



**MODEL ATIKSULARDAN ELEKTROKİMYASAL
YÖNTEMLERLE DİMETHOATE
İNSEKTİSİTİNİN GİDERİMİ**

Orhan AHADLİ

Yüksek Lisans Tezi

Eskişehir 2019

**MODEL ATIKSULARDAN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLERLE
DİMETHOATE İNSEKTİSİTİNİN GİDERİMİ**

Orhan AHADLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ**

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mayıs 2019**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Orhan AHADLI' nin “**Model Atıksulardan Elektrokimyasal yöntemlerle Dimethoate insektisitinin giderimi**” başlıklı **Çevre Mühendisliği** Anabilim dalındaki Yüksek lisans tezi 31.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

<u>Adı-Soyadı</u>	<u>İMZA</u>
Üye (Tez Danışmanı) : Prof.Dr.Yusuf YAVUZ	
Üye: : Prof.Dr.A Savaş KOPARAL	
Üye: : Dr.Öğr.Üyesi Filiz BAYRAKCI KAREL	

Prof.Dr.Murat TANIŞLI
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

MODEL ATIKSULARDAN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLERLE DİMETHOATE İNSEKTİSİTİNİN GİDERİMİ

Orhan AHADLI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mayıs 2019

Danışman:Prof.Dr.Yusuf YAVUZ

Tarımsal alanlara tehlike yaratan unsurların artışı insanların pestisitlerden kullanmasını gerektirmektedir. Pestisitlerin hedef olan canlılardan başka çevreye, diğer canlılara ve insana zararlı etki etmesinden dolayı onların zararlı etkilerini yok etmek için önlemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada tüm canlılar için hayati önem taşıyan sulardan Dimethoate pestisitinin elektrokimyasal yolla arıtılması amaçlanmıştır. Akım yoğunluğu, pH, destek elektrolit miktarı, hidrojen peroksit gibi bazı parametrelerin KOİ giderimine etkilerine bakılmıştır.

Demir elektrolit ile yapılmış çalışmalarda en iyi verim $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄ destek elektroliti ve 1000mg/L+1000mg/L(30dk) H₂O₂ parametrelerinde görülmüştür. Giderim yaklaşık olarak %64 olmuştur. Alüminyum elektrot ile yapılan çalışmalarda en iyi verim $I=1,5$ A, $i=15$ mA/cm², 10mM Na₂SO₄ destek elektroliti ile yapılan çalışmalarda görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Elektrokimyasal arıtım, Elektrakoagülasyon, Pestisitler, KOİ, Dimethoate, Demir, Alüminyum.

ABSTRACT

REMOVAL OF DIMETHOATE INSECTICID BY ELECTROCHEMICAL METHODS FROM MODEL WASTEWATER

Orkhan AHADLI

Department of Environmental Engineering

Eskisehir Technical University, Institute of Graduate Programs, May 2019

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

An increase in the danger of agricultural areas requires people to use pesticides. Prevention have been developed to eliminate the harmful effects of pesticides due to their harmful effects on the environment, other living things and human beings. In this study its aimed to treat the Dimethoate pesticide which is vital for all living things by electrochemical treatment

The effects of some parameters such as current density, pH amount of support electrode and hydrogen peroxide on the removal of COD are analyzed.

The best conditions by using iron electrodes were $I=2,5\text{ A}$, $i=25\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$ and $1000\text{mg/L}+1000\text{mg/L}(30\text{minute})\text{ H}_2\text{O}_2$. Removal was about 64 %. The best conditions by using aluminum electrodes were $I=1,5\text{ A}$, $i=15\text{ mA/cm}^2$, $10\text{mM Na}_2\text{SO}_4$.

Keywords: Electrochemical removal, Electrocoagulation, Pesticides, Dimethoate, Iron, Aluminum.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca benden yardımını esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Prof.Dr. Yusuf YAVUZ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans yaptığım seneler boyunca benden maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ORHAN AHADLI

Mayıs 2019



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNEMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit program’ıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
Orhan AHADLI

31/05/2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNEMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2.PESTİSİTLER.....	3
2.1. Pestisitlerin Tanımı	3
2.2. Pestisitlerin Tarihi	3
2.3. Pestisitlerin Sınıflandırılması.....	4
2.4. Pestisitlerin Çevreye Etkisi.....	5
2.5. Pestisitlerin İnsana Etkisi.....	5
2.5.1. Pestisitlerin kronik sağlık etkileri.....	6
2.5.1.1. Kanser.....	6
2.6. Pestisitlere Karşı Direnç.....	6
2.7. Dimethoate Pestisiti.....	7
2.7.1. Dimethoate Pestisitinin Kullanım Alanları.....	7
2.7.2 Dimethoate Pestisitinin İnsanlara Etkisi.....	8
2.7.3. Dimethoate Pestisitinin Çevreye ve Diğer Canlılara Etkisi.....	8
3. PESTİSİTLE KİRLENMİŞ SULARI ARITMA YÖNTEMLERİ.....	9
4. ELEKTROKİMYASAL ARITIM	10
4.1. Elektrokimyasal Prosesin Esasları.....	10

4.2 Elektrokimyasal Arıtımın Avantaj ve Dezavantajları.....	11
4.3. Elektrokimyasal Arıtımın Türleri.....	12
4.3.1. Elektrokoagülasyon (EC).....	12
4.3.1.1. Elektrokoagülasyon teknolojisi.....	13
4.3.1.2. Elektrokoagülasyonu etkileyen faktörler.....	16
4.3.1.3. Elektrokoagülasyon yönteminde gerçekleşen reaksiyonlar.....	17
4.3.2. Elektrooksidasyon.....	18
4.3.3. Elektroflotasyon.....	18
5. MATERYAL METOD.....	19
5.1. Deney Düzeneği.....	19
5.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ).....	20
5.2.1. Kullanılan reaktifler.....	20
5.2.2. Deney Süreci	21
5.2.3. Hesaplamalar.....	25
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
6.1 Demir Elektrot Kullanılarak Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	27
6.2. Alüminyum Elektrot Kullanılarak Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	60
7. BULGU VE TARTIŞMALAR.....	64
7.1. pH'ın Etkisi.....	64
7.2 Destek Elektrolit Miktarının Etkisi.....	65
7.3. Akım Yoğunluğunun Etkisi.....	67
7.4. Hidrojen Peroksitin (H_2O_2)'nin Etkisi.....	68
8. SONUÇLAR.....	70
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

4.1. Bir elektrokimyasal hücrenin şematik görünümü.....	11
4.2. Paralel bağlı mono polar EC sistemi.....	14
4.3. Seri bağlı mono polar EC.....	15
5.1. Deney düzeneği.....	20
5.2. Termoreaktör.....	22
5.3 Santrifüj cihazı.....	22
5.4 Santrifüj cihazının iç görünüşü.....	23
5.5. Manyetik karıştırıcı.....	23
5.6.KOİ tüpleri.....	24
5.7.pHmetre ve iletkenlik ölçen cihaz.....	24
6.1. KOİ-zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm ² ve 5 mM Na ₂ SO ₄).....	28
6.2. KOİ %- zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm ² ve 5 mM Na ₂ SO ₄).....	28
6.3. Enerji tüketimi- zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm ² ve 5 mM Na ₂ SO ₄).....	29
6.4. KOİ-zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄).....	30
6.5. KOİ %-zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄).....	30
6.6. Enerji tüketimi-zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄).....	31
6.7. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 5mM Na ₂ SO ₄).....	32
6.8. KOİ % – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 5mM Na ₂ SO ₄).....	33
6.9. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 5mM Na ₂ SO ₄).....	33
6.10. KOİ-zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄).....	34
6.11. KOİ %-zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄).....	35
6.12. Enerji tüketimi-zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄).....	35
6.13. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1000mg/L H ₂ O ₂)..	36
6.14. KOİ % – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1000mg/L H ₂ O ₂).....	37
6.15. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1000mg/L H ₂ O ₂).....	37

6.16. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$).....	38
6.17. KOİ % – zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$).....	39
6.18. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$).....	39
6.19. KOİ – zaman ilişkisi ($I=3A$, $i=30 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$).....	40
6.20. KOİ % – zaman ilişkisi ($I=3A$, $i=30 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$).....	41
6.21. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=3A$, $i=30 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$).....	41
6.22. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$).....	42
6.23. KOİ % – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$).....	43
6.24. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$).....	43
6.25. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$).....	44
6.26. KOİ % – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$).....	45
6.27. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$).....	45
6.28. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$).....	46
6.29. KOİ %- zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$).....	47
6.30. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$).....	47

6.31. KOİ-zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	48
6.32. KOİ %-zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	49
6.33. Enerji tüketimi-zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	49
6.34. KOİ – zaman ilişkisi ($I=3$ A, $i=30$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	50
6.35. KOİ %- zaman ilişkisi ($I=3$ A, $i=30$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	51
6.36. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=3$ A, $i=30$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	51
6.37. KOİ – zaman ilişkisi (pH= 3,08 $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000mg/L H ₂ O ₂ ,).....	52
6.38. KOİ% – zaman ilişkisi (pH= 3,08 $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000mg/L H ₂ O ₂ ,).....	53
6.39. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi (pH= 3,08 $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000mg/L H ₂ O ₂ ,).....	53
6.40. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2500 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	54
6.41. KOİ% – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2500 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	55
6.42. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2500 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	55
6.43. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i= 25$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2500 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	56
6.44.KOİ% – zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i= 25$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2500 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	57
6.45.Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i= 25$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2500 mg/L H ₂ O ₂ ,).....	57

6.46. KOİ-zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1000mg/L+1000mg/L (30 dk) H_2O_2).....	58
6.47. KOİ%-zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1000mg/L+1000mg/L (30 dk) H_2O_2).....	59
6.48. Enerji tüketimi-zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1000mg/L+1000mg/L (30 dk) H_2O_2).....	59
6.49. KOİ-zaman ilişkisi ($I=1,5 A$, $i= 15 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$).....	60
6.50. KOİ%-zaman ilişkisi ($I=1,5 A$, $i= 15 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$).....	61
6.51. Enerji tüketimi-zaman ilişkisi ($I=1,5 A$, $i= 15 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$).....	61
6.52. KOİ-zaman ilişkisi ($I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$).....	62
6.53. KOİ%-zaman ilişkisi ($I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$).....	63
6.54. Enerji tüketimi-zaman ilişkisi ($I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)....	63
7.1. pH'ın KOİ'e etkisi.....	64
7.2. pH'ın KOİ % etkisi.....	64
7.3. pH'ın enerji tüketimine etkisi.....	65
7.4. Destek elektrolit miktarının KOİ değişimine etkisi	65
7.5.Destek elektrolit miktarının KOİ% değişimine etkisi.....	66
7.6.Destek elektrolit miktarının enerji tüketimine etkisi.....	66
7.7.Akım yoğunluğunun KOİ-e etkisi.....	67
7.8. Akım yoğunluğunun KOİ%-e etkisi.....	67
7.9. Akım yoğunluğunun enerji tüketimine etkisi.....	68
7.10. Hidrojen peroksitin (H_2O_2)'nin KOİ'e etkisi.....	68
7.11. Hidrojen peroksitin (H_2O_2)'nin KOİ %'e etkisi	69
7.12. Hidrojen peroksitin (H_2O_2)'nin enerji tüketimine etkisi.....	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1. Elektrokimyasal redoks reaksiyonları.....	10
6.1. $I=1,5$ A, $i=15$ mA/cm ² , 5 mM Na ₂ SO ₄ , V= 400 mL.....	27
6.2. $I=1,5$ A, $i=15$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , V= 400mL	29
6.3. $I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 5mM Na ₂ SO ₄ , V= 400mL.....	31
6.4. $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , V= 400mL	34
6.5. $I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1000mg/L H ₂ O ₂	36
6.6. $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1000mg/L (H ₂ O ₂), V= 400mL.....	38
6.7. $I=3$ A, $i=30$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1000mg/L H ₂ O ₂ , V= 400mL.....	40
6.8. $I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1500 mg/L 'i (H ₂ O ₂), V= 400mL.....	42
6.9. $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1500 mg/L H ₂ O ₂ , V= 400mL.....	44
6.10. $I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ , V= 400mL.....	46
6.11. $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ , V= 400mL.....	48
6.12. $I=3$ A, $i=30$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000 mg/L H ₂ O ₂ , V= 400mL.....	50
6.13. pH= 3,08 $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2000mg/L H ₂ O ₂ , V= 400mL..	52
6.14. $I=2$ A, $i=20$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2500 mg/L H ₂ O ₂ , V= 400mL.....	54
6.15. $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 2500 mg/L H ₂ O ₂ , V= 400mL.....	56
6.16. $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm ² , 10 mM Na ₂ SO ₄ , 1000mg/L+1000mg/L (30 dk) H ₂ O ₂ , V=400mL.....	58
6.17. $I=1,5$ A, $i=15$ mA/cm ² ve 10 mM Na ₂ SO ₄ , V=400 mL	60
6.18. $I=1,5$ A, $i=15$ mA/cm ² ve 15 mM Na ₂ SO ₄ , V=400 mL.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KOİ	: kimyasal oksijen ihtiyacı
mg/L	: miligram/litre
%	: yüzde
pH	: power of hydrogen
µS/cm	: mikrosiemens/santimetre
EC	: Elektrokoagülasyon
kWh/m³	: kilowattsaat/metreküp
mA/cm²	: miliamper/metrekare
DDT	: diklorodifeniltriikloroetamin
g/mol	: gram/mol
g/cm³	: gram/santimetreküp
GAC	: granül aktif karbon

1.GİRİŞ

İnsan nüfuzunun artışı, teknoloji ve bilimin durmadan gelişimi doğamıza etkisini göstermeden geçmiyor. Teknoloji ve bilimin gelişimi bizler için faydalı olduğu gibi hem de zararsızda ötüşmüyor. Bundan en çok zarar gören ise doğamızdır. Toprak, su, hava her biri ayrı ayrılıkta kendi payına düşen zarara uğramaktadır. Bunlardan bizim için en önemli olan kaynak sudur. Bildiğimiz gibi su yeryüzündeki tüm canlılar için vazgeçilmez bir kaynaktır. Su olmazsa yeryüzünde hayat devam edemez ve tüm canlı varlıklar yok olur.

Dünyamızdaki su kaynaklarının %96,5'unu denizler ve sadece %3,5'unu kısmını tatlı sular oluşturmaktadır. Dünya yarandıktan şimdiki zamanımıza kadar su miktarının sabit kalmasına rağmen, biz-insanoğlunun suya olan ihtiyacı her geçen sene artmaktadır. Sadece insanoğlunun ihtiyacı için değil hem de çevresel dengenin korunması ve diğer canlıların yaşamını sürdürebilmesi için su çok önemli role sahiptir [1].

Su kaynaklarımız birçok nedenlerden dolayı kirlenmektedir. Suların kirlenme nedenlerini aşağıdaki gibi göstere biliriz.

- evsel atıklardan kirlenme
- endüstriyel kirlenme
- tarımsal kirlenme [2].

Suların kirlenmesini fiziki, radyoaktif, kimyevi ve termal olarak sınıflandıra biliriz.

- Fiziki kirlenme zamanı çeşitli maddeler tarafından suyun görünüşü bozulmakta ve suda kötü tat, renk, koku yaranmaktadır. Bu kirlenme suya bulanıklıkta vermektedir.

- Kimyevi kirlenme zamanı suya çeşitli kimyasallar karışmaktadır. Bu kimyasallar sulardan yararlanmamızı kısıtlanmakta ve su canlılarına toksin etki göstermektedir.

- Nükleer silah tecrübeleri radyoaktif maddelere ait cevherlerin yeraltından çıkarılarak işlenmesi gibi sebeplerden radyoaktif kirlenme oluşmaktadır.

- Sanayi kollarının ve ısı santralleri sularının yüzey sulara verilmesi sıcaklığa doğrudan etki etmektedir. Aşırı sıcaklık su canlılarının ölümüne sebep olmaktadır. Bu tip kirlenme termal kirlenme sınıfına dahil olmaktadır [3].

Su kirleticileri içerisinde en tehlikelilerden biri de pestisitlerdir. Yağmur veya başka nedenler sebebiyle pestisitler su kaynaklarına karışırlar. Suyula karışan pestisit birçok kötü nedenlere yol açabilir. Bu sebepten pestisitlerin sularla karışmaması için

önlemler alınmalı veya oluşan atık suyu arıtmak gerekmektedir. Pestisitlerle kirlenmiş atık sulardan pestisitleri gidermek için bir sıra yöntemler denenmiştir.

Yapılmış bu çalışmada Dimethoate pestisiti ile kirlenmiş atık suyun demir ve aliminim elektrot kullanarak elektrokimyasal yolla arıtımı amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda bir sıra faktörlerin atıksuda KOİ giderimine etkisine bakılmıştır.

- Akım yoğunluğu
- Hidrojenperoksit derişimi
- Destek elektrolit derişimi
- pH

2. PESTİSİTLER

2.1. Pestisitlerin Tanımı

İnsanlar yarandıktan şimdiye kadar tarım ile yakından ilgilenmiş ve bu yönde çeşitli işler yapmışlar. Ama her zaman işler istedikleri gibi gitmemiştir. Bir sıra faktörler onların işini aksatmış veya tamamen mahvetmiştir. Bu faktörlerden biri ve en geniş yayılmışlarından olan tarımsal alana böcek veya tarımsal alana zarar veren başka canlıların saldırısıdır.

İnsanlar bu problemi aradan kaldırmak için yollar aramışlar. Bu yönde bulunan en iyi çözümlerden biri pestisit kullanımıdır. Pestisitler zararlı böcek, bitki ve başka istenmeyen zararlı canlılara karşı insanlar tarafından kullanılan bir kimyasaldır. Başka sözle pestisitler tarımsal ürünlere zarar verecek olan etmenlere karşı insanların yararlandıkları kimyasal maddelerin toplamına verilen genel addır. Pestisit sözü adını Latince'den almıştır ve “hastalık öldürücü” anlamını vermektedir [4].

2.2. Pestisitlerin Tarihi

İnsanlar her zaman yaşadığı çevreyi, gıda gibi kullandıkları bitkileri hayvanlardan ve zararlı mikroorganizmalardan korumak için çaba sarf etmişler. Bu sebeple şimdiye kadar birçok kimyasallar denenmiştir. Milattan önce (M.Ö) 1500'lere dair bulunmuş papirüslerde bazı zararlı böceklere karşı pestisit kullanıldığını gösteren bilgilere rastlanmıştır. İlk olarak kullanılan pestisitlerin kükürt ve arseniden alınması ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak 19. yüzyıllarda fungusit olarak kullanılan sülfürün milattan önce 1000 senelerinde fumigant olarak kullanılması fakti de vardır [5]. II Dünya savaşına kadar kullanılan maddeler sınırlı sayıda idi. Bunlara örnek olarak bakır tuzları, arsenik, siyanür, cıva tuzlarını göstermek olur. Pestisitlerin böceklere karşı geniş kullanılmasına 1940'lı yıllarda başlandı. Paul Mueller, diklorodifeniltri-kloroetamin adlı bir madde buldu ve onun pestisit özelliklerini belirledi. Kısaca DDT olarak adlandırılan bu madde, piyasaya girdiği günden itibaren tüm dünyaya çok hızlı bir şekilde yayıldı [6].

2.3. Pestisitlerin Sınıflandırılması

Pestisitler birkaç faktöre göre sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler biyolojik hedeflere göre, etki biçimlerine göre, biyolojik dönemlere göre, pestisitlerin formülasyon şekillerine göre sınıflandırılır.

1.Biyolojik hedeflere göre sınıflandırmaya aşağıdakiler aittir.

- İnsektisitler (böceklerle karşı)
- Bakterisitler (bakterilere karşı)
- Nematisitler (nematodlara karşı)
- Fungusitler (mantarlara karşı)
- Algisitler (yosunlara karşı)
- Rodentisitler (kemirici hayvanlara karşı)
- Herbisitler (yabani otlara karşı)
- Mollustisitler (salyangozlara karşı)
- Akarisitler (kırmızı örümceklere ve akarlara karşı)

2.Pestisitlerin etki biçimlerine göre sınıfları:

- Kontak etkili pestisitler
- Mide zehiri pestisitler
- Solunum zehiri pestisitler
- Boğucu pestisitler

3.Pestisitlerin biyolojik dönemlere göre sınıfları

- Ovisit
- Larvisit
- Ovalarvisit
- Adultisit

4.Pestisitler formülasyon şekillerine göre de sınıflandırılır.

- Sıvı (EC)
- Suda ıslanan toz (WP)

- Suda çözünebilir toz (SP)
- Toz (Dust)
- Granül (G)
- Pelet (P)
- Gaz (Gas) [7].

Bundan başka kimyasal yapılarına, toksisite derecelerine göre ve kalıcılıklarına göre de pestisitler sınıflandırılırlar [8].

2.4. Pestisitlerin Çevreye Etkisi

Pestisitler çevreyi hem noktasal hem de yayılı kaynaklı kirlenmeye maruz bırakmaktadır. Yeraltı suların yüzeye yakın olduğu yerler, insanların çok olduğu yerler, nesli tükenmekte olan hayvan türlerinin yaşadığı alanlar, bal arılarının yuvalarına yakın alanlar, gıda bitkileri yayılmış araziler pestisitlere karşı duyarlı alanlardır [9]. Pestisitler direk olarak toprağa uygulanırlar fakat sonra bu zararlı kimyasallar buharlaşma sonucunda atmosfere girer ve rüzgâr vasıtasıyla yayılırlar. Toprakta olduğu zaman toprağa zarar vererek onun doğal yapısını bozan pestisitler atmosferden su yüzeylerine geçerek orada da çevresel sorunlara yol açarlar. Bunların sonucunda suda ve toprakta yaşayan canlılarda zarar görür ve hatta bu durum onların ölümüne de sebep ola bilir. Pestisitler çevredeki diğer canlılara da zararlıdır. Pestisitler kuşlar, balıklar gibi hedef olmayan canlılarda üreme kabiliyetlerinin minimuma inmesine yol açarlar [10]. Pestisitler toprakta bitkilere nüfuz ederek onların gelişimine engel olmaktadır. Öte yandan pestisit kalıntıları olan yemden gıda olarak yararlanan hayvanlarda pestisitlerin etkisine maruz kalırlar [11].

2.5. Pestisitlerin İnsan Sağlığına Etkisi

Her geçen yıl artan insan nüfusu tarımsal alanlara ihtiyacı artırmaktadır. Buna rağmen tarımsal alanlar hala da kısıtlı olarak kalmıştır. Bu sebepten insanlar artan nüfusa besin yetiştirmek için tarımsal alanları ona zarar veren her şeyden korumaya çalışmaktadır. Besinleri korumak için kullanılan pestisitler çevreye olduğu gibi insanlara da toksik etkisini göstermektedir. Bu yüzden tarımsal ilaçları kullanırken

usulüne uygun davranmak gerekmektedir. Bu zaman bahsettiğimiz maddelerin riski minimuma indirilebilmektedir [12].

Bu kimyasalların insan sağlığına birçok fesatları vardır. Ortamdaki maddeler havadan, sudan solunum veya ağız yoluyla insana ulaşırlar. Bu istenmeyen durum havadan buhar ve sis vasıtasıyla veya içtiğimiz ya da duş aldığımız su vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Kimyasallara doğrudan temas edinmesi durumunda bu maddeler deri vasıtasıyla insana nüfuz eder ama sadece doğrudan temas değil hem de hava ve suda birikmiş zararlı kalıntılarda insanın derisine nüfuz edebilmektedir [13].

2.5.1. Pestisitlerin kronik sağlık etkileri

Pestisitler farklı yollarla insana nüfuz etmekte ve insanları hasta etmektedir. Pestisitlerin insanlarda kronik etkilerine kanser, doğum defektleri, nörofizyolojik değişiklikleri örnektir.

2.5.1.1. Kanser

Son çalışmalar pestisite maruz kalmış kişilerin kanser olma riskinin artmasını göstermiştir. Almanya, ABD, İtalya, Yeni Zelanda da yapılan çalışmalar pestisit akciğer, testis, beyin, karaciğer kanserine kapılma riskinin baya artırdığını kanıtlamıştır [14].

Pestisitler hem de Parkinson hastalığına, astım, üreme ve öğrenme problemlerini de oluşturmaktadır.

2.6. Pestisitlere Karşı Direnç

İnsanların tarımsal alanlarda seneler boyunca zarar vericilere karşı pestisit kullanımı onlarda pestisitlere karşı direnç ortaya çıkarmıştır. Bir kimyasala direnç zarar vericilerin bu kimyasalın önceler verilip ve başarıyla sonuçlanan dozuna artık kafa tutmasıdır. Bu kazanımlar genetik olduğundan direnç kazanan zarar vericiler bunu sonraki nesline de ötürebilmektedir. Böyle durum söz konusu oldukça tarımsal alanda kayıplara yol açılmakta ve böceklerle karşı savaşta başarıyı aza indirmektedir [4].

Böceklerde artık pestisitlere direnç her geçtiğimiz dönem artmaktadır. Böceklerde pestisitlere karşı fizyolojik ve davranışsal olarak 2 tür direnç türü gelişmiştir.

Fizyolojik direnç canlının pestisite karşı bağışıklık elde etmesidir. Canlı kimyasalı daha az geçirir hale geliyor ve kimyasalı kendi içinde zararsız olarak biriktirebilmekte veya tamamen kendinden uzaklaştırıp ata bilme özelliğini kazanmaktadır [6].

Davranışsal direnç ise pestisite maruz kalan zarar vericilerin davranışlarını değiştirerek, yeni koruyucu davranış özellikleri elde etmesidir. Buna örnek olarak sivrisineklerin dinlenme yerlerini değiştirmesini, sineklerin ise alıştığı yemek türlerinden zehirli olması nedeniyle vazgeçmesini söylemek olur [6].

Pestisitlere direnç her sene geçtikçe artmaktadır. 1938 senesinde sadece 7 dirençli tür vardıysa 1970'lerde bu sayı 224, 1984 senesinde ise 447'e kadar artmıştır [6].

Farklı böceklerin farklı biyolojik özellikleri vardır ama çoğunun pestisitlere karşı direnç mekanizmaları aynıdır [13].

2.7. Dimethoate Pestisiti

Dimethoate pestisiti pestisitlerin organofosfat insektisit sınıfına dahil olup böceklerle karşı mücadelede kullanılmaktadır. Dimethoate hem de akarsit olarak tanınmaktadır. Bu pestisitin patenti 1950 senesinde amerikalı Cyanamid tarafından alınmıştır. Dimethoate'ın kaynama noktası 117°C, molar kütlesi 229,26 g/mol, yoğunluğu ise 1,3 g/cm³ olarak bilinmektedir. Formülü ise C₅H₁₂NO₃PS₂ şeklindedir [14]. Organofosforlu pestisitler suda kolay çözünürler. Dimethoate pestisiti de organofosfat insektisit olduğundan ortamda diğer ilaçlardan daha az kalıcıdır [15]. Bu kimyasalın yarı ömrü 5-30 gün olarak belirlenmiştir.

2.7.1. Dimethoate pestisinin kullanım alanları

Dimethoate insektisiti birçok meyve ve sebzelerin üretiminde onlara zarar verebilecek olan canlılara karşı kullanılmaktadır. Elma, şeftali, zeytin, antepfıstığı, susam, pamuk gibi ürünlerin gelişim sürecine engel olan böceklerle karşı bu pestisitin kullanılması çok uygundur. Susamda güve, pamukta tahtakuruları, zeytinde sinek, kurt, kırlangıç böceği, antepfıstığında meyve iç kurdu, güve, göz kurdu gibi zararlı haşere ve böceklerle karşı dimethoate içeren Poligor kimyasalı kullanılmaktadır [16]. Bundan başka dimethoate portakal, limon, kavun, armut, ceviz, karpuz, domates, tütün üzerindeki yaprak bitlerine veya beyaz sinekler, bitki saksıları gibi böceklerle karşı kullanılır [17].

2.7.2. Dimethoate pestisitinin insanlara etkisi

Dimethoate pestisiti de her pestisit gibi yanlış kullanıldığında veya herhangi bir iş kazasında çevre ve diğer canlılar gibi insanlara da zarar vermektedir. Bu pestisit memeliler için orta derecede toksik sayılmaktadır. Bu da memeliler grubuna dahil olan insanlar içinde ciddi sağlık tehlikesi anlamına gelmektedir. Kimyasal kana girebilir ve oradan böbrek, ciğerler, beyin ve diğer organlara rahat ulaşabilir [18].

2.7.3. Dimethoate pestisitinin çevreye ve diğer canlılara etkisi

Dimethoate pestisiti organofosfat bir insektisit olup suda çok rahatlıkla çözüldüğünden bitki ve topraktan salınıp, daha sonra ise yüzey sularına karışır. Dimethoate pestisitinin etkisi tatlı su balıklarında, salyangozlarda görülmüştür. Kimyasalın nüfuz ettiği salyangozlarda büyümede azalmaya, davranışlarında değişikliğe, üreme bozukluklarına rast gelinmektedir [19-21]. Dimethoate toprakta çok dengesiz olduğundan topraktan yeraltı sulara rahatlıkla geçebilir. Bu kimyasal humusla bol topraklarda zehirliliğini 9-15 gün arasında sürdürebilir.

Topraktaki organik maddenin artışı dimethoatenin yeraltı sulara sızması riskini azaltmaktadır [22].

3. PESTİSİTLE KİRLENMİŞ SULARI ARITMA YÖNTEMLERİ

Jusoh ve arkadaşları (2010) pestisitlerin tarımsal alanlardan gidermek için granül aktif karbondan yararlanmışlar. Bu çalışmadaki deneyler granül aktif karbonun pestisitlerin bertarafındaki etkisini ortaya çıkarmak için yapılmıştır. GAC (granül aktif karbon) niteliğinde Hindistan cevizi kabuğu ve palmyeden yararlanılmıştır. Bu deneyde Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modelleri kullanılmıştır. Deney sonuçlarında Langmuir ve Freundlich izotermi için en fazla adsorpsiyon kapasitesi 909,1 mg/g olarak tespit edilmiştir. Bu deneysel sonuçlardan GAC ile adsorpsiyonun pestisit gideriminde etkili olduğu görülmektedir [23].

Sheng ve arkadaşları (2005) buğday atıklarından ürettikleri adsorban madde ile topraktan pestisit arıtımına bakmışlar. Yapılan deneyler karbonize maddenin pestisitlere karşı yararlanabilecek ve etkin bir adsorban olduğu kanıtlanmıştır [24].

Akhtar ve arkadaşları (2007) metil paration (MP) adlanan bir pestisit pamuk tarımından giderilmesi için çalışma yapmışlar. Bunun için Akhtar ve arkadaşları tarımsal atıklardan yararlanmışlar. Çalışmalarda pirinç kepeği, şeker kamışının külü ve pirinç kabuğu kullanılmıştır. Çalışmalarda sıcaklık, pH, kimyasal aktivasyon, çalkalama süresi gibi parametrelere dikkat edilmiştir. 3.8×10^{-4} M derişimde olan 25 ml'lik bir çözeltiye 0,1 g adsorban atıp 1,5 saat karıştırdıktan sonra MP'nin %70-90 aralığında giderim yaptığı tespit edilmiştir. Kullanılan maddelerin giderime katkısı pirinç kepeği> şeker kamışı külü>pirinç kabuğu şeklinde olmuştur. Alınan sonuçlar sistemin yararlı, ekzotermik olduğunu göstermektedir [25].

Lu ve arkadaşları (1997) pestisit arıtımı için fenton reaksiyonları yapmışlar. 60 dakika süren reaksiyonda (0,5mM Fe(II) ve 5mM H₂O₂) ile (0,05mM Fe(II) ve 5mM H₂O₂) kullanılmıştır. Reaksiyon verimleri sırasıyla %99,8 ve %40 olmuştur [26].

Baltacı tarafından yapılan bir araştırmada imidaclopridin ozon kullanılarak arıtılmasına çalışılmıştır. Ama sonuç istenileni vermemiştir. Çalışmada %25-30 giderimin olması ve bu aktif maddenin sadece suyla bile %32,6 azaldığını göz önünde bulundursak ozonla giderimin anlamsız olduğu sonucuna gelinmiştir [27].

4. ELEKTROKİMYASAL ARITIM

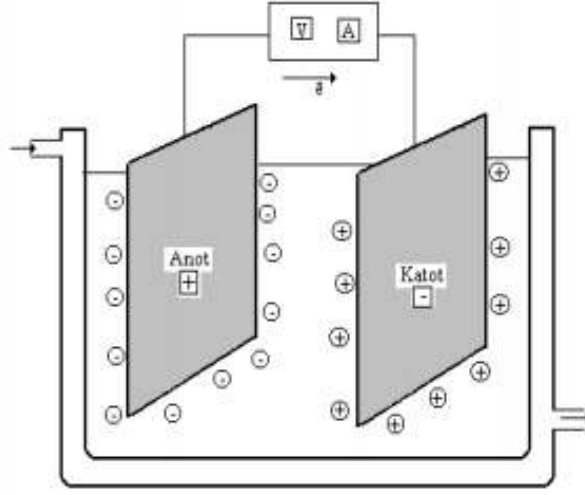
Kirlenilen temel bileşenlerden en önemlisi sudur. Sanayinin gelişmesi sonucunda suların kirlenmesi daha da artmıştır. Bu kendiyle beraber çeşitli atıksu oluşumuna yol açmıştır. Atıksu giderimi için birçok arıtım prosesi yaratılmıştır [28].

4.1. Elektrokimyasal Prosesin Esasları

Elektrokimyasal tepkimeler, elektrolitden hareket eden iyonik bileşiklerin anotta ve katotta yükseltgendiği veya indirgendiği heterojen iyon transferi tepkimeleridir. Anot ile katotta çoğu zaman metal, karbon veya bir yarı iletken elektrot kullanılmaktadır. Bir elektroliz hücresinin şematik olarak görüntüsü Şekil 4.1 de, anot ve katotta oluşan reaksiyonlar ise Çizelge 4.1’de verilmiştir [29].

Çizelge 4.1. *Elektrokimyasal redoks reaksiyonları*

Anot reaksiyonları	Katot reaksiyonları
- Elektron verir - Anotta yükseltgenme olur - Anotta çözünme olur $(Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-)$ - Anolit bölge oluşur - Anotta oksijen çıkışı gözlenir $2H_2O + 4e^- \rightarrow O_2(g) \uparrow + 4H^+$ - Anyonlar anotta toplanır	- Elektron alır - Katotta indirgenme olur - Katotta birikme olur $(Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu)$ - Katolit bölge oluşur - Katotta hidrojen çıkışı gözlenir $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2(g) \uparrow + 2OH^-$ - Katyonlar katotta toplanır



Şekil 4.1. Bir elektrokimyasal hücrenin şematik görünümü

Elektrokimyasal yöntemler bazı kriterleri nedeniyle diğer yöntemlerden ön plana çıkmaktadır.

1.Enerji verimliliği- Elektrokimyasal prosesler diğer proseslerle mukayesede daha az ısıya ihtiyaç duyar.

2-Çok yönlülük- Elektrokimyasal prosesler birçok çevresel sorunların aradan kaldırılmasında kullanılabilir.

3-Maliyet tesirliliği- Ekipmanların tasarlanması, üretilmesi çok basit ve maliyeti düşüktür [30].

Şimdiki şartlarda elektrokimyasal yöntemler pahalı olsa bile başka teknolojilere nazaran az yer kapsayan etkili yöntemlerdir. Ayrışması zor olan kirletici gruplarını kendinde barındıran atıksuların gideriminde elektrokimyasal teknolojiler paha biçilemez yöntemlerdir [31].

4.2 Elektrokimyasal Arıtımın Avantaj ve Dezavantajları

Her metodun kendine has avantajı ve dezavantajı olduğu gibi elektrokimyasal arıtımında hem avantajları hem de dezavantajları vardır.

Elektrokimyasal arıtımın avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Çok basit bir işletme ile iyi verim alabilmektedir
- Atıksulardan iyi derecede koku ve renk giderimi sağlar
- Birkaç kirletici aynı anda giderilebilir

- Az enerji gereksiniminden dolayı lazım olan enerji rahatlıkla karşılanabilir
- Aşırı ısı herhangi sorun yaratmamaktadır
- Az kimyasal madde gereksinimi

Dezavantajları:

- Elektrot, atıksu içinde çözünmüş maddelerin yükseltgemesi sonucunda oksitlenebilir
- Birçok yerlerde elektrik maliyetinin yüksek olması
- Atıksuda askıda olan maddelerin yüksek iletkenliğinin olması gereksinimi
- Bazı deneylerde çözünabilir maddelerin hidroksit halinde çökebilmesi [32].

4.3. Elektrokimyasal Arıtımın Türleri

Elektrokimyasal arıtım kendisinin birkaç türü vardır. Genel olarak elektrokimyasal arıtımın 3 temel çeşidini ayırabiliriz.

- Elektrokoagülasyon
- Elektrooksidasyon
- Elektroflotasyon

4.3.1. Elektrokoagülasyon (EC)

Elektrokoagülasyon yöntemi elektrokimyasal arıtımın en yaygın kullanılan yöntemlerinden biridir. Koagülasyon daha ufak parçacıklardan daha iri parçacıklar veya flok yaranması şeklinde tanımlanabilir [33]. Başka tabirle desek elektrokoagülasyon elektrokimyasal metotla koagülantların yaratılması prosesidir [32]. Elektrokoagülasyonda elektrotlarda baş veren tepkimeler sonucunda koagülasyon sağlanır. Elektrot malzeme olarak ucuz, kolay bulunabilir ve yararlılığı kanıtlanmış demir ve alüminyum kullanılır [35]. Bu elektrotlar deney zamanı suyla tepkimeye girerek $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ ortaya çıkarmaktadır. Bu metal hidroksitlerin yaranmasıyla sistemde arıtım başlamaktadır [32].

Elektrokoagülasyonda 3 temel işlem vardır.

- Elektrotlar üzerinde baş veren elektrolitik tepkimeler
- Sıvı fazda koagülant oluşumu
- Çözünebilir ya da koloidal kirleticilerin flotasyon, koagülant, sedimentasyon veya adsorpsiyon vasıtasıyla arıtımı [36].

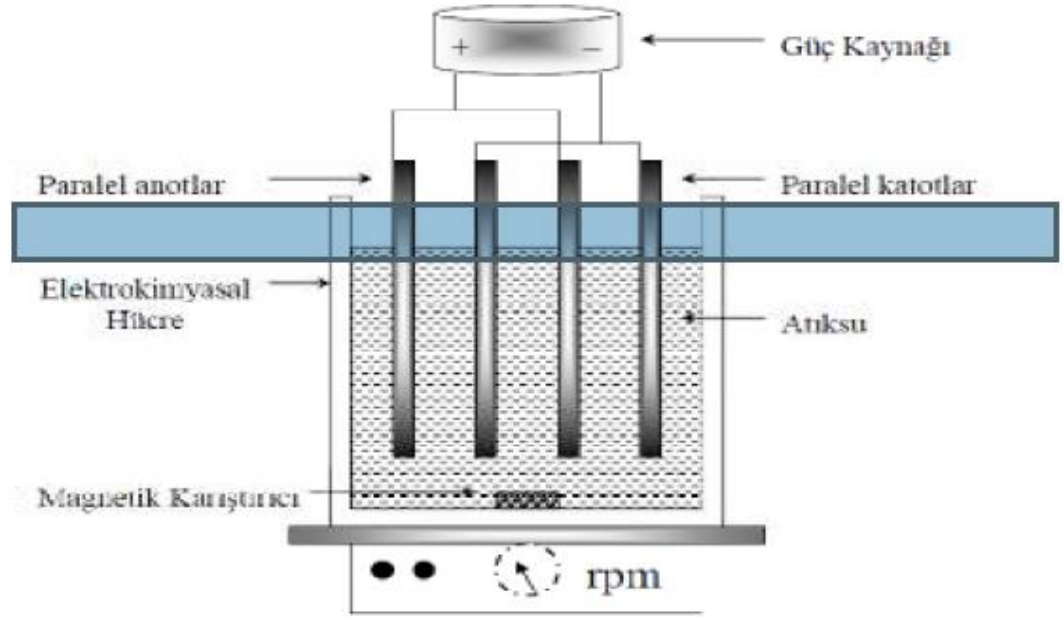
Atıksu giderimi ile alakalı çalışmalar tekstil, deri, kimyasal fiber, kürk, petrol, boya ve nitrit sanayilerin ait atıksu gideriminde elektrokoagülasyon yönteminin iyi verimli olduğunu göstermiştir [36].

Elektrokoagülasyon prosesinin avantajları:

- Güvenli olması
- Çok yönlülük
- Otomasyona uyumluluk
- Çevreye uyumlu olması
- Enerji verimliliği
- Kısa bekleme süresi
- Kimyasal kullanılmaması veya çok az kimyasal gereksinimi
- Kolay yönetilebilirlik [35].

4.3.1.1. Elektrokoagülasyon teknolojisi

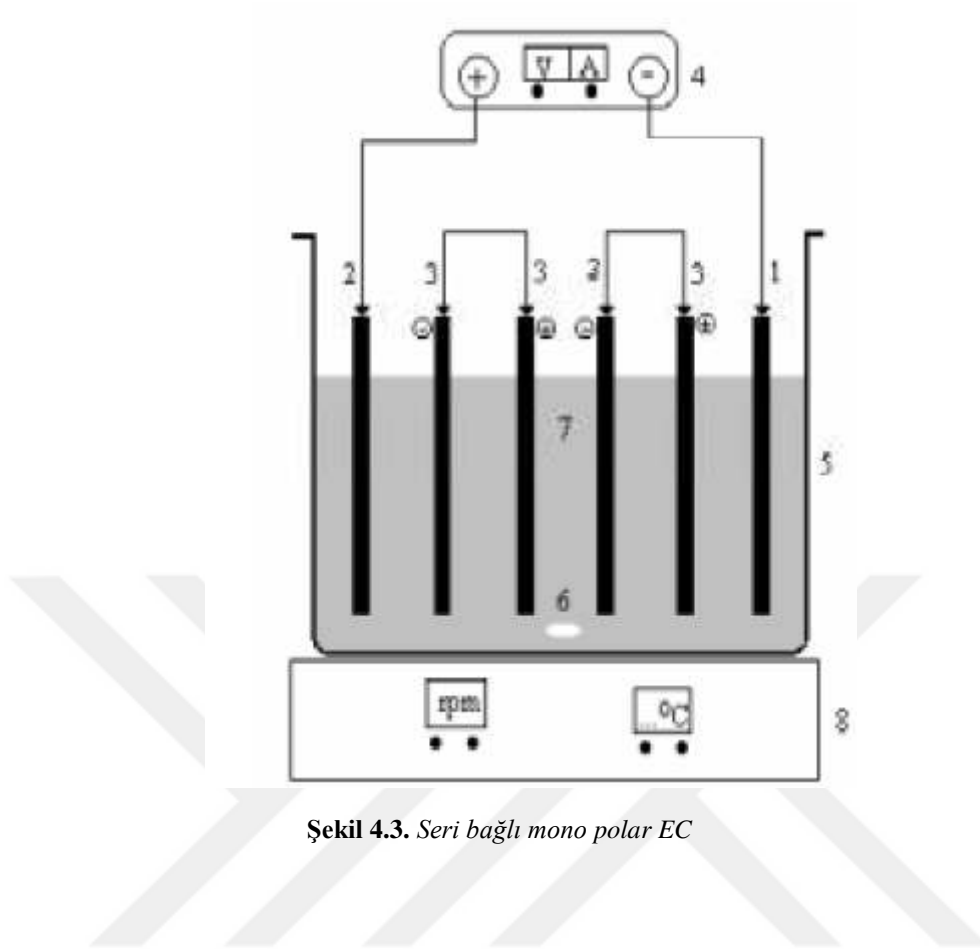
Elektrolit içerisine daldırılmış bir adet katot ve bir adet anot en basit elektrokoagülasyon reaktörüdür. Bu elektrolit güç kaynağına bağlanır ve anotda baş veren yükseltgeme prosesi sonucunda anot materyali elektrokimyasal olarak çözünür. Bu zaman katotda pasivasyon baş verecektir. Ama bu hadise arıtım için uygun olmamaktadır; çünkü elektrotların lazımı kadar çözünmesi için yararlanılan elektrotların büyük yüzey alanına malik olması vaciptir. Anot ve katot elektrotlar seri veya paralel bağlanmak şartıyla tek kutuplu (mono polar) elektrokimyasal reaktörler oluşturmaktadır. Şekil 3.2 de çift anot ve katotdan oluşan ve paralel bağlanan mono polar elektrokoagülasyon reaktörü gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Paralel bağlı mono polar EC sistemi

Şekilde gösterildiği gibi 4 tane paralel iletken metal plaka paralel elektrotları oluşturmaktadır. Bunlar bir güç kaynağına bağlanılır. Güç kaynağı sayesinde elektrokoagülasyon reaktöründe gösterilen akım ve voltaj değeri ayarlanır ve dijital şekilde okunulur [37,38].

Şekil 4.3'te ise tek kutuplu elektronların seri şekilde bağlanması gösterilmiştir. Burada tükenen veya çözünen anot elektrot çiftleri bir-birine bağlanmaktadır. Mono polar anot ve elektrotlar ise güç kaynağına bağlanmaktadır.



Şekil 4.3. Seri bağlı mono polar EC

- 1-Monopolar katot elektrot
- 2-Monopolar anot elektrot
- 3-Çözünen anot elektrotlar
- 4-Güç kaynağı
- 5-Elektrokoagülasyon reaktörü
- 6-Magnet
- 7-Atıksu
- 8-Magnetik karıştırıcı [37].

4.3.1.2. Elektrokoagülasyonu etkileyen faktörler

Elektrokoagülasyonu etkileyen birkaç faktör vardır. Elektrokoagülasyonun mekanizması su ortamının kimyası ile direk bağlıdır. Bu sebepten elektrokoagülasyon ph, iletkenlik, sıcaklık gibi parametrelere bağlıdır. Buna ek olarak kullanıcıların değişe

bileceği parametrelerden akım yoğunluğuna da elektrokoagülasyonun bağılılığı vardır [39].

pH etkisi: pH elektrokoagülasyon proseslerinde çok önemli bir faktördür. $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ gibi fazla miktarda pozitif yüke malik yüzeyleri olan türler aktif olur. Bu şartlar koagülasyonu kolaylaştırır. pH 10 dan fazla olduğunda ise dominantlık $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ tarafına geçmektedir. Bu şartlarda ise koagülasyon hızı düşüştü olur. $\text{pH} < 3$ olduğunda dominant olan taraf Al^{3+} olur. Al^{3+} 'in bir etkisi bulunmamaktadır [34].

İletkenliğin etkisi: Atıksuyun iletkenliği düşük olduğunda verim almak için onun iletkenliğini artırmak gerekmektedir. Bu da biraz maliyet gerektirmektedir. İletkenliği artırmak için NaCl , Na_2SO_4 , NaNO_3 , NaH_2PO_4 gibi tuzlar sisteme eklene bilir. NaCl eklenmesi hem de dezenfeksiyon etkisi yaratmaktadır [39].

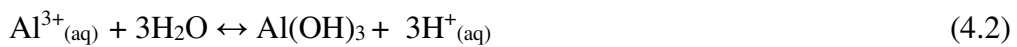
Sıcaklığın etkisi: Araştırmalar 2-30 °C aralığında sistemin verimliliğinin iyi olduğunu göstermektedir. Buna sebep bu sıcaklıklarda elektrotlar üzerindeki oksit katmanın çözünürlüğünün artmasıdır. Lakin 60° C üzerinde olan sıcaklıkta metal hidroksitlerinde çözünür hale gelmesi sonucunda verim aşağı düşecektir [39].

Akım yoğunluğunun etkisi: Elektrot düzeneğinden geçen akımın aktif yüzey alanına olan oranı akım yoğunluğu adlanmaktadır. Bu parametre en önemli parametrelerden biridir ve kullanıcı tarafından değiştirile bilen tek parametre olmaktadır. Birimi A cm^{-2} veya mA cm^{-2} olarak belirtilir [39].

4.3.1.3 Elektrokoagülasyon yönteminde gerçekleşen reaksiyonlar

EC reaktöründe elektrotlar güç kaynağı vasıtasıyla akımı aldığı anda anot elektrotdan elektron çıktığı için yükseltgenir, katot elektrot ise kendine elektron aldığı için indirgenir [38].

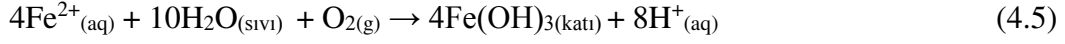
Alüminyum elektrotu kullanılarak gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdakilerdir:



Demir elektrot kullanılarak oluşan reaksiyonlar 2 mekanizma ile gerekleřir:

1.Mekanizma;

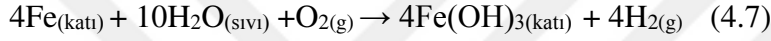
Anot:



Katot:



Tepkimenin tm:



2.Mekanizma;

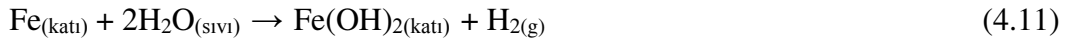
Anot:



Katot:



Tepkimenin tm:



[40].

4.3.2. Elektrokoksidasyon

Elektrokoksidasyon yönteminin asıl prensibi çözünemeyen elektrotlardan yararlanarak elektrotlar sayesinde çıka gazlar (O_2 ve H_2) ile gerekli ykseltgemenin elde edilmesidir. znemeyen elektrot gibi Ti, Ru, Pt kullanılmaktadır. Bu prosesle beraber

birçok madde yükselgenebilirken biyolojik parçalanması kolay olmayan maddeler basit şekilde parçalanabilir organik bileşiklere veya CO_2 ve H_2O ' a çevrilmektedir [32].

4.3.3. Elektroflotasyon

Elektroflotasyon prosesi suda elektroliz zamanı yaranan oksijen ve hidrojen gazı kabarcıklarının kirlilikleri ve ufak parçacıkları toplayarak yüzeye çıkarması sürecidir. Katot ve anotta baş veren prosesler elektrokimyasal olarak hidrojen ve oksijen gazı üretimidir. Bu yöntemin başlıca amacı değerli mineralleri elde etmektir. Diğer flotasyon yöntemlerinden farklı olarak bu yöntemin üstünlüğü ufak ve düzgün gaz kabarcıklarının yapılmasıdır [36]. Elektroflotasyonda yaranan gaz kabarcıkları çok küçük olsa bile yüksek dispersiyona sahiptir. Bu süreç zamanı gaz kabarcıklarının rolü önemlidir. Bu sebepten dolayı gaz kabarcıklarının maksimum yoğunluğunu belirlemek maksadıyla etkili parametreler üzerinde optimizasyon işleri yapılması lazımdır [32].

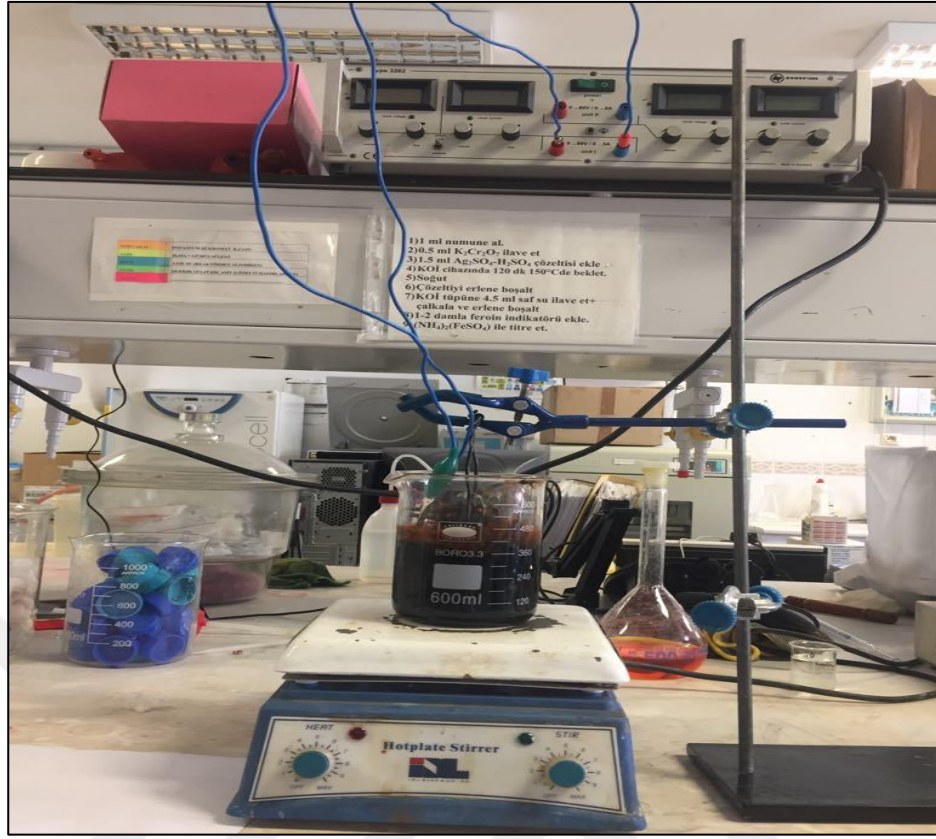
5. MATERYAL METOD

Deneylerde kullanılan atıksu pestisit suyla karışımından elde edilmiştir. Kirlletici olarak Dimethoate pestisiti kullanılmıştır. 2 ml Dimethoate pestisitini 998 ml su ile karışımından örnek atıksu elde edilmiştir. Elde edilen atıksudan 62,5 ml örnek alınarak 1000 ml olan balon jojeye aktarılmış ve jojenin çizgi olan kısmına kadar saf su ile doldurulmuştur. Elde edilen örnek atıksuyun başlangıç KOİ'si ortalama 200 mg/L, başlangıç pH 5,12 – 6,20, elektriksel iletkenliği ise 37 μ S/cm olmuştur.

5.1. Deney Düzeneği

Deney düzeneği 1 adet güç kaynağı, 1 adet 600 ml'lik beher, 1 adet manyetik karıştırıcı, yüzeysel alanı 100 cm² olan 6 tane demir ve alüminyum elektrottan oluşmaktadır.

50 mg/L 'e kadar seyreltilen çözeltiden 400 mL alınarak 600 ml'lik behere aktarılır. Sonra örneğimizin içerisine elektriksel iletkenliği çok düşük olduğundan belirlenen miktarda destek elektrolit eklenir. Daha sonra kutup değiştiricinin bir ucu güç kaynağına diğeri ise elektrota bağlanır. Güç kaynağı açılıp akım yoğunluğu belirlenen değere ayarlandıktan sonra deney başlanmış sayılır. Başlangıç gerilim ve sıcaklık not edilir ve zamanla her ikisinin değişimi izlenilmiştir. Önceden belirlenmiş zaman aralıklarında (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60) reaktörden numune alınmıştır. Her bir alınmış numune 5 dakika süresinde 7000 devir/dakika hızında olan santrifüjden geçirilmiş ve KOİ analizleri yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneği

5.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

5.2.1. Kullanılan reaktifler

a. Gümüş sülfat çözeltisi

Gümüş sülfatdan (Ag_2SO_4) 10 g alınır ve 35 mL saf suya eklenir. Üzerine 965 mL H_2SO_4 ($\rho = 1,84 \text{ g/mL}$) eklenir. Bir veya iki gün çözünmesi için beklenir. Çözünme karıştırılarak hızlandırılır.

b. Potasyum dikromat çözeltisi

($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 0,040 \text{ mol/L}$): Cıva (II) sülfatın (HgSO_4) 80 g 'ı 800 mL suda çözülür. Dikkatlice 100 mL sülfürikasit ($\rho = 1,84 \text{ g/mL}$) ilave edilir. Soğuması için beklenir. 105 °C 'da 2 saat kurutulmuş 11,768 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ çözeltiye eklenir ve çözülür. Bu çözelti 1000

mL'lik balona aktarılır ve ölçü çizgisine kadar su ile tamamlanır. Bu çözelti en az 1 ay kararlıdır.

c. Amonyum demir (II) sülfat, standart çözeltisi $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] \approx 0,12 \text{ mol/L}$

$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'tan 47 g alınır ve suda çözülür. Sonra üzerine 20 mL sülfürik asit ($\rho = 1,84 \text{ g/mL}$) eklenir. Soğutulduktan sonra su ile 1000 mL 'e tamamlanır.

d. Ferroin indik特ör çözeltisi

Demir (II) sülfat heptahidrattan ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0,7 g veya amonyum demir (II) sülfat heksahidratdan 1 g alınarak suda çözülür. 1,10 – fenantrolin monohidrat ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)'dan 1,50 g'lık bir kısım bu çözeltiye eklenir ve çözülene kadar karıştırılır. Suyla 1000 mL 'e tamamlanır. Karanlıkta korunması şartıyla birkaç ay kararlıdır.

e. Standart potasyum hidrojen fitalat çözeltisi

Potasyum hidrojen fitalatın 105 °C 'de kurutulmuş 0,4251 g'ı suda çözünür ve 1000 mL suya tamamlanır. Bu çözeltinin teorik KOİ değeri 500 mg/L dir. Bu çözelti yaklaşık 4 °C'de korunduğunda 1 hafta kararlıdır [41].

5.2.2. Deney süreci

Güç kaynağında belirlenen akım yoğunluğunu ayarladıktan sonra deney süreci başlanmış sayılır. Önceden belirlenmiş zaman aralıklarında (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60) reaktörden 5 mL miktarında örnekler alınır. Alınmış numuneler santrifüj cihazından geçirilir ve her birinden 1 mL miktarında KOİ tüplerine aktarılır. Alınmış tüm numunelerin üzerine 0,5 mL miktarında potasyum dikromat çözeltisi ilave edilir. Bunun ardından 1,5 mL gümüş sülfat- sülfürik asit çözeltisi dikkatlice her bir tüpe eklenir.

Bu işlemler aynı şekilde kör ve standart çözelti için de yapılır. Bu işlemlerden sonra KOİ tüpleri termoreaktöre yerleştirilir ve termoreaktörün ısısı 150 °C'e, zamanı ise 2 saat ayarlanır. 2 saatlik beklemeden sonra KOİ tüpleri termoreaktörden alınır ve soğutulmaya bırakılır. Soğuttuktan sonra tüpteki numuneler erlenlere boşaltılır ve hepsinin üzerine 4,5 mL saf su eklenir. En sonda her bir numunenin üzerine 1-2 damla

ferroin indikator çözeltisi eklenerek amonyum demir (II) sülfat çözeltisi vasıtasıyla numunelerin rengi mavi-yeşilden, kırmızı-kahverengine dönene kadar titre edilir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan termoreaktör Şekil 5.2’de, santrifüj Şekil 5.3’te Şekil 5.4’te, manyetik karıştırıcı Şekil 5.5’de, KOİ tüpleri Şekil 5.6’da, pH ve iletkenlik ölçen cihaz ise Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Termoreaktör



Şekil 5.3 Santrifüj cihazı



Şekil 5.4. Santrifüj cihazının iç görünüşü



Şekil 5.5. Manyetik karıştırıcı



Şekil 5.6.KOİ tüpleri



Şekil 5.7.pH metre ve iletkenlik ölçen cihaz

5.2.3. Hesaplamalar

C'nin hesaplanması;

Potasyum dikromat çözeltisinin 10 mL 'si H₂SO₄ çözeltisi ile 100 mL 'e kadar seyreltilir. Bu çözelti Amonyum demir (II) sülfatla, üzerine iki veya üç damla ferroin indiktorü eklenerek ayarlanır.

Amonyum demir (II) sülfatın derişimi c, mol/L aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

$$c = \frac{10,0 \times 0,040 \times 6}{V} = \frac{2,4}{v} \quad (5.1)$$

KOİ hesaplanması;

$$KOİ \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \frac{8000 \times c(V_1 - V_2)}{V} \quad (5.2)$$

Burada:

C-Amonyum demir (II) sülfatın derişimi, (mol/L) (günlük olarak kontrol edilmelidir)

V₀ – deney numunesinin hacmi

V₁ – tanık deneyde titrasyonda harcanan amonyum demir (II) sülfatın hacmi (mL)

V₂ - deney çözeltisinin titrasyonunda harcanan amonyum demir (II) sülfatın hacmi (mL)

8000- sonucu mg/L cinsinden istifade edebilmek için dönüştürme faktörüdür.

KOİ % giderimi

$$\% \text{ giderim} = \frac{(KOİ_0) - (KOİ_{son})}{KOİ_0} \times 100 \quad (5.3)$$

Burada:

(KOİ)₀ – başlangıç derişim (mg/L)

(KOİ)_{son} – son derişim (mg/L)

Enerji tüketimi:

$$\text{Enerji tüketimi (kWh/m}^3\text{)} = \frac{I.V.t}{v_{\text{çözelti}}} \quad (5.4)$$

I= akım (A)

V=gerilim(volt)

t= saat

$v_{\text{çözelti}}$ = çözelti hacmi (L)



6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Demir Elektrot Kullanılarak Yapılan Deneysel Çalışmalar

Önceden deneme amaçlı yapılan deneylerle deney sürecinin 60 dakika olması belirlendi.

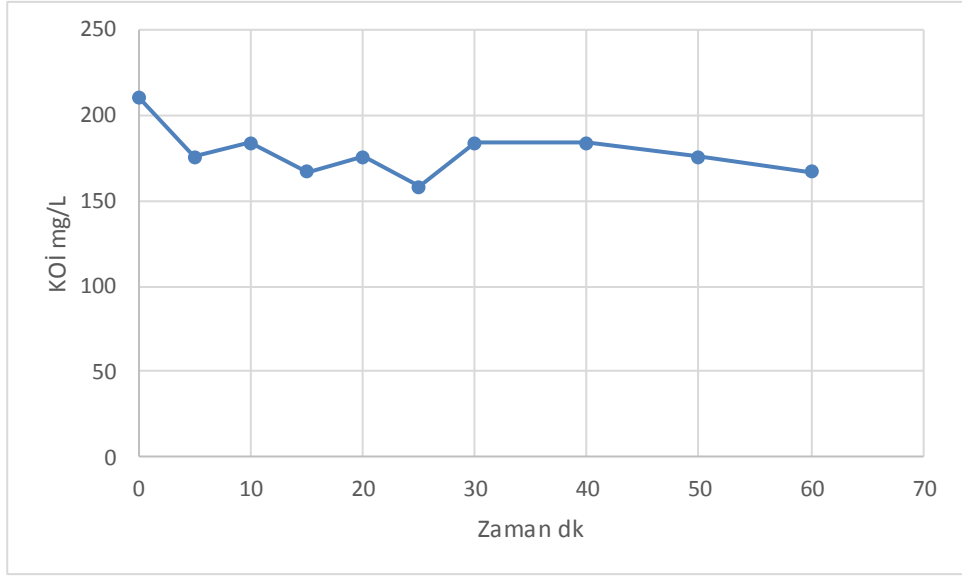
Deneysel çalışmalarda farklı akım yoğunlukları, (15, 20, 25, 30 mA/cm²), farklı destek elektrolit miktarları (5, 10mM Na₂SO₄), farklı H₂O₂ derişimleri (1000, 1500, 2000, 2500 mg/L H₂O₂) ve farklı pH değerleri (pH= 3,08, 5,12) ile çalışılmıştır.

Doğal pH'ta I=1,5 A, i= 15 mA/cm² ve 5 mM Na₂SO₄ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak % 25 olmuştur.

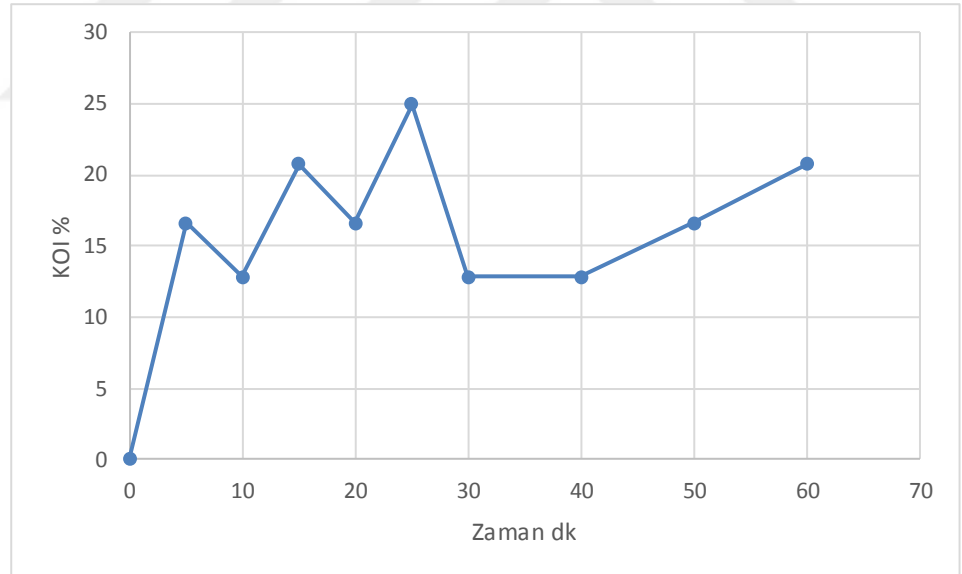
Çizelge 6.1. *I=1,5 A, i= 15 mA/cm², 5 mM Na₂SO₄, V= 400 mL*

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	8	19	211	0	0
5	8,1	22	176	16,587	2,531
10	7,7	25	184	12,796	4,937
15	7,4	26	167,2	20,758	7,249
20	7,3	29	176	16,587	9,53
25	7,4	30	158,4	24,928	11,842
30	7,5	32	184	12,796	14,185
40	7,4	35	184	12,796	18,81
50	8	37	176	16,587	23,81
60	8,6	40	167,2	20,758	29,185

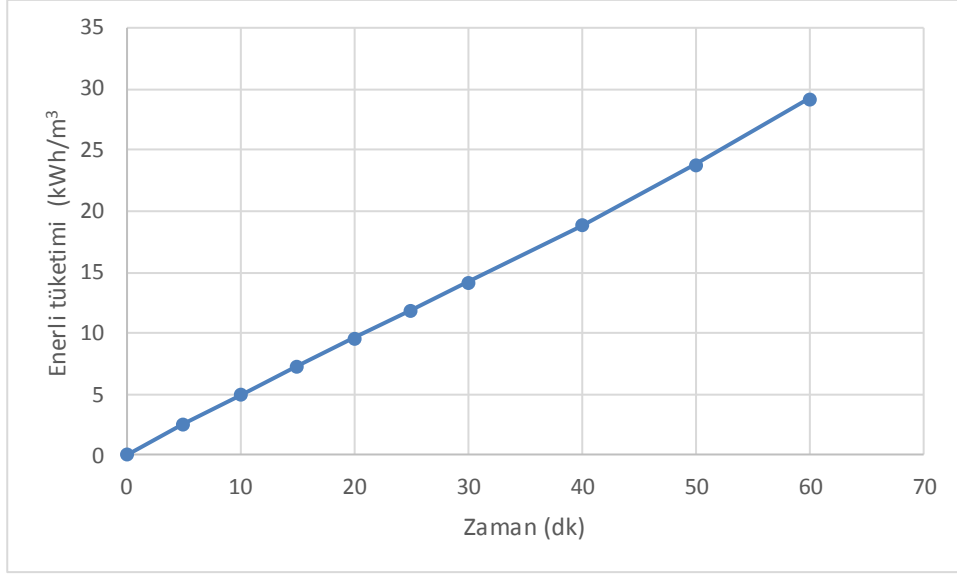
Doğal pH'ta I=1,5 A, i= 15 mA/cm² ve 5 mM Na₂SO₄, V=400 mL parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.1'de, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.2'de verilmiştir. Şekil 6.3'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.1. KOİ-zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm² ve 5 mM Na₂SO₄)



Şekil 6.2. KOİ %- zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm² ve 5 mM Na₂SO₄)



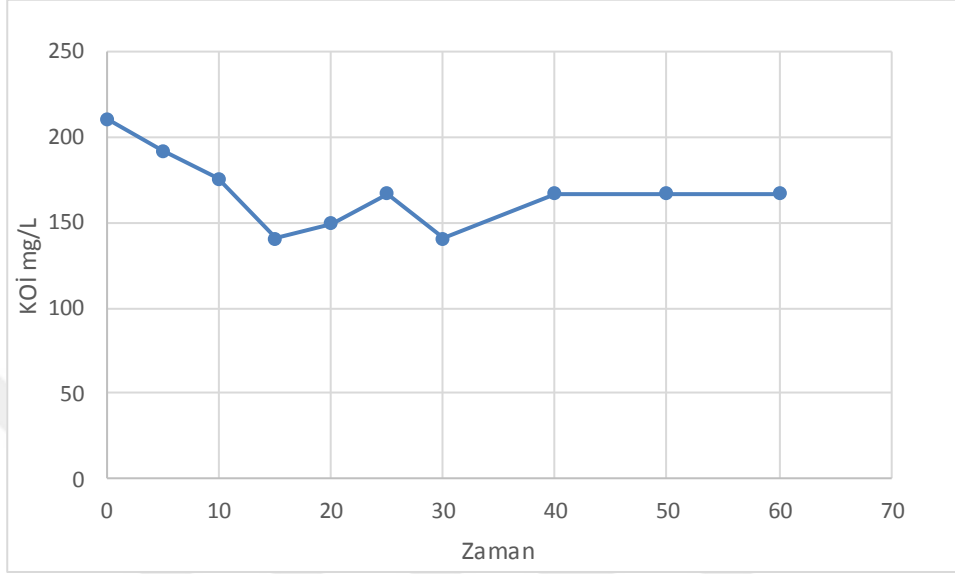
Şekil 6.3. Enerji tüketimi- zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm² ve 5 mM Na₂SO₄)

Doğal pH'ta $I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.2'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak % 34 olmuştur.

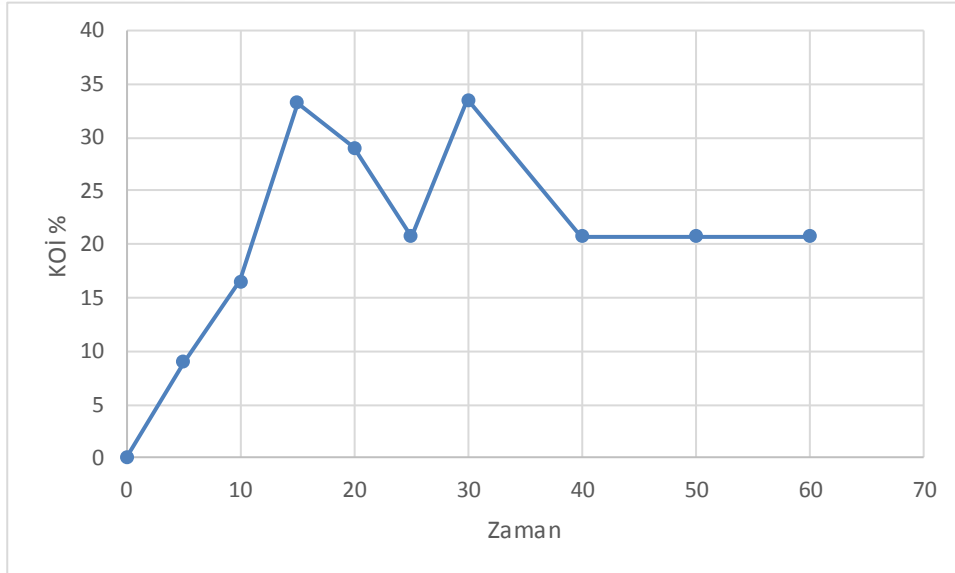
Çizelge 6.2. $I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, $V= 400$ mL

Zaman,dak	Gerilim, V	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	5,9	211	0	0
5	6	192	9	1,25
10	5,9	176	16,587	2,479
15	5,9	140,8	33,27	3,708
20	5,8	149,6	29,099	4,916
25	5,6	167,2	20,758	6,082
30	5,6	140,8	33,554	7,248
40	5,3	167,2	20,758	9,456
50	5,1	167,2	20,758	11,581
60	4,8	167,2	20,758	13,581

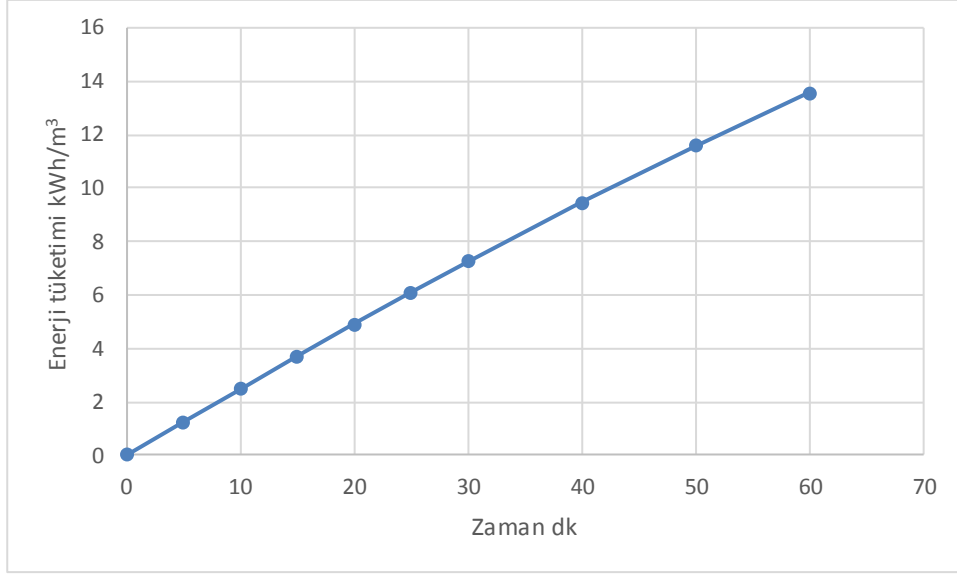
Doğal pH'ta $I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄, V= 400mL parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.4'te, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.5'te verilmiştir. Şekil 6.6'da zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir



Şekil 6.4. KOİ-zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄)



Şekil 6.5. KOİ %- zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄)



Şekil 6.6. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=1,5$ A, $i= 15$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄)

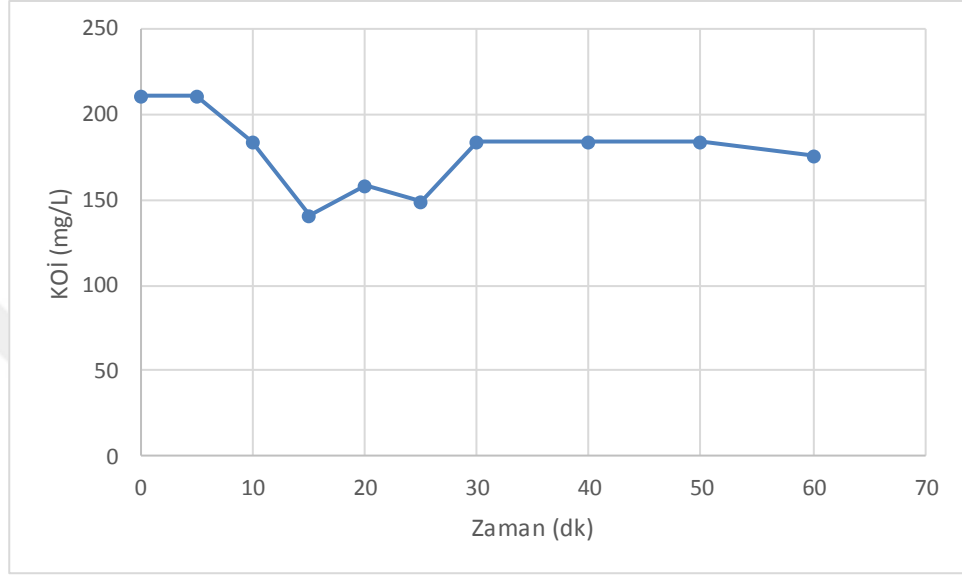
Doğal pH'ta $I=2$ A, $i=20$ mA/cm², 5mM Na₂SO₄ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.3'te verimiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %33 olmuştur.

Çizelge 6.3. $I=2$ A, $i=20$ mA/cm², 5mM Na₂SO₄, $V= 400$ mL

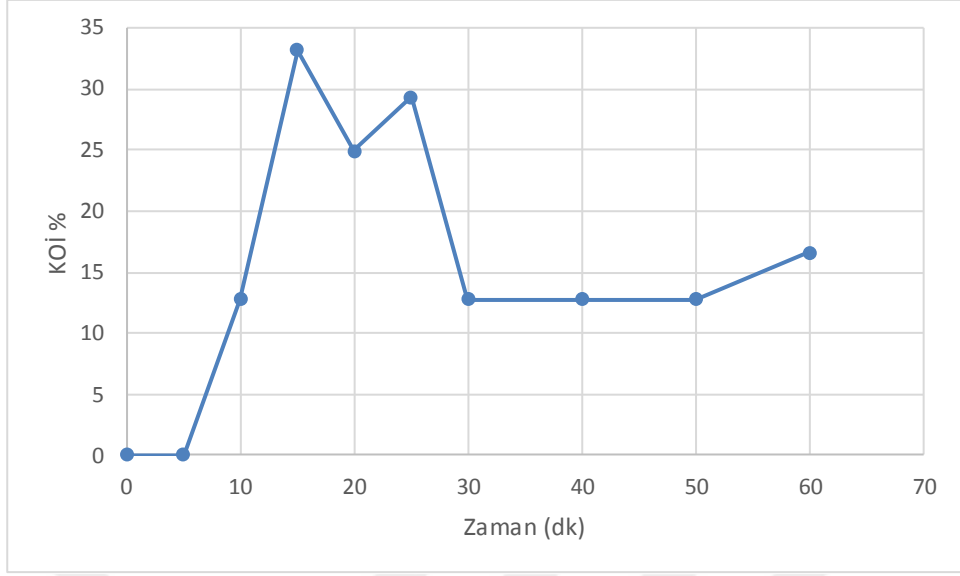
Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	7,5	21	211	0	0
5	7,7	24	211	0	3,208
10	7,3	26	184	12,796	6,249
15	6,9	28	140,9	33,222	9,124
20	6,6	30	158,4	24,928	11,874
25	6,8	32	149	29,383	14,707
30	6,8	33	184	12,796	17,54
40	7,2	35	184	12,796	23,54
50	7,8	38	184	12,796	30,04
60	9	41	176	16,587	37,54

Doğal pH'ta $I=2$ A, $i= 20$ mA/cm² ve 5 mM Na₂SO₄, $V= 400$ mL parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.7'de zamana göre %KOİ değişimi

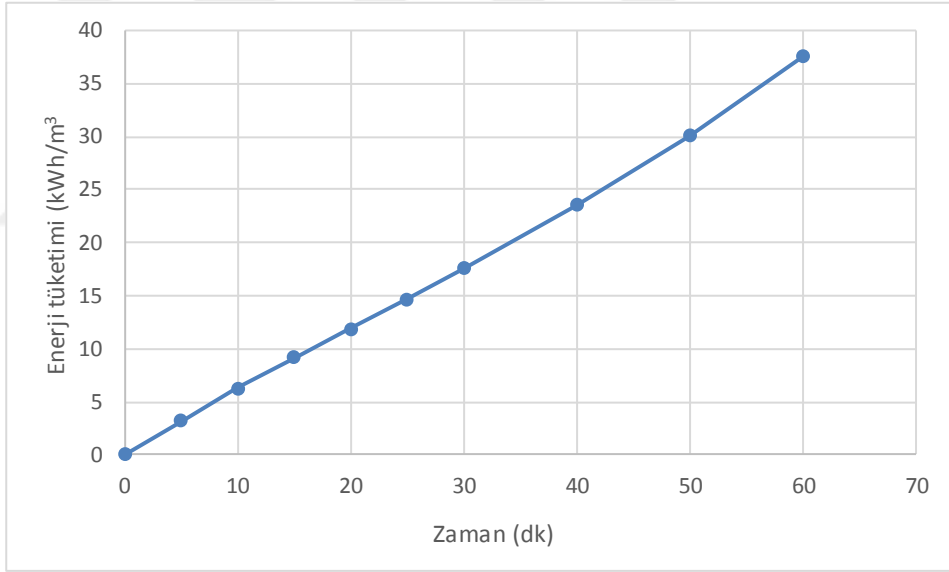
ise Şekil 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.9’da zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.7. KOI – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm², 5mM Na₂SO₄)



Şekil 6.8. KOİ %- zaman ilişkisi ($I=2\text{ A}$, $i=20\text{ mA/cm}^2$ ve $5\text{mM Na}_2\text{SO}_4$)



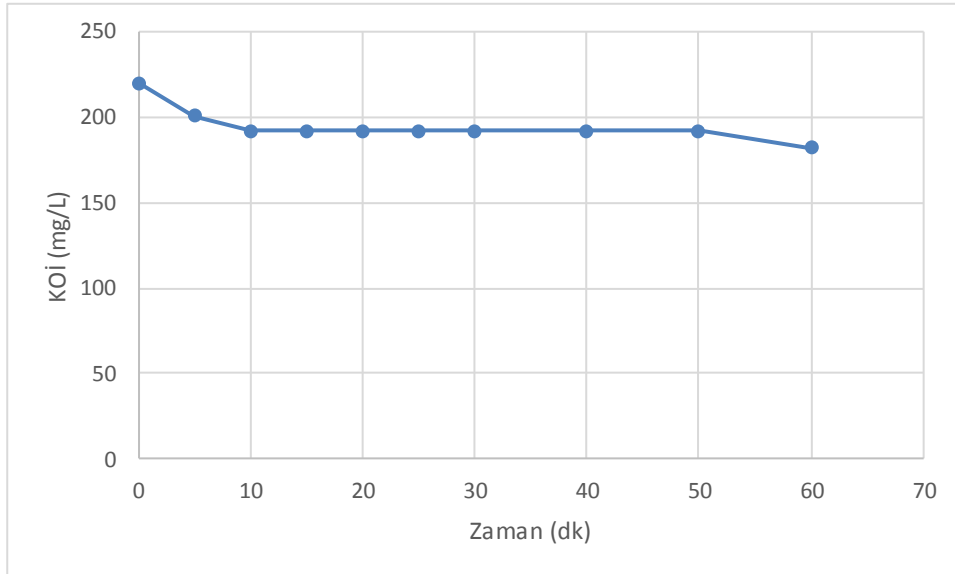
Şekil 6.9. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2\text{ A}$, $i=20\text{ mA/cm}^2$ ve $5\text{mM Na}_2\text{SO}_4$)

Doğal pH'ta $I=2,5\text{ A}$, $i=25\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{ mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.4'te verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %17 olmuştur.

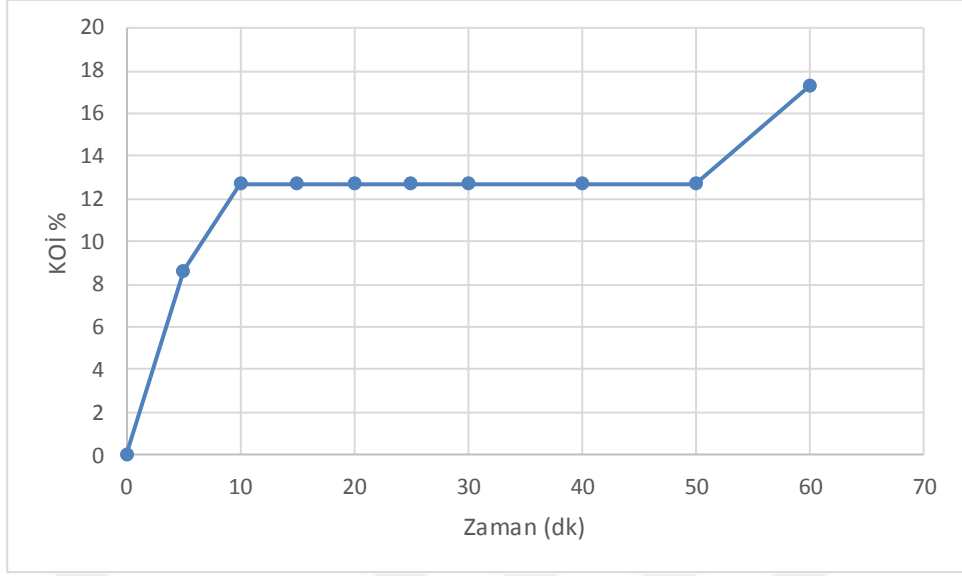
Çizelge 6.4. $I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	7,6	20	220	0	0
5	7,8	22	201	8,636	4,062
10	7,5	25	192	12,727	7,968
15	7,1	28	192	12,727	11,665
20	5,8	29	192	12,727	14,685
25	5,6	31	192	12,727	17,601
30	6	32	192	12,727	20,726
40	7,2	35	192	12,727	28,226
50	10,5	39	192	12,727	39,163
60	11	44	182	17,272	50,621

Doğal pH'ta $I=2,5 \text{ A}$, $i= 25 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.10'da zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.11'de verilmiştir. Şekil 6.12'te zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.10. KOİ-zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)



Şekil 6.11. KOİ %- zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)



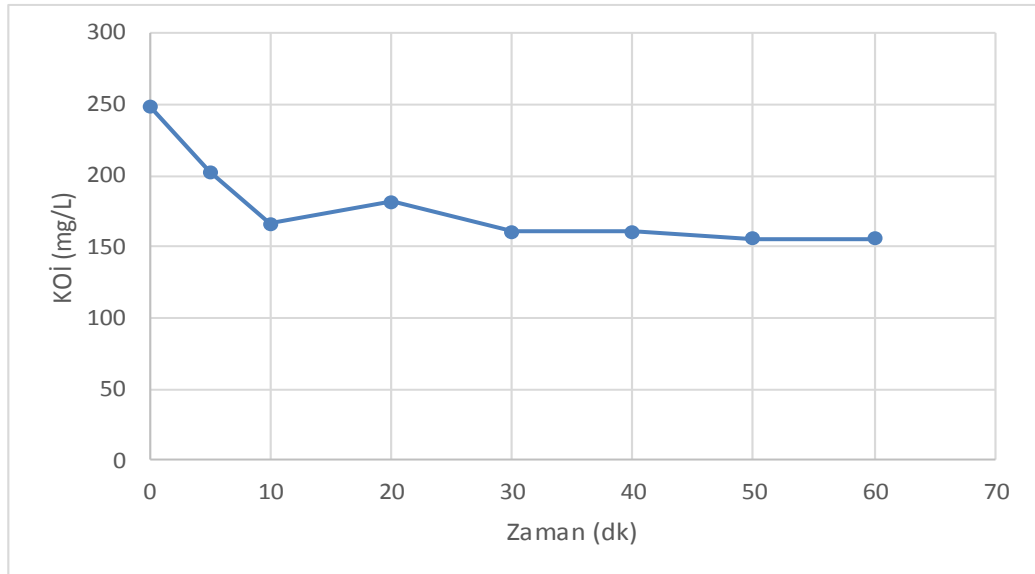
Şekil 6.12. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)

Doğal pH'ta $I=2A$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1000mg/L hidrojen peroksit (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.5'te verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %35 olmuştur.

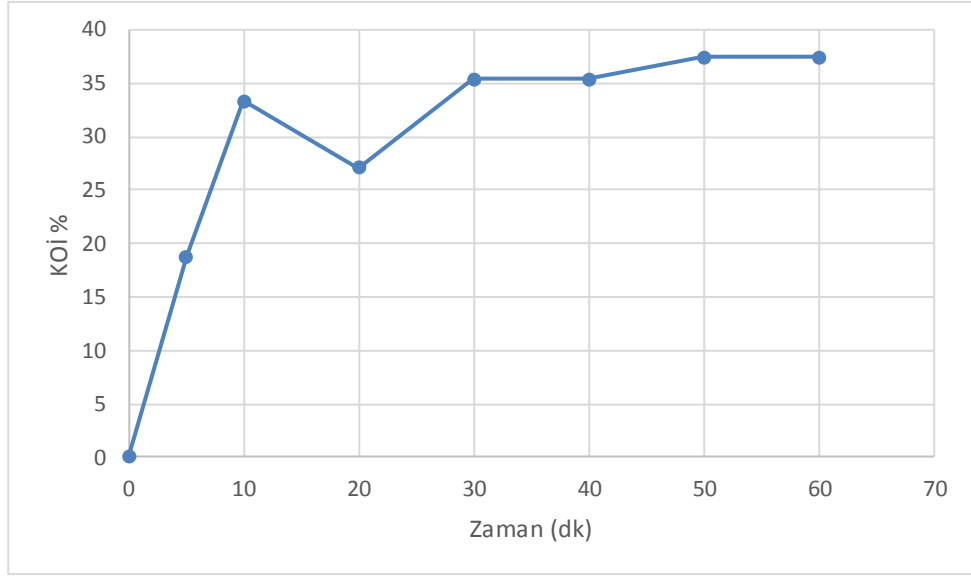
Çizelge 6.5. $I=2A$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	9,2	21	248,832	0	0
5	8,8	25	202,176	18,75	3,666
10	8,7	28	165,888	33,333	7,291
20	6,3	32	181,44	27,083	12,541
30	6,1	34	160,704	35,416	17,624
40	5,9	36	160,704	35,416	22,54
50	5,8	37	155,52	37,5	27,373
60	6,7	39	155,52	37,5	32,956

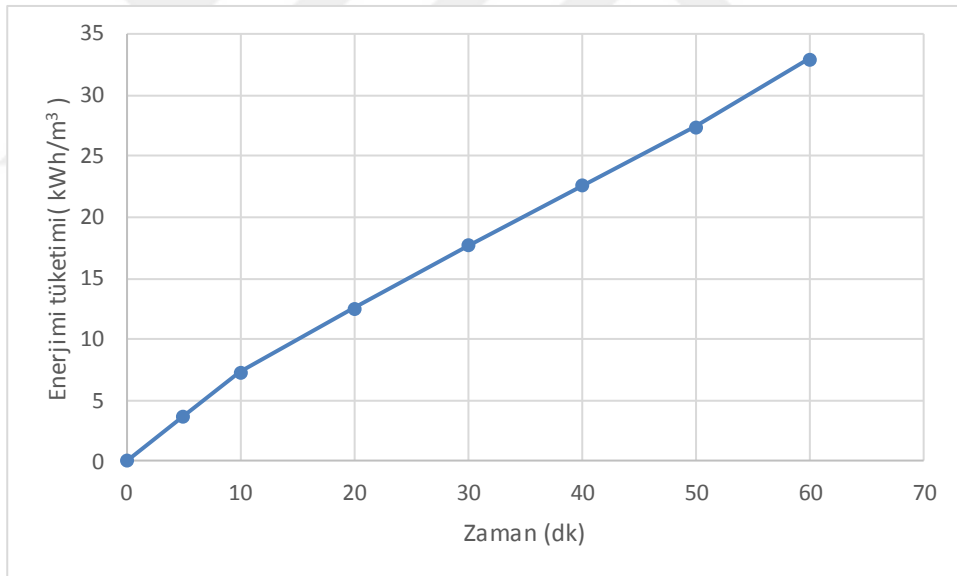
Doğal pH'ta $I=2 \text{ A}$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.13'te zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.14'te verilmiştir. Şekil 6.15'te zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir



Şekil 6.13. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$)



Şekil 6.14. KOİ %- zaman ilişkisi ($I=2A$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1 \text{ mL H}_2\text{O}_2$)



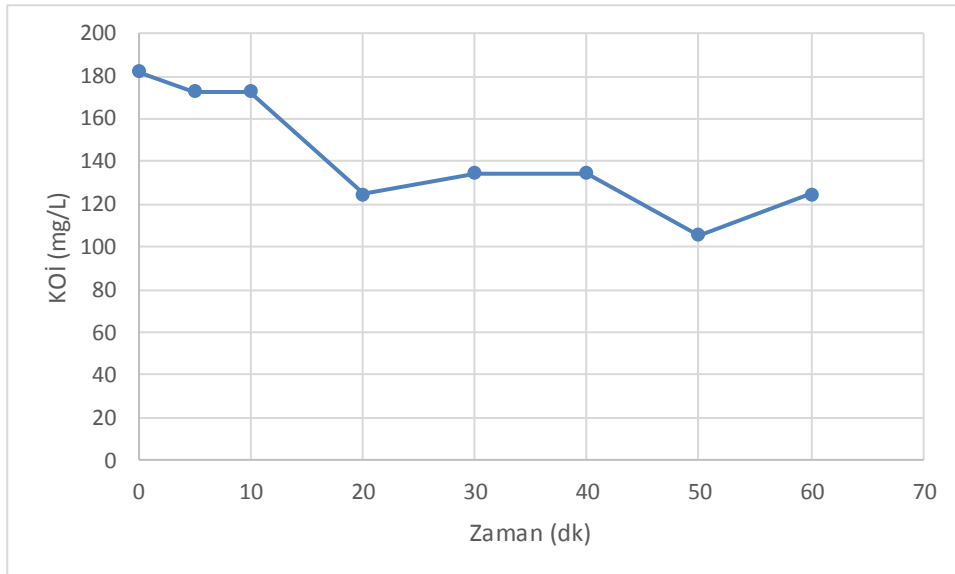
Şekil 6.15. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)

Doğal pH'ta $I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1000mg/L hidrojen peroksit (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.6'ta verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık %42 olmuştur.

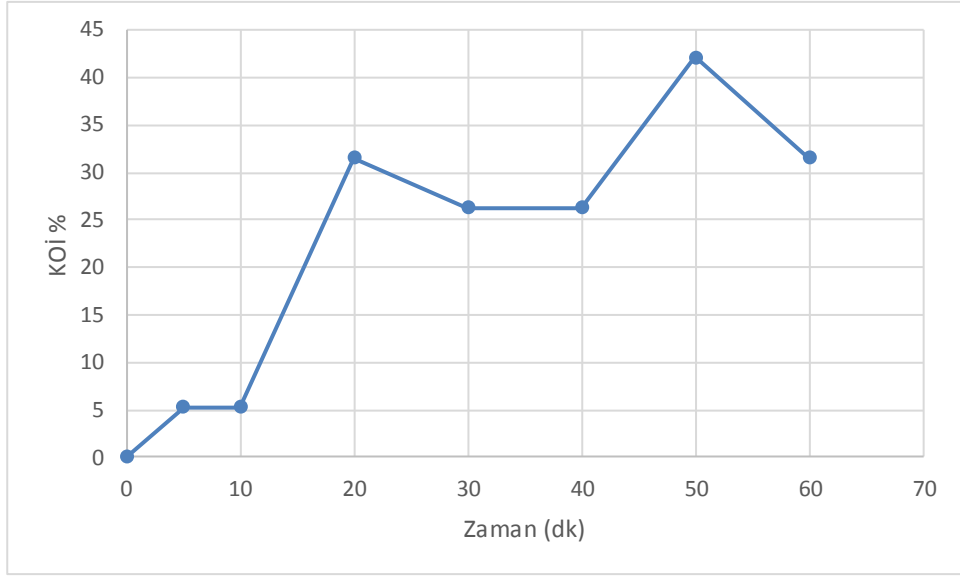
Çizelge 6.6. $I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1000mg/L (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	7,2	22	182,4	0	0
5	6,4	26	172,8	5,263	3,333
10	8,6	29	172,8	5,263	7,812
20	7,9	34	124,8	31,578	16,041
30	8	39	134,4	26,315	24,374
40	8,4	43	134,4	26,315	33,124
50	8,1	45	105,6	42,105	41,561
60	7,8	47	124,8	31,578	49,686

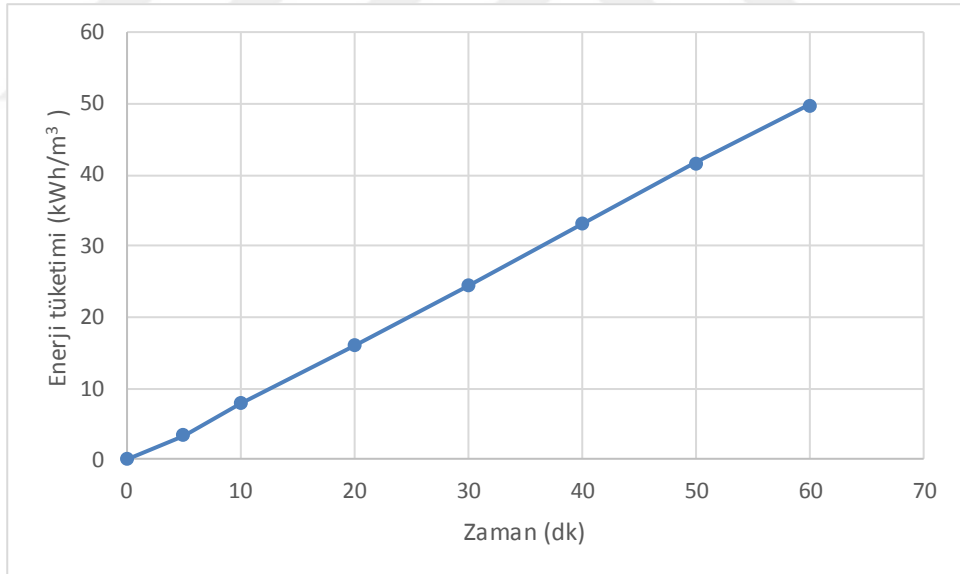
Doğal pH'ta $I=2,5 \text{ A}$, $i= 25 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, 1000mg/L H_2O_2 parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.16'da, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.17'de verilmiştir. Şekil 6.18'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir



Şekil 6.16. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1000mg/L H_2O_2)



Şekil 6.17. KOİ % -zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L (H}_2\text{O}_2)$)



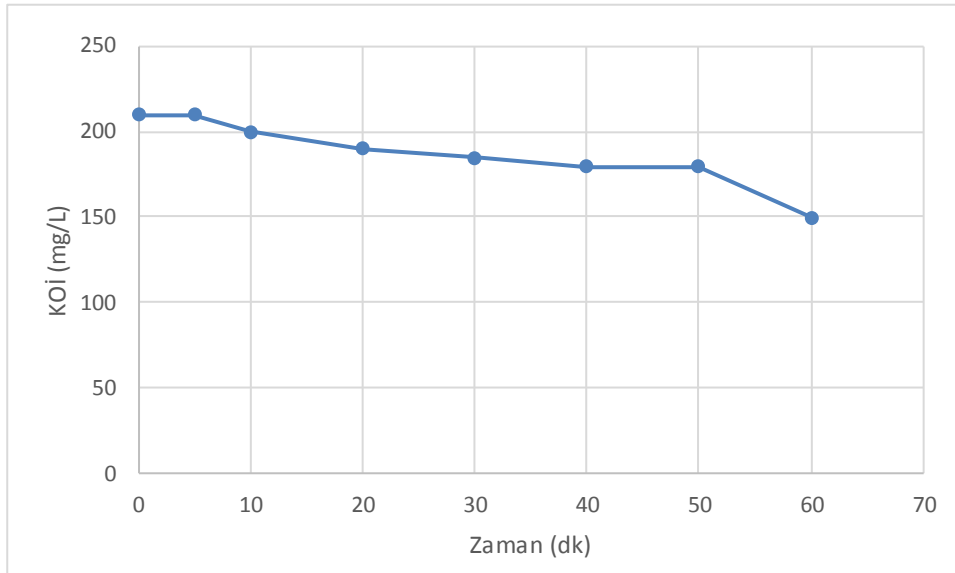
Şekil 6.18. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L (H}_2\text{O}_2)$)

Doğal pH'ta $I=3A$, $i=30 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1000mg/L hidrojen peroksit (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.7'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %28 olmuştur.

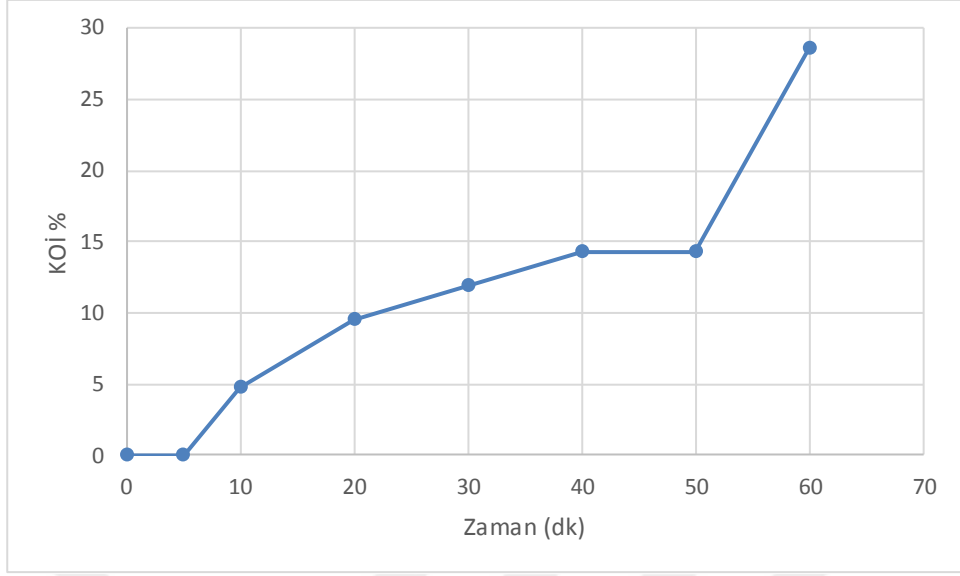
Çizelge 6.7 $I=3A$, $i=30 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$, $V= 400\text{mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	9,9	21	209,664	0	0
5	8,8	27	209,664	0	5,5
10	8,8	29	199,68	4,761	11
20	9,2	36	189,696	9,523	22,5
30	8,8	41	184,704	11,904	33,5
40	8,5	44	179,712	14,285	44,125
50	8,5	45	179,712	14,285	54,75
60	6,3	47	149,76	28,571	62,625

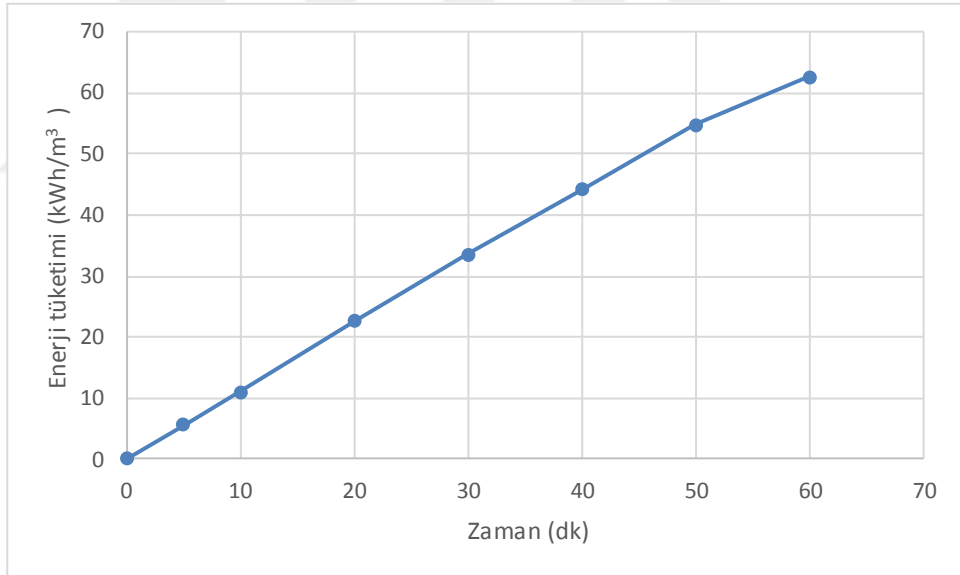
Doğal pH'ta $I=3A$, $i= 30 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.19'da, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.20'de verilmiştir. Şekil 6.21'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.19. KOİ – zaman ilişkisi ($I=3A$, $i=30 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$)



Şekil 6.20. KOİ % -zaman ilişkisi ($I=3A$, $i=30 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$)



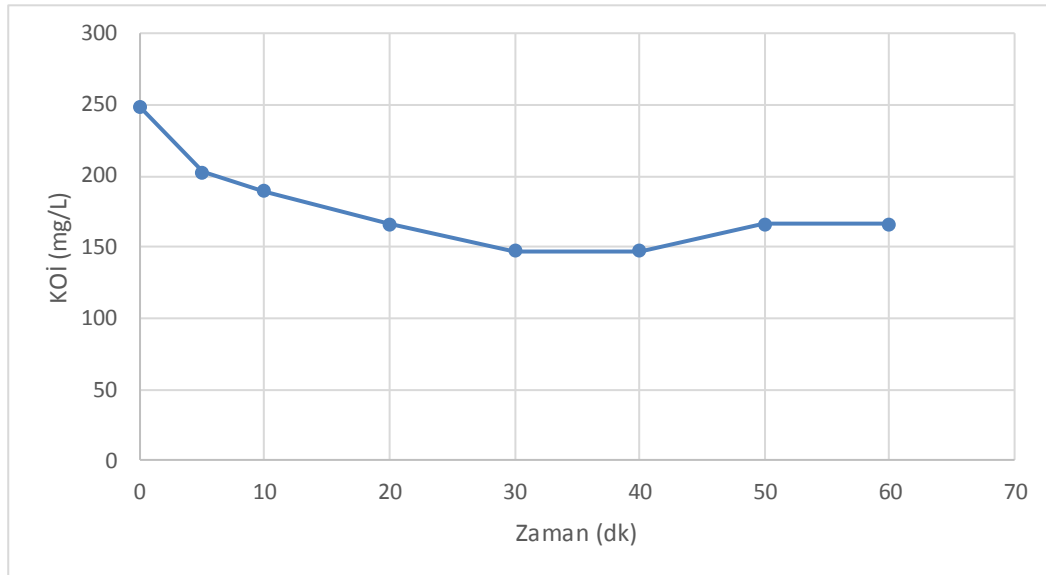
Şekil 6.21. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=3A$, $i=30 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$)

Doğal pH'ta $I=2A$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1500 mg/L hidrojen peroksit (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.8'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %41 olmuştur.

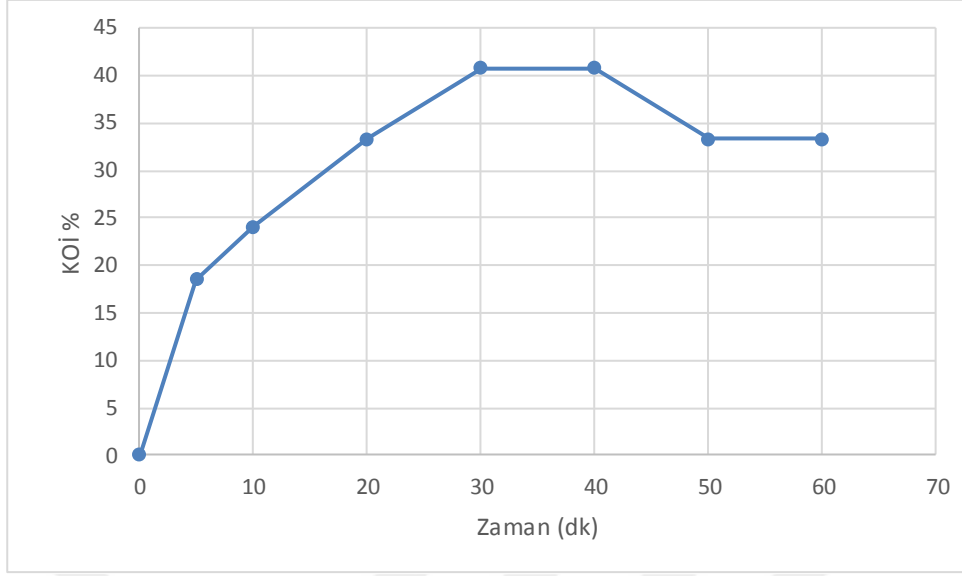
Çizelge 6.8. $I=2A$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1500 mg/L 'i (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	7,5	21	248,832	0	0
5	7,5	24	202,752	18,518	3,125
10	6,9	27	188,928	24,074	6
20	5,7	30	165,888	33,333	10,75
30	5,8	33	147,456	40,74	15,583
40	6,5	35	147,456	40,74	20,999
50	6,9	37	165,888	33,333	26,749
60	7,2	38	165,888	33,333	32,749

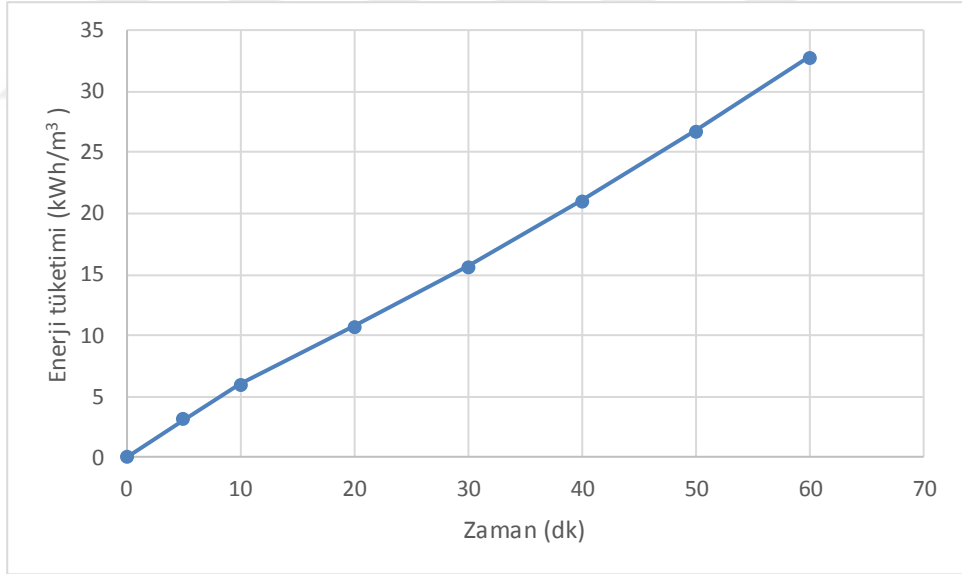
Doğal pH'ta $I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, 1500 mg/L H_2O_2 parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.22'de, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.23'de verilmiştir. Şekil 6.24'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.22. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1500 mg/L H_2O_2)



Şekil 6.23. KOİ % -zaman ilişkisi($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)



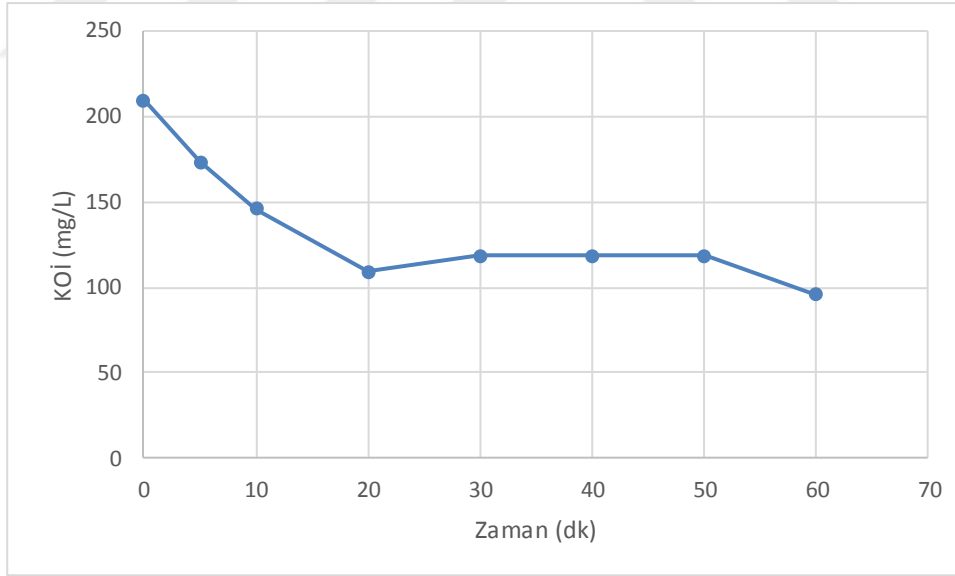
Şekil 6.24. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)

Doğal pH'ta $I=2,5 \text{ A}$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 1500 mg/L hidrojen peroksit (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.9'da verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %54 olmuştur.

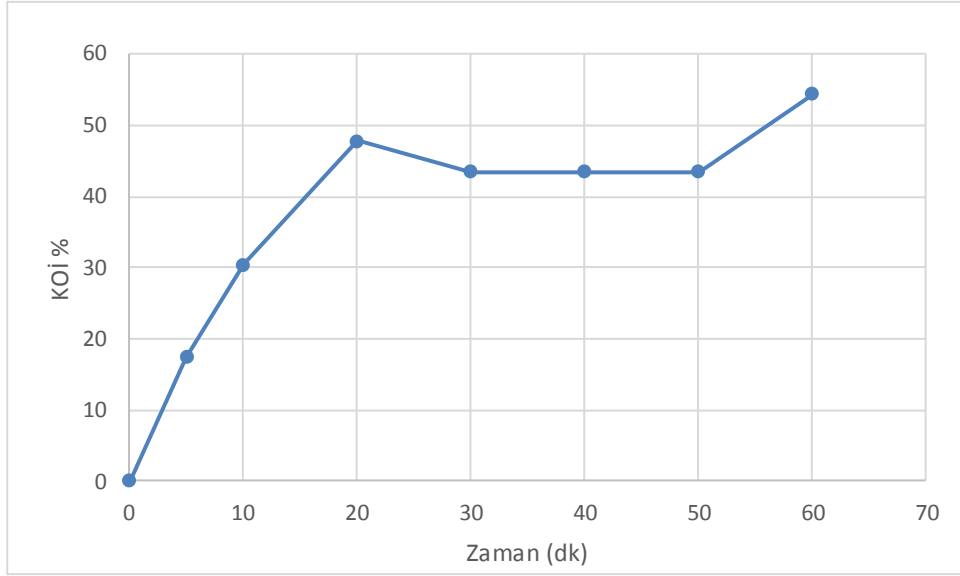
Çizelge 6.9. $I=2.5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$, $V= 400\text{mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	10,8	21	209,76	0	0
5	9,4	26	173,28	17,391	4,895
10	9,1	29	145,92	30,434	9,634
20	7,7	34	109,44	47,826	17,654
30	7,8	38	118,56	43,478	25,779
40	7,8	40	118,56	43,478	33,904
50	7,7	42	118,56	43,478	41,924
60	7,4	44	95,76	54,347	49,632

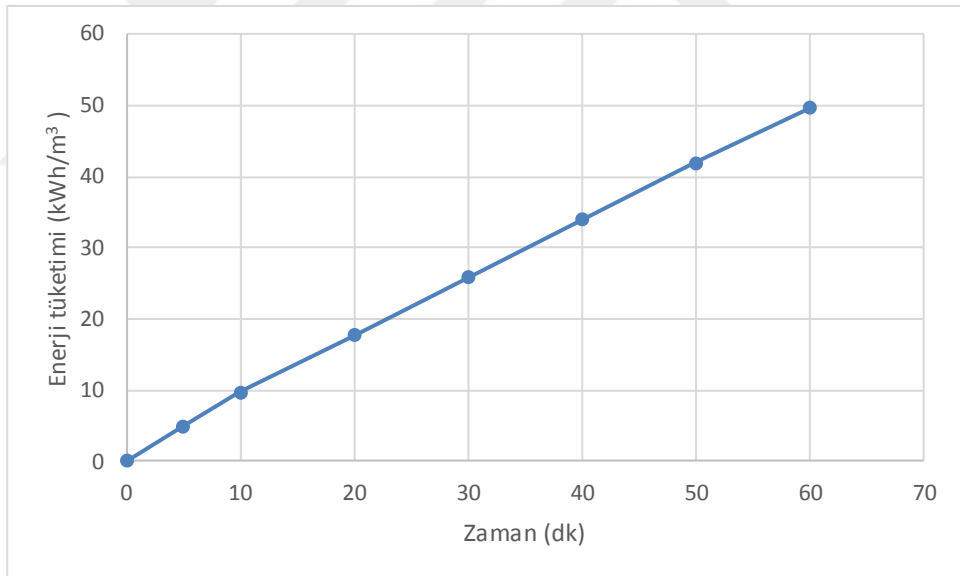
Doğal pH'ta $I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.25'de, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.26'da verilmiştir. Şekil 6.27'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.25. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)



Şekil 6.26. KOI % - zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)



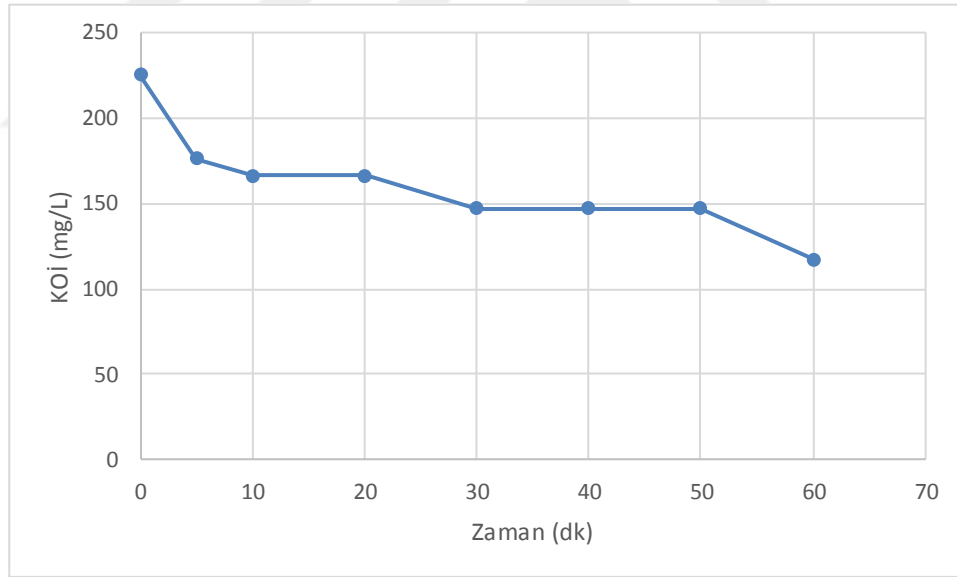
Şekil 6.27. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1500 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)

Doğal pH'ta $I=2 \text{ A}$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 2000 mg/L hidrojen peroksit (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.10'da verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %48 olmuştur.

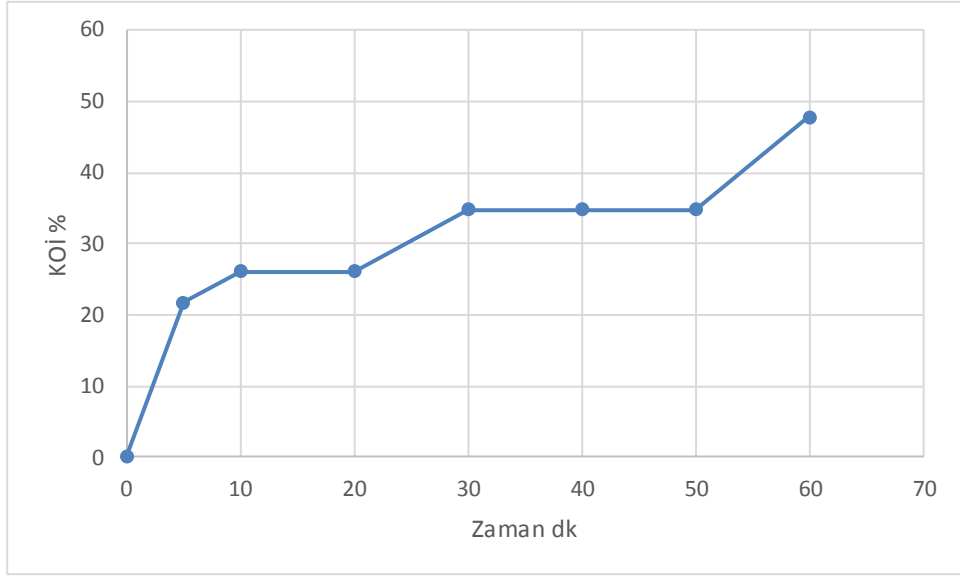
Çizelge 6.10. $I=2\text{ A}$, $i=20\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$, $V= 400\text{mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ, giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	9,1	21	225,216	0	0
5	9	25	176,256	21,739	3,75
10	8,2	28	166,464	26,086	7,166
20	15	33	166,464	26,086	19,666
30	12,7	38	146,88	34,782	30,249
40	12	43	146,88	34,782	40,249
50	11,8	46	146,88	34,782	50,082
60	11,1	48	117,504	47,826	59,332

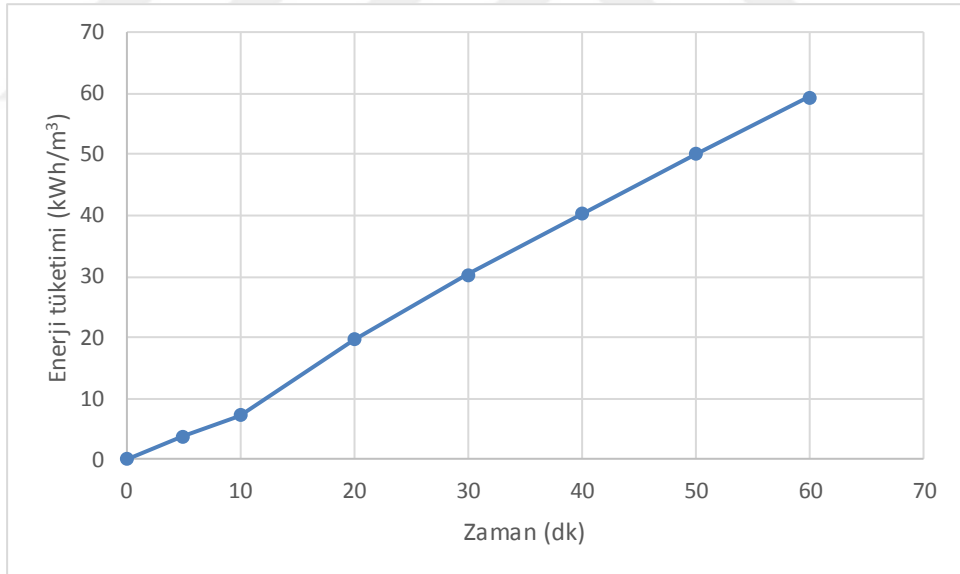
Doğal pH'ta $I=2\text{A}$, $i= 20\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, $2000\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.28'de, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.29'da verilmiştir. Şekil 6.30'da zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.28. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2\text{A}$, $i= 20\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)



Şekil 6.29. KOI % - zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)



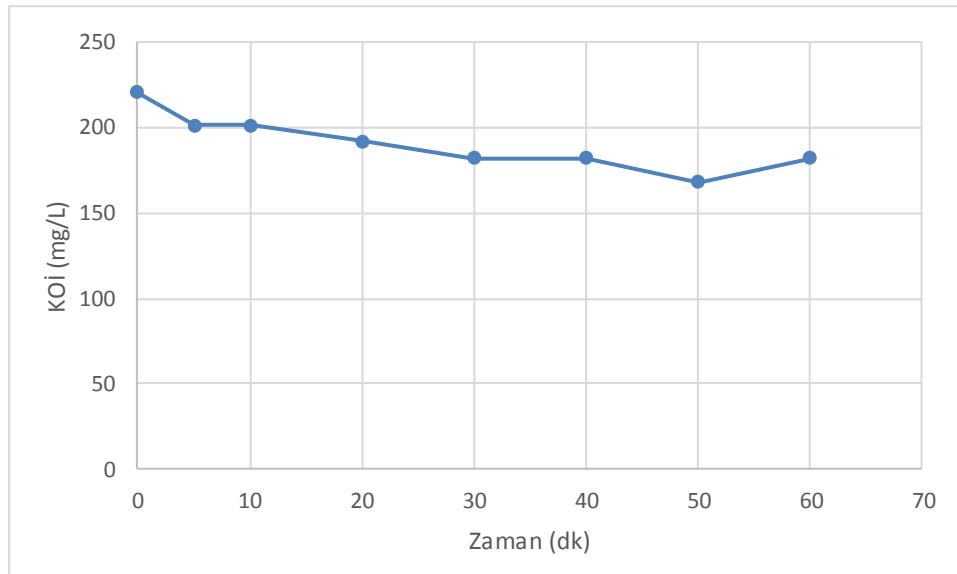
Şekil 6.30. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2A$, $i= 20 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000 \text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)

Doğal pH'ta $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000mg/L hidrojen peroksit (H₂O₂), V= 400mL parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.11'te verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %24 olmuştur.

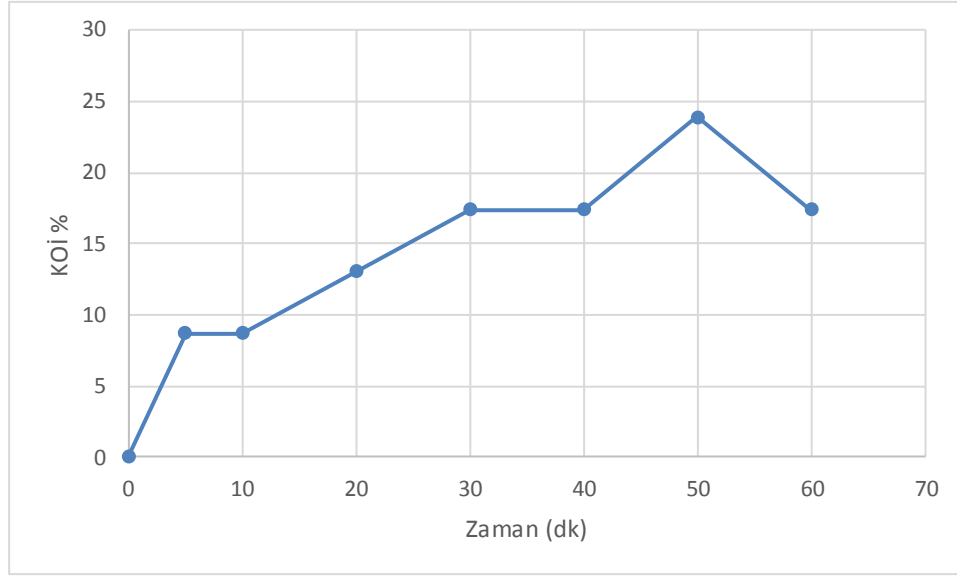
Çizelge 6.11. $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000 mg/L H₂O₂, V= 400mL

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	9,4	21	220,8	0	0
5	8,9	26	201,6	8,69	4,635
10	8,6	29	201,6	8,69	9,114
20	6,3	34	192	13,043	15,676
30	6	36	182,4	17,391	21,926
40	6,2	39	182,4	17,391	28,384
50	6,9	40	168	23,913	35,571
60	7,2	42	182,4	17,391	43,071

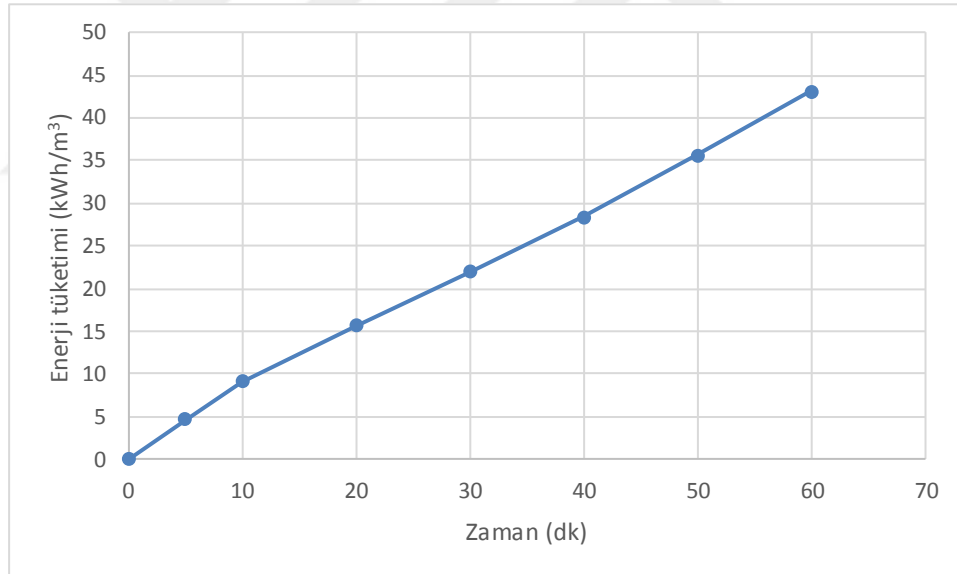
Doğal pH'ta $I=2,5$ A, $i= 25$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄, V= 400mL, 2000mg/L H₂O₂ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.31'de, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.32'de verilmiştir. Şekil 6.33'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.31. KOİ-zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000 mg/L H₂O₂)



Şekil 6.32. KOİ % -zaman ilişkisi($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000 mg/L H₂O₂,)



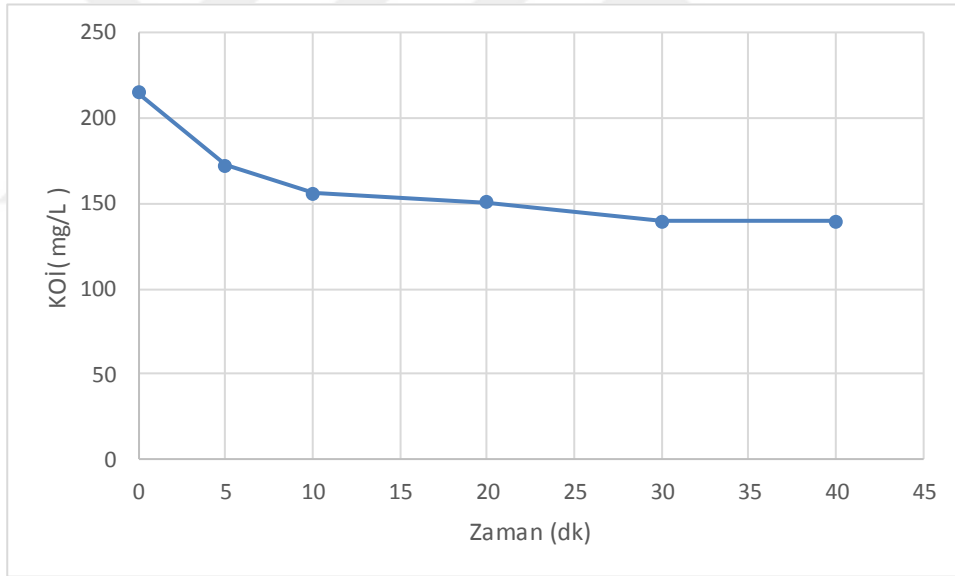
Şekil 6.33. Enerji tüketimi- zaman ilişkisi($I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000 mg/L H₂O₂,)

Doğal pH'ta $I=3$ A, $i=30$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000mg/L hidrojen peroksit(H₂O₂), V= 400mL parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.12'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %35 olmuştur. Deney sıcaklığın fazla artışı nedeniyle 40 dakika sürmüştür.

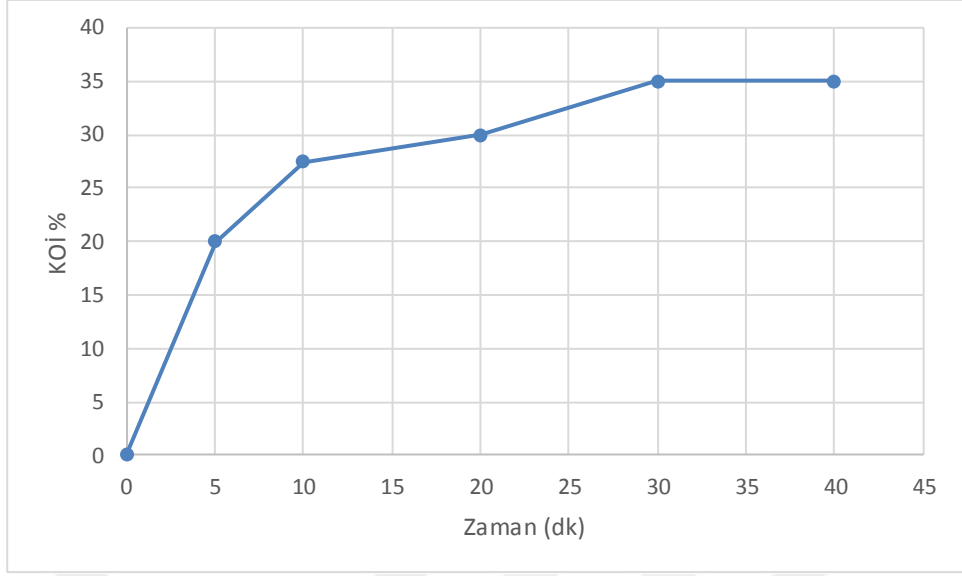
Çizelge 6.12. $I=3\text{ A}$, $i=30\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$, $V= 400\text{mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOI, mg/L	KOI giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	12,4	21	215,04	0	0
5	11,1	28	172,032	20	6,937
10	13	33	155,904	27,5	15,062
20	13,6	43	150,528	30	32,062
30	12,7	49	139,776	35	47,937
40	11,7	53	139,776	35	62,562

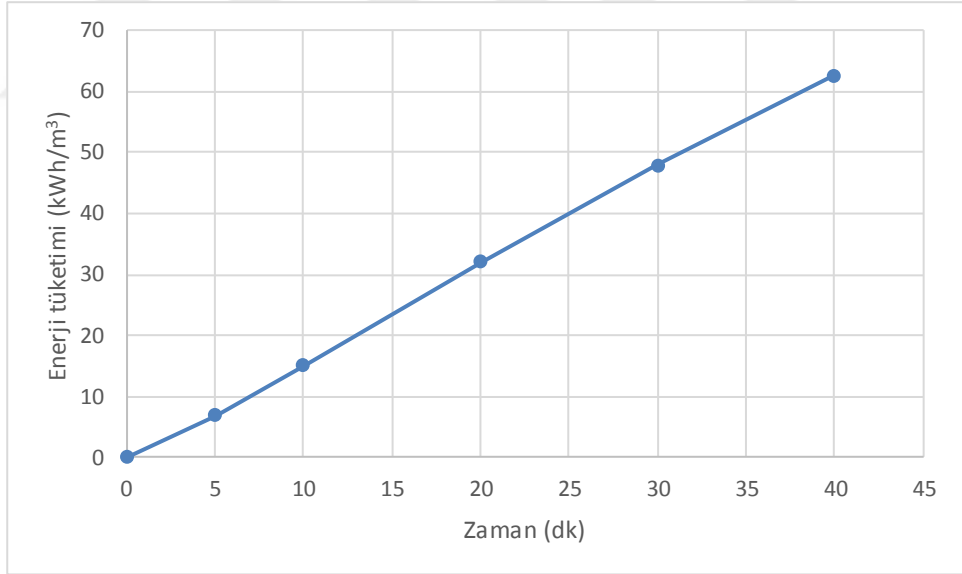
Doğal pH'ta $I=3\text{A}$, $i= 30\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, $2000\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.34'te, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.35'de verilmiştir. Şekil 6.36'da zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.34. KOİ – zaman ilişkisi ($I=3\text{ A}$, $i=30\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$.)



Şekil 6.35. KOI % - zaman ilişkisi ($I=3$ A, $i=30$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000 mg/L H₂O₂)



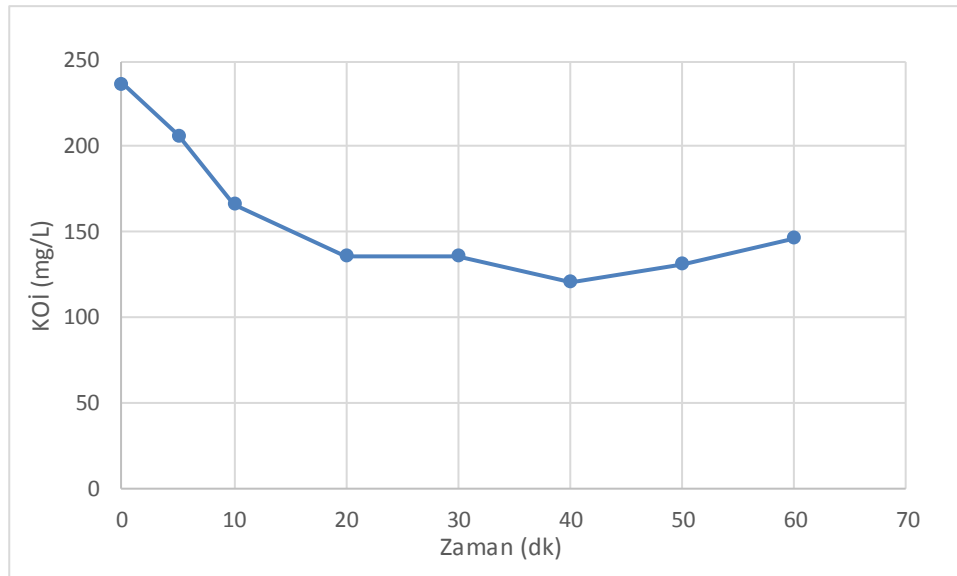
Şekil 6.36. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=3$ A, $i=30$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000 mg/L H₂O₂,)

pH= 3,08’de $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000mg/L hidrojen peroksit (H₂O₂), V= 400mL parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.13’te verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak %49 olmuştur.

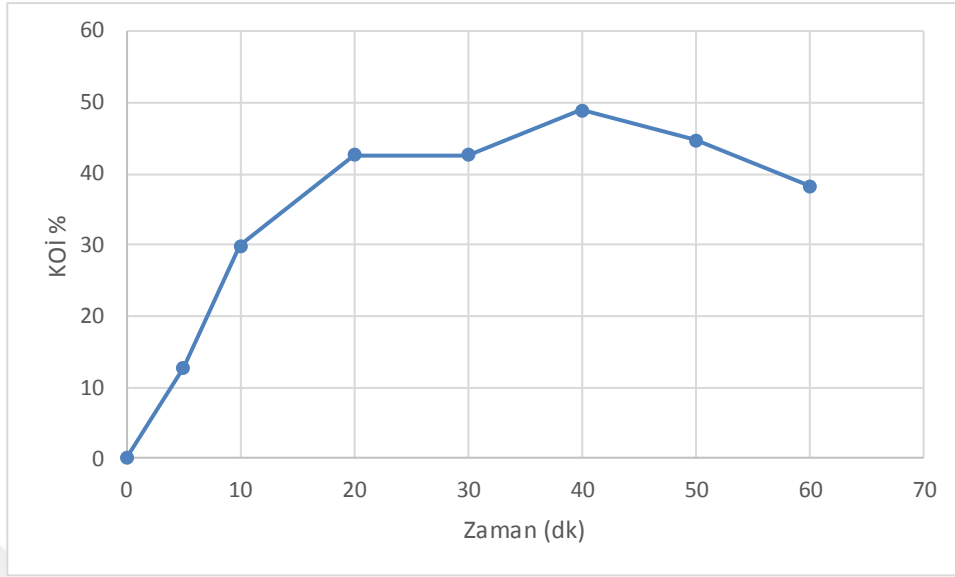
Çizelge 6.13. pH= 3,08 $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000mg/L H₂O₂, V= 400mL

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	11,6	21	236,88	0	0
5	9,9	26	206,64	12,765	5,156
10	9,1	30	166,32	29,787	9,895
20	10,2	36	136,08	42,553	20,52
30	9,7	40	136,08	42,553	30,624
40	9,6	44	120,96	48,936	40,624
50	9,9	47	131,04	44,680	50,936
60	10,1	49	146,16	38,297	61,456

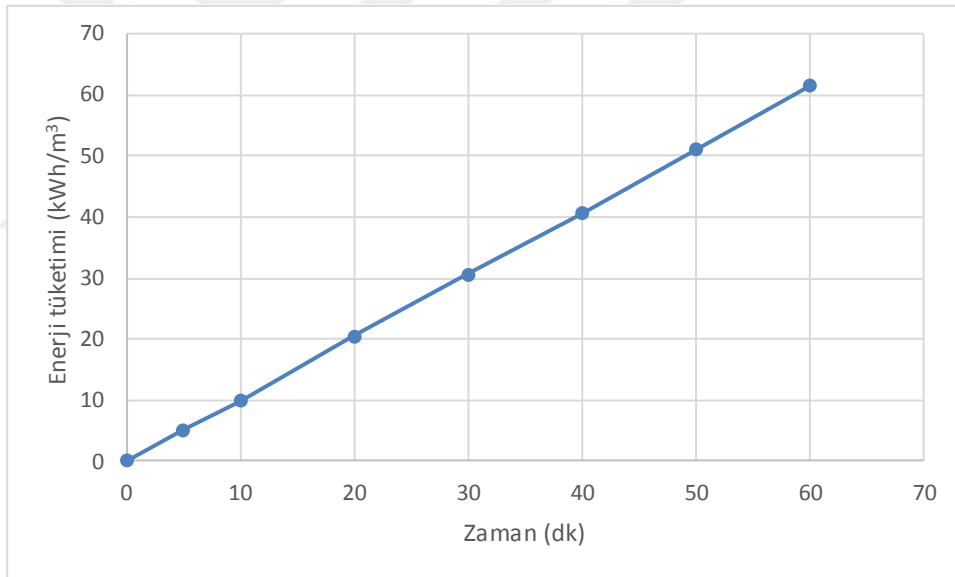
pH=3,08 ‘te $I=2,5$ A, $i= 25$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄, V= 400mL, 2000mg/L H₂O₂ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.37’de, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.38’de verilmiştir. Şekil 6.39’da zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.37. KOİ – zaman ilişkisi (pH= 3,08 $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2000mg/L H₂O₂)



Şekil 6.38. KOİ % -zaman ilişkisi($pH= 3,08$ $I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$)



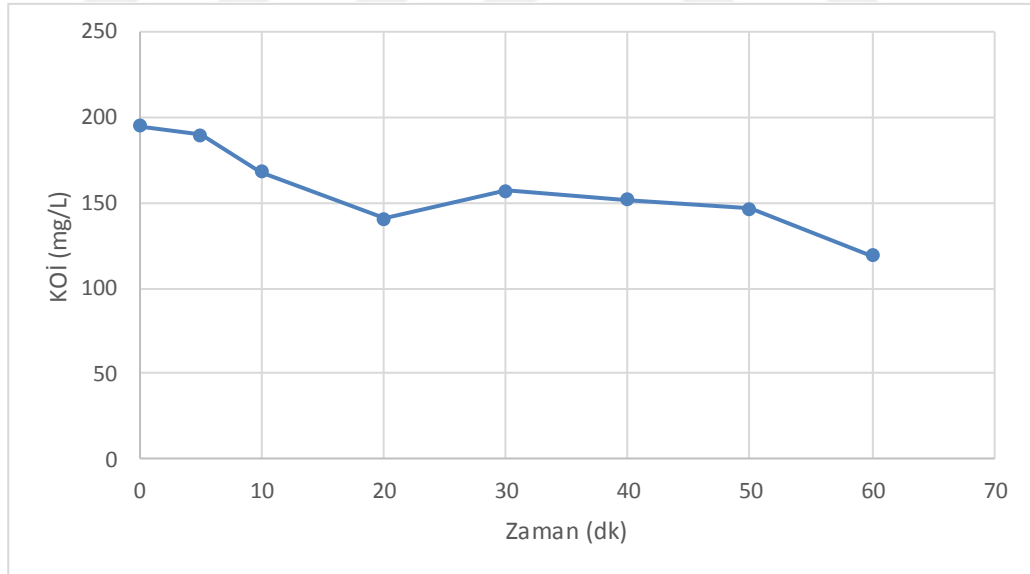
Şekil 6.39. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi($pH= 3,08$ $I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2000\text{mg/L H}_2\text{O}_2$)

Doğal pH'ta $I=2 \text{ A}$, $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, 2500mg/L hidrojen peroksit (H_2O_2), $V= 400\text{mL}$ parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.14'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak % 46 olmuştur.

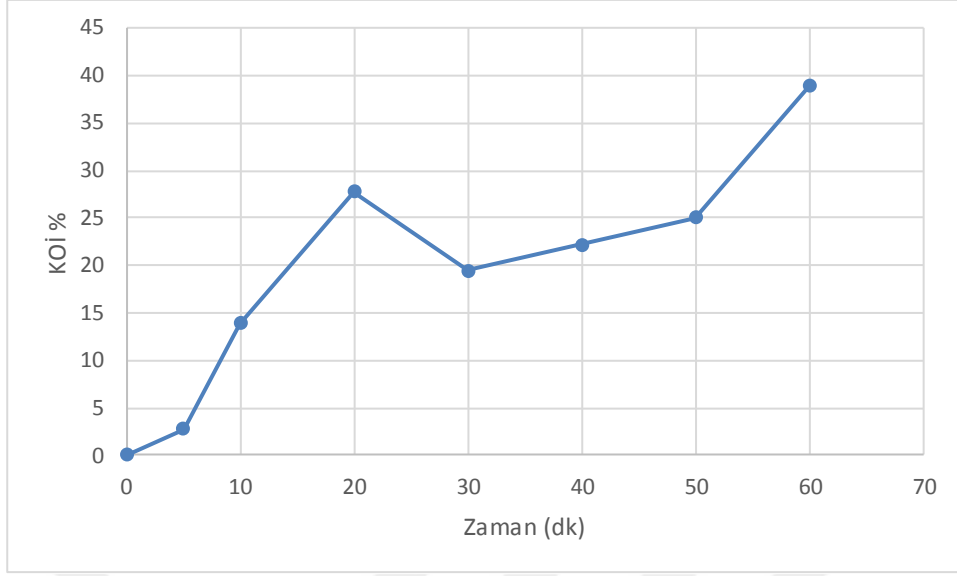
Çizelge 6.14. $I=2\text{ A}$, $i=20\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2500\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$, $V= 400\text{ mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık °C	KOI, mg/L	KOI giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	9,3	21	195,264	0	0
5	9,3	25	189,84	2,777	3,875
10	8,8	28	168,144	13,888	7,541
20	7,5	32	141,024	27,777	13,791
30	8,1	34	157,296	19,444	20,541
40	9,7	37	151,872	22,222	28,624
50	10,4	40	146,448	25	37,29
60	10,5	42	119,328	38,888	46,04

Doğal pH'ta $I=2\text{ A}$, $i= 20\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{ mL}$, $2500\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.40'da, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.41'de verilmiştir. Şekil 6.42'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.40. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2\text{ A}$, $i=20\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2500\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)



Şekil 6.41. KOI % - zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2500 mg/L H₂O₂)



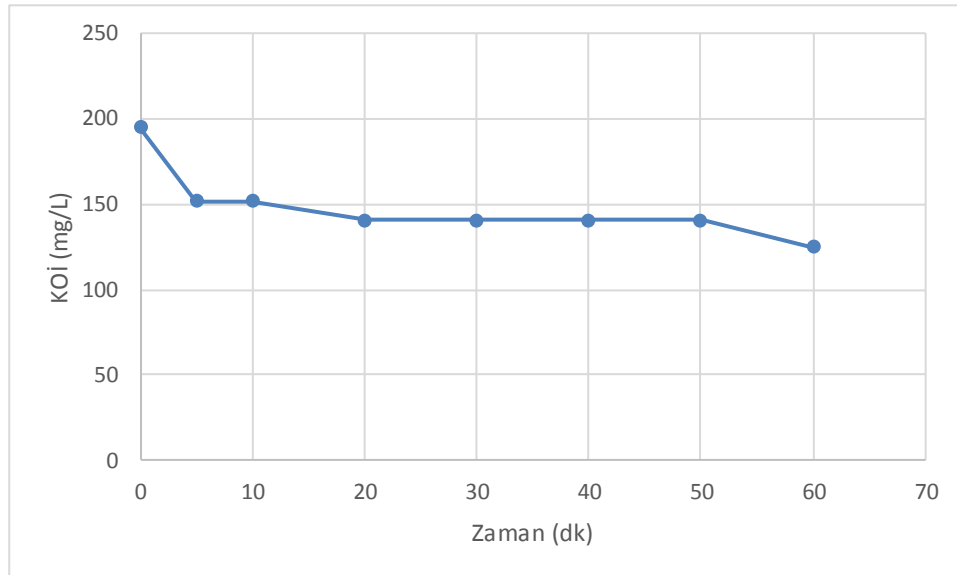
Şekil 6.42. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2$ A, $i=20$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2500 mg/L H₂O₂)

Doğal pH'ta $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 2500 mg/L hidrojen peroksit (H₂O₂), V= 400mL parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.15'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak % 36 olmuştur.

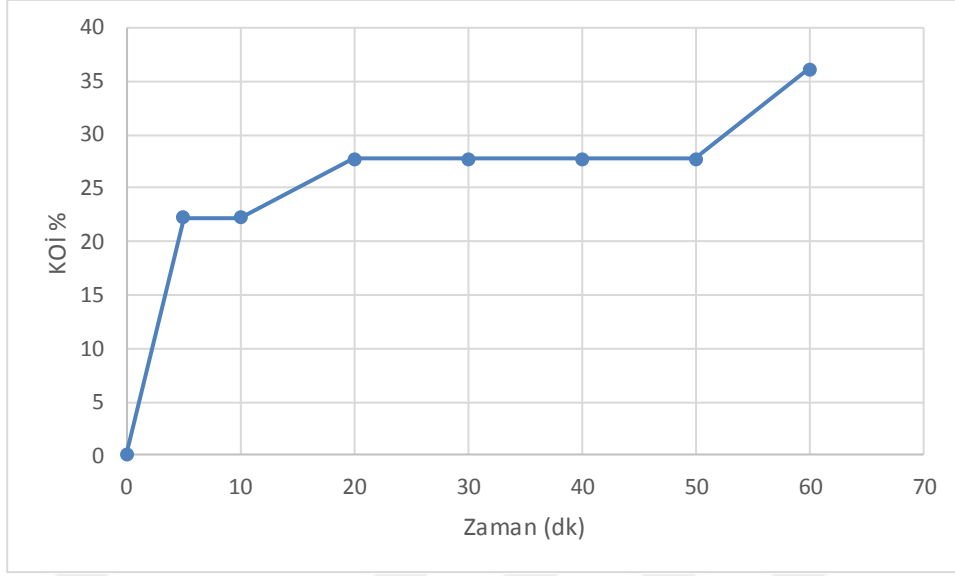
Çizelge 6.15. $I=2,5\text{ A}$, $i=25\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2500\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$, $V= 400\text{ mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOI, mg/L	KOI giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	9,6	21	195,264	0	0
5	8,3	27	151,872	22,222	4,32
10	13	31	151,872	22,222	10,09
20	10,5	38	141,024	27,777	21,027
30	11,2	43	141,024	27,777	32,693
40	10,9	46	141,024	27,777	44,047
50	10,7	48	141,024	27,777	55,192
60	10,9	50	124,752	36,111	66,546

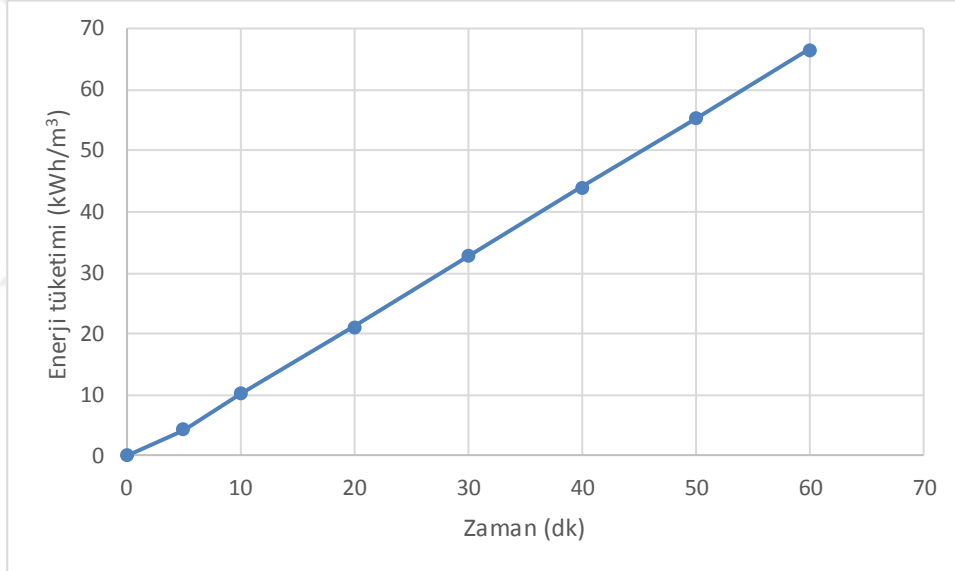
Doğal pH'ta $I=2,5\text{ A}$, $i= 25\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{ mL}$, $2500\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.43'te, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.44'te verilmiştir. Şekil 6.45'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.43. KOİ – zaman ilişkisi ($I=2,5\text{ A}$, $i= 25\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $2500\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$)



Şekil 6.44. KOI % - zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i= 25$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄, 2500 mg/L H₂O₂)



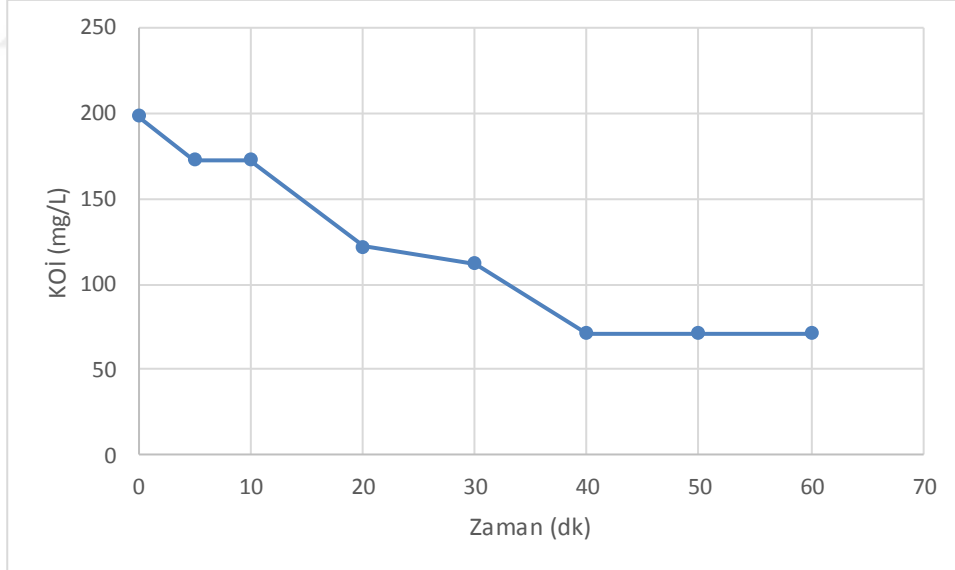
Şekil 6.45. Enerji tüketimi – zaman ilişkisi ($I=2,5$ A, $i= 25$ mA/cm² ve 10 mM Na₂SO₄, 2500 mg/L H₂O₂)

Doğal pH'ta $I=2,5$ A, $i=25$ mA/cm², 10 mM Na₂SO₄, 1000mg/L+1000mg/L (30 dk) hidrojen peroksit (H₂O₂) V= 400mL parametreleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 6.15'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim yaklaşık olarak % 64 olmuştur.

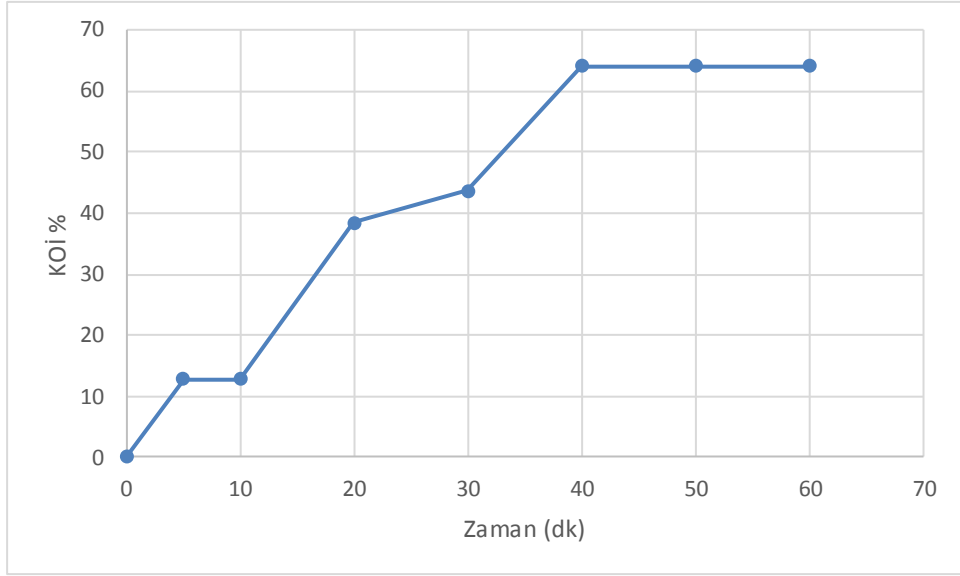
Çizelge 6.16. $I=2,5\text{ A}$, $i=25\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L}+1000\text{mg/L}$ (30 dk) H_2O_2 $V= 400\text{mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	12,7	21	198,432	0	0
5	11	26	172,992	12,82	5,729
10	10,9	29	172,992	12,82	11,406
20	8,8	36	122,112	38,461	20,572
30	8,9	39	111,936	43,589	29,842
40	9,3	43	71,232	64,102	39,529
50	8,7	45	71,232	64,102	48,591
60	9,2	47	71,232	64,102	58,174

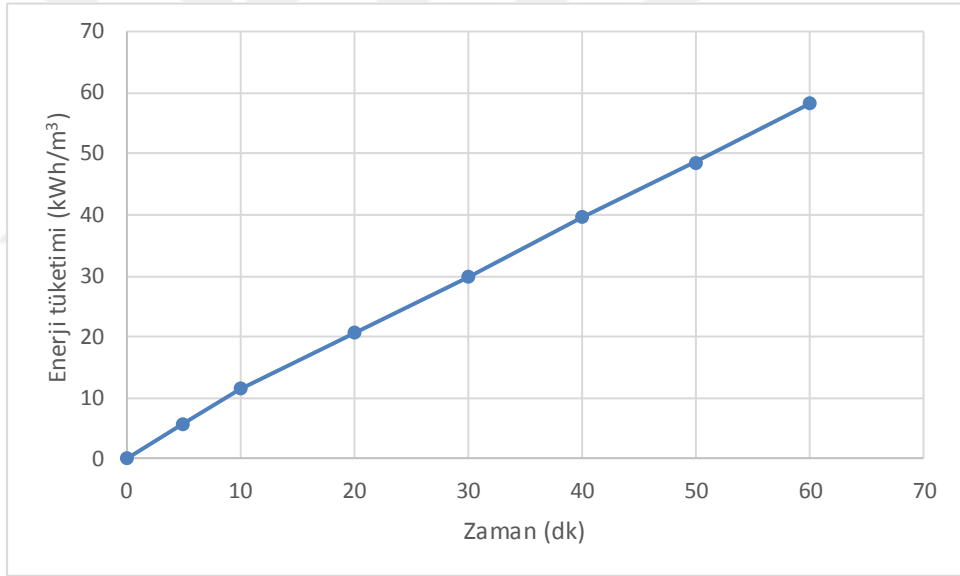
Doğal pH'ta $I=2,5\text{A}$, $i= 25\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, $1000+1000\text{ mg/L H}_2\text{O}_2$ parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.46'da zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.47'de verilmiştir. Şekil 6.48'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.46. KOİ-zaman ilişkisi ($I=2,5\text{A}$, $i=25\text{ mA/cm}^2$, $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L}+1000\text{mg/L}$ (30 dk) H_2O_2)



Şekil 6.47. KOİ %-zaman ilişkisi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L}+1000\text{mg/L}$ (30 dk) H_2O_2)



Şekil 6.48. Enerji tüketimi ($I=2,5A$, $i=25 \text{ mA/cm}^2$, $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $1000\text{mg/L}+1000\text{mg/L}$ (30 dk) H_2O_2)

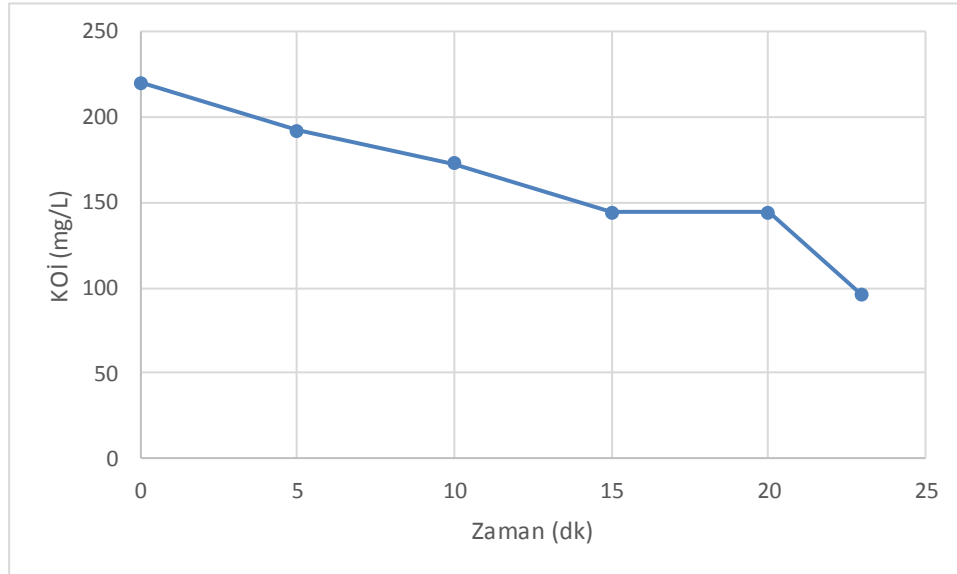
6.2. Alüminyum Elektrot Kullanılarak Yapılan Deneysel Çalışmalar

Doğal pH'ta $I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V=400 \text{ mL}$ parametreleri ile çalışılan deneyin sonuçları Çizelge 6.16'da verilmiştir. Çalışmada en iyi verim %56 olmuştur.

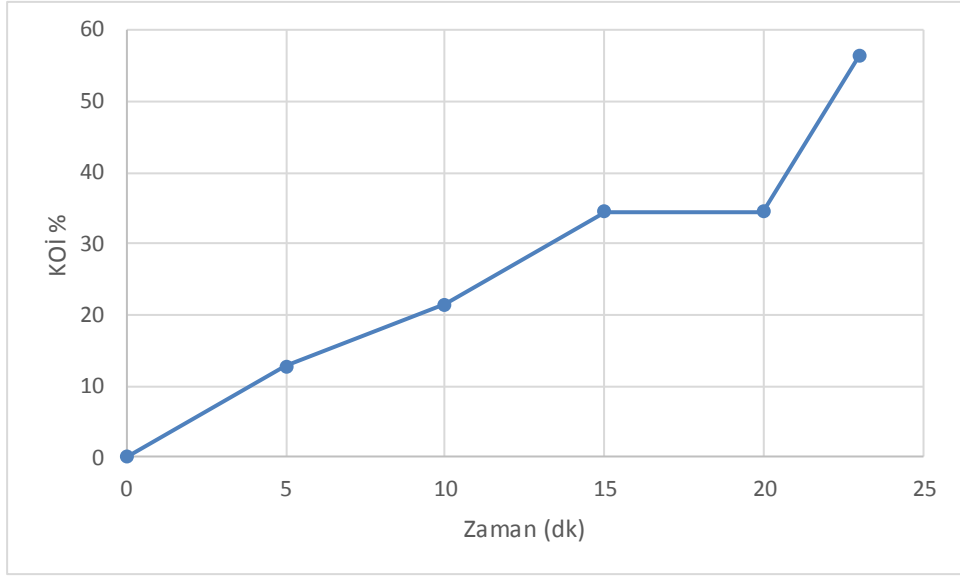
Çizelge 6.17. $I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V=400 \text{ mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ giderimi, %	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	35,7	21	220	0	0
5	33,5	30	192	12,727	10,468
10	31,2	41	172,8	21,454	20,218
15	29,8	47	144	34,545	29,53
20	29	52	144	34,545	38,592
23	28,5	55	96	56,363	43,935

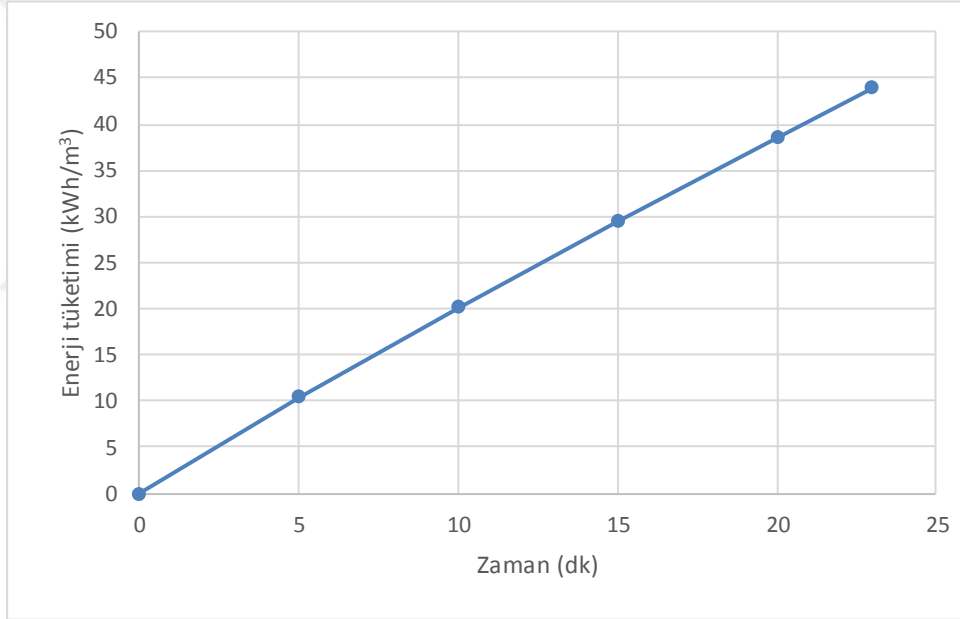
Doğal pH'ta $I=1,5 A$, $i= 15 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.46'da, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.47'de verilmiştir. Şekil 6.48'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.49. KOİ-zaman ilişkisi ($I=1,5 A$, $i= 15 \text{ mA/cm}^2$ ve $10 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)



Şekil 6.50. KOİ %-zaman ilişkisi ($I=1,5\text{ A}$, $i= 15\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)



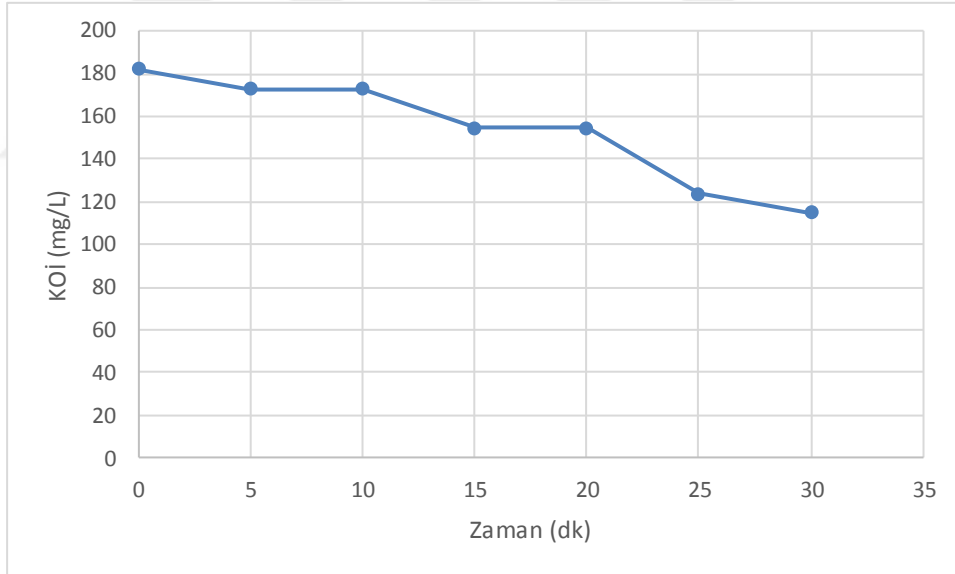
Şekil 6.51. Enerji tüketimi-zaman ilişkisi ($I=1,5\text{ A}$, $i= 15\text{ mA/cm}^2$ ve $10\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)

Doğal pH'ta $I=1,5\text{ A}$, $i=15\text{ mA/cm}^2$ ve $15\text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V=400\text{ mL}$ parametreleri ile çalışılan deneyin sonuçları Çizelge 6.17'de verilmiştir. Çalışmada en iyi verim %37 olmuştur.

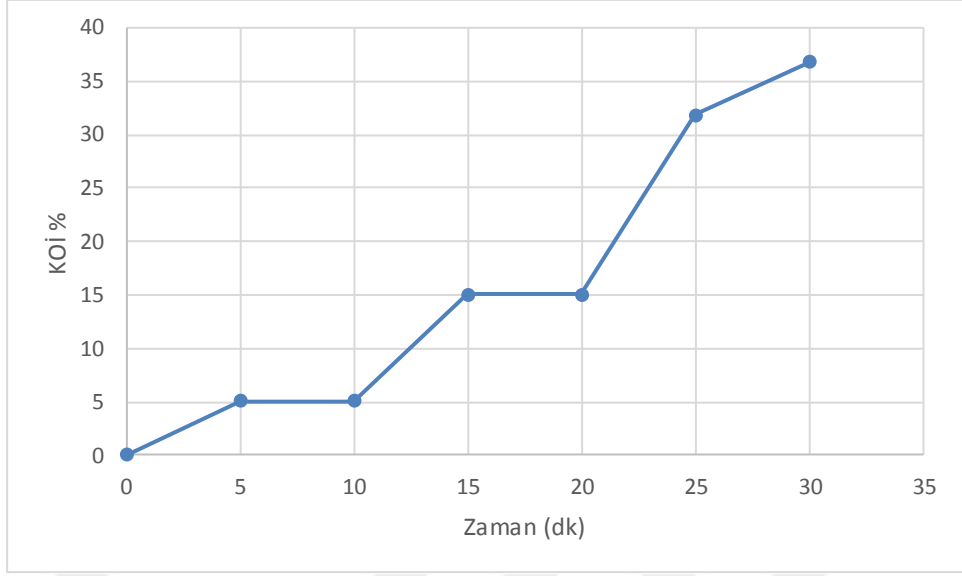
Çizelge 6.18. $I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$, $V=400 \text{ mL}$

Zaman, dak	Gerilim, V	Sıcaklık, °C	KOİ, mg/L	KOİ, giderimi%	Enerji tüketimi, kWh/m ³
0	36,5	20	182	0	0
5	33,7	35	172,8	5,054	10,531
10	31,5	42	172,8	5,054	20,374
15	30,4	47	154,6	15,05	29,874
20	28,9	51	154,6	15,05	38,905
25	28,4	55	124	31,868	47,78
30	27,9	58	115	36,813	56,498

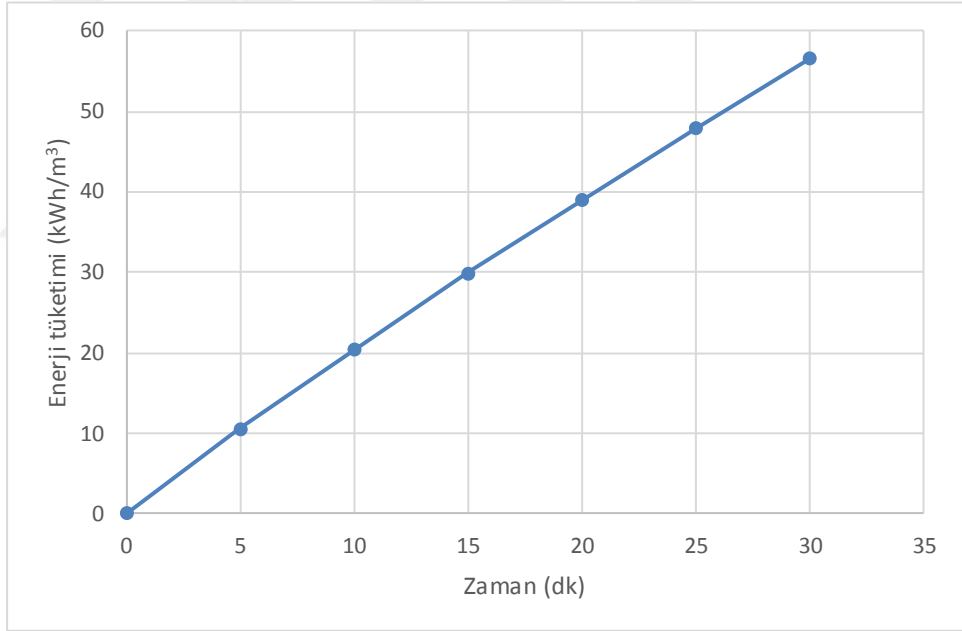
Doğal pH'ta $I=1,5 \text{ A}$, $i= 15 \text{ mA/cm}^2$ ve $15\text{mM Na}_2\text{SO}_4$, $V= 400\text{mL}$, parametreleri ile yapılan çalışmada zamana göre KOİ değişimi Şekil 6.49'da, zamana göre %KOİ değişimi ise Şekil 6.50'de verilmiştir. Şekil 6.51'de zaman ve enerji tüketimi arasında ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.52. KOİ-zaman ilişkisi ($I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)



Şekil 6.53. KOİ %-zaman ilişkisi ($I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)



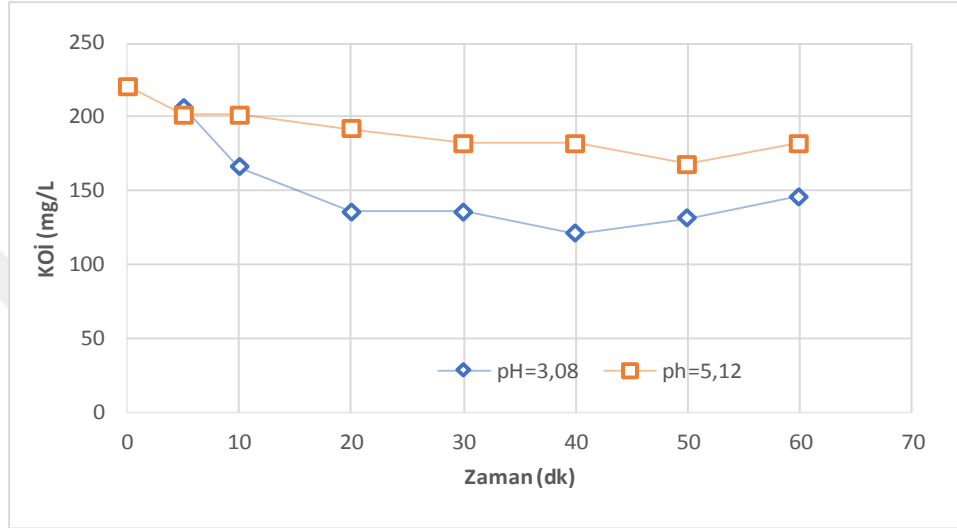
Şekil 6.54. Enerji tüketimi-zaman ilişkisi ($I=1,5A$, $i=15 \text{ mA/cm}^2$ ve $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$)

7.BULGU VE TARTIŞMALAR

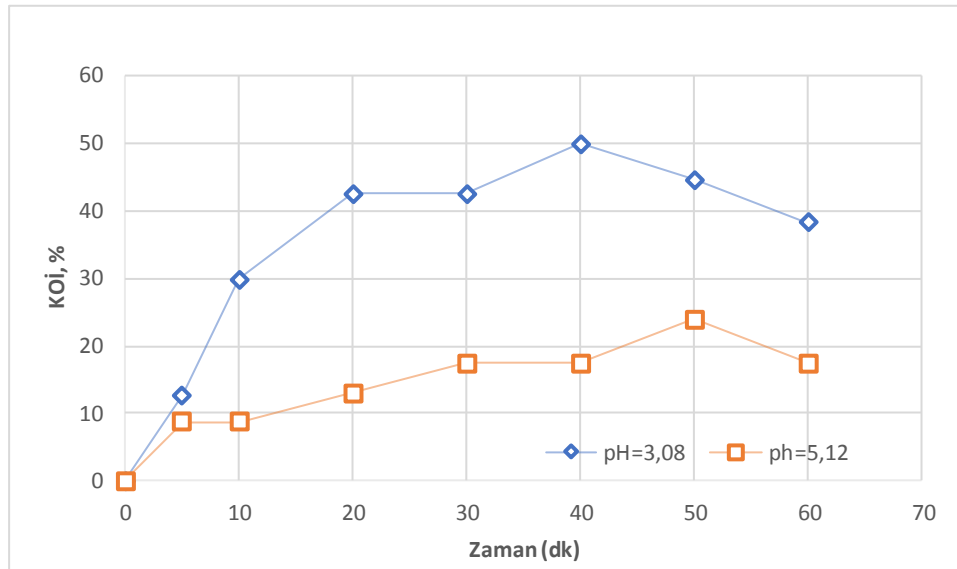
Deneysel çalışmalarda destek elektrolit, pH, akım yoğunluğunun verime etkisi incelenmiştir.

7.1. pH'ın Etkisi

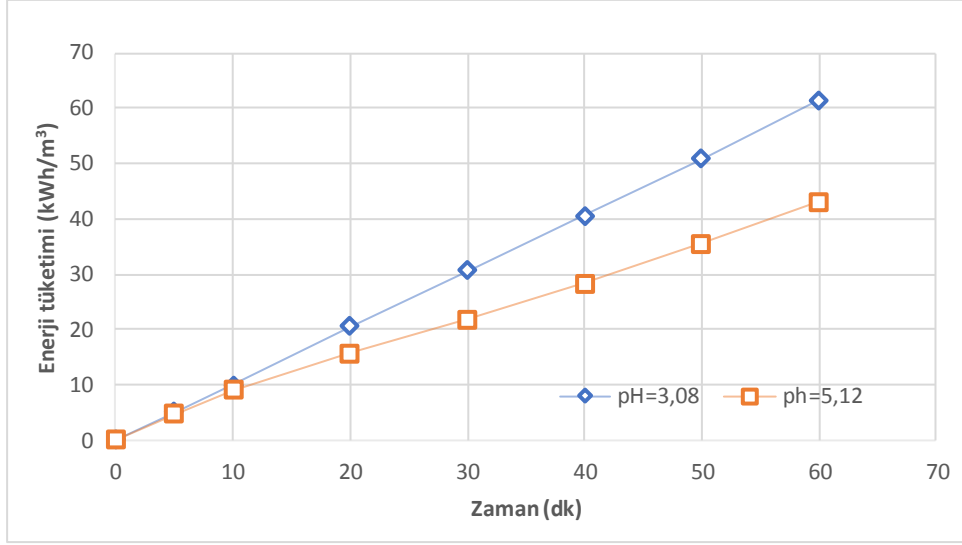
pH değişiminin KOİ'e etkisi Şekil 7.1, %KOİ'e etkisi Şekil 7.2 ve enerji tüketimine etkisi Şekil 7.3'te verilmiştir.



Şekil 7.1. pH'ın KOİ'e etkisi



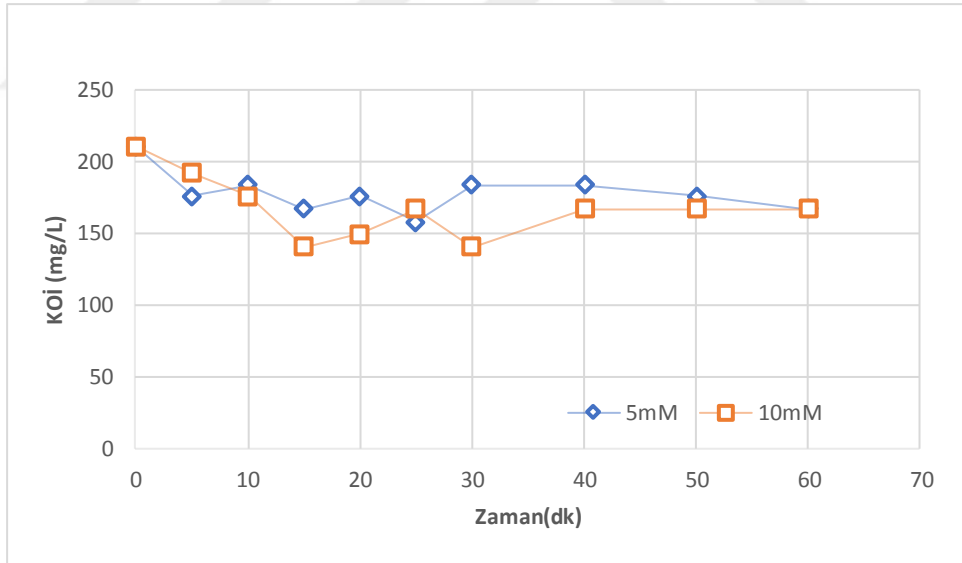
Şekil 7.2. pH'ın %KOİ'e etkisi



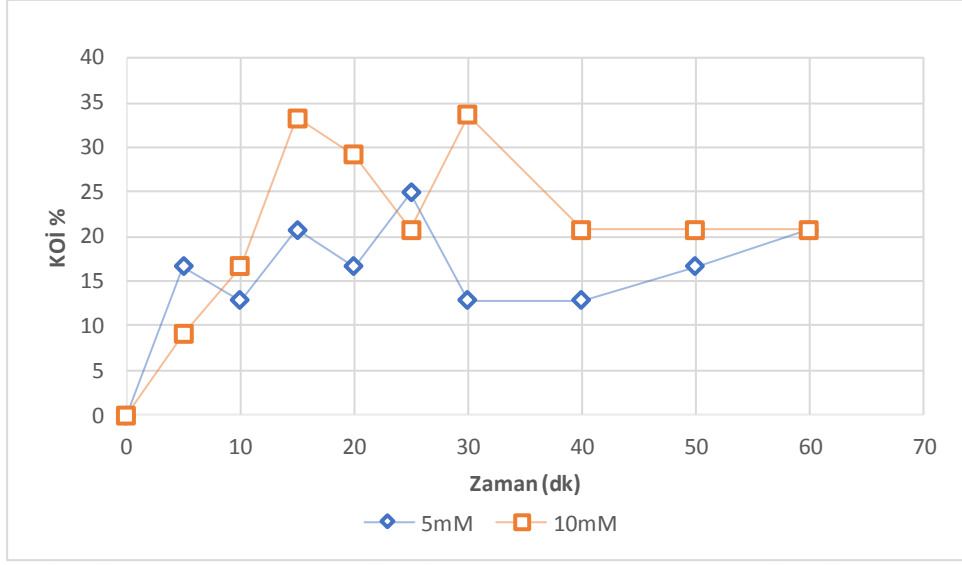
Şekil 7.3. pH'ın enerji tüketimine etkisi

7.2 Destek Elektrolit Miktarının Etkisi

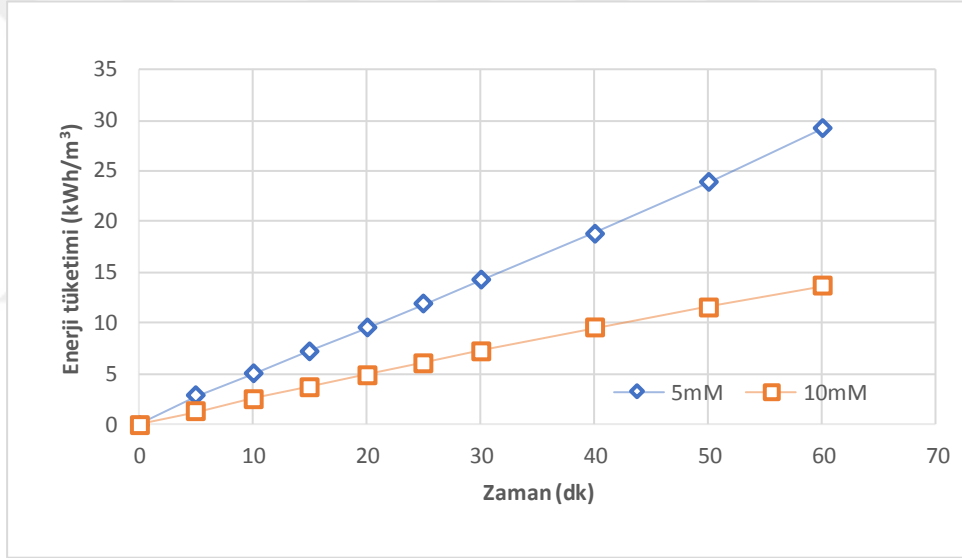
Destek elektrolit miktarının KOİ'e etkisi Şekil 7.4, %KOİ'e etkisi Şekil 7.5 ve enerji tüketimine etkisi ise Şekil 7.6'da verilmiştir.



Şekil 7.4. Destek elektrolit miktarının KOİ değişimine etkisi



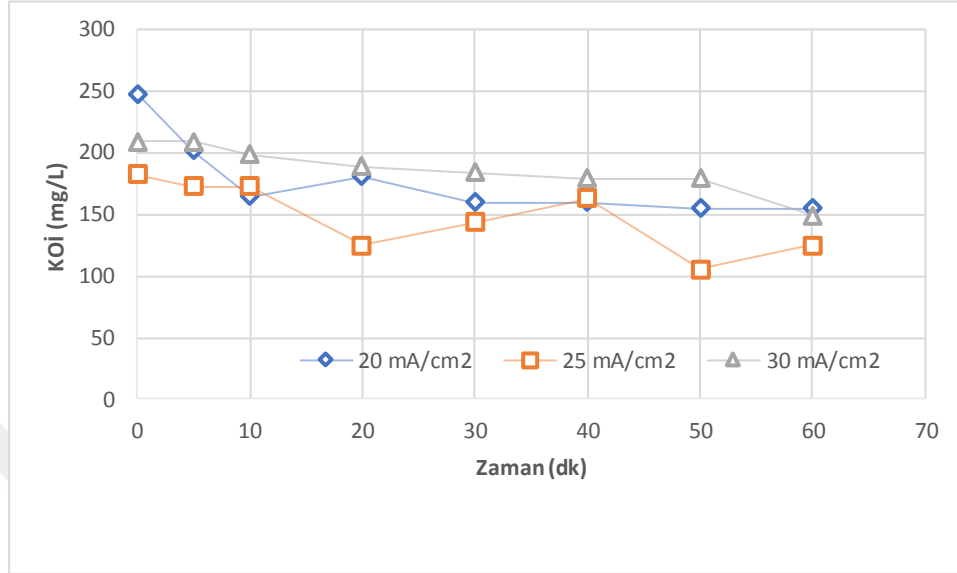
Şekil 7.5. Destek elektrolit miktarının KOİ % değişimine etkisi



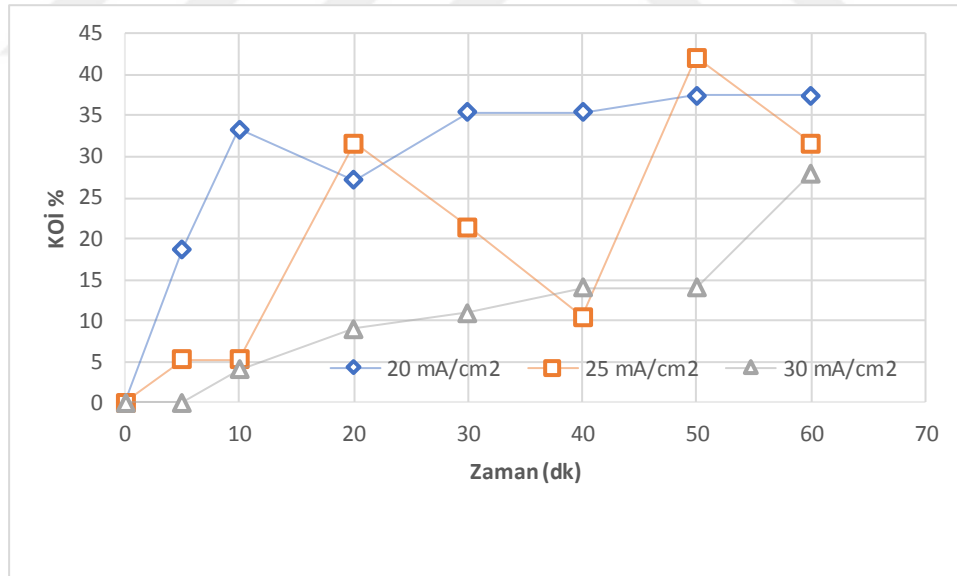
Şekil 7.6. Destek elektrolit miktarının enerji tüketimine etkisi

7.3. Akım Yoğunluğunun Etkisi

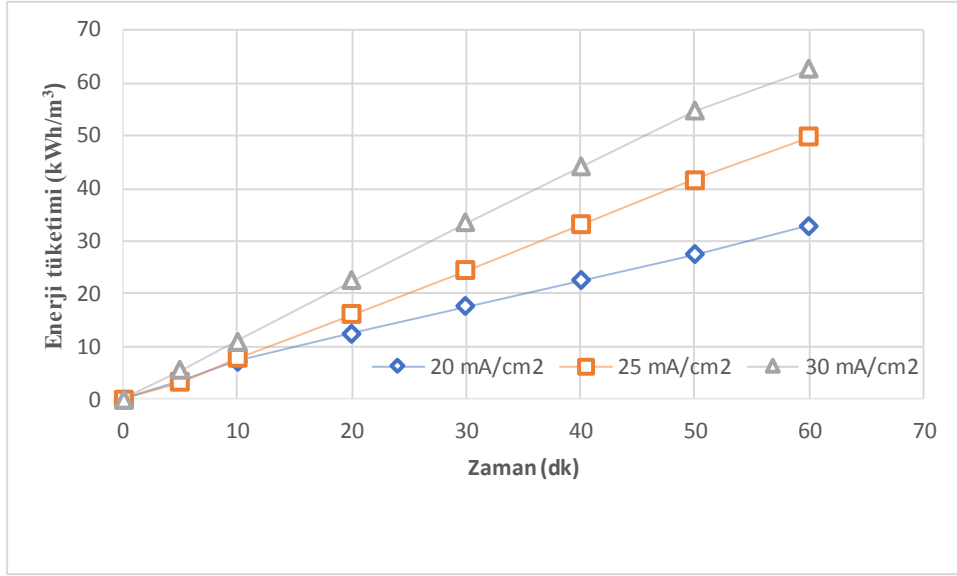
Akım yoğunluğunun KOİ'e etkisi Şekil 7.7, %KOİ'e etkisi Şekil 7.8 ve enerji tüketimine etkisi ise Şekil 7.9'da verilmiştir.



Şekil 7.7. Akım yoğunluğunun KOİ'e etkisi



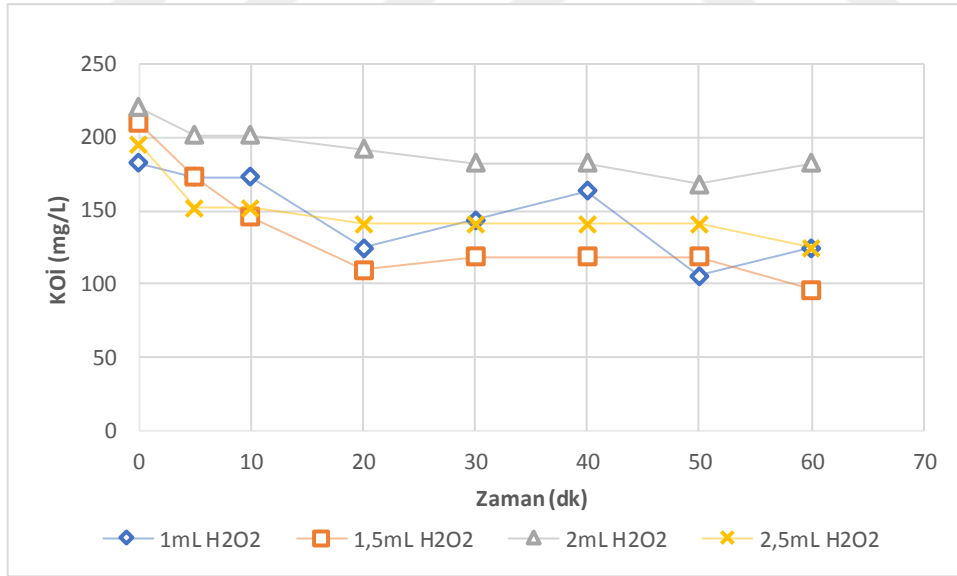
Şekil 7.8. Akım yoğunluğunun %KOİ'e etkisi



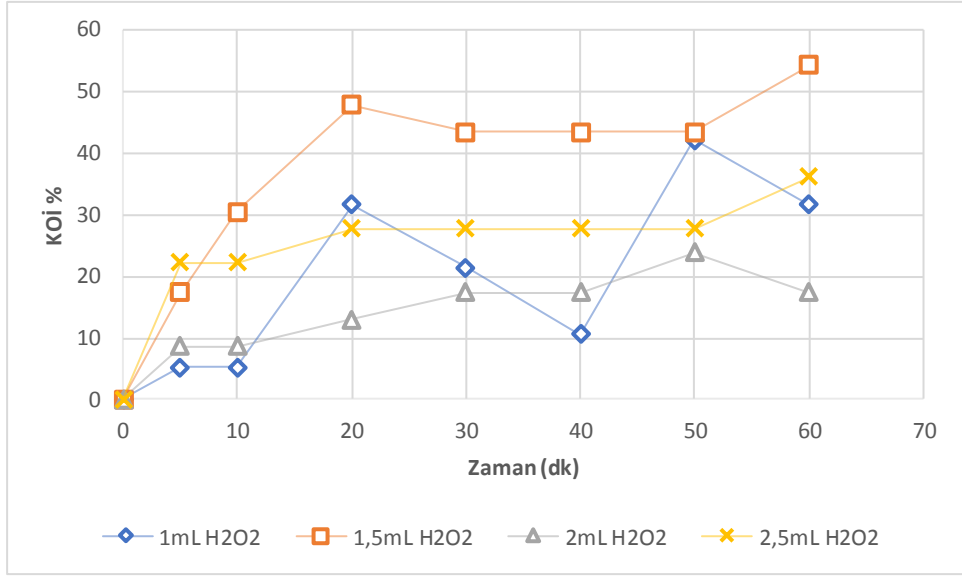
Şekil 7.9. Akım yoğunluğunun enerji tüketimine etkisi

7.4. Hidrojen Peroksitin (H_2O_2)'nin Etkisi

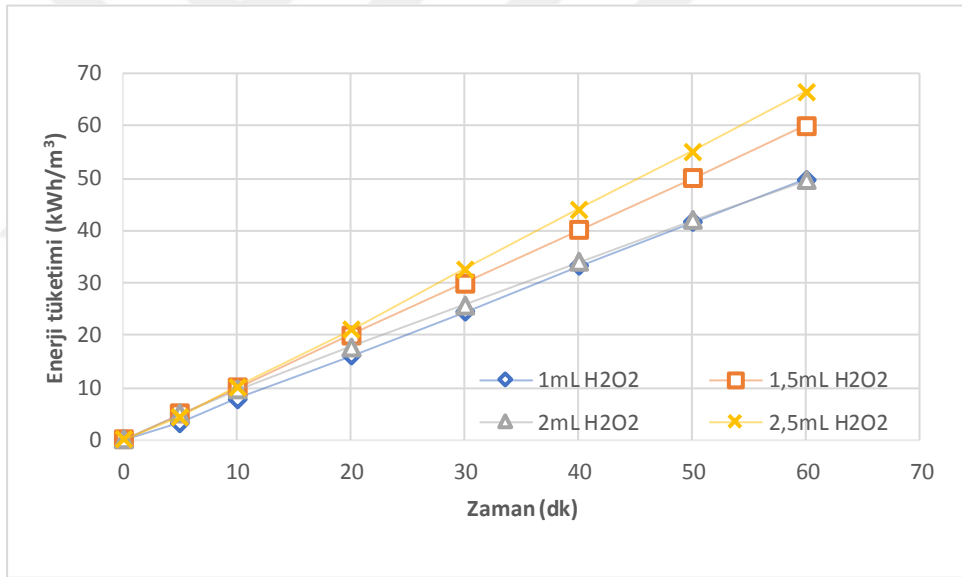
Hidrojen peroksitin (H_2O_2) KOİ'e etkisi Şekil 7.10, %KOİ'e etkisi Şekil 7.11 ve enerji tüketimine etkisi ise Şekil 7.12'de verilmiştir.



Şekil 7.10. Hidrojen peroksitin (H_2O_2)'nin KOİ'e etkisi



Şekil 7.11. Hidrojen peroksitin (H_2O_2)'nin %KOI'e etkisi



Şekil 7.12. Hidrojen peroksitin (H_2O_2)'nin enerji tüketimine etkisi

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada demir ve alüminyum elektrotlar kullanarak Dimethoate pestisiti ile kirlenmiş suyun elektrokoagülasyon ile arıtılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalar boyunca akım yoğunluğu, destek elektrolit miktarı, pH ve hidrojen peroksit(H_2O_2) miktarının KOİ giderimine etkileri gözlenmiştir.

Akım yoğunlukları değiştirilerek yapılan deneyler hangi akım yoğunluğunda daha iyi verim ala bileceğimizi bize göstermiştir. Sonuç olarak $i=25mA/cm^2$ en iyi verim elde ettiğimiz akım yoğunluğu olmuştur.

Farklı destek elektrolit miktarlarının kullanılması, gerilimde ne kadar değişim olacağını incelememizi sağlamıştır. 10 mM Na_2SO_4 en iyi miktar olarak kabul edilmiş ve deneylerin geri kısmı bu miktar destek elektrolitle devam edilmiştir.

H_2O_2 eklenmesi ile yapılan çalışmalarda en iyi sonucu $i=25mA/cm^2$, 10mM Na_2SO_4 ve 1000mg/L+1000mg/L H_2O_2 ile yapılan deney vermiştir. %64 giderim elde edilmiştir ki, bu da tüm deneyler içinde en iyi sonuç olmaktadır.

Başlangıç pH 3,08'e kadar düşürülerek yapılan çalışmada $i=25mA/cm^2$, 10mM Na_2SO_4 ve 2000mg/L H_2O_2 kullanılmış ve %49 verim elde edilmiştir.

Alüminyum elektrot kullanılarak yapılan çalışmalarda hızlı ısı artımı nedeniyle çok fazla çalışma yapılmamış, yapılan çalışmalarda en iyi sonuç $i=15mA/cm^2$ ve 10 mM Na_2SO_4 ile yapılan çalışmada görülmüştür. Giderim yaklaşık olarak %56 olmuştur. Akım yoğunluğunun ve zamanın artışı enerji tüketiminin de artışına yol açmıştır.

Sonda görülen sonuçlara göre Dimethoate pestisiti ile kirlenmiş model atıksuyun elektrokimyasal yöntemlerle arıtımının çok verimli olmadığı görülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Ayin Karakaş Model Süt Endüstrisi Atıksuyunun Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılması, Sayfa 1
- [2] Dursun Yıldız ve Özdemir Özbay, Su ve Toprak 2008, Sayfa 108
- [3] Prof.Dr. Veysel Eroğlu Atıksuların Tasfiyesi, Ankara 2014, Sayfa 1,2
- [4] Serdal Öğüt Isparta Yöresinde Kullanılan Bazı Pestisitlerin Elma-Kirazlardaki Pestisit Kalıntıları ve Bu Ürünlerin Tarımında Çalışan Tarım İşçilerinin Kan Parametrelerine Etkilerinin Belirlenmesi 2012, Sayfa 5,19,23
- [5] Dr. Ramazan Akçan, Pestisit Uygulanan Tavşanlarda Postmortem Kan ve Kemik İliğinde Pestisit Düzeylerinin Araştırılması, Adana 2008
- [6] Prof.Dr. Çağatay Güler Zakir Çobanoğlu, Pestisitler Ankara 1997, Sayfa 39,55
- [7] Zir.Yük.Müh. Himmet Kaygısız Tarımda İlaçlı Mücadelenin Temel Prensipleri, 2003, Sayfa 67
- [8] Hatice Efecan Halfenprox Pestisitinin Mutajenik Aktivitesinin Ames Test Sistemi İle Belirlenmesi 2014, Sayfa 33/41
- [9] Osman Tiryaki 2010 The Fate of Pesticide In The Environment
- [10] <http://www.who.int/ceh/capacity/pesticides.pdf>
- [11] Michael A.Kamrin Pesticide Profiles 1997
- [12] Murat Akdoğan 2013 Tütün Tarla Atığı ve Tütün Tarla Atığı Aktif Karbonlarının, Atık Sulardan Boya Madde, Fenol ve Pestisit Gideriminde Kullanılması Sayfa 12
- [13] Trends and Challenges In Pesticide Resistance Detections
- [14] Wikipedia Dimethoate
- [15] M.Astiz, N.Arnal, MJT Dealaniz, CA Marraprostonel Püskürtücülerde Mesleki Maruziyet Karakterizasyonu Oksidatif Stres Biyobelirtilerinin Klinik Kullanımı Environ.Toxicol.Pharmacol 32 (2011)
- [16] <https://www.hektas.com.tr/urundetay/Poligor/286>
- [17] <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biologicalsciences/dimethoate>

- [18] FA, AM Shaheen, FM Benomran, AI Hassan, Th. Daldrup Ölümcül organofosfat zehirlenmesinden sonra vücutta dimetoat dağılımı Adli Bilim Int. (2007) sayfa 129
- [19] Fazilat, N. Vazirzadeh, A. Banaee, M. Farhadi 2017. Dimethoate pestisit ve biyogübrenin ana sazan, nörotransmisyon ve ortak sazanlarda protein meabolizmasında yer alan enzimlerin aktivitesi üzerine ayrı ve birleşik etkileri, *Cyprinus carpio*, İran İhtoyoloji Dergisi, 4, 352-360
- [20] Tripathi, A. Singh Dimetoat ve karbaril pestisitlerin tatlı su salyangozu *Lymnaea acuminata*'nın protein metabolizması üzerindeki toksik etkileri
- [21] Zheng, S. Zhou, J. Gao, H. Xiong, C. Chen Etilbenzen ve doku kalıntısı ile vurgulanan tatlı su salyangozu *Bellamya aeruginosa*'nın davranış değişikliği ve DNA hasarı *Ecotoxicol. Environ. Saf* 91 (2012), sayfa 43-48
- [22] F. Antonious, ZM Işını, LJ nehirleri Dimetoat artıklarının ilkbahardan hareketliliği *J. Environmental. Sci. Sağlık Bölümü B* 42 (2007), sayfa 9-14
- [23] Jusoh, A. Hartini, W.J.H. Noraini ve Endut.A (2010) "Study on the Removal of Pesticide in Agricultural Runoff by Granular Activated Carbon", "Bioresource Technology", sayfa 10, 10-16
- [24] Sheng.G.Yang, Y.Huang, M ve Yang.K (2005), "Influence of pH on Pesticide Sorption by Soil Containing Wheat Residue-Derived Char", *Environmental Pollution*, 134, 457-463
- [25] Akhtar, M.Hasany, S.M.Bhanger, M.I ve Iqbal.S (2007), "Low Cost Sorbents for the Removal of Methyl Parathion Pesticide from Aqueous Solutions", *Chemosphere*, 66, 1829-1838
- [26] Lu, M.C.Chen, J.N.Chang,C.P.1997, Effect of inorganic ions on the oxidation of Dichlorvos insecticide with Fenton's reagent. *Chemosphere*, 35: 2285-2293
- [27] Havva Merve Baltacı (Yiğit) Ozonla Pestisit Giderimi Uygulamasının Domateste Renk ve C Vitaminine Etkileri, Ankara 2015
- [28] Mustafa Kıraroğlu, Tekstil Atıksularının Farklı Güç Kaynakları Kullanılarak Elektrokimyasal Arıtımında Optimum Şartların Araştırılması, Gebze 2008, Sayfa 42

- [29] Scott.K (1995), Electrochemical processes of clean technology, The Royal Society of Chemistry, UK-Cambridge
- [30] Rajeshwar.K, Ibanez JG, Swai GM, Electrochemistry and the environment. *Journal of Applied Electrochemistry*, 24:1077-91 (1994)
- [31] Türkoğlu.B. Bitkisel Yağ Üretimi Teknolojileri Ve Rafinasyon Atıksularının Elektrokimyasal Arıtımı Lisans Tezi Anadolu Üni.Mühendis Ve Mimarlık Fak. Eskişehir 2006
- [32] İlhan.F, Kurt.U, Apaydın.O, Arslankaya.E,Gonullu M.T, Elektrokimyasal arıtım ve uygulamaları: *katı atık sızıntı suyu çalışması*, AB Surecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine fak. Endüstri Müh.Bölümü, İstanbul 2007
- [33] Zhao.J,Li, W. Jiao, X. Yanping, L ve Guo.X “Floc growth kinetics in magnesium hydroxide coagulation process” , *Desalination and Water Treatment*, 52, 22-24, 2014
- [34] Güray Emir Seramik Endüstrisi Atıksularının Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Arıtılması 2015, Sayfa 11
- [35] Chaturverdi.S.I, “Mercury Removal Using Fe-Fe Electrodes by Electrocoagulation” *IJMER*, 3,1, 101-108, 2013
- [36] Özdemir.K *Meyvesuyu fabrikası atıksularının elektrokimyasal olarak arıtılması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Uni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2005
- [37] Delipınar S Maya endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon ve kimyasal koagülasyon ile arıtılması, yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Müh. Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze 2007
- [38] Kırılroğlu.M Tekstil atıksularının farklı güç kaynakları kullanılarak elektrokimyasal arıtımında optimum şartların araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Müh. Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze 2008
- [39] Liu.H, Zhao.X ve Jiuhiu.Q Electrocoagulation in Water Treatment *Electrochemistry for the environmen* (Ed: Comninellis,C ve Chen.G), Springer, Newyork A.B.D, 245-261, 2010

- [40] Yavuz.Y, Fenölün elektrokimyasal yöntemlerle sudan giderimi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Müh. Mimarlık fak. Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir 2004
- [41] TS 2789 ISO 6060 Su Kalitesi- Kimyasal Oksijen İhtiyacının Tayini Standardı



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Orhan AHADLI
Yabancı dil :İngilizce, Azerice
Doğum Yeri ve Yılı :Masallı/1995
E-Posta :ahadli.orxan@mail.ru

Eğitim geçmişi

Yüksek Lisans (2016-2019) – Eskişehir Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
Anabilim dalı

Lisans-(2012-2016) – Bakü Devlet Üniversitesi, Çevre ve Tarım Fakültesi, Ekoloji
bölümü

Okul- (2001-2012) - Bakü 244 numaralı okul