

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KANATLI HAYVAN KESİM HANE ATIKSULARININ
ELEKTROKOAGÜLASYON YÖNTEMİ İLE
ARITILABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Nazire Pınar TANATTI

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. İ. Ayhan ŞENGİL

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KANATLI HAYVAN KESİM HANE ATIKSULARININ
ELEKTROKOAGÜLASYON YÖNTEMİ İLE
ARITILABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Nazire Pınar TANATTI

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 17/06/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


.....
Jüri Başkanı

Prof. Dr. İ. Ayhan SENGİL


.....

Üye

Doç. Dr. Mahmut ÖZACAR


.....

Üye

Yrd. Doç. Meral Yurtsever

TEŞEKKÜR

Bu araştırmayı büyük bir hassasiyetle yöneten, çalışmama yön veren, bilgi ve tecrübesi ile ışık tutan, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. İ. Ayhan ŞENGİL' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince her türlü yardımı gördüğüm Ően Piliç Kesimhane Fabrikası' na ve laboratuvar görevlilerine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KANATLI HAYVAN KESİMhANELERİ ÜRETİM AŞAMALARI VE PROSESLER.....	5
2.1. Endüstrinin Tanımı.....	5
2.2. Üretim Prosesleri.....	7
2.3. Kanatlı Hayvan Kesimhane Atıksularının Arıtım Teknolojileri.....	10
BÖLÜM 3.	
ELEKTROKOAGÜLASYON.....	13
3.1. Koagülasyon ve Elektrokoagülasyon.....	14
3.2. Kullanım Alanları.....	16
3.3. Elektrokoagülasyonun Avantajları.....	16
3.4. Elektrokoagülasyonun Dezavantajları.....	17
3.5. Elektrokoagülasyon Teorisi ve Mekanizması.....	17

3.6. Elektrokoagülasyon Prosesindeki Elektrotların Reaksiyonları.....	20
3.6.1. Demir elektrotlar.....	21
3.6.2. Alüminyum elektrotlar.....	23
3.7. Elektrokoagülasyon Reaktör Dizaynı	24
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE METOT.....	25
4.1. Kanatlıhayvan Kesimhane Atıksularının Karakteristiği.....	25
4.2. Deney Yöntemi	26
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL BULGULAR.....	27
5.1. Elektrot Materyali Seçimi.....	27
5.2. İletkenliğin Etkisi.....	28
5.3. Başlangıç pH' ının Etkisi.....	31
5.4. Akım Yoğunluğunun Etkisi.....	36
5.5. Elektroliz Zamanının Etkisi.....	43
5.6. Elektriksel Enerji Tüketimi.....	49
5.7. Kan Oranlarının Etkisi.....	51
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	53
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Amper
A	: Elektrot yüzey alanı
A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
Al	: Alüminyum
C_0	: Başlangıç konsantrasyonu
C_e	: Konsantrasyon katsayısı
cm	: Santimetre
cm^2	: Santimetre kare
$C_{son,KOİ}$: EC dan sonra KOİ konsantrasyonu
CSTR	: Sürekli akımlı tank reaktör
DAF	: Çözünmüş hava flotasyonu
dk	: Dakika
dm^3	: Desimetre küp
E	: Elektriksel enerji
E	: Elektrotlarda alınan-verilen elektron sayısı
EC	: Elektrokoagülasyon
Fe	: Demir
g	: Gram
I	: Akım
i	: Akım yoğunluğu
K	: Kelvin
k	: KOİ giderme kapasite katsayısı
k_2	: Reaksiyon hız katsayısı

kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
L	: Litre
m	: Elektroliz boyunca çözülmüş Fe veya Al kütlesi
mA	: Miliamper
M_A	: Elektrotlarda toplanan veya çözünen elementin atom ağırlığı
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
n	: Katsayı
R	: Giderme verimi
R^2	: Regresyon
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
SGBR	: Statik granül yataklı reaktör
T	: Sıcaklık
t	: Zaman
t_{EC}	: EC proses zamanı
TN	: Toplam azot
TOK	: Toplam organik karbon
U	: Hücre voltajı
UASB	: Yukarı yatak akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler
V	: Volt
Wh	: Watt saat
$^{\circ}C$: Santigrad derece
$\Delta KOİ$: Atıksudan giderilen konsantrasyon

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Paralel bağlı bipolar EC reaktör.....	24
Şekil 5.1.	Fe ve Al elektrot için TOK giderme verimi üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi.....	29
Şekil 5.2.	Fe ve Al elektrot için TN giderme verimi üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi.....	30
Şekil 5.3.	Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi.....	31
Şekil 5.4.	Fe ve Al elektrot için TOK giderme verimi üzerine başlangıç pH'ının etkisi.....	33
Şekil 5.5.	Fe ve Al elektrot için TN giderme verimi üzerine başlangıç pH'ının etkisi	33
Şekil 5.6.	Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine başlangıç pH'ının etkisi.	34
Şekil 5.7.	Fe ve Al elektrot için yağ-gres giderme verimi üzerine başlangıç pH'ının etkisi.....	35
Şekil 5.8.	Fe ve Al elektrot için TOK giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi.....	37
Şekil 5.9.	Fe ve Al elektrot için TN giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi.....	38
Şekil 5.10.	Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi.....	39
Şekil 5.11.	Fe elektrot için $\Delta KOI/m$ ile $C_{son,KOI}$ grafiği.....	41
Şekil 5.12.	Al elektrot için $\Delta KOI/m$ ile $C_{son,KOI}$ grafiği.....	41
Şekil 5.13.	Fe ve Al elektrot için yağ-gres giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi.....	43

Şekil 5.14.	Fe ve Al elektrot için TOK giderme verimi üzerine elektroliz zamanının etkisi.....	45
Şekil 5.15.	Fe ve Al elektrot için TN giderme verimi üzerine elektroliz zamanının etkisi.....	46
Şekil 5.16.	Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine elektroliz zamanının etkisi.....	46
Şekil 5.17.	KOİ giderme hızı için ikinci derece pseudo denkleminin grafiği..	48
Şekil 5.18.	Fe ve Al elektrot için yağ-gres giderme verimi üzerine elektroliz zamanının etkisi.....	49
Şekil 5.19.	Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi ve enerji tüketimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi.....	50
Şekil 5.20.	Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine kan oranlarının etkisi.....	52

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Kullanılan atıksuyun karakteristiği.....	25
Tablo 5.1.	Fe ve Al elektrot için NaCl konsantrasyonuna göre TOK, TN ve KOİ giderme değerleri.....	28
Tablo 5.2.	Fe ve Al elektrot için TOK, TN ve KOİ giderme verimleri üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi.....	29
Tablo 5.3.	Fe ve Al elektrot için pH değişimlerine göre TOK, TN, KOİ ve yağ- gres giderme değerleri.....	32
Tablo 5.4.	Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine başlangıç pH' ının etkisi.....	32
Tablo 5.5.	Fe ve Al elektrot için akım yoğunluklarına göre TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme değerleri.....	36
Tablo 5.6.	Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine akım yoğunluğunun etkisi.....	37
Tablo 5.7.	KOİ giderimi için izoterm modelinin k ve n sabitleri.....	42
Tablo 5.8.	Fe ve Al elektrot için elektroliz zamanına göre TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme değerleri.....	44
Tablo 5.9.	Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine elektroliz zamanının etkisi.....	44
Tablo 5.10.	İkinci derece pseudo kinetik modelin katsayıları.....	48

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Elektrokoagülasyon, kanatlı hayvan kesimhane atıksuyu, demir elektrot, alüminyum elektrot.

Dünya nüfusunun büyük bir kısmına temiz su temini bugün insanlığın karşılaştığı en önemli konulardan biridir. Atıksuların tekrar kullanımını mutlak gereklidir ve gelişmiş, çok etkili ve pahalı olmayan atıksu arıtma teknikleri geliştirilmesi gereklidir.

Bu araştırmada; kanatlı hayvan kesimhane atıksularının özellikleri ve arıtım sistemleri incelenerek, yeni bir teknoloji olan elektrokoagülasyon metodu ile kan katılan atıksuda toplam organik karbon (TOK), toplam azot (TN), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve yağ-gres giderimi ele alınacaktır. Bu incelemede; kanatlı hayvan kesimhane prosesinin atıksuyuna kan katılarak toplam organik karbon (TOK), toplam azot (TN), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve yağ-gres giderimine etki eden faktörlerin laboratuvar deneyleri ile incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kesikli sistem düzenekleri kurularak TOK, TN giderme verimleri üzerine iletkenlik, pH, akım yoğunluğu, elektroliz zamanı; KOİ giderme verimi üzerine iletkenlik, pH, akım yoğunluğu, elektroliz zamanı, elektrik enerji tüketimi ve kan oranları etkiler incelenmiştir. Ayrıca, yağ-gres giderme verimine; pH, akım yoğunluğu ve elektroliz zamanının etkileri incelenmiştir.

TREATMENT OF POULTRY SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION

SUMMARY

Keywords: Electrocoagulation, poultry slaughterhouse wastewater, iron electrode, aluminium electrode.

The slaughterhouse industry is a very old human activity and although it is still a relatively small-scale industrial sector, its environmental impact has grown considerably due to the increase in plant production.

In this study, poultry slaughterhouse wastewater features and treatment systems are reviewed with a new technology, electrocoagulation method with bloody wastewater, will be handled total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), chemical oxygen demand (COD) and oil-grease removal. In this review, poultry slaughterhouse wastewater by adding blood aimed to examine the effecting factors of oil-grease and total organic carbon, total nitrogen, chemical oxygen demand removal efficiency with laboratory experiments.

In this study, discontinuous system by establishing mechanisms on TOC, TN removal efficiency, conductivity, pH, current density, electrolysis time; on COD removal efficiency, conductivity, pH, current density, electrolysis time, electrical energy consumption and blood rate effects were examined. Moreover, oil-grease removal efficiency, pH, current density and electrolysis time effects were examined.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Doğrudan ya da dolaylı etkileri ile canlı yaşamının vazgeçilmez bir unsuru olan su, yalnızca insan gereksinimlerinin değil, ekolojik dengenin korunması ve canlı türlerinin yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için de son derece önemlidir. Doğada alternatifi bulunmayan suyun günümüzde kısıtlı su kaynaklarının artan ihtiyacı karşılayabilmesi, bu kaynakların korunması, verimli kullanımın yanı sıra kullanılmış suların geri kazanımının da sağlanması ile mümkün olacaktır.

Dünya nüfusunun büyük bir kısmına temiz su temini bugün insanlığın karşılaştığı en önemli konulardan biridir. Atıksuların tekrar kullanımı mutlak gereklidir ve gelişmiş, çok etkili ve pahalı olmayan atıksu arıtma teknikleri geliştirilmesi gereklidir [1].

Atıksu kirliliği dünyada daima problem olmuştur. İnsan tüketimi için su temizlemenin ucuz ve etkili metodları olduğu gibi endüstriyel atıksuların diğer su sistemlerine boşaltılmadan önce temizlenmesi gerekir [2].

Suyun arıtılması için, endüstriyel atıksuların miktarı ve kirletici kaynak özelliklerine bağlı olarak birçok yöntem geliştirilmiştir. Fakat farklı endüstrilerdeki atıksular için daha etkin yöntemlerin geliştirilmesi zorunluluğu doğmuştur.

Artan nüfusun gereksinimlerini karşılayabilmek için tarımda ve endüstride “daha çok üretim” zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Kuşkusuz “daha çok üretim” yapısı “daha çok artık ve atık” sorununu getirmiştir. Özellikle son 30-40 yıl içinde teknolojiye bağlı olarak üretimde ve tüketimde baş döndürücü hızda olan artışlar ciddi ekolojik denge bozulmalarına yol açmıştır [3,4].

Çevre kirlenmesinin tümüyle ortadan kaldırılması bugün için sözkonusu değildir. Tüm çağdaş ve modern yaşamdan vazgeçilmesi halinde kirliliğin artışı duracak, ancak bugüne kadar olan kirliliğin birikintisi uzun yıllar devam edecektir. Bu durumda yapılması gereken şey, bir yandan mevcut kirliliği temizlerken öte yandan daha fazla kirlenmenin elden geldiğince önüne geçmektedir [5].

Kirliliği yaratan unsurlar evsel ve endüstriyel atıklardır. İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kirlilikler herhangi bir işlem uygulanmadan doğrudan doğaya verildiğinde “atık” adını alır.

Doğal kaynakların hızla tüketildiği günümüzde, bir taraftan daha çok üretim ve tüketim yapısına paralel olarak artış gösteren atıklarla oluşan çevre kirliliğini azaltma, diğer taraftan dünya nüfusunun içme ve kullanma suyu ile besin üretimini arttırma ihtiyacı, geriye kazanılabilir atıklardan yeniden yararlanmayı gündeme getirmiştir [6].

Son yıllarda hızla artış gösteren çevre kirliliğinin temelinde insanoğlunun sanayileşmeye verdiği önem yatmaktadır.

Kesimhane endüstrisi çok eski bir insan aktivitesidir ve diğerlerine göre küçük ölçekli endüstriyel sektör olsa da çevresel etkisi fabrika üretimindeki artışa uygun olarak oldukça çok gelişmektedir [7].

Kanatlı hayvan kesimhane atıksuları arıtma tesislerindeki atıklar yüksek seviyede organik madde içermektedir [8]. Kanatlı hayvan atıksuyu yağ, protein ve selüloz gibi askıda ve kolloidal madde [9] ile nitrojen ve fosfor [10] içermektedir. Kesimhane atıksularının sıcaklıkları 20-35 °C arasında değişmektedir [11].

Kanatlı hayvan atıksuları lipitler, proteinler, kan ve diğer organik maddeleri içermektedir. Eğer bu atıksular nehirlere ve derelere arıtılmadan boşaltılırsa çevresel zararlara neden olacaktır. Bir tavuk proseslemede insan için 10-12 L su tüketimi gereklidir. Böylece kanatlı hayvan prosesleme tesisinde su tüketimi oldukça çoktur [12].

Kesimhaneler yüksek atıksu hacimleri üretir ve sıkça su verimsiz kullanılmış olur [13]. Bu yüzden, kesimhaneler için, yalnızca suyun neticesi değil çevre ve bir de sudaki atık önemlidir. Ayrıca kirlilik için potansiyel üretim çizgisinde kan gibi zorlukla düşürülen organik maddeler yüksek kalitede atık üretimine uygun olarak büyümektedir [14].

Atıksu arıtma teknikleri; nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderme gibi biyolojik prosesler ve kimyasal ilavesi gerekli olan fizikokimyasal prosesleri kapsar. Yaygın kullanılan fizikokimyasal prosesler filtrasyon, iyon değiştirme, kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon, karbon adsorpsiyonu, ultrafiltrasyon, ters osmoz, elektrodializ, buharlaştırma ve gaz giderimidir [1].

Endüstriyel atıksuların miktarları ve kirlenici kaynak özelliklerine bağlı olarak birçok yöntem geliştirilmiştir. Fakat farklı endüstrideki atıksular için daha etkin yöntemlerin geliştirilmesi zorunluluğu doğmuştur.

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularının arıtımı için aerobik ve anaerobik metodlar geleneksel olarak kullanılmaktadır [15]. Ayrıca karbon giderimi genellikle kesimhanelerin atıksuları gibi yüksek organik içerikli atıksuların oksijenli ve oksijensiz prosesleri tercih edilmektedir [16]. Aerobik arıtma prosesleri oksijen transfer kapasitesi ve yüksek çamur üretiminde havalandırma için yüksek enerji tüketmektedir [17].

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularının biyolojik arıtımı zordur. Çünkü aktif çamur prosesi kesimhane atıksuları gibi güçlü atıksuların direkt arıtılmasında bir seri zorlukların çıkması olasıdır. Bu zorluklar yüksek havalandırma maliyetleri, yüksek seviyede aktif çamur üretimi ve bir de oksijen transferi problemleridir [18,19].

Pekçok kanatlı hayvan atıksuyu her litresinde 20 g çamur ve kuru atık üretir ve büyük miktarda kimyasal ve enerji ihtiyacı gerektirerek fizikokimyasal arıtılır [20,21]. Flokülasyon, koagülasyon, filtrasyon, gaz buharlaştırma ve yanma sistemleri gibi fiziksel ve kimyasal metodlar kısmen problemleri çözmektedir [19]. Bu yöntemlerde bugün en çok uygulananlardan biri koagülasyon prosesidir.

Koagülasyon prosesi kimyasal veya elektriksel olarak gerçekleştirilebilir. Kimyasal koagülasyon yüksek maliyeti ve fazla çamur oluşturması sebebiyle bugün daha az kullanılmaktadır. Elektrokoagülasyon proseslerinde iyon ya da kolloidal yükü nötralize etmek için elektrik akımı kullanılır. Elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu anotta oluşan metal iyonları su ile reaksiyona girerek metal oksitleri ve hidroksitleri oluştururlar. Atıksudaki hedef partiküller, elektriksel olarak üreten bu metal iyonları ve oksit/hidroksitleri ile koagüle edebilirler [22].

Bu araştırmada; kanatlı hayvan kesimhane atıksularının özellikleri ve arıtım sistemleri incelenerek, yeni bir teknoloji olan elektrokoagülasyon metodu ile kan katılan atıksuda toplam organik karbon (TOK), toplam azot (TN) kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), yağ-gres giderimleri ele alınacaktır. Bu incelemede; kanatlı hayvan kesimhane prosesinin atıksuyuna kan katılarak TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimine etki eden faktörlerin laboratuvar deneyleri ile incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kesikli sistem düzenekleri kurularak TOK, TN giderme verimleri üzerine iletkenlik, pH, akım yoğunluğu, elektroliz zamanı; KOİ giderme verimi üzerine iletkenlik, pH, akım yoğunluğu, elektroliz zamanı, elektrik enerji tüketimi ve kan oranları etkiler incelenmiştir. Ayrıca, yağ-gres giderme verimine; pH, akım yoğunluğu ve elektroliz zamanının etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 2. KANATLI HAYVAN KESİMHANELERİ ÜRETİM AŞAMALARI VE PROSESLERİ

2.1. Endüstri Tanımı

Türkiye’ de tavukçuluğun geliştirilmesi için ilk adım 1930 yılında Ankara’ da Merkez Tavukçuluk Araştırma Enstitüsünün kurulması ile atılmakla birlikte 1952 yılına kadar önemli bir gelişme sağlanamamıştır. 1952 yılında saf kültür ırklarının ithali gerçekleşmiş ve A.B.D.’ den günlük civcivler olarak gelen New Hampshire, Plymouth Rock ve Leghorn gibi ırklar Tarım Bakanlığı’ na bağlı kuruluşlara ve halka dağıtılmıştır. Bu uygulama ile tavukçuluk özendirilmiş, ancak bakım koşulları yeterli olmadığı ve bu ırklar üzerinde herhangi bir genetik-ıslah çalışma yapılmayıp kendi hallerine bırakıldıklarından istenilen yüksek verim düzeyine ulaşılamamıştır. Daha sonra 1956 yılında Yem Sanayi T.A.Ş.’ nin kurulması ile rasyonel besleme koşulları oluşmaya başlamıştır. Özel sektörün konuya ilgi duyması 1963 yılında hibrid ebeveynleri ithali ile başlamıştır. Büyük ebeveyn ana ve baba hatlarının ithaline ise 1980 yılında izin verilmiştir [23].

Ülkemiz hayvancılığı içerisinde en fazla gelişen şüphesiz tavukçuluk sektörü olmuştur. 1986 verilerine göre toplam tavukçuluk işletmeleri sayısı ortalama 7210, ortalama tavuk sayısı ise 60 milyon civarındadır. Tavukçuluğun entansif yetiştirmeye elverişli olması sayesinde adeta hayvancılık sektörü içerisinde bir endüstri dalı haline gelmiştir. Günümüzde ticari amaçlı kurulan tavukçuluk işletmeleri ister istemez modernize olmak ve en az 50–100 bin tavuk barındırmak zorundadırlar. Ayrıca yumurtanın çokça tüketilmesi ve kullanım alanının oldukça yaygın olması, tavuk etinin sevilerek ve sağlık açısından risksiz bir şekilde tüketilebilmesi yanında, diğer etlere göre ucuz olması bu sektörün gelişmesine önayak olmuştur [24,25].

Tavuk, yemi çok kısa sürede ete ve yumurtaya dönüştürebilmektedir. Tavukçulukta bir kg canlı ağırlığa 1,8 kg yem ile ulaşılırken, sığır eti üretiminde 8 kg yem domuz üretiminde ise 4 kg yeme gereksinim vardır. Tavukçulukta canlı ağırlık artışı yönündeki ıslah çalışmalarının yoğun olarak devam etmesi ve çevre koşullarının iyileştirilmesine koşut olarak, türler arasında yemden yararlanma bakımından görülen bu farklılığın tavukçuluk lehine giderek artacağı açıktır. Yirminci yüzyılın başlangıcında vitaminlerin ve amino asitlerin öneminin anlaşılması ile yumurta; biyolojik değerliliği tam, insan sağlığı için, besin maddelerince en zengin ve koruyucu nitelikte gıda maddesi olarak tanımlanmıştır. Fakat yumurtanın sadece koruyucu olmadığı, aynı zamanda insan sağlığı üzerine olumlu etkileri de olduğu bilinmektedir. Ayrıca, yumurta, tabiat tarafından orijinal ambalajı içerisinde sunulan ve bayatlaması dışında hiç bir hile karıştırılmayan tek gıda maddesi özelliğini taşımaktadır. Dışarıdan hiçbir ek besin maddesi katılmaksızın, sadece sıcaklık ve nem düzenlemesiyle, 21 günde bünyesinden eksiksiz bir canlı oluşturması yumurtanın besin değerini açıklamaya yeterlidir.

Tavuk etine gelince, diğer etlere kıyasla bazı üstün özelliklere sahiptir. Örneğin koyun ve sığır etine göre proteini yüksek, yağı az ve kalorisi düşüktür. Göğüs eti ve but etinin protein düzeylerini sırası ile %23,3 ve %18,4, yağ oranlarını ise % 5,6 ve %11,4 olarak bildirmişlerdir [26]. Kanatlı etleri kırmızı etlere göre daha fazla doymamış yağ asidi içerirler ve bu yağ asitlerinden başlıcaları oleik, linoleik ve palmitik asittir. Bu yağ asitleri toplam yağların %79' unu, doymamış yağ asitlerinin ise %70' ini oluşturur. Kalori düzeyi göğüs etinde 114 ve but etinde 125 kcal' dir. Karbonhidrat düzeyi, diğer bütün etlerde olduğu gibi çok düşüktür. İnositol, glikoz ve früktoz tavuk etinde bulunan başlıca karbonhidratlardır. Piliç eti B vitaminleri, özellikle niasin bakımından çok zengin bir kaynaktır. Tavuğun ana ürünleri olan tavuk eti ve yumurtanın yanı sıra, kesimhane artıkları da rendering tesislerinde değerlendirilerek et unu, tüy unu, tavuk unu gibi ürünler olarak yem fabrikalarında kullanılmaktadır. Son zamanlarda Uzakdoğu ülkelerine ihraç edilen tavuk ayakları da gittikçe artan ekonomik bir potansiyel oluşturmaktadır.

Bu özellikleri nedeni ile dünya üzerinde 50' den fazla ülkede kanatlı eti üretimi ekonomik öneme sahiptir [27].

2.2. Üretim Prosesleri

Büyütülerek kesime hazırlanan piliçler tavuk kesimhanelerinde kesilir, taze veya dondurulmuş olarak pazarlanırlar. Kesimhanelerde bulunması gereken asgari teknik ve hijyenik kurallar tüm ülkelerde uygulanmaktadır. Genel olarak bu kurallar kasaplık kanatlı hayvanların hijyenik şartlarda kesilmesini, işlenmesini, tüketime verilmesini, atıklarının çevreye ve toplum sağlığına zarar vermemesini sağlamak üzere konulmaktadır.

Piliçlerde kesim esnasında hijyen ve dışkı bulaşmasını önleme açısından belirli bir açlık periyodu uygulanmaktadır. Kesimhaneye taşıma mesafesi ve kesim öncesi bekletme süresi de dikkate alınarak açlık periyodunun 10–12 saat arasında uygulanması iyi sonuç vermektedir. Bu aşamadan itibaren şu işlemler sırasıyla gerçekleşir [28].

- Şoklama,
- Kesme (kanatma),
- Islatma (haşlama),
- Tüy yolma,
- Soğutma (buzlu suda),
- İç çıkarma,
- Soğutma (suda veya soğuk havalı ortamda),
- Paketleme veya parçalama,
- Etiketleme ve depolama.

Modern kesimhanelerde uygulanan şoklamanın iki nedeni vardır. Şoklama ile bayılma noktasına ulaşan piliçlerde kaslar tamamen gevşemekte ve kesimden sonra tüyler kolaylıkla yolunmaktadır. İkinci nedeni ise kesimin daha insani bir boyut kazanmasıdır. Şoklanan piliçlerde fazla çırpınma olmamakta ve hayvanlar kolayca kesilebilmektedir. Şoklama karbondioksit veya elektrik şoku ile yapılabilir. Kullanılan elektrik akımı kısmi bayılmayı sağlayacak düzeyde olmalıdır. Kalbi durduracak düzeydeki elektrik akımı ile şoklanan piliçler murdar sayılır ve insan gıdası olarak kullanılmazlar [29].

Bir askı üzerinde bant sistemi ile şoklamadan geçen piliçler otomatik veya elle boyun bölgesinden keskin bir bıçakla kesilirler. Kesimde omuriliğe kadar olan bütün doku ve damarların kesilmesi sağlanır; böylece kan akıtma en yüksek düzeyde gerçekleşmiş olur. Bantlar üzerinde 1–2 dakika süre ile kan akmasına izin verilir. Bu esnada vücut kanının %30–50' si akmaktadır. Kanları tam akmayan piliçlerde tüy yolmadan sonra karkas kırmızımsı bir görünüm alır. Kanatmadan sonra tüylerin kolayca yolunmasını sağlamak için gövdeler sıcak suda belirli bir süre tutulur. Bu işlem haşlama olarak adlandırılmakla beraber, ülkemizde iç çıkarma öncesi piliçlerin haşlanması olarak algılandığından pazarlamada problemlerle karşılaşmaktadır. Bu nedenle burada konu ıslatma olarak ele alınmıştır. Bu işlem hayvanın ağırlığına ve türüne, uygulanan kesim teknolojisine ve ürünün piyasaya verilmiş şekline göre 50–60 °C' ler arasındaki sıcak su içine gövdelerin 75–100 saniye daldırılması ile gerçekleştirilir. Gövdelerin geçiş yönünün tersine ve içerideki suyun sürekli değişimini sağlayacak şekilde sıcak su sirkülasyonu sağlanır. Son zamanlarda sıcak su ile ıslatma yapılmadan kuru veya soğuk su ile ıslatma yapılarak tüy yolma üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Tüy yolma işlemi kapalı bir ortamda büyük veya küçük kapasiteli makinelerle gerçekleştirilir. Tüylerin yolunma süresi ıslatma suyu sıcaklığına, yaşa, karkasın büyüklüğüne, tüy yolma makinesinin özelliklerine göre değişir. Makine ile alınamayan tüyler elle temizlenerek tüy yolma işlemi tamamlanır. Yolunmuş olan tüyler kapalı ve uygun kaplar içerisinde, çevre ve ürün kirliliğine sebep olmayacak şekilde muhafaza edilir. Tüyler büyük kapasiteli kesimhanelerde kesimhanedeki

diğer artıklarla beraber veya yalnız başına işlenerek tüy unu veya kesimhane artıklarını unu şeklinde işlenmektedir.

Tüyü yolunmuş olan karkaslar ayakları diz eklemlerinden kesildikten sonra bir soğutma işlemine tabi tutulur. Soğutma, suyu değiştirilebilen ve sürekli buzlu su ilave edilebilen bir tank içerisinde yapılır. Bu işlem karkas kusurlarının giderilmesi açısından da çok uygundur. Daha sonra, kalmışsa baş tamamen koparılır ve iç organlar çıkarılmak üzere geride bir kısım açılır. İç çıkarma, karkastan yağ bezi, ayak, baş, akciğer ve bağırsakların ayrılması, buna karşılık karaciğer ve kalbin bırakılarak karkasla beraber satışa sunulmasıdır. İç açma büyük kesimhanelerde ayrı bir odada gerçekleştirilebilir. Böylece bulaşma ihtimali biraz daha azaltılmış olmaktadır [30].

İç organların çıkarılması ve karkasın yıkanması işlemi hareketli bir bantta birçok yönden püskürtülen tazyikli su ile veya devamlı olarak suyu değişen teknelerde yapılır. İç çıkarma elle veya vakumlu sistemlerle otomatik olarak yapılabilir. Vakumlu sistemlerde akciğerler kolayca çıkarıldığı için, daha dayanıklı karkaslar elde edilebilmektedir. Temizlenmesi sona ermiş olan karkaslar iki şekilde soğutulabilirler:

Buzlu su ile soğutma: Yıkanan karkaslar buz ilave edilerek 4 °C' ye kadar soğutulmuş su içerisinde 4–8 saat dinlendirilerek iç sıcaklıkları 4 °C' ye düşürülür. Bu işlem modern kesimhanelerde 30 dakikaya kadar düşürülebilmektedir. Buzlu suda soğutulmuş olan karkaslar, askılara alınarak 0,5–1 saat kadar bekletilir ve karkastaki su uzaklaştırılır. Buzlu suya daldırmada karkaslar %6–8 oranında su absorbe eder, parlak ve nemli bir görünüme sahip olurlar.

Soğuk hava ile soğutma: Karkaslar, soğuk havalı odalarda (yaklaşık 0 °C) 20–30 dakika süre ile bekletilir. Hava ile soğutmada buzlu suyla soğutmaya nazaran karkas su kaybeder, dolayısıyla ağırlık kaybına uğrar. Soğutulmuş karkaslar taze olarak

pazarlanacaklarsa ağırlık sınıflarına ayrılır, etiketlenir ve soğuk zincir kırılmadan pazara arz edilir. Bu aşamada parçalama işlemi de uygulanabilir. Karkaslar eğer depolanacaksa bütün veya parça olarak 30 °C veya -40 °C' deki şoklama ünitelerinde dondurulur ve asgari -18 °C de depolanırlar. Tavuk etleri ticari taleplere uygun olarak but, göğüs, kanat, boyun, sırt gibi ana bölümlerle bunların parçalarına veya kemiksiz kısımlarına ayrılabilir. Genel olarak ticari parçalamada sırtın bir kısmı butlarda bir kısmı da göğüste bırakılmaktadır.

2.3. Kanatlı Hayvan Kesimhane Atıksularının Arıtım Teknolojileri

Atıksuda arta kalan yüksek biyolojik ve kimyasal oksijen ihtiyacı; yüksek yağ içeriği, çökeltinin yüksek konsantrasyonu ve azot ile klor gibi toplam askıda maddeler atıksuyun bir bileşeni haline gelmektedir [31].

Kesimhanelerin endüstriyel atıklarındaki pek çok kirlilik fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak atıksu arıtma tesislerinde azaltılabilmektedir [32].

Biyolojik proseslerde oksijenin indirgenmesinde var olan aerobik veya bilinen anaerobik bakterilerin biyoorganizma olarak kullanılması gerekmektedir [33]. Başlıca biyolojik arıtma sistemlerine göre kanatlı hayvan kesimhane atıksularının arıtılmasında aktif çamur, dengeleme havuzları ve anaerobik reaktörlerden yararlanılmaktadır [32]. Sürekli karışimli tank reaktörler (CSTR), statik granül yataklı reaktörler (SGBR) yukarı yatak akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler (UASB) anaerobik arıtım sistemleri olarak geliştirilmiştir [34,35,36]. SGBR prensip olarak diğer anaerobik sistemlerden daha düşük işletme maliyetlerine sahiptir [37]. Havalandırmada büyük miktarda çamur üretmek için yüksek enerjiye ihtiyaç duyulması biyolojik arıtma sistemlerinin maliyetini arttırmaktadır [7,38]. Kanatlı hayvan kesimhane atıksularının anaerobik arıtımı reaktördeki askıda katıların ve yüzen yağların birikimine uygun olarak bozulur ve yavaşlar.

Fiziksel proseslerde askıda katı ve yağ-gres giderimi için başlıca elekler, kum çemberleri, çöktürme tankları ve çözülmüş hava flotasyon (DAF) sistemleri kullanılmaktadır [39]. DAF kanatlı hayvan kesimhane atıksularının arıtımında ikinci arıtım için biyolojik proses ile kullanılmaktadır [40]. DAF atıksu akışında çok yaygın olan anaerobik sistemler ile biyolojik proseslerde kullanılan en yaygın arıtma yöntemidir [41].

Biyolojik prosesler etkili ve ekonomik olmalarına rağmen, uzun hidrolik bekleme süresi ve büyük hacimde biyoreaktör gerektirdiğinden bazen bu prosesler kısa bekleme süresi gerektiren fizikokimyasal arıtma sistemlerinden daha az tercih edilmektedirler.

Kesimhane atıksularının karakteristiği biyolojik arıtım uygulamaları için elverişlidir [13]. Bununla birlikte, biyolojik proseslerde yüksek konsantrasyonda askıda katı ve yağ-gres bulunan atıksularda ayırma verimi öncelikle gereklidir ve bu proseslerde kararsızlıklar gözlemlenmektedir [42,43].

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularındaki toplam askıda katı, kolloidler ve yağların giderimi için fizikokimyasal prosesler DAF, koagülasyon ve flokülasyon yöntemleri ile kullanılmaktadırlar [44]. DAF atıksuyun fizikokimyasal arıtımının ilk basamağında uygulanmaktadır. DAF' ın işletilmesinde iki bölüm uygulanmaktadır. Bu bölümler flotasyon hücresi ve basınç konteynırıdır [45]. DAF katı/sıvı atılması için kullanılmaktadır. DAF sistemlerinde kolloidal organik partiküller için yük nötralizasyonunda polielektrolit gibi kimyasal ilavesi ile giderilmektedir [41].

Arıtma veriminde düşük maliyetlere ihtiyaç duyulduğundan farklı endüstrilerde elektrokoagülasyon yöntemi çalışılmaktadır [46]. Ayrıca çeşitli elektrokimyasal/elektrokatalitik proseslerden elektrokoagülasyon teknolojisinin endüstriyel atıksulara uygulanabilirliği belirlenmiştir [19]. Demir, paslanmaz çelik, alüminyum ve grafit gibi elektrot materyalleri kullanılarak endüstriyel atıksularda

elektrokoagülasyon uygulandığında başarı sağlanmaktadır [47]. Endüstriyel atıksuların elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılması pek çok bilimsel araştırmacı tarafından incelenmesine rağmen kanatlı hayvan kesimhane atıksularının elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılması çok az incelenmiştir. [48,49].

BÖLÜM 3. ELEKTROKOAGÜLASYON

Elektrokoagülasyon yeni bir teknoloji değildir [50]. Elektrokoagülasyon ile atıksu arıtımı 20. yüzyılda sınırlı başarı ve popülerlikte uygulanmıştır [51]. Atıksuda elektrik kullanımı ilk kez 1889 da önerilmiştir ve minerallerden yararlanılarak 1904 yılında Elmore tarafından elektroliz uygulanmıştır [52].

Son yıllarda pekçok araştırmacı atıksuların çevresel sınırlamalarındaki artışı üzerine elektrokoagülasyonun kullanımına özellikle odaklanmıştır [53]. Son yirmi yılda; bu teknoloji metal içeren endüstriyel atıksuların arıtılmasında Avrupa ve Güney Amerika' da artan bir şekilde kullanılmıştır.

Tipik olarak, elektrokoagülasyon üzerinde deneysel çalışmalar sonucunda geniş bir sınıfta kirletilmiş sular ve atıksu akımları üzerinde büyük operasyon parametreleri tanımlanmıştır. Özellikle atıksu numunelerinin arıtımı için EC teknolojisi laboratuvar ölçeğinde yönetilebilir ve kimyasal oksijen ihtiyacı, bulanıklık, renk ve çözünmüş katının değişik işletme koşullarında giderimi sağlanmaktadır [54, 55, 56, 57]. Bu teknoloji elektrik tüketimini minimize etmek ve arıtılan su miktarını maksimize etmek için optimum koşullarda kullanılmıştır [1].

Elektrokoagülasyon, bir sulu çözeltiden süspansiyon halindeki maddelerin veya erimesi istenmeyen parçacıkların elektroliz vasıtasıyla etkin bir şekilde çıkarılabileceği pek çok uygulamada kullanılan elektrokimyasal bir tekniktir.

Evsel atıksulardan fosfat, endüstriyel atıksulardan çeşitli ağır metal iyonları [58] ve bunun yanı sıra elektrokoagülasyon, tekstil atıksuyu [59] ve ham sulu bitki özleri gibi boya içeren çözeltilerden renksizleştirilmesinde kullanılmaktadır [60].

Endüstriyel atıksulara uygulanmaya başlanan ve yeni geliştirilmekte olan bu teknoloji büyük endüstriyel kuruluşlarda atıksuyun geri kazanımını sağlamakta ve atıksu arıtma verimi %90–95 oranlarına ulaşmaktadır [61].

Bu çalışma kapsamında ele alınan teknolojinin temel prensibi, elektrokimyasal bir teknik kullanarak atıksuyun arıtılmasıdır. Bu tip arıtma teknolojisinin kurulması ve işletilmesi oldukça ekonomik ve kolaydır [62].

3.1. Koagülasyon ve Elektrokoagülasyon

Yüzeysel bulanık sular, hem çökebilen, hem de kolaylıkla çökemeyen tanecikleri ihtiva ederler. Çökemeyen taneciklerin büyük bir kısmı kolloidal tanecikler olup, her biri negatif elektrik yükü taşır ve bunla magnetik kutupların birbirini itmesi gibi, birbirlerini iterler ve bir araya gelemmezler. Bu duruma sistemin stabilizasyonu denilmektedir. İtmelerin ortaya çıkardığı stabilizasyon nedeniyle, tanecikler birbirine çarpışıp, daha büyük kütleyle sahip yumaklar haline gelemmezler ve dolayısıyla çökemezler.

Koagülasyon, tanecikleri birbirinden ayrı tutan güçleri nötralize ederek, kolloidlerin destabilizasyonunun sağlanmasına verilen bir yöntemdir [63].

Koagülasyon işlemi suya kimyasal madde ilavesiyle suda bulunan askıda ve çözünmüş maddelerin oluşturduğu fiziksel etkenlerle sudan uzaklaştırılmasını amaçlar. Koagülasyon işlemi esas olarak, sudaki kolloid halindeki maddelerin kimyasal madde ilavesiyle birbirleriyle birleşebilir yapıya dönüştürülmeleri ve yumaklaşmaya başlangıç oluşturulması işlemidir. Yumaklaştırma işlemi, pıhtılaşmış taneciklerin birleştirilerek, sudan çökme ile ayrılabilir büyüklük ve yapıda yumaklar haline getirilmesidir. Yumaklaşan taneciklerin hareketi brownian veya yavaş karıştırma ile sağlanır.

Koagülasyon, su arıtımında bulanıklık giderilmesinde, endüstriyel atıksu arıtımında; askıda katı madde, organik madde, renk, metal iyonu giderilmesinde kullanılır. Kanatlı hayvan kesimhane endüstrisinde de atıksuda kimyasal oksijen ihtiyacının ve yağ-gresin azaltılmasında kullanılır.

Suların içindeki safsızlıklar, çözülmüş parçacıklar ve askıda katı maddeler değişik büyüklüklerde olabilirler. Bununla birlikte pek çok madde yer çekimi ile çökemeyecek kadar küçük olduğundan verimli bir giderimin çöktürme ile sağlanabilmesi mümkün olmamaktadır. Bunun için küçük parçacıkların bir araya toplanması gerekmektedir. Suyu kimyasal madde ilave ederek daha iyi çökebilir yapılaraya dönüştürülmesi işlemine koagülasyon adı verilmektedir. Elektrokoagülasyonda ise koagülasyon işlemi suya akım verilmesi ile gerçekleştirilir.

Elektrokoagülasyon ile geleneksel koagülasyon-flokülasyon prosesleri karşılaştırıldığında; Elektrokoagülasyon teoride avantajı, küçük kolloidal uzaklaştırılmasıdır. Nispeten az miktarda çamur meydana getirir. Elektrik alanın küçük boyutlu, yüklü partikülleri hareket halinde tutmasından dolayı partiküller koagüle olur [64].

Elektrokoagülasyon prosesi iyi bir alternatiftir çünkü bu yöntem, klasik kimyasal destabilizasyonun dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Bu metotla, askıda katı maddelerin destabilizasyonu sağlanır. Çökeltme kısmı azalır. Katının sıvıdan ayrılması çökeltme ile olur. Ama oluşan çamurun bir kısmı suyun elektrolizi sırasında meydana gelen kabarcıklar ile yüzdürülür. Elektrokoagülasyon işlemi, havanın düşük miktarlarda olması durumunda organik kısmın flokülasyon ile iyi bir şekilde ayrışmasına izin vermez [50].

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı üzere destabilizasyonun adımı, koagülasyondur. Yani yük nötralizasyonudur. Atıksuların arıtılmasında bir fizikokimyasal proses ile flotasyonun kullanılması; çökeltme ile uzaklaştırmadakine benzer bazı avantajlar sunar.

3.2. Kullanım Alanları

Elektrokoagülasyon çöp sızıntı suyu [65], evsel atıksu [66], tekstil atıksuyu [67], katranlı ve şistten elde edilmiş petrol atıksuyu, nitrat ve arsenik mil yatağı suyu [53], çamaşırhane atıksuyu [68], kimyasal fiber fabrika atıksuyu [69] ve deri endüstrisi atıksuyu [70] gibi çeşitli atıksu arıtımında etkili bir metod olarak önerilmektedir.

Bir de elektrokoagülasyon maya atıksuyu [71], zeytin fabrikası atıksuyu [72], restaurant atıksuyu [73], yumurta prosesi atıksuyu [74], yağ atıksuyu [75], süt ve süt ürünleri atıksuyu [76] gibi çeşitli yiyecek endüstrisi atıksuları arıtımında da önerilmektedir.

3.3. Elektrokoagülasyonun Avantajları

1. Sistem basit araç gereçlere sahiptir ve çalışması kolaydır.
2. Elektrokoagülasyon ile arıtılmış atıksu temiz ve berrak bir özelliğe sahip olup, koku içermez.
3. Proses kolay işlemler içerdiğinden tepkimede tutma periyodu kısadır. Böylece işlem az zaman almaktadır [77].
4. Elektrokoagülasyon prosesinde kimyasal madde kullanılmaz ve kimyasal eklenmesi ile oluşan ikincil kirlenme meydana gelmez.
5. Elektroliz sırasında oluşan gaz kabarcıkları kirliliği çözeltinin üst kısmına taşır, burada konsantre olarak birikir ve uzaklaştırılır. Kimyasalları toplamak için ayrı bir teçhizata gerek yoktur.
6. Elektrokoagülasyon işleminde, klasik koagülasyon metoduna göre daha az çökelti veya çamur oluşmaktadır.
7. Elektrokoagülasyon ile oluşan çamur çökeltme eğilimindedir ve kolaylıkla yoğunlaştırılabilir.

8. Elektrokoagülasyon hücresinde kullanılan elektrotların ve diğer malzemelerin bakımı ve yenilenmesi kolaydır.

9. Elektrokoagülasyon ile oluşan çamur çökelme eğilimindedir ve karakteristiği kimyasal olarak değiştirilmez. Kolaylıkla susuzlaştırılabilir, çünkü genelde metalik oksit/hidroksitlerden meydana gelmiştir.

10. Elektrokoagülasyon prosesi çok ince kolloidlerin yakalanması mümkündür çünkü uygulanan elektrik alanın küçük boyutlu, yüklü partikülleri hareket halinde tutmasından dolayı partiküller koagüle olur [64].

11. Elektrokoagülasyon tekniği elektrik olmayan kırsal alanlarda güneş panelleri monte edilerek kullanılır.

3.4. Elektrokoagülasyonun Dezavantajları

1. Atıksuyun oksidasyonu sonucu elektrotlar çözünür ve düzenli aralıklarla değiştirilmektedir.

2. Cihaz yüksek enerji tüketimine sahiptir.

3. Katotta organik maddelerden dolayı hava geçirmez bir film tabakası oluşabileceğinden elektrokoagülasyon cihazının verimi azalır.

4. Atıksuyun yüksek iletkenlikte olması gereklidir.

5. Jelatinimsi özelliğe sahip metal hidroksitler bazı durumlarda çözünebilir [1].

3.5. Elektrokoagülasyon Teorisi ve Mekanizması

Elektrokoagülasyon teorisi birçok araştırmacı tarafından tartışılmıştır. Genel kabule göre Elektrokoagülasyon prosesi 3 adımı kapsar.

– Kurban elektrotların elektrolitik oksidasyonu ile koagülantların teşekkülü

- Kirleticilerin, askıda katıların destabilizasyonu ve emülsiyonların kırılması
- Destabilize olan fazların yumaklaşması

Taneciklerin destabilizasyon mekanizması ve emülsiyonların kırılması, aşağıda kısaca özetlenmiştir.

1. Yüklü partiküllerin çevresindeki difüz tabakasının sıkışması,

Bu olay; çözeltiden akım geçişi sonucunda kurban anodun çözülmesiyle meydana gelen iyonların girişimiyle gerçekleşir.

2. Atıksuda mevcut iyonik türlerin yük nötralizasyonu,

Bu durum, kurban elektrodun elektrokimyasal çözülmesi sonucunda üretilen zıt yüklü iyonlarla sağlanır. Bu karşı iyonlar, tanecikler arasında elektrostatik itmeyi azaltır, böylece Van der Waals çekim güçleri etkin olur. Proseste net yükün sıfır olması söz konusudur.

3. Flok teşekkülü ve çamur tabakasının oluşması,

Oluşan çamur tabakası, bağlanmış olan kolloidal tanecikleri yakalayıp bağlayarak, onları da uzaklaştırır [78].

Elektrokimyasal proses mekanizması oldukça komplekstir. Genelde mekanizmanın elektrokoagülasyon, elektroflotasyon ve elektrooksidasyonun karışımı olduğuna inanılır. Elektrokoagülasyon yönteminin üç kademedede gerçekleştiği kabul edilir [47].

- Anot elektrodunun elektrolitik oksidasyonu ile koagülantların oluşumu

- Kirleticilerin destabilizasyonu
- Destabilize olmuş çözeltinin bir araya gelerek flok oluşması ve flotasyonu [79].

Yeterli güç sağlanmasıyla, küçük organik moleküller anotta koagülantlar tarafından yakalanır. Bazı organik moleküller ve askıda katı maddeleri elektrolitik oksidasyon ile meydana gelen koagülant tutar ki bu sedimentasyon veya H₂ flotasyonudur [58].

Elektrokoagülasyon kesikli ya da sürekli sisteminde işlem sonucu az miktarda çamur oluşur bu da flotasyon ile yüzdürülür [80].

Elektrokoagülasyonun mekanizması, büyük ölçüde sulu ortamın kimyasına ve bilhassa iletkenliğine bağlıdır. İlâveten, pH, tanecik boyutu ve kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları gibi diğer karakteristikler de elektrokoagülasyon prosesinde etkili olmaktadır.

Aluminyum ve demir elektrotların seçilme nedeni, bunların çok yaygın kullanılmasından dolayıdır. Prosesde kullanılan elektrotlar hücre içerisine seri ve paralel şekillere bağlanabilir.

Seri bağlanan hücrelerde, direnç büyük olur. Bu yüzden, belirli bir akımın geçmesi için daha büyük bir potansiyel gerekir. Ancak, aynı akım bütün elektrotlardan geçer. Paralel bağlamada ise, elektrik akımı bütün elektrotlar arasında bölünür.

Bazı araştırmacılar, paralel bağlı “bipolar” elektrotlar kullanmışlardır. Bu düzenlemede, kurban elektrotlar, iki paralel elektrodun arasında yerleştirilir ve birbirlerine bağlanmazlar. Sadece iki monopolar elektrot, güç kaynağına bağlanır. Bu çeşit bir düzenleme, kullanımında pratiklik sağlar. Elektrik akımı, iki elektrottan geçtiği zaman, iletken plakalar elektrikle yüklenir. Plakaların yüzeyindeki yük, yanındaki plakanın tersi olur [44].

Mesela, güç kaynağının + ucuna bağlı monopolar elektroda komşu olan kurban anodun, monopolar elektroda bakan yüzeyi – yüklenirken, diğer yüzeyi de + yüklü olur. Bu şekilde düzenlenmesi halinde kurban elektrotlara, “bipolar” elektrotlar denilmektedir. Bipolar elektrot sistemlerinde elektroliz esnasında, pozitif yüzeylerde anodik reaksiyonlar olurken, negatif yüzeylerde katodik reaksiyonlar cereyan eder.

Sistemde sürekli iyon üretilebilmesi için kurban elektrot olarak genellikle demir veya alüminyum gibi tüketilebilen metal plakalar kullanılır. Meydana gelen iyonlar, askıdaki katıların yüklerini nötralize eder ve bu suretle koagülasyon meydana gelir. Açığa çıkan iyonlar, ya kimyasal reaksiyon ve çöktürmeyle ya da kolloidal maddenin bir araya getirilmesi ve elektrolitik flotasyonla sudaki kirlilik yapan maddeleri uzaklaştırırlar.

Ayrıca kolloidal tanecikleri, yağları ve diğer kirlilik yapan maddeleri ihtiva eden su, uygulanan elektrik alan içinde hareket ederken, su ve kirlilik yapan maddelerin, fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirebilen iyonizasyon, elektroliz, hidroliz ve serbest radikal teşekkülü gibi olaylar meydana gelir. Sonuç olarak bu durumda, suda kirlilik yapan maddeler, ya ayrışır ya da az çözünür duruma gelirler [1].

Arıtma verimini optimize etmek için; pH, oksidasyon redüksiyon potansiyeli ve iletkenlik gibi parametreler, kirlilik yapan maddeye bağlı olarak ayarlanabilir. Elektrokoagülasyon prosesinde suya kısa bir zaman için elektrik alan uygulanır ve muamele edilmiş karışım, ayırma sistemine aktarılır. Burada su ve kirlilik yapan karışım flotasyona maruz bırakılır. Karışım, temiz su ile flote olmuş bir tabakalaşma meydana getirir [81].

3.6. Elektrokoagülasyon Prosesindeki Elektrotların Reaksiyonları

Elektrokoagülasyonun karakteristiği kolay ekipman ve işlem, kısa bekleme süresi, çamur miktarının azalışı ve eklenecek kimyasallar için önemsiz aletlerdir. Potansiyel

yüzeysel bir güç kaynağından uygulandığında, anot materyali oksidasyona uğrarken elemental metallerin indirgenerek birikmesi veya redüksiyonu gerçekleşecektir [2].

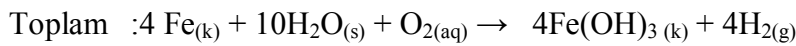
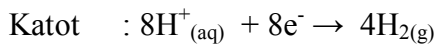
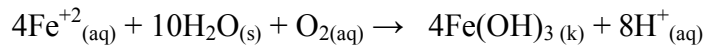
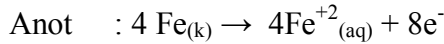
Eğer demir ve alüminyum elektrotlar kullanılıyorsa hidroksit veya polihidroksite karşılık olan üretim kendiliğinden olan reaksiyonlarda doğrudan $Fe^{+3}_{(aq)}$ veya $Al^{+3}_{(aq)}$ oluşur. Fe(II) iyonları yaygın iyon olarak çözülmüş demirde üretilir. Buna karşılık OH⁻ iyonları katotta üretilir. Karışım çözeltisinde, hidroksit türleri adsorpsiyon ve çökeltme tarafından matrislerin (kuru ve katyonların) giderimine sebep olarak üretilir.

3.6.1. Demir elektrotlar

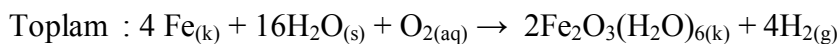
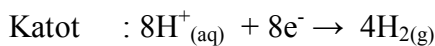
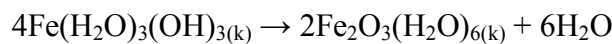
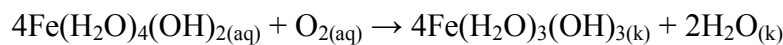
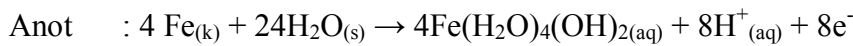
Bu çalışmada demir anotlarda, metal hidroksitlerin üretimi için iki mekanizma önerilmektedir [2,52,82].

Mekanizma 1

pH < 4

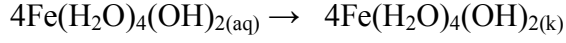


4 < pH < 7



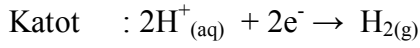
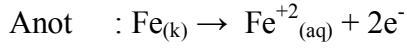
$$6 < \text{pH} < 9$$

Demir (III) hidroksitin ve demir (II) hidroksitin çökeltmesinde koyu yeşil flok meydana geldiği görülmektedir.

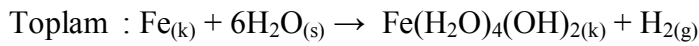
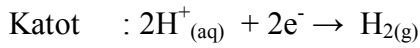
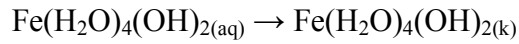
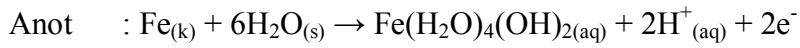


Mekanizma 2

$$\text{pH} < 4$$

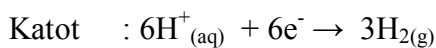
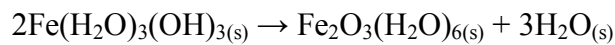
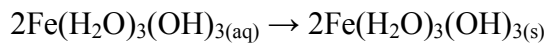
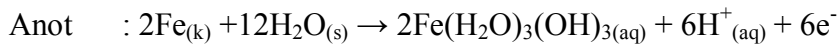


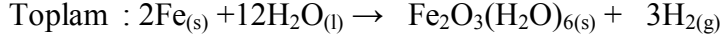
$$4 < \text{pH} < 7$$



Mekanizma 3

$$4 < \text{pH} < 9$$

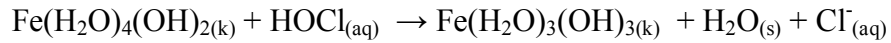
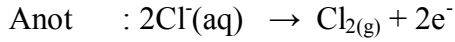




Düşük pH da ve oksijenli suda Fe^{+2} kolayca Fe^{+3} e dönüşmektedir. Koagülasyon, elektrostatik etkileşimin izlenmesiyle veya kompleksleşme ile atıksudan atık madde giderilebilirken, jel şeklindeki süspansiyon gibi sulu fazda kalıntılar $\text{Fe}(\text{OH})_{n(k)}$ şeklinde olmaktadır. Ferrik iyonlarının elektro iletkenliklerine göre $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{+2}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_8(\text{OH})_2^{+4}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6(\text{OH})_4^{+2}$ ve $\text{Fe}(\text{OH})^{-4}$ gibi hidroksit iyonları ve polimerik türler ile ferrik hidroksolar kompleks oluşturmaktadır [52]. Kompleksler (hidroliz ürünleri gibi) pH 3,5-7 arasında polimerize olma eğilimindedirler [2,52].

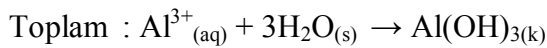
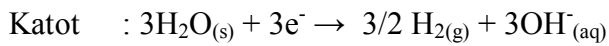
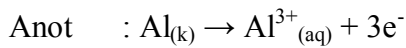
Oksidasyon

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularının karakteristiği nedeni ile elektroliz boyunca moleküler klorür üretilir:

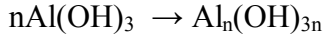


3.6.2. Alüminyum elektrotlar

Al^{+3} ve OH^{-} nin her biri $\text{Al}(\text{OH})_3$ şeklinde reaksiyon üretir [2,52].

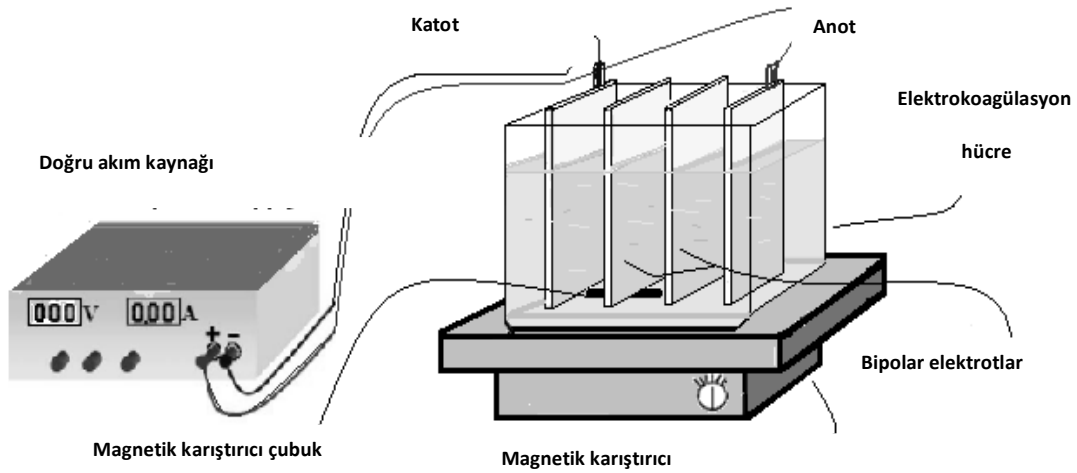


Aluminyum anodun elektrolitik çözünmesi ile düşük pH' da Al^{+3} ve $Al(OH)^{+2}$ gibi katodik monometrik türler üretilmektedir. Uygun pH değerlerinde, başlangıçta $Al(OH)_3$ iken bitişte polimerize $Al_n(OH)_{3n}$ dönüşmektedir.



3.7. Elektrokoagülasyon Reaktör Dizaynı

Kesikli deneylerin yapıldığı elektrokimyasal reaktör Şekil 3.1.' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Paralel bağlı bipolar EC reaktör

Elektrokimyasal reaktör sistemi, bir anot ve bir katotlu elektrolitik hücreden yapılabilir.

Elektrokimyasal reaktör sistemi diğer bir deyiş ile reaksiyon kabı, doğru akım kaynağı, magnetik karıştırıcı ile aluminyum veya demir elektrotlardan oluşmaktadır. 4 adet elektrot bipolar şekilde bağlanmıştır.

BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOT

4.1. Kanatlı Hayvan Kesimhane Atıksularının Karakteristiği

Bu çalışmadaki atıksu Türkiye' nin Sakarya şehrindeki şenpili kanatlı hayvan kesimhanesinden temin edilmiştir. Atıksu yaklaşık olarak günlük 2500 m³ olarak üretilmektedir. Ham kanatlı hayvan kesimhane atıksuları başlıca karbon hidratlar, nişastalar, proteinler, askıda partiküller ve diğer maddeleri içeren birçok organik bileşikten meydana gelmektedir. Bu alışma boyunca farklı zamanlarda atıksu numunesi alınmıştır. Tesisten alınan atıksu numunesine tesisin günlük debisine oranla %1 oranında kan katılmıştır. Kanatlı hayvan kesimhane atıksuyunun bileşimi Tablo 4.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan atıksuyun karakteristiği.

Karakteristiklikler	Değer
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	6000-11000
Yağ-gres (mg/L)	1900-2500
Toplam organik karbon (TOK) (mg/L)	2300-2800
Toplam azot (TN) (mg/L)	900-1400
pH (25° C' de)	6.6 – 6.9

4.2. DeneY Yöntemi

Elektrokimyasal reaktör bir güç kaynağı ile demir ve alüminyum elektrotları içermektedir. Toplam etkili elektrot alanı 576 cm^2 ve elektrotlar arası uzaklık 2,5 mm dir. Elektrokimyasal reaktörde herbir elektrotun boyutu $6 \times 12 \times 0,15 \text{ cm}$ olup, burada 4 elektrot bipolar şekilde bağlanmıştır. Güç kaynağı maksimum 30,3 V ve 5 A lik bir sistemdir. KOİ giderme verimi üzerine kan oranlarının etkisini gözlemlemek amacı ile kanatlı hayvan kesimhane atıksuyuna %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında kan katılmıştır. Magnetik karıştırıcı, elektrokoagülasyon boyunca kanatlı hayvan kesimhane atıksuyunun iyi karıştırılması için reaktörde kullanılmıştır.

Herbir deneyden önce, elektrotların yüzeyinde bulunan gresin giderimi için elektrotlar saf su ile yıkanır. Daha sonra alüminyum ve demir elektrot yüzeyindeki kirlilikler yeni hazırlanmış 600 dm^3 lük HCl (%35) çözeltisine 5 dakika daldırılarak giderilir.

Numunelerin elektrokoagülasyon ile arıtım işlemi bitince numuneler santrifüjlenmiştir ve analizleri yapılmıştır.

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularının KOİ, yağ-gres ve pH parametreleri Standart Metotlar ile ölçülmüştür [83]. pH NaOH veya HCl kullanılarak istenilen aralığa ayarlanır. pH ölçümlerinde HANNA marka HI 221 model pH metre kullanılmıştır. TOK ve TN ölçümlerinde HAHC LANGE marka IL 550 TOC-TN cihazı kullanılmıştır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR

5.1. Elektrot Materyali Seçimi

Elektrot seçimi EC sisteminde çok önemlidir. Yaygın olarak kullanılan elektrotlar demir ve alüminyumdur. Her iki elektrot da suda çözüldüğünde +3 değerlikli iyon verirler. Ayrıca ucuzdurlar. 3 değerlikli iyonlar sudaki partikülleri 2 değerlikli iyonlardan daha yüksek adsorplama kapasitesine sahiptirler.

Bu çalışmada demir ve alüminyum elektrotlar kullanılmıştır. Alüminyum elektrot ile yapılan deneylerde arıtılmış suyun rengi kahverengidir. Demir elektrot ile yapılan deneylerde arıtılmış suyun rengi yeşildir. Bunun sebebi, Fe(II) ve Fe(III) iyonlarından kaynaklanmıştır. Santrifüj edildiğinde bu sorun ortadan kalkmaktadır.

Atıksuyun fiziksel yapısında bakiye kolloid ve çözünmüş madde ile çözünmeyen ve yavaş deşrede olan askıda maddelerin oranı %40-50 olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Bununla birlikte et ve kesimhane atıksularında en büyük problem kandır. Çünkü kanın içeriği flok oluşmasını engellemektedir [84,85].

Kanlı kesimhane atıksularının arıtımı zordur. Biyolojik arıtma yetersiz gelmektedir. Kesimhanelerde kan oranı günlük debinin %1' i oranındadır. Kesimhane atıksularına kan katıldığında TOK, TN, KOİ ve yağ-gres gibi parametrelerin değerlerinde artışlar olmaktadır.

Bu çalışmada, kesimhane atıksuyuna günlük debinin %1'i oranında kan katılarak elektrtokoagülasyon ile TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri incelenmiştir.

5.2. İletkenliğin Etkisi

EC prostele iletkenliği sağlamak için genellikle NaCl kullanılmaktadır. Elektrolitik hucelerindeki elektriksel enerjinin huce voltaj ve tuketimi ozelti iletkenliğinde akım verimliliğini etkilemektedir. Atıksuyun iletkenliği uygun miktarda NaCl' nin eklenmesi ile istenen seviyeye ayarlanmaktadır.

Kanlı kanatlı hayvan kesimhane atıksularında NaCl konsantrasyonunun etkisini incelemek amacıyla numuneler pH5' te, %1 kan oranında analiz edilmiştir.

Tablo 5.1. Fe ve Al elektrot için NaCl konsantrasyonlarına gore TOK, TN ve KOİ giderme değerlerini ve Tablo 5.2. Fe ve Al elektrot için TOK, TN ve KOİ giderme verimleri zerine NaCl konsantrasyonunun etkisini göstermektedir.

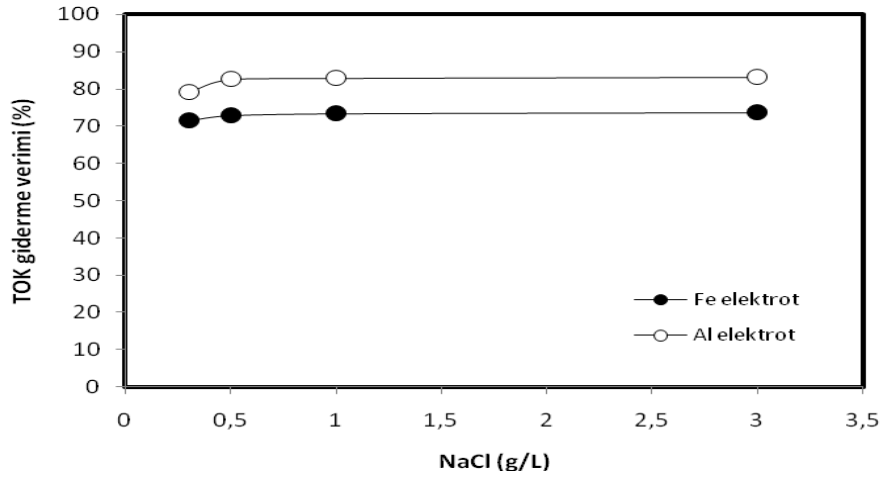
Tablo 5.1. Fe ve Al elektrot için NaCl konsantrasyonuna göre TOK, TN ve KOİ giderme değerleri

NaCl Konsantrasyonu(g/L)		0,3	0,5	1	3
TOK (mg/L)	Fe	751	714	700	692
	Al	551	458	450	443
TN (mg/L)	Fe	374	342	336	331
	Al	295	261	254	252
KOİ (mg/L)	Fe	2250	2036	2000	1962
	Al	1953	1748	1739	1702

Tablo 5.2. Fe ve Al elektrot için TOK, TN ve KOİ giderme verimleri üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi

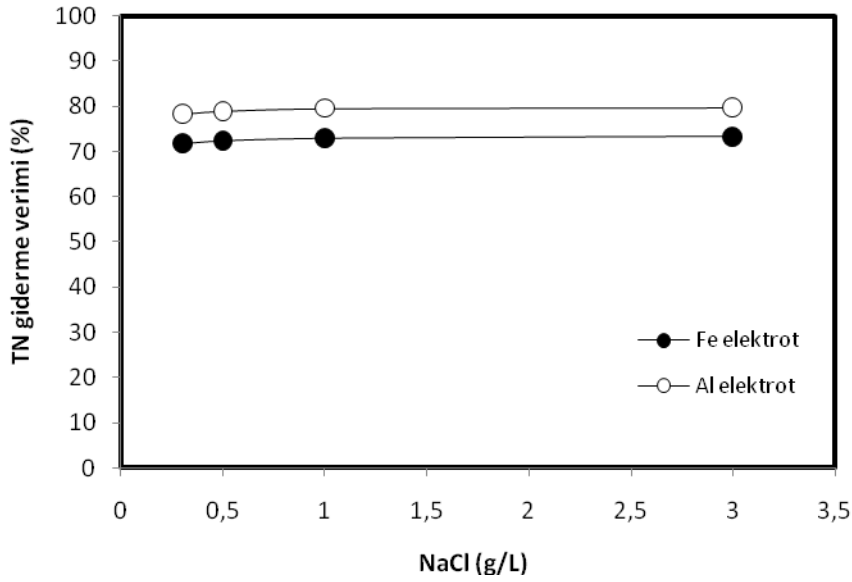
NaCl Konsantrasyonu(g/L)		0,3	0,5	1	3
TOK (%)	Fe	71,5	72,9	73,4	73,7
	Al	79,1	82,6	82,9	83,2
TN (%)	Fe	69,8	72,4	72,9	73,3
	Al	76,2	78,9	79,5	79,7
KOİ (%)	Fe	75,8	78,1	78,5	78,9
	Al	79	81,2	81,3	81,7

Aluminyum ve demir elektrot materyalleri için TOK giderme verimi üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi Şekil 5.1.' de gösterilmektedir. Çözeltide tuz konsantrasyonu artırıldığı zaman çözeltinin iletkenliği ve akım yoğunluğu artmaktadır. Daha yüksek iyonik kuvvete aynı veya denk hücre voltajında akım yoğunluğunun artmasına sebep olacaktır. Sabit akım yoğunluğunda atıksuyun iletkenliğinin azalışı ile hücre voltajı azalmaktadır. Bu nedenle, gerekli akım yoğunluğunu elde etmek için voltaj küçültülecektir ve elektriksel enerji tüketimi azalacaktır [1,2].



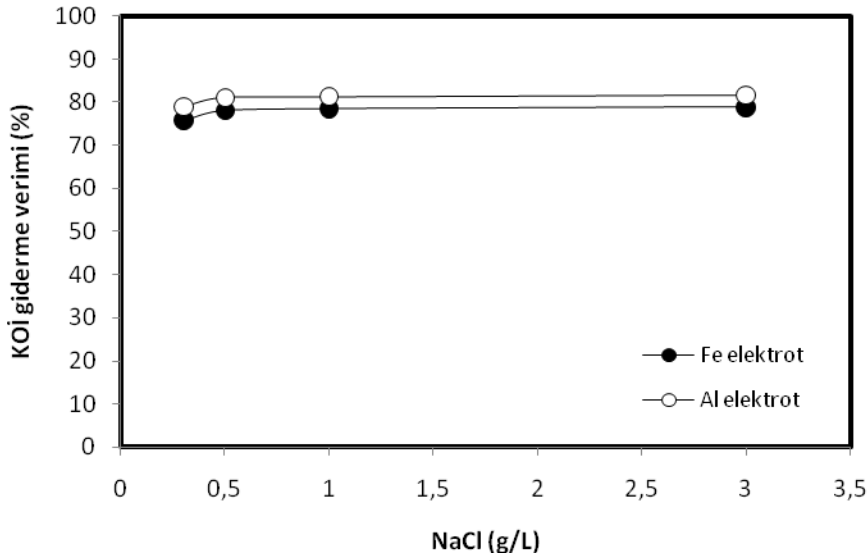
Şekil 5.1. Fe ve Al elektrot için TOK giderme verimi üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi. (i = 0,639 mA/cm²; t = 5 dak.; C_{0,TOK} = 2634 mg/L; T = 298 K; pH = 5; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

Aluminum ve demir elektrot materyalleri için TN giderme verimi üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi Şekil 5.2.' de gösterilmektedir. Her iki elektrot materyali için giderme verimleri sabit akımda NaCl konsantrasyonundan etkilenmemektedir. Demir elektrot için giderme verimi %71,8' den %73,3' e yavaşça artmaktadır. Alüminyum elektrot için giderme verimi %78,2' den %79,7' ye yavaşça yükselmiştir.



Şekil 5.2. Fe ve Al elektrot için TN giderme verimi üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi. ($i = 0,639$ mA/cm²; $t = 5$ dak.; $C_{0,TN} = 1240$ mg/L; $T = 298$ K; $pH = 5$; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

Şekil 5.3.' de tuz konsantrasyonunun her iki elektrotun performansına etki etmediği gösterilmektedir. Sonuçlara göre düşük hücre voltajları ve düşük enerji tüketimi ile yüksek KOİ giderme verimi kanlı kanatlı hayvan kesimhane atıksuyunda 0,5 g/L tuz ile elde edilebilmektedir. 0,3 g/L tuz ile yüksek akım yoğunlukları elde edilememiştir. Bu nedenle deneylerde 0,5 g/L tuz kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine NaCl konsantrasyonunun etkisi. ($i = 0,639 \text{ mA/cm}^2$; $t = 5 \text{ dak.}$; $C_{0,\text{KOİ}} = 9300 \text{ mg/L}$; $T = 298 \text{ K}$; $\text{pH} = 5$; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

5.3. Başlangıç pH' ın Etkisi

Elektrokoagülasyon yönteminin performansını etkileyen en önemli parametre pH' dır. Çeşitli pH değerleri ile koagülant partikülleri yüzeyden geçerken kinetik olarak Fe^{+2} Fe^{+3} e dönüşmektedir [86].

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularında pH' ın TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine etkisini incelemek için değişik pH' lı ve %1 kan oranlı atıksu numuneleri ile çalışılmıştır.

Tablo 5.3. pH değişimlerine göre Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme değerleri ile Tablo 5.4. Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine başlangıç pH' ın etkisini göstermektedir.

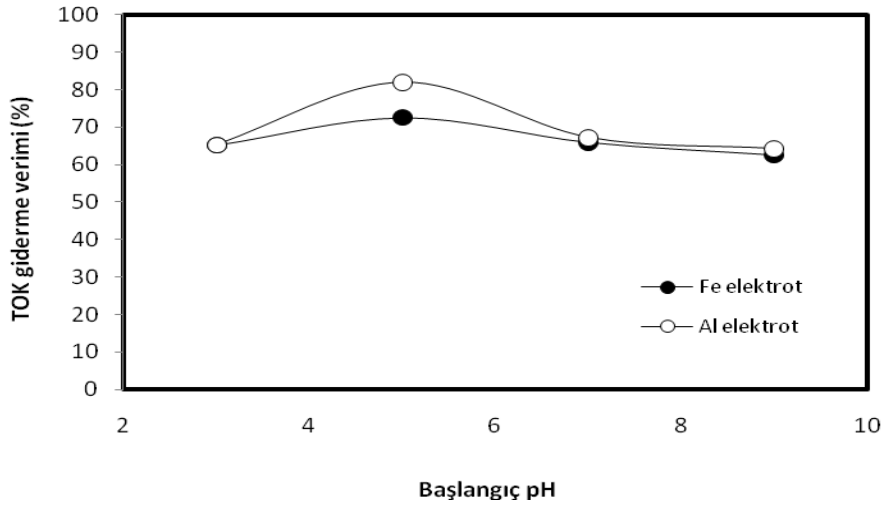
Tablo 5.3. Fe ve Al elektrot için pH değişimlerine göre TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme değerleri

pH		3	5	7	9
TOK (mg/L)	Fe	919	724	898	988
	Al	914	477	864	943
TN (mg/L)	Fe	398	363	400	418
	Al	378	273	381	383
KOİ (mg/L)	Fe	2260	1888	1934	2120
	Al	2037	1097	1553	1646
Yağ-gres (mg/L)	Fe	589	531	564	577
	Al	492	377	430	483

Tablo 5.4. Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine başlangıç pH'ının etkisi

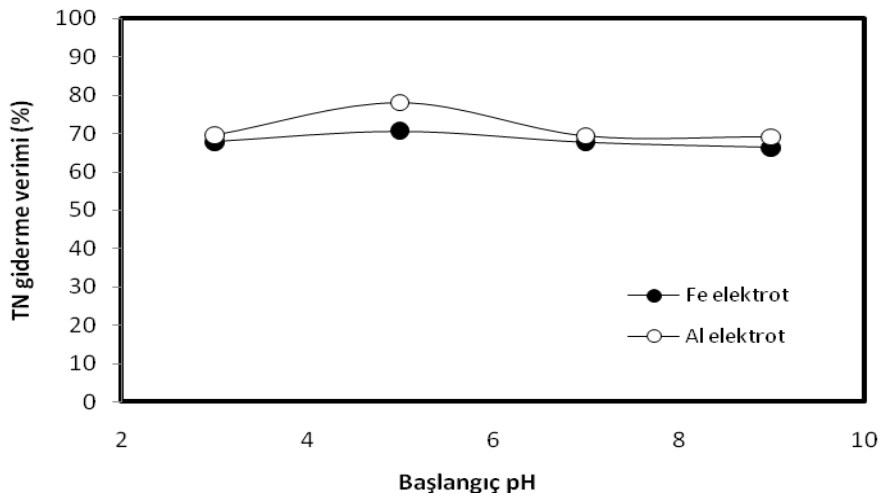
pH		3	5	7	9
TOK (%)	Fe	65,1	72,5	65,9	62,5
	Al	65,3	81,9	67,2	64,2
TN (%)	Fe	67,9	70,7	67,7	66,3
	Al	69,5	78	69,3	69,1
KOİ (%)	Fe	75,7	79,7	79,2	77,2
	Al	78,6	88,2	83,3	82,3
Yağ-gres (%)	Fe	74,4	76,9	75,5	74,9
	Al	78,6	83,6	81,3	79

TOK giderme verimi üzerine başlangıç pH'ının etkisi Şekil 5.4.'de karşılaştırmalı olarak bulunmaktadır. 5 dakika elektroliz süresi için en iyi giderme verimleri pH 5'te ve $0,639 \text{ mA/cm}^2$ lik akım yoğunluğunda gözlemlenmiştir. Demir elektrot için TOK giderme verimi %72,5 ve Al elektrot için giderme verimi %81,9'dur. Her iki elektrotta TOK giderme verimlerinde aynı eğilimler görülmektedir.



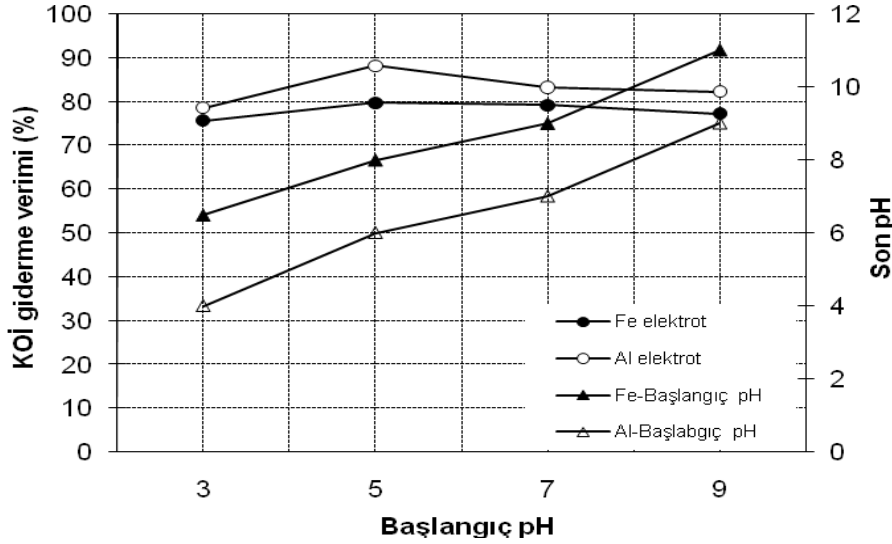
Şekil 5.4. Fe ve Al elektrot için TOK giderme verimi üzerine başlangıç pH'ının etkisi, % ($i = 0,639 \text{ mA/cm}^2$; $t = 5 \text{ dak.}$; $C_{0,\text{TOK}} = 2634 \text{ mg/L}$; $T = 298 \text{ K}$; $\text{NaCl} = 0,5 \text{ g/L}$; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

TN giderme verimi üzerine başlangıç pH'ının etkisi Şekil 5.5.'de karşılaştırmalı olarak bulunmaktadır. 5 dakika elektrotliz süresi için en iyi giderme verimleri pH 5'te ve $0,639 \text{ mA/cm}^2$ lik akım yoğunluğunda gözlemlenmiştir. Demir elektrot için TN giderme verimi %70,7 ve Al elektrot için giderme verimi %78'dir.



Şekil 5.5. Fe ve Al elektrot için TN giderme verimi üzerine başlangıç pH'ının etkisi, % ($i = 0,639 \text{ mA/cm}^2$; $t = 5 \text{ dak.}$; $C_{0,\text{TN}} = 1240 \text{ mg/L}$; $T = 298 \text{ K}$; $\text{NaCl} = 0,5 \text{ g/L}$; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

KOİ giderme verimi üzerine başlangıç pH' ın etkisi Şekil 5.6.' da karşılaştırmalı olarak bulunmaktadır. 5 dakika elektroliz süresi için en iyi giderim sonuçları pH 5' te ve $0,639 \text{ mA/cm}^2$ lik akım yoğunluğunda gözlemlenmiştir. Fe elektrot için KOİ giderme verimi %79,7 ve Al elektrot için giderme verimi %88,2' dir. En iyi yumaklaşma ve en yüksek giderme verimleri pH 5' te gözlemlenmiştir.



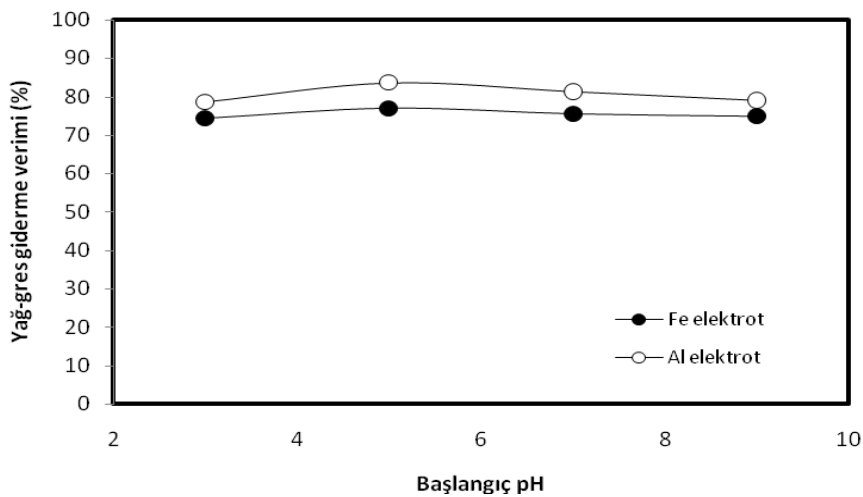
Şekil 5.6. Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine başlangıç pH' ının etkisi, % ($i = 0,639 \text{ mA/cm}^2$; $t = 5 \text{ dak.}$; $C_{0,KOİ} = 9300 \text{ mg/L}$; $T = 298 \text{ K}$; $\text{NaCl} = 0,5 \text{ g/L}$; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

Elektrokoagülasyon boyunca çözeltinin pH' ı artar. Son pH elektrokoagülasyonda çok önemlidir. Demir elektrot için başlangıç pH' ı 5 iken bitiş pH' ının 8 olduğu belirlenmiştir. Alüminyum elektrot için başlangıç pH' ı 5 iken bitiş pH' ının 6 olduğu belirlenmiştir. Fe elektrotla maksimal KOİ giderimine pH 8' in altında ulaşılmıştır. $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_{2(k)}$ ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})_{6(k)}$ oldukça çok flokülasyon sağlamaktadır. Çözeltiden Al elektrot ile maksimal KOİ giderimi pH 6' nın altında gözlemlenmiştir. Çözeltinin pH' ına bağlı olarak alüminyumun farklı türleri oluşabilmektedir. Hidroliz ürünleri çoğunlukla pH 5 ve 6 arasında $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ve $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, pH 5,2 ve 8,8 arasında katı $\text{Al}(\text{OH})_3$ şeklinde olmaktadır. Suda yüksek pH değerleri altında çözülmüş $\text{Al}(\text{OH})_3$ ve $[\text{Al}(\text{OH})_n]^{(n-3)}$ gibi hidrokompleksler oluşmaktadır.

Şekil 5.7.' den görüldüğü gibi yağ-gres giderimi için demir ve alüminyum elektrotların performansları pH artışı ile etkilenmemektedir. Demir elektrotta başlangıç pH 3 ile 9 arasında %74,4–74,9 arasındaki değerlere ulaşmaktadır. Alüminyum elektrotta pH 3' te %78,6' den pH 9' da % 79' a yavaşça artmıştır.

Atıksudan yağ-gres giderimi çeşitli karmaşık mekanizmalarla sağlanmaktadır. Bu mekanizmalar metal hidroksit iyonlarının yakalanması, adsorpsiyon veya elektriksel alan ve elektroüretkenlik ile elektroforetik destabilizasyondur. Fe veya Al tuzları EC' nin giderme verimini yükseltebilmektedir. Katotta hidrojen değişirken, anotta alüminyum çözünmesiyle alüminyum hidroksit oluşur ve hidroksit floklarında yağı adsorbe eder [87]. Demir III iyonu damlacıklar üzerindeki yük nötralizasyonu ile emülsiyonlarda destabil olmaktadır. Yağ çöken flokülant üzerinde adsorplanırken demir III hidroksit çökmektedir. [88] Asidik çözeltilerde, H₂' nin elektrolitik değişimi alkali çözeltilerden farklı olmaktadır. I. halde, H₃O⁺ iyonları H₂ nin kaynağı olmaktadır. II. halde elektronlar su molekülleri üzerine doğrudan eklenmektedir [89].

Alüminyum elektrot demir elektrottan daha verimlidir. Çünkü sulu alüminyum oksitlerin adsorpsiyon kapasitesi yüksektir.



Şekil 5.7. Fe ve Al elektrot için yağ-gres giderme verimi üzerine başlangıç pH' ın etkisi, % (i = 0,639 mA/cm²; t = 5 dak.; C_{0,yağ-gres} = 2300 mg/L; T = 298 K; NaCl = 0,5 g/L; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

5.4. Akım Yoğunluğunun Etkisi

Akım yoğunluğunun belirlenmesinde koagülant üretim hızı, kabarcık üretim hızı ve büyüklüğü ve bu nedenlerden dolayı flokların gelişimine etkisi olduğu bilinmektedir [2,52].

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularında akım yoğunluğunun TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine etkisini incelemek için değişik akım yoğunluğunda, pH 5'te ve %1 kan oranlı atıksu numuneleri ile çalışılmıştır.

Tablo 5.5. Fe ve Al elektrot için akım yoğunluklarına göre TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme değerleri ile Tablo 5.6. Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine akım yoğunluğunun etkisini göstermektedir.

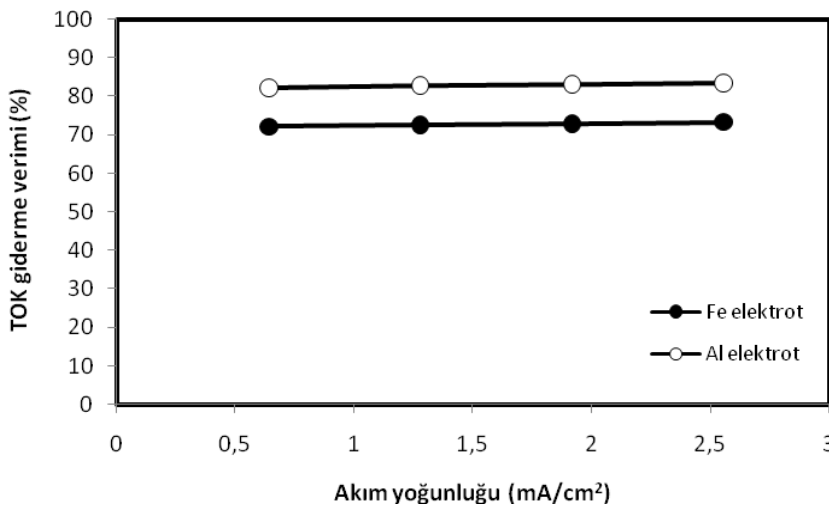
Tablo 5.5. Fe ve Al elektrot için akım yoğunluklarına göre TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme değerleri

Akım Yoğunluğu (mA/cm ²)		0,639	1,278	1,917	2,555
TOK (mg/L)	Fe	732	722	714	703
	Al	466	450	443	432
TN (mg/L)	Fe	361	357	350	336
	Al	215	211	206	204
KOİ (mg/L)	Fe	2204	2093	2055	2027
	Al	1655	1570	1530	1507
Yağ-gres (mg/L)	Fe	545	543	531	511
	Al	485	478	469	442

Tablo 5.6. Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine akım yoğunluğunun etkisi

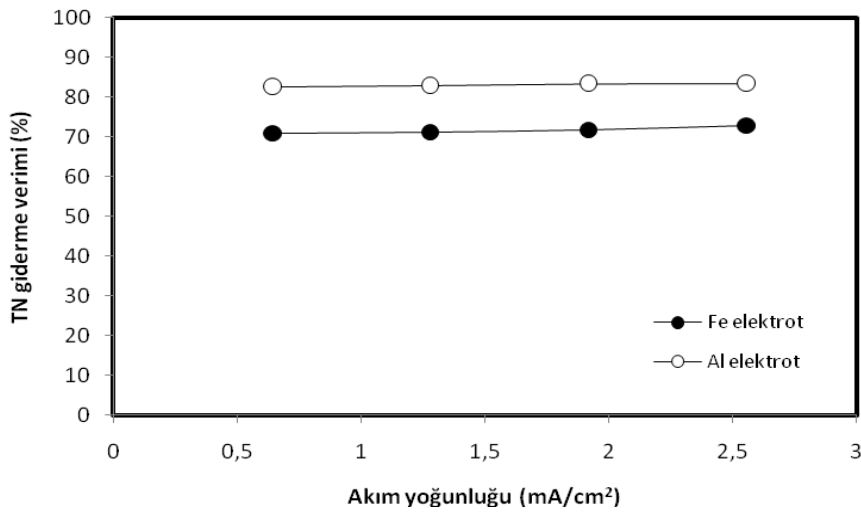
Akım Yoğunluğu (mA/cm ²)		0,639	1,278	1,917	2,555
TOK (%)	Fe	72,2	72,6	72,9	73,3
	Al	82,3	82,9	83,2	83,6
TN (%)	Fe	70,9	71,2	71,8	72,9
	Al	82,7	83	83,4	83,5
KOİ (%)	Fe	77,2	77,5	77,9	78,2
	Al	82,2	83,1	83,6	83,8
Yağ-gres (%)	Fe	76,3	76,4	76,9	77,8
	Al	78,9	79,2	79,6	80,8

Demir ve alüminyum elektrot materyalleri için 5 dak işletme zamanı ve pH 5' de TOK giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi Şekil 5.8.' de gösterilmektedir. Her iki elektrot için akım yoğunlukları 0,639 mA/cm²' den 2,555 mA/cm²' ye yükseltilmiştir ve akım yoğunluğunun TOK giderme verimi üzerine önemli bir artışı olmamıştır. TOK giderme verimi akım yoğunluğunun Fe elektrot için %72,2' den %73,3' e ve Al elektrot için %82,3' den %83,3' e yavaşça yükselmiştir.



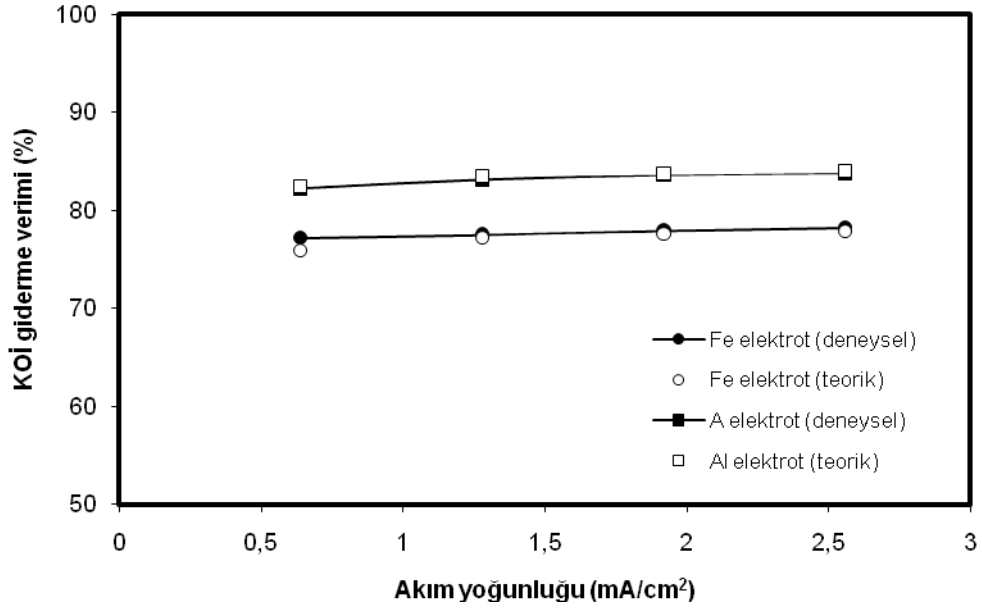
Şekil 5.8. Fe ve Al elektrot için TOK giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi, % (pH=5, t = 5 dak.; C_{0,TOK} = 2634mg/L; T = 298 K; NaCl = 0,5 g/L; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

TN giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi Şekil 5.9.' da gösterilmektedir. Akım yoğunluğunun her iki elektrot materyali üzerine etki etmediği görülmektedir. Al elektrotta yumaklaşma daha iyi olduğundan giderme verimi demir elektrottan %10 daha fazladır. Demir elektrot için TN giderme verimi 0,639 mA/cm²' de %70,9 ve 2,555 mA/cm²' de %72,9 olduğu tespit edilmiştir. Al elektrot için ise TN giderme verimi 0,639 mA/cm²' de %82,7 ve 2,555 mA/cm²' de %83,5 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.9. Fe ve Al elektrot için TN giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi, % (pH =5, t = 5 dak.; C_{0,TN} = 1240 mg/L; T = 298 K; NaCl = 0,5 g/L; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

KOİ giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi Şekil 5.10.' da gösterilmektedir. Her iki elektrot için akım yoğunlukları 0,639 mA/cm²' den 2,555 mA/cm²' ye yükseltilmiştir ve akım yoğunluğunun KOİ giderme verimi üzerine önemli bir artışı olmamıştır. KOİ giderme verimi akım yoğunluğunun artışı ile Fe elektrot için %77,2' den %78,2' ye ve Al elektrot için %82,2' den %83,8' e yavaşça artmıştır.



Şekil 5.10. Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi (pH = 5; t = 5 dak.; $C_{0,KOİ} = 9300$ mg/L; T = 298 K; NaCl = 0,5 g/L; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

5 dak. Elektrolizden sonra KOİ giderme verimi aşağıdaki izoterm modeline göre hesaplanabilir [90];

$$\frac{\Delta KOİ}{m} = k + n.C_{son,KOİ} \quad (5.1)$$

Burada;

$\Delta KOİ$: Atıksudan giderilen konsantrasyon (mg/L)

m : Elektroliz boyunca çözülmüş Fe veya Al kütlesi (g/L)

$C_{son,KOİ}$: Elektrokoagülasyondan sonraki KOİ konsantrasyonu (mg/L)

k : KOİ giderme kapasite katsayısı (her g metal için mg KOİ)

n : Diğer bir katsayıyı göstermektedir.

m değeri elektroliz boyunca çözümlenmiş elektrot kütlelerini göstermektedir ve m Faraday Kanunları'ndan hesaplanmaktadır.

$$m = \frac{M_A}{e} \frac{It}{96500} \quad (5.2)$$

Burada;

m : Elektrotlarda toplanan veya çözünen madde miktarı (g)

M_A : Elektrotlarda toplanan veya çözünen elementin atom ağırlığı

e : Elektrotlarda alınan-verilen elektron sayısı

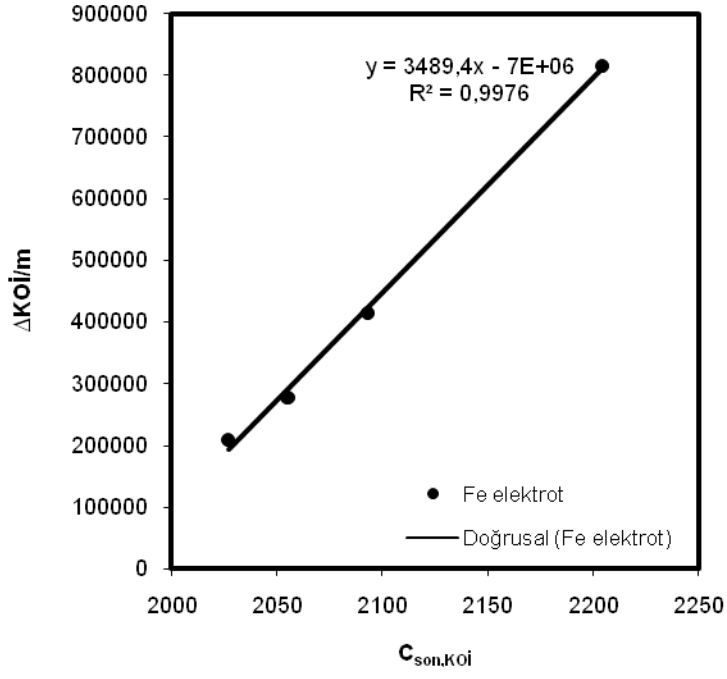
I : Devreden geçen akım şiddeti (Amper)

t : Elektroliz süresi (s).

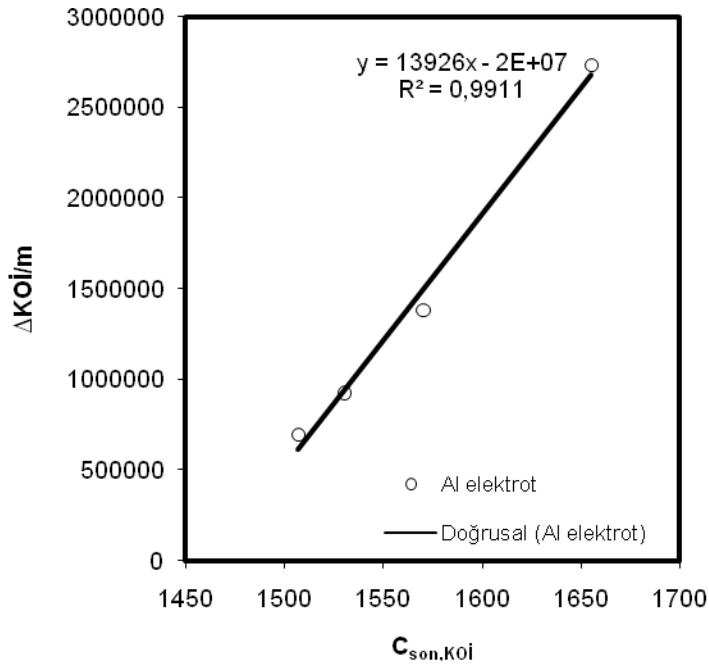
Denklem (5.1) deki KOİ' nin kütle dengesi;

Giderilmiş konsantrasyon = başlangıç konsantrasyonu – kalan konsantrasyon

şeklinde basitçe uygulanmaktadır.



Şekil 5.11. Fe elektrot için $\Delta KOİ/m$ ile $C_{son,KOİ}$ grafiği



Şekil 5.12. Al elektrot için $\Delta KOİ/m$ ile $C_{son,KOİ}$ grafiği

$\frac{\Delta KO\dot{I}}{m}$ ile $C_{k \ln KO\dot{I}}$ arasında çizilen graflerden her iki elektrot için k ve n değerleri bulunur. Doğrunun kesim noktası k ve eğimi n katsayıları vermektedir. Tablo 5.8.' de k ve n katsayıları gösterilmektedir.

Tablo 5.7. KOİ giderimi için izoterm modelinin k ve n sabitleri.

Elektrot	k (mg KOİ.g iyon ⁻¹)	n (L.g iyon ⁻¹)	R ²
Fe	- 7.10 ⁶	3489,4	0.998
Al	- 2.10 ⁷	13926	0.991

k ve n katsayıları ile Denklem (5.1) kullanılarak her iki elektrot için teorik giderme verimleri hesaplanmıştır. Şekil 5.10.' dan görüldüğü gibi izoterm modeli her iki elektrotta uygulanabilmektedir.

Denklem (5.1) ve (5.2) arasındaki bağıntıdan;

$$C_{son,KO\dot{I}} = \frac{C_0 - (k.i.At.2,901.10^{-7})}{(1 + n.i.At.2,901.10^{-7})} \quad (5.3)$$

elde edilir.

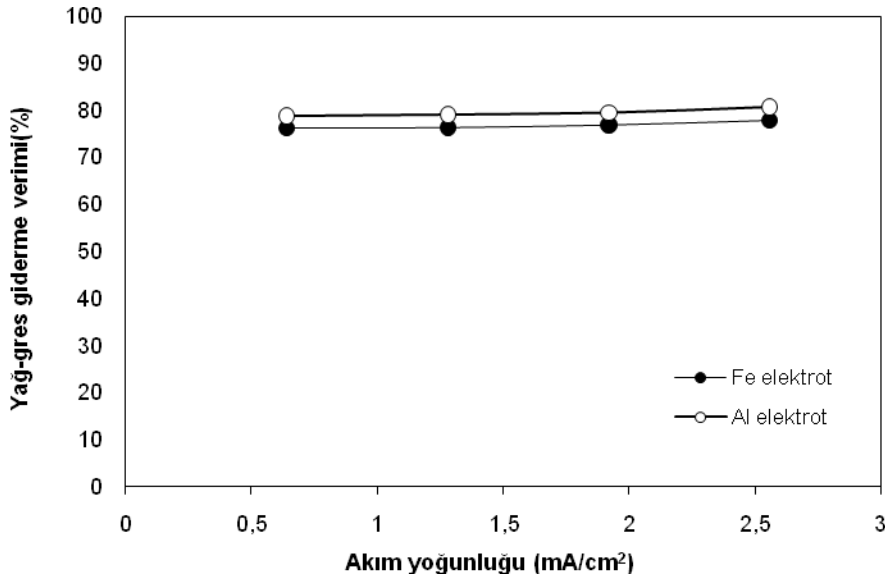
Burada,

C_0 : Atıksudaki başlangıç KOİ konsantrasyonu (mg/L)

i : Akım yoğunluğu (mA/cm²)

A : Elektrot yüzey alanı (cm²)

t : Zaman (s) ı göstermektedir.



Şekil 5.13. Fe ve Al elektrot için yağ-gres giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi (pH = 5; t = 5 dak.; C_{0,yağ-gres} = 2300 mg/L; T = 298 K; NaCl = 0,5 g/L; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

Yağ-gres giderme verimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi Şekil 5.13.' de gösterilmektedir. Her iki elektrot için akım yoğunlukları 0,639 mA/cm²' den 2,555 mA/cm²' ye yükseltilmiştir ve akım yoğunluğunun yağ-gres giderme verimi üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. EC boyunca yağ-gres giderimi çok hızlı bir biçimde flotasyon ile giderilmektedir. Yağ-gres giderme verimi akım yoğunluğunun artışı ile Fe elektrot için %76,3' den %77,8' e ve Al elektrot için %78,9' dan %80,8' e yavaşça artmıştır.

5.5. Elektroliz Zamanının Etkisi

Elektroliz zamanı (t) elektrotlarda iyonların üretim hızları ile belirlenmektedir. Elektroliz zamanı ile TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri arasındaki bağıntı incelenmiştir. Tablo 5.9.' da elektroliz zamanına göre Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme değerleri ile Tablo 5.10. Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine elektroliz zamanının etkisini göstermektedir.

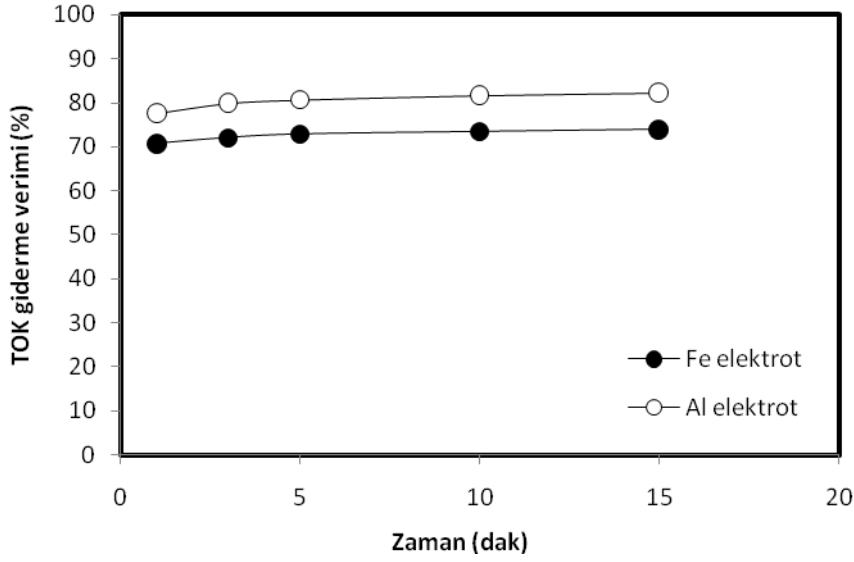
Tablo 5.8. Fe ve Al elektrot için elektroliz zamanına göre TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme değerleri

Zaman (dak)		1	3	5	10	15
TOK (mg/L)	Fe	771	734	713	698	684
	Al	593	532	511	485	469
TN (mg/L)	Fe	408	377	366	361	357
	Al	295	280	275	272	265
KOİ (mg/L)	Fe	2055	2018	2000	1934	1869
	Al	1889	1730	1711	1693	1655
Yağ-gres (mg/L)	Fe	570	554	511	478	462
	Al	515	497	481	458	446

Tablo 5.9. Fe ve Al elektrot için TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimleri üzerine elektroliz zamanının etkisi

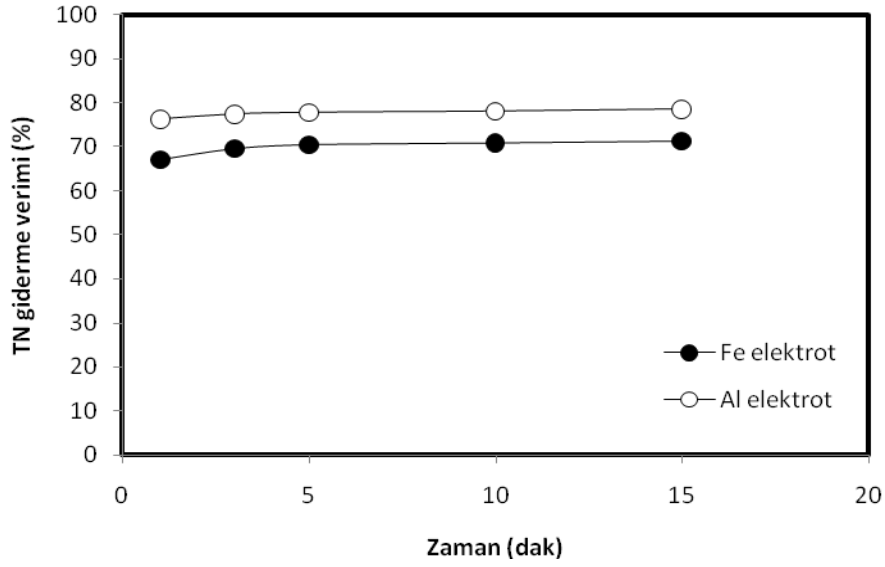
Zaman (dak)		1	3	5	10	15
TOK (%)	Fe	70,7	72,1	72,9	73,5	74
	Al	77,5	79,8	80,6	81,6	82,2
TN (%)	Fe	67,1	69,6	70,5	70,9	71,3
	Al	76,2	77,4	77,8	78,1	78,6
KOİ (%)	Fe	77,9	78,3	78,5	79,2	79,9
	Al	79,7	81,4	81,6	81,8	82,2
Yağ-gres (%)	Fe	75,2	75,9	77,8	79,2	79,9
	Al	77,6	78,4	79,1	80,1	80,6

TOK giderme verimi ile elektroliz zamanı arasındaki bağıntı Şekil 5.13.' te gösterilmektedir. Elektroliz zamanı 5 dakikadan sonra her iki elektrotun performansını etkilememektedir. 1 dakikadan 5 dakikaya kadar TOK gideriminde yavaş artışlar gözlemlenmiştir. Demir elektrot için TOK giderme verimi 1 dakikada %70,7' den 15 dakikada %74' e yükselmiştir. Alüminyum elektrot için TOK giderme verimi ise 1 dakikada %77,5' ten 15 dakikada %82,2' ye yükselmiştir.



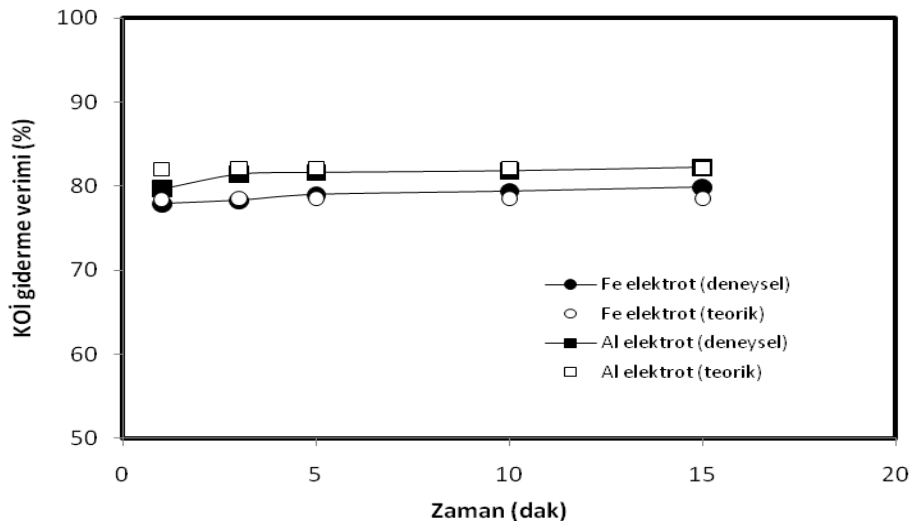
Şekil 5.14. Fe ve Al elektrot için TOK giderme verimi üzerine elektroliz zamanının etkisi ($i = 0,639 \text{ mA/cm}^2$; $\text{pH} = 5$; $C_{0,\text{TOK}} = 2634 \text{ mg/L}$; $T = 298 \text{ K}$; $\text{NaCl} = 0,5 \text{ g/L}$; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

TN giderme verimi ile elektroliz zamanı arasındaki bağıntı Şekil 5.14.' te gösterilmektedir.. Demir elektrot için TN giderme verimi 1 dakikada %67,1' den başlayıp 15 dakikada %71,3' e ulaşmıştır. Alüminyum elektrot için TN giderme verimi ise 1 dakikada %76,2' den başlayıp 15 dakikada %78,6' ya ulaşmıştır. Elektroliz zamanı 3 dakikadan sonra her iki elektrotun performansını etkilememektedir. 1 dakikadan 5 dakikaya kadar TN gideriminde yavaş artışlar gözlemlenmiştir.



Şekil 5.15. Fe ve Al elektrot için TN giderme verimi üzerine elektroliz zamanının etkisi ($i = 0,639$ mA/cm²; pH = 5; $C_{0,TN} = 1240$ mg/L; $T = 298$ K; NaCl = 0,5 g/L; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

KOİ giderme verimi ile elektroliz zamanı arasındaki bağıntı Şekil 5.15.' de gösterilmektedir. KOİ giderim verimi elektrotların üzerindeki hidroksit ve metal iyonlarının üretim konsantrasyonları üzerine doğrudan bağlı olmaktadır.



Şekil 5.16. Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine elektroliz zamanının etkisi ($i = 0,639$ mA/cm²; $C_{0,KOİ} = 9300$ mg/L; pH = 5; $T = 298$ K; NaCl = 0,5 g/L; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

Elektroliz zamanı 1 dak.' dan 15 dak.' ya arttırıldığında KOİ giderme verimi Fe elektrot için %77,9' dan %79,9' a ve Al elektrot için %79,7' den %82,2' ye yavaşca artmaktadır. Optimum elektroliz zamanı 5 dak. kabul edilmektedir.

KOİ giderme hızı için aşağıdaki ikinci derecede pseudo kinetiği uygulanabilmektedir.

$$\frac{t}{C} = \frac{1}{k_2 C_e^2} + \frac{1}{C_e} t \quad (5.4)$$

Burada;

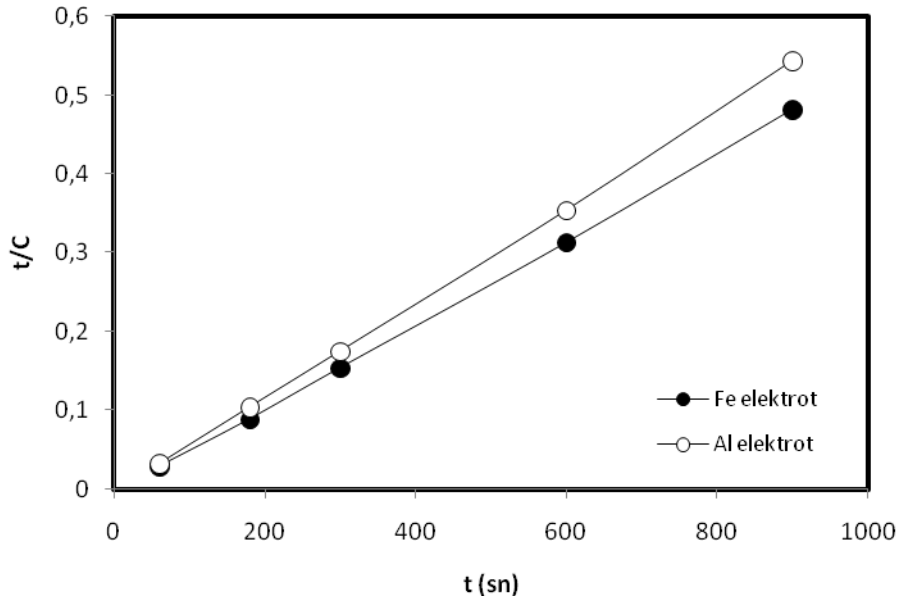
C : t zamanda çözeltinin konsantrasyonu (mg/L)

C_e : Konsantrasyon katsayısı

k_2 : Reaksiyon hız katsayısı

t : Zaman

Denklem (5.4)' e göre t ye karşı t/C grafiği çizilmektedir. Şekil 5.16.' da doğrunun eğimi $1/C_e$ ve doğrunun kesim noktası k_2 katsayısını vermektedir. İkinci derece pseudo kinetiği kullanılarak teorik C değerleri hesaplanır. Verilerin ikinci derece pseudo kinetik modeline göre her iki elektrot için en iyi sonuç verdiği Şekil 5.15.' den gözlemlenmektedir. KOİ giderim hızı için ikinci derece pseudo katsayısı Tablo 5.11.' de gösterilmiştir.

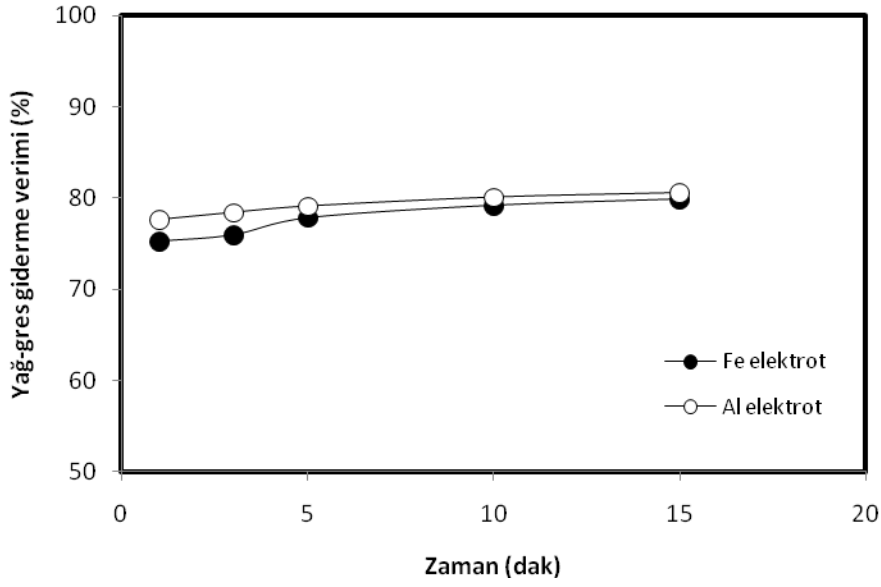


Şekil 5.17. KOİ giderme hızı için ikinci derece pseudo denkleminin grafiği

Tablo 5.10. İkinci derece pseudo kinetik modelin katsayıları

Parametre	C_e (mg/L)	k_2 (L/mg.s)	R^2
Fe elektrot	2000	-0,0068	0.9997
Al elektrot	1666,7	- 0,0062	0.9998

Yağ-gres giderme verimi Şekil 5.17.' de gösterilmektedir. Yağ-gres giderme verimi $0,639 \text{ mA/cm}^2$ ' lik akım yoğunluğunda 5 dak. sonra sabit değerde maksimuma ulaşmıştır. Bu koşullar altında yağ-gres giderme verimi Fe elektrot için %77,8 ve Al elektrot için %79,1' dir. KOİ ve yağ-gres gideriminde alüminyum elektrot demir elektrottan daha etkili olmaktadır.



Şekil 5.18. Fe ve Al elektrot için yağ-gres giderme verimi üzerine elektroliz zamanının etkisi ($i = 0,639 \text{ mA/cm}^2$; $C_{0,\text{Yağ-gres}} = 2300 \text{ mg/L}$; $\text{pH} = 5$; $T = 298 \text{ K}$; $\text{NaCl} = 0,5 \text{ g/L}$; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

5.6. Elektriksel Enerji Tüketimi

Atıksu arıtım metotlarının uygulanmasında en önemli parametrelerinden biri olan maliyetin büyük etkisi vardır. Elektriksel enerji tüketimi Denklem (5.5) uygulanarak hesaplanmaktadır

$$E = UIt_{EC} \quad (5.5)$$

Burada,

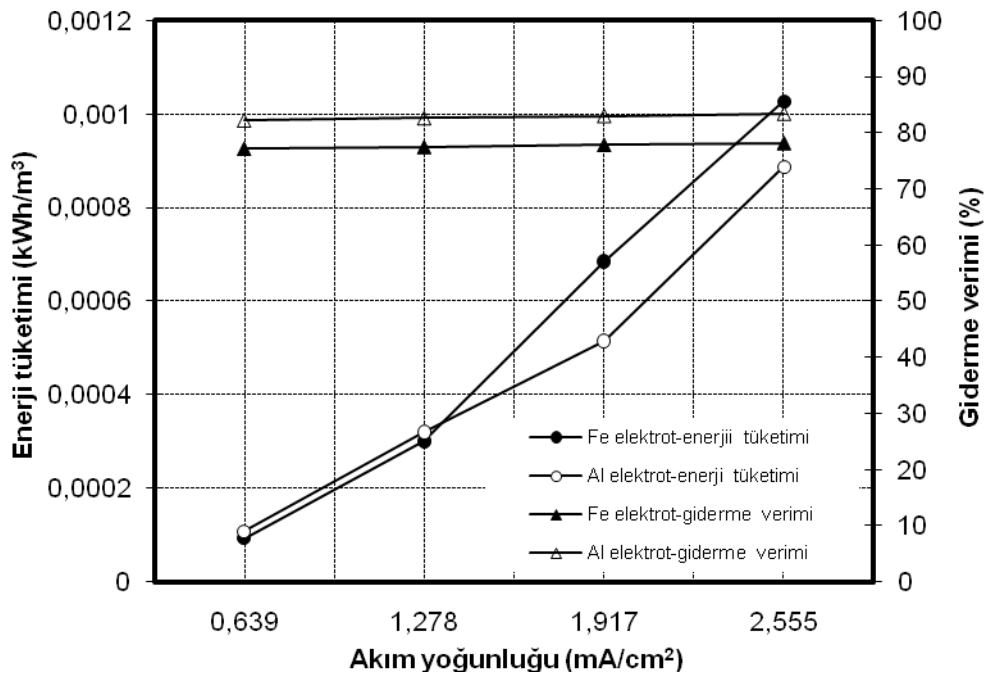
E : Elektriksel enerji (Wh)

U : Hücre voltajı (V)

I : Akım (A)

t_{EC} : EC proses zamanı

Şekil 5.18.' de akım yoğunluğuna karşı enerji tüketimi grafiğini göstermektedir. Farklı akım yoğunluğu değerlerinde 5 dak sonra EC prosesindeki sonuçlardan yararlanılmıştır. KOİ giderimi için minimum enerji tüketimi $0,639 \text{ mA/cm}^2$ lik akım yoğunluğunda Fe elektrotta $0,0000933 \text{ kWh/m}^3$ ve Al elektrotta $0,0001083 \text{ kWh/m}^3$ olarak bulunmuştur. Enerji tüketiminde Fe elektrotun Al elektrottan daha etkili olduğu açıkça görülmektedir. Fakat akım yoğunluğu arttıkça voltaj değişimleri olduğundan yüksek akım yoğunlukların da Al elektrot daha verimlidir.



Şekil 5.19. Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi ve enerji tüketimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi ($C_{0,KOI} = 9300 \text{ mg/L}$; $t = 5 \text{ dak}$; $\text{pH} = 5$; $T = 298 \text{ K}$; $\text{NaCl} = 0,5 \text{ g/L}$; Kan oranı = %1; Karıştırma hızı = 120 rpm)

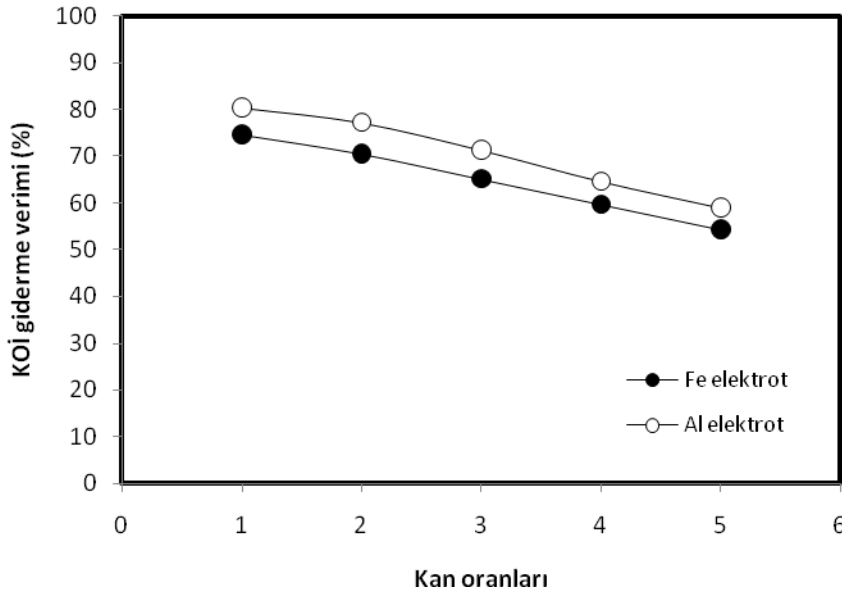
5.7. Kan Oranının Etkisi

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularının kirlilikleri için potansiyel kan gibi azaltılması zor olan organik maddelerin üretim hattında atığın yüksek miktarına uygun olarak arıtılmaktadır. Kan ve yağ-gres kesimhane atıksularına kırmızı bir renk vermektedir. Kesimhane atıklarındaki başlıca problemler bu parametrelerdir [14]. Kanatlı hayvan kesimhane atıkları için kan en önemli problem unsuru olarak göz önünde tutulmalıdır. Çünkü aktif çamurdaki inhibit flok oluşum kapasitesini etkilemektedir. Kanatlı hayvan kesimhane atıksuyu yağ-gres bakımından zengindir. Biyolojik sistemlerle arıtımda organik yükler azaltılabilir fakat kan gibi organik maddelerin bulunduğu sularda fizikokimyasal arıtmaya da ihtiyaç duyulmaktadır. Yağ-gres partikülleri giderimi için mikroorganizmaların oksidasyonunda daha uzun bekleme süresine ihtiyaç duyulurken uzun zincirli organik bileşikler oluşturmaktadırlar [91]. Bu nedenle, kan, kesimhane atıksuyunda aerobik arıtımın etkisi karıştırılmamalıdır. Kan oluşturabilecek hayvan doku atığı ve diğer eklenen materyaller renderingde ayrı ayrı arıtılmaktadır. Rendering tesisinde nem giderimi ve mikroorganizmaların öldürülmesi için basınç altında ısı uygulanmaktadır ve bu proseste yüksek enerji ihtiyacı vardır [92].

Kanatlı hayvan kesimhane atıksuyunun toplam hacminin %1' i oranında kan hacmi vardır. DAF sistemi kanatlı hayvan kesimhanesinde atıksu arıtımında kullanılmaktadır [93]. Fakat DAF sistemi kanlı atıksuyu arıtmamaktadır. DAF sistemlerinin performansı kimyasal eklenerek arttırılırsa DAF çıkışında kararsızlıklar görülmektedir [94,95]. DAF sistemleri doygun basınç, geri devir oranı, hava/katı oranı, hidrolik yüzey yüklemesi ve giriş artımına bağlı olarak ön arıtım olarak kullanılmaktadır [96]. Kesimhane atıksularında ön arıtım olarak kullanılan DAF yağı %63-95 oranında giderebilmektedir [97]. Kimyasal DAF sisteminde ise yağ-%80 oranında giderilmektedir [98].

Elektrokoagülasyon prosesi kanlı kanatlı hayvan kesimhane atıksuyunun arıtımı için etkili bir metottur. Aerobik biyolojik arıtmadan önce kanlı atıksuların arıtımında kimyasal DAF sistemi yerine elektrokoagülasyon prosesi kullanılabilir.

KOİ giderme verimi ile kan oranları arasındaki bağıntı Şekil 5.19.' da gösterilmektedir. Farklı kan oranları değerlerinde 5dk sonra EC prosesindeki sonuçlardan yararlanılmıştır. KOİ giderimi için minimum enerji tüketimi $0,639 \text{ mA/cm}^2$ lik akım yoğunluğu uygulanmıştır. Her iki elektrot için kan oranları %1' den %5' e kadar yükseltilmiştir ve kan oranlarının KOİ giderme verimi üzerine önemli bir azalışı olmuştur. KOİ giderme verimi kan oranlarının artışı ile Fe elektrot için %74,6' den %54,3' e ve Al elektrot için %80,4' den %58,9' a düşmektedir. Atıksuyun kan oranı arttırıldıkça organik maddeler artmaktadır ve giderim verimleri azalmaktadır.



Şekil 5.20. Fe ve Al elektrot için KOİ giderme verimi üzerine kan oranlarının etkisi ($i=0,639 \text{ mA/cm}^2$; $t = 5 \text{ dak}$; $\text{pH} = 5$; $T = 298 \text{ K}$; $\text{NaCl} = 0,5 \text{ g/L}$; Karıştırma hızı = 120 rpm)

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Elektrot materyali olarak alüminyum ve demir elektrotlar seçilmiştir.

Kanatlı hayvan kesimhane atıksu arıtımında demir ve alüminyum elektrotlar kullanılarak TOK, TN ve KOİ giderme verimleri başlangıç pH' ı, akım yoğunluğu, tuz miktarı ve başlangıç konsantrasyonu tarafından etkilenmiştir.

Sonuçlara göre düşük hücre voltajları ve düşük enerji tüketimi ile yüksek giderme verimleri kanatlı hayvan kesimhane atıksuyunda 0,5 g/L tuz ile elde edilebilmektedir.

Kanatlı hayvan kesimhane atıksuyun arıtılmasında pH ın etkisi incelenmiştir. pH 3-9 arasında ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre optimum pH 5 olarak bulunmuştur. Her iki elektrot için tüm parametrelerde pH 5 ile diğer pH değerleri kıyaslandığında pH 5' te %10 daha fazla verim elde edilmektedir.

Akım yoğunluğunun TOK, TN, KOİ ve yağ-gres giderme verimlerine etki etmediği elde edilmiştir. 5 dakika elektroliz süresi için en iyi giderim sonuçları pH 5' te ve 0,639 mA/cm²' lik akım yoğunluğunda gözlemlenmiştir. Al elektrot ile demir elektrottan daha yüksek giderme verimleri elde edilmiştir.

Orijinal kanatlı hayvan kesimhane atıksuyunun pH 6,9 olarak tespit edilmiştir.

Elektrokoagülasyon boyunca çözeltinin pH' ında artış olmuştur. pH artışları elektorkoagülasyonda daha verimli flokülasyonlaşma sağlanmıştır.

En uygun akım yoğunluğu $0,639 \text{ mA/cm}^2$ dir. Bu şartlarda minimum enerji tüketimi sağlanmıştır.

Her iki elektrot için 5 farklı kan oranları çalışılmıştır ve kan oranlarının artışı ile KOİ giderme veriminde azalma olduğu tespit edilmiştir. Atıksuyun kan oranı arttırıldıkça organik maddeler artmaktadır ve giderim verimleri azalmaktadır.

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Değişik elektrokoagülasyon reaktörleri için TOK, TN ve KOİ giderimi ile enerji tüketimi araştırılmalıdır. Ayrıca kesik reaktörlerin yanında, ardışık reaktörler kurularak prosesin uygulanabilirliği araştırılabilir.

Elektrot seçiminde demir ve alüminyum dışında, alternatif kurban elektrotlar kullanılarak analizler karşılaştırılabilir.

Elektrokoagülasyon metodun diğer endüstriler için kullanılabilir olup olmadığı araştırılabilir.

Optimum şartların dışında olan kanatlı hayvan kesimhane endüstrisinden temin edilecek atıksular ile kapsam bir verim araştırması yapılabilir.

Kanatlı hayvan kesimhane atıksularında yağ-gres giderimi için elektorkoagülasyon ile elektroflotasyon sistemleri kullanılarak mekanizmalar incelenebilir.

Kanlı kanatlı hayvan kesimhane atıksuyunun EC ile arıtımı ile kan giderimi için uygulanan ısı ile buharlaştırma tekniklerinin elektriksel enerji maliyetleri araştırılabilir.

Kanatlı hayvan kesimhane atıksuları organik madde içermektedir. Bu çalışmada kullanılan elektrotlarla oluşan flokların adsorpsiyonu ile organik madde giderimi olmaktadır. Elektrokoagülasyon ile adsorpsiyon arasındaki ilişki incelenebilir.

Elektrokimyasal metotlar; elektrotların maliyeti ve yüksek enerji tüketimi sebebiyle ekonomik olarak tutarsız kabul edildiğinden atıksuların işleyişinde pratik olarak

uygulanmamıştır. Bu proses, klasik arıtma tekniklerinin dezavantajlarını elimine eden bir potansiyel olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şimdiye kadar yapılan literatür araştırmalarından ve yapılan çalışmadan elektrokimyasal teknoloji geliştirilebilir, ekonomik ve kolay olması, sistemin karmaşık olmaması, kalifiye eleman ve kimyasal ilavesi gerektirmemesi bakımından ümit verici bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

- [1] MOLLAH, M.Y.A., SCHENACH, R., PARGA, J.P., COCKE, D.L., Electrocoagulation (EC) – science and applications, J. Hazard. Mater., B84, pp. 29-41, 2001.
- [2] MOLLAH, M.Y.A., MORKOVSKY, P., GOMES, J.A.G., KESMEZ, M., PARGA, J., COCKE, D.L., Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation, J. Hazard. Mater., B 114, pp. 199-210, 2004.
- [3] HALKMAN, A.K., Tarım Mikrobiyolojisi, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 1214, sf. 82, Ankara, 1991.
- [4] ANONYMOUS., Türkiye' nin Çevre Sorunları, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, sf. 336, Ankara, 1983.
- [5] TÜNAY, O., TANILI, İ., ÖVEZ, S., ARTAR, N., Bir tekstil boyama tesisinin atıksularının karakterizasyonu ve arıtılabilirliği, 1990.
- [6] ÖBEK, Ö., TATAR, Ş.Y., HASAR, H., KARATAŞ, F., ERULAŞ, M.F., Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış suları ile arıtma çamurundaki vitamin düzeylerinin değerlendirilmesi, F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, 17 (2), sf. 327-334, 2005.
- [7] POZO, R.D., DÍEZ, V., BELTRÁN, S., Anaerobic pre-treatment of slaughterhouse wastewater using fixed-film reactors, Bioresour. Technol., 71, pp. 143-149, 2000.
- [8] AL-MUTAİRİ, N.Z., Coagulant toxicity and effectiveness in a slaughterhouse wastewater treatment plant.
- [9] BAYRAMOĞLU, M., KOBYA, M., EYVAR, M., SENTURK, E., Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater, Sep. And Purf. Technol., 5, pp. 404-408, 2006.
- [10] AMORİM, A.K.B., NADRİ, D.İ.R., DEL NERY, V., Water conservation and effluent minimization: case study of poultry slaughterhouse, Resour. Conserv. Recycl., 51, pp. 93-100, 2007.
- [11] MASSÉ, D.I., MASSE, L., The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors, Bioresour. Technol., 76, pp. 91-98, 2001.

- [12] CHÁVEZ, C.P., CASTILLO, R.L., DENDOOVEN, L., ESCAMILLA-SILVA, E.M., Poultry slaughter wastewater treatment with an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor, *Bioresour. Technol.*, 96, pp. 1730-1736, 2005.
- [13] MASSÉ, D.I., MASSE, L., Characterization of wastewater from hog slaughterhouses in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment systems, *Can. Agric. Eng.*, 42, pp. 9-146, 2000.
- [14] MELO, R., VERDE, S.C., BRANCO, J., BOTELHO, M.L., Gamma radiation induced effects on slaughterhouse wastewater treatment, *Radiat. Phys. Chem.*, 77, pp. 98-100, 2008.
- [15] KOBYA, M., SENTURK, E., BAYRAMOGLU, M., Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation, *J. Hazard. Mater.*, B133, pp. 172-176, 2006.
- [16] POZO, R. D., DÍEZ, V., Organic matter removal in combined anaerobic – aerobic fixed-film bioreactors, *Water Res.*, 37, pp. 3561-3568, 2003.
- [17] CHEN, T.H., SHYU, W.H., Chemical characterization of anaerobic digestion treatment of poultry mortalities, *Bioresour. Technol.*, 63, pp. 37-48, 1998).
- [18] POZO, R.D., TAŞ, D.O., DULKADİROGLU, H., ORHAN, D., DÍEZ, V., Biodegradability of slaughterhouse wastewater with high blood content under anaerobic and aerobic conditions, *Chem. Technol. Biotechnol.*, 78, pp. 384-391, 2003.
- [19] INAN, H., DİMOGLO, A., SİMSEK, H., KARPUZCU, M., Olive oil mill wastewater treatment by means of electro-coagulation, *Sep. Purif. Technol.*, 36, pp.23-31, 2004.
- [20] YOUNG, J.C., Factors affecting the desing and performance of upflow anaerobic filters, *Water Sci. Technol.*, 24, pp. 133-155, 1991.
- [21] YOUNG, J.C., DAHAB, M.F., Effect of media desing on the performance of fixed-bed anaerobic reactor, *Water Sci. Technol.*, 15, pp. 369-383, 1983.
- [22] WOYTOWICH, D.L., DALRYMPLE, C.W., GILMORE, F.W., BRITTON, M.G., Electrocoagulation (CURE) treatment of ship bilgewater for the U.S. Coast Guard in Alaska, *MTS. Journal.*, 27 (1), pp. 62-67, 1993.
- [23] AKBAY, R., ÜLKER, M., ELİBOL, D., Tavukçuluk Tüketim Projeksiyonları ve Üretim Hedefleri, *Türkiye Ziraat Müh. IV. Teknik Kongresi, Ziraat Bankası Kültür Yayınları*, 26, sf. 771-787, Ankara, 1995.
- [24] AKBAY, R., *Bilimsel Tavukçuluk Kitabı.*, sf. 193-196, Ankara, 1982.

- [25] ASYALI, N., Kuluçkahane ve Kesimhane Artıklarının Değerlendirilmesi Olanakları., Tavukçulukta Verimlilik Sempozyumu, (67) 2, 1992.
- [26] DEMBY, D.H., CUNNINGHAM, F.E., Factors affecting composition of chicken meat, A literature review, World's Poultry Science Journal, 36, pp. 25-27, 1986.
- [27] ROENİNGK, N.P., World Poultry Consumption, Poultry Science, 78, pp. 722-728, 1999.
- [28] ŞENEL, M., Zootekni, A.Ü. Yayınları, sf. 257, 905, Ankara, 1995.
- [29] www.forumfood.net/hayvancılık, Mart 2009.
- [30] www.tarimziraat.com/.../a69-tavukçuluk/tavukçuluk.html, Mart 2009.
- [31] SROKA, A., KAMİNSKI, W., BOHDZIEWICZ, J., Biological treatment of meat industry wastewater, Desalination, 162, pp. 85-91, 2004.
- [32] DEL NERY, V., DE NADRI, I.R., DAMIANOVIC, M.H.R.Z., POZZI, E., AMORİM, A.K.B., ZAIAT, M., Long-term operating performanxe of poultry slaughterhouse wastewater treatment plant, Resour. Conserv. Recy., 50, pp. 102-114, 2007.
- [33] MUINYAWA, Y., LAWAI, N.S., Treatment efficiency and economic benefit of Zartech poultry slaughterhouse wastewater treatment plant, Ibadan, Nigeria, Sci. Res. and Essay., 3 (6). pp. 219-223, June 2008.
- [34] MARTINEZ, J.A., Influence of aluminum ion on the anaerobic treatment of poultry slaugjterhouse wastewater, Master Thesis, Mississippi State University, Master of Science, U.S. 2003.
- [35] ELLIS, T.G., MARCH, K.E., Statik granular bed reaktor, United States Patent and Trademark Office, U.S., Patent.6, 709, 591, 2004.
- [36] RAMAKRISHMAN, A., GUPTA, S.K., Effect of hydraulic retention time on the biodegradation of complex phenolic mixtire from simulated coal wastewater in hybrid UASB reaktors, J. Hazard. Mater., 153, (1-2), 843, 2008.
- [37] DEBİK, E., COŞKUN, T., Use of the Statik granular bed reaktor (SGBR) wiht anaerobic sludge to treat poultry slaughterhouse wastewater and kinetic modeling, Bioresour. Technol., 100, pp. 2777-2782, 2009.
- [38] PARAWIRA, W., KUDITA, I., NYANDOROH, M.G., ZVAUYA, R., A study of industrial anaerobik treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full-scale UASB reaktör seeded wiht activated sludge, Process. Biochem., 40 (2), pp. 593-599, 2005.

- [39] AL-SHAMRANI, A.A., JAMES, A., XIAO, H., Separation of oil from water by dissolved air flotation, *colloid. Surf. A. Phys. Eng. Asp.*, 209, pp. 15-26, 2002.
- [40] KIEPPER, R.H., Characterization of poultry processing operations, wastewater generation, and wastewater treatment, M.S. Thesis, The University of Georgia, Athens, G. A., 2003.
- [41] TEZEL, U., PIERSON, J.A., PAVIOSTATHIS, S.G., Effect of polyelectrolytes and quaternary ammonium compounds on the anaerobic biological treatment of poultry processing wastewater, *Water. Res.*, 41, pp. 1334-1342, 2007.
- [42] MANJUNANTH, N.T., MEHROTRA, I., MAHTUR, R.P., Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system, *Water Res*, 34(6)-1930(6), 2000.
- [43] SAYED, S., ZEEUW, W., LETTINGA, G., Anaerobic treatment of slaughterhouse waste using a flocculant sludge UASB reactor, *Agric. Wastes.*, 11, pp. 197-226, 1984.
- [44] ASSELIN, M., DROGUI, P., BENMOUSSA, H., BLAIS, J.F., Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells, *Chemosphere*, 27, pp. 1727-1733, 2008.
- [45] DE SENA, R.F., TAMBOSI, J.L., GENENA, R., MOREIRA, R.D.F.P.M., SCHRÖDER, H.F., JOSE, H.J., Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS, *Chem. Eng. J.*, xxx, 2009.
- [46] NARAYANAN, N.V., GAMESAN, M., Use of adsorption using granular activated carbon (GAC) for the enhancement of removal of chromium from synthetic wastewater by electrocoagulation, *J. Hazard. Mater.*, 161, pp. 575-580, 2009.
- [47] KABDAŞLI, I., VARDAR, B., ARSLAN-ALOTON, I., TÜNAY, D., Effect of dye auxiliaries on color and COD removal from simulated reactive dye bath effluent by electrocoagulation, *Chem. Eng. J.*, 148, pp. 89-96, 2009.
- [48] BECK, E.C., GIANNINI, A.P., RAMIREZ, E.R., Electrocoagulation clarifies food wastewater, *Food Technol.* 22, pp. 18-19, 1974.
- [49] RAMIREZ, E.R., JOHNSON, D.L., CLEMENS, O.A., Direct comparison in physicochemical treatment of packinghouse wastewater between dissolved air and electroflotation, *Proc. 31st Purdue Ind. Waste. Conf., Ann Arbor Sci.*, Ann Arbor, Michigan, pp. 563-573, 1976.

- [50] HOLT, P.K., BARTON, G.W., MITCHELL, C.A., The future for electrocoagulation as localised water treatment technology, *Chemosphere*, 59, pp. 355- 367, 2005.
- [51] DANESHVAR, N., SORKHABI, H.A., KASIRI, M.B., Decolorization of dye solution containing acid red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections, *J. Hazard. Mater. B* 112, pp. 55-62, 2004.
- [52] CHEN, G., *Electrochemical Technologies in wastewater treatment*, *Sep. Purif. Technol.* 38, pp. 11-41, 2004.
- [53] NI'AM, M.F., OTHMON, F., SOHAILI J., FAUZIA, Z., Removal of COD and turbidity to improve wastewater quality using electrocoagulation technique, *The Malaysian Journal of Analytical Sci.*, 11 (1), pp. 198-205, 2007.
- [54] KOBYA, M., CAN, O. T., BAYRAMOGLU, M., Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes, *J. Hazard. Mater. B* 100, pp. 163-178, 2003.
- [55] CALVO, L.S., LECLERC, J.P., TNGUY, G., CAMES, M.C., PATERNOTTE, G., VALENTIN, G., ROSTAN, A., LAPICQUE, F., An electrocoagulation unit for the purification of soluble oil wastes of high COD, *Environmental Progress*, 22 (1), pp. 57-65, 2003.
- [56] DANESHVAR, N., OLADGARAGOZE, A., DJAFARZADEH, N., Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: an investigation of the effect of operational parameters, *J. Hazard. Mater. B* 129, pp. 116-122, 2006.
- [57] LIN, S.H., PENG, C.F., Treatment of textile wastewater by electrochemical method, *Water Res.* 28, pp. 277-282, 1994.
- [58] MERZOUK, B., GOURICH, B., SEKKI, A., MADANI, K., CHIBANE, M., Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation – electroflotation technique – case study, *J. Hazard. Mater.*, 164, pp. 215-222, 2009.
- [59] SENGİL, I.A., OZACAR, M., OMURLU, B., Decolorization of C. I. Reactive red 124 using the electrocoagulation method, *Chem. Biochem. Eng. Q.* 18 (4), pp. 391-401, 2004.
- [60] MAMERI, N., YEDDEM, A.R., LOUNICI, H., BELCOHINE, D., GRIB, H., BARIOU, B., Defluorination of seprentional Sahara water of North Africa by electrocoagulation process using bipolar aluminum electrodes, *Water. Res.* 32 (5), pp. 1604-1612, 1998.

- [61] PLETCHER, D., WALSH, F.C., Industrial Electrochemistry, Second Edition, Blackie Academic Professional, London, 1993.
- [62] MULLER, K., Electroflotation from the double layer to trouble waters, in Oliver J. Murphy et al. (eds), Electrochemistry in Transition, Plenum Press, New York, USA, 1992.
- [63] PRASAD, R.K., color removal from distillery spent wash through coagulation using *Moringa oleifera* seeds: Use of optimum response surface methodology, *J. Hazard. Mater.*, 165, pp. 804-811, 2009.
- [64] KUMAR, M., PONSELVAN, F.I.A., MALVIYA, J.R., SRIVASTAVA, V.C., MALL, I.D., Treatment of bio-digester effluent by electrocoagulation using iron electrodes, *J. Hazard. Mater.*, 165, pp. 345-352, 2009.
- [65] TSAI, C.T., LIN, S.H., SHUE, Y.C., SU, P.L., Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills, *Water Res.*, 31, pp. 3073-3081, 1997.
- [66] POUET, M.F., GRASMICK, A., Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water Sci. Technol.*, 31, pp. 275-283, 1995.
- [67] CAN, O.T., BAYRAMOĞLU, M., KOBYA, M., Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminum electrodes, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42, pp. 3391-3396, 2003.
- [68] WANG, C.T., CHOU, W.L., KUO, Y.M., Removal of COD from laundry wastewater by electrocoagulation/electroflotation, *J. Hazard. Mater.*, 164, pp. 81-86, 2009.
- [69] LIN, S.H., LIN, C.S., Reclamation of wastewater effluent from a chemical fiber plant, *Desalination*, 120, pp. 185-195, 1998.
- [70] BABU, R.R., BHADRINARAYANA, N.S., SHERIFFA BEGUM, K.M.M., ANANTHARAMON, N., Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation, *Journal of University of Chemical Technol. and Metallurgy*, 42 (2), pp. 201-206, 2007.
- [71] KHRISTOSKOVA, S., Possibility of purification and decoloring wastewaters from the yeast industry by electrocoagulation, *Nauchni Tr- Plovdski Uni.*, 22, pp. 177-185, 1984 (Chem. Abstr. 105, 29282r, 1986).
- [72] ADHOUM, N., MONSER, L., Decolorization and removal of phenolic compound from olive mill wastewater by electrocoagulation, *Chem. Eng. Process.*, 43, pp. 1281-1287, 2004.
- [73] CHEN, X., CHEN, G., YUE, P.L., Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater, *J. Environ. Eng.*, 126, pp. 858-863, 2000.

- [74] XU, L.J., SHELDON, B.W., DLARICK, K., CARAWA, R.E., Recovery and utilization of useful by-products from egg processing wastewater by electrocoagulation, *Poultry Sci.*, 81, pp. 785-792, 2002.
- [75] IBANEZ, J.G., TAKIMOTO, M., VASQUEZ, RAJESHWAR, R.K., BASAK, S., Laboratory experiments on electrochemical remediation of the environment: electrocoagulation of oily wastewater, *J. Chem. Educ.*, 72, pp. 1050-1052, 1995.
- [76] SENGIL, I.A., OZACAR, M., Treatment of dairy wastewater by electrocoagulation using mild steel electrodes, *J. Hazard. Mater. B137*, pp. 1197-1205, 2006.
- [77] MERZOUK, B., GOURICH, B. SEKKI, A., MADANI, K., VIALCH, U., BARKAOUI, M., Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process, *Chem. Eng. J.*, 149, pp. 207-214, 2009.
- [78] ÖMÜRLÜ, B., RR 124 Reaktif boyarmaddenin elektrokoagülasyon metoduyla arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Ocak 2005.
- [79] HERNÁNDEZ, I.L., DÍAZ, C.B., MORALES, G.R., BILYEU, B., NÚÑEZ, F.U., Influence of anodic material on electrocoagulation performance, *Chem. Eng. J.*, 148, pp. 97-105, 2009.
- [80] CENKIN, V.E., BELEVSTEV, A.N., Electrochemical treatment of industrial wastewater, *Eff. Water. Treat. J.*, 25 (7), pp. 243-249, 1985.
- [81] KOREN, J.P.F., SYVERSEN, U., State of – the – art electroflocculation, *Filtration and Separation*, 32 , 2 , 1995.
- [82] CHEN, X., CHEN, G., YUE, P.L., Novel electrode system for electrocoagulation of wastewater, *Environ. Sci. Technol.*, 36, pp. 778-783, 2002.
- [83] American Public Health Association (APHA), Standart methods for examination of water and wastewater, 21st ed., Washington, DC, 2005.
- [84] JOHNS, M.R., Development in wastewater treatment in meat processing industry, *Biores. Technol.*, 54, pp. 203-216, 1995
- [85] BOHDZIEWICZ, J., SROKA, E., LOBOS, E., Application of the system which combines coagulation, activated sludge and reverse osmosis to the treatment of the wastewater produced by the meat industry, *Desalination*, 144, pp. 393-398, 2002.
- [86] SONG, S., HE, Z., QIU, J., XU, L. CHEN, J. Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of C. I. Reaktive Black 5 in aqueous

- solution: An investigation of the effect of operational parameters, *Sep. Purif. Technol.*, 55, pp. 238-245, 2007.
- [87] WEINTRAUB, M.H., GOLOVAY, R.L., DZIECIUCH, M.A., Development of electrolytic treatment of oily wastewater, 2(1), pp. 32-37, 1983.
- [88] MOHAMMAD, M., EMAMJOMEH, SIVAKUMAR, M., Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes, *J. Env. Manag.*, 90, pp. 1663-1679, 2009.
- [89] SCOTT, K., *electrochemical processes for clean technology*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K., 1995.
- [90] ŞENGİL, İ.A., KULAÇ, S., ÖZACAR, M., Treatment of tannery liming drum wastewater by electrocoagulation, *J. Hazard. Mater.*, 2009.
- [91] SENA, R.F., MOREIRA, R.F.P.M., JOSE, H.J., Comparison of coagulants and coagulation aids for treatment of meat processing wastewater by column flotation, *Bioresour. Technol.*, 99, pp. 8221-8225, 2008.
- [92] SIRONI, S., CAPELLI, L., CENTOLA, P., ROSSO, R.D., GRANDE, M.I., Odour emission factors for assessment and prediction of Italian rendering plants odour impact, *Chem. Eng. J.*, 131, pp. 225-231, 2007.
- [93] DE NADRI, I.R., FUZI, T.P., DEL NERY, V., Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater, *Resour. Conserv. Recy.*, 52, pp. 533-544, 2008.
- [94] KLUTE, R., LANGER, S., PFEIFER, R., Optimization of coagulation processes prior to DAF, *Water Sci. Technol*, 31 (59-62), pp. 1-23, 1995.
- [95] VIITASAARI, M., JOKELA, P., HEINÄNEN, J., Dissolved air flotation in treatment of industrial wastewater with a special emphasis on forest and foodstuff industries, *Water Sci. Technol.*, 31 (3-4), pp. 299-313, 1995.
- [96] KROFTA, M., HERATH, B., BURGESS, D., LAMPMAN, L., An attempt to understand dissolved air flotation using multivariate data analysis, *Water Sci. Technol.*, 31(3-4), pp. 191-201, 1995.
- [97] LOVETT, D.A., TRAVERS, S.M., Dissolved air flotation for abattoir wastewater, *Water Res.*, 20(4), 421-6, 1986.
- [98] NÚÑEZ, L.A., FUENTE, E., MARÍNEZ, B., GARCIA, P.A., Slaughterhouse wastewater treatment using ferric and aluminium salts and organic poly electrolytes. *J. Environ. Sci. Health*, A34(3)-721-36.1999.

ÖZGEÇMİŞ

Nazire Pınar TANATTI, 05.05.1983 de Sakarya da doğdu. İlköğretimini sırası ile Sakarya Hakkı Demir İlkokulu, Sakarya Atatürk Ortaokulu ve lise eğitimini Sakarya Ali Dilmen Süper Lisesi' nde tamamladı. Lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü' nde 2006 yılında tamamladı. 2006 yılında aynı üniversitenin Çevre Mühendisliği Bölümü' nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen aynı bölümde öğrenimine devam etmektedir.