

**ZEYTİNYAĞI ATIKSULARININ ARITIMINDA
ELEKTROKİMYASAL YÜKSELTGEMENİN
UYGULANMASI**

Ümit ALTAY

**Yüksek Lisans Tezi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Ağustos-2004**

ÖZET**Yüksek Lisans Bitirme Tezi****ZEYTİNYAĞI ATIKSULARININ ARITIMINDA
ELEKTROKİMYASAL YÜKSELTGEMENİN UYGULANMASI****ÜMİT ALTAY****Anadolu Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı****Danışman: Prof.Dr. Ülker Bakır ÖĞÜTVEREN****II. Danışman: Yard.Doç.Dr. Ümran TEZCAN ÜN****2004, 110 sayfa**

Zeytinyağı üretiminde oluşan atıksuyun arıtılması için bir çok yöntem geliştirilmiş ve denenmiştir. Bu çalışmada, bir zeytinyağı işletmesinden alınan karasuya elektrokimyasal yükseltgeme uygulanmıştır. Çalışmada anot ve katot olarak rutenyum oksit (RuO_2) kaplı titanyum (Ti) plakalar kullanılmıştır. Elektrokimyasal giderim sırasında, destek elektrolit olarak kullanılan NaCl derişimi (1,2,3,5M), akım yoğunluğu (25, 45, 65, 75, 85, 105, 135 mAcm^{-2}), atıksu akış hızı (1,10; 4,60; 7,90 $\text{cm}^3\text{sn}^{-1}$), sıcaklık (7, 20, 40 °C), elektrot demeti sayısı (1, 2) ve işlem süresi değiştirilerek karasuyun kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), fenol, yağ-gres derişimleri ve bulanıklık değerleri belirlenmiş ve giderim verimleri hesaplanmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalarda pH ve iletkenlik derişimleri izlenmiştir. Çalışma sonucunda yüksek akım verimi (1,05) ve düşük enerji tüketimi (3,58 $\text{kWh}(\text{kgKOİ})^{-1}$) ile 135 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda % 99,4 KOİ giderimi sağlanarak atıksu deşarj standardı olan 250 mgL^{-1} KOİ değerinin altına inilmiştir. Ayrıca tüm çalışma şartlarında % 100 fenol giderimi, % 95'in üzerinde yağ-gres giderimi ve % 99'un üzerinde bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Sonuç olarak zeytinyağı endüstrisi atıksuyunun sadece elektrokimyasal yükseltgeme ile deşarj standartlarını sağlayacak şekilde arıtıldığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zeytinyağı atıksuyu, Elektrokimyasal yükseltgeme, KOİ, Fenol, Yağ-gres

ABSTRACT**Master of Science Thesis****TREATMENT OF OLIVE OIL WASTEWATERS USING
ELECTROCHEMICAL OXIDATION****ÜMIT ALTAY****Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Environmental Engineering Program****Supervisor: Prof. Dr. Ülker Bakır ÖĞÜTVEREN****Asst. Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ümran TEZCAN ÜN****2004, 110 pages**

A lot of methods have been improved and tested for the treatment of olive mill wastewaters which have formed as by-product during olive oil production. In this study, electrochemical treatment of black water provided from a local olive oil plant was performed. Ruthenium oxide (RuO_2) coated titanium (Ti) plates were used as anode and cathode. Effects of the parameters such as NaCl concentration (1, 2, 3, 5M), used as supporting electrolyte, current density (25, 45, 65, 75, 85, 105, 135 mAcm^{-2}), wastewater flow rate (1,10; 4,60; 7,90 $\text{cm}^3\text{sn}^{-1}$), temperature (7, 20, 40 °C), number of stack (1, 2) and electrolysis time on the removal efficiencies of COD, phenol, oil-grease and turbidity were calculated. Additionally, pH and electrical conductivity were monitored during the experimental studies. At the end of the study, COD removal efficiency of 99.4% with high current efficiency (1,05) and low energy consumption (3,58 $\text{kWh}(\text{kgKOI})^{-1}$) at the current density of 135 mA.cm^{-2} was achieved to have a COD value below the discharge limit of 250 mgL^{-1} . In addition, phenol removal of 100 %, oil-grease removal of over 95 % and turbidity removal of 99 % were achieved in all studies. As a conclusion, treatment of olive oil wastewater to discharge limits has been succeeded by applying electrochemical oxidation only.

**Keywords: Olive oil wastewater, Electrochemical oxidation, COD, Phenol,
Oil-grease**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Ürün Tanımı	1
1.2. Zeytin ve Zeytinyağı Üretim Tarihi	4
1.3. Dünyada Zeytin ve Zeytinyağı Üretimi ve Tüketimi.....	4
1.4. Türkiye’de Zeytin ve Zeytinyağı Üretimi ve Tüketimi	8
1.5. Ülkemizde Zeytinyağı Üretiminde Karşılaşılan Sorunlar.....	10
1.5.1. Yetiştirme Aşamasındaki Sorunlar	10
1.5.2. İşleme ve Pazarlama Aşamalarındaki Sorunlar.....	11
2. ZEYTİNYAĞI ÜRETİMİ VE ZEYTİNYAĞI ENDÜSTRİSİ	
ATIKSUYU	13
2.1. Zeytinyağı Üretimi	13
2.1.1. Pres Üretim Süreci	15
2.1.2. Sürekli Üretim Süreci.....	16
2.2. Zeytinyağı Endüstrisi Atık ve Atıksularının Özellikleri	18
2.3. Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Çevresel Etkileri	22
3. ZEYTİNYAĞI ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITIM	
YÖNTEMLERİ	25
3.1. Karasuyun Biyolojik Yöntemlerle Arıtımı.....	25
3.1.1. Aerobik arıtım	25
3.1.2. Anaerobik arıtım	26
3.2. Karasuyun Fiziksel ve Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı.....	26

3.2.1. Membran süreçleri	26
3.2.1.1. Ultrafiltrasyon (UF) ile ön arıtma.....	27
3.2.1.2. Ultrafiltrasyon membranı sonrasında ters osmoz ile ileri arıtma.....	27
3.2.1.3. Nanofiltrasyon (NF) membranı ile arıtma	28
3.3. Karasuyun Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılması	28
3.4. Diğer Yöntemler.....	30
3.4.1. Kompostlaştırma	30
3.4.2. Lagünlerde buharlaştırma.....	30
3.4.3. Arazide arıtım.....	32
3.4.4. Distilasyon yöntemi ile arıtım.....	32
3.4.5. Karasuyun adsorbsiyonu	32
4. ELEKTROKİMYASAL ARITIM.....	33
4.1. Elektroliz.....	34
4.1.1. Hücre Bileşenleri.....	38
4.1.1.1. Elektrot malzemesi	38
4.1.1.2. Destek elektrolit.....	39
4.2. Atıksu Arıtımında Kullanılan Elektrokimyasal Yöntemler	40
4.2.1. Elektrodepozit Yöntemi (Elektrobirikim)	40
4.2.2. Elektroflotasyon Yöntemi (Elektroyüzdürme).....	41
4.2.3. Elektrokoagülasyon Yöntemi (Elektropıhtılaştırma)	41
4.2.4. Elektroyükseltgeme Yöntemi.....	42
4.3. Paralel Plaka Reaktör Sistemleri.....	43
4.4. Organik Maddelerin Elektrokimyasal Arıtımı	45
4.4.1. Tepkime mekanizmaları.....	46
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	50
5.1. Zeytinyağı Atıksularının Elektrokimyasal Yükseltgeme Yöntemiyle Giderim Çalışmaları	50
5.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler.....	52
5.1.2. Kullanılan yardımcı araçlar.....	52
5.1.3. Tayin	53

5.1.4. Deney sonuçlarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler	53
5.2. Deneysel Çalışmalarda Elde edilen Sonuçlar	54
5.2.1. Destek elektrolit derişiminin etkisinin incelendiği deney sonuçları.....	54
5.2.2. Akım yoğunluğunun etkisinin incelendiği deney sonuçları.....	65
5.2.3. Atıksu akış hızının etkisinin incelendiği deney sonuçları.....	73
5.2.4. Sıcaklık değişiminin etkisinin incelendiği deney sonuçları.....	80
5.2.5. Elektrot demeti sayısının etkisinin incelendiği deney sonuçları	87
5.2.6. Elektroliz süresinin etkisinin incelendiği deney sonuçları.....	98
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	100
KAYNAKLAR	105
EKLER	
EK.1 Örnek hesaplamalar	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
1.1 Zeytinyağı üretici ülkeler	6
1.2 Zeytinyağı tüketici ülkeler	6
1.3 1998 yılı süresince Akdeniz ülkelerinde zeytin ve zeytinyağı üretimi	7
2.1 Zeytinyağı üretimi akım şeması	15
2.2 Zeytinyağı pres üretim sürecinin genel şematik görünümü	17
2.3 Zeytinyağı 3 faz üretim sürecinin genel şematik görünümü	17
2.4 Zeytinyağı 2 faz üretim sürecinin genel şematik görünümü	18
3.1 İsrailides ve arkadaşlarının çalışmaları yaptıkları elektroliz hücresi	29
4.1 Elektroliz sisteminin ana bileşenleri ve özelliği	35
4.2 Elektrot yüzeyi ile çözelti arasında gerçekleşen tepkimeler	36
4.3 Bir elektrot sürecine etki eden faktörler	37
5.1 RuO ₂ kaplı Ti plakaların dizilişi	51
5.2 Deney düzeneği akım şeması	52
5.3 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ derişiminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , i: 45mAcm ⁻² , T: 20 °C	56
5.4 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ gideriminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , i: 45mAcm ⁻² , T: 20 °C	56
5.5 Farklı NaCl derişimlerinde akım veriminin ve enerji tüketimin değişimi. L: 1,10cm ³ .sn ⁻¹ , i: 45 mA.cm ⁻² , T: 20 °C	56
5.6 Farklı NaCl derişimlerinde fenol derişiminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , i: 45mAcm ⁻² , T: 20 °C	57
5.7 Farklı NaCl derişimlerinde fenol gideriminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , i: 45mAcm ⁻² , T: 20 °C	57
5.8 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi. L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , i: 45mAcm ⁻² , T: 20 °C	57
5.9 Farklı NaCl derişimlerinde bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , i: 45mAcm ⁻² , T: 20 °C	58
5.10 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ derişiminin zamanla değişimi. L: 1,10cm ³ sn ⁻¹ , i: 105mAcm ⁻² , T: 20 °C	59

- 5.11 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ gideriminin zamanla değişimi.
L: 1,10cm³sn⁻¹, i: 105mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 59
- 5.12 Farklı NaCl derişimlerinde akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. L: 1,10cm³sn⁻¹, i: 105mAc^{m-2}, T: 20 °C 59
- 5.13 Farklı NaCl derişimlerinde fenol derişiminin zamanla değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 105mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 60
- 5.14 Farklı NaCl derişimlerinde fenol gideriminin zamanla değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 105mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 60
- 5.15 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 105mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 61
- 5.16 Farklı NaCl derişiminde bulanıklık gideriminin zamanla değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 105mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 61
- 5.17 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ derişiminin zamanla değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 135 mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 63
- 5.18 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ gideriminin zamanla değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 135 mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 63
- 5.19 Farklı NaCl derişimlerinde akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 135 mAc^{m-2}, T: 20 °C 64
- 5.20 Farklı NaCl derişimlerinde fenol derişiminin zamanla değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 135mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 64
- 5.21 Farklı NaCl derişimlerinde fenol gideriminin zamanla değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 135mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 64
- 5.22 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 135mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 65
- 5.23 Farklı NaCl derişimlerinde bulanıklık gideriminin zamanla değişimi.
L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 135mAc^{m-2}, T: 20 °C..... 65
- 5.24 Farklı akım yoğunluklarında KOİ derişiminin zamanla değişimi.
NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C 68
- 5.25 Farklı akım yoğunluklarında KOİ gideriminin zamanla değişimi.
NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C 68
- 5.26 Farklı akım yoğunluklarında akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 68

5.27 Farklı akım yoğunluklarında fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	69
5.28 Farklı akım yoğunluklarında fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	69
5.29 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin akım yoğunluğu ile değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	69
5.30 Farklı akım yoğunluklarında bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	70
5.31 Farklı akım yoğunluklarında KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	71
5.32 Farklı akım yoğunluklarında KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	71
5.33 Farklı akım yoğunluklarında akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	69
5.34 Farklı akım yoğunluklarında fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	72
5.35 Farklı akım yoğunluklarında fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	72
5.36 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin akım yoğunluğu ile değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	73
5.37 Farklı akım yoğunluklarında bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	73
5.38 Farklı atıksu akış hızlarında KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAc ^{m-2} , T: 20 °C.....	76
5.39 Farklı atıksu akış hızlarında KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAc ^{m-2} , T: 20 °C.....	76
5.40 Farklı atıksu akış hızlarında akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAc ^{m-2} , T: 20 °C.....	76
5.41 Farklı atıksu akış hızlarında KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAc ^{m-2} , T: 20 °C.....	77
5.42 Farklı atıksu akış hızlarında KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAc ^{m-2} , T: 20 °C.....	77

5.43 Farklı atıksu akış hızlarında akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcm ⁻² , T: 20 °C	77
5.44 Farklı atıksu akış hızlarında fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm ⁻² , T: 20 °C	78
5.45 Farklı atıksu akış hızlarında fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm ⁻² , T: 20 °C	78
5.46 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin atıksu akış hızları ile değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAcm ⁻² , T: 20 °C	78
5.47 Farklı atıksu akış hızlarında bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAcm ⁻² , T: 20 °C	79
5.48 Farklı atıksu akış hızlarında fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcm ⁻² , T: 20 °C	79
5.49 Farklı atıksu akış hızlarında fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcm ⁻² , T: 20 °C	79
5.50 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin atıksu akış hızları ile değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm ⁻² , T: 20 °C	80
5.51 Farklı atıksu akış hızlarında bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm ⁻² , T: 20 °C	80
5.52 Farklı sıcaklıklarda KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135 mAcm ⁻²	83
5.53 Farklı sıcaklıklarda KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135mAcm ⁻²	83
5.54 Farklı sıcaklıklarda akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm ³ .sn ⁻¹ , i: 135mA.cm ⁻²	83
5.55 Farklı sıcaklıklarda KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135mAcm ⁻²	84
5.56 Farklı sıcaklıklarda KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135mAcm ⁻²	84
5.57 Farklı sıcaklıklarda akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135mAcm ⁻²	84
5.58 Farklı sıcaklıklarda fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135mAcm ⁻²	85

5.59 Farklı sıcaklıklarda fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135mAc ^m - ²	85
5.60 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin sıcaklık ile değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135 mAc ^m - ²	85
5.61 Farklı sıcaklıklarda bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135 mAc ^m - ²	86
5.62 Farklı sıcaklıklarda fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135mAc ^m - ²	86
5.63 Farklı sıcaklıklarda fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135mAc ^m - ²	86
5.64 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin sıcaklık ile değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135 mAc ^m - ²	88
5.65 Farklı sıcaklıklarda bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , i: 135 mAc ^m - ²	88
5.66 Elektrot demeti sayısıyla KOİ derişiminin zamanla değişimi. i: 25mAc ^m - ² , NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ .sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	89
5.67 Elektrot demeti sayısıyla KOİ gideriminin zamanla değişimi. i: 25mAc ^m - ² , NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	89
5.68 Elektrot demeti sayısıyla akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. i: 25mAc ^m - ² , NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	89
5.69 Elektrot demeti sayısıyla fenol derişiminin zamanla değişimi. i: 25mAc ^m - ² , NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	90
5.70 Elektrot demeti sayısıyla fenol gideriminin zamanla değişimi. i: 25mAc ^m - ² , NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	90
5.71 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin elektrot demeti sayısıyla değişimi. i: 25mAc ^m - ² , NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C.....	90
5.72 Elektrot demeti sayısıyla bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. i: 25mAc ^m - ² , NaCl: 2M, L: 1,10 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C	91
5.73 Elektrot demeti sayısıyla KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAc ^m - ² , L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C	93
5.74 Elektrot demeti sayısıyla KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAc ^m - ² , L: 7,90 cm ³ sn ⁻¹ , T: 20 °C	93

- 5.75 Elektrot demeti sayısı ile akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 94
- 5.76 Elektrot demeti sayısı ile KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C 94
- 5.77 Elektrot demeti sayısı ile KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 94
- 5.78 Elektrot demeti sayısı ile akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C 95
- 5.79 Elektrot demeti sayısı ile fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 95
- 5.80 Elektrot demeti sayısı ile fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 95
- 5.81 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin elektrot demeti sayısı ile değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 96
- 5.82 Elektrot demeti sayısı ile bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 96
- 5.83 Elektrot demeti sayısı ile fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 96
- 5.84 Elektrot demeti sayısı ile fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 97
- 5.85 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin elektrot demeti sayısı ile değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 97
- 5.86 Elektrot demeti sayısı ile bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C..... 97
- 5.87 KOİ derişimi ve KOİ gideriminin elektroliz süresince değişimi. L: 7,90 cm³sn⁻¹, NaCl: 5M, i: 25mAcm⁻², T: 20 °C 98
- 5.88 Fenol derişimi ve fenol gideriminin elektroliz süresince değişimi. L: 7,90 cm³sn⁻¹, NaCl: 5M, i: 25mAcm⁻², T: 20 °C..... 99
- 5.89 Bulanıklık ve bulanıklık gideriminin elektroliz süresince değişimi. L: 7,90 cm³sn⁻¹, NaCl: 5M, i: 25mAcm⁻², T: 20 °C..... 99

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
1.1 Zeytin yapısı (Değerler ağırlık yüzdesi olarak verilmiştir).....	1
1.2 Zeytinyağı ile ilgili bilgiler	2
1.3 Zeytinyağı bileşenleri.....	3
1.4 Dünyada zeytincilik yapılan alanlar	5
1.5 Dünya zeytinyağı üretim, ihracat, tüketim ve ithalatı (1000 ton) (1990/91–2001/02 Ort)	8
1.6 Türkiye’ de zeytin ağaç sayısı, zeytin ve zeytinyağı üretimi (1989/90 – 2000/01).....	9
2.1 Kullanılan sisteme göre oluşan ürün ve atık miktarları	18
2.2 Klasik yöntem karasuyun bileşimi	21
2.3 Sürekli yöntem karasuyun bileşimi.....	21
4.1 Atıksu arıtımında bazı elektrokimyasal yöntemler ve tepkimeler	34
4.2 Elektroliz sırasında gerçekleşen elektrokimyasal tepkimeler	49
5.1 Çalışılan zeytinyağı atıksuyunun bileşimi	50
5.2 Elektrokimyasal hücrenin özelliği.....	51
5.3 Deneysel çalışmalarda kullanılan araç ve gereçler	53
5.4 Farklı NaCl derişimleri için 45mAcm^{-2} akım yoğunluğunda elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{sn}^{-1}$, T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$	55
5.5 Farklı NaCl derişimleri için 105mAcm^{-2} akım yoğunluğunda elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{sn}^{-1}$, T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$	58
5.6 Farklı NaCl değişimleri için 135mAcm^{-2} akım yoğunluğunda elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{sn}^{-1}$, i: 135mAcm^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$	62
5.7 2M NaCl derişimi için farklı akım yoğunluklarında elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{sn}^{-1}$, T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$	66
5.8 1M NaCl derişimi için farklı akım yoğunluklarında elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{sn}^{-1}$, T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$	70
5.9 2M NaCl derişimi için farklı atıksu akış hızlarında elde edilen deney sonuçları. i: 135mAcm^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$	74

5.10	5M NaCl derişimi için farklı atıksu akış hızlarında elde edilen deney sonuçları. $i: 135 \text{ mAcm}^{-2}$, $T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$	75
5.11	2M NaCl derişimi için farklı sıcaklıklarda elde edilen deney sonuçları. $L: 7,90 \text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $i: 135 \text{ mAcm}^{-2}$	81
5.12	5M NaCl derişimi için farklı sıcaklıklarda elde edilen deney sonuçları. $L: 7,90 \text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $i: 135 \text{ mAcm}^{-2}$	82
5.13	25 mAcm^{-2} akım yoğunluğu ve 2M NaCl derişimi için farklı elektrot demeti sayısında elde edilen deney sonuçları. $i: 25\text{mAcm}^{-2}$, NaCl: 2M, $L: 1,10 \text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$	88
5.14	2M NaCl derişimi için tek ve iki elektrot demetinde elde edilen deney sonuçları. $i: 135\text{mAcm}^{-2}$, $L: 7,90 \text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$	92
5.15	5M NaCl derişimi için tek ve iki elektrot demetinde elde edilen deney sonuçları. $i: 135\text{mAcm}^{-2}$, $L: 7,90 \text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$	92
5.16	Elektroliz süresinin etkisinin incelendiği deney sonuçları. $i: 25\text{mAcm}^{-2}$, NaCl: 2M, $L: 1,10 \text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$	98

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif akım
AKM	: Askıda katı madde
Al(OH) ₃	: Alüminyum hidroksit
BOİ ₅	: 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı
C	: Son derişimi
cm	: Santimetre
Cl ₂	: Klor
CO ₂	: Karbondioksit
Co	: Başlangıç derişimi
ÇED	: Çevre etki değerlendirmesi
DC	: Doğru akım
DSA	: Boyutsal kararlılığı olan anot
e ⁻	: Elektron
F	: Faraday sabiti
Fe(OH) ₂	: DemirII hidroksit
Fe(OH) ₃	: DemirIII hidroksit
g	: Gram
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
H ₂ SO ₄	: Sülfirik asit
I	: Akım
IOOC	: Uluslararası Zeytinyağı Konseyi
i	: Akım Yoğunluğu
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
kW	: kilowat
kWh(kgKOİ) ⁻¹	: 1 kg KOİ başına kilowat saat
L	: Atıksu akış hızı
mg	: Miligram
nm	: Nanometre
NaCl	: Sodyum klorür
NF	: Nanofiltrasyon
NaOH	: Sodyum hidroksit
Q	: Elektrik yükü
PbO ₂	: Kurşun dioksit
Pt	: Platin
RO	: Ters osmoz
R	: Organik madde
RuO ₂	: Rutenyum oksit
SITC	: Standart Uluslararası Ticaret Sınıflandırması
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
T	: Sıcaklık
Ti	: Titanyum
TKM	: Toplam katı madde
TN	: Toplam azot
TP	: Toplam fosfor
TUKM	: Toplam uçucu askıda katı madde
UF	: Ultrafiltrasyon
UAKM	: Uçucu askıda katı madde
V	: Gerilim
V _{çözelti}	: Çözelti hacmi

1. GİRİŞ

1.1. Ürün Tanımı

Zeytin, zeytingiller ailesinden 35 türü bulunan bitki cinsidir. Zeytinin ana yurdu Anadolu'dur. Yayılma alanı ise Türkiye, Yunanistan, İtalya, Kuzey Afrika, Portekiz, İspanya ve güney Fransa'dır. Zeytin ağacı genellikle eğimli, kireçli ve zayıf topraklarda ve sulanmayan yerlerde yetiştiği için, ülkemiz büyük bir zeytin üretim potansiyeline sahiptir.

Zeytin meyvesi üç ayrı kısımdan oluşmaktadır: 1. Etlı kısım 2. Çekirdeğin sert kısmı 3. Çekirdeğin yumuşak kısmı. Bu kısımlar zeytin ağırlığının sırasıyla; % 75-85, % 13-23 ve % 2-3'ünü meydana getirmektedir. Zeytin kısımlarının kimyasal içeriği Çizelge 1.1'de verilmektedir.

Çizelge 1.1 Zeytin yapısı (Değerler ağırlık yüzdesi olarak verilmiştir) [1].

İçerik	Etlı Kısım	Çekirdek (Sert Kısım)	Çekirdek (Yumuşak Kısım)
Su	50-60	9,3	30
Yağ	15-30	0,7	27,3
Azot	2-5	3,4	10,2
Şeker	3-7,5	41	26,6
Selüloz	3-6	38	1,9
Mineraller	1-2	4,1	1,5
Aromatik maddeler	2-2,25	0,1	0,5-1
Diğer	-	3,4	2,4

Zeytinyağı, zeytin ağacı (*Olea europea L.*)'nin olgun meyvelerinden sadece fiziksel yöntemlerle elde edilen ve yağın bozulmasına neden olmayacak koşullarda, özellikle ısıya maruz kalmayacak şekilde yıkama, presleme, santrifüjleme ve süzme dışında hiçbir işlem görmemiş olan yağdır. Zeytinyağının tarife numarası armonize sisteme göre 15.09; SITC dağılımına göre ise 421.41 ve 421.42'dir [2]. Zeytin ve zeytinyağı ile ilgili bilgiler Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2 Zeytinyağı ile ilgili bilgiler [3].

Bir zeytinin ağırlığı	1-4 gram arası, 5 gramdan büyük olanlar iri olarak kabul edilir.
Zeytin ağacı verimliliği	1 ağaç 800 kg kadar zeytin verebilir.
Ağaç boyutu	3-18 metre yüksekliğinde olabilir.
Zeytinyağı ağırlığı	Zeytinin ağırlıkça % 10-35'i
Zeytin çekirdeğinin zeytin çapına oranı	1/5, 1/9 arasında değişir. Oran küçüldükçe zeytinin değeri artar.
Zeytinyağı verimliliği	5 kg zeytinden 1 kg zeytinyağı üretilebilir.
Ağaç verimi	Zeytin ağacı dikildikten sonra 5-6. yılda, birer yıllık aralıklarla ürün verir. 15 yıldan sonra verimlilik düşer.
1 dekar alanda ağaç sayısı	Ortalama 8-15 adet/dekar, Ayvalık'da 8 adet/dekar, İspanya'da 40 adet/dekar

Zeytinyağı, ham maddenin yapısı ve kalitesi ile işleme tekniği sonrası elde edilen ürünün oleik asit içeriğine bağlı olarak farklı gruplara ayrılır. Uluslararası Zeytinyağı Konseyi (IOOC) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'nin tanımlamalarına göre 3 tip zeytinyağı bulunmaktadır [4].

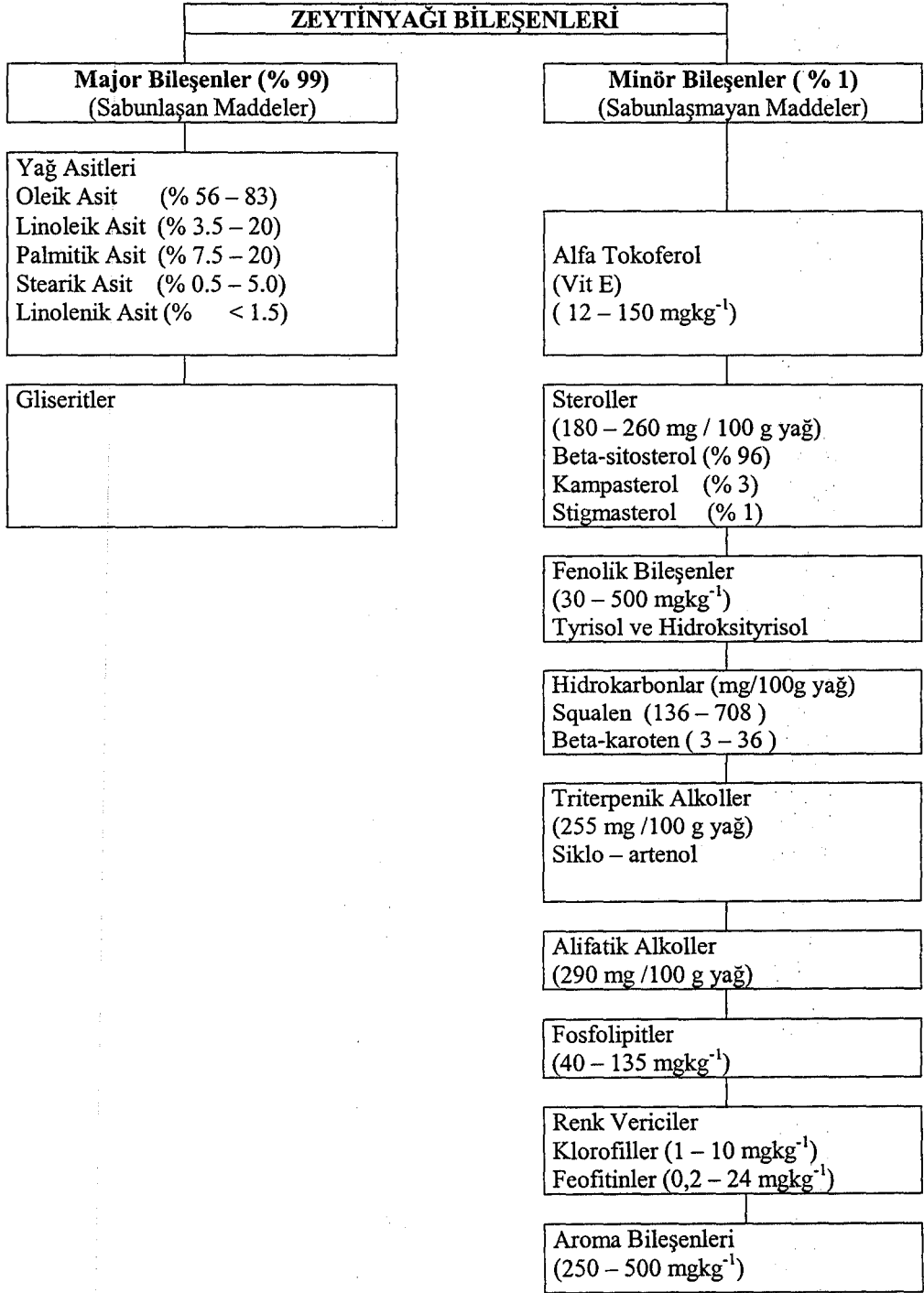
Natürel zeytinyağı (Virgin olive oil): Süper kalite için gerekli tüm koşulları içermesinden dolayı en yüksek biyolojik değere sahiptir. Tadı, hafiften keskin aromaya kadar değişmekte olup, oleik asit cinsinden serbest asitlik derecesi yüzde 3,3'ten az olduğunda tüketim için uygun kabul edilmektedir.

Rafine zeytinyağı (Refined olive oil): Oleik asit cinsinden serbest asitlik derecesi yüzde 0-0,3 arasında değişen ve aroması olmayan bir zeytinyağıdır. Rafine zeytinyağı elde edebilmek için yağlar, asiditenin giderilmesi (nötralizasyon), renginin açılması (ağartma) ve kokusunun giderilmesi (deodorizasyon) olarak bilinen üç değişik aşama ve türde işleme tabi tutulur.

Riviera zeytinyağı (Pure olive oil): Rafine ve natürel zeytinyağlarının belli oranlarda (% 10-20 natürel, % 80-90 rafine) karışımından elde edilir. Kullanılan yağların türü ve karışım oranlarına bağlı olarak bu yağların asitlik dereceleri, renkleri ve organoleptik özellikleri yani tat ve aromaları farklılık göstermektedir.

Zeytinyağı, içerdiği kimyasal maddeler açısından, major ve minör bileşenler olarak ikiye ayrılmaktadır (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3 Zeytinyağı bileşenleri [5].



1.2. Zeytin ve Zeytinyağı Üretim Tarihi

Zeytin ağacının insanlık tarihindeki yeri, bundan 39.000 yıl öncesine uzanmaktadır. Ege Denizi'ndeki Santorini Adası'nda yapılan arkeolojik çalışmalarda, 39 bin yıllık zeytin yaprağı fosilleri ortaya çıkarılmıştır. Söylenceler ve efsaneler bir yana, zeytin ağacının anavatanının neresi olduğuna dair bilim dünyası kesin bir şey söylememekle birlikte, bu konuda çeşitli varsayımlar vardır. İnsanoğlunun zeytinyağını ne zaman beslenmede kullanmaya başladığına ilişkin de somut veriler yoktur [6].

İzmir ilinin Urla İlçesinde bulunan antik Klazomenai kentinde yapılan arkeolojik çalışmalarda, 2500 yıllık tarih gün ışığına çıkarılmıştır. İyonlar'ın M.Ö. 10'uncu yüzyılda kurdukları antik kent Klazomenai'de, E.Ü. Edebiyat Fakültesi Arkeoloji Bölümü tarafından yürütülen çalışmalarda elde edilen bulgular; Klazomenai'de, M.Ö. 6'ncı yüzyılın ilk yarısında kurulan bir zeytinyağı işletmesinde, zeytinyağının o dönemde hiçbir çalışmada uygulanmayan çok ileri bir teknolojiyle üretildiğini göstermiştir. Klazomenaili'ler, zeytinyağı ayrıştırma işleminde birleşik kaplar esasına göre çalışan üç gözlü bir düzenek geliştirerek, kesintisiz üretimi ilk kez gerçekleştirmişlerdir. Toplanmış zeytinleri kırmak için aynı mil etrafında dönen taş silindirleri ilk kez onlar kullanmış, zeytinyağı üretiminde kapasiteyi artırmak için ilk kez büyük bir pres ve bu presi kaldırmaya yarayan aleti de kullanmışlardır[6].

1.3. Dünyada Zeytin ve Zeytinyağı Üretimi ve Tüketimi

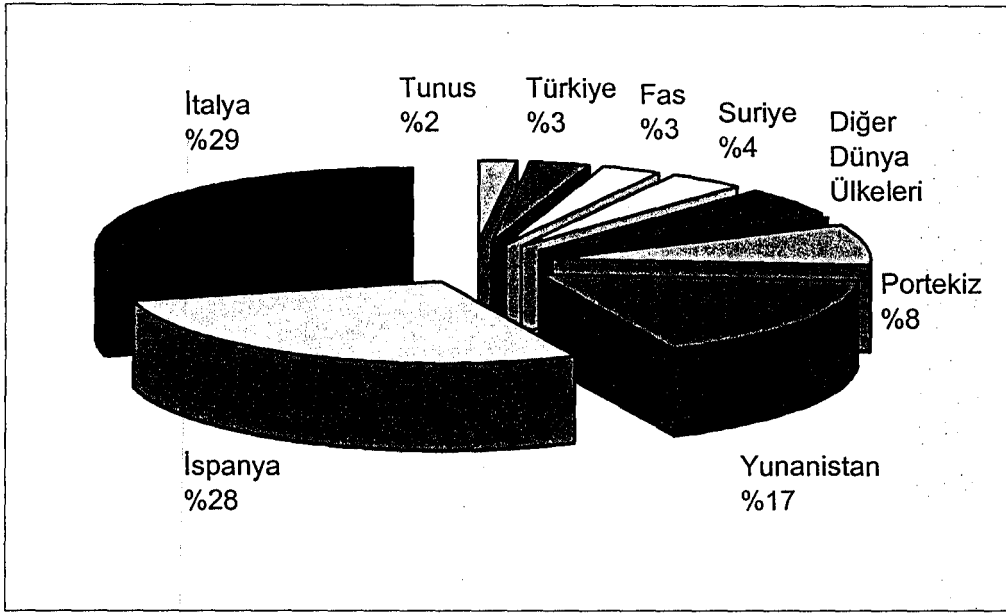
Dünyada zeytin alanları 30-40 derece enlemler arasında yayılım göstermekte ve toplam 35 ülkede tarımı yapılmaktadır (Çizelge 1.4). Ağaç varlığının % 98'i Akdeniz'e kıyı olan ülkelerde yer almakta ve yaklaşık 13 milyon ton olan dünya dane üretiminin büyük bir miktarı yine Akdeniz'e kıyı olan ülkelerde gerçekleştirilmektedir. Dünya dane zeytin üretiminde İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye ve Tunus ilk beş ülke olarak yer alırken, zeytinyağı üretiminde bu sıralamada Türkiye, Tunus ile sırasını değiştirmektedir. Dünya zeytinciliğindeki büyük üretici ülkeler AB çatısı altındadır. Avrupa Birliği

ülkelerinden sonra diğer zeytinci Akdeniz Ülkeleri arasında Türkiye, Tunus, Fas, Cezayir, Libya, Mısır, Ürdün, Suriye; Amerika kıtasında ise ABD ve Arjantin'de zeytin ağacı mevcuttur. AB'de ortak tarım politikası çerçevesinde 1966 yılından bu yana uygulanan zeytinyağı piyasa organizasyonu, İtalya ile başlayan oluşumuna 1981 yılında Yunanistan, 1986 yılında İspanya ve Portekiz'in tam üyeliğe geçmesi ile daha da güçlenmiş ve kendi kendine yeterli duruma gelmiştir [7].

Çizelge 1.4 Dünyada zeytincilik yapılan alanlar [3]

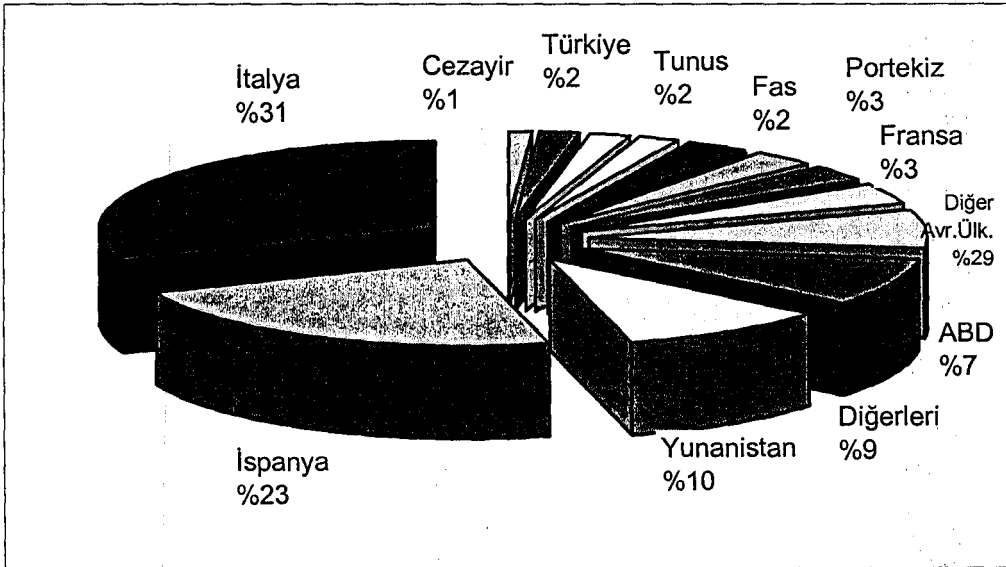
Ülke	Hektar	Ülke	Hektar
Cezayir	195530	İran	5355
Angola	400	İsrail	17300
Mısır	25200	Ürdün	16360
Libya	100000	Lübnan	32000
Fas	412000	Suriye	405000
Tunus	1538000	Türkiye	877000
Kuzey Afrika	1354	Filistin	95000
Arjantin	28670	Arnavutluk	45000
Brezilya	840	İspanya	2127000
Şili	2955	Fransa	20000
ABD	12150	Yunanistan	690000
Meksika	6000	İtalya	1141350
Peru	5605	Malta	200
Uruguay	890	Portekiz	316000
Çin	19230	Yugoslavya	29960
Kıbrıs	7500	Avustralya	2000
İrak	10000	Akdeniz Bölgesi	7955340
TOPLAM : 8187300 Hektar			

Zeytinyağı üretici ülkelerin 1999 yılı verilerine bakıldığında İspanya, İtalya ve Yunanistan'ın zeytinyağı üretiminde ilk sıraları aldığı görülmektedir (Şekil 1.1).



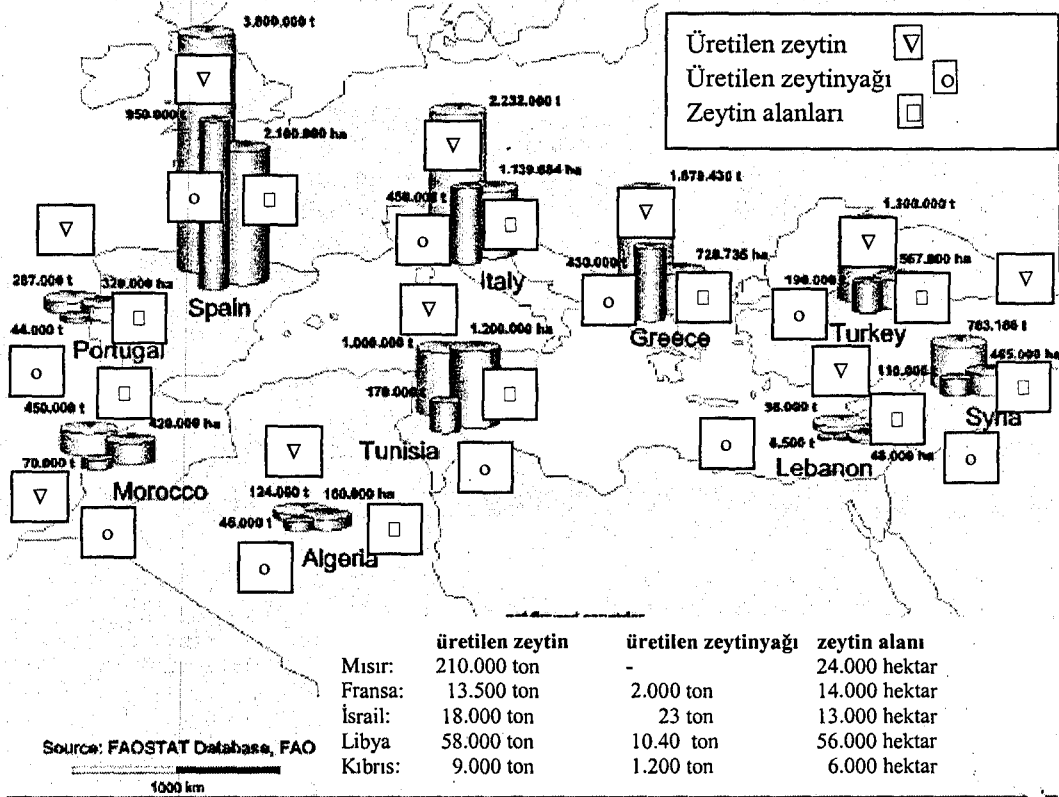
Şekil 1.1 Zeytinyağı üretici ülkeler [3]

Zeytinyağı tüketici ülkelerin 1999-2000 yılları ortalama verilerine göre İtalya, İspanya ve Yunanistan zeytinyağı tüketiminde önemli bir pay almaktadır (Şekil 1.2). Dünya zeytinyağı üretiminin % 70'i Avrupa Birliği Ülkeleri tarafından tüketilmektedir.



Şekil 1.2 Zeytinyağı tüketici ülkeler [3]

AB ülkeleri dünya zeytinyağı ekonomisinin yaklaşık % 60'ına sahiptir. Çünkü büyük üretici, tüketici, ithalatçı ve ihracatçı ülkeler içerisinde İspanya, İtalya ve Yunanistan önemli bir yere sahiptir. Bu ülkelerin en büyük özelliği ise AB'nin koruma politikalarından yararlanarak zeytinyağı sektörlerini güçlendirmiş olmalarıdır. Şekil 1.3'de 1998 yılı için Akdeniz ülkelerindeki zeytin ve zeytinyağı üretimi görülmektedir.



Şekil 1.3 1998 yılı süresince Akdeniz ülkelerinde zeytin ve zeytinyağı üretimi [8]

Son yıllarda dünya zeytinyağı üretimindeki artış ile birlikte talep de olumlu yönde gelişerek dünya tüketimde artış görülmektedir. Dünya zeytinyağı tüketimde % 71'lik pay ile yine AB önemli bir konumdadır. AB iç tüketiminde ilk sırada İtalya olup onu İspanya, Yunanistan ve Fransa izlemektedir. Geleneksel üretici ve tüketicilerin dışında son yıllarda Uluslararası Zeytinyağı Konseyinin yoğun tanıtım kampanyalarının etkisiyle ABD, Japonya, Kanada, Avustralya, Arjantin ve Brezilya'da tüketimin arttığı görülmektedir. Gelişmekte olan

ülkelerde nüfus ve alım gücünün yükselmesiyle dünya zeytinyağı tüketiminin artması beklenmektedir (Çizelge 1.5).

Çizelge 1.5 Dünya zeytinyağı üretim, ihracat, tüketim ve ithalatı (1000 ton) (1990/91 – 2001/02 Ort.) [7].

	ÜRETİM	İHRACAT	TÜKETİM	İTHALAT
DÜNYA	2143,0	390,7	2158,3	411,4
İSPANYA	690,0	68,0	465,0	32,3
İTALYA	504,6	123,0	673,5	89,6
YUNANİSTAN	339,0	8,4	230,0	0,0
AB	1232,7	202,2	1548,3	128,3
TUNUS	150,0	110,0	53,5	0,0
TÜRKİYE	99,0	36,4	62,2	0,0
SURİYE	92,0	5,1	69,2	0,0
FAS	52,0	7,1	45,5	1,4

Zeytin üretiminin Akdeniz Havzasında yer alan ülkelerde ekonomik olarak yapılıyor olması, ticaretinde de sınırlı sayıda ülkenin söz sahibi olmasına neden olmuştur. AB, dünya zeytinyağı ihracatının % 52'sini ithalatının ise % 31'ini oluşturmaktadır. AB'den sonra dünya ihracatında sırayı % 28 ile Tunus % 9 ile Türkiye alırken, ithalatta ise ABD, Brezilya, Avustralya, Kanada ve Japonya önemli ülkeler olarak sıralanmaktadır [7].

Son yıllarda dünyada giderek artan sağlık bilinci ve doğal yollarla üretilmiş gıdalara talebin artması, zeytinyağı tüketiminde kaliteye yönelinmesini ve zeytinyağının kaliteli üretilmesini teşvik etmektedir. Böylece ülkeler gelecekteki mevcut pazar paylarını korumak ve pazarlara girebilmek için kaliteli üretim yapmaya gayret göstermektedir.

1.4. Türkiye' de Zeytin ve Zeytinyağı Üretimi ve Tüketimi

Türkiye koşullarında Ekim- Kasım aylarında olgunlaşmaya başlayan her yılın zeytin toplama mevsimini takiben zeytinyağı işleme sezonu başlar ve Mart-Nisan aylarına kadar devam eder. Önemli bir zeytinyağı ihracatçısı olan Türkiye,

ihracat dönemlerine göre, dalgalı bir seyir izlemekle birlikte, yıllık 20.000 ton kapasite ile, dünya ihracatçı ülkeler arasında 5. sırayı almaktadır [9].

Türkiye’de Ege, Marmara, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde zeytin ağacı yetiştirilmektedir. 2001 yılı verilerine göre, ülkemizde 98 milyon ağaç bulunmakta, bunların % 91’i meyve veren ağaçlardan oluşmaktadır. Bu ağaçların % 75’i Ege, % 9,3’ü Marmara, % 14’ü Akdeniz, % 1,7’si Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde bulunmaktadır (Çizelge 1.6).

Çizelge 1.6 Türkiye’ de zeytin ağaç sayısı, zeytin ve zeytinyağı üretimi (1989/90 – 2000/01) [7]

Yıllar	Meyve veren ağaç sayısı (Bin adet)	Meyve vermeyen ağaç sayısı (Bin adet)	Zeytin üretimi (Ton)	Yemekliğe ayrılan (Ton)	Yağlığa ayrılan (Ton)	Zeytinyağı üretimi (Ton)
1989-90	79460	6250	500000	162000	338000	35000
1990-91	79600	5960	1100000	337000	763000	80000
1991-92	81520	6185	640000	181000	459000	60000
1992-93	81260	5828	750000	231000	519000	56000
1993-94	81703	5460	550000	200000	350000	48000
1994-95	82192	5955	1400000	350000	1050000	160000
1995-96	81437	6144	515000	206000	309000	40000
1996-97	83200	6640	1800000	435000	1365000	200000
1997-98	85700	10000	510000	200000	310000	40000
1998-99	85850	7600	1650000	430000	1220000	170000
1999-00	87130	8370	60000	240000	360000	70000
2000-01	89200	5570	1800000	490000	1310000	190000

Ortalama 99 bin ton zeytinyağı üretimi ile dünya üretiminin % 4,6’sını, 36400 ton ihracatla dünya ihracatının % 10’unu karşılayan Türkiye, % 2,8 tüketim oranı ile dünya tüketiminde üretici ülkeler arasında en son sıralarda yer almaktadır. Bu durum kişi başına düşen tüketimde de göze çarpmaktadır. Kişi başına tüketim, zeytin üreticisi ülkelerden Yunanistan’da 21, İspanya’da 12, İtalya ve Tunus’ta 9 kg iken Türkiye’de yıllık 0,9 kg tüketilmektedir. Bunun nedenleri arasında diğer bitkisel yağlara göre zeytinyağında fiyat yüksekliği ve özellikle

zeytin üretimi yapılan bölgeler dışındaki halkın bu yağı tüketme alışkanlığının olmaması gelmektedir [7].

Zeytinyağı, çiğ olarak yenilebilen bir yağdır ve herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğal olarak tüketilmeye elverişli olarak elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle zeytinyağı sanayi, kaliteli zeytinyağı üretiminde büyük rol oynamaktadır. Türkiye’ de 1984 yılından sonra zeytinyağı sanayi modern sürekli santrifüj sistemlerinin ilavesiyle kendini % 75 oranında yenilemiştir. Sanayinin ülkemizde büyük oranda yenilenmiş olması üretilen zeytinyağının miktar ve niteliğine olumlu etkide bulunmuştur. Uluslararası Zeytinyağı Konseyi’nce tespit edilen zeytinyağı kampanyası, hasadın başladığı 1 Kasım tarihinde başlamakta ve bir yıl sonra 31 Ekim tarihinde tamamlanmaktadır. Ülkemiz de bu kampanya tarihlerine uyum göstermektedir [7].

1.5. Ülkemizde Zeytinyağı Üretiminde Karşılaşılan Sorunlar

Zeytinyağı üretiminde yetiştiricilikten işlemeye ve pazarlamaya kadar karşılaşılan çok büyük sorunlar vardır.

1.5.1. Yetiştirme aşamasındaki sorunlar

Mevcut ağaçlarımızın büyük çoğunluğunun meyilli alanlarda olmasının ve buna bağlı olarak yetiştiricilikte karşılaşılan sorunların yani, kültürel işlemlerdeki (toprak işleme, gübreleme, sulama ve mücadele) eksikliklerin zeytinyağı verimi ve kalitesine etkisi çok önemlidir.

Özellikle üretim maliyetinde büyük bir orana sahip olan zeytin hasadında kullanılan geleneksel yöntemlerde dal, sürgün, yaprak ve tomurcukların zarar görmesine yol açan sııkların kullanılması sonucu meydana gelen zararlar üreticiye ve ülke ekonomisine oldukça yüksek maliyet getirmektedir.

Hasat sırasında ülkemizde yapılan en büyük hatalardan bir diğeri de, hasadın ve işletmeye taşıma işlerinin kasalar yerine çuvallarda yapılıyor olmasıdır. Çuvallar içerisinde bulunan, hasat sırasında zedelenmiş ve berelenmiş zeytinlerin yanı sıra, altta kalan meyvelerin ezilmeleri nedeniyle bozulmalar

olmaktadır. Yağlar doku dışına çıkararak bakteri ve mantarların kolaylıkla faaliyet göstermesine yol açmakta, yağ işleme tesislerine mevcut kapasitesi üzerinde, çuvallar içerisinde getirilen üründe, kısa sürede işlenemediğinde çevre şartlarının (özellikle güneş, yağmur veya kırağı) da etkisiyle bekleme süresince çürüme ve bozulmalar artmaktadır [4].

1.5.2. İşleme ve pazarlama aşamalarındaki sorunlar

Zeytin, hasattan işlemeye kadar olan aşamalarda çok farklı ellerden geçer. Bunlar bahçe sahibi, tüccar ve zeytinyağı fabrikası sahipleridir. Tüccar veya bahçe sahibi tarafından yapılan hasadın ardından ürün ya doğrudan doğruya zeytinyağı fabrikasına satılır ya da daha sonra satılmak üzere zeytinyağı fabrikasında zeytinyağına işletilir. Ülkemizde, kanunlara göre ambalajlanmamış zeytinyağı satışı yasak olmasına rağmen, işlenmiş zeytinyağının aynı fabrikada ambalajlanması her zaman mümkün olmadığından, zeytinyağının ambalajlanmamış (dökme zeytinyağı) olarak değerlendirilmesi zorunlu olmaktadır.

Üreticiden tüketiciye kadar olan safhada arada çok fazla aracının olması nedeniyle, tüketicinin birim zeytinyağına ödediği fiyatın ancak üçte veya dörtte biri zeytin üreticisinin eline geçmektedir. Oysa zeytinyağı maliyetinin % 82'lik gibi büyük bir kısmı, kültürel işlemler ve hasadı içeren üretim safhasını kapsamaktadır. Geri kalan kısım ise taşıma, yağ işleme ve ambalajlamayı içermektedir.

Zeytinyağı işleme tesislerimizin ilkel teknoloji, altyapı eksikliği ve sayıca yetersiz olmasının yanı sıra, işletmecilerin eğitimsizliklerinden kaynaklanan bir çok hata da yağın verim ve kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. İşleme tesislerinin sayısı, özellikle var yılında yetersizken, yok yılında ancak yeterli olabilmektedir. Bunun yanı sıra işletme sadece zeytinyağı işliyorsa yılda sadece 2-3 ay çalışıyor, 9-10 ay ise atıl durumda kalıyor demektir.

Diğer yandan, geleneksel sistemde kullanılan değirmenlerin kapasitelerinin üstünde zeytin konması sonucunda zeytinler tam olarak parçalanmadan prese girmektedir. Oysa değirmenden çıkan zeytin hamurunun

macun kıvamında olması gerekir. Yine geleneksel sistemde kullanılan preslerde, zeytinyağının hücre sitoplazmasından dışarı çıkabilmesi için macun halindeki zeytin hamuruna uygulanan suyun sıcaklığının 50 °C'nin üstünde olmaması gerekmektedir. Yüksek sıcaklık zeytinyağında oksidasyona neden olmaktadır.

Presleme sonrası elde edilen yağ + suyun santrifüj edilmek yerine yoğunluk farkından faydalanmak suretiyle, geleneksel sistemin bir parçası olan havuzlar kullanılarak ayrılması yoluna gidilmektedir. Ancak havuzlarda faz ayrımı için geçen sürede hava ile yağın teması sonucu meydana gelen oksidasyon kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir.

Önemli olan bir diğer nokta ise yağların üretimden sonra satış veya ambalajlanmaya kadar olan süre için muhafazasıdır. Bu süre piyasa fiyatlarının dalgalanmasına bağlı olarak uzayabilir. Eğer depolama şartları uygun değilse, zeytinyağının asitlik ve duyusal özellikleri olumsuz etkilenecek, kalite düşecektir. Ayrıca depolama, elde edilen yağların kalitesine bağlı olarak sınıflandırılarak yapılmalıdır. Yağların depolanması sırasında dikkat edilmesi gereken bir çok faktör vardır; saklanan yerin sıcaklığı, ışığın varlığı, madeni kapların demir veya bakır içerip içermediği ve nem oranı. Uygun olmayan şartlarda depolamada oksidasyon yağ asitlerindeki çift bağlarda başlar. Oksijen çeken yağda peroksit oluşur. Peroksit ise diğer yağ asitlerini parçalar. Sonuçta yağda acılaşıma (ransidite) olur ve yağın tadı ağırlaşır. Nem ise aslında zeytinyağının yağ asitleri ve gliserole hidrolizinde etkili olmakla birlikte acılaşmayı da çabuklaştırır. Bu nedenle en uygun depolama koşulu büyük miktarlar için paslanmaz çelik tanklar, küçük miktarlar için de koyu renkli cam kaplardır.

Türkiye için zeytinyağının dış pazarı artık neredeyse tamamen yok olmuştur. Günümüzde dünyada en büyük zeytinyağı ithalatçıları Avrupa Birliği (% 34) ve A.B.D. (% 32)'dir. Oysa bu pazarlar en büyük üretici ülkelerden İtalya, İspanya ve Yunanistan'ın elindedir. Özellikle İtalya şişelenmiş ürün bazında marka olarak dünya piyasasında yerini çoktan almıştır.

Ülkemiz ancak 1967 yılında ilk ihracatını yaparak, üretici olduğu halde ihracat yapan ülkeler arasına girmiştir. Ancak mevcut ihracatın çok büyük bir kısmı çoğunlukla ihracatçı diğer ülkelere ve ambalajsız (dökme) olarak yapılmaktadır [4].

2. ZEYTİNYAĞI ÜRETİMİ VE ZEYTİNYAĞI ENDÜSTRİSİ ATIKSUYU

2.1. Zeytinyağı Üretimi

Zeytinyağı üretimi yedi aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

- Dağıtım,
- Zeytinlerin yıkanması,
- Ezme,
- Zeytin hamurunun dövülmesi ve karıştırılması,
- Yağ ayırma,
- Yağın saflaştırılması,
- Kalıntı yağın ayırımıdır

Dağıtım: Sepetlerle toplanan zeytinler daha sonra silolara gönderilir. Buradan da ilk aşaması için işletmeye gönderilir [10].

Zeytinlerin yıkanması: İşletmeye gelen zeytinlerden ilk olarak, yaprak, ağaç parçaları ve diğer istenmeyen katılar gibi yabancı maddeler uzaklaştırılır ve yıkama tesislerinde zeytinler yıkanır. Bazı işletmelerde askıda katıların çöktürülmesi ve filtrasyon işlemlerinden geçirilen yıkama suları işletmeye geri döndürülür. İşletmelerde bazen zeytinler temizleme işlemine tabi tutulmadan işlenir. Zeytinlerin yıkanması için 1000 kg zeytin başına 150-200 L su gerekir. Yıkama işleminden sonra zeytinler silolara alınır ve pompa yardımıyla öğütme sürecine gönderilir [10].

Ezme: Zeytinler, çekirdekleri ile beraber öğütülürler ve homojen bir karışım haline getirilirler. Bu karışım, yatay olarak uzanan granit bir blok ve ona dik olarak duran granit değirmen taşından oluşan taş değirmende hazırlanır. Metal ve çekiç değirmenler de bu amaçla kullanılmaktadır. Eğer donmuş ya da çok kuru zeytinler işlenecekse bir miktar su ilave edilir (100-150L su/1000kg zeytin) [10].

Zeytin hamurunun dövülmesi ve karıştırılması: Zeytin hamuru aşağı akışlı ezicinin içinde ılık su ilavesinden sonra karıştırılır. Zeytin hücrelerinin daha iyi kırılması ve büyük yağ damlaları oluşturması için dövülür. Bu amaçla, zeytin içinde bulunan hücreler arasındaki osmotik basıncı kırmak için karışıma tuz ilave

edilir. Bu işlem bir çok defa tekrarlanır. Santrifüjle ayırma sürecinin verimini arttırmak için posa ısıtılır [10].

Dövme işleminden sonra hamur daha iyi öğütülür. Hamur, dik merkezli helezon pompa ile, iki ya da üç fazlı dekantöre iletilme işleminden önce ezicide %100'e kadar su eklenir [10].

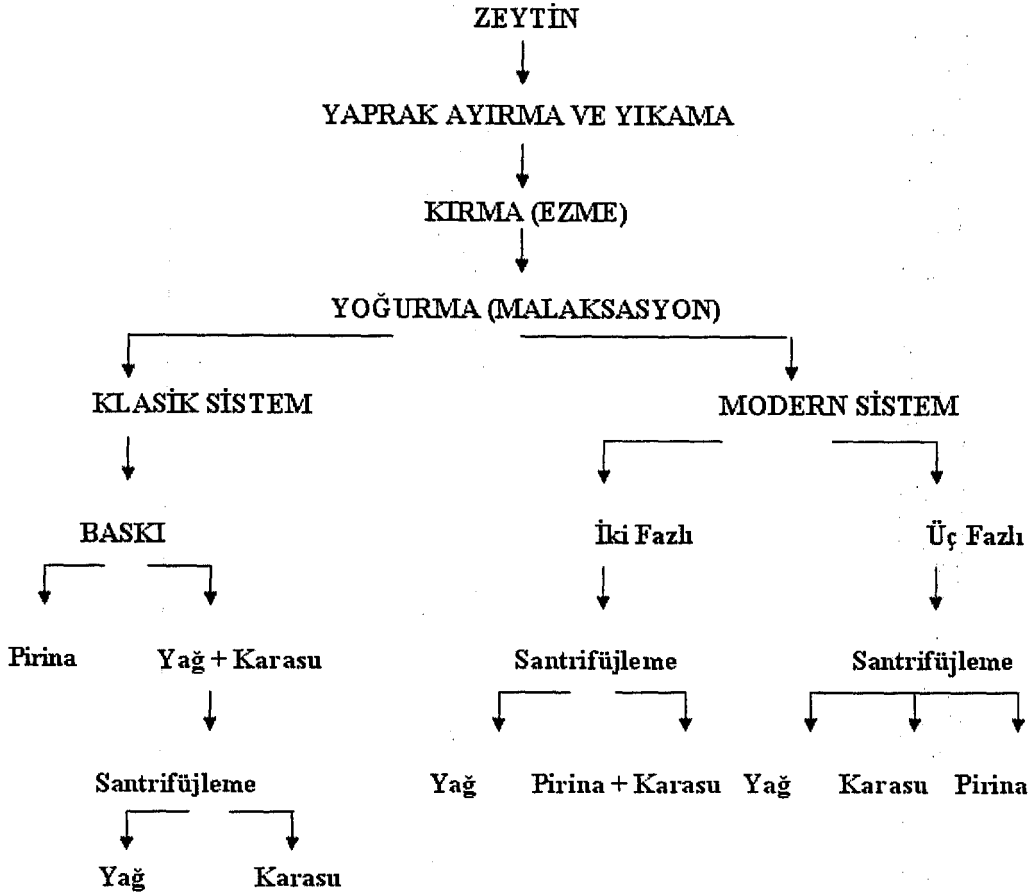
Yağ ayırımı: Zeytin yağı, kesikli süreçte geleneksel sıkma yöntemi kullanılarak küçük yağ değirmenlerinde ayrılır. Ayrılan yağ tanklarda toplanır ve sedimentasyonla süzülür. Bir ton işlenmiş zeytinden yaklaşık olarak ortalama 200 kg yağ çıkar. Yağı ve posayı ayırma işleminin verimini arttırmak için hücre duvarlarına etki edecek olan biyolojik ve kimyasal maddeler eklenebilir. Geleneksel sıkma yönteminde, zeytinyağı ayırma süreci için enerji ihtiyacı, işlenmiş ton başına 40-63 kWsaat, üç fazlı dekantörlerde ise 90-117 kWsaat'tir. [10].

Yağın saflaştırılması: Yağda, az da olsa bulunabilecek olan katı maddeler titreşimli elekte elenir. Atıksu ile yağdaki askıda katı maddelerin ayrılabilmesi için santrifüjlenen 1000 kg yağ başına 100-150 litre su saflaştırma birimine eklenir [10].

Kalıntı yağın ayrılması: Üç fazlı dekantörden gelen yüksek kirlilik içeren atıksu, kalıntı yağın ayrıldığı titreşimli elek ve santrifüjle artırılır. İki defa santrifüjlenen yağ tanklara alınır ve helezonlu pompa ile yüzeysel ya da yer altı tanklarına pompalanır. Yağın sıkılarak ayrılması sonucu oluşan katı atık % 6 oranında yağ içerirken, sürekli üç fazlı dekantör ile ayırma sonucu oluşan katı atık % 4 oranında zeytinyağı içerir. İki fazlı dekantasyon işlemi sonucu oluşan katı-sıvı karışımının yağ içeriği ise % 2,5-3,5 arasında değişmektedir. Bazı özel tesislerde bu amaç için çözücü ile ayırma süreci kullanılmaktadır. İlk önce atık tamamen kurutulur ve sonra çözücü olarak hekzan kullanılarak ayırma işlemi gerçekleştirilir. Kuru kalıntılar yem olarak kullanılabilir. Bazı ayırma tesislerinde, ayırmadan sonra çekirdekler posadan ayrılır ve kurutularak ısıtmada kullanılır. Posa ise gübre ya da yem olarak satılır. Bazı yağ değirmenlerinde sıkma işleminden sonra çıkan katı atıklar doğrudan yakıt olarak kullanılır [10].

Zeytinyağı üretiminde kullanılan iki ana süreç vardır. Bunlardan birincisi kesikli üretim süreci (Pres Sistemleri), ikincisi ise 2 faz ve 3 fazlı olmak üzere

ikiye ayrılan sürekli üretim süreçleridir (Santrifüj Sistemleri). Zeytinyağı üretimi akım şeması Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Zeytinyağı üretimi akım şeması [5]

2.1.1. Pres Üretim Süreci

Presleme yönteminde zeytinler, proses suyu ilavesi sonrasında yıkanmakta, ezilmekte ve yoğrulmaktadır. Elde edilen hamur daha sonra preslenerek yağ ve suya ayrılmaktadır. Son olarak, düşey santrifüj veya dekantörle yağ ve su kısmı ayrılmaktadır.

Pres sürecinde oluşan atıksuyun BOİ₅ derişimi 90-100 gL⁻¹, KOİ derişimi 120-130 gL⁻¹, pH değeri 4,5-5,0 arasında değişmektedir. Zeytinyağı üretimi yapan çoğu ülkede bu atıksular yaz aylarında yapay sızdırma tanklarında depolanmakta, böylece buharlaşması veya sızdırılması sağlanmaktadır. Sonuçta oluşan katı kısmın nem içeriği % 25, yağ içeriği % 6 civarındadır. Bu kısım sıcak hava

tanklarında veya açık tanklarda kurutulmaktadır. Katı kısımda bulunan yağ, hekzan ile serbest hale getirilmektedir [11].

2.1.2. Sürekli Üretim Süreci

Sürekli yöntemde presin yerini santrifüj (dekantör) almaktadır. Üretim sırasında kullanılan dekantöre bağlı olarak iki süreç tanımlanabilir.

3-Faz Üretim Sistemi: Bu üretim sisteminde proses suyu kullanılmaktadır. Proses sonrasında yağ, atıksu ve katı kısım olmak üzere üç faz oluşmaktadır. Bu süreçte önemli miktarlarda proses suyu eklenmektedir. Bu sebeple, büyük hacimlerde (pres sürecinden üç kat fazla) atıksu oluşmaktadır. Oluşan atıksuyun kirlilik yükleri ise; $BOI_5=35-48 \text{ gL}^{-1}$, $KOI=45-60 \text{ gL}^{-1}$, $pH= 4,7- 5,2$ 'dir [11].

3- Fazlı Sistemin Dezavantajları

- Fazla su tüketimi (70- 80 L/100 kg zeytin)
- Yüksek miktarlarda karasu oluşmasıdır.

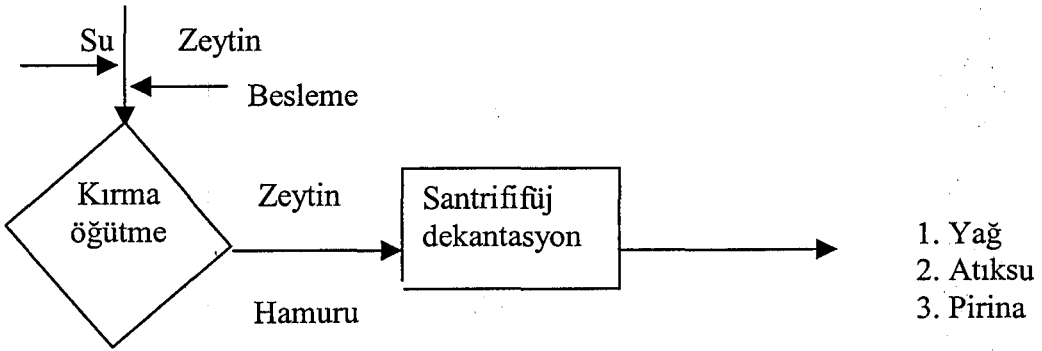
2- Faz Üretim Sistemi: Bu sistemde üretim boyunca proses suyu eklenmez. Süreç sonrasında yağ ve pirina olmak üzere iki faz oluşur. Bu sistem ekolojik olarak oldukça caziptir, çünkü sıvı faz oluşmamaktadır. Karasuyun büyük bir bölümü prina ile birlikte açığa çıkmaktadır. Oluşan katı faz % 50-60 su, % 2-3 yağ içermektedir [12].

2- Fazlı Sistemin Avantajları

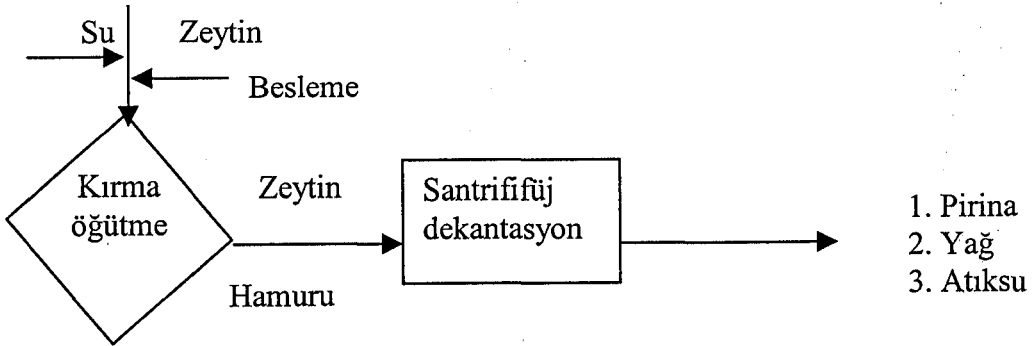
- Dekantöre su ilavesi yoktur.
- Yatırım masrafları daha azdır.
- Enerji gereksinimi azdır.
- Üretim sonucu karasu oluşmamaktadır.

3- faz sisteminde çıkan pirinanın % 3-4 yağ içermesi ve % 60-65 nemli olmasından kaynaklanan taşıma güçlükleri nedeniyle 2-faz dekantör sisteminin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. 2-faz dekantör sisteminden çıkan pirina içinde % 2,5-3,0 civarında kalan yağ ise hekzan ekstrasyonu ile alınmaktadır.

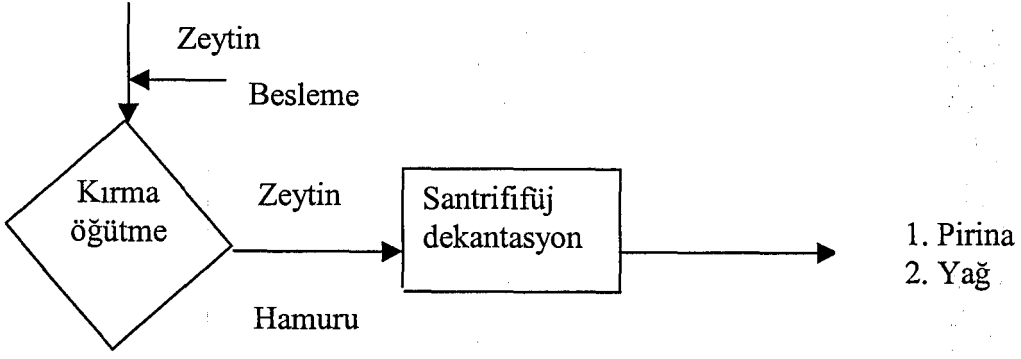
Zeytinyağı üretimde kullanılan pres ve sürekli üretim süreçlerinin akım şemaları Şekil 2.2-4'te verilmiştir.



Şekil 2.2 Zeytinyağı pres üretim sürecinin genel şematik görünümü [12]



Şekil 2.3 Zeytinyağı 3 faz üretim sürecinin genel şematik görünümü [12]



Şekil 2.4 Zeytinyağı 2 faz üretim sürecinin genel şematik görünümü [12]

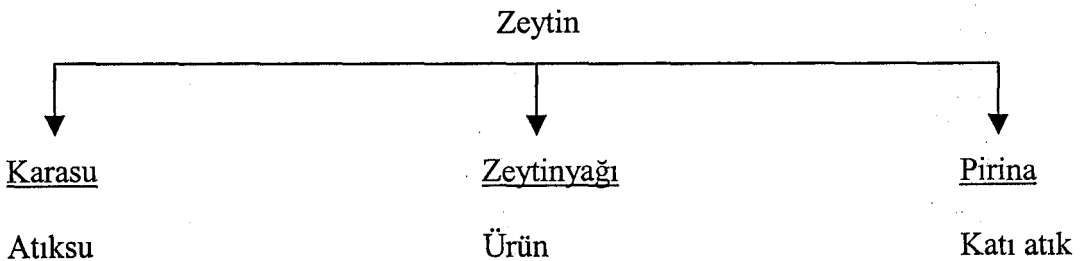
Çizelge 2.1'de klasik ve sürekli yöntemlerle zeytinyağı üretiminde oluşan ürün ve atık miktarları girdi ve çıktı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kullanılan sisteme göre oluşan ürün ve atık miktarları [13]

SİSTEM	GİRDİ	MİKTAR	ÇIKTI	MİKTAR
PRES	ZEYTİN	1 TON	YAĞ	200 KG
	Yıkama Suyu	100- 120 L	İşlenmiş zeytin (% 26 su- % 7 yağ)	400- 600 kg
			Proses atıksuyu (% 88 su)	400- 600 L
3-FAZ	ZEYTİN	1 TON	YAĞ	200 KG
	Yıkama Suyu	100- 120 L	İşlenmiş zeytin (% 40 su- % 4 yağ)	500- 600 kg
	Proses Suyu	700- 1000 L	Proses atıksuyu (% 94 su- % 1 yağ)	1000-1200 L
2 -FAZ	ZEYTİN	1 TON	YAĞ	200 KG
	Yıkama Suyu	100- 120 L	Nemli işlenmiş zeytin (% 60 su-% 3 yağ)	800 kg
			Yağ temizleme atıksuyu	100- 150 L

2.2. Zeytinyağı Endüstrisi Atık ve Atıksularının Özellikleri

Aşağıdaki akış diyagramından da görüleceği gibi zeytinyağı üretiminde bir üst ürün olan zeytinyağı ve iki de alt ürün olan karasu ve pirina elde edilmektedir [12].



Zeytinyağı üretiminde oluşan atıklar şöyle sıralanabilir:

Zeytin Özsu (Karasu): Presleme işleminden sonra elde edilen kekin çökeltme ya da santrifüj işlemleri ile yağdan ayrılması sonucu oluşan kahverengi sulu sıvıya zeytin özsu denilmektedir. Oluşan zeytin özusunun kirlilik problemleri iki fazlı dekantör sisteminin kullanılması ile önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Dünyanın pek çok yerinde büyük bir problem oluşturmaktadır. Çoğu ülkede tarıma dayalı endüstriyel atıkların, kanalizasyona, nehirlere ve akarsulara deşarjında kısıtlamalar bulunmaktadır. Bazı ülkelerde, belli miktarlardaki karasu zeytin üretim alanlarına sulama amaçlı verilmektedir. Zeytin özsuu değerli iz elementleri ve potasyum, fosfor vb. ile organik bileşikleri içerir. Atıksudaki bazı bileşenler değerli antioksidanlardır. Son zamanlarda, zeytin özsuu ilaçlarda da kullanılmaktadır [14].

Zeytin Katı Atıkları ve Zeytin Çekirdeği: Zeytinin üretiminde presleme esnasında oluşan bir atıktır. Zeytin katı atıkları ve zeytin çekirdeği ısıtma amacıyla, yapı malzemesi ya da aktif mangal kömürü olarak kullanılabilir [14].

Ham Zeytin Keki: Zeytinlerin ilk olarak klasik ve sürekli yöntemler ile preslenmesinden sonra geriye kalan kalıntıdır. Kekin içerisinde az miktarda da olsa yağ bulunmaktadır. Eğer elde edilen bu keke başka bir işlem uygulanmayacaksa, genellikle ısınma ve hayvan yemi üretimi amacıyla kullanılabilir [14].

Tükenmiş Zeytin Keki: Ham zeytin kekinin çözücü ile özütlemeye tabi tutulması sonucu oluşan kalıntıdır. Bu kekte ısınma ve hayvan yemi üretimi amacıyla kullanılabilir [14].

Çekirdeği Ayrılmış Zeytin Keki: İşlenmiş kekin içerisinde kalan parçalanmış zeytin çekirdeklerinin çıkarılması sonucu oluşan kektir. Bu kek de ısınma ve hayvan yemi üretimi amacıyla kullanılabilir [14].

Sulu Pirina: Tüm işlemlerden önce kekin içerisinden parçalanmış zeytin çekirdeklerinin çıkarılması sonucu oluşan kalıntı keke sulu pirina adı verilmektedir [14].

Zeytinyağı üretimi sırasında ortaya çıkan karasuyun miktarı ve özellikleri, üretim teknolojisine, zeytin çeşidine, zeytin ağaçlarının yetiştiği toprak ve iklim özelliklerine, zeytin hasat zamanına ve olgunluk derecesine, pestisit ve gübre kullanımına göre değişmektedir.

Zeytinyağı üretiminde oluşan karasuyun bazı temel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [8].

- Koyu kahverengi – siyah bir renk
- Özel zeytinyağı kokusu
- Çok yüksek organik kirlilik yükü (KOI değeri 220 gL⁻¹'ye çıkabilir ve KOI/BOI₅ oranı 2,5-5,0 arası ve zor ayrışabilir)
- pH değeri 3,0-5,9 (zayıf asit)
- Yüksek miktarda polifenoller (80 gL⁻¹'ye çıkabilir)
- Yüksek miktarda katı madde (toplam katılar 20 gL⁻¹'ye çıkabilir)

Zeytinyağı üretimi atıksuları tipik olarak aşağıdaki bileşime sahiptir [14];

- Kuru ağırlık % 18,5
- Toplam Polifenoller % 1,75
- Tannik Polifenoller % 0,45
- Toplam Şeker % 4,90
- Toplam Azot % 0,13
- Protein % 2,96
- Kolloidler % 2,96
- Pektinler % 0,70

Atıksuda yüksek derişimde organik madde, yağ ve AKM bulunur. Ayrıca atıksuyun fenollerden kaynaklanan toksik etkisi de bulunmaktadır. Atıksu içerdiği organik asitler ve fenolik maddeler nedeniyle zayıf asit tepkime gösterir [15]. Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'de klasik ve sürekli sistem atıksuyunun literatür değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 Klasik yöntem karasuyun bileşimi [15]

Parametre	Tünay vd. (1992)	Hamdi (1991)	Öztrük vd. (1992)	Şengül vd. (1984)	Tsonis vd. (1989)	Aktaş (1998)	Samsunlu vd. (1998)	Değişim Aralığı
KOI, (mgL ⁻¹)	115000	165400	115000- 120000	64000- 90000	6400- 162000	60000- 120000	127500	6400- 165400
Çöz. KOI (mgL ⁻¹)	52000	-	-	-	56400	-	58600	52100- 58600
BOI ₅ (mgL ⁻¹)	-	-	-	-	1500- 100000	10000- 160000	-	1500- 160000
AKM (mgL ⁻¹)	8700	-	8500- 9000	600- 2400	7700	-	30000	600- 30000
UAKM (mgL ⁻¹)	-	-	-	-	7200	-	29000	7200- 29000
TKM (mgL ⁻¹)	-	155400	-	27800- 30900	28000- 126000	56000- 160000	-	27800- 160000
TUKM (mgL ⁻¹)	-	144700	-	-	4000- 82000	25000- 145000	-	4000- 145000
Yağ-Gres (mgL ⁻¹)	17700- 7900	11300	7700	1200- 4000	200- 10000	4000- 24000	7800	200- 24000
TN(mgL ⁻¹)	580	-	180	-	90-320	-	-	90-580
TP(mgL ⁻¹)	170	-	1200	-	1400	-	260	170-1400
Ph	4,2	4,7	4,7	5-5,4	4,2-7	4,1-6,7	5	4,1-7

Çizelge 2.3 Sürekli yöntem karasuyun bileşimi [15]

Parametre	Borja vd. (1995)	Nieto vd. (1991)	Tsonis vd. (1989)	Şengül (1991)	Samsunlu (1991)	Değişim Aralığı
KOI, (mgL ⁻¹)	60000	212200	2500-78000	40000	93000- 144000	2500- 212200
Çöz. KOI (mgL ⁻¹)	-	-	40700	-	44000- 85000	40700- 85000
BOI ₅ (mgL ⁻¹)	-	179500	1300- 4400	33000	58500	1300- 179500
AKM (mgL ⁻¹)	24800	2440	400- 22000	-	17000- 21700	400-24800

Çizelge 2.3 Sürekli yöntem karasuyun bileşimi [15](devamı)

UAKM (mgL ⁻¹)	22900	-	17200	-	15500-19500	15500- 22900
TKM (mgL ⁻¹)	48600	55600	14000-37000	30000	-	14000- 55600
TUKM (mgL ⁻¹)	41900	44400	12000-41000	26000	-	12000- 41900
Yağ-Gres (mgL ⁻¹)	-	-	5000-23000	-	1400-4600	5000-23000
TN(mgL ⁻¹)	-	-	20-600	-	630-800	20-800
TP(mgL ⁻¹)	-	-	130-260	-	240-310	130-310
pH	5,2	5,3	4,7-5,3	4,7-5,2	5-5,1	4,7-5,3

2.3. Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Çevresel Etkileri

Sıvı atığın içeriği işlenen zeytinlerin olgunluk derecesine ve türüne göre değişmektedir. Ayrıca zeytin ağaçlarının yetiştirildiği toprağın cinsi, iklim şartları ve zeytinlerin depolanması, yağ elde etme yöntemleri ve bu sırada kullanılan su miktarları ile atıksuyun biriktirildiği ortamın farklı olması da atıksuyun içeriğinde belirgin farklılıkların ortaya çıkmasına neden olur [16].

Yüksek oranda organik madde içeren ve yağ derişiminin de yer yer 7000 mgL⁻¹'ye ulaştığı karasuyun çevreye doğrudan verilmesi halinde alıcı su ortamlarındaki aşırı oksijen tüketimi yanında su yüzeyinin yağ tabakası ile kaplanarak oksijen aktarımının engellenmesi, estetik görünümün bozulması ve polifenollerin zehirli etkileri gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır. Daha açık bir ifade ile mikroorganizmaların metabolik süreçlerinde yer alan çözülmüş ve askıdaki organik maddelerin ve azot bileşiklerinin biyokimyasal parçalanması alıcı ortamdaki oksijen bilançosundaki en önemli tüketimi oluşturur. Kirlilik yüküne maruz kalmamış akarsularda ve göllerde ototrof süreçler sonucunda üretilen organik madde ile aerob hetetrof organizmaların tüketimi arasında doğal bir denge bulunur. Alıcı ortama dışarıdan biyolojik olarak ayrışabilecek nitelikteki organik maddelerin verilmesi bu hassas dengeyi önemli ölçüde değiştirmektedir.

Bu değişim sonucunda ortamda belirli bir miktarda çözünmüş oksijen kalırsa yeni bir denge oluşabilir. Oksijen tüketiminin oksijen kazanımından daha fazla olduğu durumlarda ise, alıcı ortamdaki biyolojik süreçler tamamen nitelik değiştirirler [16].

Karasuyun yüksek oranda potasyum içeriği nedeniyle zirai sulamada kullanılması ile ilgili uygulamalarda yüksek asidite, tuzluluk ve aşırı miktarda polifenoller içermesi önemli sorunlara yol açmaktadır. Sığ lagünlerde buharlaştırma yolu ile uzaklaştırma uygulamalarında da koku ve sivrisinek problemi ile yer altı suyunun kirletilme riski gibi sakıncalar bulunmaktadır. Fenolik maddelerin fitotoksik ve antibakteriyel etkileri de göz önüne alındığında hem toprağa hem de su kaynaklarına yapılacak arıtmasız deşarjın ciddi problemler yarattığı pek çok çalışma ile saptanmıştır [17].

Bu atıksuların bertarafında karşılaşılan en önemli problemlerden bir diğeri ise, zeytinyağı üreten işletmelerin büyük işletmeler olması yerine dağınık küçük işletmelerden oluşmasıdır. Bu durumda yapılacak yatırımların maliyeti artmakta ve ekonomik sınırları aşılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı mutlaka zeytin karasuyunun uygun arıtım koşulları değerlendirilmeli ve bu atıksuların uygun bertaraf koşulları araştırılmalıdır [18].

Zeytinyağı endüstrisi atıksularının çevresel etkileri aşığıdaki şekilde özetlenebilir;

- Nehir yataklarında biriken askıda katı maddeler (AKM), gerekli oksijenin mikroorganizmalara ulaşmasını engeller. Anaerobik mikroorganizmalar organik maddenin anaerobik olarak fermantasyonunu gerçekleştirir ve bu durum sonucunda da kötü kokulu gazlar ortaya çıkar [16].
- Zeytinyağı endüstrisi atıksuları içindeki yağlar, suların atmosferle temasını engelleyen yüzeysel film tabakası oluşturarak suyun iç kesimlerine oksijenin geçişini engellediği için suda yaşayan bitki ve hayvanların yaşamını olumsuz etkiler [16].
- Asit, polifenol ve metalik iyonlar gibi suda çözünmüş maddeler suyun çözünmüş oksijen kapasitesini bir miktar da olsa azaltır [16].
- Zeytinyağı endüstrisi atıksularında polifenol olması, biyolojik arıtım süreçlerini gerçekleştiren floranın gelişimini engeller [16].

- Tanenler, zeytinyağının öğütülmesiyle oluşan atık suda kalan zeytin posalarından kaynaklanır. Bitki, hayvan ya da insanlar için çok zararlı olmamasına rağmen, sucul ortamlara deşarj edilmesi halinde suyu koyu kahverengi renge boyar [16].
- Zeytinyağı atıksuları önemli miktarda indirgenmiş şeker içerir, doğal sulara doğrudan deşarj edilmesi sonucunda mikroorganizmaların sayısında büyük bir artış olur. Bu nedenle sudaki çözünmüş oksijen tükenir ve böylece suda yaşayan diğer canlılara düşen oksijenin payı azalır. Bu ekosistemde dengesizliğe neden olur. Diğer birkaç süreçten ise yüksek fosfor içeren zeytinyağı atık suyu oluşabilir. Bu fosfor doğal sularda alglerin büyümesini ve artışını hızlandırarak ötrofikasyon oluşumuna neden olur [16].
- Atıksu toprağın kalitesini düşüren organik maddeler, mineraller ve asitler içerir. Bu, mikroorganizmaların toprak-hava ve hava-su dengesinin bozulmasına ve bunun sonucunda toprak verimliliğinin azalmasına neden olur [16].
- Kurutma havuzlarının varlığında böcekler ortaya çıkar ve bunlar hastalık taşıyıcı olduklarından insan ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek sonuçlar ortaya çıkar [16].

3. ZEYTİNYAĞI ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITIM YÖNTEMLERİ

Karasuyun arıtımı için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Isıl yöntemler (buharlaştırma ve yakma), lagünde buharlaştırma ya da sulama amaçlı kullanma, flotasyon/çökeltim, ultrafiltrasyon, membran filtrasyon ve ters osmoz, anaerobik ve aerobik biyolojik arıtım, kimyasal ve elektrokimyasal arıtım, hayvan yemi olarak kullanma, adsorbsiyon, kimyasal yükseltgeme uygulanan yöntemler arasında yer almaktadır [11].

3.1. Karasuyun Biyolojik Yöntemlerle Arıtımı

Karasu, zeytin özsuyunun seyrelmiş kısmı olması nedeniyle biyolojik olarak kolayca parçalanabilir kabul edilebilir. Fakat karasuyun içeriğindeki polifenol ve lipidlerin biyolojik olarak parçalanma hızı, şeker ve uçucu asitlere göre daha düşüktür. Bu nedenle karasuyun biyolojik arıtımı, kirliliklerin hızla arıtılması ve tesisin ekonomik olması açısından küçük olmasını gerektirdiğinden, oldukça zor olmaktadır [11].

3.1.1. Aerobik arıtım

Aerobik biyolojik süreçler, aerobik mikroorganizmaların oksijen varlığında, kirlilikleri yükseltgeyerek parçalaması esasına dayanır. Organizmalar kirlilikleri kullanarak biyokütle ve çamur gibi yeni hücreler üretirler. Aktif çamur, damlatmalı filtre gibi aerobik süreçler genellikle atıksuda düşük derişimlerde bulunan çözünmüş ve kolloidal haldeki kirlilikleri arıtırlar. Sistemin etkili işletilmesi 1 gL^{-1} gibi düşük KOİ derişimlerinde mümkündür. Yüksek derişimlerdeki kirlilikler ise ancak yüksek alıkonma sürelerinde ve yüksek geri döngü oranlarında arıtılabilir. Bu nedenle karasuyun aerobik arıtımı, yüksek KOİ ve fenol içeriği nedeniyle, uygun değildir. Bunun yanısıra, aerobik arıtım sonrasında çok yüksek miktarlarda çamur oluşmaktadır. Ham atıksuyun KOİ

derişimi 50 gL^{-1} gibi oldukça yüksek değerlerde olduğundan, sistem sonrası oluşacak çamur miktarı yaklaşık olarak arıtılan atıksu hacmine eşittir [11].

3.1.2. Anaerobik arıtım

Anaerobik arıtım teknolojileri, KOİ derişimi 1500 mgL^{-1} 'den büyük atıksuların arıtımında kullanılması, düşük miktarda atık çamur oluşturması (aerobik arıttımdan 20 kat az), süreç sırasında açığa çıkan gazların kullanılabilmesi ve az yer işgal etmesi nedeniyle günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca karasuyun yüksek organik yüklü olması ve sezonluk oluşması da anaerobik arıtımı çok uygun kılmaktadır. Ancak, zeytinyağı üretimi atıksularının arıtımında kullanılan anaerobik reaktörler sadece pilot ölçeklidir, gerçek uygulaması yoktur [11].

Karasuyun anaerobik arıtımı için öncelikle seyreltme yapmak gerekmektedir. Çünkü bu suyun içeriğindeki aromatik bileşenler ve lipidler metan bakterileri üzerinde toksik etki yaratmaktadır. Karasuyun *Aspergillus niger* ile n arıtımı, bu suyun toksik etkisini azaltmakta, metan bakterilerinin daha iyi çalışmasını sağlamaktadır [11].

3.2. Karasuyun Fiziksel ve Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı

3.2.1. Membran süreçleri

Filtrasyon, büyüklüklerine bağlı olarak bir veya daha çok partikül boyutundaki bileşiklerin, sıvılardan veya gazlardan ayrılması işlemidir. Membran süreçler bu uygulamayı daha da genişleterek, znmş maddelerin de sıvılardan ve gazlardan ayrılmasını mümkün hale getirmiştir.

Membran süreçlerinde, üç faz söz konusudur. Bunlar besleme, sznt ve derişik akımlarıdır. Arıtma işlemi, besleme akımındaki bir bileşenin, membran tarafından belli bir oranda tutulması esasına dayanmaktadır. Membrandan geçen akım sznt, geçemeyen akım ise derişik akım olarak adlandırılmaktadır. Membrandan sznt tarafına doğru bir geçişin olması için bir itici kuvvetin

uygulanması gerekmektedir. Membranlar itici kuvvetlerin tipine göre gruplandırılmaktadır. Bunlar boşluk boyutlarına bağlı olarak ters osmoz (RO), nanofiltrasyon (NF) ve ultrafiltrasyon (UF) membranları olarak gruplandırılmaktadır [19].

3.2.1.1. Ultrafiltrasyon (UF) ile ön arıtma

Ultrafiltrasyon membranlarının boşluk çapı, 0,05-1 nm arasında değişmekte ve çözünmüş maddeleri ve küçük partikülleri ayırmak için kullanılmaktadır. Ayırmada temel etken moleküler büyüklük olmakla beraber, molekül şekli ve yükü de önemli bir rol oynamaktadır.

UF membranları ile molekül ağırlıkları 1000-1000000 arasında değişen maddeler tutulabilmektedir. UF membranları, zeytinyağı atıksularının arıtılmasında genellikle ön arıtma elemanı olarak kullanılmaktadır. UF membranlarındaki KOİ giderme verimi % 50-90 arasında değişmektedir. Ultrafiltrasyonda arıtılan suyun alıcı ortama doğrudan verilmesi söz konusu değildir. Dolayısıyla, UF sonrası ilave bir arıtmanın yapılması gerekmektedir [19].

3.2.1.2. Ultrafiltrasyon membranı sonrasında ters osmoz ile ileri arıtma

Zeytinyağı atıksularının arıtılmasında ters osmoz (RO) membranları, ultrafiltrasyon (UF) membranları sonrasında ileri arıtım olarak kullanılmaktadır. Böylelikle, ters osmoz membranlarının kullanım süresi artmakta ve çok daha iyi kalitede su elde edilmektedir. Ultrafiltrasyon membranların ön arıtma amaçlı olarak kullanılmasının başlıca faydaları şunlardır;

1. Sürekli ve kolay otomatik işletme imkanının olması,
2. Ters osmoz membranları için daha iyi kalitede su üretmesi,
3. Kimyasal madde ilavesi gerektirmemesi,
4. Fazla yer kaplamaması [19].

3.2.1.3. Nanofiltrasyon (NF) membranı ile arıtma

NF membranları, özellikle son yıllarda ortaya çıkmış ve kullanımı hızla artmıştır. Boşluk çapı açısından, ters osmoz ile ultrafiltrasyon membranları arasında bulunmaktadır. Son zamanlarda, ince filmli selüloz olmayan membranlardaki gelişmeler ile beraber kullanımı daha da yaygın hale gelmiştir. Nanofiltrasyon membranları, ters osmozdan daha düşük basınçlarda işletilmekle birlikte ters osmoza göre daha düşük kalitede su vermektedir [19].

3.3. Karasuyun Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılması

Elektrokoagülasyon; çözünebilen ve pıhtılaştırıcı özelliğe sahip metal (alüminyum ve demir gibi) bir elektrodun kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım sürecidir. Elektrokoagülasyonda pıhtılaşma ve çökeltme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesi ile değil, elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Elektrokoagülasyonda anot olarak kullanılan metal, iyon şeklinde çözünür [16].

Bu süreçte elektrotlar tepkimelerin gerçekleşmesinde kullanılan esas malzemedir. Bu nedenle uygun elektrot seçimi önemlidir. Elektrokoagülasyonda demir ve alüminyum elektrotlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu elektrotlar, ucuz, temini kolay ve üstelik etkisi kanıtlanmış elektrotlardır [16].

Doğru akımda anot olarak demir veya alüminyum elektrotlar çözünerek çözeltiliye Al^{3+} ve Fe^{2+} , Fe^{3+} iyonları vermekte olup, bu iyonlar sudaki hidroksil iyonları ile birleşerek çözünmeyen $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksitleri oluşturmaktadır. Elektrokoagülasyon anında oluşan metal hidroksit partiküllerinin adsorpsiyon özellikleri çok yüksektir. Pıhtılaşan partiküller atıksularda bulunan mikro koloidal partikülleri ve iyonları kendilerine doğru çekerek adsorblamaktadır [18].

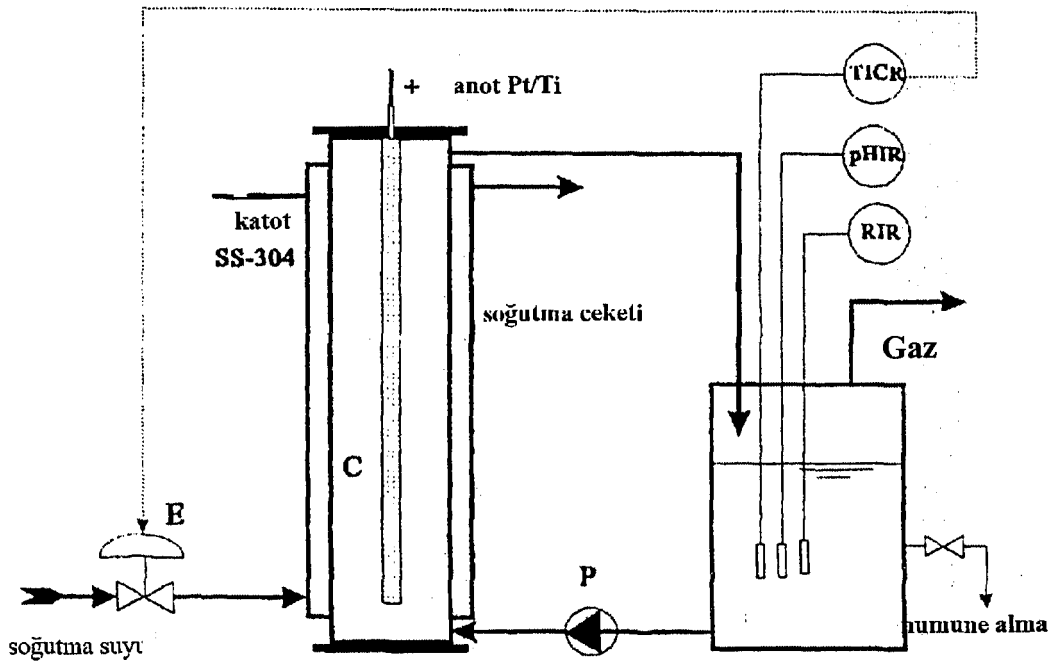
Oluşan yumaklar çökelmekte ya da elektrotlarda oluşan gazlar yardımıyla su yüzeyine kaldırılabilir (elektroflotasyon). Elektroflotasyon ve elektrokoagülasyonun aynı sistemde olması

elektroflotokoagülasyon süreci olarak adlandırılmaktadır. Yüzeiden veya tabandan toplanan partiküller filtrasyon süreçlerinde susuzlaştırılmaktadır [18].

İnan ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada zeytinyağı endüstrisi atık suyu elektrokoagülasyon yöntemiyle arıtmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada 48500 mgL^{-1} KOİ, 1780 mgL^{-1} AKM ve 2120 m^{-1} bulanıklığa sahip su kullanılmış ve deneyler 500 ml hacminde laboratuvar ölçekli paralel plakalı reaktörde gerçekleştirilmiştir [20].

Bu çalışmada elektrot malzemesi olarak alüminyum ve demir, yumaklaştırıcı olarak katyonik polielektrolit, pH ayarlamak için H_2SO_4 ve NaOH kullanılmıştır. KOİ gideriminde % 52'ye, renk gideriminde % 95'e ve AKM gideriminde % 68'e ulaşılmıştır [20].

İsrailides ve arkadaşları zeytinyağı endüstrisi atıksularının kimyasal yükseltgeme yöntemiyle arıtımını çalışmışlardır. Bu çalışmada elektrot malzemesi olarak paslanmaz çelik ve platin kaplanmış titanyum alaşımı, destek elektrolit olarak sodyum klorür (NaCl) kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların yapıldığı düzenek Şekil 3.1'te gösterilmiştir [21].



Şekil 3.1 Israilides ve arkadaşlarının çalışmaları yaptıkları elektrokimyasal hücre [21]

Çalışılan düzenek bir elektroliz hücresi, bir geri döngü reaktörü ve bir soğutucu sistemden oluşmaktadır. Çalışmada katot olarak kullanılan 20 cm çapında paslanmaz çelik, anot 48 cm uzunluğunda ve 0,25 cm çapında platin kaplı titanyum alaşımıdır. Çalışılan su $178,22 \text{ gL}^{-1}$ KOİ, $52,17 \text{ gL}^{-1}$ AKM, $42,55 \text{ gL}^{-1}$ BOİ₅ ve $11,41 \text{ gL}^{-1}$ fenolik bileşik içermektedir. Çalışma süresi 10 saat olan bu elektroliz hücresiyle $0,26 \text{ Acm}^{-2}$ akım yoğunluğunda KOİ giderimi %93 ve fenol giderimi de %99,4 olarak gerçekleştirilmiştir [21].

3.4. Diğer Yöntemler

3.4.1. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma süreci genel olarak, katı atığın içindeki organik maddelerin bozunması işlemidir. Bu süreç, katı atığın içinde bulunan bitki ve hayvan atıklarını daha kararlı, toprak iyileştiricisi ve şartlandırıcısı olarak kullanılabilir bir hale dönüştürebilen bir işlemdir. Katı ve sıvı atıklar içindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalarla daha basit bileşiklere, özellikle CO₂ ve H₂O'ya dönüştürülürler. Bu işlemle organik katı atıklar, biyokimyasal olarak ayrışır ve zemin kalitesi iyileştirilir. Böylece hem materyal mikroplardan arınır hem de önemli miktarda hacim azalması mümkün olur [16].

Kompostlaştırma işlemi sonrasında CO₂, su buharı, mineraller ve stabilize olmuş organik madde oluşmaktadır. Bu nedenle kompostlaştırma işlemi, karasuyun geri kullanımı için pratik ve ekolojik bir yöntemdir. Bu sayede karasu ve pirininin herhangi bir fitotoksik etkisi olmaksızın organik gübre olarak kullanımı sağlanmaktadır [11]. Zeytinyağı endüstrisi atık suları bir katı faz ile birlikte kompostlanarak arıtılabilir. Bu işlem sırasında katı faz dolgu malzemesi görevi görürken, sıvı faz sürekli olarak verilir, nemlilik ve besin kaynağı olarak çalışır. Bu işlem sırasında atıksu azot açısından zenginleşir ve kompost yığımından çıkan ısı sonucunda da sıvı kısım uzaklaştırılmış olur. Bu işlemin avantajı, toplam organik maddenin geri kazanımı, ucuz maliyet ve toprağın veriminin artmasıdır [22].

3.4.2. Lagünlerde buharlaştırma

Bu yöntemde zeytinyağı atıksuyu lagünlerde tutularak kurutulmaktadır. Zeytinyağı üretimi, yılın belli zamanlarında yapılmaktadır. Bu tür endüstrilerde genellikle atıksuların lagünlere verilip buharlaştırılarak arıtılması yoluna gidilmektedir. Bu yöntem, İspanya'da Çevre Koruma Otoriteleri tarafından karasuyun alıcı ortamlara verilmesini önlemek amacıyla uygulanmaktadır. Lagün hacimleri 2 ton zeytin için 1 m³ olarak öngörülmüştür. Arazi maliyetinin yüksek oluşu, askıda katı madde ve yağların ön arıtım gerektirmesi, koku ve böcek sorunu yaratması, oluşan fitotoksitite yüzünden alanın ilerde tarım amaçlı kullanılamaması, lagün hacmi küçük olduğu durumlarda taşma riski, zeytinyağı atıksularının yılın soğuk mevsimlerinde oluşması, buharlaşma dışında çok düşük seviyede biyolojik arıtım olması, geniş alanlara ihtiyaç duyulması ve bu tür alanların her zaman yağ fabrikalarının yakınında bulunmaması nedeniyle atıksuların lagünlere taşınma sorunu olması, ayrıca atıksuyun sızma olasılığı sonucunda, yeraltı suyunun kirlenme riski gibi nedenlerle karasuyun lagünlerde buharlaştırılmasına zamanla karşı çıkmıştır [14].

3.4.3. Arazide arıtım

Toprak, arazi özellikleri ve iklimsel koşullar uygun olduğunda, 5000 m³ ha⁻¹ gibi yüksek miktarda uygulamayla arazide arıtım yöntemi bir çözüm olabilir. Ayrıca bu yöntem zeytinyağı endüstrisi atıksularının su ve gübre değerinin geri kazanılmasını mümkün kılan doğrudan sulama ile toprağın verimliliğini, mikrobiyal faaliyetleri ve toprağın tanecik yapısının kararlılığını artırır. Atıksu bu amaçla kullanılacağı zaman polifenol ve tuz içeriğinin neden olacağı fitotoksik etki nedeniyle kontrollü deşarj edilmelidir [14]. Ayrıca, zeytinyağı endüstrisi atıksularının arazide arıtılması sonucu topraktaki ağır metaller çözünerek yeraltı sularına taşınabilir [22].

3.4.4. Distilasyon yöntemi ile arıtım

Zeytinyağı endüstrisi atıksuyunun organik ve inorganik madde içeriği, su içeriğinin buharlaştırılmasıyla derişik hale gelir. Derişik hale gelen katı kısmın giderimi, distilasyon düzeneğine enerji sağlamak amacıyla kullanılabilir fakat bu süreç sonrası ortaya çıkan gaz emisyonları hava kirliliğine neden olur, ayrıca bu işlem sonucu oluşan sıvı kısım distilasyon sonrasında bile yüksek KOİ yüküne sahiptir ve distilasyon sürecinden sonra oluşan distilat yeniden kullanılmadan ya da deşarj edilmeden önce arıtıma tabi tutulmalıdır [11].

3.4.5. Karasuyun adsorbsiyonu

Adsorbsiyon yöntemi suda bulunan çözünmüş organik kirliliklerin giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Zeytinyağı endüstrisi atıksularına renk veren bileşenler, biyolojik olarak ayrışmayan bileşikler, bakteriler ve biyolojik arıtıma girişim yapan bileşikler adsorbsiyon yöntemiyle aktif karbon kullanılarak giderilebilir, ancak aktif karbonun tekrar kullanımının mümkün olmaması nedeniyle adsorbsiyon işleminden sonra yakılacak çok fazla miktarda katı atık oluşur ve yakma kirlitici gaz emisyonuna neden olur [11].

4. ELEKTROKİMYASAL ARITIM

Kimyasal tepkimeler elektrik enerjisi üretiminde veya elektrik enerjisi kimyasal değişimlerin gerçekleşmesinde kullanılabilir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, kimyasal ve elektrik enerjisinin birbirlerine dönüşümünün ve aralarındaki bağıntıların incelenmesi elektrokimyanın konusudur [23].

Elektrokimyanın uygulama alanları;

- İnorganik ve organik kimyasal maddelerin üretimi,
- Metallerin eldesi, rafinasyonu ve geri dönüşümü,
- Atıksuların arıtımı,
- Proses sularının şartlandırılması,
- Kimyasal maddelerin elde edilmesi ve saflaştırılması,
- Yüzey kaplamacılığı,
- Elektronik parçaların üretimi,
- Birincil ve ikincil pil üretimi,
- Yakıt pilleri,
- Analitik laboratuvar teknikleri,
- Sensörler,
- Korozyon önleme,
- Atık bertarafı'dır [24].

Biyolojik ve kimyasal yöntemlerle yapılan arıtım seçeneklerinde önemli düzeyde çamur oluşumu problem yaratmaktadır. Buna karşılık elektrokimyasal arıtmada böyle bir sorun yoktur, yüksek arıtım verimine sahiptir ve ekonomiktir. Elektrokimyasal süreçler; organik kirleticileri tamamen N_2 , CO_2 gibi gaz şekline dönüştürebilmektedir. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri endüstriyel atıksuların arıtılmasında geniş bir araştırma konusunu oluşturmasına rağmen, endüstriyel sistemlerde uygulanması çok yaygınlaşmamıştır [25].

4.1. Elektroliz

Elektroliz işlemi sırasında devreden geçirilen elektrik miktarı (Q) ile elektroliz nedeniyle oluşan kimyasal maddeler arasındaki bağıntı, Faraday yasaları olarak bilinmektedir [23].

Faradayın I. Yasası: Bir elektrolitik hücrede elektrotlarda meydana gelen madde miktarları, hücrelerden geçirilen elektrik yükü miktarı ile doğru orantılıdır.

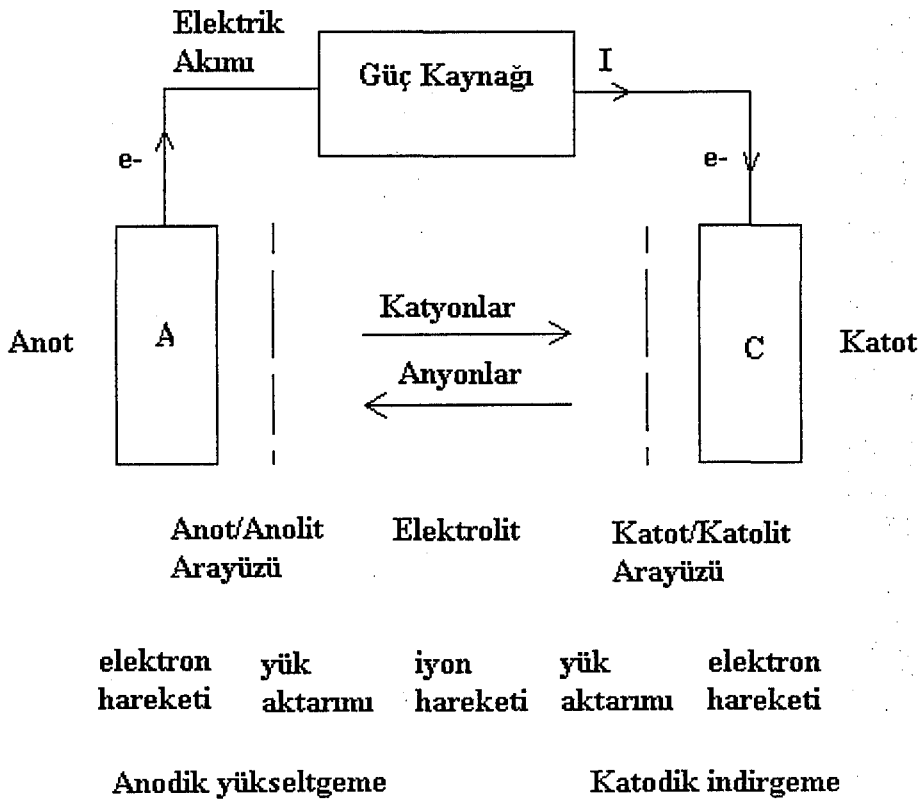
Faradayın II. Yasası : Seri halde bağlı farklı elektrolitler içeren elektroliz hücrelerinden geçen belirli miktarda elektrik yükü için her bir maddenin kimyasal eşdeğerlikleri ile doğru orantılı miktarda madde ayrılır.

Elektrokimyasal tepkimeler; bir elektrot ile bir elektrolit ara yüzeyinde yük aktarımına neden olan heterojen tepkimelerdir. Çizelge 4.1'de bazı elektrokimyasal yöntemler ve tepkimeler verilmiştir.

Çizelge 4.1 Atıksu arıtımında bazı elektrokimyasal yöntemler ve tepkimeler [29]

Yöntem	Ana Elektrolitik Tepkimeler	Sıvı Fazdaki Ana Tepkimeler
Elektro-fenton	$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$ $O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe(OH)^{2+} + OH^-$ $RH + OH^- \rightarrow ROH + \frac{1}{2}H_2$
Seçici olmayan doğrudan yükseltgeme	$MO_x + H_2O \rightarrow MO_x(OH) + H^+ + e^-$	$nMO_x(OH) + R \rightarrow n/2CO_2 + 2e^- + 2H^+ + nMO_x$
Seçici doğrudan yükseltgeme	$MO_x(OH) \rightarrow MO_{x+1} + H^+ + e^-$	$R + MO^{x+1} \rightarrow RO + MO_x$
Dolaylı oksijen yükseltgenmesi	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow H_2O_2$	$H_2O_2 \rightarrow HO_2 + H^+ + e^-$ $RH + HO_2 \rightarrow ROH + OH^-$
Dolaylı klor yükseltgenmesi	$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$	$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$ $HOCl + R \rightarrow ROH + Cl^-$
Dolaylı gümüş yükseltgenmesi	$Ag(I) \rightarrow Ag(II) + e^-$	$Ag(II) + NO_3^- \rightarrow Ag(NO_3)^+$ $nAg(NO_3)^+ + R \rightarrow nAg(I) + mCO_2 + nHNO_3$
Elektrodeposit	$M^{n+} + ne^- \rightarrow M$	
Doğrudan indirgeme	$NO_3^- + H_2O + 5e^- \rightarrow \frac{1}{2}N_2 + 6OH^-$ $NO_2^- + 2H_2O + 3e^- \rightarrow \frac{1}{2}N_2 + 4OH^-$	

Bir elektrokimyasal sistemde minimum bileşenler; bir anot, bir katot, elektrotlar arasında iyonik bir bağlantı (bir elektrolit) ve elektrotlara olan elektrik bağlantısı (dış elektrik devresi)'dir. Elektrokimyasal hücredeki elektriksel akım; dış elektrik devredeki akım ve anottan katota doğru olan elektron akımı şeklindedir. Hücredeki akım geçişi, elektrotta elektronlarla, elektrolitte anyonların anoda katyonların ise katoda doğru kütle taşıyım ile gerçekleşir (Şekil 4.1). Bu nedenle elektrokimyasal sistemlerde girenlerin ürünlere dönüşmesi için yeterli hızda ve oranda maddelerin elektrot yüzeyine taşınımı gereklidir.



Şekil 4.1 Elektroliz sisteminin ana bileşenleri ve özelliği [28]

Çözelti içindeki O türü bir veya birden fazla elektron kazanarak R türü haline dönüşür (Şekil 4.2).



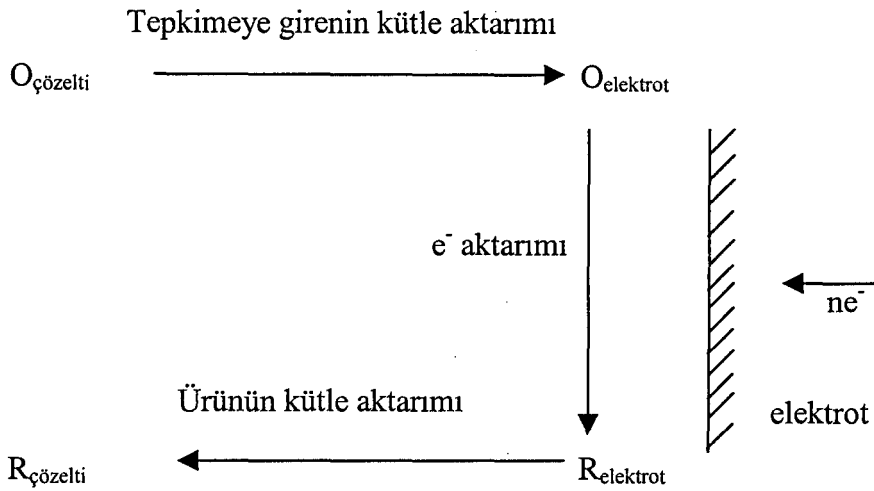
Bu tepkime üç adımda gerçekleşir. İlk adım çözeltilen elektrot yüzeyine doğru kütle aktarımı,



İkinci adım elektrot yüzeyinde yük aktarımı,

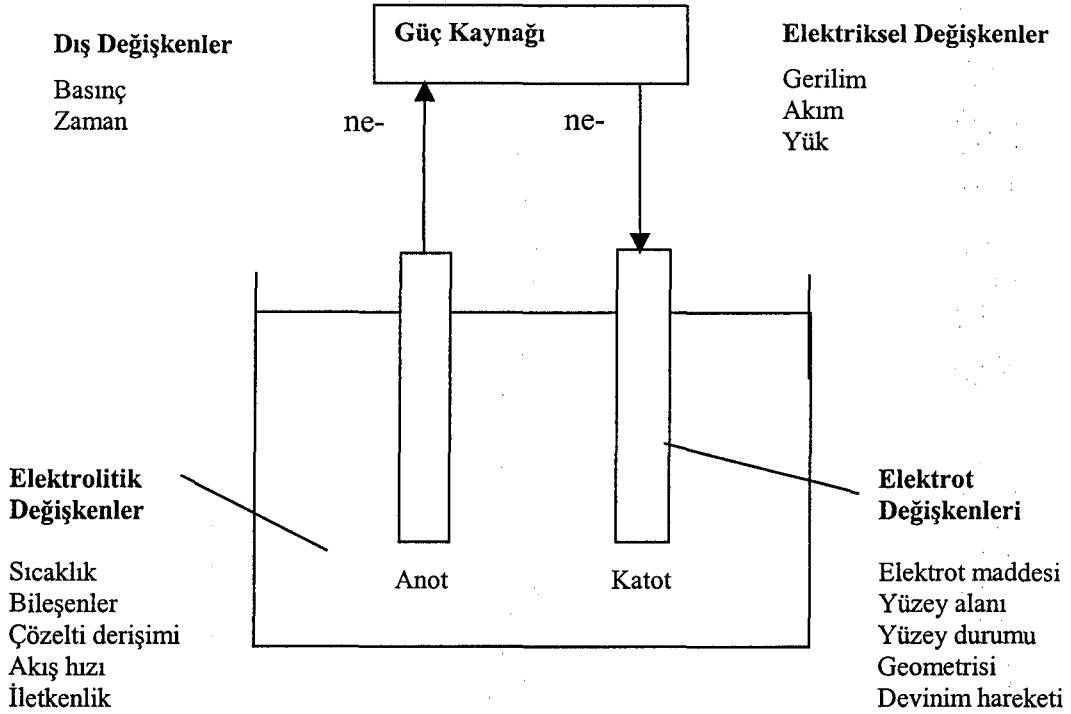


Son adım elektrot yüzeyinden çözeltiliye kütle aktarımıdır.



Şekil 4.2 Elektrot yüzeyi ile çözelti arasında gerçekleşen tepkimeler

Bu tepkimelerden en yavaş olanı tüm süreç için hız belirleyici basamaktır. Elektrokimyasal süreçlerin hızını belirlemek için tüm elektron ve kütle taşınımlarının ele alınması gereklidir. Elektrokimyasal süreçlerde önemli olan diğer adımlar ise; elektrot yüzeyindeki faz oluşumu, kimyasal tepkimeler ve elektrot yüzeyindeki adsorpsiyondur. Elektroliz sürecine etki eden faktörler Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Bir elektroliz sürecine etki eden faktörler [28]

Elektroliz işleminde kütle taşınımı için, difüzyon, taşınım ve elektriksel göç önem taşımaktadır.

Difüzyon, derişim farkıyla türlerin hareketidir. Derişim eşit olana kadar daha seyreltik ortama doğru geçişin nedeni fiziksel süreçtir. Taşınım, dışsal mekanik kuvvetlerin etkisiyle türlerin hareketidir. Elektriksel göç ise, gerilim farkı etkisiyle yüklü türlerin hareketidir [24].

Bir elektrokimyasal reaktörün işletilmesinde aşağıdaki durumlar göz önüne alınmalıdır [28].

- İşletme için uygunluk ve güvenilirlik
- Düşük işletme ve ilk yatırım maliyeti
- Kontrollü ve düzenli elektrot gerilimi
- Kontrollü ve düzenli akım yoğunluğu
- Kontrollü ve yüksek kütle aktarımı
- Kontrollü hidrodinamik
- Az basınç düşüşleri
- Hacim başına yüksek aktif elektrot alanı

- Düşük hücre gerilimi
- Gaz oluşumu kolaylığı
- Reaktör bileşenleri için sağlam malzeme seçimi
- Tıkanma problemlerinin önlenmesi
- Yeterli ısı aktarımı
- Yeterli karışma
- Basit boyutlandırılabilme
- Düşük yer ihtiyacı
- Uzun süre kullanım imkanı ve bakım kolaylığı
- Kontrol ve otomasyonda kolaylık
- Tüm süreçler için entegrasyon

4.1.1. Hücre bileşenleri

Elektroliz için en önemli bileşenler; elektrot malzemesi, ayırıcılar, elektrolit, elektrolitik dağıtıcılar, türbülans artırıcılar ve yalıtım malzemeleridir. Bu bileşenler için temel, kimyasal madde ve elektrolitik ortamda mekanik kararlılığın sağlanmasıdır.

4.1.1.1. Elektrot malzemesi

Elektrot seçiminde, önemli ölçüt katot için yüksek hidrojen aşırı gerilimi, anot için yüksek oksijen aşırı gerilimidir. Bütün elektrokimyasal süreçler için katot olarak karbon/PTFE, bakır, çelik ve/veya demir kullanılmakla birlikte Pt ve Ti kaplamalı IrO_2 veya RuO_2 de deneysel çalışmalarda iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [29].

Genel olarak RuO_2 gibi asal metal oksitlerin, benzer asal metallere göre performansları oldukça iyidir. Endüstriyel uygulamalarda bu asal metaller, oksitlerle kaplanır. Metal yüzeylerinin oksitle kaplanması ile elektrotların kullanım süreleri artmaktadır. TiO_2 , düşük maliyeti nedeniyle özellikle dikkat çekicidir [25].

1960'larda boyutsal kararlı anot (DSA) malzemesi olarak RuO₂ ve diğer metal oksitlerle kaplı titanyum kullanımı çok yaygındı. RuO₂'in, korozyona karşı dayanıklılığı ve kararlılığı en büyük özelliğidir. RuO₂'in değerli metal ve/veya geçiş metal oksitleri ile kaplanması katalitik davranışını arttırmaktadır. RuO₂, elektron mikroskopuyla incelenerek, geniş yarıklı yapısı sayesinde yüzey alanının geniş olduğu gözlenmiştir. Bu geniş alan katalitik aktivitesini büyük oranda arttırmaktadır. Rutenyum oksit kaplı titanyum ise anot olarak uzun bir kullanım ömrüne sahiptir [24].

Bu tür anot malzemeleri, yüksek oksijen aşırı gerilimi oluştururken, klor için düşük aşırı gerilime sahiptir [30].

Elektrot malzemesinin özellikleri;

- Yüksek kimyasal ve mekanik kararlılık,
- Yüksek iletkenlik,
- Bir çok şekilde elde edilebilirlik,
- İstenilen tepkimelere karşı seçicilik,
- Düşük maliyet ve/veya uzun ömür,
- Güvenli ve kolay bakım,
- Kirlenmeyen ve kirlenmeyen, çevre dostu olması sayılabilir.

4.1.1.2. Destek elektrolit

Elektrolit içinde yükün daha kolay taşınmasını sağlayabilmek için destek elektrolite gerek duyulabilir. Bir destek elektrolit bir çok rolü üstlenmiştir.

- Elektriksel göç yolu ile iyon taşınımını sağlar
- Elektrotlar arasında gerilim düşüşü sağlar
- Aşırı destek elektrolit dozajı durumlarında giren ve ürünlerin aktivasyon katsayılarının yaklaşık olarak eşit olmasını sağlar
- Elektriksel çift tabaka yapısını sağlamlaştırır
- Elektroaktif türler için uygun matris ve kalıcı bir ortam sağlar
- Kararlı sıcaklık ortamı yaratır
- pH ve bileşenlerin kararlılığını sağlar

- Elektrolitik hareket ile elektrot yüzeyine veya elektrot yüzeyinden çözeltiye kütle taşınımını kolaylaştırır [28].

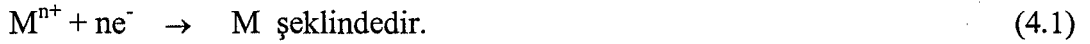
4.2. Atıksu Arıtımında Kullanılan Elektrokimyasal Yöntemler

Günümüzde elektrokimyasal teknolojiler pahalıdır ancak diğer teknolojilere kıyasla daha az yer ihtiyacı gerektiren etkili yöntemlerdir. Zor ayrışan kirletici grupları içeren atıksu arıtımında elektrokimyasal teknolojiler vazgeçilmez yöntemlerdir.

Elektrokimyasal yöntemler genel olarak dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar; elektrodepozit, elektroflotasyon, elektrokoagülasyon ve elektroyükseltgeme yöntemleridir.

4.2.1. Elektrodepozit yöntemi (Elektrobirikim-elektrokazanım)

Atıksularda ağır metallerin geri kazanımında kullanılmaktadır. Bu yöntemde katotta gerçekleşen tepkime;



Elektrobirikimde en yaygın kullanılan reaktör tipleri; plaka ve çerçeve hücreler, dönen hücreler ve üç boyutlu hücrelerdir.

Anot malzemesi olarak çelik, kaplama malzemesi olarak da titanyum üzerine gözenekli metal oksit yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntem daha çok metal yüzeyi kaplama endüstrisinde kullanılmaktadır. Metallerin elektrolitik geri kazanımı iki adımda gerçekleşmektedir; ağır metallerin toplanması ve toplanan metallerin sıyırılmasıdır. Seyreltik atıksularda iyon değişimi metal derişikleştirmede kullanılabilir. Yüksek derişimlere ulaşmak için, metal yüzeyi kaplama endüstrisi gibi bir geri kazanım sistemi doğrudan uygulanabilir. Maden endüstrisinde de altın gibi değerli metallerin üretiminde elektrokimyasal metal geri kazanım sistemi uygulanmaktadır [26].

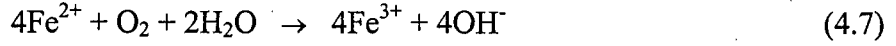
Asidik ortam:



Bazik ortam:



Asidik ortam:



Oksijen oluşumu tepkimesi:



Katotta oluşan kimyasal tepkime;



Alüminyum genellikle su arıtımında, demir ise atıksu arıtımında kullanılmaktadır. Bu elektrotlar; ucuz, temini kolay ve üstelik etkisi kanıtlanmış elektrotlardır.

Bu yöntem; tekstil atıksuları, içme suları, restoran atıksuları, metal endüstrisi, galvanize sanayi, gıda endüstrisi, otomobil endüstrisi, yem endüstrisi, petrokimya endüstrilerinde atıksu arıtımında başarı ile uygulanmaktadır. Kirliliklerin gideriminde hızlı, yer gereksinimi az, işletmesi kolay, yatırım ve işletme maliyeti düşük olan bir yöntemdir [18].

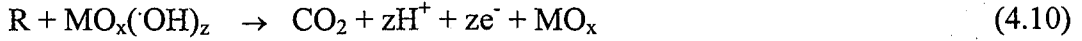
4.2.4. Elektroyükseltgeme yöntemi

Dolaylı Elektroyükseltgeme Süreci: Kirleticilerin elektrokimyasal yükseltgenmesi farklı yollarla gerçekleştirilebilir. Bunlardan biri anodik olarak üretilen klor ve hipoklorit kullanımıyla kirleticilerin parçalanmasıdır. Tipik olarak 3 gL^{-1} den fazla klor derişimlerinde bir çok inorganik ve organik kirletici yükseltgenmesi gerçekleşir [26]. Ham atıksuyun klor içeriği düşük ise, çok miktarda tuz eklenerek sürecin verimi artırılabilir.

Kirleticiler ayrıca, hidrojen peroksit üretimi ile elektrokimyasal olarak parçalanabilir. Bu sistemde; katot malzemesi olarak karbon-PTFE, anot olarak ise Pb/PbO₂, Ti/Pt/PbO₂ veya Pt kullanılabilir.

Tehlikeli atıkların arıtımında kullanılan diğer bir yöntem ise, aracı olarak ifade edilen metal iyonlarının anot yüzeyinde kararlı oldukları düşük değerlikten aktif oldukları yüksek değerliğe geçerek organik kirleticilere doğrudan etki etmesidir. Ayrıca geri döngü ile anot yüzeyinde araçlar tekrar oluşturulabilir. Tipik araçlar olarak Ag²⁺, Co³⁺, Fe³⁺, Ce⁴⁺ ve Ni²⁺ sayılabilir. Bu yöntem genellikle yüksek asidik ortamda işletilir [26].

Doğrudan Elektroyükseltgeme Süreci: Bu süreç elektrot yüzeyinde elektron alışverişi ile gerçekleşir. Kirleticilerin elektrokimyasal yükseltgenmesi fiziksel olarak adsorblanmış “aktif oksijen” (adsorblanmış hidroksil radikalleri, OH) ile doğrudan anot yüzeyinde gerçekleşir. Bu süreç genellikle anodik yükseltgeme veya doğrudan yükseltgeme olarak ifade edilir. OH radikalleri organik bileşiklerin (R), tamamen yanmasını sağlar ve kimyasal sorplanmış “aktif oksijen” (MO_{x+1}), seçici yükseltgeme ürünleri oluşumuna katılır.



Anodik yükseltgemedede, katota oksijen beslemesi veya atıksuya büyük oranda kimyasal madde ekleme gibi problemler yoktur. Anot maddesi olarak; Ti/Ru₂, Ti/Pt-Ir, karbon elyaf, MnO₂, Pt- karbon siyahı, gözenekli karbon keçe, paslanmaz çelik kullanılmaktadır [26].

4.3. Paralel Plaka Elektrot Sistemleri

Döner elektrot, üç boyutlu elektrot ve paralel plaka elektrot sistemleri elektrokimyasal arıtım yöntemlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çalışma kapsamında zeytinyağı atıksuyunun paralel plaka elektrot kullanarak arıtılması gerçekleştirilmiştir.

Paralel plaka elektrotlar, düşük elektrot alanı/elektrolit hacim oranına sahip olmasından dolayı atıksu arıtımında yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu tür sistemlerde kullanılan elektrot alanları 10 cm^2 ile $0,2-1 \text{ m}^2$ aralığında değişmektedir.

Paralel plaka elektrotlar, geometrisi bakımından elektroliz ve yakıt hücreleri gibi modern elektrokimyasal teknolojilerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Elektrotlar yatay olarak kullanılabilirler de dikey uygulama daha yaygındır. Elektriksel olarak tek kutuplu veya iki kutuplu bağlantı seçenekleri mevcuttur. Diğer elektrot geometrilerine göre paralel plaka elektrotların;

- Kolay üretilebilir olması
- Elektrot malzemesinin kolay temin edilebilmesi,
- Gerilim ve akım dağılımının uniform olması,
- Kütle aktarımının kolay olması,
- Bir çok şekilde kullanım ve ölçeklendirilmeye olanak tanınması,
- Çok yönlü kullanım gibi üstünlükleri vardır [28].

Akım yoğunluğunun düşük olduğu sistemlerde oluşan ısı tasarım için problem yaratmamaktadır. Ancak yüksek akım yoğunluğu söz konusu olduğunda önemli miktarda ısı oluşmakta, bu da tersinmez durumların oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan ısı hücre içerisinde eşit olarak dağılmaz ve hücre bileşenleri (elektrotlar, elektrolit, kaplama ve ayırıcı malzemeleri) farklı ısı iletkenliklere sahip olur [30].

Paralel plaka reaktör seçiminde;

- Bölünmüş (gözenekli ayırıcı ve membran kullanılarak) ya da bölünmemiş olması,
- Elektrot malzemesi,
- Ayırıcı seçimi,
- Bölmelerin veya hücre gövdesinin üretildiği malzeme,
- Montaj yöntemi ve gerekli malzeme seçimi,
- Türbülans artırıcı tasarımı,
- Elektrolit dağıtıcı tasarımı,
- İç ve dış yalıtım,
- Seri veya paralel elektrolit akışı,

- Elektrolit akış hızı (elektrolit geri döngüsü olup olmaması),
- Tek veya iki kutuplu elektriksel bağlantı,
- Elektrotlar arası boşluk,
- Elektrot alanları,
- Elektrot yapısı dikkate alınmalıdır [27].

Paralel plaka reaktöründe kütle taşınımı;

- Elektrolit akış hızı,
- Elektrolitin reaktöre giriş ve çıkış akışlarının dağılım tasarımı,
- Etkin bir karışma için türbülans arttırıcı tasarımı,
- Elektrot tepkimesi sırasında köpük oluşumu veya elektrot yüzeyinde kalıntıların oluşarak yüzeyin pürüzleşmesi durumunda gerekli alternatif çözümlerin sağlanması ile belirlenebilir.

4.4. Organik Maddelerin Elektrokimyasal Arıtımı

Çoğu fiziko-kimyasal yöntem (yumaklaştırma, pıhtılaştırma, süzme, açık buharlaştırma havuzları, yakma) kısmi bir çözüm sağlamakla birlikte bu sistemleri genellikle bir biyolojik arıtım yöntemi takip eder.

Elektroliz ile, organik ve zehirli kirleticiler, doğrudan anodik süreçle veya hidroksil radikalleri (OH⁻), O₃ gibi yükseltgen ürünler oluşturan dolaylı anodik yükseltgenme ile parçalanır.

Elektrokimyasal arıtım sırasında; grafit, anot olarak kullanılır ve ekonomik ve tatmin edici sonuçlar verir. Ti, Pt, Ru, Ro, Ir ise fenol ve yüzey aktif maddeler gibi biyolojik olarak parçalanması zor olan organik kirleticilerin giderilmesinde elektrokimyasal yükseltgeme yönteminde elektrokataliz olarak kullanılan elektrot malzemeleridir. Genellikle bu tür maddeler biri diğeri üzerine kaplanarak uygulanmakta ve iyi sonuçlar elde edilmektedir.

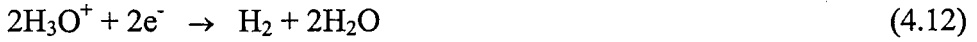
Destek elektrolit olarak kuvvetli yükseltgen olan klorür kullanılarak da dolaylı yükseltgeme gerçekleştirilebilir. O₂, Cl₂, hidroksil radikalleri, O₃ gibi yükseltgenler, yükseltgenebilen organik kirleticilerin tüm miktar ve türlerini yükseltger. Yükseltgeme CO₂ ve H₂O'ya kadar devam eder.

Yükseltgeme süresi; kararlılığa, bileşenlerin derişimine, NaCl'ün derişimine, sıcaklığa, çözelti pH'ına, geri döngü süresine, anot malzemesinin boyutuna, uygulanan akım ve gerilime bağlıdır.

NaCl çözeltisinin elektrolizi sırasında yer alan elektrokimyasal tepkimeler basit değildir ve tam anlamıyla bilinemez. Ancak oluşan ürünlere (Cl₂, ClO₂, O₃, OH⁻, O⁻, H₂O₂, O₂, H₂, CO₂) göre bir değerlendirme yapılabilir.

4.4.1. Tepkime mekanizmaları

Organik maddelerin elektro-yükseltgenmesinde Israilides ve arkadaşları elektrot yüzeyinde gerçekleşen tepkimeler için çeşitli mekanizmalar önermiştir [21]. Buna göre, asit ve bazik çözeltide hidrojenin elektrolitik oluşumu farklı yollarla olur. Asit çözeltisinde, hidrojen katoda taşınan H₃O⁺ iyonu ile oluşur.



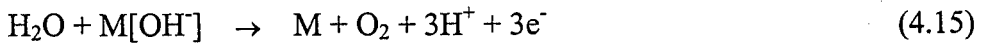
Baz çözeltisinde ise elektronların doğrudan suyla etkileştiği kabul edilir.



Suyun anodik parçalanması ile elektrot aktif yüzeyinde absoblanan hidroksil radikalleri meydana gelir.

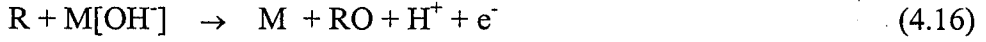


Anot alanının çok yakınında, oksijen gazı (O₂) aşağıdaki tepkime sonucunda oluşur.



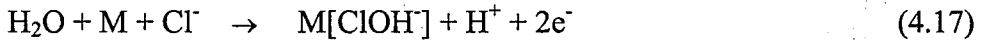
Organik madde içeren sıvı çözeltilerin elektrokimyasal yükseltgenmesi; Ti/Pt, Ti/PbO, Ti/RuO₂, Ti/IrO₂ gibi çoğu zaman kullanılan anot malzemeleri ile

iki adımda gerçekleşir. İlk adım tepkime 4.14'dür. Bundan sonraki tepkimede, absorblanan hidroksil radikalleri organik maddeyi yükseltger.

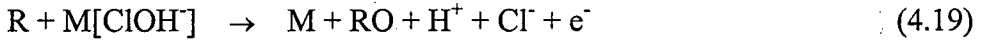
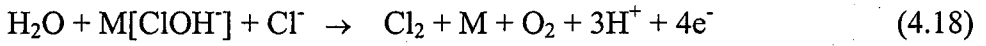


Bu tepkimede RO, yükseltgenen organik maddeyi temsil etmektedir. Suyun anodik parçalanması olduğu sürece hidroksil radikalleri varlığında, RO sürekli üretilecektir.

Bu arada eş zamanlı olarak, anot yüzeyinde aktif klorürün işlem görmesi ile, absorblanan klorohidroksil radikalleri oluşur.



4.15 ve 4.16 tepkimelerine benzer şekilde serbest Cl_2 ve Cl^- ile, aşağıdaki tepkimeler ile oluşur.

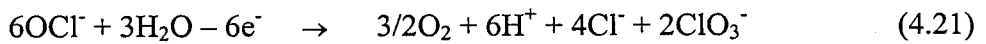


Oluşan serbest Cl_2 , OCI^- ile denge tepkimesi oluşturur.



Birincil elektrokimyasal tepkimeler sonucunda oluşan ürünler; Cl_2 , O_2 , OCI^- ve RO dur. Bu yükseltgenlerin derişimleri arttırıldığında diğer ikincil elektrokimyasal tepkimeler oluşur.

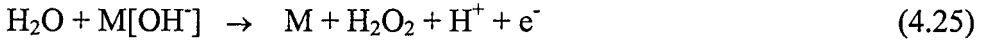
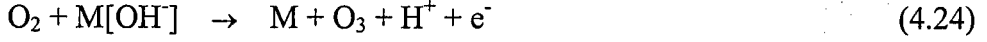
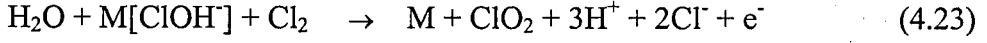
Yüksek sıcaklıkta ve yüksek OCI^- derişiminde ve türbülanslı akış durumunda, kütle aktarım gerçekleşir. Anotta,



tepkimesi meydana gelirken, katotta



tepkimesi oluşur. Aynı zamanda anotta, O_3 , H_2O_2 , ClO_2 yükseltgenleri de oluşur.



Radikallerin, yüksek yükseltgeme potansiyellerinden dolayı ömürleri kısadır ve diğer yükseltgenlerle bozunurlar veya organik maddeleri yükseltgenler. Radikallerin parçalanmasıyla üretilen birincil (Cl_2 , O_2) ve ikincil (ClO_2 , O_3 , H_2O_2) yükseltgenlerin ömürleri oldukça uzundur ve elektrotlardan uzak bir alana diffüze olurlar (dolaylı yükseltgeme).

Organik kirleticilerin doğrudan elektrokimyasal yükseltgeme hızı anodun katalitik aktivitesine, anodun aktif noktasında organik maddelerin difüzyon hızına ve uygulanan akım yoğunluğuna bağlıdır. Dolaylı elektrokimyasal yükseltgeme hızı çözeltideki ikincil yükseltgenlerin difüzyon hızına, sıcaklığa ve pH'a bağlıdır. Doğrudan elektrokimyasal süreçlerde etkin kirletici giderimi sağlanır. Çünkü; ikincil yükseltgenler, tüm organik maddeleri H_2O ve CO_2 ' e çeviremezler.

Sonuç olarak; asit çözeltisinde, O_2 , serbest Cl_2 , O_3 ve ClO_2 ' ler doğrudan yükseltgeme sürecinin son ürünü olan ikincil yükseltgenlerdir. Düşük pH değerinde Cl^- iyonları, serbest klor oluşumu ile giderilirken, yüksek pH değerindeki Cl^- iyonları, klorat oluşumu ile giderilmektedir. Yalnızca seyreltik bazlı durumlarda serbest hidroksil radikallerinin sürekli oluşmasıyla başlangıç Cl^- derişimleri kararlı kalmaktadır.

Çizelge 4.3' de Ti/RuO_2 kullanarak yapılan elektroliz sırasında atıksu ve tuz çözeltisinde gerçekleşmesi olası tepkimeler özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 Elektroliz sırasında gerçekleşen elektrokimyasal tepkimeler [21]

Anot	
Birincil Elektrokimyasal Tepkimeler	
$H_2O + M + Cl^-$	$\rightarrow M[ClOH] + H^+ + 2e^-$
$H_2O + M$	$\rightarrow M[OH] + H^+ + e^-$
İkincil Elektrokimyasal Tepkimeler	
$6OCl^- + 3H_2O - 6e^-$	$\rightarrow 3/2O_2 + 6H^+ + 4Cl^- + 2ClO_3^-$
Katot	
Birincil Elektrokimyasal Tepkimeler	
$2H_3O^+ + 2e^-$	$\rightarrow H_2 + 2H_2O$
$2H_2O + 2e^-$	$\rightarrow H_2 + 2OH^-$
İkincil Elektrokimyasal Tepkimeler	
$OCl^- + H_2O + 2e^-$	$\rightarrow Cl^- + 2OH^-$
Yükseltgenme Tepkimeleri	
Anot Yakınında Gerçekleşen Tepkimeler	
$R + M[OH]$	$\rightarrow M + RO + H^+ + e^-$
$R + M[ClOH]$	$\rightarrow M + RO + H^+ + Cl^- + e^-$
$H_2O + M[OH]$	$\rightarrow M + O_2 + 3H^+ + 3e^-$
$H_2O + M[ClOH] + Cl^-$	$\rightarrow Cl_2 + M + O_2 + 3H^+ + 4e^-$
Anotun Uzağında Gerçekleşen Tepkimeler	
$R + O_2 + 2H^+$	$\rightarrow RO + H_2O - 2e^-$
$R + Cl_2$	$\rightarrow RCl + Cl^- - e^-$
$R + OH^-$	$\rightarrow RO + H^+ + 2e^-$
$RCl + OH^-$	$\rightarrow RO + Cl^- + H^+ + e^-$
Denge Tepkimesi	
$Cl_2 + 2OH^-$	$\rightarrow H_2O + OCl^- + Cl^-$

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Zeytinyağı üretimi sonrasında açığa çıkan atıksuyun organik madde, askıda katı madde, yağ-gres ve fenol içeriği oldukça yüksektir. Bu nedenle karasuyun arıtımı ve bertaraf edilmesi, önemli çevre sorunları arasındadır. Yüksek kirlilik içeren karasuyun arıtımı için bugüne kadar pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise; karasuyun elektrokimyasal bir yöntem olan elektrokimyasal yükseltgeme ile arıtılması çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle Balıkesir/Ayvalık'tan alınan atıksuyun özellikleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir. Atıksu iki fazlı sürekli yöntem ile zeytinyağı üreten bir tesisten alındığından kirletici derişimleri üç fazlı sürekli yöntem ile veya klasik yöntem ile üretim yapan tesislerinkinden düşüktür.

Çizelge 5.1 Çalışılan zeytinyağı atıksuyunun bileşimi

Parametre	Değeri
KOİ, (mgL ⁻¹)	41000
AKM, (mgL ⁻¹)	28
Yağ-Gres, (mgL ⁻¹)	1970
Toplam Fenol, (mgL ⁻¹)	215
pH	4,57
Bulanıklık, (NTU)	4050
İletkenlik, (mScm ⁻¹)	6,9

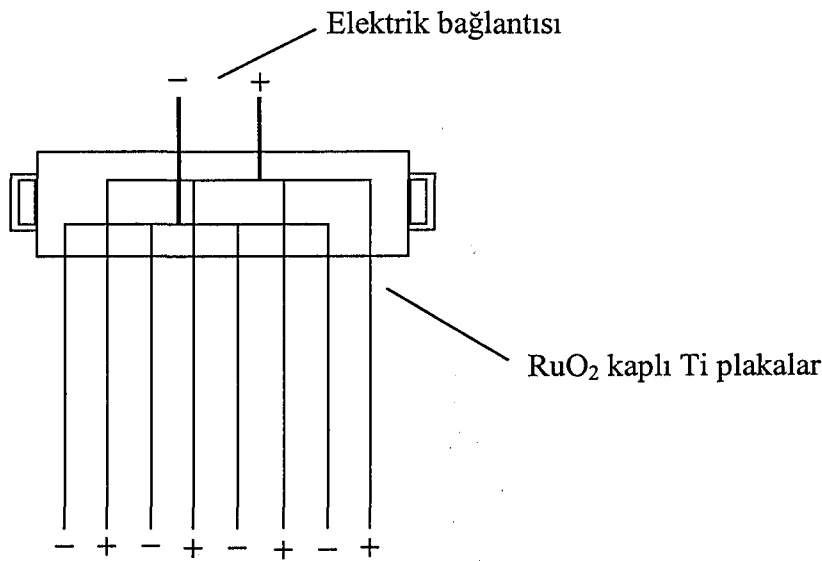
5.1. Zeytinyağı Atıksuyunun Arıtımında Elektrokimyasal Yükseltgenmenin Uygulanması

Yapılan çalışmada Çizelge 5.1'de verilen özelliklere sahip karasu kullanılmıştır. Deneyler, rutenyum oksit (RuO₂) kaplı titanyum (Ti) plaka elektrotları olan, 5 bölmeden oluşan ve toplam hacmi 270 mL olan reaktör kullanarak kesikli geri döngülü sistemde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.2'de elektrokimyasal hücrenin özelliği özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 Elektrokimyasal hücrenin özelliği

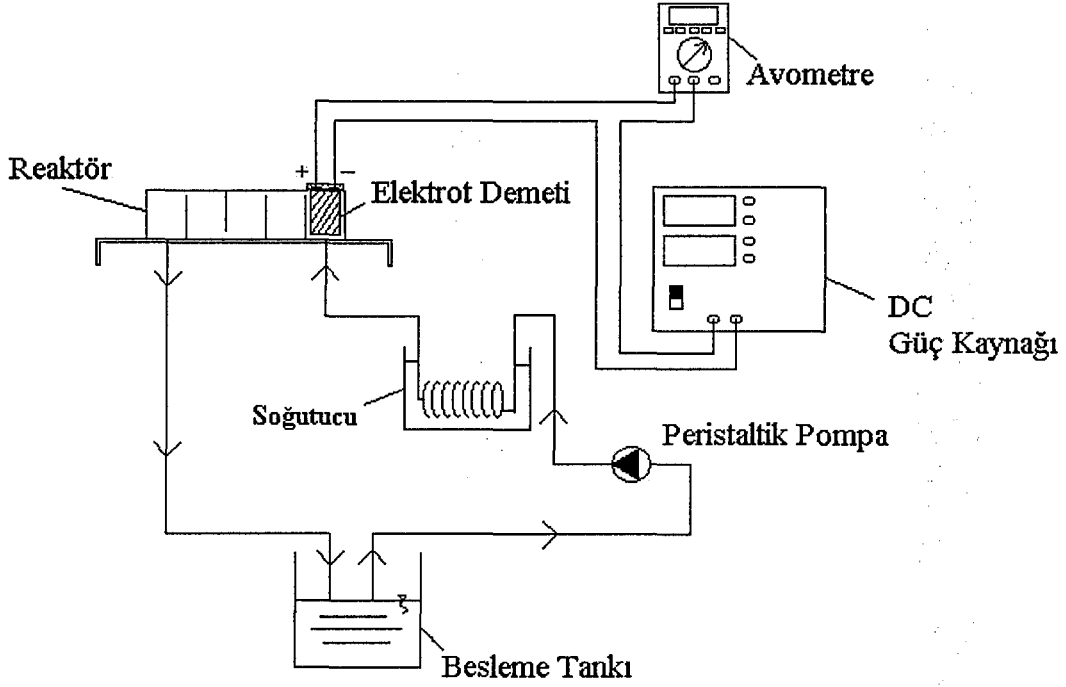
Anot ve Katot	RuO ₂ kaplı Ti
Elektrot Tasarımı	Paralel Plaka
Tek Elektrot Demetinin Toplam Yüzey Alanı	96 cm ²
Tek Elektrot Demetindeki Elektrot Sayısı	4 anot, 4 katot
Reaktördeki Bölme Sayısı	5
Bir Bölmenin Boyutları	4,5 x 4 x 3 cm
Bir Bölmenin Hacmi	54 mL

Çalışmalarda kullanılan rutenyum oksit kaplı titanyum plakaların dizilişi şematik olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 RuO₂ kaplı Ti plakaların dizilişi

Besleme kabından alınan çözelti bir peristaltik pompa yardımıyla reaktöre beslenmiştir. Deneyle sırasında atıksuyun sıcaklığını kontrol altında tutmak için reaktör öncesinde bir soğutucu kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların yapıldığı düzeneğin akım şeması Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 Deney düzeneği akım şeması

5.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler

Zeytinyağı endüstrisi atık suyuyla yapılan çalışmada destek elektrolit olarak kolay sağlanabildiği, ucuz ve renk gideriminde etkin olduğu için sodyum klorür (NaCl) kullanılmıştır.

5.1.2. Kullanılan yardımcı araçlar

Çalışmalarda; akım; düşük akım yoğunluklarında, 98V - 8A ve yüksek akım yoğunluklarında, 13,8V - 70A girişli Statron marka güç kaynaklarından sağlanmıştır. Geçen akım ve gerilim; Fluke 111 marka True-Rms Multimetre ve DT-3800 model dijital ampermetre kullanılarak ölçülmüş ve Masterflex marka peristaltik pompa ile çözelti akışı sağlanmıştır.

Analizler için kullanılan diğer araçlar ise Çizelge 5.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.3 Deneysel çalışmalarda kullanılan araç ve gereçler

Araç ve Gereçler	Marka ve Modeli
Santrifüj	ElektroMeg (5000 devir/dk)
Spektrofotometre	DR lange, Cadas 100 ve DR-2000 Hach Marka
KOİ reaktörü	230 V- 1,2 A Girişli Hach Marka
PH Metre	Hanna pH 301 Marka
İletkenlik Ölçer	İnolab Cond. Level 1 Marka
Bulanıklık Ölçer	2100 P Turbidimeter Hach Marka
Palintest	Photometer 7000 Marka
Su banyosu	Polyscience Marka

5.1.3. Tayin

Belirli zaman aralıklarında alınan numulere; bulanıklık, yağ-gres, fenol ve KOİ derişimleri belirlenmiştir. Alınan numuneler öncelikle 10 dk süreyle 3000 devir/dk hızla santrifüjlenmiş daha sonra analizleri yapılmıştır. Yağ-gres derişimi standart metotla 5520C'nolu yöntem kullanılarak ölçülmüştür [31]. Fenol ve KOİ derişimleri, standart metotla 5220D'nolu yöntem kullanarak spektrofotometrik olarak ölçülmüştür [31]. Bulanıklık ise Hach marka Türbidimetre ile ölçülmüştür.

5.1.4. Deney sonuçlarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler

Deneysel çalışmaların sonuçlarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

Yüzde giderim

$$\%Giderim = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100 \quad (5.1)$$

C_0 : başlangıç derişimi (mgL^{-1})

C : son derişim (mgL^{-1})

Akım verimi

$$\text{Akım verimi} = \frac{\%Giderim \times C_0 \times F \times V_{\text{çözelti}}}{I \times t} \quad (5.2)$$

I: Akım (A)

F: Faraday sabiti (96500 Asmol⁻¹)

V_{çözelti}: çözelti hacmi (L)

t: zaman (s)

Enerji tüketimi

$$\text{Enerji tüketimi (kWh(kgKOİ)}^{-1}) = \frac{V \times I \times t}{(C_0 - C) \times V_{\text{çözelti}}} \quad (5.3)$$

V: gerilim (Volt)

5.2. Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Çalışmalar farklı akım yoğunluklarında (i: 25, 45, 65, 75, 85, 105 ve 135 mAcm⁻²) ve değişen destek elektrolit derişimlerinde (1, 2, 3 ve 5M NaCl) ve akış hızlarında (L: 1,10; 4,60; 7,90 cm³sn⁻¹), farklı sıcaklıklarda (T: 7, 20 ve 40 °C) ve elektrot demeti sayılarında gerçekleştirilmiştir. İşlem süresinin elektrokimyasal giderim üzerine etkisini görmek için de bir çalışma yapılmıştır. İşlem gören atıksu hacmi tüm deneysel çalışmalarda 400 mL'dir. Deneysel çalışmalar elektrot demeti sayısının etkisinin incelendiği deneyler haricinde tek elektrot demeti ile ve sıcaklığın etkisinin incelendiği deneyler haricinde 20 °C'de gerçekleştirilmiştir.

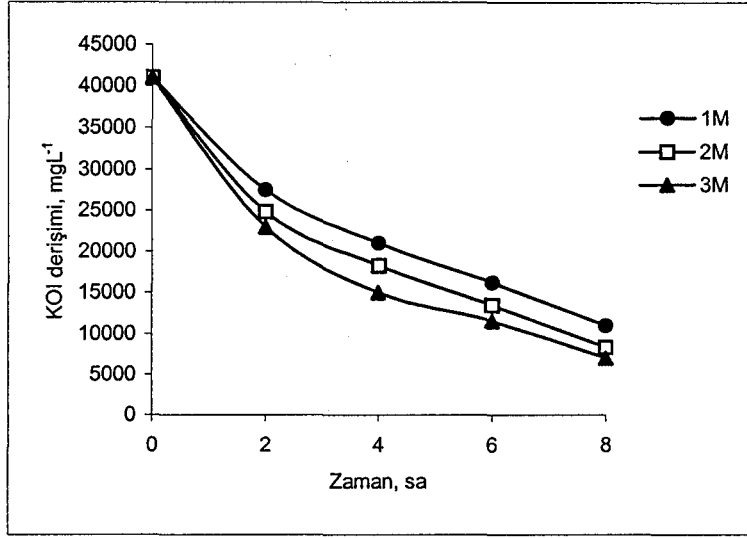
5.2.1. Destek elektrolit derişiminin etkisinin incelendiği deney sonuçları

1M, 2M ve 3M NaCl destek elektrolit derişimlerinin elektroliz işlemine etkisini incelemek amacıyla, 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, 45 mAcm⁻² akım yoğunluğu uygulanarak her 2 saatlik zaman dilimlerinde örnek alınmış KOİ, fenol ve bulanıklık, 8.saat sonunda ise yağ-gres derişimleri belirlenmiştir. Elde edilen

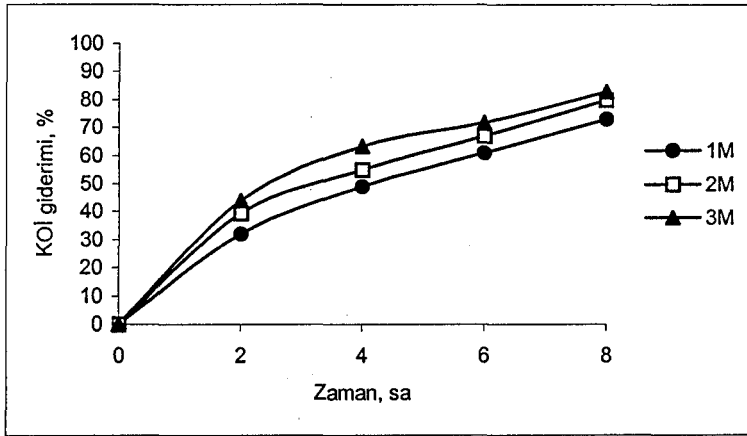
sonuçlar izelge 5.4’de gösterilmiştir. KOİ derişimi ve KOİ gideriminin zamanla değişimi sırasıyla Şekil 5.3-4’de verilmiştir. Akım verimi ve enerji tkretiminin NaCl derişimi ile değişimi ise Şekil 5.5’te verilmiştir. Fenol derişimi ve fenol gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.6-7’de verilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi ise Şekil 5.8’de, bulanıklık gideriminin zamana göre değişimi ise Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Farklı NaCl derişimleri için 45mAc^{m-2} akım yoğunluğunda elde edilen deney sonuçları. L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 C

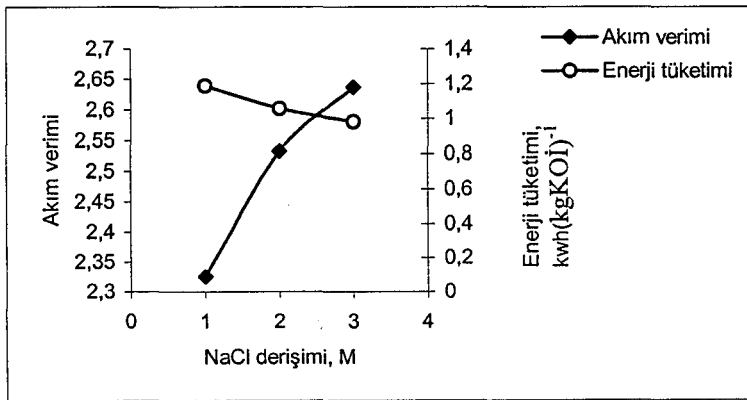
NaCl derişimi	Parametre/Saat	0	2	4	6	8
1M	pH	4,57	7,84	7,71	7,99	8,36
	İletkenlik, mScm ⁻¹	92	91	87	91,4	92,1
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	27500	21000	16167	11000
	KOİ giderimi, %	0	32	49	61	73
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	6,6	2,8	1,7	1
	Fenol giderimi, %	-	96,9	98,6	99,2	99,5
	Bulanıklık, NTU	4050	250	120	50	35
	Bulanıklık giderimi, %	-	93,8	97	98,7	99,1
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	78,8
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	96
2M	pH	4,57	8,2	7,64	7,75	8,05
	İletkenlik, mScm ⁻¹	143,5	144,5	144,5	146,5	146,2
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	24800	18333	13500	8333
	KOİ giderimi, %	0	39,5	55	67	80
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3,3	2,1	1,2	0,8
	Fenol giderimi, %	-	98,4	99	99,4	99,6
	Bulanıklık, NTU	4050	200	100	40	25
	Bulanıklık giderimi, %	-	95	97,5	99	99,4
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	60
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	96,9
3M	pH	4,29	7,82	7,7	7,84	8,2
	İletkenlik, mScm ⁻¹	185,6	187,7	185,4	185,7	182,7
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	23000	15000	11500	7000
	KOİ giderimi, %	0	44	63,4	72	82,9
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,6	1,4	0,5	0,3
	Fenol giderimi, %	-	98,7	99,3	99,8	99,8
	Bulanıklık, NTU	4050	150	80	30	12
	Bulanıklık giderimi, %	-	96,2	98	99,2	99,7
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	52
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	97,3



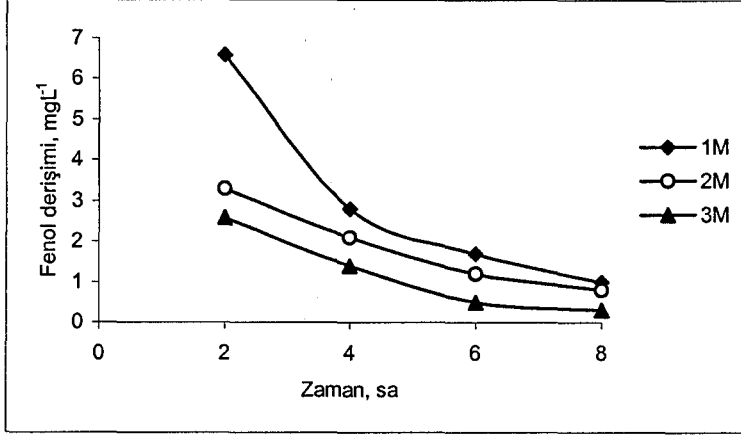
Şekil 5.3 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ derişiminin zamanla değişimi. $L: 1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$,
 $i: 45 \text{ mAc m}^{-2}$, $T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$



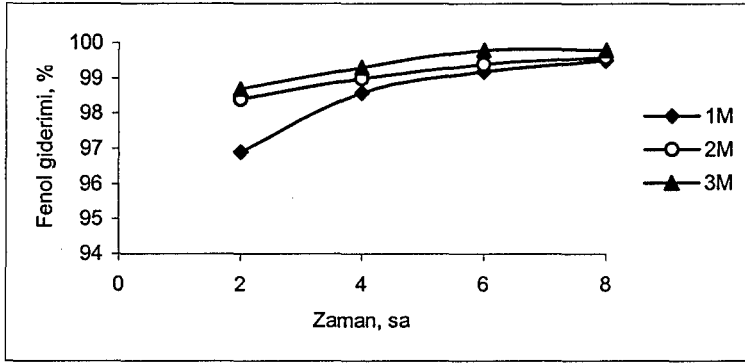
Şekil 5.4 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ gideriminin zamanla değişimi. $L: 1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$,
 $i: 45 \text{ mAc m}^{-2}$, $T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$



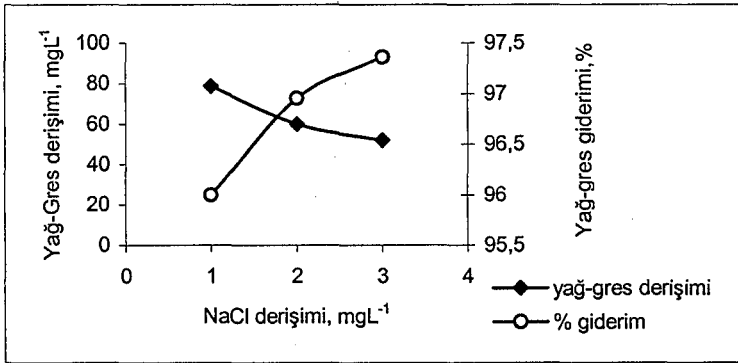
Şekil 5.5 Farklı NaCl derişimlerinde akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi.
 $L: 1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, $i: 45 \text{ mAc m}^{-2}$, $T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$



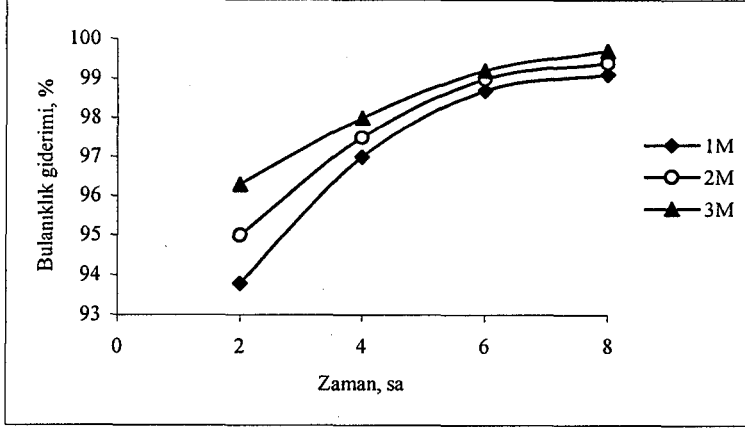
Şekil 5.6 Farklı NaCl derişimlerinde fenol derişiminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 45mAc^m-², T: 20 °C



Şekil 5.7 Farklı NaCl derişimlerinde fenol gideriminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 45mAc^m-², T: 20 °C



Şekil 5.8 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi. L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 45mAc^m-², T: 20 °C



Şekil 5.9 Farklı NaCl derişimlerinde bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$,
i: 45 mAc m^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$

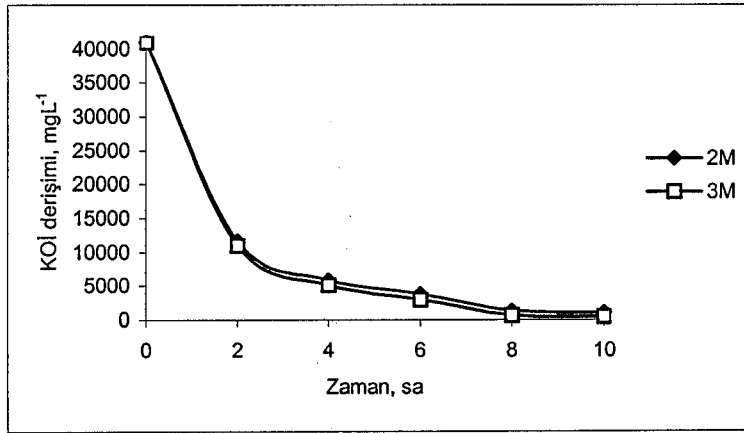
$1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$ atıksu akış hızında 2M ve 3M NaCl derişimlerinin elektrolize etkisi 105 mAc m^{-2} akım yoğunluğunda da incelenmiştir. Her iki saatte bir örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri belirlenmiştir. Yağ-gres analizi ise 10.saat sonunda yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar izelge 5.5'te grlmektedir. KOİ derişimi ve KOİ gideriminin zamanla değişimi ve akım verimi ve enerji tkzetiminin NaCl derişimi ile değişimi sırasıyla Şekil 5.10-12'de verilmiştir. Fenol derişimi ve fenol gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.13-14'de verilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi ise Şekil 5.15'de, bulanıklık gideriminin zamanla değişimi ise Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 Farklı NaCl derişimleri için 105 mAc m^{-2} akım yoğunluğunda elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$

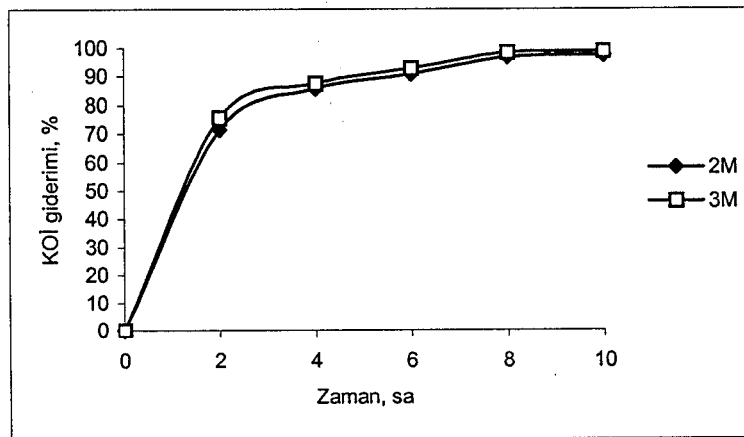
NaCl derişimi	Parametre/Saat	0	2	4	6	8	10
2M	pH	4,55	7,94	8,35	8,74	8,89	8,93
	İletkenlik, mSc m^{-1}	144	140	138,3	129,8	129	128,3
	KOİ derişimi, mg L^{-1}	41000	11667	5900	3800	1333	1083
	KOİ giderimi, %	0	71,5	85,6	90,7	96,7	97,4
	Fenol derişimi, mg L^{-1}	215	2,5	1,2	0,6	0,4	0,2
	Fenol giderimi, %	-	98,7	99,4	99,7	99,8	99,9
	Bulanıklık, NTU	4050	70	50	25	21	19
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,2	98,7	99,2	99,4	99,5

Çizelge 5.5 Farklı NaCl derişimleri için 105 mAc m^{-2} akım yoğunluğunda elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (devamı)

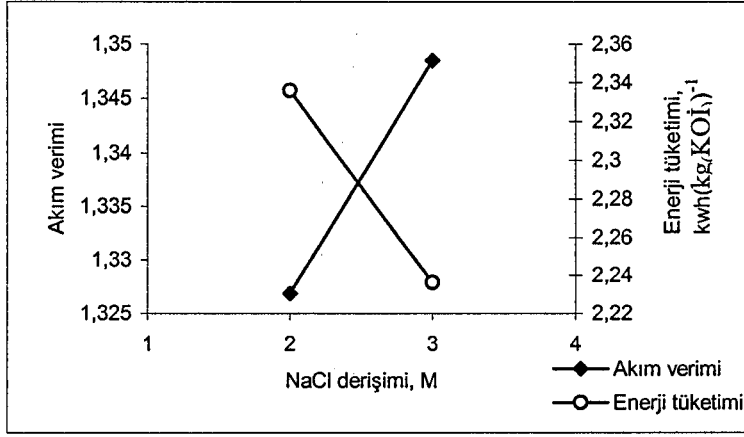
NaCl derişimi	Parametre/Saat	0	2	4	6	8	10
2M	Yağ-gres derişimi, mgL^{-1}	1970	-	-	-	-	42
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	97,8
3M	pH	4,52	8,13	8,64	8,78	8,93	9,11
	İletkenlik, mSc m^{-1}	185	183,1	176,5	173,6	170,3	170
	KOİ derişimi, mgL^{-1}	41000	11000	5100	2900	666	433
	KOİ giderimi, %	0	75,6	87,5	92,9	98,3	98,9
	Fenol derişimi, mgL^{-1}	215	2,2	0,9	0,4	0,2	0
	Fenol giderimi, %	-	98,9	99,6	99,8	99,9	100
	Bulanıklık, NTU	4050	65	45	21	19	17
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,3	98,8	99,3	99,5	99,6
	Yağ-gres derişimi, mgL^{-1}	1970	-	-	-	-	38
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	98



Şekil 5.10 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ derişiminin zamanla değışimi. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 105 mAc m^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$

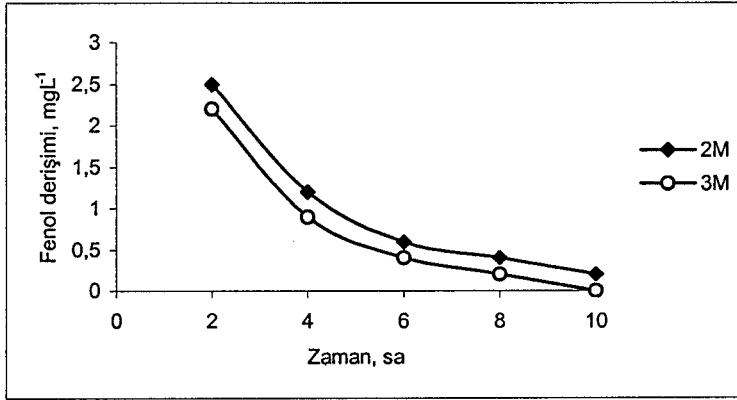


Şekil 5.11 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ gideriminin zamanla değışimi. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 105 mAc m^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$



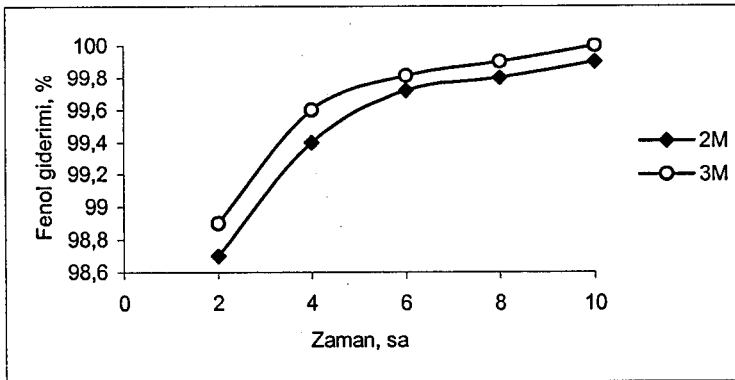
Şekil 5.12 Farklı NaCl derişimlerinde akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi.

L: $1,10\text{cm}^3\text{sn}^{-1}$, i: 105mAcm^{-2} , T: $20\text{ }^\circ\text{C}$



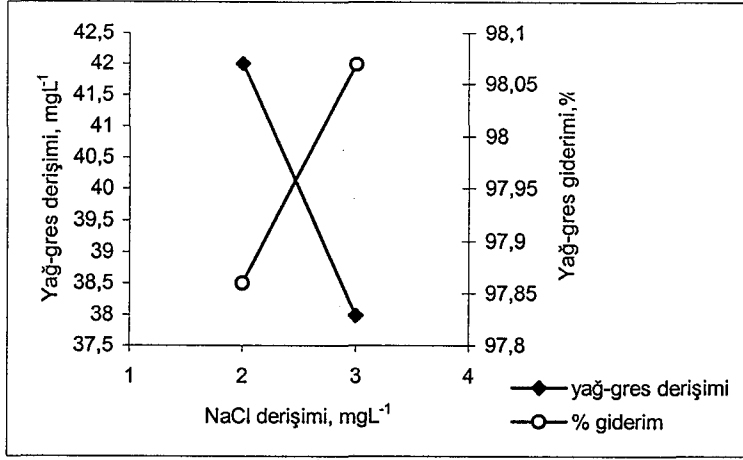
Şekil 5.13 Farklı NaCl derişimlerinde fenol derişiminin zamanla değişimi. L: $1,10\text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$,

i: 105mAcm^{-2} , T: $20\text{ }^\circ\text{C}$



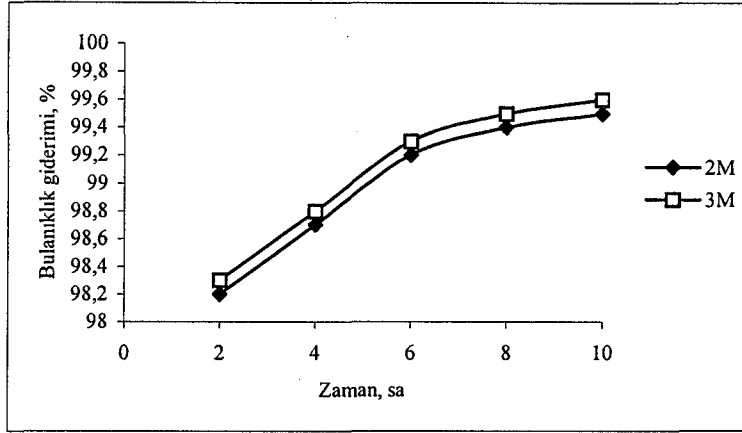
Şekil 5.14 Farklı NaCl derişimlerinde fenol gideriminin zamanla değişimi. L: $1,10\text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$,

i: 105mAcm^{-2} , T: $20\text{ }^\circ\text{C}$



Şekil 5.15 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi.

L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 105mAcm⁻², T: 20 °C



Şekil 5.16 Farklı NaCl derişiminde bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm³sn⁻¹, i: 105mAcm⁻², T: 20 °C

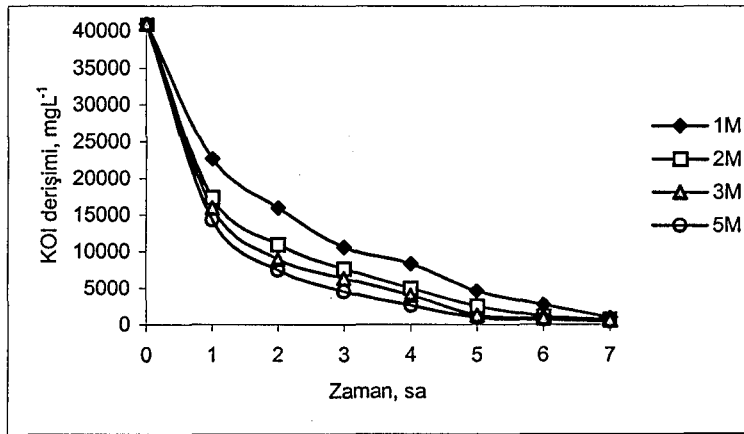
Destek elektrolit derişiminin etkisini belirlemek amacıyla yapılan diğer bir çalışmada, 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, 135 mAcm⁻² akım yoğunluğunda elektroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir saatte örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri belirlenmiştir. Yağ-gres analizi ise 7.saat sonunda yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6'da görülmektedir. KOİ derişimi, KOİ gideriminin zamanla değişimi ve akım verimi ve enerji tüketiminin NaCl derişimiyle değişimi sırasıyla Şekil 5.17-19'da gösterilmiştir. Fenol derişimi ve fenol gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.20-21'de verilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi Şekil 5.22'de, bulanıklık gideriminin zamanla değişimi ise Şekil 5.23'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Farklı NaCl değişimleri için 135 mAc m^{-2} akım yoğunluğunda elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 135 mAc m^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$

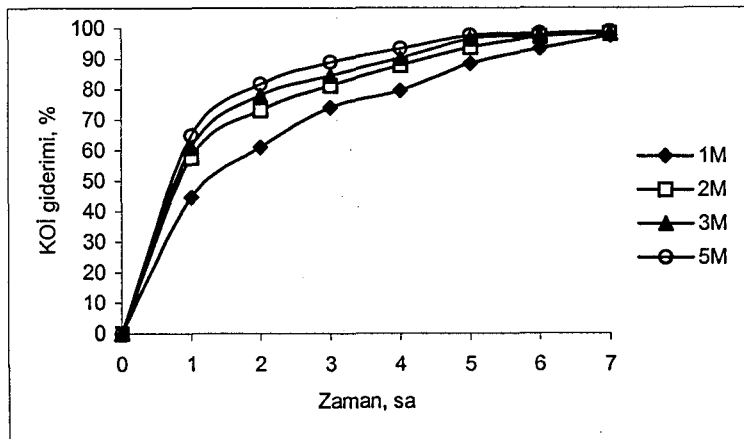
NaCl		0	1	2	3	4	5	6	7
Derişimi	Parametre/Saat								
1M	pH	4,57	8,27	8,21	8,22	8,25	8,29	8,35	8,4
	İletkenlik, mSc m^{-1}	92	85	76,5	74	73	72,1	70	68
	KOİ derişimi, mg L^{-1}	41000	22667	16000	10667	8333	4667	2667	1000
	KOİ giderimi, %	0	44,7	61	74	79,6	88,6	93,4	97,6
	Fenol derişimi, mg L^{-1}	215	4,2	2,7	1,5	1	0,8	0,5	0,3
	Fenol giderimi, %	-	98	98,7	99,3	99,5	99,6	99,7	99,8
	Bulanıklık, NTU	4050	64	54	50	43	37	32	28
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,4	98,6	98,7	98,9	99,1	99,2	99,3
	Yağ-gres derişimi, mg L^{-1}	1970	-	-	-	-	-	-	35
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	98,2
2M	pH	4,53	8,07	8,14	8,28	8,39	8,64	8,73	8,84
	İletkenlik, mSc m^{-1}	144	137	132,2	130,1	129	128,4	125	123
	KOİ derişimi, mg L^{-1}	41000	17333	11000	7667	5000	2500	1150	734
	KOİ giderimi, %	0	57,7	73,1	81,3	87,8	93,9	97,2	98,2
	Fenol derişimi, mg L^{-1}	215	3,9	2,3	1,3	0,8	0,6	0,4	0,2
	Fenol giderimi, %	-	98,1	98,9	99,4	99,6	99,7	99,8	99,9
	Bulanıklık, NTU	4050	60	52	48	35	30	27	24
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,5	98,7	98,9	99,07	99,2	99,3	99,4
	Yağ-gres derişimi, mg L^{-1}	1970	-	-	-	-	-	-	285
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	98,5
3M	pH	4,55	8,02	7,96	8,12	8,32	8,45	8,56	8,67
	İletkenlik, mSc m^{-1}	185	180	179,7	174,2	170,1	168,2	166	163
	KOİ derişimi, mg L^{-1}	41000	16000	9000	6333	4000	1333	904	571
	KOİ giderimi, %	0	60,9	78	84,5	90,2	96,7	97,7	98,6
	Fenol derişimi, mg L^{-1}	215	3,7	2	1,1	0,6	0,4	0,2	0,1
	Fenol giderimi, %	-	98,2	99	99,5	99,7	99,8	99,9	99,9
	Bulanıklık, NTU	4050	54	48	42	31	27	23	19
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,65	98,84	99,02	99,2	99,3	99,4	99,5
	Yağ-gres derişimi, mg L^{-1}	1970	-	-	-	-	-	-	23
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	98,83

Çizelge 5.6 Farklı NaCl değişimleri için 135 mAc m^{-2} akım yoğunluğunda elde edilen deney sonuçları. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 135 mAc m^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (devamı)

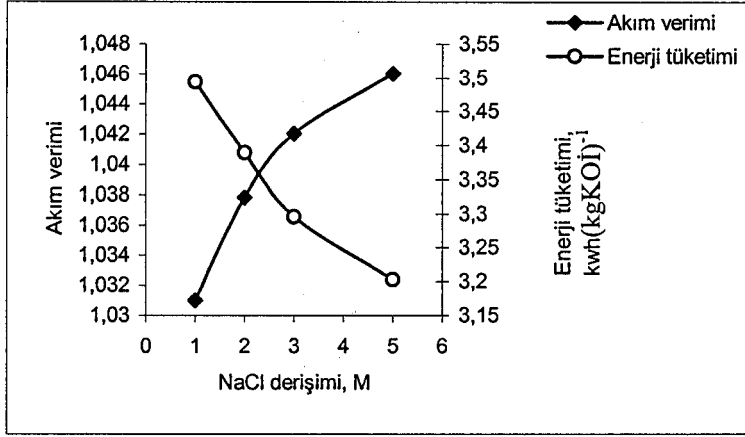
NaCl		0	1	2	3	4	5	6	7
Değişimi	Parametre/Saat								
5M	pH	4,57	8,19	7,91	7,9	7,8	8,06	8,14	8,35
	İletkenlik, mSc m^{-1}	220	218	213	210	209	202	198,7	195,1
	KOİ derişimi, mg L^{-1}	41000	14333	7500	4500	2640	950	667	416
	KOİ giderimi, %	0	65	81,7	89	93,5	97,6	98,4	99
	Fenol derişimi, mg L^{-1}	215	3,3	1,7	0,8	0,4	0,2	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,5	99,2	99,6	99,8	99,9	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	50	45	39	28	25	20	17
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,76	98,91	99,1	99,3	99,4	99,5	99,6
	Yağ-gres derişimi, mg L^{-1}	1970	-	-	-	-	-	-	20
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	98,9



Şekil 5.17 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ derişiminin zamanla değişimi. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 135 mAc m^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$

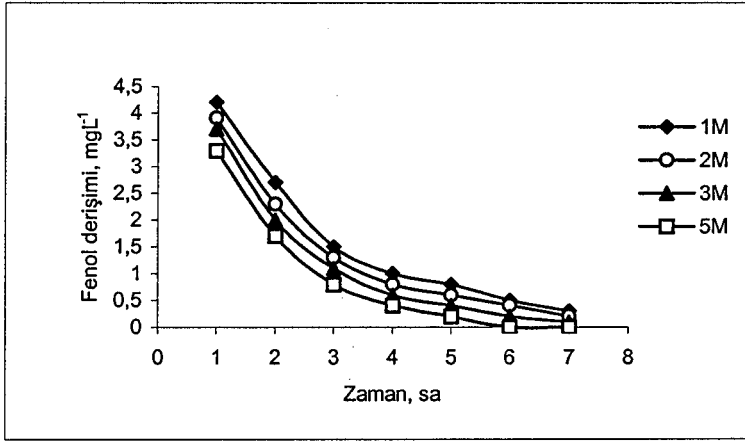


Şekil 5.18 Farklı NaCl derişimlerinde KOİ gideriminin zamanla değişimi. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 135 mAc m^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$



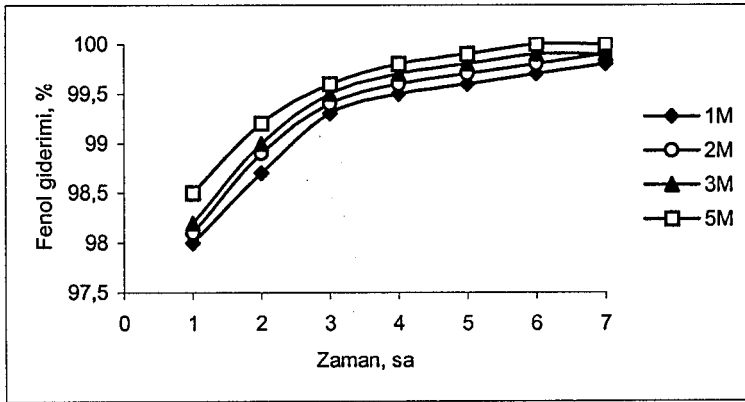
Şekil 5.19 Farklı NaCl derişimlerinde akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi.

L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 135 mAcm^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$



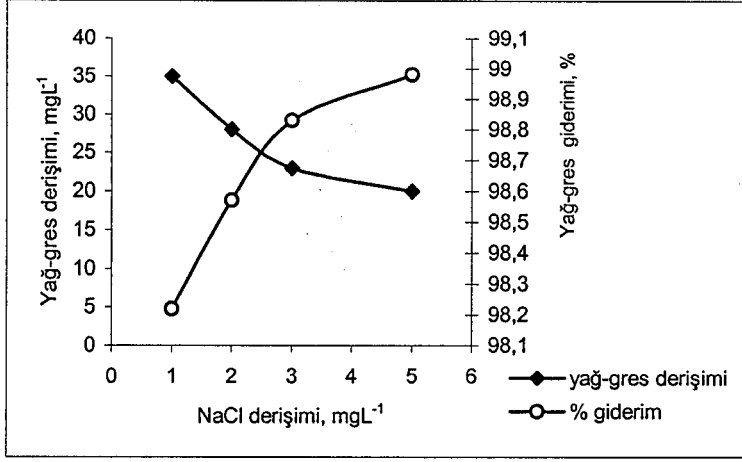
Şekil 5.20 Farklı NaCl derişimlerinde fenol derişiminin zamanla değişimi. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$,

i: 135 mAcm^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$

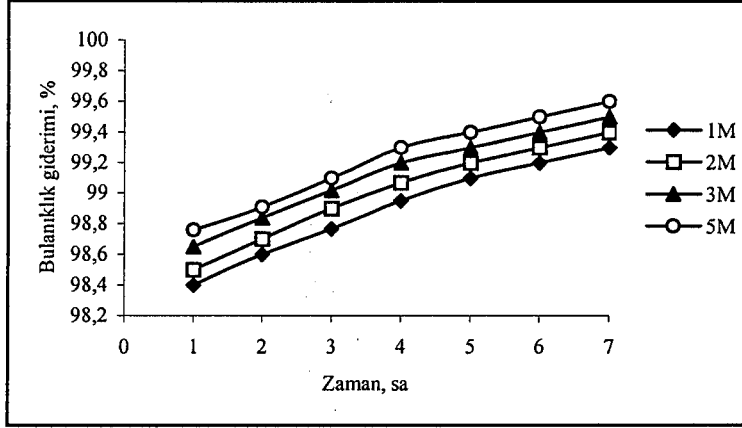


Şekil 5.21 Farklı NaCl derişimlerinde fenol gideriminin zamanla değişimi. L: $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$,

i: 135 mAcm^{-2} , T: $20 \text{ }^\circ\text{C}$



Şekil 5.22 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin NaCl derişimi ile değişimi. L: 1,10 cm³sn⁻¹,
i: 135mAc m⁻², T: 20 °C



Şekil 5.23 Farklı NaCl derişimlerinde bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. L: 1,10 cm³sn⁻¹,
i: 135mAc m⁻², T: 20 °C

5.2.2. Akım yoğunluğunun etkisinin incelendiği deney sonuçları

2M NaCl derişimi, 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında akım yoğunluğunun etkisi incelenmiştir. Her iki saatte bir örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri, 8.saat sonunda ise yağ-gres derişimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7'de gösterilmiştir. KOİ derişimi, KOİ gideriminin zamanla değişimi ve akım veriminin ve enerji tüketiminin akım yoğunluğuyla değişimi sırasıyla Şekil 5.24-26'da gösterilmiştir. Fenol derişimi ve fenol gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.27-28'de verilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin akım yoğunluğuyla değişimi ise Şekil 5.29'da, bulanıklık gideriminin zamanla değişimi ise Şekil 5.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 2M NaCl derişimi için farklı akım yoğunluklarında elde edilen deney sonuçları.

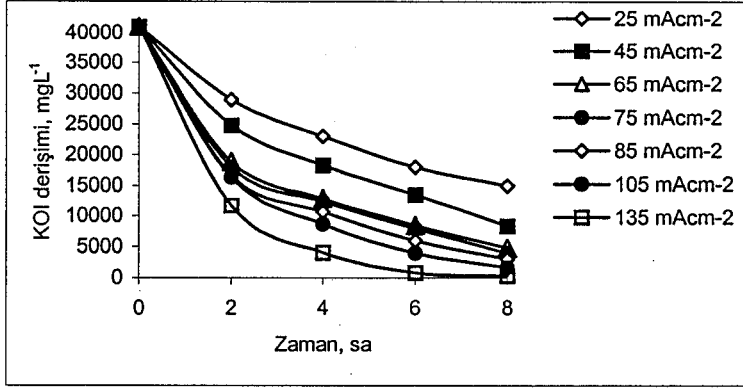
L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

Akım Yoğunluğu	Parametre/Saat	0	2	4	6	8
25 mAcm ⁻²	pH	4,35	7,75	7,87	7,38	7,74
	İletkenlik, mScm ⁻¹	143	144,2	146,2	149,5	151,2
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	29000	23000	18000	15000
	KOİ giderimi, %	0	29	44	56	63
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	5,1	3,6	2,1	1,2
	Fenol giderimi, %	-	97,6	98,3	99	99,4
	Bulanıklık, NTU	4050	240	150	60	37
	Bulanıklık giderimi, %	-	94	97	98,5	99
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	92
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	95,32
45 mAcm ⁻²	pH	4,57	8,2	7,64	7,75	8,05
	İletkenlik, mScm ⁻¹	143,5	144,5	144,5	146,5	146,2
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	24800	18333	13500	8333
	KOİ giderimi, %	0	39,5	55	67	80
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3,3	2,1	1,2	0,8
	Fenol giderimi, %	-	98,4	99	99,4	99,6
	Bulanıklık, NTU	4050	200	100	40	25
	Bulanıklık giderimi, %	-	95	97,4	98,8	99,25
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	60
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	96,95
65 mAcm ⁻²	pH	4,45	7,77	8	8,12	8,5
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144,2	146	146,5	148	152,6
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	18833	12833	8500	4833
	KOİ giderimi, %	0	54	69	80	88
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3	1,7	0,9	0,6
	Fenol giderimi, %	-	98,6	99,2	99,5	99,7
	Bulanıklık, NTU	4050	150	85	35	20
	Bulanıklık giderimi, %	-	96	97,9	99,1	99,5
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	55
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	97,2

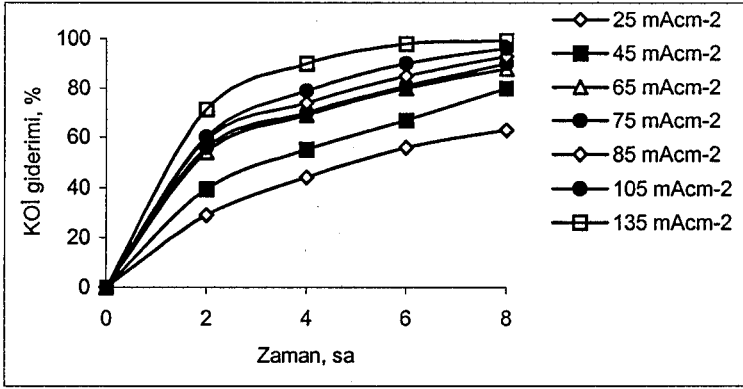
Çizelge 5.7 2M NaCl derişimi için farklı akım yoğunluklarında elde edilen deney sonuçları.

L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C (devamı)

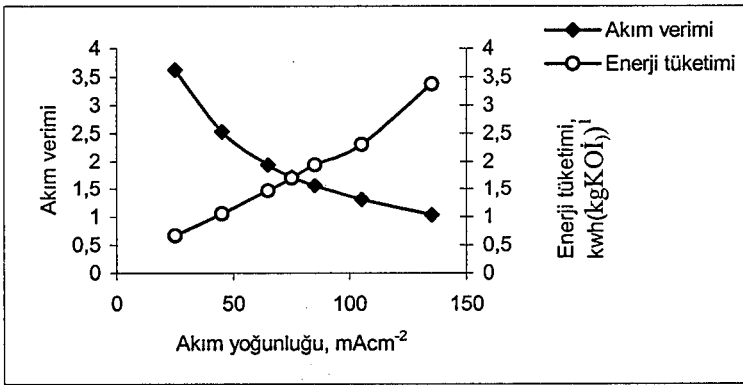
Akım Yoğunluğu	Parametre/Saat	0	2	4	6	8
75 mAc ^{m-2}	pH	4,5	7,87	7,54	8,06	8,4
	İletkenlik, mSc ^{m-1}	144,1	143,1	144,5	144,4	149,5
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	18000	12333	8000	4000
	KOİ giderimi, %	0	56	70	81	90
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,6	1,4	0,7	0,4
	Fenol giderimi, %	-	98,7	99,3	99,65	99,8
	Bulanıklık, NTU	4050	120	70	27	18
	Bulanıklık giderimi, %	-	97	98,2	99,3	99,55
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	52
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	97,36
85 mAc ^{m-2}	pH	4,55	8,06	8,39	8,75	8,97
	İletkenlik, mSc ^{m-1}	144	142	142,6	145,2	151,6
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	16667	10667	6000	3000
	KOİ giderimi, %	0	59	74	85	93
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,4	1,2	0,5	0,3
	Fenol giderimi, %	-	98,8	99,4	99,76	99,85
	Bulanıklık, NTU	4050	100	60	24	14
	Bulanıklık giderimi, %	-	97,5	98,5	99,4	99,65
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	50
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	97,4
105 mAc ^{m-2}	pH	4,5	7,87	8,12	8,47	8,65
	İletkenlik, mSc ^{m-1}	144	139,8	138,6	140,9	144
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	16333	8667	4000	1667
	KOİ giderimi, %	0	60	79	90	96
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,2	0,9	0,4	0,2
	Fenol giderimi, %	-	98,9	99,6	99,81	99,9
	Bulanıklık, NTU	4050	70	52	20	11
	Bulanıklık giderimi, %	-	98	98,8	99,5	99,71
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	45
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	97,7
135 mAc ^{m-2}	pH	4,57	8,2	8,27	8,35	8,62
	İletkenlik, mSc ^{m-1}	144	125,1	119	112	105
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	11667	4100	833	333
	KOİ giderimi, %	0	71,5	90	97,8	99,1
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2	0,6	0,3	0
	Fenol giderimi, %	-	99	99,7	99,86	100
	Bulanıklık, NTU	4050	61	46	16	9
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,4	99,1	99,6	99,7
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	25
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	98,7



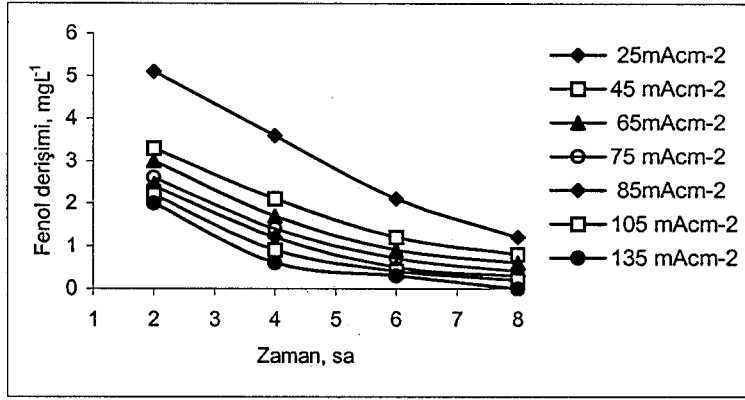
Şekil 5.24 Farklı akım yoğunluklarında KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



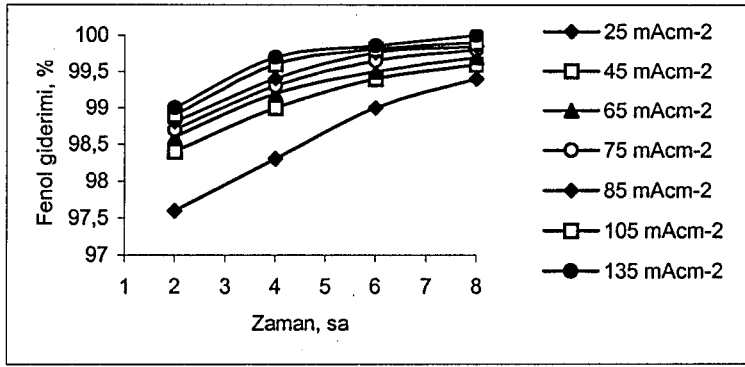
Şekil 5.25 Farklı akım yoğunluklarında KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



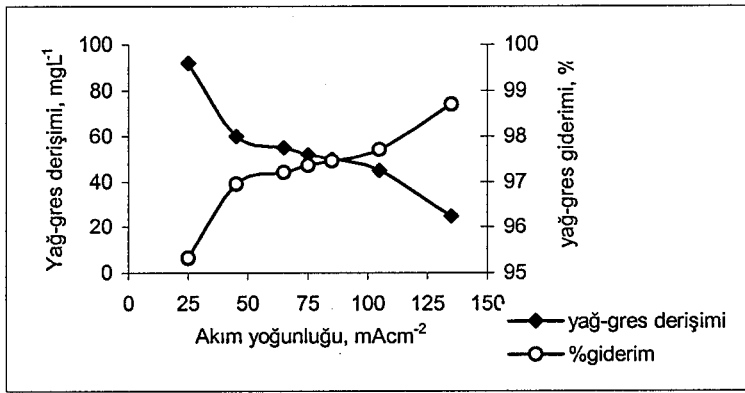
Şekil 5.26 Farklı akım yoğunluklarında akım veriminin ve enerji tüketimin değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



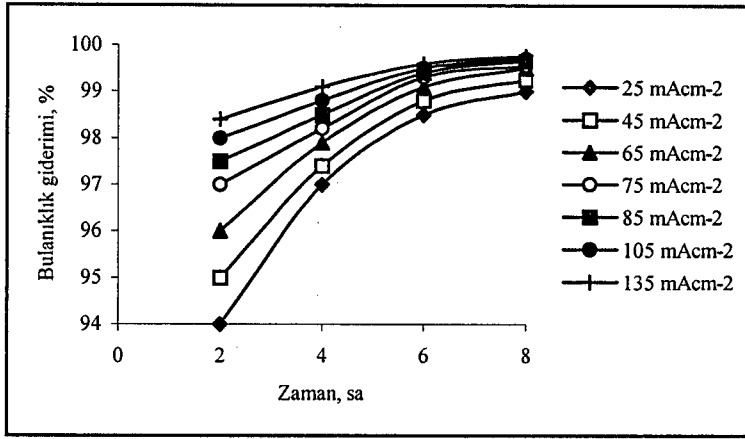
Şekil 5.27 Farklı akım yoğunluklarında fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



Şekil 5.28 Farklı akım yoğunluklarında fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



Şekil 5.29 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin akım yoğunluğu ile değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



Şekil 5.30 Farklı akım yoğunluklarında bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

1M NaCl derişiminde ve 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, 45 ve 135 mAcM⁻² akım yoğunluklarının KOİ, fenol, yağ-gres ve bulanıklık giderimi üzerine etkisi incelenmiştir. İki saatte bir örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri ile bulanıklık değerleri, 8.saat sonunda ise yağ-gres derişimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.8'de görülmektedir. KOİ derişimi, KOİ gideriminin zamanla değişimi ve akım veriminin ve enerji tüketiminin akım yoğunluğuyla değişimi sırasıyla Şekil 5.31-33'de gösterilmiştir. Fenol derişimi ve fenol gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.34-35'de verilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin akım yoğunluğuyla değişimi ise Şekil 5.36'da, bulanıklık gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.37'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 1M NaCl derişimi için farklı akım yoğunluklarında elde edilen deney sonuçları.

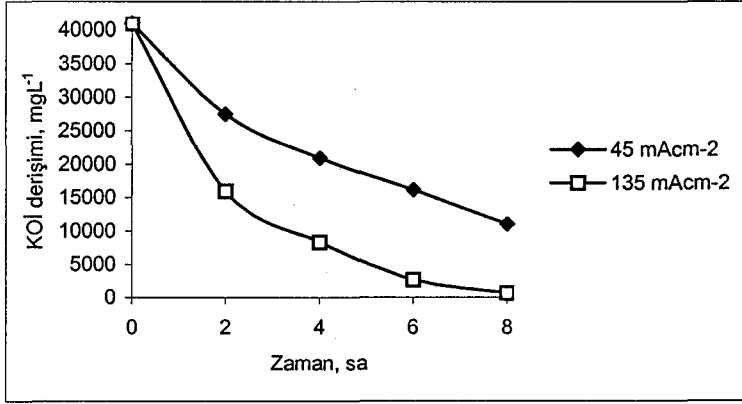
L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

Akım Yoğunluğu	Parametre/Saat	0	2	4	6	8
45 mAcM ⁻²	pH	4,57	7,84	7,71	7,99	8,36
	İletkenlik, mScm ⁻¹	92	91	87	91,4	92,1
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	27500	21000	16167	11000
	KOİ giderimi, %	0	32	49	61	73
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	6,6	2,8	1,7	1
	Fenol giderimi, %	-	96,9	98,6	99,2	99,5
	Bulanıklık, NTU	4050	250	120	50	35
	Bulanıklık giderimi, %	-	93,8	97	98,7	99,1
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	78,8
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	96

Çizelge 5.8 1M NaCl derişimi için farklı akım yoğunluklarında elde edilen deney sonuçları.

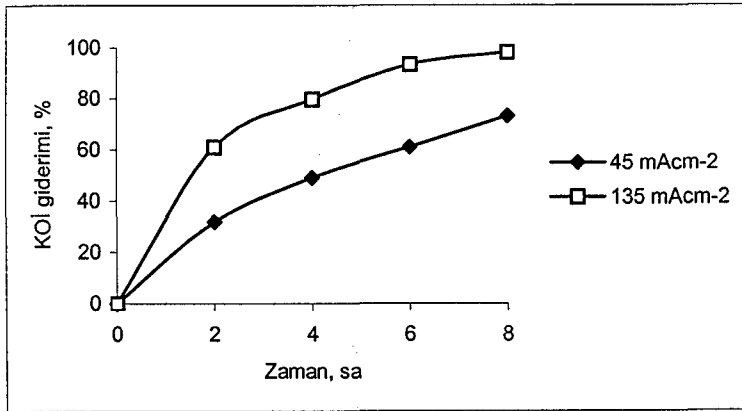
L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C (devamı)

Akım Yoğunluğu	Parametre/Saat	0	2	4	6	8
135 mAc ^{m-2}	pH	4,57	8,21	8,25	8,35	8,51
	İletkenlik, mScm ⁻¹	92	76,5	73	70	65
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	16000	8333	2667	665
	KOİ giderimi, %	0	60,9	79,6	93,4	98,3
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,7	1	0,5	0
	Fenol giderimi, %	-	98,7	99,5	99,7	100
	Bulanıklık, NTU	4050	54	43	32	15
	Bulanıklık giderimi, %	-	98	98,9	99,3	99,5
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	35
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	98,2



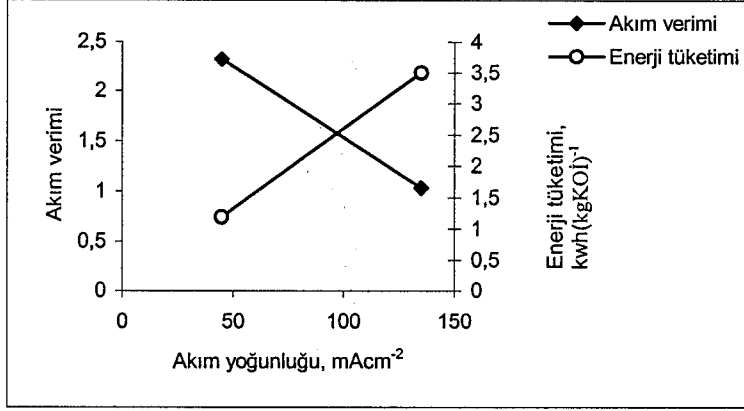
Şekil 5.31 Farklı akım yoğunluklarında KOİ derişiminin zamanla değışimi. NaCl: 1M,

L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



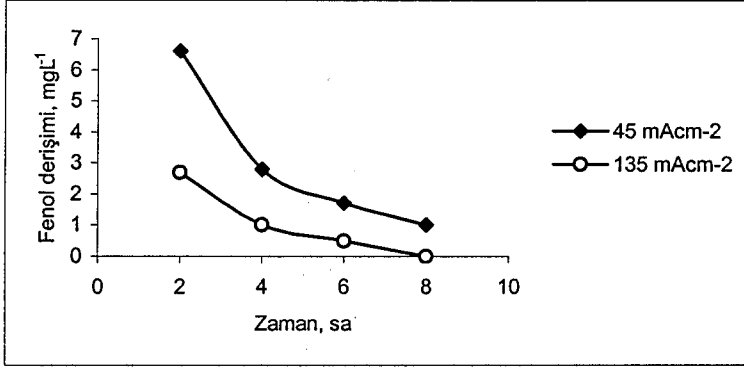
Şekil 5.32 Farklı akım yoğunluklarında KOİ gideriminin zamanla değışimi. NaCl: 1M,

L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



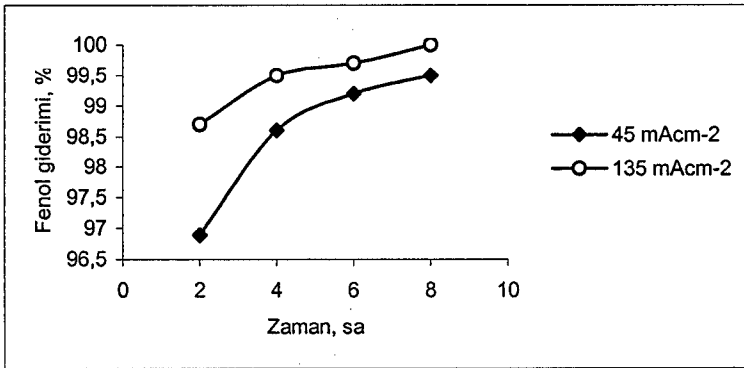
Şekil 5.33 Farklı akım yoğunluklarında akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi.

NaCl: 1M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



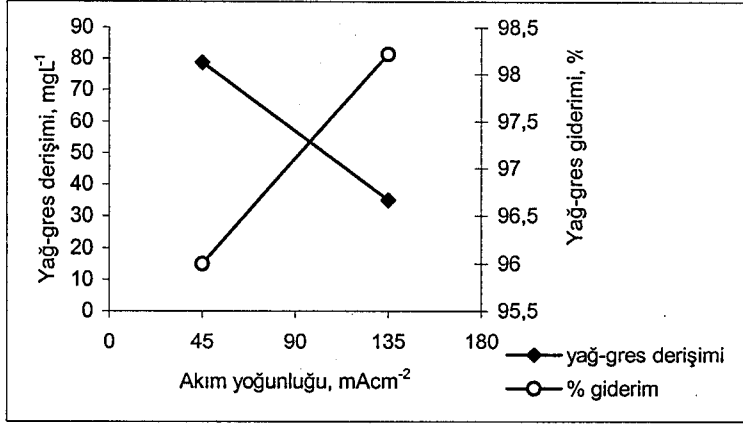
Şekil 5.34 Farklı akım yoğunluklarında fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 1M,

L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

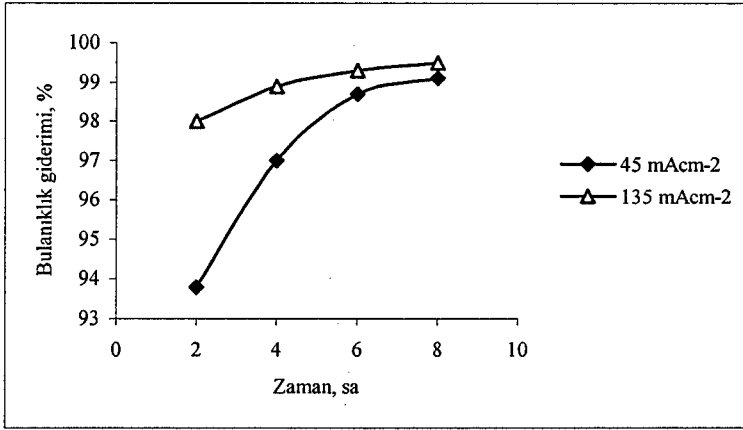


Şekil 5.35 Farklı akım yoğunluklarında fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 1M,

L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



Şekil 5.36 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin akım yoğunluğu ile değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



Şekil 5.37 Farklı akım yoğunluklarında bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 1M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

5.2.3. Atıksu akış hızının etkisinin incelendiği deney sonuçları

2M ve 5M NaCl derişimlerinde, 135 mAcm⁻² akım yoğunluğunda, 1,10, 4,60 ve 7,90 cm³sn⁻¹ akış hızlarının KOİ, fenol, yağ-gres ve bulanıklık giderimi üzerine etkisi incelenmiştir. Saatte bir örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri belirlenmiştir. Yağ-gres derişimi ise 7.saat sonunda belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9-10'da görölmektedir. KOİ derişimi, KOİ gideriminin zamanla değişimi ve akım veriminin ve enerji tüketiminin atıksu akış hızıyla değişimi 2M ve 5M NaCl derişimleri için sırasıyla Şekil 5.38-40 ve Şekil 5.41-43'de gösterilmiştir. Fenol derişimi ve fenol gideriminin zamana göre değişimi 2M NaCl için Şekil 5.44-45'de, 5M NaCl derişimi için Şekil 5.48-49'da

gösterilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin atıksu akış hızı ile değişimi 2M NaCl derişimi için Şekil 5.46'da, 5M NaCl derişimi için Şekil 5.50'de gösterilmiştir. Zamanla bulanıklık giderimi değişimi 2M NaCl derişimi için Şekil 5.47'de, 5M NaCl derişimi için Şekil 5.51'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 2M NaCl derişimi için farklı atıksu akış hızlarında elde edilen deney sonuçları.

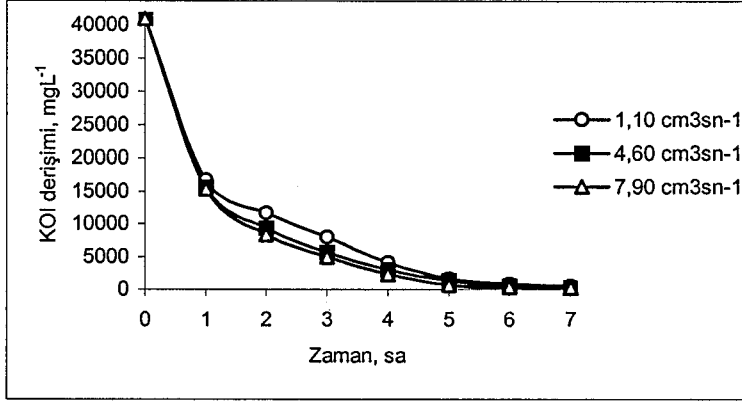
i: 135 mAc^m⁻², T: 20 °C

Atıksu Akış Hızı, Parametre/Saat		0	1	2	3	4	5	6	7
1,10 cm ³ sn ⁻¹	pH	4,57	8,12	8,2	8,15	8,27	8,27	8,35	8,5
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	132,4	125,1	120	119	117,3	112	108
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	16667	11667	8000	4100	1667	833	583
	KOİ giderimi, %	0	60	71,5	80	90	95,9	97,8	98,6
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3,7	2	1	0,6	0,4	0,3	0,2
	Fenol giderimi, %	-	98,2	99	99,5	99,7	99,8	99,8	99,9
	Bulanıklık, NTU	4050	75	61	52	46	34	16	13
	Bulanıklık giderimi, %	-	98	98,5	98,9	99,2	99,3	99,4	99,5
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	25
Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	98,7	
4,60 cm ³ sn ⁻¹	pH	4,57	7,9	8,01	8,19	8,3	8,4	8,51	8,59
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	135	130	119,7	116,7	112,1	108,1	107,9
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	15667	9333	5667	3000	1333	583	333
	KOİ giderimi, %	0	61,8	77,2	86,2	92,7	96,7	98,6	99,2
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3,2	1,7	0,8	0,4	0,2	0,1	0
	Fenol giderimi, %	-	98,4	99,2	99,6	99,8	99,9	99,9	100
	Bulanıklık, NTU	4050	69	58	48	43	30	14	12
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,3	98,7	99,1	99,3	99,42	99,5	99,5
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	19
Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99	
7,90 cm ³ sn ⁻¹	pH	4,57	7,95	8,05	8,55	8,63	8,7	8,75	8,8
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	134	131	125	119,5	116,2	114	113,5
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	15333	8333	5000	2333	667	416	250
	KOİ giderimi, %	0	62,6	79,6	87,8	94,3	98,3	98,9	99,4
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,9	1,5	0,6	0,2	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,6	99,3	99,7	99,9	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	63	54	44	40	27,5	11	9
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,5	98,9	99,2	99,4	99,5	99,6	99,6
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	15
Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,2	

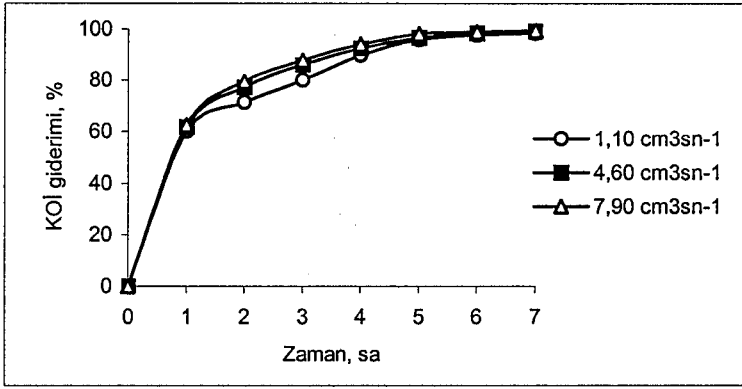
Çizelge 5.10 5M NaCl derişimi için farklı atıksu akış hızlarında elde edilen deney sonuçları.

i: 135 mAc^{m-2}, T: 20 °C

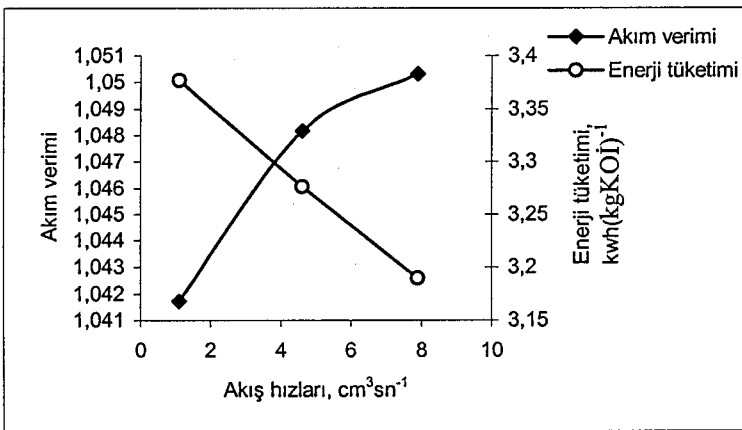
Atıksu Akış		0	1	2	3	4	5	6	7
Hızı	Parametere/Saat								
1,10 cm ³ sn ⁻¹	pH	4,57	8,19	7,91	7,9	7,8	8,06	8,14	8,35
	İletkenlik, mScm ⁻¹	220	218	213	210	209	202	198,7	195,1
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	14333	7500	4500	2640	950	667	416
	KOİ giderimi, %	0	65	81,7	89	93,5	97,6	98,4	99
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3,3	1,7	0,8	0,4	0,2	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,5	99,2	99,6	99,8	99,9	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	45	41	36	25	21	17	12
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,1	98,7	99,1	99,4	99,5	99,6	99,7
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	20
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	98,9
4,60 cm ³ sn ⁻¹	pH	4,57	7,95	8	8,02	8,1	8,2	8,3	8,45
	İletkenlik, mScm ⁻¹	220	218,5	212	206	203	199,5	196,3	193
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	14000	7000	3950	1890	667	416	250
	KOİ giderimi, %	0	65,8	82,9	90,3	95,3	98,3	98,9	99,4
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3	1,5	0,6	0,2	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,6	99,3	99,7	99,9	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	40	37	33	21	18	14	10
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,5	98,9	99,2	99,4	99,5	99,6	99,7
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	14
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	98,3
7,90 cm ³ sn ⁻¹	pH	4,57	8,05	8,1	8,25	8,33	8,45	8,54	8,57
	İletkenlik, mScm ⁻¹	220	219	212	207	204	199,4	196,1	194,1
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	13333	6500	3750	1400	500	250	167
	KOİ giderimi, %	0	67,5	84,1	89,4	96,5	98,7	99,4	99,6
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,7	1,3	0,4	0	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,7	99,4	99,8	100	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	35	33	29	18	15	11	8
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,7	99,1	99,3	99,5	99,6	99,7	99,8
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	10
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,4



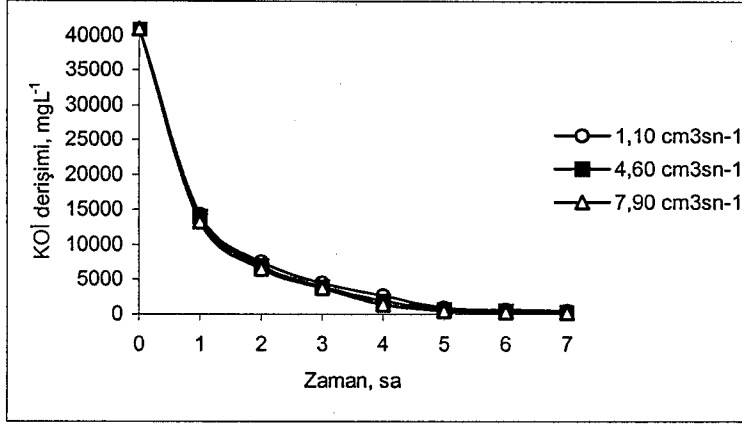
Şekil 5.38 Farklı atıksu akış hızlarında KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm⁻², T: 20 °C



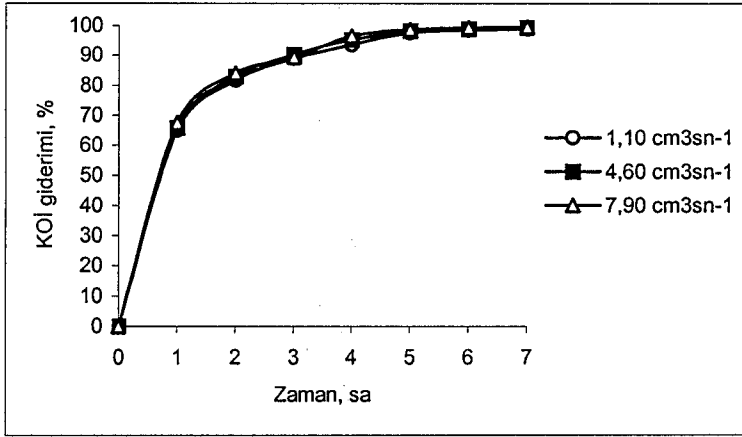
Şekil 5.39 Farklı atıksu akış hızlarında KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm⁻², T: 20 °C



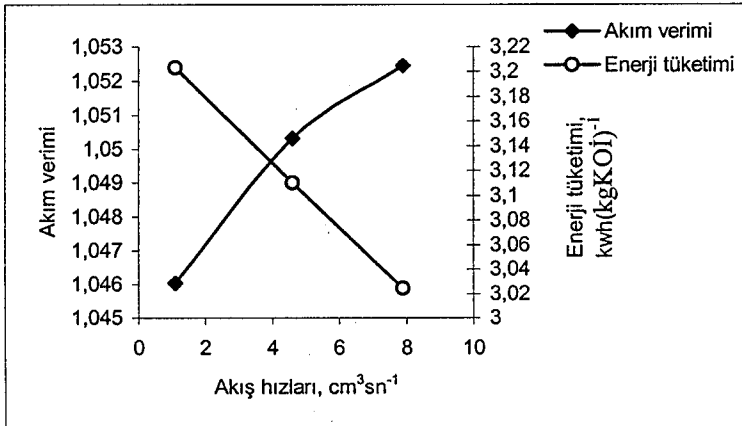
Şekil 5.40 Farklı atıksu akış hızlarında akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm⁻², T: 20 °C



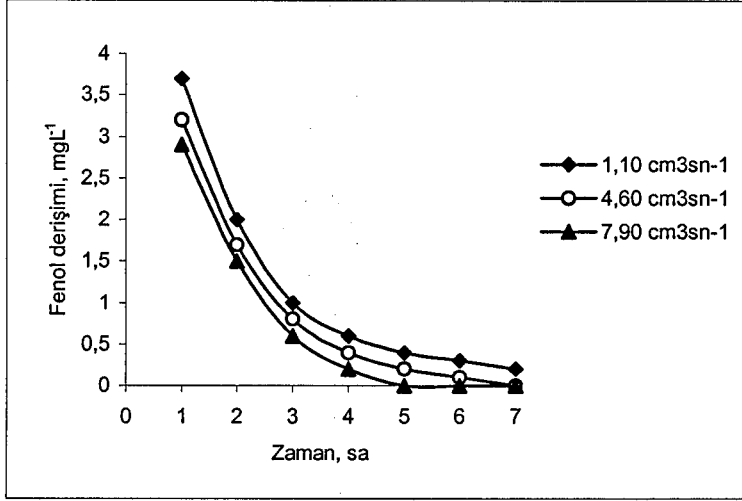
Şekil 5.41 Farklı atıksu akış hızlarında KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcms⁻², T: 20 °C



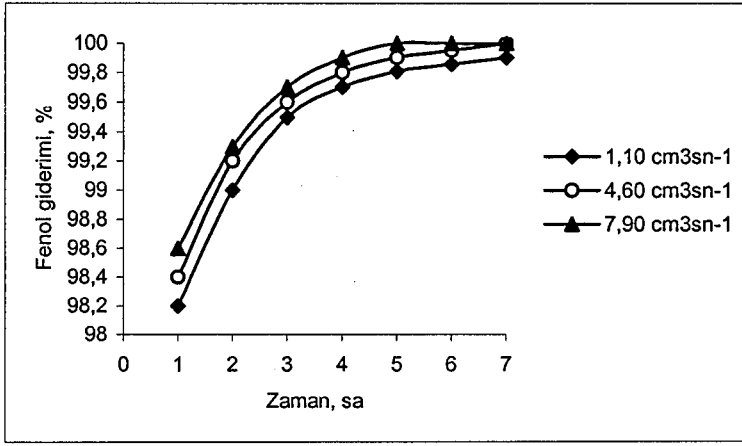
Şekil 5.42 Farklı atıksu akış hızlarında KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcms⁻², T: 20 °C



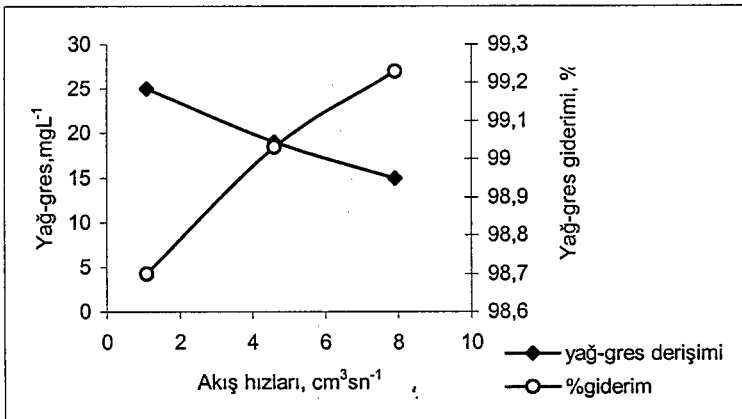
Şekil 5.43 Farklı atıksu akış hızlarında akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcms⁻², T: 20 °C



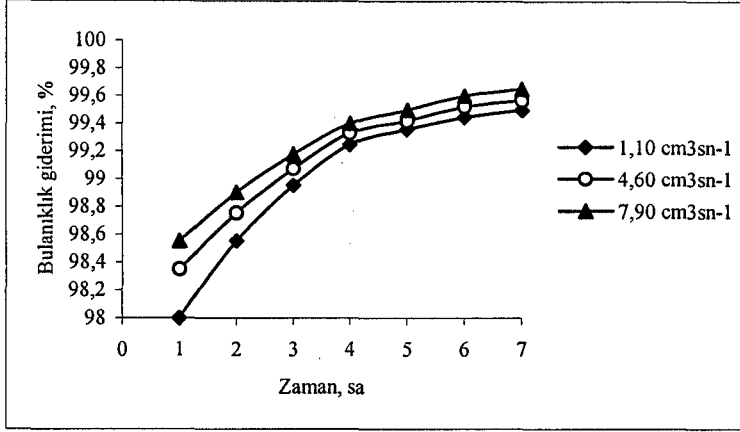
Şekil 5.44 Farklı atıksu akış hızlarında fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm², T: 20 °C



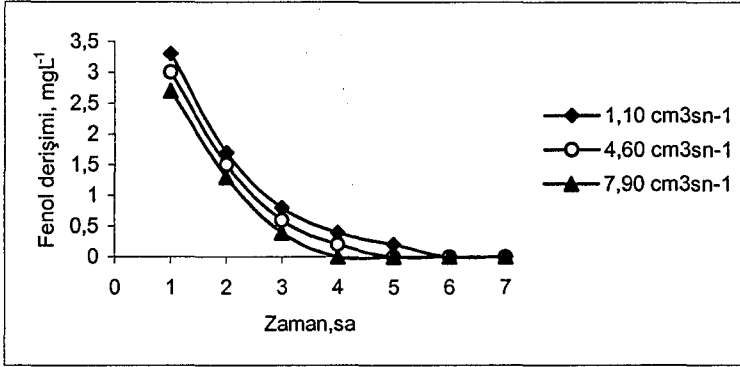
Şekil 5.45 Farklı atıksu akış hızlarında fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm², T: 20 °C



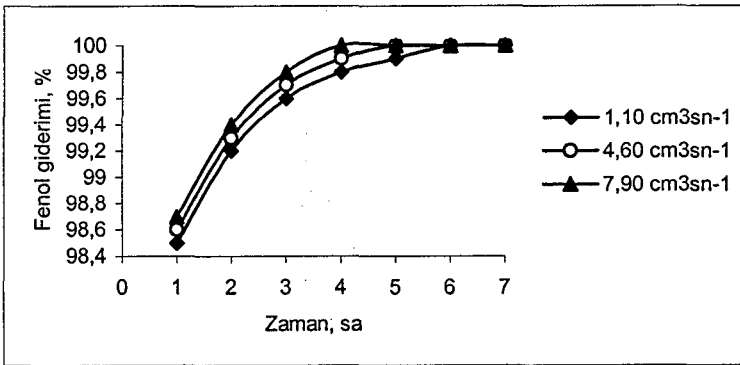
Şekil 5.46 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin atıksu akış hızları ile değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAcm², T: 20 °C



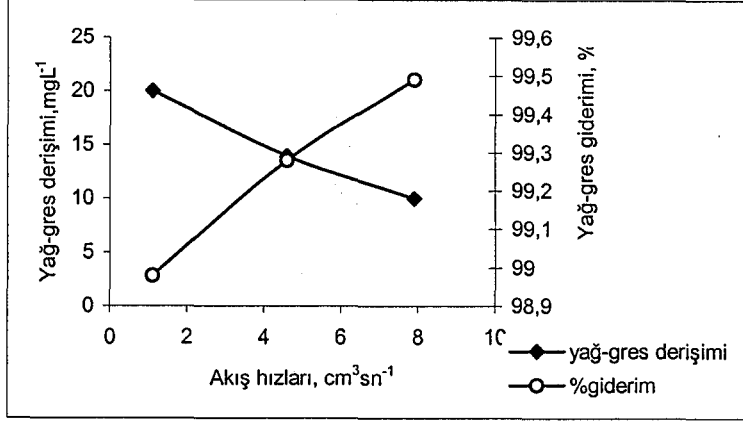
Şekil 5.47 Farklı atıksu akış hızlarında bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAc^m-², T: 20 °C



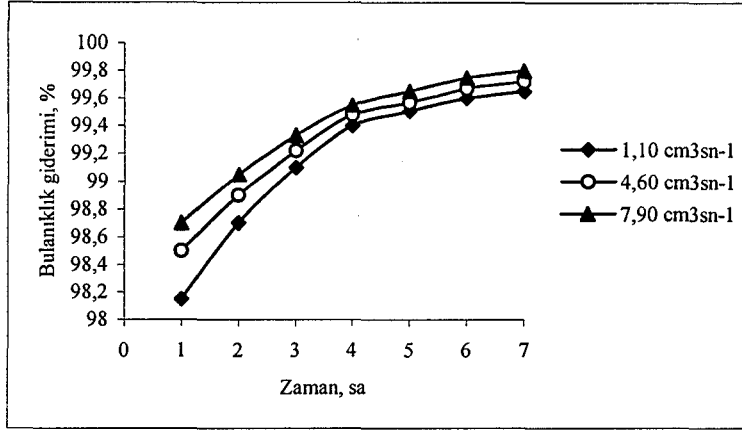
Şekil 5.48 Farklı atıksu akış hızlarında fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAc^m-², T: 20 °C



Şekil 5.49 Farklı atıksu akış hızlarında fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAc^m-², T: 20 °C



Şekil 5.50 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin atıksu akış hızları ile değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², T: 20 °C



Şekil 5.51 Farklı atıksu akış hızlarında bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcm⁻², T: 20 °C

5.2.4. Sıcaklığın etkisinin incelendiği deney sonuçları

2M ve 5M NaCl derişimlerinde, 135 mAcm⁻² akım yoğunluğunda, 7,90 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, 7 °C, 20 °C ve 40 °C sıcaklıkta yapılan deneylerle sıcaklığın KOİ, fenol, yağ-gres ve bulanıklık giderimi üzerine etkisi incelenmiştir. Saatte bir örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri belirlenmiştir. Yağ-gres derişimi ise 7.saat sonunda belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar 2M NaCl derişimi için Çizelge 5.11'de, 5M NaCl derişimi için ise Çizelge 5.12'de gösterilmiştir. KOİ derişimi, KOİ gideriminin zamanla değişimi ve akım veriminin ve enerji tüketiminin sıcaklıkla değişimi 2M ve 5M NaCl derişimleri için sırasıyla Şekil

5.52-54 ve Şekil 5.55-57'de gösterilmiştir. Fenol derişimi ve fenol gideriminin zamanla değişimi 2M NaCl derişimi için Şekil 5.58-59'da, 5M NaCl derişimi için Şekil 5.62-63'de gösterilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin sıcaklıkla değişimi 2M NaCl derişimi için Şekil 5.60'da, 5M NaCl derişimi için Şekil 5.64'de gösterilmiştir. Bulanıklık gideriminin zamanla değişimi 2M NaCl derişimi için Şekil 5.61'de, 5M NaCl derişimi için ise Şekil 5.65'de gösterilmiştir

Çizelge 5.11 2M NaCl derişimi için farklı sıcaklıklarda elde edilen deney sonuçları.

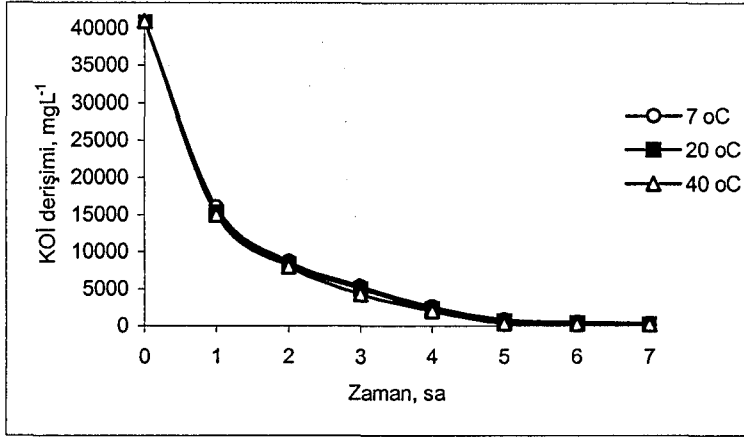
L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135 mAcm⁻²

Sıcaklık	Parametre/Saat	0	1	2	3	4	5	6	7
7 °C	pH	4,57	7,97	8,1	8,4	8,45	8,56	8,64	8,73
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	140	138	135	133	130	125	121,1
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	16000	8667	5333	2667	833	500	333
	KOİ giderimi, %	0	60,9	81,4	89,7	95,6	98,2	98,7	99,2
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3,5	2,1	1,2	0,6	0,3	0,1	0
	Fenol giderimi, %	-	98,3	99	99,4	99,7	99,8	99,9	100
	Bulanıklık, NTU	4050	70	60	50	45	32	16	14
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,3	98,5	98,8	99,1	99,3	99,5	99,6
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	23
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	98,8
20 °C	pH	4,57	7,95	8,05	8,55	8,63	8,7	8,75	8,8
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	134	131	125	119,5	116,2	114	113,5
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	15333	8333	5000	2333	667	416	250
	KOİ giderimi, %	0	62,6	84,1	90,8	96	98,7	98,9	99,4
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,9	1,5	0,6	0,2	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,6	99,3	99,7	99,9	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	63	54	44	40	27,5	11	9
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,4	98,6	98,9	99,2	99,4	99,6	99,7
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	15
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,2
40 °C	pH	4,57	7,91	8,11	8,39	8,55	8,73	8,87	8,9
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	138	131,1	126,7	123	119	116,4	114
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	15000	8000	4333	2000	333	250	167
	KOİ giderimi, %	0	63,4	85,4	92,4	97,3	99,1	99,3	99,6
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,1	0,5	0,1	0	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	99	99,7	99,9	100	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	59	50	40	35	21	9	7
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,5	98,8	99,1	99,3	99,5	99,7	99,8
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	9
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,5

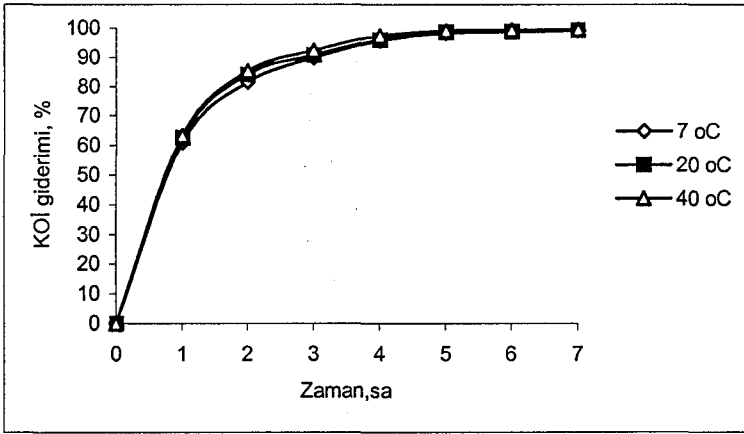
Çizelge 5.12 5M NaCl derişimi için farklı sıcaklıklarda elde edilen deney sonuçları.

L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135 mAcm⁻²

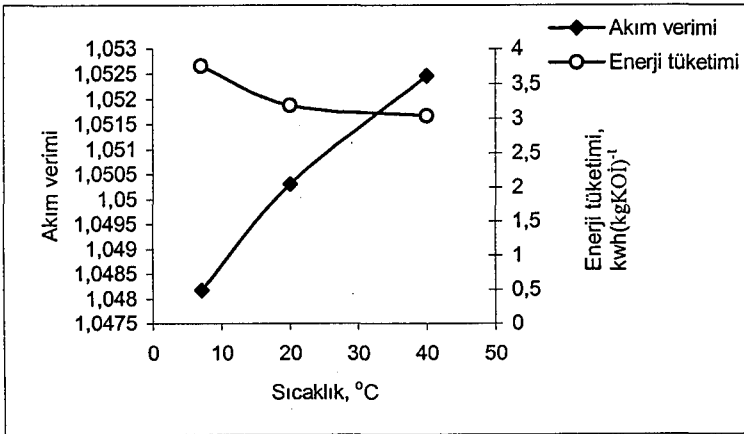
Sıcaklık	Parametre/Saat	0	1	2	3	4	5	6	7
7 °C	pH	4,57	8	8,03	8,25	8,41	8,5	8,57	8,65
	İletkenlik, mScm ⁻¹	220	218	215	212	208	205	200	198
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	14333	7600	4200	1800	700	333	250
	KOİ giderimi, %	0	65	81,4	89,7	95,6	98,2	99,2	99,4
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3,1	1,8	0,9	0,4	0,2	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,5	99,1	99,5	99,8	99,9	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	45	41	38	34	30	14	12
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,8	98,9	99,1	99,3	99,5	99,6	99,7
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	17
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,1
20 °C	pH	4,57	8,05	8,1	8,25	8,33	8,45	8,54	8,57
	İletkenlik, mScm ⁻¹	220	219	212	207	204	199,4	196,1	194,1
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	13333	6500	3750	1640	500	250	167
	KOİ giderimi, %	0	67,5	84,1	90,8	96	98,7	99,4	99,6
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,7	1,3	0,4	0	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,7	99,4	99,8	100	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	35	33	29	18	15	11	8
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,9	99,1	99,2	99,4	99,5	99,7	99,7
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	10
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,5
40 °C	pH	4,57	7,76	7,99	8,2	8,44	8,56	8,62	8,7
	İletkenlik, mScm ⁻¹	220	217	214	211	208	205	201	198
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	13000	5950	3100	1100	333	167	125
	KOİ giderimi, %	0	68,3	85,4	92,4	97,3	99,1	99,5	99,7
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	1,5	0,4	0	0	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	99,3	99,81	100	100	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	30	28	25	21	15	8	5
	Bulanıklık giderimi, %	-	99	99,2	99,3	99,5	99,6	99,7	99,8
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	6
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,7



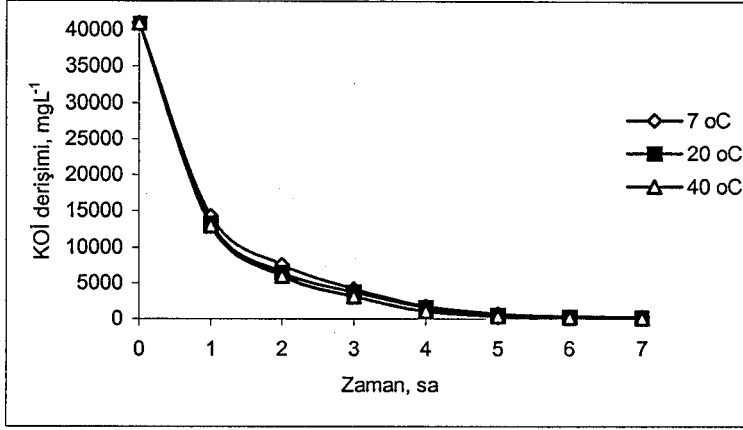
Şekil 5.52 Farklı sıcaklıklarda KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135mAcmm⁻²



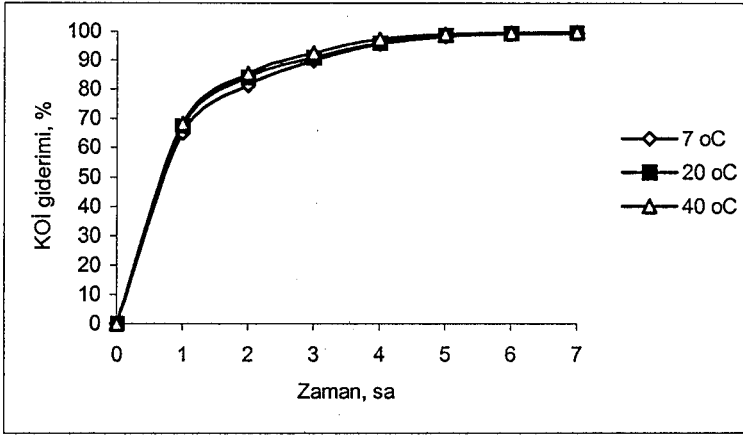
Şekil 5.53 Farklı sıcaklıklarda KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135mAcmm⁻²



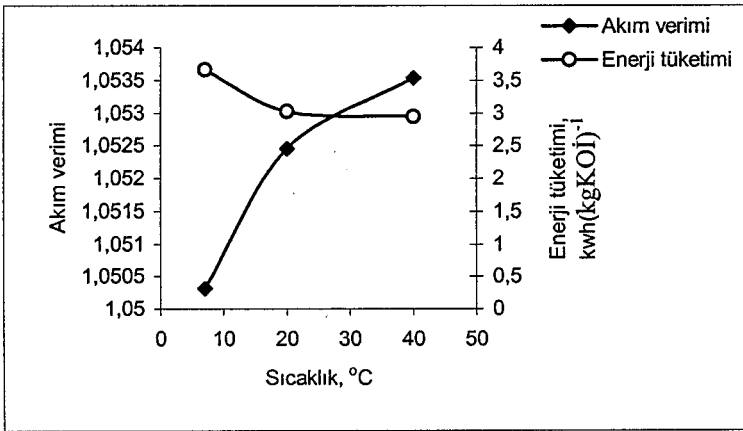
Şekil 5.54 Farklı sıcaklıklarda akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135mAcmm⁻²



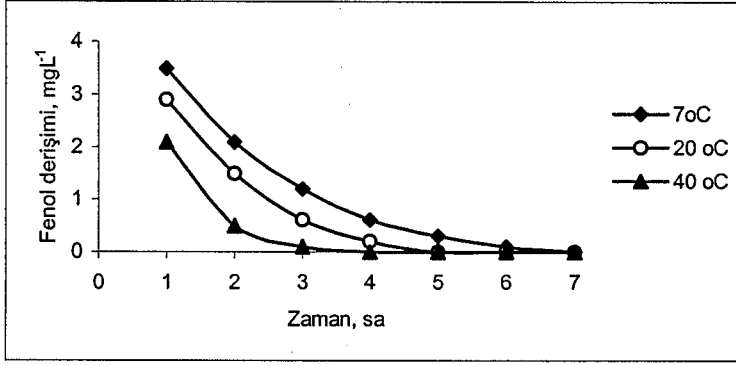
Şekil 5.55 Farklı sıcaklıklarda KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135mAcmm⁻²



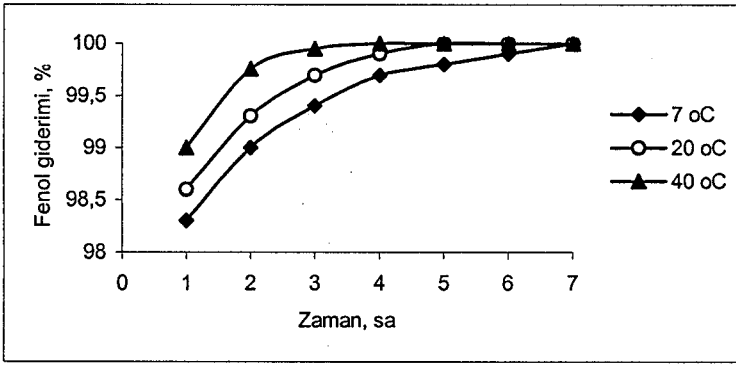
Şekil 5.56 Farklı sıcaklıklarda KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135mAcmm⁻²



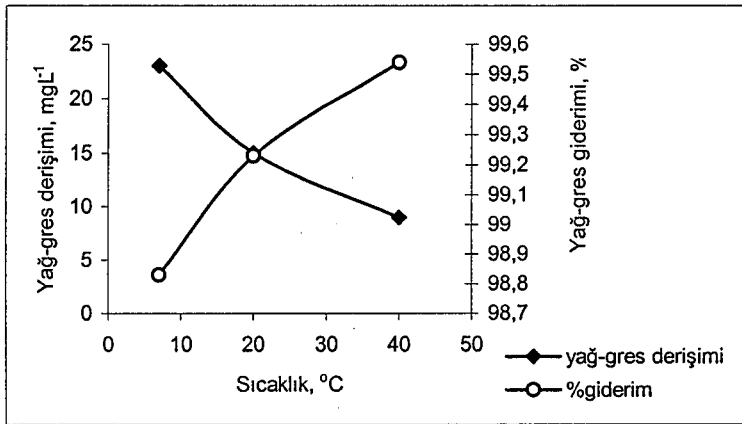
Şekil 5.57 Farklı sıcaklıklarda akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135mAcmm⁻²



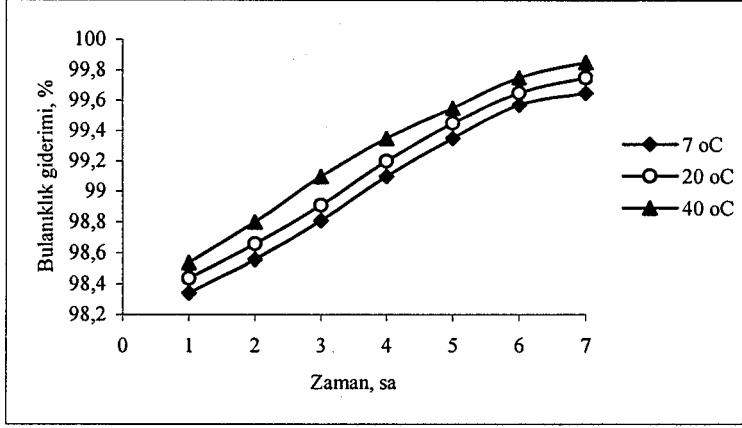
Şekil 5.58 Farklı sıcaklıklarda fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135mAcmm⁻²



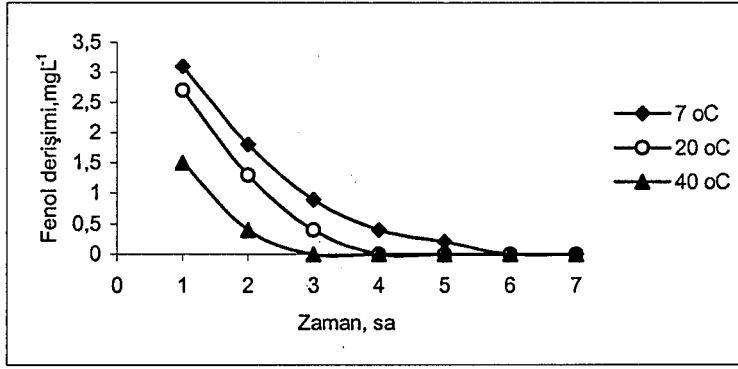
Şekil 5.59 Farklı sıcaklıklarda fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135mAcmm⁻²



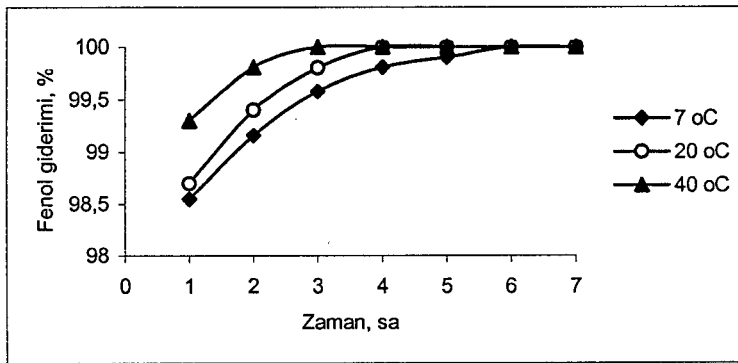
Şekil 5.60 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin sıcaklık ile değişimi. NaCl: 2M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135 mAcmm⁻²



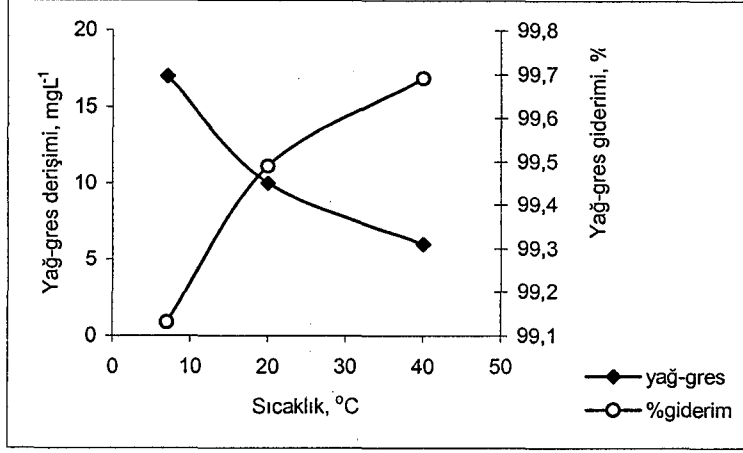
Şekil 5.61 Farklı sıcaklıklarda bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, L: $7,90 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 135 mAc m^{-2}



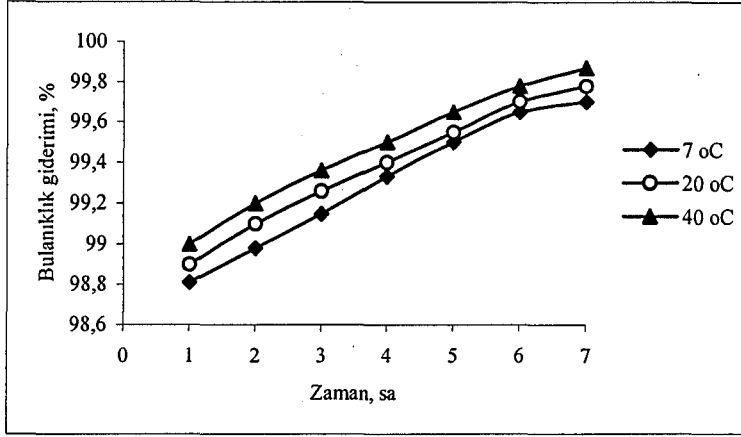
Şekil 5.62 Farklı sıcaklıklarda fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: $7,90 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 135 mAc m^{-2}



Şekil 5.63 Farklı sıcaklıklarda fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: $7,90 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$, i: 135 mAc m^{-2}



Şekil 5.64 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin sıcaklık ile değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135 mAcm⁻²



Şekil 5.65 Farklı sıcaklıklarda bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, i: 135 mAcm⁻²

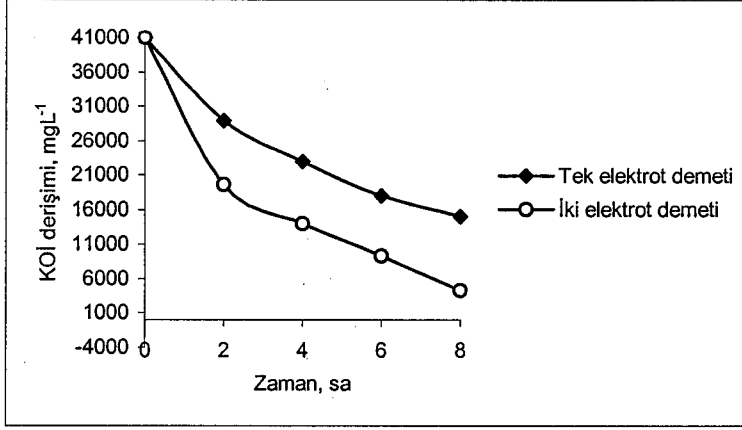
5.2.5. Elektrot demeti sayısının etkisinin incelendiği deney sonuçları

Bu çalışma, 2M NaCl derişiminde, 25 mAcm⁻² akım yoğunluğunda, 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, iki elektrot demeti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar izelge 5.13'de tek elektrot demeti ile elde edilen sonuçlar ile birlikte verilmiştir. İki saatte bir örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri, 8.saat sonunda ise yağ-gres derişimi belirlenmiştir. KOİ derişimi, KOİ gideriminin zamanla değişimi ve akım veriminin ve enerji tüketiminin elektrot demeti sayısıyla değişimi sırasıyla Şekil 5.66-68'de gösterilmiştir. Fenol derişimi ve

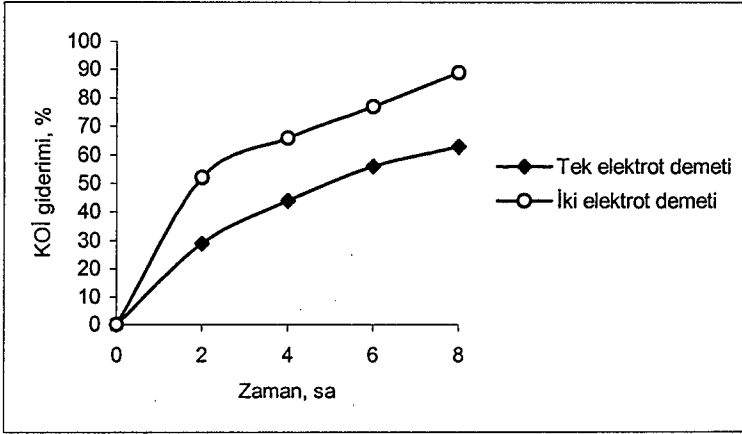
fenol gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.69-70'de verilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin elektrot demeti sayısıyla değişimi Şekil 5.71'de, bulanıklık gideriminin zamanla değişimi ise Şekil 5.72'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 25 mAc^m-² akım yoğunluğu ve 2M NaCl derişimi için farklı elektrot demeti sayısında elde edilen deney sonuçları. i: 25mAc^m-², NaCl: 2M, L: 1,10 cm³sn⁻¹, T: 20 C

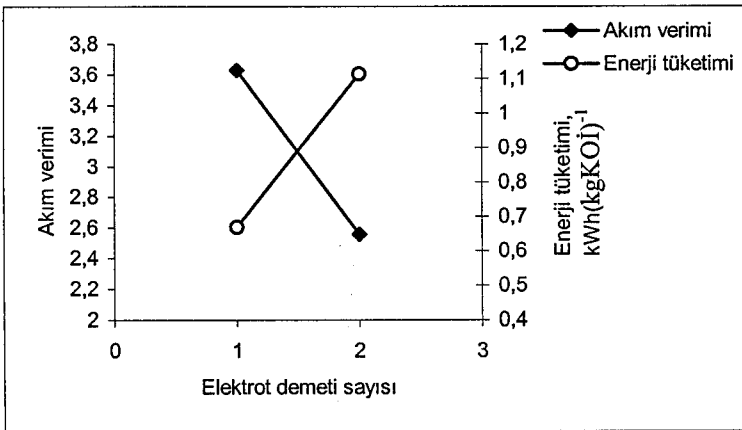
Parametre/Saat		0	2	4	6	8
Tek Elektrot Demeti	pH	4,35	7,75	7,87	7,38	7,74
	İletkenlik, mScm ⁻¹	143	144,2	146,2	149,5	151,2
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	29000	23000	18000	15000
	KOİ giderimi, %	0	29	44	56	63
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	5,1	3,6	2,1	1,2
	Fenol giderimi, %	-	97,6	98,3	99	99,4
	Bulanıklık, NTU	4050	240	150	60	37
	Bulanıklık giderimi, %	-	94	96,2	98,4	99
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	92
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	95,3
İki Elektrot Demeti	pH	4,52	7,98	8,16	8,28	8,42
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	140,5	140	139,2	137,8
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	19667	14000	9333	4333
	KOİ giderimi, %	0	52	66	77	89
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	3,4	2,4	1,5	0,8
	Fenol giderimi, %	-	98,4	98,8	99,3	99,6
	Bulanıklık, NTU	4050	110	70	32	25
	Bulanıklık giderimi, %	-	97,2	98,5	99,2	99,3
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	45
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	97,7



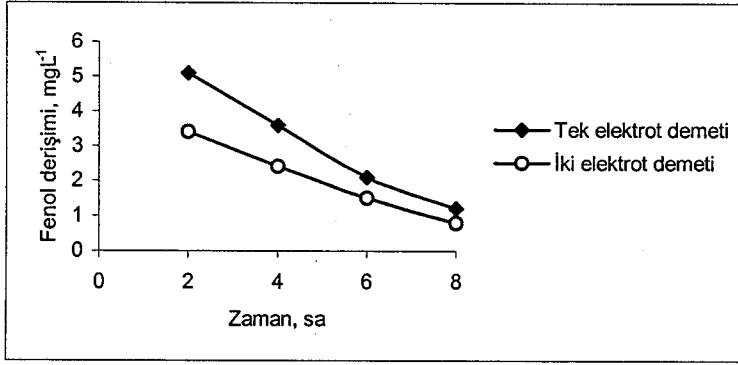
Şekil 5.66 Elektrot demeti sayısıyla KOİ derişiminin zamanla değişimi. i : 25mAcm^{-2} , NaCl: 2M, L: $1,10\text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, T: $20\text{ }^\circ\text{C}$



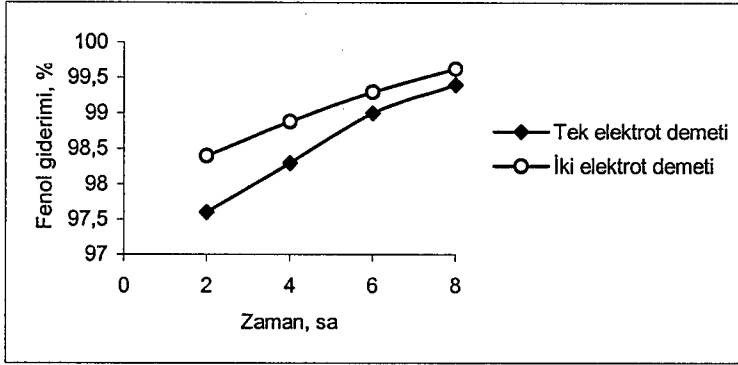
Şekil 5.67 Elektrot demeti sayısıyla KOİ gideriminin zamanla değişimi. i : 25mAcm^{-2} , NaCl: 2M, L: $1,10\text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, T: $20\text{ }^\circ\text{C}$



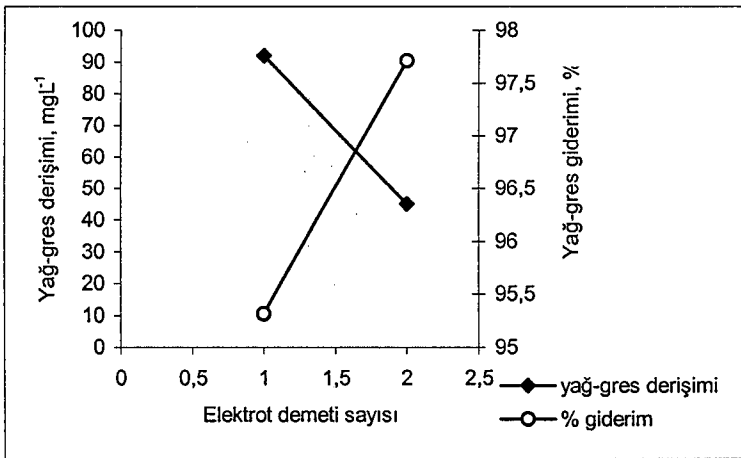
Şekil 5.68 Elektrot demeti sayısıyla akım veriminin ve enerji tüketimin değişimi. i : 25mAcm^{-2} , NaCl: 2M, L: $1,10\text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, T: $20\text{ }^\circ\text{C}$



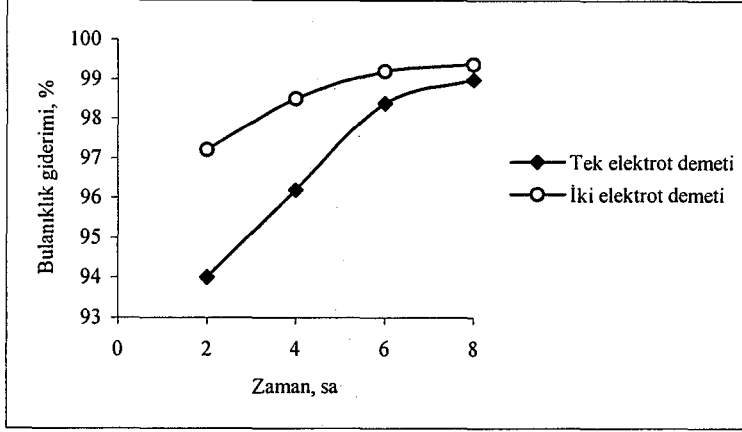
Şekil 5.69 Elektrot demeti sayısı ile fenol derişiminin zamanla değişimi. $i: 25\text{mAcm}^{-2}$, $\text{NaCl}: 2\text{M}$, $L: 1,10\text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $T: 20\text{ }^\circ\text{C}$



Şekil 5.70 Elektrot demeti sayısı ile fenol gideriminin zamanla değişimi. $i: 25\text{mAcm}^{-2}$, $\text{NaCl}: 2\text{M}$, $L: 1,10\text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $T: 20\text{ }^\circ\text{C}$



Şekil 5.71 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin elektrot demeti sayısı ile değişimi. $i: 25\text{mAcm}^{-2}$, $\text{NaCl}: 2\text{M}$, $L: 1,10\text{ cm}^3\text{sn}^{-1}$, $T: 20\text{ }^\circ\text{C}$



Şekil 5.72 Elektrot demeti sayısıyla bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. $i: 25 \text{mAcm}^{-2}$,
 $\text{NaCl}: 2\text{M}$, $L: 1,10 \text{cm}^3 \text{sn}^{-1}$, $T: 20 \text{°C}$

135 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda, $7,90 \text{cm}^3 \text{sn}^{-1}$ atıksu akış hızında, 2M ve 5M NaCl derişimleri için tek ve iki elektrot demeti kullanılarak KOİ, fenol, yağ-gres ve bulanıklık giderimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar 2M NaCl derişimi için Çizelge 5.14'de, 5M NaCl derişimi için Çizelge 5.15'de verilmiştir. Saatte bir örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri, 7.saat sonunda ise yağ-gres derişimi belirlenmiştir. KOİ derişimi, KOİ gideriminin zamanla değişimi ve akım veriminin ve enerji tüketiminin elektrot demeti sayısıyla değişimi 2M ve 5M NaCl derişimleri için sırasıyla Şekil 5.73-75 ve Şekil 5.76-78'de gösterilmiştir. Fenol derişimi ve fenol gideriminin zamanla değişimi 2M NaCl derişimi için Şekil 5.79-80'de, 5M NaCl derişimi için Şekil 5.83-84'de gösterilmiştir. Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin elektrot demeti sayısıyla değişimi 2M NaCl derişimi için Şekil 5.81'de, 5M NaCl derişimi için Şekil 5.85'de gösterilmiştir. Bulanıklık gideriminin zamanla değişimi 2M NaCl derişimi için Şekil 5.82'de, 5M NaCl derişimi için Şekil 5.86'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.14 2M NaCl derişimi için tek ve iki elektrot demetinde elde edilen deney sonuçları.

i: 135mAc^{m-2}, L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

Parametre/Saat		0	1	2	3	4	5	6	7
Tek Elektrot Demeti	pH	4,57	7,95	8,05	8,55	8,63	8,7	8,75	8,8
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	134	131	125	119,5	116,2	114	113,5
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	15333	8333	5000	2333	667	416	250
	KOİ giderimi, %	-	62,6	84,1	90,8	96	98,7	98,9	99,4
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,9	1,5	0,6	0,2	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,6	99,3	99,7	99,9	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	63	54	44	40	27,5	11	9
	Bulanıklık giderimi, %	-	98,4	98,6	98,9	99,1	99,4	99,6	99,7
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	15
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,2
İki Elektrot Demeti	pH	4,57	8,05	8,21	8,46	8,67	8,8	8,92	8,96
	İletkenlik, mScm ⁻¹	144	140	132,4	120	114	110	108	105,6
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	10240	4350	2100	1000	333	170	133
	KOİ giderimi, %	-	75	89,4	94,9	97,5	99,2	99,6	99,8
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	1,7	0,7	0,3	0,1	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	99,2	99,6	99,8	99,9	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	35	29	23	19	12	7	4
	Bulanıklık giderimi, %	-	99,1	99,2	99,4	99,5	99,7	99,8	99,9
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	7
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,6

Çizelge 5.15 5M NaCl derişimi için tek ve iki elektrot demetinde elde edilen deney sonuçları.

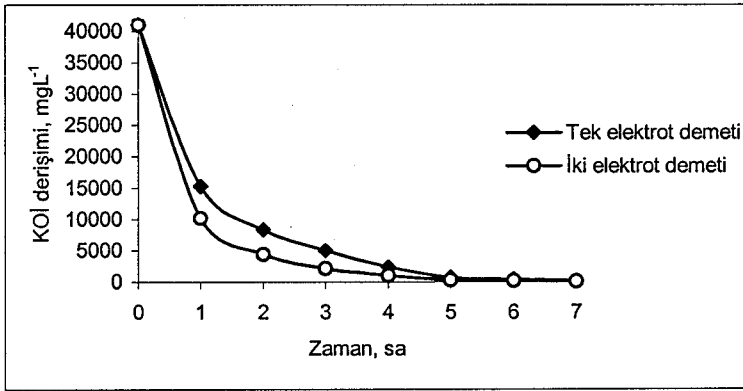
i: 135mAc^{m-2}, L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

Parametre/Saat		0	1	2	3	4	5	6	7
Tek Elektrot Demeti	pH	4,57	8,05	8,1	8,25	8,33	8,45	8,54	8,57
	İletkenlik, mScm ⁻¹	220	219	212	207	204	199,4	196,1	194,1
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	13333	6500	3750	1640	500	250	167
	KOİ giderimi, %	-	67,5	84,1	90,8	96	98,7	99,4	99,6
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	2,7	1,3	0,4	0	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	98,7	99,4	99,8	100	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	35	33	29	18	15	11	8
	Bulanıklık giderimi, %	-	99	99	99,3	99,4	99,6	99,7	99,8
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	10
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,5

Çizelge 5.15 5M NaCl derişimi için tek ve iki elektrot demetinde elde edilen deney sonuçları.

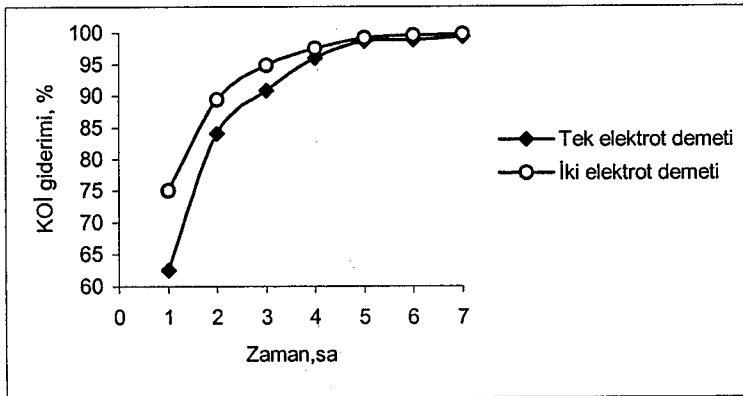
i: 135mAc^{m-2}, L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C (devamı)

Parametre/Saat		0	1	2	3	4	5	6	7
İki Elektrot Demeti	pH	4,57	8,11	8,14	8,38	8,67	8,68	8,83	9,01
	İletkenlik, mScm ⁻¹	220	217	211	201	194,5	190,2	186	181
	KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	9800	4150	1800	667	205	130	50
	KOİ giderimi, %	-	76	89,9	95,6	98,3	99,5	99,7	99,9
	Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	1,4	0,6	0,2	0	0	0	0
	Fenol giderimi, %	-	99,3	99,7	99,9	100	100	100	100
	Bulanıklık, NTU	4050	20	19	16	10	8	5	3
	Bulanıklık giderimi, %	-	99,4	99,5	99,6	99,7	99,8	99,9	99,9
	Yağ-gres derişimi, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	5
	Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	99,7



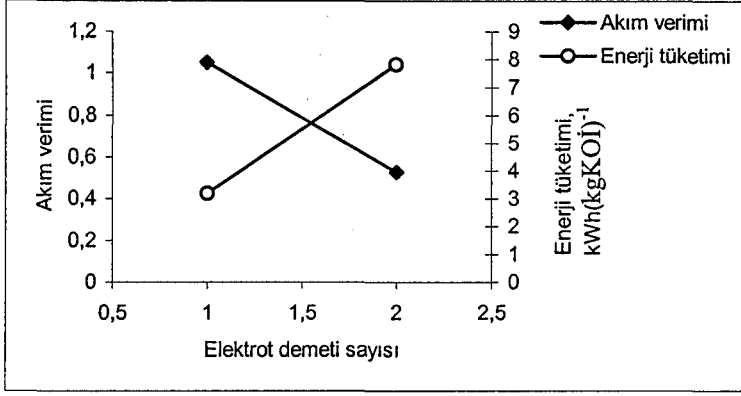
Şekil 5.73 Elektrot demeti sayısıyla KOİ derişiminin zamanla değışimi. NaCl: 2M,

i: 135mAc^{m-2}, L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

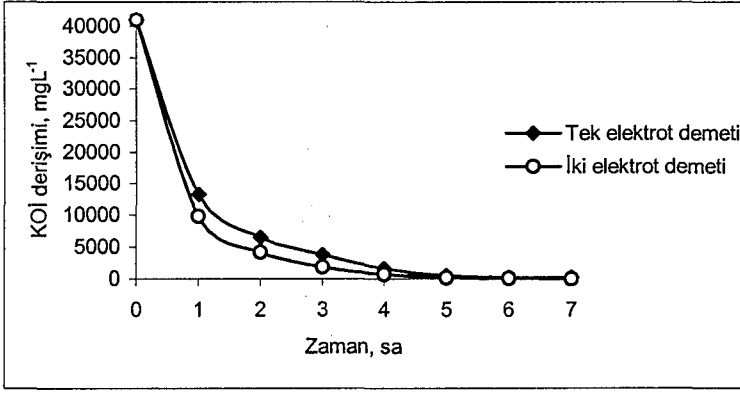


Şekil 5.74 Elektrot demeti sayısıyla KOİ gideriminin zamanla değışimi. NaCl: 2M,

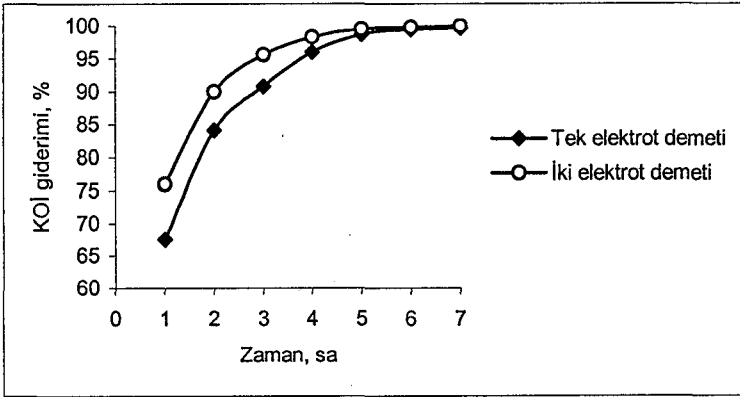
i: 135 mAc^{m-2}, L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



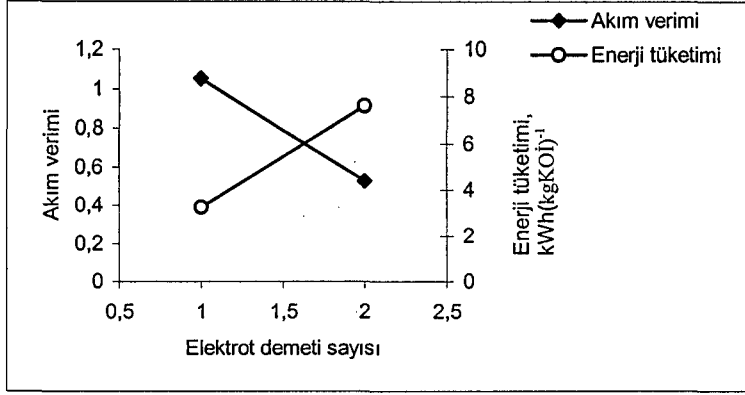
Şekil 5.75 Elektrot demeti sayısı ile akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



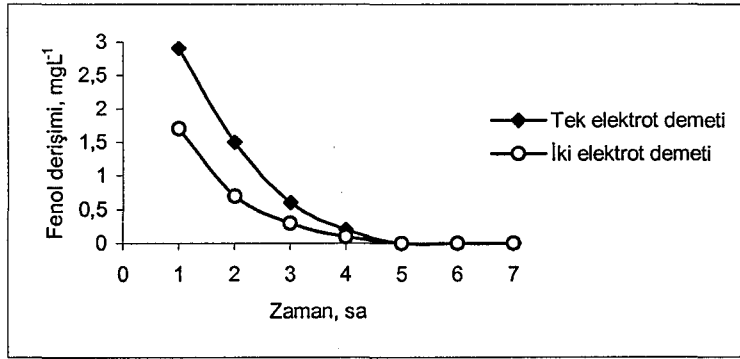
Şekil 5.76 Elektrot demeti sayısı ile KOİ derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



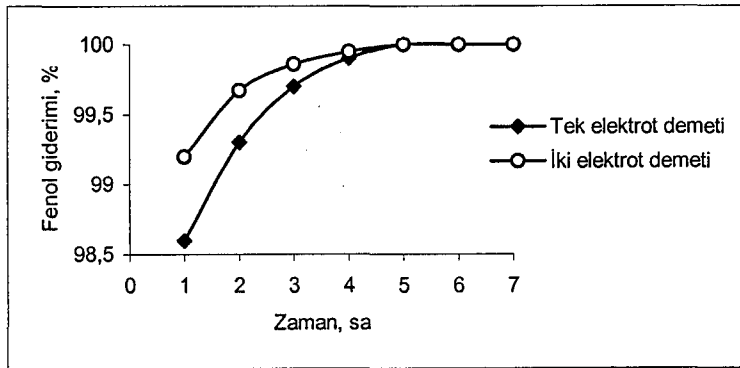
Şekil 5.77 Elektrot demeti sayısı ile KOİ gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



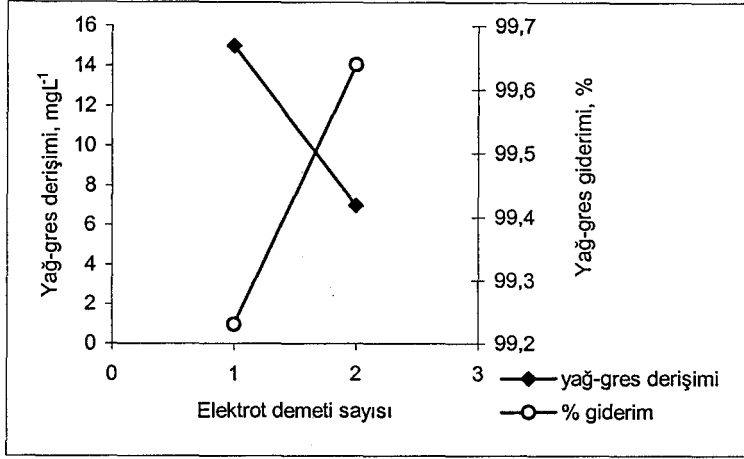
Şekil 5.78 Elektrot demeti sayısı ile akım veriminin ve enerji tüketiminin değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



Şekil 5.79 Elektrot demeti sayısı ile fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

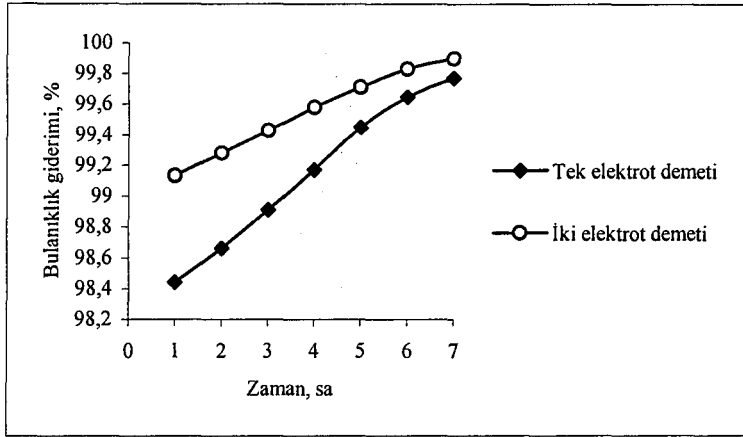


Şekil 5.80 Elektrot demeti sayısı ile fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



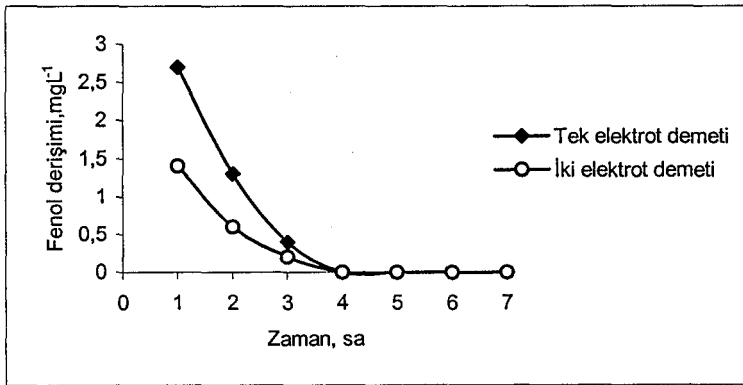
Şekil 5.81 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin elektrot demeti sayısı ile değişimi.

NaCl: 2M, i : 135mAcm⁻², L : 7,90 cm³sn⁻¹, T : 20 °C



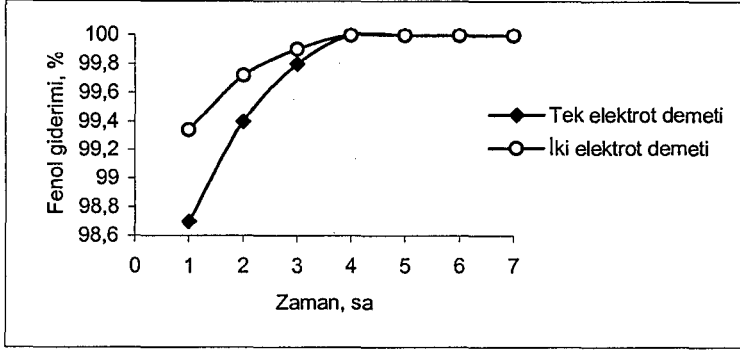
Şekil 5.82 Elektrot demeti sayısı ile bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 2M,

i : 135 mAcm⁻², L : 7,90 cm³sn⁻¹, T : 20 °C

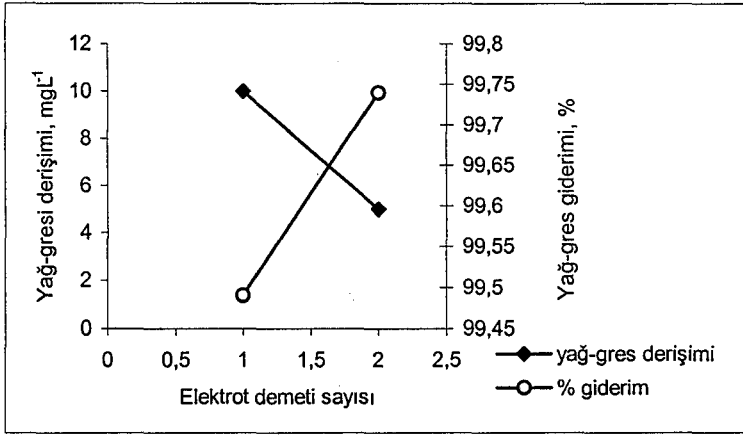


Şekil 5.83 Elektrot demeti sayısı ile fenol derişiminin zamanla değişimi. NaCl: 5M,

i : 135 mAcm⁻², L : 7,90 cm³sn⁻¹, T : 20 °C

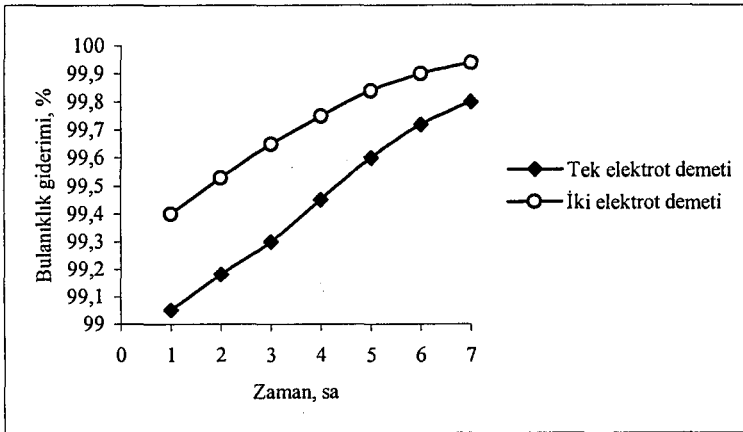


Şekil 5.84 Elektrot demeti sayısı ile fenol gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M, i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



Şekil 5.85 Yağ-gres derişimi ve yağ-gres gideriminin elektrot demeti sayısı ile değişimi.

NaCl: 5M, i: 135mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C



Şekil 5.86 Elektrot demeti sayısı ile bulanıklık gideriminin zamanla değişimi. NaCl: 5M,

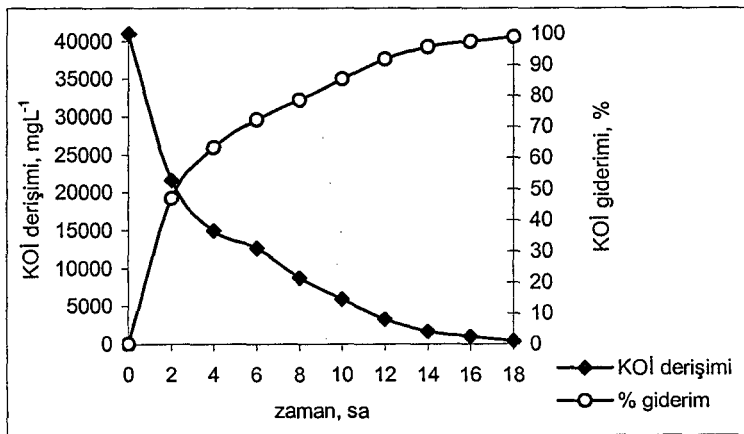
i: 135 mAcm⁻², L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

5.2.6. Elektroliz süresinin etkisinin incelendiği deney sonuçları

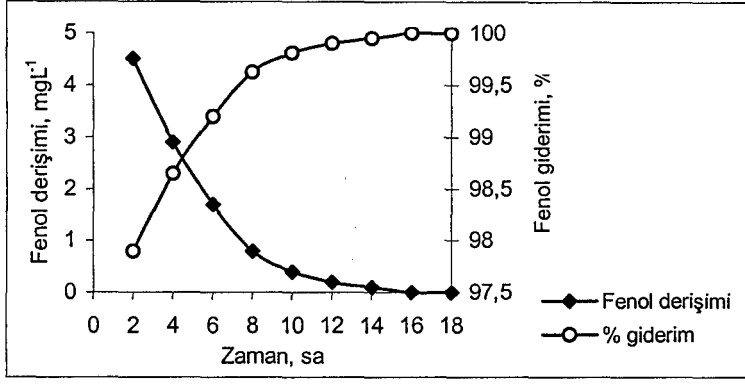
25 mAc^m-² akım yoğunluğunda, 5M NaCl derişiminde, 7,90 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında 18 saatlik bir deneyle işlem süresinin etkisi incelenmiştir. İki saatte bir örnek alınarak KOİ ve fenol derişimleri, 18.saat sonunda ise yağ-gres derişimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.16'da verilmiştir. KOİ derişiminin ve KOİ gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.87'de, fenol derişimi ve fenol gideriminin zamanla değişimi Şekil 5.88'de, bulanıklık ve bulanıklık gideriminin zamanla değişimi ise Şekil 5.89'da verilmiştir. Çalışma sonucunda akım verimi 5.67, enerji tüketimi ise 0,40 kWh(kgKOİ)⁻¹ olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.16 Elektroliz süresinin etkisinin incelendiği deney sonuçları. i: 25mAc^m-², NaCl: 5M, L: 7,90 cm³sn⁻¹, T: 20 °C

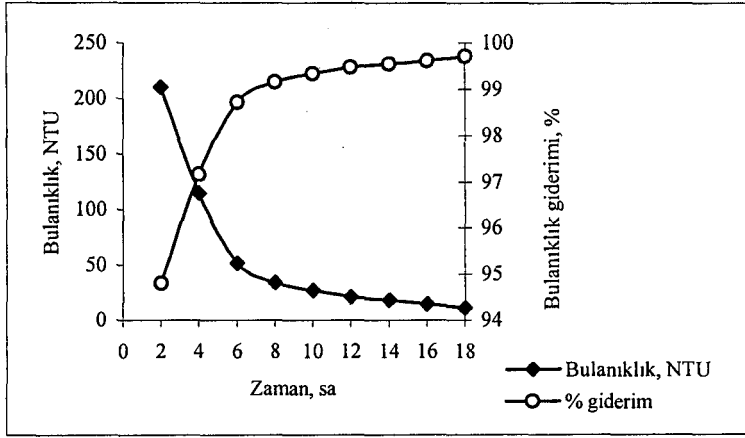
Parametre/Saat	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
pH	4,57	7,8	8,08	8,15	8,23	8,35	8,5	8,61	8,74	8,87
İletkenlik, mScm ⁻¹	220	218	214	210	205	201	195	190	184	179
KOİ derişimi, mgL ⁻¹	41000	21667	15000	12667	8815	6000	3333	1666	999	416
KOİ giderimi, %	-	47	63,4	72,4	78,5	85,4	91,8	95,9	97,6	98,9
Fenol derişimi, mgL ⁻¹	215	4,5	2,9	1,7	0,8	0,4	0,2	0,1	0	0
Fenol giderimi, %	-	97,9	98,6	99,2	99,6	99,8	99,9	99,9	100	100
Bulanıklık, NTU	4050	210	115	52	34	27	21	18	15	11
Bulanıklık giderimi, %	-	94,8	97,1	98,7	99,1	99,3	99,4	99,5	99,6	99,7
Yağ-gres, mgL ⁻¹	1970	-	-	-	-	-	-	-	-	32
Yağ-gres giderimi, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,4



Şekil 5.87 KOİ derişimi ve KOİ gideriminin elektroliz süresince değişimi. L: 7,90 cm³sn⁻¹, NaCl: 5M, i: 25mAc^m-², T: 20 °C



Şekil 5.88 Fenol derişimi ve fenol gideriminin elektroliz süresince değişimi. L: 7,90 cm³sn⁻¹, NaCl: 5M, i: 25mAcm⁻², T: 20 °C



Şekil 5.89 Bulanıklık ve bulanıklık gideriminin elektroliz süresince değişimi. L: 7,90 cm³sn⁻¹, NaCl: 5M, i: 25mAcm⁻², T: 20 °C

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya zeytinyağı üretiminin ve tüketiminin % 75'i Avrupa Birliği Ülkeleri olmak üzere hemen hemen tamamına yakın bir kısmı Akdeniz Ülkelerinde gerçekleştirilmektedir. Bu ülkeler arasında Türkiye, sofralık zeytin üretiminde ikinci ve yağlık zeytin üretiminde ise dördüncü büyük üretici konumundadır. Üretilen zeytinin yaklaşık % 90'ı zeytinyağı üretiminde kullanılmaktadır. Zeytinyağı üretimi sonucunda yan ürün olarak oluşan karasuyun miktarı ve özelliği zeytinyağı üretimi yapan tesislerin kullandığı teknolojiye bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Zeytinyağı üretiminde doğal hammadde haricinde hiçbir kimyasal madde kullanılmamasına karşın karasu yüksek miktarda organik madde, askıda katı madde, zehirli fenolik maddeler ve yağ-gres içerdiğinden yoğun kirletici potansiyeline sahiptir. Çevre Bakanlığınca çıkartılan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY), Gıda Sanayii Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartlarına (Resmi Gazete, 4/9/1988 gün.s.19919) göre karasuyun alıcı ortama deşarjı için KOİ değerinin 250 mgL^{-1} 'nin altına düşürülmesi gerekmektedir. Ayrıca SKKY'nde atıksuyun kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atıksu altyapı tesisleri için deşarj standardı olarak KOİ değeri 4000 mgL^{-1} ve kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atıksu altyapı tesisleri için ise deşarj standardı olarak KOİ değeri 600 mgL^{-1} olarak verilmektedir.

Çok yüksek organik kirlilik yüküne sahip olan karasuyun sucul ortamlara veya araziye gelişigüzel bırakılması önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Yönetmeliklerde belirtilen standartlara göre yurdumuzda zeytinyağı üretimi yapan işletmelerin atıksularını bu düzeylere indirecek şekilde arıttıktan sonra deşarj etmeleri yasal sorumluluk arasındadır. Günümüzde yürürlükte olan Çevre Etki Değerlendirmesi (ÇED) şartlarına göre yeni kurulan ve kurulacak olan tesislerin de ilgili yönetmeliğe uyum sağlayacak önlemleri almaları yasal bir zorunluluktur. Ancak zeytin ağaçlarında görülen var-yok yılı, işletmelerin küçük ve dağınık olması, 100 gün dolayındaki kısa süreli bir kampanya dönemi ve yoğun kirlilik yükü nedeniyle belirtilen yönetmelikteki deşarj koşullarının günümüzde bilinen arıtma yöntemleri ile etkili ve pratik olarak sağlanması olanaksız görülmektedir.

Bu nedenle zeytinyağı endüstrisi atıksuyunun arıtılması için uygun ve kesin çözüm sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, sürekli yöntemle üretim yapan bir zeytinyağı işletmesinden alınan atıksu elektrokimyasal yükseltgeme yöntemi kullanarak arıtılmıştır. Deneysel çalışmalarda destek elektrolit olarak kullanılan NaCl derişimi, akım yoğunluğu, atıksu akış hızı, sıcaklık, elektrot sayısı ve işlem süresi incelenen parametrelerdir.

Destek elektrolit derişiminin etkisi

Elektrokimyasal süreçlerde, elektriksel iletkenliği düşük atıksu uygulamaları için destek elektrolit kullanımı son derece yaygındır. Yüksek iletkenlikle çözeltide bulunan katyonların ve anyonların daha kolay hareketi sağlanarak düşük gerilim uygulanması olanaklı kılınmaktadır. Kolay temin edilebilen, ucuz ve etkin olmasından dolayı yapılan deneysel çalışmaların tamamında NaCl kullanılmıştır.

20 °C sıcaklık ve $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$ atıksu akış hızında, 45, 105 ve 135 mAcm^{-2} akım yoğunluklarında 1M, 2M, 3M ve 5M derişimlerde NaCl kullanılarak destek elektrolit derişimin etkisi incelenmeye çalışılmıştır. 45 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda, 1M, 2M ve 3M NaCl derişimleri için KOİ derişimleri sırasıyla 11.000 mgL^{-1} (% 73 giderim), 8333 mgL^{-1} (% 80 giderim) ve 7000 mgL^{-1} (% 82,9 giderim) olarak bulunmuştur (Şekil 5.3-4). 105 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda ise, 2M ve 3M NaCl derişimleri için KOİ derişimleri sırasıyla 1083 mgL^{-1} (% 97,4 giderim) ve 433 mgL^{-1} (% 98,9 giderim) bulunmuştur (Şekil 5.10-11). 135 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda ise, 1M, 2M, 3M, 5M NaCl derişimleri için KOİ derişimleri sırasıyla 1000 mgL^{-1} (% 97,6 giderim), 734 mgL^{-1} (% 98,2 giderim), 571 mgL^{-1} (% 98,6 giderim) ve 416 mgL^{-1} (% 99 giderim) bulunmuştur (Şekil 5.17-18).

Görüldüğü gibi NaCl derişiminin artmasıyla yük daha aktif bir şekilde elektrot yüzeyine ulaşarak kirleticilerin parçalanmasını kolaylaştırmakta ve KOİ, fenol, yağ-gres ve bulanıklık giderim verimleri artmaktadır. NaCl derişiminin

artmasıyla iletkenlik artmış, gerilim farkı azalmış sonuçta enerji tüketimleri de azalmıştır. (Şekil.5.5, Şekil 5.12 ve Şekil 5.19).

Deneylerin sonunda 416 mgL⁻¹'lik KOİ derişimine ulaşılmasıyla atıksuyun kanalizasyon sistemine deşarjının yapılabileceği görölmektedir.

Akım yoğunluğunun etkisi

20 °C sıcaklıkta, 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, 2M NaCl derişiminde, 25, 45, 65, 75, 85, 105 ve 135 mAcm⁻² akım yoğunlukları denenmiş ve KOİ derişimleri sırasıyla 15.000 mgL⁻¹ (% 63 giderim), 8333 mgL⁻¹ (% 80 giderim), 4833 mgL⁻¹ (% 88 giderim), 4000 mgL⁻¹ (% 90 giderim), 3000 mgL⁻¹ (% 93 giderim), 1667 mgL⁻¹ (% 96 giderim) ve 333 mgL⁻¹ (% 99,1 giderim) olmuştur (Şekil 5.24-25). Benzer şekilde fenol, yağ-gres ve bulanıklık giderimleri de artan akım yoğunluğuyla birlikte artmıştır (Şekil 5.27-30).

Elektrokimyasal süreçler elektron aktarımıyla gerçekleştiğinden akım yoğunluğu ile birlikte giderimin artması beklenen bir durumdur. Akım yoğunluğundaki artışla birlikte enerji tüketimleri artmakta akım verimi azalmaktadır (Şekil 5.26, Şekil 5.33).

Atıksu akış hızının etkisi

135 mAcm⁻² akım yoğunluğunda, 20 °C sıcaklıkta ve 2M ve 5M NaCl derişimlerinde 1,10; 4,60 ve 7,90 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızlarında yapılan deneylerle atıksu akış hızı arttıkça kirletici giderim veriminin arttığı görölmüştür. 5M NaCl derişiminde, KOİ derişimleri; 1,10 cm³sn⁻¹'de, 416 mgL⁻¹ (% 99 giderim), 4,60 cm³sn⁻¹'de, 250 mgL⁻¹ (% 99,4 giderim) ve 7,90 cm³sn⁻¹'de ise 167 mgL⁻¹ (% 99,6 giderim) olmuştur (Şekil 5.41-42). Benzer şekilde fenol giderimi akış hızının artmasıyla artmakta ve % 100 giderim sağlanmaktadır (Şekil 5.48-49). Yağ-gres giderimi de atıksu akış hızının artmasıyla artmaktadır (Şekil 5.50).

Atıksu akış hızının artmasıyla gerilim azalmakta, dolayısıyla enerji tüketimleri azalmakta ve akım verimleri artmaktadır (Şekil 5.40, Şekil 5.43).

7,90 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızı ve 135 mAcm⁻² akım yoğunluğunda KOİ değeri standartlarda belirtilen sınır değeri sağladığı için (167 mgL⁻¹ < 250 mgL⁻¹) arıtılan atıksuyun doğrudan alıcı ortama deşarjı mümkün hale gelmektedir.

Sıcaklık değişiminin etkisi

7,90 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında ve 135 mAcm⁻² akım yoğunluğunda, 2M ve 5M NaCl derişiminde, çözeltili sıcaklığı 7°C, 20°C ve 40°C de tutularak yapılan deneysel çalışmalarda sıcaklık arttkça kirleticilerin giderimlerinin arttığı gözlenmiştir. 5M NaCl derişiminde KOİ değeri; 7°C için 250 mgL⁻¹ (% 99,4 giderim), 20°C için, 167 mgL⁻¹ (% 99,6 giderim) ve 40°C için ise 125 mgL⁻¹ (% 99,7 giderim) olmuştur (Şekil 5.55-56). Fenol derişimleri, 20°C ve 40°C sıcaklıklarda 4.saatin sonunda sıfıra yaklaşmaktadır (Şekil 5.62-63).

5M NaCl ve 40°C sıcaklıkta 125 mgL⁻¹ KOİ derişimine inilerek alıcı ortama yapılacak deşarj standardından daha düşük derişim seviyesine ulaşılmıştır (125 mgL⁻¹ < 250 mgL⁻¹).

Sıcaklığın artmasıyla birlikte enerji tüketimi düşmekte, akım verimi ise artış göstermektedir (Şekil 5.54, Şekil 5.57).

Elektrot sayısının etkisi

Elektrot sayısı artırılarak daha kısa işlem sürelerinde daha yüksek giderim verimlerine ulaşılması hedeflenmiştir.

2M NaCl derişiminde, 25 mAcm⁻² akım yoğunluğu ve 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında tek ve iki elektrot demeti ve 135 mAcm⁻² akım yoğunluğu ve 7,90 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, 2M ve 5M NaCl derişiminde tek ve iki elektrot demeti kullanılarak çalışma yapılmıştır. 135 mAcm⁻² akım yoğunluğunda, 2M NaCl derişiminde yapılan çalışmada KOİ değeri tek elektrot demeti için, 250 mgL⁻¹ (% 99,4 giderim), iki elektrot demeti için ise 133 mgL⁻¹ (% 99,8 giderim) olmuştur (Şekil 5.73-74). 5M NaCl kullanarak yapılan çalışmalarda KOİ değeri tek elektrot demeti için, 167 mgL⁻¹ (% 99,6 giderim), iki elektrot demeti için ise 50 mgL⁻¹ (% 99,9 giderim) olmuştur (Şekil 5.76-77). Aynı şekilde fenol, yağ-gres

ve bulanıklık giderim verimleri de artan elektrot demeti sayısı ile artmaktadır (Şekil 5.79-82, Şekil 5.83-86).

Uygulanan akımın artması sonucunda enerji tüketimi artış gösterirken akım verimi ise azalmıştır (Şekil 5.75, Şekil 5.78).

İki elektrot demeti kullanılarak 135 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda yapılan deneysel çalışmada KOİ gideriminin % 99,9 lara ulaşılması ile deşarj standardının altına inilerek ($50 \text{ mgL}^{-1} < 250 \text{ mgL}^{-1}$) yüksek giderim sağlanmıştır.

Elektroliz süresinin etkisi

$7,90 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$ atıksu akış hızı, 25 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda ve 5M NaCl derişiminde, elektroliz süresi uzatılarak enerji tüketiminin minimum seviyede tutulması sonucunda giderim verimlerinin artırılması amaçlanmıştır. 18 saat sonunda KOİ derişimi 416 mgL^{-1} 'ye düşülerek % 98,9 giderim sağlanmıştır (Şekil 5.87). Ayrıca, % 100 fenol, % 98,4 yağ-gres ve % 99,9 bulanıklık giderimlerine ulaşılmıştır (Şekil 5.88-89). Çalışma sonucunda enerji tüketimi $0.40 \text{ kWh}(\text{kgKOİ})^{-1}$, akım verimi ise 5,67 olarak bulunmuştur.

Yapılan deneylerde gerçek atıksu ile çalışılarak, organik yükün bir göstergesi olan KOİ ile birlikte fenol, yağ-gres ve bulanıklık değerlerinin elektrokimyasal yükseltgenme yöntemi ile giderilmesi çalışılmıştır. 135 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda % 99,9 KOİ, % 100 fenol, % 95'in üzerinde yağ-gres ve % 99,9 bulanıklık giderimlerine ulaşılmıştır. Böylelikle karasuyun yaratacağı çevre etkilerinin en aza indirilebileceği ve herhangi bir ön veya son arıtmaya gerek kalmadan tek arıtma süreci ile arıtımın gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında maliyet konusunda kesin bir sonuca ulaşılamamıştır. Pilot ölçekte yapılacak çalışmalar ışığında yapılacak maliyet analizleri ile giderim açısından etkin olduğu sonucuna varılan elektrokimyasal yöntemin ekonomik açıdan da diğer yöntemlerle karşılaştırılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

1. GALLI, E. ve TOMATI, U., *A common policy to face the problem of olive oil mill wastes*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 121-130, (2002).
2. İSTANBUL TİCARET ODASI, Yayın No: 1999-75, Kanada zeytinyağı pazar araştırması, İstanbul, 35-42, (1999).
3. <http://www.maden.org.tr/yeni3/yayinlar/raporlar>.
4. ÖZKAYA, M. T. ve BİLİR, M., *Ülkemizde zeytinyağı üretimi ve üretimde karşılaşılan sorunlar*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü – Yayın Dairesi Başkanlığı, 1-5, (1998).
5. <http://www.zae.gov.tr/zeytinyagi>.
6. <http://www.izmircevre.gov.tr/yayinayrinti>.
7. TUNALIOĞLU, R., *Zeytinyağı*, T.E.A.E, 1, 1-4, (2002).
8. <http://www.nf-2000.org/reports>.
9. TUNÇER, S., ERDEMİR, C. Ç., YURDABAK, F. E. ve YENİCİ, E., *Zeytinyağı üretiminde karasuyun Akdeniz midyesi Mytilus galloprovincialis (Lam) üzerindeki toksik etkilerinin araştırılması*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 7-13, (2002).
10. <http://www.ucm.es/info/improliv/allgem.htm>.
11. OKTAV, E. ve ÖZER, A., *Zeytinyağı endüstrisi atıksularının özellikleri ve arıtım alternatifleri*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 51-65, (2002).
12. KAVAKLI, M., *Zeytinyağı üretiminden kaynaklanan çevre sorunları ve seçenekli arıtım çözüm yaklaşımları*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 109-120, (2002).
13. DURUCAN, Z. ve GÖRDÜK, Y., *Karasu bertarafı ve yasal çerçevesi*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 293-299, (2002).

14. ŞENGÜL, F., OKTAV, E. ve ÇATALKAYA, E. Ç., *Zeytinyağı üretim prosesine bağlı olarak oluşan karasuyun kirlilik karakteristikleri ve arıtım teknolojileri*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 35-49, (2002).
15. AKAL SOLMAZ, S. K. ve ÜSTÜN, G. E., *Zeytinyağı üretiminden kaynaklanan karasuyun özellikleri ve arıtma seçenekleri*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 321-330, (2002).
16. UĞUR, S., *Zeytinyağı endüstrisi atıksularının elektrokimyasal arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 12-14, (2004).
17. KESTİOĞLU, K., YONAR, T. ve AKAL SOLMAZ, S. K., *Zeytin karasuyunun çevresel etkileri ve bertaraf koşullarının araştırılması*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 315-320, (2002).
18. İNAN, H., ŞİMŞEK, H., KARPUZCU, M. ve DIMOGLO, A., *Elektrokimyasal yöntemler ile zeytinyağı endüstrisi karasuyunun arıtılabilirliği*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 167-178, (2002).
19. KOYUNCU, İ. ve TOPACIK, D., *Zeytinyağ atıksularının arıtılmasında membran teknolojilerinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 179-189, (2002).
20. İNAN, H., ŞİMŞEK, H., KARPUZCU, M. ve DIMOGLO, A., *Olive oil mill wastewater treatment by means of electrocoagulation*, Separation and Purification Technology, Articles in Press, 1-9, (2003).
21. ISRAILIDES, C. J., VLYSSIDES, A. G., MOURAFETI, V. N. ve KARVOUNI, G., *Olive oil wastewater treatment with the use of an electrolysis sytem*, "Bioresource Technology", **61**, 163-170, (1997).
22. GÖKÇAY, F. C. ve YETKİN, F., *Zeytinyağı atıksularının arıtılması*, 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 77-96, (2002).

23. SOYDAN, A. B. ve SARAÇ A. S., *Genel üniversite kimyası ve modern uygulamaları*, Seç yayın Dağıtım, İstanbul, 393-395, (1998).
24. PLETCHER, D., *A first course in electrochemistry*, Electrosynthesis Company Inc., The Environmental Consultancy, 1-50, 189-197, (1991).
25. FENG, C., SUGUIRA, N., SHIMADA, S. ve MAEKAWA, T., *Development of a high performance electrochemical wastewater treatment system*, Journal of Hazardous Materials, 65-78, (2003).
26. CHEN, G., *Electrochemical technologies in wastewater treatment*, Separation and Purification Technol., Articles in Press, Elsevier, 1-31, (2003).
27. GENDERS, J. D. ve WEINBERG, N. L., *Electrochemistry for a cleaner environment*, Electrosynthesis Company Inc., 11-45, (1992).
28. WALSH, F. C., *A first course in electrochemical engineering*, Electrosynthesis Company Inc., The Environmental Consultancy, 13-63, 76-83, (1993).
29. FRANCESCO, M. D. ve COSTAMAGRA, P., *On the design of electrochemical reactors for the treatment of polluted water*, Journal of Cleaner Production, Articles in Press, 1-2, (2002).
30. GEOFFREY, P., *Electrochemical engineering principles*, Prentice- Hall International Editions, 356- 362, (1991).
31. American Public Health Association (APHA), *Standart methods of the examination of water and wastewater*, 17th ed. Washington D. C., 5-9, 5-25, (1989).

EK 1

ÖRNEK HESAPLAMALAR

Yüzde Giderim Hesabı

20 °C sıcaklıkta, 1M NaCl kullanarak, 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, 45 mAcm⁻² akım yoğunluğunda ve işlem süresi olarak da 8 saat alınan deneysel çalışmada % KOİ giderimi hesabı eşitlik 5.1 kullanarak hesaplanmıştır.

$$\%Giderim = \frac{(C_0 - C)}{C_0} * 100$$

$$\%Giderim = \frac{(41000 - 11000)}{41000} * 100$$

$$\% Giderim = 73,1$$

Akım Verimi Hesabı

20 °C sıcaklıkta, 1M NaCl kullanarak, 1,10 cm³sn⁻¹ atıksu akış hızında, 45 mAcm⁻² akım yoğunluğunda ve işlem süresi olarak da 8 saat alınan deneysel çalışmada akım verimi hesabı eşitlik 5.2 kullanarak hesaplanmıştır.

$$\text{Akım verimi} = \frac{Giderim \times C_0 \times F \times V_{\text{çözümlü}}}{I \times t}$$

$$\text{Akım verimi} = \frac{0,731 \times \frac{41000 \text{mgL}^{-1} \times \frac{\text{g}}{10^3 \text{mg}}}{32 \text{g.mol}^{-1}} \times 96500 \text{A.s.mol}^{-1} \times 0,4 \text{L}}{4,32 \text{A} \times 3600 \text{s}}$$

$$\text{Akım verimi} = 2,32$$

Enerji Tüketimi Hesabı

20 °C sıcaklıkta, 1M NaCl kullanarak, $1,10 \text{ cm}^3 \text{ sn}^{-1}$ atıksu akış hızında, 45 mAcm^{-2} akım yoğunluğunda ve işlem süresi olarak da 8 saat alınan deneysel çalışmada enerji tüketimi hesabı eşitlik 5.3 kullanarak hesaplanmıştır.

$$\text{Enerji tüketimi}(\text{kWh}(\text{kgKOİ})^{-1}) = \frac{V \times I \times t}{(C_0 - C) \times V_{\text{reaktör}}}$$

$$\text{Enerji tüketimi}(\text{kWh}(\text{kgKOİ})^{-1}) = \frac{3,3V * 4,32A * 1sa}{(41000\text{mgL}^{-1} - 11000\text{mgL}^{-1}) * \frac{\text{g}}{10^3 \text{mg}} 0,4L}$$

$$\text{Enerji tüketimi} = 1,188 \text{ kWh}(\text{kgKOİ})^{-1}$$