanı azaltmaktadır. Elektroflotasyon yöntemi yağ endüstrisi, cam endüstrisi, gıda endüstrisi, boya endüstrisi, tekstil endüstrisi atık suları gibi çeşitli endüstriyel atık suların arıtılmasında uygulanmaktadır (Hernlem and Tsai 2000).

2.5.4. Elektroflokülasyon

Elektrokoagülasyon ve elektroflotasyon işlemlerini içeren hibrit bir prosestir. Elektroflokülasyon prosesinde anot materyali olarak Fe veya Al levha, katot materyali olarak çelik levha kullanımı tercih edilmektedir. Anotta Fe ve Al, Fe²⁺ ve Al³⁺ iyonlarına yükseltgenirken, katotta suyun elektrolizi sonucu H⁺ iyonu ve ·OH radikalleri oluşmaktadır. Fe²⁺ ve Al³⁺ iyonları ile ·OH radikalleri reaksiyona girerek çökelebilen, Fe(OH)₂ ve Al(OH)₃ formlarına dönüşmektedirler. Bu flokların çökmesiyle birlikte de su ortamındaki kirliliklerin giderimi sağlanmaktadır. Aynı zamanda katotta oluşan hidrojen gazı kabarcıkları da negatif yüklü partikülleri taşıyarak bir sıyrıcı yardımı ile su yüzeyinden kolaylıkla uzaklaştırılabilecek flokların birikmesine neden olmaktadır (Chen 2004; Fil 2014).

2.5.5. Elektrofiltrasyon

Elektrofiltrasyon, membran filtrasyon ve elektroforez gibi saflaştırma adımlarının kombinasyonundan oluşan bir ayırma prosesidir (Gözke and Posten 2010). Bu yöntemde elektrotlar yardımıyla elektriksel bir alan oluşturulur. Kek ve süzme ortamı

özelliklerinin elektroosmotik akış hızında önemli bir etkisinin olmadığına inanılan bu yöntemde uygun şiddette ve polaritede elektriksel alan uygulayarak kek oluşumunu azaltmak mümkündür. Bu konuda yapılan çalışmalar sınırlı olup genellikle kek direncini azaltıcı önlemleri kapsamaktadır. Bunun sebebi klasik filtrasyon teorisine göre filtrasyon hızını kontrol eden parametrenin kek direnci olmasıdır (Yıldırım 2007). Buna karşın, yeni geliştirilen filtrasyon teorisine filtrasyon hızını kontrol eden esas parametre süzme ortamının geçirgenliğidir. Bu teoriye göre süzme ortamındaki gözeneklerin tıkanması geciktirilmekte, sıkıştırma kuvveti artan filtre kekinin ara yüzeydeki etkisi azalmaktadır (Willis and Tosun 1980; Yıldırım 2007). Elektrofiltrasyon prosesinde ortama uygun şiddette elektrik akımı uygulanmakta ve mineral tanelerine çekim kuvveti hareketi kazandırmaktadır. Bu hareketle beraber taneler süzme ortamından uzaklaşır. Zamanla süzme ortamı üzerinde biriken katı tanelerini uzaklaştırmak için, süzme işlemi kesintiye uğratarak filtre ortamından tersten temiz su geçirilir (Fil 2014).

2.5.6. Elektrodializ

Elektrodializ prosesi bu güne kadar birçok araştırmaya konu olmuş, iyon değişim membranlardaki yenilikler sayesinde önemli ilerlemeler kaydedilerek günümüzde önemli prosesleri arasında yerini almıştır (Yazıcı 2012). Geri kazanım proseslerinde çok daha geniş kullanım olanaklarına sahip olan elektrodializ prosesi, ağırlıklı olarak saflaştırma, ayırma, kimyasal, petrokimyasal ve metalürjik süreçlerden değerli bileşenlerin geri kazanımında kullanılmaktadır (Hacıoğlu 2006; Yazıcı 2012). Demineralizasyon işlemlerinde (Araya-Farias and Bazinet 2006), deniz suyunun tuzsuzlaştırılması ile çevresel ve biyoteknolojik endüstrilerde de uygulanmaktadır (Lee *et al.* 2002). Elektrodializ sistemleri enerjinin verimli bir şekilde kullanılması, iyon değiştirici reçinelerde yapılan rejenerasyon aşamasına gerek duyulmaması ve işletme kolaylığı gibi bazı üstünlükleri sebebi ile diğer arıtma sistemlerine alternatif olarak tercih edilebilmektedir (Ergün 2008). Elektrodializ prosesi en fazla karşılaştırıldığı proses olan ters osmoza ve diğer arıtım yöntemlerine göre belli başlı avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Yazıcı 2012). Öncesinde küçük ve basit bir ön arıtımın yeterli olduğu elektrodializ prosesinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Elektrodializ prosesinin avantaj ve dezavantajları**Elektrodializ prosesinin avantajları**

- Yüksek basınçlı pompalara ihtiyaç duyulmayan proses çok sessiz ve düşük basınçlarda işletilebilir.
- Uzun ömürlü membranlar için membran koruyucu gerekli değildir.
- Eşdeğer proseslere oranla işletme ve bakım maliyeti daha düşüktür.
- Birçok iyon formu üzerinde oldukça etkilidir.
- Yoğun içerikli sularda da oldukça etkindir.
- Ters osmoz gibi diğer yöntemlerin aksine ürün miktarı, giriş suyunun %90'nını, konsantrasyon kısmı da %10'nunu oluşturmaktadır.
- Ters osmoza oranla yaklaşık 5 kat daha fazla uzun ömürlüdür (8-10 yıl).
- Ters osmoza oranla konsantrasyon kısmının iki ayrı şekilde toplanabilmesi ve geri kazanımını kolaylaştırması söz konusudur.

Elektrodializ prosesinin dezavantajları

- Elektrik ihtiyacı fazladır.
- Yetmiş eleman sayısı sınırlıdır.
- Mikroorganizmalar ve çoğu antropojenik organik kirleticiler üzerinde çok fazla etkin değildir.

Elektrodializ prosesi; ters ozmoz, iyon değişimi ve diyaliz gibi diğer ayırma süreçleri ile kıyaslandığında yüklü bileşenler için yüksek seçicilik sağlaması, yüksek ürün geri kazanma oranına sahip olması, besleme suyu bileşenlerini en az değişikliğe uğratması, besleme suyu için kimyasal madde gerektirmemesi, düşük enerji ve yatırım maliyeti ve sürekli işlem yapabilmesi gibi üstünlüklere sahiptir (Yazıcı 2012). Tüm bu üstünlükler göz önüne alındığında her geçen gün kullanım alanının artması beklenmektedir (Fil 2014).

2.5.7. Elektrofenton

Elektrofenton prosesi oksijenle doyurulmuş ve elektrokimyasal işlem sürecinde katotdan sürekli oksijen geçirilen ve Fe^{2+} içeren sulu çözeltide H_2O_2 ve takiben $OH\cdot$ radikallerinin oluştuğu elektrokimyaya dayalı yeni bir ileri oksidasyon yöntemidir (Liu *et al.* 2007; Zhang *et al.* 2007). Aynı ortamda bulunan dirençli organikler $OH\cdot$ radikalleri ile reaksiyonlara girerek parçalanır ve işlem süresi yeterli olursa giderek mineralize olurlar (Kaplan and Hesenov 2008; Fil 2014). Elektrofenton prosesinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.7’de verilmiştir (Fil 2014).

Çizelge 2.7. Elektrofenton prosesinin avantaj ve dezavantajları

Elektrofenton prosesinin avantajları

- H_2O_2 ihtiyaç duyuldukça yerinde ve sürekli üretilebilir. Bunun sonucunda nakliye ve depolama ihtiyacı ortadan kaldırır.
 - Seyreltik H_2O_2 çözeltisi işlem sırasında güvenliği artırır.
 - Üretim prosesi ılımlı sıcaklık ve basınçta basitçe gerçekleştirilir.
 - Fe^{2+} katotta tekrar üretilebilir.
 - Oksijen veya hava gönderilmesi tepkime çözeltisinin karışımını artırır.
-

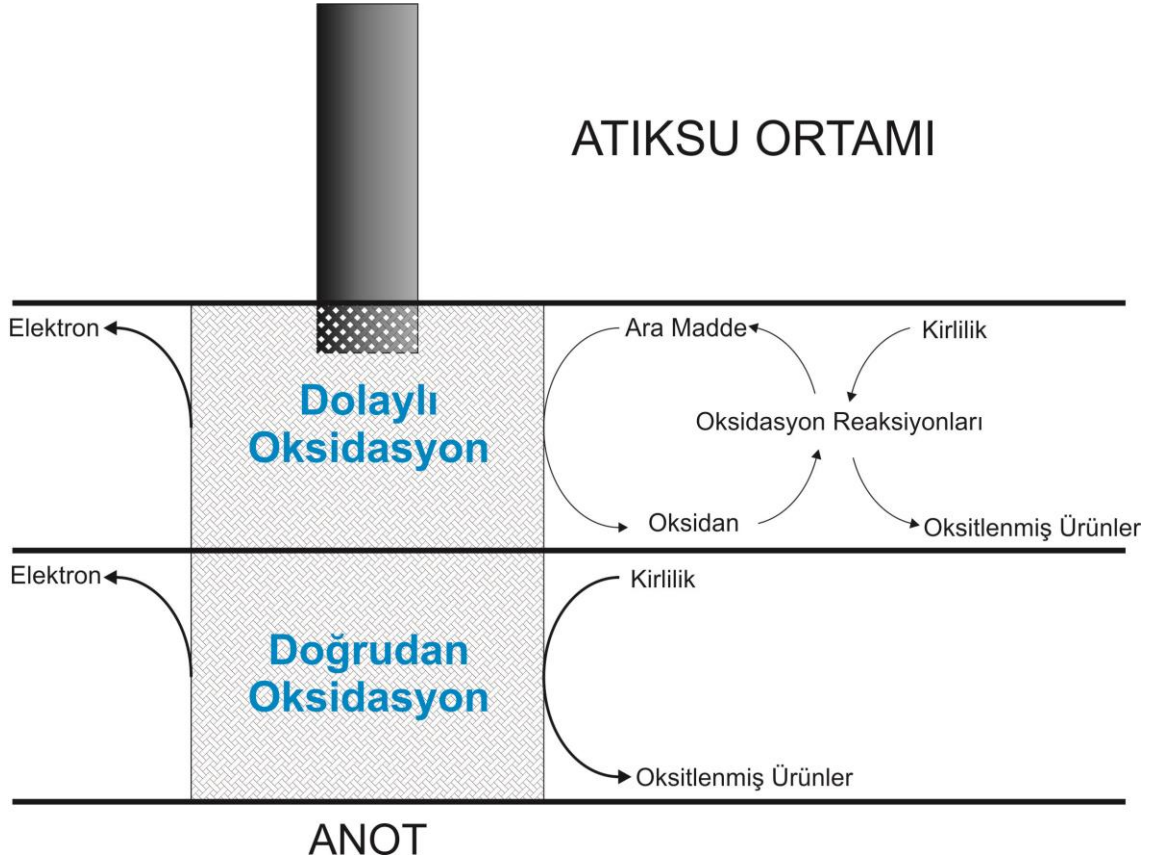
Elektrofenton prosesinin dezavantajları

- H_2O_2 katot ara yüzeyinde birikebildiğinden dolayı kısmen bozunabilmektedir.
 - Yüksek derişimler de protonlar elektronlar ile yarışır ve hidrojen gazı açığa çıkar.
-

2.5.8. Elektrooksidasyon

Elektrooksidasyon; grafit (Sathish and Viswanath 2005; Sundarapandiyani *et al.* 2010), kaplanmış titanyum (Kong *et al.* 2006; Santos *et al.* 2010), platin (Fino *et al.* 2005; Carbonio *et al.* 2009), bor kaplı elmas (Domínguez *et al.* 2010; Anglada *et al.* 2011) gibi çözünmeyen bir anot malzemesi kullanılarak organik maddelerin direk veya dolaylı yollardan oksitlenmesi esasına dayanır. Organik kirleticiler elektrokimyasal oksidasyon

yöntemiyle direk veya dolaylı oksidasyon prosesi ile anot yüzeyinde parçalanabilir (Grimm *et al.* 1998). Bu iki prosesin şeması Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Elektrooksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanma mekanizması

Direk anodik proseste kirleticiler ilk önce anot yüzeyine adsorbe olurlar ve daha sonra anot yüzeyinden elektron transferi gerçekleşir. Organik kirleticilerin direk oksidasyon hızı, anodun aktif noktalarına organik bileşiklerin difüzyon hızı ve uygulanan akım şiddeti yardımıyla anodun katalitik aktivitesine bağlıdır. Dolaylı elektrooksidasyon süresince organik maddelerin oksidasyonun da etkili olan klor (Naumczyk *et al.* 1996), hipoklorit (Vlyssides *et al.* 1997), hidrojen peroksit (Brillas *et al.* 1995) ve ozon (Stucki *et al.* 1987) gibi ajanlar anodik olarak üretilebilir.

Direk anodik oksidasyon elektrokimyasal çevrim ve elektrokimyasal parçalanma olarak iki farklı yolla gerçekleştirilir (Comninellis 1994; Comninellis and Nerini 1995;

Comninellis and Chen 2010). Elektroliz süresince aktif oksijenin iki oksit türü anot yüzeyinde elektrokimyasal olarak üretilebilir (MO_x). Bunlardan ilki elektrokimyasal çevrimden sorumlu olan kimyasal olarak adsorplanmış aktif oksijen (MO_{x+1}), diğeri elektrokimyasal parçalanmadan sorumlu olan fiziksel olarak adsorplanmış oksijendir ($\cdot OH$).



Burada; R, organik bileşikleri; n, anot yüzeyinde adsorbe edilmiş olan $\cdot OH$ 'nin sayısıdır. Elektrokimyasal çevrim sürecince organik maddeler sadece belli oranda parçalanır ve ardı sıra gelecek bir biyolojik arıtım gerektirebilir. Aksine elektrokimyasal dönüşümün son ürünleri CO_2 ve su tam bir arıtımın olduğunun göstergesidir (Grimm *et al.* 1998). Çizelge 2.6'da elektrooksidasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar gösterilmiştir.

Çizelge 2.8. Elektrooksidasyon prosesinde meydana gelen reaksiyonlar

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

Elektrokimyasal tepkimeler elektrot-çözelti ara yüzeyinde gerçekleşen tepkimelerdir. Bu sistemlerde anotta gerçekleşen olaylara elektrooksidasyon ve katotta gerçekleşen

olaylara ise elektroredüksiyon adı verilmektedir. Anodik ve katodik olayların gerçekleşebilmesi çözelti-metal ara yüzeyinde iyon ya da moleküllerin elektrot yüzeyine adsorplanmış ve bunların elektrokimyasal tepkimeye girmesi, elektrot metalinin özelliği, ortam koşulları, sıcaklık vb. etkenlere bağlı olmaktadır. Elektrokimyasal tepkimelerin ara yüzeyinde gerçekleşen olaylarda metal, elektrot ve elektrolitin özellikleri ile uygulanan potansiyel, elektrokimyasal tepkimenin gidişini etkileyen etkenler önemlidir. Yüksek organik kirlilik içeren atıksuların arıtımında elektrokimyasal proseslerin performansını etkileyen faktörler ön arıtım, anot malzemesi, pH, akım yoğunluğu, elektrolit türü ve konsantrasyonu olarak sıralanabilir (Fil 2014).

Elektrooksidasyon prosesinden önce uygulanabilecek bir ön arıtım yöntemi bu prosesin verimini artıracaktır. Katı madde ayrımı iyi yapılmış olan bir atıksuya elektrooksidasyon uygulandığında anotların pasifizasyonu engellendiğinden aynı akım yoğunluklarında daha yüksek artıma verimleri elde etmek mümkündür. Atıksuyun içinde bulunabilecek katı maddeler ortam direncini artırarak akım yoğunluğunun verimini düşürmekte ve buna bağlı olarak verilen akım ısıya dönüşerek hem elektrik maliyetlerini artırmakta hem de arıtma verimlerini düşürmektedir (Fil 2014).

Anot malzemesi elektrooksidasyonu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Anotların katalitik aktivitesi ve korozyona karşı olan direnci elektrooksidasyonu etkileyen en önemli faktörlerdir. Yüksek organik içerikli atıksuların elektrooksidasyonunda çeşitli anot malzemeler çalışılmıştır. Üçlü Sn-Pd-Ru oksit kaplı titanyum (SPR), titanyum üzeri karışık metal oksit kaplı titanyum, titanyum üzeri rutenyum oksit kaplama (Ti/RuO₂), titanyum üzeri iridyum oksit kaplama (Ti/IrO₂), PbO₂ ile kaplı titanyum (Ti/PbO₂), grafit, SnO₂ kaplı titanyum (Ti/SnO₂), platin kaplı titanyum (Ti/Pt), bor kaplı elmas (BDD) bunlardan bazılarıdır. Çizelge 2.7'de çeşitli anot malzemelerine ait oksijen dönüşüm potansiyel değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.9. Bazı anot materyallerinin oksijen dönüşüm potansiyel değerleri

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

Ortamda oluşan elektrolitik reaksiyonları direkt olarak etkilediği için pH büyük bir öneme sahiptir. Elektrooksidasyon prosesinde hidroksil radikallerinin oluşumu için pH birinci dereceden etkilidir. Belli pH değerleri dışında hidroksil radikallerinin oluşum yüzdesi büyük oranda azalacaktır. Ayrıca proses sonucunda pH'nın değişimi de söz konusudur. Elektrooksidasyonda pH giderek düşme eğilimi göstermektedir. Giderim verimleri başlangıç pH değerlerine bağlı olduğu kadar son durumdaki pH değerlerine de bağlıdır. Bazı çalışmalarda anot malzemesi türüne göre asidik şartlarda en iyi giderim verimleri elde edilirken, bazı çalışmalarda bazik veya nötr pH değerlerinde en yüksek arıtma verimlerine ulaşılmıştır. Bu farklılıklar, muhtemelen atıksuların kompozisyonlarının karmaşık olmasından ve kullanılan farklı pH aralıklarından kaynaklanmaktadır.

Elektrokimyasal arıtmada önemli işletme şartlarından biri de akım yoğunluğudur. Çünkü akım yoğunluğu reaksiyon hızını kontrol eden en önemli parametredir. Akım yoğunluğunun optimizasyonu elektrokimyasal arıtım yöntemi için çok önemlidir. Gerekenden fazla akım yoğunluğu uygulandığında maliyet artışı oluşabilir. Ayrıca arıtım çalışmalarında akım yoğunluğu ile arıtım süresi yakından ilişkilidir. Yüksek akım yoğunluğu uygulandığında daha kısa süreli bir arıtım gerçekleşmektedir.

Elektrokimyasal arıtım proseslerinde elektrolit türü, atıksuyun iletkenliğinin artırılmasının yanında dolaylı elektrooksidasyonun hızını ve etkinliğini arttırmak içinde ilave edilir. İlave edilen elektrolitler anodik, katodik veya çözelti içerisindeki gerçekleşen reaksiyonlar yardımıyla dolaylı elektrooksidasyonu artmasına yardımcı olan ara oksidantlara dönüşürler. Başlıca elektrolit türlerine ait potansiyel farkları Çizelge 2.8’de verilmiştir. Artan elektrolit konsantrasyonu oluşacak oksidant miktarını artıracığı için bir noktaya kadar elektrooksidasyonun etkinliğini artırmaktadır.

Çizelge 2.10. Bazı kimyasal oksidant türlerine ait oluşma potansiyel değerleri

Oksidant Türleri	Oluşma Potansiyeli (V)
H ₂ O/O ₂ (Atomik Oksijen)	1,23
Cr ³⁺ /Cr ₂ O ₇ ²⁻ (Dikromat)	1,23
Cl ⁻ /Cl ₂ (Klor)	1,36
Cl ⁻ /HOCl (Hipokloröz asit)	1,47
Ag ⁺ /Ag ²⁺ (Gümüş (II) iyonu)	1,50
Cl ⁻ /ClO ₂ ⁻ (Klordioksit)	1,57
H ₂ O/H ₂ O ₂ (Hidrojen peroksit)	1,77
SO ₄ ²⁻ /S ₂ O ₈ ²⁻ (Peroksiadisülfat)	2,01
O ₂ /O ₃ (Ozon)	2,07
H ₂ O/·OH (Hidroksil radikali)	2,80

Diğer bütün sistemlerde olduğu gibi elektrooksidasyon sisteminde bir takım avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Çizelge 2.9’da elektrooksidasyon prosesinin olumlu ve olumsuz yönleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.11. Elektrooksidasyon prosesinin avantaj ve dezavantajları (Van Hege 2002)

Elektrooksidasyon prosesinin avantajları

- Sadece elektronlar kullanılarak istenilen kimyasal maddeler elde edilebildiğinden, kimyasal bir reaksiyon oluşturmak için herhangi bir kimyasal madde eklemeye gerek kalmaz. Bu durum kimyasal madde depolama ve taşıma problemi ortadan kaldırır.
- Basit ekipmanlar gerektirirler, genellikle düşük sıcaklık ve basınçta çalıştırılırlar ve özellikle elektriğin ucuz olduğu yerlerde oldukça düşük maliyetlidir.
- Kolay uygulanabilmektedir ve reaksiyon istenildiği gibi kontrol edilebilmektedir ve oldukça etkin sonuçlar vermektedir.
- Geleneksel metotlarla arıtılamayan toksik kirletici içeren atıksuların arıtılması sağlanabilmektedir.

Elektrooksidasyon prosesinin dezavantajları

- Elektroliti sağlamak gerekmektedir.
 - Elektrot kirliliğinin önlenmesi gerekmektedir (Elektrotların yüzeyinde geçirimsiz tabakalar oluşabilmektedir).
 - Ucuz ve uzun ömürlü elektrota ihtiyaç duyulmaktadır.
 - Arıtılacak suyun belli bir iletkenliğe sahip olması gerekmektedir.
 - Konsantrasyon düştüğü için (kütle taşınımının sınırlı olmasından dolayı) akım verimliliği azalabilir.
-

Zeytin karasuyu atıksularının elektrooksidasyon ile arıtımında, anot yüzeyine adsorbe olmuş kirliliklerin belli derecede parçalanmasına direk anodik oksidasyon sebep olmasına rağmen (Li *et al.* 2001), atıksuda kendinden var olan veya daha sonra eklenmiş olan klorun anodik reaksiyonlar sonucu dönüştüğü hipoklorit vasıtasıyla öncelikle dolaylı elektrooksidasyon ile gerçekleştirilebilir (Chiang *et al.* 1995).

Zeytin karasuyunun elektrooksidasyon prosesi ile arıtmaya çalışıldığı birçok çalışma mevcuttur. Ön arıtım ya da ek bir arıtım uygulanmadan elektrooksidasyon prosesi ile zeytin karasuyunun arıtmaya çalışıldığı bir çalışmada farklı akım yoğunlukları, NaCl konsantrasyonları, zeytin karasuyunun döngü oranı ve sıcaklık değişimlerinin zeytin karasuyundan KOİ, yağ-gres, fenol ve bulanıklılık giderimleri üzerine etkileri incelenmiş, 41 000 mg/L olan giriş KOİ değeri 167 mg/L'ye kadar düştüğü belirlenmiştir. 135 mA/cm² akım yoğunluğu, 2M NaCl konsantrasyonu, 7,9 cm³/s döngü oranı, 40°C sıcaklıkta ve 7 sa'lik elektroliz süresi sonunda %99,6 oranındaki KOİ gideriminin yanı sıra %100 oranında fenol, %99,85 oranında bulanıklılık, %99,54 oranında yağ-gres giderimi sağlanmıştır (Un *et al.* 2008).

Zeytin karasuyunun bor kaplı elmas kullanılarak arıtmaya çalışıldığı bir elektrooksidasyon prosesinde 500 mg/L konsantrasyonunda H₂O₂ varlığında giriş KOİ konsantrasyonu (1 000-5 000 mg/L), arıtım süresi (1-7 sa), akım (10-20 A) ve giriş pH'sı (4-6) gibi değişkenlerin giderim verimleri üzerine etkileri incelenmiştir. KOİ, fenol ve giderim verimlerindeki değişimlerin takip edildiği çalışmada ilk olarak 20 A'de 15 sa'lik deney süresi sonunda 40 000 mg/L giriş KOİ değeri için giderim verimi KOİ için %19 ve TF için %36 olarak bulunmuştur. Başlangıç pH değeri 4,5 ve 20 A akım varlığında 5 000 mg/L giriş konsantrasyonu için 7 sa'lik elektroliz süresi sonunda KOİ, TF ve renk giderim verimleri ise sırasıyla %38, %50 ve %68 olarak belirlenmiştir (Chatzisyneon *et al.* 2009).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kimyasal maddeler

Çalışmada kullanılan bütün kimyasal maddeler ticari olarak (Merck ve Sigma) temin edilmiştir.

3.1.2. Zeytin karasuyu

Çalışmada kullanılan zeytin karasuyu Balıkesir İli Edremit İlçesi'nde bulunan zeytinyağı işleme fabrikalarından temin edilmiş olup karakterizasyonu Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Zeytin karasuyunun özellikleri

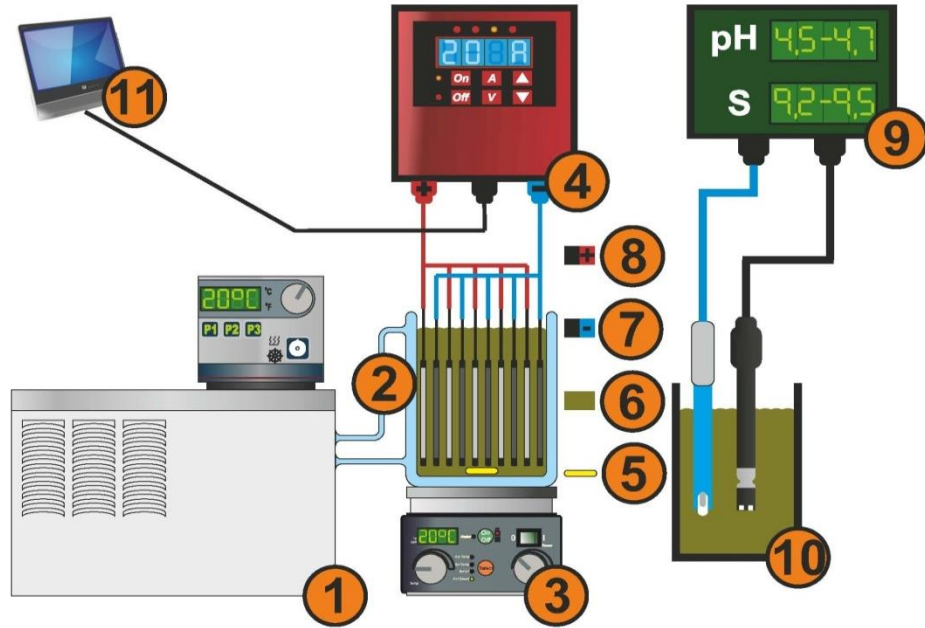
Parametre	Değer
KOİ (Kimyasal oksijen ihtiyacı) (mg/L)	46 000-54 000
TK (Toplam karbon) (mg/L)	1 6000-17 000
TOK (Toplam organik karbon) (mg/L)	13 000-15 000
TN (Toplam azot) (mg/L)	410-520
TF (Toplam fenol) (mg/L)	3 100-3 600
Renk (Pt/Co)	13 400-15250
Bulanıklık (NTU)	530-620
İletkenlik (mS/cm)	9,24-9,47
pH	4,5-4,7

3.1.3. Deney sistemi

Bu çalışmada elektrooksidasyon prosesi ile zeytin karasuyundan KOİ, TK, TOK, TN, TF, bulanıklılık ve renk giderimini araştırmak için sırasıyla zaman, karıştırma hızı, seyreltme faktörü, pH, destek elektrolit türü, destek elektrolit konsantrasyonu, akım yoğunluğu ve sıcaklık parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Zeytin karasuyunun elektrooksidasyon prosesi ile arıtımı için kullanılan elektrolitik hücre 10 cm iç çap ve 16 cm derinliğe sahip ısı ceketli reaktör camdan yapılmıştır. Anot materyali olarak Ti/Pt ve Ti/IrO₂/RuO₂ elek plakalar, katot materyali olarak Ti elek plakalar kullanılmıştır. Plakaların toplam yüzey alanı yaklaşık 2600 cm² olarak hesaplanmıştır. Ohmik kayıpları engellemek için plakalar arası mesafe 3 mm olarak seçilmiş ve toplam 5 anot ve 5 katot olmak üzere 10 plaka ile çalışılmıştır. Bütün deneylerde kullanılan gerçek atıksuyun hacmi 800 ml olup deneysel çalışmalarda kullanılan anot ve katotlar birbirlerine paralel olacak şekilde konumlandırılmış, elektrotların özellikleri izelge 2’de verilmiştir. Doğru akım güç kaynağı (Quassar 150 Switch Mode) kullanılarak sisteme elektrik sağlanmış ve manyetik karıştırıcı yardımıyla çözelti sürekli karıştırılmıştır. Deneysel düzenek şekil 3.1’de ve şekil 3.2’de verilmiştir.



şekil 3.1. Deneysel düzenek



Şekil 3.2. Deneysel düzenek

*1-Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü, 2-Isı ceketli reaktör, 3-Magnetik karıştırıcı, 4-Doğru akım güç kaynağı, 5-Magnet, 6-Atıksu, 7- Katot (Ti), 8-Anot (Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt), 9-Multiparametre ölçer (pH ve İletkenlik), 10-Numune kabı, 11-Kontrol paneli

3.1.4. Deney şartları ve çalışma aralıkları

Zeytin karasuyu atıksularının elektrooksidasyon yöntemi ile arıtılabilirlik çalışmaları Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılarak zaman, karıştırma hızı, seyreltme oranı, atıksu başlangıç pH değeri, destek elektrolit türü, destek elektrolit konsantrasyonu, akım yoğunluğu ve sıcaklık gibi parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney şartları ve çalışma aralıkları Ti/Pt ve Ti/IrO₂/RuO₂ için sırasıyla Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Ti/IrO₂/RuO₂ elektrot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde, prosese etki eden parametrelerin çalışma aralıkları ve sabit tutulan değişkenler

Parametre	Parametre aralığı	Sabit tutulan değişkenler
Zaman (sa)	24	pH= 4,6, J= 7,69
Karıştırma hızı (rpm)	0, 200, 300, 400, 600	pH= 4,6, J= 7,69
Seyreltme oranı	1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5 (Ham)	pH= 4,6, J= 7,69, KH= 0
pH	2, 4, 4,6 (Doğal), 6, 8	J= 7,69, KH= 0, SO= 1/5
Destek elektrolit türü	Na ₂ SO ₄ , NaNO ₃ , NaCl, KCl	pH= 4,6, J= 7,69, KH= 0 SO= 1/5
Destek elektrolit konsantrasyonu (M)	0,25, 0,5, 0,75, 1, 1,25	pH= 4,6, J= 7,69, KH= 0 SO= 1/5, DET= NaCl
Akım yoğunluğu (mA/cm ²)	2,5, 5, 7,69, 10, 15	pH= 4,6, KH= 0, SO= 1/5 DET= NaCl, DEK= 0,5
Sıcaklık (°C)	10, 20, 30, 40, 50	pH=4,6, J=7,69, KH= 0, SO=1/5 DET= NaCl, DEK= 0,5

Çizelge 3.3. Ti/Pt elektrot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde, prosese etki eden parametrelerin çalışma aralıkları ve sabit tutulan değişkenler

Parametre	Parametre aralığı	Sabit tutulan değişkenler
Zaman (sa)	24 sa	pH= 4,6, J= 7,69
Karıştırma hızı (rpm)	0, 200, 300, 400, 600	pH= 4,6, J= 7,69
Seyreltme oranı	1/5, 2/5, 3/5, 4/5, Ham	pH= 4,6, J= 7,69, KH= 0
pH	2, 4, 4,6 (Doğal), 6, 8	J= 7,69, KH= 0, SO= 1/5
Destek elektrolit türü	NaCl, KCl, NaNO ₃ , Na ₂ SO ₄	pH= 4,6, J= 7,69, KH= 0 SO= 1/5
Destek elektrolit konsantrasyonu (M)	0,25, 0,5, 0,75, 1, 1,25	pH= 4,6, J= 7,69, KH= 0 SO= 1/5 DET= NaCl
Akım yoğunluğu (mA/cm ²)	2,5, 5, 7,69, 10, 15	pH= 4,6, KH= 0, SO= 1/5 DET= NaCl, DEK= 0,25
Sıcaklık (°C)	10, 20, 30, 40, 50	pH= 4,6, J= 7,69, KH= 0 SO=1/5 DET=NaCl, DEK=0,25

3.2. Yöntem

3.2.1. KOİ konsantrasyonlarının belirlenmesi

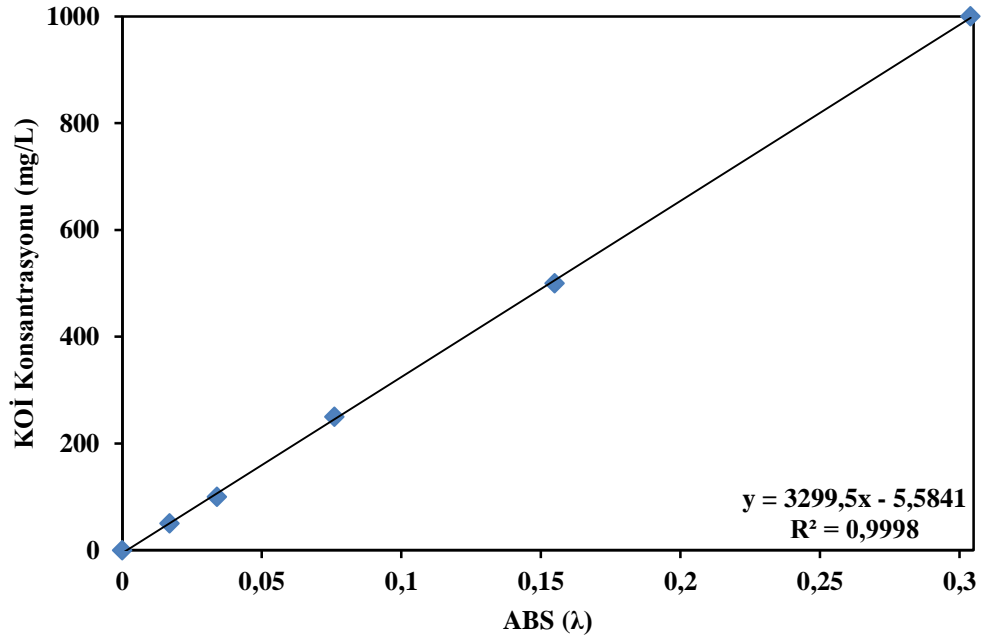
Sıklıkla doğal ve atıksularda kirliliğin bir ölçüsü olarak kullanılmakta olan KOİ için analizler standart metotlarda belirtilen kapalı sistem yöntemine göre yapılmıştır (Anonymous 1999). Analizler için Çizelge 3.4'te hazırlanışı verilen çözeltiler kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. KOİ analizleri için kullanılan çözeltilerin hazırlanması

Potasyum hidrojen fitalat (KHP)	105°C'de kurutulan 850 mg potasyum hidrojen fitalat saf su ile 1 L'ye tamamlanmış ve çözelti hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan bu stok çözelti standart kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılmıştır.
Parçalama çözeltisi	2 sa süresince 105°C'de etüvde tutulan 10,216 gr $K_2Cr_2O_7$, 500 ml saf su içerisinde çözülmüş, daha sonra sırasıyla 167 mL derişik H_2SO_4 ve 33 gr $HgSO_4$ ilave edilmiştir. Elde edilen bu çözelti saf su ile bir litreye tamamlanmış ve çözelti hazır hale getirilmiştir.
Asit çözeltisi	5,5 gr Ag_2SO_4/kg H_2SO_4 olacak şekilde Ag_2SO_4 , 1 L derişik H_2SO_4 içerisinde çözümlenerek 1 gün beklenmiş ve çözelti hazır hale getirilmiştir.

Kalibrasyon eğrisini hazırlamak için model kirlenici olarak 850 mg/L konsantrasyonunda KHP çözeltisi (1 000 mg KOİ/L) kullanılarak seri çözeltiler oluşturulmuş, daha sonra 1,5 mL örnek alınarak borosilikat tüplere konulmuştur. Üzerine 1 mL parçalama çözeltisi, 2 mL asit çözeltisi ilave edildikten sonra 148°C'de bir termoreaktörde (WTW CR 4200) 2 saat kaynatılmış ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 600 nm dalga boyunda spektrofotometre (WTW 6600) yardımıyla absorbans değerleri okunarak Şekil 3.3'te verilen standart KOİ eğrisi oluşturulmuştur.

Deneyle süresince zamanla alınan örneklerde 10 dk boyunca 8 000 rpm hızla santrifüjlenerek gerekli seyreltmeler yapılmış ve standart KOİ eğrisi kullanılarak konsantrasyonları belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Analizlerde kullanılan standart KOİ eğrisi

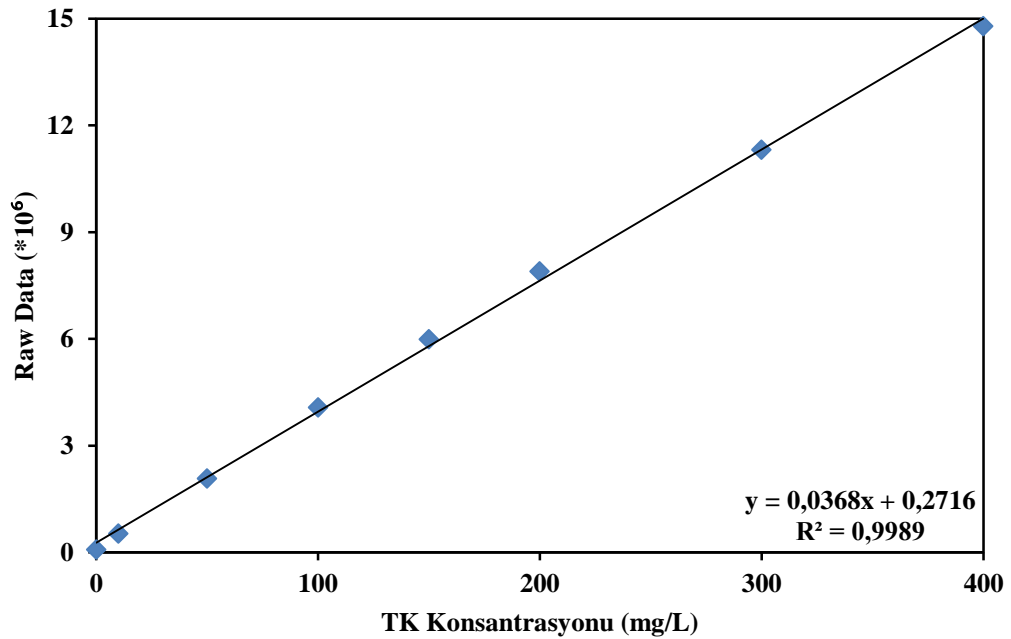
3.2.2. Toplam karbon (TK) ve toplam organik karbon (TOK) analizleri

TK ve TOK analizleri Teldyne-Tekmar Apollo 9000 TOC-TN analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizler için Çizelge 3.4'te hazırlanmış verilen stok organik karbon çözeltisi ve fosforik asit çözeltisi kullanılmıştır.

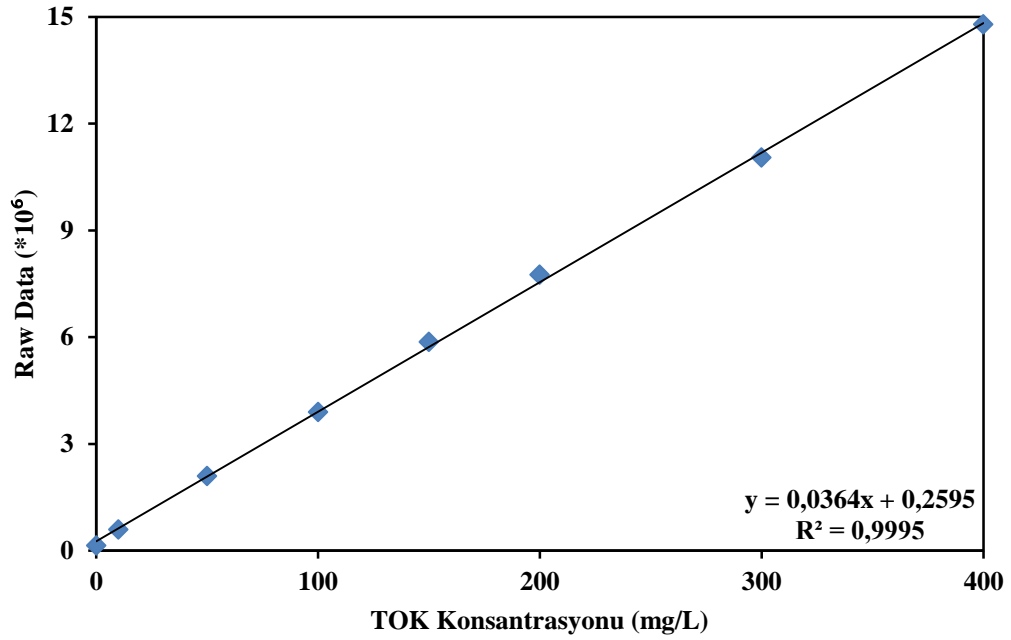
Çizelge 3.5. Stok organik karbon çözeltisi ve fosforik asit çözeltisinin hazırlanması

Stok organik karbon çözeltisi	Stok organik karbon çözeltisini hazırlamak için hassas terazi kullanılarak 2,1254 gr susuz potasyum biftalat tartılmış ve 1 L saf suda çözülerek hazırlanmıştır. Hazırlanan bu stok çözelti standart kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılmıştır.
Fosforik asit çözeltisi	%21'lik fosforik asit çözeltisi; 50 mL %85'lik fosforik asit, saf su ile 200 mL'ye tamamlanarak hazırlanmıştır.

Kalibrasyon eğrisini hazırlamak için model kirletici olarak 1 000 mg/L konsantrasyonunda $C_8H_5KO_4$ (susuz potasyum hidrojen fitalat) kullanılarak 10-400 ppm aralığında seri çözeltiler oluşturulmuş, daha sonra bu seri çözeltiler kullanılarak Teldyne-Tekmar Apollo 9000 TOC-TN analiz cihazı yardımıyla sırasıyla Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilen TK ve TOK için standart kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Teldyne-Tekmar Apollo 9000 TOC-TN analiz cihazı TK ölçümleri için herhangi bir sıyırma işlemi yapmazken, TOK ölçümlerini yapmadan önce sıyırma işlemi yaparak inorganik karbonun uzaklaştırılmasına olanak tanımaktadır. Denemeler süresince zamanla alınan numunelerde de TK ve TOK ölçümleri yapılmadan önce santrifüj cihazı kullanılarak 10 dk boyunca 8 000 rpm hızla santrifüj işlemi uygulanmış, mevcut katı madde numune içeriğinden uzaklaştırılmıştır. Daha sonra gerekli seyreltmeleri yapılan numunelerin ölçümleri hazırlanmış olan standart TK ve TOK eğrileri kullanılarak konsantrasyonları belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Analizlerde kullanılan standart TK eğrisi



Şekil 3.5. Analizlerde kullanılan standart TOK eğrisi

3.2.3. Toplam azot (TN) tayini

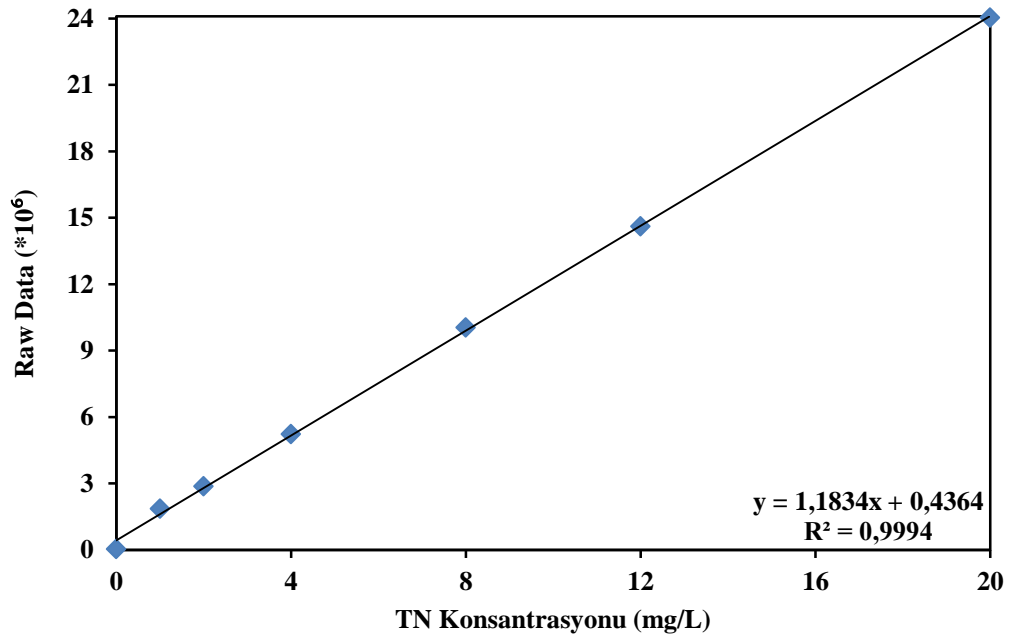
TN analizleri de TK ve TOK analizlerinde olduğu gibi Teldyne-Tekmar Apollo 9000 TOC-TN analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizler için Çizelge 3.4'te hazırlanışı verilen çözeltiler kullanılmıştır.

Çizelge 3.6. TN analizleri için kullanılan çözeltilerin hazırlanması

Stok azot çözeltisi	0,72 gr potasyum nitrat (KNO_3) bir miktar saf suda çözülmüş ve daha sonra yine saf su kullanılarak 1 L'ye tamamlanmıştır. Hazır hale gelen bu stok çözelti standart kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılmıştır.
Fosforik asit çözeltisi	%21'lik fosforik asit çözeltisi; 50 mL %85'lik fosforik asit, saf su ile 200 mL'ye tamamlanarak hazırlanmıştır.

Kalibrasyon eğrisini hazırlamak için 100 mg/L konsantrasyonunda KNO_3 kullanılarak 1-20 mg/L aralığındaki konsantrasyonlarda seri çözeltiler hazırlanmış, daha sonra

hazırlanan bu çözeltiler kullanılarak Teldyne-Tekmar Apollo 9000 TOC-TN cihazı yardımıyla Şekil 3.6'da verilen standart eğri oluşturulmuştur. Deneyler süresince zamanla alınan örneklerde santrifüj cihazı kullanılarak 10 dk boyunca 8 000 rpm hızla santrifüjlenmiş ve numune içeriğinden katı madde içeriği uzaklaştırılmıştır. Daha sonra gerekli seyreltmeleri yapılan numunelerin standart TN eğrileri kullanılarak konsantrasyonları belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Analizlerde kullanılan standart TN eğrisi

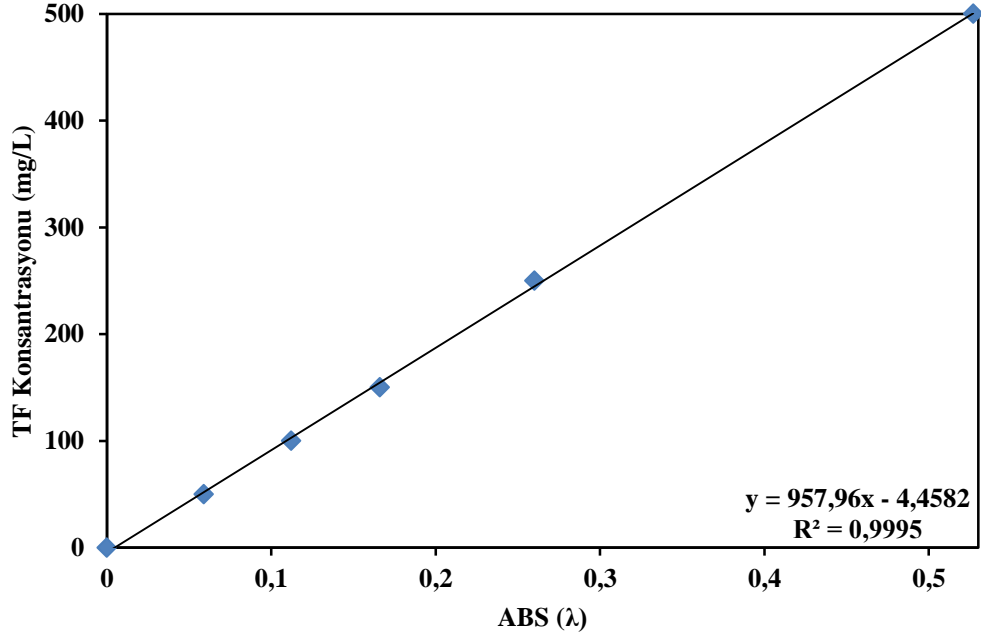
3.2.4. Toplam fenol (TF) tayini

Toplam fenol konsantrasyonlarını belirlemek için spektrofotometrik bir yöntem olan Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılmıştır (Obanda and Owuor 1997). Folin-Ciocalteu yöntemi ile TF konsantrasyonlarını belirlemek için Çizelge 3.5'te hazırlanışı verilen çözeltiler kullanılmıştır.

Çizelge 3.7. TF analizleri için kullanılan çözeltilerin hazırlanması

Stok gallik asit çözeltisi	Stok gallik asit çözeltisini hazırlamak için ilk olarak 0,5 gr ağırlığındaki gallik asitin 10 ml etanol içerisinde çözünmesi sağlanır. Daha sonra bu çözeltinin üzerine 100 ml'ye kadar saf su ilave edilerek çözelti hazır hale getirilmiş olur. Hazırlanan bu stok çözelti standart kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılmıştır.
Folin Ciocalteu reaktifi	Ticari olarak temin edilmiştir.
Sodyum karbonat çözeltisi	200 gr susuz sodyum karbonat 800 ml saf su içinde çözülüp, kaynama noktasına çıkana kadar ısıtılmıştır. Soğuduktan sonra 3-4 gr kadar susuz sodyum karbonat kristali eklenmiş ve 24 sa beklenmiştir. Daha sonra çözelti adi filtre kağıdı ile süzülmüş ve saf su ile 1 L'ye tamamlanarak hazır hale getirilmiştir.

5 gr/L konsantrasyonunda hazırlanan stok gallik asit kullanılarak 50-500 mg/L aralığındaki konsantrasyonlarda seri çözeltiler hazırlanmış ve daha sonra bu seri çözeltilerden 50 µL örnek alınarak borosilikat tüplere konulmuştur. Üzerine 3,95 ml saf su, 0,25 ml folin reaktifi ilave edilerek şişelerin ağzı sıkıca kapatılmış ve vorteksle iyice karıştırılması sağlanmıştır. Numuneler 0,5-8 dk arasında bekletildikten sonra da hazırlanmış olan sodyum karbonat çözeltisinden 0,75 ml ilave edilmiştir ve tekrar vorteksle karıştırılmıştır. Bütün bu işlemlerin sonunda hazırlanmış olan bu numuneler 2 saat 20°C'de bekletildikten sonra spektrofotometre (WTW 6600) yardımıyla 765 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunarak Şekil 3.7'de verilen standart TF eğrisi oluşturulmuştur. Kalibrasyon eğrisi hazırlandıktan sonra deneyler süresince zamanla alınan numuneler için 10 dk boyunca 8 000 rpm hızda santrifüj işlemi uygulanmış ve katı madde içeriğinin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Santrifüj işleminden geçirilen numuneler için gerekli seyreltme işlemleri yapılmış ve Folin-Ciocalteu yöntemi için anlatılan prosedür uygulanmıştır. Son olarak standart TF eğrisi kullanılarak toplam fenol konsantrasyonları belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Analizlerde kullanılan standart TF eğrisi

3.2.5. Diğer ölçümler

KOİ, TK, TOK, TN ve TF dışında zamanla alınan numuneler içerisinde renk ve bulanıklılık analizleri takip edilmiştir. Renk tayini belirlenirken spektrofotometrik ölçüm yöntemlerinden faydalanılmıştır. WTW 6600 markalı spektrofotometre kullanılarak yapılan renk ölçümleri için Pt/Co yöntemi tercih edilmiş ve ölçümler bu yöntemle göre spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir (Sahinkaya *et al.* 2008). Zamanla alınan numunelerin bulanıklılık değerleri ise WTW Turb 555IR markalı türbidimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Bhatia *et al.* 2006).

Elektrooksidasyon prosesi kullanılarak zeytin karasuyunun arıtmaya çalışıldığı denemelerin tamamında çıkış suyu değerlerinin belirlenmesinin yanı sıra zeytin karasuyunun pH, iletkenlik, sıcaklık, volt ve akım yoğunluğu değişimleri de sürekli takip edilmiştir. Zamanla alınan numunelerin pH ve iletkenlik değerleri multiparametre ölçer (WTW Multiline P4) kullanılarak belirlenmiştir. Sıcaklık değişimlerini deney süresince takip edebilmek amacıyla multiparametre ölçer (WTW Multiline P4) ve manyetik karıştırıcıya (Heidolph MR 3004 safety) bağlı sıcaklık probu paralel olarak

kullanılmıştır. Bunun yanı sıra sabit akım verilen sistemde voltaj değişimleri ayarlanabilir güç kaynağı (Quassar 150 Switch Mode) kullanılarak sürekli olarak takip edilmiştir.

3.3. Deneysel Verilerin Hesaplanması İçin Kullanılan Eşitlikler

3.3.1. Giderim (arıtma) veriminin hesaplanması

$$\text{Giderim kesri, } X_0 = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \quad (3.1)$$

Burada, C_0 başlangıçta atıksudaki kirletici konsantrasyonunu (mg/L), C_e ise t anında atıksuda kalan kirletici konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.

3.3.2. Akım yoğunluğunun hesaplanması

$$J = \frac{I}{A} \quad (3.2)$$

Burada, J akım yoğunluğunu (mA/cm²), I uygulanan akım şiddetini (amper), A aktif elektrot yüzey alanını (cm²) göstermektedir.

3.3.3. Enerji tüketiminin hesaplanması

$$W = \frac{V \cdot I \cdot t}{v} \quad (3.3)$$

Burada, W enerji tüketim değerini (kW.sa/m³), I uygulanan akım şiddetini (A), V sistemde oluşan potansiyel farkı (V), t zamanı (sa) ve v reaktördeki toplam çözelti hacmini (m³) göstermektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

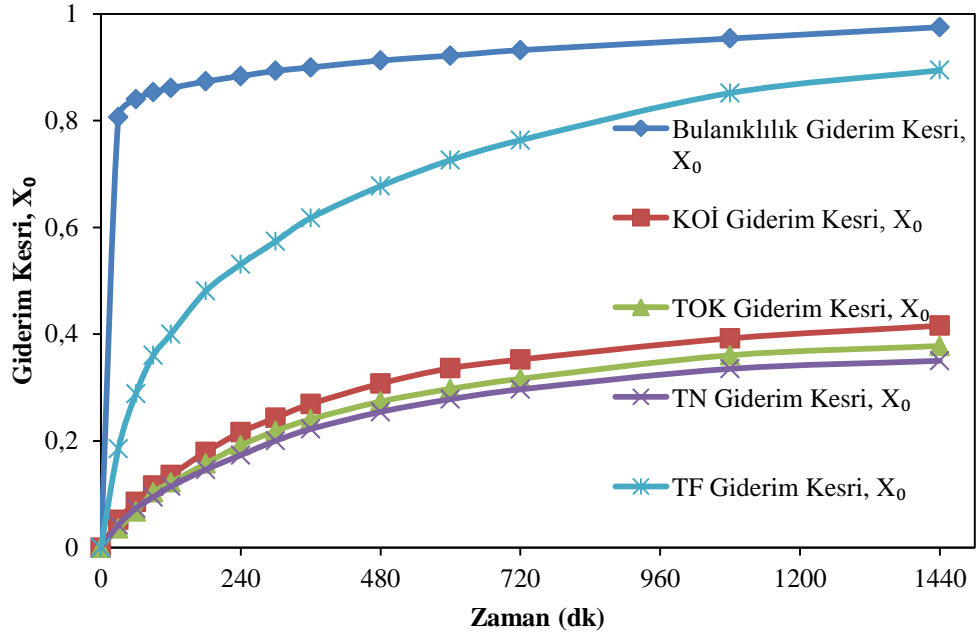
4.1. Zamanın Etkisi

Zamanın etkisi incelendiği çalışmalarda Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için ayrı ayrı giderim kesirleri için değişimler incelenmiş, numune alma zamanları dışında herhangi bir müdahale yapılmamıştır. 5 sa ve 24 sa sonunda her iki plaka için elde edilen veriler ve çalışma şartları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak yapılan denemelerde sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler

Ti/IrO₂/RuO₂					
Zaman	KOİ (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Bulanıklılık (X₀)
5 sa	0,24	0,22	0,20	0,57	0,89
24 sa	0,42	0,38	0,35	0,89	0,98
*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 300 rpm					
Ti/Pt					
Zaman	KOİ (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Bulanıklılık (X₀)
5 sa	0,25	0,17	0,21	0,69	-0,10
24 sa	0,86	0,79	0,38	1,00	0,86
*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 300 rpm					

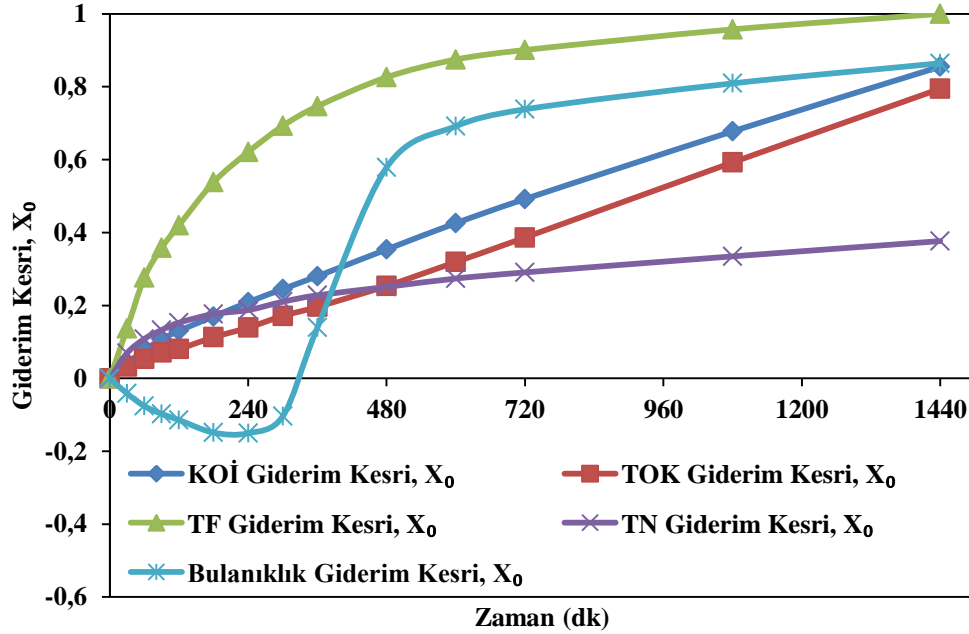
Ti/IrO₂/RuO₂ plaka kullanılarak 24 saatlik süre sonunda 7,69 mA/cm² akım yoğunluğunda, atıksuyun doğal pH değerinde (4,5–4,7) ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C’ye ayarlanarak yapılan denemelerde atıksu içeriğinin zamanla değişimi incelenmiştir. Zamana karşı alınan numunelerden uygun miktarlarda seyreltmeler yapılarak KOİ, TOK, TN, TF ve bulanıklılık analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Ti/IrO₂/RuO₂ plaka kullanılarak yapılan denemelerde giderim kesirlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de görüleceği üzere 24 sa’lik deneme süresinin sonunda KOİ, TOK, TN, TF ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,42, 0,38, 0,35, 0,89 ve 0,98 olarak gerçekleşmiş olup bu değerler ilk 5 sa’lik süre sonunda ise sırasıyla 0,24, 0,22, 0,20, 0,57 ve 0,89 olarak belirlenmiştir. KOİ giderim kesirleri incelendiğinde ilk 5 sa sonunda toplam giderim kesrinin %50’den fazlası giderilmiştir. Enerji sarfiyatlarını minimum düzeyde tutmak için Ti/IrO₂/RuO₂ plaka kullanılarak yapılan diğer bütün denemelerde elektroliz süresinin 5 sa olmasına karar verilmiştir.

Ti/Pt plaka kullanılarak yapılan denemelerde ise 24 sa’lik süre sonunda 7,69 mA/cm² akım yoğunluğunda atıksuyun doğal pH değerinde (4,5–4,7) ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C’ye ayarlanarak yapılan denemelerde atıksu içeriğinin zamanla değişimi incelenmiştir. Zamana karşı alınan numunelerden uygun miktarlarda seyreltmeler yapılarak KOİ, TOK, TN, TF ve bulanıklılık analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Ti/Pt plaka kullanılarak yapılan denemelerde giderim kesirlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.2’de görüleceği üzere 24 sa’lik deneme süresinin sonunda KOİ, TOK, TN, TF ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,86, 0,79, 0,38, 1,00 ve 0,86 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler ilk 5 sa’lik süre sonunda ise bulanıklılık değeri hariç sırasıyla 0,25, 0,17, 0,21 ve 0,69 olarak belirlenmiş, bulanıklılık giderim kesri ise negatif değerlerde (-0,11) kalmıştır. Şekil 4.2’de verilen grafik ve enerji sarfiyatları düşünüldüğünde yapılacak bütün denemelerde Ti/IrO₂/RuO₂ plaka kullanılarak yapılan denemelerde olduğu gibi Ti/Pt kullanılan denemelerde de elektroliz süresinin 5 sa olmasına karar verilmiştir.

4.2. Karıştırma Hızının Etkisi

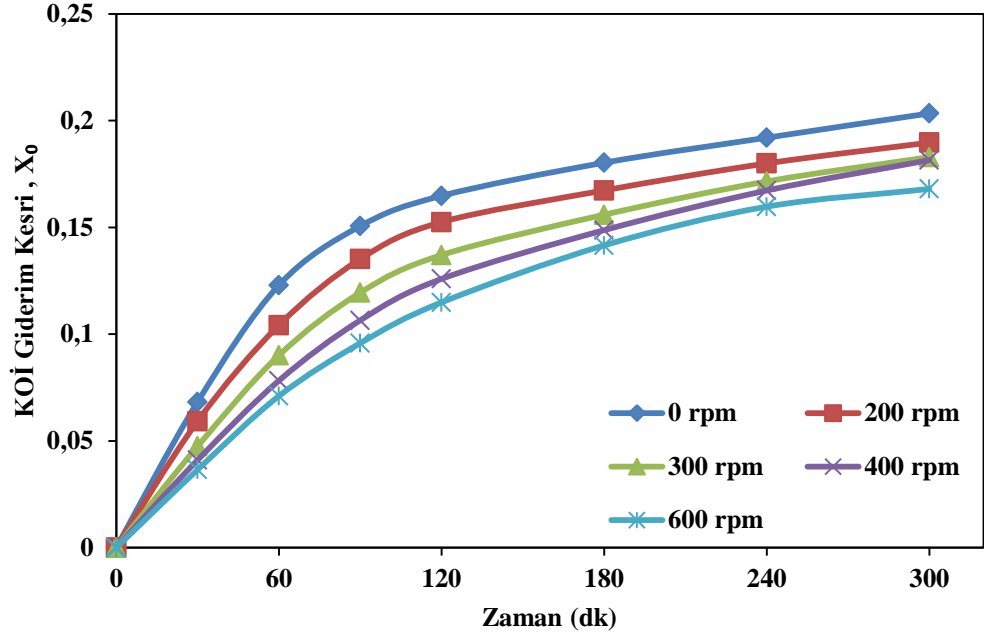
Karıştırma hızının etkisi incelenirken atıksu manyetik karıştırıcı yardımıyla deney süresince sürekli karıştırılmıştır. 7,69 mA/cm² akım yoğunluğunda atıksuyun doğal pH değerinde (4,5–4,7) ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C’ye ayarlanarak yapılan denemelerde karıştırma hızları 0, 200, 300, 400 ve 600 rpm olarak seçilmiş, Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için ayrı ayrı giderim kesirleri üzerine etkileri

incelenmiştir. Zamana karşı alınan numunelerden uygun miktarda seyreltmeler yapılmış ve KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık analizleri yapılmıştır. Her iki plaka için elde edilen sonuçlar ve çalışma şartları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

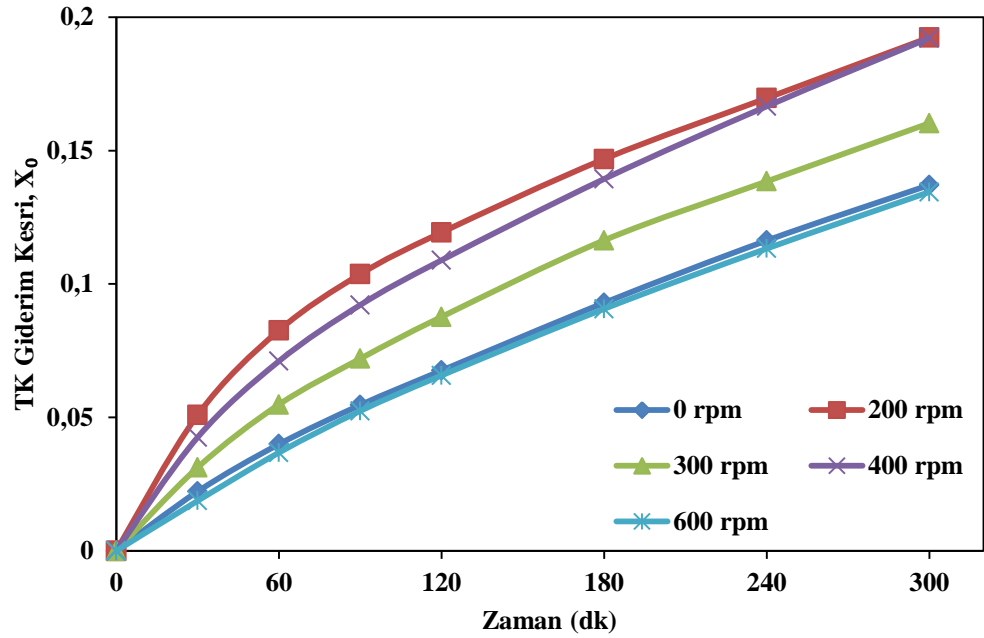
Çizelge 4.2. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak karıştırma hızının etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler

Ti/IrO₂/RuO₂							
Karıştırma Hızı (rpm)	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
0	0,20	0,14	0,12	0,22	0,40	0,60	0,96
200	0,19	0,19	0,17	0,26	0,35	0,62	0,95
300	0,18	0,16	0,20	0,24	0,51	0,59	0,93
400	0,18	0,19	0,13	0,24	0,46	0,62	0,93
600	0,17	0,13	0,12	0,24	0,44	0,62	0,88
*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C							
Ti/Pt							
Karıştırma Hızı (rpm)	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
0	0,23	0,16	0,11	0,19	0,63	0,39	-0,08
200	0,24	0,16	0,11	0,16	0,72	0,40	-0,19
300	0,24	0,16	0,10	0,18	0,72	0,40	-0,22
400	0,25	0,17	0,10	0,19	0,68	0,40	-0,29
600	0,22	0,17	0,09	0,15	0,65	0,39	-0,12
*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C							

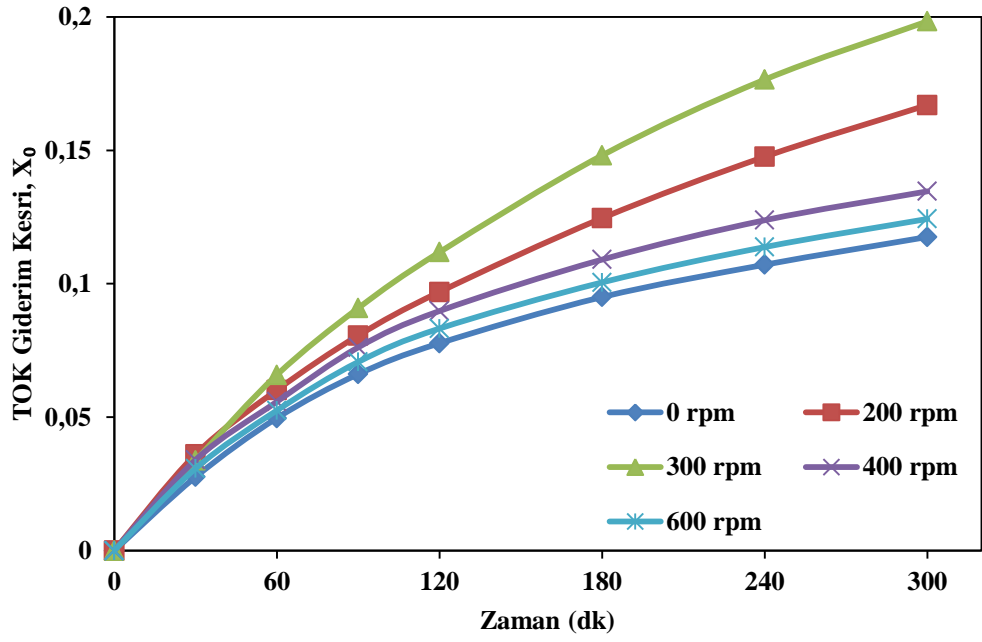
Karıştırma hızının etkisinin incelendiği çalışmalarda Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.3-4.9’da gösterilmiştir.



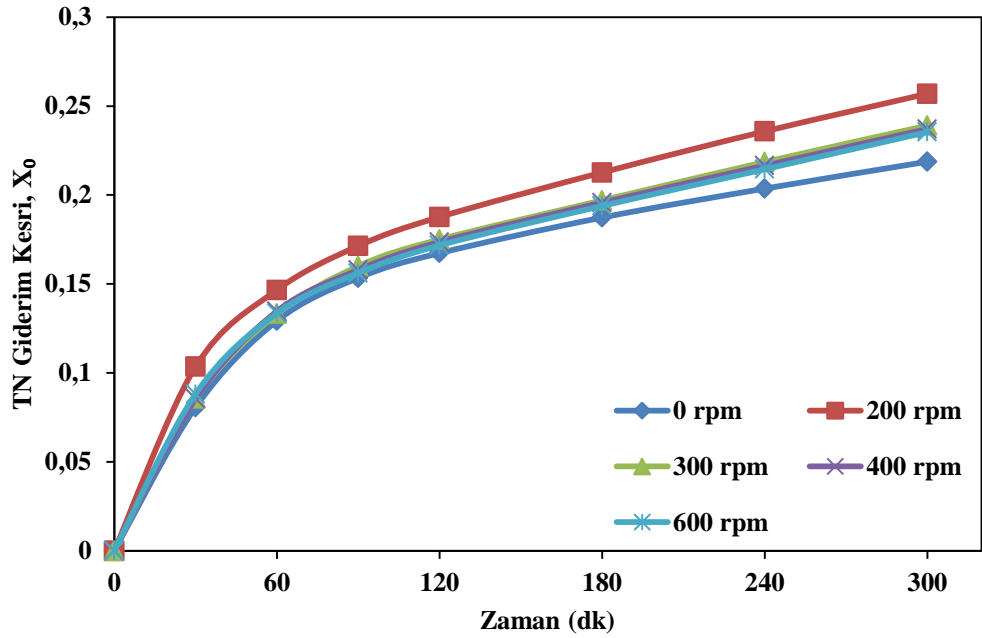
Şekil 4.3. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının KOİ giderim kesri üzerine etkisi



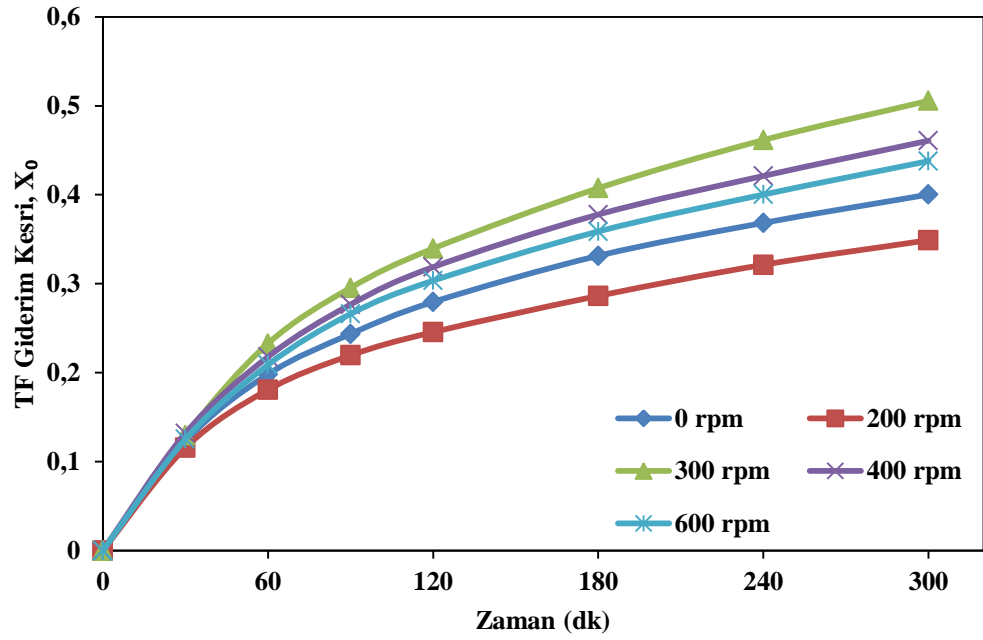
Şekil 4.4. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının TK giderim kesri üzerine etkisi



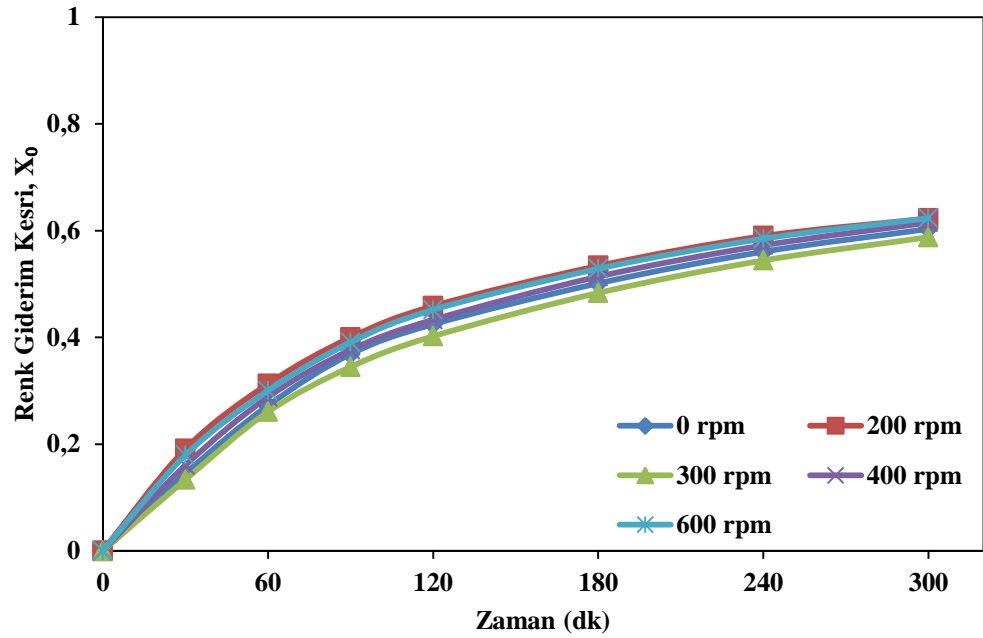
Şekil 4.5. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının TOK giderim kesri üzerine etkisi



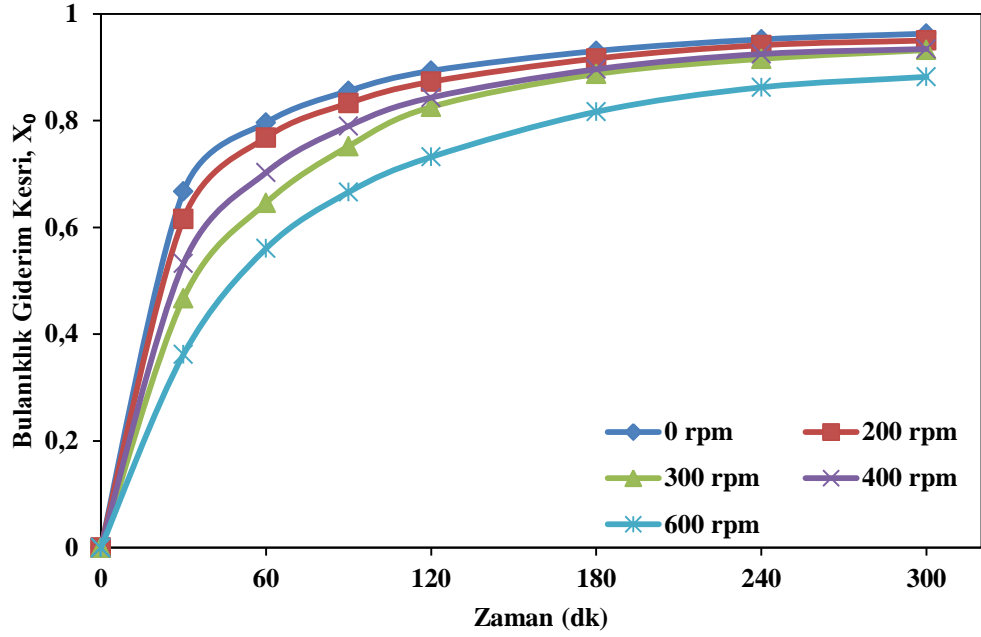
Şekil 4.6. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.7. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının TF giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.8. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının renk giderim kesri üzerine etkisi

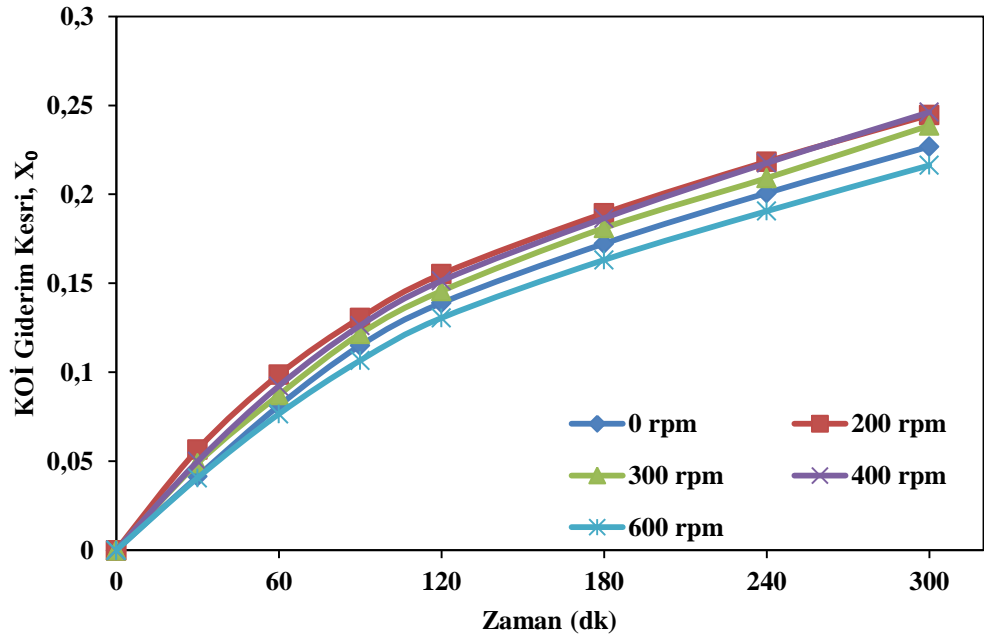


Şekil 4.9. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen karıştırma hızlarının bulanıklık giderim kesri üzerine etkisi

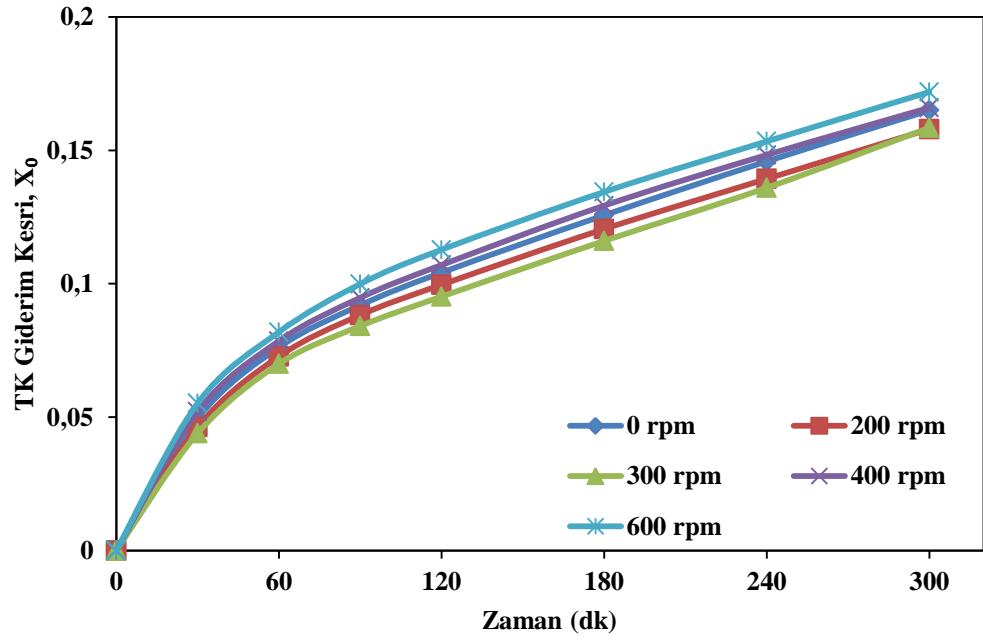
Şekil 4.3-4.9'da görüldüğü üzere Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan denemelerde karıştırma hızındaki artış giderim kesirlerini çok fazla etkilememiş hatta bir miktar azalmasına sebep olmuştur. Karıştırma hızı 0 rpm'den 300 rpm'e yükseltildiğinde KOİ giderim kesri 5 saatlik zamanın sonunda 0,20'den 0,18'e, bulanıklık giderim kesri 0,96'dan 0,93'e ve renk giderim kesri ise 0,60'dan 0,59'a kadar düşmüştür. Bunun aksine TK giderim kesri 0,14'den 0,16'ya, TOK giderim kesri 0,12'den 0,20'ye, TN giderim kesri 0,22'den 0,24'e ve TF giderim kesri 0,40'dan 0,51'e kadar yükselmiştir. Karıştırma hızı 300 rpm'den 600 rpm'e çıkarıldığında ise KOİ, TK, TOK, TF ve bulanıklık giderim kesirlerinde 0,01, 0,03, 0,08, 0,07 ve 0,05'lik azalmalar görülmüştür. TN giderim kesri değişmezken renk giderim kesrinde 0,03'lük bir artış meydana gelmiştir. Karıştırma hızının belli değere artması organik kirleticilerin anot yüzeyine difüzyonunu hızlandırmaktadır. Buda her bir parametre için giderim kesirlerinin artmasına sebep olmaktadır. Fakat aşırı artan karıştırma hızı anot yüzeyinde difüzyon etkisini azaltarak giderim kesrini düşürmektedir. Ancak giderim kesirlerindeki değişimlerin çok fazla olmadığı ve sistem maliyetlerini azaltacağı düşüncesiyle zeytin

karasuyunun arıtımı için Ti/IrO₂/RuO₂ karışık metal oksit kaplama anot kullanılan proste sonraki denemelerin 0 rpm karıştırma hızında yapılmasına karar verilmiştir.

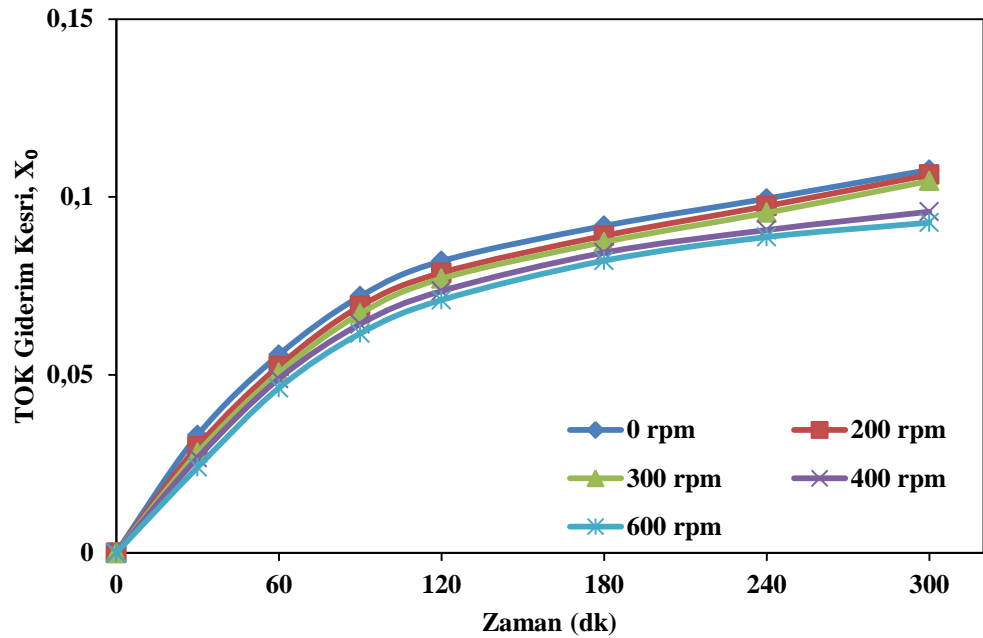
Ti/Pt anotlar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.10-4.16'da verilmiştir.



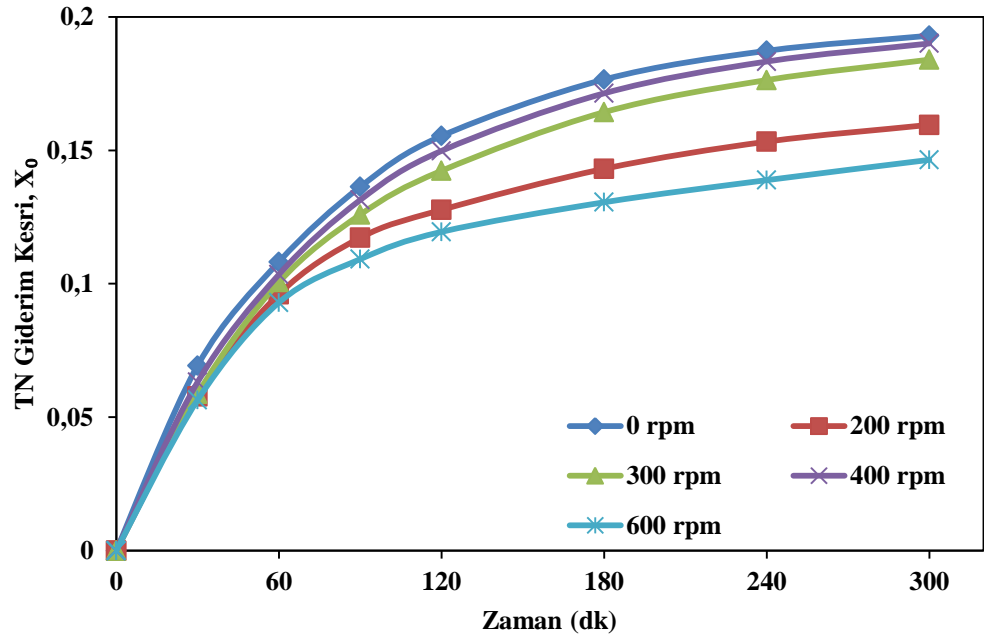
Şekil 4.10. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının KOİ giderim kesri üzerine etkisi



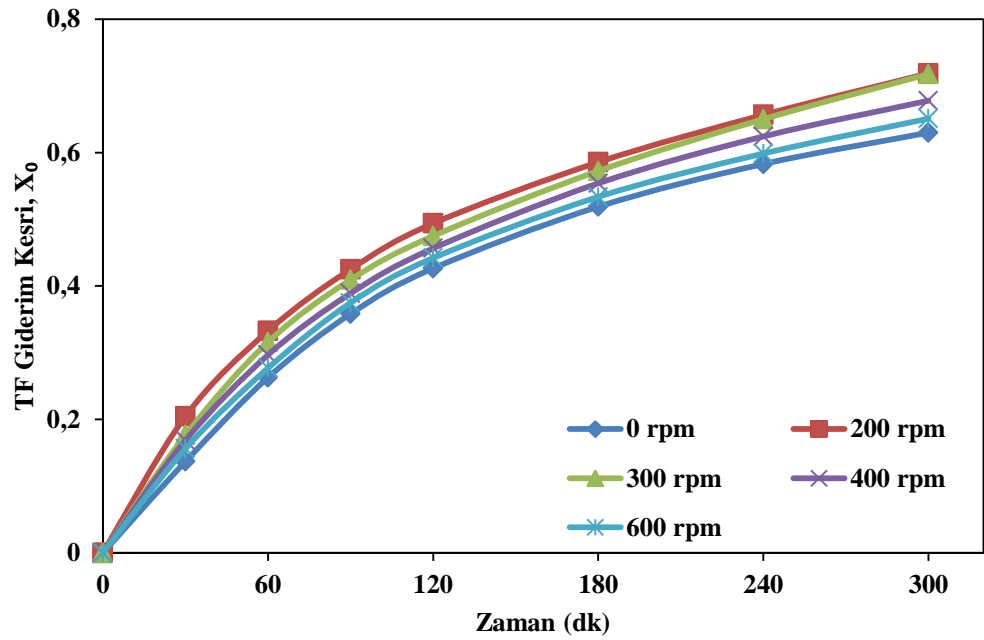
Şekil 4.11. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının TK giderim kesri üzerine etkisi



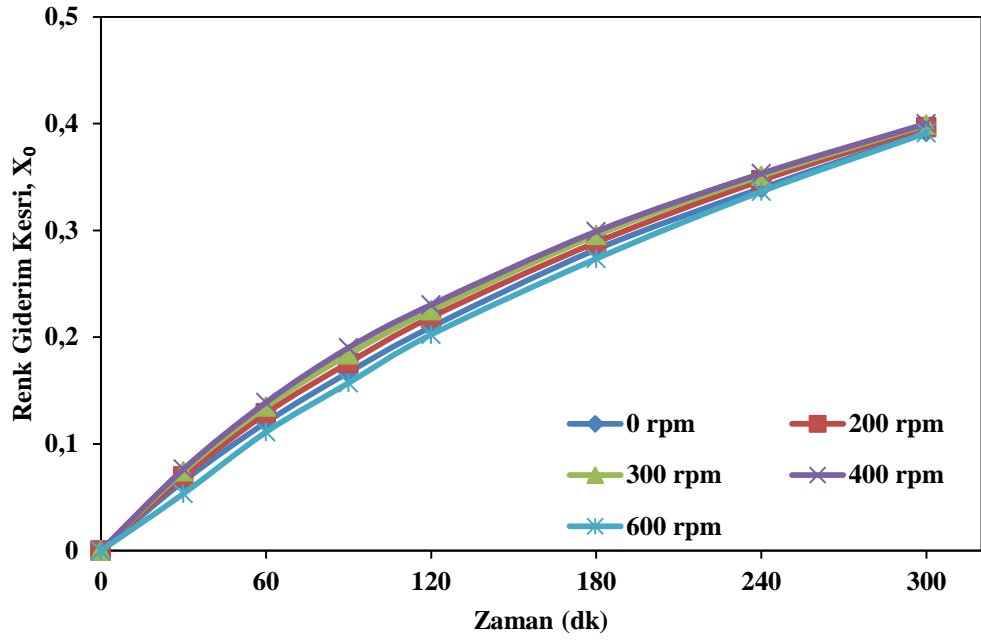
Şekil 4.12. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının TOK giderim kesri üzerine etkisi



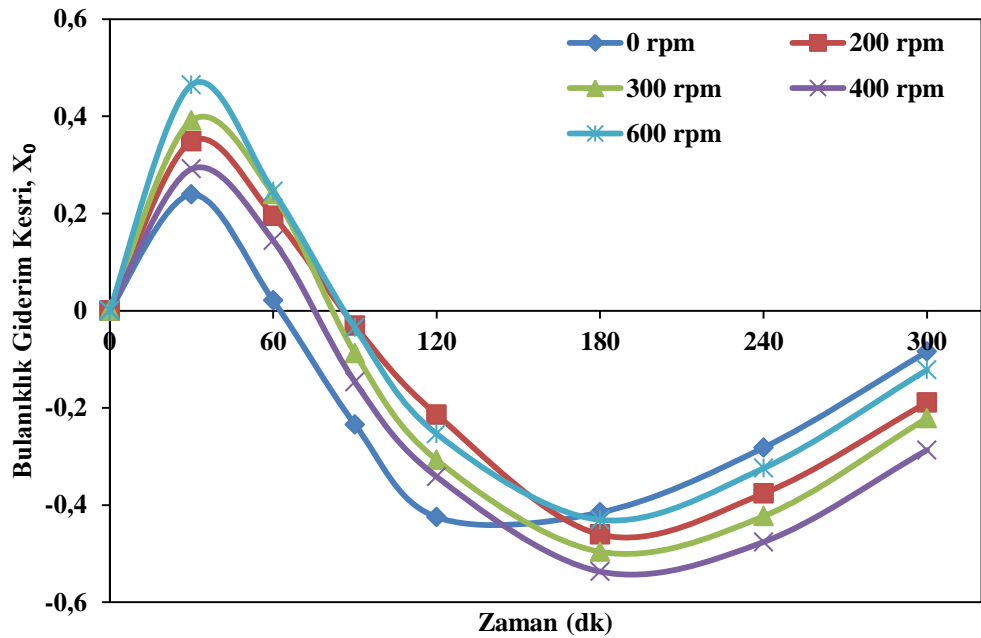
Şekil 4.13. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.14. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının TF giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.15. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının renk giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.16. Ti/Pt anotlar için değişen karıştırma hızlarının bulanıklık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.10-4.16'da görüldüğü üzere Ti/Pt anot kullanılan denemelerde karıştırma hızındaki artış giderim kesirlerini çok fazla etkilememiştir. Karıştırma hızı 0 rpm'den 300 rpm'e yükseltildiğinde KOİ giderim kesri 5 saatlik zamanın sonunda 0,23'den 0,24'e, TF giderim kesri 0,63'den 0,72'ye ve renk giderim kesri ise 0,39'dan 0,40'a kadar yükselmiştir. Bunun aksine TK giderim kesri 0,16'da sabit kalırken TOK giderim kesri 0,11'den 0,10'a, TN giderim kesri 0,19'dan 0,18'e kadar azalmıştır. Bulanıklılık giderim kesri daha da düşerek -0,08'den -0,22'ye kadar gerilemiştir. Karıştırma hızı 300 rpm'den 600 rpm'e çıkarıldığında ise TK giderim kesri 0,16'dan 0,17'ye kadar yükselmiş, KOİ, TOK, TN, TF ve renk giderim kesirleri ise 0,02, 0,01, 0,03, 0,07 ve 0,01 oranında azalarak sırasıyla 0,22, 0,09, 0,15, 0,65 ve 0,39 olarak gerçekleşmiştir. Bulanıklılık giderim verimi ise 0,1 oranında artarak -0,12 olarak belirlenmiştir. Karıştırma hızının artması organik kirleticilerin anot yüzeyine difüzyonunu hızlandırmakta ve giderim kesirlerini artırmaktadır. Fakat aşırı artan karıştırma hızı anot yüzeyinde difüzyon etkisini azaltarak giderim kesrini düşürmektedir. Ancak giderim kesirlerindeki değişimlerin çok fazla olmadığı ve sistem maliyetlerini azaltacağı düşüncesiyle zeytin karasuyunun arıtımı için Ti/Pt anot kullanılan proste sonraki denemelerin 0 rpm karıştırma hızında yapılmasına karar verilmiştir.

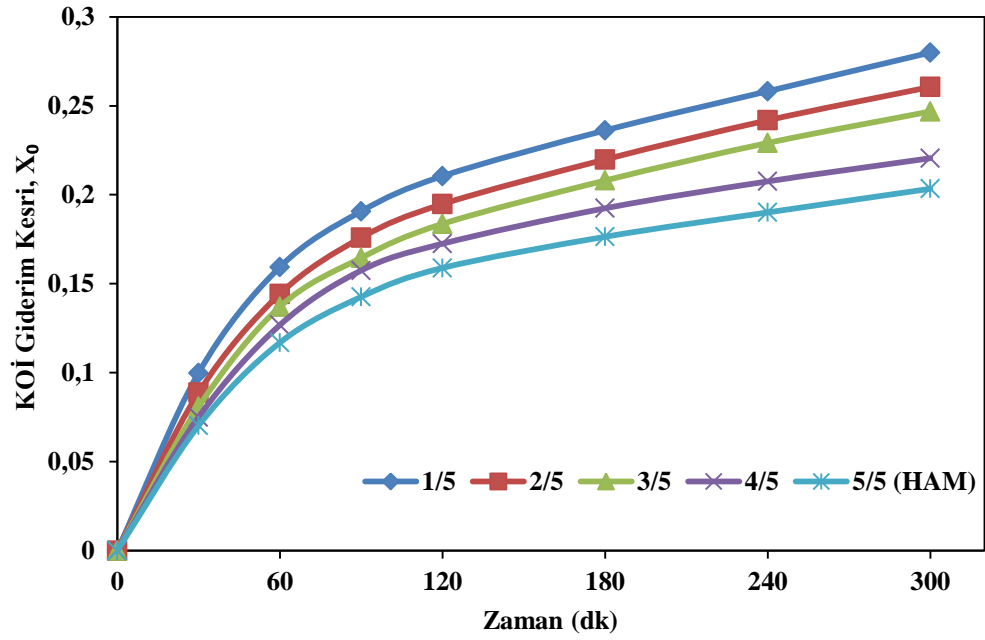
4.3. Seyreltme Oranının Etkisi

Seyreltme oranının etkisinin incelendiği denemeler, $7,69 \text{ mA/cm}^2$ akım yoğunluğunda atıksuyun doğal pH değerinde (4,5–4,7) ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C 'ye ayarlanarak, karıştırma olmaksızın yapılmıştır. Seyreltme işlemi yapılırken saf su kullanılmış, seyreltme oranları 1/5, 2/5, 3/5, 4/5 ve 5/5 (ham) olarak seçilmiş, Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için ayrı ayrı giderim kesirleri üzerine etkileri incelenmiştir. Zamanla alınan numunelerin için uygun miktarda seyreltmeler yapılarak KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık analizleri yapılmış ve 5 sa'lik deney süresi sonunda elde edilen veriler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

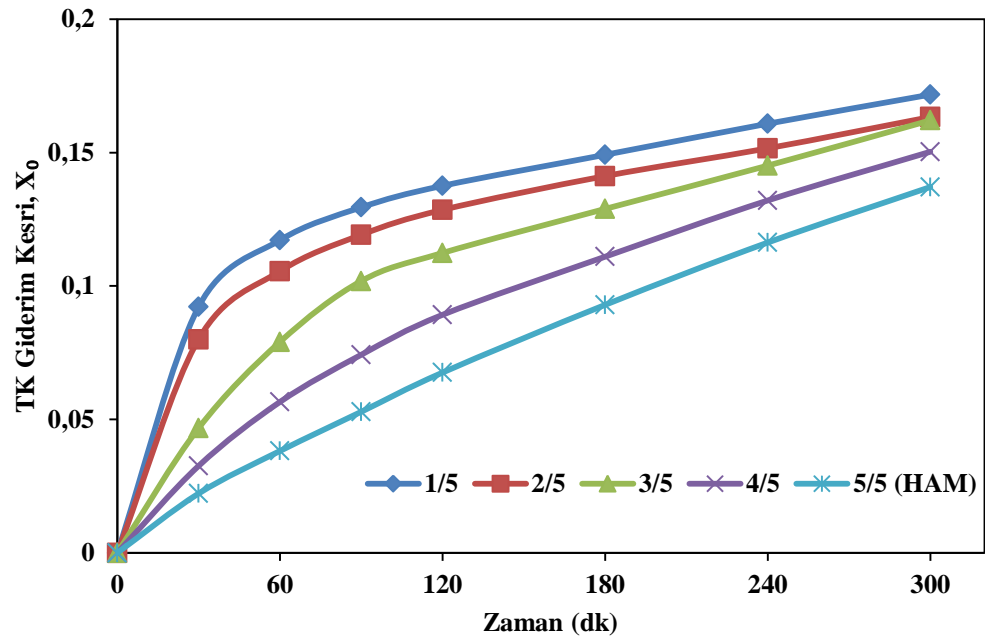
Çizelge 4.3. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak seyreltme oranının etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler

Ti/IrO₂/RuO₂							
Seyreltme Oranı	KOI (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklılık (X₀)
1/5	0,28	0,17	0,16	0,15	0,57	0,42	0,92
2/5	0,26	0,16	0,15	0,17	0,53	0,44	0,96
3/5	0,25	0,16	0,15	0,21	0,41	0,56	0,97
4/5	0,22	0,15	0,14	0,24	0,40	0,59	0,94
5/5 (HAM)	0,20	0,14	0,12	0,22	0,40	0,60	0,96
*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok							
Ti/Pt							
Seyreltme Oranı	KOI (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklılık (X₀)
1/5	0,26	0,18	0,16	0,20	1,00	0,80	0,45
2/5	0,25	0,17	0,16	0,20	1,00	0,57	0,35
3/5	0,24	0,17	0,15	0,19	0,86	0,51	0,13
4/5	0,23	0,17	0,13	0,19	0,76	0,44	0,01
5/5 (HAM)	0,23	0,16	0,11	0,19	0,63	0,39	-0,08
*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok							

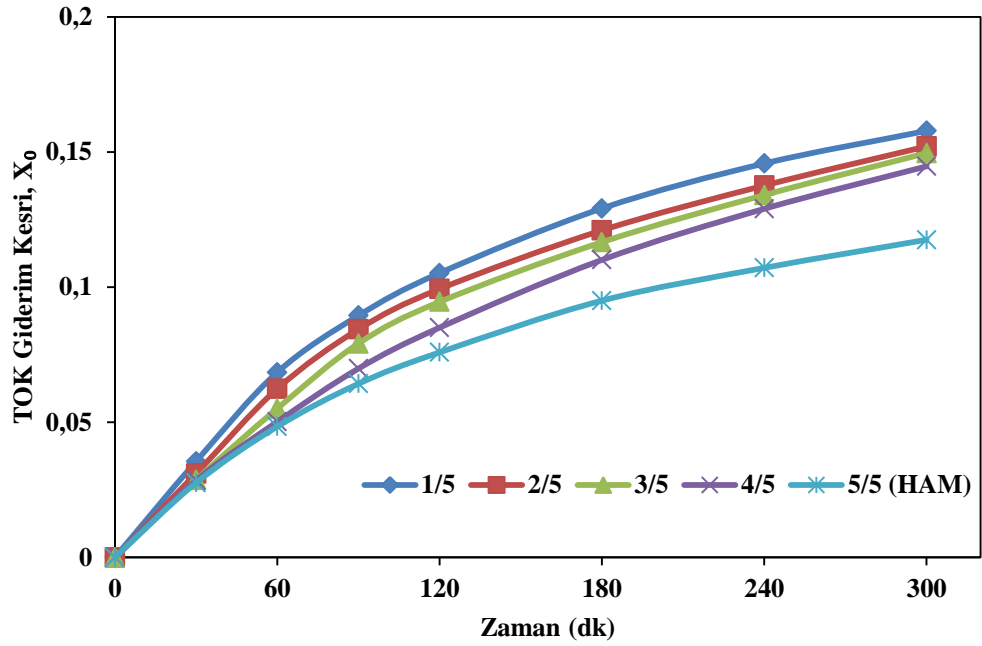
Ti/IrO₂/RuO₂ plakalar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.17-4.23'te gösterilmiştir.



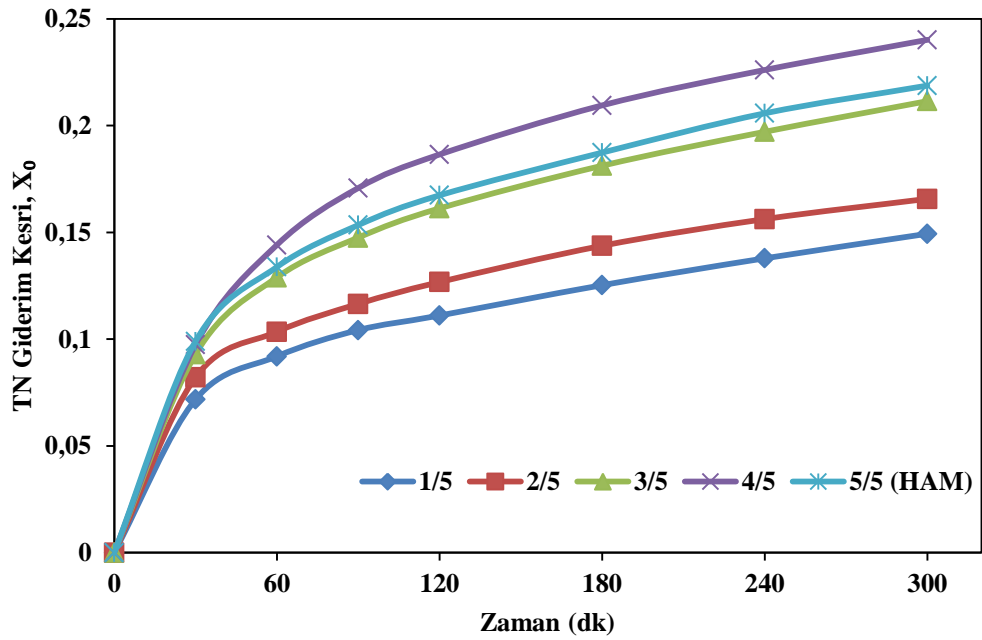
Şekil 4.17. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının KOİ giderim kesri üzerine etkisi



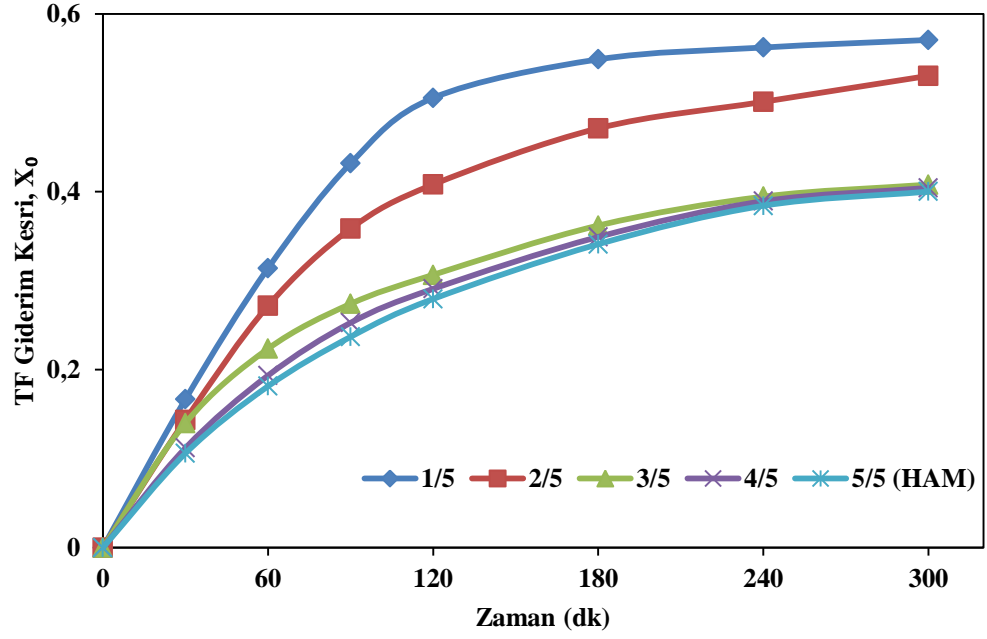
Şekil 4.18. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının TK giderim kesri üzerine etkisi



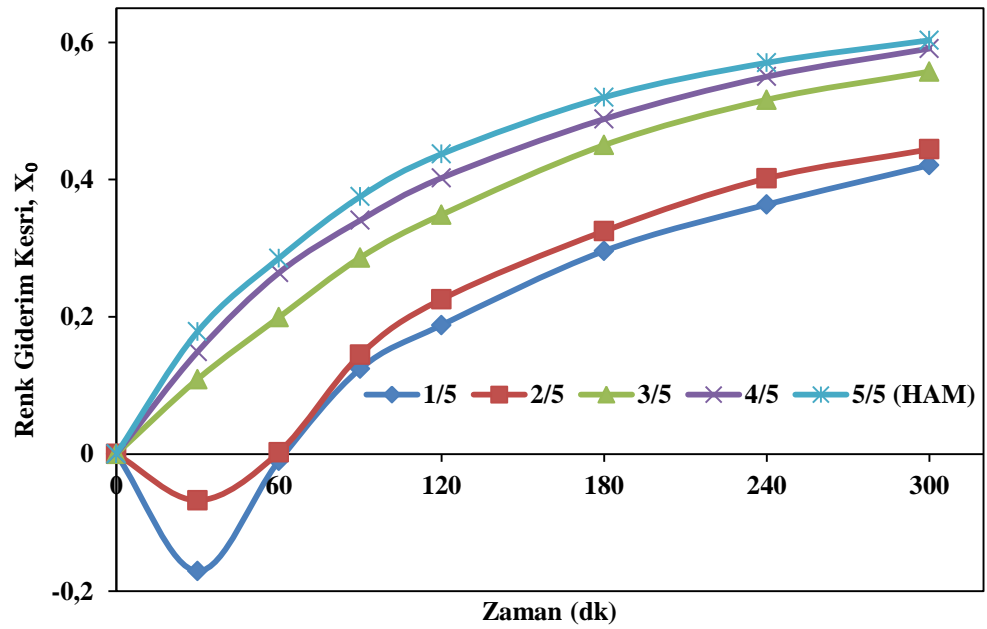
Şekil 4.19. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının TOK giderim kesri üzerine etkisi



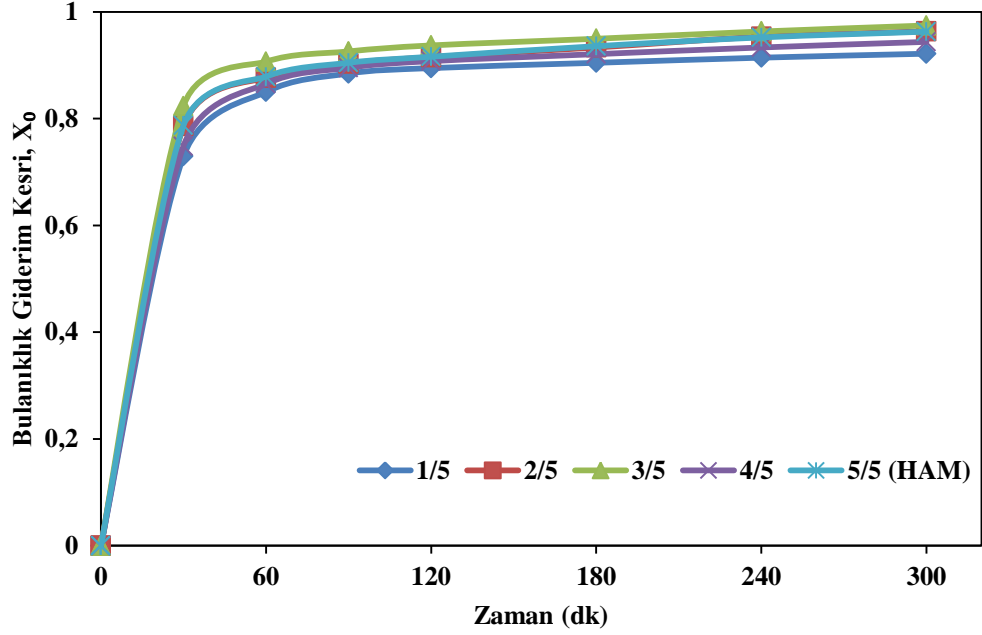
Şekil 4.20. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.21. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının TF giderim kesri üzerine etkisi



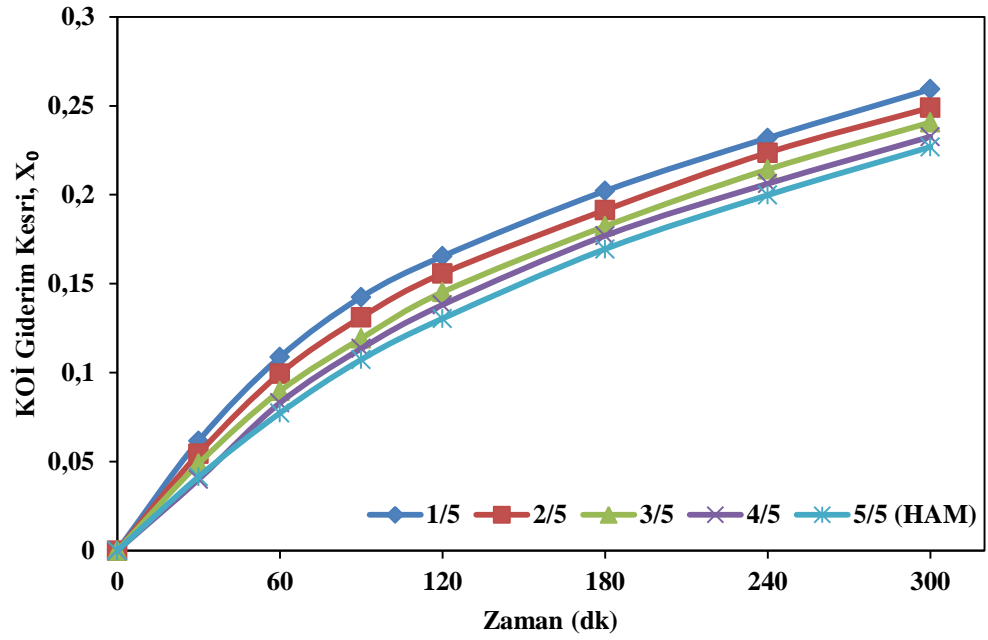
Şekil 4.22. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının renk giderim kesri üzerine etkisi



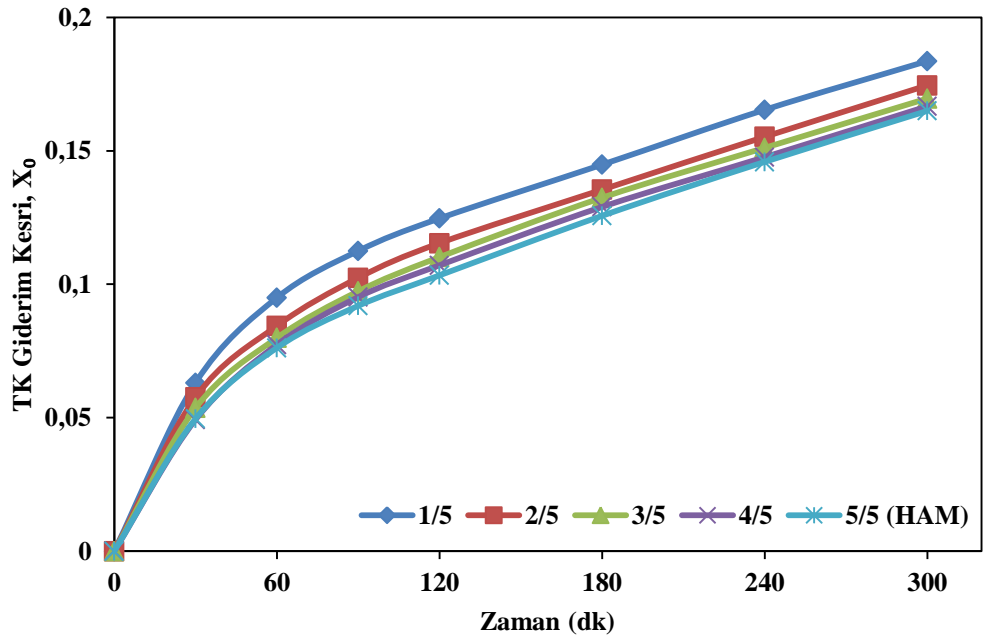
Şekil 4.23. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için değişen seyreltme oranlarının bulanıklık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.17-4.23'te görüldüğü üzere Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan denemelerde seyreltme miktarının artması giderim kesirlerinin de yükselmesine neden olmuştur. Seyreltme oranı 1/5'ten 3/5'e çıkarıldığında KOİ giderim kesri 0,28'den 0,25'e, TK giderim kesri 0,17'den 0,16'ya, TOK giderim kesri 0,16'dan 0,15'e ve TF giderim kesri 0,57'den 0,41'e kadar gerilemiştir. TN, renk ve bulanıklık giderim kesirleri ise 0,06, 0,14 ve 0,05 oranında yükselerek 0,21, 0,56, 0,97 olarak gerçekleşmiştir. Seyreltme oranı 3/5'ten 5/5'e (ham) çıkarıldığında ise KOİ, TK, TOK, TF ve bulanıklık giderim kesirleri sırasıyla 0,20, 0,14, 0,12, 0,40 ve 0,96 olarak gerçekleşmiştir. TN giderim kesri 0,21'den 0,22'ye, renk giderim kesri de 0,56'dan 0,60'ya kadar yükselmiştir. Seyreltme miktarının artırılması, mevcut organik kirlilik yükünü azaltmakta ve TN ve renk giderimi dışında her bir parametre için giderim verimlerini artırmaktadır. Bu sebeple Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde sonraki denemelerde seyreltme oranının 1/5 (5kat) olmasına karar verilmiştir.

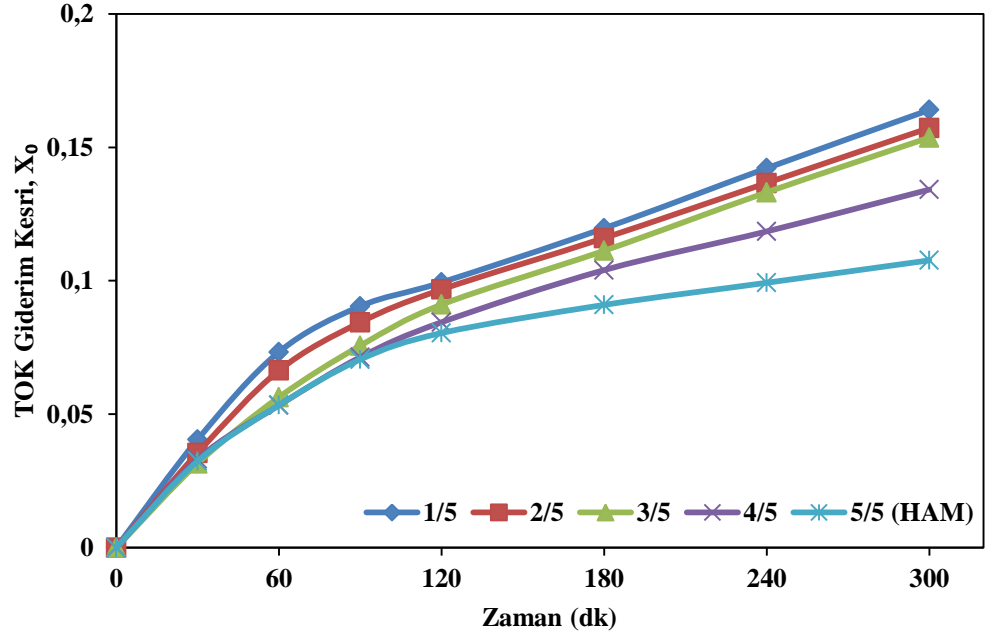
Seyreltme oranlarındaki değişimler için Ti/Pt anot kullanılan denemelerde elde edilen sonuçlar Şekil 4.24-4.30'da gösterilmiştir.



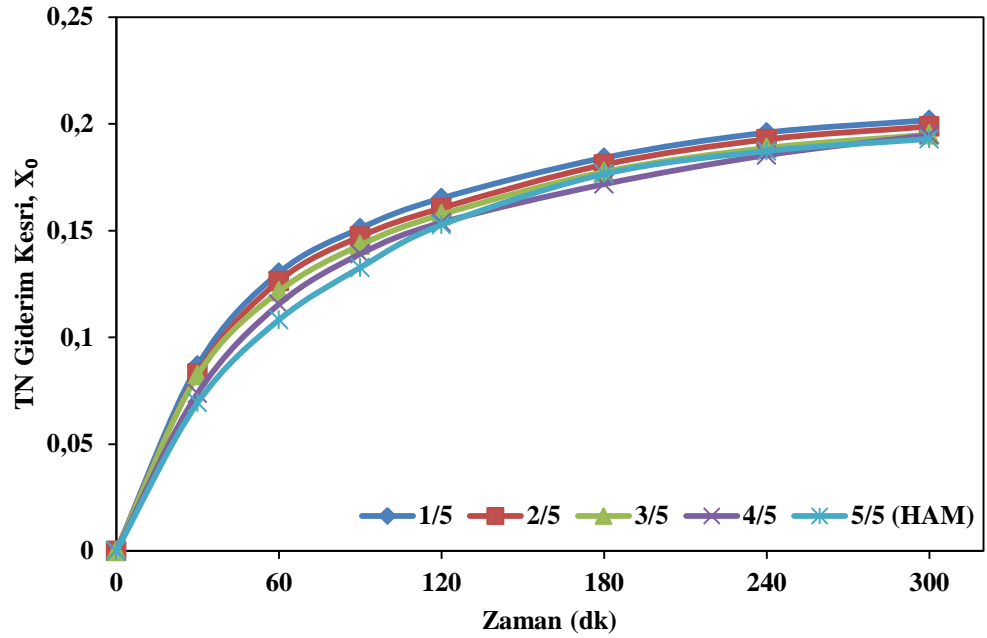
Şekil 4.24. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının KOİ giderim kesri üzerine etkisi



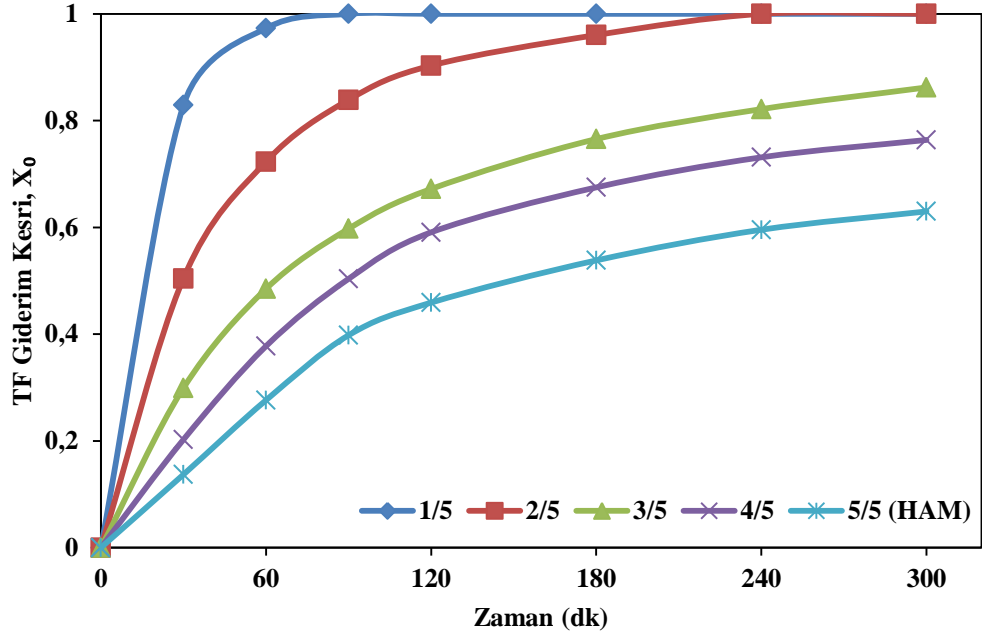
Şekil 4.25. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının TK giderim kesri üzerine etkisi



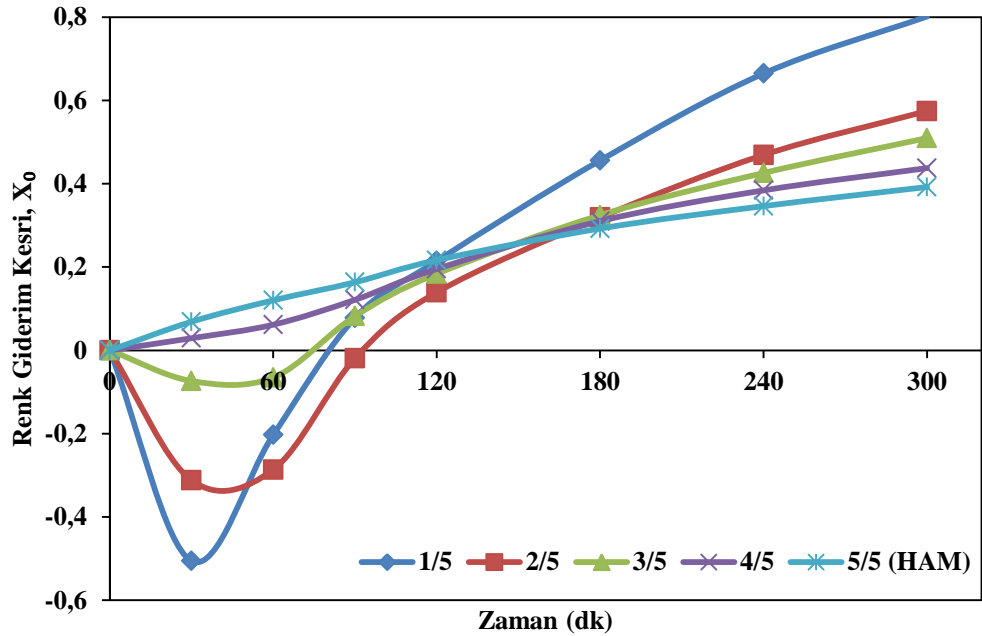
Şekil 4.26. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının TOK giderim kesri üzerine etkisi



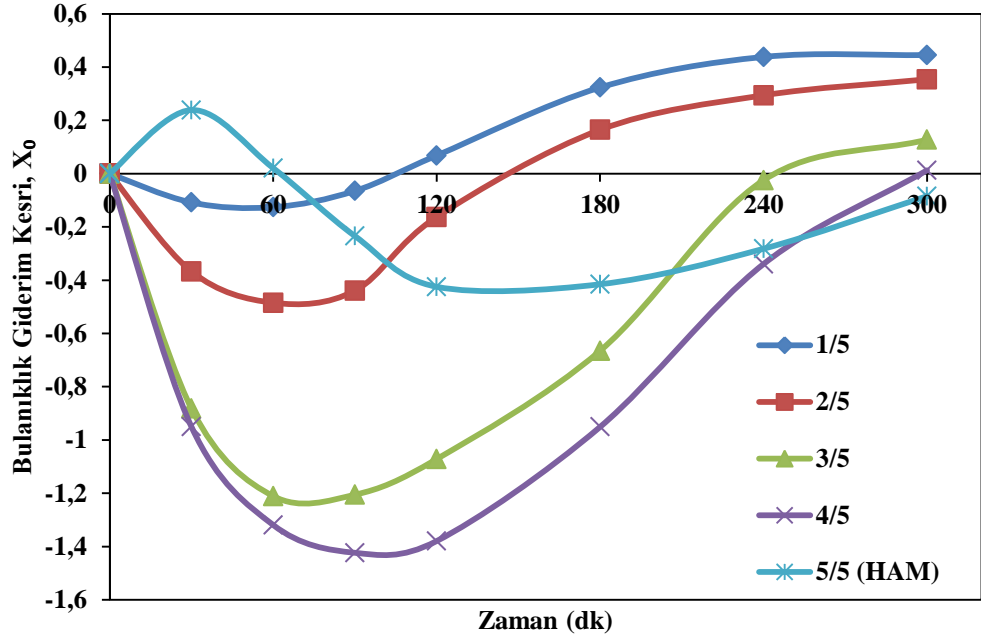
Şekil 4.27. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.28. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının TF giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.29. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının renk giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.30. Ti/Pt anotlar için değişen seyreltme oranlarının bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.24-4.30'da görüldüğü üzere Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde seyreltme miktarının artmasıyla birlikte giderim kesirlerinde de gözle görülür bir şekilde artma meydana gelmiştir. Seyreltme oranı 1/5'ten 3/5'e çıkarıldığında 5 saatlik deney süresi sonunda KOİ giderim kesri 0,26'dan 0,24'e, TK giderim kesri 0,18'den 0,17'ye, TOK giderim kesri 0,16'dan 0,15'e, TN giderim kesri 0,20'den 0,19'a, TF giderim kesri 1,00'dan 0,86'ya, renk giderim kesri 0,80'den 0,51'e ve bulanıklılık giderim kesri ise 0,45'ten 0,13'e kadar gerilemiştir. Seyreltme oranı 3/5'ten 5/5'e (ham) çıkarıldığında ise KOİ, TK, TOK, TF ve renk giderim kesirleri sırasıyla 0,01, 0,01, 0,04, 0,23 ve 0,12 oranında düşmüş ve sırasıyla 0,23, 0,16, 0,11, 0,63 ve 0,39 olarak gerçekleşmiştir. TN giderim kesri için herhangi bir değişim meydana gelmemiş, bulanıklılık giderimi kesri ise 0,21 oranında azalarak -0,08 olarak gerçekleşmiştir. Bütün bu veriler göz önüne alındığında seyreltme miktarının artırılması ve atıksu da mevcut organik kirlilik yükünü azaltması sonucunda her bir parametre için giderim verimlerini gözle görülür bir şekilde artırmaktadır. Bu sebeple Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde sonraki denemelerde seyreltme oranının 1/5 (5kat) olmasına karar verilmiştir.

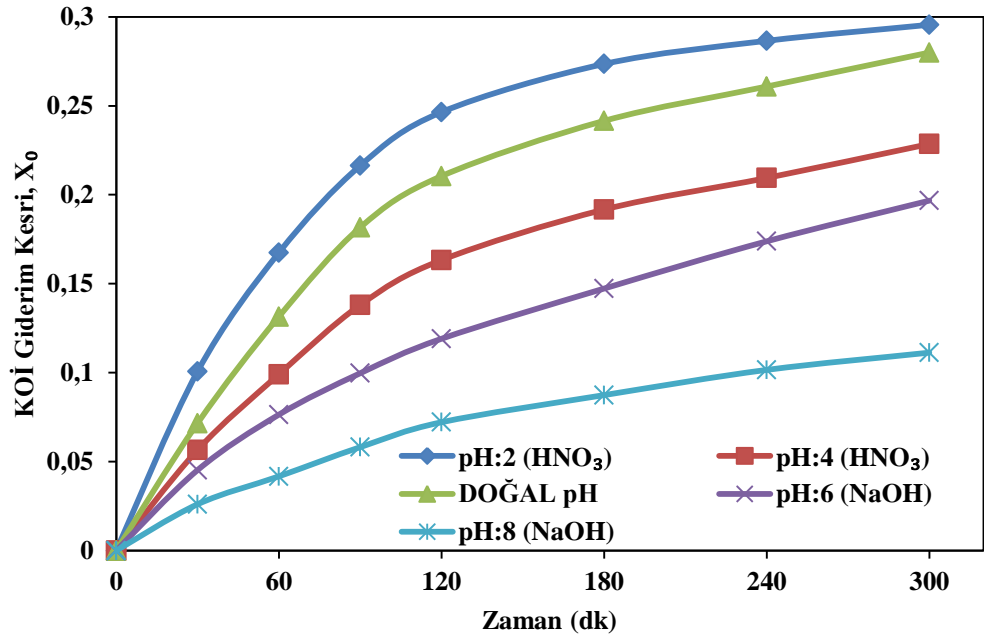
4.4. pH Değişiminin Etkisi

pH değişiminin incelendiği denemeler, akım yoğunluğu $7,69 \text{ mA/cm}^2$ ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C 'ye ayarlanarak yapılmıştır. Deney süresince karıştırma yapılmamış ve deney için atıksu 5 kat seyreltilmiştir. pH değerleri 2, 4, 4,6 (Doğal), 6 ve 8 olarak seçilmiş Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için ayrı ayrı giderim verimlerinin etkileri incelenmiştir. Uygun miktarda seyreltmeler yapılarak zamanla alınan numunelerin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık analizleri yapılmıştır. 5 sa'lik deney süresi sonunda elde edilen veriler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

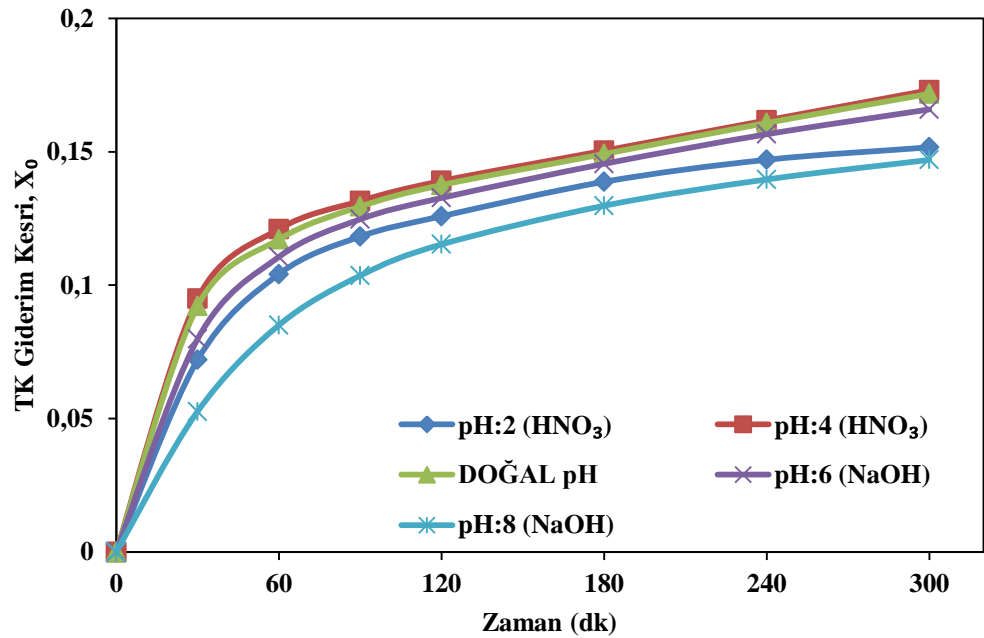
Çizelge 4.4. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak pH değişiminin etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler

Ti/IrO₂/RuO₂							
pH	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
2	0,30	0,15	0,15	-3,61	1,00	0,50	-1,08
4	0,23	0,17	0,16	-1,19	1,00	0,47	0,81
4.6 (DOĞAL)	0,28	0,17	0,16	0,15	0,57	0,42	0,92
6	0,20	0,17	0,15	0,21	0,88	0,39	0,86
8	0,11	0,15	0,14	0,17	1,00	0,25	0,86
*J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok, SO: 1/5							
Ti/Pt							
pH	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
2	0,41	0,29	0,28	-3,66	0,98	0,98	0,74
4	0,30	0,22	0,21	-0,63	1,00	0,94	0,60
4.6 (DOĞAL)	0,26	0,18	0,16	0,20	1,00	0,80	0,45
6	0,30	0,17	0,18	0,13	1,00	0,85	0,81
8	0,32	0,21	0,19	0,14	1,00	0,87	0,84
* J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok, SO: 1/5							

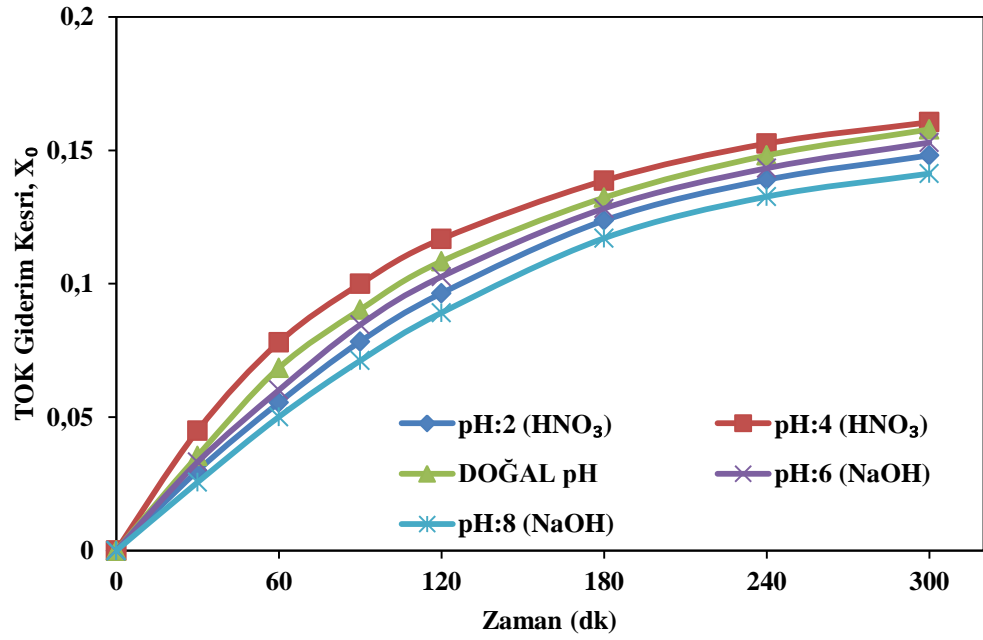
pH değişiminin etkisinin incelendiği çalışmalarda Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.31-4.37'de gösterilmiştir.



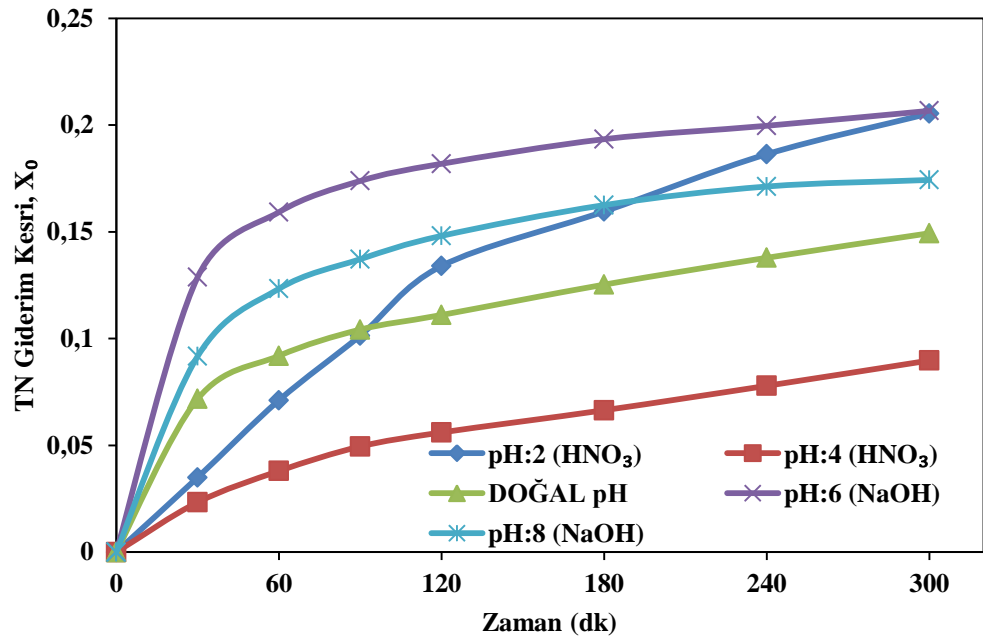
Şekil 4.31. Ti/IrO₂/RuO₂ kullanılan denemelerde pH'nın KOİ değişimi üzerine etkisi



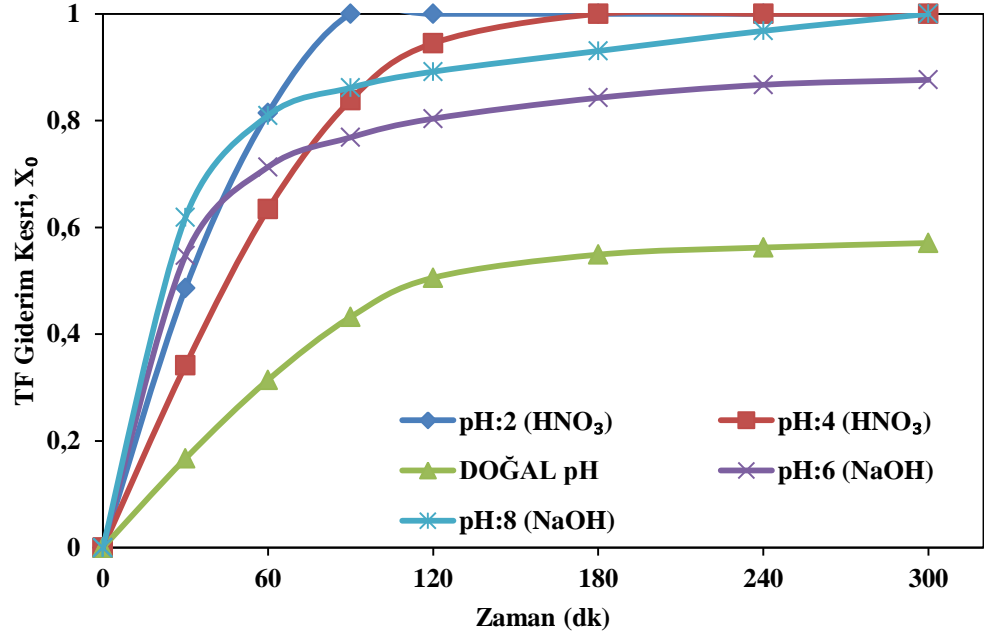
Şekil 4.32. Ti/IrO₂/RuO₂ kullanılan denemelerde pH'nın TK değişimi üzerine etkisi



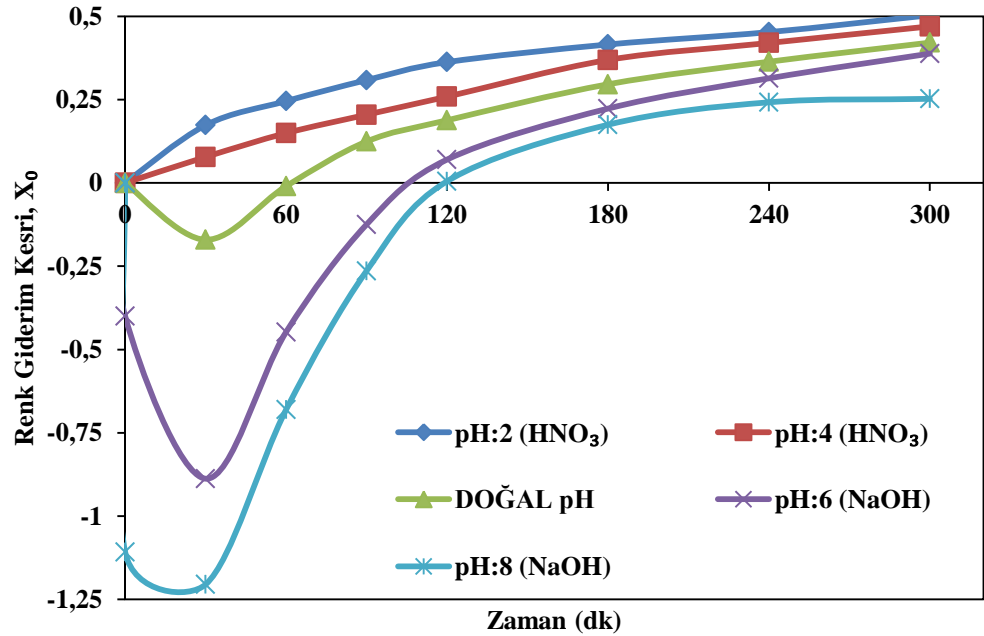
Şekil 4.33. Ti/IrO₂/RuO₂ kullanılan denemelerde pH'nın TOK değişimi üzerine etkisi



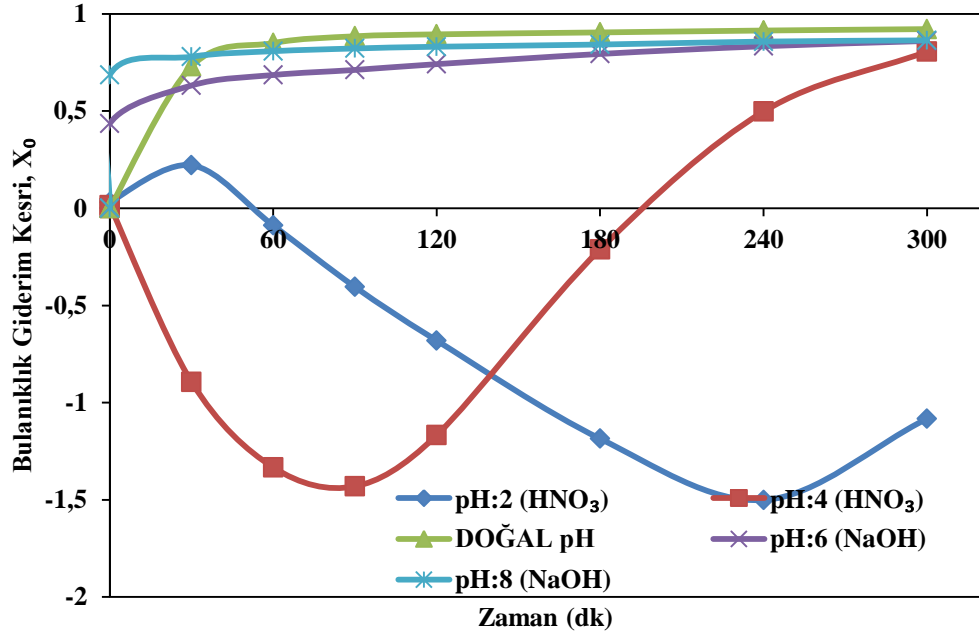
Şekil 4.34. Ti/IrO₂/RuO₂ kullanılan denemelerde pH'nın TN değişimi üzerine etkisi



Şekil 4.35. Ti/IrO₂/RuO₂ kullanılan denemelerde pH'nın TF değişimi üzerine etkisi



Şekil 4.36. Ti/IrO₂/RuO₂ kullanılan denemelerde pH'nın renk değişimi üzerine etkisi

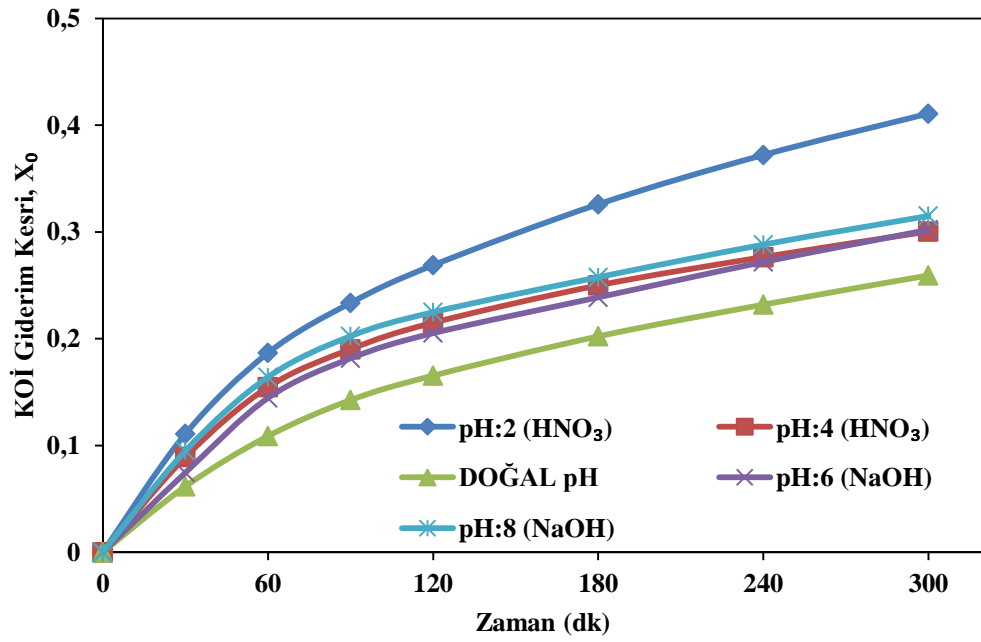


Şekil 4.37. Ti/IrO₂/RuO₂ kullanılan denemelerde pH'nın bulanıklılık değişimi üzerine etkisi

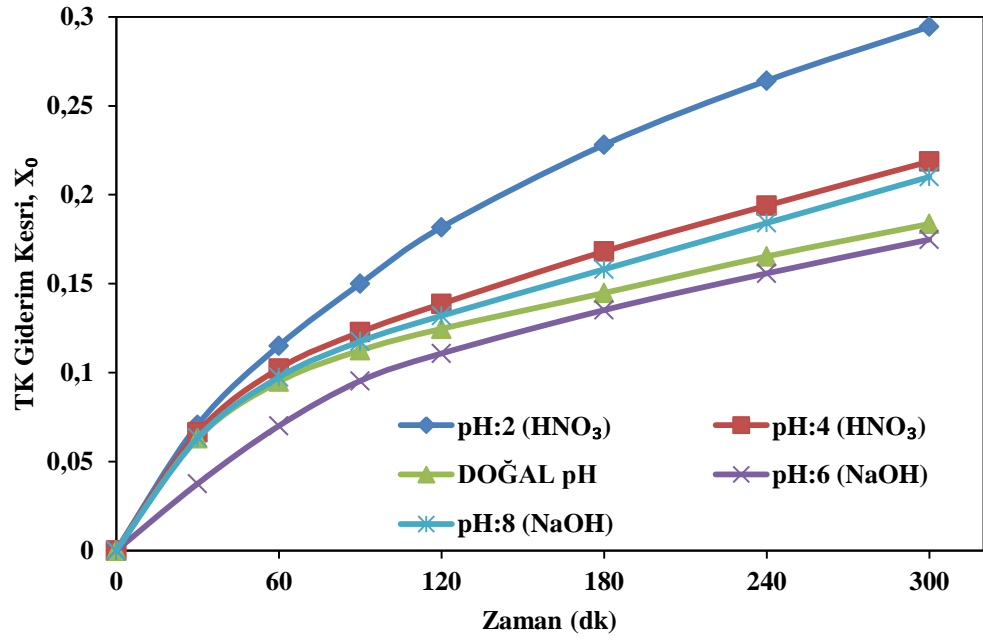
Şekil 4.31-4.37'te görüldüğü üzere Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan denemelerde pH değerlerindeki değişim giderim kesirlerinde de bir miktar değişimine sebep olmuştur. pH değeri 2'ye düşürüldüğünde 5 saatlik deney süresi sonunda KOİ, TK, TOK, TF ve renk giderim kesirleri sırasıyla 0,30, 0,15, 0,15, 1,00 ve 0,50 oranında gerçekleşmiştir. TN giderim kesri pH ayarlamada kullanılan HNO₃ ilave edildikten sonra hesaplanmış ve 5 sa'lik deney süresi sonunda 0,21 olarak belirlenmiştir. Fakat genel toplamda düşünüldüğünde negatif değerlerde kalmıştır. Bunun yanı sıra bulanıklılık giderim kesri negatif değerlerde kalmıştır. Doğal pH'da yapılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,28, 0,17, 0,16, 0,15, 0,57, 0,42 ve 0,92 oranında gerçekleşmiştir. pH değeri 8'e çıkarıldığında ise KOİ, TK, TOK, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,17, 0,02, 0,02, 0,17 ve 0,06 oranında azalarak 0,11, 0,15, 0,14, 0,25 ve 0,86 olarak gerçekleşmişken, TN ve TF giderim kesirleri sırasıyla 0,02 ve 0,43 oranında artarak 0,17 ve 1,00 olarak gerçekleşmiştir. Düşük pH değerlerinde giderim verimleri artmış olsa da giderim verimlerinde çok fazla fark olmamasından dolayı Ti/IrO₂/RuO₂ karışık metal oksit kaplama anot kullanılan

elektrooksidasyon prosesinde diğerk çalışmalarda pH ayarlamasının yapılmamasına karar verilmiştir.

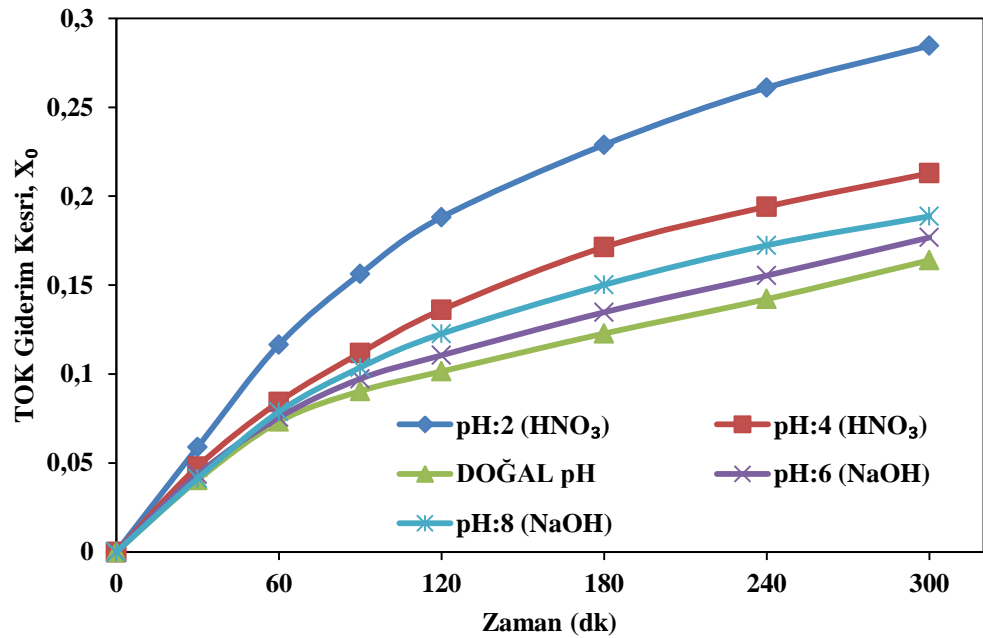
Ti/Pt anotlar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.38-4.44'te gösterilmiştir.



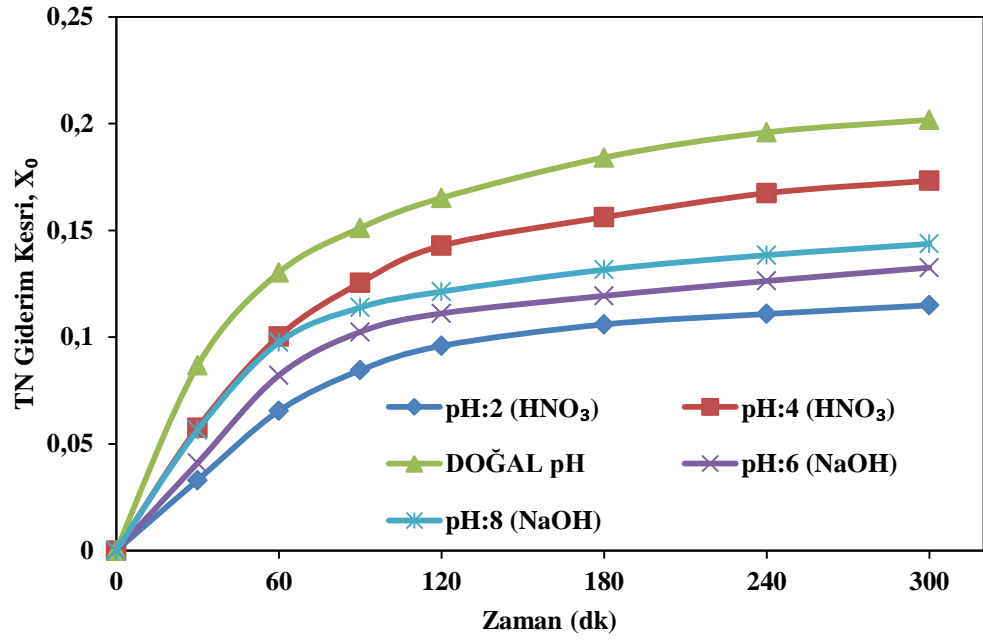
Şekil 4.38. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın KOİ değişimi üzerine etkisi



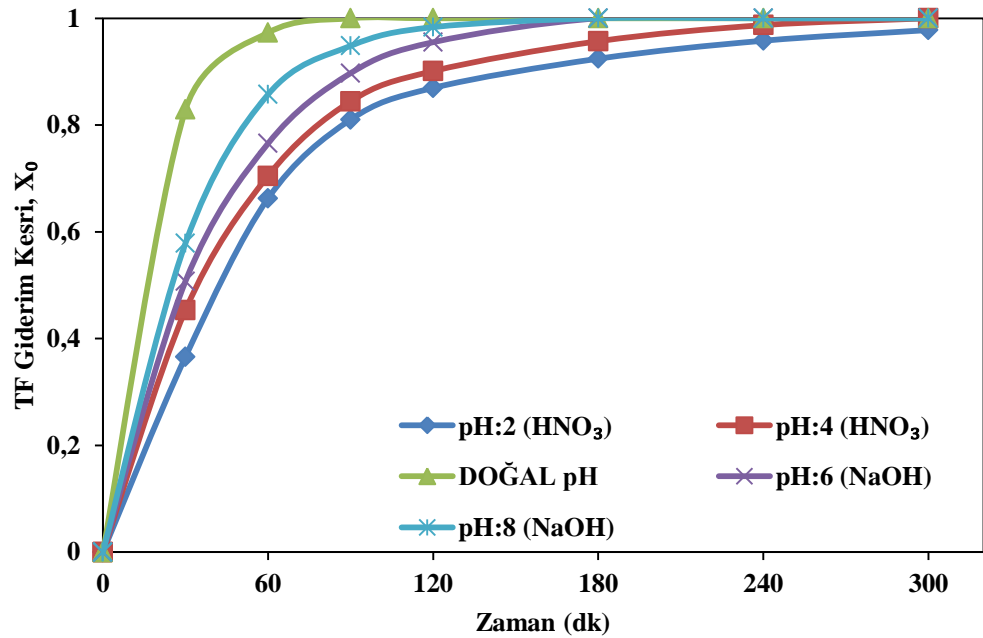
Şekil 4.39. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın TK değişimi üzerine etkisi



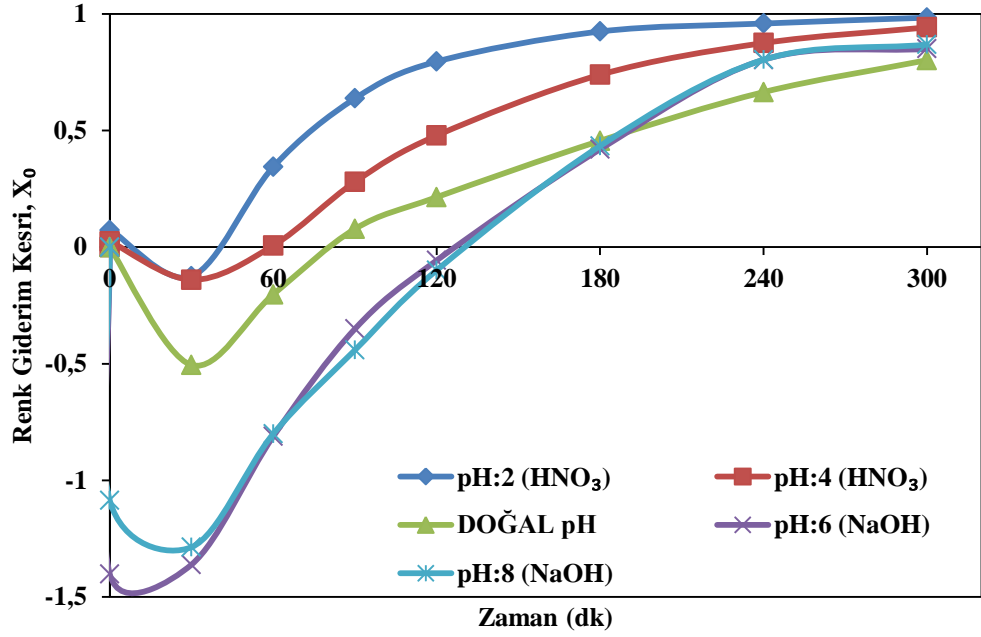
Şekil 4.40. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın TOK değişimi üzerine etkisi



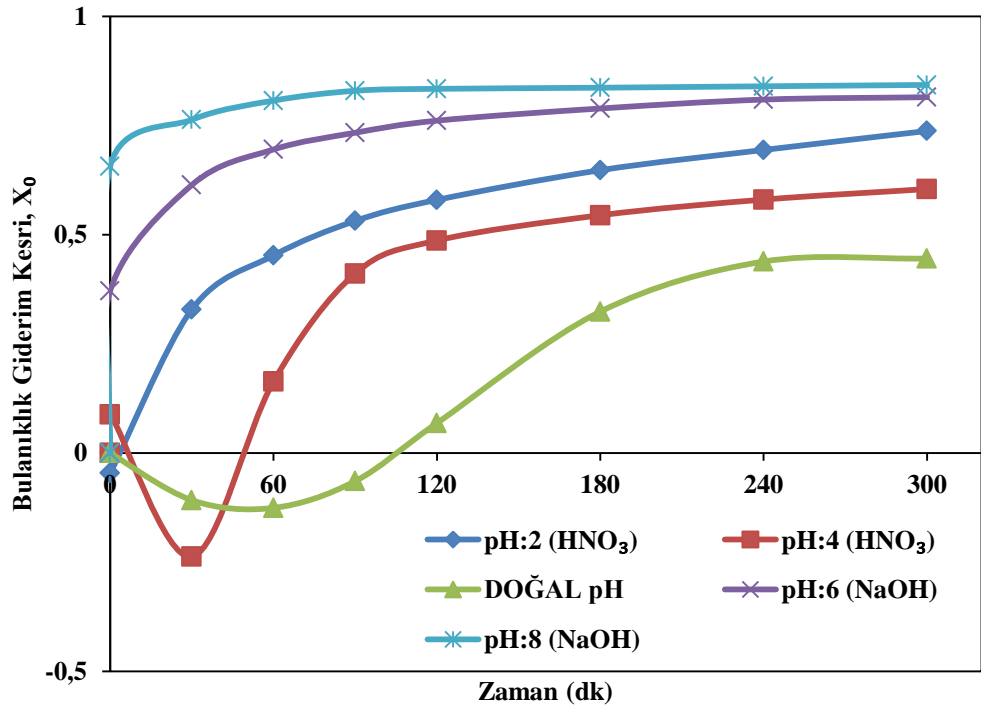
Şekil 4.41. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın TN değişimi üzerine etkisi



Şekil 4.42. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın TF değişimi üzerine etkisi



Şekil 4.43. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın renk değişimi üzerine etkisi



Şekil 4.44. Ti/Pt kullanılan denemelerde pH'nın bulanıklık değişimi üzerine etkisi

Şekil 4.38-4.44'te görüldüğü üzere Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde pH değerlerindeki değişim giderim kesirlerinin de bir miktar değişimine sebep olmuştur. pH değeri 2'ye düşürüldüğünde 5 saatlik deney süresi sonunda KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve giderim kesirleri sırasıyla 0,41, 0,29, 0,28, 0,11, 0,98, 0,98 ve 0,74 oranında gerçekleşmiştir. Doğal pH'da yapılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,26, 0,18, 0,16, 0,20, 1,00, 0,80 ve 0,45 oranında gerçekleşmiştir. pH değeri 8'e çıkarıldığında ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,32, 0,21, 0,19, 0,14, 1,00, 0,87 ve 0,84 olarak gerçekleşmiştir. pH değerinin azalmasıyla ile giderim verimleri artmış olsa da giderim verimlerinde çok fazla fark olmamasından dolayı Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinin diğer çalışmalarında pH ayarlamasının yapılmamasına karar verilmiştir.

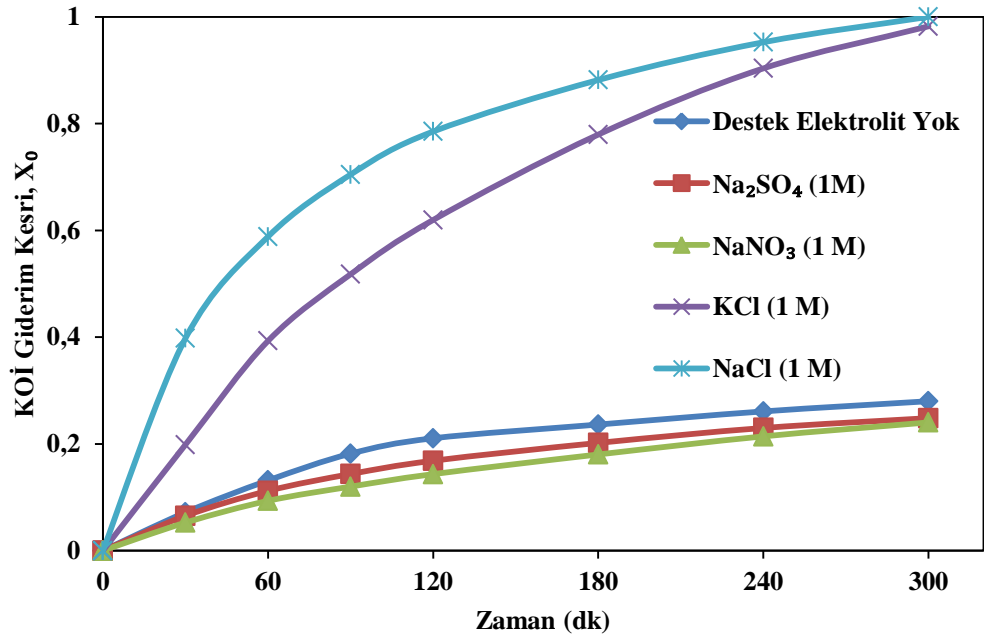
4.5. Destek Elektrolit Türünün Etkisi

Destek elektrolit türünün incelendiği denemelerde elektrolit türü sırasıyla Na_2SO_4 , NaNO_3 , KCl ve NaCl olarak seçilmiştir. Akım yoğunluğu $7,69 \text{ mA/cm}^2$, atıksuyun doğal pH değerinde ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C 'ye ayarlanarak yapılmıştır. Deney süresince karıştırma yapılmamış ve deney için atıksu 5 kat seyreltilmiştir. Destek elektrolit türünün Ti/ IrO_2 / RuO_2 ve Ti/Pt anotlar için ayrı ayrı giderim kesirleri üzerine etkileri incelenmiştir. Uygun miktarda seyreltmeler yapılarak zamanla alınan numunelerin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık analizleri yapılmış ve 5 sa'lik deney süresi sonunda elde edilen veriler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

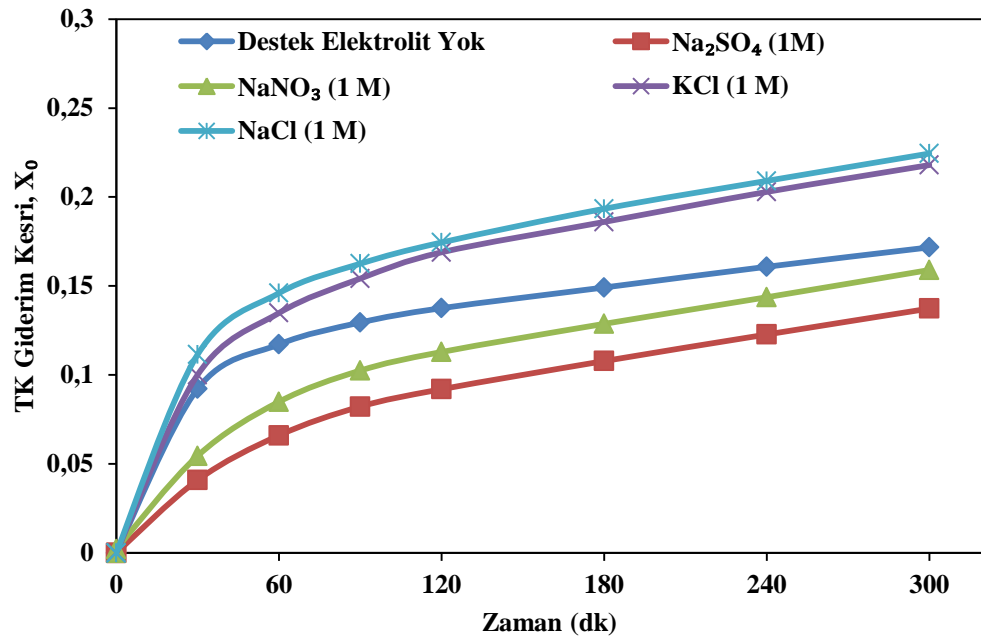
Çizelge 4.5. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak destek elektrolit türünün değişimin etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler

Ti/IrO₂/RuO₂							
Destek Elektrolit Türü	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
DET Yok	0,28	0,17	0,16	0,15	0,57	0,42	0,92
Na₂SO₄	0,25	0,14	0,12	0,16	0,32	0,59	-5,18
NaNO₃	0,24	0,16	0,14	-18,71	0,90	-2,08	0,85
KCl	0,98	0,22	0,29	0,60	1,00	0,98	0,91
NaCl	1,00	0,22	0,28	0,62	1,00	0,98	0,90
*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok, SO: 1/5							
Ti/Pt							
Destek Elektrolit Türü	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
DET Yok	0,26	0,18	0,16	0,20	1,00	0,80	0,45
Na₂SO₄	0,54	0,43	0,40	0,26	1,00	1,00	0,76
NaNO₃	1,00	0,92	0,89	-14,60	1,00	1,00	0,83
KCl	1,00	0,45	0,54	0,72	1,00	1,00	0,92
NaCl	1,00	0,49	0,53	0,61	1,00	1,00	0,97
*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok, SO: 1/5							

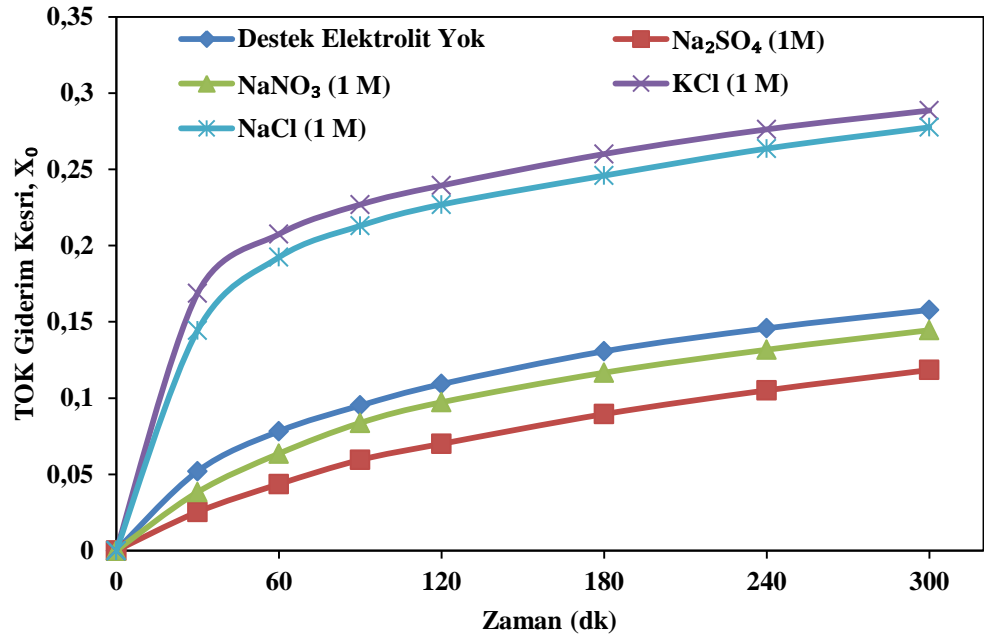
Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türünün giderim kesirlerine etkisi için elde edilen sonuçlar Şekil 4.45-4.51'de verilmiştir.



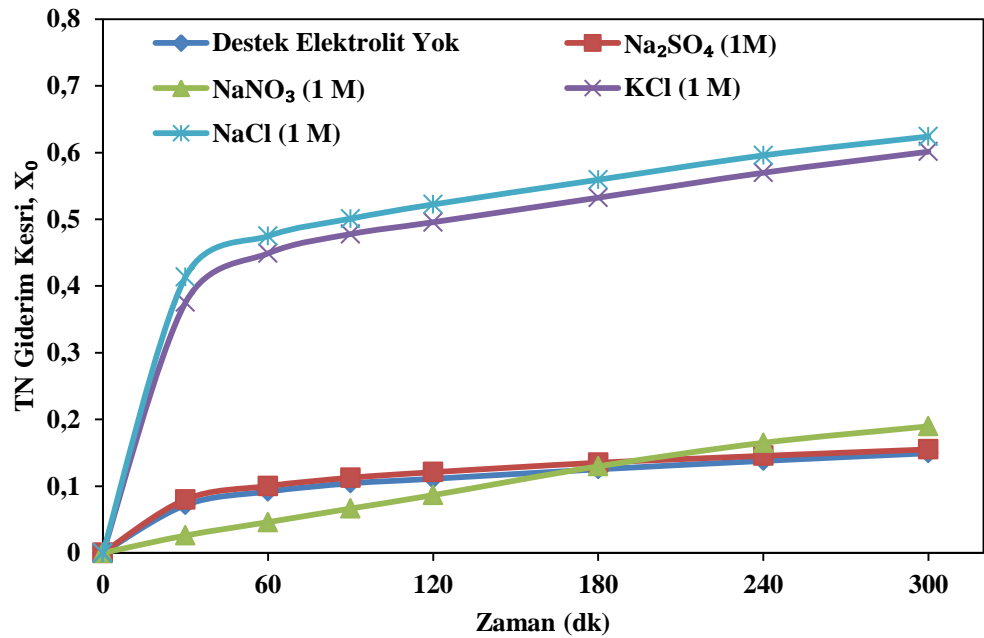
Şekil 4.45. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit türünün KOİ giderim kesri üzerine etkisi



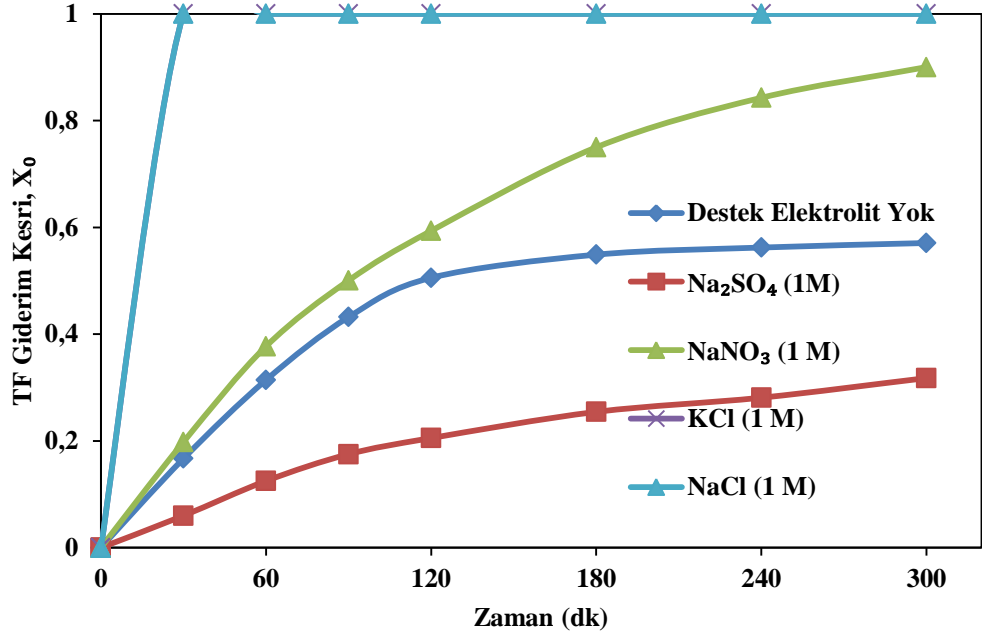
Şekil 4.46. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit türünün TK giderim kesri üzerine etkisi



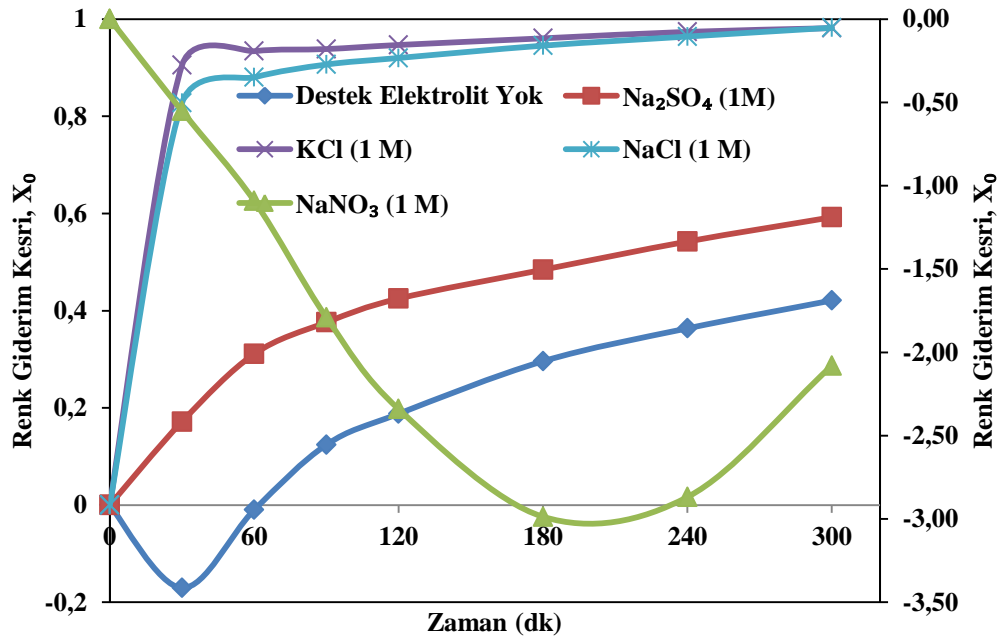
Şekil 4.47. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit türünün TOK giderim kesri üzerine etkisi



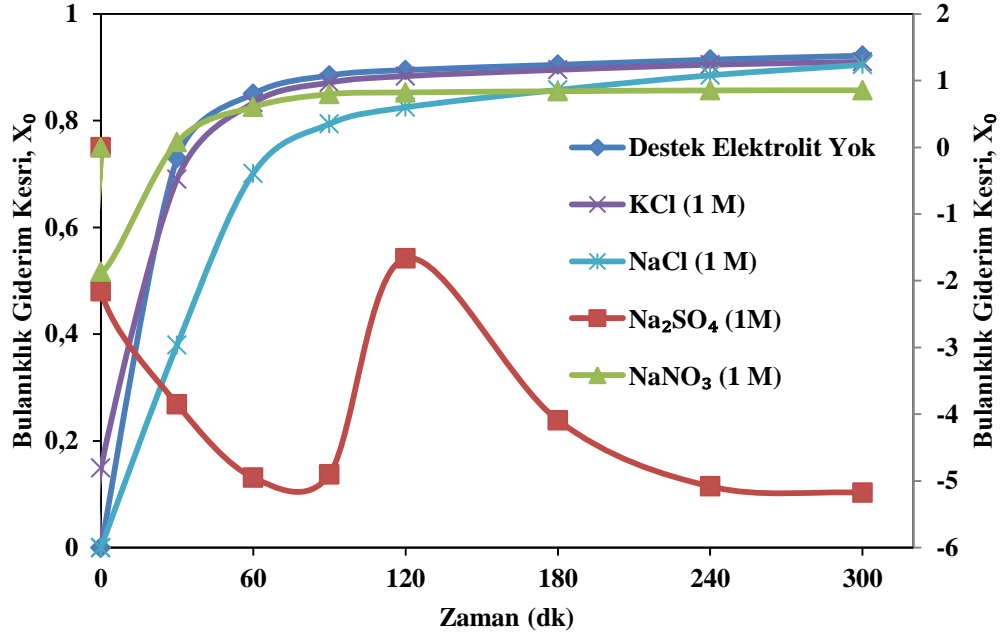
Şekil 4.48. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit türünün TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.49. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit türünün TF giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.50. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit türünün renk giderim kesri üzerine etkisi

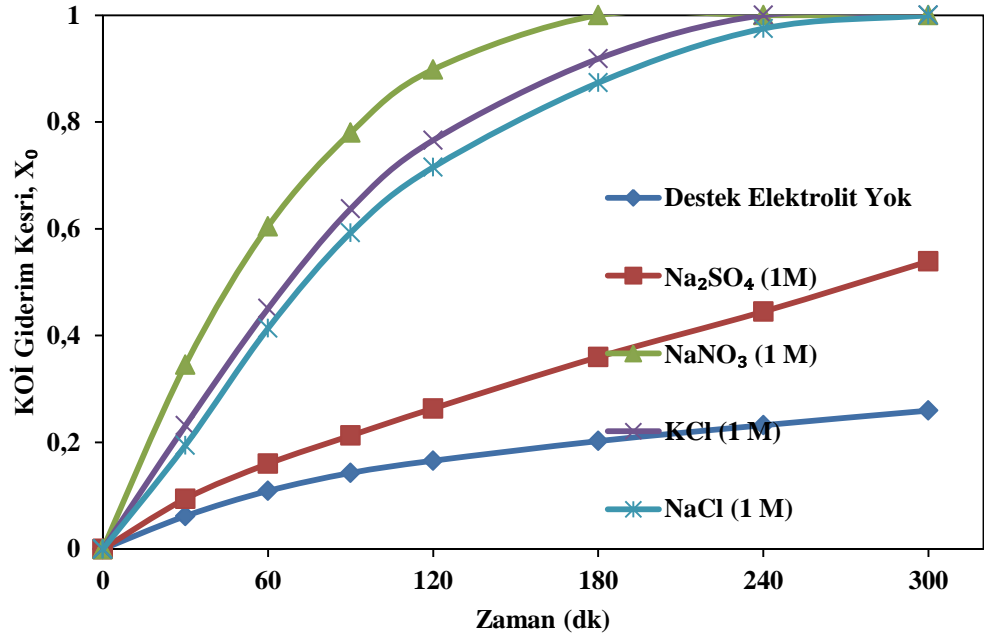


Şekil 4.51. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit türünün bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi

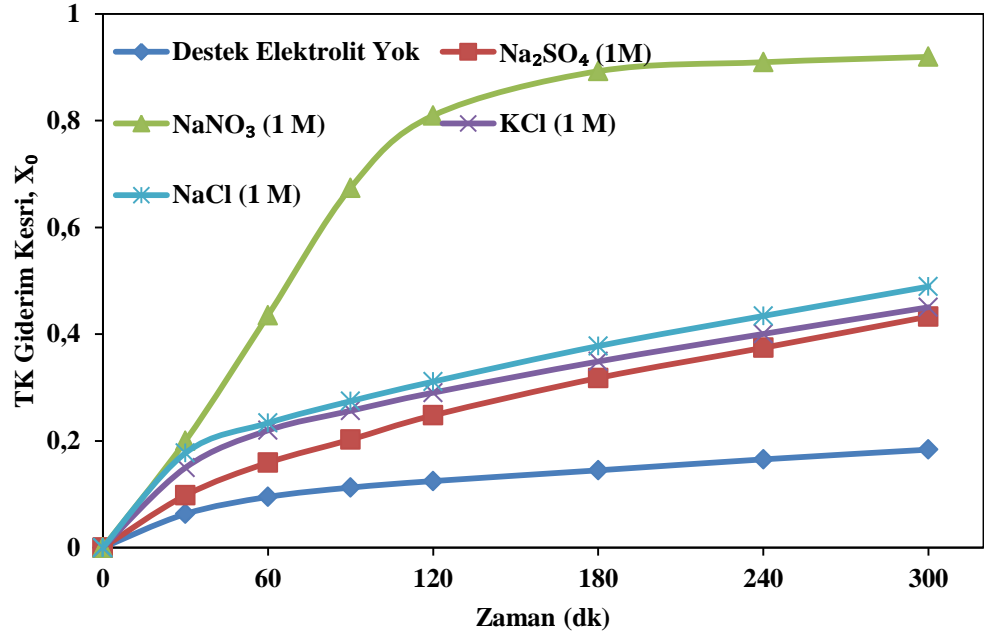
Şekil 4.45-4.51'de görüldüğü üzere Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan denemelerde destek elektrolit türünün değişimi, giderim kesirlerinin belirgin ölçüde değişimine sebep olmuştur. Destek elektrolit kullanılmayan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,28, 0,17, 0,16, 0,15, 0,57, 0,42 ve 0,92 oranında gerçekleşmiştir. Destek elektrolit olarak Na₂SO₄ kullanılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF ve renk giderim kesirleri sırasıyla 0,25, 0,14, 0,12, 0,16, 0,32 ve 0,59 olarak gerçekleşmiştir. Bulanıklılık giderimi kesri ise negatif değerlerde (-5,18) ölçülmüştür. Destek elektrolit olarak NaNO₃ kullanılan denemelerde hesaplamalar TN giderim kesirleri NaNO₃ ilave edildikten sonra yapılmış, KOİ, TK, TOK, TN, TF ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,24, 0,16, 0,14, 0,19, 0,90, 0,85 olarak gerçekleşmişken renk giderim kesri için negatif değerler (-2,08) ölçülmüştür. KCl ve NaCl'nin destek elektrolit türü olarak kullanıldığı denemelerde ise giderim kesirleri belirgin ölçüde artmıştır. KCl ile yapılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,98, 0,22, 0,29, 0,60, 1,00, 0,98 ve 0,91 olarak, NaCl ile yapılan denemelerde ise sırasıyla 1,00, 0,22, 0,28, 0,62, 1,00, 0,98 ve 0,90 oranında gerçekleşmiştir. Destek elektrolit türü kullanıldığında giderim Na₂SO₄ ve

NaNO_3 için çok fazla değişmese de KCl ve NaCl için belirgin ölçüde değişmiştir. Maliyetleri karşılaştırıldığında NaCl 'nin daha ucuz ve kolay bulunabilir olması sebebiyle $\text{Ti}/\text{IrO}_2/\text{RuO}_2$ anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinin diğer çalışmalarında destek elektrolit olarak NaCl 'nin kullanılmasına karar verilmiştir.

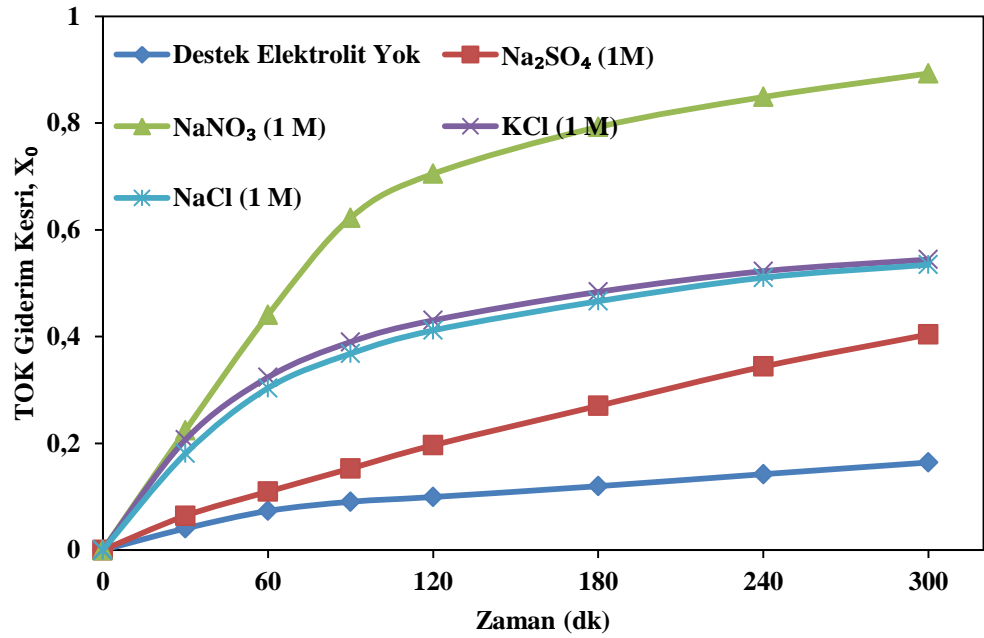
Ti/Pt anotlar kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türünün giderim kesirlerine etkisi için elde edilen sonuçlar Şekil 4.52-4.58'de gösterilmiştir.



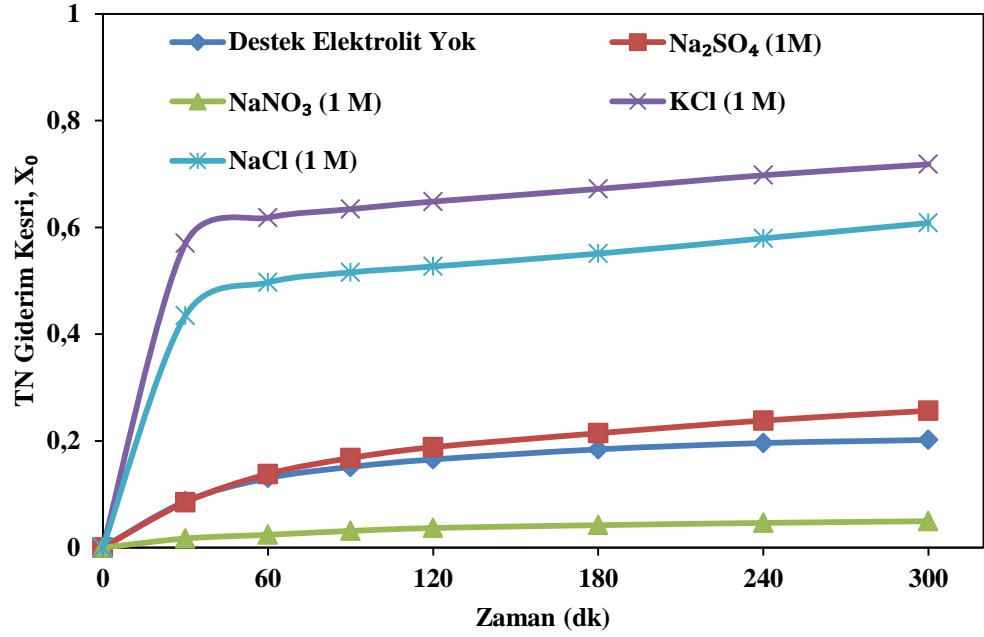
Şekil 4.52. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün KOİ giderim kesri üzerine etkisi



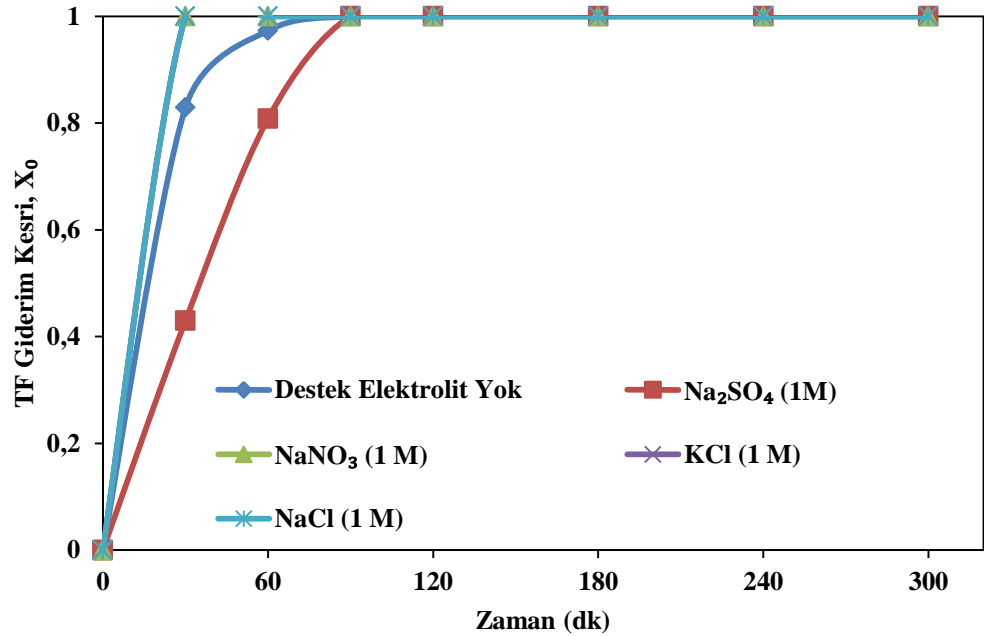
Şekil 4.53. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün TK giderim kesri üzerine etkisi



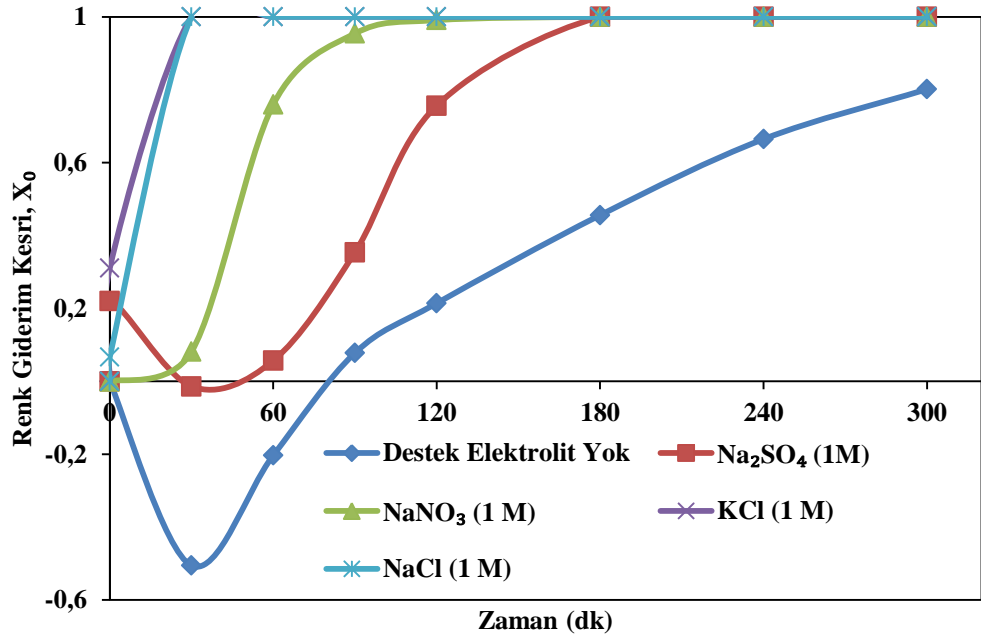
Şekil 4.54. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün TOK giderim kesri üzerine etkisi



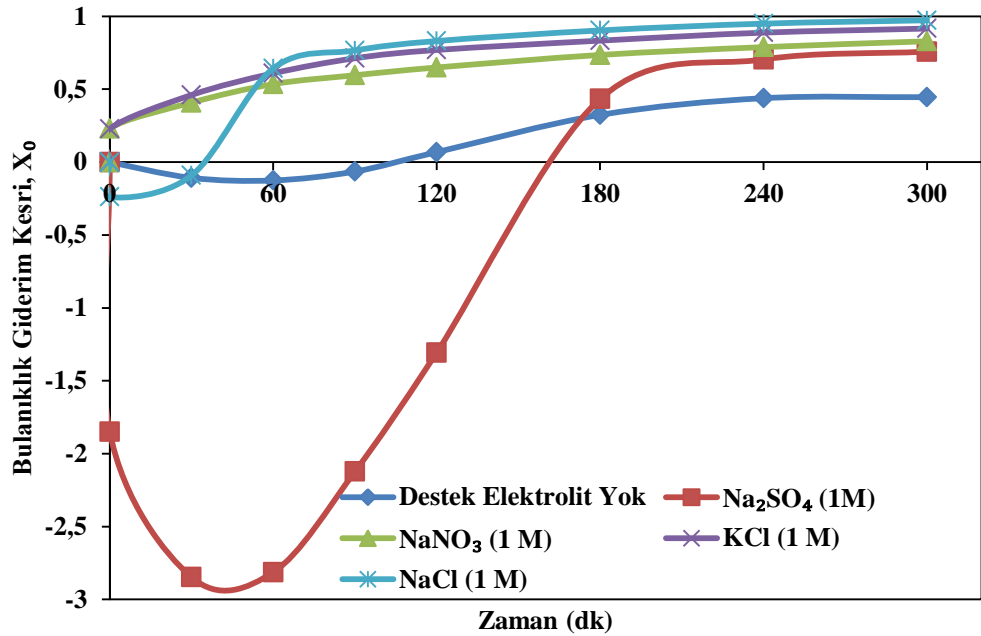
Şekil 4.55. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.56. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün TF giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.57. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün renk giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.58. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit türünün bulanıklık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.52-4.58'de görüldüğü üzere Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde tuz türünün değişimi ile birlikte giderim kesirleri de önemli ölçüde değişmiştir. Destek elektrolit

kullanılmayan denemelerde 5 saatlik deney süresi sonunda KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,26, 0,18, 0,16, 0,20, 1,00, 0,80 ve 0,45 oranında gerçekleşmiştir. Destek elektrolit olarak Na_2SO_4 kullanılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,54, 0,43, 0,40, 0,26, 1,00, 1,00 ve 0,76 olarak gerçekleşmiştir. NaNO_3 , KCl ve NaCl'nin destek elektrolit türü olarak kullanıldığı denemelerde ise giderim kesirleri belirgin ölçüde artmıştır. Destek elektrolit olarak NaNO_3 kullanılan denemelerde ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 1,00, 0,92, 0,89, 0,05, 1,00, 0,99 ve 0,83 olarak gerçekleşmiştir. KCl ile yapılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 1,00, 0,45, 0,54, 0,72, 1,00, 1,00 ve 0,92 olarak, NaCl ile yapılan denemelerde ise sırasıyla 1,00, 0,49, 0,53, 0,61, 1,00, 1,00 ve 0,97 oranında gerçekleşmiştir. Destek elektrolit türü olarak Na_2SO_4 kullanıldığında giderim kesirleri çok fazla değişmese de NaNO_3 , KCl ve NaCl için belirgin ölçüde değişmiştir. Maliyetleri karşılaştırıldığında NaCl'nin daha ucuz ve kolay bulunabilir olması, NaNO_3 'ün azot içeriği sebebiyle kirliliğe neden olması gibi sebeplerle Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinin diğer çalışmalarında destek elektrolit olarak NaCl'nin kullanılmasına karar verilmiştir.

4.6. Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Etkisi

Destek elektrolit konsantrasyonunun incelendiği çalışmalarda destek elektrolit türü olarak 0,25, 0,5, 0,75, 1 ve 1,25 M olarak şekilde NaCl'nin kullanılmasına karar verilmiştir. Denemeler yapılırken elektrooksidasyon prosesinde akım yoğunluğu $7,69 \text{ mA/cm}^2$ olarak ayarlanmıştır. Atıksuyun doğal pH değerinde ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C 'ye ayarlanarak yapılan denemelerde, deney süresince karıştırma yapılmamış ve deney için atıksu 5 kat seyreltilmiştir. Destek elektrolit konsantrasyonlarındaki değişimin Ti/ IrO_2 / RuO_2 ve Ti/Pt anotlar için ayrı ayrı giderim kesirleri üzerine etkileri incelenmiştir. Uygun miktarda seyreltmeler yapılarak zamanla alınan numunelerin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık analizleri yapılmış 5 sa'lik deney süresi sonunda elde edilen veriler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak destek elektrolit konsantrasyonlarındaki değişimin etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler

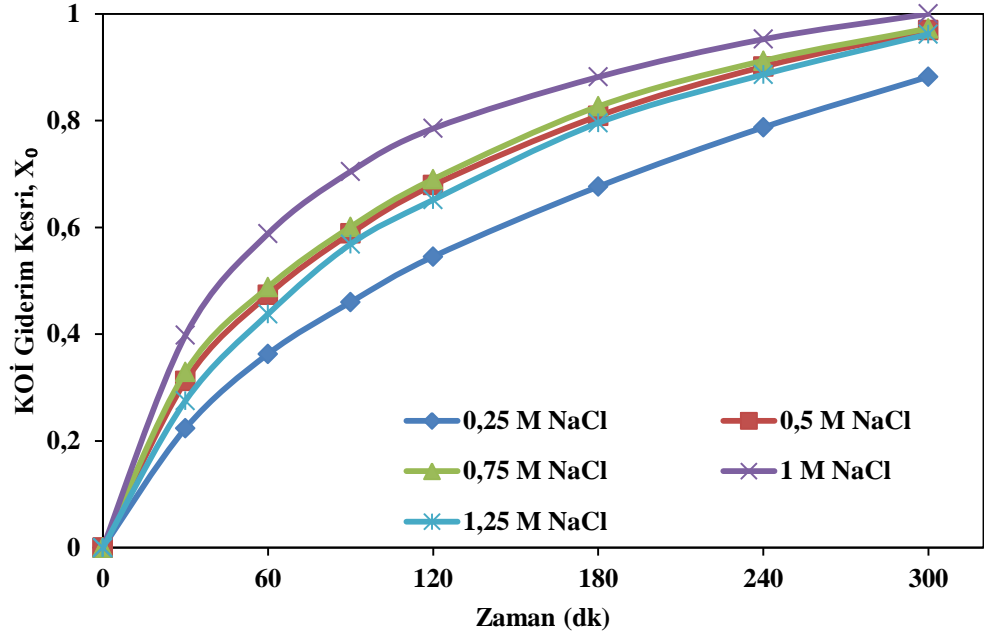
Ti/IrO₂/RuO₂							
Destek Elektrolit Konsantrasyonu	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
0,25 M	0,88	0,13	0,19	0,61	1,00	0,99	0,97
0,5 M	0,97	0,16	0,21	0,72	1,00	0,99	0,98
0,75 M	0,97	0,17	0,22	0,65	1,00	0,98	0,98
1 M	1,00	0,22	0,28	0,62	1,00	0,98	0,90
1,25 M	0,96	0,20	0,24	0,58	1,00	0,98	0,71

*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok, SO: 1/5, DET: NaCl

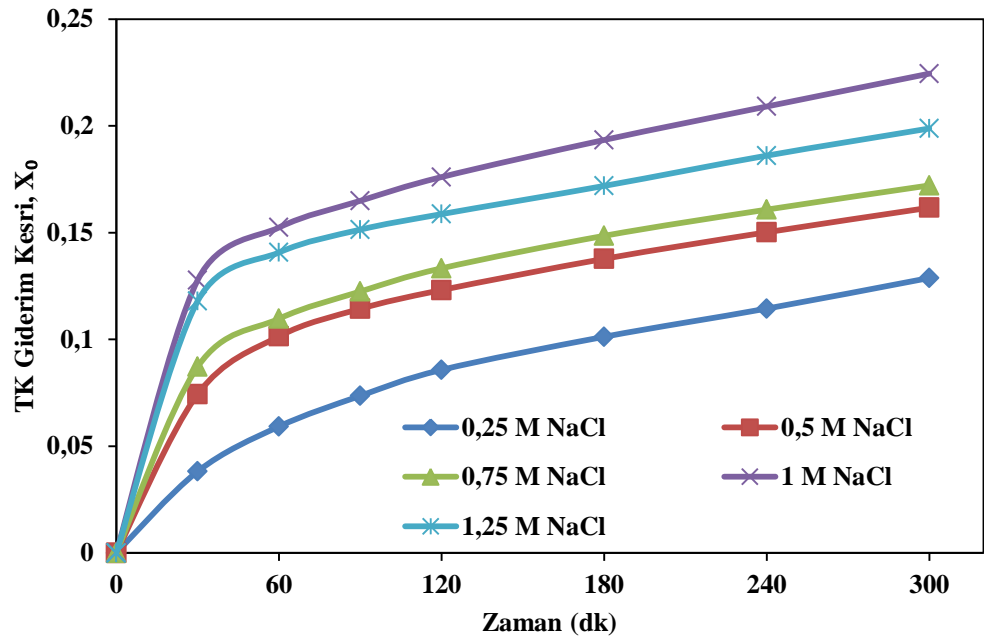
Ti/Pt							
Destek Elektrolit Konsantrasyonu	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
0,25 M	1,00	0,61	0,56	0,90	1,00	1,00	0,92
0,5 M	1,00	0,50	0,49	0,78	1,00	1,00	0,95
0,75 M	1,00	0,41	0,46	0,73	1,00	1,00	0,98
1 M	1,00	0,49	0,46	0,61	1,00	1,00	0,97
1,25 M	0,83	0,36	0,36	0,59	1,00	1,00	0,97

*pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm², Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok, SO: 1/5, DET: NaCl

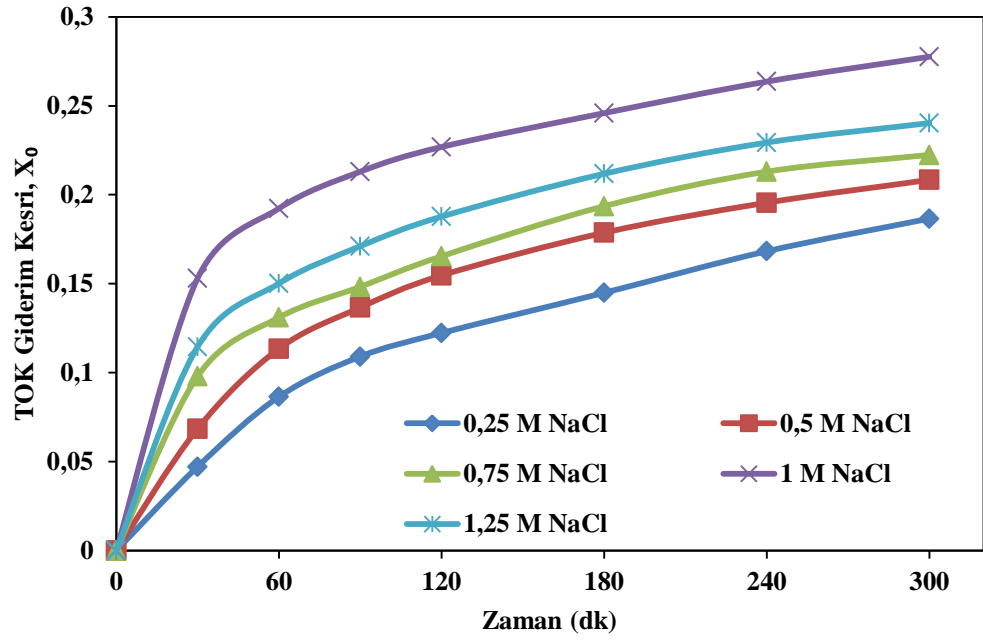
Destek elektrolit konsantrasyonlarındaki değişimin incelendiği denemelerde Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.59-4.65'te verilmiştir.



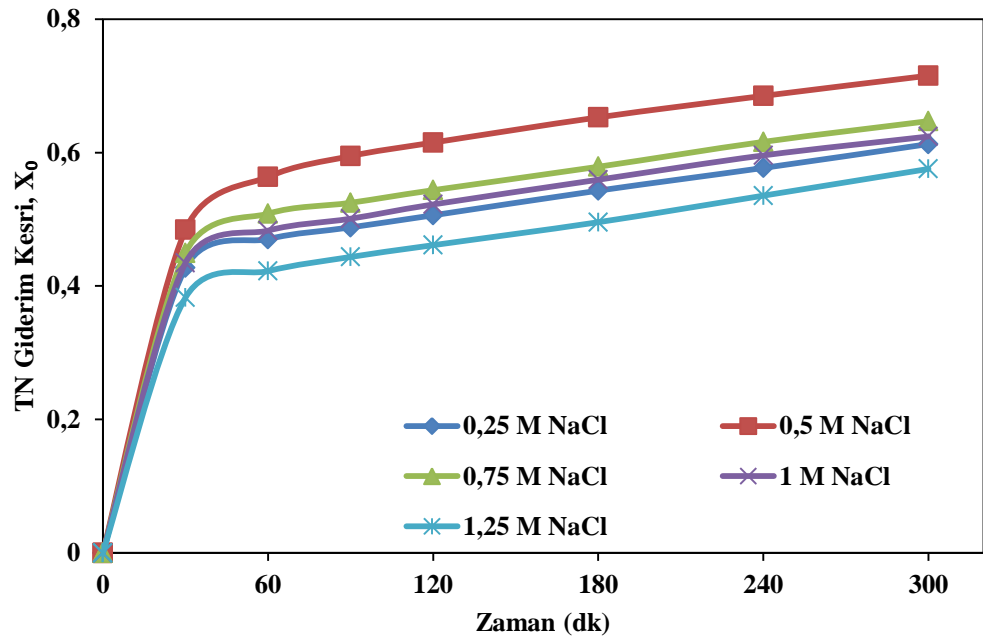
Şekil 4.59. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim kesri üzerine etkisi



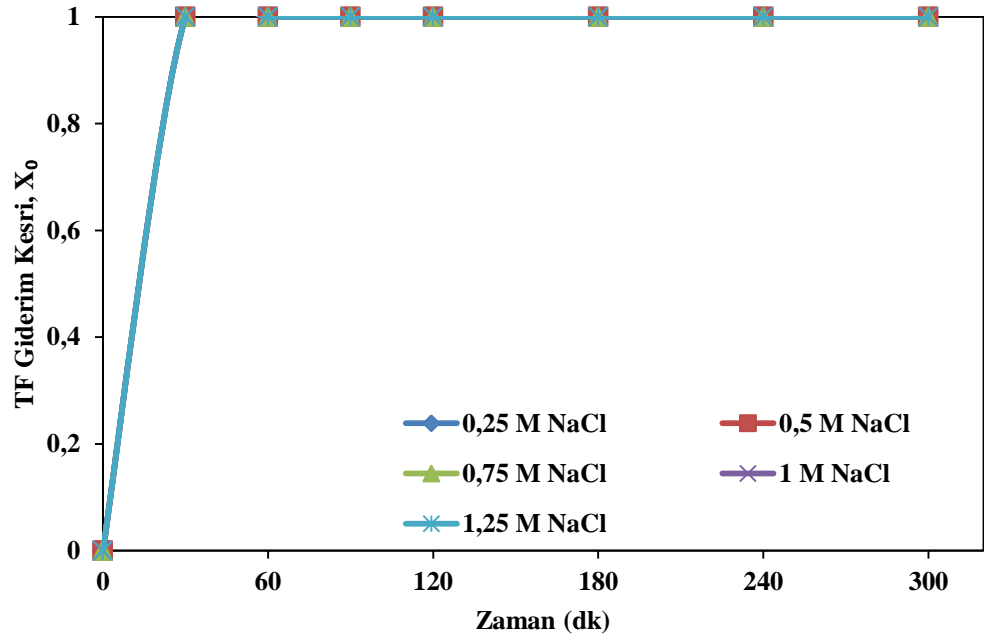
Şekil 4.60. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TK giderim kesri üzerine etkisi



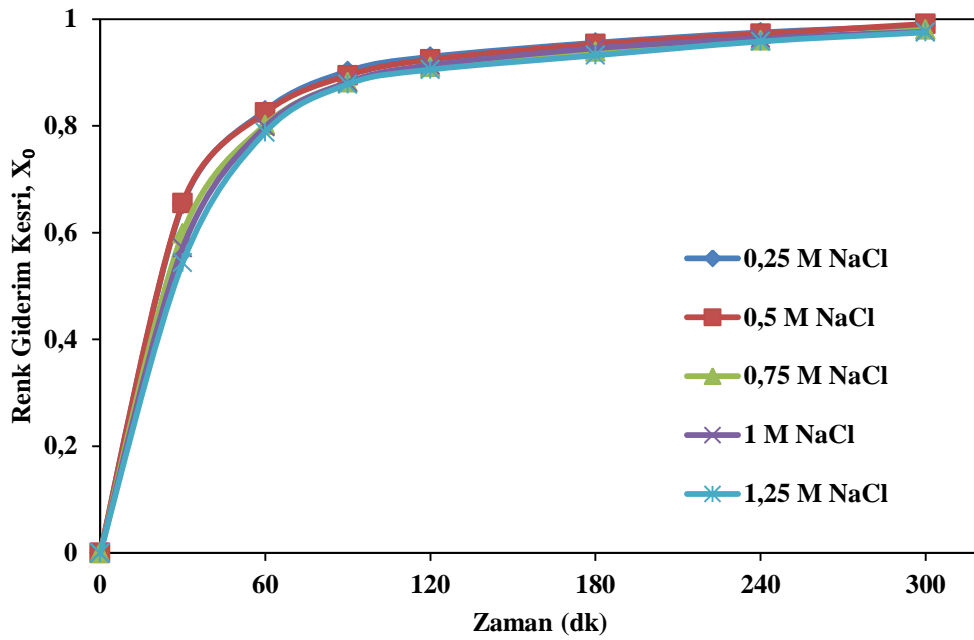
Şekil 4.61. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TOK giderim kesri üzerine etkisi



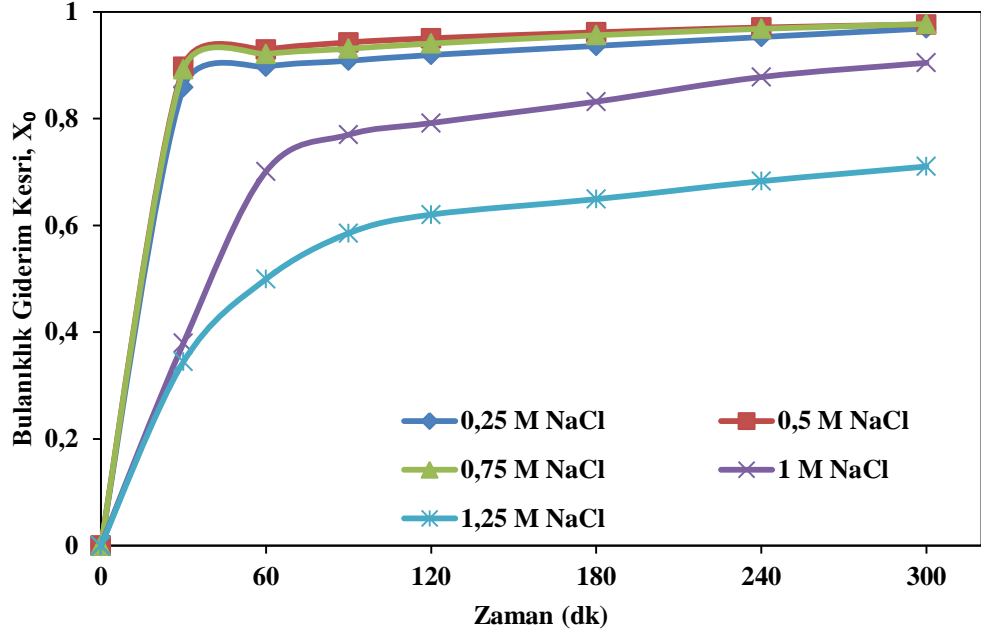
Şekil 4.62. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.63. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TF giderim kesri üzerine etkisi



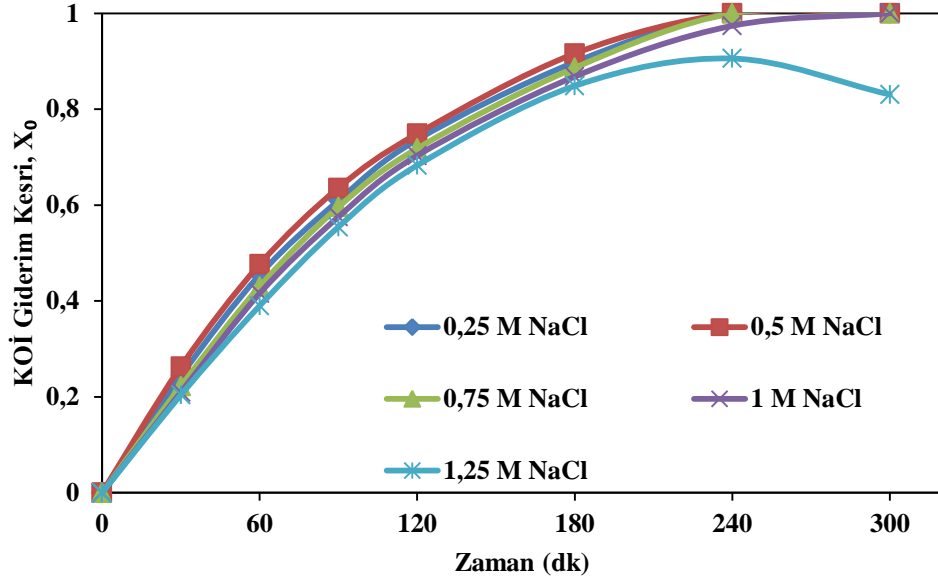
Şekil 4.64. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim kesri üzerine etkisi



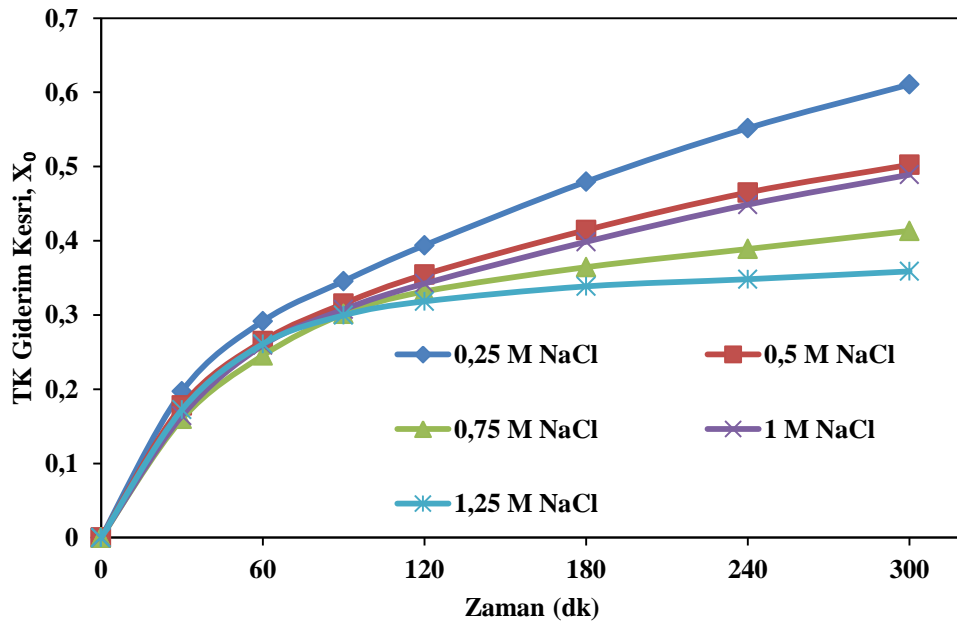
Şekil 4.65. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun bulanıklık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.59-4.65'te görüldüğü üzere Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonunun artması bir noktaya kadar giderim kesirlerini arttırsa da bir noktadan sonra etkili olamamıştır. Destek elektrolit konsantrasyonu 1,25 M kullanıldığı denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri sırasıyla 0,96, 0,20, 0,24, 0,58, 1,00, 0,98 ve 0,71 oranında gerçekleşmiştir. Destek elektrolit konsantrasyonu 0,25 M'e düşürüldüğünde ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri sırasıyla 0,88, 0,13, 0,19, 0,61, 1,00, 0,99 ve 0,97 olarak gerçekleşmiştir. Destek elektrolit konsantrasyonu 0,5 M seçildiğinde ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri 0,97, 0,16, 0,21, 0,72, 1,00, 0,99 ve 0,98 olarak gerçekleşmiştir. Destek elektrolit konsantrasyonu arttıkça giderim verimleri artmakta fakat atıksu içerisinde iletkenlik değerini de yükseltmektedir. İletkenlik değerini minimumda tutmak ve sistem maliyetlerini azaltmak için Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinin diğer çalışmalarında destek elektrolit konsantrasyonunun 0,5 M NaCl'nin olmasına karar verilmiştir.

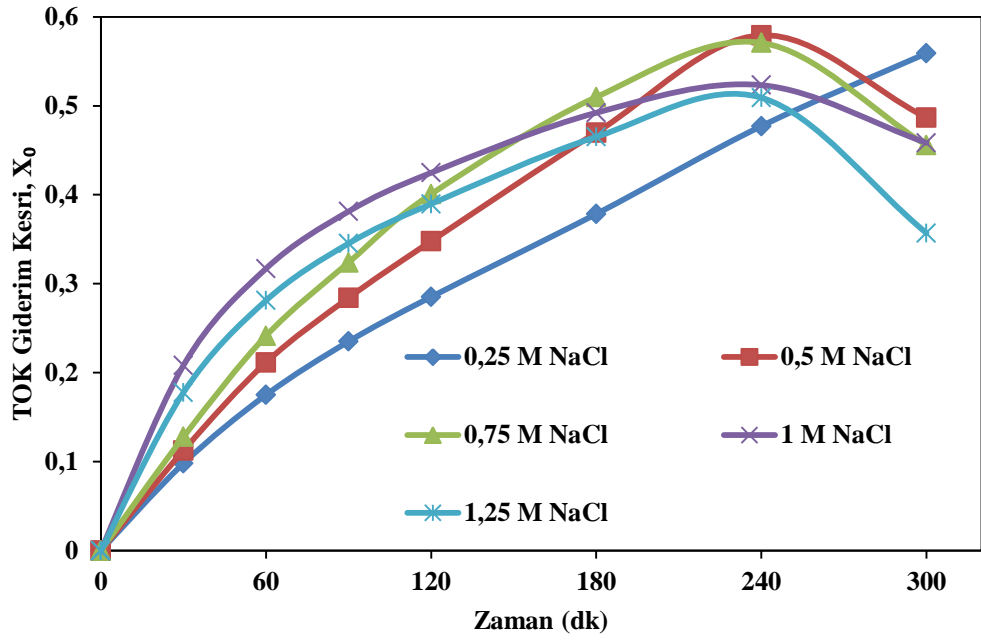
Destek elektrolit konsantrasyonlarındaki değişimin incelendiği çalışmalarda Ti/Pt anotlar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.66-4.72’de gösterilmiştir.



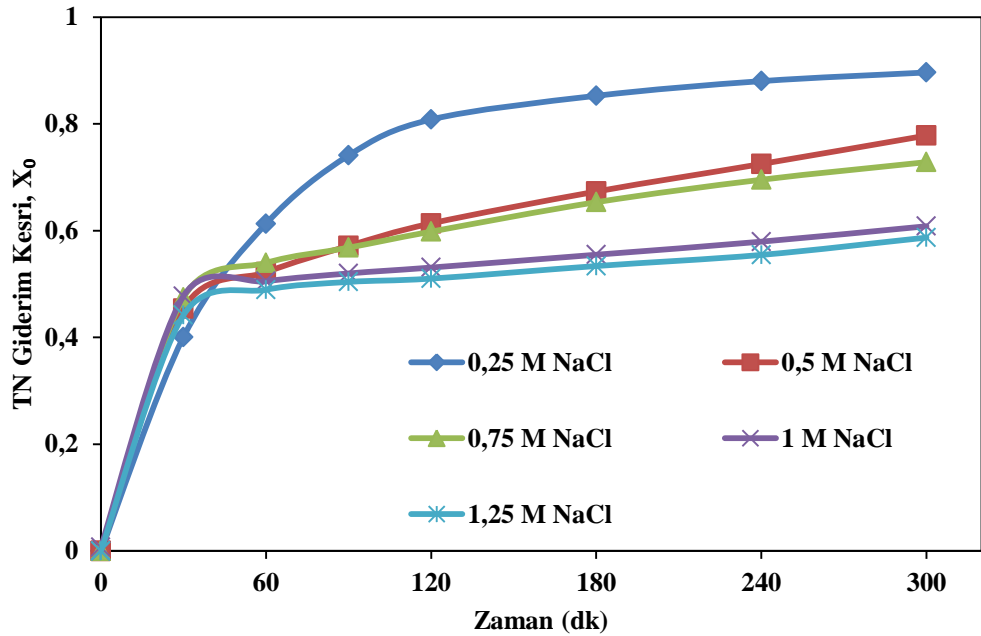
Şekil 4.66. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun KOİ giderim kesri üzerine etkisi



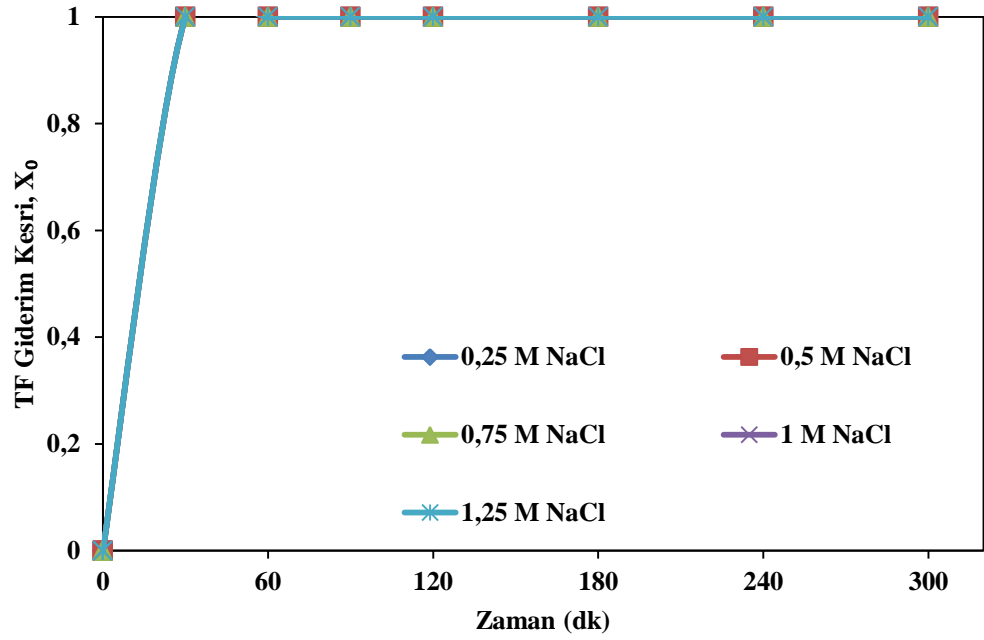
Şekil 4.67. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TK giderim kesri üzerine etkisi



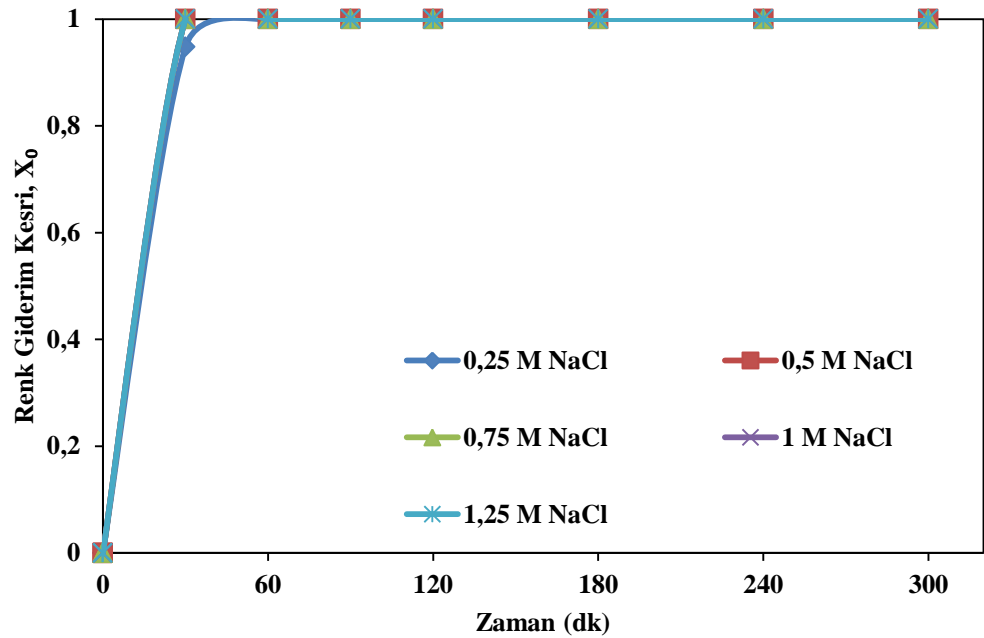
Şekil 4.68. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TOK giderim kesri üzerine etkisi



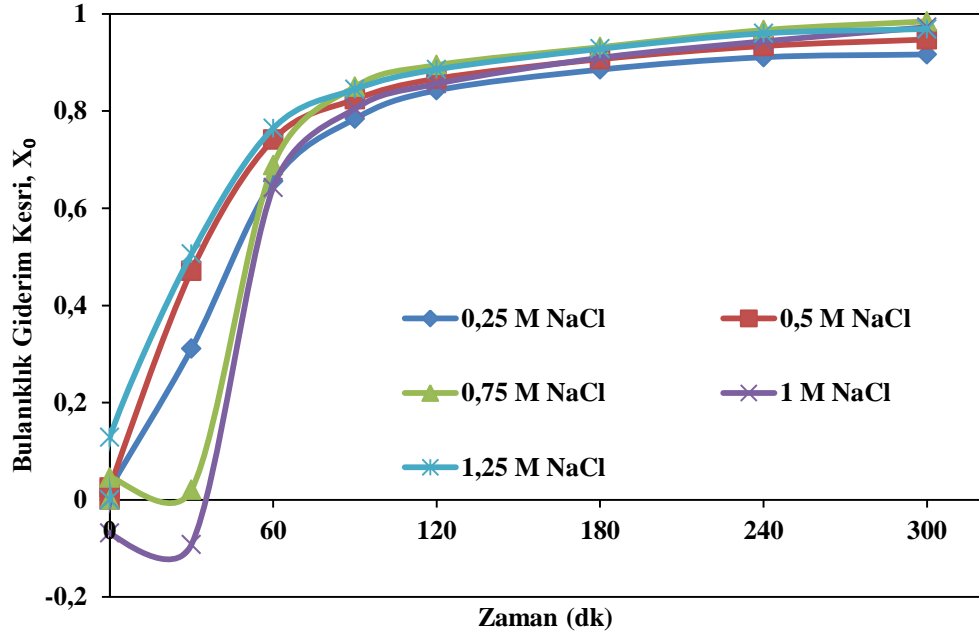
Şekil 4.69. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.70. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun TF giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.71. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.72. Ti/Pt anotlar için destek elektrolit konsantrasyonunun bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.66-4.72’de görüldüğü üzere Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde tuz konsantrasyonunun değişimi giderim kesirlerinin de bir miktar değişmesine sebep olmuştur. 1,25 M destek elektrolit kullanılan 5 saatlik deney süresi sonunda KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,83, 0,36, 0,36, 0,59, 1,00, 1,00 ve 0,97 oranında gerçekleşmişken, 0,75 M destek elektrolit kullanılan çalışmanın sonunda KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,99, 0,41, 0,46, 0,73, 1,00, 1,00 ve 0,98 olarak gerçekleşmiştir. Destek elektrolit konsantrasyonu 0,25 M’e düşürüldüğünde ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 1,00, 0,61, 0,56, 0,90, 1,00, 1,00 ve 0,92 olarak gerçekleşmiştir. Destek elektrolit varlığı sulara iletkenliğin yükselmesine sebep olmaktadır. 0,25 M NaCl kullanıldığında giderim oranlarının artması ve diğer destek elektrolit konsantrasyonları ile kıyaslandığında atıksuyun iletkenliği çok fazla yükselmemesi gibi sebeplerle Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinin diğer çalışmalarında destek elektrolit konsantrasyonunun 0,25 M NaCl olmasına karar verilmiştir.

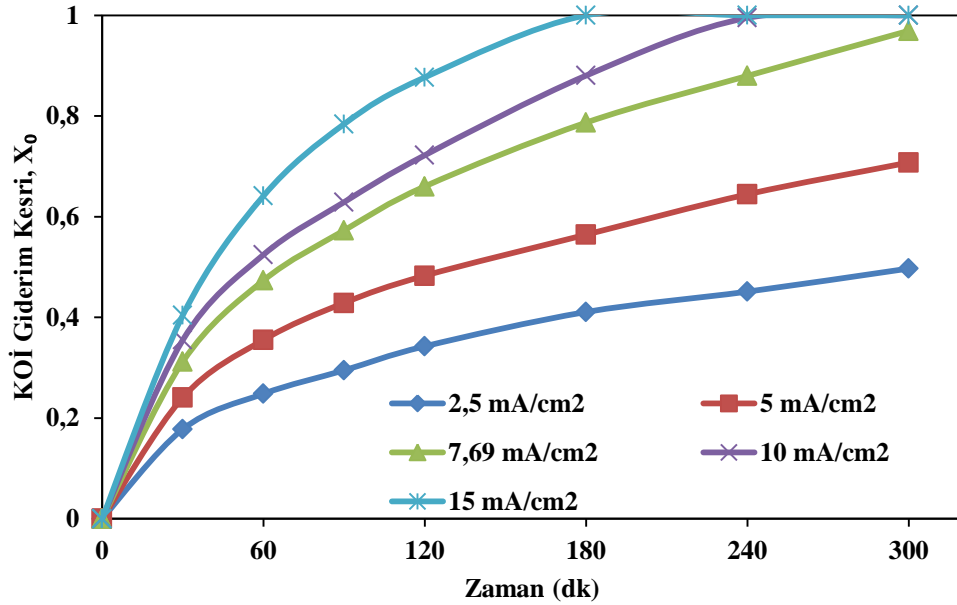
4.7. Akım Yoğunluğunun Etkisi

Başlangıç akım yoğunluğunun incelendiği denemelerde elektrolit konsantrasyonu olarak 0,25 M NaCl seçilmiştir. Atıksuyun doğal pH değerinde ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20⁰C'ye ayarlanarak yapılmıştır. Deney süresince karıştırma yapılmamış ve deney için atıksu 5 kat seyreltilmiştir. Denemeler için akım şiddetleri sırasıyla 2,5 mA/cm², 5 mA/cm², 7,69 mA/cm², 10 mA/cm² ve 15 mA/cm² olarak seçilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için ayrı ayrı giderim verimlerinin etkileri incelenmiştir. Uygun miktarda seyreltmeler yapılarak zamanla alınan numunelerin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık analizleri yapılmış ve 5 sa'lik deney süresi sonunda çalışma şartları ve elde edilen veriler Çizelge 4.7'de verilmiştir.

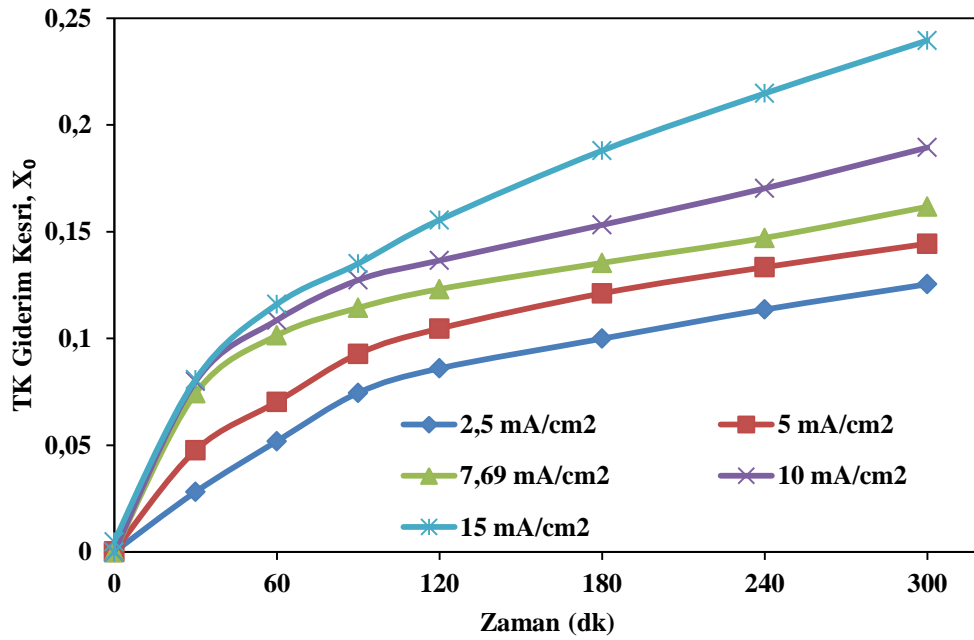
Çizelge 4.7. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak akım yoğunluğunun etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler

Ti/IrO₂/RuO₂							
Akım Yoğunluğu	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
2,5 mA/cm ²	0,50	0,13	0,18	0,57	1,00	0,90	0,97
5 mA/cm ²	0,71	0,14	0,20	0,60	1,00	0,95	0,98
7,69 mA/cm ²	0,97	0,16	0,21	0,72	1,00	0,99	0,98
10 mA/cm ²	1,00	0,19	0,24	0,73	1,00	1,00	0,99
15 mA/cm ²	1,00	0,24	0,25	0,82	1,00	1,00	0,99
*pH: 4,6 (Doğal), Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH:Yok, SO: 1/5, DET: NaCl, DEK: 0,5 M							
Ti/Pt							
Akım Yoğunluğu	KOİ (X₀)	TK (X₀)	TOK (X₀)	TN (X₀)	TF (X₀)	Renk (X₀)	Bulanıklık (X₀)
2,5 mA/cm ²	0,41	0,21	0,17	0,67	1,00	1,00	0,82
5 mA/cm ²	0,91	0,36	0,35	0,80	1,00	1,00	0,92
7,69 mA/cm ²	1,00	0,61	0,56	0,90	1,00	1,00	0,92
10 mA/cm ²	1,00	0,76	0,75	0,97	1,00	1,00	0,78
15 mA/cm ²	1,00	0,80	0,82	0,98	1,00	1,00	0,88
*pH: 4,6 (Doğal), Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: Yok, SO: 1/5, DET: NaCl, DEK: 0,25 M							

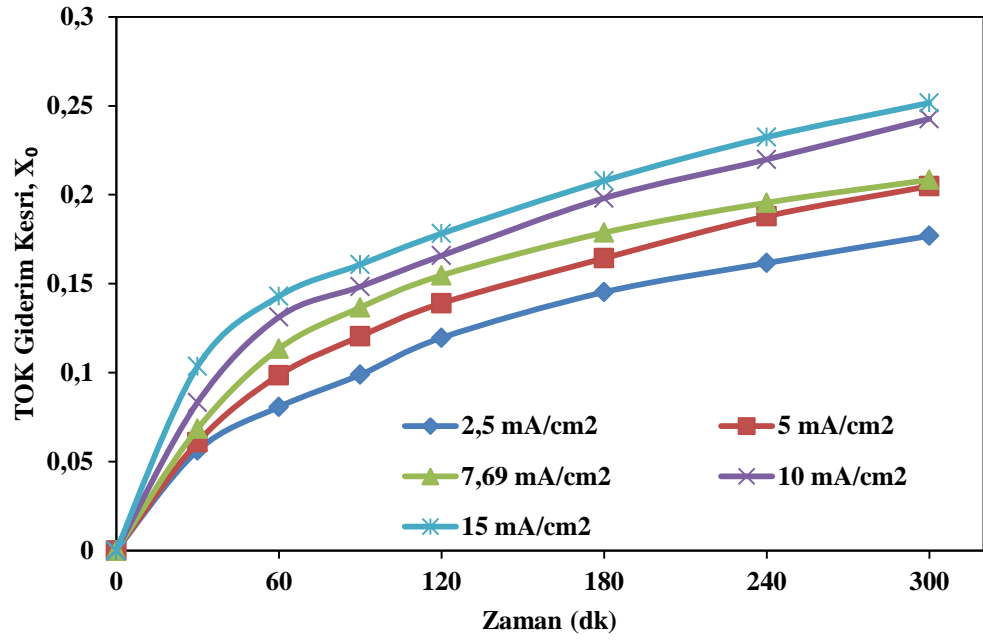
Akım yoğunluğunun etkisinin incelendiği çalışmalarda Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.73-4.79’da verilmiştir.



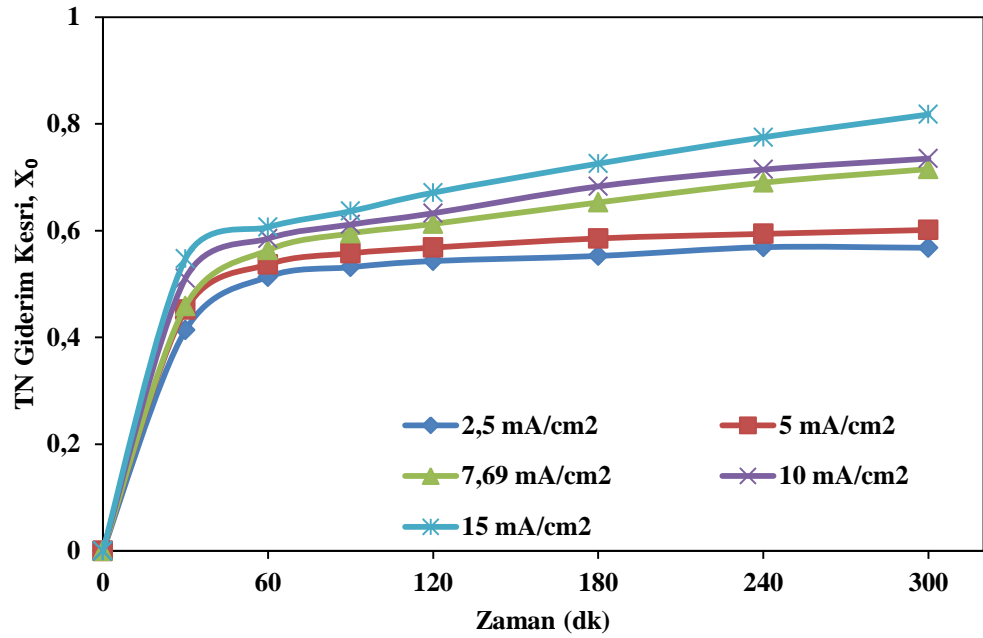
Şekil 4.73. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için akım yoğunluğunun KOİ giderim kesri üzerine etkisi



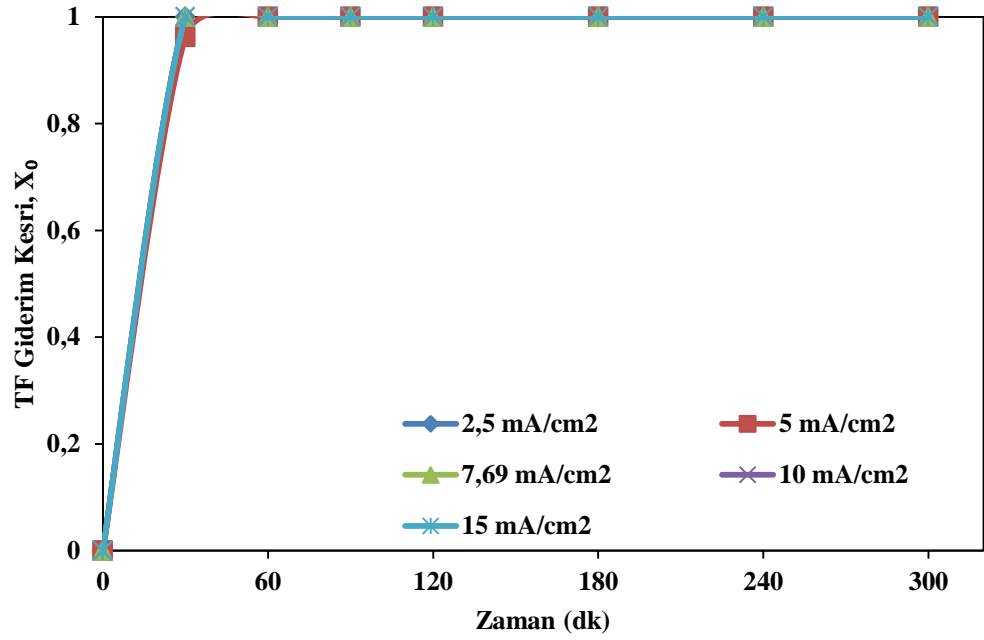
Şekil 4.74. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için akım yoğunluğunun TK giderim kesri üzerine etkisi



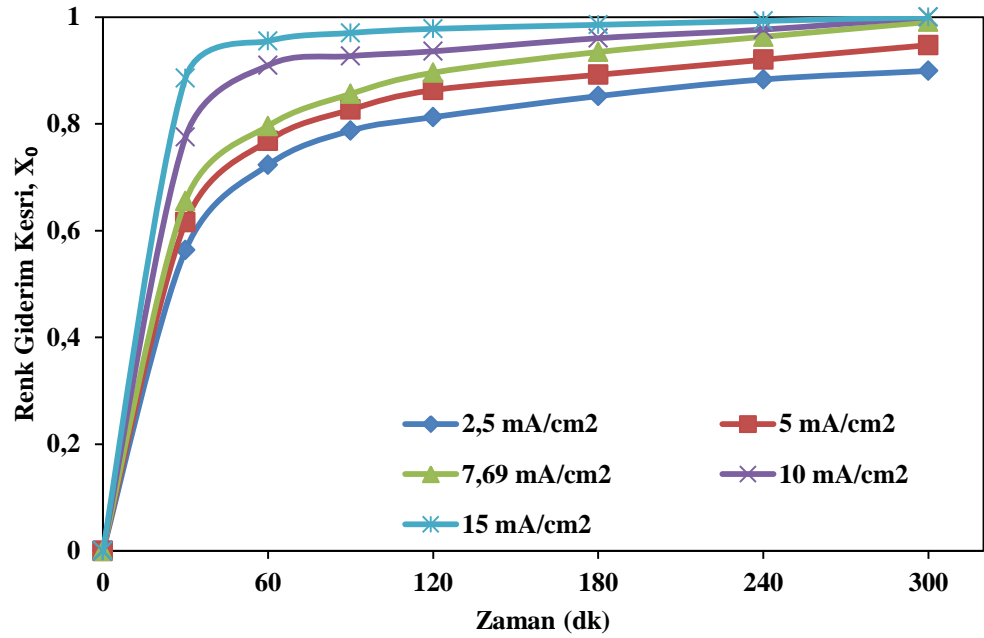
Şekil 4.75. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için akım yoğunluğunun TOK giderim kesri üzerine etkisi



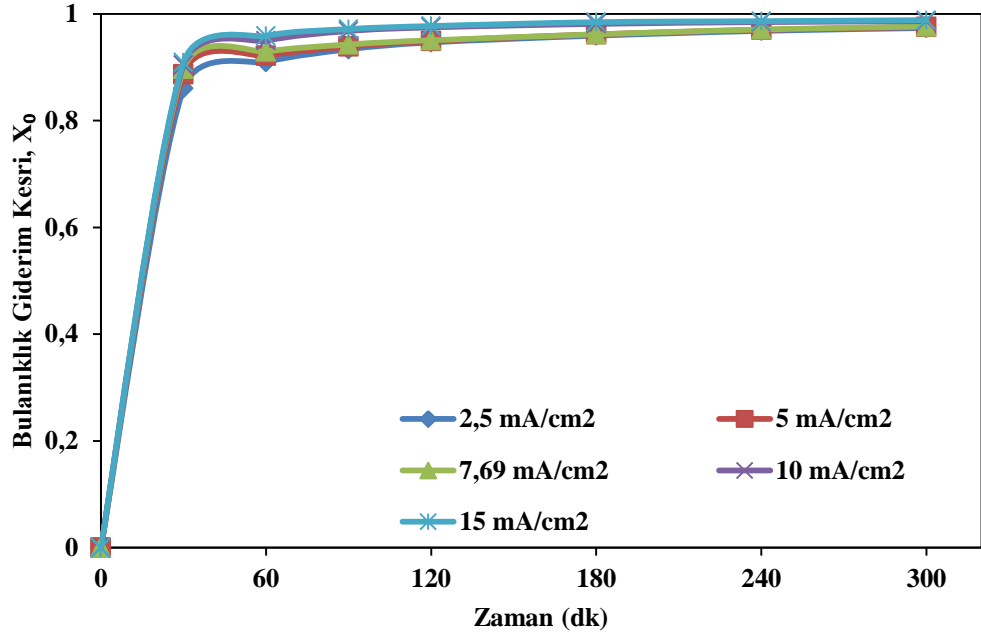
Şekil 4.76. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için akım yoğunluğunun TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.77. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için akım yoğunluğunun TF giderim kesri üzerine etkisi



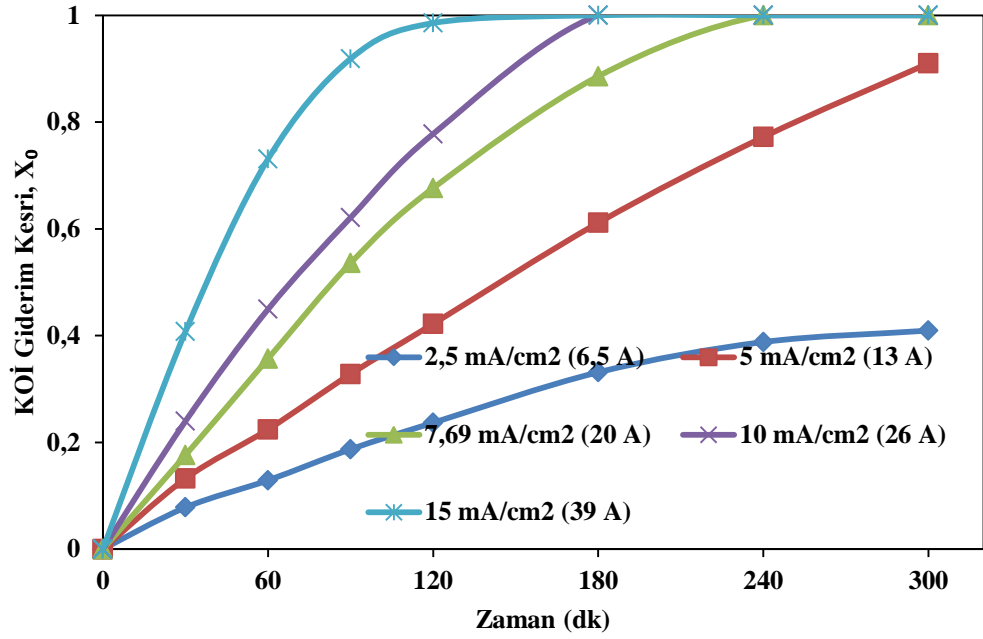
Şekil 4.78. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için akım yoğunluğunun renk giderim kesri üzerine etkisi



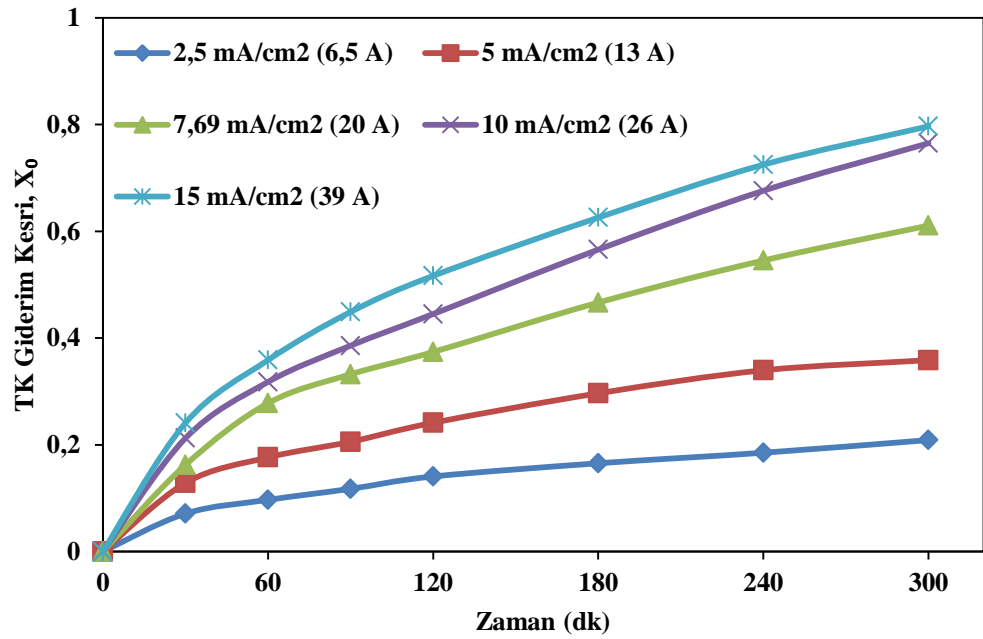
Şekil 4.79. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için akım yoğunluğunun bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.73-4.79'da görüldüğü üzere Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan denemelerde akım yoğunluğunun artması giderim kesirlerinin de net bir şekilde artmasını sağlamıştır. Akım yoğunluğunun 2,5 mA/cm² olarak ayarlandığı denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,50, 0,13, 0,18, 0,57, 1,00, 0,90 ve 0,97 oranında gerçekleşmiştir. Akım yoğunluğunun 7,69 mA/cm²'ye çıkarıldığında KOİ, TK, TOK, TN, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri 0,47, 0,03, 0,03, 0,15, 0,09 ve 0,01 oranında artış göstererek, sırasıyla 0,97, 0,16, 0,21, 0,72, 1,00, 0,99 ve 0,98 olarak belirlenmiştir. TF giderim kesirleri de her iki akım yoğunluğunda 1,00 olarak belirlenmiştir. Akım yoğunluğunun 15 mA/cm² olarak ayarlandığı denemelerde ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri çok fazla değişmemekle birlikte sırasıyla 1,00, 0,24, 0,25, 0,82, 1,00, 1,00 ve 0,99 olarak gerçekleşmiştir. Akım yoğunluğu elektrooksidasyon prosesi için önemli bir parametredir. Akım yoğunluğu 7,69 mA/cm²'nin üzerine çıkarıldığında giderim kesirlerinin çok fazla değişmemesi ve enerji maliyetleri dikkate alındığında Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinin diğer çalışmalarında akım yoğunluğunun 7,69 mA/cm² olmasına karar verilmiştir.

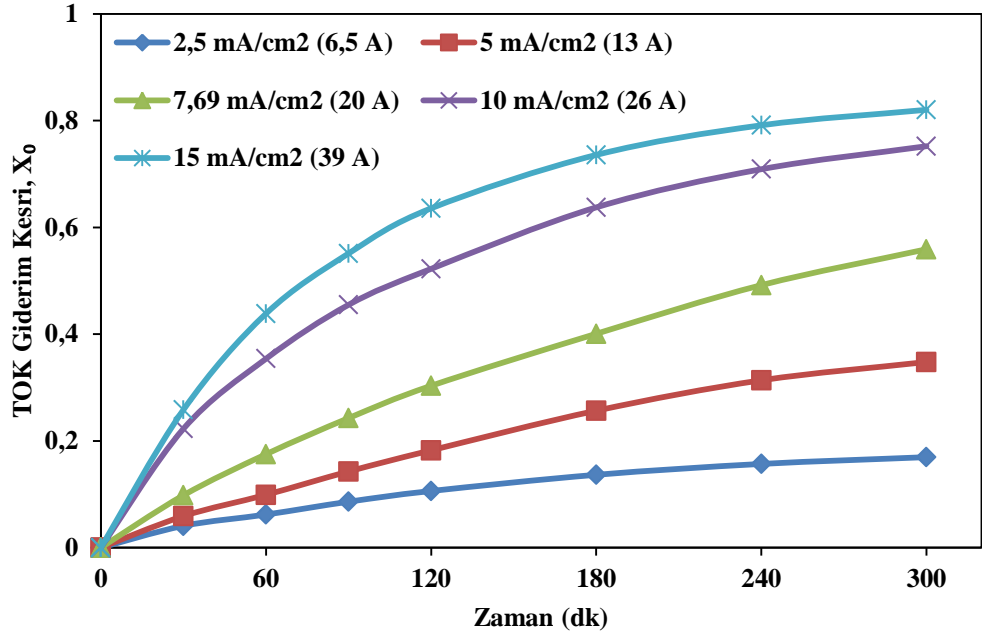
Akım yoğunluğunun etkisinin incelendiği çalışmalarda Ti/Pt anotlar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.80-4.86’da gösterilmiştir.



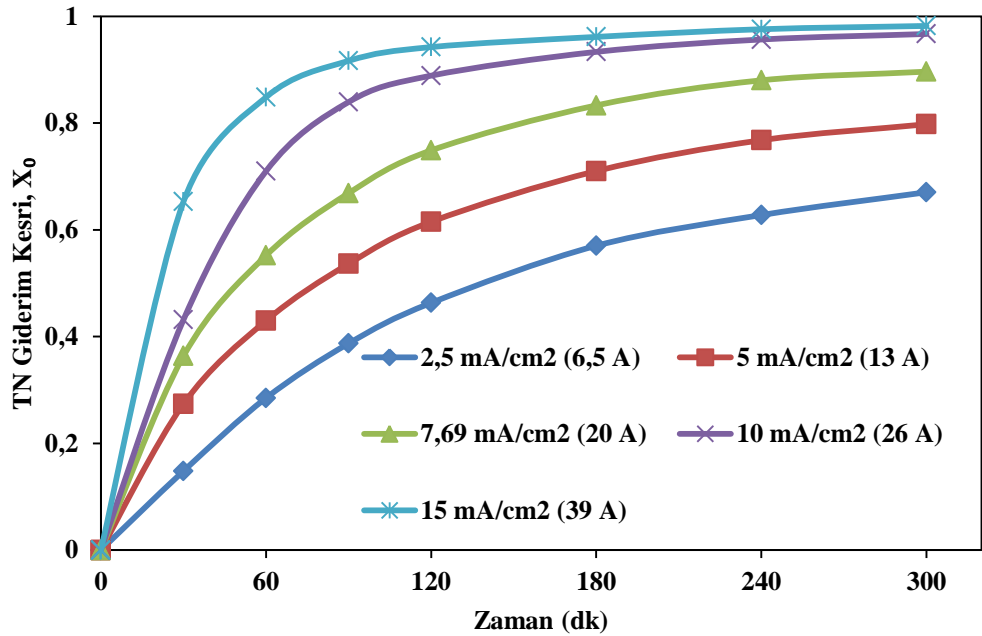
Şekil 4.80. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun KOİ giderim kesri üzerine etkisi



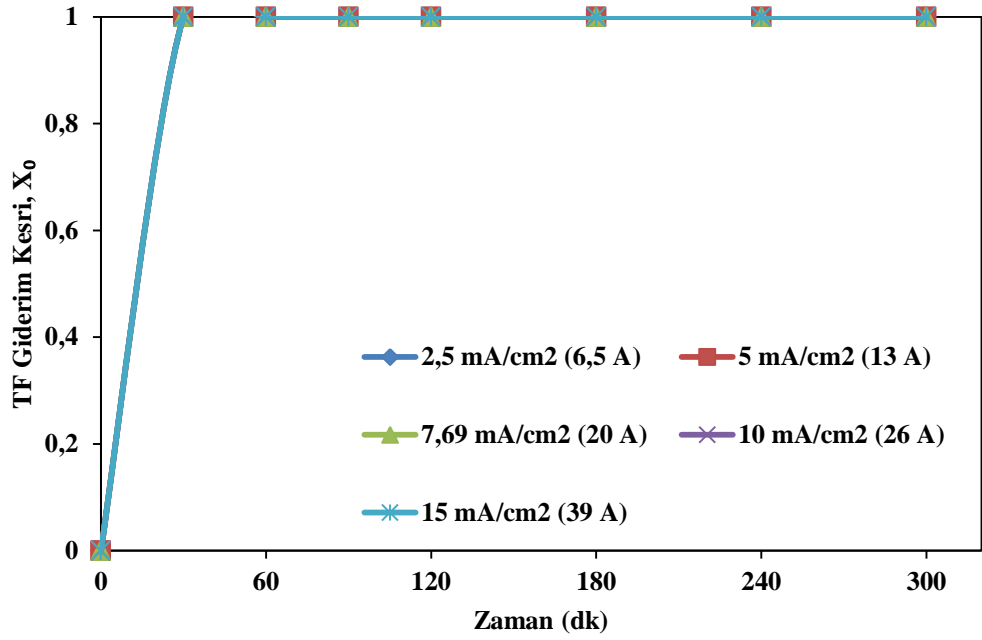
Şekil 4.81. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun TK giderim kesri üzerine etkisi



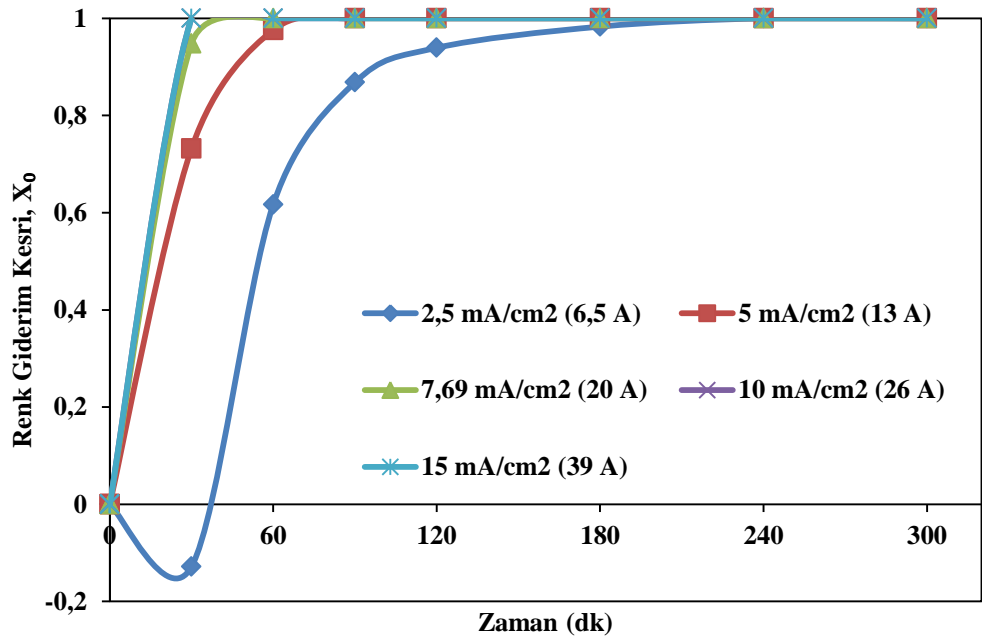
Şekil 4.82. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun TOK giderim kesri üzerine etkisi



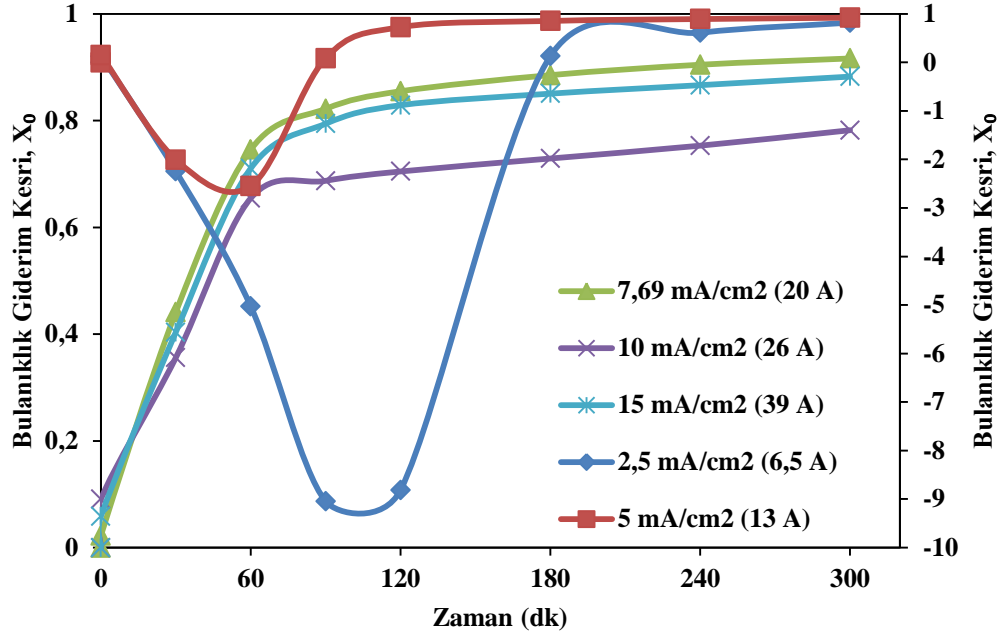
Şekil 4.83. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.84. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun TF giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.85. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun renk giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.86. Ti/Pt anotlar için akım yoğunluğunun bulanıklık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.80-4.86'da görüldüğü üzere Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde akım yoğunluğunun artması giderim kesirlerinin net bir şekilde artmasını sağlamıştır. Akım yoğunluğunun 2,5 mA/cm² olarak ayarlandığı denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri sırasıyla 0,41, 0,21, 0,17, 0,67, 1,00, 1,00 ve 0,82 oranında gerçekleşmiştir. Akım yoğunluğunun 7,69 mA/cm²'ye çıkarıldığında KOİ, TK, TOK, TN ve bulanıklık giderim kesirleri sırasıyla 0,59, 0,40, 0,39, 0,23 ve 0,10 oranında artış göstermiştir. KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri sırasıyla 1,00, 0,61, 0,56, 0,90, 1,00, 1,00 ve 0,92 olarak gerçekleşmiştir. Akım yoğunluğunun 15 mA/cm² olarak ayarlandığı denemelerde ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri çok fazla değişmemekle birlikte sırasıyla 1,00, 0,80, 0,82, 0,98, 1,00, 1,00 ve 0,88 olarak gerçekleşmiştir. Akım yoğunluğu 7,69 mA/cm²'nin üzerine çıkarıldığında giderim verimlerinin çok fazla değişmemesi ve enerji maliyetleri dikkate alındığında Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinin diğer çalışmalarında akım yoğunluğunun 7,69 mA/cm² olmasına karar verilmiştir.

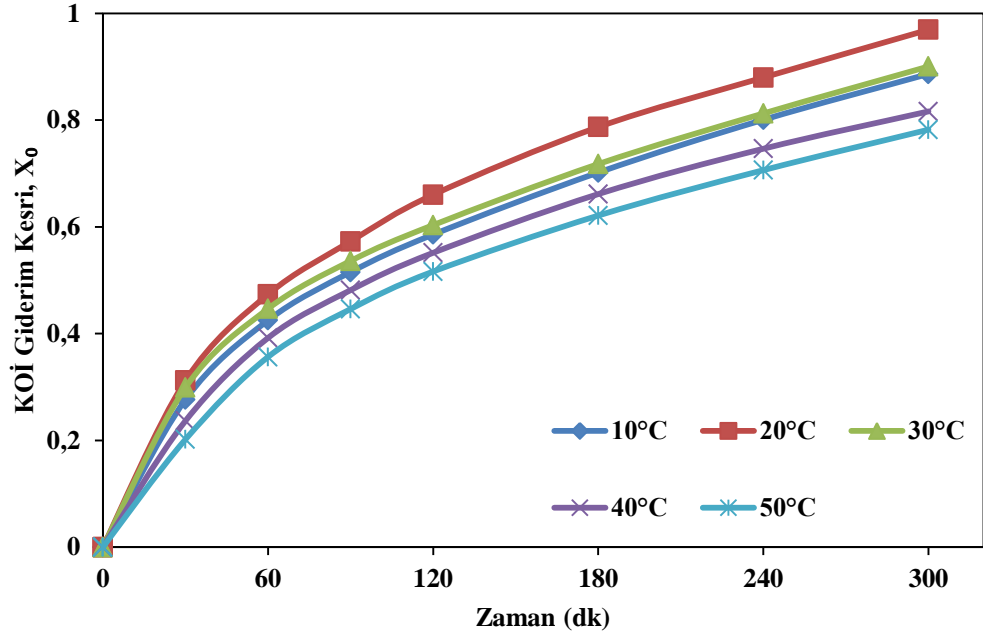
4.8. Sıcaklığın Etkisi

Başlangıç sıcaklıklarının etkilerinin incelendiği denemelerde elektrolit konsantrasyonu olarak 0,25 M NaCl seçilmiştir. Denemeler için sıcaklık değerleri sırasıyla 10°C, 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C olarak seçilmiştir. Atıksuyun doğal pH değerinde yapılan denemelerde sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü kullanılarak sıcaklığın 5 saatlik deney süresince istenilen değerde kalması sağlanmıştır. Deney süresince karıştırma yapılmamış ve deney için atıksu 5 kat seyreltilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için ayrı ayrı giderim kesirlerine etkileri incelenmiştir. Uygun miktarda seyreltmeler yapılarak zamanla alınan numunelerin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık analizleri yapılmıştır, deney şartları ve 5 sa'lik süre sonunda giderim kesirleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

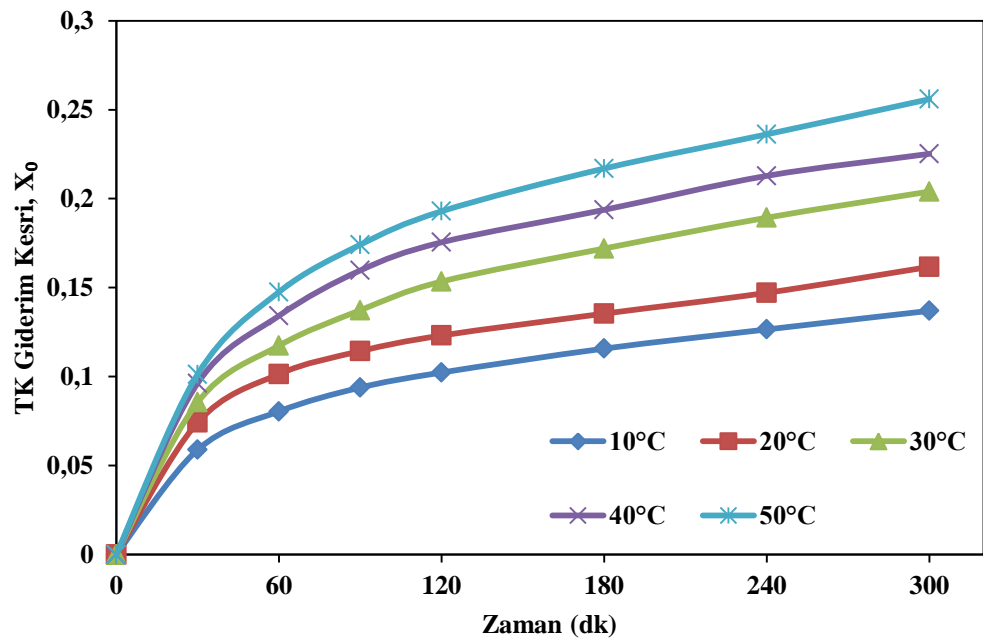
Çizelge 4.8. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt plaka kullanılarak sıcaklığın etkisinin incelendiği çalışmalarda sabit değişkenler ve giderim kesirleri için elde edilen değerler

Ti/IrO₂/RuO₂							
Sıcaklık	KOİ (X ₀)	TK (X ₀)	TOK (X ₀)	TN (X ₀)	TF (X ₀)	Renk (X ₀)	Bulanıklık (X ₀)
10°C	0,89	0,14	0,17	0,70	1,00	0,98	0,97
20°C	0,97	0,16	0,21	0,72	1,00	0,99	0,98
30°C	0,90	0,20	0,23	0,72	1,00	1,00	0,98
40°C	0,82	0,23	0,23	0,74	1,00	1,00	0,99
50°C	0,78	0,26	0,24	0,75	1,00	1,00	0,99
*pH: 4,6 (Doğal), J: 7,69 mA/cm², KH: Yok, SO: 1/5, DEK: 0,5 M NaCl							
Ti/Pt							
Sıcaklık	KOİ (X ₀)	TK (X ₀)	TOK (X ₀)	TN (X ₀)	TF (X ₀)	Renk (X ₀)	Bulanıklık (X ₀)
10°C	1,00	0,82	0,78	0,99	1,00	1,00	0,86
20°C	1,00	0,76	0,73	0,99	1,00	1,00	0,90
30°C	1,00	0,66	0,63	0,99	1,00	1,00	0,95
40°C	1,00	0,59	0,59	0,95	1,00	1,00	0,90
50°C	1,00	0,58	0,57	0,90	1,00	1,00	0,93
*pH: 4,6 (Doğal), J: 7,69 mA/cm², KH: Yok, SO: 1/5, DEK: 0,25 M NaCl							

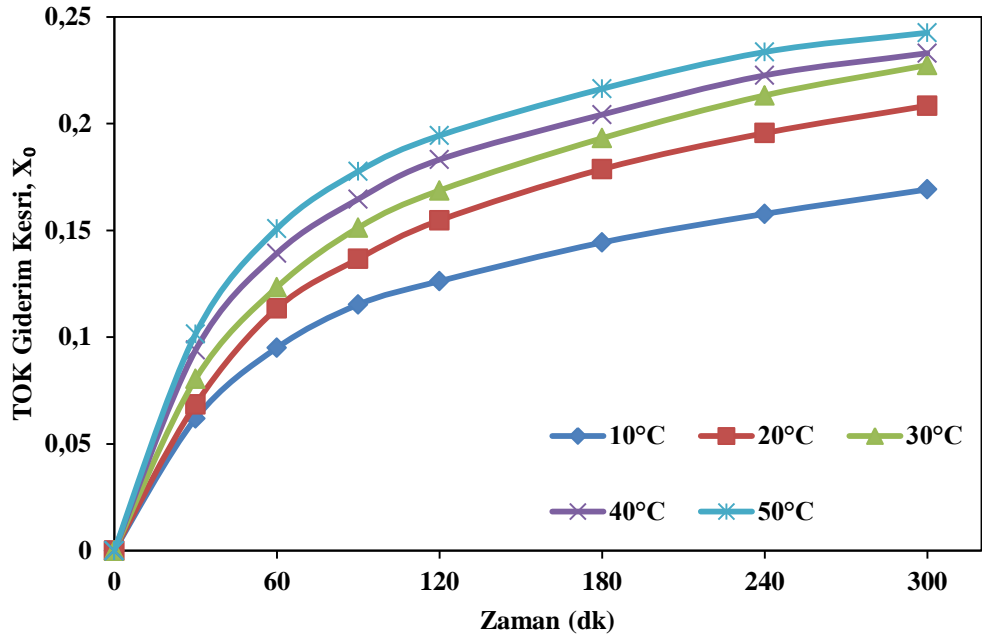
Ti/IrO₂/RuO₂ anotların kullanıldığı çalışmalarda farklı sıcaklıklarda giderim kesirleri için elde edilen sonuçlar Şekil 4.87-4.93'te verilmiştir.



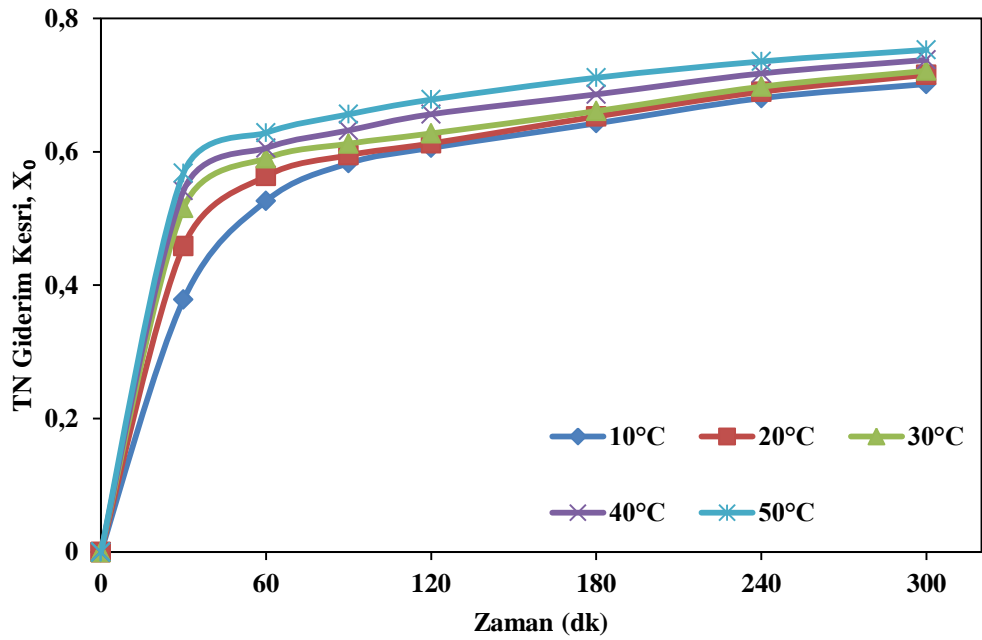
Şekil 4.87. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için sıcaklığın KOİ giderim kesri üzerine etkisi



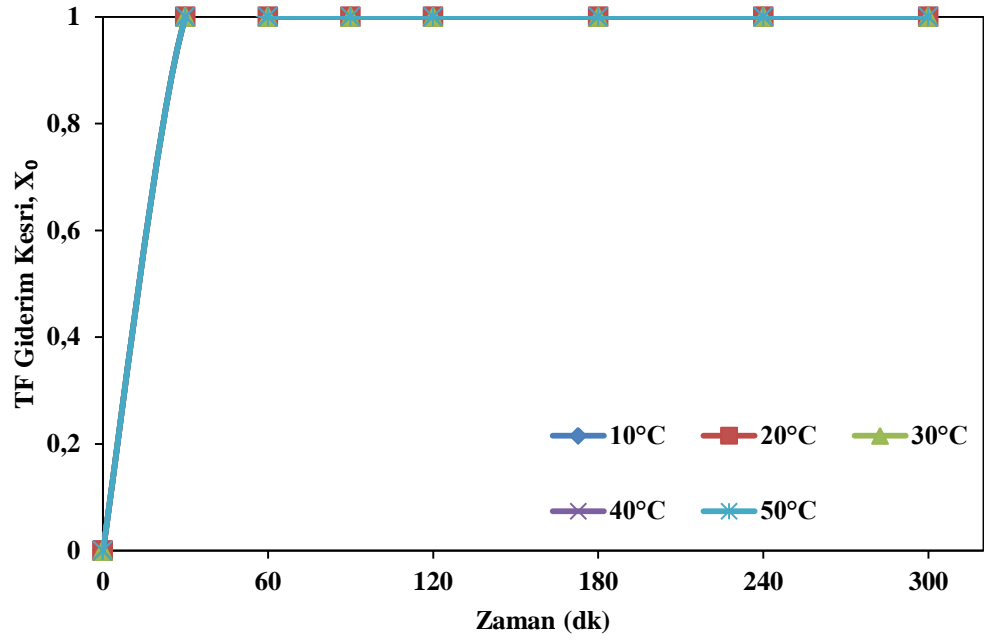
Şekil 4.88. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için sıcaklığın TK giderim kesri üzerine etkisi



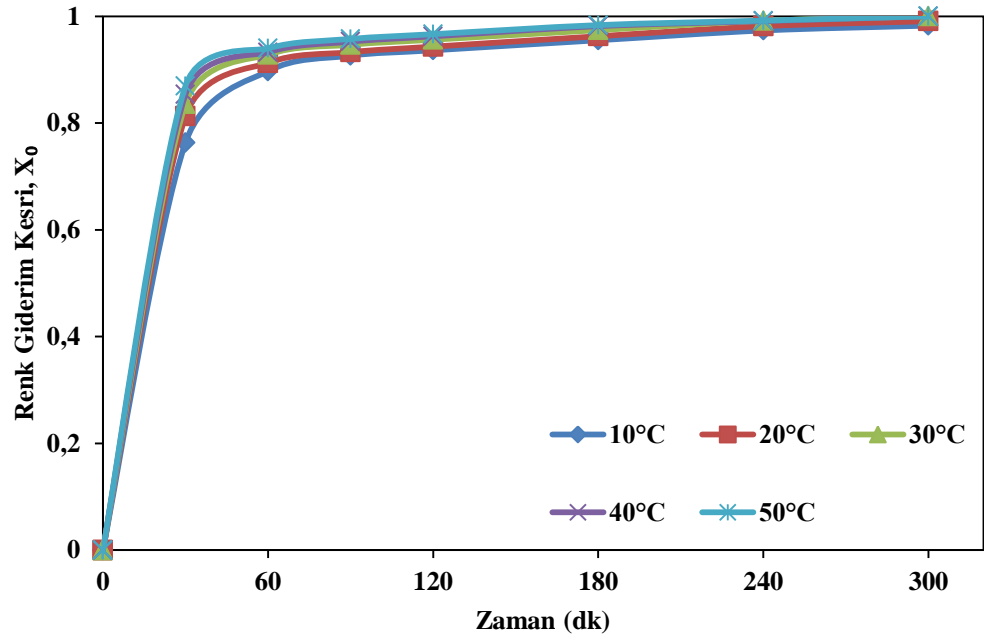
Şekil 4.89. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için sıcaklığın TOK giderim kesri üzerine etkisi



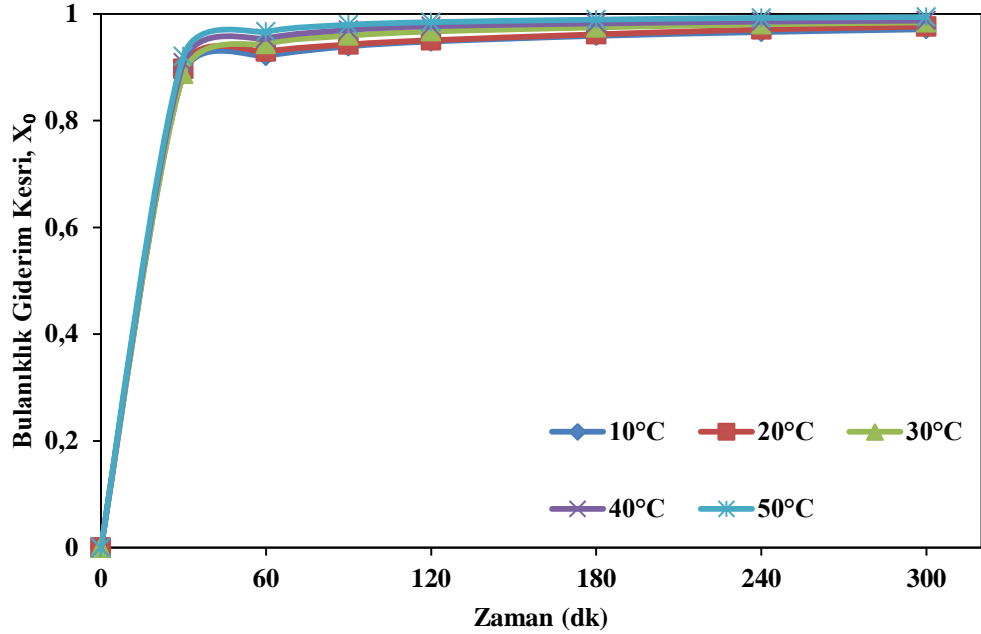
Şekil 4.90. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için sıcaklığın TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.91. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için sıcaklığın TF giderim kesri üzerine etkisi



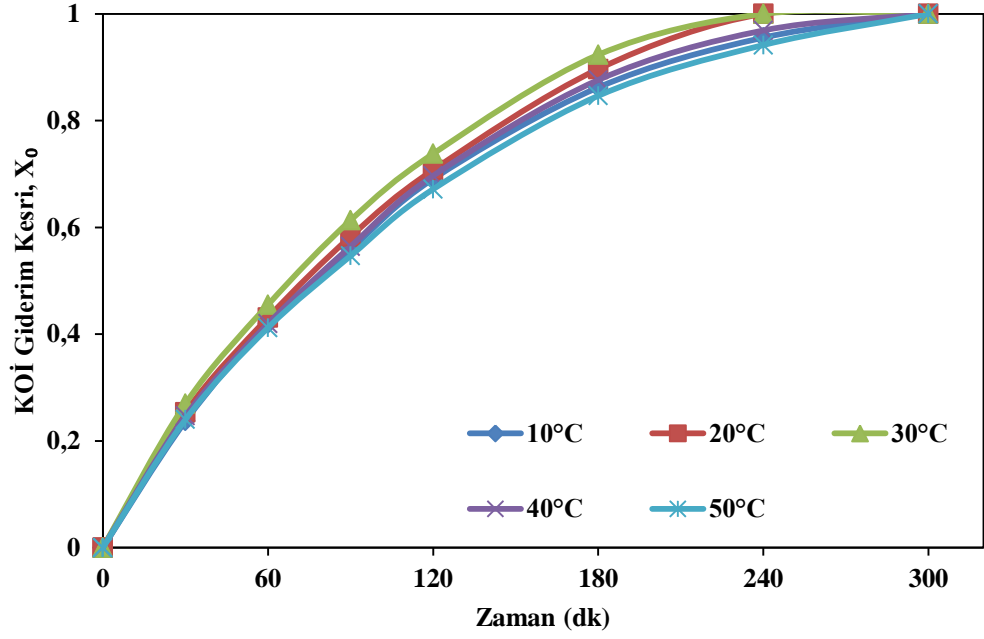
Şekil 4.92. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için sıcaklığın renk giderim kesri üzerine etkisi



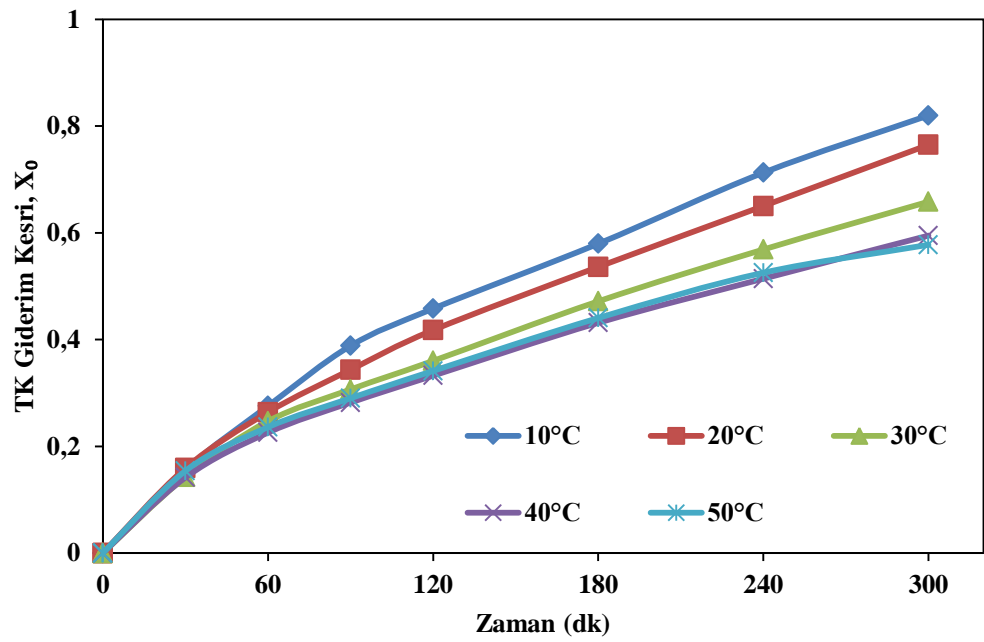
Şekil 4.93. Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar için sıcaklığın bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.87-4.93’da görüldüğü üzere Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan denemelerde sıcaklığın artması giderim kesirlerini çok fazla etkilememiş, hatta bir miktar düşmesine sebep olmuştur. 10°C sıcaklıkta yapılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,89, 0,14, 0,17, 0,70, 1,00, 0,98 ve 0,97 oranında gerçekleşmiştir. Sıcaklık 50°C’ye çıkarıldığında ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 0,78, 0,26, 0,24, 0,75, 1,00, 1,00 ve 0,99 olarak belirlenmiştir. 20°C sıcaklıkta ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri çok fazla değişmemekle birlikte sırasıyla 0,97, 0,16, 0,21, 0,72, 1,00, 0,99 ve 0,98 olarak gerçekleşmiştir. KOİ giderim kesirleri karşılaştırıldığında maksimum giderim verimi 20°C’de elde edilmiş olup Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde işlemlerin bu sıcaklıkta yapılması önerilmiştir.

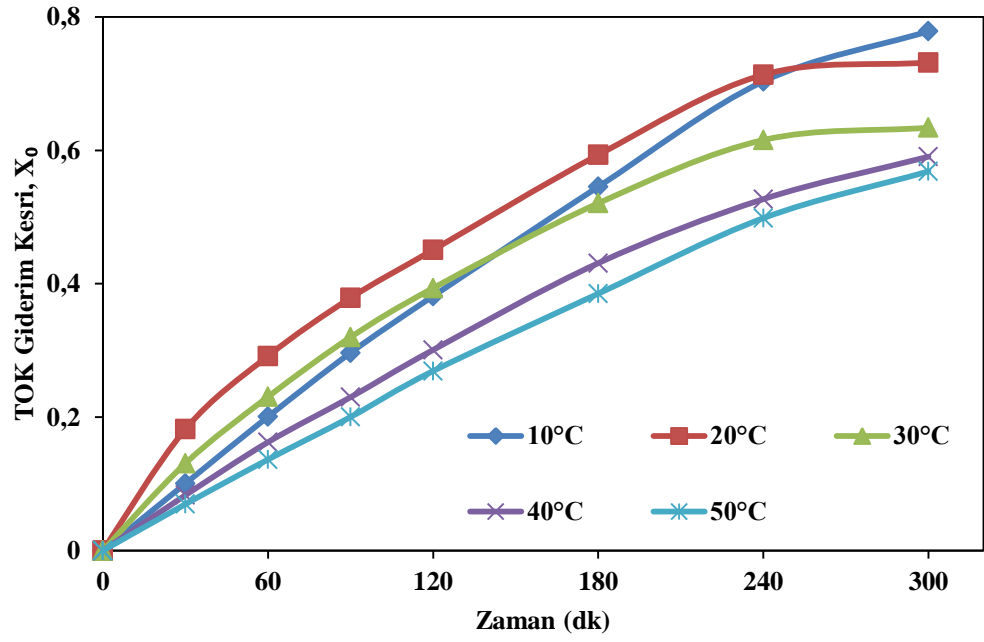
Ti/Pt anotlar için farklı sıcaklıklarda giderim kesirleri için elde edilen sonuçlar Şekil 4.94-4.100’de gösterilmiştir.



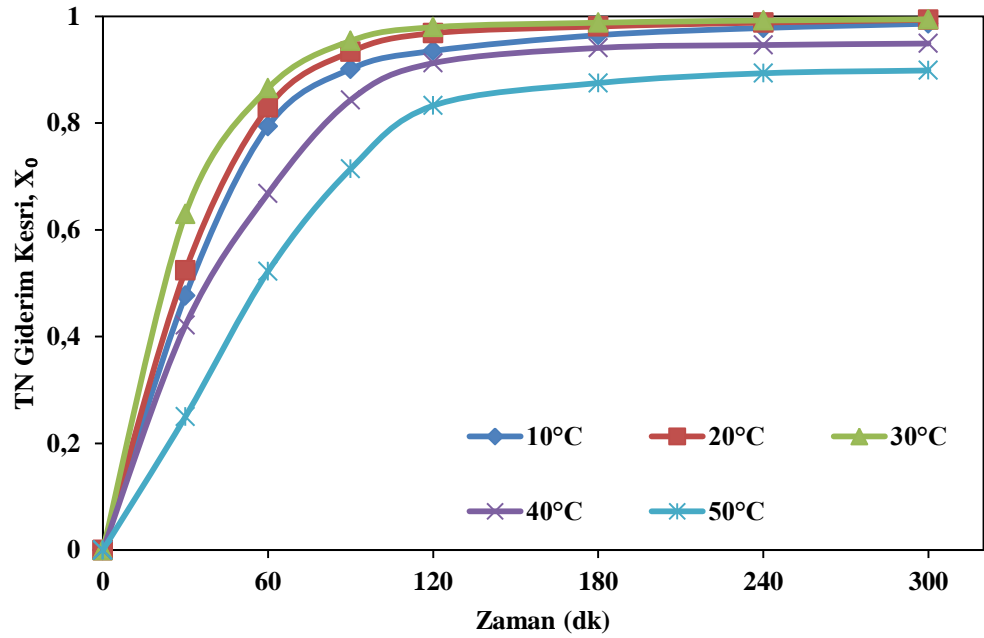
Şekil 4.94. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın KOİ giderim kesri üzerine etkisi



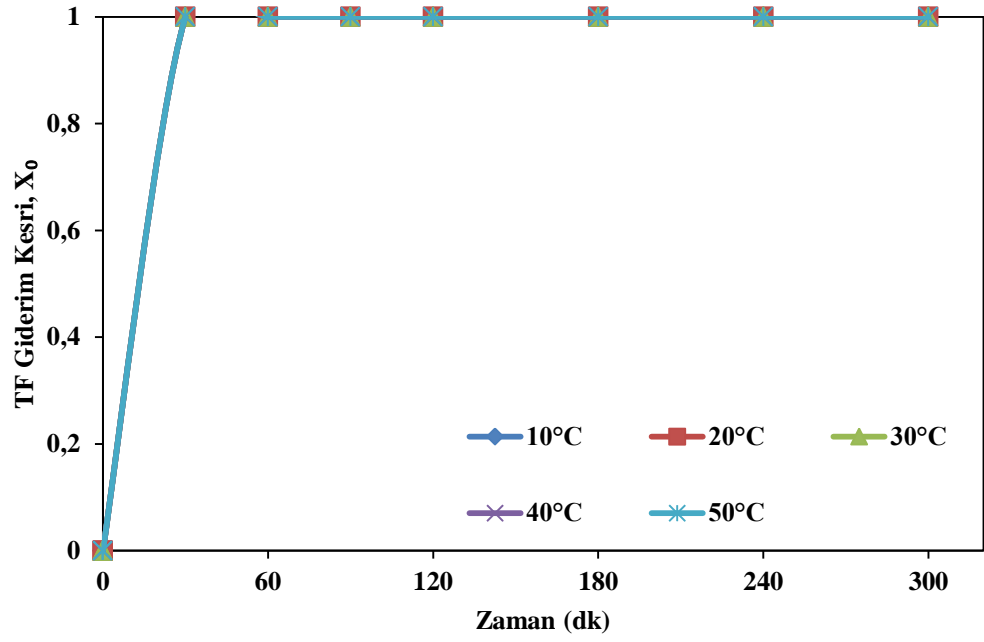
Şekil 4.95. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın TK giderim kesri üzerine etkisi



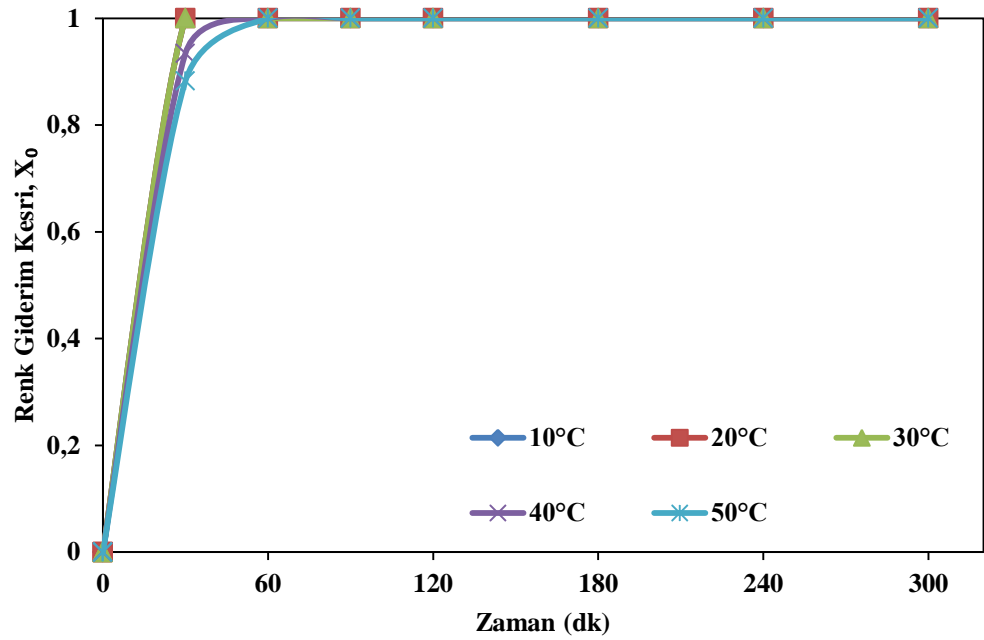
Şekil 4.96. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın TOK giderim kesri üzerine etkisi



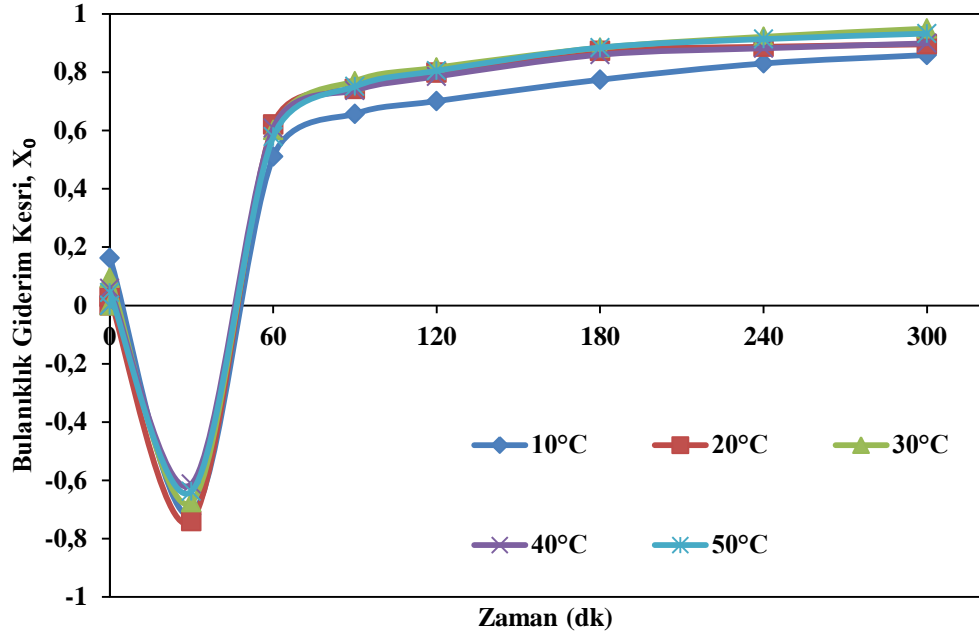
Şekil 4.97. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın TN giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.98. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın TF giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.99. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın renk giderim kesri üzerine etkisi



Şekil 4.100. Ti/Pt anotlar için sıcaklığın bulanıklılık giderim kesri üzerine etkisi

Şekil 4.94-4.100’de görüldüğü üzere Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde sıcaklığın artmasıyla birlikte giderim kesirleri de azalmaya başlamıştır. Sıcaklık 10°C’ye ayarlandığında KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 1,00, 0,82, 0,78, 0,99, 1,00, 1,00 ve 0,86 olarak gerçekleşmiştir. Sıcaklık 50°C’ye çıkarıldığında KOİ, TK, TOK, TN TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri sırasıyla 1,00, 0,58, 0,61, 0,90, 1,00, 1,00 ve 0,93 olarak gerçekleşmiştir. 20°C sıcaklıktaki KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri ise sırasıyla 1,00, 0,77, 0,73, 0,99, 1,00, 1,00 ve 0,90 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler 10°C’deki değerlerle kıyaslanırsa bulanıklılık giderim kesri için 0,04 oranında bir artış gözlenmiş olsa da, TK ve TOK giderim verimlerinin her biri için 0,05 oranında bir azalma söz konusudur. 5 saatlik süre sonunda bütün denemelerde KOİ, TF ve renk için giderim kesri 1,00 olarak bulunmuştur. Sıcaklığın düşmesi ile atıksudan kolaylıkla uzaklaştırılabilecek olan bulanıklılık için giderim verimi göreceli olarak düşmüş, aksine TK, TOK ve TN gibi kirleticilerin giderim verimleri önemli ölçüde artmıştır. Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde en yüksek giderim kesri sıcaklık 10°C’ye kadar düşürüldüğünde gözlemlenmiştir.

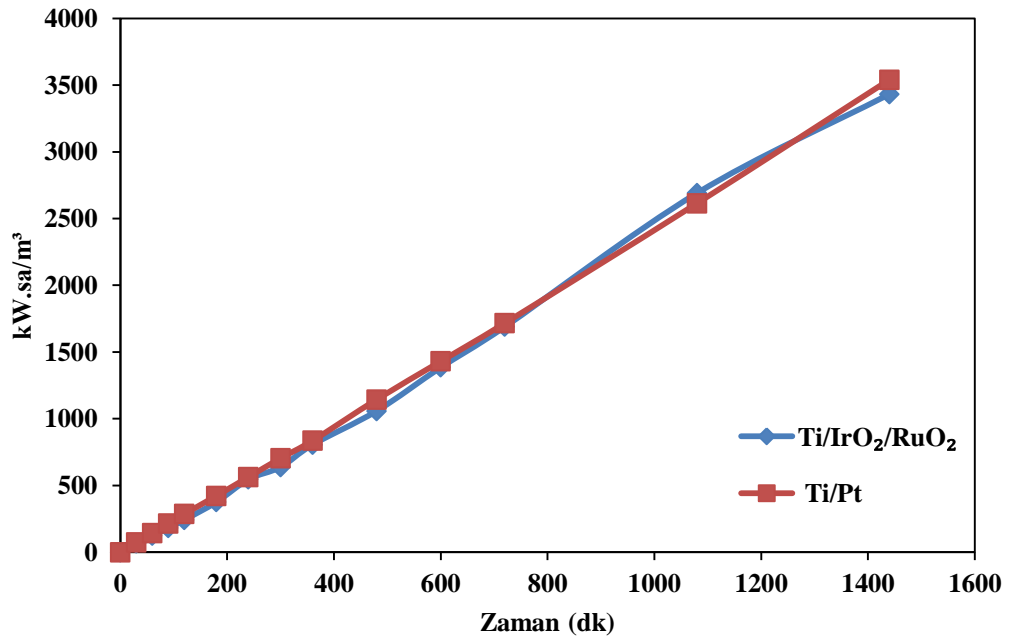
4.9. Enerji Tüketim Değerleri

4.9.1. Zaman

Zamanla KOİ, TOK, TN, TF ve bulanıklılık giderimlerinin incelendiği Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotların kullanıldığı denemeler Çizelge 3.2-3.3'te belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen veriler yardımıyla Eşitlik 3.3 kullanılarak enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Enerji tüketimlerinin Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için zamanla değişimi Çizelge 4.9'da tablo halinde, Şekil 4.101'de grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9. Enerji tüketimi üzerine zamanın etkisi

Anot Türü	Enerji Tüketimi (kW.sa/m ³)	Sabit Değişkenler
Ti/IrO ₂ /RuO ₂	3 432	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² KH: 300 rpm
Ti/Pt	3 540	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² KH: 300 rpm



Şekil 4.101. Enerji tüketimi üzerine zamanın etkisi

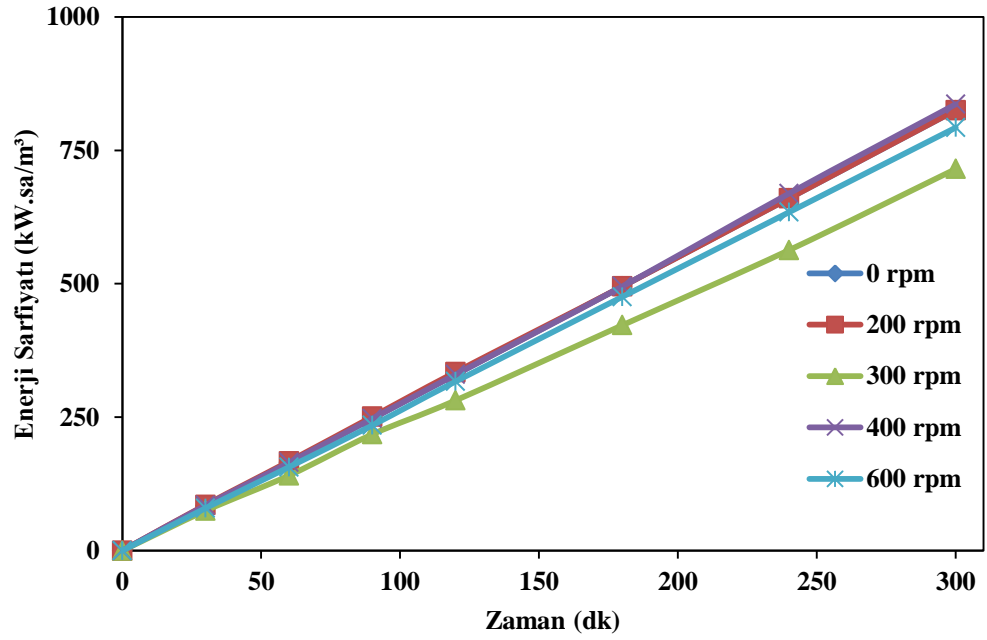
Çizelge 4.9 ve Şekil 4.101’de verilen bilgilerden anlaşılacağı üzere Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotların kullanıldığı denemelerde gözle görülür herhangi bir fark ortaya çıkmamıştır. Ti/IrO₂/RuO₂ kullanılan denemelerde enerji tüketimi 3 432 kW.sa/m³ iken, Ti/Pt kullanılan denemelerde enerji tüketim değeri 108 kW.sa/m³ artmış ve 3 540 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir.

4.9.2. Karıştırma hızı

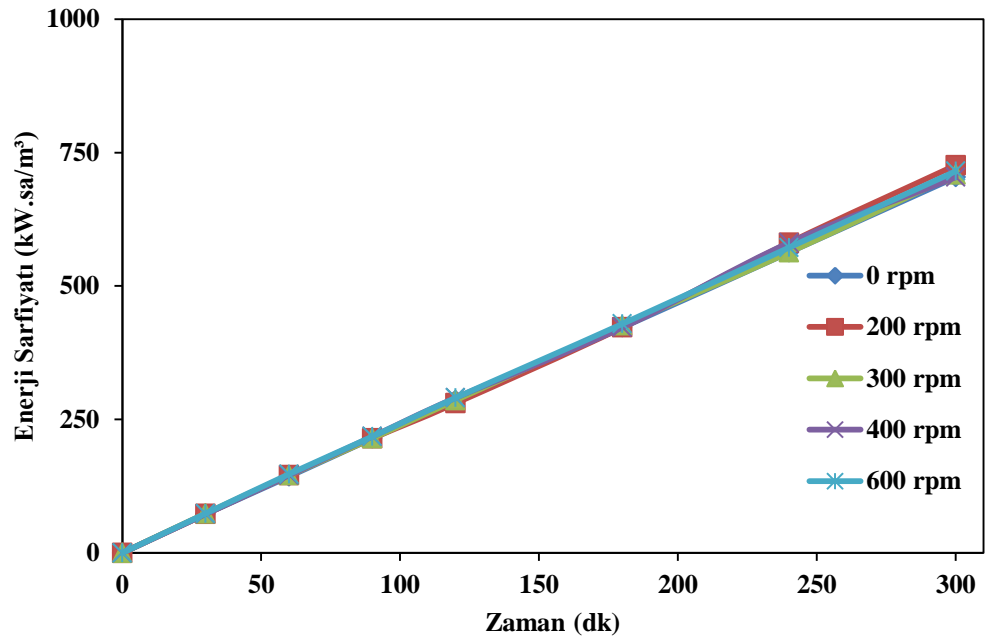
Karıştırma hızının KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim verimlerine etkisinin incelendiği denemeler Çizelge 3.2-3.3’te belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen veriler ve Eşitlik 3.3 kullanılarak enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Her iki anot türü için Çizelge 4.10’da tablo halinde verilen enerji tüketimlerinin zamanla değişimi Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalar için sırasıyla Şekil 4.102 ve Şekil 4.103’te grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 4.10. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine karıştırma hızının etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
Karıştırma Hızı (rpm)	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
0 rpm	825	
200 rpm	825	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69
300 rpm	715	mA/cm ² , Sabit sıcaklık
400 rpm	836,25	sıvı sirkülatörü: 20°C
600 rpm	792,5	
Ti/Pt		
Karıştırma Hızı (rpm)	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
0 rpm	703,75	
200 rpm	726,25	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69
300 rpm	708,75	mA/cm ² , Sabit sıcaklık
400 rpm	703,75	sıvı sirkülatörü: 20°C
600 rpm	715	



Şekil 4.102. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine karıştırma hızının etkisi



Şekil 4.103. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine karıştırma hızının etkisi

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.102-4.103'ten görüleceği üzere elektrooksidasyon prosesinde karıştırma hızının artması enerji tüketimini küçük farklar haricinde çok fazla etkilememiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan denemelerde enerji sarfiyatı karıştırma hızı 300 rpm olarak seçildiğinde gözlenmiştir. Bunun sebebi karıştırma hızının belli bir değere kadar artmasıyla sıvı film kalınlığının azalmasıdır. Fakat aşırı artan karıştırma hızı anot yüzeyinde difüzyon etkisini azaltmakta, reaktör içerisinde oluşan yüksek hız sebebiyle devreyi tamamlayan elektron akışının yavaşlaması veya ilave bir direnç oluşturmasına sebep olmakta ve bu sebeple enerji sarfiyatının arttığı düşünülmektedir.

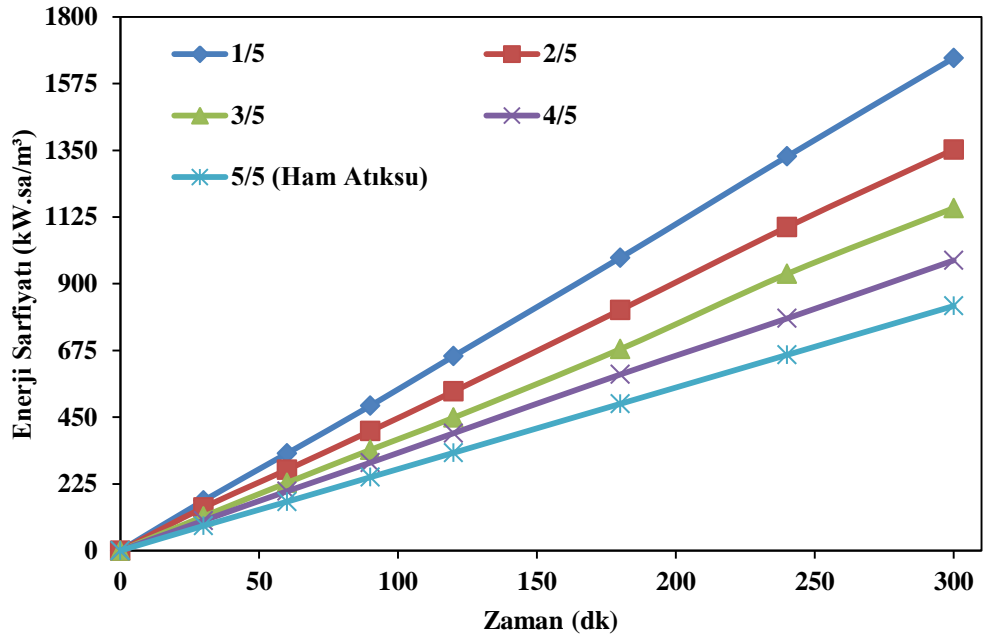
Çizelge 4.10 ve Şekil 4.102 incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda en düşük enerji sarfiyatı 300 rpm karıştırma hızında 715 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Fakat karıştırma hızı 600 rpm'e çıkarıldığında enerji sarfiyatı 792,5 kW.sa/m³'e kadar, karıştırma hızı 0 rpm'e düşürüldüğünde 825 kW.sa/m³'e kadar yükselmiştir. Çizelge 4.10 ve Şekil 4.103 incelendiğinde ise Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda en düşük enerji sarfiyatı karıştırma hızı 0 ve 400 rpm karıştırma hızında ve 703,75 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. 200 rpm karıştırma hızında 726,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşen enerji sarfiyatı, karıştırma hızı 600 rpm'e yükseldiğinde ise 11,25 kW.sa/m³ artarak 715 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir.

4.9.3. Seyreltme oranı

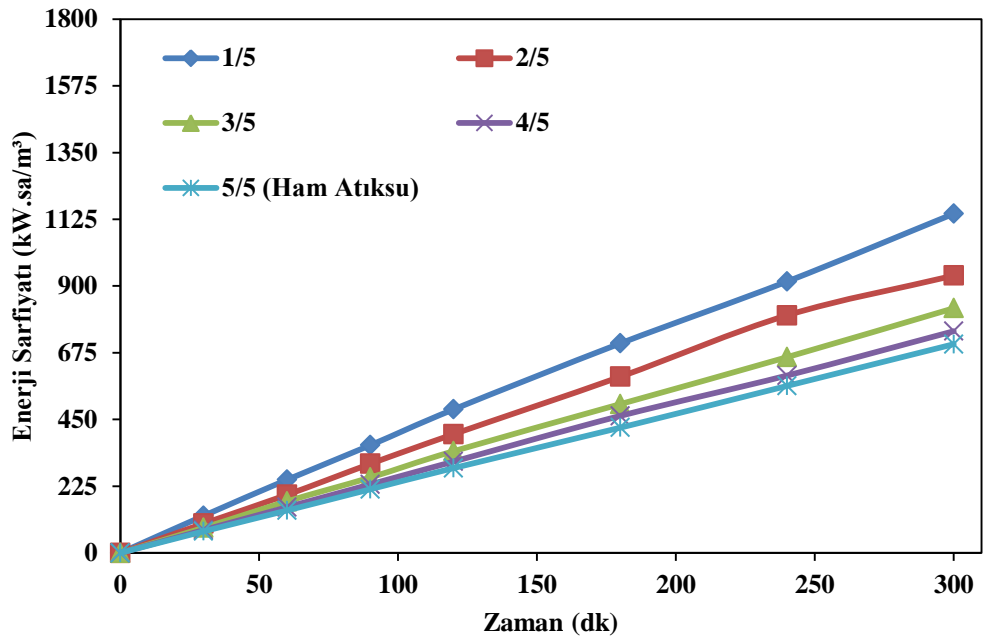
Seyreltme oranının KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim verimlerine etkisinin incelendiği denemeler Çizelge 3.2-3.3'te belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen veriler yardımıyla Eşitlik 3.3 kullanılarak enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Enerji tüketimlerinin zamanla değişimi her iki anot türü için Çizelge 4.11'de tablo halinde, Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda Şekil 4.104'te, Ti/Pt anot kullanılan çalışmalar için Şekil 4.105'te grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 4.11. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine seyreltme oranının etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
Seyreltme Oranı	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
1/5	1 661,25	
2/5	1 352,5	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm
3/5	1 155	
4/5	978,75	
5/5 (Ham atık su)	825	
Ti/Pt		
Seyreltme Oranı	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
1/5	1 143,75	
2/5	935	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm
3/5	825	
4/5	747,5	
5/5 (Ham atık su)	703,75	



Şekil 4.104. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine seyreltme oranının etkisi



Şekil 4.105. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda enerji tüketimi üzerine seyreltme oranının etkisi

Çizelge 4.11'den ve Şekil 4.104-4.105 görüleceği üzere elektrokoksiasyon prosesinde seyreltme miktarının artmasıyla birlikte enerji sarfiyatları da yükselme eğilimine girmiş ve en düşük enerji sarfiyatı Ti/Pt anot kullanılan elektrokoksiasyon prosesinde elde edilmiştir. Bunun sebebi seyreltme miktarının artması atıksuyun iletkenlik değerini düşürmesi olarak açıklanabilir. Aynı zamanda artan seyreltme miktarı atıksu ortamında birim hacim başına düşen kirliliği düşürmekte ve dolayısıyla sistem içinde oluşan direnci arttırmaktadır. Sistem içinde direncin artması elektrik iletimini yavaşlatmakta ve hem doğrudan hem de dolaylı oksiasyonda enerji sarfiyatını arttırmaktadır.

Çizelge 4.11 ve Şekil 4.104 incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda en düşük enerji sarfiyatı seyreltme oranı 5/5 (ham atık su) olarak ayarlandığında, 825 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Seyreltme oranı 4/5 olarak ayarlandığında enerji sarfiyatı 978,75 kW.sa/m³'e, 3/5 olarak ayarlandığında ise 1 155 kW.sa/m³'e kadar yükselmiştir. Seyreltme miktarı arttıkça enerji sarfiyatı yükselmeye devam etmiş ve 1/5 oranındaki seyreltme için enerji sarfiyatı 1 661,25 kW.sa/m³sarfiyat olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.11 ve Şekil 4.105 incelendiğinde de Ti/Pt anot kullanılan elektrokoksiasyon prosesi için benzer bir durum ortaya çıkmış 5/5 (ham atık su) oranında bir seyreltme yapıldığında enerji sarfiyatı 703,75 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Fakat seyreltme miktarı artırılarak 3/5 oranında ayarlanması ile birlikte enerji sarfiyatı 825 kW.sa/m³'e ve seyreltme oranı 1/5 olarak ayarlandığında enerji sarfiyatı 1 143,75 kW.sa/m³'e kadar yükselmiştir. En düşük enerji sarfiyatı Ti/Pt anot kullanılan elektrokoksiasyon prosesinde ham atık su kullanılarak 703,75 kW.sa/m³ olarak elde edilmiştir.

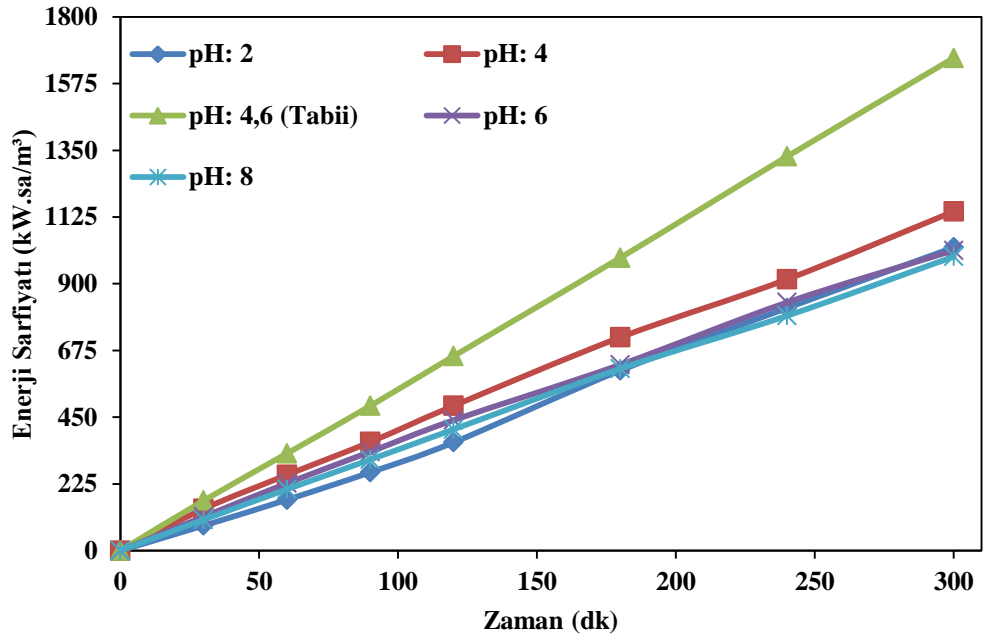
4.9.4. pH değişimi

pH değişiminin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim verimlerine etkisinin incelendiği denemeler Çizelge 3.2-3.3'te belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen veriler yardımıyla Eşitlik 3.3 kullanılarak enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Her iki anot türü için Çizelge 4.12'de verilen enerji tüketimlerinin zamanla değişimi Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot

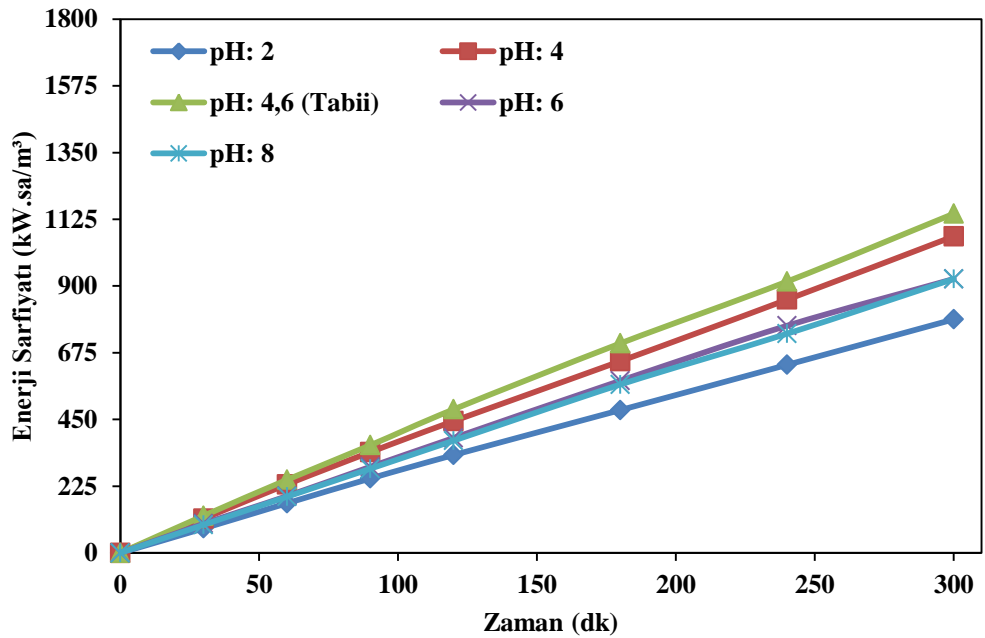
kullanılan çalışmalar için sırasıyla Şekil 4.106 ve Şekil 4.107’de grafiksel olarak, verilmiştir.

Çizelge 4.12. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda pH değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
pH	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
2	1 022,5	
4	1 143,75	J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm, SO: 1/5
4,6 (Doğal)	1 661,25	
6	1 012,5	
8	991,25	
Ti/Pt		
Seyreltme Oranı	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
2	787,5	
4	1 067,5	J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm, SO: 1/5
4,6 (Doğal)	1 143,75	
6	923,75	
8	923,75	



Şekil 4.106. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda pH değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi



Şekil 4.107. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda pH değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi

Çizelge 4.12’de ve Şekil 4.106-4.107 görüleceği üzere elektrokksidasyon prosesinde pH ayarlaması yapılan her deneyde atıksuyun doğal pH’sı ile kıyaslandığında enerji sarfiyatları da azalma eğilimine girmiş ve en düşük enerji sarfiyatı Ti/Pt anot kullanılan elektrokksidasyon prosesinde pH değeri 8’e ayarlandığında elde edilmiştir.

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.106 incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda en düşük enerji sarfiyatı pH değeri 8’e ayarlandığında 991,25 kW.sa/m³ olarak elde edilmiştir. Atıksuyun doğal pH’sında enerji sarfiyatı 1 661,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmişken, pH değeri 2’ye kadar düşürüldüğünde enerji sarfiyatı tekrar azalarak 1 022,5 kW.sa/m³’e kadar gerilemiştir. Çizelge 4.12 ve Şekil 4.107 incelendiğinde ise Ti/Pt anot plakaların kullanıldığı denemeler içinde benzer bir durum oluşmuş, Şekil 4.107’de incelendiğinde atıksuyun doğal pH’sında yapılan denemelerde enerji sarfiyatı 1 143,75 kW.sa/m³ olarak belirlenmiştir. pH değeri daha düşük ve daha yüksek değerler için ayarlandığında enerji sarfiyatları da belirgin ölçüde azalmıştır. pH değeri 8’e çıkarıldığında enerji sarfiyatı 923,75 kW.sa/m³’a kadar düşmüşken, pH 2’ye ayarlandığında ise her iki plaka için en düşük enerji sarfiyatı olan 787,5 kW.sa/m³ değeri elde edilmiştir.

pH ayarlama işlemi sonrası enerji sarfiyatının azalmasının ana sebebi pH ayarlaması yapılırken kullanılan NaOH ve HNO₃’ün varlığı olabilir. Atıksuyun başlangıç pH değerlerini ayarlamak için NaOH ve HNO₃ kullanıldığında, atıksuyun iletkenliği artmış ve sabit akım yoğunluğu ile gerçekleştirilen denemelerde sisteme uygulanan potansiyel fark düşmüştür. Buda enerji sarfiyatlarının azalmasını sağlamıştır.

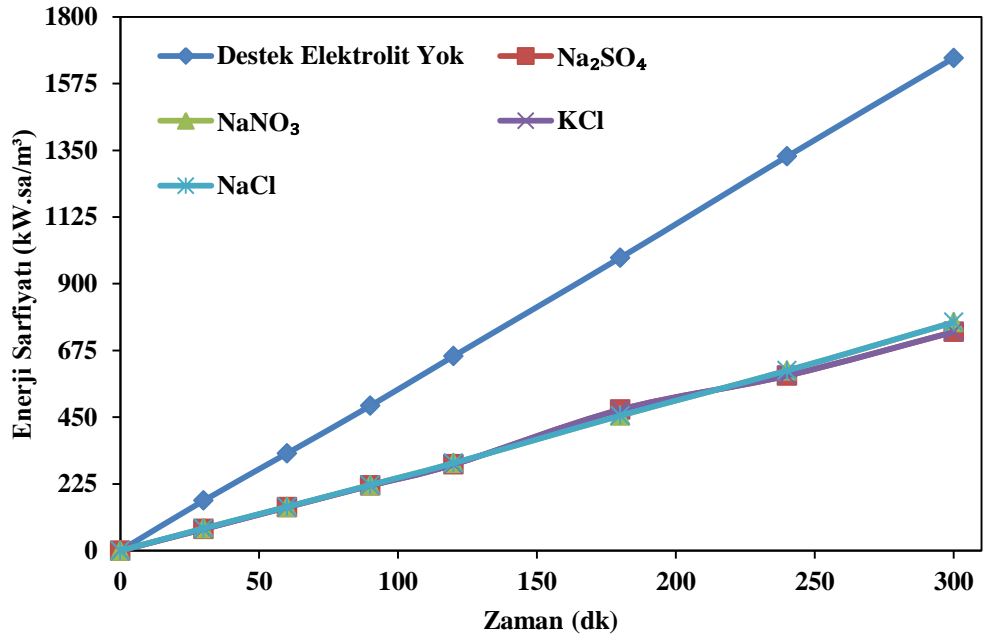
4.9.5. Destek elektrolit türü

Destek elektrolit türünün KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim verimlerine etkisinin incelendiği denemeler Çizelge 3.2-3.3’te belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen veriler ve Eşitlik 3.3 kullanılarak enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Her iki anot türü için Çizelge 4.13’de tablo halinde verilen enerji tüketimlerinin zamanla değişimi Ti/IrO₂/RuO₂ ve

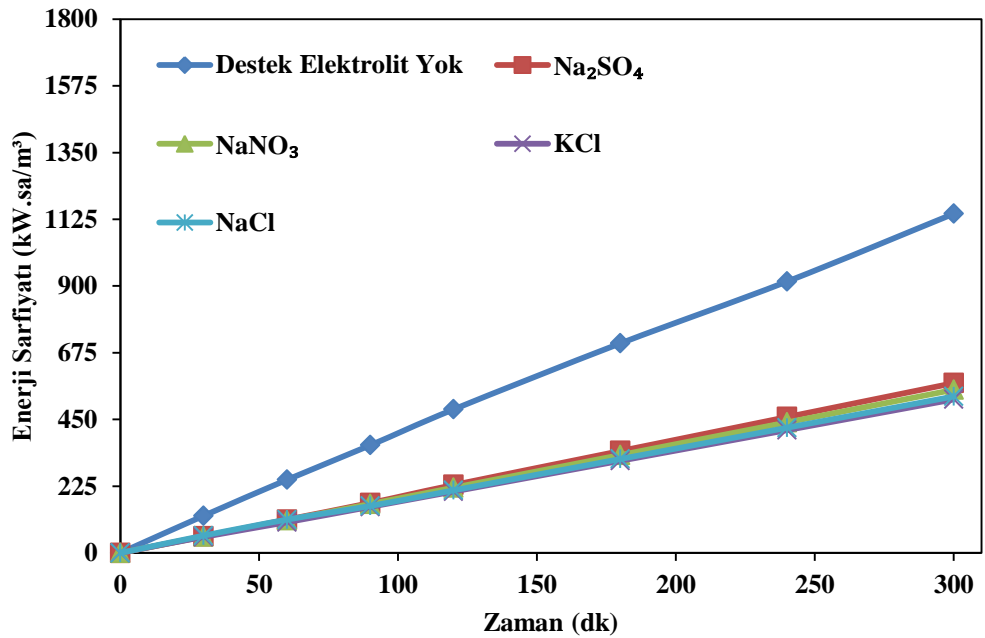
Ti/Pt anot kullanılan çalışmalar için sırasıyla Şekil 4.108 ve Şekil 4.109'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
Destek Elektrolit Türü	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
Destek Elektrolit Yok	1 661,25	
Na ₂ SO ₄	737,5	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , Sabit
NaNO ₃	770	sıcaklık sıvı
KCl	737,5	sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm, SO: 1/5
NaCl	770	
Ti/Pt		
Destek Elektrolit Türü	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
Destek Elektrolit Yok	1 143,75	
Na ₂ SO ₄	572,5	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , Sabit
NaNO ₃	550	sıcaklık sıvı
KCl	517,5	sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm, SO: 1/5
NaCl	527,5	



Şekil 4.108. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türünün enerji sarfiyatı üzerine etkisi



Şekil 4.109. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türünün enerji tüketimi üzerine etkisi

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.108-4.109'te görüleceği üzere elektrokoksasyon prosesinde destek elektrolit kullanıldığında enerji sarfiyatları da azalma eğilimine girmiş ve en düşük enerji sarfiyatı Ti/Pt anot kullanılan elektrokoksasyon prosesinde destek elektrolit olarak KCl kullanıldığında elde edilmiştir.

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.108 incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda en düşük enerji sarfiyatı Na₂SO₄ ve KCl için 737,5 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Destek elektrolit kullanılmadığı durumlarda 1 661,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiş olan enerji sarfiyatı, NaNO₃ ve NaCl kullanılan denemelerde ise 32,5 kW.sa/m³ artarak 770 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 4.13 ve Şekil 4.109 incelendiğinde ise Ti/Pt anot plakaların kullanıldığı denemelerde de benzer bir durum oluşmuş, Şekil 4.109 incelendiğinde destek elektrolit kullanılmayan denemelerde enerji sarfiyatı 1 143,75 kW.sa/m³ olarak belirlenmiştir. Minimum enerji sarfiyatı KCl kullanıldığında 517,5 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmişken, destek elektrolit olarak Na₂SO₄, NaNO₃ ve NaCl kullanıldığında enerji sarfiyatları sırasıyla 572,5 kW.sa/m³, 550 kW.sa/m³ ve 527,5 kW.sa/m³ olarak belirlenmiştir.

Her bir destek elektrolit türünün kullanımında destek elektrolit kullanılmayan denemelere göre daha düşük enerji sarfiyatları gözlemlenmiştir. Bunun sebebi kullanılan destek elektrolitlerin çözünürlüklerinin çok yüksek olması sonucu, çözelti ortamında iyonlaşması ve dolayısıyla çözelti iletkenliğinin artmasıdır. Çözelti iletkenliğinin artması sabit akım şiddetinde uygulanan potansiyel farkın düşmesine ve enerji sarfiyatlarının azalmasına neden olur. Çizelge 4.13 ve Şekil 4.108-4.109'da görüleceği üzere elektrokoksasyon prosesinde elde edilen sonuçlar, literatürde belirtilmiş birçok çalışma ile uyum içerisindedir (Adhoum *et al.* 2004; Fil 2014).

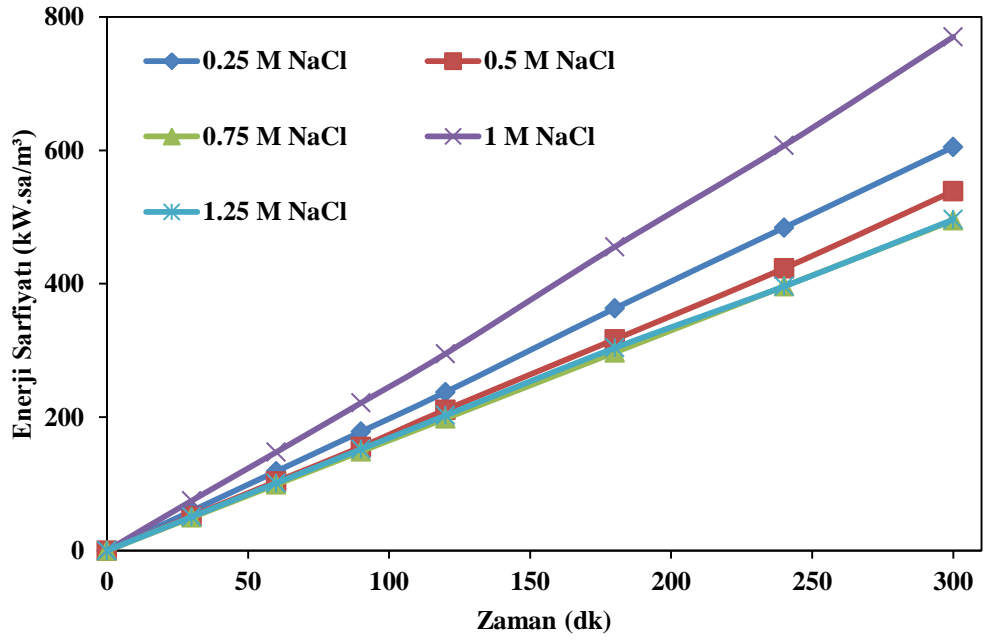
4.9.6. Destek elektrolit konsantrasyonu

Destek elektrolit konsantrasyonlarındaki değişimin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim verimlerine etkisinin incelendiği denemeler Çizelge 3.2-3.3'te belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen veriler

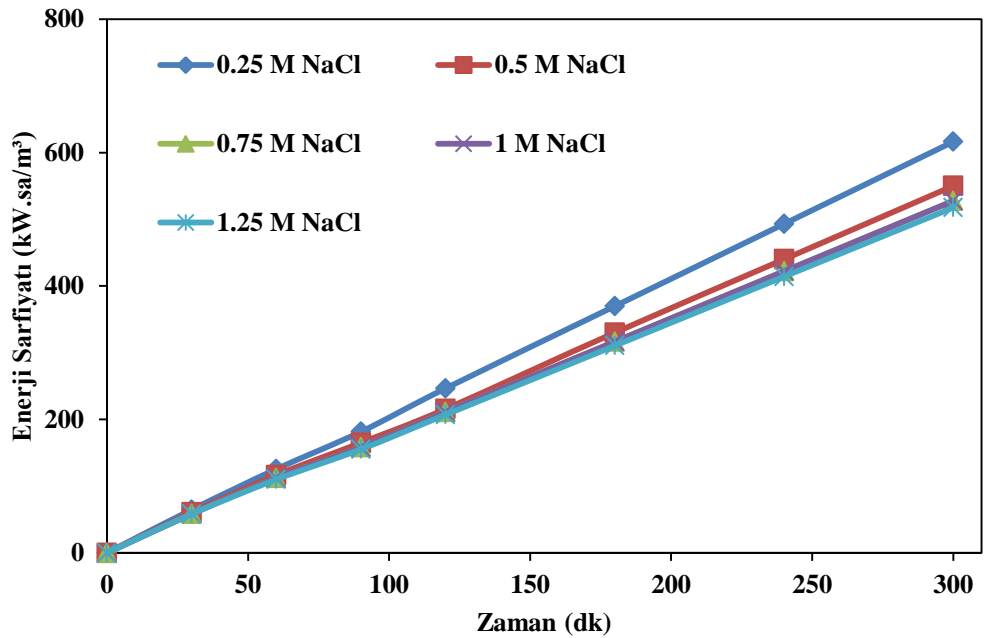
yardımıyla Eşitlik 3.3 kullanılarak enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Enerji tüketimlerinin zamanla değişimi Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda Şekil 4.110'da, Ti/Pt anot kullanılan çalışmalar için Şekil 4.111'de grafiksel olarak, her iki anot türü için Çizelge 4.14'de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.14. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
Destek Elektrolit Konsantrasyonu	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
0,25 M NaCl	605	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm, SO: 1/5, DET: NaCl
0,5 M NaCl	538,75	
0,75 M NaCl	495	
1 M NaCl	770	
1,25 M NaCl	496,25	
Ti/Pt		
Destek Elektrolit Konsantrasyonu	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
0,25 M NaCl	616,25	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm, SO: 1/5, DET: NaCl
0,5 M NaCl	550	
0,75 M NaCl	527,5	
1 M NaCl	527,5	
1,25 M NaCl	517,5	



Şekil 4.110. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi



Şekil 4.111. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit konsantrasyonunun enerji tüketimi üzerine etkisi

Çizelge 4.14 ve Şekil 4.110-4.111’de görüleceği üzere elektrooksidasyon prosesinde farklı destek elektrolit konsantrasyonlarının kullanılması çok fazla değişime neden olmamış olsa da enerji sarfiyatının genelde azalmasına sebep olmuştur. En düşük enerji sarfiyatı Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde ve 0,75 M NaCl kullanıldığında elde edilmiştir.

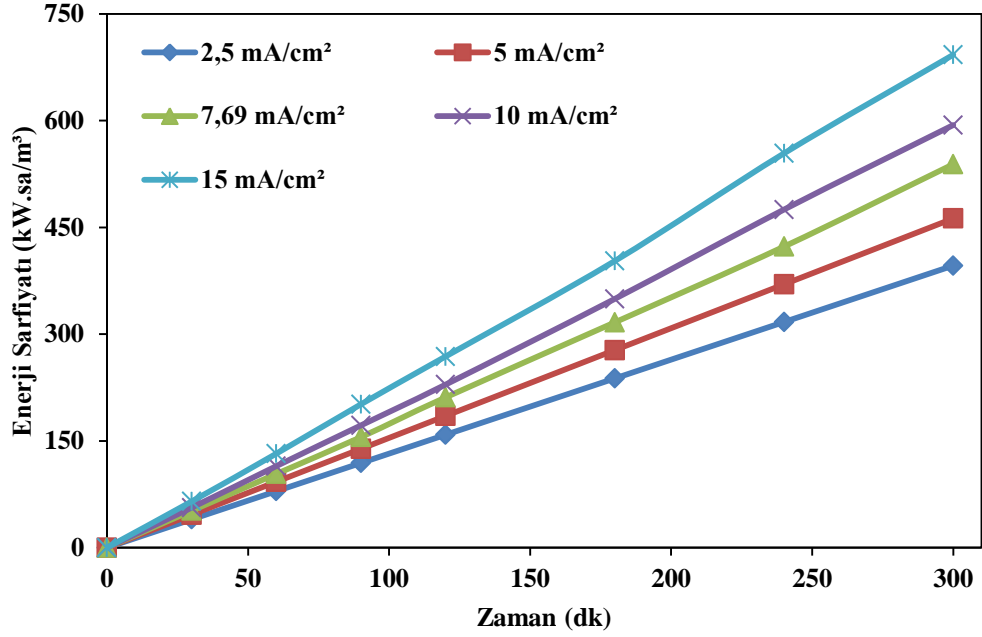
Çizelge 4.14 ve Şekil 4.110 incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda en düşük enerji sarfiyatı 0,75 M NaCl için 495 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. 0,25 M NaCl kullanıldığında ise 110 kW.sa/m³ artmış ve enerji sarfiyatı 605 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. 1 M NaCl kullanıldığında beklenmedik bir şekilde yükselmiş ve 770 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. 0,5 M ve 1,25 M NaCl kullanıldığında ise enerji sarfiyatları sırasıyla 538,75 kW.sa/m³ ve 496,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 4.14 ve Şekil 4.107 incelendiğinde ise Ti/Pt anot plakaların kullanıldığı denemelerde en düşük enerji sarfiyatı 1,25 M NaCl kullanıldığında 517,5 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Destek elektrolit konsantrasyonlarının azalmasıyla enerji sarfiyatları bir miktar artmış, 0,75 ve 1 M NaCl kullanıldığında ise 10 kW.sa/m³ artmış ve 527,5 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. 0,25 M ve 0,5 M NaCl kullanıldığında ise enerji sarfiyatları sırasıyla 550 kW.sa/m³ ve 616,25 kW.sa/m³ olarak belirlenmiştir.

4.9.7. Akım yoğunluğu

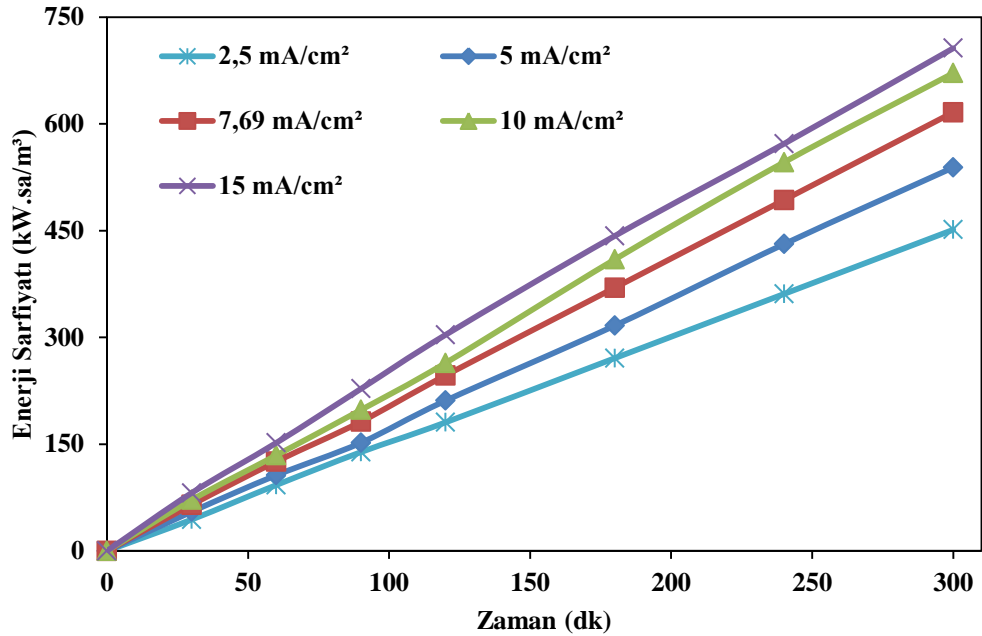
Akım yoğunluklarındaki değişimlerin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim verimlerine etkisinin incelendiği denemeler Çizelge 3.2-3.3’te belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen veriler yardımıyla Eşitlik 3.3 kullanılarak enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Enerji tüketimlerinin zamanla değişimi Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda Şekil 4.112’de, Ti/Pt anot kullanılan çalışmalar için Şekil 4.113’te grafiksel olarak, her iki anot türü için Çizelge 4.15’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.15. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
Akım Yoğunluğu	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
2,5 mA/cm ²	396,25	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm, SO: 1/5, DET: NaCl, DEK: 0,25 M
5 mA/cm ²	462,5	
7,69 mA/cm ²	538,75	
10 mA/cm ²	593,75	
15 mA/cm ²	692,5	
Ti/Pt		
Akım Yoğunluğu	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
2,5 mA/cm ²	451,25	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , Sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü: 20°C, KH: 0 rpm, SO: 1/5, DET: NaCl, DEK: 0,1 M
5 mA/cm ²	538,75	
7,69 mA/cm ²	616,25	
10 mA/cm ²	671,25	
15 mA/cm ²	706,25	



Şekil 4.112. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi



Şekil 4.113. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğunun enerji tüketimi üzerine etkisi

Çizelge 4.15 ve Şekil 4.112-4.113'de görüleceği üzere elektrokoksiasyon prosesinde akım yoğunluğunun artmasıyla birlikte enerji sarfiyatları da yükselme eğilimine girmesine sebep olmuştur. En düşük enerji sarfiyatı Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan elektrokoksiasyon prosesinde ve 2,5 mA/cm² akım yoğunluğunda 396,25 kW.sa/m³ olarak elde edilmiştir.

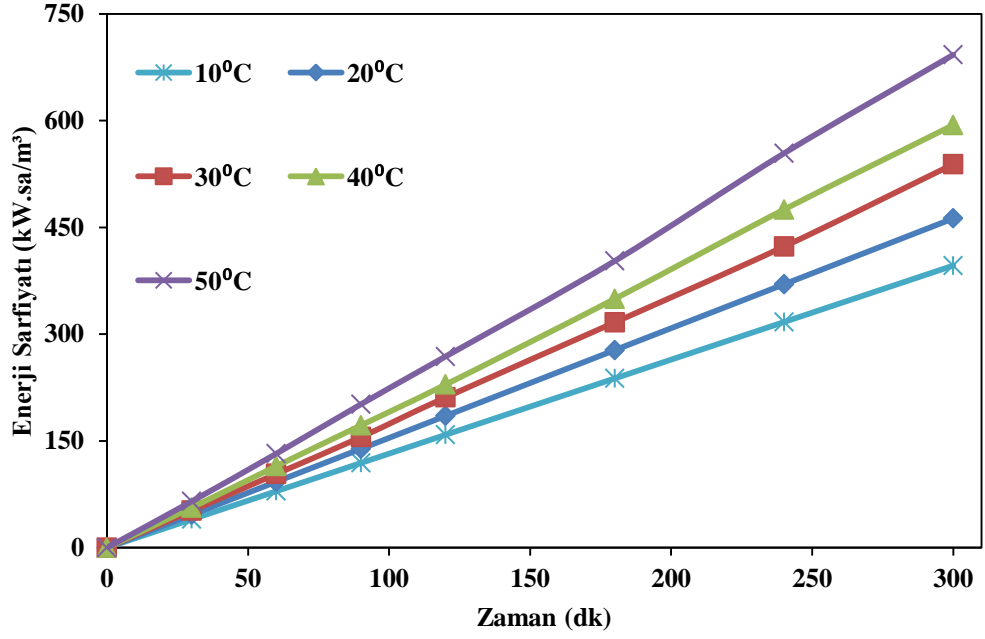
Çizelge 4.15 ve Şekil 4.112 incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda en düşük enerji sarfiyatı 2,5 mA/cm² akım yoğunluğunda 396,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Akım yoğunluğunun yükselmesiyle enerji sarfiyatlarının da sürekli arttığı gözlemlenmiştir. 5, 7,69, 10 ve 15 mA/cm² akım yoğunluklarında enerji sarfiyatları sırasıyla 66,25, 142,5, 197,5 ve 296,25 kW.sa/m³ artarak 462,5, 538,75, 593,75 ve 692,5 kW.sa/m³ olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.15 ve Şekil 4.113 incelendiğinde ise Ti/Pt anot plakaların kullanıldığı denemelerde en düşük enerji sarfiyatı Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda olduğu gibi 2,5 mA/cm² akım yoğunluğunda ve 451,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Artan akım yoğunluklarıyla beraber enerji sarfiyatları da artmış, 5, 7,69, 10 ve 15 mA/cm² akım yoğunluklarında enerji sarfiyatları sırasıyla 87,5, 165, 220, 255 kW.sa/m³ artmış ve 538,75, 616,25, 671,25 ve 706,25 kW.sa/m³ olarak belirlenmiştir.

4.9.8. Sıcaklık

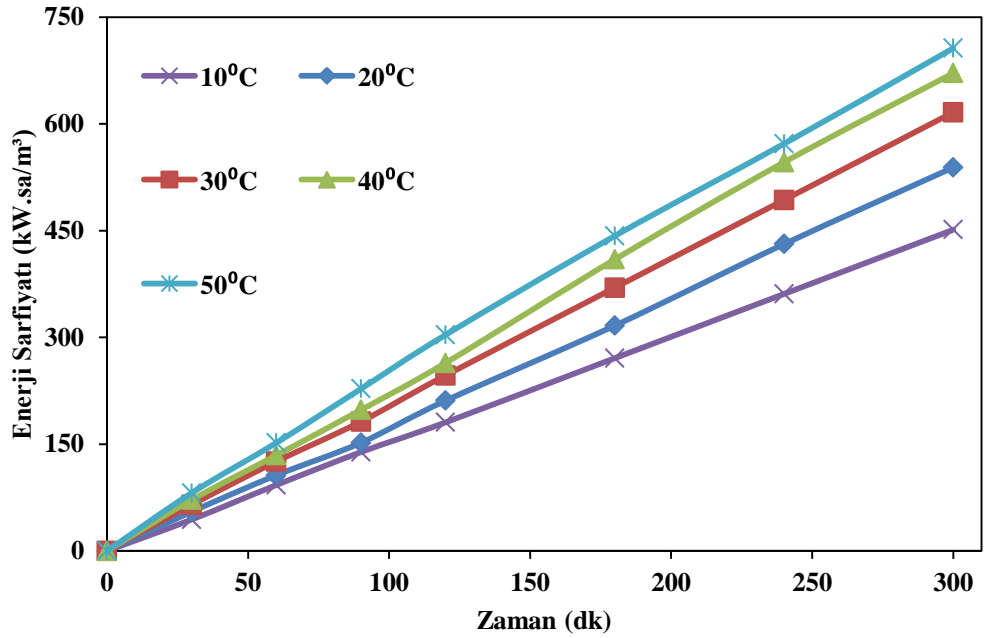
Sıcaklık değişimlerinin KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim verimlerine etkisinin incelendiği denemeler Çizelge 3.2-3.3'te belirtilen deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen veriler yardımıyla Eşitlik 3.3 kullanılarak enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Çizelge 4.16'da tablo halinde her iki anot türü için verilen enerji tüketimlerinin zamanla değişimine ait veriler, Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda Şekil 4.114'te, Ti/Pt anot kullanılan çalışmalar için Şekil 4.115'te grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 4.16. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda sıcaklık değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi

Ti/IrO₂/RuO₂		
Sıcaklık	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
10°C	396,25	
20°C	462,5	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , KH: 0 rpm, SO: 1/5, DET: NaCl
30°C	538,75	
40°C	593,75	
50°C	692,5	
Ti/Pt		
Sıcaklık	Enerji Tüketimi (kW.sa/m³)	Sabit Değişkenler
10°C	451,25	
20°C	538,75	pH: 4,6 (Doğal), J=7,69 mA/cm ² , KH: 0 rpm, SO: 1/5, DET: NaCl
30°C	616,25	
40°C	671,25	
50°C	706,25	



Şekil 4.114. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda sıcaklık değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi



Şekil 4.115. Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda sıcaklık değişiminin enerji tüketimi üzerine etkisi

Çizelge 4.16 ve Şekil 4.114-4.115’de görüleceği üzere elektrokoksasyon prosesinde sıcaklıkların arttırılması enerji sarfiyatlarının da artmasına sebep olmuştur. En düşük enerji sarfiyatı Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan elektrokoksasyon prosesinde ve 10°C sıcaklıkta elde edilmiştir.

Çizelge 4.16 ve Şekil 4.114 incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda en düşük enerji sarfiyatı 10°C sıcaklıkta ve 396,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Sıcaklık 20°C’ye çıkarıldığında enerji sarfiyatı 66,25 kW.sa/m³ artarak 462,5 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiş, 30, 40 ve 50°C sıcaklıklarda sırasıyla 538,75, 593,75 ve 692,5 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 4.6 ve Şekil 4.115 incelendiğinde ise Ti/Pt anot plakaların kullanıldığı denemelerde en düşük enerji sarfiyatı Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda olduğu gibi 10°C sıcaklıkta ve 451,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte enerji sarfiyatları da artmış 20, 30, 40 ve 50°C sıcaklıklar da sırasıyla 538,75, 616,25, 671,25 ve 706,25 kW.sa/m³ olarak gerçekleşmiştir.

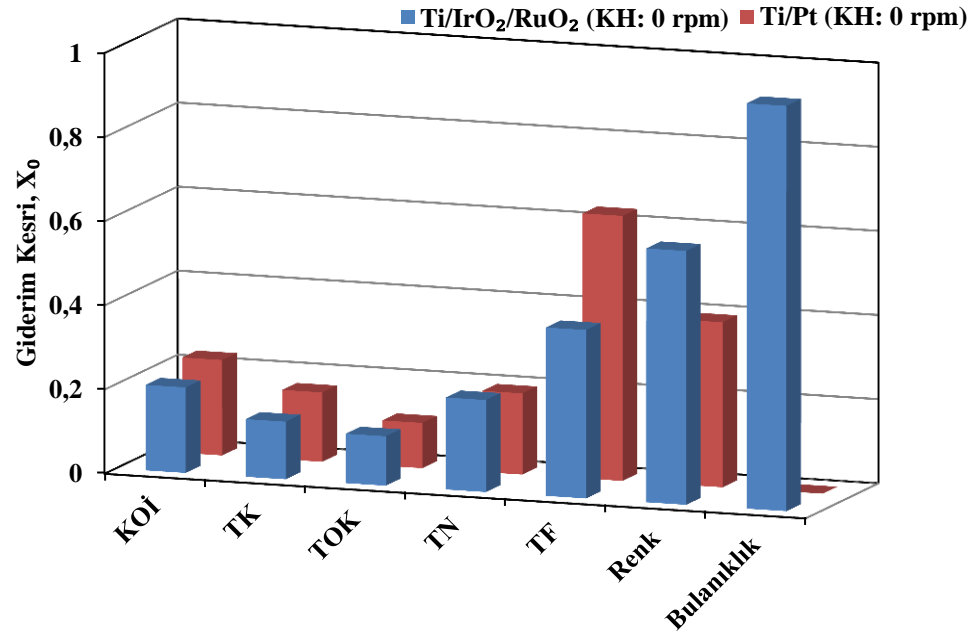
5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Balıkesir’de bulunan yerel bir zeytinyağı üretim tesisinden temin edilen atıksudan organik kirleticilerin elektrooksidasyon prosesi kullanılarak arıtılabilirliği incelenmiş ve sistem parametrelerinin giderim kesirleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Bütün denemelerin kesikli şartlarda yapıldığı sistemin performansı KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık parametreleri ölçülerek belirlenmiştir.

Elektrooksidasyon prosesinde sistem parametreleri olarak; kullanılan elektrot malzemesi, karıştırma hızı, seyreltme oranı, pH değişimi, destek elektrolit konsantrasyonu, destek elektrolit türü, akım yoğunluğu ve sıcaklık seçilmiştir.

5.1. Karıştırma Hızı

5 sa’lik süre için Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kullanılan denemelerde karıştırma hızının KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çizelge 4.2’de karıştırma hızı için kabul edilen deney parametreleri ve 5 sa’lik süre sonunda elde edilen giderim kesirleri, Şekil 4.3-4.16’da ise 5 sa’lik deney süresi boyunca zamanla giderim kesirlerindeki değişim oranları verilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot plakaların kullanılan denemelerin her ikisinde de karıştırma hızı 0, 200, 300, 400 ve 600 rpm olarak seçilmiş, akım yoğunluğu 7,69 mA/cm² olarak sabit tutulmuştur. Denemeler atıksuyun doğal pH değerinde (4,6) ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C’ye ayarlanarak yapılmıştır. Karıştırma hızının optimum şartları için 5 sa’lik deney süresi sonunda elde edilen giderim kesirleri Şekil 5.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



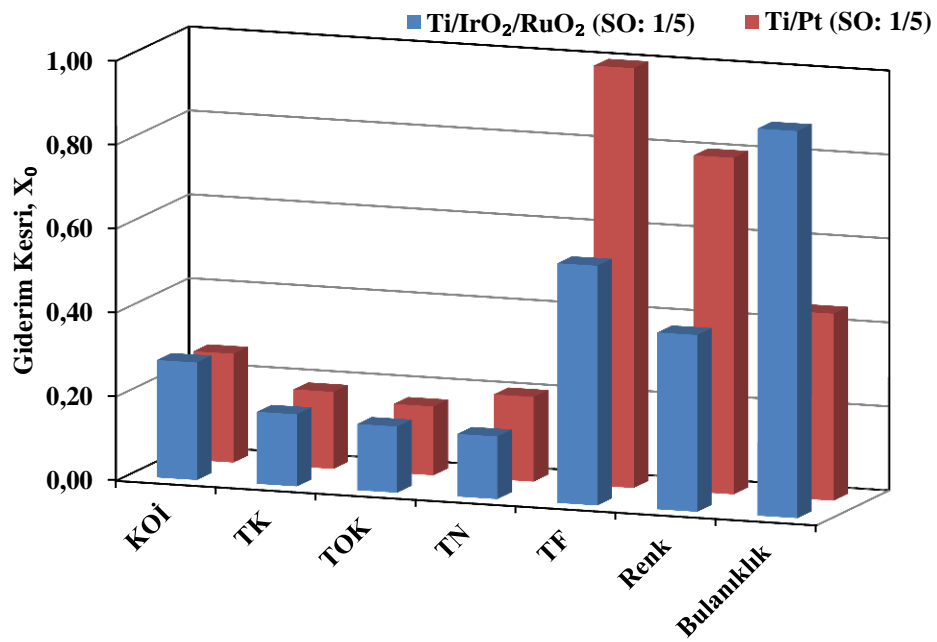
Şekil 5.1. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda karıştırma hızının optimum şartlarında giderim kesirleri

Karıştırma hızının belli değere kadar yükselmesi organik kirleticilerin anot yüzeyine difüzyonunu hızlandırmaktadır. Buda her bir parametre için giderim kesirlerinin artmasına sebep olmaktadır. Fakat aşırı artan karıştırma hızı anot yüzeyinde difüzyon etkisini azaltarak giderim kesirini düşürmektedir. Ancak her iki anot için giderim kesirlerindeki değişimlerin çok fazla olmadığı ve sistem maliyetlerini azaltacağı düşüncesiyle zeytin karasuyunun arıtımı için Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan proseslerin her biri için sonraki denemelerin 0 rpm karıştırma hızında yapılmasına karar verilmiştir.

5.2. Seyreltme Oranı

5 sa'lik süre için Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kullanılan denemelerde seyreltme oranının KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri üzerine etkisi incelenmiştir Çizelge 4.3'te seyreltme oranları için kabul edilen deney parametreleri ve 5 sa'lik süre sonunda elde edilen giderim kesirleri, Şekil 4.17-4.30'da ise 5 sa'lik deney süresi boyunca zamanla giderim kesirlerindeki değişim oranları verilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve

Ti/Pt anot plakaların kullanılan denemelerin her ikisinde de seyreltme oranı 1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5 (ham atıksu) olarak seçilmiş, akım yoğunluğu $7,69 \text{ mA/cm}^2$ olarak sabit tutulmuştur. Denemeler atıksuyun doğal pH değerinde (4,6) ve sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C 'ye ayarlanarak yapılmıştır. Seyreltme oranının optimum şartlarında ve 5 sa'lik deney süresi sonunda elde edilen giderim kesirleri Şekil 5.2'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



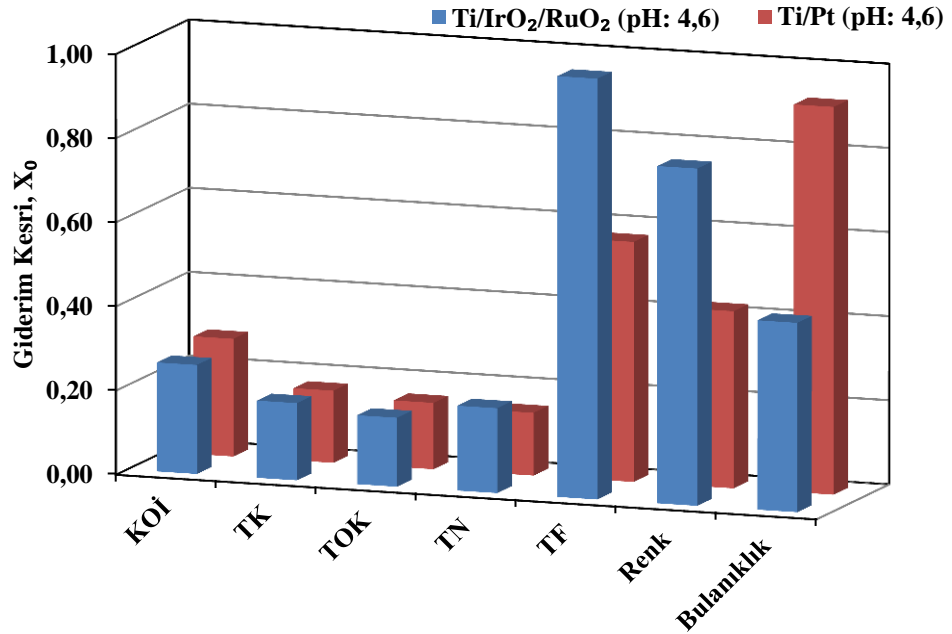
Şekil 5.2. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda seyreltme oranının optimum şartlarında giderim kesirleri

Seyreltme miktarının artırılması, atıksu da mevcut organik kirlilik yükünü azaltmakta ve TN ve renk giderimi dışında her bir parametre için giderim verimlerini gözle görülür bir şekilde artırmaktadır. Bu sebeple Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon proseslerinin her biri için sonraki denemelerde seyreltme oranının 1/5 (5kat) olmasına karar verilmiştir.

5.3. pH değişimi

pH değişiminin Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kullanılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF,

renk ve bulanıklık giderim kesirleri üzerine etkisi incelendiği denemeler 5 sa sürdürülmüştür. Çizelge 4.4'te farklı pH değerleri için kabul edilen deney parametreleri ve 5 sa'lik süre sonunda elde edilen giderim kesirleri, Şekil 4.31-4.44'te ise 5 sa'lik deney süresi boyunca zamanla giderim kesirlerindeki değişim oranları verilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot plakaların kullanılan denemelerin her ikisinde de pH değerleri 2, 4, 4,6 (ham), 6, 8 olarak seçilmiş, akım yoğunluğu 7,69 mA/cm² olarak sabit tutulmuştur. Seçilen optimum pH şartları için sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C'ye ayarlanarak yapılan 5 sa'lik denemeler sonunda elde edilen giderim kesirleri Şekil 5.3'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

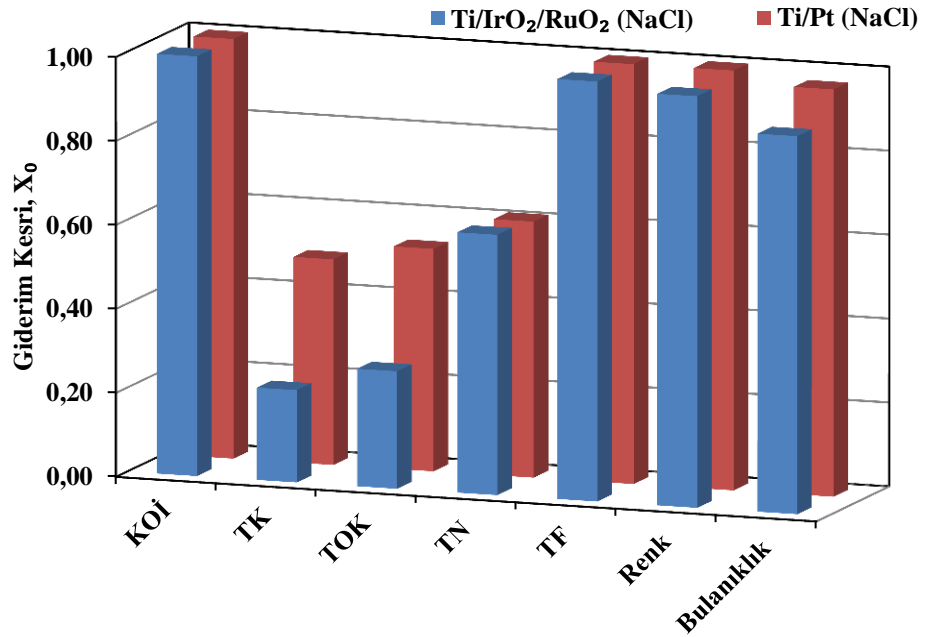


Şekil 5.3. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda pH değerinin optimum şartlarında giderim kesirleri

Düşük pH değerlerinde giderim verimleri artmış olsa da pH ayarlamada kullanılan HNO₃'ün kirliliğe sebep olması ve giderim verimlerinde çok fazla fark olmaması gibi sebeplerle Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon proseslerinin her biri için diğer çalışmalarda pH ayarlamasının yapılmamasına karar verilmiştir.

5.4. Destek Elektrolit Türü

Destek elektrolit türü değişiminin Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kullanılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri üzerine etkisi incelendiği denemeler 5 sa sürdürülmüştür. Çizelge 4.5'te farklı destek elektrolit türleri için kabul edilen deney parametreleri ve 5 sa'lik süre sonunda elde edilen giderim kesirleri, Şekil 4.45-4.58'de ise 5 sa'lik deney süresi boyunca zamanla giderim kesirlerindeki değişim oranları verilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot plakaların kullanılan denemelerin her ikisinde de destek elektrolit türü olarak Na₂SO₄, NaNO₃, KCl ve NaCl seçilmiş, akım yoğunluğu 7,69 mA/cm² olarak sabit tutulmuştur. Seçilen optimum destek elektrolit türü için sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C'ye ayarlanarak yapılan 5 sa'lik denemeler sonunda elde edilen giderim kesirleri Şekil 5.4'te ayrıntılı olarak verilmiştir.



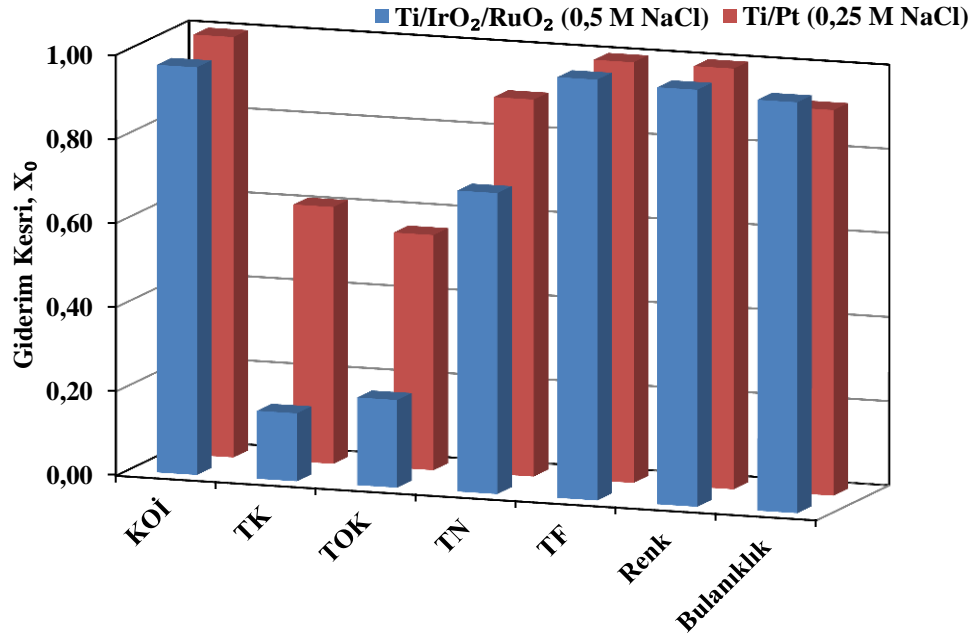
Şekil 5.4. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda destek elektrolit türü çalışmalarının optimum şartlarında giderim kesirleri

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde tuz türünün değişimi ile birlikte giderim kesirleri de önemli ölçüde değişmiştir. Destek elektrolit kullanılmayan denemelerde giderim kesirleri için düşük değerler elde edilmiş, Ti/IrO₂/RuO₂ için KCl

ve NaCl'nin, Ti/Pt için NaNO₃, KCl ve NaCl'nin destek elektrolit türü olarak kullanıldığı denemelerde ise giderim kesirleri belirgin ölçüde artmıştır. Maliyetleri karşılaştırıldığında NaCl'nin daha ucuz ve kolay bulunabilir olması, NaNO₃'ün azot içeriği sebebiyle kirliliğe neden olması gibi sebeplerle Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon proseslerinin diğer çalışmalarında destek elektrolit olarak NaCl'nin kullanılmasına karar verilmiştir.

5.5. Destek Elektrolit Konsantrasyonu

Destek elektrolit konsantrasyonunun değişiminin Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kullanılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirleri üzerine etkisi incelendiği denemeler 5 sa sürdürülmüştür. Çizelge 4.6'da farklı destek elektrolit konsantrasyonları için kabul edilen deney parametreleri ve 5 sa'lık süre sonunda elde edilen giderim kesirleri, Şekil 4.59-4.72'de ise 5 sa'lık deney süresi boyunca zamanla giderim kesirlerindeki değişim oranları verilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot plakaların kullanılan denemelerin her ikisinde de destek elektrolit konsantrasyonu 0,25, 0,5, 0,75, 1 ve 1,25 M NaCl olarak seçilmiş, akım yoğunluğu 7,69 mA/cm² olarak sabit tutulmuştur. Seçilen optimum destek elektrolit konsantrasyonları için sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C'ye ayarlanarak yapılan 5 sa'lık denemeler sonunda elde edilen giderim kesirleri Şekil 5.5'te ayrıntılı olarak verilmiştir.



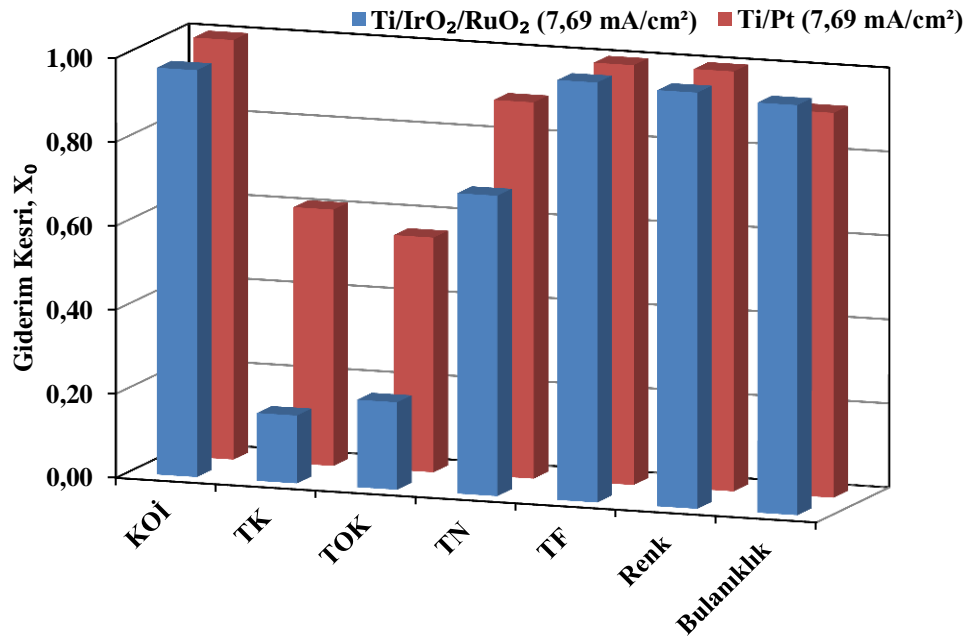
Şekil 5.5. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda farklı destek elektrolit konsantrasyon çalışmalarının optimum şartlarında giderim kesirleri

Destek elektrolit konsantrasyonlarındaki değişim bariz bir biçimde giderim verimleri üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiş, Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde tuz konsantrasyonunun değişimi giderim kesirlerinin de bir miktar değişmesine sebep olmuştur. Destek elektrolit varlığı sulara iletkenliğin yükselmesine sebep olmaktadır. 0,25 M NaCl kullanıldığında giderim oranlarının artması ve diğer destek elektrolit konsantrasyonları ile kıyaslandığında atıksuyun iletkenliği çok fazla yükselmemesi gibi sebeplerle Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonu 0,5 M NaCl, Ti/Pt anot kullanılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonunun 0,25 M NaCl olmasına karar verilmiştir.

5.6. Akım Yoğunluğu

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kullanılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri üzerine etkisi incelendiği farklı akım yoğunluklarında sürdürülen denemeler 5 sa sürdürülmüştür. Ti/IrO₂/RuO₂ anot için yapılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonu 0,5 M, Ti/Pt anot kullanılan denemelerde destek

elektrolit konsantrasyonu 0,25 M ve destek elektrolit olarak NaCl kullanılmıştır. Çizelge 4.7’de farklı akım yoğunlukları için kabul edilen deney parametreleri ve 5 sa’lik süre sonunda elde edilen giderim kesirleri, Şekil 4.73-4.86’da ise 5 sa’lik deney süresi boyunca zamanla giderim kesirlerindeki değişim oranları verilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot plakaların kullanılan denemelerin her ikisinde de akım yoğunlukları 2,5, 5, 7,69, 10 ve 15 mA/cm² olarak seçilmiştir. Seçilen optimum akım yoğunlukları için sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü 20°C’ye ayarlanarak yapılan 5 sa’lik denemeler sonunda elde edilen giderim kesirleri Şekil 5.6’da ayrıntılı olarak verilmiştir.

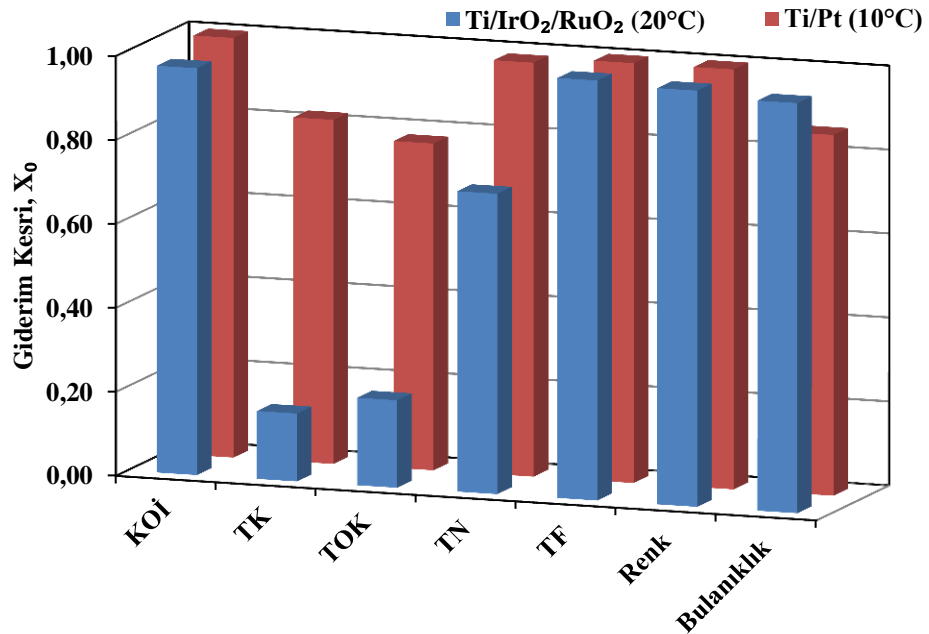


Şekil 5.6. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğu çalışmalarının optimum şartlarında giderim kesirleri

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde akım yoğunluğunun artması giderim kesirlerinin net bir şekilde artmasını sağlamıştır. Fakat akım yoğunluğu 7,69 mA/cm²’nin üzerine çıkarıldığında giderim verimlerinin çok fazla değişmemesi ve enerji maliyetleri dikkate alındığında Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinin diğer çalışmalarında akım yoğunluğunun 7,69 mA/cm² olmasına karar verilmiştir.

5.7. Sıcaklık

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kullanılan denemelerde KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklık giderim kesirleri üzerine etkisi incelendiği farklı sıcaklıklarda sürdürülen denemeler 5 sa sürdürülmüştür. Ti/IrO₂/RuO₂ anot için yapılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonu 0,5 M, Ti/Pt anot kullanılan denemelerde destek elektrolit konsantrasyonu 0,25 M ve destek elektrolit olarak NaCl kullanılmıştır. Çizelge 4.7’de farklı sıcaklıklar için kabul edilen deney parametreleri ve 5 sa’lik süre sonunda elde edilen giderim kesirleri, Şekil 4.87-4.100’de ise 5 sa’lik deney süresi boyunca zamanla giderim kesirlerindeki değişim oranları verilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot plakaların kullanılan denemelerin her ikisinde de sıcaklıklar sabit sıcaklık sıvı sirkülatörü kullanarak 10, 20, 30, 40 ve 50°C olarak seçilmiştir ve akım yoğunluğu 7,69 mA/cm² olarak sabitlenmiştir. Seçilen optimum sıcaklık için yapılan 5 sa’lik denemeler sonunda elde edilen giderim kesirleri Şekil 5.7’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 5.7. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmalarda akım yoğunluğu çalışmalarının optimum şartlarında giderim kesirleri

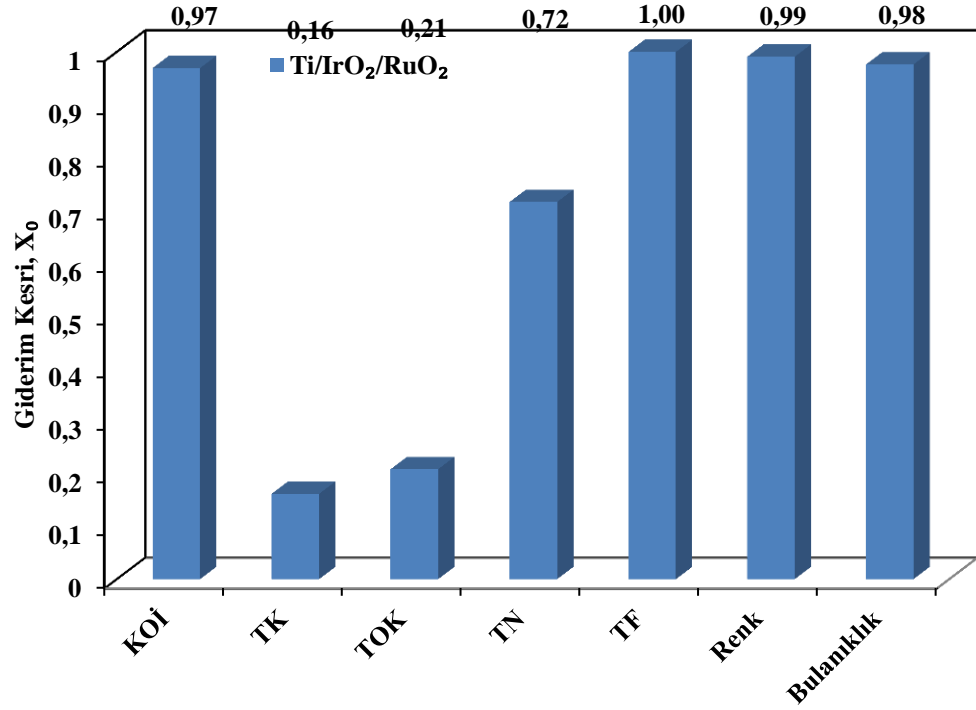
Ti/IrO₂/RuO₂ anotlar kullanılan denemelerde sıcaklığın artması giderim kesirlerini çok fazla etkilememiş, hatta bir miktar düşmesine sebep olmuştur. KOİ giderim kesirleri karşılaştırıldığında maksimum giderim verimi 20°C’de elde edilmiş olup Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde işlemlerin 20°C’de yapılması önerilmiştir. Ti/Pt anotlar kullanılan denemelerde sıcaklığın artmasıyla birlikte giderim kesirleri de azalmaya başlamıştır. KOİ giderim kesirleri her bir sıcaklık için 1,00 olarak elde edilmiş fakat TOK giderim kesirleri incelendiğinde 10°C için yapılan denemelerde 0,78 en yüksek değer olarak bulunmuştur. Diğer sıcaklıklar 10°C’deki bu değerlerle kıyaslanırsa Ti/Pt anot kullanılan elektrooksidasyon prosesinde sıcaklığın 10°C’ye kadar düşürülmesi maksimum giderim verimlerine ulaşılmıştır.

5.8. Genel Değerlendirme

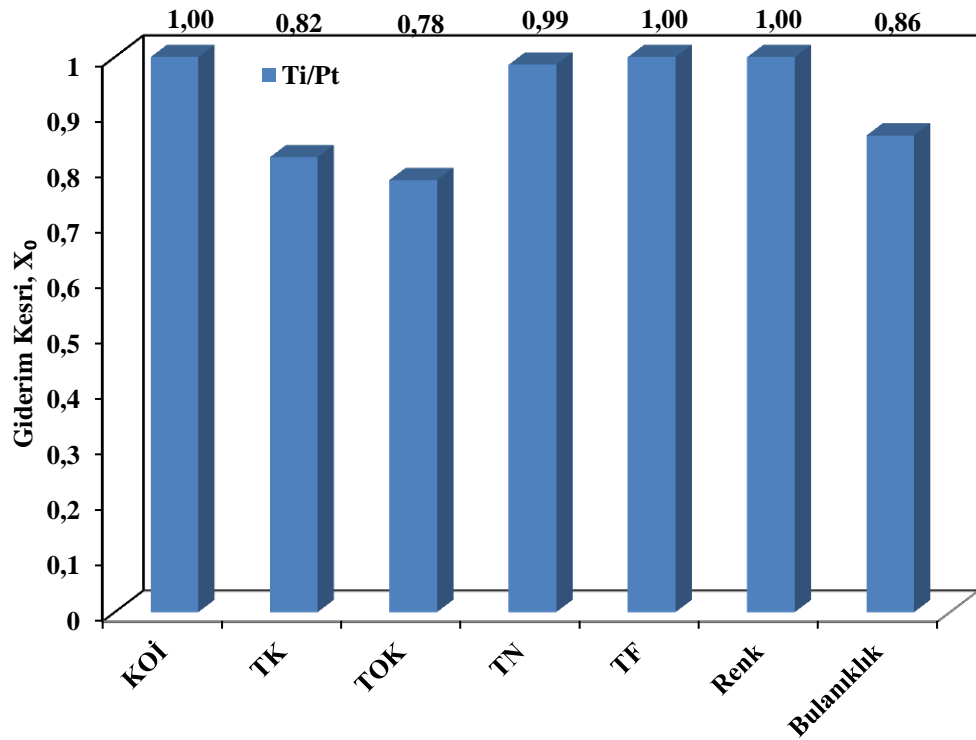
Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt kullanılan denemelerde optimum şartlarda KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık giderim kesirlerinin elde edildiği 5 sa’lik çalışmaların sonuçları sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da özetlenmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için optimum şartlar Çizelge 5.1’de verilmiştir. Karıştırma hızı, seyreltme oranı, pH değişimi, destek elektrolit türü, destek elektrolit konsantrasyonu, akım yoğunluğu ve sıcaklık için sırasıyla 0 rpm, 1/5 (5 kat), doğal pH (4,6), NaCl, 0,5 M, 7,69 mA/cm² ve 20°C iken; Ti/Pt anotlar için sırasıyla 0 rpm, 1/5 (5 kat), doğal pH (4,6), NaCl, 0,25 M, 7,69 mA/cm² ve 10°C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.1. Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt anotlar için optimum deney şartları

Ti/IrO₂/RuO₂							
Deney Süresi	KH	SO	pH	DET	DEK	J	T
5 saat	0 rpm	1/5	4,6	NaCl	0,5 M	7,69 mA/cm ²	20°C
Ti/Pt							
Deney Süresi	KH	SO	pH	DET	DEK	J	T
5 saat	0 rpm	1/5	4,6	NaCl	0,25 M	7,69 mA/cm ²	10°C



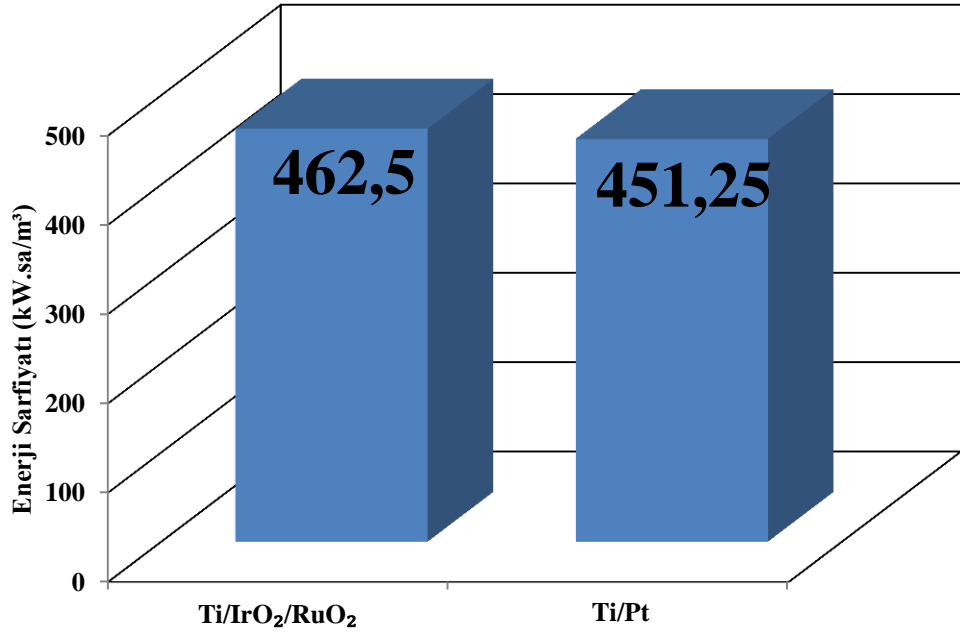
Şekil 5.8. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmaların optimum şartlarında giderim kesirleri



Şekil 5.9. Ti/Pt anot kullanılan çalışmaların optimum şartlarında giderim kesirleri

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilen grafikler incelendiğinde Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmaların optimum şartlarında giderim kesirleri KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık parametreleri için sırasıyla 0,97, 0,16, 0,21, 0,72, 1,00, 0,99 ve 0,98 olarak belirlenmiştir. TK ve TOK giderimleri çok düşük değerlerde kalsa da diğer parametrelerin hemen hemen tamamı atıksu ortamından uzaklaştırılmıştır. Ti/Pt için yapılan denemelerin optimum şartlarında ise KOİ, TK, TOK, TN, TF, renk ve bulanıklılık parametreleri için giderim kesirleri sırasıyla 1,00, 0,82, 0,78, 0,99, 1,00, 1,00 ve 0,86 olarak elde edilmiş, KOİ, TF ve renk parametrelerinin tamamı, TK, TOK, TN ve bulanıklılık parametrelerinin ise büyük bir kısmı atıksu ortamından uzaklaştırılabilmiştir.

Her iki anot türü için giderim verimlerinin incelendiği çalışmalarda optimum şartlarda enerji tüketim değerleri Şekil 5.10’da verilmiştir. Ti/IrO₂/RuO₂ anot kullanılan çalışmalarda başlangıç pH değerleri 4,6’ya, akım yoğunluğu değeri 7,69 mA/cm²’ye, karıştırma olmaksızın 0,5 M NaCl destek elektrolit kullanılarak gerçekleştirilen 5 sa’lik denemeler sonrasında elde edilen enerji tüketim değeri 462,5 kW.sa/m³ olarak hesaplanmıştır. Ti/Pt anot kullanılarak yapılan çalışmalarda ise başlangıç pH değerleri 4,6’ya, akım yoğunluğu değeri 7,69 mA/cm²’ye, karıştırma olmaksızın 0,25 M NaCl destek elektrolit kullanılarak gerçekleştirilen 5 sa’lik denemeler sonrasında elde edilen enerji tüketim değeri 451,25 kW.sa/m³ olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar birbirlerine yakın olsa da enerji maliyetleri incelendiğinde Ti/Pt anot malzemelerinin enerji tüketimi açısından daha uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 5.10. Ti/IrO₂/RuO₂ anot ve Ti/Pt anot kullanılan çalışmaların optimum şartlarında enerji sarfiyatları

5.9. Öneriler

Yapılan bu çalışmalar ışığında incelenmiş parametrelerden elde edilen veriler dikkate alındığında gerek içerdiği yüksek miktardaki organik madde, askıda katı madde ve renk gerekse düşük moleküler ağırlıklı fenolik maddeler nedeniyle arıtılabilirliği geleneksel metotlarla oldukça zor olan zeytinyağı endüstrisinden kaynaklanan ve karasu olarak nitelendirilen bu atıksudan organik maddelerin yanı sıra askıda katı madde, renk ve fenolik maddelerin uzaklaştırılması için elektrooksidasyon prosesinin alternatif bir arıtım prosesi olarak kullanılması önerilebilir. Ti/IrO₂/RuO₂ anot plakalar ilk yatırım maliyeti bakımından Ti/Pt anot plakalar ile kıyaslandığında daha ucuz olsa da, giderim verimleri bakımından kıyaslandığında Ti/Pt plakalar daha verimli görülmektedir.

Bütün bu sonuçlardan yola çıkarak her iki anot türü de zeytin karasuyunun arıtımında pratik bir şekilde kullanılabilir. Üretimi kasım ayında başlayan ve 2-3 ay gibi kısa bir sürede tamamlanan zeytin karasuyu atıksularının miktarı ve atıksuyun kirlilik

potansiyeli oldukça yüksek ve arıtılması oldukça zordur. Bunun yanı sıra üretimi yapıldığı bölgelerin bütününe yayılan ve küçük aile işletmeleri şeklinde işletilmesi arıtım maliyetlerini arttırmaktadır. Fakat yasal zorunluluklar ve ciddi yaptırımlar sebebiyle arıtılması gerekmektedir. Elektrooksidasyon prosesinin alan ihtiyacı düşük ve işletmesi kolaydır. Bu sebeple zeytin karasuyu atıksularının elektrooksidasyon prosesi ile arıtılıp, arıtılmış atıksuyun belediye kanalizasyon şebekesine verilebilmesi mümkün görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adhoum, N., Monser, L., Bellakhal, N., Belgaied, J.E., 2004. Treatment of electroplating wastewater containing Cu 2+, Zn 2+ and Cr (VI) by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 112(3), 207-213.
- Aggelis, G., Iconomou, D., Christou, M., Bokas, D., Kotzailias, S., Christou, G., Tsagou, V., Papanikolaou, S., 2003. Phenolic removal in a model olive oil mill wastewater using *Pleurotus ostreatus* in bioreactor cultures and biological evaluation of the process. *Water Research*, 37(16), 3897-3904.
- Al-Malah, K., Azzam, M.O., Abu-Lail, N.I., 2000. Olive mills effluent (OME) wastewater post-treatment using activated clay. *Separation and Purification Technology*, 20(2), 225-234.
- Anglada, Á., Urriaga, A., Ortiz, I., Mantzavinos, D., Diamadopoulos, E., 2011. Boron-doped diamond anodic treatment of landfill leachate: evaluation of operating variables and formation of oxidation by-products. *Water Research*, 45(2), 828-838.
- Araya-Farias, M., Bazinet, L., 2006. Effect of calcium and carbonate concentrations on anionic membrane fouling during electrodialysis. *Journal of Colloid and Interface Science*, 296(1), 242-247.
- Azzam, M.O., Al-Malah, K.I., Abu-Lail, N.I., 2004. Dynamic post-treatment response of olive mill effluent wastewater using activated carbon. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39(1), 269-280.
- Baker, H., 1991. Genel Kimya, Trabzon.
- Beltrán, F.J., García-Araya, J.F., Frades, J., Alvarez, P., Gimeno, O., 1999. Effects of single and combined ozonation with hydrogen peroxide or UV radiation on the chemical degradation and biodegradability of debittering table olive industrial wastewaters. *Water Research*, 33(3), 723-732.
- Bhatia, S., Othman, Z., Ahmad, A.L., 2006. Palm oil mill effluent pretreatment using *Moringa oleifera* seeds as an environmentally friendly coagulant: laboratory and pilot plant studies. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81(12), 1852-1858.
- Bonilla, C.F., 1947. Possibilities of the electronic coagulator for water treatment. *Water Sewage*, 85, 21-45.
- Boskou, D., 2006. *Olive Oil: Chemistry and Technology*, Second Edition. Taylor & Francis.
- Brett, C.M.A., Brett, A.M.O., 1993. *Electrochemistry: Principles, Methods, and Applications*. Oxford University Press.
- Brillas, E., Bastida, R.M., Llosa, E., Casado, J., 1995. Electrochemical destruction of aniline and 4-chloroaniline for wastewater treatment using a carbon-PTFE O₂-fed cathode. *Journal of the Electrochemical Society*, 142(6), 1733-1741.
- Caffaz, S., Caretti, C., Morelli, M., Lubello, C., Azzari, E., 2007. Olive mill wastewater biological treatment by fungi biomass. *Water Science & Technology*, 55(10), 89-97.
- Carbonio, E.A., Nagao, R., Gonzalez, E.R., Varela, H., 2009. Temperature effects on the oscillatory electro-oxidation of methanol on platinum. *Physical Chemistry*

- Chemical Physics, 11(4), 665-670.
- Chatzisyneon, E., Xekoukoulotakis, N.P., Diamadopoulou, E., Katsaounis, A., Mantzavinos, D., 2009. Boron-doped diamond anodic treatment of olive mill wastewaters: statistical analysis, kinetic modeling and biodegradability. *Water Research*, 43(16), 3999-4009.
- Chen, G., 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11-41.
- Chiang, L.C., Chang, J.E., Wen, T.C., 1995. Electrochemical treatability of refractory pollutants in landfill leachate. *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 12(1), 71-82.
- Comninellis, C., 1994. Electrocatalysis in the electrochemical conversion/combustion of organic pollutants for waste water treatment. *Electrochimica Acta*, 39(11), 1857-1862.
- Comninellis, C., Chen, G., 2010. *Electrochemistry for the Environment*. Springer.
- Comninellis, C., Nerini, A., 1995. Anodic oxidation of phenol in the presence of NaCl for wastewater treatment. *Journal of Applied Electrochemistry*, 25(1), 23-28.
- Demicheli, M., Bontoux, L., 1996. Survey on current activity on the valorization of by-products from the olive oil industry. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.
- Dhaouadi, H., Marrot, B., 2008. Olive mill wastewater treatment in a membrane bioreactor: process feasibility and performances. *Chemical Engineering Journal*, 145(2), 225-231.
- Domínguez, J.R., González, T., Palo, P., Sánchez-Martín, J., 2010. Anodic oxidation of ketoprofen on boron-doped diamond (BDD) electrodes. Role of operative parameters. *Chemical Engineering Journal*, 162(3), 1012-1018.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ., Sönmez, S., 2013. Dünya’da, Türkiye’de, Edremit Körfezi Çevresinde Zeytin ve Zeytinyağı, (Ed.) E. Belediyesi, Vol. 7, AKMAT. Balıkesir.
- El Hajjouji, H., Baddi, G.A., Yaacoubi, A., Hamdi, H., Winterton, P., Revel, J., Hafidi, M., 2008. Optimisation of biodegradation conditions for the treatment of olive mill wastewater. *Bioresource Technology*, 99(13), 5505-5510.
- El-Abbassi, A., Kiai, H., Raiti, J., Hafidi, A., 2014. Application of ultrafiltration for olive processing wastewaters treatment. *Journal of Cleaner Production*, 65, 432-438.
- Elmore, F., 1905. A process for separating certain constituents of subdivided ores and like substances, and apparatus therefore. *British Patent*, 13, 578.
- Endyuskin, P., Selezkin, S., Dyumaev, K., 1983. Electrochemical purification of wastewaters from production of organic-dyes. *Journal of Applied Chemistry of the USSR*, 56(5), 1100-1102.
- Ergün, E., 2008. Elektrodializ Yöntemiyle Sulardan Florürün Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Erkonak, H., Söğüt, O.Ö., Akgün, M., 2008. Treatment of olive mill wastewater by supercritical water oxidation. *The Journal of Supercritical Fluids*, 46(2), 142-148.
- Eusébio, A., Mateus, M., Baeta-Hall, L., Sâágua, M., Tenreiro, R., Almeida-Vara, E., Duarte, J., 2007. Characterization of the microbial communities in jet-loop (JACTO) reactors during aerobic olive oil wastewater treatment. *International*

- Biodeterioration & Biodegradation, 59(3), 226-233.
- Fadil, K., Chahlaoui, A., Ouahbi, A., Zaid, A., Borja, R., 2003. Aerobic biodegradation and detoxification of wastewaters from the olive oil industry. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 51(1), 37-41.
- FAOSTAT., 2015. Production of top 5 producers, Vol. 2015, Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division.
- Fil, B.A., 2014. Antep Fıstığı İşleme Atıksularının Elektrokoksasyon Yöntemiyle Arıtılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Filidei, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., 2003. Anaerobic digestion of olive oil mill effluents: evaluation of wastewater organic load and phytotoxicity reduction. *Water, Air, and Soil Pollution*, 145(1-4), 79-94.
- Fino, D., Jara, C.C., Saracco, G., Specchia, V., Spinelli, P., 2005. Deactivation and regeneration of Pt anodes for the electro-oxidation of phenol. *Journal of Applied Electrochemistry*, 35(4), 405-411.
- Fiorino, P., Griffi, F.N., 1992. The spread of olive farming. *Olivae*, 44, 9-13.
- Gözke, G., Posten, C., 2010. Electrofiltration of biopolymers. *Food Engineering Reviews*, 2(2), 131-146.
- Grimm, J., Bessarabov, D., Sanderson, R., 1998. Review of electro-assisted methods for water purification. *Desalination*, 115(3), 285-294.
- Gümüşkesen, A., Yemişçioğlu, F., 1999. Bitkisel yağ teknolojisi. Bitkisel Yağ Sanayicileri Derneği, yayın(5).
- Hacıoğlu, B., 2006. Elektrodializ Yöntemi ile Model Çözeltilerden Sitrik Asit Geri Kazanımı. in: Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Vol. Yüksek Lisans, Osmangazi Üniversitesi. Eskişehir, pp. 97.
- Hamdan, S.S., El-Naas, M.H., 2014. An electrocoagulation column (ECC) for groundwater purification. *Journal of Water Process Engineering*, 4, 25-30.
- Hanafi, F., Assobhei, O., Mountadar, M., 2010. Detoxification and discoloration of Moroccan olive mill wastewater by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1), 807-812.
- Hernlem, B., Tsai, L.S., 2000. Chlorine generation and disinfection by electroflotation. *Journal of Food Science*, 65(5), 834-837.
- Huang, C.J., Liu, J., 1999. Precipitate flotation of fluoride-containing wastewater from a semiconductor manufacturer. *Water Research*, 33(16), 3403-3412.
- Inan, H., Dimoglo, A., Şimşek, H., Karpuzcu, M., 2004. Olive oil mill wastewater treatment by means of electro-coagulation. *Separation and Purification Technology*, 36(1), 23-31.
- IOOC. 2014. Olive Oils, IOOC (International Olive Oil Council).
- Isa, M.H., Ezechi, E.H., Ahmed, Z., Magram, S.F., Kutty, S.R.M., 2014. Boron removal by electrocoagulation and recovery. *Water Research*, 51, 113-123.
- Kaplan, F., Hesenov, A., 2008. Zeytin Kara Suyundaki Toksik Fenolik Bileşiklerin Farklı Karbon Elektrotlar Kullanılarak Elektro-Fenton Yöntemi ile Parçalanmaları. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 17(6), 9.
- Karakaya, A., Laleli, Y., Takaç, S., 2012. Development of process conditions for biodegradation of raw olive mill wastewater by *Rhodotorula glutinis*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 75, 75-82.
- Kong, W., Wang, B., Ma, H., Gu, L., 2006. Electrochemical treatment of anionic surfactants in synthetic wastewater with three-dimensional electrodes. *Journal of*

- Hazardous Materials, 137(3), 1532-1537.
- Lafi, W.K., Shannak, B., Al-Shannag, M., Al-Anber, Z., Al-Hasan, M., 2009. Treatment of olive mill wastewater by combined advanced oxidation and biodegradation. *Separation and Purification Technology*, 70(2), 141-146.
- Lee, H.J., Choi, J.H., Cho, J., Moon, S.H., 2002. Characterization of anion exchange membranes fouled with humate during electro dialysis. *Journal of Membrane Science*, 203(1), 115-126.
- Li, X.M., Wang, M., Jiao, Z., Chen, Z., 2001. Study on electrolytic oxidation for landfill leachate treatment. *China Water and Wastewater*, 17(8), 14-17.
- Liu, H., Li, X., Leng, Y., Wang, C., 2007. Kinetic modeling of electro-Fenton reaction in aqueous solution. *Water Research*, 41(5), 1161-1167.
- Loumou, A., Giourga, C., 2003. Olive groves: "The life and identity of the Mediterranean". *Agriculture and Human Values*, 20(1), 87-95.
- Lu, J., Li, Y., Yin, M., Ma, X., Lin, S., 2015. Removing heavy metal ions with continuous aluminum electrocoagulation: A study on back mixing and utilization rate of electro-generated Al ions. *Chemical Engineering Journal*.
- Lucas, M.S., Peres, J.A., 2009. Removal of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2), 1253-1259.
- Luchetti, F., 2002. Importance and future of olive oil in the world market—An introduction to olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10), 559-563.
- Martinez-Garcia, G., Johnson, A., Bachmann, R., Williams, C., Burgoyne, A., Edyvean, R., 2007. Two-stage biological treatment of olive mill wastewater with whey as co-substrate. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 59(4), 273-282.
- Masghouni, M., Hassairi, M., 2000. Energy applications of olive-oil industry by-products: I. The exhaust foot cake. *Biomass and Bioenergy*, 18(3), 257-262.
- Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., Cocke, D.L., 2001. Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29-41.
- Muller, M.J., 1992. Retrospective on a year of participatory design using the PICTIVE technique. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM. pp. 455-462.
- Naumczyk, J., Szpyrkowicz, L., Zilio-Grandi, F., 1996. Electrochemical treatment of textile wastewater. *Water Science and Technology*, 34(11), 17-24.
- Nieto, L.M., Hodaifa, G., Rodríguez, S., Giménez, J.A., Ochando, J., 2011. Degradation of organic matter in olive-oil mill wastewater through homogeneous Fenton-like reaction. *Chemical Engineering Journal*, 173(2), 503-510.
- Oktav, E., Çatalkaya, E.Ç., Şengül, F., 2003. Zeytinyağı endüstrisi atıksularının kimyasal yöntemlerle arıtımı.
- Oktav, E., Şengül, F., 2003. Zeytinyağı üretimi atıksularının distilasyon yöntemi ile arıtımı.
- Oncel, M., Muhcu, A., Demirbas, E., Kobya, M., 2013. A comparative study of chemical precipitation and electrocoagulation for treatment of coal acid drainage wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 989-995.
- Paraskeva, P., Diamadopoulos, E., 2006. Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81(9), 1475-1485.

- Pelillo, M., Rincón, B., Raposo, F., Martín, A., Borja, R., 2006. Mathematical modelling of the aerobic degradation of two-phase olive mill effluents in a batch reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 30(3), 308-315.
- Pi, K.W., Xiao, Q., Zhang, H.Q., Xia, M., Gerson, A.R., 2014. Decolorization of synthetic Methyl Orange wastewater by electrocoagulation with periodic reversal of electrodes and optimization by RSM. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6), 796-806.
- Rozzi, A., Malpei, F., 1996. Treatment and disposal of olive mill effluents. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 38(3), 135-144.
- Sabbah, I., Marsook, T., Basheer, S., 2004. The effect of pretreatment on anaerobic activity of olive mill wastewater using batch and continuous systems. *Process Biochemistry*, 39(12), 1947-1951.
- Sahinkaya, E., Uzal, N., Yetis, U., Dilek, F.B., 2008. Biological treatment and nanofiltration of denim textile wastewater for reuse. *Journal of Hazardous Materials*, 153(3), 1142-1148.
- Samsunlu, A., Tünay, O., Öztürk, Z., Alp, K., 1998. Zeytinyağı Üretimi Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtılabilirliği. *İTÜ*, 6, 93-99.
- Santos, I., Afonso, J., Dutra, A., 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.
- Sathish, M., Viswanath, R.P., 2005. Electrochemical degradation of aqueous phenols using graphite electrode in a divided electrolytic cell. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 22(3), 358-363.
- Sesli, M., Yegenoglu, D., 2009. RAPD-PCR analysis of cultured type olives in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 8(15).
- Strokach, P., 1975. *Electrochemistry Industrial Processes Bio*, 55, 375.
- Stuart, F.E., 1946. Electronic water purification progress report on the electronic coagulator—a new device which gives promise of unusually speedy and effective results. *Water Sewage*, 84, 24-26.
- Stucki, S., Baumann, H., Christen, H., Kötz, R., 1987. Performance of a pressurized electrochemical ozone generator. *Journal of Applied Electrochemistry*, 17(4), 773-778.
- Sundarapandiyan, S., Chandrasekar, R., Ramanaiah, B., Krishnan, S., Saravanan, P., 2010. Electrochemical oxidation and reuse of tannery saline wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1), 197-203.
- Şengül, F., Pınar, C., Yıldırım, T., 1996. Çanakkale Örneğinde Zeytinyağı Üretimi Atıksularının Arıtımı ve Bertaraf Seçenekleri. *Yerleşim ve Çevre Sorunları: Çanakkale İli, Bildiriler Kitabı*, 67-74.
- Tokuşoğlu, Ö., 2010. *Özel Meyve: Zeytin Kimyası, Kalite ve Teknolojisi*. Sidas Medya Ltd. Şti., Manisa.
- Turano, E., Curcio, S., De Paola, M.G., Calabrò, V., Iorio, G., 2002. An integrated centrifugation-ultrafiltration system in the treatment of olive mill wastewater. *Journal of Membrane Science*, 209(2), 519-531.
- TÜİK., 2014. *Zeytin üretimi, 1988-2014*, Türkiye İstatistik Kurumu. Ankara.
- Türk, H., 1999. *Elektrokimya*. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları, Eskişehir.
- Tziotzios, G., Michailakis, S., Vayenas, D., 2007. Aerobic biological treatment of olive

- mill wastewater by olive pulp bacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 60(4), 209-214.
- Un, U.T., Altay, U., Koparal, A.S., Ogutveren, U.B., 2008. Complete treatment of olive mill wastewaters by electrooxidation. *Chemical Engineering Journal*, 139(3), 445-452.
- Ün, Ü.T., Uğur, S., Koparal, A., Öğütveren, Ü.B., 2006. Electrocoagulation of olive mill wastewaters. *Separation and Purification Technology*, 52(1), 136-141.
- Üneri, S., 1988. *Elektrokimya*. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ankara.
- Van Hege, K., 2002. Bottlenecks of Sustainable Water Reuse: Advanced Treatment of Municipal Wastewater and Membrane Concentrates.
- Vik, E.A., Carlson, D.A., Eikum, A.S., Gjessing, E.T., 1984. Electrocoagulation of potable water. *Water Research*, 18(11), 1355-1360.
- Vitolo, S., Petarca, L., Bresci, B., 1999. Treatment of olive oil industry wastes. *Bioresource Technology*, 67(2), 129-137.
- Vlyssides, A., Israilides, C., Loizidou, M., Karvouni, G., Mourafeti, V., 1997. Electrochemical treatment of vinasse from beet molasses. *Water Science and Technology*, 36(2), 271-278.
- Wilcock, A.E., Hay, S.P., 1991. Recycling of electrochemically treated disperse dye effluent. *Canadian Textile Journal*, 108, 37-40.
- Willis, M.S., Tosun, I., 1980. A rigorous cake filtration theory. *Chemical Engineering Science*, 35(12), 2427-2438.
- Yalçın, H., Gürü, M., 2010. *Elektrokimya ve Uygulamaları*. Palme Yayıncılık.
- Yazıcı, S., 2012. *Elektrodiyaliz Bipolar Membran Proseslerin Tıkanma Mekanizması Ve Önleme Çalışmalarının Analizi-Sızıntı Suyu Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yıldırım, Ö., 2007. *Kağıt Endüstrisi Atıksularının Elektro-Fenton Yöntemiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Yildiz, E., 2004. Phosphate removal from water by fly ash using crossflow microfiltration. *Separation and Purification Technology*, 35(3), 241-252.
- Zhang, H., Fei, C., Zhang, D., Tang, F., 2007. Degradation of 4-nitrophenol in aqueous medium by electro-fenton method. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1), 227-232.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Arsin/Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Ankara'da Zafer İlkokulu ve Demirlibahçe Ata İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini Bursa'da Cumhuriyet Lisesi'nde tamamladı. 1999 yılında Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2004 yılında mezun oldu. 2004 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojisi bölümünde başladığı yüksek lisans eğitiminden 2008 yılında mezun olarak aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojisi bölümünde doktora eğitimine başladı. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojileri Bilim Dalı'nda Arş. Gör. Olarak göreve başladı ve halen bu görevi sürdürmektedir.