

ELEKTROKİMYASAL ARITIM İLE EMAMECTİN BENZOATE GİDERİMİ

Ayşegül BALUM

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mayıs 2021

ÖZET

ELEKTROKİMYASAL ARITIM İLE EMAMECTİN BENZOATE GİDERİMİ

Ayşegül BALUM

Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mayıs 2021

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

Dünya nüfusunun artması ve artan sanayileşmenin bir sonucu olarak iklim koşulları değişmekte, yağışlar azalmakta ve temiz su kaynakları tükenmektedir. Kaynakları korumanın yanı sıra, kullanılmış ve kirlenmiş suların yeniden kullanılabilir hale getirilmesi, doğanın sürekliliğinin sağlanabilmesi için büyük önem arz etmektedir. Yapılan literatür çalışmasında tarım ilaçları ile kirlenmiş suların arıtımında bir ileri oksidasyon prosesi olan elektrokimyasal arıtımın yüksek verim sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada aktif maddesi emamectin benzoate olan, larvaların sinir uyarılarını engelleyerek larvaları yok eden bir pestisit atıksudan elektrokimyasal yöntem ile giderilmesi uygulanmıştır. Optimum şartların sağlanması için deneysel değişkenler araştırılmış ve en iyi KOI giderim veriminin % 83 ile hidrojen peroksit (H_2O_2) ve sodyum sülfat (Na_2SO_4) ilavesinde olduğu gözlemlenmiştir. Uygulamanın geleneksel atıksu arıtma yöntemlerine göre maliyet, zaman ve giderim verimi açısından daha uygun olduğu öngörülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Pestisit, İnsektisit, Elektrokimyasal, KOI, Atıksu.

ABSTRACT

EMAMECTIN BENZOATE REMOVAL WITH ELECTROCHEMICAL TREATMENT

Ayşegül BALUM

Department of Environmental Technology

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, May 2021

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

As a result of the increase in the world population and increasing industrialization, climatic conditions are changing, precipitation decreases and clean water resources are depleted. In addition to conserving resources, reusing used and polluted water is of great importance in order to ensure the continuity of nature. In the literature study, it was seen that electrochemical treatment, which is an advanced oxidation process, provides high efficiency in the treatment of water contaminated with pesticides. In this study, a pesticide whose active ingredient is emamectin benzoate, which prevents the nerve impulses of the larvae and destroys the larvae, was removed from the wastewater by electrochemical method. Experimental variables were investigated to ensure optimum conditions and it was observed that the COD max removal efficiency was 83% with the addition of hydrogen peroxide (H_2O_2) and sodium sulphate (Na_2SO_4). It is predicted that the technique is more appropriate than traditional wastewater treatment methods in terms of cost, time and efficiency.

Keywords: Pesticide, Insecticide, Electrochemical, COD, Wastewater, Treatment.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim süresince beni yönlendiren, güler yüzü ve anlayışıyla desteğini daima gösteren saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Yusuf YAVUZ'a

Varlığı ile güven veren, her zaman yanımda olan, bulunduğum yere gelmemi sağlayan sevgili ailem Rafet ve Hürriyet BALUM'a

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

Ayşegül BALUM

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 ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik 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.

Ayşegül BALUM

İÇİNDEKİLER

SAYFA

BAŞLIK SAYFASI.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
GÖRSELLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	3
3. PESTİSİTLER.....	6
3.1. Pestisitlerin Tarihçesi.....	6
3.2. Pestisitlerin Sınıflandırılması	7
3.2.1. Klorlanmış pestisitler	8
3.2.2. Organik fosfor bileşikler	8
3.2.3. Karbamatlı pestisitler	9
3.3. Pestisitlerin Zararları	9
3.3.1. Hava ve pestisitler.....	9
3.3.2. Su ve pestisitler	10
3.3.3. Toprak ve pestisitler	10
3.3.4. Canlılara etkileri.....	12
3.4. Türkiye’de Pestisit Kullanımı.....	13
4. ELEKTROKİMYASAL ARITIM	15
4.1. Elektrooksidasyon (EOx) prosesi	15

4.2. Elektroflotasyon (EF) prosesi	16
4.3. Elektrokoagülasyon (EC) Prosesi	16
4.3.1 Elektrokoagülasyonun avantajları	18
4.3.2. Elektrokoagülasyonun dezavantajları.....	18
5. MATERYAL METOT	19
5.1. Materyal	19
5.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini.....	20
5.2.1. KOİ analizinin yapılışı.....	20
5.3. Sıcaklık	21
5.4. pH	21
5.5. Elektriksel İletkenlik.....	21
5.6. Stok Çözeltileri.....	21
5.7. Deney Düzenekleri.....	23
6. BULGULAR	24
6.1. Demir Elektrot İle Elektrokoagülasyon	24
6.1.1. Akım yoğunluğu etkisi.....	24
6.1.2. Destek elektrolit etkisi	28
6.1.3. pH etkisi	35
6.1.4. Hidrojen peroksit etkisi	38
6.2 Alüminyum Elektrotu İle Elektrokoagülasyon	41
6.2.1. Akım yoğunluğu etkisi.....	41
6.1.2. Destek elektrolit etkisi	45
6.1.3. pH etkisi	52
SONUÇ	57
KAYNAKÇA	62
ÖZGEÇMİŞ	65

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Pestisitlerin sınıflandırılması	7
Tablo 6.1. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	25
Tablo 6.2. 10 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	25
Tablo 6.3. 15 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	26
Tablo 6.4. 20 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	26
Tablo 6.5. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 5 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	28
Tablo 6.6. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 10 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	29
Tablo 6.7. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	29
Tablo 6.8. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 20 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	30
Tablo 6.9. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 5 mM NaNO ₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	30
Tablo 6.10. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 10 mM NaNO ₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	31
Tablo 6.11. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM NaNO ₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	31
Tablo 6.12. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 20 mM NaNO ₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	32
Tablo 6.13. pH≈3'te deney sonuçları	35
Tablo 6.14. pH≈10'da deney sonuçları.....	36
Tablo 6.15. pH=3'te Hidrojen peroksit ilavesi deney sonuçları	39
Tablo 6.16. pH=7,7'te Hidrojen peroksit ilavesi deney sonuçları.....	39

Tablo 6.17. 5 mA/cm ² akım yoğunluğunda alüminyum elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi.....	41
Tablo 6.18. 10 mA/cm ² akım yoğunluğunda alüminyum elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi.....	42
Tablo 6.19. 15 mA/cm ² akım yoğunluğunda alüminyum elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi.....	42
Tablo 6.20. 20 mA/cm ² akım yoğunluğunda alüminyum elektrot ile, 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi.....	43
Tablo 6.21. 20 mA/cm ² 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 10 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	45
Tablo 6.22. 20 mA/cm ² 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 15 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	46
Tablo 6.23. 20 mA/cm ² 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 20 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	46
Tablo 6.24. 20 mA/cm ² 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 25 mM Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	47
Tablo 6.25. 20 mA/cm ² 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 10 mM NaNO ₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi.....	47
Tablo 6.26. 20 mA/cm ² 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 15 mM NaNO ₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi.....	48
Tablo 6.27. 20 mA/cm ² 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 20 mM NaNO ₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi.....	48
Tablo 6.28. 20 mA/cm ² 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 25 mM NaNO ₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi.....	49
Tablo 6.29. pH≈3'te Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	52
Tablo 6.30. PH≈10'de Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi	53
Tablo 6.31. PH≈3'te NaNO ₃ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi verimi.....	53
Tablo 6.32. PH≈10'te NaNO ₃ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi verimi.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. DDT'nin halka yapısı	8
Şekil 3.2. Yıllara göre pestisit tüketimi.....	13
Şekil 4.1. Elektrokoagülasyon prosesi	17
Şekil 5.1. 200 mg/L stok çözeltinin okunabilir KOİ değerler aralığı	22
Şekil 5.2. 100 mg/L stok çözeltisinin okunabilir KOİ değerleri.....	22
Şekil 6.1. Demir Elektrot ile Akım yoğunluğunun KOİ giderimi	27
Şekil 6.2. Farklı akım yoğunluklarının kümülatif enerji tüketimi	27
Şekil 6.3. Demir elektrot ile farklı derişimde Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi.....	33
Şekil 6.4. Demir elektrot ile farklı Na ₂ SO ₄ derişimde kümülatif enerji tüketimi.....	33
Şekil 6.5. Demir elektrot ile farklı derişimde NaNO ₃ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi.....	34
Şekil 6.6. Demir elektrot ile farklı NaNO ₃ derişimde kümülatif enerji tüketimi	34
Şekil 6.7. Farklı pH değerlerinde KOİ giderimi	37
Şekil 6.8. Farklı pH değerlerinde kümülatif enerji tüketimi	37
Şekil 6.9. Farklı pH değerlerinde hidrojen peroksit ilavesi ile KOİ giderimi	40
Şekil 6.10. Farklı pH değerlerinde hidrojen peroksit ilavesi ile kümülatif enerji tüketimi.....	40
Şekil 6.11. Alüminyum Elektrot ile Akım yoğunluğunun KOİ giderimi.....	44
Şekil 6.12. Farklı akım yoğunluklarının kümülatif enerji tüketimi	44
Şekil 6.13. Alüminyum elektrot ile farklı derişimde Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi	50
Şekil 6.14. Alüminyum elektrot ile farklı Na ₂ SO ₄ derişimde kümülatif enerji tüketimi.....	50
Şekil 6.15. Alüminyum elektrot ile farklı derişimde NaNO ₃ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi	51
Şekil 6.16. Alüminyum elektrot ile farklı NaNO ₃ derişimde kümülatif enerji tüketimi.....	51
Şekil 6.17. Na ₂ SO ₄ destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde KOİ giderimi.....	54

Şekil 6.18. Na_2SO_4 destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde kümülatif enerji tüketimi	55
Şekil 6.19. NaNO_3 destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde KOİ giderimi.....	55
Şekil 6.20. NaNO_3 destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde kümülatif enerji tüketimi	56
Şekil 7.1. Demir elektrot ile pH=10, pH=3 ve pH_0 ' da hidrojen peroksit ilavesi şartlarında KOİ giderimi.....	57
Şekil 7.2. Demir elektrot ile pH=10, pH=3 ve pH_0 ' da hidrojen peroksit ilavesi şartlarında % KOİ giderim verimi	57
Şekil 7.3. Demir elektrot ile pH=10, pH=3 pH_0 ' de hidrojen peroksit ilavesi şartlarında kümülatif enerji tüketimi	58
Şekil 7.4. Alüminyum elektrot ile pH=10'da Na_2SO_4 ve pH=3'te NaNO_3 ve pH_0 ' da destek elektrolit ilavesi şartlarında KOİ giderimi	58
Şekil 7.5. Alüminyum elektrot ile pH=10'da Na_2SO_4 ve pH=3'te NaNO_3 ve pH_0 ' da destek elektrolit ilavesi şartlarında % KOİ giderim verimi	59
Şekil 7.6. Alüminyum elektrot ile pH=10'da Na_2SO_4 ve pH=3'te NaNO_3 ve pH_0 'da destek elektrolit ilavesi şartlarında kümülatif enerji tüketimi	59
Şekil 7.7. Demir elektrot ve alüminyum elektrotun en iyi şartlarında KOİ giderimi	60
Şekil 7.8. Demir elektrot ve alüminyum elektrotun en iyi şartlarında % KOİ giderim verimi.....	60
Şekil 7.9. Demir elektrot ve alüminyum elektrotun en iyi şartlarında kümülatif enerji tüketimi	61

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3. 1. Türkiye’de pestisit kullanımının dağılımı.....	14
Görsel 5.1. Kullanılan kimyasal	19
Görsel 5.2. Deney düzeneği	23
Görsel 5.3. Galvanik akım cihazı	23



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ark.	: Arkadaşları
A	: Amper
DDT	: Dikloro Difenil Trikloroetan
Dk	: Dakika
Eİ ₀	: Başlangıçta iletkenlik değeri
Eİ ₆₀	: 60. Dakikada iletkenlik değeri
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Kwh	: Kilowattsaat
I	: Akım Yoğunluğu
mA	: Miliamper
mM	: Milimolar
m ²	: Metrekare
cm ³	: Santimetreküp
pH	: Hidrojen Gücü
pH ₀	: Başlangıç pH değeri
pH ₆₀	: 60. Dakikada pH değeri
t	: Zaman
TOK	: Toplam Organik Karbon
TN	: Toplam Azot
V	: Volt
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Dünyada tarım ilacı üretimi 3 milyon ton, yıllık satış tutarı ise 25-30 milyar dolar arasında değişmektedir. Dünya pestisit pazarında tonaj olarak yılda %1 civarında bir büyüme beklenmektedir. Herbisitler tarım ilaçları içinde %47'lik bir payla birinci sırayı almaktadır. Bunu %29 ile insektisitler izlemekte, fungusitlerin ise %19'luk bir payı bulunmaktadır. Herbisitler ve insektisitler, kullanımın %70'den fazla bir bölümünü kapsamaktadır. Diğer pestisit grupları ise %5'lik bir paya sahiptir. Parasal olarak değerlendirildiğinde tüketimin %31'ini insektisitler, %26'sını herbisitler, %20'sini de fungusitler oluşturmaktadır. Türkiye'de ise tarım ilacı tüketimi ortalama 33.000 tondur. Bu miktarın %47'sini insektisitler, %24'ünü herbisitler, %16'sını fungusitler, %13'ünü de diğer gruplar oluşturmaktadır. Bu pestisitlerin yıllık satış tutarı da yaklaşık 230-250 milyon dolardır.

Pestisit deyimi, insektisit (böcek öldürücü), herbisit (yabani ot öldürücü), fungusit (küf öldürücü), rodentisit (kemirgen öldürücü) vb. şeklinde sınıflandırılan kimyasal maddelerin tümünü kapsamaktadır [1].

Insektisitler, hem tarımsal üretimin artırılmasında hem de ev ve toplum sağlığında çok önemli bir yere sahiptir. Ancak üretim, ambalajlama ya da kullanımları sırasında gerekli özenin gösterilmemesi ya da intihar gibi suiistimale bağlı olarak, kazai, kasti veya mesleki temas nedeniyle ciddi zehirlenmelere hatta bazen ölümlere yol açabilmektedirler. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de insektisitlerle zehirlenme olgularına sıklıkla rastlanmaktadır [2].

Temelde birçok farklı organik kirleticiden dolayı (pestisitler, yüzey aktif maddeleri, boyalar, farmasötikler, polinükleer aromatik hidrokarbonlar) gelişmekte olan ülkelerde en yüksek çevresel hava ve su kirlilikleri gözlenmektedir. Bu kirleticiler çevrede insan kaynaklı faaliyetler (evsel, tarımsal, endüstriyel aktiviteler) sonucu var olmakta ve birçoğu karakteristik olarak inatçı, biyolojik olarak yoğunlaşma ve birikim gösteren, yüksek yarılanma ömürlerine sahip özelliklerdedir [3, 4]. WHO'ya göre dünyada milyarlarca insan temiz içme suyuna ulaşamamaktadır. Ayrıca, her yıl milyonlarca insan su kaynaklı hastalıkların bulaşması sonucu hayatını kaybetmektedir [5]. Pestisitler çevrede kararlı, biyolojik birikime sahip veya yüksek yarılanma ömrü gösteren bileşiklerdir [6, 7]. Birçok çalışmaya göre pestisit maruziyeti ile insanlarda artan kronik rahatsızlıklar (diyabet, Alzheimer, Parkinson ve motor nöron hastalığı (ALS) gibi

nörodejeneratif bozukluklar, vb.) arasında epidemiyolojik bir ilgi vardır [8]. Ayrıca birtakım pestisitler endokrin bozucu, kanser ve doğuştan gelen özürlerle, üreme bozukluklarına da neden olabilmektedir [9, 10]. Hedef türe bağlı olarak, pestisitler doğal flora, fauna ve sucul yaşama da toksik etki yapmaktadır [11]. Çevreye bırakıldıklarında, pestisitler “metabolit” denilen aktif bileşenlere göre daha toksik maddelere parçalanabilirler [12].

Mevcut atıksu arıtım tekniklerinde verimliliği artırma çalışmaları dünyanın birçok bölgesinde sürdürülmektedir [13]. Bu çalışmalardan biri olan elektrokimyasal yöntemlerle organik madde giderimi de günümüzde birçok araştırmacı tarafından çalışılmakta olan bir konudur [14]. Elektrokimyasal proseslerin geneli elektrot yüzeyinde doğrudan reaksiyonuyla meydana gelir. Meydana gelen bu proseslere doğrudan (direkt) elektroliz adı verilmektedir. Dolaylı elektroliz, hedef kirleticilerle reaksiyonu ve elektrotta aktif türlerin oluşmasını kapsar. Elektrokoagülasyon, elektroflokülasyon ve elektroflotasyon dolaylı proseslerdir [15].

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Ahmet Sercan Ertaş'ın çalışmasında, içerisinde Fosetyl-Al fungusiti içeren atıksu stok çözeltisinden elektrokimyasal proses kullanılarak KOI giderim çalışması yapılmıştır. Optimum şartları sağlayabilmek için; akım yoğunluğu, destek elektrolit ilavesi, farklı başlangıç derişimleri ve elektrofenton proses değişkenleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda hidrojen peroksit ilavesi ile %91 KOI giderim verimine ulaşılmıştır [13].

Çağrı Şahin ve Ekrem Karpuzcu'nun yaptığı çalışma kapsamında, Meriç Deltası sulak alanlarından numuneler alınarak organofosfatlı pestisitlerin akıbeti incelenmiştir. Sulak alanları temsil etmesi amacıyla pilot ölçekli reaktörle çalışılmış, seçilen 4 organofosfatlı pestisit (Chlorpyrifos, Dichlorvos, Fenthion, Diazinon) için biyolojik ayrışma ve adsorpsiyon deneyleri yapılmıştır. Pilot ölçekli sistemde, seçilen pestisitlerin yarı ömürleri belirlenmiş ve bitki ve sediment üzerine adsorpsiyon miktarları ölçülmüştür. Aynı zamanda pestisitlerin yeraltı suyuna sızma potansiyelleri GUS ("Groundwater Ubiquity Score" / "Yeraltı Suyunda Mevcudiyet Katsayısı") kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar serbest yüzey akışlı yapay sulak alan sistemlerinin organofosfatlı pestisitlerin giderimindeki etkinliğini ortaya koymuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, organofosfatlı pestisitlerin giderimi için önerilen yapay sulak alanların tasarımı için yol gösterici niteliktedir [14].

Barbusinski ve Filipek tarafından yapılan bir çalışmada endüstriyel atık sularındaki pestisitlerin (γ -HCH ve inaktif izomerleri α - ve β -HCH, DDT, DMDT, fenitrothion ve klorfenvinfos) Fenton reaksiyonu ile giderilmesi incelenmiştir. Pestisitlerin çoğu 2,5 g dm⁻³ derişimdeki hidrojen peroksit ile parçalanmış, ancak sadece 5 g dm⁻³'lük derişimde tam bir parçalanma gözlenmiştir. Fenton prosesi, fenitrothion (%98,5' den %100'e) ve klorfenvinfos (%97,1'den %100'e) için daha fazla etkili olmakta iken organoklorlu pestisitler için %90'dan büyük etki görülmüştür. [16].

Badawy ve arkadaşlarının yaptığı fenitrothion, diazinon ve profenofos gibi organik fosforlu pestisitlerin ileri oksidasyon prosesleriyle parçalanabilirliğinin incelendiği çalışmada, Fenton prosesle sırasıyla TOK giderimi %54,1, %12,9 ve %50,3 olarak elde edilmiştir [17].

T.É.S.Santos ve arkadaşları, carbaryl pestisiti içeren bir atıksu arıtımı için rutenyum oksitlerle (Ti / RuO₂) kaplı boyutsal olarak stabil titanyum anotları geliştirerek elektrokimyasal arıtım ile pestisitini giderimini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre carbaryl giderimi %65 olarak tespit edilmiştir [18].

Ömür Gökkuş'un gerçekleştirdiği çalışmada, Kayseri Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi atıksularının yeni bir elektrooksidasyon tekniği olan elektro-Fenton yöntemiyle arıtılabilirliği ve elektro-Fenton prosesi için optimum işletme koşulları araştırılmıştır. Yöntemde Fenton reaksiyonlarının meydana gelebilmesi için ihtiyaç duyulan hidrojen peroksit klasik Fenton çalışmalarından farklı olarak dışarıdan ilave edilmek yerine karbon esaslı bir malzeme olan grafit katot kullanılarak oksijenin indirgenmesi yoluyla elektrokimyasal olarak üretilmektedir. Çalışmada arıtım performansının değerlendirilmesi amacıyla seçilen karşılaştırma alternatifleri ise Fenton oksidasyon prosesi ve alüminyum ya da demir elektrotlarla gerçekleştirilen elektrokoagülasyon prosesleridir. Ayrıca atıksu arıtım çalışmaları öncesinde elektro-Fenton prosesi için hayati önem taşıyan katodik hidrojen peroksit üretimlerinin değerlendirilmesi de yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre Fenton prosesi ile tıbbi atık sterilizasyon atıksuyunun arıtımı çalışmalarında kullanılan reaktifler için en uygun derişimlerin Fe⁺² ve H₂O₂ için sırasıyla 1000 mg/L ve 2250 mg/L olduğu belirlenmiştir. Fenton uygulamaları için en uygun pH değeri olan pH 3'de ve 30 dakikalık reaksiyon süresinde %77 TOK ve %45 TN giderimine ulaşılmıştır. [19].

Nara Alonso Salles ve arkadaşları tarafından biyolojik arıtmadan önce atıksuyun elektrokimyasal ön işleme tabi tutulduğu çalışmada iki prosesin fizibilitesi incelenmiştir. Çalışmada fosforlu bir pestisit olan fosmetinin giderilmesi araştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre pestisitini sudan neredeyse tamamen uzaklaştırıldığı görülmüştür. Fosmetin giderimi %97 olarak sonuçlanmıştır [20].

Mustafa Kıraroğlu'nun araştırdığı çalışmada, elektrokoagülasyon prosesi ile, güç kaynağı ve boyar madde çeşitliliğine dayanan değişik proses konfigürasyonları uygulanarak sentetik tekstil atıksuyu üzerindeki TOK ve boyar madde giderim verimleri araştırılmıştır. Bu amaçla monopolar alüminyum elektrotların paralel olarak bağlandığı bir elektrokimyasal reaktör tasarlanmıştır. TOK ve türbidite giderimi üzerine pH, akım yoğunluğu ve zaman gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Giderme verimleri metre küp atıksu başına verildiği gibi çözünmüş elektrotun TOK ve boyar madde giderme

kapasitesine göre de ayrıca hesaplanmıştır. Alüminyum elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon proseslerinde flok oluşumunda ve organik maddeyi adsorbe eden etkili tür $\text{Al}(\text{OH})_3$ olup, pH 4,0 – 6,5 aralığında iyi giderme verimlerinin elde edildiği bilinmektedir. Bu aralıkta monomerik ve polimerik alüminyum hidroksit türlerinin çökelme mekanizması ve pH>6,5 aralığında $\text{Al}(\text{OH})_3$ ve polimerik alüminyum hidroksit türlerinin adsorpsiyon mekanizması etkili olmaktadır. Çalışmada özellikle pH 4,5’de yüksek TOK ve boyarmadde giderimi görülmüştür. Ayrıca çözünen elektrodun giderme kapasitesinin de arttığı gözlenmiştir. [21].

Ahmet Fatih Göktürk’e ait çalışmada bir pestisit endüstrisi atık suyu kullanılmıştır. Kimyasal yöntemde (CaOH), KOI giderme verimi %86,1 olurken, vakum sisteminde; 250 mg/L KMnO_4 , 1 ml H_2SO_4 , 5 mg/L Polielektrolit ve 2000 mg/L CaOH uygulaması ile %88,5, fenton prosesi ile %97,9 KOI giderme verimi elde edilmiştir. Bu da gösterir ki fenton prosesi, pestisit içeren atık suların arıtımında en uygun yöntemlerden biridir. [22].

Apostolos Vlyssides ve arkadaşları ticari pestisitlerin (Demeton-S-metil, Metamidophos, Fenthion ve Diazinon) elektrokimyasal yöntem ile giderilmesini araştırmıştır. Çalışmada, Ti/Pt anot ve paslanmaz çelik 304 katot olarak kullanılmıştır. Laboratuvar ölçeğinde pilot tesis oluşturulmuş ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, Fenthion giderme verimi %60’ın üzerinde iken, Metamidophos ve Diazinon Demeton-S-metil için %50’den fazla gerçekleşmiştir. [23].

3. PESTİSİTLER

Pestisitler, tarım ve ev zararlılarını öldürmek, önlemek, kaçırmak vb. gibi amaçlarla kullanılan çeşitli kimyasal maddelerin genel adıdır.

Bazı sentetik organik maddeler, örneğin; sentetik tarım ilaçları doğadaki dolanım yoluyla sulara karışabilirler. Bu maddelerin sentez yoluyla yapay olarak türetilmiş olmaları yüzünden hidroliz ve oksidasyonlarını yapacak enzimlere doğada rastlayamayız. Bazı durumlarda bu maddeler su ve atıksularda bulunabilen diğer maddelerle, başka kalıcı bileşiklere de dönüşür. Bu maddelerin ve onlardan türeyenlerin bitki ve hayvan bünyelerinde depolanarak besin zincirine katılmaları son yılların en büyük sorunu haline gelmiştir. Ayrıca örneğin; PCB (Poliklorlanmış bifeniller) tipi insektisit atıkları, hücre yapısına girdiğinde kalıtsal değişimlere neden olmaktadır. DDT; 2,4D; 3,4,5 T; PCB ve diğer bazı klorlu organik maddelerin de klorlama pratiğinden ciddiyetle yeniden ele alınmasını gerektirecek düzeyde önemli sakıncaları olduğu sanılmaktadır. Bu maddelerin biyolojik parçalanmalarının imkânsızlığının yanında, hücre yaşamını kanser yapıcı (Karsinojenik), kalıtsal (Mutojenik) ve şekil bozukluğu yaratıcı (Teratojenik) özellikleriyle etkilenmesi ve canlının besin zincirindeki yeri yükseldikçe konsantrasyonuyla üst düzeydeki canlılarda etkisi arttırması, alarm verecek ciddiyette bir sonuçtur [24].

3.1. Pestisitlerin Tarihçesi

Tarihte pestisitlerin, eski Yunanistan ve Roma'da da kullanıldığı bilinmektedir. 19. yüzyılın son dönemlerinde pestisit üretiminde organik kimyadan yararlanılmış, en iyi bilinen DDT, diğer herbisit ve insektisitler bulunmuştur. İkinci dünya savaşı sonrasında ise önemli gelişmeler kaydedilmiştir. İlk kullanılan pestisitler; inorganik yapıda olan fungusitlerden kükürt; arsenik, bakır ve demirin basit tuzlarıdır. Organik yapıdaki pestisitlerden bitki ekstraktları olan derris, nikotin ve piretrumdur. Bunların birçoğu yüksek düzeyde toksiktir ve kullanımları tehlikelidir. 1940'lı yıllarda kullanılan pestisitlerin sayıları artmış olup, DDT ve HCH insektisitleri ile hormon karakterli olan herbisitlerden 2,4-D ve MCPA 1940'ların sonunda kullanılmaya başlanmıştır. 1950'li yıllarda ise, aldrin ve dieldrin gibi insektisitler bulunmuştur. Bugün binden fazla aktif maddenin karışımı ile elde edilen 35.000 kadar preparat pestisitinin varlığı bilinmektedir [25].

3.2. Pestisitlerin Sınıflandırılması

Pestisitlerin sınıflandırılması çok farklı şekillerde yapılmaktadır [26]. Bunlar;

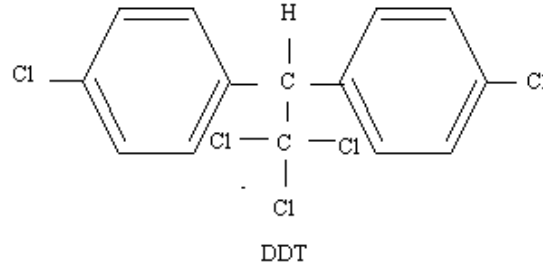
Tablo 3.1. *Pestisitlerin sınıflandırılması*

I. Hedef alınan organizmaya göre gruplandırma	II. Kullanma şekillerine göre gruplandırma	III. Etkili maddelerine göre gruplandırma
a. Akarisitler (akarları öldüren pestisitler)	a. Gaz	a. İnorganik maddeler
b. İnsektisitler (böcekleri öldüren pestisitler)	b. Toz	b. Doğal Organik maddeler
c. Nematisitler (nematotları öldüren pestisitler)	c. Püskürtme	- Bitkisel maddeler
d. Rodentisitler (fare gibi kemirgenleri öldüren pestisitler)		- Petrol yağları
e. Fungusitler (bitki üzerindeki mantarları öldüren pestisitler)		c. Sentetik organik maddeler
f. Herbisitler (yabancı otları öldüren pestisitler)		-Organik fosforlu maddeler
		- Organik klorlu maddeler
		- Diğer sentetik organik maddeler

Pestisitler yapılarına göre üç ana grupta incelenirler. Bunlar klorlanmış pestisitler, organik fosfor pestisitler ve karamatlı pestisitlerdir [25].

3.2.1. Klorlanmış pestisitler

Klorlanmış pestisite DDT en güzel örnektir. Bit ve sinek kontrolünde kullanılırlar. DDT ticari ismiyle tanınır. Son yıllarda insan sağlığına zararlı olması nedeniyle üretimi ve tüketimi yasaklanmıştır. Teknik ismi 2,2-bis (p-klorofenil)-1,1,1-trikloroetan'dır. DDT'nin bağ yapısı **Şekil 2.1.** de olduğu gibidir.



Şekil 3.1. DDT'nin halka yapısı

Güneş ışığında benzen ve klor reaksiyona girerse; benzen heksaklorür (BHC) oluşur. Bu da tanınmış bir pestisittir. Çeşitli stereoizomerleri arasında gamma izomeri "lindane" adıyla tanınır. Diğer iki tanınmış klorlu insektisit de endrin ve dieldrin diye bilinen iki izomerdir.

Diğer klorlu pestisitlerden olan adrin, klordane, toxafen, heptaklor önemli ticari değer taşırlar. Özellikle adrin ve dieldrin başta olmak üzere tüm poli-klorlanmış pestisitlerin çevresel endişelerle yasaklanması yoluna gidilmektedir.

3.2.2. Organik fosfor bileşikleri

Zararları kadar insanlara da toksik etki yapan bu maddelerin en tanınmışı Paration diye bildiğimiz maddedir. Özellikle meyve sineğine karşı kullanılan bu pestisit kullanımının son derecede özenli olması gerekir.

Malation ise, pek çok zararlarıyla yüksek derecede zehirli olmakla birlikte, memeli hayvanlara zararı azdır bu nedenle yaygın olarak kullanılır.

3.2.3. Karbamathlı pestisitler

Genel formülü RH_2NCOOR' olan amid bileşiklerinden oluşur. En sık rastlanan türü isopropil N – fenil karbonat (IPC) dir. Bu madde yabancı ot kontrolünde, geniş yapraklı bitkilere zarar vermeden kullanılabilen herbisittir [26].

3.3. Pestisitlerin Zararları

Tarımsal savaşta kullanılan pestisitler hedef organizmaları yok ederek ürün artışına neden olabildikleri gibi, hedef olmayan canlılarda da hasarlara yol açmaktadırlar. Bitkilere ya da böceklerle karşı pestisitlerin doğrudan suya uygulanması, pestisitli bitkilerden toprağa, toprak altı sularına, dolayısıyla su ekosistemine karışması ya da pestisitle bulaşmış atmosfer içindeki partiküllerin yağmur suları ile taşınması sonucu suların pestisitle bulaşmasına neden olmaktadır. Ülkemizde denetimden yoksun, bilinçsizce ve hiçbir koruyucu önlem alınmadan kullanılan pestisitler, kanser, kardiyovasküler hastalıklar, erken yaşlanma ve katarakt gibi hastalıkların oluşma riskinin artmasına yol açmaktadır [26].

3.3.1. Hava ve pestisitler

Hava; pestisit partiküllerini uzun mesafelere götürme özelliğine sahiptir. Havanın bu özelliğinden dolayı pestisit uygulamaları sırasında sürüklenmeler meydana gelir. Havada kontrol edilemeyen pestisitler, su yollarına, evlere ve yeşil alanlara ulaşarak; insanlara, evcil hayvanlara, yaban hayatına ve hassas bitkilere zarar verebilirler.

Pestisitlerin püskürtülerek uygulanması sırasında bir kısmı buharlaşma ve dağılma nedeniyle kaybolurken, bir kısmı da bitki üzerinde ve toprak yüzeyinde kalmaktadır. Havaya karışan pestisit rüzgârlarla taşınır; sis ve yağışlarla tekrar yeryüzüne dönebilir. Bu yolla hedef olmayan diğer organizma ve bitkilere ulaşan pestisit, bunlarda kalıntı ve toksisiteye neden olabilir.

Pestisitlerin havada sürüklenmesini önlemek için dikkat edilecek hususlar; uçucu olmayan pestisit formülasyonların seçilmesi, sürüklenmeyi kontrol eden dolgu maddelerinin kullanılması, etkili en büyük damla çapının uygulanması, en düşük uygulanabilir basıncın seçilmesi, hedefe en uygun yakınlıkta uygulama yapılması, uygun rüzgâr, sıcaklık ve nem koşullarında ilaçlama yapılması şeklinde sıralanabilir.

3.3.2. Su ve pestisitler

Pestisitler dünya nüfusunun büyük bir kısmı için önemli içme suyu kaynaklarını oluşturan yer altı ve yüzey sularına karışarak sürekli olarak onların kalitesini düşürür. Ürönlere pöskürtölen pestisitlerin sulardaki en yüksek derişim seviyeleri, baharda karların erimesiyle en yüksek düzeve ulaşmaktadır.

Pestisitlerin sucul ortama geçişlerinin birçok kaynağı vardır. Hem alan kaynakları (atmosferik yağışlar, çiftlik alanları gibi), hem de nokta kaynaklardan (çeşitli merkezlerdeki pis sular ya da tehlikeli-atık-bertaraf edilmiş pis sular gibi) gelebilirler. Hatta hava yoluyla uzun mesafeler boyunca dahi taşınabilmektedir. Pestisitler sucul çevrede olduklarında çeşitli proseslere maruz kalırlar. Fiziksel (birikme, seyrelme, tortu ve difüzyon), kimyasal (hidroliz ve oksitlenme) ve biyokimyasal (biyolojik bozunma, biyolojik taşınma ve biyolojik birikme) proseslerle, oldukça büyük toksisiteye sahip bu maddelerin artışına neden olurlar. Şayet pestisitler sucul organizmalarda birikirse geri dönüştürölemez değışiklikler ile birçok tehlikeye yol açabilir.

Son zamanlarda, insanlar herhangi diğör kimyasal bileşikler ve endüstriyel kirliliklerden çok daha sık pestisitlerle temas etmektedirler. Bu yüzden pestisitlerin özelliklerinin bilinmesi önemli olmakla birlikte, çevrede bu bileşiklerin nerelerde biriktiğı özellikle doğal sular bakımından öne çıkmaktadır.

3.3.3. Toprak ve pestisitler

Tarım topraklarının ve yeraltı su kaynaklarının, kullanılan tarım ilaçları tarafından kirlenilmesi önemli bir çevre sorunudur. Tarım toprakları üzerinde biriken pestisitlerin (insektisit, herbisit, fungusit gibi) artışı, toprakta pestisit çalışmalarının önemini göstermektedir. Tarım toprakları içindeki organik bileşiklerin taşınımı ve kimyasal değışimleri oldukça kompleks mekanizmalarla olmaktadır. Bu maddelerin adsorpsiyon, liçing, buharlaşma veya uçma gibi fiziksel mekanizmaların yanı sıra biyolojik ve kimyasal yıkım mekanizmaları da olabilir. Bu prosesler söz konusu maddelerin biyoyararlılığını etkilemektedir. Bu yüzden pestisitlerin topraktaki işlevleri ve dönüşümleri üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarla sediment veya toprakta bu maddelerin tutulması onların biyoyararlılıklarını azaltmaktadır.

Pestisitler ve metallerle kirlenme toprağın kalitesini düşürdüğü gibi toksikolojik tehdit ve önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Son on yıl içinde, Avrupa'daki bazı dik yamaçtaki bağlar, çevre için kirleticilerin dispersiyonu ve yoğun bir şekilde toprak erozyonuna neden olduklarından terk edilmiştir [27].

Tarım ilaçları doğrudan toprak yüzeyine ve içine, bitki üzerine veya tohum ilaçlaması şeklinde tohumluk üzerine uygulanır. Bitki üzerine atılan ilacın büyük bir kısmı toprağa düşer. Uygulanan pestisitlerin kalıcı olması halinde önemli sakıncaları ortaya çıkar. Toprak pestisitlere karşı etkili tampon ve filtre görevi yaparak zararlı maddeleri fizikokimyasal ve biyolojik yollarla tutar. Toprağa geçen pestisitler güneş ışınlarının etkisiyle fotokimyasal degradasyona, bitki, toprak mikroorganizmaları ve diğer organizmaların etkisiyle biyolojik degradasyona uğramakta; toprak katı maddeleri (kil ve organik madde) tarafından adsorplanıp (yüzeyde tutunma) desorplanmakta (yüzeyden ayrılma) veya kimyasal degradasyona uğramaktadırlar. Toprak içine geçmiş pestisitler kapiler su vasıtasıyla toprak yüzeyine taşınmakta ve buradan havaya karışabilmektedir. Toprağın yapısı, kil tipi ve miktarı, organik madde içeriği, demir ve alüminyum oksit içeriği, pH'ı ve toprakta var olan baskın mikroorganizma türleri tüm bu olayları etkileyen faktörlerdir. Toprakta pestisit tutulmasıyla hareketi ve biyolojik alımı engellenmekte ve çeşitli şekillerde degradasyonu ile ya toksik özelliğini kaybetmekte ya da daha toksik metabolitlerine dönüşebilmektedir. Pestisit kendisinin ya da toksik dönüşüm ürünlerinin hedef olmayan yerleri veya organizmaları kontamine etmesi istenmediğinden tüm bu olayların bilinmesi ve incelenmesi önem taşımaktadır [28].

Pestisitler, doğrudan bitkilere ya da toprağa uygulanmazlar. Çünkü bunlar zehirli maddeler oldukları için, zararlılara karşı insan ve çevre sağlığını en az zararlı olacak şekilde bazı yardımcı maddelerle (katı, sıvı) birlikte karıştırılarak kullanılırlar. Bu karışımdaki pestisite “etken madde” veya “aktif madde” adı verilir. Her zehirli madde pestisit olarak kullanılamaz ve adlandırılmaz. Bir zehirli maddenin pestisit olarak kabul edilebilmesi için biyolojik olarak aktif olmalı, etkili olmalı, yeteri kadar kararlı olmalı, kullanıcılar, üçüncü şahıslar ve tüketiciler açısından güvenilir olmalı, besi hayvanları açısından güvenilir olmalı, yaban hayatı ve faydalı organizmalar için zararlı olmamalı, çevre için kabul edilebilir olmalı ve ticarete probleme sebep olmayacak özellikleri taşıması gerekir. Pestisitlerin taşınması gereken tüm bu özellikler Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenip belli esaslara bağlanarak, bu özelliklerin tayin edilebilmesi için standart metotlar

geliştirilmiştir. Pestisit kullanımı uygulama öncesinden sonrasına kadar geçen her bir aşaması birçok disiplinle ilişkilidir. Bunlar arasında tarım, gıda, kimya, tıp, ekonomi ve mühendislik sayılabilir [29].

3.3.4. Canlılara etkileri

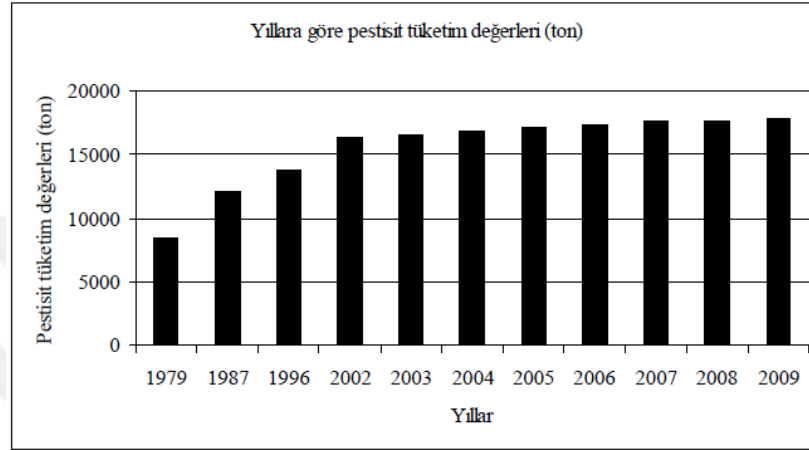
Pestisitler doğrudan ve dolaylı olarak insan sağlığını etkilemektedir. Pestisitlerin üretim ve kullanımı sırasında meydana gelen iş kazaları, ilaçların insan sağlığına karşı olumsuz etkilerini derhal göstermektedir.

Dünya sağlık örgütünün (WHO) 1995 yılında yayınlanan raporuna göre, her yıl dünyada kabaca 1 milyon insan pestisit sebebiyle zehirlenmekte, 20.000 kadarı da ölmektedir. Yanlış ilaç kullanımı haricinde, pestisitlerle insanların teması, ilaç üretimi, taşıma, depolama, kullanma ve ilaç kalıntısı içeren ürünlerin tüketimi sırasında olmaktadır. Bu etkileşim sonunda insan vücuduna girmeleri ise ağız, deri ve solunum yoluyla olmaktadır. Pestisitlerin yanı sıra, parçalanma ürünleri olan metabolitleri de insanlara zehir etkili olabilmektedir. Bu maddelerin bir kısmı birikime uğradığı, bir kısmı da birikmediği halde sinir hücrelerinde tahribat yaptığı için tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Pestisitlerin çoğu kanserojenik, mutajenik, alerjik, iritasyon (tahriş edici) etkiler gösterebilir.

Pestisitler, insanların yakın çevresinde bulunan ve insanlara yarar sağlayan büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları üzerinde de olumsuz etkilere sahiptir. Hayvanlarda da insanlarda olduğu gibi, ani ve yavaş zehirlenmelere neden olurlar. Pestisitlerin, çiftlik hayvanlarının yağ, süt, et ve yumurta gibi ürünlerinde birikebileceği göz ardı edilmemelidir. Pestisitler, suya taşınmaları sonucu balıklarda da zehirli etki gösterirler. Bu etkiler sonucu, suda yaşayan canlılar kitleler halinde ölebilirler veya yer değiştirirler [30].

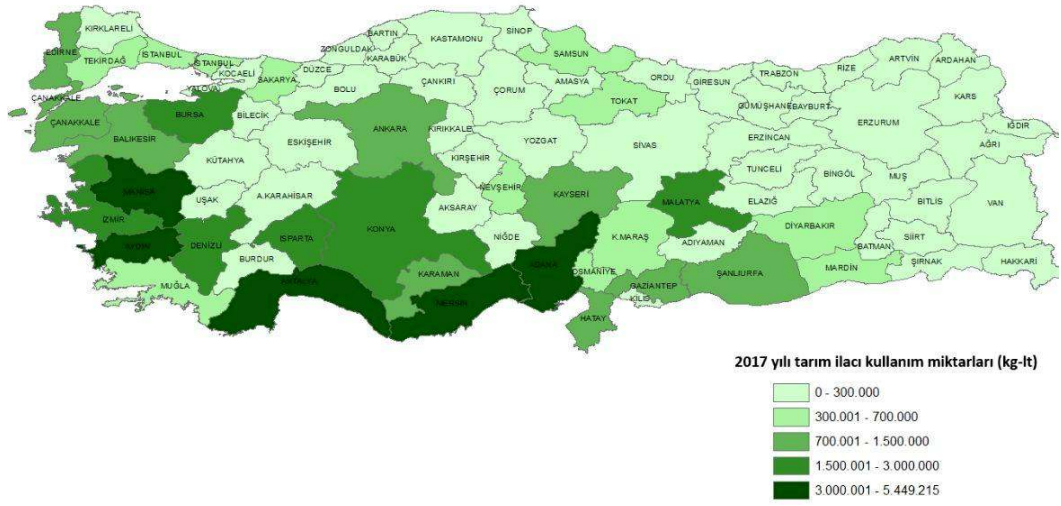
3.4. Türkiye’de Pestisit Kullanımı

Türkiye’de pestisit tüketim artış hızı 2002-2009 yılları arasında 1979-2002 yılları arasında olduğundan daha düşük değerlerdedir. 1979 yılında 8.395,84 kilogram veya litre olan tüketim, 2002 yılında %45,29’luk bir artışla 12.198.917 kilogram veya litreye (ilk 9 aylık dönem) yükselmiştir. Ancak 2002-2009 yılları arasında bu artış yaklaşık %9,26’dır. Türkiye’de yıllara göre tarım ilacı tüketimi **Şekil 3.1’** de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Yıllara göre pestisit tüketimi

Günümüzde çevre bilincinin artması ile insan sağlığının, çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunması tüm çalışmalarda ön plana çıkmıştır. Bu nedenle zirai mücadele uygulamalarında, pestisit tüketiminin azaltılması, agro-ekosistem analizi ve sürdürülebilir tarımsal üretim dikkate alınarak mücadele uygulamalarının yapılması bir zorunluluk halini almıştır. Bu durum sonucunda başta biyolojik mücadele olmak üzere, kimyasal mücadeleye alternatif yöntemlere ve tüm yöntemlerin bütünleşmesine, diğer bir ifade ile entegre mücadeleye daha çok önem verilmeye başlanmıştır. Entegre mücadele; kültür bitkilerindeki hastalık, zararlı ve yabancı otlarla; ekonomi, insan sağlığı, çevre, biyolojik çeşitlilik ve doğal dengeyi dikkate alan, sürdürülebilir bir mücadele sistemidir. Pestisit tüketimindeki artış hızının 2002’den sonra ilk yıllara oranla düşmesi, toprak işlemede entegre mücadelenin anlaşıldığı ve uygulamaya konulduğunun en açık göstergesidir [28]. Yapılan son araştırmalara göre pestisit kullanımının illere göre dağılımı **Görsel 3.1’**de gösterilmiştir [31].



Görsel 3.1. Türkiye’de pestisit kullanımının dağılımı [32].

Pestisitler düşük biyolojik bozunma ve pestisit atık suyunun son derece inatçı doğası nedeniyle, geleneksel anaerobik arıtma işlemi genellikle düşük organik giderme verimliliği ile sınırlıdır [31].

4. ELEKTROKİMYASAL ARITIM

Alıcı ortam desarj standartlarının sıkılaştırılması daha etkili ve giderim verimi yüksek ileri atıksu arıtım proseslerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle toksik ve tehlikeli atıksuların arıtımında pratikte kullanılabilecek ileri atıksu arıtım proseslerinden en önemlisi “elektrokimyasal atıksu arıtım prosesleri” olarak göze çarpmaktadır [33].

Elektrokimyasal arıtım yöntemleri, kolay kontrol edilebilmeleri, kısa sürede etkin verim elde edilebilirliği, işletme kolaylığı sağlaması, basit ve düşük maliyetli ekipmanlardan oluşması, kimyasal madde kullanımlarının sınırlı düzeyde olması ve daha az çamur oluşması gibi özelliklerinden dolayı, su ve atıksu arıtımında gün geçtikçe kullanımları yaygınlaşmaktadır [34].

Elektrokimyasal arıtım sırasında meydana gelen tepkime sırasında yük, elektrot ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki ara yüzeyde transfer olmaktadır. Reaktör anot, katot, iletken elektrolit ve güç kaynağından oluşmaktadır. Katotta yük reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olmaktadır. Anotta ise yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyon durumunu artırmaktadır. Oksidasyon durumundaki değişimler türlerin kimyasal özelliklerinin ve formlarının değişmesine yol açmaktadır [35].

Elektrokimyasal arıtım proseslerini etkileyen faktörler arasında elektrot malzemesi, pH, akım yoğunluğu, arıtım süresi, sıcaklık, iletkenlik, elektrotlar arası mesafe ve elektrotların bağlantı şekli sayılabilir [36].

4.1. Elektrooksidasyon (EOx) prosesi

Çözünmeyen metal/metal oksit elektrot yoluyla ortamda bulunan kirlilik etmenlerinin okside olduğu prosestir. EOx’da en iyi sonuçların metal oksit anotlarla alındığı bilinmektedir. RuO_2 , Co_3O_4 ve MnO_2 ’in titanyum temel üzerine tatbiki ile oluşturulan anot diğer anotlara göre daha iyi katalitik aktivite göstermektedir. Bunun dışında, kurşun ve grafit anotların da çok iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Elektrotların bulunduğu ortam çok önemli olup, iki tip oksidasyon söz konusudur. Bunlar anodik (direkt) ve dolaylı (indirekt) oksidasyondur. Anodik oksidasyon ile organik maddelerin tam oksidasyonu bazen gerçekleşmemektedir. Kirleticilerin anodik oksidasyonu

doğrudan elektrotlarda yükseltgenme reaksiyonları ile gerçekleşmektedir. Yüksek molekül ağırlıklı organiklerin tam oksidasyonu için daha fazla elektron ve enerji gerekeceği için prosesin yatırım ve işletme maliyeti artacaktır.

4.2. Elektroflotasyon (EF) prosesi

Elektroflotasyon, elektrolitik şartlara göre oluşan gaz kabarcıkları (H_2 , O_2 gibi) tarafından kolloidal partiküllerin adsorplanarak su yüzeyine doğru hareket ederek toplanması işlemidir.

Oldukça yüksek dispersiyona sahip bu kabarcıklar 5-100 μm çapındadır. Elektrot yüzey alanına bağlı olarak kabarcıkların sayısı 10-20 milyon/ cm^2 arasında değişmektedir. Bu işlemin yapıldığı reaktörlere elektroflotatör adı verilmektedir. Elektroflotatör yüzeyinde toplanan yumaklar köpük sıyrıcılar yardımıyla sıyrılarak filtrasyona gönderilir. EF'nin verimi; oluşan kabarcıkların hacmine ve sayısına, oluşan kabarcıkların boyutu ise; akım yoğunluğu, elektrot cinsi ve şekline bağlıdır. Akım yoğunluğu, elektrot materyali, pH ve sıcaklık değiştirilerek kabarcıkların sayısı ve büyüklüğü kontrol edilebilmekte olup, bu sayede EF'nin hızı arttırılabilmektedir [37].

4.3. Elektrokoagülasyon (EC) Prosesi

Demir ve alüminyum, elektrokoagülasyon prosesinde kullanımı en çok tercih edilen elektrottur. Düşük maliyet, kolay temin edilebilmesi ve metalik iyonların adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olması tercih sebeplerinin arasında yer alır. Demir ve alüminyum elektrotlarından elde edilen kararlı yapıdaki çamur da yine yaygın olarak kullanılmasının sebeplerindendir [38].

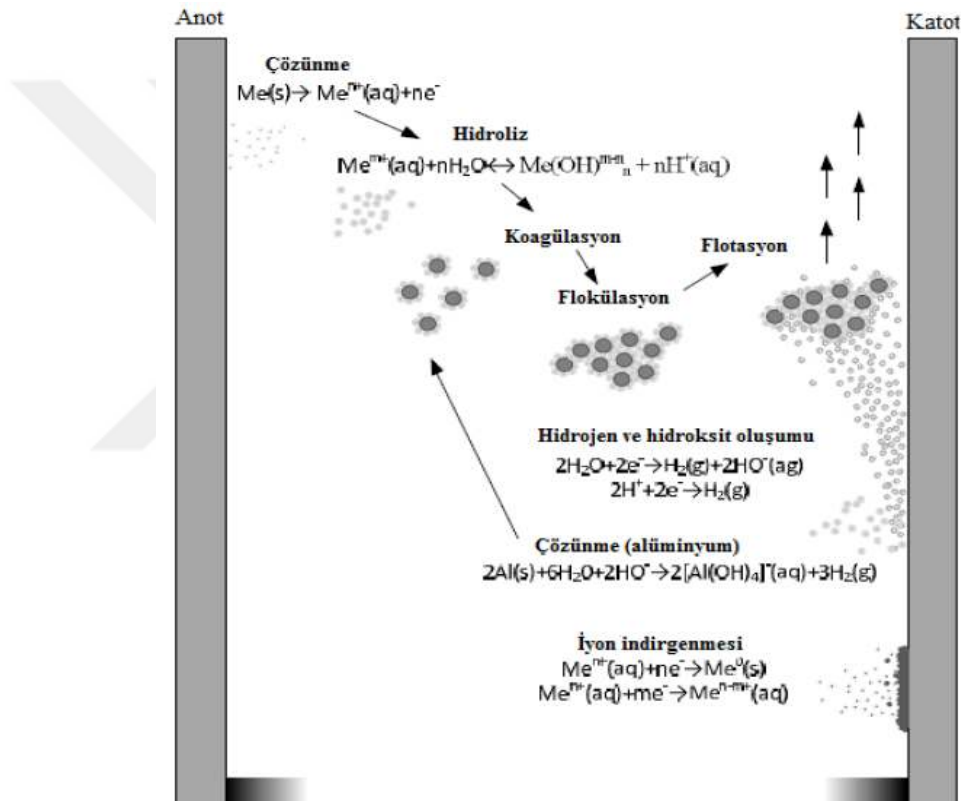
Elektrokoagülasyonda anot olarak çözünen demir veya alüminyum elektrotlar kullanılması halinde bu elektrotlar çözünerek çözeltiye Al^{+3} ve Fe^{+2} , Fe^{+3} iyonları vermekte olup, bu iyonlar sudaki hidroksit iyonları ile birleşerek çok az çözünen $Al(OH)^3$, $Fe(OH)^2$ ve $Fe(OH)^3$ gibi metal hidroksitler oluşturmaktadır.

Elektrokoagülasyon prosesi, yüksek ilk yatırım maliyeti, onun diğer arıtma teknolojileri kadar yaygın kullanımını engellemiştir. Bu ilgi elektrokoagülasyonun birçok su ve atıksu için basit ve verimli bir arıtma metodu olduğundandır [34].

Elektrokoagülasyon prosenin oluşma aşamaları **Şekil 4.1.**' de gösterilmiştir. Bu metot günümüzde birçok sanayi dalında kullanımına başlanmıştır.

Elektrokoagülasyonda meydana gelen üç işlem şu şekildedir;

- 1) Elektrot yüzeyinde gerçekleşen elektrolitik reaksiyonlar
- 2) Metalik iyonların oluşumu
- 3) Koloidal özellikteki kirlenmelerin adsorpsiyon, koagülasyon, sedimentasyon veya flotasyon mekanizmaları ile giderilmesi



Şekil 4.1. Elektrokoagülasyon prosesi

4.3.1 Elektrokoagülasyonun avantajları

Gerekli ekipmanlar basit ve işletilmesi kolaydır. Arıtılmış su, temiz kokusuz ve renksiz kalitededir. İşlem neticesinde oluşan çamur yüksek oranda metal oksitler ve/veya hidroksitlerden oluştuğu için çöktürülebilir ve filtrelenebilir özelliktedir. Elektrokoagülasyon sonucunda oluşan yumaklar kimyasal olarak oluşanlara benzer yapıdadır, boyut olarak büyük yapıdadırlar. Daha az bağlı su bulundurma eğilimindedirler ve asitlere karşı dayanıklı, kararlı yapıya sahiptirler. Elektrokoagülasyon işleminde uygulanan elektriksel alan, yüklü tanecikleri daha hızlı hareket ettirerek taneciklerin yumaklaşmalarını kolaylaştırır.

Proseste kimyasal madde kullanılmadığından ikincil bir kirlenme problemi oluşmaz. Elektroliz esnasında oluşan gaz kabarcıkları yardımıyla kirleticiler kolaylıkla çözeltinin üst kısmına taşınarak çözeltiden ayrılabilir. Birçok kirletici tek bir proses ile giderilebilir. Elektrokoagülasyon işlemi sonucunda ortaya çıkan çözünmüş katılar kimyasal koagülasyona mukayese edildiğinde daha düşüktür.

Arıtılmış su proses içerisinde veya başka amaçlar için tekrar kullanılacaksa toplam çözünmüş katı miktarının düşük olması suyun kullanılması için gerekli maliyetin daha az olmasına sebep olacaktır.

Arıtım veriminin yüksek olması ve prosesin işletilmesinin kolay olması sebebinden dolayı elektrokimyasal arıtım prosesleri arasında en fazla tercih edilen ve başarı ile uygulanabilen yöntem elektrokoagülasyon prosesidir.

4.3.2. Elektrokoagülasyonun dezavantajları

Yükseltgenme neticesinde anot çözünür ve sürekli olarak yenisi ile değiştirilmesi gerekir [34]. Elektrik kullanımı maliyet getirebilir, katot üzerinde zamanla oluşan tabaka verimi düşürebilir, atıksuyun içeriğindeki çözeltilerinin iletkenlik değerinin yüksek olması gereklidir ve bazı zamanlarda elektrot, atık su içindeki çözünmüş maddelerin oksidasyonu sonucu oksitlenebilir. Bu da elektrik maliyetini yüksektir [38]. Bazı çalışmalarda çözünebilir maddeler hidroksit şeklinde çökebilir [34].

5. MATERİYAL METOT

5.1. Materyal

Suda çözünmeye elverişli Bekchi 5 SG, böceklerin ortamdan giderilmesi için kullanılan insektisit bir tarım ilacıdır. Kimyasal bileşiminde %5 Emamectin benzoate bulunur. **Emamectin benzoate kimyasal**, yapraklarda beslenen Lepidoptera larvalarına yüksek derecede etkili olup, larvalarda sinir uyarılarını bloke eder. Bu durumda larvaların beslenmesi hemen durur ve paralize olurlar. Maksimum larva ölümleri dört gün içinde gerçekleşir. **Bekchi 5 SG** mideyi etkileyen güçlü bir zehirdir ve kontakt etkiye neden olur. İnsan sağlığını ciltte tahriş, alerjik reaksiyon, ciddi göz tahrişi ve hasarı, organlarda ve solunum yollarında hasar şeklinde etkilerken; çevre sağlığına sucul ortamda uzun süre kalıcı çok toksik etki ve zararlı etki şeklinde zarar vermektedir. Çalışmalarda kullanılan kimyasal, **Görsel 5.1**'de ambalajlı olarak görülmektedir.



Görsel 5.1. Kullanılan kimyasal

5.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı gibi ancak farklı olarak organik maddenin biyokimyasal reaksiyonlara değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. Biyokimyasal oksidasyonun bazı organik maddelerde çok hızlı cereyan etmesine karşılık diğer bazı maddelerde çok yavaş olması mümkündür. Buna karşılık kimyasal oksidasyonda maddenin biyolojik olarak ayrışıp ayrışmadığına ve ayrışma hızına bakılmaksızın hemen bütün organik maddeler oksitlenir.

Kimyasal oksijen ihtiyacı çevre kirlenmesinde en çok kullanılan kolektif parametrelerden birisidir. Atıksudaki organik kirleticilerin kimyasal oksidasyon meydana getirebilmesi için gereken oksijen miktarı olarak belirlenir. Yöntem birkaç istisna dışında tüm organik maddelerin, kuvvetli oksitleyicilerle asit ortamlarda oksitlenebilecekleri esasına dayanır. Oksidasyon ortamında karbonlu organik maddeler CO₂ ve H₂O'ya, azotlu organik maddeler ise NH₃'e dönüşürler.

Ölçüm yöntemi bir redoks reaksiyonuna bağlı olduğu için, elektron transferlerinin olmadığı reaksiyonlara giren maddelerin KOİ'sinden söz etmek olanaksızdır. KOİ değeri yaklaşık 3 saat gibi kısa bir sürede ölçülebilmektedir.

5.2.1. KOİ analizinin yapılışı

Hazırlanan stok çözeltiden pipet ile alınan 1 ml numune, KOİ analiz tüpüne aktarılır. Numunenin üzerine 0,5 ml K₂Cr₂O₇ eklenir. Daha sonra 1,5 ml Ag₂SO₄.H₂SO₄ çözeltisi ilave edilir. Tüpün kapağı kapatılarak termoreaktöre yerleştirilir ve 2 saat süresince 150°C sıcaklıkta ısıtılır. 2 saatin sonunda tüpler ısıtıcıdan çıkarılarak soğuması beklenir. Soğuyan tüpler erlene boşaltılır ve boşalan tüpler 4,5 ml saf su ile yıkanarak aynı erlene boşaltılır. Erlenin üzerine 1 veya 2 damla ferroin indikatörü damlatılır. Daha sonra (NH₄)₂.FeSO₄ çözeltisiyle titre edilir. Harcanan titrant miktarı kaydedilir. KOİ miktarı *Eşitlik 5.1*' de olduğu gibi mg/L cinsinden hesaplanır [25].

$$KOI \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{8000(\text{Şahit numune için sarfiyat} - \text{Örnek için sarfiyat}) \times 0,12}{mL \text{ örnek}} \quad (5.1)$$

5.3. Sıcaklık

Sıcaklık parametresi deney sırasında 5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60. dakikalarda termometre ile ölçülmüştür. Kimyasalın çözünürlüğünü arttırabilmek için stok çözelti ısıtılmış distile su ile hazırlanmıştır. Stok çözeltilerin ısıtılmış su ile hazırlanması nedeniyle, sıcaklık optimum şartların belirlenmesinde bir parametre olarak seçilmemiştir.

5.4. pH

Su ve atıksuların elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılmasında pH, arıtma performansını ve metal hidroksitlerin çözünürlüğünü etkileyen önemli bir parametredir. Anot ve katot reaksiyonlarının sulu çözelti içerisindeki reaksiyonları sonucu çözeltinin pH'ı değişmektedir. Elektrooksidasyonun baskın olduğu durumlarda pH giderek düşerken elektrokoagülasyon uygulamalarında pH'nın giderek arttığı gözlenmektedir.

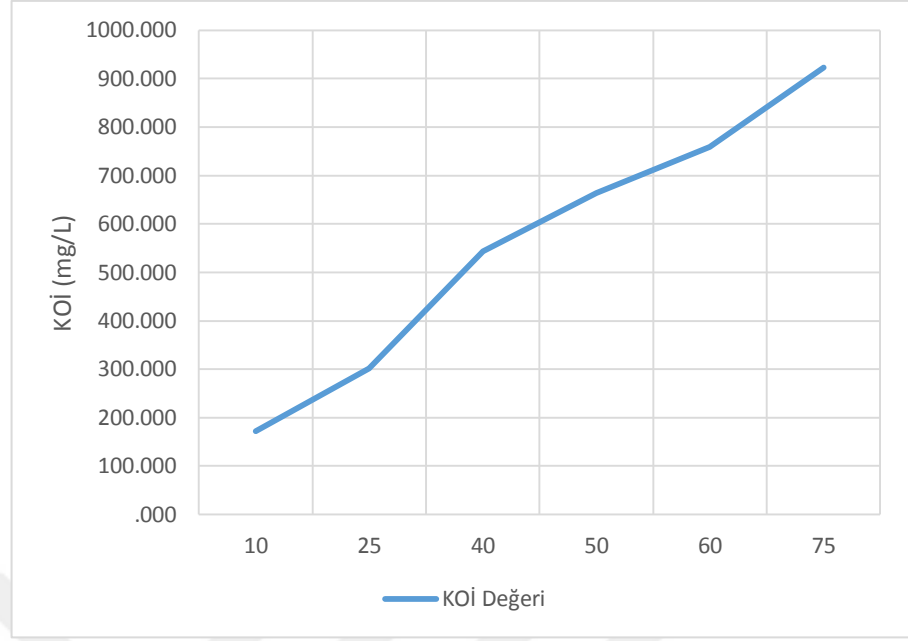
Stok çözeltinin pH'ı deneye başlamadan önce (pH_0) ve deney sonunda (pH_{60}) olarak TSE 3263 Suyun Analiz Metotları pH Değerinin Tayini Standardı kullanılarak HACH marka pH metre cihazıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Stok çözeltinin pH değeri; 7,6 ila 7,8 arasındadır.

5.5. Elektriksel İletkenlik

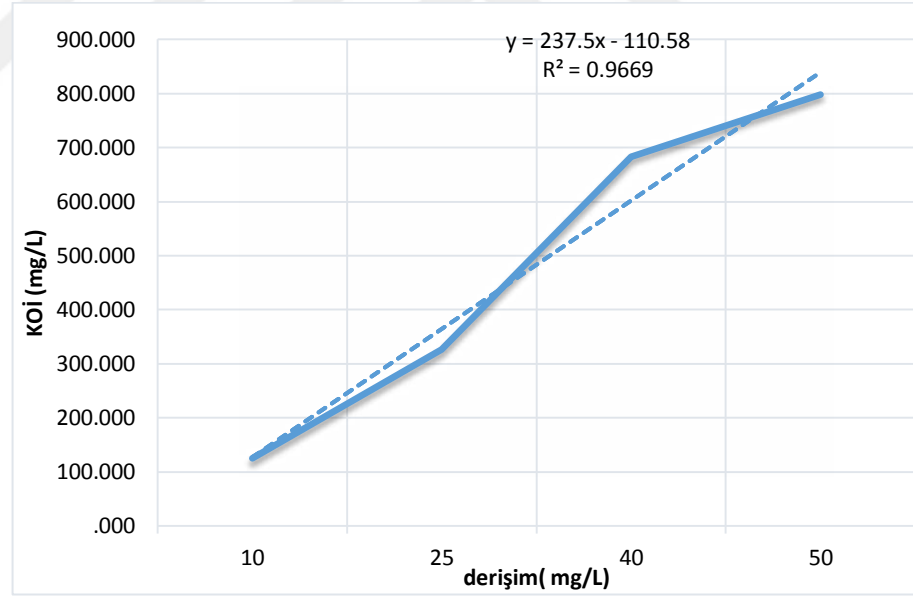
Deney öncesinde (EI_0) ve bitiminde (EI_{60}) iletkenlik ölçer ile elektriksel iletkenlik ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

5.6. Stok Çözeltisi

KOI değerlerinin analiz edilebilirlik aralığını araştırmak için farklı pestisit derişimlerine sahip stok çözeltiler hazırlandı. Hazırlanan stok çözeltilerde pestisit yoğunluğuna bağlı seyreltmeler yapılarak; 25, 50, 100, 250, 500, 750 ve 1000 mg/L olarak standart çözeltiler hazırlandı ve analizler gerçekleştirildi. Okunabilen KOI değer aralığı; 25 ve 50 mg/L olarak tespit edildi. Kalibrasyon eğrileri *Şekil 5.1.* ve *Şekil 5.2.*'de gösterildiği şekildedir.



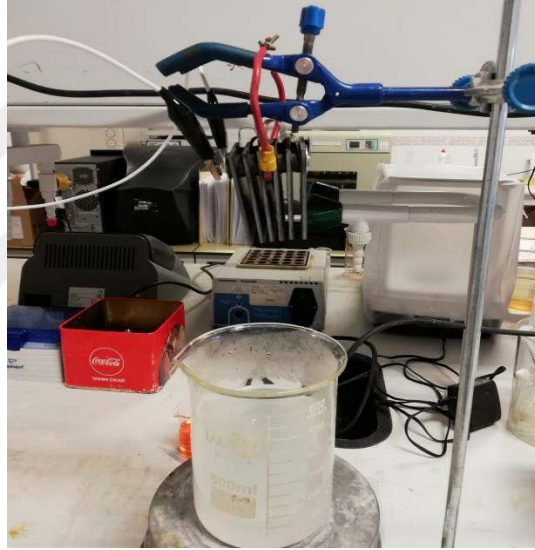
Şekil 5.1. 200 mg/L stok çözeltinin okunabilir KOİ değerler aralığı



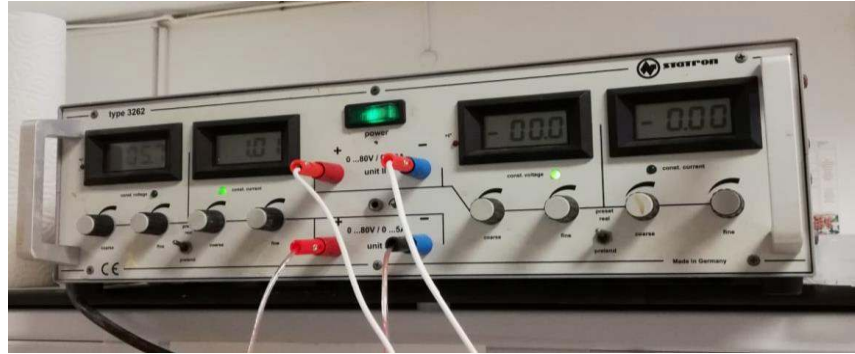
Şekil 5.2. 100 mg/L stok çözeltisinin okunabilir KOİ değerleri

5.7. Deney Düzenegi

Deney öncesindeki düzenek **Görsel 5.2.**'de gösterilmiştir. Deneyde demir ve alüminyum elektrot kullanılmıştır. Başlangıç derişimi 50 mg/L stok çözeltisi olarak belirlenmiş ve beherde hazırlanmıştır. Numune 400 ml'lik behere alınmıştır. Deney sırasında karıştırıcı ile çözeltinin sürekli karışması ve çökelme olmaması sağlanmıştır. Çözeltiden, 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60. dakikalarda pipet yardımı ile numune alınmış, sıcaklık ölçümü termometre ile yapılmış ve gerilim miktarı kaydedilmiştir. **Görsel 5.3'** te sisteme sabit akım beslemek için kullanılan Statron marka, Type 3262.1 model galvanik akım cihaz gösterilmiştir.



Görsel 5.2. Deney düzenegi



Görsel 5.3. Galvanik akım cihazı

6. BULGULAR

6.1. Demir Elektrot İle Elektrokoagülasyon

6.1.1. Akım yoğunluğu etkisi

Elektrokoagülasyon reaktöründe elektrotlara verilen elektrik akımının elektrodun çözelti içinde kalan kısmına yani etkin yüzey alanına oranlanmasıyla “akım yoğunluğu” *Eşitlik 6.1*’ de gösterilmiştir.

$$j = I / A \quad (6.1)$$

Burada, j (mA/cm²) akım yoğunluğunu, I , A biriminde elektrik akımını ve A ise cm² biriminde elektroaktif alanı göstermektedir. Elektrotta elektroaktif alan sabit bir değerde tutulurken akım yoğunluğunun artırılmasıyla akımın etki ettiği alanın artışı sağlanır. KOİ giderimi mg/L olarak *Eşitlik 5.1* ile hesaplanmıştır.

Akım yoğunluğu, elektrokimyasal arıtımında öncelikli parametrelerdendir. Akım yoğunluğunun artması; arıtım süresini kısaltırken maliyeti ve çamur miktarını da artmaktadır.

Hazırlanan 50 mg/L’lik Emamectin Benzoate stok çözeltisinin elektrokoagülasyon prosesiyle KOİ giderimini araştırmak için toplamda 60 dakikalık bir arıtıma tabii tutulmuştur. Deney sırasında çözeltiden, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 45, 50 ve 60. dakikalarda numuneler alınmıştır.

Deneyde elektrot olarak demir, destek elektrolit olarak 15 mM Na₂SO₄ kullanılmıştır. Bu koşullar altında 5, 10, 15 ve 20 mA/cm² akım yoğunluğu değerleri çalışılmış ve KOİ giderimleri araştırılmıştır. Deney sonunda elde edilen bulgular *Tablo 6.1.-6.4.*’de verilmiştir. Zamana karşı KOİ giderimi *Şekil 6.1*’ de, kümülatif enerji tüketimi ise *Şekil 6.2*’de gösterilmektedir. Buna göre; sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mA/cm² yoğunluklarında 60 dakika sonra, %80, %75, %47 ve %31 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Bundan sonraki optimum şartları tespit etmek için yapılacak çalışmalarda en yüksek giderim verimin elde edildiği ve en az kümülatif enerji tüketiminin olduğu 5 mA/cm² akım yoğunluğu değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.1. 5 mA/cm² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	807,02	0,00	41,00	0,0	0,00	0
5	692,98	14,13	40,00	1,30	0,14	0,13
10	517,54	35,87	35,00	1,60	0,17	0,30
20	298,25	63,04	35,00	2,50	0,52	0,82
25	280,70	65,22	35,00	2,50	0,26	1,08
30	263,16	67,39	34,00	2,50	0,26	1,34
40	236,84	70,65	34,00	3,20	0,66	2,01
45	210,53	73,91	33,00	3,50	0,36	2,37
50	192,98	76,09	32,00	3,60	0,37	2,75
60	175,45	78,26	32,00	4,30	0,89	3,64
pH ₀ :7,57, EI ₀ :3,36 mS/cm pH ₆₀ :10,7, EI ₆₀ :3,7 mS/cm						

Tablo 6.2. 10 mA/cm² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

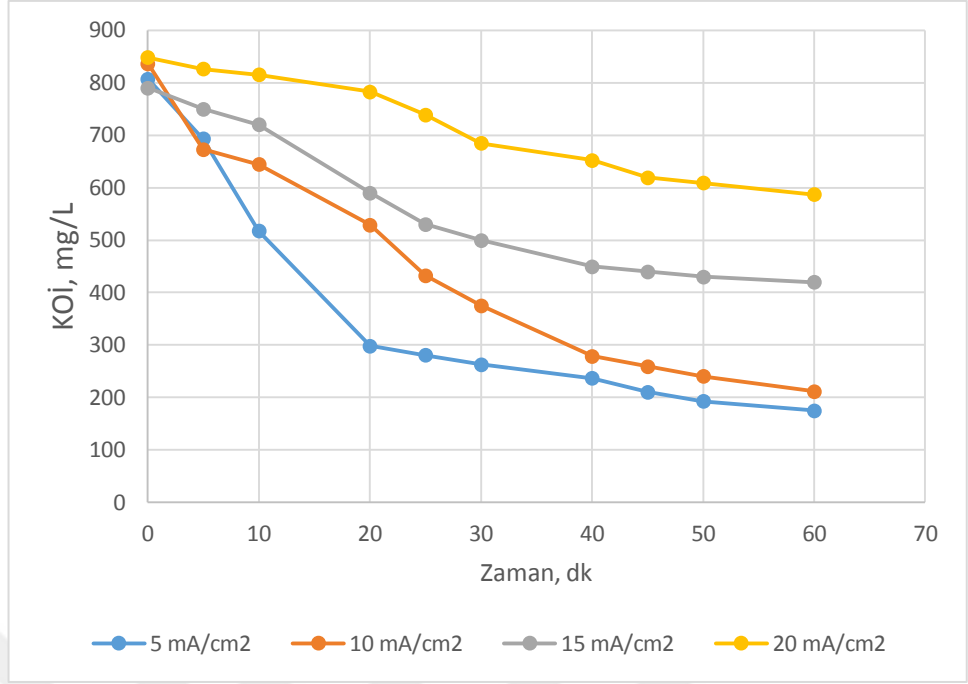
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	836,54	0,00	36,00	0,0	0,00	0,00
5	673,08	19,54	35,50	3,80	0,79	0,79
10	644,23	22,99	35,00	3,70	0,77	1,56
20	528,85	36,78	33,00	3,80	1,58	3,15
25	432,69	48,28	33,00	3,90	0,81	3,96
30	375,00	55,17	33,00	4,00	0,83	4,79
40	278,84	66,67	32,00	4,10	1,71	6,50
45	259,62	68,96	32,00	4,20	0,87	7,37
50	240,38	71,26	32,00	4,20	0,87	8,25
60	211,53	74,71	32,00	4,50	1,87	10,12
pH ₀ :7,58, EI ₀ :3,37 mS/cm pH ₆₀ :11,04, EI ₆₀ :3,57 mS/cm						

Tablo 6.3. 15 mA/cm^2 akım yoğunluğunda demir elektrot ile, $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

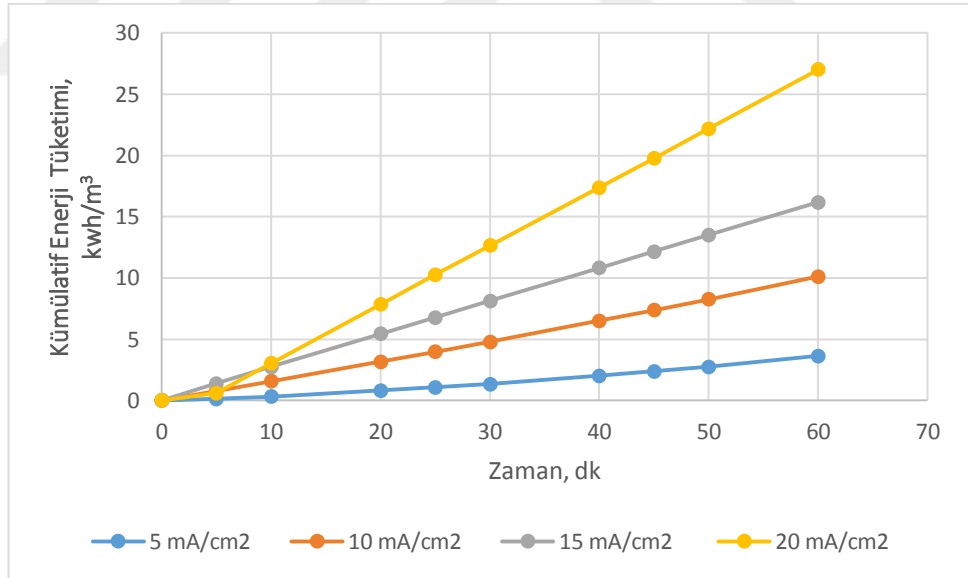
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	790	0,00	36,00	0,0	0,00	0
5	750	5,06	35,50	4,40	1,38	1,37
10	720	8,86	35,00	4,40	1,38	2,75
20	590	25,32	35,00	4,30	2,69	5,44
25	530	32,91	35,00	4,30	1,34	6,78
30	500	36,71	35,00	4,30	1,34	8,12
40	450	43,04	34,5	4,3	2,69	10,8
45	440	44,30	34,5	4,3	1,34	12,1
50	430	45,57	34,5	4,3	1,34	13,5
60	420	46,83	34,5	4,3	2,69	16,1
pH ₀ :7,57, Eİ ₀ :3,41 mS/cm pH ₆₀ :11,26, Eİ ₆₀ : 3,94 mS/cm						

Tablo 6.4. 20 mA/cm^2 akım yoğunluğunda demir elektrot ile, $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	847,83	0,00	27,00	0,0	0	0
5	826,09	2,56	28,00	5,80	0,60	0,60
10	815,22	3,85	29,00	5,80	2,42	3,02
20	782,61	7,69	30,00	5,80	4,83	7,85
25	739,13	12,82	32,00	5,80	2,42	10,27
30	684,78	19,23	33,00	5,70	2,37	12,64
40	652,17	23,08	35,00	5,70	4,75	17,39
45	619,57	26,92	35,00	5,70	2,37	19,77
50	608,70	28,20	36,00	5,80	2,42	22,19
60	586,96	30,77	37,00	5,80	4,83	27,02
pH ₀ :7,51, Eİ ₀ :3,36 mS/cm pH ₆₀ : 10,37, Eİ ₆₀ : 3,71mS/cm						



Şekil 6.1. Demir Elektrot ile Akım yoğunluğunun KOİ giderimi



Şekil 6.2. Farklı akım yoğunluklarının kümülatif enerji tüketimi

6.1.2. Destek elektrolit etkisi

Kullanılan destek elektrolit cinsi ve miktarının elektrokoagülasyon üzerindeki etkisini araştırmak için farklı koşullarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde akım yoğunluğu 5 mA/cm²’ dir.

Demir elektrot ile yapılan deneylerde Na₂SO₄ ve NaNO₃ destek elektrolitlerinden 5, 10, 15 ve 20 mM kullanılmıştır. Deney sonunda elde edilen bulgular **Tablo 6.5.- 6.12.**’de verilmiştir. Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesi ile zamana karşı KOİ giderimi **Şekil 6.3**’ de, kümülatif enerji tüketimi ise **Şekil 6.4**’ de, NaNO₃ destek elektrolit ilavesi ile zamana karşı KOİ giderimi **Şekil 6.5**’ de, kümülatif enerji tüketimi ise **Şekil 6.6**’ de gösterilmektedir. Buna göre 5, 10, 15, 20 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesi için sırasıyla %60, %68, %72 ve %55 KOİ giderim verimi elde edilirken, 5, 10, 15, 20 mM NaNO₃ destek elektroliti için sırasıyla %34, %52, %75 ve %55 KOİ giderim verimi elde edildi.

Tablo 6.5. 5 mA/cm² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 5 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	739,2	0,00	34	0,0	0,0	0,0
5	489,6	33,77	34	1,50	0,16	0,16
10	460,08	39,8	33	1,50	0,31	0,47
20	364,8	50,6	33	1,60	0,67	1,34
30	345,6	53,2	32	1,80	1,13	2,5
40	326,4	55,8	31	2,00	1,67	4,2
50	307,2	58,44	30	2,10	2,2	6,3
60	302,4	59,1	30	2,10	2,63	8,93

pH₀ :8,24 Eİ₀: 1,73 mS/cm
pH₆₀ :10,84 Eİ₆₀ :1,864 mS/cm

Tablo 6.6. 5 mA/cm² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 10 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	652,8	0,0	38	0,0	0,0	0,0
5	364,8	44,12	36	1,6	0,17	0,17
10	345,6	47,06	35	2,0	0,42	0,59
20	326,4	50	35	2,6	1,08	1,67
30	288	55,9	34	2,6	1,63	3,3
40	278,4	57,4	34	3,0	2,5	5,8
50	249,6	61,76	32	3,2	3,33	9,13
60	211,2	67,6	30	3,7	4,63	13,76
pH ₀ :7,54 Eİ ₀ :2,598 mS/cm pH ₆₀ :11,38 Eİ ₆₀ :2,979 mS/cm						

Tablo 6.7. 5 mA/cm² akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	700,8	0,0	33	0,0	0,0	0,0
5	681,6	2,74	33	3,4	0,35	0,35
10	604,8	13,7	32	3,5	0,73	1,8
20	508,80	27,4	32	2,2	0,92	2,72
30	364,8	47,95	31	2,0	1,25	3,97
40	288	58,9	31	1,9	1,6	5,56
50	230,4	67,9	30	1,9	1,98	7,54
60	192	72,6	29	2,1	2,63	10,2
pH ₀ :7,66, Eİ ₀ :3,41 mS/cm pH ₆₀ :11,17, Eİ ₆₀ :3,45 mS/cm						

Tablo 6.8. 5 mA/cm^2 akım yoğunluğunda demir elektrot ile, $20 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	806,4	0,0	29	0,0	0,0	0,0
5	547,2	32,14	28	1,5	0,16	0,16
10	480	40,5	28	1,5	0,31	0,47
20	441,6	45,24	28	1,5	0,63	1,1
30	422,4	47,6	28	1,9	1,19	2,29
40	403,2	50	26	1,7	1,42	3,71
50	384	52,4	26	1,9	1,98	5,7
60	394,8	54,8	26	2,3	2,3	8,58
pH ₀ :7,97 Eİ ₀ :4,34 mS/cm pH ₆₀ :11,38 Eİ ₆₀ :4,62 mS/cm						

Tablo 6.9. 5 mA/cm^2 akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 5 mM NaNO_3 destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	667,2	0,0	26	0,0	0,0	0,0
5	652,8	2,2	26	4,6	0,48	0,48
10	633,6	5,04	26	4,8	1,0	1,48
20	576	13,7	26	4,8	2,0	3,48
30	556,8	16,5	26	4,9	3,06	6,54
40	537,6	19,5	26	4,9	4,08	10,62
50	460,8	30,9	27	4,9	5,1	15,72
60	441,6	33,88	27	4,9	6,13	21,85
pH ₀ :8,34 Eİ ₀ : 1,214 mS/cm pH ₆₀ :10,4 Eİ ₆₀ :1,23 mS/cm						

Tablo 6.10. 5 mA/cm^2 akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 10 mM NaNO_3 destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

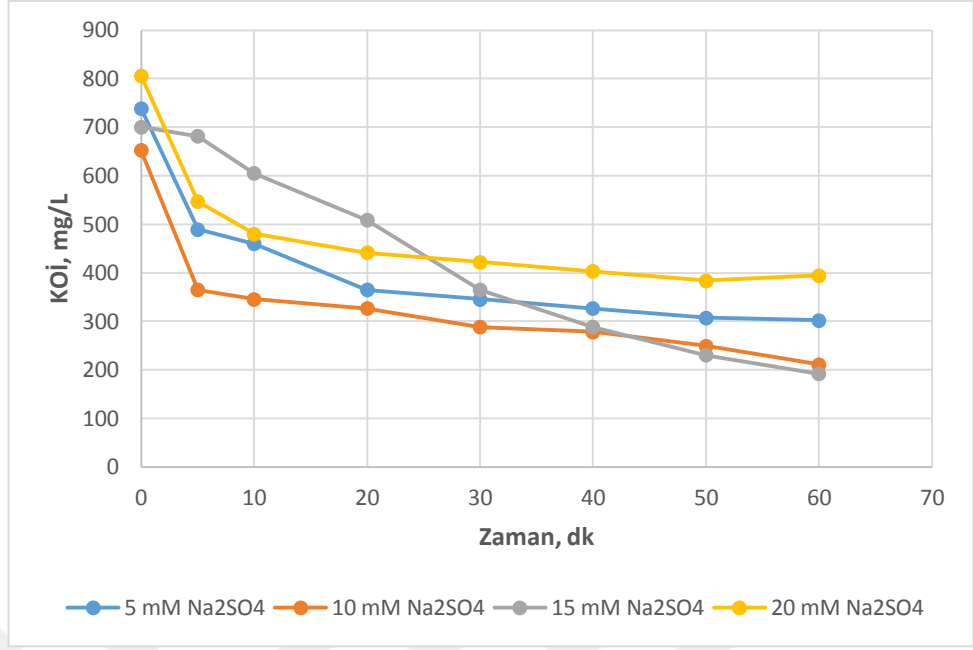
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	633,6	0,0	34	0,0	0,0	0,0
5	499,2	21,2	34	2,5	0,26	0,26
10	480,2	24,2	34	2,6	0,54	0,8
20	460,8	27,3	34	3,3	1038	2,2
30	403,2	36,4	34	5,0	3,13	5,33
40	364,8	42,4	32	5,7	4,75	10,08
50	326,4	48,5	32	6,1	6,35	16,43
60	307,2	51,5	31	5,9	7,38	23,81
pH ₀ :7,48 Eİ ₀ :1,8 mS/cm pH ₆₀ :11,18 Eİ ₆₀ :2,03 mS/cm						

Tablo 6.11. 5 mA/cm^2 akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 15 mM NaNO_3 destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

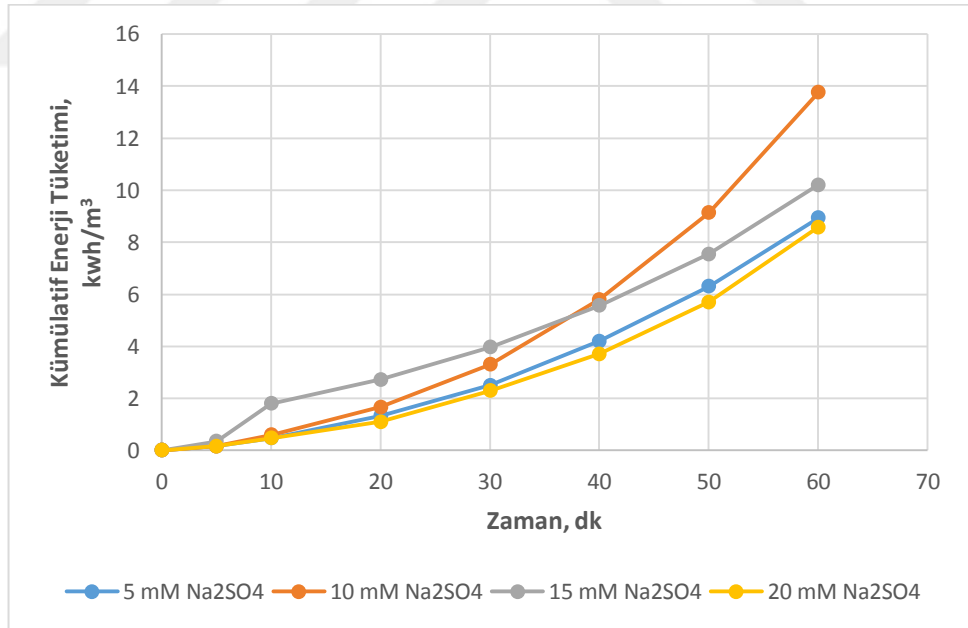
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	614,4	0,0	34	0,0	0,0	0,0
5	422,4	31,25	34	2,2	0,23	0,23
10	403,2	34,4	33	2,2	0,45	0,69
20	345,6	43,8	33	2,3	0,96	1,41
30	307,2	50	31	2,6	1,63	3,035
40	268,8	56,3	31	3,7	3,08	6,12
50	230,4	62,5	31	3,1	3,23	9,35
60	153,6	75	30	4,1	5,13	14,5
pH ₀ :7,68 Eİ ₀ :2,6 mS/cm pH ₆₀ :11,56 Eİ ₆₀ :2,96 mS/cm						

Tablo 6.12. 5 mA/cm^2 akım yoğunluğunda demir elektrot ile, 20 mM NaNO_3 destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

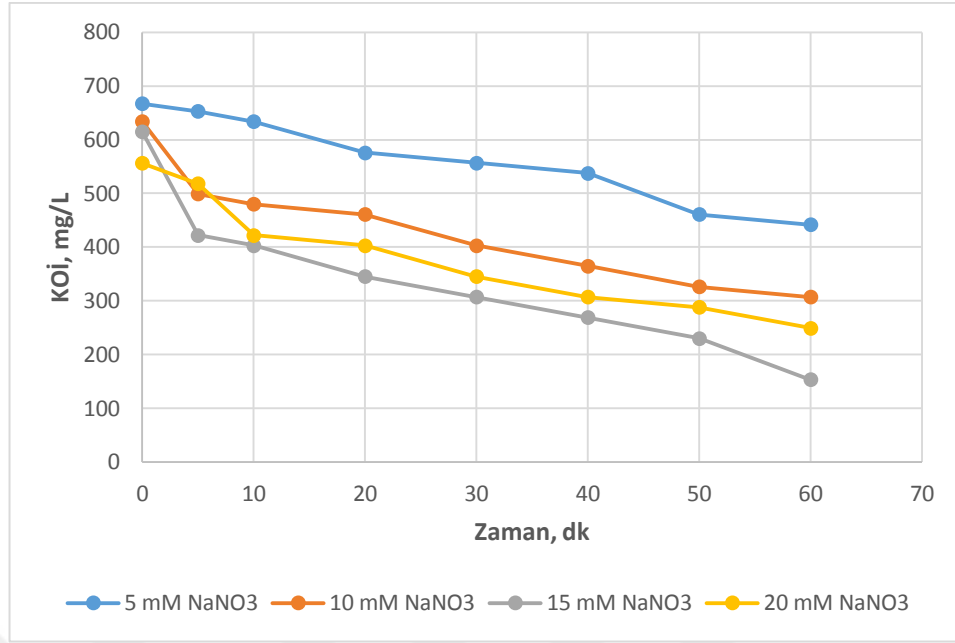
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	556,5	0,0	31	0,0	0,0	0,0
5	518,4	6,85	31	2,1	0,23	0,23
10	422,4	24,1	31	2,1	0,43	0,67
20	403,2	27,6	30	2,3	0,95	1,63
30	345,6	37,9	30	3,1	1,94	3,6
40	307,2	44,8	30	4,2	3,5	7,1
50	288	48,25	30	4,7	4,6	12
60	249,6	55	30	5,7	7,13	19,13
pH₀ :7,47 EI₀ :2,7 mS/cm pH₆₀ :11,72 EI₆₀ :3,85 mS/cm						



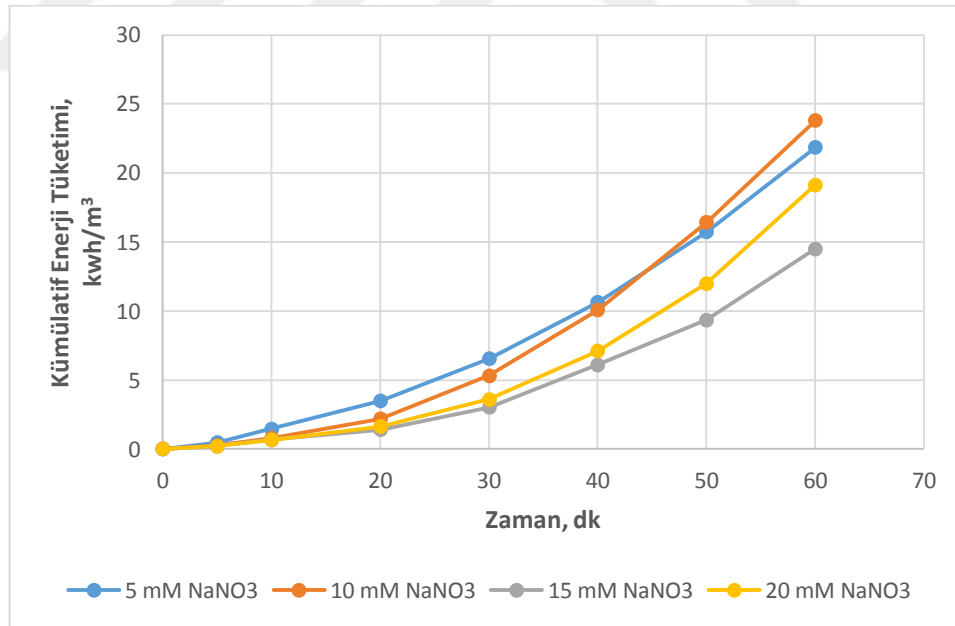
Şekil 6.3. Demir elektrot ile farklı derişimde Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi



Şekil 6.4. Demir elektrot ile farklı Na₂SO₄ derişimde kümülatif enerji tüketimi



Şekil 6.5. Demir elektrot ile farklı derişimde NaNO₃ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi



Şekil 6.6. Demir elektrot ile farklı NaNO₃ derişimde kümülatif enerji tüketimi

6.1.3. pH etkisi

pH'ın elektrokoagülasyon üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan çalışmalarda en iyi giderme verimi %75 olan 15 mM NaNO₃ destek elektrolit ilavesinde olduğu gözlemlenmiştir. Hazırlanan stok çözelti H₂SO₄ kullanılarak pH≈3 ve NaOH kullanılarak pH≈10 olarak ayarlanmış ve pH'ın koagülasyon etkisi 5 mA/cm² akım yoğunluğunda araştırılmıştır. Deney sonuçları **Tablo 6.13.** ve **Tablo 6.14.**'te verilmiştir. Deney sonuçları 15 mM NaNO₃ destek elektrolit ilavesinde stok çözeltisinin doğal pH'ının da (pH₀=7,68) bulunduğu, zamana karşı KOİ giderimi karşılaştırması **Şekil 6.7'** de, kümülatif enerji tüketimi yönünden karşılaştırılması **Şekil 6.8'** de gösterilmiştir. pH≈3, pH≈10 ve pH₀ için sırasıyla %44, %65, %75 KOİ giderim verimi elde edildi.

Tablo 6.13. pH≈3'te deney sonuçları

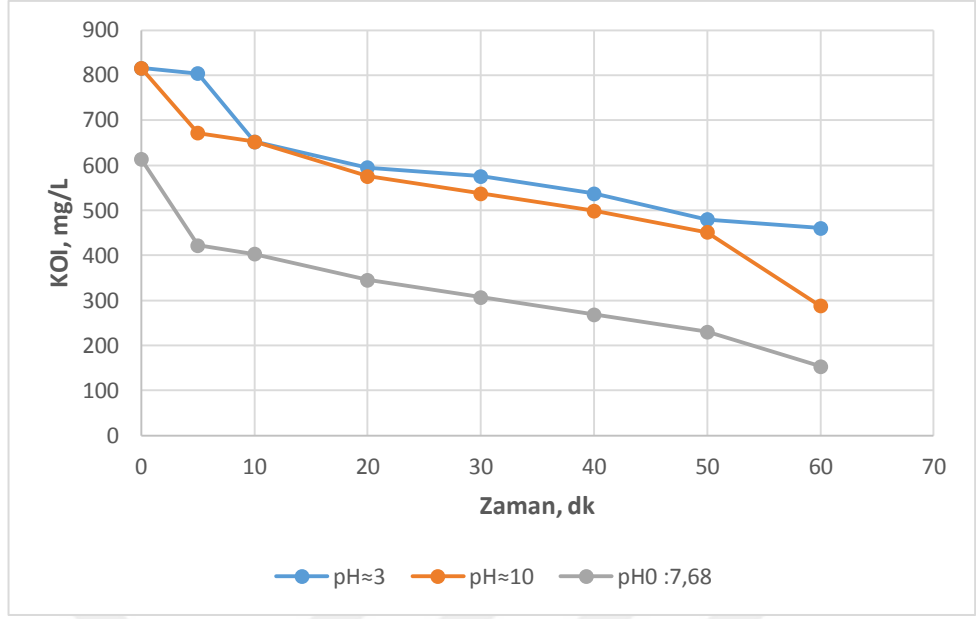
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	816	0,0	31	0,0	0,0	0,0
5	804	1,5	31	2,1	0,21	0,21
10	652,8	23,3	31	2,1	0,44	0,65
20	595,2	26,9	30	2,1	0,88	1,53
30	576	29,4	30	2,1	1,31	2,84
40	537,6	34,1	30	2,1	1,75	4,59
50	480	41,2	30	2,2	2,29	6,88
60	460,8	43,5	30	2,2	2,25	9,13

pH₀ :3 Eİ₀ :3,46 mS/cm
pH₆₀ :7,57 Eİ₆₀ :3,85 mS/cm

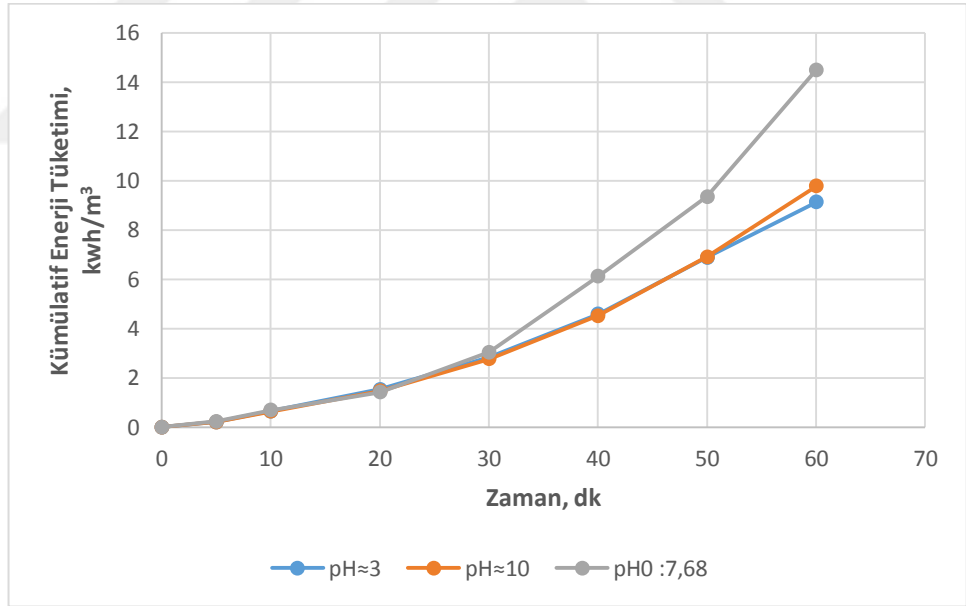
Tablo 6.14. *pH≈10'da deney sonuçları*

Zaman (dk)	KOI (mg/L)	KOI (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	816	0,0	31	0,0	0,0	0,0
5	672	17,4	31	1,9	0,21	0,21
10	652,8	20	31	2,0	0,42	0,63
20	576	29,4	30	2,0	0,83	1,46
30	537,6	34,1	30	2,1	1,31	2,77
40	499,2	39	30	2,1	1,75	4,52
50	451,2	44,7	30	2,3	2,39	6,91
60	288	64,7	30	2,3	2,87	9,78

pH₀ :10 Eİ₀ :4,01 mS/cm
pH₆₀ :11,36 Eİ₆₀ :3,38 mS/cm



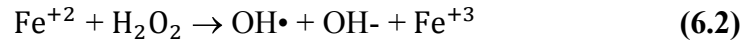
Şekil 6.7. Farklı pH değerlerinde KOİ giderimi



Şekil 6.8. Farklı pH değerlerinde kümülatif enerji tüketimi

6.1.4. Hidrojen peroksit etkisi

Fenton prosesi ile gerçekleştirilen arıtım, oksidasyon, nötralizasyon, koagülasyon/flokülasyon ve çökelme olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Fenton reaksiyonu olarak bilinen +2 değerlikli demir iyonunun hidrojen peroksit ile tepkime vermesi sonucu hidroksil radikali meydana getirdiği reaksiyon **Eşitlik 6.2'** de gösterilmiştir.



Fenton prosesinin verimliliği; Fe^{+2} ve H_2O_2 dozu, ortamın pH değeri, sıcaklık ve atık organik maddelerin derişiminden etkilenmektedir. Fenton proseslerinde optimum pH değeri 2 ile 4 arasındadır. pH 2 değerinden küçük olursa kompleks demir bileşikleri oluşur ve reaksiyon yavaşlar. Yüksek pH değerlerinde ise 4'ten büyük olduğu zaman ise ferrik-hidroksi bileşikleri oluşumu nedeniyle radikal oluşumu yavaşlamaktadır. Bu nedenle optimum pH değerinin genellikle 3 civarında olduğu tesit edilmiştir. Diğer bir önemli parametre ise hidrojen peroksit dozudur. Hidrojen peroksit dozu arttıkça parçalanma hızı artmaktadır. Ancak, ortamda fazla miktarda hidrojen peroksit bulunması durumunda hidroksil radikalleriyle reaksiyona girerek proses performansı düşmektedir. Ayrıca hidrojen peroksit sürdürülebilir bir madde olmadığı için çevre açısında çok fazla tüketilmemesi gerekmektedir [39].

Hidrojen peroksit (H_2O_2) etkisinin KOİ giderme verimi üzerindeki etkisini araştırmak üzere numuneye 1000 mg/L derişimi sağlayacak şekilde hidrojen peroksit ilavesi yapılmıştır. En iyi verimi gözlemlmek amacı ile pH= 3 ve numunenin kendi pH değeri olan pH= 7,68'de, t=0 anına en yakın zamanda hidrojen peroksit eklenmiştir. Demir elektrot ile 5 mA/cm² ve 15 mM NaNO₃ destek elektrolit kullanılarak gerçekleşen çalışmada pH= 3 ve pH= 7,68 için sırasıyla %83,3 ve %67,86 KOİ giderim verimi elde edildi. Deney sonuçları **Tablo 6.15 ve Tablo 6.16**'da verilmiştir. Sonuçların zamana karşı KOİ giderim yönünden karşılaştırılması **Şekil 6.9.** kümülatif enerji tüketim yönünden karşılaştırılması ise **Şekil 6.10** 'da gösterilmiştir.

Tablo 6.15. *pH=3'te Hidrojen peroksit ilavesi deney sonuçları*

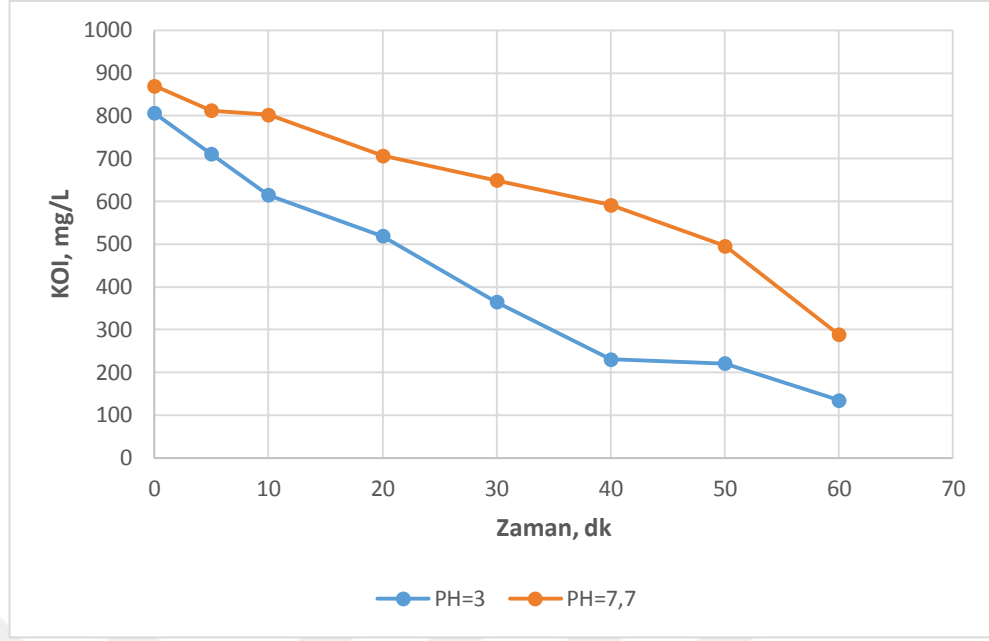
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	806,4	0,0	38	0,0	0,0	0,0
5	710,4	11,9	38	3,0	3,125	3,125
10	614,4	23,81	36	3,1	6,46	9,58
20	518,4	35,71	36	3,3	13,75	23,33
30	364,8	54,76	36	3,5	21,88	45,21
40	230,4	71,4	35	3,6	30	75,21
50	220,8	72,62	35	3,7	38,54	113,7
60	134,4	83,33	35	3,7	46,25	160

pH₀ :3,0 Eİ₀ :3,51 mS/cm
pH₆₀ :8,26 Eİ₆₀ :3,66 mS/cm

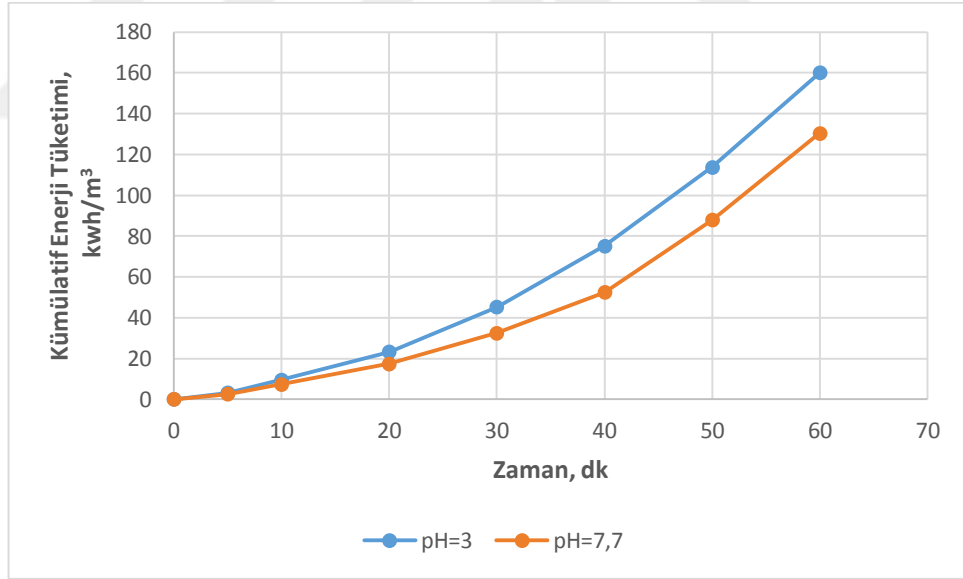
Tablo 6.16. *pH=7,68'te Hidrojen peroksit ilavesi deney sonuçları*

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	869,6	0,0	36	0,0	0,0	0,0
5	812	6,67	36	2,4	2,5	2,5
10	802,4	7,82	36	2,4	5	7,5
20	706,4	18,8	36	2,4	10	17,5
30	648,8	25,4	35	2,4	15	32,5
40	591,2	32,04	33	2,4	20	52,5
50	495,2	43,1	33	3,4	35,41	87,91
60	288	67,86	32	3,4	42,5	130,4

pH₀ :7,7 Eİ₀ :3,51 mS/cm
pH₆₀ :10,07 Eİ₆₀ :3,66 mS/cm



Şekil 6.9. Farklı pH değerlerinde hidrojen peroksit ilavesi ile KOİ giderimi



Şekil 6.10. Farklı pH değerlerinde hidrojen peroksit ilavesi ile kümülatif enerji tüketimi

6.2 Alüminyum Elektrotu İle Elektrokoagülasyon

6.2.1. Akım yoğunluğu etkisi

Hazırlanan 50 mg/L'lik Emamectin Benzoate stok çözeltisinden elektrokoagülasyon prosesiyle KOİ giderimini araştırmak için toplamda 60 dakikalık bir elektrokoagülasyon süresine tabii tutulmuştur. Deney sırasında çözeltiden, 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60. dakikalarda numuneler alınmıştır.

Deneyde elektrot olarak alüminyum, destek elektrolit olarak 15 mM Na₂SO₄ kullanılmıştır. Bu koşullar altında 5, 10, 15 ve 20 mA/cm² akım yoğunluğu değerleri çalışılmış ve KOİ giderimleri araştırılmıştır. Deney sonunda elde edilen bulgular **Tablo 6.17.-6.20.**'de verilmiştir. Zamana karşı KOİ giderimi **Şekil 6.11'** de, kümülatif enerji tüketimi ise **Şekil 6.12'** de gösterilmektedir. Buna göre; 60 dakika sonra 5, 10, 15 ve 20 mA/cm² yoğunluklarında, sırasıyla %33,33, %31,1, %33,3 ve %42,7 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Bundan sonraki optimum şartları tespit etmek için yapılan çalışmalarda en yüksek giderim veriminin elde edildiği ve en az enerji tüketiminin olduğu 20 mA/cm² akım yoğunluğu değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.17. 5 mA/cm² akım yoğunluğunda alüminyum elektrot ile, 15 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	864	0,00	41,00	0,0	0,00	0,0
5	844,8	2,22	40,00	17	1,77	1,77
10	768	11,11	35,00	26,6	5,54	7,31
20	760	12,04	35,00	29,5	12,3	19,61
30	691,2	20	34,00	28,3	17,68	37,29
40	576	33,33	34,00	27,1	22,6	59,89
50	576	33,33	32,00	27,1	28,23	88,12
60	576	33,33	32,00	27,1	33,87	121,9

pH₀ :8,13, Eİ₀ :3,67 mS/cm
pH₆₀ :10,7, Eİ₆₀ :3,75 mS/cm

Tablo 6.18. 10 mA/cm^2 akım yoğunluğunda alüminyum elektrot ile, $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	864	0,00	36,00	0,0	0,00	0,00
5	806,4	6,67	35,50	31,7	6,6	6,6
10	748,8	13,3	35,00	30,4	12,67	19,27
20	691,2	20	33,00	28,7	23,92	43,19
30	633,6	26,7	33,00	28,9	36,16	79,35
40	633,6	26,7	32,00	27,8	46,33	125,68
50	614,4	28,9	32,00	28,1	58,54	184,22
60	595,2	31,1	32,00	28,1	70,25	254,46

pH₀ :10,09, Eİ₀ :3,55 mS/cm
pH₆₀ :8,13, Eİ₆₀ : 3,60 mS/cm

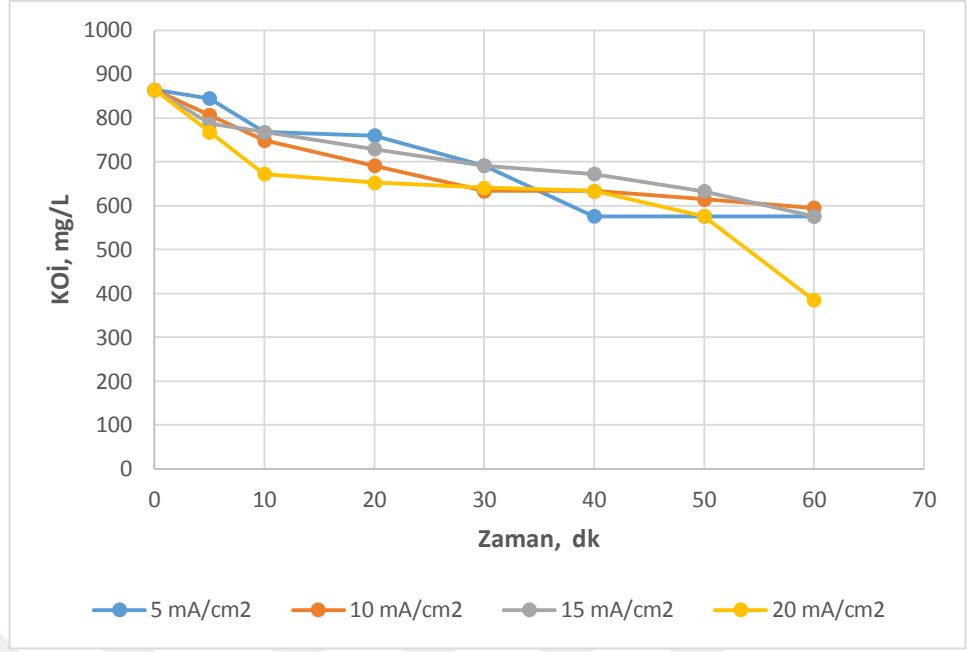
Tablo 6.19. 15 mA/cm^2 akım yoğunluğunda alüminyum elektrot ile, $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	864	0,00	36,00	0,0	0,00	0,0
5	787,2	8,9	35,50	34,3	10,72	10,7
10	768	11,09	35,00	31,2	19,5	30,2
20	729,6	15,6	35,00	30,6	38,25	68,4
30	691,2	20	35,00	30,2	56,63	125
40	672	22,2	34,5	30,5	76,25	201
50	633,2	26,7	34,5	30,3	94,69	296
60	576	33,3	34,5	31,2	117	413

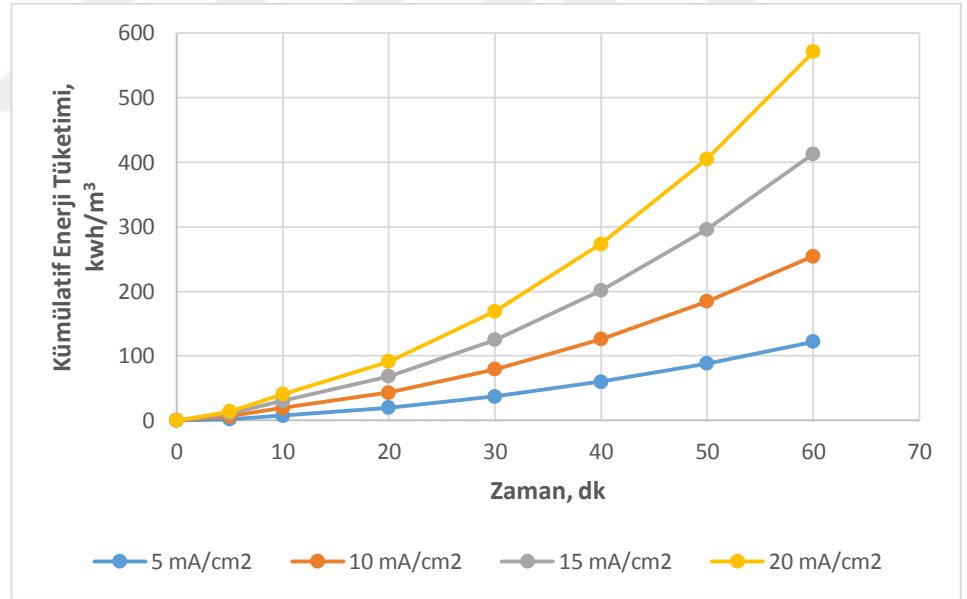
pH₀ :8,08, Eİ₀:3,65 mS/cm
pH₆₀ :10,56, Eİ₆₀: 3,64 mS/cm

Tablo 6.20. 20 mA/cm^2 akım yoğunluğunda alüminyum elektrot ile, $15 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	864	0,00	27,00	0,0	0,0	0,0
5	768	11,1	28,00	32,8	13,6	13,6
10	672	22,2	29,00	32,4	27	40,6
20	652,8	24,5	30,00	30,2	50,33	90,9
30	641,2	25,8	33,00	31,2	78	168
40	633,6	26,7	35,00	31,2	104	272
50	576	33,3	36,00	31,7	132	404
60	385,2	42,7	37,00	33,2	166	570
pH₀ :8,08, EI₀ :3,65 mS/cm pH₆₀: 10,56, EI₆₀: 3,73mS/cm						



Şekil 6.11. Alüminyum Elektrot ile Akım yoğunluğunun KOİ giderimi



Şekil 6.12. Farklı akım yoğunluklarının kümülatif enerji tüketimi

6.1.2. Destek elektrolit etkisi

Kullanılan destek elektrolit cinsi ve miktarının elektrokoagülasyon üzerindeki etkisini araştırmak için farklı koşullarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde akım yoğunluğu 20 mA/cm²’ dir.

Alüminyum elektrot ile yapılan deneylerde Na₂SO₄ ve NaNO₃ destek elektrolitlerinden, 10, 15, 20 ve 25 mM kullanılmıştır. Deney sonunda elde edilen bulgular **Tablo 6.21.-6.28.**’de verilmiştir. Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesi ile zamana karşı KOİ giderimi **Şekil 6.13**’ de, kümülatif enerji tüketimi ise **Şekil 6.14**’ de, NaNO₃ destek elektrolit ilavesi ile zamana karşı KOİ giderimi **Şekil 6.15**’ de, kümülatif enerji tüketimi ise **Şekil 6.16**’ de gösterilmektedir. Buna göre 10, 15, 20, 25 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesi için sırasıyla %55,56, %33,3, %52,2 ve %42,5 KOİ giderim verimi elde edilirken, 10, 15, 20, 25 mM NaNO₃ destek elektroliti için sırasıyla %50,72, %45,45, %39,4 ve %34,21 KOİ giderim verimi elde edildi.

Tablo 6.21. 20 mA/cm²’akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 10 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	691	0,0	40	0,0	0,0	0,0
5	518,4	24,97	46	40	16,67	16,67
10	384	44,44	52	34	28,33	45,0
20	374,4	48,82	68	31	51,67	96,67
30	364,8	47,72	74	30	75,0	171,67
40	345,6	49,99	86	29	96,67	268,34
50	326,4	52,82	86	29	120,83	389,17
60	307,2	55,56	86	30	150	539,17

pH₀:7,71 Eİ₀: 2,7 mS/cm
pH₆₀:10,32 Eİ₆₀:2,58 mS/cm

Tablo 6.22. 20 mA/cm²'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 15 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	864	0,00	46	0,0	0,00	0,0
5	787,2	8,9	46	34,3	10,72	10,72
10	768	11,09	48	31,2	19,5	30,22
20	729,6	15,6	54	30,6	38,25	68,47
30	691,2	20	60	30,2	56,63	125,1
40	672	22,2	62	30,5	76,25	201,35
50	633,2	26,7	62	30,3	94,69	296,04
60	576	33,3	66	31,2	117	413,04
pH ₀ :8,08, EI ₀ :3,65 mS/cm pH ₆₀ :10,56, EI ₆₀ : 3,64 mS/cm						

Tablo 6.23. 20 mA/cm²'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 20 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	883,2	0,00	45	0,0	0,0	0,0
5	748,8	15,21	46	37,4	15,58	15,58
10	652,8	26,1	62	28	23,33	38,91
20	633,6	28,3	65	19,4	32,33	71,24
30	595,2	32,6	65	20,1	50,25	121,5
40	537,6	39,1	70	19,3	64,33	185,83
50	441,6	50	71	18,4	76,67	262,5
60	422,4	52,2	75	18,4	92	354,5
pH ₀ :7,69 EI ₀ :4,43 mS/cm pH ₆₀ :10,04 EI ₆₀ :4,35 mS/cm						

Tablo 6.24. 20 mA/cm²’akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 25 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	768	0,0	40	0,0	0,0	0,0
5	633,6	17,5	48	32,6	13,58	13,58
10	576	25	60	29,2	24,33	37,91
20	556,8	27,5	70	27,8	46,33	84,24
30	499,2	35	78	27,7	69,25	153,5
40	480	37,5	80	27,3	91,0	244,5
50	460,8	40	85	25,7	107,08	351,58
60	441,6	42,5	87	23,5	117,5	469,1
pH ₀ :7,58 EI ₀ :5,24 mS/cm pH ₆₀ :10,7 EI ₆₀ :5,34 mS/cm						

Tablo 6.25. 20 mA/cm²’akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 10 mM NaNO₃ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	662,4	0,0	35	0,0	0,0	0,0
5	537,6	18,84	38	11	4,58	4,58
10	518,4	21,4	40	8	6,66	11,25
20	499,2	24,64	44	9	15	16,25
30	441,6	33,33	50	11	27,5	43,75
40	403,32	39,1	54	11	36,67	80,41
50	345,6	47,83	58	19	79,2	159,58
60	326,4	50,72	64	16	80	239,58
pH ₀ :7,58 EI ₀ :1704 mS/cm pH ₆₀ :10,38 EI ₆₀ : 1512 mS/cm						

Tablo 6.26. 20 mA/cm^2 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 15 mM NaNO_3 destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

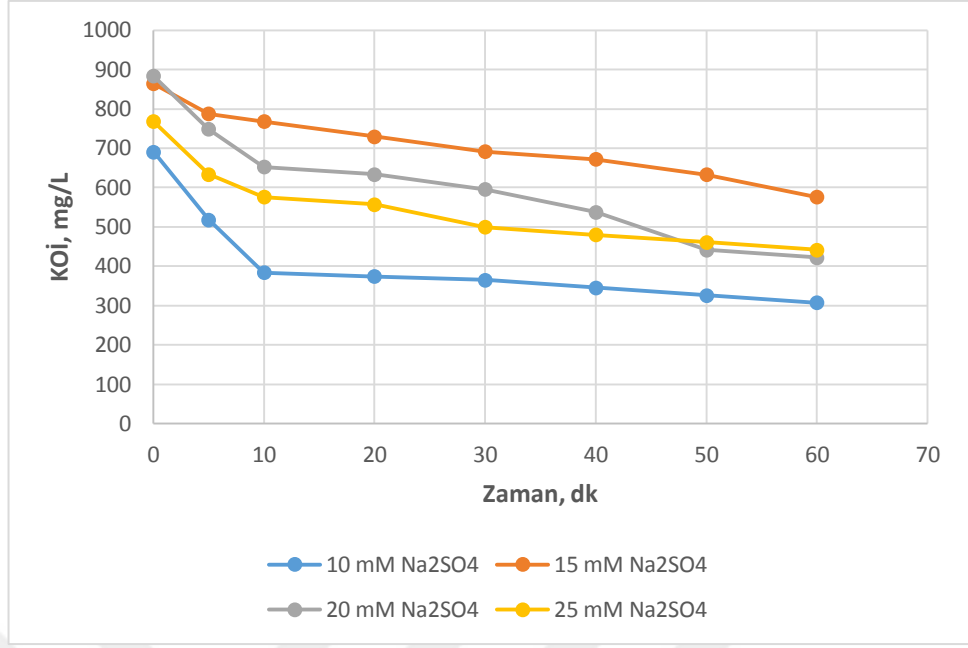
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	739,2	0	40	0,0	0,0	0,0
5	556,8	24,67	44	29,6	12,3	12,3
10	518,4	29,87	50	33,2	27,67	39,97
20	499,2	32,47	70	35,4	59	98,97
30	480	35,1	74	25,6	64	162,97
40	460,8	37,66	80	28,2	94	256,97
50	422,4	42,86	85	29,8	124,17	381,14
60	403,2	45,45	88	39,3	195,5	577,64
pH ₀ :7,62 Eİ ₀ :2,19 mS/cm pH ₆₀ :10,18 Eİ ₆₀ :2,04 mS/cm						

Tablo 6.27. 20 mA/cm^2 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 20 mM NaNO_3 destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

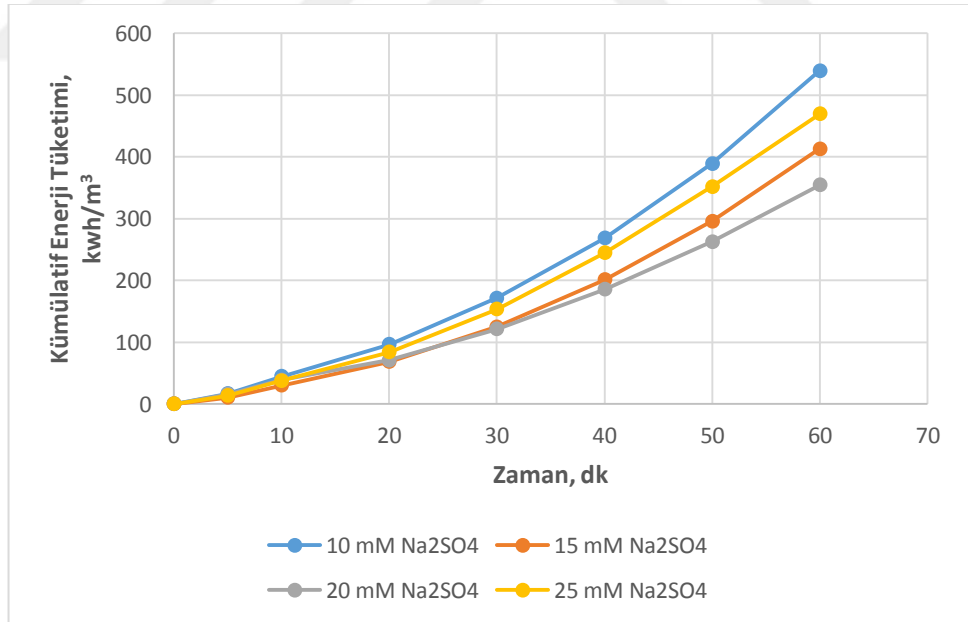
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	633,6	0,0	50	0,0	0,0	0,0
5	518,4	18,18	51	9,4	3,92	3,92
10	499,2	21,21	52	11,0	9,17	13,09
20	499,2	21,21	56	18,1	30,17	43,26
30	480	24,24	62	26,1	65,25	108,51
40	460,8	27,27	75	31,7	105,67	214,18
50	422,4	33,33	84	38,2	159,17	376,95
60	384	39,4	90	44,8	224	600,95
pH ₀ : 7,53 Eİ ₀ : 2,73 mS/cm pH ₆₀ : 9,66 Eİ ₆₀ : 2,52 mS/cm						

Tablo 6.28. 20 mA/cm^2 'akım yoğunluğunda, alüminyum elektrot ve 25 mM NaNO_3 destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

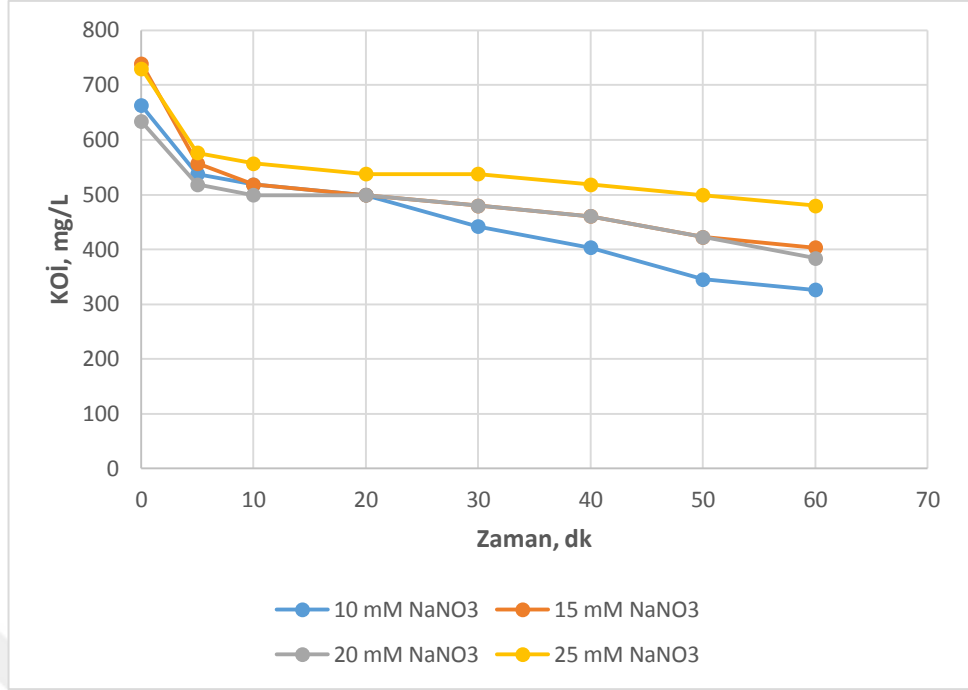
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	729,6	0,0	53	0,0	0,0	0,0
5	576	21,05	55	16,2	6,75	6,75
10	556,8	23,7	58	17,7	14,75	21,5
20	537,6	26,32	64	21,0	35	56,5
30	537,6	26,32	71	23,1	57,75	114,25
40	518,4	28,95	76	28,1	93,7	207,92
50	499,2	31,6	80	29,8	124,17	332,1
60	480	34,21	84	35,4	117	509,1
pH₀: 8,05 EI₀: 3,16 mS/cm pH₆₀: 9,85 EI₆₀: 2,87 mS/cm						



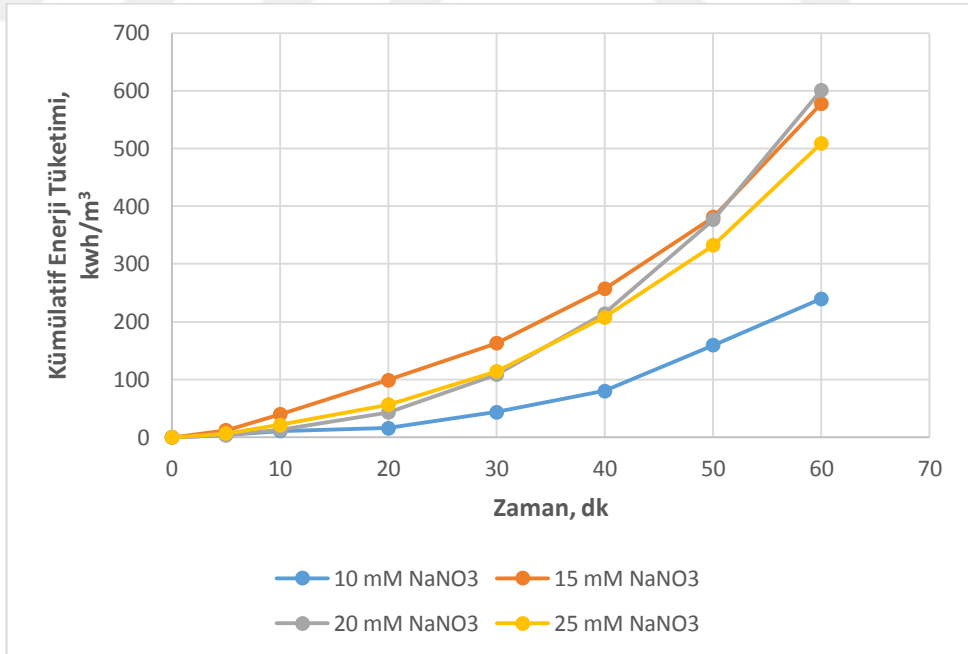
Şekil 6.13. Alüminyum elektrot ile farklı derişimde Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi



Şekil 6.14. Alüminyum elektrot ile farklı Na₂SO₄ derişimde kümülatif enerji tüketimi



Şekil 6.15. Alüminyum elektrot ile farklı derişimde NaNO_3 destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi



Şekil 6.16. Alüminyum elektrot ile farklı NaNO_3 derişimde kümülatif enerji tüketimi

6.1.3. pH etkisi

pH etkisinin elektrokoagülasyon üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan çalışmalarda en iyi giderme verimi; 10 mM Na₂SO₄ ilavesinde %55,56 ve 10 mM NaNO₃ ilavesinde %50,72 olduğu gözlemlenmiştir. Her iki destek elektrolit için hazırlanan stok çözelti H₂SO₄ kullanılarak pH≈3 ve NaOH kullanılarak pH≈10 olarak ayarlanmış ve pH'nın koagülasyon etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları **Tablo 6.29-6.32'** de verilmiştir. 10 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde (pH≈3, pH≈10 ve pH₀=7,71) KOİ giderim karşılaştırması **Şekil.17'** de, kümülatif enerji tüketimi karşılaştırması ise **Şekil.18'** de gösterilmiştir. 10 mM NaNO₃ destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde (pH≈3, pH≈10 ve pH₀=7,58) KOİ giderim karşılaştırması **Şekil.19'** de, kümülatif enerji tüketimi karşılaştırması ise **Şekil.20'** de gösterilmiştir.

Tablo 6.29. pH≈3'te Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	720	0,0	50	0,0	0,0	0,0
5	672	6,7	56	45,8	19,1	19,1
10	633,6	12	68	44,1	36,75	55,85
20	614,4	14,7	84	41,3	68,83	124,68
30	595,2	17,3	88	40,9	102,25	226,93
40	576	20	88	41,2	137,33	364,3
50	537,6	25,33	87	45,0	187,5	551,8
60	499,2	30,7	85	52,3	261,5	813,3

pH₀ : 3 Eİ₀ : 3,24 mS/cm
pH₆₀ : 9,35 Eİ₆₀ : 3,07 mS/cm

Tablo 6.30. *pH≈10'de Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesinin KOİ giderimine etkisi*

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	652,8	0,0	45	0,0	0,0	0,0
5	633,6	2,94	48	42,8	17,8	17,8
10	556,8	14,71	64	40,2	33,5	51,3
20	551,04	15,6	74	37,3	62,17	113,5
30	432	33,82	85	34,2	85,5	199
40	422,4	35,3	86	34,2	114	313
50	403,2	38,2	88	34,7	144,6	457,6
60	307,2	52,94	86	36,1	180,5	638,1

pH₀ : 10 EI₀ : 3,01 mS/cm
pH₆₀ : 10,06 EI₆₀ : 2,63 mS/cm

Tablo 6.31. *pH≈3'te NaNO₃ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi verimi*

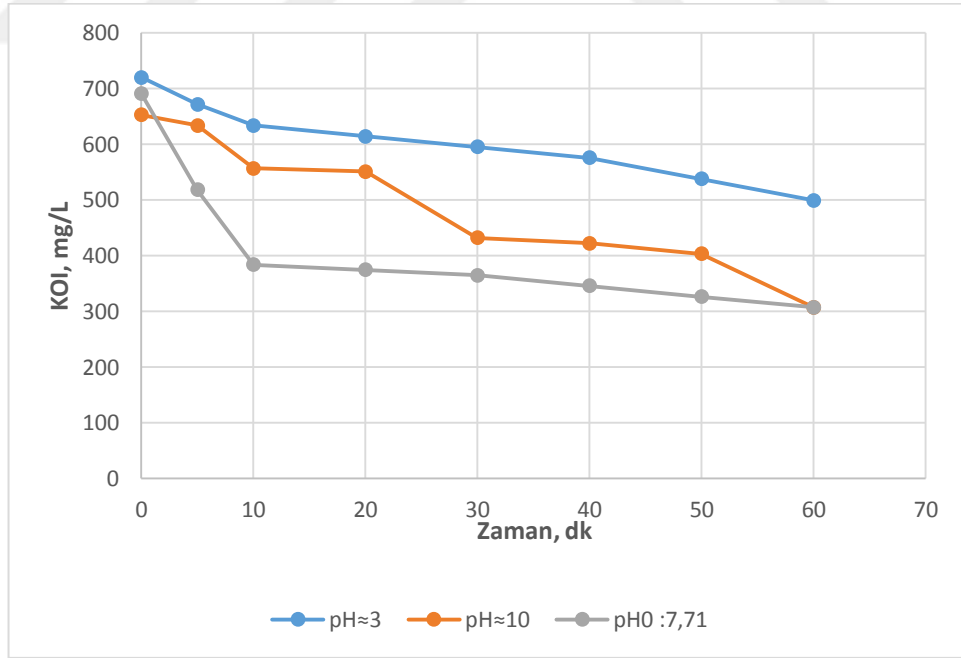
Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	768	0,0	45	0,0	0,0	0,0
5	710	7,5	48	10,9	4,5	4,5
10	672	12,5	59	12,1	10,08	14,58
20	518	32,5	59	15,2	25,33	39,91
30	480	37,5	66	17,3	43,25	83,16
40	288	62,5	75	19,4	64,67	147,83
50	172,8	77,5	78	38,4	160	307,83
60	192	75	88	43,2	216	523,83

pH₀ : 3 EI₀ : 2,24 mS/cm
pH₆₀ : 10,01 EI₆₀ : 1,62 mS/cm

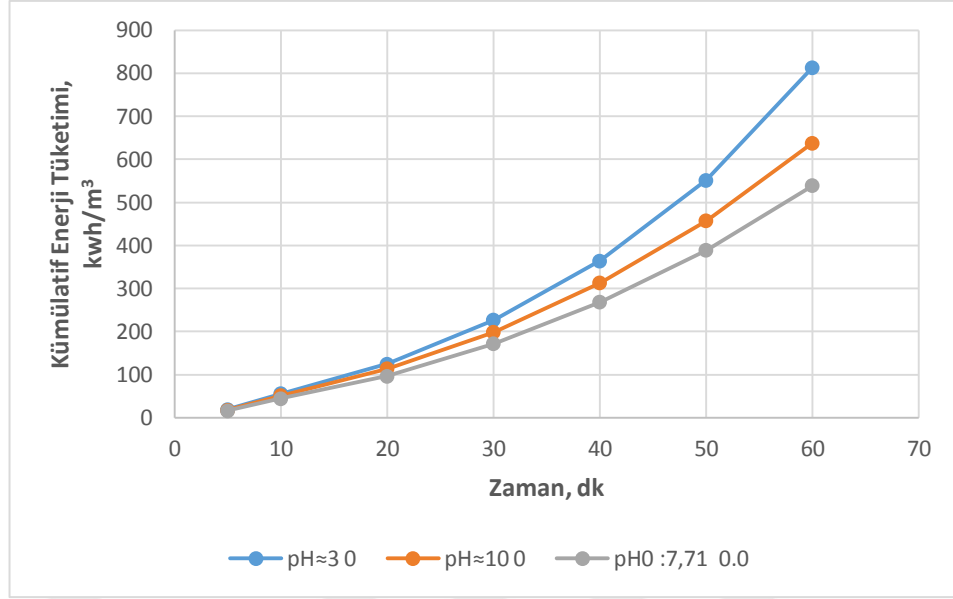
Tablo 6.32. $pH \approx 10$ 'te $NaNO_3$ destek elektrolit ilavesi sonucu KOİ giderimi verimi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ (% Giderim)	t (°C)	Gerilim (V)	Enerji Tüketimi (kwh/m ³)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m ³)
0	748,8	0,0	48	0,0	0,0	0,0
5	710,4	5,13	51	31,8	13,25	13,25
10	672	10,3	69	35,3	29,42	42,67
20	633,6	15,4	87	37,7	62,83	105,5
30	595,2	20,5	90	43,1	107,75	213,25
40	576	23,1	85	47,0	156,67	370
50	537,6	28	72	47,9	200	570
60	384	48,7	70	50,8	254	824

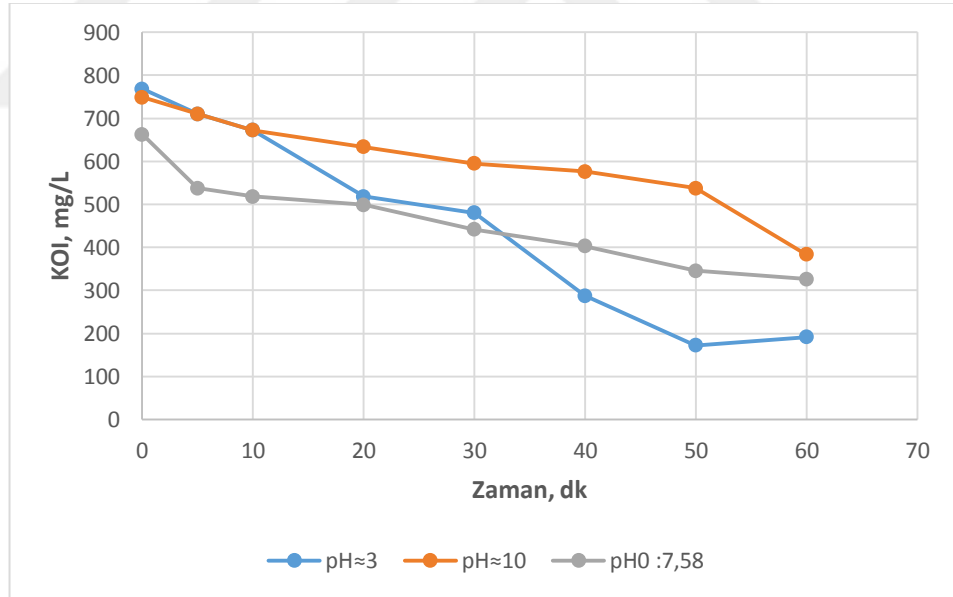
$pH_0 : 10$ $EI_0 : 1,9$ mS/cm
 $pH_{60} : 10,37$ $EI_{60} : 1,63$ mS/cm



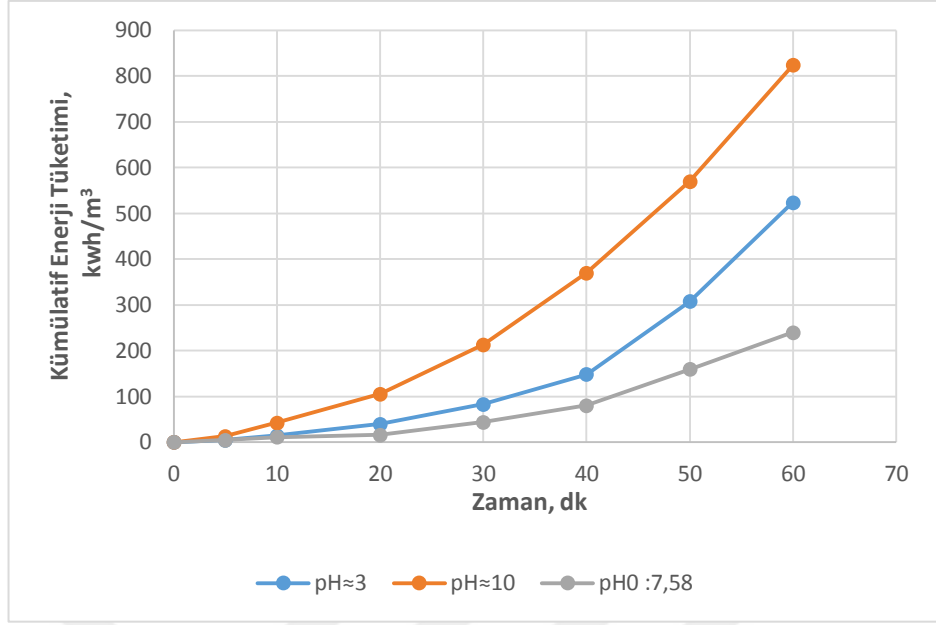
Şekil 6.17. Na_2SO_4 destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde KOİ giderimi



Şekil 6.18. Na_2SO_4 destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde kümülatif enerji tüketimi



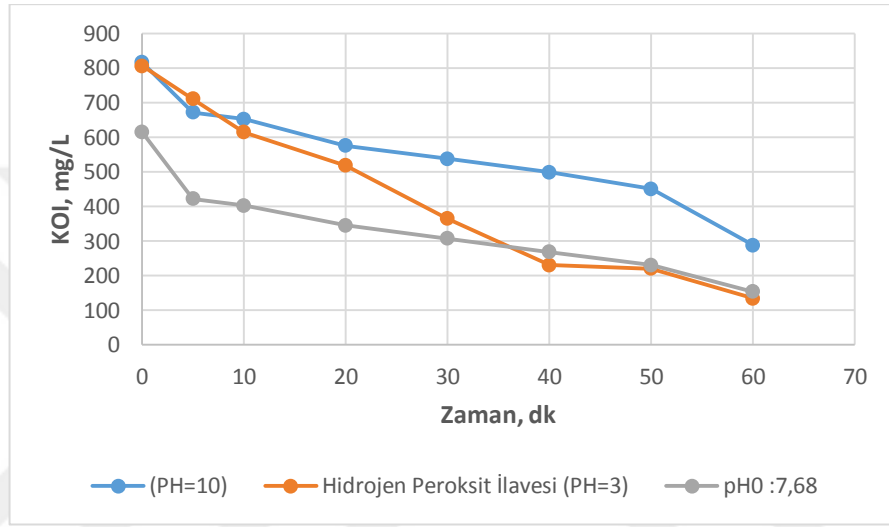
Şekil 6.19. $NaNO_3$ destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde KOİ giderimi



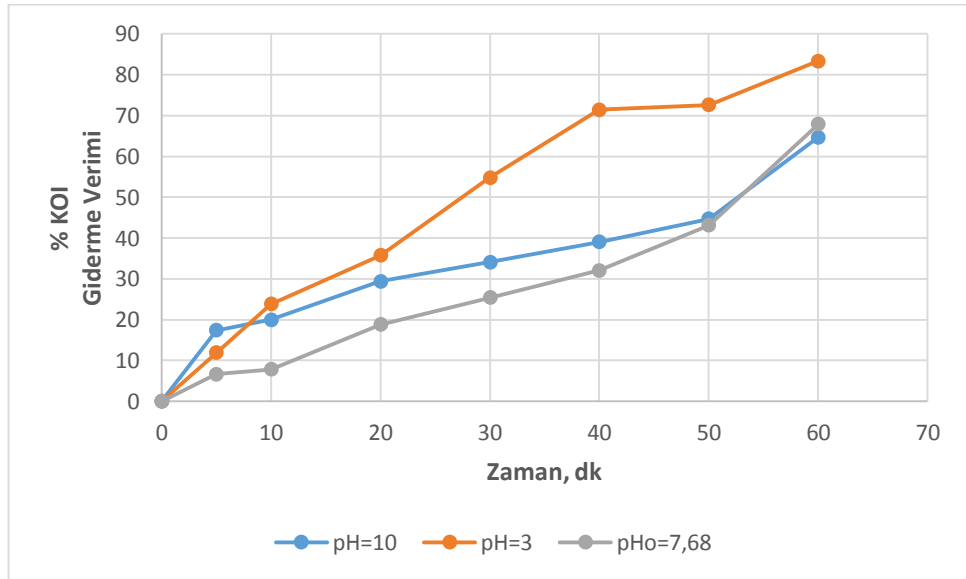
Şekil 6.20. *NaNO₃ destek elektrolit ilavesi ile farklı pH değerlerinde kümülatif enerji tüketimi*

SONUÇ

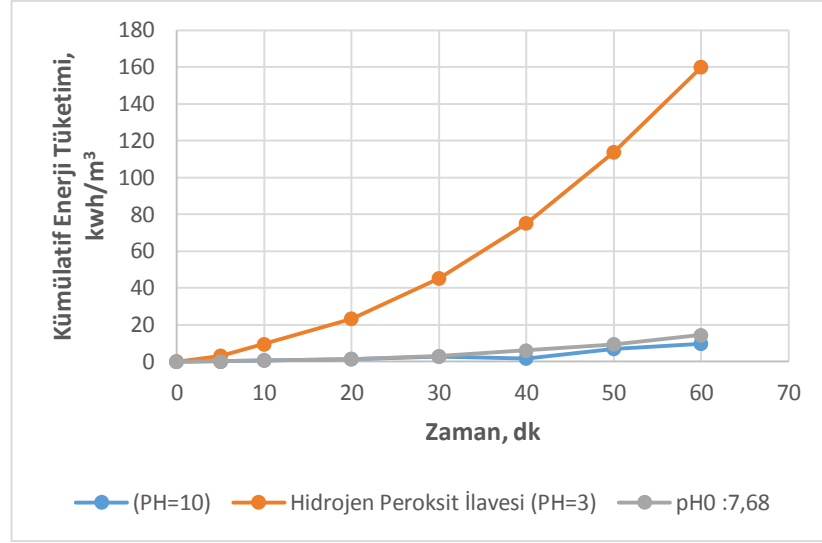
Demir elektrot ile yapılan çalışmalarda en iyi giderme verimi; pH=10 ve Hidrojen Peroksit ilavesinde pH=3 olarak ayarlandığında elde edilmiştir. 5 mA/cm² akım yoğunluğu ve 15 mM Na₂SO₄ destek elektrolit ilavesi şartlarında her iki durumun ve stok çözeltinin Na₂SO₄ ilavesinde doğal pH=7,68 değerinde (pH₀) gerçekleşen giderimin karşılaştırılması **Şekil 7.1.**' de, % KOI giderim verimi karşılaştırması **Şekil 7.2.** gösterilmiştir. Kümülatif enerji tüketimi karşılaştırılması ise **Şekil 7.3.**' de yapılmıştır.



Şekil 7.1. Demir elektrot ile pH=10, pH=3 ve pH₀' da hidrojen peroksit ilavesi şartlarında KOI giderimi

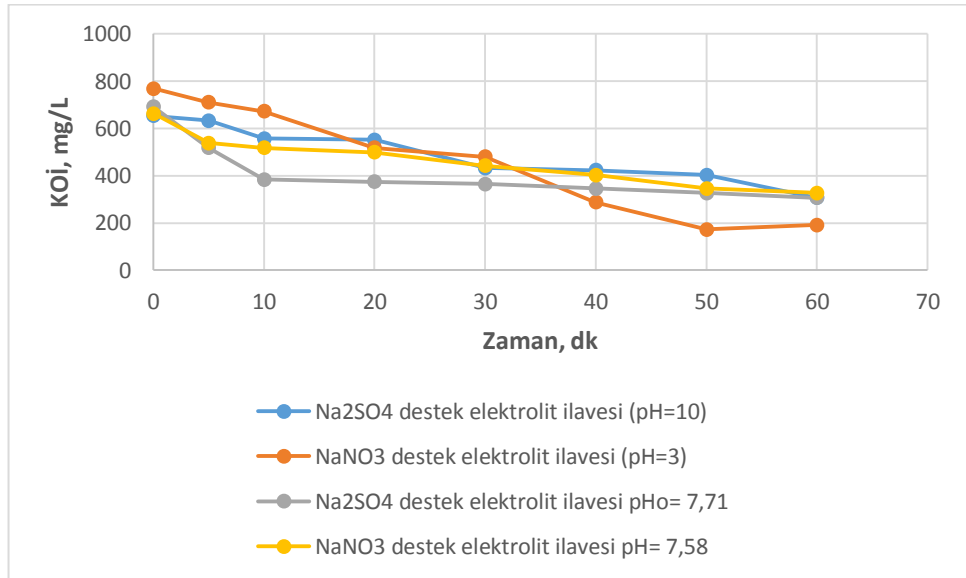


Şekil 7.2. Demir elektrot ile pH=10, pH=3 ve pH₀' da hidrojen peroksit ilavesi şartlarında % KOI giderim verimi

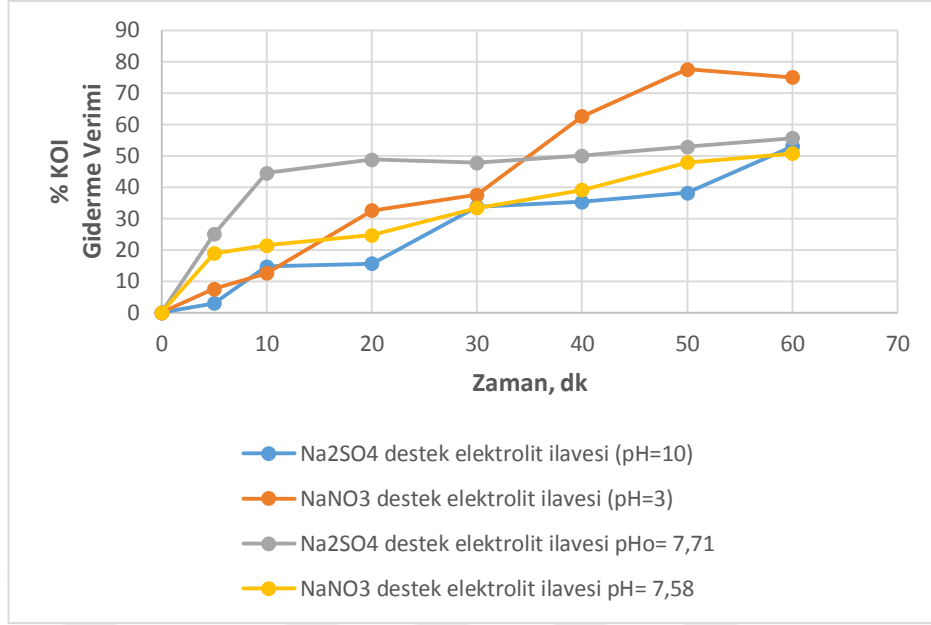


Şekil 7.3. *Demir elektrot ile pH=10, pH=3 pH₀' de hidrojen peroksit ilavesi şartlarında kümülatif enerji tüketimi*

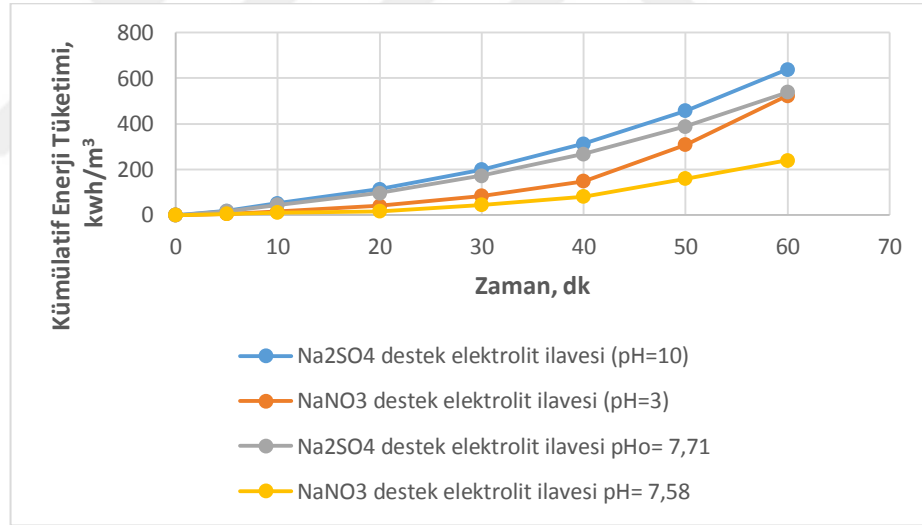
Alüminyum elektrot ile yapılan çalışmalarda en iyi giderme verimi; pH=10'da Na₂SO₄ ve PH=3'te NaNO₃ destek elektrolit ilavesinde olduğu belirlenmiştir. 20 mA/cm² akım yoğunluğu, Na₂SO₄ ve NaNO₃ için 10 mM destek elektrolit ilavesi şartlarında her iki durumun ve stok çözeltinin doğal pH=7,71 ve pH= 7,58 değerinde (pH₀) gerçekleşen giderimin karşılaştırılması **Şekil 7.4.**' de, % KOI giderim verimi karşılaştırması **Şekil 7.5.** gösterilmiştir gösterilmiştir. Kümülatif enerji tüketimi karşılaştırılması ise **Şekil 7.6.**' de yapılmıştır.



Şekil 7.4. *Alüminyum elektrot ile pH=10'da Na₂SO₄ ve pH=3'te NaNO₃ ve pH₀' da destek elektrolit ilavesi şartlarında KOI giderimi*



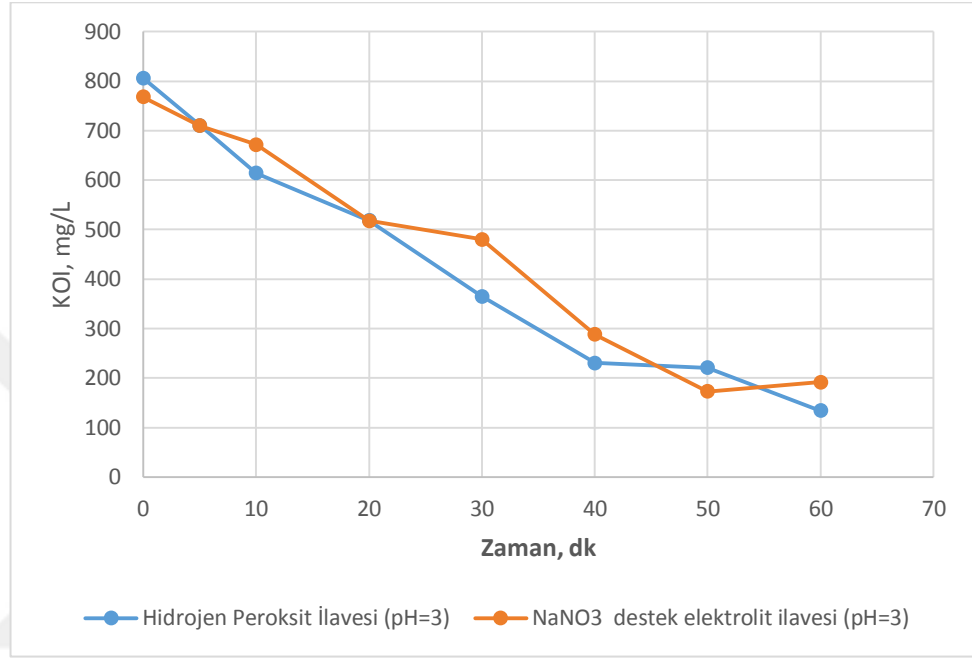
Şekil 7.5. Alüminyum elektrot ile pH=10'da Na_2SO_4 ve pH=3'te NaNO_3 ve pH₀'da destek elektrolit ilavesi şartlarında % KOI giderim verimi



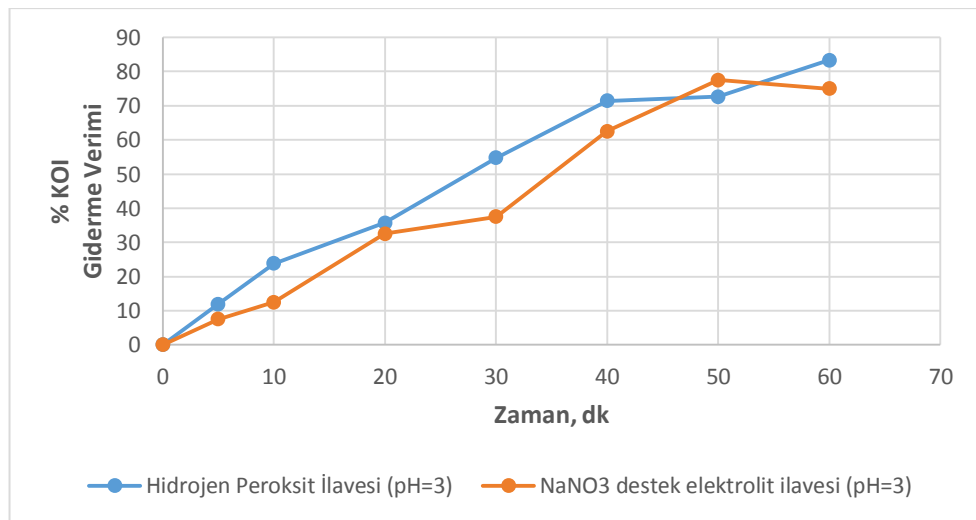
Şekil 7.6. Alüminyum elektrot ile pH=10'da Na_2SO_4 ve pH=3'te NaNO_3 ve pH₀'da destek elektrolit ilavesi şartlarında kümülatif enerji tüketimi

Son olarak demir elektrot ve alüminyum elektrotu KOI giderimi açısından karşılaştıracak olursak; demir elektrot için en iyi giderimin pH=3'te hidrojen peroksit ilavesinde, alüminyum elektrot için ise pH=3'te NaNO_3 destek elektrolit ilavesinde olduğunu görmekteyiz. Her iki elektrot için bu şartların karşılaştırılması **Şekil 7.7.**'te, % KOI giderim verimi karşılaştırması **Şekil 7.8.** gösterilmiştir. Kümülatif enerji tüketimini ise **Şekil 7.9.**'da yapılmıştır.

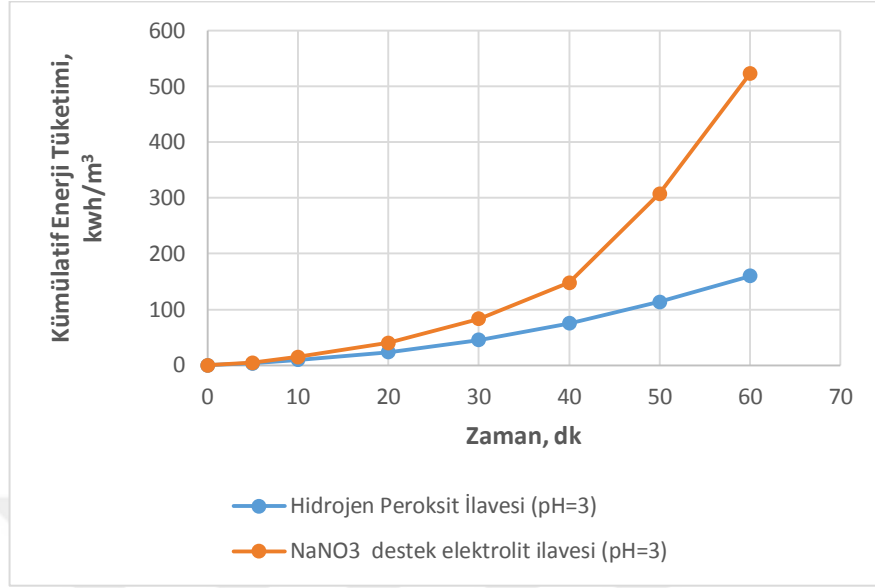
Bileşiminde %5 Emamectin benzoate insektisiti bulunan Bekchi 5 SG tarımsal ilaç üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda; elektrokimyasal arıtım ile maksimum KOI gideriminin, demir elektrot ile pH=3'te hidrojen peroksit ilavesinde sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kümülatif enerji tüketimi açısından demir elektrotun tüketiminin alüminyum elektrota göre çok daha az olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.7. Demir elektrot ve alüminyum elektrotun en iyi şartlarında KOI giderimi



Şekil 7.8. Demir elektrot ve alüminyum elektrotun en iyi şartlarında % KOI giderim verimi



Şekil 7.9. *Demir elektrot ve alüminyum elektrotun en iyi şartlarında kümülatif enerji tüketimi*

Yapılan bu çalışmaya göre, uygulamanın tarım ilaçları ile kirlenmiş suların arıtımında elverişli olduğu, pilot tesis ölçeklerinde de uygulanabilir olduğu, ayrıca geleneksel biyolojik arıtım yöntemlerine göre zaman, maliyet ve giderim verimi yönlerinden daha uygun bir seçenek olduğu öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Bahadır E.B., Meriç Pagona S., (2014). Pestisit Analizlerinde Elektrokimyasal Biyosensörlerin Kullanımı, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 18-28.
- [2] Özkaya G., Çeliker A., Koçer-Giray B., (2013), İnsektisit zehirlenmeleri ve Türkiye’deki durumun değerlendirilmesi, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 70, 2.
- [3] Garcia F.P., Cortes Ascencio S.Y., Gaytan Oyarzun J.C., Hernandez A.C., Alavardo P.V., (2012), Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks, *Journal of Research in Environmental Science and Toxicology*. 1 (11), 279-293.
- [4] Zeghioud H., Khellad N., Djelal H., Amrane A., Bouhelassa M., (2016), Photocatalytic Reactors Dedicated to the Degredation of Hazardous Organic Pollutants: Kinetics, Mechanistic Aspects, and Design-A Review, *Chemical Engineering Communications*, 203, 1415-1431.
- [5] Chong M.N., Jin B., Chow C.W.K., Saint C., (2010), Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review, *Water Research*, 44, 2997-3027.
- [6] Ojanper, I., (2000), Pesticides. In: Forensic Science, Handbook of Analytical Separations.(Editor: Bogusz M.J.), *Elsevier Science*, Vol 2.
- [7] Sraw A., Toor A.P., Wanchoo R.K., (2015), Adsorption kinetics and degradation mechanism study of water persistent insecticide quinalphos: for heterogeneous photocatalysis onto TiO₂, *Desalination and Water Treatment*, 57, 16831-16842.
- [8] Yusa, V., Millet M., Coscolla C., Roca M., (2015), Analytical methods for human biomonitoring of pesticides. A review, *Analytica Chimica Acta*, 891, 15-31.
- [9] Tu W., Xu C., Lu B., Lin C., Wu Y., Liu W., (2016), Acute exposure to synthetic pyrethroids causes bioconcentration and disruption of the hypothalamus–pituitary–thyroid axis in zebrafish embryos, *Science of the Total Environment*, 542, 876-885.
- [10] Ventura C., Nieto M.R.R., Bourguignon N., Lux-Lantos V., (2016), Pesticide chlorpyrifos acts as an endocrine disruptor in adult rats causing changes in mammary gland and hormonal balance, *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 156, 1-9.
- [11] Rashid B., Husnain T., Riazuddin, S., (2010), Herbicides and pesticides as potential pollutants: a global problem, *Plant Adaptation Phytoremediation*, Springer, Dordrecht, 427- 447.
- [12] Mahmood I., Imadi S.R., Shazadi K., Gul A., Hakeem K.R., (2016), *Plant Soil and Microbes: Implications in Crop Science*, Chapter, Effects of Pesticides on Environment, Switzerland, Springer International Publishing.
- [13] Ertaş, A.S. (2019). *Elektrokimyasal Yöntemle Fungisit Giderimi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.

- [14] Şahin Ç., Karpuzcu M.E., (2019), Organofosfatlı Pestisitlerin Pilot Ölçekli Sulak Alan Reaktörlerinde Gideriminin İncelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 1, 137-145.
- [15] Atabey M., (2019), *Reaktif red 195 içeren tekstil atıksularının elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılması*, Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [16] Barbunski K., Filipek, K., 2001. Use of Fenton's reagent for removal of pesticides from industrial wastewater. *Polish J. Env. Stud.* 10(4): 207-212.
- [17] Badawy, M.I., Ghaly, M.Y., Gad-Allah, T.A., (2006), Advanced oxidation processes for the removal of organo-phosphorus pesticides from wastewater. *Desalination, Elsevier*, 194, 166-175.
- [18] Santos T.E.S., Silva R.S., Carlesi Jara C., Eguiluz K.İ.B, Salazar G.R., (2014), The influence of the synthesis method of Ti/RuO₂ electrodes on their stability and catalytic activity for electrochemical oxidation of the pesticide carbaryl, *Elsevier*, 148, 1-2, 39-47.
- [19] Gökkuş Ö., (2014), *Tıbbi atık sterilizasyon tesisi atıksuyunun elektrokimyasal metotlarla arıtımı*, Erzurum: Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [20] Alanso Salles N., Fourcade F., Geneste F., Floner D., Amrane A., (2010), Relevance of an electrochemical process prior to a biological treatment for the removal of an organophosphorous pesticide, phosmet, *Elsevier*, 181, 617-623.
- [21] Kıraroğlu M., (2008), *Tekstil atıksularının farklı gün kaynakları kullanılarak elektrokimyasal arıtımında optimum şartların araştırılması*, Gebze: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] Göktürk F.A., (2007), *Estisit endüstriyel atıksuların fenton prosesi ile arıtımı*, Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
- [23] Vlyssides A., Arapoglou D., Mai S., Barampouti M.E., (2005), Electrochemical detoxification of four phosphorothioate obsolete pesticides stocks, *Elsevier*, 58, 439-447.
- [24] Samsunlu A., (2011), *Çevre mühendisliği kimyası*, İstanbul: Birsan yayınevi
- [25] Çelikel Y., (2011), *Alpha-cypermethrin'in daphnia manga üzerine akut toksik etkisinin araştırılması*, Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] Belge Kurutaş E., Kılıç M., (2003), Pestisitlerin biyolojik sistemler üzerine etkisi, *Dergipark*, 12, 215.
- [27] Akdoğan A., Divrikli Ü., Latif E., (2012), *Pestisitlerin Önemi ve Ekosisteme Etkileri*, Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Fakültesi.
- [28] Altıkat A., Turan T., Ekmekyapar Torun F., (2009), Türkiye'de pestisit kullanımı ve çevreye olan etkileri, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (2), 87-92.
- [29] Akdoğan A., Divrikli Ü., Elçi L., (2003), Pestisitlerin önemi ve ekosisteme etkileri, *Dergipark*, 12, 215.

- [30] Erdoğan B. Y., (2010), Samsun’da Yaygın Kullanılan Pestisitlerin Sağlığa ve Çevreye Etkileri, *Altıneri*, 28-35
- [31] Minimum H., Hu D., Wang H., Zhao Y., Cui Y., Luo K., Zhang L., Liu W., Wu P., Wang A., Zhang Y., (2020), Electrochemical-assisted hydrolysis/acidification-based processes as a cost-effective and efficient system for pesticide wastewater treatment, *Chemical Engineering Journal*, 397, 125417.
- [32] http-1: <http://politeknik.org.tr/pestisit-kullanimi-son-10-yilda-yuzde-57-artti-ve-antalya-basi-cekiyor-bulent-sik-bianet/> (Erişim tarihi: 12.12.2020)
- [33] Sırtbaş G., (2013), *Alkali ve asidik çinko kaplama atıksularının elektrokimyasal arıtımı*, Gebze: Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilimdalı.
- [34] Köksal Z., (2015), *Antep fıstığı işleme atıksularının sürekli sistemde elektrokimyasal arıtım yöntemleri ile arıtımının incelenmesi*, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35] Uysal M., (2017), *Tekstil atıksuyunda kimyasal renk giderim yöntemleri*, Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [36] İlhan F. , Kurt U., Apaydın Ö., Arslankaya E., Gönüllü M.T., (2007), *Elektrokimyasal arıtım ve uygulamaları: katı atık sızıntı suyu çalışması*, AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetiminde Çevre Sorunları Sempozyumu
- [37] Yiğit S. (2008), *Nikel-Siyanür metal kaplama işlemi durulama banyo atıksularının elektrokimyasal arıtımı*, Gebze: Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [38] Akarsu C., (2015), *Elektrokoagülasyon prosesi ile endüstriyel atıksu arıtımı*, Mersin: Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği.
- [39] Odabaşı Üstün S., Mayram B., Büyükgüngör H., (2017), Fenton ve fotofenton prosesleri ile atıksudaki aspirinin giderim verimliliğinin karşılaştırılması, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(ICOCEE), 326-332

ÖZGEÇMİŞ

İSİM SOYİSİM

Ayşegül BALUM

İŞ DENEYİMİ

Tem 2019-Halen	İş Güvenliği Uzmanı/Çevre Mühendisi <i>Porsuk OSGB-Eskişehir</i>
Tem 2019-Halen	İş Güvenliği Uzmanı/Çevre Mühendisi <i>Esco Emaye Döküm San. ve Tic. A.Ş. -Eskişehir</i>
Tem 2019-Halen	İş Güvenliği Uzmanı/Çevre Mühendisi <i>Zimag Araç ve Makine San. ve Tic. A.Ş. -Eskişehir</i>
Tem 2019-Halen	İş Güvenliği Uzmanı <i>Entil Endüstri Yatırımları San. ve Tic. A.Ş. -Eskişehir</i>
Tem 2018-Şub 2019	Çevre Mühendisi <i>Bolat Geri Dönüşüm-Eskişehir</i>
Kas 2017-Eylül 2017	Stajyer Mühendis <i>Ford Otasan/İnönü-Eskişehir</i>
Haz 2017-Ağus 2017	Stajyer Mühendis <i>ESKİ-Eskişehir</i>

EĞİTİM ve NİTELİKLER

Tem 2018-Mayıs 2021	Yüksek Lisans / Çevre Teknolojileri ABD <i>Eskişehir Teknik Üniversitesi</i>
Haz 2018-Mart 2019	Yüksek Lisans / İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü <i>İstanbul Gelişim Üniversitesi</i>
Eylül 2012-Aralık 2017	Lisans / Çevre Mühendisliği <i>Cumhuriyet Üniversitesi</i>

SERTİFİKALAR

Şub 2021	İrata Teknisyenliği - L1 <i>Owlaq</i>
Kas 2020	Yüksekte Çalışma Eğitici Eğitimliği <i>Başkent Üniversitesi</i>
Kas 2020	1.Seviye Yangın Eğitici Eğitimliği <i>Başkent Üniversitesi</i>
Tem 2019	B Sınıfı İş Sağlığı ve Güvenliği Belgesi <i>AÇSHB</i>
Ağus 2018	İlk Yardımcı Sertifikası <i>Sağlık Bakanlığı</i>
Ağus 2018	İlk Yardımcı Sertifikası <i>Türk Kızılay</i>
May 2018	Çevre Görevlisi Belgesi <i>Çevre ve Şehircilik Bakanlığı</i>

BECERİLER

Ms Office, ANP/AHP, Super Decision, Minitab

DİLLER

İngilizce (İyi Seviyede)