

ÖZET

ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLERLE FUNGİSİT GİDERİMİ

AHMET SERCAN ERTAŞ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2019

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

Dünyada mevcut geleneksel atık su arıtım sistemlerinde verimliliği arttırmaya yönelik çalışmalar dünyanın birçok bölgesinde devam etmektedir. Bu çalışmaların temel amacı, ekonomi, zaman ve genel verimlilik açılarından daha iyi arıtım sistemleri kurabilmektir. Literatürde yapılan araştırmalar atık su arıtım sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda, elektrokimyasal yöntemlerin verimli, etkili ve makul yöntemlerden biri olduğu gösterilmiştir. Günümüzde giderek artan nüfus, gıda ihtiyacını arttırmakta ve insanları pestisit kullanımına yöneltmektedir. Kullanımı giderek artan pestisitler sızıntı şeklinde toprağa ve suya karışmakta, canlıların sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle bu pestisitlerin sudan uzaklaştırılması bir gereklilik haline gelmiştir. Bu çalışmada, Fosetyl-Al fungusitini içerecek şekilde oluşturulan model atık sudan, elektrokimyasal yöntemler ile çeşitli akım şiddetlerinde, çeşitli miktarlarda destek elektrolit kullanılarak, çeşitli başlangıç derişimlerinde ve son olarak elektrofenton prosesi kullanılarak ne kadar verimli KOİ giderimi yapılabileceği kıyaslanarak gösterilmiştir. Son olarak, atık su arıtımı için kurulan bu sistemin enerji tüketimi de hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları, optimum koşulların Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit ve Hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulanarak yapılan elektrofenton yöntemi kombinasyonunda elde edildiğini göstermektedir. Bu koşullarda, %91,2 KOİ giderimi yapıldığı tespit edilmiştir. Uygulamanın atık su arıtımında, pilot tesis ölçeklerine uygulanabilir olduğu ve geleneksel yöntemlere göre zaman ve maliyet yönlerinden oldukça iyi tasarruflar sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pestisit, Fungisit, Atık su, Arıtım, Elektrokimyasal, KOİ, Fosetyl-

Al

ABSTRACT
FUNGICIDE REMOVAL WITH ELECTROCHEMICAL METHODS

AHMET SERCAN ERTAŞ

Programme in Enviromental Engineering
Anadolu University, Graduate School of Sciences, August 2019

Supervisor: Prof. Yusuf YAVUZ

Efforts to increase efficiency in conventional waste water treatment systems in the World are continuing in a lot of regions of the World. The main purpose of these studies is to establish better treatment systems in terms of economy, time and overall efficiency. Studies in the literature have shown that electrochemical methods are one of the efficient, effective and reasonable methods in the studies on wastewater treatment systems. In this study, it is shown by comparing how efficient COD removal can be done by using electrochemical methods at various current intensities, using various amounts of support electrolyte, at various initial concentrations and finally by using electrophenton process from the model wastewater formed to contain Fosetyl-Al fungicide. Today, the growing population increases the need for food and directs people to the use of pesticides. Increasing use of pesticides in the form of leakage into the soil and water, threatening the health of living things. Therefore, the removal of these pesticides from water has become a necessity. Finally, the energy consumption of this system for wastewater treatment was also calculated. The results of the study show that optimum conditions are obtained in combination of electrophenton method by applying Sodium Sulphate (Na_2SO_4) support electrolyte and Hydrogen peroxide (H_2O_2). In these conditions, 91.2% COD removal was determined. It is envisaged that the application can be applied to pilot plant scales in wastewater treatment and will provide very good time and cost savings compared to traditional methods.

Keywords: Pesticide, Fungicide, Wastewater, Treatment, Electrochemical, COD, Fosetyl-Al

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca, her zaman yanımda olan desteğini esirgemeyen güler yüzlü saygı değer hocam Prof. Dr. Yusuf YAVUZ'A

Öğretileri için Tuğçe DEMİREL'e

Eskişehir Teknik Üniversitesi Çevre Araştırma Merkezi personeline

Ve son olarak hayatımın her anından olduğu gibi bu çalışmamda da hep arkamda olan Aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ahmet Sercan ERTAŞ

Ağustos 2019

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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 çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla 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.

Ahmet Sercan ERTAŞ

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	16
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	19
3. PESTİSİTLER	24
3.1 Giriş	24
3.2 Pestisitlerin Sınıflandırılması.....	25
3.2.1 Organik Klorlu Pestisitler	26
3.2.2 Organik Fosforlu Pestisitler	26
3.2.3 Karbamath Pestisitler	26
3.2.4 Piretroit Grubu Pestisitler	27
3.3 Pestisit Formülasyonları.....	27
3.3.1 Etkin Madde.....	27
3.3.2 Dolgu Maddesi	27
3.3.3 Diğer Maddeler.....	27
3.4 Pestisitlerin Çevreye Etkileri	28
3.5 Pestisitlerin Canlılara Etkileri	28
3.5.1 Pestisitlerin Vücut ve Organ Ağırlıklarına Etkileri.....	29
3.5.2 Pestisitlerin Hematolojik Zehirliliği	29
3.5.3 Pestisitlerin İmmünotoksik Etkileri.....	30
3.5.4 Pestisitlerin Cildi Etkileri	30
3.5.5 Pestisitlerin Biyokimyasal Etkileri.....	30
3.5.6 Pestisitlerin Teratojenik ve Mutajenik Etkileri.....	31
3.5.7 Pestisitlerin Genotoksik Etkileri	32
3.6 Su ve Pestisitler.....	32

3.7 Fungisitler	33
3.7.1 Giriş	33
3.7.2 Fungisitler ve Çevreye Etkileri.....	37
3.7.3 Fungisitlerin Canlılara Etkileri.....	38
3.7.4 Fosetyl-Al Fungisiti	39
4. ELEKTROKİMYASAL ARITIM	43
4.1 Giriş	43
4.2 Elektrokimyasal Hücreler ve Reaksiyonları.....	43
4.3 Elektrokimyasal Koagülasyon	44
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	50
5.1 Materyal ve Metot	50
5.1.1 Elektrokimyasal Deneylerde Kullanılan Kimyasallar	50
5.1.2 KOİ Deneylerinde Kullanılan Kimyasallar	50
5.2 Elektrokimyasal Deneyler	51
5.3 KOİ Deneyleri.....	51
6. DENEYSEL SONUÇLAR	52
7. SONUÇ	102
KAYNAKÇA.....	103
ÖZGEÇMİŞ	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.5. Pestisitlerin Kronik Etkileri [1]	28
Çizelge 4.1. Çözünebilir Kirleticiler ve Giderim Mekanizmaları [22].....	46
Çizelge 6.1. Deneysel Sonuçlar (1A Akım Şiddeti, 750 mg/L Başlangıç Derişimi, 200 RPM Karıştırma Hızı)	52
Çizelge 6.2. Deneysel Sonuçlar (1A Akım Şiddeti, 300 mg/L Başlangıç Derişimi, 1mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)...	53
Çizelge 6.3. Deneysel Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 300 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)...	54
Çizelge 6.4. Deneysel Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 300 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)...	55
Çizelge 6.5. Deneysel Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 300 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) ...	56
Çizelge 6.6. Deneysel Sonuçlar (1A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)...	57
Çizelge 6.7. Deneysel Sonuçlar (1A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)...	58
Çizelge 6.8. Deneysel Sonuçlar (1A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) ...	59
Çizelge 6.9. Deneysel Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)...	60
Çizelge 6.10. Deneysel Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	61
Çizelge 6.11. Deneysel Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	62
Çizelge 6.12. Deneysel Sonuçlar (3A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı).	63
Çizelge 6.13. Deneysel Sonuçlar (3A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı).	64
Çizelge 6.14. Deneysel Sonuçlar (3,5A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)	65

Çizelge 6.15. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	66
Çizelge 6.16. Deneysel Sonuçlar (3,5A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)	67
Çizelge 6.17. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	68
Çizelge 6.18. Deneysel Sonuçlar (3A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	69
Çizelge 6.19. Deneysel Sonuçlar (3,5A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 15mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)	70
Çizelge 6.20. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	71
Çizelge 6.21. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 25mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	72
Çizelge 6.22. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	73
Çizelge 6.23. Deneysel Sonuçlar (3,5A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)	74
Çizelge 6.24. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı) .	75
Çizelge 6.25. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 1mL Hidrojen Peroksit (H_2O_2), 200 RPM Karıştırma Hızı)	76
Çizelge 6.26. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 2mL Hidrojen Peroksit (H_2O_2), 200 RPM Karıştırma Hızı)	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Atık su arıtımının gelişimi [3]	17
Şekil 3.7. Fosetyl-Al Kimyasal Yapı Formülü [20]	41
Şekil 6.1. Akım Şiddetinin KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	78
Şekil 6.2. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	78
Şekil 6.3. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	79
Şekil 6.4. Akım Şiddetinin KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	80
Şekil 6.5. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	80
Şekil 6.6. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	81
Şekil 6.7. Akım Şiddetinin KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	82
Şekil 6.8. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	82
Şekil 6.9. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4)).....	83
Şekil 6.10. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 1A Sabit Akım Şiddeti).....	84
Şekil 6.11. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 1A Sabit Akım Şiddeti)	84
Şekil 6.12. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 1A Sabit Akım Şiddeti)	85
Şekil 6.13. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti).....	86
Şekil 6.14. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)	86
Şekil 6.15. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)	87

Şekil 6.16. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3A Sabit Akım Şiddeti)	88
Şekil 6.17. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3A Sabit Akım Şiddeti)	88
Şekil 6.18. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3A Sabit Akım Şiddeti)	89
Şekil 6.19. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (300 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)	90
Şekil 6.20. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (300 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)	90
Şekil 6.21. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (300 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)	91
Şekil 6.22. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3,5A Sabit Akım Şiddeti)	92
Şekil 6.23. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3,5A Sabit Akım Şiddeti)	92
Şekil 6.24. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (300 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)	93
Şekil 6.25. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 4A Sabit Akım Şiddeti)	94
Şekil 6.26. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 4A Sabit Akım Şiddeti)	94
Şekil 6.27. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 4A Sabit Akım Şiddeti)	95
Şekil 6.28. Başlangıç Derişiminin KOİ Giderim Verimine Etkisi (3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)	96
Şekil 6.29. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)	96
Şekil 6.30. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)	97
Şekil 6.31. Başlangıç Derişiminin KOİ Giderim Verimine Etkisi (5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)	98

Şekil 6.32. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti).....	98
Şekil 6.33. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti).....	99
Şekil 6.34. Başlangıç Derişiminin KOİ Giderim Verimine Etkisi (10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)	100
Şekil 6.35. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)	100
Şekil 6.36. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti).....	101

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AET.	: Elektrik Enerjisi Tüketimi
Ark.	: Arkadaşları
COD	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
EC	: Elektrokoagülasyon
ECFe	: Demir Elektrotlar
Fosetyl-Al	: Fosetil-Alüminyum
FTIR	: Fourier-Transform Infrared Spektroskopisi
IUPAC	: Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	: Litre
mA	: Miliamper
mM	: Milimolar
mg	: Miligram
pH	: Hidrojen Gücü

Simgeler

C	: Derişim (mol/L)
ρ	: Yoğunluk (g/mL)
I	: Akım Şiddeti (A)
V	: Gerilim (Volt)

1. GİRİŞ

Günümüzde hızlı bir şekilde artış gösteren dünya nüfusuna karşın bu artışı karşılayacak oranda ürün elde edilememekte ve gıda ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu sorunun çözülmesi, birim alanda verimi ve kalitesi yüksek ürünler elde edilebilmesi, maliyeti oldukça düşük olan, en önemlisi ise çevre kirliliğine neden olmayacak tedbirlerin alınması ile mümkündür. Bugün dünyada ürün artışını sağlayabilmek için çeşitli zararlı organizmalarla mücadelede "pestisit" adı verilen kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu kimyasal maddelerin kullanılmasıyla ürün miktarında artışlar gözlenmektedir. Ancak bu tarım ilaçları suda, toprakta, meyve ve sebzeler üzerinde uzun süre bozunmadan kalarak çevre kirliliğine neden olmakta ve dolayısıyla besin zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşabilen çeşitli zararlar oluşturmaktadır.

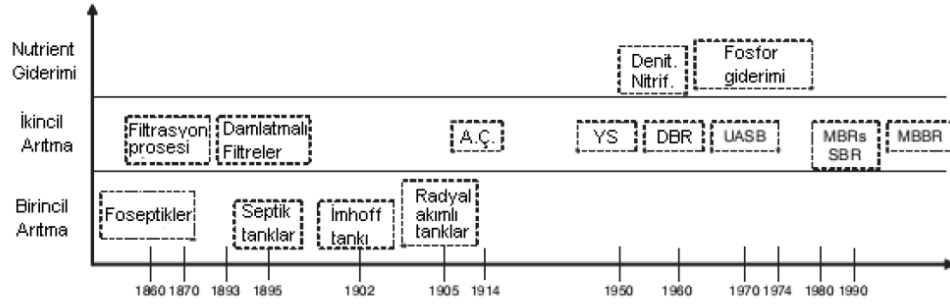
Pestisitler çevreye; atmosfer, su, toprak ve pestisitlerin yapımı ya da geniş sahada kullanımı sonucunda yayılmaktadır. Miles ve Harris'e göre su içerisinde istenmeyen bazı sucul bitkilere ya da böceklere karşı pestisitlerin doğrudan suya uygulanması, pestisitli bitkilerden toprağa, toprak altı sularına, dolayısıyla su ekosistemine karışması ya da pestisitlerle kirlenmiş atmosfer içerisindeki partiküllerin yağmur suları ile taşınması sonucu suların pestisitlerle kirlenmesine neden olmaktadır [1].

Doğada hem içme ihtiyacı hem de hijyen açısından su, canlıların ve insanların en önemli temel ihtiyaçlarından biridir. Gezegenimizin her ne kadar 2/3'si sularla kaplı olsa da gezegenimizde kullanılabilir ve içilebilir suyun kısıtlı olması nedeniyle gezegenimiz, günümüzde artan nüfusun su ihtiyacını karşılamakta artık zorlanmaktadır. Su kaynaklarının yetersizleşmesi ve su kalitesinin bozulması Dünya'nın birçok yerinde endişeyle karşılanmakta ve bu durumun, yüzyılın başlıca sorunlarından biri olacağı uluslararası platformlarda açık ve net bir şekilde belirtilmektedir [2]. İşte tam bu noktada, dünyada mevcut suyun en verimli şekilde kullanılması ve kullanılamayan, içilemeyen suyun kullanılabilir, içilebilir su haline getirilmesi; yani atık su arıtımı yaklaşımları devreye girmektedir.

Tarihsel gelişimine doğal arıtma ile başlayan su arıtım süreçleri sırasıyla fiziksel arıtma, aktif çamur sistemleri, anaerobik arıtma, ileri arıtma, membran sistemler ve ileri oksidasyon sistemleri ile devam etmiştir. Günümüzde atık suyun ve mevcut konumun özelliklerine göre en uygun arıtma teknolojisi seçilerek atık suların arıtılarak alıcı ortama verilmesi sağlanmaktadır. Bir yandan çevreye zarar vermeden atık suların arıtılması

sağlanırken diğer yandan daha verimli ve daha ekonomik sistemlerin keşfedilmesi için Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir [3].

Geleneksel su arıtım teknikleri, yöntemleri olarak bilinen sistem ve bu sistemin gelişimi aşağıdaki gibidir:



A.Ç. : Aktif çamur; YS: Yapay sulak alanlar; DBR: Döner biyolojik reaktörler (yada döner biyodiskler);
UASB: Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörler; MBRs: Membran biyoreaktörler; MBBR:
Hareketli yataklı biyofilm reaktörler, SBR: Seri bağlı kesikli reaktörler

Şekil 1.1. Atık su arıtımının gelişimi [3]

Dünyada mevcut geleneksel atık su arıtım teknikleri, yöntemleri olarak bilinen bu atık su arıtım sistemlerinde verimliliği arttırmaya yönelik çalışmalar dünyanın birçok bölgesinde devam etmektedir. [4] Bu çalışmalar, ekonomi, zaman ve genel verimlilik açılarından daha iyi arıtım sistemleri kurabilmek için yapılmaktadır. Atık su arıtım sistemleri üzerine yapılan bu çalışmalarda, elektrokimyasal yöntemlerin verimli, etkili ve makul yöntemlerden biri olduğu gösterilmiştir. Balakrishnan Ramesh Babu ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptığı çalışma, bazı pestisitlerin sudan elektrokimyasal yöntemler kullanılarak KOİ gideriminde %82 – %88 verime ulaşılabileceğini [5]; Soha A. Abdel-Gawad ve arkadaşlarının yaptığı diğer bir çalışma ise yaklaşık %98-99 verimle pestisit giderimi yapılabildiğini kanıtlamıştır [6].

Elektrokimyasal atık su arıtımı süreçlerinin temelinde koagülasyon, adsorbsiyon, absorpsiyon, çöktürme ve flotasyon işlemleri bulunur [7]. Elektrokimyasal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen atık su arıtımı, geleneksel yöntemlerle arıtılması zor atık suların arıtılması için umut vaat eden arıtım yöntemlerinden biridir. Elektrokimyasal yöntemlerin, çeşitli endüstriyel atık sularındaki kirleticilerin giderilmesinde başarılı olduğu tespit edilmiştir. Elektroliz işleminde görülen giderim mekanizmalarının genellikle oksidasyon, indirgeme ve ayrışmayı içermesine karşılık elektrokoagülasyon işlemindeki mekanizmalar koagülasyon, adsorpsiyon, çöktürme ve yüzdürmeyi içerir [6].

Elektrokimyasal süreçleri birbirinden ayıran en büyük farklılıklar; kullanılan elektrot tipi, uygulanan akım, elektriksel gerilim ve işlem tipi başta olmak üzere işlemin

şekli ve yapısıdır. Özellikle kullanılan elektrot türü, sistemin elektrokoagülasyon mekanizmasını mı yoksa elektrooksidasyon mekanizmasını mı harekete geçireceğini belirleyen etmenlerin başında gelmektedir [8].

Bu çalışmada, Fosetyl-Al pestisitini içerecek şekilde oluşturulan model atık sudan, elektrokimyasal yöntemler ile çeşitli akım şiddetlerinde, çeşitli miktarlarda destek elektrolit kullanılarak, çeşitli başlangıç derişimlerinde ve son olarak elektrofenton prosesi kullanılarak ne kadar verimli KOİ giderimi yapılabileceği kıyaslanarak gösterilmiştir. Son olarak, atık su arıtımı için kurulan bu sistemin enerji tüketimi de hesaplanmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada, Fosetyl-Al fungusitinin alıcı su ortamına karışması durumunda suyun KOİ'sinde elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak verimli bir şekilde giderim yapılabileceği incelenmiştir. Fosetyl-Al, bir pestisitir. Literatürde elektrokimyasal yöntemler ve elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak sudan uygun verim değerlerinde pestisit – KOİ giderimi yapılabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Ancak, Fosetyl-Al fungusitinin suda oluşturduğu KOİ'nin giderimi üzerine bu çalışmadan önce yapılmış herhangi bir çalışma yoktur.

Serkan BAYAR ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, sentetik olarak hazırlanan Direct Red 23 boyar maddesinin sulu ortamdan elektrokolagülasyon yöntemi kullanılarak giderimi çalışılmıştır. Alüminyum elektrotların kullanıldığı çalışmada, başlangıç çözelti pH'sı, karıştırma hızı ve destek elektrolit türünün renk giderimi üzerine etkileri incelenmiştir. Denemeler süresince akım yoğunluğu 0.1 mA cm^{-2} ve sıcaklık $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit tutulmuştur. Elektrotlar arası mesafe 0.5 cm olarak belirlenmiştir. Renk giderme verimi üzerine çözeltinin başlangıç pH'sının çok etkili bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek renk giderim verimi başlangıç çözelti pH'sı 5, 150 devir dakika⁻¹'lık karıştırma hızı ve 5 mM NaCl tuzunun kullanıldığı denemede 30 dakika deney süresi sonunda % 98 olarak gerçekleşmiştir. Yapılan deneylerde destek elektrolit türünün renk giderim verimine etkili bir parametre olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda Direct Red 23 boyar maddesi içeren atıksuların arıtımında alüminyum elektrot içeren elektrokoagülasyon prosesinin uygulanabileceği görüşüne varılmıştır. [9]

İhara ve ark. tarafından yapılan çalışmada, düzenli depolama sahası sızıntı suyu, pilot ölçekli bir tesiste demir elektrotlar ve elektrokimyasal oksidasyon kullanılarak elektrokoagülasyon ile birleştirilen yüksek değişim dereceli manyetik ayırma ile arıtılmıştır. Demir elektrotlarla elektrokoagülasyon, fosfor ve organik bileşikler için manyetik bir tohumlama yöntemi olarak kullanılmıştır. Çöp sızıntı suyundaki bazı organik bileşikler demir (II) hidratlar veya demir elektrotlardan üretilen hidroksitlerle pıhtılaştırılmıştır. Çöp sızıntı suyundaki fosfor da demir fosfat olarak askıya alınmıştır. Bu mıknatıslanmış katılar, bir süper iletken mıknatıs kullanılarak yüksek değişim dereceli manyetik ayırma ile giderilmiştir. Toplam fosfatın (T-P) ayrılma oranı, 100 L/sa. 'lik bir akış hızında yaklaşık %90 idi. Manyetik filtre çıkışındaki amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gibi kalıntılar, Ti/PbO_2 anot kullanılarak elektrokimyasal oksidasyon ile yok edilmiştir. Sızıntı suyunda klorür oksidasyonundan üretilen hipoklorit,

NH₄-N'nin etkili bir şekilde uzaklaştırılmasında anahtar bir oksidan rolü oynayabilmektedir. Deneysel sonuç, demir elektrotlar ve yüksek değişim dereceli manyetik ayırma kullanılarak yapılan ön arıtma işleminin elektrokoagülasyon işlemi ile kombine edilmesinin elektrokimyasal oksidasyondaki yük verimliliğini artırabileceğini göstermiştir. Çevresel endokrin bozucu etkileri olduğundan şüphelenilen bazı kimyasallar da azalmıştır. [7]

Babu ve ark. tarafından yapılan çalışmada elektrooksidasyon, elektrokoagülasyon ve pestisit çıkışının elektro-Fentonu (metil parathion, atrazine ve triazophos içerir) olmak üzere üç farklı elektrokimyasal teknik seçilmiştir. Optimum pH durumunu belirlemek için farklı pH'da deneyler yapılmıştır. Atık suyun kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 6 saat sonunda 1810'dan elektrooksidasyonla 431 mg L⁻¹'e (pH 6), elektrokoagülasyon yoluyla 210 mg L⁻¹'e (pH 10) ve elektro-Fenton ile 341 mg L⁻¹'e düşürülmüştür. (pH 8). Sonuçlar, 5 A dm⁻² sabit akım yoğunluğunda pH 10'da (% 88) elektrokoagülasyon, ardından pH 8'de (% 81) elektro-Fenton ve pH 6'da (% 76) elektro-oksidasyon ile yüksek bir KOİ azalması gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Ayrıca akım verimi, enerji tüketimi ve indirgeme maliyeti de belirlenmiştir. [5]

Longqian Xu ve ark. tarafından yapılan çalışmada, hibrit Fe-Al elektrotları kullanılarak çinko (Zn²⁺) ve manganez (Mn²⁺) iyonlarının aynı anda uzaklaştırılması için alternatif dikdörtgen vuruşlu elektrokoagülasyon (ARP-EC) sistemi yapılmıştır. Optimal ARP-EC operasyon parametrelerini belirlemek için anot materyali (T_{Fe:Al}), frekans (f), görev döngüsü (r), akım yoğunluğu (j_{ort.}), başlangıç pH (pH_i) ve anyon konsantrasyonunun (Cl⁻, SO₄²⁻ ve kütle oranları) ters zaman oranı parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, anotun ters zaman oranlarının, frekansın, akım yoğunluğunun, ilk pH'ın ve Cl⁻ iyonlarının derişiminin, iki ağır metal iyonunun giderilmesine elverişli olduğunu göstermiştir. 180 dakika arıtmadan sonra, bütün deneylerde hemen hemen tüm Zn²⁺ uzaklaştırılmıştır. Bununla birlikte, yüksek derişimlerde SO₄²⁻ iyonları, elektrotların şiddetli pasivasyonu nedeniyle Mn²⁺ gideriminde çarpıcı derecede olumsuz bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. İlginç şekilde, orta derişimli Cl⁻ iyonlarının, pasif filmi eriterek negatif etki pasivasyonunu azaltabildiği görülmüştür. Optimum parametreler anot ters zaman oranı 25s: 5s (Fe: Al), 5000 Hz frekans, başlangıç pH 7.0'da %40 görev döngüsü ve 8 mA/cm² (400 mA) akım yoğunluğu ile elde edilmiştir. Son olarak, gerçek eritme atık suları bu optimum koşullar altında ARP-EC kullanılarak (pH ve anyon konsantrasyonlarını değiştirmeden)

arıtılmıştır. Elektrik enerjisi tüketimi (AET) 18,3 kWh/m³ ve kuru çamur kütlesi 3,15 kg/m³ olan Zn²⁺ ve Mn²⁺ iyonlarının en yüksek giderim verimi sırasıyla %99,16 ve %70,37'ye ulaşmıştır. [10]

Xiujian Chen ve ark. tarafından yapılan çalışmada, alüminyum elektrotlarla elektrokoagülasyon (EC) yolu ile sentetik atık sudan Zn²⁺ giderimi üzerinde durulmuştur. Akım yoğunluğunun (2.1–12.5 mA/cm²), başlangıç derişimlerinin (50–2000 mg/L), çözelti pH'sının (2.9–7.4) ve iletkenliğin (0.15–14.11 mS/cm) giderim verimine etkisi ve enerji tüketimi sistematik olarak incelenmiştir. Bu, Zn²⁺ giderim verimliliğinin, akım yoğunluğu ve bekleme süresinin artmasıyla arttığını göstermiştir. 0.35 kWh/m³'lük nispeten düşük bir enerji tüketimi olduğunda, tüm Zn²⁺ (50 mg/L), akım yoğunluğu 8.3 mA/cm² ve pH 5.3'te 20 dakika EC işlemiyle, giderilmiştir. 0.88 kWh/m³'lük bir enerji tüketimi ile bütün Zn²⁺ (250 mg/L) 50 dakikada giderilmiştir. Ek olarak, farklı akım yoğunluklarında ve başlangıç derişimlerinde Zn²⁺ giderim oranını analiz etmek için kinetik çalışma uygulanmıştır. Düşük başlangıç derişiminin (≤ 250 mg/L) ve yüksek olanın (≥ 500 mg/L) sonuçları karşılaştırılarak farklı Zn²⁺ giderim mekanizmaları anlatılmıştır. Alüminyum hidroksit topaklaşmasının, çökelme etkisinin yanı sıra, katotta Zn²⁺'nin elektrokimyasal indirgenmesinin de, özellikle yüksek bir başlangıç derişiminde Zn²⁺ giderimine katkıda bulunduğu sonucuna varmak mantıklı bulunmuştur. [11]

Emily K. Maher ve ark. tarafından yapılan çalışmada, bir tezgâh üstü demir elektrokoagülasyon reaktörü kullanılarak östrojenik bileşiklerden estron (E1), 17 β -estradiol (E2), estriol (E3), and 17 α -etinilestradiol (EE2)'nin giderilmesi için en uygun kinetik model, operasyonel parametrelerin etkisi belirlenmiş ve yerinde üretilen topak karakterize edilmiştir. İncelenen parametreler, akım yoğunluğu, iletkenlik, karıştırma hızı ve ters kutuplama olmuştur. İletkenlik, giderimi etkilemeden potansiyelleri azaltırken; östrojen giderimi ise akım yoğunluğundaki artış ile iyi bir korelasyon göstermiştir. Yüksek karıştırma hızları ve kutup değişiminin sıklıkla tersine çevrilmesi daha çok giderim elde edilebileceğini ispatlamıştır. En büyük östrojen giderimini sağlayan çalışma parametreleri, 16.7 mA cm⁻²'lik bir akım yoğunluğu, 1000 μ S cm⁻¹ iletkenlik, 500 rpm'lik karıştırma hızı ve 30 s'lik bir ters polarite süresi olmuştur. Bu parametreler, E1, E2, E3 ve EE2 için sırasıyla % 81, % 87, % 85 ve % 97'lik ortalama giderim verimleri sağlamıştır. Tüm östrojenik bileşikler için giderim verileri, kinetik hız sabitleri ile sanki birinci dereceden bir ilişkiye en uygun olan, E1 ve E2 için 0.015 dakika⁻¹, E3 için 0.016 dakika⁻¹ ve EE2 için 0.040 dakika⁻¹'dir. Yerinde oluşturulan topak, enerji dağıtıcı X-ışını

spektrometresi ile taramalı elektron mikroskobu kullanılarak, kristal fazların X-ışını kırınımalarının, boyut ve zeta potansiyellerinin ve şekil ve ana bileşenlerinin belirlenmesi ile karakterize edilmiştir. Elektrokoagülasyon sırasında üretilen demir pıhtılaştırıcı, 5.67'lik sıfır şarj noktası ve ortalama 2255 nm'lik bir topak çapı ile lepidokrosittir. [12]

Tuhin Banerji ve ark. tarafından yapılan çalışmaya göre, sudan arsenik uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler mevcuttur, ancak çoğu, oksidanların eklenmesini gerektirdiğinden ve sınırlı adsorpsiyon kapasitelerine sahip adsorbanları kullandıklarından uygulanabilir değildir. Demir elektrotlar (ECFe) kullanılarak yapılan elektrokoagülasyon, arsenik giderme için ümit verici bir teknolojidir. ECFe ile arsenik giderim verimi, pH, akım yoğunluğu, ilk arsenik konsantrasyonu ve fosfat, silikat, doğal organik madde (NOM), bikarbonat, sülfat, nitrat ve klorür gibi ortak iyonlar gibi parametrelerden etkilenebilir, ancak bunun nedeni tam olarak anlaşılmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmadaki deneyler, bu etkileri gözlemlemek ve ECFe'yi daha iyi anlamak için tasarlanmış ve yapılmıştır. Sonuçlar ECFe sırasında üretilen Fe (II)'nin oksidasyonunun yüksek arsenik giderimi (demir dozu ile ilgili olarak) için gerekli olduğunu göstermektedir. Çözünmüş demirin birim ağırlığı başına arsenik giderimi için düşük akım yoğunlukları ve pH7'nin en etkili olduğu bulunmuştur. Gözlemler, arsenikin ferrik hidroksitlerle, Fe (II) ve fosfat kompleksleriyle reaksiyona girdiğini göstermiştir. Zamanla bu kompleksler ve çöktirler fosfat için demir hidroksitlere daha yüksek birleşme eğilimi vermek üzere yeniden sıralanır. 20 mg/L'ye kadar silikat ihmal edilebilir bir etkiye sahipti, ancak 30 mg/L'de ECFe ile arsenik giderimini azalttığı görülmüştür. Artan NOM konsantrasyonları ayrıca arsenik uzaklaştırılmasını da azaltmıştır, ancak bikarbonat, sülfat, nitrat ve klorür, ECFe ile arsenik giderimi üzerinde hiçbir etkiye sahip olmamıştır. Reaktörde eski ferrik hidroksitlerin bulunması, ara yüzey reaksiyonlarını teşvik ettiğinden 10 ppb'den daha az konsantrasyon elde etmek için daha az Fe (II) gereksinimine neden olmuştur. Çöktirlerde FTIR analizi ile FeAsO_4 oluşumu gözlenmiştir. [13]

Ilona Heidmann ve Wolfgang Calmano tarafından yapılan çalışmada, laboratuvar ölçekli model atık sulardan Cr(VI) giderimi için demir elektrotlu bir elektrokoagülasyon sisteminin performansı sistematik olarak incelenmiştir. Başlangıç metal konsantrasyonu (10-50 mg/L Cr), şarj yükü ve uygulanan akım gibi çeşitli parametreler ve bunların elektrokoagülasyon süreci üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Cr konsantrasyonu, yüksek akımlarda (1.0–3.0 A) pıhtılaşma süresince hafifçe azalırken, düşük akımlarda (0.05-0.1

A), 10 mg/L Cr, 45 dakika sonra çözeltiden tamamen giderilmiştir. 10 ila 50 mg/L Cr başlangıç konsantrasyonları, düşük akımlarda giderim verimini etkilemezken, yüksek başlangıç konsantrasyonları yüksek akımlarda daha yüksek giderim verimi sağlamıştır. İncelenen tüm akımlarda, Cr(VI) konsantrasyonu her zaman Cr toplam konsantrasyonundan sadece biraz daha küçüktü ve çözeltideki Fe^{2+} konsantrasyonu her zaman 0.1 mg/L'nin altındaydı. Çalışma, yüksek ve düşük akımlarda demir elektrotları olan iki farklı Cr(VI) uzaklaştırma mekanizması hakkında bulgular vermiştir. Yüksek akımlarda Cr(VI)'nın katotta doğrudan indirgendiği ve daha sonra $Cr(OH)_3$ olarak çöktüğü gözlenmiştir. Cr gideriminin başlangıç konsantrasyonuna bağlı olduğu ve giderim veriminin ($\mu\text{mol/As}$) verilen akımdan bağımsız olduğu anlaşılmıştır. Düşük akımlarda Cr(VI) gideriminin Fe^{2+} indirgenmesi ile oluştuğu görülmüştür. Bu koşullar altında demir, Faraday kanununa göre elektrotlardan Fe^{2+} halinde kantitatif olarak çözünmüştür ve bu çözünmüş miktarlar, yüksek akımlardaki demir çözünmesine kıyasla iki kat daha fazladır. Düşük akımlardaki giderim işlemi çok daha verimli olmuştur ve Cr(VI) 'nın endüstriyel atık sulardan giderimi için uygulanabilir görünmektedir. [14]

Satish I. Chaturvedi tarafından yapılan çalışmaya göre, elektrokoagülasyonun performansı, laboratuvar ölçekli yapılan atık su arıtımında demir anotlu umut verici elektrokimyasal bir tekniktir. Daha yüksek bir cıva giderim veriminin elde edilmesi için başlangıçtaki metal konsantrasyonu, pH, voltaj, karıştırma hızı ve farklı zamanlarda elektrolit konsantrasyonu gibi çeşitli parametreler incelenmiştir. Deneyler, 30 ppm, 50 ppm ve 100 ppm arasında değişen farklı başlangıç metal konsantrasyonları, 2.5 pH, 4.5 pH ve 7.0 pH arasında değişen pH'lar, 6V, 9V ve 12V arasında değişen voltaj, 0.6667 g/lit., 1.333 g/lit. ve 2.0 g/lit. arasında değişen elektrolit konsantrasyonları ve 200 rpm, 400 rpm ve 600 rpm arasında değişen karıştırma hızlarında yapılırken, iki elektrot arasındaki sabit aralık 1.0 cm'dir. 40 dakikalık operasyon sonunda maksimum cıva giderimi sağlanmıştır. Toplam işletme maliyeti de güç maliyeti ve elektrot malzemesinin maliyetinden hesaplanmıştır. Yöntemin, geleneksel mevcut tekniklere kıyasla oldukça verimli ve nispeten daha hızlı olduğu tespit edilmiştir. [15]

3. PESTİSİTLER

3.1 Giriş

Gıda maddelerinin üretimi, tüketimi, depolanmaları sırasında gıdalara zarar veren mikroorganizmaları, zararlıları ve haşereleri uzaklaştırmak veya yok etmek, bunlara ek olarak bitkilerin büyümesini düzenlemek amacıyla da kullanılabilen, gıdalara veya doğrudan insan ve besi hayvanlarına hastalık etmeni taşıyan zararlıları kontrol altına almak amacıyla kullanılan, kimyasal ya da biyolojik ürünlerin hepsine pestisit denilmektedir.

MÖ 1000 yıllarında Homer kükürt fumigasyonundan bahsetmiştir. Democritus bitki küfünün önlenmesi için yapraklarını zeytin özü ile yağlamıştır (MÖ 470). MÖ 200 yıllarında Cato üzüm bağlarında kükürt dumanını kullanmıştır. Romalılar sıçan savaşı için Helleborus bitkisi kullanmışlardır. Plinius Historia Naturalis kitabında (MS 23-77) buğday pasının önlenmesi için tahıl tohumlarına şarap uygulanmasını önermekteydi. Çinliler ağaçları böceklerden korunmak için karıncalardan yararlanmaktaydı ve 900'li yıllarda bahçe böcekleriyle savaşmakta arsenik kullanmaktaydılar.

Pestisit olarak kullanılan ilk maddeler arsenik ve kükürttür. Daha sonra nikotin gibi botanik kökenli maddeler kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde halen bazı bölgelerde çok yüksek riskli nikotin balık avlamak için de kullanılmaktadır. Nikotin 16. yy'da kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra krizantemden elde edilen pyrethrum maddesi 19. yy'dan başlanarak kullanılmaya başlanmıştır. ABD'de Paris yeşili gibi bakır arsenik bileşikleri Colorado patates böceğine karşı kullanılmıştır. Bu kullanımın tarihi 1860'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Daha sonra cıva ve kurşun metal bileşikleri de kullanılmaya başlanmıştır.

II. Dünya savaşına kadar kimyasal kontrolde sınırlı birkaç madde kullanılmıştır. Bunlar büyük oranda bakır ve cıva tuzları ve kükürdün fungusit olarak kullanılması, böceklere karşı ise arsenik, siyanür gibi zehirli genel kimyasallardan yararlanılması biçimindeydi. 1939 yılında İsviçreli kimyacı Paul Mueller, diklorodifenil trikloroetan'ın yani DDT'nin pestisit özelliklerini belirlemiştir. Böceklere karşı mücadelede pestisitlerin yaygın kullanımı 1940'lı yılların ortalarında başlamıştır. Yine 1940 yılında benzen heksaklorür İngiltere de ve Fransa'da insektisit olarak kabul edilmiştir. 1942 yılında piyasaya çıkan DDT, hızla yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve aynı yıl İtalya'da

askeri birliklerdeki bir tifüs salgınında DDT kullanımı salgını kısa sürede ortadan kaldırmıştır.

İkinci Dünya Savaşında yeni bir sinir gazı üzerinde çalışan alman bilim adamları tarafından organik fosforlu bir insektisit olan parathion keşfedilmiş ve 1943 yılında piyasaya sürülmüştür. Fenoksi herbisitlerin (2,4-D ve 2,4,5-T) kullanımı yine 1940'lı yılların başlarında devreye girmiştir. II. Dünya savaşında ABD'de ve diğer ülkelerde botanik kökenli pestisitlerin tedarik edilmesi güçleştiğinde organik kimyasallara yönelinmiştir. İlk pestisit yasası ABD'de 1947 yılında yayımlanmış ve 1970'te Çevre Koruma Ajansı (EPA) kurulmuştur. [16]

Günümüzde kullanılan pestisitlerden bazılarının ilk kullanılışı yüzyıllar öncesine kadar dayanmaktadır. Kükürtün, fungusit ve insektisit özelliğine sahip olduğu 3000 yıl öncesinde bilinmekteydi. DDT [2,2-bis(p-chlorophenyl)-1,1,1- trichloroethane] Amerika'da ilk kez 1943'te antimalaryal kampanya sırasında pestisit olarak insanlığın hizmetine girmiştir. Bu tarihten itibaren diğer pestisitler art arda bulunmuş ve pestisit sanayiindeki yerlerini almışlardır. DDT ile ilgili ilk yayınlarda, 1945'te DDT'nin hayvan sütünde saptandığı, 1948 ve 1951'de insan adipoz dokusunda ve meme sütünde saptandığı bildirilmiştir. Farelerde DDT'nin karaciğer, lenf ve akciğer kanserine neden olduğu gösterilmiştir. 1993-1995 yıllarında yapılan çalışmalar DDT'nin meme kanser riskini arttırdığı yönündedir. DDT ve izomerleri östrojenik aktiviteye sahip olduklarından insan östrojen reseptörüne bağlanma yeteneğine sahiptir. Görülüyor ki, pestisit sanayii dünyaya kapılarını DDT ile açmıştır. [1]

3.2 Pestisitlerin Sınıflandırılması

Pestisitleri, etkiledikleri canlı türlerine ve kullanım alanlarına göre ve kimyasal yapılarına göre olmak üzere iki ana başlık altında toplayarak sınıflandırmak mümkündür.

Etkiledikleri canlı türlerine ve kullanım alanlarına göre pestisitler:

- İnsektisitler: Böcekleri öldürenler
- Rodendisitler: Kemiricileri öldürenler
- Fungisitler: Mantarları öldürenler
- Bakterisitler: Bakterileri öldürenler
- Mitisitler: Keneleri öldürenler
- Larvasitler: Larvaları öldürenler
- Nematositler: Solucanları öldürenler
- Akarisitler: Örümcekleri öldürenler

- Mollusitler: Salyangozları öldürenler
- Herbisitler: Yabancı otları öldürenler

Kimyasal yapılarına göre pestisitler:

Kimyasal yapılarına göre pestisitler çok çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Bununla birlikte, kimyasal yapılarına göre yaygın olarak bilinen dört temel pestisit grubu vardır:

1. Organik klorlu pestisitler
2. Organik fosforlu pestisitler
3. Karbamatlı pestisitler
4. Piretroit grubu pestisitler [16]

3.2.1 Organik Klorlu Pestisitler

Organik klorlu pestisitler; yapılarında, karbon, hidrojen ve klor atomlarını içeren bir gruptur. DDT, aldrin, dieldrin, heptachlor, endosulfan, lindane, endrin bu gruba örnek verilebilir. Genellikle gaz kromatografisi kullanılarak analiz edilirler. Çevreye verdikleri zararlar nedeniyle bu grubun üyelerinin kullanımı yasaklanmaktadır. Temas ve solunum yolu ile etkilidirler. [16]

3.2.2 Organik Fosforlu Pestisitler

Organik fosforlu pestisitler; genel olarak triester yapıda olup fosforik asit türevleridirler, etken maddelerinin yapısında fosfor atomu bulunur. Chlorpyrifos, coumaphos, diazinon, dichlorvos, malathion, trichlorfon, parathion ve mevinphos bu gruba örnek verilebilir. Bu grup içinde yüzden fazla sayıda etken madde mevcuttur. Triester yapıda oldukları için, ester gruplarının özelliklerine göre bu gruba dahil olan pestisitlerin kimyasal yapıları büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Yapılarına bağlı olarak gaz kromatografisi ya da sıvı kromatografisi ile analiz edilebilirler. Temas, sindirim ve solunum yolu ile etkilerini gösterirler. Bu grup insektisitler, ergin, larva ve nimf dönemlerini kontrol ederler. Asetilkolinesteraz inhibitörüdürler. [16]

3.2.3 Karbamatlı Pestisitler

Karbamatlı pestisitler, karbamik asit esterleridirler. Aldicarb, carbaryl, carbofuran, methiocarb, methomyl, oxamyl ve pirimicarb bu gruba örnek verilebilir. Yapısal özelliklerinden dolayı gaz kromatografisi ile analiz edilebilmeleri zordur; genel olarak sıvı kromatografisi ile analiz edilebilirler. Asetilkolinesteraz inhibitörüdürler. [16]

3.2.4 Piretroit Grubu Pestisitler

Piretroit grubundaki pestisitler; kasımpatı çiçeklerinden elde edilen doğal bileşikler olan piretrinlerin sentetik benzerleridirler. Piretrinlere oranla ışığa karşı duyarlılıkları oldukça azaltılmış, dayanıklılıkları artırılmış bileşiklerdir. Piretrinler ve piretroitler, genellikle aynı yönde etki yaratmak üzere birlikte kullanılırlar. Alpha-cypermethrin, cyfluthrin, bifenthrin, lamdacyhalothrin, deltamethrin, permethrin ve fenvalerate, piretroitlere örnek verilebilir. Hem sıvı hem gaz kromatografisi ile analiz edilebildiği gibi, analizlerinde yaygın olarak gaz kromatografisi kullanılır. Sinir hücrelerini bloke ederek zehirlilik etkisi gösterirler. Temas ve mide zehiri etkilidirler. Sıcakkanlılara karşı zehirli etkisi oldukça düşüktür. Memeli vücudunda birikmeden dışarı atılır. Doğada kolayca bozunabilirler. [16]

3.3 Pestisit Formülasyonları

Pestisitler, saf halde ilaç olarak kullanılamazlar. Özel karışımlar halinde belirli preparat formlarına getirilirler ve bu preparatlar çoğunlukla doğrudan seyreltilerek ilaç olarak uygulanırlar. Bir kimyasal ilaç içeriğinde etkin madde, dolgu maddesi ve diğer maddeler dediğimiz 3 temel kısım vardır: [16]

3.3.1 Etkin Madde

İlaç içeriğindeki öldürücü olan ana bileşen, pestisitin etkisini gösteren kimyasal maddedir. Uygulanacak formülasyona göre değişik oranlarda bulunurlar. [16]

3.3.2 Dolgu Maddesi

İlaç içerisindeki etkin maddeyi taşımak amacıyla kullanılan, herhangi bir kimyasal bileşikle tepkimeye girmeyen kısımdır. [16]

3.3.3 Diğer Maddeler

İlaç içerisindeki pestisitin etkinliğini ve dayanıklılığını arttıran, bitkilere ve çevreye olumsuz etkilerini azaltan, kullanıcılarını uyaran ve ilacın uygulanmasını kolaylaştıran katkı maddeleridir.

Bir formülasyonun Dünya Sağlık Örgütü standartlarında üretilmesi gerekmektedir. Bunun için Dünya Sağlık Örgütü (WHO) metotlarına göre kimyasal ve fiziksel analizleri yapılır. Pestisit formülasyonları çeşitli fiziksel formlarda hazırlanabilir: emülsiyon konsantre (EC), ıslanabilir toz (WP), su-yağ emülsiyonu (EW) vb. [16]

3.4 Pestisitlerin Çevreye Etkileri

Tarımsal alanlara uygulanan pestisitler; havaya, suya ve toprağa, oradan da bu ortamlarda yaşayan diğer canlılara geçmekte ve dönüşüme uğramaktadır. Bir pestisit çevredeki hareketlerini, onun kimyasal yapısı, fiziksel özellikleri, formülasyon tipi, uygulama şekli, iklim ve tarımsal koşullar gibi faktörler etkilemektedir. Tarım ürünlerini zararlı, hastalık yapıcı ve yabancı otlardan korumak ve kaliteli ürün elde etmek için tüm dünyada pestisitler kullanılmakta, bu kullanım sonucunda insan, hayvan ve çevre sağlığı bakımından bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır. [17]

3.5 Pestisitlerin Canlılara Etkileri

Bazı canlı organizmaları hedef alarak geliştirilen tarımsal mücadele ilaçları insanları da etkisi altına almaktadır. İnsanlarda zehirlenmeler, ilaçların vücuda deri, solunum veya sindirim sistemleri yolu ile girmesi sonucu meydana gelmektedir. Özellikle DDT, Hekzaklorobenzen (HCB), Endrin, Aldrin ve Heptaklor gibi uzun süre kalıcılığı ve vücutta birikme özelliği olan organik klorlu pestisitler düşük dozda da olsa kronik zehirlenmelere de neden olmaktadır. Çizelge 3.5'te pestisitlerin kronik etkilerinin özeti sunulmuştur. [1]

Çizelge 3.5. Pestisitlerin Kronik Etkileri [1]

Organ/ sistem	Etki
Sinir sistem	Vejetatif sendrom, polinöropati, radikülopati, ensefalopati, retrobulbernevrit, distoni ve retinal anjiyopati
Solunum sistem	Kronik trakeit, pneumofibroz başlangıcı, akciğer anfizem, bronşial astım
Kardiyovasküler sistem	Kronik miyokard toksisitesi, kronik koroner yetmezlik, hipertoni ve hipotoni
Karaciğer	Kronik hepatit, kolesistit, hepatokolesistit, detoksifikasyon ve diğer fonksiyonlarda bozulma
Böbrekler	Albuminüri, noktüri, üre ve kreatinin artışı, salgı fonksiyonunda azalma ve düşük klerens
Gastrointestinal sistem	Kronik gastrit, duodenit, ülser, kronik kolit (hemorajik, spastik ve polipoit oluşumlar), hipersekresyon ve hipoasitide
Dolaşım sistemi ve kan	Lökopeni, retikülositlerde artma, lenfositler, eosinopeni, lenfopeni, monositoz ve hemoglobinde değişimler
Deri	Dermatit, egzama
Gözler	Konjunktivit, blefarit

3.5.1 Pestisitlerin Vücut ve Organ Ağırlıklarına Etkileri

Bir takım pestisitler değişik doz ve sürelerde vücut ve organ ağırlıklarını etkilerken bazıları etkilememektedir. Singh ve Pandey endosulfan pestisiti (7.5 ve 10 mg/kg vücut ağırlığı; subkronik doz) 15 ve 30 gün süreyle farelere uygulandığında vücut ve testis ağırlıklarının değişmediği görülmüştür. Ladics ve arkadaşları, metilkarbamat pestisitini erkek farelere oral, deri ve solunum yollarıyla uyguladıklarında, doza bağlı olarak timüs ağırlığında azalmalara sebep olduğunu göstermişlerdir. Vücut ve organ ağırlıkları olumsuz yönde etkilendiğinde canlılarda “biyolojik indeksler”in araştırılması gerekebilir. Bu indekslerden biri Hepato/Somato indekstir (HSI). HSI, ksenobiyotiklerin zehirli etkisini göstermektedir. Gill ve arkadaşları, bir tatlı su balığını (*Barbus conchonus*) 2 – 4 hafta 6,72 mg endosulfana maruz bıraktıklarında Hepato/Somato indeksin oldukça arttığını göstermişlerdir. Hasegawa ve arkadaşları, folpet, propineb, kaptan, fosmet ve daminozit gibi pestisitlerin kanserojen olup olmadığını araştırmak için, söz konusu pestisitleri erkek F344 türü farelere uyguladıklarında, sadece kaptan ve propineb etkisinde (başlangıca kıyasla), vücut ağırlığının değişmediği, karaciğer ağırlığında artma ve Hepato/Somato indekslerinde anlamlı artışlar olduğu, karaciğerde neoplastik lezyon sayısında artış olduğu bu sebeple söz konusu pestisitlerin kanserojen olabileceğini bildirmişlerdir. [1]

3.5.2 Pestisitlerin Hematolojik Zehirliliği

Çeşitli pestisitler, hematolojik parametreleri ve lökosit sistemini farklı şekillerde etkileyebilmektedirler. Karbamatlı bir pestisit olan klorpropaminin farelerde doza bağlı olarak WBC sayısını arttırdığı ve RBC sayısı, Hb ve Hct düzeylerini düşürdüğü, dalak, karaciğer ağırlıklarını ve hemotopoietik hücre hiperplazisini arttırdığı bildirilmiştir. DDT pestisitinin quinea-fowl kuşların (*Numida meleagris*) hematolojik parametre değerlerinde önemli değişimlere neden olduğu, 10 hafta sonra ise hematolojik parametre değerlerinin kontrol değerlerine yaklaştığı bildirilmiştir. Organik fosforlu bir pestisit olan Fenitrohon'un, Pharaoh quail balığında RBC sayısını, Hb ve Hct düzeylerini arttırdığı fakat eritroblast ve retikülosit sayısını azalttığı, lökosit sisteminde nötrofilik lökositoz, lenfopeni ve eozinopeniye neden olduğu ve 3 hafta sonra ise fenitrohinin etkisiyle oluşan değişimlerin normale dönmeye başladığı bildirilmiştir. Nuvakron (0.8 mg/kg) ve Furadan (0.25 mg/kg) pestisitleri, farelerin karın zarı içerisine uygulandığında Hb ve Hct düzeylerinde, toplam RBC sayısında, platelet sayısında ve çökeltme oranında düşüşe, toplam WBC sayısında artışa, lökosit sisteminde nötrofil ve bazofil sayılarında artışa ve

lenfosit sayısında düşüşe, kanama zamanında artışa, kemik iliğinde bozulmaya ve dalak büyümesine neden olduğu bildirilmiştir. Klorfenvinfos ve Fosklor pestisitlerin, Japon bıldırcınlarında (*Coturnix coturnix japonica*) retikülosit ve eritroblastlarda artış, lökosit sisteminde nötrofilik lökositoz ve eozinopeni gözlenmesine neden olduğu, Fosklor enjeksiyonundan sonra RBC sayısında düşüş olduğu, buna karşılık Klorfenvinfos enjeksiyonundan sonra RBC sayısında değişim olmadığı bildirilmiştir. Lembowicz ve arkadaşları, organik klorlu pestisitlerin (DDT, α,β ve χ -HCH) derişime bağılı olarak fare eritrositlerinde Heinz cisimciklerinde ve lenfosit sayısında artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. [1]

3.5.3 Pestisitlerin İmmünotoksik Etkileri

Çeşitli PCB'ler, klorlu dibenzo-p-dioksinler, endosulfan, aldikarb, karbaril, karbofuran, malation, atrazin ve 2,4-D gibi pestisitler ve ağır metaller güçlü immünotoksik etki göstermektedir. Söz konusu maddeler otoimmun reaksiyon riskini artırarak alerjik reaksiyonlarda artışa neden olmaktadır. [1]

3.5.4 Pestisitlerin Cildi Etkileri

Benomyl, DDT, endosulfan, karbin, dinoseb, lindan, malation ve zineb gibi pestisitler tarım işçilerinde rastlanan kontakt alerjik dermatitine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra kontakt foto-alerjik dermatit, foto-toksik pestisitlerle oluşmaktadır. Bu pestisitlerden anilin, ditiyokarbamatlar, triazinler, organik klorlular ve üre bileşikler foto-kontakt dermatite neden olmaktadır. [1]

3.5.5 Pestisitlerin Biyokimyasal Etkileri

Pestisitler, insan vücuduna deri, solunum veya sindirim sistemleri yolu ile geçerek karaciğerde sitokrom P₄₅₀ bağımlı monooksijenaz sistemi ile metabolize edilmektedir. Pestisitlerin hepatik mikrozomlarda lipit peroksidasyonunu stimüle ederek, sitokrom P₄₅₀ ve "hem" miktarının azalmasına, glukoz 6-fosfataz ve pirofosfataz enzim aktivitelerinin önemli derecede azalmasına ve UDP-glukuronil transferaz enziminin uyarılmasına sebep olduğu gösterilmiştir. Organik klorlu pestisitler (Endosulfan, DDT ve HCB), karaciğer ve böbrek hasarına neden olmakta, alkalin fosfataz ve aldolaz aktivitesini arttırmakta ve karaciğerde detoksifikasyon, lipit ve protein sentezini etkilemektedir. Endosulfanın, subletal dozda, balık (Premoult Field Crab) karaciğerinde GST aktivitesini ilk 48. saatte arttırdığı, 144. Saatte maksimum düzeye çıkardığı ve 192. saatte yavaş yavaş azalttığı görülmüş; glutatyon düzeyinin ise 96. saatte artış gösterdiği, 144. saatten itibaren azalmaya başladığı gösterilmiştir. Farelere 40 mg/kg endosulfan, subakut (tek doz, 40

mg/kg) ve akut (7 hafta boyunca, 40 mg/kg tekrarı) dozlarında kan glukoz, askorbik asit, kan ve karaciğer glutatyon düzeylerini anlamlı derecede arttırdığı fakat beyin heksokinaz aktivitesinde değişim olmadığı, özellikle akut dozlarda plazma sodyum ve potasyumunu etkilemediği, kalsiyum düzeyini düşürdüğü görülmüştür. Farelerde, Endosulfan'ın, glukoz-6-fosfat dehidrogenaz aktivitesini, kan glukozunu ve mikrozomal ve surfaktan sistemin fosfolipid içeriğini arttırdığı, alkol dehidrogenaz ve sitozolik GST aktivitesini azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca, intestinal epitelyumda Na-K ATPaz ve Mg ATPaz, plazma kalsiyum, alkalen fosfataz aktivitesini düşürdüğü bildirilmiştir. Endosulfan ve metaboliti Endosulfan Sülfat'ın farelerde LDH, G6PDH ve alkalen fosfataz aktivitelerini etkilediği bildirilmiştir. DDT, HCB, endosulfan, toksafen, lindan gibi pestisitler karışık fonksiyonlu oksidaz sisteminin güçlü indükleyicileridir. Bu indükleyiciler özel genleri aktive ederek enzim seviyelerini arttırabilmektedir. Organik fosforlu pestisitler vücuda girdiğinde primer olarak kolinesteraz ve pseudokolinesteraz aktivitelerini inhibe etmektedir. Bu sebeple, bu tür pestisitler, kolinesteraz inhibitörleri olarak bilinir. Bu tür pestisitlerden olan Chlorpyrifos, 8 hafta boyunca hayvanlara uygulandığında karaciğer enzimlerinin (AST, ALT ve ALP) arttığı, asetilkolinesteraz enziminin inhibe olduğu; ancak, diyetle çinko ilave edildiğinde asetilkolinesteraz enziminin normale döndüğü bildirilmiştir. Karbamatlı insektisit olan Karbofuran (15, 50 ve 500 mikrogram/L) balıklara (*Carassius auratus*) 24 ve 48 saat uygulandığında her iki periyotta da plazma glukoz derişiminde artma, hepatik glikojen derişiminde düşme ve nörotoksik etkiler oluştuğu bildirilmiştir. Ayrıca pestisitler, K vitamini eksikliğine, protrombin konsantrasyonunun düşmesine ve protrombin zamanında uzamaya sebep olmaktadır. Pestisitlerin etkilediği sistemlerden biri de vücuttaki en önemli koruyucu sistemlerden olan antioksidan sistemdir. Organik klorlu pestisitler (dieltrin, barbitüratlar ve metaller), reaktif oksijen türlerinin üretimini arttırarak hedef organlarda oksidatif stresin indüksiyonunu sağlayarak non-genotoksik karsinogenez oluşturabilmektedirler. Bu pestisitler ve diğerleri doza bağlı olarak karaciğerde DNA sentezini arttırarak oksidatif DNA hasarın göstergesi olan 8-OH-2-guanozinde ve lipid peroksidasyonunda artma ve hücrel antioksidanlarda azalmaya sebep olurlar. [1]

3.5.6 Pestisitlerin Teratojenik ve Mutajenik Etkileri

Pestisitlerin teratojenik ve mutajenik etkilere sahip oldukları tespit edilmiştir. Teratojenik etkinin oluşmasında doz ve stres önemli etkindir. Teratojenik etkiye sahip pestisitler 2,4,5-T ve 2,4-D herbisitler, organik fosforlular, kaptan, folpat ve difolatan'dır.

Mutajenik etkiye sahip pestisitler (diazinon, ziram v.b) kromozomal kırılmalara neden olurlar. [1]

3.5.7 Pestisitlerin Genotoksik Etkileri

Pestisitlerin kullanımı ile kanser insidansı arasında bir bağıntı tespit edilmiştir. Tarım işçilerinde kanser insidansı genellikle düşüktür. Bununla birlikte son yıllarda tarım işçilerinde spesifik kanser tiplerinin riski artmaktadır. Bu spesifik kanser tipleri lösemi, Hodkin's hastalığı, non-Hodkin's lenfoma, multiple myeloma ile dudak, mide, prostat, beyin ve meme kanserleridir. Pestisitlerin kanserojen etkilerini araştırmak için fare diyetine 19 organik fosforlu pestisit ve 1 organik klorlu pestisit karıştırılarak 8 hafta boyunca karışım halinde verilmiştir. Bu şekilde oluşturulmak istenen karaciğer modelinde pestisitlerin, daha önceden dietilnitrozamin tarafından oluşturulan preneoplastik lezyonların alanını ve sayısını arttırdığı görülmüştür. Bazı pestisitlerin lökosit örneklerinde "DNA eklentileri"nin oluşumunu arttırdığı tespit edilmiştir. Yaygın olarak kullanılan 15 pestisitin (ditiyokarbamat, methidation, paration-metil, paration, vinklozolin, fenarimol v.b) karaciğer ksenobiyotik enzim sistemine ve oksidatif hasarın bir göstergesi olan karaciğer DNA'sında 8-OH-2-guanozin düzeyine etkileri araştırılmıştır. Bu pestisitler, 10 gün boyunca fareye verildikten sonra düşük dozlarda pestisit karışımı serbest DNA hasarına neden olurken yüksek dozlarda oksidatif hasarın detaylı açılımını engellediği görülmüştür. [1]

3.6 Su ve Pestisitler

Su, en büyük doğal kaynaklardan biri ve yaşamın temelidir. İnsanoğlunun içmek, pişirmek, yıkamak ve yıkanmak için temiz suya ihtiyacı vardır. Temiz su, çiftçilerin ürünlerini sulamaları ve çiftlik hayvanlarının beslenmeleri için temeldir. Yeraltı suları, dünyanın en temel taze su kaynaklarıdır. Toprak ve bitkilere uygulandıktan sonra toprak yüzeyinde kalan pestisitler, yağmur suları ile yüzey akışı şeklinde veya toprak içerisinde aşağıya doğru akmak suretiyle taban suyu ve diğer su kaynaklarına ulaşabilirler. Eğim, bitki örtüsü, formülasyon, toprak tipi ve yağış miktarına bağlı olarak taşınan pestisitler yeraltı sularına bulaşabilirler. Pestisitler, yeraltı suyuna karıştıktan sonra da parçalanmaya devam ederler. Fakat daha az ışık, sıcaklık ve oksijen nedeniyle daha düşük oranda parçalanırlar. Yeraltı suyu kirlendiği zaman; kirli su akıntılarında, nehirlerde ve göllerde de bulaşma görülebilir. Bulaşma kaynakları durdurulmuş olsa bile bir akiferin doğal işlemlerle kendi kendini saflaştırması zaman gerektirir. Yeraltı suyu kirlendiğinde

temizliği çok pahalı ve zordur. Yeraltı su kirliliğine karşı en iyi koruma kirliliğin önlenmesidir.

Su kaynaklarının içerisindeki veya kenarındaki bitki ve böceklerle mücadelede kullanılan ilaçlar; doğrudan ve ilaçlanmış bitki ve toprak yüzeyinin yağmur suları ile yıkanması sonucu suya bulaşabildiği gibi; ilaç endüstrisi atıklarının akar veya durgun sulara boşaltılması; uygulama aletlerinin, boş ambalaj kaplarının su kaynaklarında yıkanması yoluyla da su kaynaklarına bulaşabilirler.

Nehir sularında en çok rastlanan pestisit türü DDT'lerdir (DDT (1,1-bis-(4-chlorophenyl)-2,2,2-trichloroethane), DDE(1,1-dichlor-2,2-bis(4- chlorphenyl)ethylene), DDD (1,1-dichlor-2,2-bis(4- chlorphenyl) ethane)). DDT'ler içinde en yüksek derişim de DDD'de gözlenmiştir. Organik klorlu pestisitler arasında en yüksek derişim 281 ng/L ile heptaklor epoksidi aittir. [20] (Türkiye'de Pestisit Kullanımı ve evreye Olan Etkileri)

Sentetik ncesi pestisitler döneminde, ürün verimi neredeyse tamamen çiftlik kaynaklarına bağlıydı. Zararlı böcekler mevcuttu. Ancak, retim haşere salgınlarından, ürünlerin çeşitlendirilerek yetiştirilmesiyle güvence altına alındı. Tarımsal modernleşme ilerledikçe mono kültürler norm haline geldi ve haşere mücadelesinde pestisitlere giderek daha çok gvenilmeye başlandı. Bu retim sistemleri, son derece üretken ve rekabetçi olmakla birlikte, ekonomik, çevresel ve sosyal sorunların büyük bir bölümünü oluşturmuştur. Diğer taraftan pestisitler, tarımsal verimi arttırarak, birçok ülkenin gıda üretiminde kendi kendine yeterli olmalarına yardımcı oldu.

Bilimsel toplulukta mantar ilaçlarının (fungisitlerin) mantar hastalıklarına karşı savaşmak için gerekli olan cephaneliğin bir parçası olarak kalması gerektiği veya insan ve evre sağlığını korumak için yasaklanması gerektiği konusunda anlaşmazlıklar mevcuttur. Bununla birlikte, mantar ilaçları (fungisitler) halen dünya çapında çeşitli hastalık yönetimi programlarının önemli bir bileşenidir. [18]

3.7 Fungisitler

3.7.1 Giriş

Ekin bitkileri, lekelerden tam ürün kayıplarına kadar çeşitli verim kayıplarına neden olan çok sayıda bitki patojenleri tarafından saldırıya uğrar. Bazı sistemlerde, bitki patojenlerinin yönetimi zordur, çünkü nüfusları zamana, alana ve genotipe göre değişir. Bitki patojenleri, genellikle fungisitlerin etkilerinin üstesinden gelerek gelişir. 1970'ten önce sunulan ilk mantar ilacı familyası, bitkileri patojenlerin saldırısından korumak için en sık kullanılan çok bölgeli mantar inhibitrleriydi. Yaygın kullanımlarına rağmen, bu

bileşiklere direnç nadiren rapor edilmiştir. Bununla birlikte, tek bölgeci fungusitlerin kullanılmasının ardından direnç büyük bir sorun haline gelmiştir.

Mantar ilacı, kimyasına, kalıcılığına ve kullanılan miktarlara bağılı olarak, artıkları toprakta kalabilir veya karasal ve sucul ekosistemlerin sağılığını etkileyen su yollarını kirletebilir. Popölasyonları beslemek için daha fazla yiyeceğı ihtiyaç duyuldukça ve tarım arazileri azaldıkça, tarımsal ekosistem sağılığının korunması bir sorun haline gelmektedir. Fungisitler, mantarları öldürmek veya inhibe etmek için geliştirilmiştir. Bu nedenle gıda zincirine girebilecek ve insan ve hayvan sağılığına zarar verebilecek zehirlerdir. Mantar ilaçlarının, bitki hastalıklarını yönetme aracı olarak insan, hayvan ve ekosistemlerin sağılığına getirdiğı risklerin yüksek olması nedeniyle yeni kimyalara ihtiyaç duyulmaktadır. [18]

Mantarlar ve omisitler, dünya çapında tarımsal üretimde kayıplara neden olan çok sayıda mantar kaynaklı bitki hastalığının nedensel ajanlarıdır. Bitkilerde hastalık oluşturan mantarlar ve omisitler, bitki konakları ile birlikte gelişmektedir ve bir enfeksiyona neden olmak, büyümek, çoğalmak ve canlı bitkilere yayılmak için son derece etkili mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bu bitki patojenlerinin çoğı, bitki konağı içinde çoğalmak için olağanüstü bir potansiyele sahiptir. Örneğın, Fitofthora infestans (Pytophthora infestans), enfekte olmuş patates sap uzunluğunun doğırusal santimetresi başına 50000 ila 117000 spor kesesi üretebilir. Sclerotinia trifoliorum'un daha büyük apsesi aktif dönemlerinde yaklaşık 4.7 milyon askospor salgılayabilir. Geç vejetasyon aşamalarında, enfekte domates yaprağının santimetrekaresi başına düşen Fulvia convadia sayısı 17'yi geçebilir. Pseudoperonospora cubensis, enfeksiyondan yedi gün sonra santimetrekaresi salatalık yaprağı başına 195000 spor kesesi bile üretebilir. Mantar ve omisitlerin yaygınlıkları, yani doğada her yerde bulunabilmeleri, nispeten kısa sürede salgınlara neden olma kabiliyetleri göz önüne alındığında, günümüz tarımında verimliliğı güvence altına almak için hastalık yönetimi stratejilerine ihtiyaç vardır. Kimyasal kontrol önlemleri özellikle bitki mantar hastalıklarının yönetiminde yaygındır ve bu önlemlerin çoğı mantar ilaçlarının (fungisitlerin) kullanımına dayanır.

Farklı mantar ve omisit bitki patojenleri, biyolojideki birçok farklılıktan bağımsız olarak, bazı benzerlikleri paylaşırlar. Mantarların çoğı, bitki dokusu ile temas eden, filizlenen ve enfeksiyon süreci sırasında bitkiye nüfuz eden çeşitli spor türleri üretir. Bazı patojenik bitki mantarları (örneğin, Rhizoctonia solani, Sclerotium rolfsii veya Macrophomina phaseolina) nadiren spor yapar ve miselyumlarının bitki dokusuna nüfuz

etmesiyle bitkileri enfekte eder. Enfeksiyondan sonra mantarlar ve omisitler, bitki organlarının üzerinde veya içerisinde yeni vejetatif veya üretken, üreme yapılarını ürettikleri yerde miselyum olarak büyümeye devam ederler. Günümüzde, tarımda kullanılan fungusitlerin neredeyse tümü, enfeksiyon ortaya çıkmadan önce uygulanırsa en iyi etkilerini göstermektedir. Bitki organlarının yüzeyinde bulunduğu fungusitler, mantar sporlarını tahrip eder veya çimlenme tüplerini, hifleri ve diğer mantar yapılarını bastırır. Kural olarak, fungusitlerle fungal hastalıkların kontrol altına alınması, enfeksiyonu ve sonrasında hastalık gelişimini önlemeyi amaçlar ve bu şekilde fungusitlerin bitki korumada kullanımı, tıp ve hayvan sağlığında antibiyotiklerin veya antimikotiklerin kullanımından farklıdır.

Ancak, tarımsal uygulamada enfeksiyon meydana geldikten sonra, patojenin hali hazırda sporlaşmasından veya semptomların ortaya çıkmasından sonra hastalık kontrol önlemlerinin gerekli olduğu birçok durum vardır. 20. yüzyılda 60'lı ve 70'li yıllarının sonuna kadar, fungusitlerle enfekte olmuş bitkilerin tedavisi için imkânlar sınırlıydı, zira geliştirilen ve tarımda kullanım için mevcut fungusitlerin çoğu koruyucu mantar ilaçlarıydı. Bu tür mantar ilaçları bitkinin yüzeyinde kalıyorlardı, bitki içine nüfuz etmiyorlardı veya bitki içinde yer değiştirmiyorlardı ve bitki dokusuna yerleşen patojen üzerinde çok az etkisi oluyordu veya hiç etkisi olmuyordu. 20. yüzyılın 60'lı ve 70'li yıllarında pazara sunulan sistemik mantar ilaçları, bitki tarafından emiliyordu ve kısa veya uzun mesafelerde yer değiştiriyordu. Bu şekilde, fungitoksik aktif madde, bitkiye önceden yerleşmiş olan patojen ile temasa geçebiliyordu ve bu da patojenin yok edilmesiyle sonuçlanabiliyordu.

Fungisitlerin bitki içerisindeki hareketi ve yer değiştirmesi, çeşitli fungusit aktif bileşikleri arasında farklılık gösterir ve sistemik ve sistemik olmayan fungusitler arasındaki tasvir genellikle net değildir. Gerçek sistemik fungusitlerin çoğu ksilem boyunca yer değiştirirler ve nispeten az sayıda olanları floemde bazıptal olarak yer değiştirme yeteneğine sahiptir. Bugün piyasada bulunan fungusitlerin bazıları sadece uygulama organı içerisinde yer değiştirirler. Sistemik olmayan diye sınıflandırılan birçok modern fungusit, tabaka geçişli (translaminar) aktivite gösterir, yani yapraktan geçerek yaprak üstünden alt yüzeye hareket eder.

Sistemik fungusitlerin keşfi ve geliştirilmesi, hastalık yönetiminde, enfeksiyon açısından göreceli olarak etkili bir kontrol sağlamak için, pratik bakış açısından önemli bazı yeni olanaklar sunmuştur. Fungisitlerin bu gibi tedavi edici etkileri genellikle

"iyileştirici etki" veya "iyileştirici aktivite" olarak adlandırılır. Teorik olarak, fungusitin bitki içerisindeki bir mantar paraziti üzerindeki aktivitesi, patojenin yok edilmesi, yani patojenin konaktan elimine olmasıyla sonuçlanabilir. Fungisitın uygulanmasının ardından konakçı içindeki bitki patojenlerinin tamamen yok edilmesi durumu pratikte nispeten nadiren elde edilmesine rağmen, mantar ilaçlarının bu gibi etkileri "yok edici etki" veya "yok edici etkinlik" olarak adlandırılır. Bitki koruma terminolojisinde, enfeksiyon gerçekleşikten sonra bir fungusitin uygulanmasına genellikle "iyileştirici tedavi", semptomlar ortaya çıktıktan sonraki uygulamaya ise bazen "yok edici tedavi" denir.

Bitki kemoterapisinde, fungusitlerin iyileştirici ve yok edici etkileri veya performansı birçok faktöre bağlıdır; bunların en önemlileri, bitkide fungusitlerin alımı, translokasyonu ve dağılımı, patojenin fungusitlere duyarlılığı, kullanılan doz veya konsantrasyon, patojenin bitki dokusundaki yeri ve bitkideki patojenin gelişim evresidir. Farklı fungusitler, farklı bitki hastalıkları ve araştırılan farklı bitki türleri için önemli farklılıklar kaydedilmiştir. Genel olarak, pratikte bugüne kadar elde edilen ve deneysel çalışmalarda kaydedilen sonuçlar, fungusitlerle bitkilerin iyileştirilmelerinin, koruyucu bazda kimyasal kontrollerden genellikle daha az etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, iyileştirici ve yok edici etkileri olan sistemik mantar ilaçları, bitki korumada ve bazı bitki mantarı hastalıklarının etkin ve ekonomik kontrolünde bazı önemli avantajlara katkıda bulunmuştur. [18]

Günümüzde, yeni fungusitlerin araştırılması ve geliştirilmesi devam etmektedir, ayrıca farklı fungusit bileşiklerin sunabileceği yeni olasılıklar araştırılmaktadır. Çok sayıda yeni aktif bileşen veya birleşim piyasaya sunulmuş, diğerleri ekotoksikolojik nedenlerden dolayı geri çekilmiştir. Farklı mantar öldürücüler yeni kullanımlar için etiketlenmekte ve diğerleri izinlerini kaybetmektedir. Çeşitli hastalık uyarı sistemleri sürekli iyileştirilmektedir. Bitki patojenik mantarları ve omisitler, popülasyonların değişmesi, yeni patotiplerin ortaya çıkması, dirençli formların gelişmesi ve yeni alanlara yayılmaya devam etmesi ile değişmeye, gelişmeye ve yeni tarım uygulamalarına adapte olmaya devam etmektedir. Diğerleri düşüşe geçerken ve daha önemsiz hale gelirken birçok bitki hastalığı, yeni ortaya çıkmakta veya önem kazanmaktadır. Tarımsal uygulamalar, hastalık yönetiminde yeni stratejilerin geliştirilmesiyle ilerlemektedir. Üretim gittikçe daha fazla pazar odaklı hale gelmekte ve kendi ihtiyaçları için gıda ve diğer tarım ürünlerini üreten insanların sayısı hızla azalmaktadır. Bitkilerin farklı

fungisitlerle tedavi ihtimalleri bu konu üzerine elli yıldan fazla bir süredir yoğun araştırmalar olmasının nedenleridir ve gelecekte de araştırılmaya devam edecektir. Kimya şirketlerinde aktif bileşikler üzerine sayısız araştırma yapılmıştır. Mantar ilaçları, üniversiteler, enstitüler ve diğer bilimsel kurumlarda bilimsel araştırma konusudur. Her yıl bitki patoloğları, bitki koruma uzmanları veya bilimsel tarım uzmanları tarafından saha denemeleri yapılmaktadır. Bu tür dinamikler, fungusitlerin tedavi edici ve yok edici etkileri ile ilgili mevcut bilgilerin daha eksiksiz bir özetini neredeyse imkânsız kılmaktadır. Bunun yanı sıra, neredeyse tüm tarımsal üreticilerin pratikte çeşitli mantar öldürücülerin kullanımı hakkında kendi deneyimlerinin ve önemli bilgilerinin olduğu ve bu tür deneyimlerin nadiren yayınlandığı söylenmelidir. Bu üreticiler, deneyimlerine dayanarak, bir hastalık ortaya çıktığında veya bir enfeksiyonun daha önceden oluşma riski bulunduğu hangi fungusitlerin etkili olduğunu bilirler. Bu şekilde, üreticiler, mantar ilaçlarının biyokimyası, etki şekli veya bitki ve patojen ile etkileşimi hakkında çok şey bilmeden, genellikle sahadaki iyileştirici veya yok edici etkilere şahit olurlar. Araştırma, deneyler ve deneyimler, modern fungusitlerin iyileştirici ve yok edici faaliyetlerinin kullanımında daha fazla ilerlemeye ve faydalara katkıda bulunacaktır. [18]

3.7.2 Fungisitler ve Çevreye Etkileri

Mantar ilaçları, bitki kalitesini ve üretimini sağlamak için bahçecilik üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bununla birlikte, bu tür fungusitlerin kullanılması, fungusit kalıntıları toprakta kalırsa ya da saha dışından yüzey ve yer altı sularına geçerse karasal ve sucul ekosistemlerde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Hem karasal hem de sucul ortamlarda bakırın (Cu) akıbeti, davranışı ve toksisitesi hakkında çok fazla şey bilinmesine rağmen, sentetik organik mantar öldürücü bileşikler için nispeten az bilgi mevcuttur. Bakır fungusitlerin kullanılmasının ardından yüzey topraklarında Cu birikimi dünyanın birçok bölgesinde rapor edilmiştir ve toprak solucanlarına ve mikroorganizmalara olumsuz etkileri olduğunu gösteren kanıtlar vardır. Bununla birlikte, az sayıda çalışma, sentetik organik mantar öldürücü bileşiklerin bahçe bitkilerinin topraklarındaki kalıcılığını ölçerek, olası riskleri değerlendirmek için sınırlı da olsa bir bilgi temeli sağlamıştır. Benzer şekilde, birkaç çalışmada mantar ilaçlarının saha dışı hareketlerini ve bunların sucul ortamlardaki varlığı araştırılmaya çalışılmıştır. Mantar ilaçlarının ortamdaki davranışları ve toksisitesinin değerlendirilmesi, farklı topraklar, tortular ve sular arasında büyük ölçüde değişiklik gösteren (yani, pH, kil, organik maddenin büyük etkisi) çevresel ve biyolojik mevcudiyetiyle karmaşıktır. Ekolojik risk

değerlendirme prensiplerini kullanarak, fungusitlerin çevresel risklerini herhangi bir kesinlikte belirlemek mümkün değildir. Bir istisna, bakırın (Cu) toprak organizmalarına birikme riskidir. Ancak, burada bile farklı toprak tipleri arasındaki ekotoksikolojik etki değerlerinde büyük değişkenlik nedeniyle yüksek bir belirsizlik derecesi vardır. Fungisit kullanımının gelecekteki yönetimi hakkında önerilerde bulunurken, farklı fungusitlerin göreceli riskleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Dünya genelinde mevcut düzenleyici ve politik çerçeveler, kimyasal ürünler piyasaya sürülmeden önce tarımsal kimyasal ürünler standardının değerlendirilmesi “girdi”sine odaklanmaktadır. Bununla birlikte, çevre ve insan sağlığının yaşam döngüsü boyunca olumsuz etkilenmemesini sağlamak için tescilli kimyasalların “performans standardı”nı uzun vadede değerlendirmek için önemli ölçüde daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bilim ve politika arasında daha güçlü bağlantılar, tarımsal kimyasal kullanımla ilişkili ekolojik risklerin daha etkili ve zamanında değerlendirilmesini ve yönetilmesini sağlayacaktır.

Bahçecilik üretim sistemlerinde gelecekteki fungusit kullanımının yönetimi konusunda kanıta dayalı politika kararlarının alınabilmesi için fungusit kullanımının yol açtığı potansiyel çevresel riskler hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Yapılan araştırmaların, “girdi” standardını iyileştirmek için daha fazla tür ve uç nokta, özellikle de sudaki mantarlar, mikrobiyal işlemler ve tarımla ilgili toprak solucanları için toksisite verileri oluşturmaya odaklanması gerekmektedir. Ayrıca, farklı toprak, çökelti ve su özellikleri ile kimyasal karışımların çevredeki mantar ilaçlarının davranışları ve zehirlilikleri üzerindeki etkilerini anlamaya odaklanılmalıdır. Özellikle sentetik organik mantar öldürücü bileşikler için çevresel derişimleri belirlemeye yönelik saha çalışmaları, kimyasalların yaşam döngüsü boyunca gerçek çevresel riskleri değerlendirebilmekte (“performans” standardı) büyük öneme sahiptir. Araştırmaların öncelikli olarak bu kaygı verici fungusitlere odaklanması için, kullanılan fungusit tipleri ve miktarları hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. [18]

3.7.3 Fungisitlerin Canlılara Etkileri

Genel olarak, mantar ilaçları, memeli toksikolojisinde orta ila düşük derecedir. Ancak, gelişimsel toksikoloji tarafından fungusitlerin onkogeneze yol açan diğer pestisitlerden daha yüksek bir genel insidansa sahip oldukları düşünülmektedir. Örneğin, pestisit kullanımından kaynaklanan tüm onkojenik risklerin yüzde 80'inden fazlasının birkaç mantar öldürücü ilaçtan geldiği tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, fungusitler

genellikle pestisit kaynaklı ölümlerin sadece küçük bir kısmından sorumludur ve Zehir Kontrol Merkezlerine rapor edilen insan pestisit maruziyetlerinin sadece yüzde 5 veya daha azını oluşturmaktadır. Mantarlar, morfoloji ve fizyolojide diğer yaşam biçimlerinden önemli ölçüde farklı olduğu için, bunların diğer memelilere, özellikle de memelilere karşı düşük toksisiteli bileşiklerle başarıyla kombine edilebilecekleri kaydedilmiştir. Bununla birlikte, patojenik mantarlara zarar verme mekanizması, memeli sistemlerine verilen zarardan farklı olabileceğinden, iki özelliğin belirli bir mantar öldürücü molekülde birlikte bulunması mümkündür. İdeal fungusitin şu özelliklere sahip olması gerektiği not edilmiştir: (a) düşük memeli toksisitesi, (b) düşük ekotoksiste, (c) düşük fitotoksiste, (d) sporlar ve miseller için yüksek nüfuz oranları ve (e) bitki yüzeyinde sınırlı biyolojik bozulma. Pek çok fungusit, bu özelliklerin birçoğunu birleştirir, ancak birkaçı hepsi için en uygun olanıdır. [18]

Fungisitler, hayvanlarda zehirli etkilere neden olma potansiyellerinde büyük ölçüde değişiklik gösterir. Hayvanlar için, fungusitlerden kaynaklanan ana tehlikenin tarım ve bahçedeki kullanımlarından kaynaklanması olasıdır. Fungisitler, hayvanlar için akut veya kronik zehirlenmelere neden olabilir. Ancak, fungusitler hayvanlar için düşük ila orta derecede toksisiteye sahiptir. Bazı hayvan zehirlenmesi vakaları, hayvanlarda tedavi için kazara aşırı doz alma veya dikkatsiz fungusit kullanımından kaynaklanmaktadır. Genel olarak evcil hayvanlarda ve insanlarda fungusit zehirlenmelerine yönelik spesifik bir tedavi yoktur. Bazı fungusitler ayrıca, kuşlar, bal arıları, balıklar ve suda yaşayan omurgasızlar gibi yaban hayatı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Şüphesiz, fungusitler tarımda yaygın şekilde kullanılmakta ve kullanılmaya devam edecekler. Bu nedenle, fungusitleri bitkilerde, tohumlarda ve ağaçlarda dikkatli bir şekilde, üreticinin talimatlarına göre ve uygun koruyucu giysiler giyerek kullanmalıyız ve tarım ürünlerimizi ve evcil hayvan gıdalarını fungusit kirliliği açısından izlemeliyiz. [18]

3.7.4 Fosetyl-Al Fungisiti

Floem mobil olma özelliğine sahip bir fosfonat fungusit olan Fosetyl-Al, 1970'lerin en önemli keşiflerinden biriydi. Bunu, fenilamidlerin ilki olan metalaksil ve bir karbamat fungusiti olan propamokarb izlemiştir. 1980'lerde, sterol demetilasyon inhibitörünün (DMI) fungusit sınıfının ilk üyeleri ve morfolin grubunun birkaç ek üyesi olan bazı triazolollerin eklenmesiyle, hastalık kontrolü seçenekleri genişletilmiştir. [18]

Karboksin fungusitler, bitkilerde tohum içindeki gevşek lekelerdeki patojenlerin yok edilmesini sağlamıştır ve bu, dünya çapında mantar hastalığı yönetimi

uygulamasında kullanılan ilk mantar öldürücü tedavi aktivitesi örneği olmuştur. Karboksinin kullanılmasından kısa bir süre sonra, tohum tedavisi için guazatin, etirimol, benzimidazoller tiyabendazol, benomil veya karbendazim, triazol fungusitleri, fenpropimorf, metalaxil, Fosetyl-Al veya fludioksonil gibi başka sistemik fungusitler geliştirilmiştir. [18]

Kök veya taç çürüklüğünden etkilenen bitkilerin tedavilerindeki birçok zorluk ve kısıtlamaya rağmen üreticiler, eğer böyle bir hastalık bir alanda ortaya çıkarsa ve üretimi tehdit etmeye başlarsa hastalığın ilerlemesini durdurabilecek her çözümü araştırmaktaydılar. Sistemik mantar öldürücü ilaçların keşfedilmesinden ve geliştirilmesinden sonra, tedavi olasılıklarını ve hastalık gelişmeye başladıktan sonra kök ve taç çürüklüğü patojenlerinin olası bir şekilde yok edilmesini araştırmak için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu tür araştırmaların büyük çoğunluğu, çeşitli *Phytophthora* türlerinin neden olduğu kök ve taç çürüklerinde, özellikle de piyasaya metaksil ve Fosetyl-Al bileşikleri eklendikten sonra yapılmıştır. Fosetyl-Al'in, Avokado'daki *Phytophthora citricola*'nın neden olduğu kanserlerin kontrol altına alınmasında etkili olduğu görülmüştür. Fosetyl-Al uygulamasından bir hafta sonra, enfekte olmuş bitkilerde kanserin ilerlemesi durdurulmuştur ve tedaviden altı ay sonra omisitlerin kanser lezyonlarından geri kazanılması mümkün değildir.

Phytophthora cinnamomi ile enfekte olmuş ve Fosetyl-Al enjekte edilmiş avokado ağaçlarının ortalama hastalık dereceleri deneyin birinci yılında 5.3'ten dördüncü yılında sıfıra önemli ölçüde azalmıştır. *Phytophthora cactorum*'un neden olduğu kök ve taç çürüklüğünün ilk evresinde metalaxyl dozlanmış elma ağaçları canlı kalırken, kontrol edilmemiş ağaçlar üç aylık bir sürede ölmüşlerdir. *Phytophthora cinnamomi* ile enfekte olan ve üç yaprağı Fosetyl-Al spreyi ve iki doz metalaxyl spreyi ile muamele edilen açelyaların hayatta kalması, bitkilerin hastalıksız peyzaj yataklarına nakledilmesinden sonra üç yıl boyunca izlenmiştir [18].

Granüler formülasyonlarda uygulanan metalaksil ve Fosetyl-Al ya da yaprak spreyi olarak uygulanan Fosetyl-Al, tedavi olarak uygulandığında *Phytophthora cactorum*'un neden olduğu şeftali üzerindeki kanseri önemli ölçüde azaltmıştır. Granül metalaksil ve Fosetyl-Al formülasyonları ile muamele edilmiş ağaçlarda neredeyse hiç aktif lezyon bulunamamıştır. Bu fungusitler omisitlerin enfekte olmuş ağaçlardan tamamen yok edilebildiğini göstermektedir. Metalaksil aktif izomeri olan Fosetyl-Al ve mefenoxam, boya fırçası ile topikal işlem olarak veya sprey olarak uygulanır, *Phytophthora cactorum*

veya Phytophthora citricola ile aşıl原因an bademde kanserin ilerlemesi %36-88 oranında azalmaktadır. Fosetyl-Al spreyleri ile muamele edilmiş aktif kanser %71-77 daha az, mefenoxam püskürtülmüş olanlar ise kontrol ağalarındakine göre %54-79 daha az ilerlemiştir. Diğery varyantta, Fosetyl-Al, kanser gelişimini %86-88 oranında azaltırken, mefenoxam, kanser gelişimini %52-80 oranında azaltmıştır. [18]

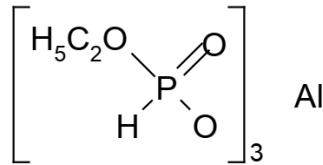
Fosetyl-Al başta narenciye olmak üzere birçok üründe ruhsatlıdır. Fosetyl-Al; Çift yönlü sistemik bir fungusittir. Bitki öz suyunda yapraktan köke, kökten yaprağıta taşınır. 5-6 saat içerisinde bitki bünyesine alınarak, bir yandan yukarıya doğru, ilaçlamadan sonra oluşan yeni sürgün ve yapraklara, diğery yandan aşağıya doğru, en ince köklere kadar taşınır. Hastalık faktörleri üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilere sahiptir. Faktörün sporlarının çimlenmesini önlemek yoluyla gösterdiği koruyucu etki yanında, miselyum gelişimini engelleyerek gösterdiği tedavi edici özellikleri, Fosetyl-Al'in hastalık üzerindeki doğrudan etkisini oluşturur. Bitki patojenlerinin gelişmelerini engelleyen fitoaleksinler ve diğery zehirli metabolitlerin artışına yol açarak, bitkiye dayanıklı çeşit özelliğı kazandırmak yoluyla, hastalık üzerindeki dolaylı etkisini gösterir. Arılara zehirli değildir.

Fosetyl-Al'nin kullanımı sonrasında bitki bünyesinde metaboliti olan fosforoz asite dönüşümü söz konusudur. Fosforoz asit tek başına ruhsatlı olmasının yanı sıra Fosetyl-Al'nin metaboliti de olduğı için yazılı analizlerde sonuç raporlanırken fosforoz asit ve Fosetyl-Al sonucunun toplamı olacak şekilde toplam Fosetyl olarak raporlanmaktadır.

Fosforoz asit, birçok bitki gübresinin de içeriğini oluşturmaktadır. Kullanılan yaprak ve damlama gübreleri ile bitki bünyesine alınan fosforoz asit bitki bünyesinde kalıntılara neden olabilmektedir. [19]

Fosetyl-Al'ye ilişkin teknik bilgiler aşağıdaki gibidir:

Kimyasal yapı formülü:



Şekil 3.7. Fosetyl-Al Kimyasal Yapı Formülü [20]

ISO adı: Fosetil (E-ISO, (m) F-ISO, BSI), asidi belirtir, etil hidrojen fosfonat

Eşanlamlısı: Efosit-Al

IUPAC adı: Alüminyum tris – (etilfosfonat)

Ampirik formülü: $C_6H_{18}AlO_9P_3$

Bağıl moleköl ağırlığı: 354,14

[20]

4. ELEKTROKİMYASAL ARITIM

4.1 Giriş

Elektrokimya, elektriksel ve kimyasal etkilerin birbirleriyle olan ilişkisi ile ilgilenen kimya dalıdır. Bu alanın büyük bir kısmı, bir elektrik akımının geçişinden kaynaklanan kimyasal değişimlerin ve kimyasal reaksiyonların ürettiği elektrik enerjisinin incelenmesi ile ilgilidir. Aslında, elektrokimya alanı, çok sayıda farklı fenomeni (örneğin, elektroforez ve korozyon), cihazları (elektrokromik göstergeler, elektroanalitik sensörler, piller ve yakıt hücreleri) ve teknolojileri (metallerin elektrolizle kaplanması ve büyük ölçekli alüminyum ve klorin üretimi) kapsamaktadır.

Bilim adamları, çeşitli nedenlerden dolayı kimyasal sistemler üzerinde elektrokimyasal ölçümler yapmaktadırlar. Bir reaksiyon hakkında termodinamik veri elde etmekle ilgilenilmektedirler. Radikal bir iyon gibi dengesiz bir ara madde oluşturmak ve bozunma oranlarını veya spektroskopik özelliklerini incelemek isteyebilmektedirler. İz miktarlarda metal iyonları veya organik türler için bir çözelti analiz etmek isteyebilmektedirler. Bu örneklerde, elektrokimyasal yöntemler, kimyasal sistemler çalışmasında sadece spektroskopik yöntemlerin sıkça uygulandığı şekilde araç olarak kullanılmaktadır. Örneğin, yeni bir güç kaynağının tasarımında veya bazı ürünlerin elektrosentezi için sistemlerin elektrokimyasal özelliklerinin öncelikli ilgi konusu olduğu araştırmalar da vardır. Geçmişte birçok elektrokimyasal yöntem geliştirilmiştir. Bunların uygulanması, elektrot reaksiyonlarının temel prensiplerinin ve elektrot çözeltisi arayüzlerinin elektriksel özelliklerinin anlaşılmasını gerektirir. [21]

4.2 Elektrokimyasal Hücreler ve Reaksiyonları

Elektrokimyasal sistemlerde, yükün kimyasal fazlar arasındaki ara yüz boyunca, örneğin bir elektronik iletken (bir elektrot) ve bir iyonik iletken (bir elektrolit) arasındaki arabirim boyunca taşınmasını etkileyen süreçler ve faktörlerle ilgilenilmektedir. Şarj, elektrotların (ve deliklerin) hareketi ile elektrot boyunca taşınır. Tipik elektrot malzemeleri arasında katı metaller (örneğin Pt, Au), sıvı metaller (Hg, amalgamlar), karbon (grafit) ve yarı iletkenler (indiyum-kalay oksit, Si) bulunur. Elektrolit fazında şarj, iyonların hareketi ile taşınır. En sık kullanılan elektrolitler, sulu veya susuz bir çözücü içerisinde H^+ , Na^+ , Cl^- gibi iyonik türler içeren sıvı çözeltilerdir. Bir elektrokimyasal hücrede yararlı olması için, çözücü ve elektrolit sisteminin öngörülen elektrokimyasal deney için yeterince düşük bir direnç (yani yeterince iletken) olması gerekir. Daha az geleneksel elektrolitler kaynaşmış tuzları (örneğin, erimiş NaCl-KCl ötektik) ve iyonik

olarak iletken polimerleri (örneğin, Nafion, polietilen oksit-LiClO₄) içerir. Bunlara ek olarak, katı elektrolitler de mevcuttur (örneğin, şarjın alüminyum oksit levhalar arasında hareket eden hareketli sodyum iyonları tarafından taşındığı sodyum β -alümina).

Olayları tek bir ara yüzde düşünmek doğaldır. Ancak, bunun böyle izole edilmiş bir sınırla deneysel olarak sınırlanamadığını göreceğiz. Bunun yerine, elektrokimyasal hücreler adı verilen ara yüzlerin döküm özelliklerini incelemek gerekir. Bu sistemler, en genel olarak en az bir elektrolit fazıyla ayrılan iki elektrot olarak tanımlanır.

Genellikle, bir elektrokimyasal hücredeki elektrotlar arasındaki elektrik potansiyelindeki fark ölçülebilir. Tipik olarak bu, yüksek empedanslı bir voltmetre ile yapılır. Volt (V) cinsinden ölçülen bu hücre potansiyeli, burada $1 \text{ V} = 1 \text{ Joule/Coulomb (J/C)}$, elektrotlar arasında harici olarak şarjı artırmak için gerekli olan enerjinin bir ölçüsüdür. Bu, hücredeki çeşitli fazların tümü arasındaki elektrik potansiyelinde toplanan farkların bir belirtisidir. Geçişin keskinliği, ara yüzde çok yüksek bir elektrik alanının mevcut olduğu anlamına gelir ve biri ara yüzey bölgesinde olan yük taşıyıcıların (elektronlar veya iyonlar) davranışı üzerinde etki yapması beklenebilir. Ayrıca, bir ara yüzdeki potansiyel farkın büyüklüğü, iki fazdaki taşıyıcıların göreceli enerjilerini etkiler; bu nedenle yön ve aktarım hızını kontrol eder. Bu nedenle, hücre potansiyelinin ölçümü ve kontrolü, deneysel elektrokimyanın en önemli yönlerinden biridir.

Referans elektrotun sabit bir yapısı olduğundan, potansiyeli sabittir. Bu nedenle, hücrede meydana gelen herhangi bir değişiklik çalışma elektrotuna atfedilebilir. Elektrot, daha fazla negatif potansiyele yönlendirilerek (örneğin, bir elektrot veya çalışma elektrotuna eklenmiş olan negatif tarafı ile bir güç kaynağını bağlayarak), elektronların enerjisi artırılabilir. Bu durumda, elektrottan çözeltiye bir elektron akışı (bir azaltma akımı) oluşur. Benzer şekilde, elektronların enerjisi daha pozitif bir potansiyel dayatılarak azaltılabilir ve bir noktada elektrolit içindeki çözünen maddeler üzerindeki elektronlar elektrot üzerinde daha elverişli bir enerji bulacak ve oraya transfer olacaktır. Bu işlemlerin gerçekleştiği kritik potansiyeller, sistemdeki belirli kimyasal maddeler için standart potansiyel olan E^0 ile ilgilidir. [21]

4.3 Elektrokimyasal Koagülasyon

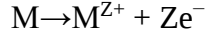
Elektrokimyasal Koagülasyon (EK) işlemi içme suyunun ve atık suyun arıtılması için kullanılabilir. EK, elektrotlar boyunca uygulanan elektrik akımı ile tetiklenen hedef anot malzemelerinin elektrolitik oksidasyonu ile yerinde pıhtılaştırıcı türlerin üretilmesinden oluşur. Tüketilebilir bir anotun elektrokimyasal çözünmesi ile üretilen

metal iyonları, pH'a bağılı olarak, kendiliğinden hidrolize olurlar; pH'a bağılı olarak, hidroksit çökeltileri (adsorpsiyon ve çöktürme ile kirletici maddeleri giderebilir) ve diğeri iyonlar metal türlerini içeren çeşitli pıhtılaştırıcı türler oluştururlar. Alüminyum (Al) ve demir (Fe) malzemeleri çeşitli avantajlar sayesinde elektrot malzemeleri olarak en yaygın kullanılanlardır: bulunabilirlikleri, yani yeryüzündeki bollukları ve düşük fiyatları, çökelme ile oluşan demir ve alüminyum hidroksitlerin nispeten toksik olmaması ve kirleticinin etkin bir şekilde uzaklaştırılmasına yardımcı olan yüksek değeri. Ayrıca, eşzamanlı katodik reaksiyon, katot elektrotuna biriktirme veya flotasyon yoluyla kirleticinin uzaklaştırılmasına izin verir (katottaki hidrojenin evrimi). Anot ve katot genellikle aynı metalden yapılır, ancak elektro-çözünme sadece anotta gerçekleşmelidir. EK, toplu veya sürekli bir işlem olarak gerçekleştirilebilir. Uygulamalarının büyük kısmı yakın zamanda Emamjomeh ve Sivakumar ve daha yakın zamanda Kabdaş ve ark. tarafından incelenmiştir. EK, elektrik kadar eski bir süreçtir. EK'nin içme suyu arıtma tesislerinde kullanımı 19. yüzyılda İngiltere'de ve 20. yüzyıl başlarında ABD'de işletilen atık su arıtma tesislerinde rapor edilmiştir. Bu, 30'ların sonunda, esas olarak sırasıyla atık sudaki koloidal ve çözünabilir organik kirliliklerin azaltılması için kimyasal pıhtılaşma ve biyolojik arıtmayla değiştirilmiştir. Asıl sebep, daha yüksek işletme maliyeti, özellikle bu dönemde elektrik fiyatıydı. Elbette, durum büyük ölçüde değişti ve EK'nin avantajları 90'lardan bu yana "yeniden keşfedilmiştir". Mollah ve ark., literatürde değerlendirilen 10 veya daha fazla avantajı raporlamıştır. EK, örneğin çamur işleme ihtiyacı duymaktadır. Ancak, kimyasal pıhtılaşma ve aktif çamur işlemi de aynı sorunu ele almak zorundadır. Uygulamada, EK çamurunun bileşimi, alum veya ferrik klorür kullanıldığında kimyasal pıhtılaşma kullanılarak elde edilene yakındır; bu, çamur bertarafının benzer olması gerektiği anlamına gelir. Tersine, EK'nin özel bir durumu, bilginiz dâhilinde, ne yazık ki su arıtma için neredeyse hiçbir EK modellemesi ve ölçek büyütme yaklaşımlarının kapsamlı bir incelemesinin bulunmamasıdır.

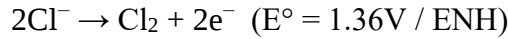
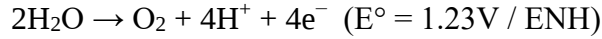
Elektrokoagülasyon, elektrokimyasal olabilen elektrokimyasal (metal çözünmesi ve su indirgenmesi, kirletici elektro-oksidasyon veya elektro-indirgenme...), kimyasal (pH değişimli asit/baz dengesi, hidroksit çöktürme, kütlede redoks reaksiyonu...) ve fiziksel (fiziksel adsorpsiyon, pıhtılaşma, yüzdürme...) olmak üzere çeşitli mekanizmaları birleştirir.

Kimyasal reaksiyonlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Anotta, metal katyonlara oksitlenir



Bu denklemde Z, metal molü başına anodik çözünme işleminde aktarılan elektronların sayısıdır. Yüksek anot potansiyeli durumunda, ikincil reaksiyonlar meydana gelebilir. Su oksitlenebilir ve hidronyum katyonuna ve oksijen gazına yol açabilir ve klorür anyonları varlığında, Cl^{-} , Cl_2 'ye oksitlenebilir. İkincisi, güçlü bir oksidan olan, çözünmüş organik bileşiklerin oksidasyonuna katkıda bulunabilir veya ayrıca oksitleyici rolünü üstlenen ClOH oluşumuna yol açabilir.



- Katotta: su, hidrojen gazı ve hidroksil anyonlarına indirgenir.



Yığın içinde salınan metal katyonları, asit ve baz, kompleksleşme, çökeltme ve sudaki redoks reaksiyonlarına karşılık gelen çeşitli denge reaksiyonlarına girerler. Bu temizleme mekanizmalarının rolü, Çizelge 4.1.'de gösterildiği gibi kirleticiler türlerine bağlıdır.

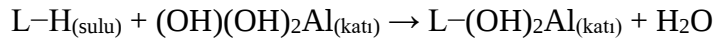
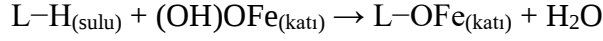
Çizelge 4.1. Çözünebilir Kirleticiler ve Giderim Mekanizmaları [22]

Çözünebilir Kirleticiler	Giderim Mekanizması
Sülfat Anyonları	Çökeltme
Kalsiyum Katyonları	Birlikte Çökeltme
Fosfat Anyonları	Çökeltme, Adsorpsiyon, Kompleksleşme
Organik Bileşikler	Kompleksleşme, Birlikte Çökeltme
Florür Anyonları	Kompleksleşme, Çökeltme
Arsenat Anyonları	

Bununla birlikte, anottan salınan metal katyonlar genellikle, zayıf çözünürlük sergileyen ve kolayca çökelen metal hidroksitleri oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak, suda çözünür kirleticiler ayrıca çökeltilerin üzerine fiziksel veya kimyasal olarak adsorbe edebilirler. Alternatif kirlilik azaltma mekanizmaları şunları içerir:

- Çözünmüş maddelerin, hidroksit çökeltmesi, adsorpsiyon ve kompleksleşme sırasında fiziksel olarak tamamen çevrilmesi. Örneğin, fosfatlar atıklardan

kompleksleşerek veya metalik hidroksitlerle çökelerek veya atık sulardan çözünmüş organik bileşik giderimi gerçekleşirken birlikte çökeltme işlemi ile birlikte adsorbe edilerek veya metalik hidroksitlerin yüzeyindeki kompleksleşmeyle veya elektrostatik çekim ile uzaklaşmaktadır. Kompleksleşme için, kirleticisi, bir sulu demir parçasını veya alüminyum hidroksitleri bağlamak için bir köprü (ligand) (L) olarak işlev görebilir:



- Anot üzerindeki katyonik Cr(VI)'nın Cr(III) katyonlarına indirgenmesi, ardından Cr(III) hidroksit çökeltmesi, anyonik nitratların nitrit, amonyak ve azot gazına indirgenmesi ve üç değerlikli arsenik As(III), beş değerlikli arsenik As(V) içine oksitlendiğinde, redüksiyon yerine oksidasyon gibi elektro-oksidasyon veya elektroaktif iyonların veya moleküllerin katotundaki elektro-redüksiyon. Bazı yazarlarca, ağır metallerin EK işlemi sırasında katot yüzeyinde elektro-redüksiyona maruz kalabileceğini bildirilmiştir.
- Kirleticilerin elektrotlar üzerindeki doğrudan adsorpsiyonu: özellikle florür anyonları için, elektro-yoğunlaşma nedeniyle florür anyonlarının elektrik kuvvetleri tarafından anoda çekilmesi.

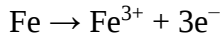
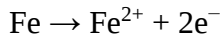
Kimyasal koagülasyonda olduğu gibi koloidal süspansiyonlar ve emülsiyonlar da elektrokimyasal çözünmeden kaynaklı sürekli pıhtılaştırıcı dozajı ile dengesizleşir. Parçacıkların pıhtılaşma veya ayrık ve dağılmış kalma eğilimi DLVO teorisi tarafından ilk yaklaşım olarak tanımlanan çekici Van der Waals bağları arasındaki zıt kuvvetler ve elektriksel çift tabakanın itme kuvvetlerinin toplamının sonucu elde edilmektedir. Kararsızlaşma mekanizmaları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Koloidal bir parçacığın çift katmanının sıkışması, harcanan elektrotların elektrokimyasal çözünmesinden elde edilen çözünür iyonik türlerle etkileşimlerinden kaynaklanır. Bu, parçacık yüzeyi ile yığın çözelti arasındaki elektriksel potansiyel farkını etkiler ve parçacıklar arasındaki itici kuvvetlerin azalmasına neden olur.
- Şarj nötralizasyonu iyonik metal türlerinin, hidronyum katyonlarının, hidroksil anyonlarının adsorpsiyonu veya yüklü hidroksit çökteltilerinin atık su içinde mevcut yüklü koloidal parçacıkların yüzeyine çökeltmesiyle

gerçekleştirilir. Bu, izoelektrik nokta etrafındaki zeta potansiyelinin bir evrimi ile gösterilebilir.

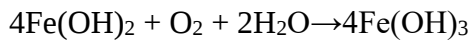
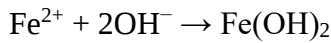
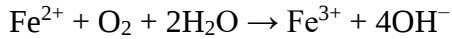
- Koloitlerin tutulması (kümelenme mekanizması veya süpürme pıhtılaşması): hidroksit çökeltileri, atık su içindeki koloidal parçacıkları hapseder. Bu kararsızlaşma mekanizması, oluşabilen metal hidroksit çökeltilerine dayanır. Bu mekanizmasına nötr pH hakimdir.

Demir elektrotlarında veya içinde gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonlarda Fe-EK sırasındaki sulu ortam, anot oksidasyonunun demir veya demir katyonlarına yol açabileceğinden karmaşıktır:



Demir ve demir iyonları su içinde hidrolize olur ve oranları, demir iyon konsantrasyonuna ve pH'a bağlı çeşitli monomerik ve polimerik türler oluşturur: $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^{+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_4^{-}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^{+}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_8(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_6(\text{OH})_4^{2+}$ ve $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

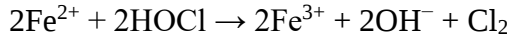
Demir EK'nin mekanizması hakkındaki çeşitli makalelerdeki bazı belirsizliklere rağmen, son zamanlarda yapılan çalışmalar genellikle anot oksidasyonunun Fe^{2+} saldıgını, çünkü Fe^{3+} 'nın çözünme hızının ihmal edilebilir olduğunu kanıtladığını varsaymaktadır. Fe^{2+} iyonlarının Fe^{3+} iyonlarına oksidasyonu, pH ve çözünmüş oksijen derişimine kuvvetle bağlıdır. Asidik ortamlarda, hızlı bir şekilde çözünmüş oksijen ile demir(III) hidroksite oksitlenen Fe^{2+} nötr veya alkali ortamlarda hemen demir hidroksit haline dönüşürken, Fe^{2+} katyonları çözünmüş oksijenle temasında çok yavaş okside olur.



Sonuçta, bazı araştırmalar, demir çözünmesinin Faraday yasasını %80 ile %100 arasında faradik bir verimle takip ettiğini bildirmiştir. Öte yandan diğerleri, Faraday yasasıyla hesaplanan teorik olarak çözülen demir miktarı ile $Z=2$ 'ye dayanan gözlenen çözünmüş demir miktarı arasında bir fark olduğunu belirtmektedir. Asidik ortamlarda ϕ %100'den yüksektir, oysa alkali ortamlarda bunun tersi doğrudur. Düşük pH değerlerinde olası açıklamalar: klorür anyonları gibi bazı iyonik bileşiklerin varlığında her iki elektrotta kimyasal korozyon ve oyuk aşınmasıdır. Daha yüksek pH değerlerinde, çözünme verimliliği Faraday kanunu değerlerinin altına düşer, çünkü oksijen gelişimi de

dâhil olmak üzere anotun yanında ikincil reaksiyonlar meydana gelir (Denk. (2)). Alkali pH için, demir oksidasyonu, denlem 20'ye göre oksit ve hidroksit olmak üzere demir oluşumuna yol açar. Bu, üretilen demir derişimini azaltır, çünkü Fe(III) oluşumu için Fe(II)'dekinde olduğu gibi 2 yerine 3 elektron gerektirir ve dolayısıyla aynı demir konsantrasyonunu elde etmek için daha yüksek bir akım değeri gerekir. Nihayetinde çeşitli monomerik ve polimerik türler, çözünür organik bileşiklerin hızlı bir şekilde adsorpsiyonu ve koloidal parçacıkların yakalanması için etkili olan amorf Fe(OH)₃ çökeltilerine dönüşür. Sonuç olarak, Fe-EK'nin verimli bir şekilde çalışması, Fe³⁺ üretimi için aşağıdaki optimizasyon tekniklerinden birini veya daha fazlasını gerektirir:

- a) Çözünmüş oksijen derişimini ve Fe²⁺ oksidasyonunu arttırmak için suyun havalandırılması;
- b) Fe²⁺ oksidasyonunu teşvik etmek için pH'ı 7.5 veya daha yükseğe çıkarmak;
- c) Demir anot üzerinde atıksu içinde bulunan klorür iyonlarının veya ek bir elektroliz hücresinde oksitlenerek üretilebilecek klor gibi alternatif bir oksidanın devreye sokulması, örneğin bir Ti/RuO₂ anot ve bir Ti katodu kullanılması. Aşağıda gösterildiği gibi demirli çözeltide demirli oksidasyon gerçekleşir:



Klorür iyonlarının oksidasyonu tarafından tüketilen elektrik akımı dikkate alındığında, bu işlem arıtılacak atık su 600 mg Cl⁻/L'nin üzerinde olmadığı sürece etkili değildir.

Fe²⁺ oksidasyonunun tam olması için bekleme süresinin arttırılması. [22]

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Materyal ve Metot

5.1.1 Elektrokimyasal Deneylerde Kullanılan Kimyasallar

Fosetyl-Al (Aluminium tris-o-ethyl phosphonate) fungusit, Veliyette firmasından temin edilmiştir. Çözeltilerin hazırlanması ve yıkama için kullanılan deiyonize su, Çevre Araştırma Merkezinde bulunan Millipore marka cihazdan elde edilmiştir. Deney sonuçları çizelgelerinin altında miktarı yazan deneylerde destek elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) Merck firmasından temin edilmiştir. Deneylerde elektrofenton işlemi için kullanılan Hidrojen Peroksit (H_2O_2) ise laboratuvarında hazırlanmıştır.

5.1.2 KOİ Deneylerinde Kullanılan Kimyasallar

5.1.2.1 Sülfürik Asit Çözeltisi

$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4 \text{ mol/L}$. Yaklaşık 500 mL suya 220 mL sülfürik asit ($\rho = 1,84 \text{ g/mL}$) küçük kısımlar hâlinde dikkatlice karıştırılarak ilâve edilmiş, soğutulmuş ve 1000 mL'ye seyreltilmiştir.

5.1.2.2 Gümüş Sülfat - Sülfürik Asit Çözeltisi

Gümüş sülfatın (Ag_2SO_4) 10 g'ı, 35 mL suya ilâve edilmiştir. Üzerine 965 mL H_2SO_4 ($\rho = 1,84 \text{ g/mL}$) ilâve edilmiştir. Bir veya iki gün çözünmesi için beklenmiştir. Çözünme, karıştırılarak hızlandırılmıştır.

5.1.2.3 Standart Potasyum Dikromat Çözeltisi

$c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,040 \text{ mol/L}$. Cıva tuzu ihtivâ eden.

Cıva (II) sülfatın (HgSO_4) 80 g'ı, 800 mL suda çözülmüştür. Dikkatlice 100 mL sülfürik asit ($\rho = 1,84 \text{ g/mL}$) ilâve edilmiştir. Soğuması için beklenmiştir. 105 °C'ta 2 saat kurutulmuş 11,768 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ çözeltiye ilâve edilmiş ve çözülmüştür. Bu çözelti, 1000 mL'lik ölçülü balona aktarılmıştır ve işaret çizgisine kadar su ile tamamlanmıştır.

5.1.2.4 Amonyum Demir (II) Sülfat, Standart Çözeltisi

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

Amonyum demir (II) sülfat heksahidrattan 47 g alınmıştır. Suda çözülmüştür. 20 mL sülfürik asit ($\rho = 1,84 \text{ g/mL}$) ilâve edilmiştir. Soğutulmuş ve su ile 1000 mL'ye tamamlanmıştır.

5.1.2.5 Standart Potasyum Hidrojen Fitalat, Çözeltisi

$c(\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4) = 2,0824 \text{ mmol/L}$. Potasyum hidrojen fitalatın 105 °C'ta kurutulmuş 0,4251 g'ı suda çözülmüştür ve suyla 1000 mL'ye tamamlanmıştır.

5.1.2.6 Ferroin İndikatör Çözeltisi

Demir (II) sülfat heptahidrattan ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0,7 g veya amonyum demir (II) sülfat heksahidrattan 1 g alınarak suda çözülmüştür. 1,10 - fenantrolin monohidrat ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)’dan 1,50 gramlık kısım bu çözeltiye ilâve edilmiş ve çözününceye kadar karıştırılmıştır. Su ile 100 mL’ye tamamlanmıştır.

5.2 Elektrokimyasal Deneyler

Bu çalışmada, elektrokimyasal deneyler, 4 cm genişliğinde, 0,2 cm kalınlığında ve 6 cm yüksekliğinde 6 adet demir elektrot kullanılarak yapılmıştır. Deneyler, belirli derişimlerde Fosetyl-Al fungusit içeren model atık su oluşturularak, Statron marka 3262 model numaralı, en yüksek 80V gerilim ve 5A akım şiddetini destekleyen güç kaynağı kullanılarak belirli sabit akımlarda yapılmıştır. Deneylerde, gerilim (V), sıcaklık (t) ve pH değerleri sürekli izlenerek ölçümleri yapılmıştır. Çalışma, 90’ar dk.lık sürelerle gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında, 0, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75. ve 90. dakikalarda 10’ar mL’lik tüplere 5’er mL numune alınmıştır. Deneyler şahitli olarak yapılmıştır. 90 dakikalık deney sonunda alınan numuneler Nüve marka NF 800 model, en yüksek 14000 RPM karıştırma hızını destekleyen cihazda santrifüjlenerek KOİ deneylerine hazır hale getirilmiştir.

5.3 KOİ Deneyleri

Çalışmada, KOİ giderim ölçümlerini yapabilmek için KOİ analiz deneyleri yapılmıştır. KOİ analiz deneyleri TSE Türk Standardı TS 2789 Su Kalitesi – Kimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini’ne uygun olarak yapılmıştır. [23]

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Çalışmada, yapılan deneylerden elde edilen deneysel sonuçlar, çizelgeler ve grafikler halinde verilmiştir.

Çizelge 6.1. *Deneysel Sonuçlar (1A Akım Şiddeti, 750 mg/L Başlangıç Derişimi, 200 RPM Karıştırma Hızı)*

	Zaman (dk.)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)
Standart	-	508,8	-
Su	-	0	-
Model Atık Su	0	816	-
	3	816	-
	5	816	-
	7	816	-
	10	816	-
	15	768	5,88
	20	768	5,88
	25	710,4	12,94
	30	672	17,65
	40	624	23,53
	50	624	23,53
	60	595,2	27,06
	75	595,2	27,06
	90	595,2	27,06
	105	595,2	27,06
	120	585,6	28,24
I=1A, C ₀ =750 mg/L, Karıştırma Hızı: 200 RPM			

Çizelge 6.1. incelendiğinde, 1A akım şiddeti, 750 mg/L başlangıç derişimi, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 816 mg/L'den 585,6 mg/L'ye düştüğü gözlenmiş ve %28,24'lük bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır.

Çizelge 6.2. DeneySEL SonuÇlar (1A Akım Şiddeti, 300 mg/L BaşlangıÇ Derişimi, 1mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Gerilim (Volt)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
Standart	-	508,8	-	-	-
Su	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	326,4	-	15	-
	3	297,6	8,82	15,9	1,99
	5	249,6	23,53	19,9	3,65
	7	249,6	23,53	23	5,56
	10	230,4	29,41	26,4	8,86
	15	230,4	29,41	29,1	14,93
	20	220,8	32,35	30,2	21,22
	25	211,2	35,29	32,1	27,9
	30	192	41,18	35,4	35,28
	40	182,4	44,12	35	49,86
	50	182,4	44,12	35	64,45
	60	172,8	47,06	30,5	77,15
	75	163,2	50	29,5	95,59
	90	153,6	52,94	28,1	113,15
I=1A, C ₀ =300 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 1 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM					

Çizelge 6.2. incelendiğinde, 1A akım şiddeti, 300 mg/L başlangıÇ derişimi, 1mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 326,4 mg/L'den 153,6 mg/L'ye düştüğü gözlemlenmiş ve %28,1'lik bir KOİ giderimi gerÇekleştiği hesaplanmıştır. Gerilimin ise 15 Volt ila 28,1 Volt arasında değiştiği görölmüştür. Deney sonunda, 113,15 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.3. DeneySEL Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 300 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (t) (dk.)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
Standart	-	508,8	-	-	-	-
Su	-	0	-	-	-	-
Model Atık Su	0	326,4	-	32,5	-	-
	3	268,8	17,65	36,1	-	4,51
	5	259,2	20,59	40,3	-	7,87
	7	240	26,47	41,9	-	11,36
	10	240	26,47	39,1	-	16,25
	15	220,8	32,35	38,1	-	24,19
	20	211,2	35,29	34,5	-	31,38
	25	201,6	38,24	33,4	-	38,33
	30	201,6	38,24	32,7	-	45,15
	40	201,6	38,24	33,4	52	59,06
	50	182,4	44,12	33,1	55	72,85
	60	182,4	44,12	35	57	87,44
	75	163,2	50	36	60	109,44
	90	163,2	50	37,8	63	133,56
I=2A, C ₀ =300 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 3mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.3. incelendiğinde, 2A akım şiddeti, 300 mg/L başlangıç derişimi, 3mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 326,4 mg/L'den 163,2 mg/L'ye düştüğü ve %50'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 63°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 16,8 Volt ila 28,4 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, 92,73 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4. DeneySEL Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 300 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)
Standart	-	508,8	-	-	-	-
Su	-	0	-	-	-	-
Model Atık Su	0	336	-	17,2	-	-
	3	288	14,29	18,1	-	2,26
	5	288	14,29	18,9	-	3,84
	7	268,8	20	19,3	-	5,45
	10	249,6	25,71	19,6	-	7,9
	15	220,8	34,29	19,5	-	11,96
	20	220,8	34,29	19,1	-	15,94
	25	211,2	37,14	19,5	-	20
	30	211,2	37,14	20	44	24,17
	40	211,2	37,14	18,3	48	31,79
	50	201,6	40	20,2	50	40,21
	60	201,6	40	21,6	54	49,21
	75	192	42,86	22,1	56	63,02
	90	182,4	45,71	22,6	58	77,15
I=2A, C_0 =300 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 5 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.4. incelendiğinde, 2A akım şiddeti, 300 mg/L başlangıç derişimi, 5mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değeri nin 336 mg/L'den 182,4 mg/L'ye düştüğü ve %45,71'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 58°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 16,8 Volt ila 28,4 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $92,73 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5. DeneySEL SonuÇlar (2A Akım Şiddeti, 300 mg/L BaşlangıÇ Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
Standart	-	508,8	-	-	-	-
Su	-	0	-	-	-	-
Model Atık Su	0	355,2	-	12,9	-	-
	3	326,4	8,11	13,3	-	1,66
	5	288	18,92	13,7	-	2,8
	7	288	18,92	13,9	-	3,96
	10	268,8	24,32	14,2	32	5,74
	15	268,8	24,32	14,6	33	8,78
	20	259,2	27,03	15,1	34	11,93
	25	249,6	29,73	15,6	36	15,18
	30	230,4	35,14	16,4	38	18,59
	40	220,8	37,84	17,3	42	25,8
	50	220,8	37,84	17	44	32,88
	60	211,2	40,54	17,1	46	40,01
	75	201,6	43,24	18,8	49	51,76
	90	192	45,95	19,3	49	63,82
I=2A, C ₀ =300 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 10 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.5. incelendiğinde, 2A akım şiddeti, 300 mg/L başlangıÇ derişimi, 10mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 355,2 mg/L'den 192 mg/L'ye düştüğü ve %45,95'lik bir KOİ giderimi gerÇekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 49°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 16,8 Volt ila 28,4 Volt arasında değiştiği görölmüştür. Deney sonunda, 92,73 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.6. DeneySEL SonuÇlar (1A Akım Şiddeti, 200 mg/L BaşlangıÇ Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
Standart	-	-	-	508,8	-	-
Su	-	-	-	0	-	-
Model Atık Su	0	9,6	22	230,4	-	-
	3	10,3	23	211,2	8,33	1,29
	5	10,7	23,9	211,2	8,33	2,18
	7	11	24	192	16,67	3,10
	10	11,4	24,3	153,6	33,33	4,52
	15	11,7	26	153,6	33,33	6,96
	20	11,9	26,5	153,6	33,33	9,44
	25	12,2	28	153,6	33,33	11,98
	30	12,4	29	134,4	41,67	14,56
	40	12,5	31	134,4	41,67	19,77
	50	12,6	32,5	134,4	41,67	25,02
	60	13,2	34	105,6	54,17	30,52
	75	13,3	36	86,4	62,5	38,83
	90	13,7	38	48	79,17	47,40
I=1A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 3 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.6. incelendiğinde, 1A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıÇ derişimi, 3mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 230,4 mg/L'den 48 mg/L'ye düştüğü ve %79,17'lik bir KOİ giderimi gerÇekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 38°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 9,6 Volt ila 13,7 Volt arasında değiştiği görölmüştür. Deney sonunda, 47,40 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.7. DeneySEL Sonuçlar (1A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m³)
Standart	-	-	-	508,8	-	-
Su	-	-	-	0	-	-
Model Atık Su	0	9,6	24	220,8	-	-
	3	9,6	25	192	13,04	1,2
	5	9,6	25,5	163,2	26,09	2
	7	9,8	26	144	34,78	2,82
	10	10	26,2	124,8	43,48	4,07
	15	10,3	28	124,8	43,48	6,21
	20	10,3	28,1	124,8	43,48	8,36
	25	10,4	30	124,8	43,48	10,53
	30	10,6	30,1	124,8	43,48	12,73
	40	10,8	32	124,8	43,48	17,23
	50	10,8	33	38,4	82,61	21,73
	60	11	34,5	38,4	82,61	26,32
	75	11,3	36	38,4	82,61	33,38
	90	11,5	38	38,4	82,61	40,57
I=1A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 5 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.7. incelendiğinde, 1A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 5mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 38,4 mg/L'ye düştüğü ve %82,61'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 38°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 9,6 Volt ila 11,5 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, 40,57 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.8. DeneySEL Sonuçlar (1A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
Standart	-	-	-	508,8	-	-
Su	-	-	-	0	-	-
Model Atık Su	0	6,3	26	220,8	-	-
	3	6,6	27	220,8	-	0,83
	5	6,8	28	220,8	-	1,39
	7	7	28	220,8	-	1,98
	10	7,1	28,2	220,8	-	2,86
	15	7,2	29	220,8	-	4,36
	20	7,2	30	211,2	4,35	5,86
	25	7,2	30,2	211,2	4,35	7,36
	30	7,2	31	211,2	4,35	8,86
	40	7,6	32	211,2	4,35	12,03
	50	7,8	33	211,2	4,35	15,28
	60	8,6	34	211,2	4,35	18,86
	75	9,2	35,9	182,4	17,39	24,61
	90	9,6	36,2	163,2	26,09	30,61
I=1A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 10 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.8. incelendiğinde, 1A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 10mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 163,2 mg/L'ye düştüğü ve %26,09'lık bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 36,2°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 6,3 Volt ila 9,6 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, 30,61 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.9. DeneySEL Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)
Standart	-	-	-	508,8	-	-
Su	-	-	-	0	-	-
Model Atık Su	0	17,6	22	220,8	-	-
	3	17,2	26	201,6	8,7	2,15
	5	17,4	28	192	13,04	3,6
	7	18,3	30	192	13,04	5,13
	10	18	32	192	13,04	7,38
	15	16,6	36,5	192	13,04	10,83
	20	16,4	40	192	13,04	14,25
	25	15,7	43	192	13,04	17,52
	30	15,3	46	182,4	17,39	20,71
	40	15,4	50	182,4	17,39	27,13
	50	15,2	53	182,4	17,39	33,46
	60	16	58	182,4	17,39	40,13
	75	15,3	59	172,8	21,74	49,69
	90	17,3	60	172,8	21,74	60,5
I=2A, C_0 =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 3 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.9. incelendiğinde, 2A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 3mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 172,8 mg/L'ye düştüğü ve %21,74'lük bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 60°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 17,6 Volt ila 18,3 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $60,5 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.10. DeneySEL Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
Standart		-	-	508,8	-	-
Su		-	-	0	-	-
Model Atık Su	0	12,3	25	220,8	-	-
	3	12,6	27	211,2	4,35	1,58
	5	12,7	29	201,6	8,7	2,63
	7	13	30	192	13,04	3,72
	10	13,2	32	182,4	17,39	5,37
	15	13,3	35	182,4	17,39	8,14
	20	12,7	38	172,8	21,74	10,78
	25	12	40	172,8	21,74	13,28
	30	11,2	42	172,8	21,74	15,62
	40	10,6	45	172,8	21,74	20,03
	50	10,6	47	153,6	30,43	24,45
	60	11,6	50	134,4	39,13	29,28
	75	12,3	52	134,4	39,13	36,97
	90	13,7	55	134,4	39,13	45,53
I=2A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 5 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.10. incelendiğinde, 2A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 5mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 134,4 mg/L'ye düştüğü ve %39,13'lük bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 55°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 10,6 Volt ila 13,7 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, 45,53 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.11. Deneysel Sonuçlar (2A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
Standart	-	-	-	508,8	-	-
Su	-	-	-	0	-	-
Model Atık Su	0	11,9	21	220,8	-	-
	3	11,2	23	211,2	4,35	1,4
	5	11	24	201,6	8,7	2,32
	7	11,1	25,5	192	13,04	3,24
	10	10,8	27	182,4	17,39	4,59
	15	10,2	29,5	182,4	17,39	6,72
	20	9,3	32	172,8	21,74	8,65
	25	9,2	34	163,2	26,09	10,57
	30	9,3	35	153,6	30,43	12,51
	40	9,8	38	134,4	39,13	16,59
	50	9,8	41	134,4	39,13	20,68
	60	10,3	43	134,4	39,13	24,97
	75	11,2	46	124,8	43,48	31,97
	90	12	48	124,8	43,48	39,47
I=2A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 10 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.11. incelendiğinde, 2A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 10mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 124,8 mg/L'ye düştüğü ve %43,48'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 48°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 9,2 Volt ila 12 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, 39,47 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.12. Deneysel Sonuçlar (3A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)
Standart	-	-	-	508,8	-	-
Su	-	-	-	0	-	-
Model Atık Su	0	27,3	22	220,8	-	-
	3	26,9	33	192	13,04	3,36
	5	25,9	36	192	13,04	5,6
	7	25,8	38	192	13,04	7,76
	10	24,3	43	192	13,04	10,99
	15	23,5	46	192	13,04	16,05
	20	23,3	50	182,4	17,39	20,95
	25	21,5	54	182,4	17,39	25,8
	30	20,1	64	172,8	21,74	30,28
	40	19,7	68	172,8	21,74	38,65
	50	21,7	76	172,8	21,74	46,86
	60	23,7	78	172,8	21,74	55,9
	75	27,5	74	172,8	21,74	70,72
	90	28,2	70	163,2	26,09	87,9
I=3A, C_0 =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 3 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM						

Çizelge 6.12. incelendiğinde, 3A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 3mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 163,2 mg/L'ye düştüğü ve %26,09'luk bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 70°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 19,7 Volt ila 28,2 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $87,9 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.13. *DeneySEL SonuÇlar (3A Akım Şiddeti, 200 mg/L BaşlangıÇ Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 200 RPM Karıştırma Hızı)*

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	13,2	21	220,8	-	-	4,34
	3	13	25	192	13,04	1,63	-
	5	12,7	28	192	13,04	2,68	1,8
	7	12,5	30	182,4	17,39	3,73	-
	10	12,3	32	182,4	17,39	5,26	2,4
	15	12,2	36	182,4	17,39	7,8	2,39
	20	12,1	39	172,8	21,74	10,33	4,6
	25	12,2	42	172,8	21,74	12,87	5,8
	30	12,6	45	163,2	26,09	15,49	6,72
	40	11,9	51	163,2	26,09	20,45	7,71
	50	11,3	56	163,2	26,09	25,16	8,89
	60	11,5	57	153,6	30,43	29,95	9,25
	75	12,4	60	144	34,78	37,7	9,19
	90	12,9	62	144	34,78	45,76	9
I=3A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 5 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.13. incelendiğinde, 3A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 5mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 144 mg/L'ye düştüğü ve %34,78'lik bir KOİ giderimi gerÇekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 62°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 11,3 Volt ila 13,2 Volt arasında değiştiği görölmüştür. Deney sonunda, 45,76 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıÇta 4,34 olan pH'ın 5. dakikada 1,8'e azaldığı ve sonrasında artışa geçerek 1 saat sonunda 9,25'lere kadar yükseldiği ve deney sonunda 9 olduğu görölmüştür.

Çizelge 6.14. Deneysel Sonuçlar (3,5A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	9,3	23	220,8	-	-	4,42
	3	9,2	27	220,8	-	1,15	4,41
	5	9,2	28	220,8	-	1,92	-
	7	9,1	30	220,8	-	2,68	5,53
	10	9,1	32	211,2	4,3	3,82	-
	15	8,7	36	211,2	4,3	5,72	-
	20	7,3	38	211,2	4,3	7,53	10,45
	25	7,9	40	201,6	8,7	9,05	10,33
	30	8	42	192	13	10,7	9,96
	40	7,7	46	182,4	17,4	14,03	9,75
	50	7	48	182,4	17,4	17,24	-
	60	4,1	47	172,8	21,7	20,15	9,96
	75	2,6	46	163,2	26,1	22,72	10,41
	90	2,5	44	163,2	26,1	24,34	10,41
I=3,5A, C_0 =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 20 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.14. incelendiğinde, 3,5A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 20mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 163,2 mg/L'ye düştüğü ve %26,1'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 48°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 2,5 Volt ila 9,3 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $24,34 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıçta 4,42 olan pH'ın 20. dakikaya kadar artış göstererek 10,45 değerine ulaştığı ve deney sonunda 10,41 olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.15. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	12,8	23	220,8	-	-	4,58
	3	12,2	28	220,8	-	1,53	-
	5	11,9	30	220,8	-	2,54	-
	7	11,6	33	220,8	-	3,53	-
	10	11,4	36	211,2	4,35	4,98	-
	15	10,7	40	211,2	4,35	7,36	-
	20	10	44	201,6	8,7	9,59	-
	25	10,5	47	201,6	8,7	11,67	-
	30	10,8	50	192	13,04	13,86	-
	40	11,1	55	182,4	17,39	18,36	-
	50	11,2	59	182,4	17,39	22,98	-
	60	11,9	60	172,8	21,74	27,65	-
	75	12,4	61	163,2	26,09	35,09	-
	90	10,6	58	153,6	30,43	42,84	-
I=4A, C_0 =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 30 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.15. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 30mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 153,6 mg/L'ye düştüğü ve %30,43'lük bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 61°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 10 Volt ila 12,8 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $42,84 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.16. DeneySEL SonuÇlar (3,5A Akım Şiddeti, 200 mg/L BaşlangıÇ Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	12,4	23	220,8	-	-	4,47
	3	11,9	27	220,8	-	1,49	-
	5	11,9	28	211,2	4,35	2,48	-
	7	11,8	31	211,2	4,35	3,47	-
	10	11,4	34	201,6	8,7	4,95	-
	15	11,4	38	201,6	8,7	7,32	-
	20	11,5	42	192	13,04	9,7	-
	25	11,9	46	192	13,04	12,09	-
	30	12,5	50	182,4	17,39	14,57	-
	40	12,3	57	182,4	17,39	19,78	-
	50	11,9	58	172,8	21,74	24,9	-
	60	11,8	58	172,8	21,74	29,86	-
	75	11,9	55	163,2	26,09	37,24	-
	90	13,3	54	153,6	30,43	44,68	-
I=3,5A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 20 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.16. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıÇ derişimi, 20mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 153,6 mg/L'ye düştüğü ve %30,43'lük bir KOİ giderimi gerÇekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 58°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 11,4 Volt ila 13,3 Volt arasında değiştiği görölmüştür. Deney sonunda, 44,68 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.17. DeneySEL SonuÇlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L BaşlangıÇ Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	9	23	220,8	-	-	4,43
	3	8,5	27	220,8	-	1,06	-
	5	8,3	28	220,8	-	1,77	-
	7	8,2	30	220,8	-	2,46	-
	10	8	32	211,2	4,3	3,49	-
	15	7,1	36	211,2	4,3	5,15	-
	20	6,9	38	211,2	4,3	6,63	9,56
	25	7,2	42	211,2	4,3	8,07	9,27
	30	7,5	44	201,6	8,7	9,57	8,9
	40	7,7	49	201,6	8,7	12,7	-
	50	8	53	201,6	8,7	15,9	8,5
	60	7,8	56	192	13	19,24	-
	75	5,7	58	192	13	24,11	9,37
	90	5,9	56	182,4	17,4	27,68	9,88
I=4A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 30 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.17. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıÇ derişimi, 30mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 182,4 mg/L'ye düştüğü ve %17,4'lük bir KOİ giderimi gerÇekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 58°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 5,7 Volt ila 9 Volt arasında değiştiği görölmüştür. Deney sonunda, 27,68 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıÇta 4,43 olan pH'ın 20. dakikada 9,56'ya ulaştığı ve deney sonunda 9,88 olduğu görölmüştür.

Çizelge 6.18. Deneysel Sonuçlar (3A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	9,5	24	230,4	-	-	4,45
	3	9,5	27	201,6	12,5	1,19	-
	5	9,4	28	201,6	12,5	1,97	-
	7	9,5	30	182,4	20,8	2,76	-
	10	9,3	32	182,4	20,8	3,93	5,11
	15	9,2	36	153,6	33,3	5,84	-
	20	9,2	39	153,6	33,3	7,76	6,72
	25	9,4	42	134,4	41,7	9,72	-
	30	9,3	44	134,4	41,7	11,65	7,56
	40	9,4	49	105,6	54,2	15,57	-
	50	9,5	52	105,6	54,2	19,53	8,84
	60	10	55	76,8	66,7	23,7	6,72
	75	10,1	58	57,6	75	30,01	7,44
	90	10,3	59	57,6	75	36,45	7,12
I=3A, C_0 =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 10 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.18. incelendiğinde, 3A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 10mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 230,4 mg/L'den 57,6 mg/L'ye düştüğü ve %75'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 59°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 9,2 Volt ila 10,3 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $36,45 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıçta 4,45 olan pH'ın artış göstererek 50. dakikada 8,84'e ulaştığı ve deney sonunda 7,12 olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.19. Deneysel Sonuçlar (3,5A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 15mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	9,4	22	220,8	-	-	4,56
	3	9,5	26	220,8	-	1,19	-
	5	9,4	27	220,8	-	1,97	6,32
	7	9,3	29	182,4	17,4	2,75	-
	10	9	31	182,4	17,4	3,87	8,93
	15	8,1	35	153,6	17,4	5,56	-
	20	8,5	38	153,6	30,4	7,33	11,61
	25	8,8	41	153,6	30,4	9,16	11,74
	30	8,6	45	153,6	30,4	10,95	11,68
	40	8,8	49	153,6	30,4	14,62	11,62
	50	9,1	53	115,2	47,8	18,41	11,59
	60	9,3	56	86,4	60,9	22,29	11,55
	75	9,1	59	48	78,3	27,98	11,63
	90	9,4	60	48	78,3	33,85	11,61
I=3,5A, C_0 =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 15 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.19. incelendiğinde, 3,5A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 15mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 48 mg/L'ye düştüğü ve %78,3'lük bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 60°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 8,1 Volt ila 9,5 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $33,85 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıçta 4,56 olan pH'ın deney süresince sürekli artış göstererek deney sonunda 11,61 olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.20. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	14,6	25	220,8	-	-	4,65
	3	14,6	31	220,8	-	1,83	-
	5	13,7	33	220,8	-	2,97	-
	7	12,2	35	192	13	3,98	-
	10	12,6	38	163,2	26,1	5,56	-
	15	13,6	42	105,6	52,2	8,39	-
	20	13,5	47	105,6	52,2	11,2	-
	25	12,8	50	105,6	52,2	13,87	-
	30	12,4	53	105,6	52,2	16,45	-
	40	12,6	57	76,8	65,2	21,7	-
	50	13	59	76,8	65,2	27,12	-
	60	13,1	61	76,8	65,2	32,58	-
	75	13,1	61	76,8	65,2	40,77	-
	90	13,1	57	38,4	82,6	48,95	-
I=4A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 20 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.20. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 20mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 38,4 mg/L'ye düştüğü ve %82,6'lık bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 61°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 12,2 Volt ila 14,6 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, 48,95 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.21. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 25mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	15,5	26	211,2	-	-	4,53
	3	13,1	28	211,2	-	1,64	-
	5	12,8	30	201,6	4,5	2,7	9,54
	7	12,3	32	182,4	13,6	3,73	-
	10	11,7	36	134,4	36,4	5,19	9,64
	15	12	40	134,4	36,4	7,69	9,33
	20	12,3	44	86,4	59,1	10,25	9,24
	25	11,7	54	86,4	59,1	12,69	9,66
	30	11,9	58	86,4	59,1	15,17	9,9
	40	13,6	61	67,2	68,2	20,84	9,92
	50	12,7	62	67,2	68,2	26,13	9,85
	60	12,5	61	67,2	68,2	31,34	9,71
	75	12,6	60	67,2	68,2	39,21	9,55
	90	12,6	59	38,4	81,8	47,09	9,66
I=4A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 25 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.21. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 25mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 211,2 mg/L'den 38,4 mg/L'ye düştüğü ve %81,8'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 62°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 11,7 Volt ile 15,5 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, 47,09 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıçta 4,53 olan pH'ın deney süresince artış göstererek deney sonunda 9,66 olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.22. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	9,4	25	220,8	-	-	4,52
	3	9,5	28	220,8	-	1,19	-
	5	8,4	29	220,8	-	1,89	-
	7	8,2	31	182,4	17,4	2,57	-
	10	8,1	32	153,6	30,4	3,58	-
	15	8,4	34	96	56,5	5,33	-
	20	8,2	36	96	56,5	7,04	-
	25	8,8	39	96	56,5	8,88	-
	30	9,4	41	96	56,5	10,83	-
	40	9,4	42	67,2	69,6	14,75	-
	50	9,3	44	67,2	69,6	18,63	-
	60	9,4	46	67,2	69,6	22,54	-
	75	9,3	49	67,2	69,6	28,35	-
	90	9,2	51	28,8	87	34,1	-
I=4A, C_0 =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 30 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.22. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 30mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 28,8 mg/L'ye düştüğü ve %87'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 51°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 8,1 Volt ila 9,5 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $34,1 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.23. Deneysel Sonuçlar (3,5A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	8,9	21	211,2	-	-	4,33
	3	8,8	25	163,2	22,73	1,1	-
	5	8,8	26	163,2	22,73	1,83	6,8
	7	8,9	27	163,2	22,73	2,58	-
	10	8,9	30	144	31,82	3,69	7
	15	8,6	33	144	31,82	5,48	-
	20	8,2	37	115,2	45,45	7,19	9,31
	25	8,2	40	115,2	45,45	8,9	9,7
	30	8,3	42	96	54,55	10,63	9,6
	40	9	47	67,2	68,18	14,38	9,4
	50	9,7	52	67,2	68,18	18,42	9
	60	10,7	57	38,4	81,82	22,88	8,3
	75	12,4	64	38,4	81,82	30,63	7,4
	90	11,5	70	38,4	81,82	37,81	7,3
I=3,5A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 20 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.23. incelendiğinde, 3,5A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 20mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 211,2 mg/L'den 38,4 mg/L'ye düştüğü ve %81,82'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 70°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 8,2 Volt ila 12,4 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, 37,81 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıçta 4,33 olan pH'ın 25. dakikaya kadar artış göstererek 9,7 değerine ulaştığı, 25. dakikadan sonra ise bir miktar azalarak deney sonunda 7,3 olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.24. Deneysel Sonuçlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L Başlangıç Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m^3)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	14,8	24	220,8	-	-	4,46
	3	11,8	30	182,4	17,39	1,48	-
	5	11,9	31	134,4	39,13	2,47	-
	7	11,8	33	134,4	39,13	3,45	-
	10	11,6	37	124,8	43,48	4,9	-
	15	11,4	40	124,8	43,48	7,28	-
	20	10,5	44	124,8	43,48	9,46	-
	25	9,7	47	124,8	43,48	11,48	-
	30	10,5	50	105,6	52,17	13,67	-
	40	11,2	57	96	56,52	18,34	-
	50	10,7	60	96	56,52	22,8	-
	60	10,5	57	96	56,52	27,17	-
	75	10,6	58	67,2	69,57	33,8	-
	90	10,5	58	38,4	82,61	40,36	-
I=4A, C_0 =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na_2SO_4): 30 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM							

Çizelge 6.24. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 30mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 38,4 mg/L'ye düştüğü ve %82,61'lik bir KOİ giderimi gerçekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 60°C 'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 9,7 Volt ila 14,8 Volt arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonunda, $40,36 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 6.25. DeneySEL SonuÇlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L BaşlangıÇ Derişimi, 20mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat (Na₂SO₄), 1mL Hidrojen Peroksit (H₂O₂), 200 RPM Karıştırma Hızı)

	Zaman (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	pH
Standart		-	-	508,8	-	-	-
Su		-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	12,5	24	220,8	-	-	5,02
	3	12,5	29	211,2	4,3	1,56	-
	5	11,6	31	211,2	4,3	2,53	7,33
	7	10,1	33	211,2	4,3	3,37	-
	10	10,5	36	192	13	4,68	9,92
	15	11,5	40	172,8	21,7	7,08	-
	20	11,4	45	153,6	30,4	9,45	11,59
	25	10,7	48	134,4	39,1	11,68	11,72
	30	10,3	51	115,2	47,8	13,83	11,66
	40	10,5	53	96	56,5	18,2	11,60
	50	10,9	55	76,8	65,2	22,75	11,57
	60	11	57	57,6	73,9	27,33	11,53
	75	11,1	57	38,4	82,6	34,27	11,61
	90	11	57	33,6	84,8	41,14	11,61
I=4A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 20 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM 1 mL H ₂ O ₂ İlaveli Elektrofenton Uygulaması							

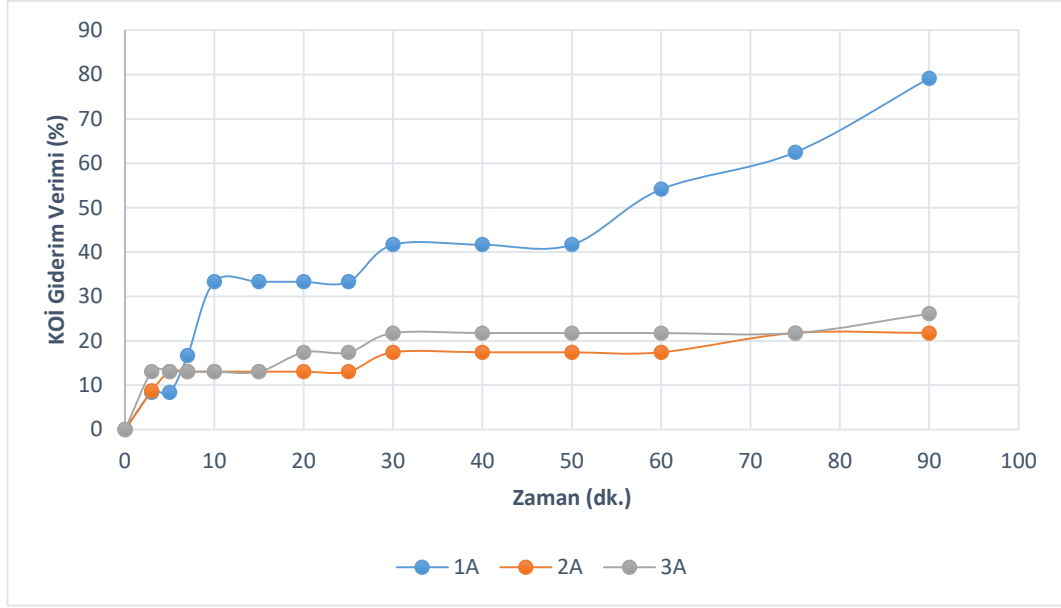
Çizelge 6.25. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıÇ derişimi, 20mM Sodyum Sülfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 1mL H₂O₂ ilaveli elektrofenton prosesi uygulamasıyla, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 33,6 mg/L'ye düştüğü ve %84,8'lik bir KOİ giderimi gerÇekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 57°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 10,1 Volt ila 12,5 Volt arasında değiştiği görölmüştür. Deney sonunda, 41,14 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıÇta 5,02 olan pH'ın deney süresince artış göstererek deney sonunda 11,61 olduğu görölmüştür.

Çizelge 6.26. DeneySEL SonuÇlar (4A Akım Şiddeti, 200 mg/L BaşlangıÇ Derişimi, 30mM Destek Elektrolit Sodyum Sulfat (Na₂SO₄), 2mL Hidrojen Peroksit (H₂O₂), 200 RPM Karıştırma Hızı)

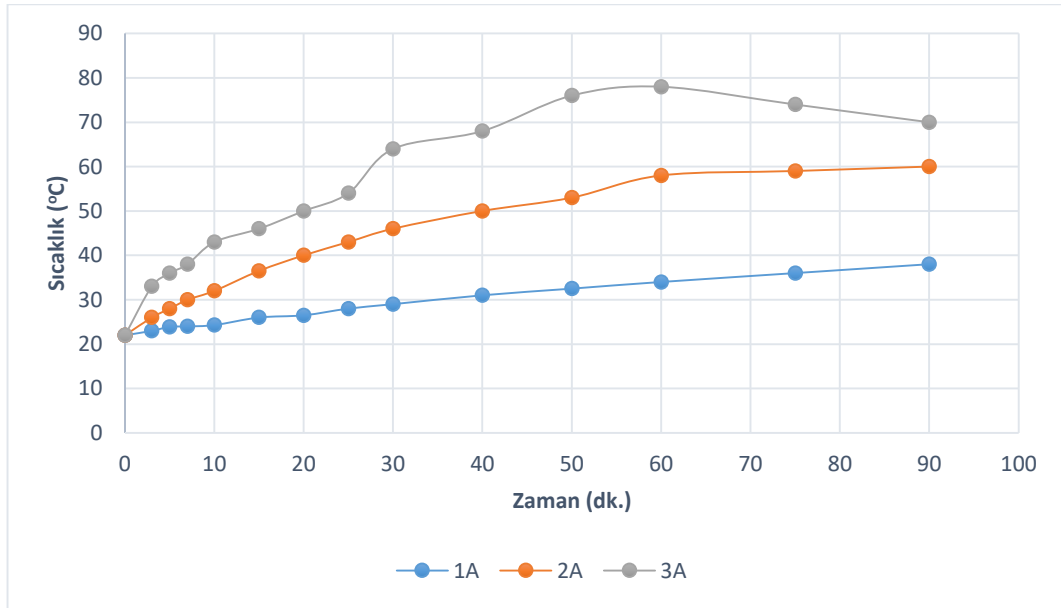
	Zaman (t) (dk.)	Gerilim (Volt)	Sıcaklık (°C)	KOİ (mg/L)	KOİ Gid. Ver. (%)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	pH
Standart	-	-	-	508,8	-	-	-
Su	-	-	-	0	-	-	-
Model Atık Su	0	9,2	24	220,8	-	-	5,5
	3	9,3	27	220,8	-	1,16	-
	5	8,2	28	220,8	-	1,85	7,54
	7	8	30	201,6	8,7	2,51	-
	10	8,1	31	182,4	17,4	3,53	10,62
	15	8,2	33	163,2	26,1	5,23	10,31
	20	8	35	144	34,8	6,9	10,22
	25	8,6	38	124,8	43,5	8,69	10,64
	30	9,2	40	105,6	52,2	10,61	10,88
	40	9,2	41	86,4	60,9	14,44	10,90
	50	9,1	43	67,2	69,6	18,23	10,83
	60	9,2	45	57,6	73,9	22,07	10,69
	75	9,1	48	38,4	82,6	27,75	10,53
	90	9	50	19,2	91,2	33,38	10,64
I=4A, C ₀ =200 mg/L, Destek Elektrolit (Na ₂ SO ₄): 30 mM, Karıştırma Hızı: 200 RPM 2 mL H ₂ O ₂ İlaveli Elektrofenton Uygulaması							

Çizelge 6.26. incelendiğinde, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıÇ derişimi, 30mM Sodyum Sulfat (Na₂SO₄) destek elektrolit, 2mL H₂O₂ ilaveli elektrofenton prosesi uygulamasıyla, 200 RPM karıştırma hızında KOİ değerinin 220,8 mg/L'den 19,2 mg/L'ye düştüğü ve %91,2'lik bir KOİ giderimi gerÇekleştiği hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü yapılmış ve maksimum 50°C'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerilimin ise 8 Volt ila 9,3 Volt arasında değiştiği görölmüştür. Deney sonunda, 33,38 kWh/m³ kümülatif bir enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır. pH ölçümü yapılmış; başlangıÇta 5,5 olan pH'ın deney süresince artış göstererek deney sonunda 10,64 olduğu görölmüştür.

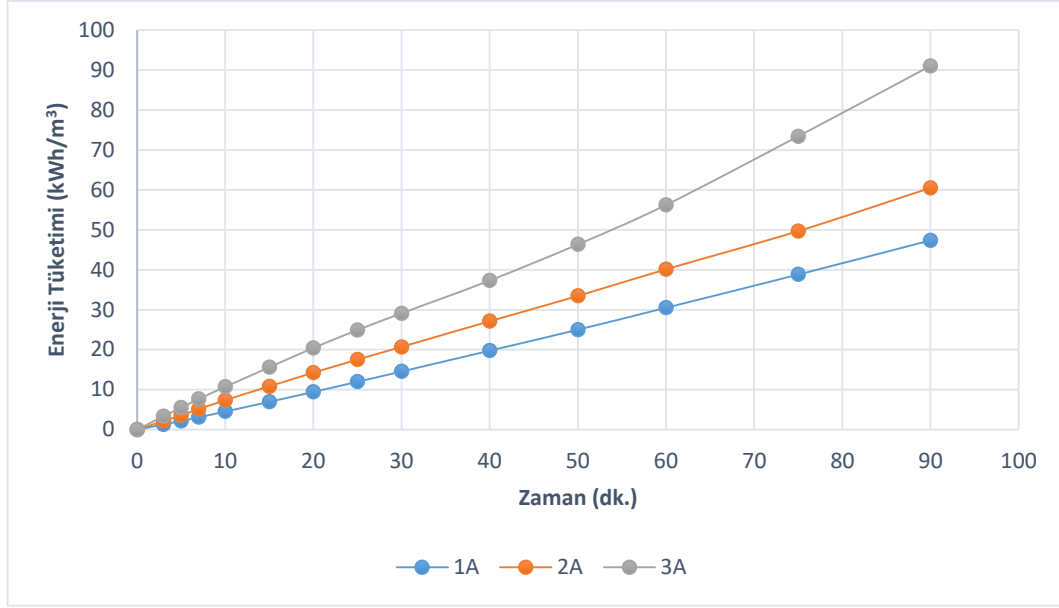
Deney sonuÇlarından elde edilen şekiller belirli şartlar altında belirli sabit parametrelere göre 3'erli gruplar halinde incelenecek olursa;



Şekil 6.1. Akım Şiddetinin KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

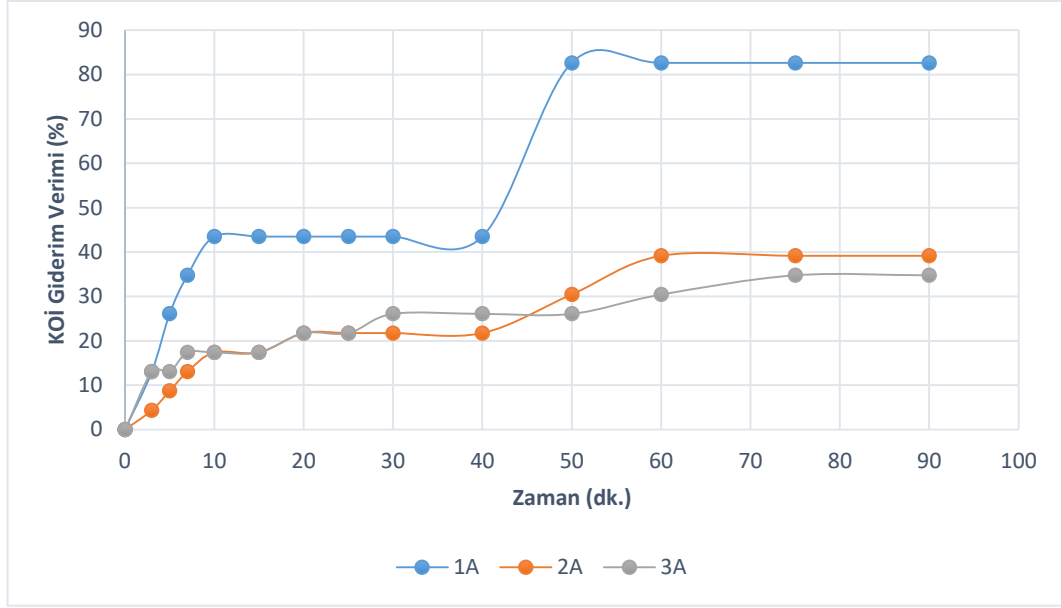


Şekil 6.2. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

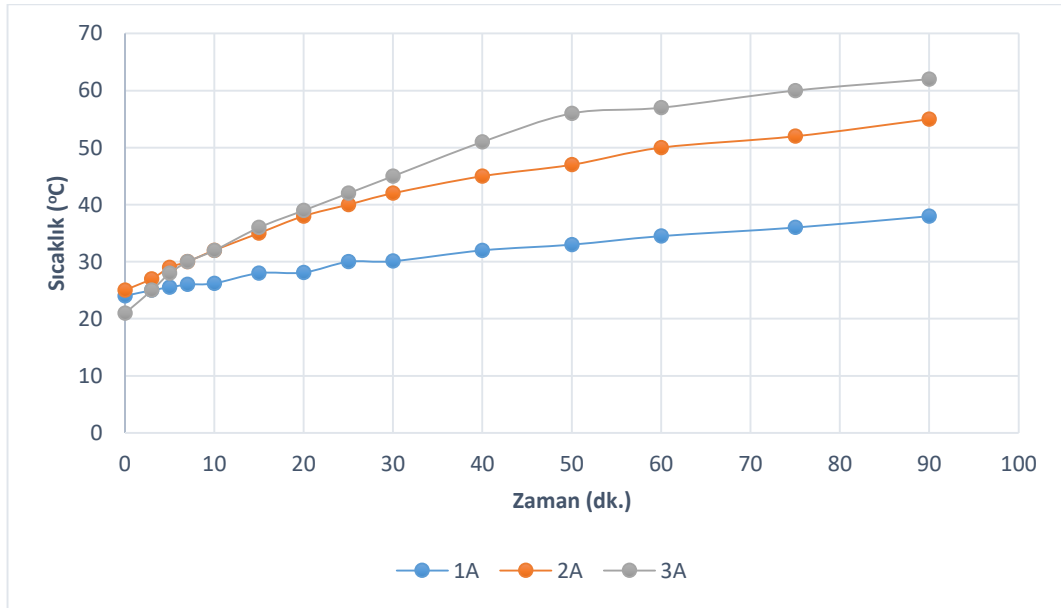


Şekil 6.3. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

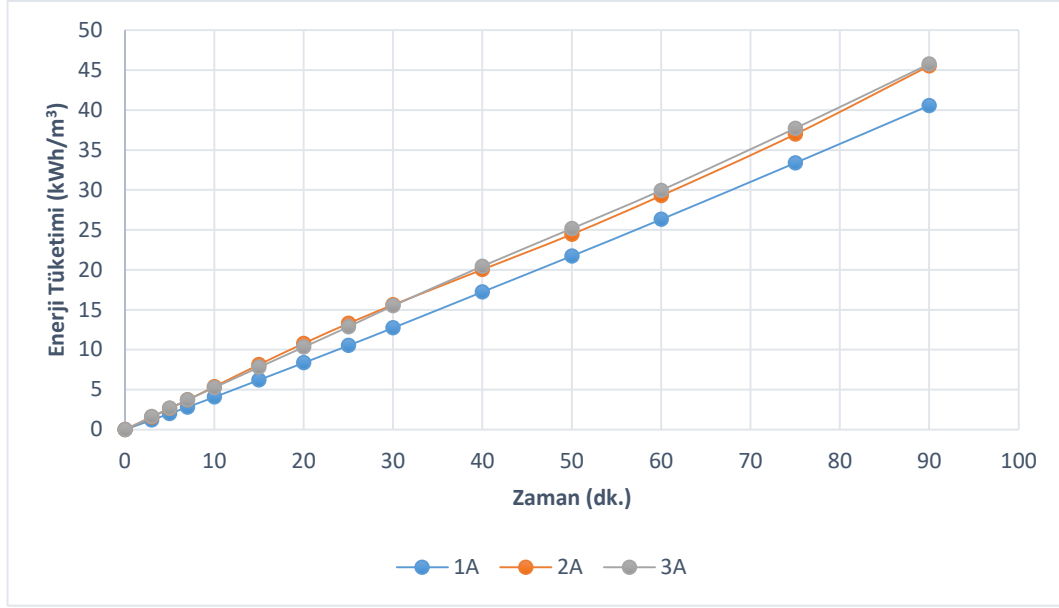
Şekil 6.1. Şekil 6.2. ve Şekil 6.3. incelendiğinde, deney grubunun 200 mg/L başlangıç derişimi, 3mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak, 1A, 2A ve 3A sabit akım şiddetlerinde yapıldığı görülmektedir. Bu deney grubunda, Şekil 6.1. incelendiğinde 2A ve 3A akım şiddetlerinde % KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %21,74 ile %26,09 değerlerinde kaldığı ve en yüksek KOİ giderim veriminin %79,17 ile 1A akım şiddetinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Şekil 6.2. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 38°C, 60°C ve 70°C olduğu görülmektedir. Buna göre 1A akım şiddetinde uygulanan deneyde gözlemlenen 38°C sıcaklığın daha uygun olduğu görülmektedir. Şekil 6.3. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 47,4 kWh/m³, 60,5 kWh/m³ ve 91,06 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer yine 1A akım şiddetinde uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, en uygun sonuçların 1A akım şiddetinde yapılan deneyde elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6.4. Akım Şiddetinin KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

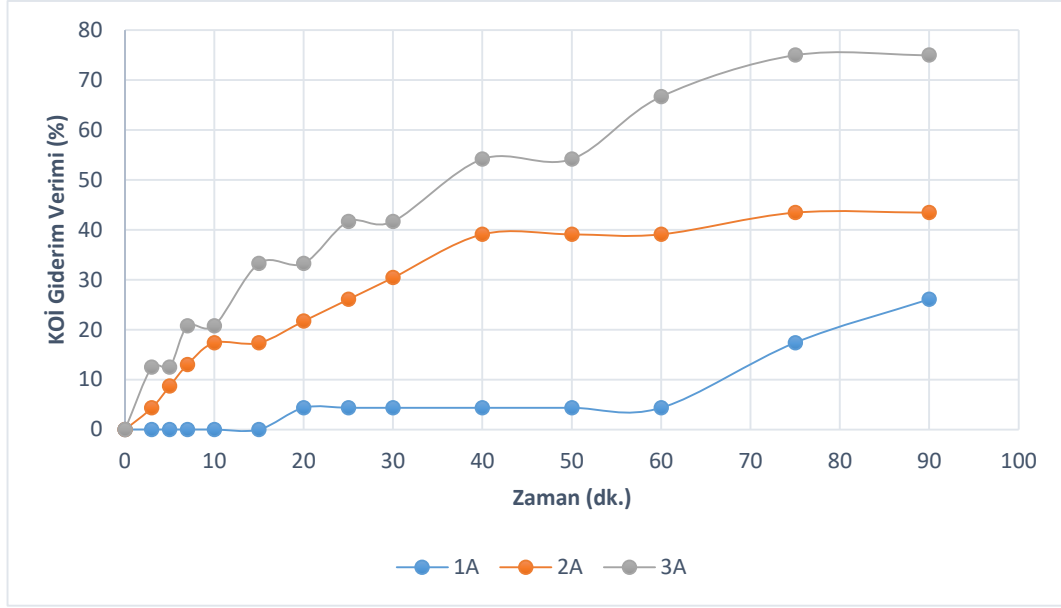


Şekil 6.5. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

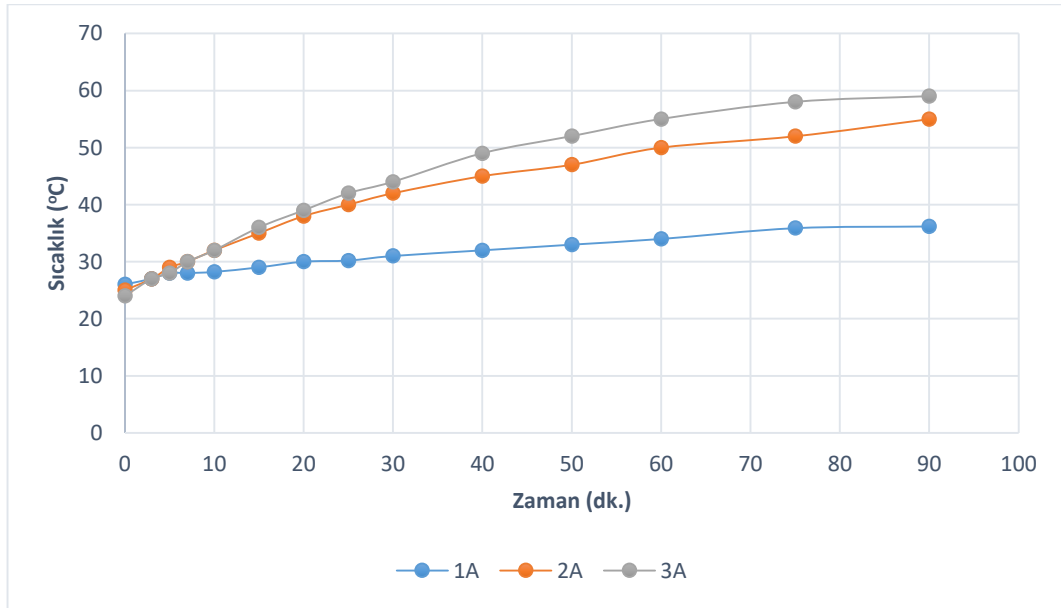


Şekil 6.6. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

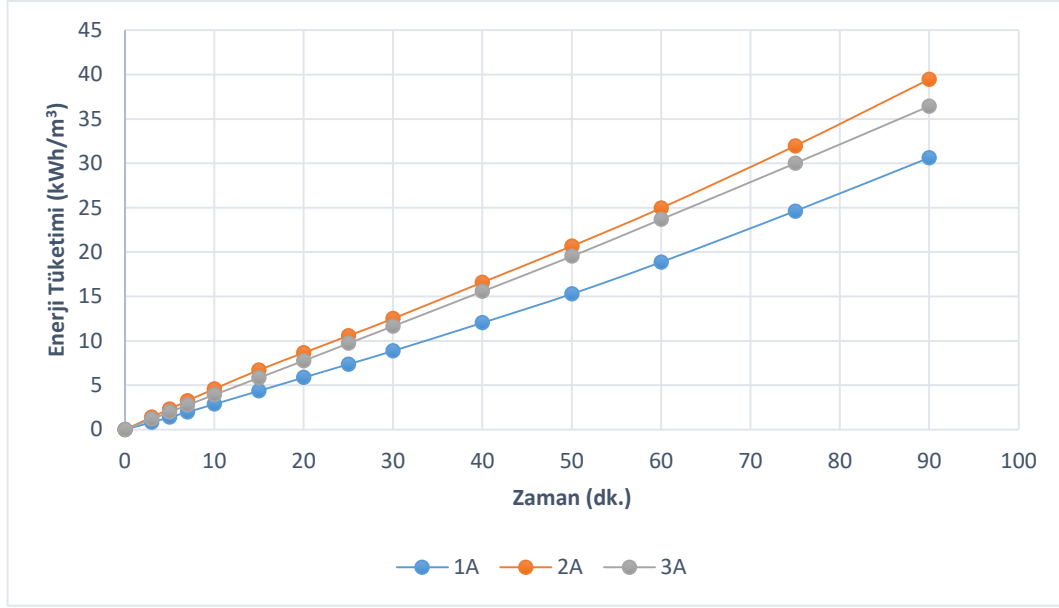
Şekil 6.4. Şekil 6.5. ve Şekil 6.6. incelendiğinde, deney grubunun 200 mg/L başlangıç derişimi, 5mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak, 1A, 2A ve 3A sabit akım şiddetlerinde yapıldığı görülmektedir. Bu deney grubunda, Şekil 6.4. incelendiğinde 2A ve 3A akım şiddetlerinde % KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %39,13 ile %34,78 değerlerinde kaldığı ve en yüksek KOİ giderim veriminin %82,61 ile 1A akım şiddetinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Şekil 6.5. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 38°C, 55°C ve 62°C olduğu görülmektedir. Buna göre 1A akım şiddetinde uygulanan deneyde gözlemlenen 38°C sıcaklığın daha uygun olduğu görülmektedir. Şekil 6.6. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 40,57 kWh/m³, 45,53 kWh/m³ ve 45,76 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer yine 1A akım şiddetinde uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, en uygun sonuçların 1A akım şiddetinde yapılan deneyde elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6.7. Akım Şiddetinin KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

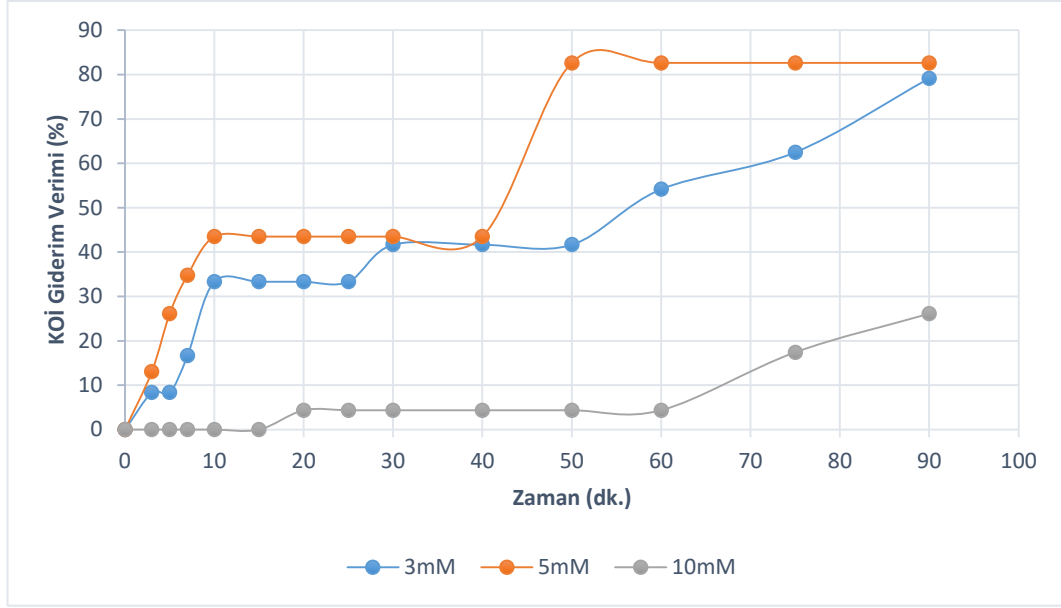


Şekil 6.8. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

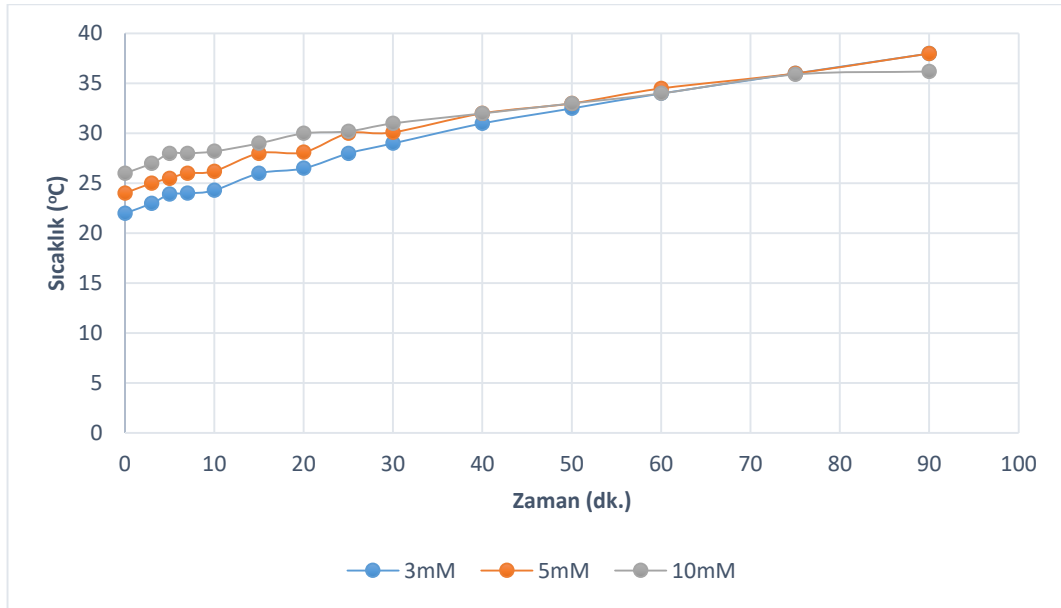


Şekil 6.9. Akım Şiddetinin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4))

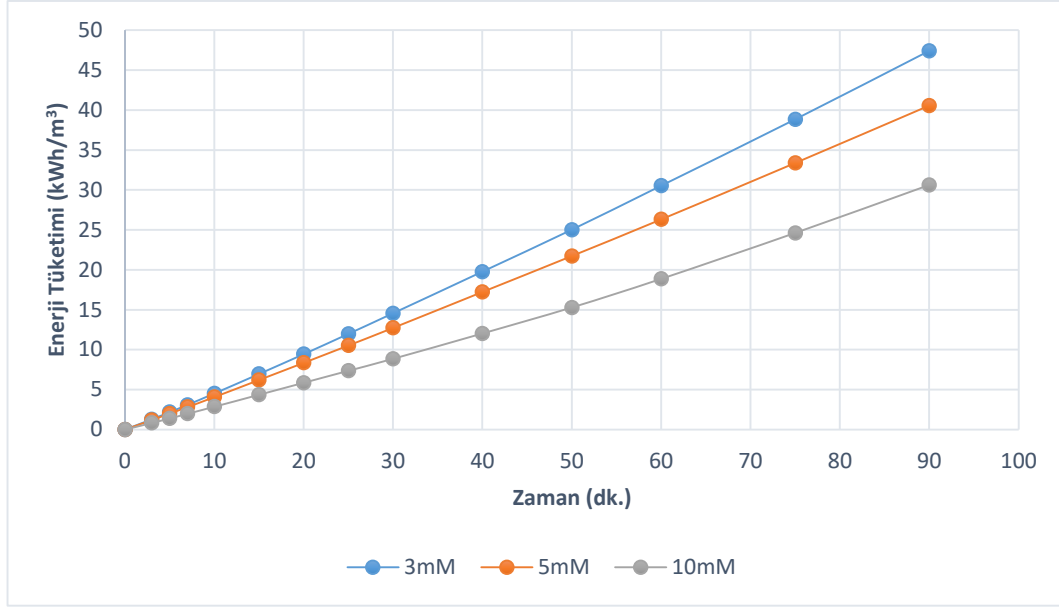
Şekil 6.7. Şekil 6.8. ve Şekil 6.9. incelendiğinde, deney grubunun 200 mg/L başlangıç derişimi, 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak, 1A, 2A ve 3A sabit akım şiddetlerinde yapıldığı görülmektedir. Bu deney grubunda, Şekil 6.7. incelendiğinde 1A ve 2A akım şiddetlerinde % KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %26,09 ve %43,48 değerlerinde kaldığı ve en yüksek KOİ giderim veriminin %75 ile 3A akım şiddetinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Şekil 6.8. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 36,2°C, 55°C ve 59°C olduğu görülmektedir. Buna göre 1A akım şiddetinde uygulanan deneyde gözlemlenen 38°C sıcaklığın daha uygun olduğu görülmektedir. Şekil 6.9. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 30,61 kWh/m³, 39,47 kWh/m³ ve 36,45 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer yine 1A akım şiddetinde uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, Sıcaklık ve enerji tüketimi açısından 1A akım şiddetinin en uygun seçenek, giderim verimi açısından ise 3A akım şiddetinin en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.10. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 1A Sabit Akım Şiddeti)

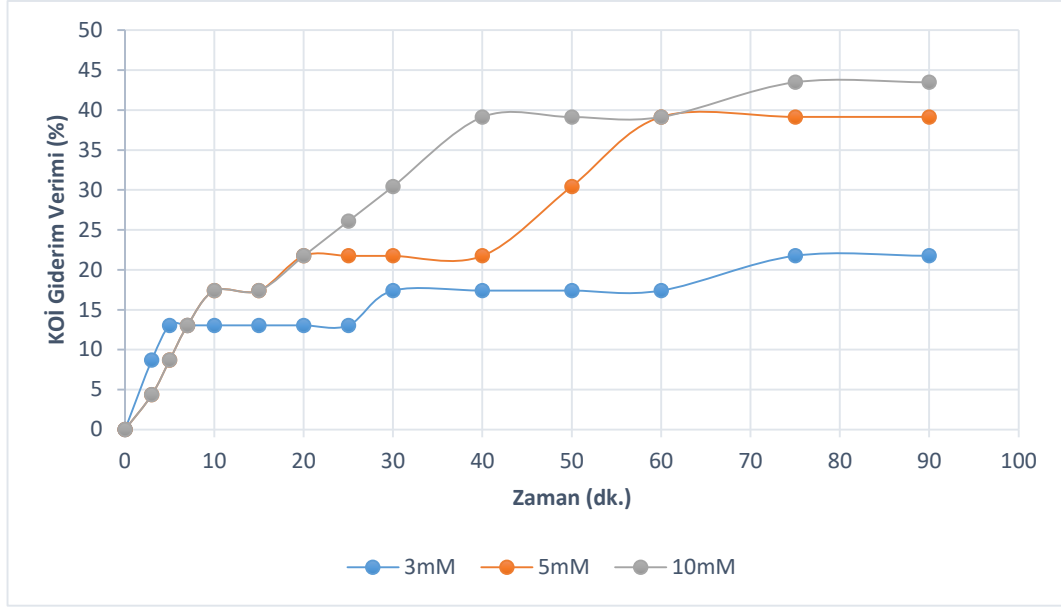


Şekil 6.11. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 1A Sabit Akım Şiddeti)

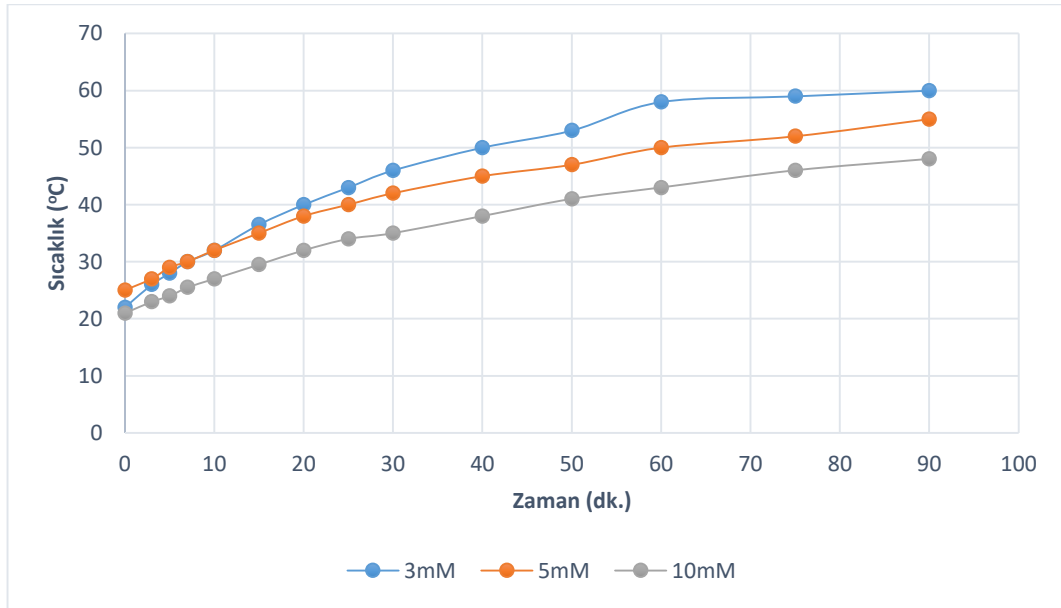


Şekil 6.12. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 1A Sabit Akım Şiddeti)

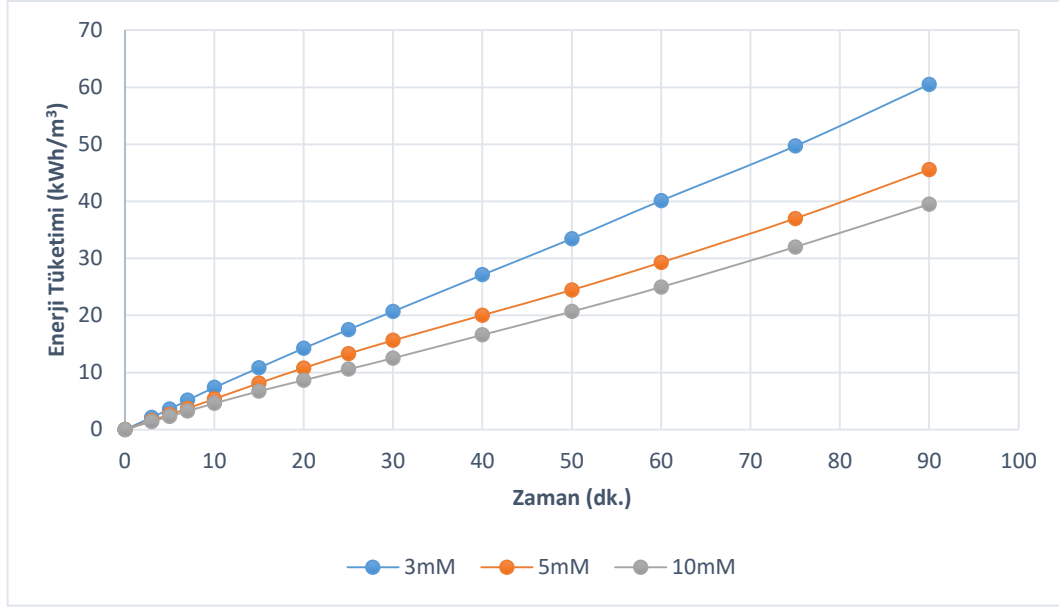
Şekil 6.10. Şekil 6.11. ve Şekil 6.12. incelendiğinde, deney grubunun 200 mg/L başlangıç derişimi, 1A sabit akım şiddetinde, 3mM, 5mM ve 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak yapıldığı görülmektedir. Bu deney grubunda, Şekil 6.10. incelendiğinde 10mM Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak yapılan deneyde KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %26,09, %79,17 ve %82,61 olduğu görülmektedir. Buna göre, en yüksek KOİ giderim veriminin %82,61 ile 5mM Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak yapılan deneyde gerçekleştiği gözlenmiştir. Şekil 6.11. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 38°C, 38°C ve 36,2°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda her ne kadar aşırı sıcaklık artışı gözlenmese de 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanan deneyde gözlenen 36,2°C sıcaklığın en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.12. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 47,4 kWh/m³, 40,57 kWh/m³ ve 30,61 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer yine 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, Sıcaklık ve enerji tüketimi açısından 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) en uygun seçenek, KOİ giderim verimi açısından ise 5mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanan deneyin en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.13. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)

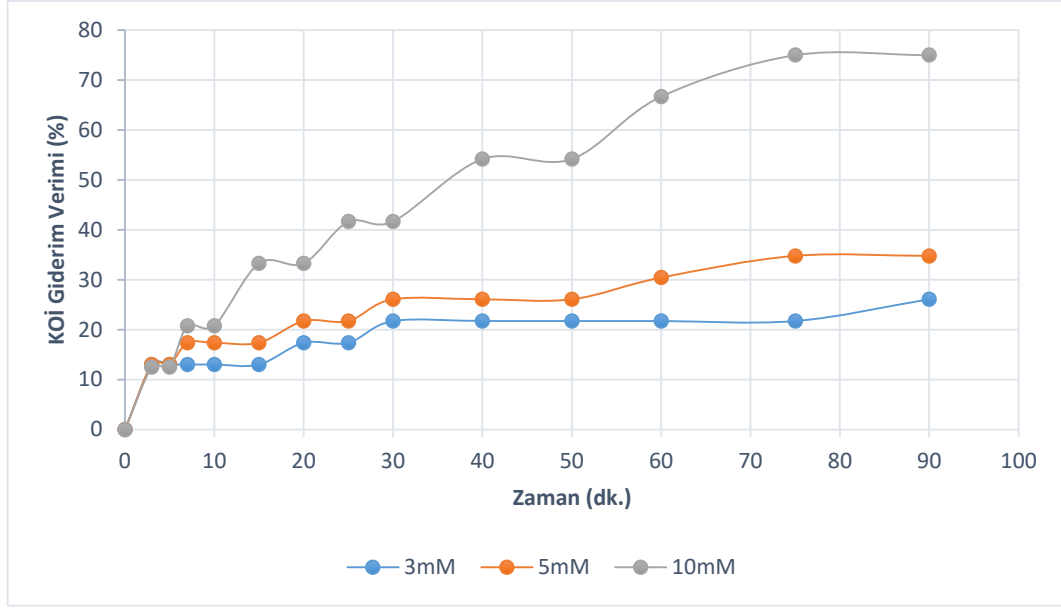


Şekil 6.14. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)

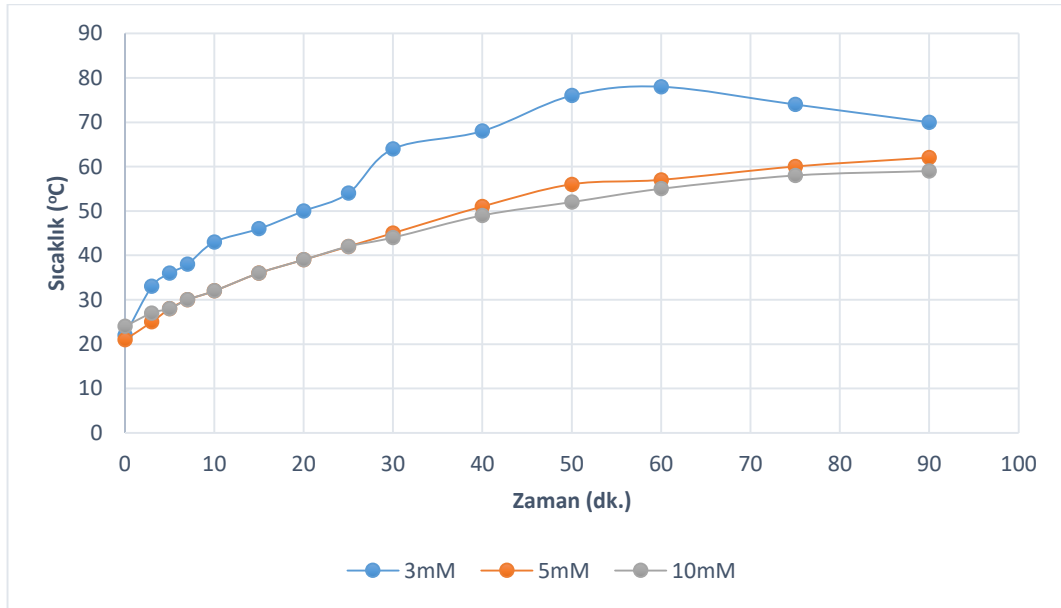


Şekil 6.15. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)

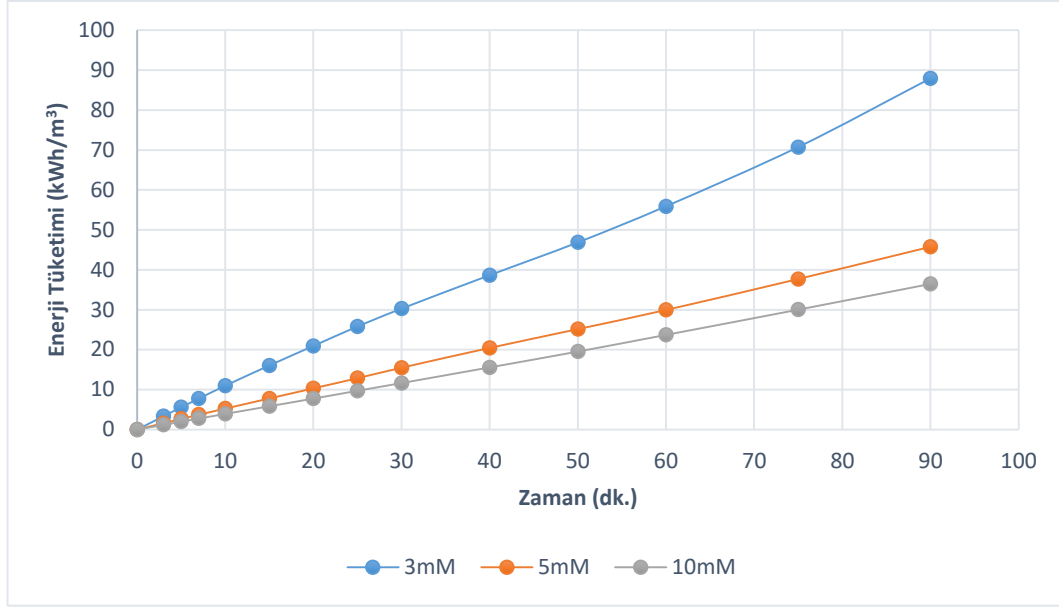
Şekil 6.13. Şekil 6.14. ve Şekil 6.15. incelendiğinde, deney grubunun 200 mg/L başlangıç derişimi, 2A sabit akım şiddetinde, 3mM, 5mM ve 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak yapıldığı görülmektedir. Şekil 6.13. incelendiğinde bu deney grubunda, KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %21,74, %39,13 ve %43,48 olduğu görülmektedir. Buna göre KOİ giderim verimi açısından en uygun seçeneğin %43,48 ile 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulaması olduğu görülmektedir. Şekil 6.14. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 60°C, 55°C ve 48°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda sıcaklık açısından maksimum 48°C sıcaklık ile 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.15. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 60,5 kWh/m³, 45,53 kWh/m³ ve 39,47 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer yine 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, KOİ giderim verimi, sıcaklık ve enerji tüketimi açılarından 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.16. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3A Sabit Akım Şiddeti)

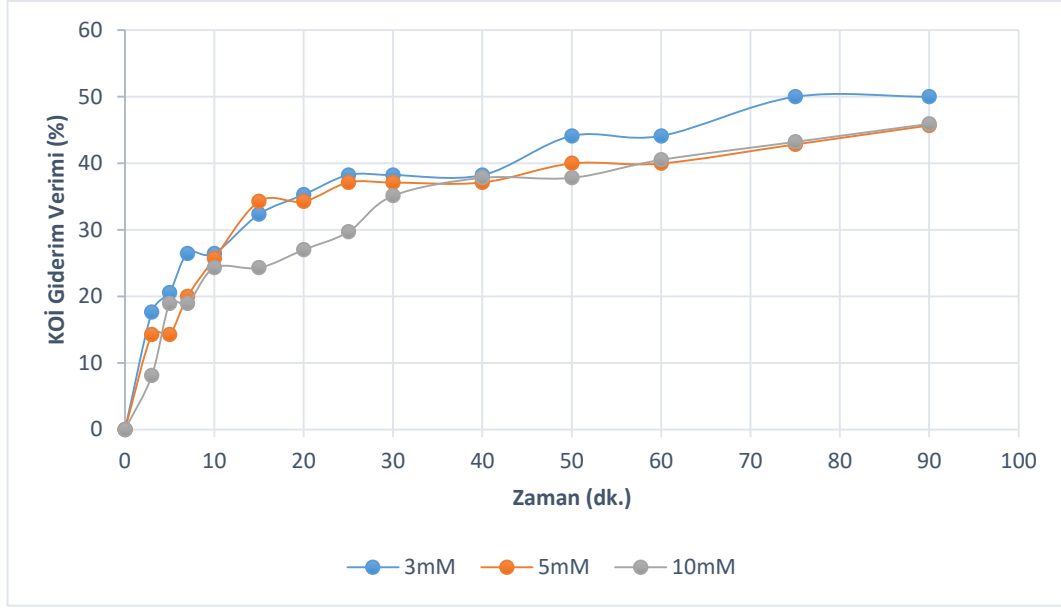


Şekil 6.17. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3A Sabit Akım Şiddeti)

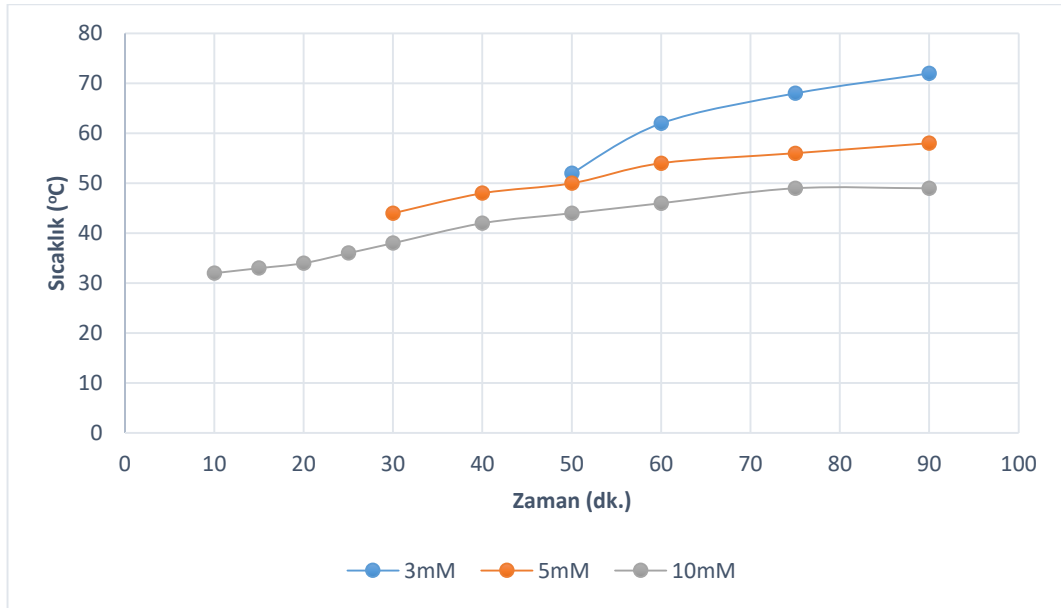


Şekil 6.18. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3A Sabit Akım Şiddeti)

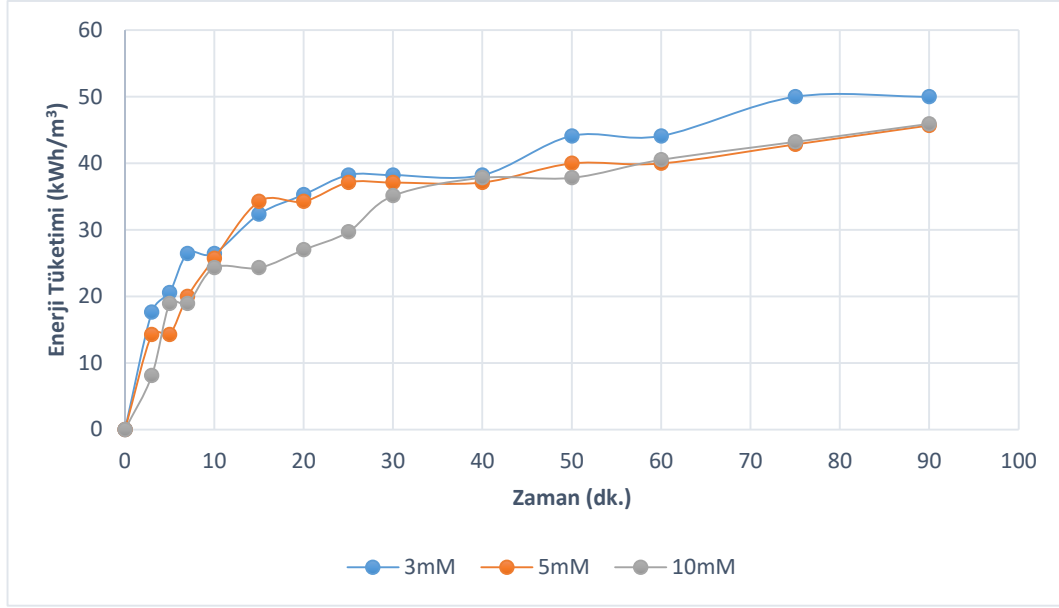
Şekil 6.16. Şekil 6.17. ve Şekil 6.18. incelendiğinde, deney grubunun 200 mg/L başlangıç derişimi, 3A sabit akım şiddetinde, 3mM, 5mM ve 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak yapıldığı görülmektedir. Şekil 6.16. incelendiğinde bu deney grubunda, KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %26,09, %34,78 ve %75 olduğu görülmüş, en uygun seçeneğin %75 ile 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulandığında ortaya çıktığı gözlenmiştir. Şekil 6.17. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 70°C, 62°C ve 59°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda sıcaklık açısından maksimum 59°C sıcaklık ile 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanmasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.18. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 87,9 kWh/m³, 45,76 kWh/m³ ve 36,45 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer yine 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, KOİ giderim verimi, sıcaklık ve enerji tüketimi açılarından 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.19. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (300 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)

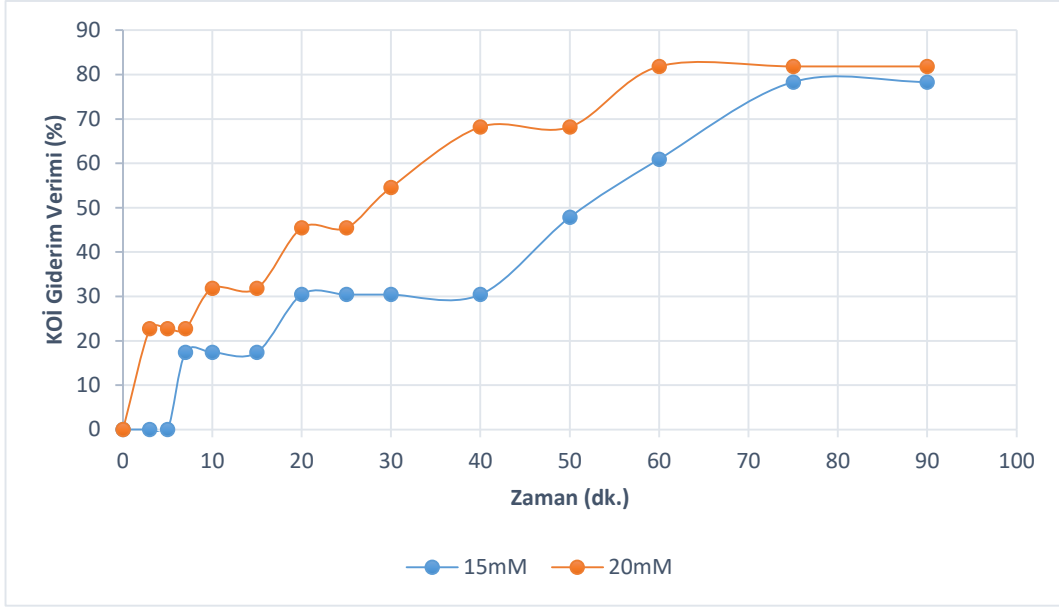


Şekil 6.20. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (300 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)

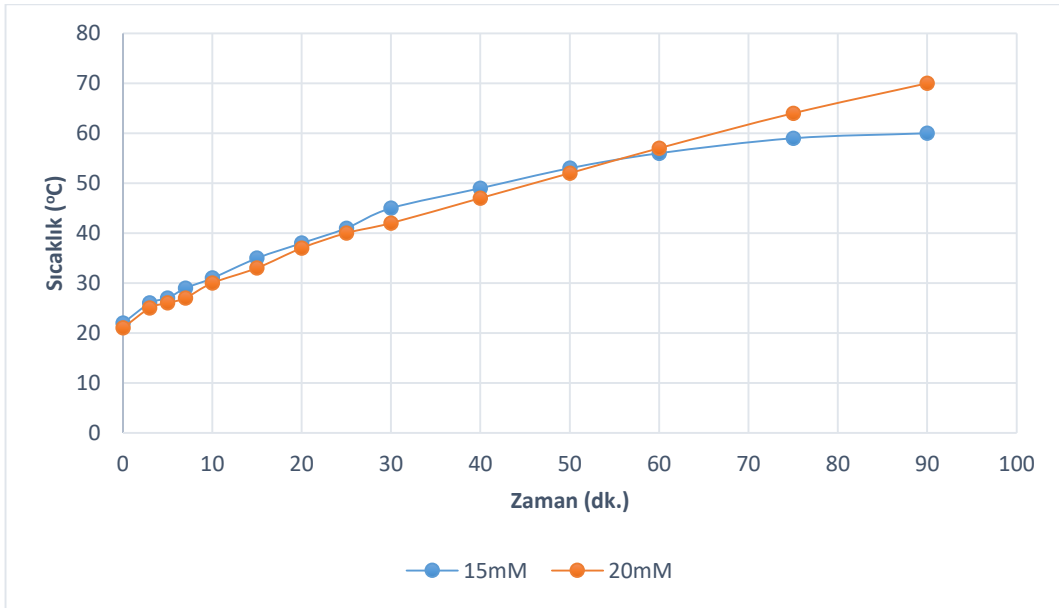


Şekil 6.21. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (300 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)

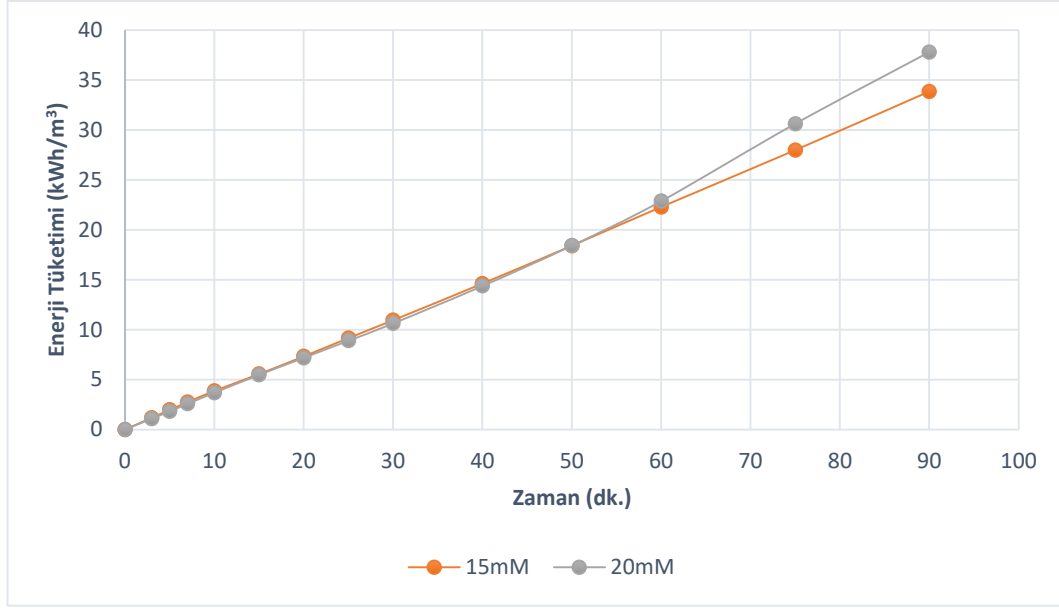
Şekil 6.19. Şekil 6.20. ve Şekil 6.21. incelendiğinde, deney grubunun 300 mg/L başlangıç derişimi, 2A sabit akım şiddetinde, 3mM, 5mM ve 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak yapıldığı görülmektedir. Şekil 6.19. incelendiğinde bu deney grubunda, KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %50, %45,71 ve %45,95 olduğu görülmüş, en uygun seçeneğin %50 ile 3mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulandığında ortaya çıktığı gözlenmiştir. Şekil 6.20. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 72°C, 58°C ve 49°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda sıcaklık açısından maksimum 49°C sıcaklık ile 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.21. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 133,56 kWh/m³, 77,15 kWh/m³ ve 63,82 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer yine 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, sıcaklık ve enerji tüketimi açısından 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu, KOİ giderim verimi açısından ise 3mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.22. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3,5A Sabit Akım Şiddeti)

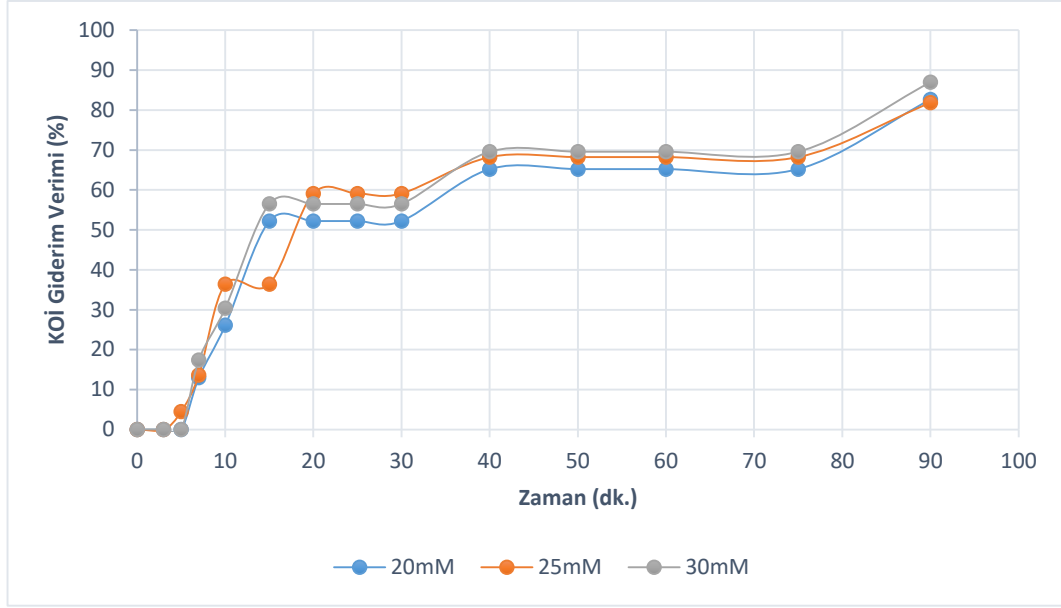


Şekil 6.23. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 3,5A Sabit Akım Şiddeti)

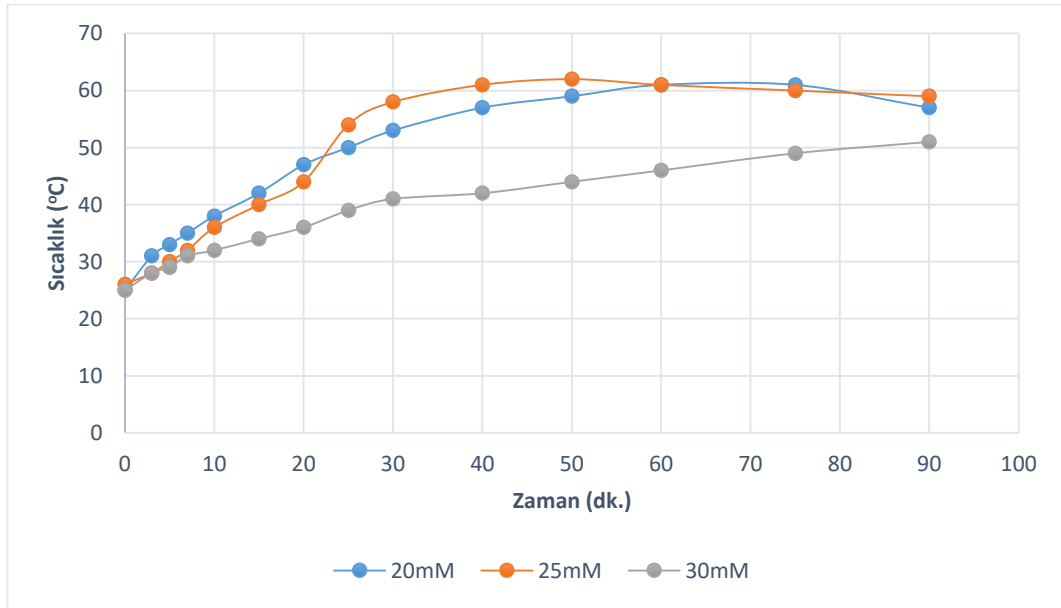


Şekil 6.24. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (300 mg/L Başlangıç Derişimi, 2A Sabit Akım Şiddeti)

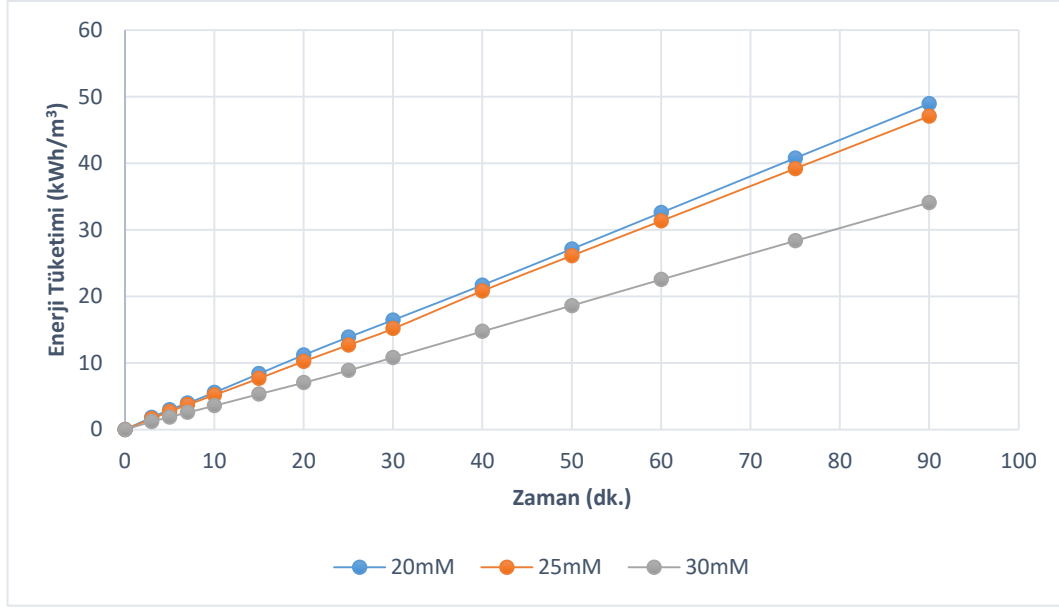
Şekil 6.22. Şekil 6.23. ve Şekil 6.24. incelendiğinde, deney grubunun 200 mg/L başlangıç derişimi, 3,5A sabit akım şiddetinde, 15mM ve 20mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak yapıldığı görülmektedir. Şekil 6.22. incelendiğinde bu deney grubunda, KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %78,3 ve %81,2 olduğu görülmüş, en uygun seçeneğin %81,2 ile 20mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulandığında ortaya çıktığı gözlenmiştir. Şekil 6.23. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 60°C ve 70°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda sıcaklık açısından maksimum 60°C sıcaklık ile 15mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.24. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 33,85 kWh/m³ ve 37,81 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer 15mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, sıcaklık ve enerji tüketimi açısından 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu, KOİ giderim verimi açısından ise 20mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.25. Destek Elektrolit Miktarının KOİ Giderim Verimine Etkisi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 4A Sabit Akım Şiddeti)

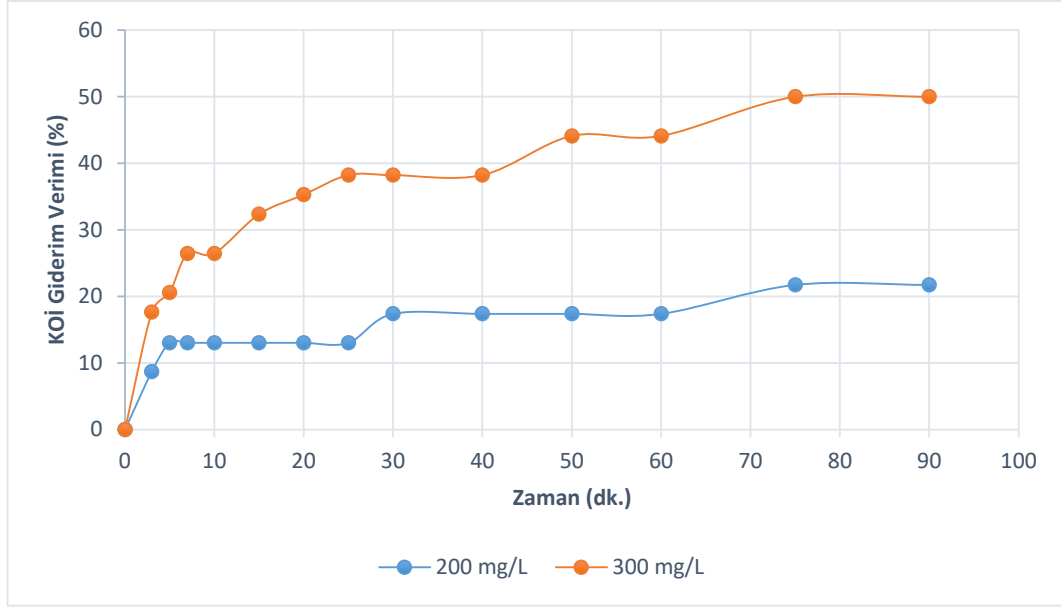


Şekil 6.26. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 4A Sabit Akım Şiddeti)

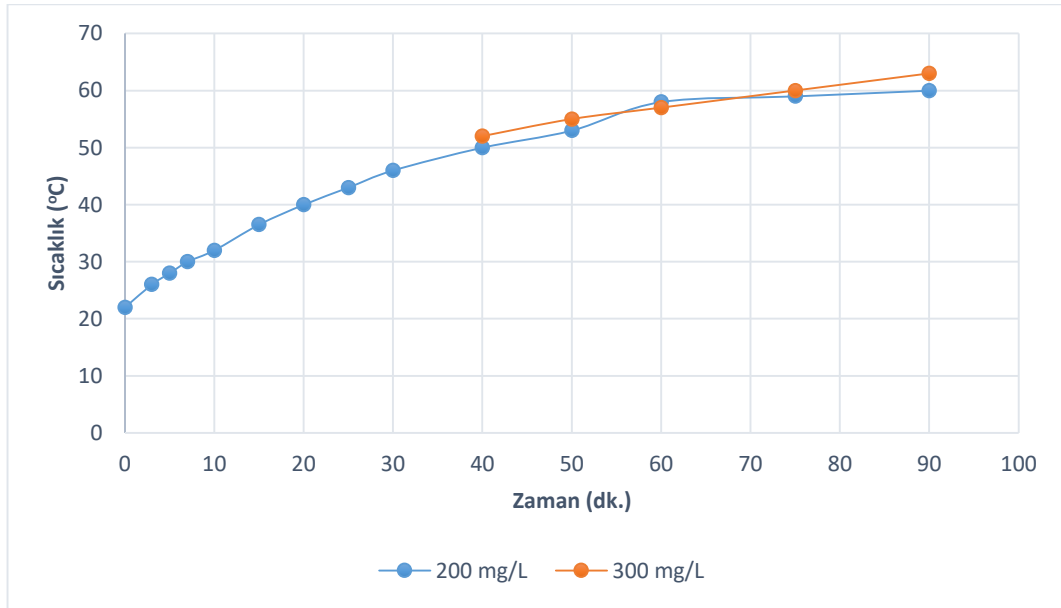


Şekil 6.27. Destek Elektrolit Miktarının Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (200 mg/L Başlangıç Derişimi, 4A Sabit Akım Şiddeti)

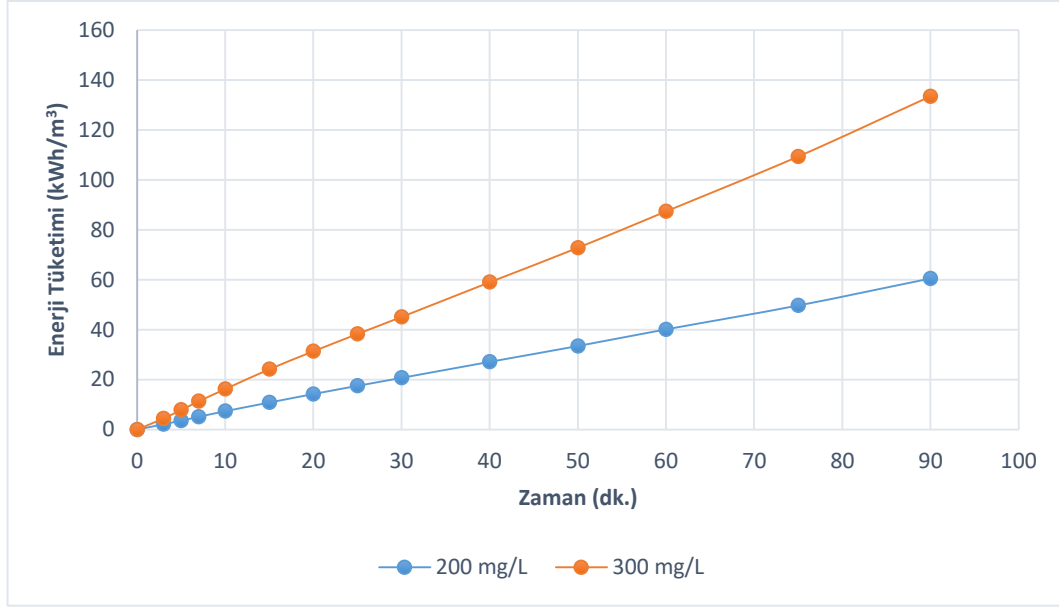
Şekil 6.25. Şekil 6.26. ve Şekil 6.27. incelendiğinde, deney grubunun 200 mg/L başlangıç derişimi, 4A sabit akım şiddetinde, 20mM, 25mM ve 30mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak yapıldığı görülmektedir. Şekil 6.25. incelendiğinde bu deney grubunda, KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %82,6, %81,8 ve %87 olduğu görülmüş, en uygun seçeneğin %87 ile 30mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulandığında ortaya çıktığı gözlenmiştir. Şekil 6.26. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 57°C, 59°C ve 51°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda sıcaklık açısından maksimum 51°C sıcaklık ile 30mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.27. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 48,95 kWh/m³, 47,09 kWh/m³ ve 34,1 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer yine 30mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, KOİ giderim verimi, sıcaklık ve enerji tüketimi açısından 30mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.28. Başlangıç Derişiminin KOİ Giderim Verimine Etkisi (3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)

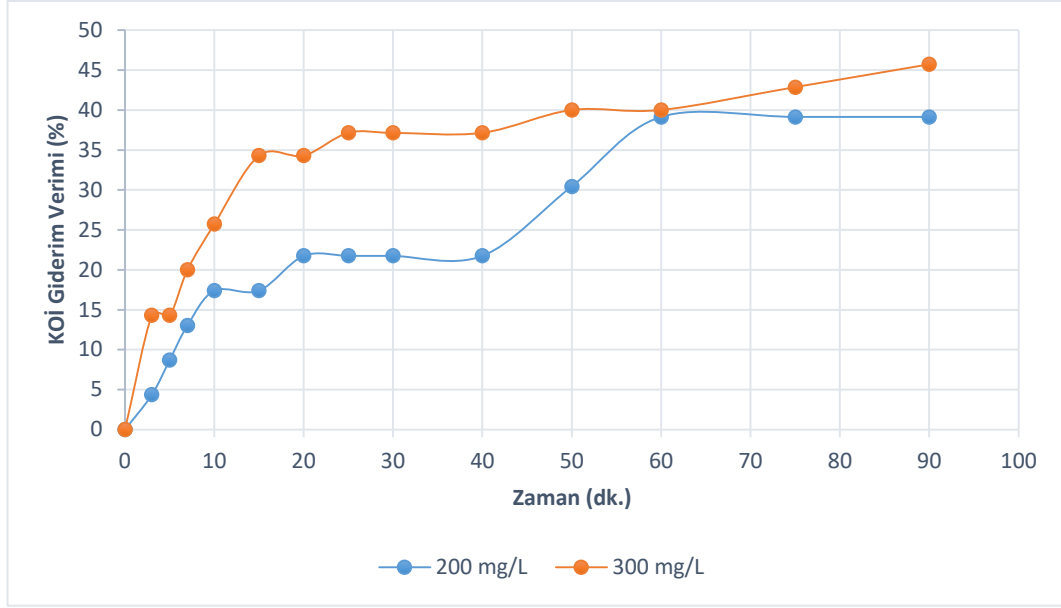


Şekil 6.29. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)

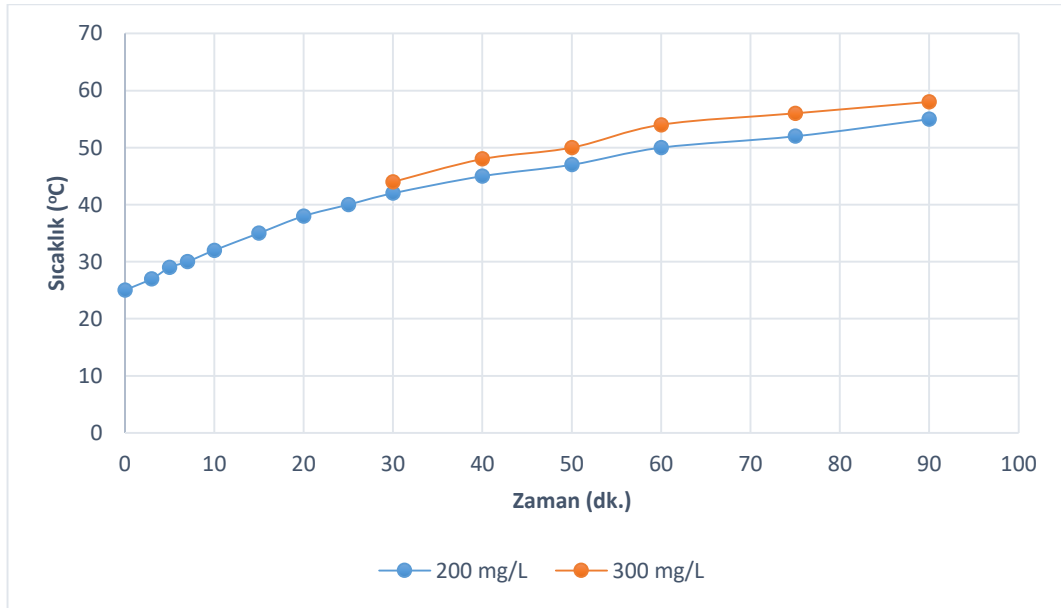


Şekil 6.30. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (3mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)

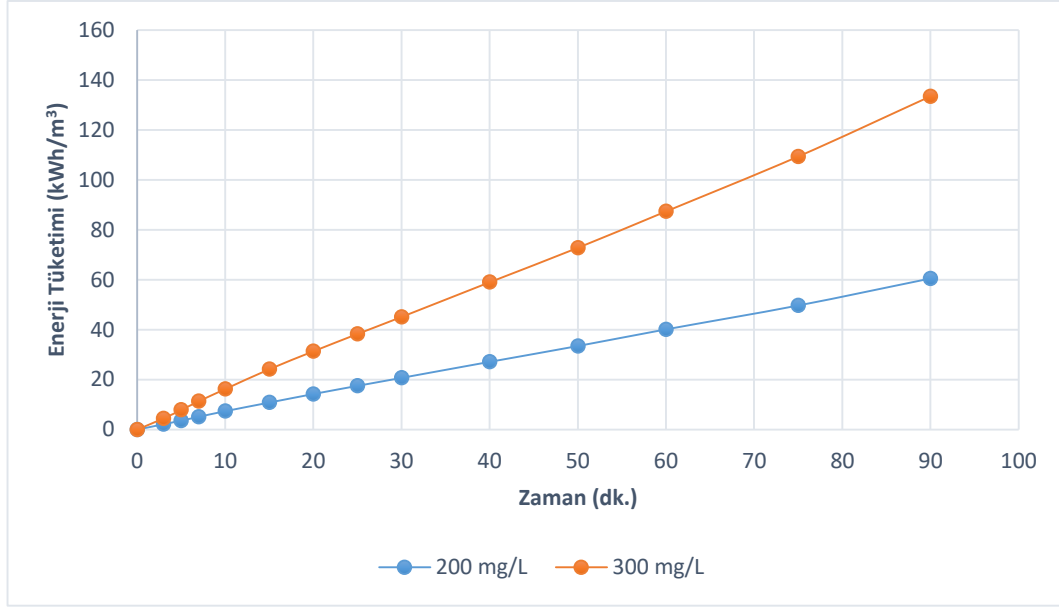
Şekil 6.28. Şekil 6.29. ve Şekil 6.30. incelendiğinde, deney grubunun, 2A sabit akım şiddetinde, 3mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak 200 mg/L ve 300 mg/L başlangıç derişimlerinde yapıldığı görülmektedir. Şekil 6.28. incelendiğinde bu deney grubunda, KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %21,74 ve %50 olduğu görülmüş, en uygun seçeneğin %50 ile 300 mg/L başlangıç derişimi uygulandığında ortaya çıktığı gözlenmiştir. Şekil 6.29. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 60°C ve 63°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda sıcaklık açısından maksimum 60°C sıcaklık ile 300 mg/L başlangıç derişimi uygulanmasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.30. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 60,5 kWh/m³ ve 133,56 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer 200 mg/L başlangıç derişimi uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, KOİ giderim verimi ve sıcaklık açısından 300 mg/L başlangıç derişimi uygulamasının en uygun seçenek olduğu, enerji tüketimi açısından ise 200 mg/L başlangıç derişimi uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.31. Başlangıç Derişiminin KOİ Giderim Verimine Etkisi (5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)

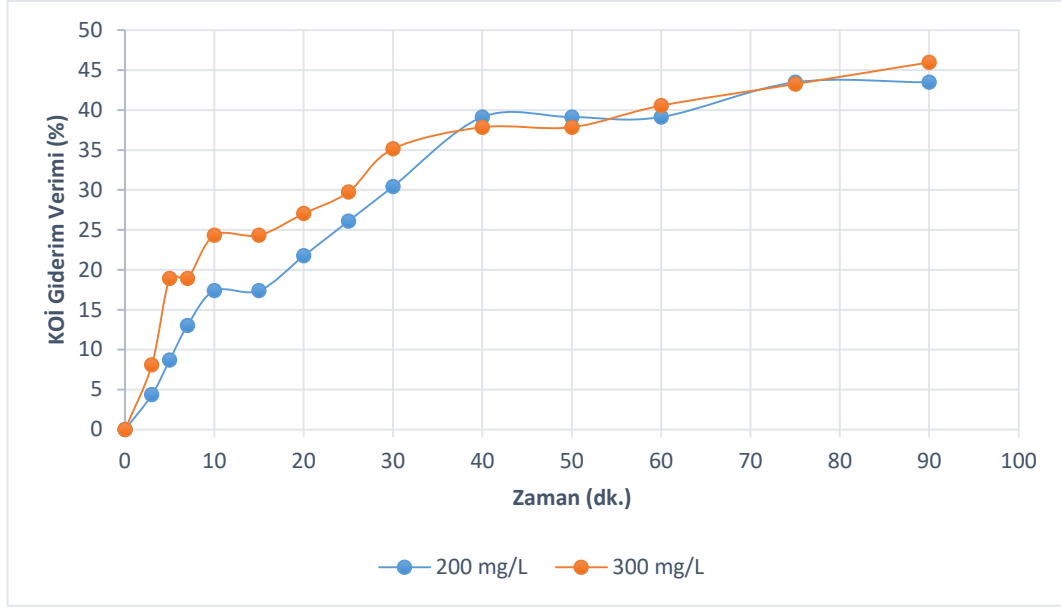


Şekil 6.32. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)

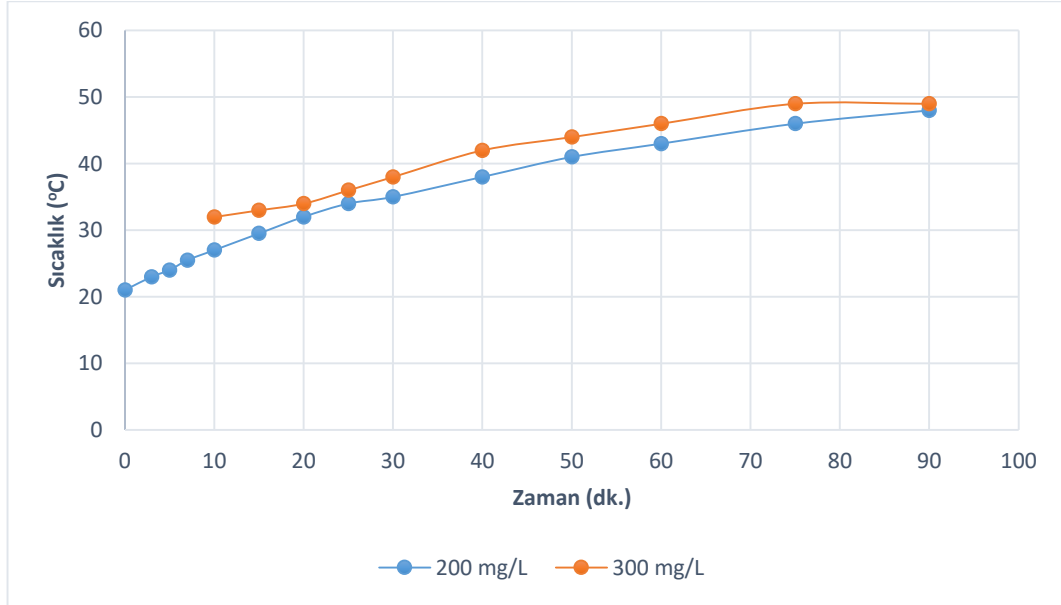


Şekil 6.33. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (5mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)

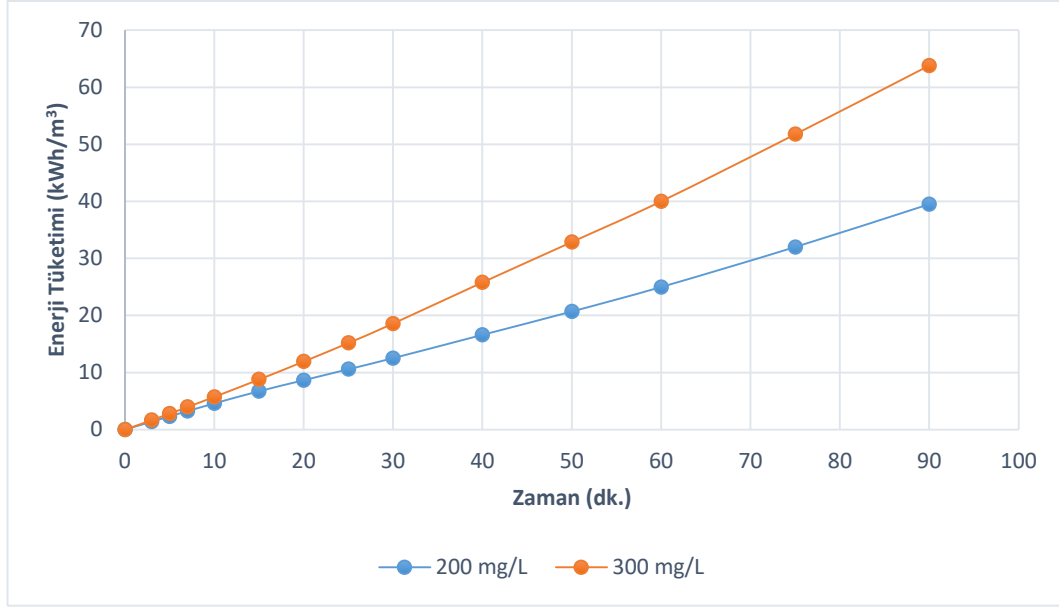
Şekil 6.31. Şekil 6.32. ve Şekil 6.33. incelendiğinde, deney grubunun, 2A sabit akım şiddetinde, 5mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak 200 mg/L ve 300 mg/L başlangıç derişimlerinde yapıldığı görülmektedir. Şekil 6.31. incelendiğinde bu deney grubunda, KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %39,13 ve %45,71 olduğu görülmüş, en uygun seçeneğin %45,71 ile 300 mg/L başlangıç derişimi uygulandığında ortaya çıktığı gözlenmiştir. Şekil 6.32. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 55°C ve 58°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda sıcaklık açısından 55°C sıcaklık ile 200 mg/L başlangıç derişimi uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.33. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 45,53 kWh/m³ ve 77,15 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değer 200 mg/L başlangıç derişimi uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, sıcaklık ve enerji tüketimi açısından 200 mg/L başlangıç derişimi uygulamasının en uygun seçenek olduğu, KOİ giderim verimi açısından ise 300 mg/L başlangıç derişimi uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.34. Başlangıç Derişiminin KOİ Giderim Verimine Etkisi (10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)



Şekil 6.35. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Sıcaklık Değişimi (10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)



Şekil 6.36. Başlangıç Derişiminin Etkisi – Zamana göre Enerji Tüketimi (10mM Destek Elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4), 2A Sabit Akım Şiddeti)

Şekil 6.34. Şekil 6.35. ve Şekil 6.36. incelendiğinde, deney grubunun, 2A sabit akım şiddetinde, 10mM destek elektrolit Sodyum Sülfat(Na_2SO_4) kullanılarak 200 mg/L ve 300 mg/L başlangıç derişimlerinde yapıldığı görülmektedir. Şekil 6.34. incelendiğinde bu deney grubunda, KOİ giderim verimi değerlerinin sırasıyla %43,48 ve %45,95 olduğu görülmüş, en uygun seçeneğin %45,95 verimle 300 mg/L başlangıç derişimi uygulandığında ortaya çıktığı gözlenmiştir. Şekil 6.35. incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 48°C ve 49°C olduğu görülmektedir. Buna göre, bu deney grubunda sıcaklık açısından 300 mg/L başlangıç derişim uygulanan deney ile aralarında her ne kadar çok bir fark olmasa da maksimum 48°C sıcaklık ile 200 mg/L başlangıç derişimi uygulanmasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Şekil 6.36. incelendiğinde, kümülatif enerji tüketim değerlerinin sırasıyla, 39,47 kWh/m³ ve 63,82 kWh/m³ olduğu görülmekte ve en uygun değerin 39,47 kWh/m³ ile 200 mg/L başlangıç derişimi uygulanan deneyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ışığında her üç şekil de incelendiğinde, sıcaklık ve enerji tüketimi açısından 200 mg/L başlangıç derişimi uygulamasının en uygun seçenek olduğu, KOİ giderim verimi açısından ise 300 mg/L başlangıç derişimi uygulamasının en uygun seçenek olduğu görülmektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, Veliyette Fosetyl-Al kullanılarak belirli derişimlerde oluşturulan model atık sudan, elektrokimyasal yöntemlerle KOİ giderimi çalışması yapılmıştır.

Çalışmada, akım şiddetinin etkisi, kullanılan Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolitin etkisi, Hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılarak elektrofenton uygulamasının etkisi ve başlangıç derişiminin etkisi, incelenmiştir. Ayrıca, elektroliz, elektrokoagülasyon ve elektrofenton yöntemleriyle yapılan çalışmada, pH değerleri izlenmiş, sıcaklık ve enerji tüketimleri incelenerek optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Akım şiddetinin etkisi incelenirken optimum koşulların; %82,61 KOİ giderimi elde edilmesi nedeniyle, en yüksek 38°C sıcaklık ve $40,57 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif enerji tüketimiyle, 1A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi ve 5mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit uygulamasında elde edildiği tespit edilmiştir.

Kullanılan Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolitin etkisi incelenirken optimum koşulların; %87 KOİ giderimi elde edilmesi nedeniyle, en yüksek 51°C sıcaklık ve $34,1 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif enerji tüketimiyle, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, ve 30mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit uygulamasında elde edildiği tespit edilmiştir.

Başlangıç derişiminin etkisi incelenirken optimum koşulların; %50 KOİ giderimi elde edilmesi nedeniyle, en yüksek 63°C sıcaklık ve $133,56 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif enerji tüketimiyle, 2A akım şiddeti, 300 mg/L başlangıç derişimi, ve 3mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit uygulamasında elde edildiği tespit edilmiştir.

Elektrofenton işleminin etkisi incelenirken optimum koşulların; %91,2 KOİ giderimi elde edilmesi nedeniyle, en yüksek 50°C sıcaklık ve $33,38 \text{ kWh/m}^3$ kümülatif enerji tüketimiyle, 4A akım şiddeti, 200 mg/L başlangıç derişimi, 30mM Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit ve 2 mL Hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulamasında elde edildiği tespit edilmiştir.

Tüm çalışma incelendiğinde, optimum koşulların Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) destek elektrolit ve Hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulanarak yapılan elektrofenton yöntemi kombinasyonunda elde edilerek %91,2 KOİ giderimi yapıldığı tespit edilmiştir. Uygulamanın atık su arıtımında, pilot tesis ölçeklerine uygulanabilir olduğu ve geleneksel yöntemlere göre zaman ve maliyet yönlerinden oldukça iyi tasarruflar sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] E. B. KURUTAŞ, M. KILINÇ (2003), Pestisitlerin Biyolojik Sistemler Üzerine Etkisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Biyokimya Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, sayfalar 215-225
- [2] E. ÇALIK, Y. MENTEŞ, F. KARADAĞ, H. DAYIOĞLU (Ekim 2004), İçme Suyunun Sağlık Açısından Değerlendirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 6
- [3] Sayiter YILDIZ, O. Ö. NAMAL, M. ÇEKİM (2013), Atık Su Arıtma Teknolojilerindeki Tarihsel Gelişimler, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Tekn. Derg. c.1, s.1
- [4] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü DSİ 1. Bölge Müdürlüğü (3-4-5 Eylül 2008), Su Tüketimi Arıtma Yeniden Kullanım Sempozyumu, sayfa 84
- [5] Balakrishnan Ramesh Babu, Kamal Mohamed Seenı Meera and Perumal Venkatesan (2011), Removal of pesticides from wastewater by electrochemical Methods – A comparative approach, Pollution Control Division CSIR- Central Electrochemical Research Institute Karaikudi 630 006, India
- [6] Soha A. Abdel-Gawad, Amin M. Baraka, Kawther A. Omran, Mohamed M. Mokhtar (August 2012), Removal of Some Pesticides from the Simulated Waste Water by Electrocoagulation Method Using Iron Electrodes, Chemistry Department, Faculty of Science, Cairo University, Egypt, Central laboratory for Environmental Quality Monitoring (CLEQM), National water Research Center (NMRC)
- [7] I. Ihara, K. Kanamura, E. Shimada, and T. Watanabe (June 2004), High Gradient Magnetic Separation Combined With Electrocoagulation and Electrochemical Oxidation for the Treatment of Landfill Leachate, IEEE Transactions On Applied Superconductivity, Vol. 14, No. 2
- [8] Fatih İLHAN, Uğur KURT, Ömer APAYDIN, Ertan ARSLANKAYA, M. Talha GÖNÜLLÜ (TÜRKAY 2007), Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Yıldız-İstanbul
- [9] Serkan BAYAR, Recep BONCUKCUOĞLU, Baybars Ali FİL, Alper Erdem YILMAZ (2012), Elektrokogülasyon Yöntemi Kullanılarak Direct Red 23 Boyar Maddesinin Gideriminin İncelenmesi

- [10] Longqian Xu, Qihua Huang, Xiaojun Xu, Guangzhu Cao, Changhua He, Yao Wanga, Maiphone Yang (2017), Simultaneous removal of Zn^{2+} and Mn^{2+} ions from synthetic and real smelting wastewater using electrocoagulation process: Influence of pulse current parameters and anions, Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China, Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, 650500 Kunming, China, Elsevier, Separation and Purification Technology
- [11] Xiujuan Chen, Panpan Ren, Tao Li, Jason P. Trembly, Xingbo Liu (2018), Zinc removal from model wastewater by electrocoagulation: Processing, kinetics and mechanism, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, West Virginia University, Morgantown, WV 26506, USA, School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014010, China, Department of Mechanical Engineering, Ohio University, Athens, OH 45701, USA, Elsevier, Chemical Engineering Journal
- [12] Emily K. Maher, Kassidy N. O'Malley, Joe Heffron, Jingwan Huo, Brooke K. Mayer, Yin Wang, Patrick J. McNamara (2018), Analysis of operational parameters, reactor kinetics, and floc characterization for the removal of estrogens via electrocoagulation, Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, Marquette University, Milwaukee, WI 53233, USA, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, WI 53201, USA, Elsevier, Chemosphere
- [13] Tuhin Banerji, Sanjeev Chaudhari (2016), Arsenic removal from drinking water by electrocoagulation using iron electrodes- an understanding of the process parameters, Centre for Environmental Science and Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai 400076, India, National Environmental Engineering Research Institute, Mumbai Zonal Centre, 89/B, Dr. A.B. Road, Worli, Mumbai 400018, India, Elsevier, Journal of Environmental Chemical Engineering
- [14] Ilona Heidmann, Wolfgang Calmano (2007), Removal of Cr(VI) from model wastewaters by electrocoagulation with Fe electrodes, Institute of Environmental Technology and Energy Economics, Technical University Hamburg-Harburg, Eissendorfer Str. 40, 21073 Hamburg, Germany, Elsevier, Separation and Purification Technology

- [15] Satish I. Chaturvedi (2013), Mercury Removal Using Fe–Fe Electrodes by Electrocoagulation, Department of Chemical Engineering, SVM Institute of Technology, India, International Journal of Modern Engineering Research, ISSN: 2249-6645
- [16] Özge ÇETİNKAYA AÇAR (2015), Eğitim Notu Pestisit Analizleri, T.C. Gıda Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı Ulusal Gıda Referans Laboratuvarı, T.C. Gıda Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı Ulusal Gıda Referans Laboratuvarı Kalıntı/Pestisit Birimi
- [17] Aysun ALTİKAT, Tuba TURAN, Fatma EKMEKYAPAR TORUN, Züleyha BİNGÜL (2009), Türkiye’de Pestisit Kullanımı ve Çevreye Olan Etkileri, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, Çevre ve Orman İl Müdürlüğü, 25000, Erzurum
- [18] Odile Carisse (2010), Fungicides, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, InTech, India, ISBN 978-953-307-266-1
- [19] <https://www.invenura.com/fosetyl-al-nedir/> (Erişim Tarihi: 05.08.2019)
- [20] www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Specs/Fo-setyl_Al_2013.pdf
- [21] Allen J. Bard, Larry R. Faulkner (2001), Electrochemical Methods Fundamentals and Applications, Second Edition, Department of Chemistry and Biochemistry University of Texas at Austin, ISBN 0-471-04372-9
- [22] Jean Nepo Hakizimana, Bouchaib Gourich, Mohammed Chafi, Youssef Stiriba, Christophe Vial, Patrick Drogui, Jamal Naja (2017), Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches, Elsevier, Desalination
- [23] Türk Standardları Enstitüsü (2010), Su Kalitesi - Kimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini, TS 2789, ICS 13.060.50