

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ADYAMAN KÂHTA YÜZÜNCÜ YIL GÖLETİ'NE DEŞARJ EDİLEN İLÇE
ATIKSUYUNUN ELEKTROFLOTASYON YÖNTEMİYLE
ARITILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

ZEHRA ÇOLAK

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADYAMAN KÂHTA YÜZÜNCÜ YIL GÖLETİ'NE DEŞARJ EDİLEN İLÇE
ATIKSUYUNUN ELEKTROFLOTASYON YÖNTEMİYLE
ARITILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Zehra ÇOLAK

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 10/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Mustafa Talha GÖNÜLLÜ
BAŞKAN**

**Yrd. Doç. Dr. Turgay DERE
ÜYE (DANIŞMAN)**

**Yrd. Doç. Dr. Mustafa ASLAN
ÜYE**

**Prof. Dr. Ramazan GÜRBÜZ
Enstitü Müdürü**

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: --

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ADİYAMAN KÂHTA YÜZÜNCÜ YIL GÖLETİ'NE DEŞARJ EDİLEN İLÇE ATIKSUYUNUN ELEKTROFLOTASYON YÖNTEMİYLE ARITILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Zehra ÇOLAK

Adiyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr.Turgay DERE
Yıl: 2016, Sayfa sayısı:80

Jüri : Yrd. Doç. Dr.Turgay DERE
: Prof.Dr. Mustafa Talha GÖNÜLLÜ
: Yrd.Doç.Dr. Mustafa ASLAN

Bu çalışmanın amacı, Adiyaman ili Kahta ilçesi Yüzüncü Yıl Göleti yüzey suyu yatağına, arıtılmadan deşarj edilen Kahta ilçe merkezi kentsel atıksuyu kirlilik yüklerinin belirlenerek, ileri arıtım teknolojilerinde önemli bir yer alan Elektrofлотasyon prosesi ile arıtılabilirliğini araştırmaktır.

Çalışma kapsamında ham kentsel atıksu ile elektrofлотasyon prosesi ile arıtılmış kentsel atıksuyun arıtma süresince pH, Çözünmüş Oksijen (Ç.O.), Sıcaklık, İletkenlik, Tuzluluk, Toplam Azot (TN), Toplam Fosfor (TP), Amonyum (NH⁴⁺), Toplam Katı Madde (TKM), Askıda Katı Madde (AKM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Toplam Çözünmüş Madde (TÇM), Renk, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) konsantrasyonları arasındaki değişimleri izlenerek, diğer arıtma prosesleri ile karşılaştırılması yapılmış ve uygun işletme şartları belirlenmiştir.

Proseste oluşan katı madde karakterizasyonu ile ilgili yapılabilecek çalışmalara ön görü olması için oluşan katı maddenin FT-IR analizleri yapılmış, SEM-EDX görüntüleri alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adiyaman-Kahta, atıksu arıtma, elektrofлотasyon, evsel atıksu, kentsel atıksu.

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF TREATABILITY BY USING ELECTROFLOTATION PROCESS OF DOMESTIC WASTEWATER THAT IS DISCHARGED TO THE ADIYAMAN KÂHTA YUZUNCU YIL POND

Zehra ÇOLAK

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Turgay DERE
Year: 2016, Number of pages:80

Jury : Assist. Prof. Turgay DERE
: Prof. Dr. Mustafa Talha GÖNÜLLÜ
: Assist. Prof. Mustafa ASLAN

The aim of this study is to investigate its treatability with Electroflotation process which is an important part in advanced treatment technologies by determining the pollution loads of Kahta town center urban wastewater that untreated discharged to the surface water bed of Adiyaman province Kahta district Yuzuncu Yil Pond.

Within the scope of the study, it was compared with other treatment processes and the appropriate operating conditions were determined by monitoring changes in concentrations pH, dissolved oxygen, temperature, conductivity, salinity, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), ammonium (NH_4^+), Total Solid Matter, suspended solids (SS), volatile suspended solids (VSS), Total Dissolved Solids (TDS), color, biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD) during the treatment of urban wastewater treated by electroflotation proses with raw wastewater.

FT-IR analyzes of the solid material were carried out and SEM-EDX images were taken in order to be able to make predictions about the workable characterization of the solid formed by the process.

Keywords: Adiyaman-Kahta, wastewater treatment, electroflotation, domestic wastewater, urban wastewater

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmalarım süresince bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Turgay DERE'ye saygı ve Őükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen fedakâr anneme, babama, kardeŐlerime ve kararlarımı destekleyen abim Abdullah ÇOLAK'a teŐekkürü bir borç bilirim. Çok sevdiğim biricik yeğenlerime ve bana hep destek olan arkadaşlarıma da sonsuz sevgilerimi ve teŐekkürlerimi sunarım.

Yaklaşık 30 yıldır evre felaketi Yüzüncü Yıl göletindeki kirliliğın ıslahı ve köy halkının sağılığı için gerekli mercilere baŐvuran, konuyu gündeme getiren ve ayrıca çocukluğumdan beri her daim yanımda olan dayım Gazeteci-Yazar Ferhat VURAL'a en içten teŐekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
KISALTMALAR	ix
SİMGELER	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kentsel ve Evsel Atıksu Kirliliği	2
1.1.1. Evsel atıksuyun özellikleri	2
1.1.2. Evsel atıksuların sınıflandırılması.....	3
1.2. Kentsel ve Evsel Atıksu Kirlilik Yüklerinin Azaltılması	5
1.2.1. Arıtma prosesleri ve işletme şartları	5
1.2.2. Elektrokimyasal prosesler ve işletme şartları.....	8
1.2.2.1. Elektrokimya	8
1.2.2.2. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri	9
1.2.2.3. Elektrokoagülasyon	10
1.2.2.4. Elektroomsidasyon	13
1.2.2.5. Elektroflotasyon	16
1.2.2.6. Elektrokimyasal yöntemlerinin kullanıldığı bazı literatür çalışmaları.....	20
2. MATERYAL VE METOT.....	24
2.1. Kahta İlçe Merkezi Kentsel Atıksuyu ve Mevcut Durum	24
2.2. Analiz Cihazları ve Ölçüm Metotları	26
2.3. Elektroflotasyon Prosesi Deney Düzenneği	26
3. BULGULAR VE SONUÇLAR	30
3.1. Kahta İlçe Merkezi Kentsel Atıksu Özellikleri	30
3.2. Elektroflotasyon Prosesi Boyunca Atıksu Özelliklerindeki Değişimler	33
3.3. Elektroflotasyon Prosesi Arıtma Verimlerinin Diğer Arıtma Proseslerinin Arıtma Verimleri ile Karşılaştırılması	41

3.4. Elektroflotasyon Prosesinde Oluşan Çıkış Çamurunun Öngörülü Karakterizasyonu	49
3.4.1. SEM-EDX görüntüleri ve ön değerlendirmesi.....	49
3.4.1. FT-IR analizi ve ön değerlendirmesi	54
4. TARTIŞMA.....	55
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Evsel atıksuyun fiziksel, kimyasal, biyolojik bileşenleri	2
Çizelge 1.2. Evsel atıksuların karakterizasyonu.....	4
Çizelge 1.3. Değişik arıtma sistemleri için çıkış suyu kaliteleri	8
Çizelge 1.4. Elektrokimyasal yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları	9
Çizelge 1.5. Farklı tip atıksu arıtımı için kullanılan elektrokoagülasyon proses bilgileri	12
Çizelge 1.6. Farklı pH ve elektrot materyallerinde gaz kabarcıklarının boyutları	18
Çizelge 1.7. Elektroflotasyon ve klasik koagülasyonun arıtma verimi açısından karşılaştırılması	21
Çizelge 2.1. 211 L/sn debili Kahta ilçe merkezi kanalizasyon atıksularının toplandığı noktanın ve Yüzüncü Yıl Göletine deşarj edildiği noktanın Google Earth bilgileri.....	25
Çizelge 3.1. Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyunun özellikleri (Ortalama değerler).....	30
Çizelge 3.2. Evsel atıksuların kuvvet değerleri ve Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyunun kuvvet değerleri.....	31
Çizelge 3.3. SKKY evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj standartları ve Yüzüncü Yıl göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyu değerleri.....	32
Çizelge 3.4. Elektroflotasyon prosesi süresince atıksuda izlenen parametrelerin değişim değerleri	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1.	211 L/sn debili Kahta ilçe merkezi kanalizasyon atıksularının toplandığı noktanın ve deşarj edildiği Yüzüncü Yıl Göleti'nin yerlerinin uydu görüntüsü	24
Şekil 2.2.	211 L/sn debili Kahta ilçe Merkezi Kanalizasyon atıksularının Yüzüncü Yıl Göletine deşarj edildiği yer resimleri	25
Şekil 2.3.	Elektroflotasyon prosesi deney düzeneği	27
Şekil 2.4.	Dijital bir DC (doğru akım) güç kaynağı	27
Şekil 2.5.	Elektroflotasyon prosesi deney düzeneği plan-kesit	28
Şekil 2.6.	Elektroflotasyon prosesi deney düzeneği akış şeması	28
Şekil 3.1.	Evsel atıksuların kuvvet değerleri ile Yüzüncü Yıl göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyunun kuvvet değerlerinin karşılaştırması	31
Şekil 3.2.	SKKY evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj standartları ile Yüzüncü Yıl göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyu değerlerinin karşılaştırılması	32
Şekil 3.3.	Elektroflotasyon prosesi giriş atıksuyu ve arıtılmış çıkış suyundan görüntüler a) Kahta Yüzüncü Yıl Göletine deşarj edilen atıksu b) Çöktürme öncesi arıtılmış su c) Çöktürme sonrası arıtılmış su	33
Şekil 3.4.	EF sisteminde çözülmüş oksijen ve ORP konsantrasyonu	35
Şekil 3.5.	EF sisteminde elektriksel iletkenlik değişimi	35
Şekil 3.6.	EF sisteminde renk değişim konsantrasyonu	36
Şekil 3.7.	EF sisteminde reaksiyon süresi ve çökelme sonrası renk değişim oranı	36
Şekil 3.8.	EF sisteminde TKM, AKM, UAKM ve çözülmüş katı madde değişim konsantrasyonları	37
Şekil 3.9.	EF sisteminde reaksiyon süresi ve ve çökelme sonrası TKM, AKM, UAKM ve çözülmüş katı madde değişim oranları	37
Şekil 3.10.	EF sisteminde reaksiyon süresi boyunca KOİ ve BOİ ₅ konsantrasyonundaki değişimleri	38

Şekil 3.11. EF sisteminde reaksiyon süresi ve çökeltme sonrası KOİ ve BOİ ₅ değişim oranları.....	39
Şekil 3.12. EF sisteminde reaksiyon süresinde NH ₄ ve NO ₃ konsantrasyon değişimi	39
Şekil 3.13. EF sisteminde reaksiyon süresi ve çökeltme sonrası NH ₄ ve NO ₃ konsantrasyonu değişim oranları	40
Şekil 3.14. EF sisteminde reaksiyon süresinde TP ve çözünmüş oksijen konsantrasyon değişimi	40
Şekil 3.15. EF sisteminde reaksiyon süresi ve çökeltme sonrası TP ve çözünmüş oksijen konsantrasyon değişim oranları	41
Şekil 3.16. AKM arıtma verimleri karşılaştırması	42
Şekil 3.17. BOİ ₅ arıtma verimleri karşılaştırması.....	42
Şekil 3.18. KOİ arıtma verimleri karşılaştırması.....	43
Şekil 3.19. NH ₄ arıtma verimleri karşılaştırması.....	44
Şekil 3.20. Toplam Azot arıtma verimleri karşılaştırması.....	45
Şekil 3.21. Toplam Fosfor arıtma verimleri karşılaştırması.....	46
Şekil 3.22. Toplam Çözünmüş Madde (Çözünmüş Katı Madde) arıtma verimleri karşılaştırması.....	47
Şekil 3.23. Gelişmekte olan ülkelerdeki başlıca atıksu arıtım sistemlerinin BOİ ₅ arıtma verimleri ile ilçe atıksuyu arıtımı için kullanılan elektroflotasyon prosesinin BOİ ₅ arıtma verimlerinin karşılaştırması	48
Şekil 3.24. Elektroflotasyon Proses çıkış çamuru katı maddesinin SEM, EDX görüntüleri ve analizleri.....	49

KISALTMALAR

AKM (SS)	: Askıda Katı Madde
ABR	: Anaerobik Bölmeli Reaktör
BNR	: Biyolojik Besi Maddesi (Azot, Fosfor) Giderimli Arıtma Tesisi
BOİ ₅ (BOD)	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
DC	: Doğru akım
EC	: Elektokoagülasyon
EDX	: Energy Dispersive X-Ray (Enerji dağılımlı x-ışınları analizi)
EF	: Elektroflotasyon
FTIR	: Fourier Transform Infrared (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi)
KOİ (COD)	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	: Membran Biyoreaktör
N	: Azot
NH ₄	: Amonyum
NH ₄ .N	: Amonyum Azotu
NO ₃	: Nitrat
ORP	: Oxidation Reduction Potential (Oksidasyon İndirgenme Potansiyeli)
P	: Fosfor
pH	: Çözeltideki Hidrojen İyonu Konsantrasyonu
SBR	:Ardışık Kesikli Reaktör
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TDS (TÇM)	: Total Dissolved Solids (Toplam Çözünmüş Katı)
TKM	: Toplam Katı Madde
TN	: Toplam Azot
TOK	: Toplam Organik Karbon
TP	: Toplam Fosfat
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UAKM(VSS)	: Uçucu Askıda Katı Madde
UASB	: Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yataklı

SİMGELER

•OH	: Hidroksil radikali
A	: Amper
A/cm ²	: Akım yoğunluğu
h	: saat
L	: Litre
mA	: Mili Amper
mg	: Miligram
ppt	: Parts per trillion (Trilyonda bir)
s	: saniye
V	: Volt
W	: Watt
dk.	: dakika

1. GİRİŞ

Hızlı kentleşme, kontrolsüz sanayileşme ve artan insan nüfusunun faaliyetlerin artması atık üretimin yüksek oranda artmasına yol açmıştır. Dünya çapında su ortamları atık gideriminin başlıca araçlarıdır. Bu atıklar alıcı su kaynaklarının fiziksel, kimyasal, biyolojik doğasını değiştirebilir (Patel vd. 2013). Evsel ve endüstriyel kaynaklı olarak artan atıksu miktarı hem mevcut su kaynaklarını kirletmekte hem de ekosisteme ciddi zararlar vermektedir. Sürdürülebilir su/atıksu yönetimi için yüksek arıtım verimleri sağlayan proseslere ihtiyaç duyulmaktadır. Klasik arıtma yöntemlerine kıyasla gerek maliyet ve gerekse giderim verimi açısından ihtiyaçlara cevap verecek yeni arıtım yöntemleri ortaya çıkmıştır. İleri arıtım tekniklerinden elektrokimyasal arıtım yöntemlerine ilgi artmıştır. Elektrokoagülasyon (EC) ve elektroflotasyon (EF) gibi elektrokimyasal tekniklerin az sayı ve miktarda kimyasal madde gereksinimi olması ve yine daha az miktarda atık oluşturması bu arıtım mekanizmalarının tercih edilme sebebidir.

Elektrokimyasal proseslerde ana reaktif elektrottur. Proseste genellikle çok fazla ekstra reaktif gerekmemektedir. Elektrokimyasal ekipmanın üretimi, işletilmesi ve kontrolünün tasarlanması basit ve ucuzdur. Birçok ekipmana göre çok az bir alan işgal etmektedir. Düşük elektriksel akım dağılımları, voltaj düşmeleri ve yan reaksiyonlardan dolayı oluşan güç kayıplarını minimize etmek için uygun elektrot ve hücre dizaynları ile enerji verimleri artırılabilir. Böylece klasik sistemlere göre daha az enerji tüketimi ortaya çıkmış olmaktadır. Ayrıca elektrokimyasal proseslerde elektriksel değişkenler (voltaj ve akım gibi) genellikle veri elde etmeyi kolaylaştırma, proses kontrolü ve otomasyonu için uygun özelliklerdedir (Gengeç 2012)

Su ve atıksuların düşük maliyet, işletme kolaylığı ve yüksek verimli arıtım metotları araştırılmaya devam etmektedir. Son yıllarda kullanılmaya başlanan basit ve verimli bir yöntem olan su ve atıksuyun arıtımında kullanılan elektrokimyasal yöntemler Avrupa'da kullanım alanı bulmuş ve ülkemizde de geliştirilmeye devam etmektedir.

1.1. Kentsel ve Evsel Atıksu Kirliliği

08.01.2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği”ne göre, kanalizasyon sistemleri ile toplanan kentsel atıksu, evsel atıksu ya da evsel atıksuyun endüstriyel atıksu ve/veya yağmur suyu ile karışımı olarak tanımlanmaktadır. Bu yönetmelikteki tanımlamalara göre kentsel atıksu özellikleri evsel atıksu kapsamında değerlendirilebilmektedir (Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 2006)

Temiz su kaynaklarından temin edilen su, insani-sihhi ihtiyaçlar için kullanıldıktan sonra şehir kanalizasyon şebekesi ile toplanarak atıksu olarak alıcı ortama verilmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre; 2014 yılında alıcı ortamlara göre belediye şebekesinden deşarj edilen atıksu miktarı toplam deşarj edilen atıksu miktarının % 18,9’unu oluşturmaktadır. Arıtılan %81,1’lik kısmı ise oldukça yüksek yatırım ve işletme maliyetli arıtma prosesleriyle arıtılmakta arıtılan suların kalitesi ise arıtma proseslerine göre oldukça farklılıklar gösterebilmektedir. Yine Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2014 yılı verilerine göre Adıyaman ilinin bulunduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesinde belediyelerde günlük atıksu miktarı 138 litre/kişi gün, diğer bölgelerde ise günlük atıksu miktarı minimum 119 litre/kişi gün, maksimum 230 litre/kişi gün olarak kaydedilmiştir (www.tuik.gov.tr, 2016).

1.1.1.Evsel atıksuyun özellikleri

Evsel atıksuların özelliklerini belirleyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik birçok bileşenleri mevcuttur. Çizelge 1.1 ‘de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1.Evsel atıksuyun fiziksel, kimyasal, biyolojik bileşenleri (Metcalf 2003)

Fizikler Özellikler	Kimyasal Bileşenler			Biyolojik Bileşenler
	Organikler	İnorganikler	Gazlar	
-Renk	-Karbonhidratlar	-Alkanite	-Metan	-Canlı Hücreler
-Koku	-Yağ ve Gres	-Klorürler	-Oksijen	-Bitkiler
-Katı Maddeler	-Pestisitler	-Ağır Metaller	-Hidrojen Sülfür	-Tek Hücreliler
-Sıcaklık	-Fenoller	-Azot		-Virüsler
	-Proteinler	-pH		
	-Yüzey Aktif Maddeler	-Fosfor		
		-Sülfür		
		-Toksik Bileşenler		

1.1.2.Evsel atıksuların sınıflandırılması

Evsel atıksular içerdikleri kirlilik parametrelerinin konsantrasyonlarına göre kuvvetli, orta kuvvette ve zayıf kuvvette olarak 3 sınıfta toplanmaktadırlar. Evsel atıksu içerisindeki katı maddelerin 2/3 lük kısmını çözünmüş formlar temsil ederken, 1/3 lük kısmını ise süspansiyon maddeler oluşturmaktadır. Çözünmüş katı madde formlarının ağırlıklı oranı inorganik maddelerden, süspansiyon maddelerin ağırlıklı oranı organik maddelerden meydana gelmektedir. Evsel atıksularda arıtma tesisi projelendirmesi için temel parametreleri oluşturan BOI₅/KOİ oranı yaklaşık olarak 0.4 dır. Bu oran kullanılan su ve bölgesel yağış miktarına göre değişiklik gösterebilir. Yaz aylarında yükselirken, kış aylarında azalır. Evsel atıksular besin maddeleri (nütrientler) olarak nitelendirilen azot (N) ve fosfor (P) açısından da zengindirler. Evsel atıksu içerisinde bulunan azot türleri, genellikle ure ile proteinlerin aminoasitlere, aminoasitlerin de amonyağa hidrolize olmasından kaynaklanmaktadır. Fosfor ise DNA yapılarında var olması nedeniyle evsel atıksu karakterizasyonunda yer alır ve ağırlıklı olarak PO₄⁻³- P yapısında bulunur. Evsel atıksuların diğer ağırlıklı bileşenlerini tuzluluktan kaynaklanan klorür, alkalinite ve yağlar oluşturur. Klorür canlı organizmaların biyolojik aktivitelerinin doğal sonucu olarak açığa çıkmaktadır. Alkanite ise evsel atıksuların tamponlama kapasitesi olarak değerlendirilir. Alkanite mevcudiyetinde aşırı pH salınımları kontrol altına alınabilmektedir. Evsel atıksularda bulunan yağlar büyük oranda mutfak atıklarından kaynaklanmaktadır. Yağlar ağır molekül yapıları ve su içerisinde emülsiyon oluşturmaları nedeni ile biyolojik arıtma için dezavantaj oluşturmaktadır. Mikroorganizma yumaklarını saran yağ filmleri bakterilerin organik madde ile temas engelleyerek evsel atıksuların arıtılmasında verimsizliğe yol açmaktadır.

Çizelge 1.2’de evsel atıksuların kuvvetine göre bileşen kompozisyonunu göstermektedir.

Çizelge 1.2. Evsel atıksuların karakterizasyonu (Metcalf 2003)

İçerik	Konsatrasyon(mg/l)		
	Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Katı Madde	350	720	1200
Çözünmüş Katı Madde	250	500	850
• Sabit	145	300	525
• Uçucu	105	200	325
Askıda Katı Madde			
• Toplam	100	220	350
• Sabit	20	55	75
• Uçucu	80	165	275
Çökelebilen Madde (ml/l)	5	10	20
BOİ _{5,20 °C}	110	220	400
Toplam Organik Karbon, TOK	80	160	290
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KOİ	250	500	1000
Toplam N	20	40	85
Organik N	8	15	35
Amonyak-N	12	25	50
Toplam P	4	8	15
Organik P	1	3	5
İnorganik P	3	5	10
Klorür	30	50	100
Alkanite(CaCO ₃ olarak)	50	100	200
Yağ-gress	50	100	150

1.2. Kentsel ve Evsel Atıksu Kirlilik Yüklerinin Azaltılması

1.2.1. Arıtma prosesleri ve işletme şartları

Genel olarak kentsel atıksu arıtma prosesleri, arıtma mekanizmalarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler olarak uygulanabilmektedir. Fakat bununla birlikte bu üç prosesin mekanizmalarının birlikte, eş zamanlı ve örgün zamanlı gerçekleştirilebileceği prosesler de mevcuttur.

Izgaralar, ön çökeltim havuzları, kumtutucular, yağ tutucular gibi atıksuyun içerdiği askıda ve koloidal maddeleri ve diğer iri katı maddeleri sudan ayıran fiziksel prosesler klasik arıtma proseslerinin vazgeçilmezleri haline gelmiştir. Fakat bu proseslerin yatırımlarında, işletmelerinde ve bakımlarında gerek maliyetleri açısından ve gerekse arıtma verimleri açısından oldukça sık problemlerle karşılaşılabilir.

Nötralizasyon, pıhtılaştırma, yumaklaştırma, kimyasal çöktürme ve dezenfeksiyon gibi atıksudaki bileşiklerin kimyasal yapısını değiştirerek sudan ayırmaya çalışan kimyasal arıtma prosesleri özellikle kullanılan kimyasalların ve bunların atıksu ile reaksiyonu için gerekli olan ekipmanların yatırım ve işletme maliyetleri ile suyun kimyasal formunun değişmesine neden olabilecek yan reaksiyonlarından dolayı önemli problemler ile karşılaşılabilir.

Doğal arıtma (sulama tarlaları, sızdırma alanları, zemin filtreleri, kullanılmış su bekletme havuzları), fakültatif lagünler, aerobik lagünler, oksidasyon havuzları, oksidasyon hendekleri, anaerobik lagünler, aerobik arıtma (aktif çamur), anaerobik arıtma, damlatmalı filtreler, ardışık kesikli reaktörler (ileri biyolojik arıtma) gibi atıksu içeriğinde kendi ağırlığı ile çökemeyen askıda, koloidal ve çözünmüş organik kirlenici maddeleri besin ve enerji kaynağı olarak kullanan organizmaları sudan uzaklaştıran biyolojik proseslerde, organizmaların aktivitesini kararlı halde tutabilecek çok çeşitli ortam şartlarını (sıcaklık, pH, reaksiyon süresi, substrat ihtiyacı, nutrient ihtiyacı, iz element ihtiyacı, oksijen ihtiyacı, diğer organizmaların varlığı gibi) sürekli kontrol etmek gerekmektedir. Aksi takdirde proseslerin arıtma verimlerinde düşüşler görülebilmektedir. Diğer bir deyişle bu proseslerin işletmeleri organizma aktivitelerinden dolayı oldukça kompleks yapılara sahiptir (Massoud 2009).

Liu vd. (2011) çalışmasında evsel atıksudan aerobik şartlar altında mikro ölçekte granüler çamur kullanarak KOİ ve TN arıtımı üzerine gerçekleştirmiştir. Oksijen akışının, hidrolik alıkonma süresinin, biyokütle konsantrasyonunun ve çamur yükünün arıtma verimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Aerobik süreç boyunca istikrarlı ve etkili KOİ giderimi göstermiş, TN arıtma verimi ise % 82'ye ulaşmıştır.

Biyolojik prosesler içerisinde arıtma verimi yüksek olmakla birlikte yatırım ve işletme maliyeti düşük olan anaerobik prosesler tercih edilmektedir (Ladu 2014).

Moharram vd. (2016) çalışmasında beklenmedik endüstriyel atıksuların karıştığı kentsel atıksuların anaerobik bir proses olan yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı (UASB) reaktörü ile arıtılması araştırılmıştır. Reaktör performansı, farklı çalışma sıcaklıklarında (14-25°C) ve yükleme oranlarında beklenmedik endüstriyel su akışlarıyla evsel atıksuyun arıtılması için araştırılmıştır. Her bir sıcaklık aralığı için, reaktör performansı 19 °C ortam sıcaklığında, 6 saatlik hidrolik yükleme altında KOİ arıtma verimi % 70,82 bulunmuştur. Düşük sıcaklıklarda, reaktörün ortalama KOİ giderimi sırasıyla 4 saatlik hidrolik yükleme altında KOİ arıtma verimi %55,28, 2,5 saatlik hidrolik yükleme altında ise KOİ arıtma verimi % 50,33 bulunmuştur. Toplam azot arıtma verimi ise %2,23 ila %10,83 arasında değişim gösterdiği bulunmuştur.

Özellikle kentsel ve evsel atıksuların arıtılarak su kalitesinde iyileştirmeler yapabilmek için arıtma verimleri yüksek entegre sistemler tasarlanmaya başlanmıştır.

Chun vd. (2008) çalışmasında, bir okul kampüsünden çıkan ham atıksular iki aşamalı bir anaerobik tank ve toprak hendek sistemi ile arıtılmaya çalışılmıştır. İlk anaerobik tanka %60 oranında, toprak hendek sistemine ise %40 oranında atıksu beslemesi yapılmıştır. KOİ arıtma verimi %89-96, AKM arıtma verimi %91-97 ve TP arıtma verimi ise %91-97 olarak belirlenmiştir. Toprak hendeğindeki denitrifikasyondan dolayı TN arıtma verimi %68-75'e ulaşmıştır. İki aşamalı anaerobik tank ve toprak hendek sistemindeki TN'nin giderim verimi, tek aşamalı toprak infiltrasyon sisteminden daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Arıtılan suyun, Çin'in kanalizasyon arıtma tesisi için deşarj standartlarını sağladığı belirtilmiştir.

Ismail vd. (2012) çalışmasında kanalizasyon atıksuyu arıtımı için koagülasyon, flokülasyon, sedimentasyon ve hidrolik karıştırma süreçleri olan

entegre üniteler tasarlanarak arıtılmış suyun kalitesini iyileştirilmeye çalışılmıştır. Pıhtılaştırıcı olarak alüminyum, demir sülfat, ferrik sülfat, ferrik ve demir sülfatlar, kireç karışımı ve demir sülfat karışımları kullanılmıştır. Mısır'ın kuzeyinde bulunan El Mansoura valiliğine bağlı mevcut atık su arıtma tesisine bu entegre sistem birleştirilerek çalıştırılmıştır. KOİ arıtma verimi % 65, BOİ₅ arıtma verimi % 55, toplam fosfor arıtma verimi ise % 83 olarak bulunmuştur.

Rashed vd. (2014) çalışmasında, fosfor yoğunlaştırma, stabilizasyon, aktif çamur ve çökelmeyi entegre olarak gerçekleştirdiği atık su arıtma tesisinde, KOİ arıtma verimi %94, BOİ₅ arıtma verimi %85,44, TP arıtma verimi ise %80,54 olarak bulunmuştur.

Aqaneghad vd. (2016) çalışmasında, belediye atık suyunun arıtımı için çeşitli hidrolik bekleme sürelerinde çalışabilen anaerobik kesikli reaktör (ABR) elektrokimyasal proses ile entegre edilmiştir. 48 saatlik hidrolik bekleme süresinde AKM arıtma verimi ortalama %93, KOİ arıtma verimi ortalama %89, çözünmüş KOİ arıtma verimi ortalama %82, BOİ₅ arıtma verimi ise ortalama %92 olarak bulunmuştur. Hidrolik alıkonma süresi 48'den 24 saate düşürüldüğünde ABR'nin performansı düşmüştür. Sisteme elektrokimyasal prosesin entegrasyonunun çıkış suyu deşarj standartları açısından iyileştirme yapabileceği sonucuna varılmıştır. Fakat elektrokimyasal proses atığının anaerobik prosese geri devrettirilmesi anaerobik açıdan arıtma verimine etki etmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Lew vd. (2011) çalışmasında sıcak iklim koşullarında ham evsel atık suyu arıtmak için bir UASB reaktöre, reaktör performansını artırıcı çamur çürütücü eklemiştir. 6 saatlik bir hidrolik alıkonma süresinde ve 28 ° C'de % 78'lik, 10 ° C'de ise % 42'lik KOİ arıtma verimi sağlanmıştır.

Moawad vd. (2009) çalışmasında UASB reaktörü ardışık kesikli reaktör (SBR) ile entegre edilerek atık su arıtma performansı çalışılmıştır. Farklı işletme koşulları altında sistemin performansını araştıran çalışmalar yapılmıştır. Anaerobik reaktörde bekleme süreleri 3-4 saat arasında değiştirilmiş, SBR reaktöründe ise 2-5-9 saatlik havalandırma sürelerinde çalışılmıştır. Entegre prosesin ortalama arıtma verimi sonuçları, KOİ için % 94 , BOİ₅ için % 97 ve AKM için % 98 bulunmuştur. SBR'de 5 saat havalandırmanın ardından amonyağın tam nitrifikasyonu sağlanmıştır.

Anaerobik ön arıtmanın uygulanması oksijen ihtiyacının % 62 oranında azaltılmasını sağlamıştır.

20.03.2010 tarihli, 27527 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ne göre atıksuların arıtılması ile sistem seçimi için bazı klasik ve entegre arıtma sistemlerinin sağladığı çıkış suyu kalite parametreleri Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Değişik arıtma sistemleri için çıkış suyu kaliteleri

Parametreler	Birimler	Arıtma sistemleri						
		Ham atıksu	Klasik Aktif çamur	Klasik Aktif çamur + filtrasyon	BNR*	BNR+ filtrasyon	Membran biyoreaktör (MBR)	Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters osmoz
AKM	mg/L	120-400	5-25	2-8	5-20	1-4	<2	<1
BOİ	mg/L	110-350	5-2	5-20	5-15	1-5	<1-5	<1
KOİ	mg/L	250-800	40-80	30-70	20-40	20-30	<10-30	<2-10
Amonyum iyonu	mg NH ₄ ⁺ /L	12-45	1-10	1-6	1-3	1-2	<1-5	<0.1
TN	mg TN/L	20-70	15-35	15-35	3-8	2-5	<10	<1
TP	mg TP/L	4-12	4-10	4-8	1-2	<2	<0.3-5	<0.5
TÇM	mg/L	270-860	500-700	500-700	500-700	500-700	500-700	<5-40

*Biyolojik besi maddesi (Azot, Fosfor) giderimli arıtma tesisi

1.2.2. Elektrokimyasal prosesler ve işletme şartları

1.2.2.1. Elektrokimya

Fizikokimyanın bir dalı olarak elektrokimya, bilim ve teknolojinin birçok alanında önemli roller oynar. Üstelik elektrokimya, bugün yüzleştığımız ve yakın gelecekte yüzleşeceğimiz çevresel sorunlar ve enerji problemleriyle başa çıkmak için önemli bir yol olarak kabul edilmektedir. Atıkların elektrokimyasal olarak ortadan kaldırılması, maliyet ve güvenlik açısından birçok yarar sağlamaktadır. Kısaca, elektrokimya iletken (ya da yarı iletken) madde ve iyonik iletken (sıvı, eriyik ya da katı elektrotlar) arasında yük aktarımı ile ilgilidir. Elektrokimyasal atık yıkımının maliyet ve güvenilirlik açısından birkaç faydası vardır. Oda koşullarında ve atmosferik basınç altında çalıştırılması buharlaşma olasılığını ve reaksiyona girmeyen atığın deşarjını azaltır. Atık arıtımı elektrotların gücü kesilerek birkaç saniye içinde durdurulabilir (Grimm vd. 1998).

Elektrokimyasal tepkimeler, elektrolitten ayrılan iyonik bileşiklerin, anot ve katotta yükseltildiği veya indirildiği heterojen iyon transferi tepkimeleridir. Anot

ve katot olarak genellikle metal, karbon veya yarı iletken elektrot kullanılmaktadır. Bir elektroliz işleminin gerçekleşebilmesi için, anot ve katot arasında bir bağlantı ve elektroliz çözeltisinde belli bir iletkenlik olması gerekir (Özgürses 2003). Elektrokimyasal yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları Çizelge 1.4’de verilmiştir.

Çizelge 1.4. Elektrokimyasal yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları (Özgürses 2003)

Anot reaksiyonları	Katot reaksiyonları
Anot elektron verir.	Katot elektron alır.
Anotta yükseltgenme olur.	Katotta indirgenme olur.
Anodik çözünme: $(Al \rightarrow Al^{+3} + 3e)$	Katodik birikme: $(Cu^{+2} + 2e \rightarrow Cu)$
Anyonlar anotta toplanır.	Katyonlar katotta toplanır.
Anolit bölge oluşur.	Katodik bölge oluşur.
Anotta oksijen: $(2H_2O - 4e \rightarrow O_2\uparrow + 4H^+)$	Katotta hidrojen: $(2H_2O + 2e \rightarrow H_2\uparrow + 2OH^-)$
Ortamda klor var ise: $(2Cl - 2e \rightarrow Cl_2\uparrow)$	Gazın indirgenmesi: $(O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O)$

1.2.2.2. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri

İçme suyu kaynağı standartları ve atıksu deşarjı ile ilgili sıkı çevresel düzenlemelerin artmasıyla son 30 yıldır elektrokimyasal teknolojiler önem kazanmıştır (Chen 2004).

Kirlilik türlerinin giderim ve yıkımı redoks kimyasallarının sürekli besleme olmadan elektrokimyasal hücrelerle doğrudan veya dolaylı olarak elektrokimyasal yükseltgenme ve indirgenme ile gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca birçok elektrokimyasal prosesin yüksek seçiciliği istenmeyen yan ürünleri üretimini önlemeye yardımcı olmaktadır.

Elektrokimyasal proseslerin avantajları genel olarak şöyle sıralanabilmektedir:

1) Çok Yönlülük: Katı, sıvı ve gaz kirleticilerinin olduğu çeşitli ortamlara uygulanabilirliği, biyosit işlevselliği, seyreltik ya da derişik, direkt ya da dolaylı yükseltgenme ve indirgenme faz ayırma, mikrolitreden milyonlarca litredeki hacimlere sahip miktarlara kadar uygulanabilmektedir. Aynı reaktör küçük değişikliklerle farklı elektrokimyasal reaksiyonlar için kullanılabilir.

- 2) Enerji Verimliliği: Elektrokimyasal prosesler genellikle ısı ile yakma gibi elektrokimyasal olmayan işlemlerden daha düşük sıcaklık ve basınç gerektirmektedir.
- 3) Otomasyona Uyuma Kabiliyeti: Elektrokimyasal proseslerin sistemin doğasında olan elektrot potansiyeli ve hücre akımı gibi değişebilen özellikleri proses otomasyonunu kolaylaştırmak için uygundur.
- 4) Maliyet Verimliliği: Hücre yapıları ve çevresel ekipman genellikle basittir, eğer düzgün bir şekilde tasarlanırsa aynı zamanda ucuzdur.
- 5) Seçicilik: Birçok uygulamada yan ürün üretimden kaçınmak için belli sınırlar uygulanarak kontrol sağlanabilmektedir.
- 6) Çevreye Uygunluk: Ana reaksiyon maddesi elektrondur ve genelde ekstra bir kimyasal madde ilavesi gerektirmez (Rajeshwar ve İbanez 1996, Jüttner vd. 2000).

Çok sayıda atıksu arıtım teknikleri genelde kimyasal madde ilavesi gerektiren fizikokimyasal prosesler ve biyolojik proseslerdir. Elektrokimyasal teknolojilere dayalı umut vaat eden birçok teknik geliştirilmiş ve iyileştirilmiş durumdadır (Mollah vd. 2001, 2004, Chen 2004, Holt vd. 2005). Bunlar elektrokoagülasyon, elektroflotasyon, elektrokaplama ve elektrooksidasyon olarak sıralanabilir. Günümüzde elektrokimyasal teknolojiler diğer teknolojilerle hem maliyet hem de verim ve yoğunluk açısından karşılaştırılmış durumdadır. Bazı durumlarda elektrokimyasal teknolojiler arıtılması güç kirlenici içeren atıksu arıtımında gerekli bir adım olabilir (Chen 2004).

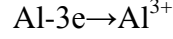
En yaygın olarak kullanılan elektrokimyasal arıtım yöntemleri arasında elektrokoagülasyon, elektroflotasyon, elektrokimyasal yükseltgeme ve membran destekli elektrokimyasal arıtım yöntemleri verilebilir.

1.2.2.3. Elektrokoagülasyon

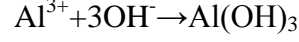
Elektrokoagülasyon alüminyum ya da demir elektrot kullanarak elektrikle alüminyum ve demir elektrot iyonları olduğu yerde çözerek kolagülant üretmeyi içerir. Anotta metal iyonları üretimi gerçekleşir, hidrojen gazı katotta çıkar. Hidrojen gazı aynı zamanda sudan çıkan floklaşmış partikülleri su üzerine yüzdürmesine yardımcı olabilir. Bu prosese bazen elektroflotasyon denir. Elektrotlar tek kutup ya da iki kutup modunda düzenlenebilir (Chen 2004).

Anotta meydana gelen kimyasal reaksiyonlar aşağıda verilmiştir:

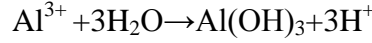
Anot alüminyum için:



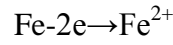
Alkali koşullarda eşitlik:



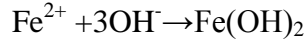
Asidik koşullarda eşitlik:



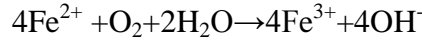
Anot demir için



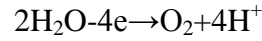
Alkali koşullarda eşitlik:



Asidik koşullarda eşitlik:



Oksijen reaksiyonu:



Katottaki reaksiyon:



Elektrokoagülasyonun Avantajları:

- 1) EC basit ekipman gerektirir karşılaşılan sorunları gidermek kolaydır.
- 2) EC ile arıtılan atıksu içilebilir, temiz, renksiz ve kokusuz su olur.
- 3) EC az çamur üreten bir sistemdir ve oluşan çamurun sudan ayrılması kolaydır çünkü genellikle metal oksitler/hidroksitler oluşur.
- 4) EC'de oluşan floklar kimyasal floklara benzerdir fakat EC'deki floklar daha büyüktür, daha az su içerir ,daha dayanıklıdır. Filtrasyonla daha hızlı ayrılabilir.
- 5) EC'de oluşan toplam çözünmüş katıların içeriği kimyasal arıtmıla kıyaslandığında daha düşüktür. Eğer bir su yeniden kullanılacaksa toplam çözünmüş katının az olması maliyetin daha az olmasına tercih edilmelidir.
- 6) EC prosesi küçük partikül giderimde avantaja sahiptir çünkü uygulanan elektrik alan onların hızlı hareket etmesini sağlar böylece koagülasyon kolaylaşır.
- 7) EC prosesi kimyasal kullanımından kaçınılır ve böylece fazla kimyasalların nötralize sorunları olmaz ve atıksuyun kimyasal koagülasyon kullanıldığı zaman

yüksek konsantrasyonlarda eklenen kimyasal maddelerin sebep olduğu ikincil kirlenmeler oluşmaz.

8) Elektroliz boyunca üretilen gaz kabarcıkları küçük konsantrasyonlarda bile kirlenmeleri yüzeye taşır, toplar giderir.

9) EC hücrelerinde elektroliz prosesi hiçbir hareketli parça olmadan elektriksel olarak kontrol edilebilir ve böylece daha az bakım gerektirir.

10) EC tekniği elektrik olmayan kırsal bölgelerde geleneksel olarak kullanılabilir çünkü sistem bir güneş paneli birleştirilmesi yeterli olabilir.

Elektrokoagülasyonun Dezavantajları

1) Atıksuda oksidasyon sonucu elektrotlar çözünür ve düzenli olarak değiştirilmesi gerekir. Elektriğin kullanımı birçok yerde pahalıdır.

2) Atıksu süspansiyonu yüksek iletkenlik gerektirir.

3) Bazı durumlarda jelatinli hidroksit çözünebilir eğiliminde olabilir (Mollah 2000).

Khandegar (2013) farklı tip atıksu arıtımında kullanılan elektrokoagülasyon prosesleri hakkında literatür araştırması yapmış, derlediği bilgiler Çizelge 1.5'de verilmiştir.

Çizelge 1.5. Farklı tip atıksu arıtımı için kullanılan elektrokoagülasyon proses bilgileri (Khandegar 2013)

Atıksu tipi	Akım yoğunluğu/Akım	Zaman (dakika)	pH	Anot-Katot	KOİ Arıtma Verimi (%)
Hastane ameliyathane	12.2 mA/cm ²	75	6.75	Fe-Fe, Fe-Al, Al-Al	100, 98, 95
Surfaktan destekli toprak iyileştirme süreçleri	7.5 mA/cm ²	-	8.25	Al-Al, Fe-Fe, Fe-Al	100
Taşıma konteyner yıkama	100 A/m ²	60, 30	6, 9	Al-Al, Fe-Fe	76.3, 79.4
Su eksikliği	13.33 mA/cm ²	120	8.1	Al-Al	99
Boya üretim	35 A/m ²	15	6.95	Fe-Fe, Al-Al	93, 94
Ekmek mayası	80 A/m ² , 12.5 A/m ²	30	4, 5	Al-Al	48, 49
Sızıntı suyu	30 mA/cm ²	180	6.54	Fe-Fe	65.85
Zeytinyağı fabrikası	1 A	45	4.3	A-Al, Fe-Fe	53.4
Kümes hayvanları mezbhanesi	1 mA/cm ²	30	3	Al-Al	85
Sızıntı suyu	500 A/m ²	30	8.2	Al-Al, Fe-Fe	70, 68
Kağıt fabrikası	70 mA/cm ²	30	7	Fe-Fe	88.4
Sızıntı suyu	4.96 mA/cm ²	90	6.7-7.5	Fe-Fe, Al-Al	49.8, 32.7
Tannik asit	10 mA/cm ²	120	9	Fe-Fe	100
Sızıntı suyu	15.9 mA/cm ²	30	7	Al-Al	45
Ham atıksu	24.7 mA/m ²	30	8.4	Fe-Fe	77.2
Kağıt hamuru ve kağıt	15 mA/cm ²	20	7	Al-Al	90
Mandıra	15 mA/cm ²	20	7	Fe-Al	79.2

Çizelge 1.5. (devamı)

Çamaşırhane	0-2 A	80	8-9	Al-Al	93.2
Kimyasal mekanik parlatma	6.8 mA/cm ²	50		Fe-Al, Fe-Fe, Al-Al, Al-Fe	96.3
Zeytinyağı fabrikası	250 A/m ²	15	4.2	Al-Al	80
Biyodizel	-	23.5	6.06	Al-Graphite	55.43
Petrol rafineri	13 mA/cm ²	60	9.5	Al-Al, SS-Al, SS-Fe	45, 43, 23
Biyočürütücü	44.65 A/m ²	120	2-8	Fe-Fe	50.5
Karışık atıksu	45.45 A/m ²	60	8	Al-Fe	69
Bitkisel yağ rafineri	35 mA/cm ²	90	7	Al-Al	93
Ekmek Mayası	70 A/m ²	50	6.5, 7	Al-Al, Fe-Fe	71, 69
Kağıt fabrikası	5 mA/cm ²	7.5	7.6	Al-Al, Fe-Fe	75, 55
Yağlı sitine su	1.5 A	90	7.09	Fe-Al	78.1
Evsel	0.12 A	5-15	7.4	Fe-Fe	60
Deri tabakhane	20 mA/cm ²	-	6.8	Fe-Al	52
Deri tabakhane	1.0 A	60	9.8, 8.5	MS-MS, Al-Al	68
Restorant	-	30	7	Al-Al, Fe-Fe	50-72
Kimyasal mekanik parlatma	125 A/m ²	320	6	Fe-Fe	75
Gıda işleme	18.2 A/m ²	30	4	Al-Al	88
Kümes mezbahane	150 A/m ²	25	3	Al-Al, Fe-Fe	93, 85
Patates cipsi imalathanesi	300 A/m ²	40	4-6	Al-Al	60
Mandıra işletmesi atıksuyu	0.6 mA/cm ²	1	7	Fe-Fe	98
Tekstil	-	3	10.6	Fe-Fe	84
Zeytinyağı fabrikası	75 mA/cm ²	25	4-6	Al-Al	76
Kimyasal mekanik parlatma	-	30	7.3	Al-Fe	85
Tekstil	5 A/dm ²	-	12	(RuO ₂ -Ti)-Ti	85
Tekstil	200 A/m ²	10	11	Fe-Fe, Al-Al	76, 65
Zeytinyağı fabrikası	20 mA/cm ²	30	6.2	Al-Al, Fe-Fe	52, 42
Çözünür yağ atıkları	7 A	-	6.70	Al-Al	91.3
Kimyasal mekanik parlatma	0.06 A	60	8.7	Al-Al	88.5
Sigara endüstrisi	10.9 A/cm ²	300	7.2	Fe-Fe	56
Yumurta işleme	-	16, 24	4.5	Al-Al, Fe-Fe, SS-SS	95, 95, 92
Restorant	30-80 A/m ²	90	6-9.5	Al-Al	84.1
Depolama alanı sızıntı suyu	15 A/dm ²	240	8	(Sn-Pd-Ru)-St	92
Tekstil	92.5 A/m ²	240	10	Fe-Fe	51

1.2.2.4. Elektrooksidasyon

Öztürk'ün (2006) bildirdiğine göre; Çözünmeyen metal/metal oksit elektrotlar ile ortamdaki kirleticilerin okside olduğu prosesler, elektrooksidasyon prosesleri olarak tanımlanırlar. Son yıllarda araştırmacılar, farklı elektrotlar üzerinde değişik kirleticilerin oksidasyon verimlerini, elektrokatalitik aktivitede meydana gelen iyileşmeyi ve elektrot materyallerinin elektrokimyasal stabilitelelerini, proses

performansını gözönüne alarak incelemişlerdir (Chen 2004, Panizza ve Cerisola 2004).

Elektrooksidasyonda en iyi sonuçlar metal oksit anotlarla elde edilmiştir (Scott 1995). RuO₂, Co₃O₄ ve MnO₂'in titanyum üzerine uygulanması ile oluşturulan anodun, diğer anotlara göre daha iyi katalitik aktivite gösterdiği belirlenmiştir (Azzam vd 2000, Kim vd. 2003). Bununla beraber kursun ve grafit anotlarla da verimli sonuçlar alınmıştır.

Elektrotların bulunduğu ortam, prosesin ilerleyişi açısından çok önemli olup, iki tip oksidasyon söz konusudur. Bunlar anodik (doğrudan) oksidasyon ve dolaylı (indirek) oksidasyondur (Özgürses 2003). Oksidasyon prosesinin süresi; bileşiklerin konsantrasyonuna, kararlılığına, kullanılan NaCl'ün konsantrasyonuna, pH'a, anodun boyutuna, uygulanan akım ve voltaja bağlı olarak değişmektedir (Vlyssides vd. 2000).

İdeal bir elektrooksidasyon prosesinden, arıtma veriminin yüksek olmasının yanısıra yeni teknolojilere uygunluğu da beklenmektedir. Bu proseslerde, arıtma sonucunda toksik maddelerin oluşmamasına dikkat edilmelidir. Atıksularda, elektrooksidasyon prosesi ile uygun desarj standartları sağlanabilmektedir. Bununla birlikte dirençli kirleticilerin, elektrooksidasyon prosesi ile biyolojik olarak parçalanabilen ikincil ürünlere dönüştürülmesi sağlanmaktadır (Scott 1995).

Dolaylı elektrooksidasyon yönteminde, anodik olarak oluşan klor ve hipoklorürün kullanılması çok yaygındır. Bu teknikte, yüksek klorür konsantrasyonunda birçok organik ve inorganik kirleticinin oksitlenmesi sağlanmaktadır. Ara ve son ürün olarak klorlu organik bileşiklerin oluşması, bu teknolojinin uygulama alanlarını sınırlar. Dolaylı oksidasyon, toksik ve biyolojik parçalanabilirliği düşük kirleticilerin arıtımında tercih edilmektedir. Kirleticiler, elektrokimyasal yöntemlerle elde edilen, hidrojenperoksit (H₂O₂) yardımıyla da parçalanabilirler. Bu sistemde katot, gözenekli karbon-politetrafloroetilen (PTFE)'den anot ise Pb/PbO₂, Ti/Pt/ PbO₂ veya Pt'den yapılmaktadır. Fe⁺² tuzları, elektro-fenton reaksiyonlarını gerçekleştirmek için atıksuya eklenir veya çözülen Fe, anottan elde edilir.

Elektrooksidasyon, atıksuda metal iyonlarını uzaklaştırmak için de kullanılmaktadır. Bu proste metal iyonları anot üzerinde okside olup, stabil hale gelirler. Oluşan hidroksil radikalleri, organik kirleticilerin parçalanmasını hızlandırır. Anot üzerinde metal iyonlarının tekrar oluşumu sık sık görülen bir durumdur. Bilinen ara ürünler Ag^{+2} , Co^{+3} , Fe^{+3} , Ce^{+4} ve Ni^{+2} 'dir. Ara madde oluşturan elektrooksidasyon, genellikle asidik şartlarda gerçekleşmektedir. Ağır metallere kaynaklanan kirleticiler prosesin en önemli dezavantajıdır (Chen 2004). Elektrooksidasyon reaksiyonları oldukça karmaşıktır ve tam olarak bilinmemektedir. Bu proste sadece oluşan ürünler (Cl_2 , ClO_2 , O_3 , $O\cdot$, $OH\cdot$, $ClOH\cdot$, H_2O_2 , O_2 , H_2 , CO_2) üzerinden tahminler yapılabilmektedir. Dolaylı oksidasyonda, radikallerin yeniden yapılanması sonucunda oluşan birincil (Cl_2 , ve O_2) ve ikincil (ClO_2 , O_3 , H_2O_2) oksidantlar, uzun ömürlüdürler ve oksidasyon prosesinde elektrotlardan uzak alanlara doğru diffüze olmaktadır (Vlyssides vd. 1999, Vlyssides vd. 2000). Dolaylı oksidasyon hızı, sıcaklık, pH ve atıksu içindeki ikincil oksidantların diffüzyon hızına bağlıdır (Vlyssides vd. 2000).

Anodik elektrooksidasyon prosesinde; Proses, genellikle anodik oksidasyon veya doğrudan oksidasyon olarak tanımlanmaktadır. Anodik oksidasyon, kirletici mineralizasyonunda kolaylık sağlayan teknolojilerden biridir. Anodik oksidasyonda atıksuya çok fazla kimyasal eklemeye ve katodu oksijen ile beslemeye gerek yoktur. Bu avantajlar anodik oksidasyonu, diğer oksidasyon proseslerine göre daha avantajlı hale getirmektedir. Anodik oksidasyonda en önemli nokta anot materyalidir. Anot materyali olarak camsı karbon, Ti/RuO_2 , $Ti/Pt-Ir$, fiber karbon, MnO_2 , Pt -karbon siyahı, gözenekli karbon, paslanmaz çelik kullanılır. Fakat bunların hiçbiri yeterli düzeyde aktiviteye ve stabiliteye sahip değildir. Yaygın olarak kullanılan anotlar grafit, Pt , PbO_2 , IrO_2 , TiO_2 ve SnO_2 'dir (Chen 2004, Kim vd. 2003, Vlyssides vd. 1999a, Vlyssides vd. 1999b).

Anodik oksidasyonda, $OH\cdot$, $O\cdot$ ve $ClOH\cdot$ gibi radikaller, yüksek oksidasyon potansiyeline sahiptirler ve kısa ömürlüdürler. Proses sırasında bu radikaller ya Cl_2 , O_2 , ClO_2 , O_3 ve H_2O_2 gibi diğer oksidantlara dönüşürler ya da organik bileşikler okside ederler (Vlyssides vd. 2000). Anodik oksidasyon ile atıksulardaki istenmeyen organik bileşiklerin elektrooksidasyonu, elektrokimyasal dönüşümü ve

elektrokimyasal ayrıştırması gerçekleşmektedir. Elektrokimyasal dönüşüm toksik, biyolojik olarak parçalanamayan kirleticilerin, biyolojik olarak parçalanabilir organiklere dönüştürülmesi olup, elektrooksidasyondan sonra biyolojik arıtım gerektirmektedir.

Elektrokimyasal ayrıştırmada ise CO₂ ve H₂O açığa çıkmaktadır. Anodik oksidasyon ile organik maddelerin tam oksidasyonunun gerçekleşmesi daha kolay olmaktadır. Çünkü dolaylı oksidasyon prosesi tüm organikleri H₂O ve CO₂'ye çevirmede yetersiz kalmaktadır. Yapılan çalışmalar, anodik oksidasyon prosesinde yan ürün olarak asidik ortamlarda oksijen, serbest klor, az miktarda ozon ve kloroksitlerin oluştuğunu göstermektedir (Vlyssides vd. 2000).

Kirleticilerin anodik oksidasyonu, doğrudan elektrotlarda yükseltgenme reaksiyonları ile gerçekleşmektedir. Yüksek molekül ağırlıklı organiklerin, tam oksidasyonu için daha fazla elektron ve enerji ihtiyacı, prosesin yatırım ve işletme maliyetini arttırmaktadır (Özgürses 2003).

Atıksu içerisindeki organik bileşiklerin anodik elektrooksidasyon hızı; anodun katalitik aktivitesi, uygulanan akım yoğunluğu ve anodun aktif noktalarındaki organik bileşiklerin difüzyon hızına bağlıdır (Vlyssides vd. 2000).

1.2.2.5.Elektroflotasyon

Flotasyon mineral işlemeden kaynaklanan (köpüklü yüzdürme olarak adlandırılan) yerçekimi ayırma prosesini oluşturur. Tüm sanayi dünyasının ekonomisine flotasyonun önemi muazzam kabul edilmektedir. Bu ayırma prosesi olmadan birçok bilindik metal ve inorganik hammaddeler aşırı derecede kıt ve pahalı olacaktır. Flotasyon günümüzde atıksuların arıtımında çok geniş uygulamalar bulmuştur (Kyzas vd. 2016).

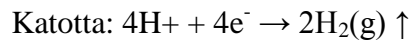
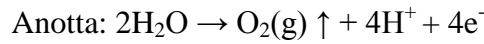
Elektrokoagülasyon yönteminde alüminyum ve demir elektrot iyonları elektrikle çözülerek kolagülant oluşurken, anotta metal iyonları üretimi gerçekleşmekte, katotta ise hidrojen gazı çıkmaktadır. Hidrojen gazı sudan çıkan floklaşmış partikülleri su üzerine yüzdürmesine neden olabilmektedir. Bu prosese elektroflotasyon adı verilmektedir. (Chen 2004).

Kyzas vd. (2016) tarafından bildirildiğine göre, küçük ölçekte olan etkili flotasyon tekniği elektroflotasyondur. Kabarcık üretim yönteminden dolayı elektrolitik

flotasyon yani sulu bir ortamda elektroliz olarak ifade edilebilmektedir. Bu tekniğin belli avantajları ön plana çıkmaktadır. Elektrotlar, flotasyon tankının tüm yüzey alanını kaplayacak şekilde ızgara düzeninde düzenlenebilmektedir. Böylece atıksu ve gaz kabarcıkları arasında üniform bir karışım elde edilebilmektedir. Küçük gaz kabarcıklarının büyük bir kısmı minimum türbülansla oluşturulur. Bunun sonucunda berraklaştırma öncesi flotasyonla arıtımın uygun görülmediği atıkları da etkileyebilmektedir. Elektroflotasyonun gaz üretimi, alıkonma zamanı ve diğer işletme koşulları hızlı bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Üretilen gazların nisbi miktarları çözeltinin tuzluluk ve akım yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Basit bir fan sistemi ile aşırı oluşan hidrojen gazından kaynaklı herhangi bir tehlike ortadan kaldırılabilmektedir. Elektroflotasyon yöntemi, hava çözünmesinin zor olduğu atıklarda kullanılabilir (Matis 1992, Matis ve Zouboulis 1995).

Romanov (2000) bildirdiğine göre; elektrotlar arasında elektrik alan değişimi askıda katı maddelerin flokleşmesine yardım edebilmektedir. Anotta zamanla malzemesini kaybeden demir ya da alüminyum kullanıldığı durumlarda elektrotlar çözünür ve koagülant iyonlar üretmektedir. Bundan dolayı elektrokoagülasyon olayı elektroflotasyon öncesinde meydana gelmektedir. Elektroflotasyon ile diğer elektrokimyasal prosesler birlikte gerçekleşmektedir (Kyzas vd. 2016).

Elektroflotasyon su elektrolizinden üretilen hidrojen ve oksijen gazların küçük kabarcıklarla su kütlelerinin yüzeyinde kirleticilerin yüzdüğü basit bir işlemdir (Chen 2004). Bu gazların oluşum reaksiyonları aşağıda verilmiştir.



Elektroflotasyonda oluşan gaz kabarcıklarının boyutları çok küçük olmasına rağmen çok yüksek dispersiyona sahiptir. Bu proseste gaz kabarcıklarının rolü çok büyüktür. Bu nedenle gaz kabarcıklarının optimum yoğunluğunu belirlemek amacıyla etkili olan parametreler üzerinde oynamalar yapılarak optimizasyon çalışmaları yapılmalıdır. Elektrotun cinsi ve yüzey alanı en önemli parametre olmakla birlikte, akım yoğunluğu ve reaktör tipi de çok önemlidir. Genel olarak elektroflotasyon prosesinin işletme şartlarının optimizasyonunda ise akım, elektrot

tipi, pH ve sıcaklık gibi parametreler üzerinde çeşitli oynamalar yaparak sistem için optimum işletme şartları belirlenmelidir. Çizelge 1.6'da farklı pH ve elektrot materyallerinde gaz kabarcıklarının boyut değişimleri verilmiştir.

Çizelge 1.6. Farklı pH ve elektrot materyallerinde gaz kabarcıklarının boyutları (Chen 2004)

pH	Hidrojen (μm)			Oksijen (μm)
	Pt	Fe	C	P
2	45-90	20-30	18-60	15-30
7	5-30	5-45	5-80	17-50
12	17-45	17-60	17-60	30-70

Elektroflotasyon yöntemi kentsel atıksu (Il'in 2002), yağ su emüsyonları (Shendrik vd. 1993, Hosny 1995, Mostefa ve Tir 2004), metal kaplama atölyeleri (Khelifa vd. 2005), yeraltı suyu artımı (Poon 1997), deri (Muruganathan vd. 2004), çamaşırhane (Ge 2004), petrokimya atıksu (Dimoglo vd. 2004), mineral iyileştirme (Nenno vd. 1988), hurma yağı atığı (Ho ve Chan 1986), harcanan soğutucu-yaglayıcı (Prokop'eva vd. 1988), gıda prosesleri atıksuyu (Hernlem ve Tsai 2000), gıda endüstrisi atıkları (Kubritskaya vd. 2000), restoran atıkları (Chen vd. 2000), kolloidal partiküller (Fukui ve Yuu 1985), siyanür çözeltilisinden altın ve gümüş geri kazanımı (Nenno vd. 1994), ağır metal içeren atıklar (Zeletsov ve Kiselev 1986, Srinivasan ve Subbaiyan 1989, Kolesnikov vd. 1996) gibi atıksuların arıtımında kullanılmaktadır.

Chen (2004) çalışmasında pH'a bağlı olarak hidrojen gazlarının oluşturdukları kabarcıkların boyutlarının değişimlerini incelemiştir. Bu çalışmaya göre pH 2 iken demir elektrotun oluşturduğu hidrojen kabarcıkları 20-80 μm iken bu değer pH 7'de 5-45 μm , pH 12'de ise 17-60 μm olarak belirlenmiştir. Diğer elektrotlar üzerinde yapılan çalışmalarda da aynı değerler gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre elektroflotasyonun atıksu arıtma verimi asidik ya da bazik bir ortamda, nötral bir ortama göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Dimoglo vd. (2004), petrokimya endüstrisi atıksularında hidrokarbon, fenol, KOİ, bulanıklık ve yağ giderimi için EF ve EC yöntemlerini kullanmıştır. EF ünitesinde anotta grafit, katotta paslanmaz hasır şeklinde çelik kullanılmıştır. EC ünitesinde alüminyum ve demir elektrotlar kullanılmıştır. Reaktör voltajı 12 V, akım

yoğunluğu 5-15 mA/cm⁻² arasında değişmişken EF için alıkonma zamanı 2–20 dakika EC için 1–10 dakika arasında değişmiştir. Petrokimya endüstrisi atıksularındaki kirleticilerin giderimde EC ünitesi EF ünitesinden daha etkili olmuştur. Bulanıklık giderimi EF için yaklaşık %83, EC için ise %88 bulunmuştur. Elektroflotasyon prosesinde giderim verimlilikleri KOİ için %75'ler, fenol için %60'lar, hidrokarbon ve gres için %70'ler seviyelerinde bulunmuştur. Elektrokoagülasyon prosesinde Fe ve Al elektrotların kıyaslaması yapılmıştır. Fe elektrot ile yaklaşık olarak %80 KOİ, %45 Fenol, %80 hidrokarbon ve gres artırılmıştır. Al elektrot için ise, KOİ ve gres arıtma verimliliklerinde benzer sonuçlar elde edilirken, fenol arıtma verimi 2 kat, hidrokarbon arıtımı ise kısmen artarak %90'a ulaşmıştır.

Elektrokimyasal arıtım türlerinde önemli bir yeri olan elektroflotasyonun bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir;

Avantajları;

- Kabarcık sayısının ve boyutunu kontrol etmek için bir parametre olarak akım yoğunluğu uygun değere ayarlanabilir,
- Yüklenmiş olan kabarcıklar bir bütün halini almazlar,
- Yüksek flok stabilitesini bozmaz,
- Yüksek sıcaklıklarda uygulanabilir,
- Daha az kimyasal kullanılır,
- Anodik klor dezenfektan gibi davranır,

Dezavantajları;

- Tank yüksekliği 1m'den azdır,
- Elektrot korozyonu oluşur,
- Elektrot pasivizasyonu oluşur,
- Substrat çözeltileri iletkenlik için yeterliliği sağlayabilir,
- Doğru akım (DC) gücü gerektirir,
- Yüksek spesifik yoğunluklu materyallere göre daha zayıf performans sağlar (Akbulut 2000).

1.2.2.6. Elektrokimyasal yöntemlerinin kullanıldığı bazı literatür çalışmaları

Literatürde, kirlilik konsantrasyon değişim potansiyellerinin, iletkenlik, elektrotlar arası mesafe, akım yoğunluğu, arıtım zamanı, başlangıç konsantrasyonu, pH, KOİ, BOİ, renk gibi işletme parametrelerinin elektrokimyasal yöntemlerin arıtma verimlerine etkileri araştırılmıştır.

Sarala (2012) çalışmasında evsel atıksuyun artımı için demir elektrotlu elektrokoagülasyon tekniği kullanarak 5,10,15 ve 20 dakika zaman aralıklarında 0,1 A, 0,25 A, 0,36 A akımlarda arıtma verimleri incelenmiştir. 0,25 A ve 0,36 A'da 20.dakikada %90 oranında KOİ ve TÇM madde arıtılmıştır.

İlhan vd. (2008) kesikli bir proseste sızıntı suyunun elektrokoagülasyon yöntemiyle arıtılabilirliğini demir ve alüminyum elektrotlar kullanarak farklı sürelerdeki giderim verimlerini incelemiş ve kimyasal koagülasyonla karşılaştırmıştır. Sistem 30 dakika çalıştırılmıştır. Alüminyum ile KOİ giderimi %56, demir ile %35 KOİ giderimi sonucunda alüminyumun daha etkili olduğu bulunmuştur. %14,6 oranında amonyak azotu alüminyum elektrot ile 631 A/m^2 akım yoğunluğunda elde edilmiştir.

Merzouk vd. (2010) kesikli elektrokoagülasyon–elektroflotasyon prosesinde tekstil atıksuyu ve sentetik çözeltiyi arıtma üzerine araştırma yapmıştır. $27\text{mm} \times 17\text{mm} \times 1\text{mm}$ ebatlarında 1,5 L kapasiteli elektrokimyasal reaktör kullanılmıştır. İki dikdörtgen alüminyum elektrot, reaktörün ortasına yerleştirilmiştir. Kesikli EC-EF reaktör prosesi $11,55\text{-}91,5 \text{ mA/cm}^2$ arasında değişen akım yoğunluklarında elektrotlar arası mesafe 1, 2 ve 3 cm olarak çeşitli mesafelerde çalıştırılmıştır. %85,5 AKM, % 88,9 BOİ, %79,7 KOİ, %93 renk giderim verimleri elde etmiştir.

Mansour vd. (2007) karton sanayi atıklarının artımını optimize etmek için koagülasyon-elektroflotasyon yöntemini kullanmıştır. Sürekli ve kesikli sistemlerde incelediği atık örneklerinde %95'den daha fazla AKM giderimi elde etmiştir. Bu yöntemin sonuçları KOİ ve BOİ₅ değerlerini azaltma açısından önemli derecede etkili olmuştur.

Murugananthan vd. (2004) deri endüstrisi atıksuyu artımı için elektroflotasyon tekniği çalışmıştır. Alüminyum ve demir gibi çözünebilir anot,

grafit ve Ir/Ta/Ru oksitle kaplanmış titanyum gibi dayanıklı elektrotlar kıyasla AKM giderimin de çok etkili olduğu bulunmuştur ve çalışma elektroflotasyon ve klasik koagülasyonla karşılaştırılmıştır (Çizelge 1.7).

Çizelge 1.7. Elektroflotasyon ve klasik koagülasyonun arıtma verimi açısından karşılaştırılması (Muruganathan 2004)

Parametre	Giderim (%)	Giderim (%)
	Geleneksel	Elektroflotasyon
Askıda Katı Madde	71	96
KOİ	46	68
BOİ	47	68
Renk	Koyu kahverengi	Açık sarı

Koby (2003) tekstil atıksuyun demir ve alüminyum elektrot materyalleri kullanarak elektrokoagülasyon yöntemiyle tekstil atıksuyun artımını incelemiştir. Sonuçlara göre pH'ya bağlı değişimini bulmuştur. Asidik ortamda (pH<6) alüminyumun KOİ ve bulanıklık giderimini demirden daha yüksek verimle elde etmiştir, nötral ve alkali ortamda demirin kullanılmasını önermiştir. Deney sonuçlarına göre işletme zamanı ve akım yoğunluğunun elektrik enerjisi ve elektrot tüketim değerleri üzerine benzer etkiler bıraktığını göstermiştir. kg KOİ başına kWh enerji tüketimini demirde daha düşük, kg KOİ başına elektrot tüketimini alüminyumla daha düşük bulmuştur.

Solak vd. (2009) mermer işletme suyu atıksuyunun elektrokoagülasyon yöntemiyle seri ve paralel bağlantılı sistemlerde demir ve alüminyum elektrot kullanarak askıda katı ve bulanıklık giderimi incelemiştir. Paralel ve seri bağlantılı tek kutuplu alüminyum gerçekleştirilen proste pH değeri 9, akım yoğunluğu yaklaşık 15 A/m^2 , 2 dakika elektroliz zamanında %100 AKM giderimi elde etmiştir. Paralel ve seri bağlantılı tek kutuplu demir elektrotla gerçekleştirilen proste pH değeri 8, 2 dakika elektroliz zamanı ve akım yoğunluğunda sırasıyla 10 ve 20 A/m^2 olan sistemde askıda katı giderim verimi sırasıyla %99,86 ve 99,94 bulmuştur. Deney sonuçlarına göre son derece yüksek askıda katı madde ve bulanıklık giderimi elde etmiştir. Paralel bağlı tek kutuplu alüminyumla işletme maliyeti seri birleştirilen ve demir elektrotların tüm yapılandırmalarından daha ucuz bulunmuştur.

Feng vd. (2003) evsel atıksuyu ve alg içeren gölet suyunun arıtımını sağlamak için elektrokimyasal yöntemlerden elektrokoagülasyon ve elektrooksidasyon sistemlerini 0.3 m³/saat kapasiteli elektrokimyasal arıtım pilot tesisinde incelemiştir. Elektrokoagülasyon sisteminde anotta demir elektrot elektrooksidasyon sisteminde anotta Ti/RuO₂-TiO₂ elektrot kullanılmıştır. Bu çalışmadaki sistem: Atıksu Tankı – Elektrokoagülasyon tankı (reaktör A- demir Elektrot) – Sedimentasyon Tankı – Elektrokoagülasyon tankı (reaktör B – Ti-RuO₂ elektrot) – Sedimentasyon Tankı şeklinde olmuştur. Yapılan sistemde elektrokoagülasyon için 15 dakika ve sedimentasyon tankında ise 1 saat bekleme süresi alınmıştır. Evsel atıksuda %73 TN, %81 NH₄-N, %99 TP ve %86 KOİ giderimi, alg içeren gölet suyunda %83 TN, % 78 BOİ, %90 TP, % 92 KOİ, %97 AKM ve klorofil-a'nın tamamına yakın bir kısmı giderilmiştir.

Palomino-Romero vd. (2013b) evsel atıksuların arıtımını elektroflotasyon yöntemiyle gerçekleştirmek için pilot ölçekli bir reaktör kullanmıştır. En uygun sistem parametreleri belirlemek için akım yoğunluğunun farklı değerleri, iletkenlik ve atık akış hızını test etmiştir. 14.18 A/m² akım yoğunluğu uygulayarak, 0.5 g/L NaCl ilave eklenmesi ile 0.33 m³/ saat akış hızı uygulayarak %97.53 toplam katı, %93.91 bulanıklık, % 99.98 yağ ve gres, %,91.55 BOİ, %99.99 toplam koliform giderimi sağlanmıştır. Çalışma elektroflotasyon yönteminin evsel atıksu gibi yüksek kirlilik içeren atıksuların arıtımı için oldukça umut verici bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Ge vd. (2004) çamaşırhane atıksuyunu arıtmak için yeni bir bipolar elektrokoagülasyon ve elektroflotasyon proseslerini geliştirmiştir. Bu yeni proseste EC ve EF tek bir reaktörde eş zamanlı olarak gerçekleşmiştir. Proses iki titanyum elektrot arasına üç alüminyum elektrot yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. 1.5 m³/saat pilot ölçekli reaktörde pH 5-9 arasında 5-10 dakika alıkonma zamanında %7 den fazla KOİ giderimi yaklaşık %90 TP, bulanıklık ve yüzey aktif madde giderimi sağlanmıştır.

Hosny (1996) yağ-su emisyonlarından yağı ayırmak için anotta kurşun, katotda paslanmaz çelik kullanarak elektroflotasyon yöntemini çalışmıştır. Elektrik akımı, yağ konsantrasyonu, flotasyon zamanı ve flokülant madde konsantrasyonu

parametrelerini araştırmıştır. Yağ ayırma optimum koşullarda %65, NaCl varlığında (çözeltide ağılıkça %3,5) %75, flokülan t maddelerin optimum konsantrasyonlarında ve NaCl'nin varlığında %92'ye ulaşmıştır. Maksimum yağ ayırmadaki optimum koşullar 1,2 A, 40 dakika, ağırlıkça %3,5 NaCl ve 16 mg/L flokülan t maddede elde edilmiştir. Flokülan t maddelerin varlığı ve NaCl'nin kesikli ve sürekli sistemlerde ayırma prosesini desteklediğini ve elektrik enerjisi tüketimi için elektroflotasyon tekniğinin potansiyel uygulamalarını değerlendirmede çözünmez anot kullanmanın önemli bir faktör olduğunu belirtmiştir.

Palomino Romero vd. (2013a), biyodizel atıksu arıtımın optimum koşullarını belirlemek için laboratuvar ölçekli bir reaktörde elektroflotasyon ve elektrooksidasyon sistemleri birleştirilerek kullanılmıştır. 60 dakika reaksiyon zamanı için 8,0 mA/cm⁻² akım yoğunluğu uygulanarak ve alüminyum elektrot kullanılarak ön arıtım olarak kullanılan elektroflotasyon yöntemi uygulanan deney sonuçlarına göre %92 bulanıklık, %98 TKM, %100 yağ ve gres, %57 KOİ ve %23 metanol giderimi sağlanmıştır. Atığın ön arıtımından sonra anotta Ti/RuO₂ elektrot kullanılarak 240 dakika reaksiyon zamanı 40,0 mA/cm⁻² akım yoğunluğu uygulanarak elektrooksidasyon uygulanmıştır. Elektrooksidasyon deney sonuçlarına göre %68 metanol, %95 KOİ giderimi sağlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kahta İlçe Merkezi Kentsel Atıksuyu ve Mevcut Durum

İlçe merkezin topoğrafyası nedeniyle 224 L/s ve 211 L/s debi ile 2 noktada toplanan kanalizasyon atıksularının 211 L/s lik kısmı, 1979-1980 yıllarında 5000 dekarlık araziye tarımsal sulama amaçlı inşa edilmiş ve 2170000 m³ hacime sahip Yüzüncü Yıl Göletine deşarj edilmektedir.

211 L/s debili atıksu, toplandığı noktadan (Şekil 2.1.) gölete doğru yaklaşık 12,82 m/km eğimli isale hattı (Çizelge 2.1) ile taşınmaktadır.

Yüzüncü Yıl Göletinde kanalizasyon atıklarının birikmesi sebebiyle yoğun bir çevre kirliliği meydana gelmiş, yerleşim yerlerine kötü kokular yayılmaya başlamıştır. Kahta Belediyesi Yüzüncü Yıl Göleti giriş suyunun azot ve fosfor formları açısından su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre gölü hipertrofik seviyeye getirdiği belirlenmiştir.

Yüzüncü Yıl Göletine atıksu giriş resimleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Gölet etrafında çevre köylerin sağlığını tehdit edebilecek hastalıkların oluşumunu engellemek, kötü kokunun giderilmesini sağlamak ve atıksuyun ıslahını sağlamak için Yüzüncü Yıl Göletinin temizliği konusunda çalışmalara başlanmıştır (Kahta İlçesi Belediye Başkanlığı Fen İşleri Müdürlüğü, 2016).



Şekil 2.1. 211 L/sn debili Kahta ilçe merkezi kanalizasyon atıksularının toplandığı noktanın ve deşarj edildiği Yüzüncü Yıl Göleti'nin yerlerinin uydu görüntüsü



Şekil 2.2. 211 L/sn debili Kahta ilçe Merkezi Kanalizasyon atıksularının Yüzüncü Yıl Göletine deşarj edildiği yer resimleri

Çizelge 2.1. 211 L/sn debili Kahta ilçe merkezi kanalizasyon atıksularının toplandığı noktanın ve Yüzüncü Yıl Göletine deşarj edildiği noktanın Google Earth bilgileri

Rakım yükseklikleri (m)		Noktalar arası göz hizası (m)
Atıksu Toplama noktası	Yüzüncü Yıl Göleti Deşarj Noktası	~7800
~718	~618	

2.2. Analiz Cihazları ve Ölçüm Metotları

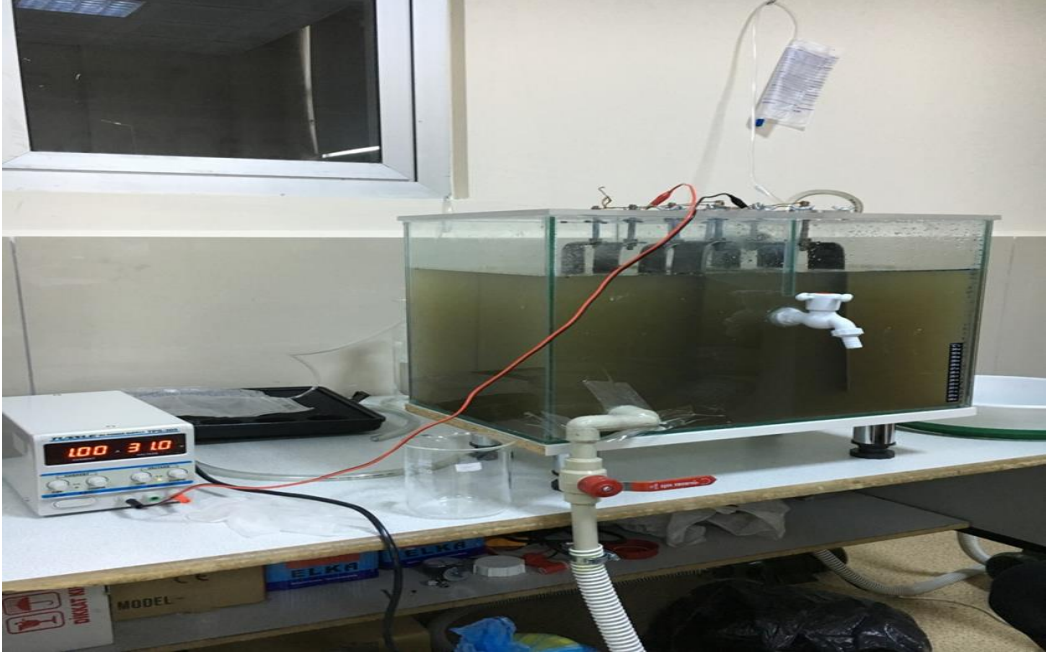
Atıksu numuneleri 5 Mart 2016 tarihinde “TS EN ISO 5667” standardına göre 24 saatlik kompozit olarak alınmıştır.

Atıksu pH ve ORP ölçümleri için Thermo Orion - STARA2145 marka pH metre; sıcaklık, TDS (çözünmüş katı madde), tuzluluk (salinity) ve iletkenlik ölçümleri için Portable YSI EC-300 ölçüm cihazı; renk ölçümleri için Hach-Lange DR-6000 UV (436, 465, 525 ve 620 nm dalga boyunda) spektrofotometresi; KOİ ölçümü için spektrofotometrik Dichromate ISO 6060-1989, DIN 38409-H41-H44 metodu; BOİ ölçümü için spektrofotometrik Dilution -DIN EN 1899-1 metodu; AKM ve UAKM ölçümleri için standart method; Toplam fosfor ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) ve fosfat (PO_4^{3-}) ölçümleri için spektrofotometrik Phosphor molybdenum Blue EN ISO 6878-1-1986, DIN 38405. D11-4 metodu; Toplam azot (TN) ölçümleri için spektrofotometrik oxidative digestion with peroxodisulfate -ISO 11905-1 metodu; Nitrat (NO_3^-) ve nitrat azotu ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) ölçümleri için spektrofotometrik 2,6 Dimetilfenol-ISO 7890-1-2-1986, DIN 38405 D9-2-EN 38405 D-2 metodu; Amonyak (NH_4^+) ve amonyak azotu ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) ölçümleri için spektrofotometrik Indophenol Blue. ISO 7150-1, DIN 38406 E5-1 metodu kullanılmıştır.

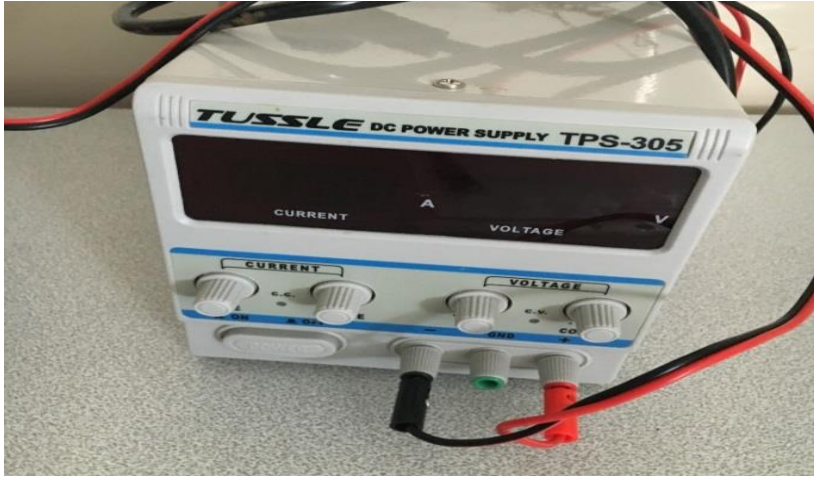
Proseste oluşan katı maddenin Fourier Transform InfraRed (FT-IR) spectrum analizleri, Perkin Elmer FT-IR (ATR) cihazı ile SEM analizleri ise Zeiss-EVO LS 10 modeli cihaz ile yapılmıştır.

2.3. Elektroflotasyon Prosesi Deney Düzenegi

Elektroflotasyon arıtma deneyleri reaktörün boyutları 30 x 50 x 40 cm (genişlik x en x boy) olan hava almayacak şekilde tasarlanmış bir cam hazne kullanılmıştır. Masa üzerinde kurulu olan (Şekil 2.3) 60 L kapasiteli reaktörün 45 litresi, 124 cm terfi yüksekliğinde 22,5 L/dk ($32,4 \text{ m}^3/\text{gün}$) debi ile çalışan bir pompa kullanılarak atıksu ile doldurulmuştur. Reaktörde 4 adet anot 4 adet katot olmak üzere herbiri 0,3x5x30 cm boyutunda, paralel bağlı, yerleşim aralıkları 12 cm olan 8 adet Fe elektrot kullanılmıştır. Elektrotların 0,3x5x25 cm'lik kısmı reaksiyona girmiştir. Sistemin akım ve voltaj kontrolü için dijital bir DC (doğru akım) güç kaynağı (TUSSE TPS-306) kullanılmıştır (Şekil 2.4).

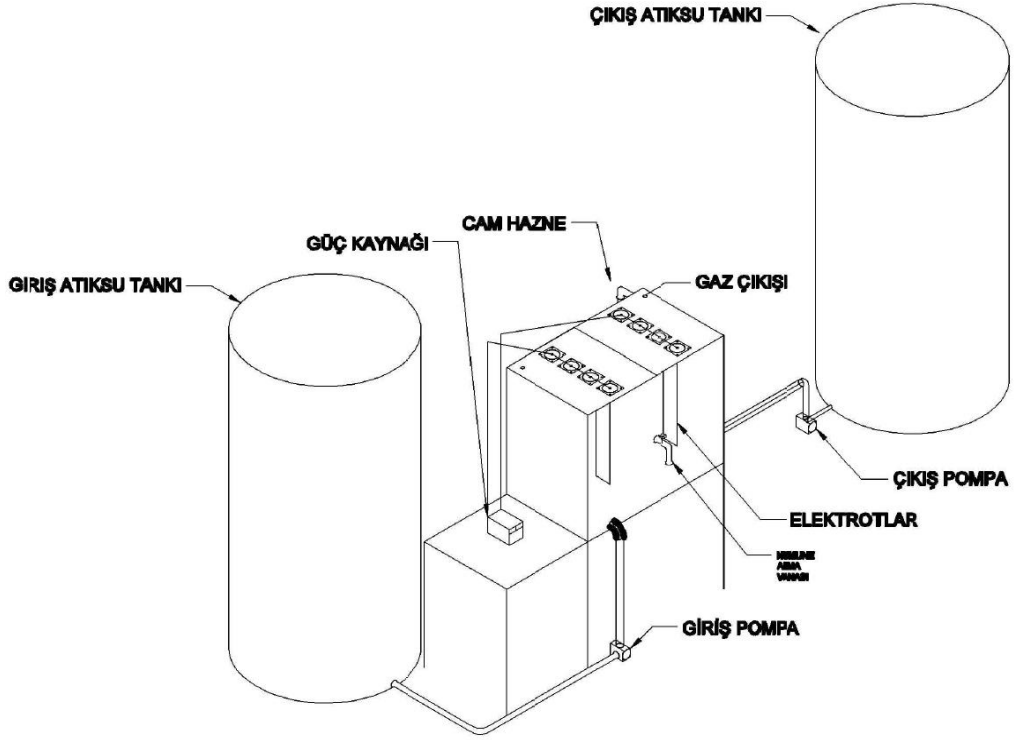


Şekil 2.3. Elektroflotasyon prosesi deney düzeneği

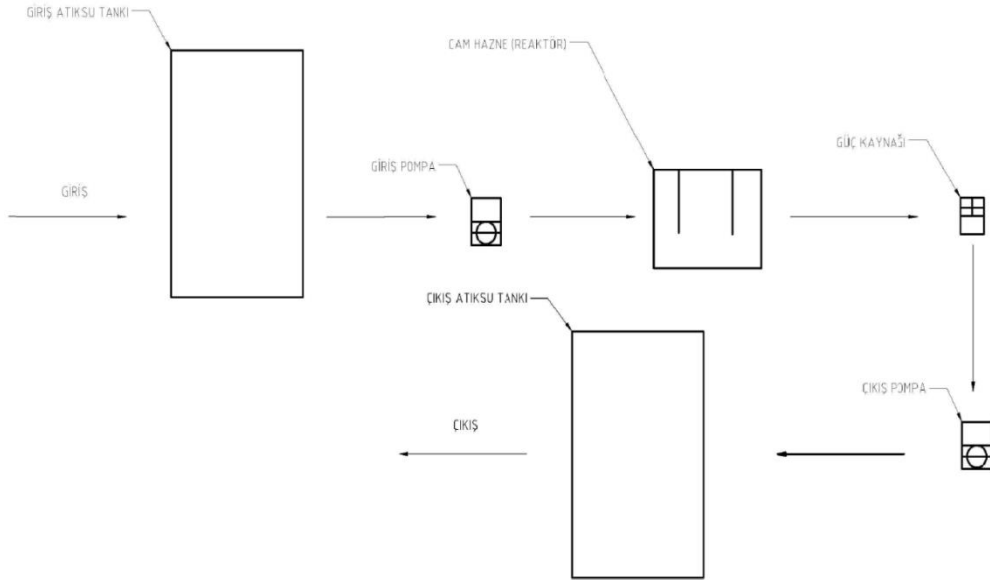


Şekil 2.4. Dijital bir DC (doğru akım) güç kaynağı

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da Elektroflotasyon prosesi deney düzeneği plan-kesiti Elektroflotasyon prosesi deney düzeneği akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Elektroflotasyon prosesi deney düzeneği plan-kesit



Şekil 2.6. Elektroflotasyon prosesi deney düzeneği akış şeması

Sistem 200 dk. boyunca çalıştırılmıştır. 200 dk. sonunda $11,25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{saat}$ yüzeysel hidrolik yük ile 20 dakika çökmeye bırakılmıştır. Çalışma süresince reaktör tabanından 20 cm yükseklikteki numune alma musluğundan çıkış suyu numuneleri

alınarak ölçümler yapılmıştır. Elektroflotasyon sonrası 87 cm vakum yüksekliğinde bir pompa kullanılarak reaktörden çıkış suyu boşaltılmıştır. Reaktörde geri kalan floklaşmış ve çökelmiş çamurlar vakumlanarak uzaklaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE SONUÇLAR

3.1. Kahta İlçe Merkezi Kentsel Atıksu Özellikleri

Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyunun özelliklerini belirlemek için her bir parametreden en az üç ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Atıksuya ait ortalama değerler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

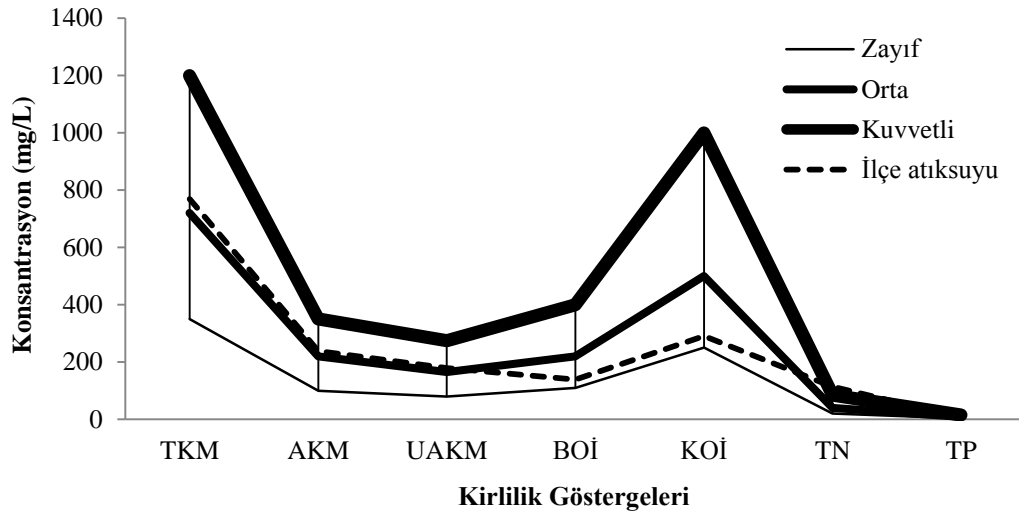
Çizelge 3.1. Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyunun özellikleri (Ortalama değerler)

TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	BOİ (mg/L)	Renk (Pt-Co)	pH	ORP (mV)
768,69	238,03	178,87	290,67	138,63	87	8,16	-64,20
Çözünmüş Oksijen (ppm)		Sıcaklık (°C)		Çözünmüş Katı Madde (mg/L)	Elektriksel İletkenlik (cm)	Tuzluluk (ppt)	
6,30		18,07		530,67	679,67	0,4	
NH ₄ -N (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	TN (mg/L)	TP (PO ₄ -P) (mg/L)		
35,4	45,6	1,97	8,71	114,40	5,29		

Evsel atıksular içerdikleri kirlilik parametrelerinin konsantrasyonlarına göre kuvvetli, orta kuvvette ve zayıf kuvvette olarak değerlendirilebilmektedir (Metcalf 2003). Evsel atıksuların kuvvet değerleri ile Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyunun kuvvet değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kuvvet değerlerinin karşılaştırması ise Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2.Evsel atıksuların kuvvet değerleri (Metcalf 2003) ve Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyunun kuvvet değerleri

Kirlilik Göstergeleri	Konsantrasyon (mg/L)			
	Zayıf	Orta	Kuvvetli	İlçe atıksuyu
TKM	350	720	1200	768,69
AKM	100	220	350	238,03
UAKM	80	165	275	178,87
BOİ ₅	110	220	400	138,63
KOİ	250	500	1000	290,67
TN	20	40	85	114,4
TP	4	8	15	5,29



Şekil 3.1. Evsel atıksuların kuvvet değerleri ile Yüzüncü Yıl göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyunun kuvvet değerlerinin karşılaştırması

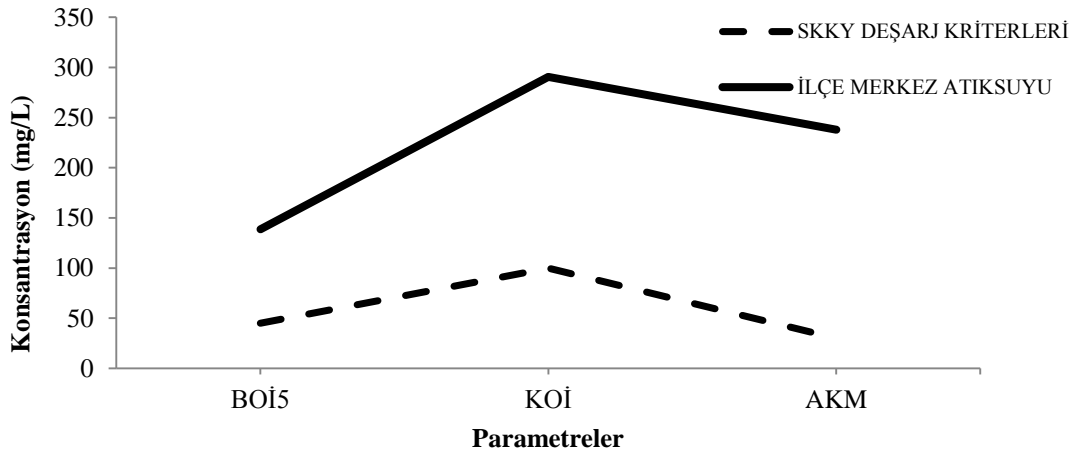
Çizelge 3.2 ve Şekil 3.1'e göre Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyu TKM, AKM ve UAKM değerlerine göre kirlilik açısından orta kuvvette; BOİ, KOİ ve TP değerlerine göre kirlilik açısından zayıf kuvvette; TN değerine göre ise kirlilik açısından kuvvetli derecede değerlendirilebilir.

SKKY Evsel Nitelikli Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları Tablo 21.3: Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular (Sınıf 3: Kirlilik Yüğü Ham BOİ Olarak 600-

6000 Kg/Gün'den Büyük, Nüfus=10000-100000) için belirlenen değerler (SKKY 2004) ile Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyu değerleri karşılaştırılabilmektedir (Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2).

Çizelge 3.2. SKKY evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj standartları (SKKY 2004) ve Yüzüncü Yıl göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyu değerleri

PARAMETRE	Kompozit Numune 24 Saatlik Tablo 21.3: Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular (Sınıf 3: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 600-6000 Kg/Gün'den Büyük, Nüfus=10000-100000) (Kaynak)	İlçe Merkezi Atıksuyu Kompozit Numune 24 Saatlik Nüfus:<100000
(BOİ ₅) (mg/L)	45	138,63
(KOİ) (mg/L)	100	290,67
(AKM) (mg/L)	30	238,03
pH	6-9	8,16



Şekil 3.2. SKKY evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj standartları (SKKY 2004) ile Yüzüncü Yıl göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyu değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2'de Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe kanalizasyon atıksuyu BOİ ve KOİ değerlerinin SKKY Evsel Nitelikli Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları (Tablo 21.3)'ndan ~3 kat yüksek, AKM değerlerinin ise ~8 kat yüksek olduğu görülmektedir.

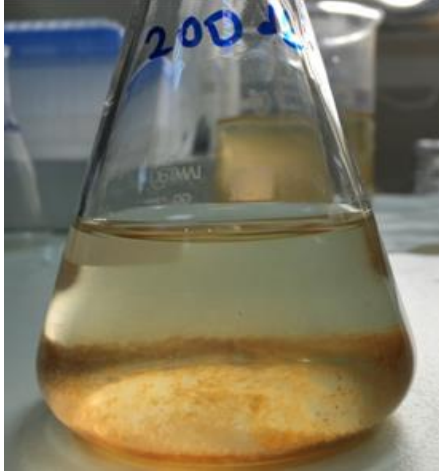
3.2. Elektroflotasyon Prosesi Boyunca Atıksu Özelliklerindeki Değişimler

Sistem 200 dk. çalıştırılmış ve 20 dk. çökelmeye bırakılmıştır. Elektroflotasyon yöntemi uygulanan atıksuyun ölçüm sonuçlarından %75 AKM , %77 UAKM, % 31 TKM , %11 TDS, %81 KOİ, %97 BOİ₅ , %72 TN, % 78 TP, % 13 NH₄, %15 NH₄N, % 24 NO₃, %51 renk giderimi elde edilmiştir.

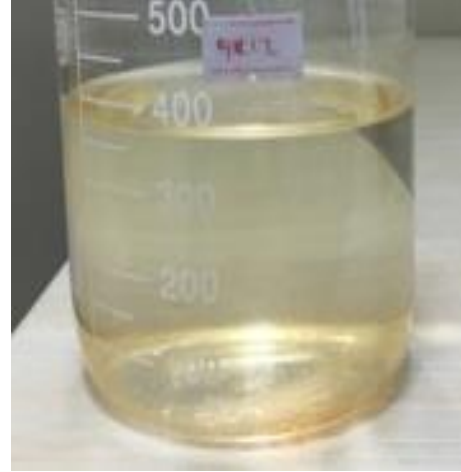
Şekil 3.3'te Elektroflotasyon prosesi giriş atıksuyu ve arıtılmış çıkış suyundan görüntüler gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. Elektroflotasyon prosesi giriş atıksuyu ve arıtılmış çıkış suyundan görüntüler
a) Kahta Yüzüncü Yıl Göletine deşarj edilen atıksu b) Çöktürme öncesi arıtılmış su c) Çöktürme sonrası arıtılmış su

200 dk. elektroflotasyon ve 20 dk. çökeltme mekanizmalarından oluşan elektroflotasyon arıtma prosesinde, proses süresince atıksudaki tuzluluk ~0,4 ppt, atıksu sıcaklığı $18,6 \pm 1,32$ °C ve atıksu pH'ı $8,22 \pm 0,21$ civarında ölçülmüştür. Proses süresince atıksuda izlenen diğer parametrelerin değişimleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Elektroflotasyon prosesi süresince atıksuda izlenen parametrelerin değişim değerleri

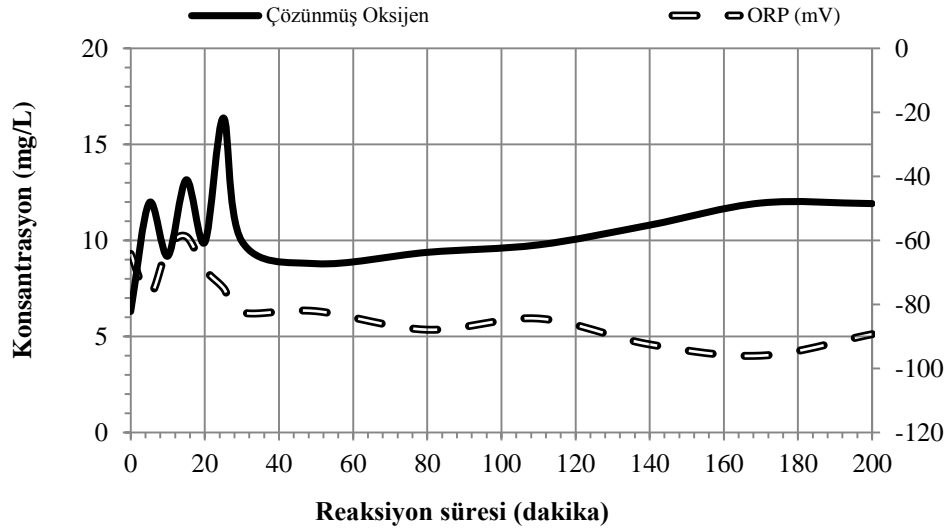
Reaksiyon süresi (dakika)	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	Çözülmüş Katı Madde (mg/L)	Renk Pt-Co	ORP (mV)	Elektriksel İletkenlik (mikrosimens/cm)	TP* (PO ₄ -P) (mg/L)
0	6,30	768,69	238,03	178,87	530,7	87	-64,2	680	5,29
5	11,96	727,65	187,65	139,51	540,0	129	-77,3	761	7,29
10	9,18	704,46	203,13	148,44	501,3	175	-62,4	686	5,01
15	13,16	693,49	170,49	136,07	523,0	108	-58,8	708	5,87
20	9,90	688,33	173,33	134,67	515,0	110	-69,0	713	5,85
25	16,38	687,80	176,47	139,71	511,3	99	-74,8	701	4,87
30	9,95	697,04	188,71	143,55	508,3	97	-82,5	651	5,19
50	8,79	676,53	174,19	141,94	502,3	69	-82,1	651	5,82
80	9,38	675,91	174,24	121,21	501,7	48	-87,9	657	4,43
110	9,77	666,33	166,67	119,05	499,7	43	-84,4	662	-
140	10,80	645,06	158,06	114,52	487,0	29	-92,5	654	4,38
170	11,95	615,38	138,71	95,16	476,7	29	-96,0	647	2,67
200	11,92	541,92	109,59	68,49	432,3	19	-89,3	582	-
20 Dakika (Çökeltme)	8,04	531,33	60,00	42,00	471,3	43	-75,9	668	1,17

Reaksiyon süresi (dakika)	KOI** (mg/L)	BOİ** (mg/L)	TN (mg/L)
0	290,67	138,63	114,4
10	252,00	71,55	-
20	233,00	98,38	-
30	162,57	69,44	39,18
50	228,00	69,25	-
80	218,00	71,55	-
110	220,67	87,95	-
140	177,87	82,15	-
170	164,80	11,78	-
200	93,73	8,94	-
20 Dakika (Çökeltme)	54,39	4,67	31,71

Reaksiyon süresi (dakika)	NO ₃ -N*** (mg/L)	NO ₃ *** (mg/L)	NH ₄ -N*** (mg/L)	NH ₄ *** (mg/L)
0	1,97	8,71	35,4	45,6
20	0,56	2,47	32,8	42,3
25	0,67	2,97	31,7	40,8
50	0,47	2,10	32,8	42,3
110	0,48	2,14	32,5	41,8
140	0,49	2,17	37,2	28,9
170	0,47	2,10	30,7	39,5
200	0,37	1,62	-	-
20 Dakika (Çökeltme)	1,49	6,62	30,2	39,6

* 110. ve 200. dakikalarda izleme yapılmamıştır.
** 5., 15. ve 25. dakikalarda izleme yapılmamıştır.
*** 5., 10., 15., 30. ve 80. dakikalarda izleme yapılmamıştır.

Şekil 3.4'te EF sistemde reaksiyon süresi boyunca çözünmüş oksijen ve ORP değerlerinin konsantrasyon değişimi gösteren grafik verilmiştir.

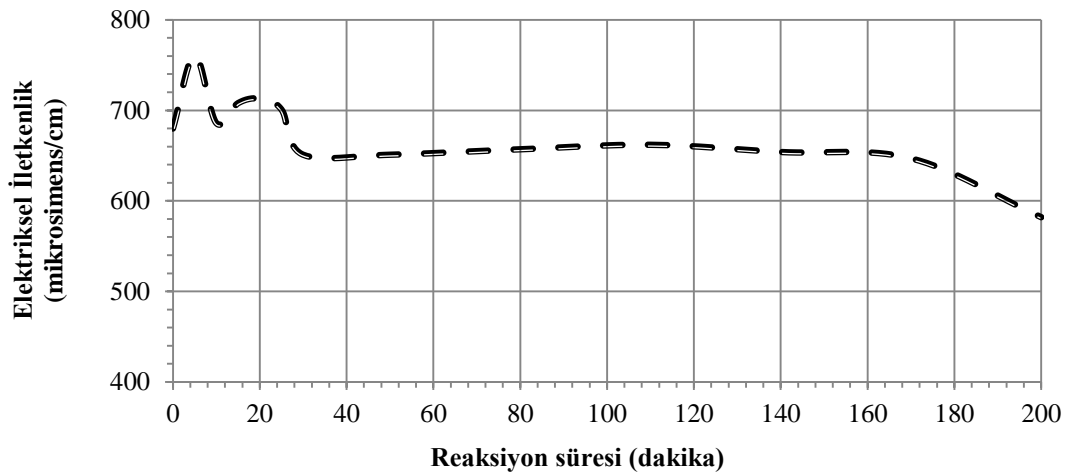


Şekil 3.4. EF sisteminde çözünmüş oksijen ve ORP konsantrasyonu

Reaksiyon süresince çözünmüş oksijen değerlerinde 5, 15 ve 25. dakikalarda en yüksek çözünmüş oksijen değerlerine ulaşılmış 200. dakikada çözünmüş oksijende %89 artma gözlemlenmiştir. Çökeltme sonrası %28 artış gözlemlenmiştir.

ORP'nin genel olarak -64,2 ile -96 mV arasında değişen değerlerde olduğu belirlenmiştir.

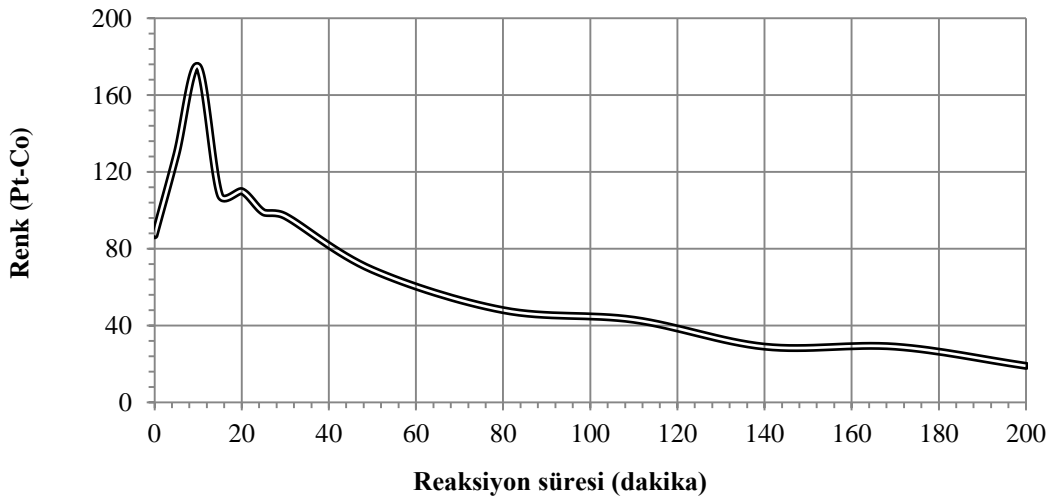
Şekil 3.5'te EF sistemde reaksiyon süresi boyunca elektriksel iletkenlik değişimi gösterilmiştir.



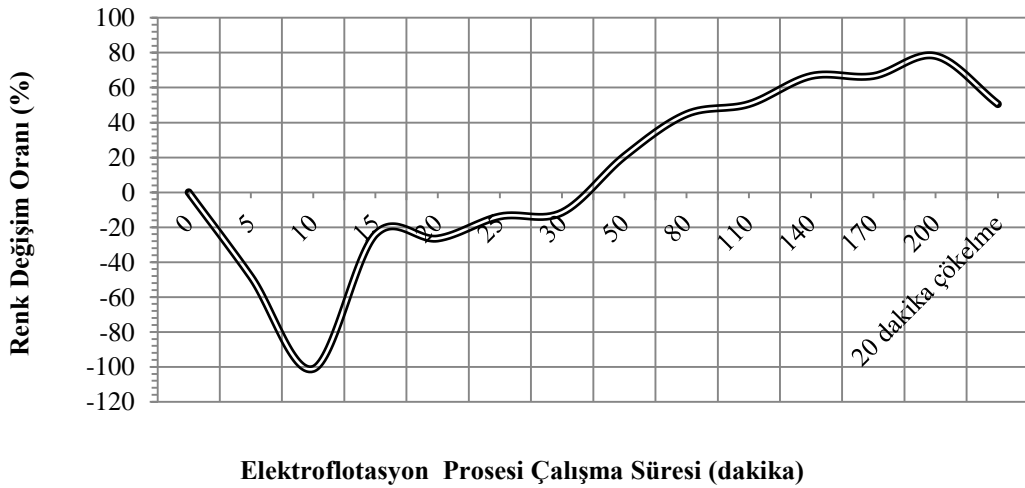
Şekil 3.5. EF sisteminde elektriksel iletkenlik değişimi

Reaksiyon süresinde elektriksel iletkenlik 5. dakikada en yüksek değerine ulaşmış 30. dakikadan sonra ciddi farklar gözlemlenmemiş 200. dakikada %18'lik bir azalma gözlemlenmiştir.

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 'de EF sistemde reaksiyon süresi boyunca renk değişimi ve reaksiyon süresi ve çökelmeye bırakıldıktan sonraki süre içinde renk değişim oranları verilmiştir.



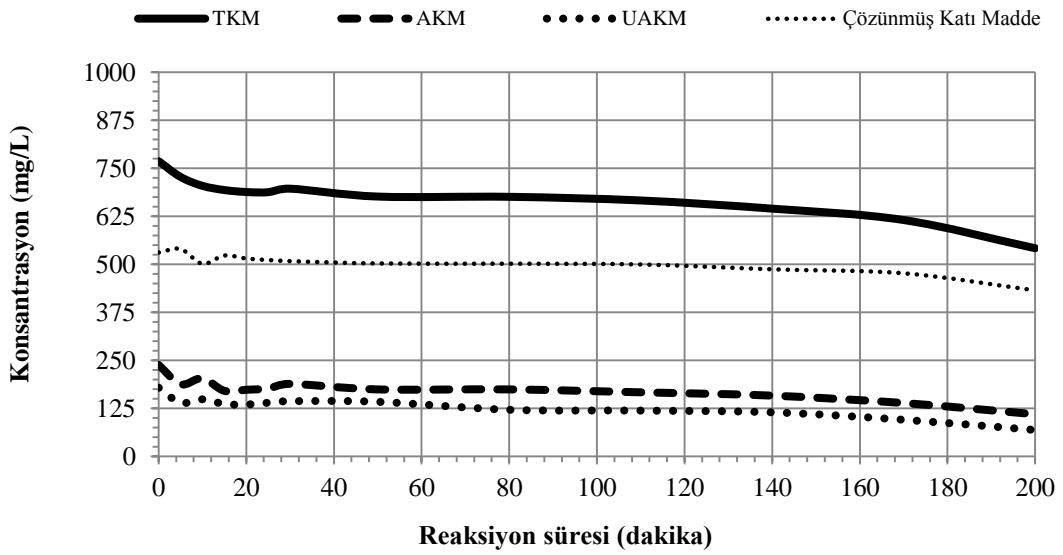
Şekil 3.6. EF sisteminde renk değişim konsantrasyonu



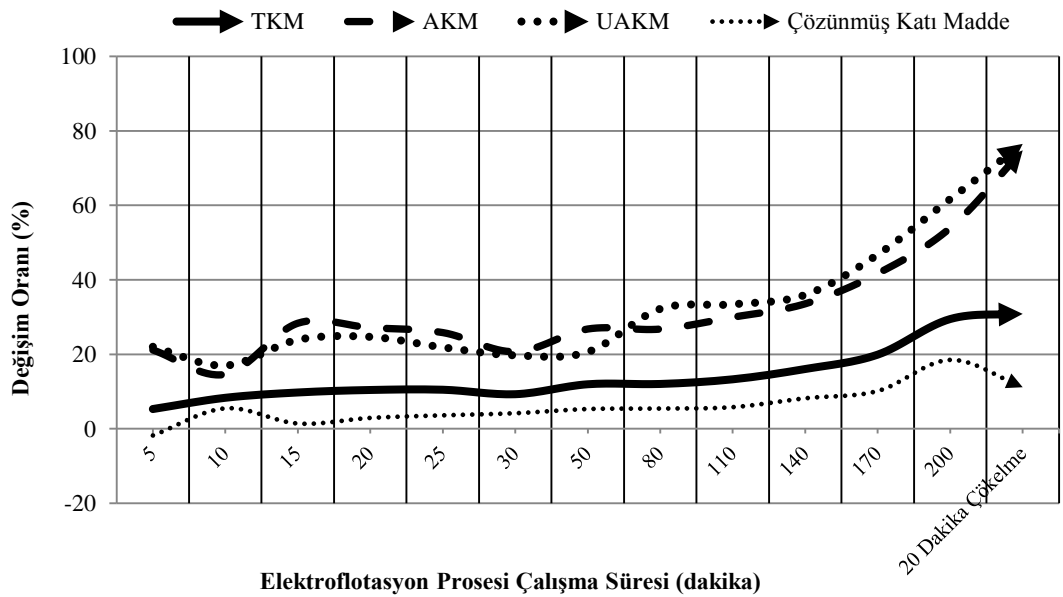
Şekil 3.7. EF sisteminde reaksiyon süresi ve çökelme sonrası renk değişim oranı

Renk reaksiyonun ilk 20 dakikasında Pt-Co konsantrasyonu artmış, 20.dakikadan sonra azalmaya başlamış ve 200.dakikada %78, çökeltme sonrası %51 renk giderimi elde edilmiştir.

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da EF sistemde reaksiyon süresi boyunca TKM, AKM, UAKM ve çözülmüş katı madde değişimi konsantrasyonları ve reaksiyon süresi ve çökelmeye bırakıldıktan sonraki süre içinde değişim oranları verilmiştir.



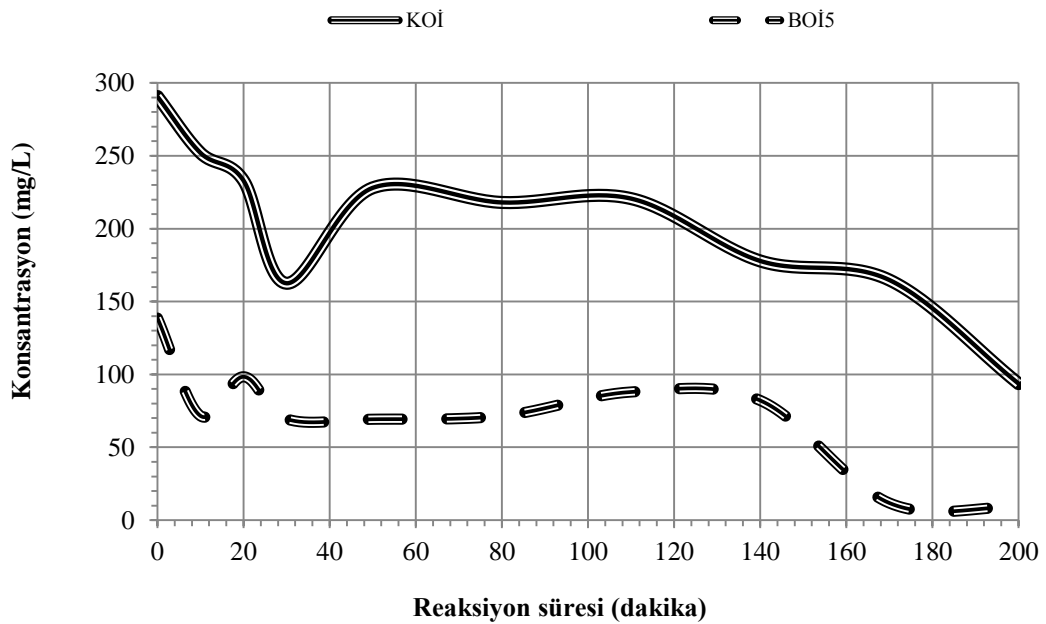
Şekil 3.8. EF sisteminde TKM, AKM, UAKM ve çözülmüş katı madde değişim konsantrasyonları



Şekil 3.9. EF sisteminde reaksiyon süresi ve ve çökeltme sonrası TKM, AKM, UAKM ve çözülmüş katı madde değişim oranları

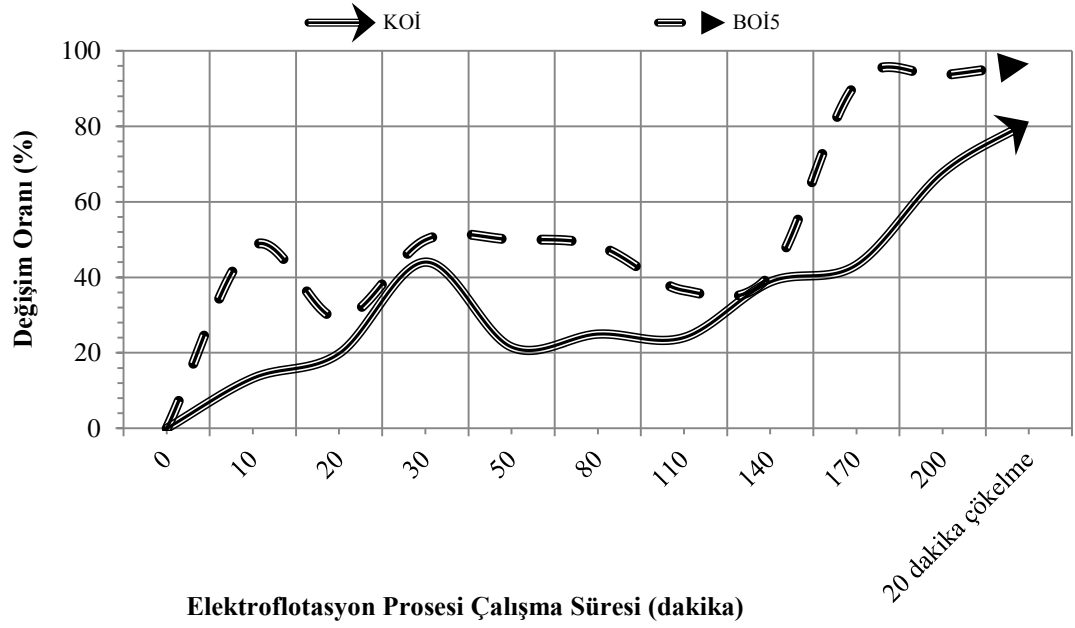
Reaksiyon süresinde 200. dakikada %54 AKM, %62 UAKM, %30 TKM çıkış suyunda %75 AKM , %77 UAKM, %31 TKM giderimi sağlanmıştır. Çözünmüş katı madde konsantrasyonunda 5. ve 15.dakikalarda artma gözlemlenmiştir. Reaksiyon süresince çok ciddi dalgalanmalar olmayıp çıkış suyunda çözünmüş katı madde konsantrasyonunda %11 azalma meydana gelmiştir.

Şekil 3.10'da EF sisteminde reaksiyon süresi boyunca KOİ ve BOİ₅ konsantrasyonundaki değişimler gösterilmiştir.



Şekil 3.10. EF sisteminde reaksiyon süresi boyunca KOİ ve BOİ₅ konsantrasyonundaki değişimleri

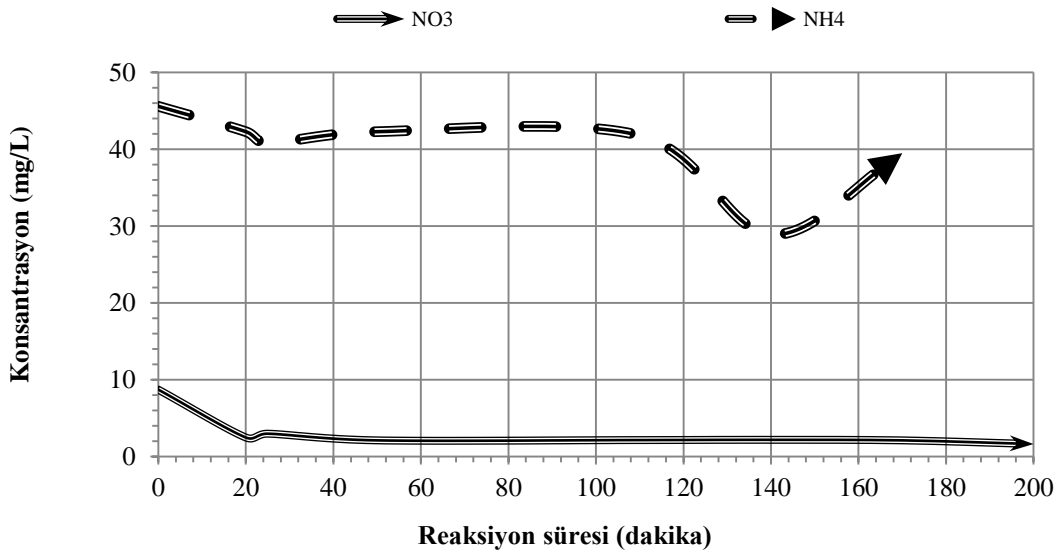
KOİ 30. dakikada en yüksek verim elde edilmiştir. 30. dakikadan sonra zamanla giderim verimi artış hızı azaldığı görülmektedir. 200. dakikada %68 giderim elde edilmiştir. BOİ 10.dakikada %48 giderim sağlanmışken 20. dakikada %29 giderim verimi ile BOİ değeri düşmüştür 200. dakikada %94 BOİ giderim elde edilmiştir.



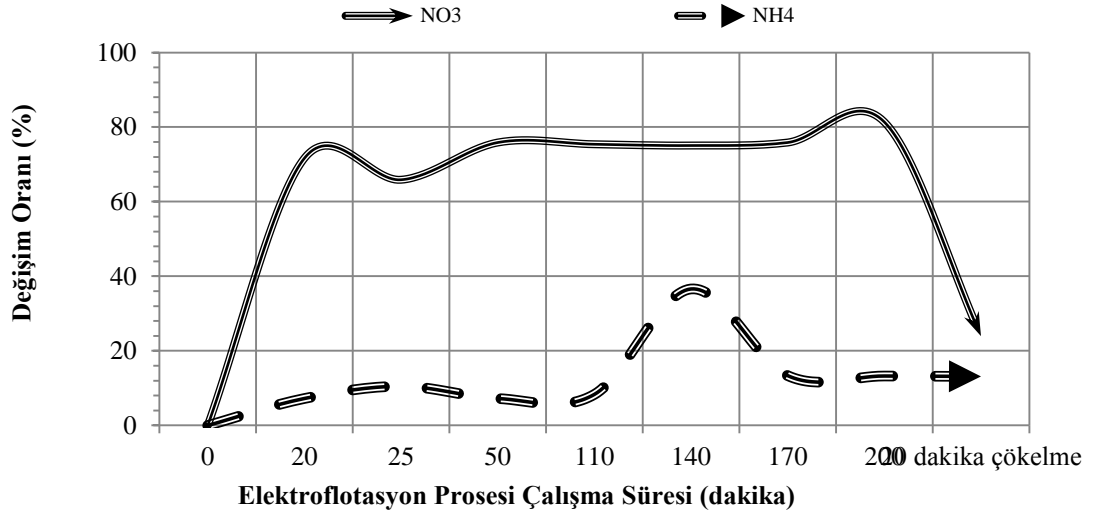
Şekil 3.11. EF sisteminde reaksiyon süresi ve çökelme sonrası KOİ ve BOİ₅ değişim oranları

20 dakika çökelmeye bırakılan çıkış suyunda %81 KOİ %97 BOİ₅ verim elde edilmiştir.

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te EF sisteminde reaksiyon süresi NH₄ ve NO₃ konsantrasyon grafiği ile reaksiyon süresi ve çökelme sonrası NH₄ ve NO₃ değişim oranları verilmiştir.



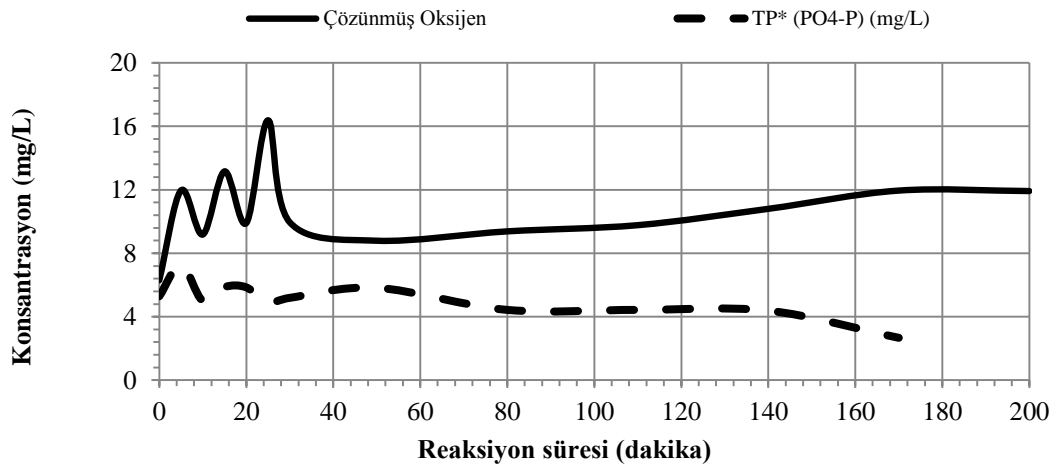
Şekil 3.12. EF sisteminde reaksiyon süresinde NH₄ ve NO₃ konsantrasyon değişimi



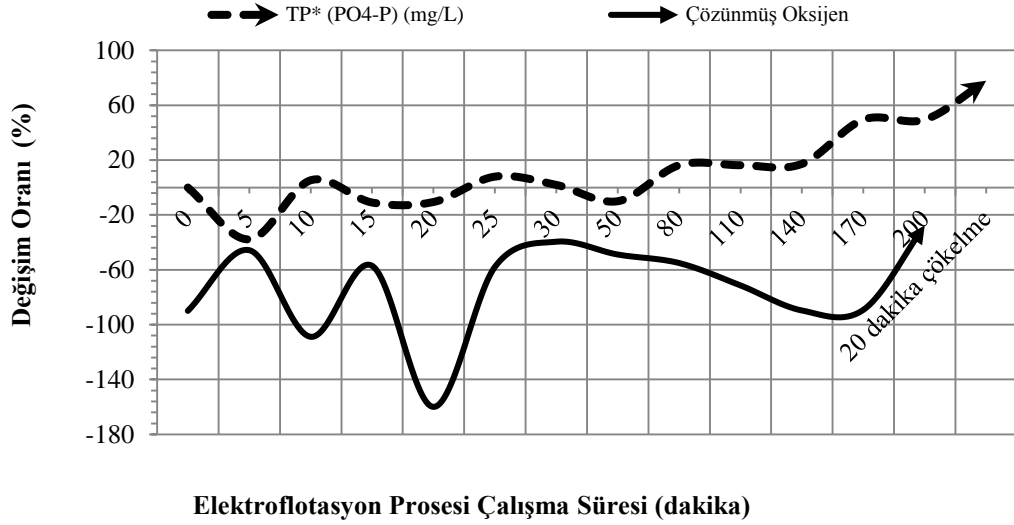
Şekil 3.13. EF sisteminde reaksiyon süresi ve çökeltme sonrası NH₄ ve NO₃ konsantrasyonu değişim oranları

TN konsantrasyonları için giriş, 30. dakika ve çıkış suyunun değerlerine bakılmıştır. 30. dakikada %66 giderim verimi sağlanmışken çıkış suyunda % 72 giderim sağlanmıştır. 200. dakikada %81 NO₃ değeri elde edilmişken çökeltme sonrası giderim verimi düşmüş ve % 24 NO₃ gözlemlenmiştir. 140. dakikada en yüksek % 37 NH₄ giderim verimine ulaşılmış çıkış suyunda % 13 NH₄ giderimi ile verim düşmüştür.

Şekil 3.14. ve Şekil 3.15'te EF sisteminde reaksiyon süresinde TP (PO₄-P) ve çözülmüş oksijen konsantrasyon grafiği ile reaksiyon süresi ve çökeltme sonrası TP (PO₄-P) ve çözülmüş oksijen değişim oranları verilmiştir.



Şekil 3.14. EF sisteminde reaksiyon süresinde TP ve çözülmüş oksijen konsantrasyon değişimi



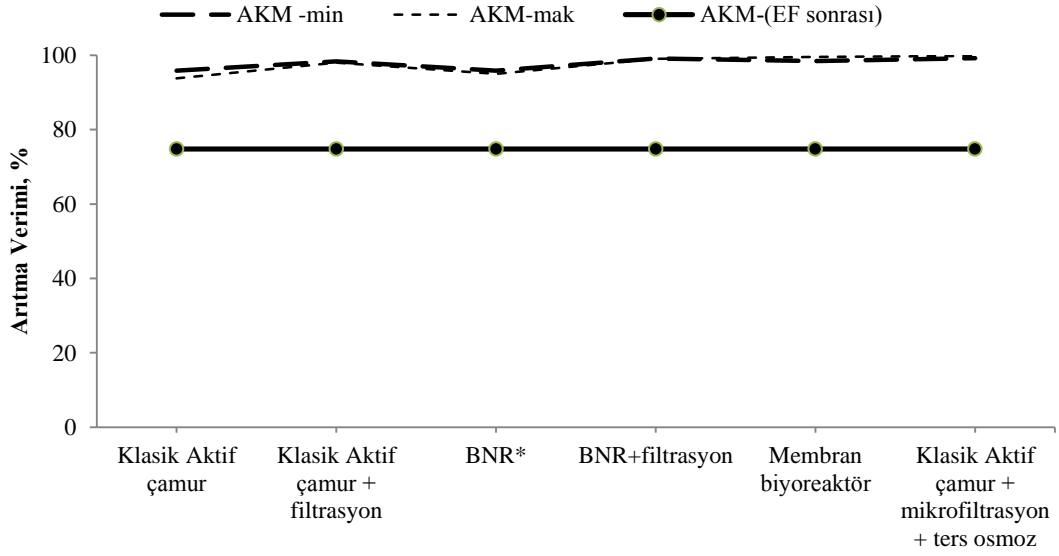
Şekil 3.15. EF sisteminde reaksiyon süresi ve çökeltme sonrası TP ve çözünmüş oksijen konsantrasyon değişim oranları

TP konsantrasyonu 5.dakikada %38 artmıştır. TP konsantrasyonu çökeltme sonrası %78 en yüksek verim elde edilmiştir.

3.3. Elektroflotasyon Prosesi Arıtma Verimlerinin Diğer Arıtma Proseslerinin Arıtma Verimleri ile Karşılaştırılması

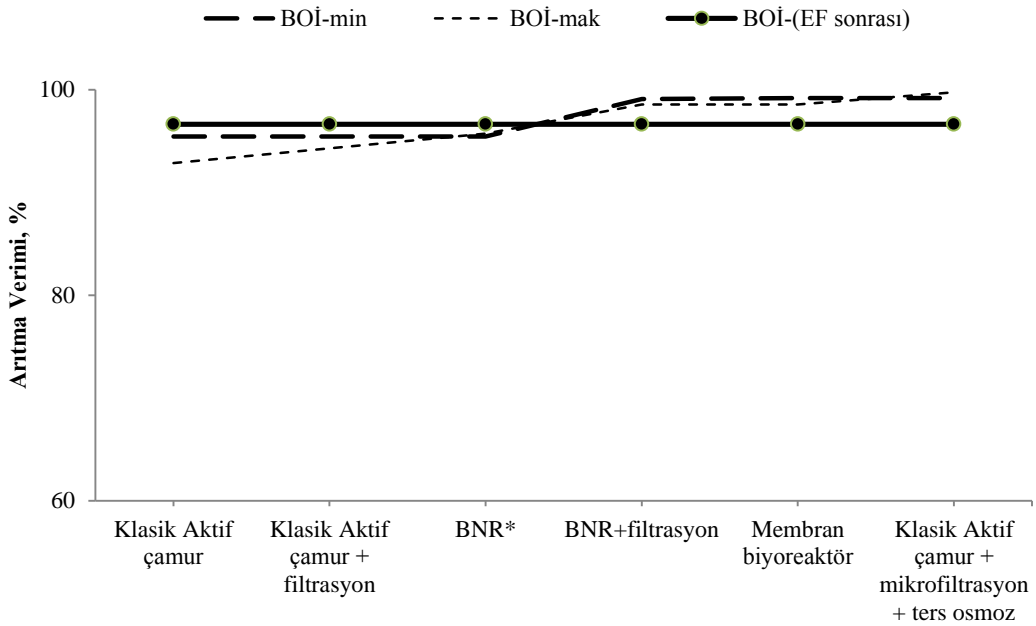
Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’de yer alan Klasik Aktif çamur, Klasik Aktif çamur + filtrasyon, BNR, BNR+filtrasyon, Membran biyoreaktör ve Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters-osmoz sistemlerinin arıtma verimleri ile ilçe atıksuyunun EF sonrası arıtma verimleri karşılaştırılmıştır.

AKM arıtma verimleri karşılaştırması Şekil 3.16’da, BOİ₅ arıtma verimleri karşılaştırması Şekil 3.17’de, KOİ arıtma verimleri karşılaştırması Şekil 3.18’de, NH₄ arıtma verimleri karşılaştırması Şekil 3.19’da, TN arıtma verimleri karşılaştırması Şekil 3.20’de, TP arıtma verimleri karşılaştırması Şekil 3.21’de ve TÇM (ÇKM) arıtma verimleri karşılaştırması Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



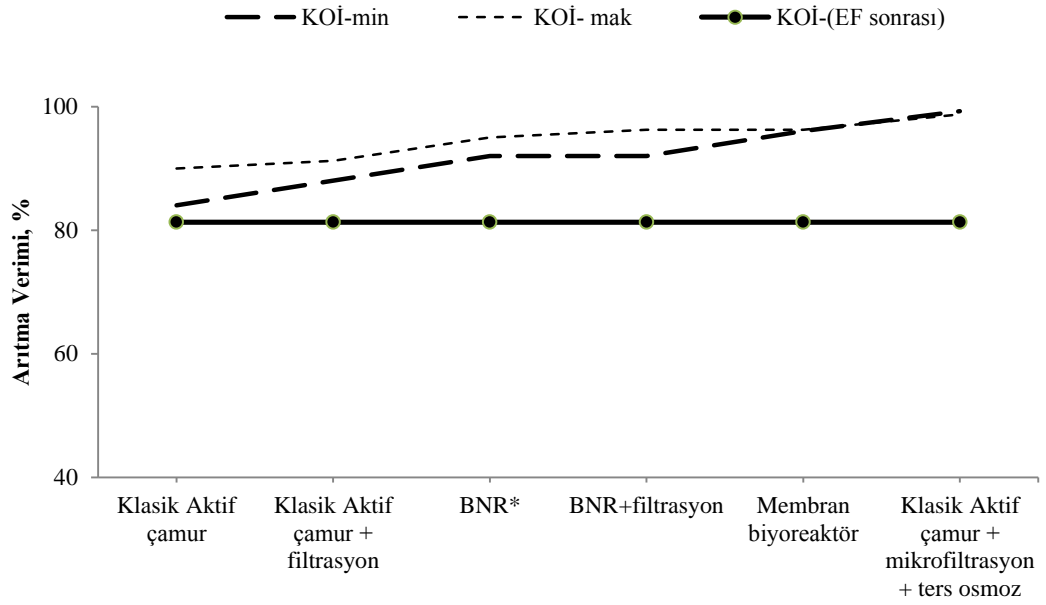
Şekil 3.16. AKM arıtma verimleri karşılaştırması

EF sonrası %78 AKM arıtma veriminin, Klasik Aktif çamur, Klasik Aktif çamur + filtrasyon, BNR*, BNR+filtrasyon, Membran biyoreaktör, Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters-osmoz sistemlerinin arıtma verimlerine oldukça yaklaştığı Şekil 3.16'da görülmektedir.



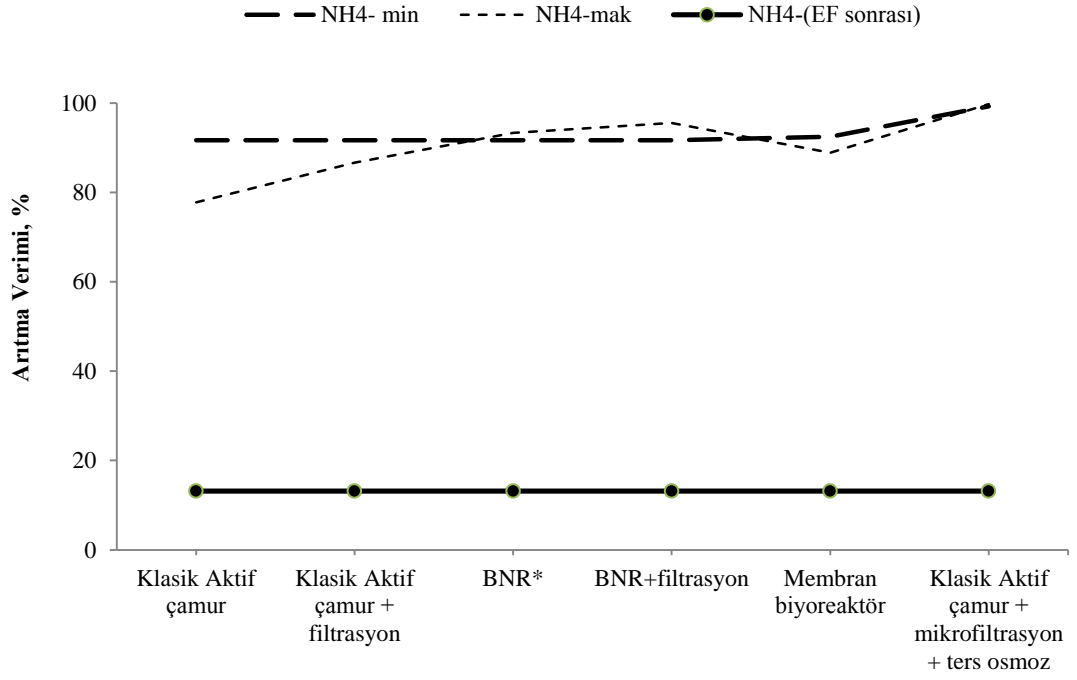
Şekil 3.17. BOİ₅ arıtma verimleri karşılaştırması

EF sonrası %97 BOİ₅ arıtma veriminin, Klasik Aktif çamur, Klasik Aktif çamur + filtrasyon ve BNR sistemlerinin arıtma verimlerinin üzerinde; BNR+filtrasyon, Membran biyoreaktör ve Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters-osmoz sistemlerinin arıtma verimlerine ise çok yakın olduğu Şekil 3.17'de görülmektedir.



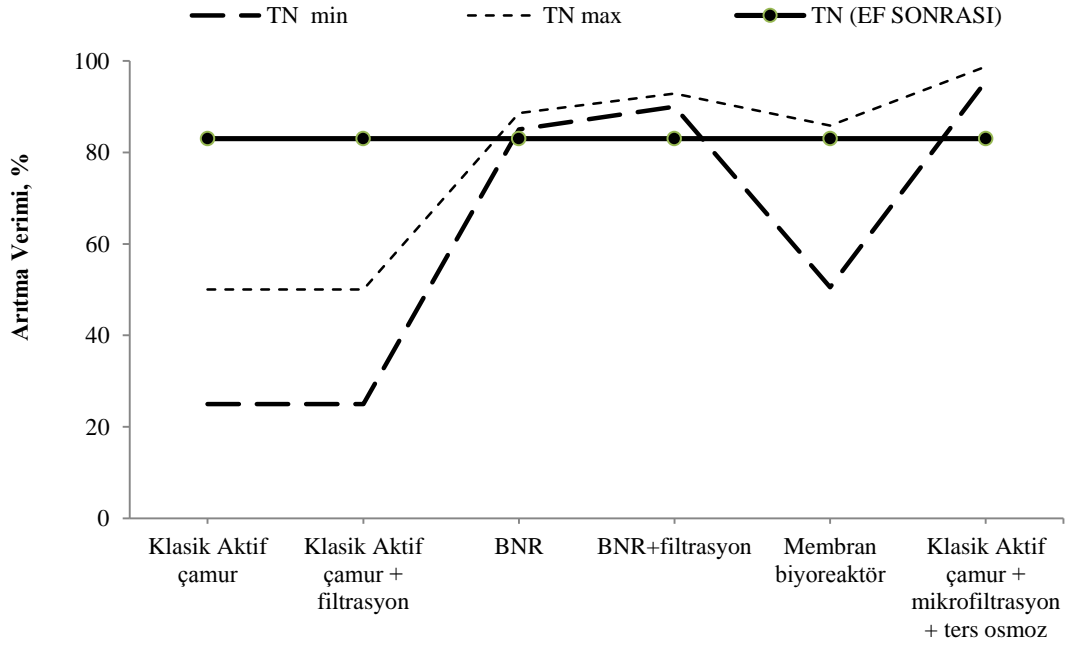
Şekil 3.18. KOİ arıtma verimleri karşılaştırması

EF sonrası %81 KOİ arıtma veriminin, Klasik Aktif çamur, Klasik Aktif çamur + filtrasyon, BNR, BNR+filtrasyon, Membran biyoreaktör ve Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters-osmoz arıtma sistemlerinin arıtma verimlerine oldukça yaklaştığı Şekil 3.18'de görülmektedir.



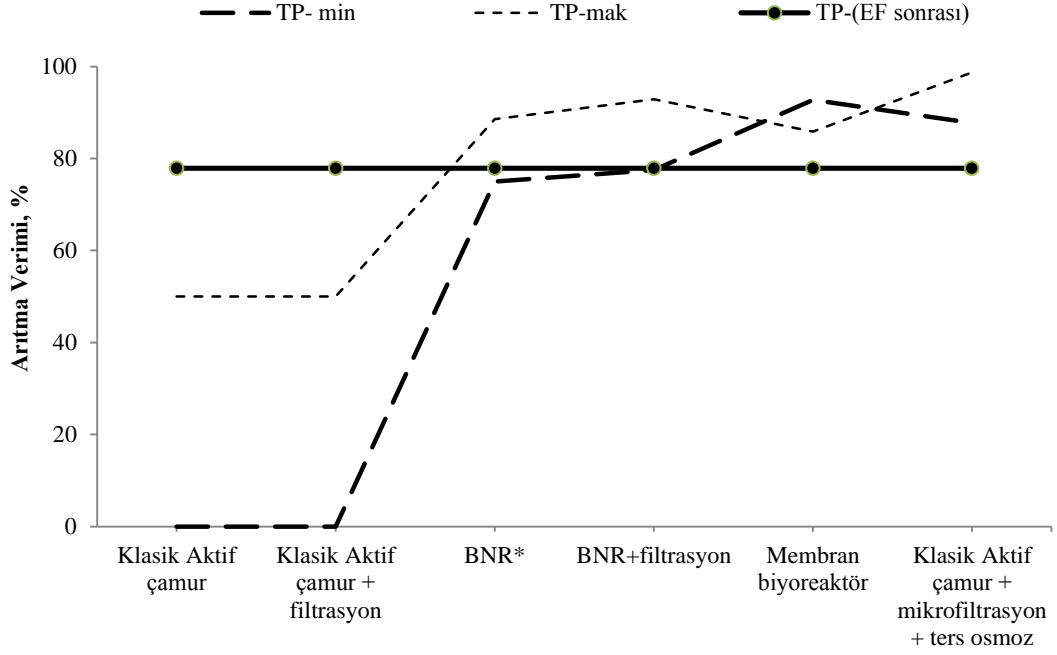
Şekil 3.19. NH₄ arıtma verimleri karşılaştırması

EF sonrası %13 NH₄ arıtma veriminin, Klasik Aktif çamur, Klasik Aktif çamur + filtrasyon, BNR, BNR+filtrasyon, Membran biyoreaktör ve Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters-osmoz sistemlerinin arıtma verimlerinin oldukça altında olduğu Şekil 3.19’da görülmektedir.



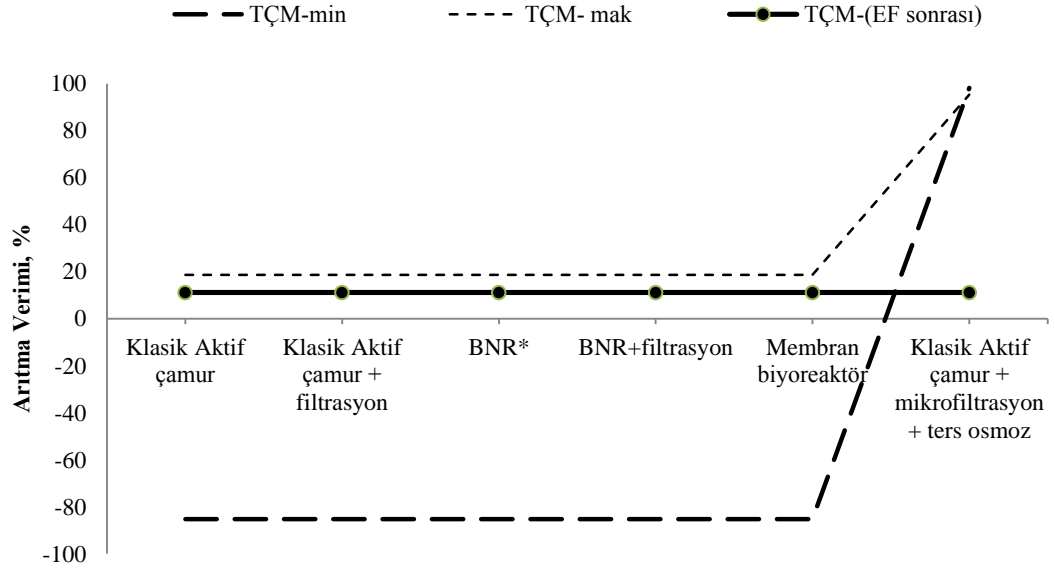
Şekil 3.20. Toplam Azot arıtma verimleri karşılaştırması

EF sonrası %83 TN arıtma veriminin Klasik Aktif çamur, Klasik Aktif çamur + filtrasyon arıtma verimlerinin oldukça üstünde olduğu; BNR sisteminin minimum arıtma verimine çok yakın olduğu; BNR+filtrasyon ve Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters-osmoz sistemlerinin arıtma verimlerine oldukça yakın olduğu; Membran biyoreaktör sisteminin minimum arıtma veriminden oldukça yüksek olduğu, maksimum arıtma verimine ise çok yakın olduğu Şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.21. Toplam Fosfor arıtma verimleri karşılaştırması

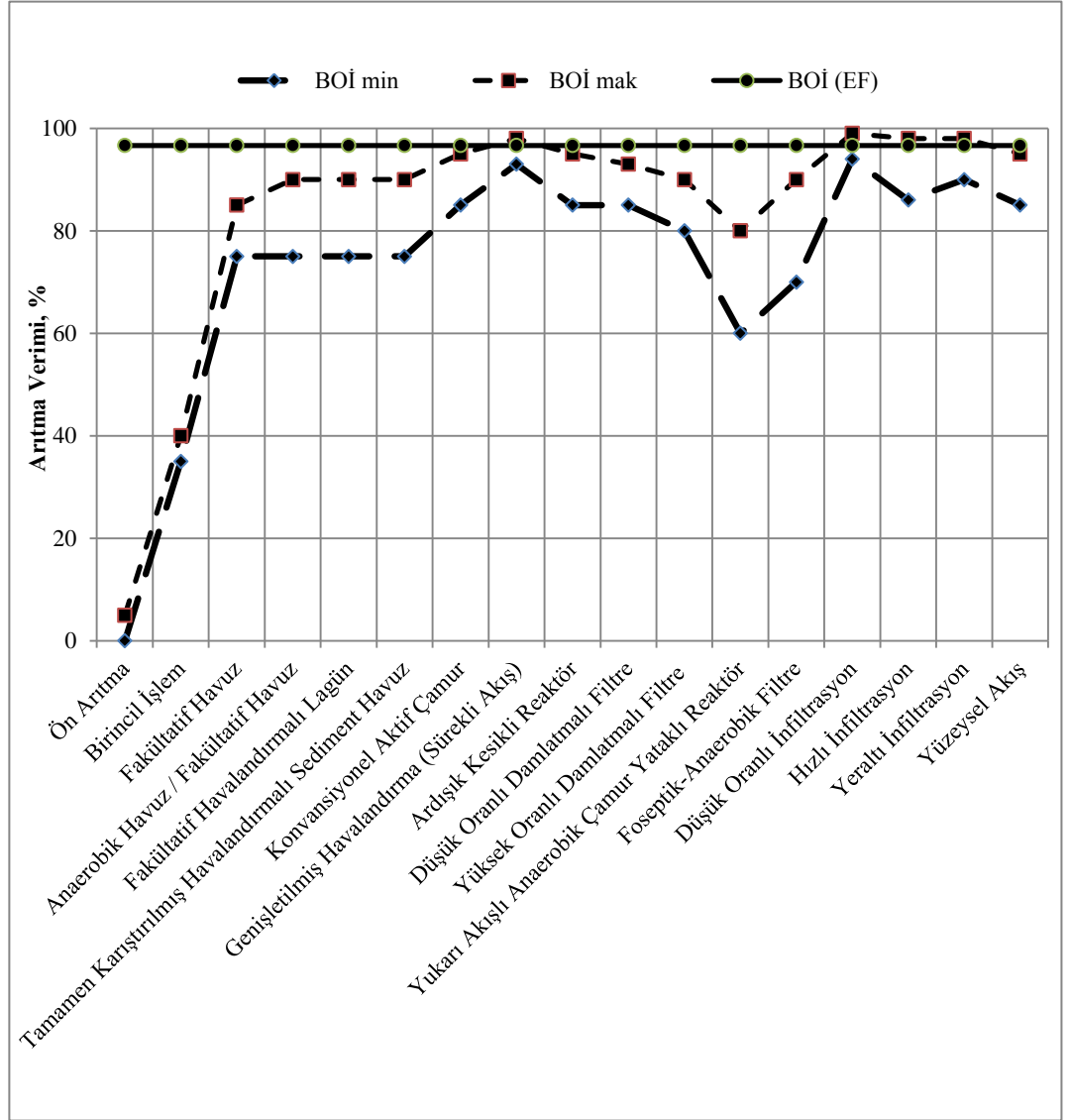
EF sonrası %78 TP arıtma veriminin, Klasik Aktif çamur, Klasik Aktif çamur + filtrasyon sistemlerinin minimum arıtma verimlerinden çok yüksek, maksimum arıtma verimlerinden ise oldukça yüksek olduğu; BNR ve BNR+filtrasyon sistemlerinin minimum arıtma verimlerine çok yakın, maksimum arıtma verimlerine ise oldukça yakın olduğu; Membran biyoreaktör ve Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters-osmoz sistemlerinin arıtma verimlerine ise oldukça yakın olduğu Şekil 3.21’de görülmektedir.



Şekil 3.22. Toplam Çözünmüş Madde (Çözünmüş Katı Madde) arıtma verimleri karşılaştırması

EF sonrası %11 TÇM (ÇKM) arıtma veriminin Klasik Aktif çamur, Klasik Aktif çamur + filtrasyon, BNR, BNR+filtrasyon, Membran biyoreaktör sistemlerinin çözünmüş katı madde artırma riskini ortadan kaldırdığı ve maksimum arıtma verimlerine ise çok yakın olduğu, Klasik Aktif çamur + mikrofiltrasyon + ters-osmoz sistemi arıtma veriminin ise çok altında olduğu Şekil 3.22’de görülmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde kullanılan Ön Arıtma, Fakültatif Havuz, Anaerobik Havuz/Fakültatif Havuz, Fakültatif Havalandırılmalı Lagün, Tamamen Karıştırılmış Havalandırılmalı Sediment Havuz, Konvansiyonel Aktif Çamur, Genişletilmiş Havalandırma (Sürekli Akış), Ardışık Kesikli Reaktör, Düşük Oranlı Damlatılmalı Filtre, Yüksek Oranlı Damlatılmalı Filtre, Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yataklı Reaktör, Fosseptik-Anaerobik Filtre, Düşük Oranlı İnfiltrasyon, Hızlı İnfiltrasyon, Yeraltı İnfiltrasyon, Yüzeysel Akış sistemlerin tipik karakteristikteki minimum ve maksimum BOİ arıtma verimleri (Von Sperling ve Marcos, 1996) ile ilçe atıksuyunu arıtmak için uygulanan elektroflotasyon prosesinin BOİ arıtma verimi Şekil 3.23’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.23. Gelişmekte olan ülkelerdeki başlıca atıksu arıtım sistemlerinin BOİ₅ arıtma verimleri ile ilçe atıksuyu arıtımı için kullanılan elektroflotasyon prosesinin BOİ₅ arıtma verimlerinin karşılaştırması

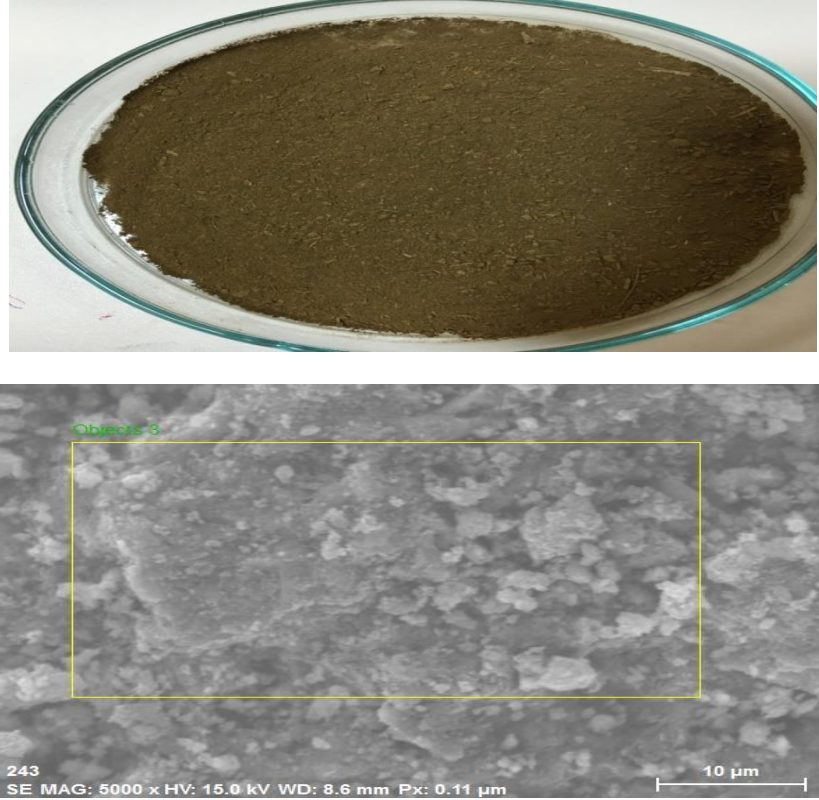
Şekil 3.23'e göre ilçe atıksuyunun arıtımı için kullanılan elektroflotasyon prosesinin BOİ arıtma verimi, gelişmekte olan ülkelerdeki proseslerin arıtma verimlerinden yüksek olduğu görülmektedir.

3.4.Elektroflotasyon Prosesinde Oluşan Çıkış Çamurunun Öngörülü Karakterizasyonu

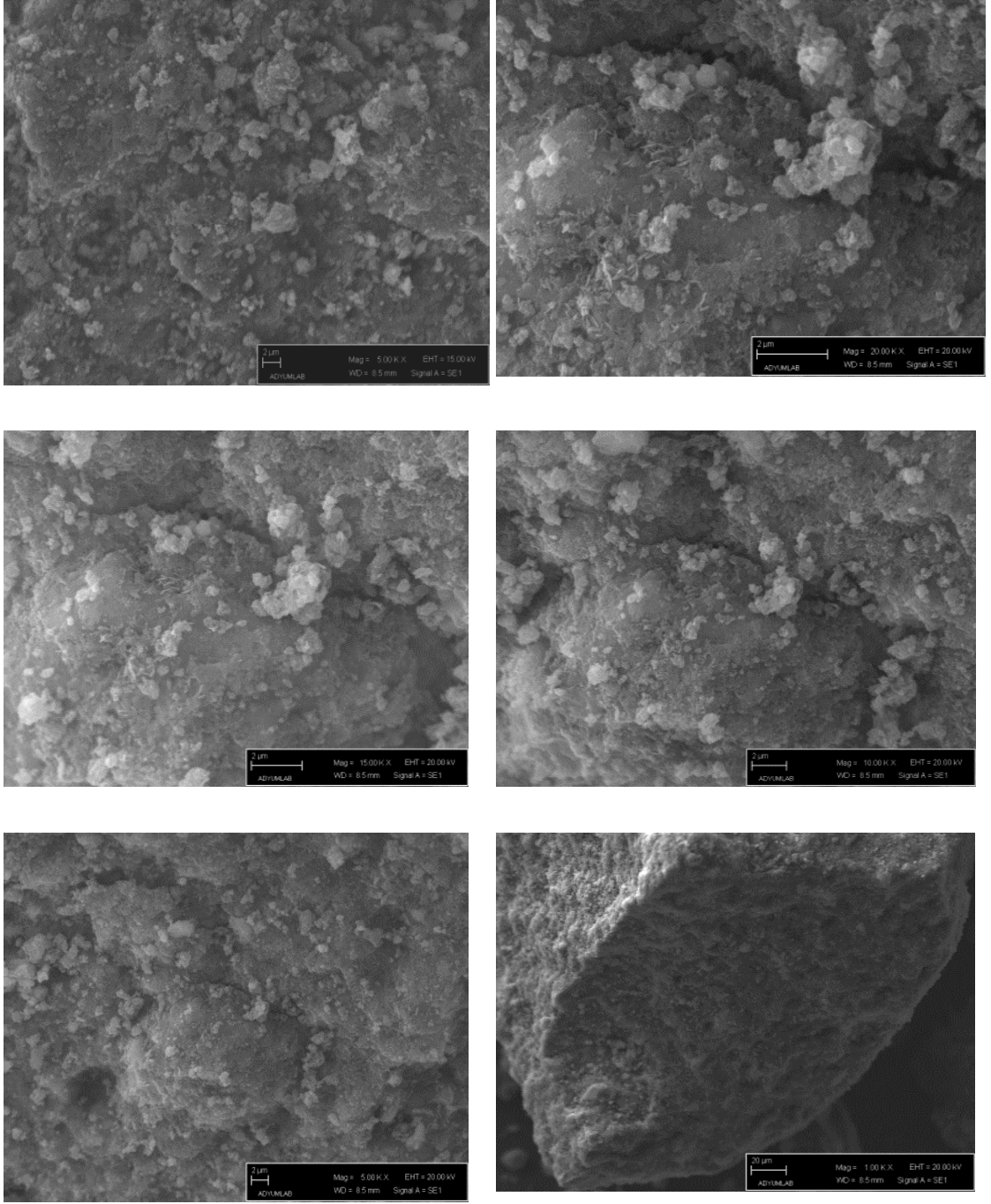
Elektroflotasyon prosesinde oluşan çamurun katı madde miktarı 10,68 g olarak ölçülmüştür. 1 L atıksu arıtıldıktan sonra proses çıkışından 237,36 mg katı madde oluşmaktadır.

3.4.1. SEM-EDX görüntüleri ve ön değerlendirmesi

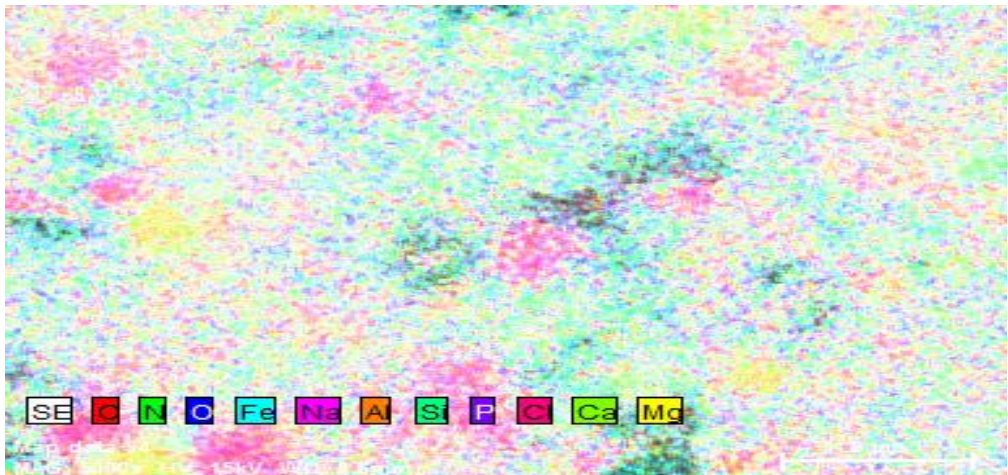
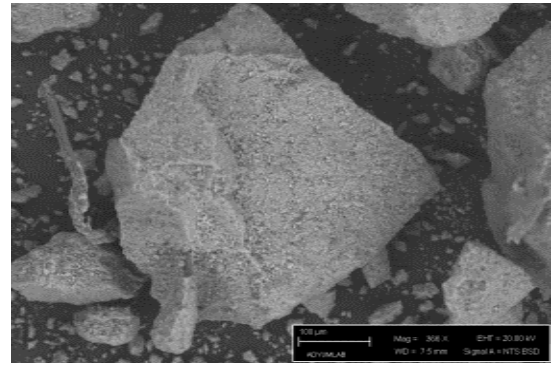
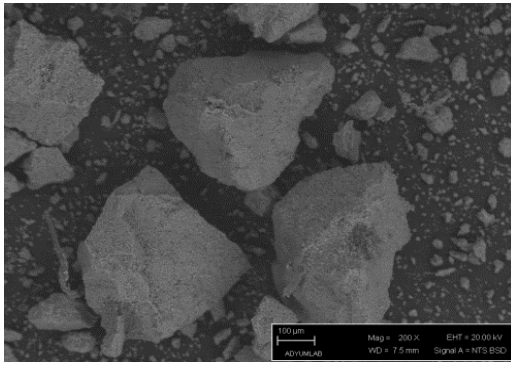
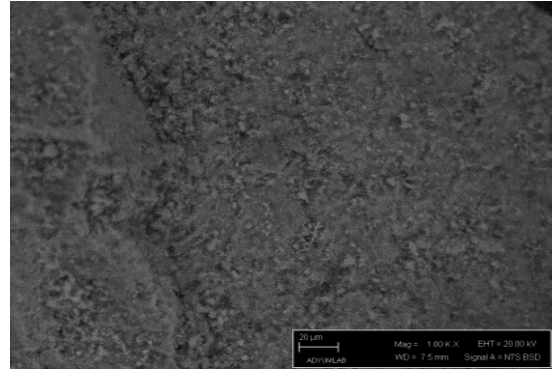
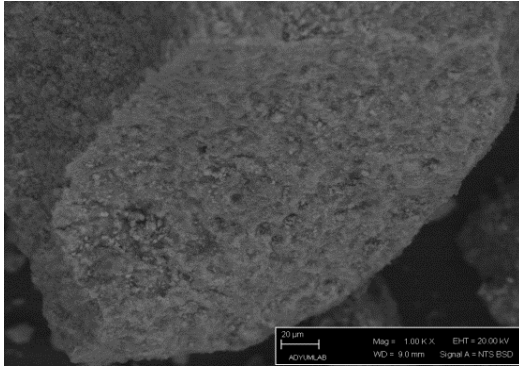
Proses çıkış çamuru katı maddesinin SEM, EDX görüntüleri ve analizleri Şekil 3.24’te gösterilmiştir.



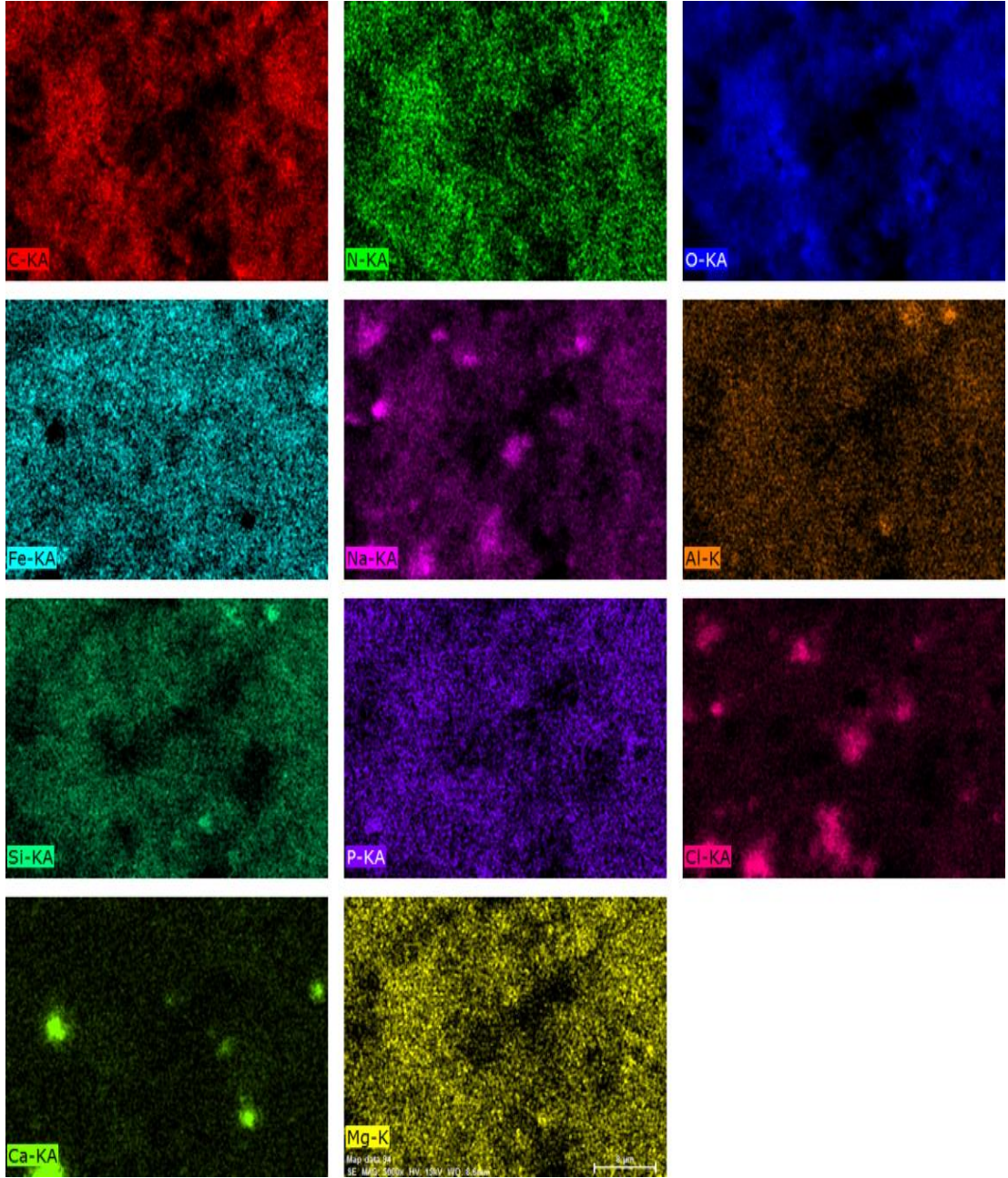
Şekil 3.24. Elektroflotasyon proses çıkış çamuru katı maddesinin SEM, EDX görüntüleri ve analizleri



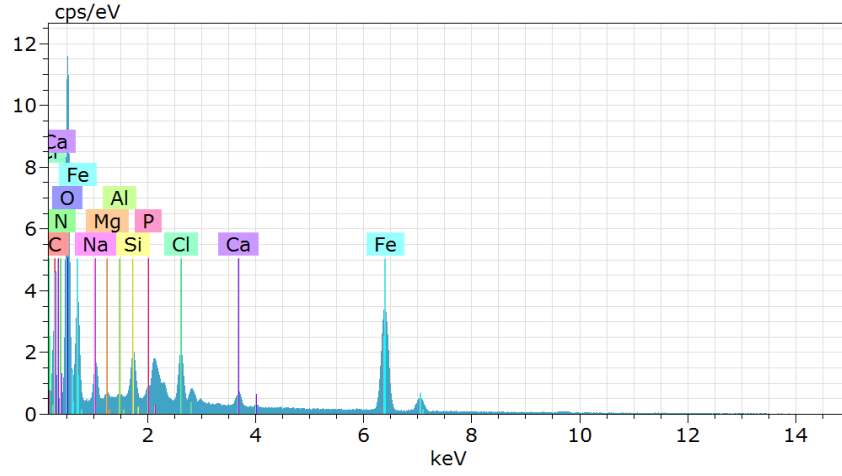
Şekil 3.24. (devamı)



Şekil 3.24. (devamı)



Şekil 3.24. (devamı)



El AN Series un. C norm. C Atom. C Error (1 Sigma)
[wt.%] [wt.%] [at.%] [wt.%]

Element	Series	un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
O	8 K-series	27.62	35.74	47.17	3.34
Fe	26 K-series	27.34	35.37	13.38	0.85
C	6 K-series	12.33	15.95	28.04	1.79
Na	11 K-series	2.34	3.02	2.78	0.18
Cl	17 K-series	2.08	2.69	1.60	0.10
N	7 K-series	1.97	2.55	3.84	0.46
Si	14 K-series	1.56	2.02	1.52	0.09
Ca	20 K-series	1.09	1.42	0.75	0.07
P	15 K-series	0.58	0.75	0.51	0.05
Mg	12 K-series	0.27	0.35	0.30	0.04
Al	13 K-series	0.11	0.14	0.11	0.03

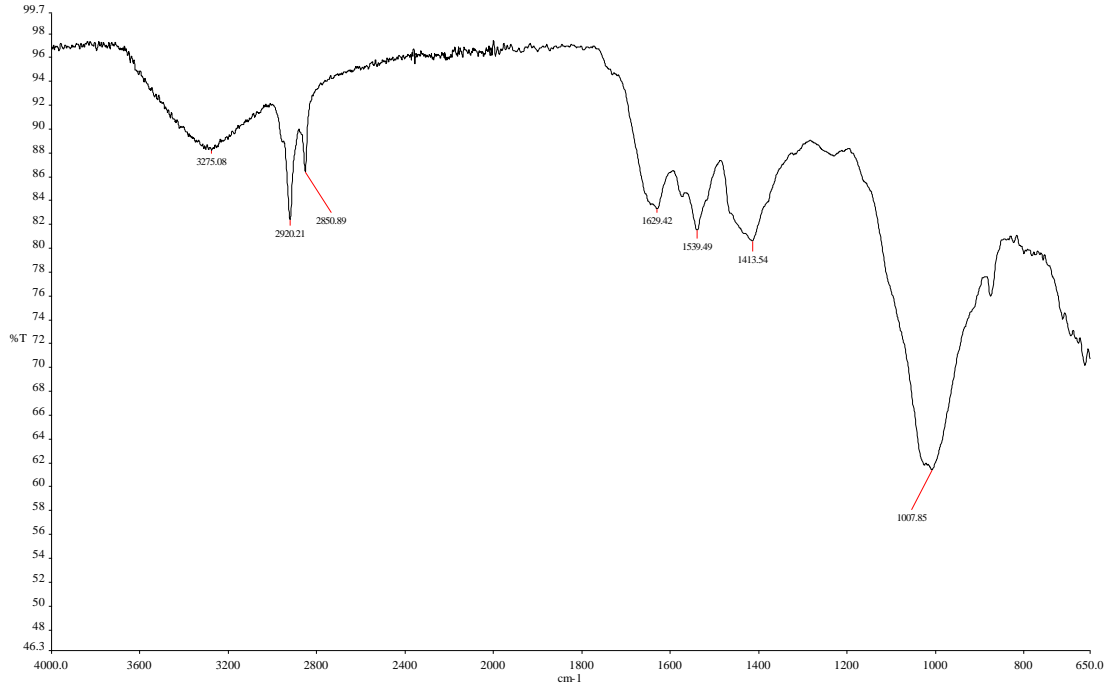
Total: 77.30 100.00 100.00

Şekil 3.24. (devamı)

Şekil 3.24'e göre demir elektrotlardan kaynaklı oluşan demir oksidasyonundan dolayı demir ve oksijen baskın görülmektedir. Katı maddenin Karbon muhtevası oldukça baskın ve yaygın görülmektedir. Azot, Fosfor, Silisyum ve Magnezyum muhtevası yaygın görülmekle birlikte ağırlıkça katı madde yüzdesi olarak sırasıyla % 2,55; % 0,75; %; %2,02 ve % 0,35'tir. Sodyum, Alüminyum, Kalsiyum ve Klor yaygınlığı az olup, ağırlıkça katı madde yüzdesi olarak sırasıyla % 3,02; % 0,14; % 1,42 ve %2,69'dur.

3.4.1. FT-IR analizi ve ön değerlendirmesi

Elektroflotasyon sonucu oluşan çamurun kurutulmasıyla elde edilen katı madde FT-IR ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçları şekil 3.25'te gösterilmiştir.



şekil 3.25. Elektroflotasyon sonucu oluşan amurun FT-IR analiz sonucu

1614.41 cm^{-1} civarındaki bandlar karboksil gruplarına ait C=O gerilmelerine işaret etmektedir. 2925 ve 2893 cm^{-1} civarındaki diğer bandlar ise alkil ($-\text{CH}_3$ veya $-\text{CH}_2-$) gruplarındaki simetrik gerilme titreşimlerini işaret etmektedir (şahan, 2008). 3000-3750 cm^{-1} arasında görülen geniş bant hidroksil gruplarının ($-\text{OH}$) varlığına işaret etmektedir (Yazıcı, 2007).

4. TARTIŞMA

Bu çalışmamızda Kahta Belediyesi Yüzüncü Yıl Göletinin hipertrofik seviyeye gelmesine, yoğun bir çevre kirliliği oluşmasına ve yerleşim yerlerine kötü kokular yayılmasına neden olan Kahta ilçe merkezi kentsel atıksuyunun, yatırım ve işletmesi kompleks olmayan ve arıtma verimleri, klasik arıtma proseslerinin arıtma verimleri ile yarışabilecek kapasitede ve entegre proseslerin arıtma verimlerine de ulaşabilecek kapasitede olan elektroflotasyon prosesi ile arıtılabilirliği gerçekleştirilmiştir.

2014 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2014 yılı verilerine göre Adıyaman ilinin bulunduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesinde belediyelerde günlük atıksu miktarı ortalama 138 litre/kişi gün olarak belirtilmesine rağmen, Kahta Belediyesi ilçe merkez nüfusu 2015 yılı nüfus sayımına göre, günlük atıksu miktarı ortalama 239,05 litre/kişi gün olarak hesaplanmıştır. İlgili resmi kurumların beyanatına göre yağmur ve yer altı sularının Yüzüncü Yıl Göletine deşarj edilen atıksuya karıştığı ifade edilmektedir.

Ayrıca yaklaşık 7,8 km'lik bir deşarj hattının tam dolu akmaması, hat boyunca gaz oluşumlarına ve katı madde çökelmelerine neden olabilmektedir.

Bu çalışmamızda yağmur ve yer altı sularının karıştığı beyan edilen deşarj atıksuyunun TKM, AKM ve UAKM değerlerine göre kirlilik açısından orta kuvvette; BOİ, KOİ ve TP değerlerine göre kirlilik açısından zayıf kuvvette; TN değerine göre ise kirlilik açısından kuvvetli derecede bulunmuştur.

Bu duruma göre yağmur ve yer altı sularının karışmadığı 7,8 km'lik deşarj hattının girişindeki ilçe merkezi atıksuyunun oldukça yüksek kirlilik yüküne sahip olduğu kanaatine varılabilmektedir.

2014 yılı TÜİK verilerine göre deşarj edilen atıksuların %81,1'lik kısmı oldukça yüksek yatırım ve işletme maliyetli arıtma prosesleriyle arıtılmaktadır.

Kentsel atıksu içeriğinde kirletici maddeleri besin ve enerji kaynağı olarak kullanan organizmaları sudan uzaklaştıran biyolojik proseslerde, organizmaların aktivitesini kararlı halde tutabilecek çok çeşitli ortam şartlarını (sıcaklık, pH, reaksiyon süresi, substrat ihtiyacı, nutrient ihtiyacı, iz element ihtiyacı, oksijen ihtiyacı, diğer organizmaların varlığı gibi) sürekli kontrol etmek gerektiğinden, oldukça kompleks yapılara sahiptir.

Son yapılan çalışmalarda biyolojik prosesler içerisinde arıtma verimi yüksek olmakla birlikte yatırım ve işletme maliyeti düşük olan anaerobik prosesler tercih edilmiştir.

Kentsel ve evsel atıksularda yüksek kalitede iyileştirmeler yapabilmek için arıtma verimleri yüksek entegre arıtma prosesleri uygulanmıştır. Bu uygulamalar ise proseslerin yatırım ve işletmesini daha kompleks bir duruma getirmiştir.

Kentsel ve evsel atıksu arıtımı için uygulanmış yüksek arıtma verimli entegre arıtma proseslerini ve arıtma verimlerini kısaca özetleyecek olursak;

- Anaerobik tank- toprak hendek sistemi entegresyonu
(AKM: % 91-97, KOİ: % 89-96, TN: % 68-75)
- Koagülasyon,-flokülasyon-çökeltme -karıştırma entegresyonu
(KOİ: % 65, BOİ₅: % 55, TP: % 83)
- Fosfor yoğunlaştırma-stabilizasyon- aktif çamur -çökeltme entegresyonu
(KOİ: % 94, BOİ₅: %85,44 TP: % 80,54)
- Anaerobik bölmeli reaktör - elektrokimyasal proses entegresyonu
(AKM: %93, KOİ: % 89, BOİ₅: %92)
- Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı (UASB) reaktör- çamur çürütücü entegresyonu (KOİ: % 78)
- Anaerobik çamur yataklı (UASB) reaktör - ardışık kesikli reaktör (SBR) entegresyonu (AKM: % 98, KOİ: % 94, BOİ₅: % 97)
- Klasik Aktif çamur – filtrasyon entegresyonu
(AKM:%98, KOİ:%91, BOİ₅:%94, TN: %50, TP:%33)
- BNR-filtrasyon entegresyonu
(AKM:%99, KOİ:%96, BOİ₅:%99, TN:%93, TP:%83)
- Membran -biyoreaktör entegresyonu
(AKM:%100, KOİ:%96, BOİ₅:%99, TN: %86,TP:%58)
- Klasik Aktif çamur - mikrofiltrasyon - ters osmoz entegresyonu
(AKM:%100, KOİ:%99, BOİ₅:%100, TN:%99, TP:%96)

Elektroflotasyon prosesi ise diğer maliyetli prosesler gibi karıştırma, havalandırma, filtrasyon gibi ekipmanlara ihtiyaç duymayıp, sadece düşük elektrik akımlarında bile iyi arıtma sağlayabilen maliyeti düşük elektrotlara, elektrik akımının

elektrotlara ulaşabilmesi ve elektrik akım kontrolü için oldukça basit ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır.

Elektroflotasyon prosesi arıtma veriminde öncelikli parametreler organik kirlilik yükü akım yoğunluğu, elektrotun elektriksel iletkenliği olarak görülmektedir.

Elektrokoagülasyon ve Elektrooksidasyon ile birlikte gerçekleşebilen Elektroflotasyon prosesinin yer aldığı çalışmaları kısaca özetleyecek olursak;

- Evsel atıksu arıtımı -demir elektrot- 20 dakika reaksiyon -0,36A akım %90 KOİ giderimi
Evsel atıksuyu ve alg içeren gölet suyunun arıtımı
Elektrokoagülasyon sisteminde anotta demir elektrot
Elektrooksidasyon sisteminde anotta Ti/RuO₂-TiO₂ elektrot
Elektrokoagülasyon için 15 dakika ve 1 saat çökeltme süresi
Evsel atıksuda %73 TN, %81 NH₄-N, %99 TP ve %86 KOİ giderimi
Alg içeren gölet suyunda %83 TN, % 78 BOİ, %90 TP, % 92 KOİ, %97 AKM ve klorofil-a'nın tamamına yakın bir kısmının giderimi
- Evsel atıksuların arıtımı- 14.18 A/m² akım yoğunluğu (%97.53 TKM, %93.91 Bulanıklık, % 99.98 yağ ve gres, %,91.55 BOİ, %99.99 toplam koliform giderimi (elektroflotasyon yönteminin evsel atıksu gibi yüksek kirlilik içeren atıksuların arıtımı için oldukça umut verici bir yöntem)
- Sızıntı suyu arıtımı -alüminyum elektrot - 30 dakika reaksiyon- 631 A/m² akım yoğunluğu (%56 KOİ, % 14,6 NH₄-N giderimi)
- Tekstil atıksuyu arıtımı- alüminyum elektrot - 11.55 ila 91.5 mA/cm² akım yoğunluğu %85,5 AKM, % 88,9 BOİ, %79,7 KOİ, %93 renk giderimi
- Karton sanayi atıksuyu arıtımı,>%95 AKM giderimi - KOİ ve BOİ₅ değerlerini azaltma açısından önemli
- Deri endüstrisi atıksuyu arıtımı- alüminyum ve demir elektrotlar % 96 AKM; % 68 BOİ; % 68 KOİ; Koyu kahverenginden açık sarı renge renk giderimi
- Tekstil atıksuyu arıtımı- demir ve alüminyum elektrotların işletme zamanı ve akım yoğunluğunun elektrik enerjisi ve elektrot tüketim değerleri benzer Asidik ortamda (pH<6) alüminyumun KOİ ve bulanıklık giderimi demirden daha yüksek Nötral ve alkali ortamda demirin kullanılmasını önerilmiştir.

- Mermer işletme suyu atıksuyunun arıtımı- demir elektrot pH değeri 8 - 2 dakika elektroliz zamanı - 10 ila 20 A/m² akım yoğunluğu %99.86- 99.94 AKM giderimi
- Çamaşırhane atıksuyunun arıtımı- iki titanyum elektrot arasına üç alüminyum elektrot pH 5 ila 9 10 dakika alıkonma zamanı %7 den fazla KOİ, %90 TP, bulanıklık ve yüzey aktif madde giderimi
- Yağ-su emisyonlarından yağı ayırmak anotta kurşun, katotda paslanmaz çelik kullanımı, maksimum yağ ayırmadaki optimum koşullar: 1.2 A, 40 dakika, ağırlıkça %3.5 NaCl ve 16 mg/L flokülant madde, elektrik enerjisi tüketimi için çözünmez anot kullanma önemli bir faktör
- Petrokimya endüstrisi atıksularının arıtımı- EF ünitesinde anotta grafit, katotta paslanmaz hasır şeklinde çelik; EC ünitesinde alüminyum ve demir elektrotlar reaktör voltajı 12 V, akım yoğunluğu 5-15 mA cm⁻² alıkonma zamanı EF için 2–20 dakika EC için 1–10 dakika bulanıklık giderimi EF için yaklaşık %83, EC için ise %88 KOİ giderim verimlilikleri EF için %75, EC için %80 Fenol giderim verimlilikleri EF için %60, EC için %45 Hidrokarbon ve gres giderim verimlilikleri EF için %70, EC için %80-90.

Bu çalışmamızda Kahta ilçe merkezi kentsel atıksuyu elektroflotasyon arıtma prosesi çalışma süresi boyunca tuzluluk değerleri ~0,4 ppt civarında ölçülmüştür. Bundan dolayı proses 31 V voltaj ve 1 A (5 A/m²) sabit akımda çalışmıştır. Çalışma süresi boyunca atıksu sıcaklığı 18,6±1,32 °C ve atıksu pH'ı 8,22 ± 0,21 ölçülmüştür. Ortam şartlarının nötral ve bazik durumunda olması halinde demir elektrotların kullanılması literatür çalışmalarında önerildiği için demir elektrotlar kullanılmıştır. Özellikle uygulamaya çalıştığımız prosesin ortam şartlarına müdahale etmeden oluşan 5 A/m² akım yoğunluğunun düşük olması, arıtmanın verimli olmasında önemli bir parametre olan işletme süresinin 200 dakikaya çıkmasına neden olmuştur. Bundan dolayı çökeltme işlemi 20 dakikalık kısa bir sürede gerçekleştirilmiştir. Prosesin AKM arıtma verimi %75, KOİ arıtma verimi %81, TN arıtma verimi %72, TP arıtma verimi %78, Renk giderme verimi ise %51 bulunmuştur. NH₄-N'unun arıtma verimi %14,6 bulunmuştur. Proseste arıtılan atıksuyun 200 dakika sonundaki NO₃-N %81,2 oranında azalmasına rağmen, 20 dakikalık çökeltme sonucunda prosesin NO₃-N arıtma verimi

%24,37'ye düşmüştür. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde atıksu TN muhtevasının oldukça yüksek miktarını organik azot formlarının oluşturduğu düşünülebilir.

Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen Kahta İlçe merkezi kanalizasyon atıksuyu, elektroflotasyon prosesi ile artıldıktan sonra, kirlilik açısından TKM değerlerine göre orta kuvvetin altına düşerek zayıf kuvvete yaklaşmış; AKM ve UAKM değerlerine zayıf kuvvetin oldukça alt seviyelerine düşmüş; BOİ, KOİ ve TP değerlerine göre zayıf kuvvetin çok alt seviyelerine düşmüş; TN değerine göre ise orta kuvvetin altına düşmüş, zayıf dereceye yaklaşmıştır.

Yüzüncü Yıl Göleti'ne deşarj edilen ilçe merkez kanalizasyon atıksuyu, elektroflotasyon prosesi ile artıldıktan sonra SKKY Evsel Nitelikli Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartlarına uyum sağlamakla birlikte, AKM konsantrasyonunda iyileştirmeler yapmak gerekmektedir. Bunun için prosesin AKM arıtma verimini artırabilecek işletme parametrelerinden olan akım yoğunluğu artırılabilir.

Kirlilik yükü yüksek olan kentsel atıksuları yoğun bir elektroflotasyon reaksiyonuna tabi tutulduktan sonra, prosesin arıtma veriminde, yüzeyde oluşan flok çamur miktarında ve tabana çökebilen madde miktarlarında artışlar alabilmektedir. Bundan dolayı yağmur ve yer altı sularının karışmadığı alanda toplanan ilçe atıksuyu, düşük yatırım ve işletme maliyetli elektroflotasyon prosesi ile çok yüksek verimde arıtılabilir. Özellikle evsel atıksuların arıtımında uygulanan klasik biyolojik arıtma proseslerinin ön arıtması olarak entegre edilerek prosesin arıtma kalitesi artırılabilir. Klasik proseslerin sonrasına entegre edilmesi evsel atıksu kirlilik parametrelerini dengeleme görevini pasivize edebilmektedir. Geri devir yapılsa bile prostesteki biyolojik aktivitenin stabilitesine katkı sağlayamamamaktadır.

Evsel atıksuların ve diğer atıksuların arıtımında kullanılan klasik fiziksel ve kimyasal proseslerin öncesine ve sonrasına entegre edilmesi atıksu verimini artırabilmektedir.

Elektroflotasyon prosesinden sonra özellikle AKM ve TÇM kirliliklerini gidermede membran filtrasyonlarının kullanımı arıtma verimini çok yüksek seviyelere çıkabilmektedir.

Reaksiyon süresi boyunca takip edilen atıksu parametrelerinde salınımlar gözlenmiştir.

Reaksiyon süresince çözünmüş oksijen değerlerinde 5, 15 ve 25. dakikalarda en yüksek çözünmüş oksijen değerlerine ulaşılmış 200. dakikada çözünmüş oksijende %89 artma gözlemlenmiştir. Çökme sonrası %28 artış gözlemlenmiştir.

ORP'nin genel olarak -64,2 ile -96 mV arasında değişen değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Reaksiyon süresinde elektriksel iletkenlik 5. dakikada en yüksek değerine ulaşmış 30. dakikadan sonra ciddi farklar gözlemlenmemiş 200. dakikada %18'lik bir azalma gözlemlenmiştir.

Renk reaksiyonun ilk 20 dakikasında Pt-Co konsantrasyonu artmış, 20.dakikadan sonra azalmaya başlamış ve 200.dakikada %78, çökme sonrası %51 renk giderimi elde edilmiştir.

Reaksiyon süresinde 200. dakikada %54 AKM, %62 UAKM, %30 TKM çıkış suyunda %75 AKM , %77 UAKM, %31 TKM giderimi sağlanmıştır. Çözünmüş katı madde konsantrasyonunda 5. ve 15.dakikalarda artma gözlemlenmiştir. Reaksiyon süresince çok ciddi dalgalanmalar olmayıp çıkış suyunda çözünmüş katı madde konsantrasyonunda %11 azalma meydana gelmiştir.

KOİ 30. dakikada en yüksek verim elde edilmiştir. 30. dakikadan sonra zamanla giderim verimi artış hızı azaldığı görülmektedir. 200. dakikada %68 giderim elde edilmiştir. BOİ 10.dakikada %48 giderim sağlanmışken 20. dakikada %29 giderim verimi ile BOİ değeri düşmüştür 200. dakikada %94 BOİ giderim elde edilmiştir. 20 dakika çökelmeye bırakılan çıkış suyunda %81 KOİ %97 BOİ verim elde edilmiştir.

TN 30. dakikada %66 giderim verimi sağlanmışken çıkış suyunda % 72 giderim sağlanmıştır.

TP konsantrasyonu 5.dakikada %38 artmıştır. TP konsantrasyonu çökme sonrası %78 en yüksek verim elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H. Y. (2000). “Siyanür ve krom(VI) içeren galvanik atıksuların elektrokimyasal yöntemler kullanılarak arıtılması”, GYTE-MFBE.
- Aqaneghad, M., & Moussavi, G. (2016). Electrochemically enhancement of the anaerobic baffled reactor performance as an appropriate technology for treatment of municipal wastewater in developing countries. *Sustainable Environment Research*, 26(5), 203-208.
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 20.03.2010, Sayı: 27527
- Azzam, M. O., Al-Tarazi, M., & Tahboub, Y. (2000). Anodic destruction of 4-chlorophenol solution. *Journal of hazardous materials*, 75(1), 99-113.
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and purification Technology*, 38(1), 11-41.
- Chen, G., Chen, X., & Yue, P. L. (2000). Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater. *Journal of environmental engineering*, 126(9), 858-863.
- Chun, Y. E., Zhan-Bo, H. U., Hai-Nan, K. O. N. G., Xin-Ze, W. A. N. G., & Sheng-Bing, H. E. (2008). A new soil infiltration technology for decentralized sewage treatment: two-stage anaerobic tank and soil trench system. *Pedosphere*, 18(3), 401-408.
- Dimoglo, A., Akbulut, H.Y., Cihan,F., Karpuzcu, M., (2004), “Petrochemical wastewater treatment by means of clean electrochemical Technologies” *Clean Techn Environ Policy*, 6, 288–295.
- Feng, C., Sugiura, N., Shimada, S., & Maekawa, T. (2003). Development of a high performance electrochemical wastewater treatment system. *Journal of Hazardous Materials*, 103(1), 65-78.
- Fukui, Y., & Yuu, S. (1985). Removal of colloidal particles in electroflotation. *AIChE journal*, 31(2), 201-208
- Ge, J., Qu, J., Lei, P., & Liu, H. (2004). New bipolar electrocoagulation–electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. *Separation and Purification Technology*, 36(1), 33-39.

- Gengeç, E., (2012). Melanoidin ve melanoidin içeren maya endüstrisi atıksularının elektrokimyasal arıtımı, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze
- Grimm, J., Bessarabov, D., & Sanderson, R. (1998). Review of electro-assisted methods for water purification. *Desalination*, 115(3), 285-294.
- Hernlem, B. J., & Tsai, L. S. (2000). Chlorine generation and disinfection by electroflotation. *Journal of food science*, 65(5), 834-837.
- Ho, C. C., & Chan, C. Y. (1986). The application of lead dioxide-coated titanium anode in the electroflotation of palm oil mill effluent. *Water Research*, 20(12), 1523-1527.
- Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59(3), 355-367.
- Hosny, A. Y. (1996). Separating oil from oil-water emulsions by electroflotation technique. *Separations Technology*, 6(1), 9-17.
- Ilhan, F., Kurt, U., Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2008). Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *Journal of hazardous materials*, 154(1), 381-389.
- Il'in, V. I., Kolesnikov, V. A., & Parshina, Y. I. (2002). Purification of highly concentrated industrial sewage from the porcelain and faience industry by the electric flotation method. *Glass and ceramics*, 59(7-8), 242-244.
- Ismail, I. M., Fawzy, A. S., Abdel-Monem, N. M., Mahmoud, M. H., & El-Halwany, M. A. (2012). Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal wastewater. *Journal of Advanced Research*, 3(4), 331-336.
- Jüttner, K., Galla, U., & Schmieder, H. (2000). Electrochemical approaches to environmental problems in the process industry. *Electrochimica Acta*, 45(15), 2575-2594.
- Kâhta ilçesi belediye başkanlığı, Fen İşleri Müdürlüğü, 2016
- Keith Scott. (1995). *Electrochemical processes for clean technology*. Springer Verlag.
- Kentsel atıksu arıtımı yönetmeliği, 08.01.2006 Sayı: 26047

- Khandegar, V., & Saroha, A. K. (2013). Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent—A Review. *Journal of environmental management*, 128, 949-963.
- Khelifa, A., Moulay, S., & Naceur, A. W. (2005). Treatment of metal finishing effluents by the electroflotation technique. *Desalination*, 181(1), 27-33.
- Kim, S., Kim, T. H., Park, C., & Shin, E. B. (2003). Electrochemical oxidation of polyvinyl alcohol using a RuO₂/Ti anode. *Desalination*, 155(1), 49-57.
- Kobya, M., Can, O. T., & Bayramoglu, M. (2003). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of hazardous materials*, 100(1), 163-178.
- Kolesnikov, V. A., Il'in, V. I., Varaksin, S. O., & Shaturov, V. T. (1996). Electroflotation method and equipment for removing metals and organic contaminants from waste waters. *Russian journal of heavy machinery C/C of tiazheloe mashinostroenie*, 37-38.
- Kubritskaya, T. D., Drako, I. V., Sorokina, V. N., & Drondina, R. V. (2000). Use of electrochemical methods to purify the waste water from the production of concentrates in the food industry. *Surface Engineering And Applied electrochemistry C/C OF elektronnaia obrabotka materialov*, (6), 62-68.
- Kyzas, G. Z., & Matis, K. A. (2016). Electroflotation process: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 220, 657-664.
- Ladu, J. L. C., & Lü, X. W. (2014). Effects of hydraulic retention time, temperature, and effluent recycling on efficiency of anaerobic filter in treating rural domestic wastewater. *Water Science and Engineering*, 7(2), 168-182.
- Lew, B., Lustig, I., Beliaevski, M., Tarre, S., & Green, M. (2011). An integrated UASB-sludge digester system for raw domestic wastewater treatment in temperate climates. *Bioresource technology*, 102(7), 4921-4924.
- Liu, X., & Dong, C. (2011). Simultaneous COD and nitrogen removal in a micro-aerobic granular sludge reactor for domestic wastewater treatment. *Systems Engineering Procedia*, 1, 99-105.
- Mansour, L. B., Ksentini, I., & Elleuch, B. (2007). Treatment of wastewaters of paper industry by coagulation—electroflotation. *Desalination*, 208(1), 34-41.

- Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of environmental management*, 90(1), 652-659.
- Matis, K. A. (1992). Electrolytic flotation. In *Innovations in Flotation Technology* (pp. 301-304). Springer Netherlands.
- Matis, K. A., & Zouboulis, A. I. (1995). Electrolytic flotation: an unconventional technique. *Flotation Science and Engineering*, 385-413.
- Merzouk, B., Madani, K., & Sekki, A. (2010). Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. *Desalination*, 250(2), 573-577.
- Metcalf & Eddy, (2003), “ Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse”, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, USA.
- Moawad, A., Mahmoud, U. F., El-Khateeb, M. A., & El-Molla, E. (2009). Coupling of sequencing batch reactor and UASB reactor for domestic wastewater treatment. *Desalination*, 242(1), 325-335.
- Moharram, M. A., Abdelhalim, H. S., & Rozaik, E. H. (2016). Anaerobic up flow fluidized bed reactor performance as a primary treatment unit in domestic wastewater treatment. *HBRC Journal*, 12(1), 99-105.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of hazardous materials*, 84(1), 29-41.
- Mollah, M. Y., Morkovsky, P., Gomes, J. A., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of hazardous materials*, 114(1), 199-210.
- Mostefa, N. M., & Tir, M. (2004). Coupling flocculation with electroflotation for waste oil/water emulsion treatment. Optimization of the operating conditions. *Desalination*, 161(2), 115-121
- Murugananthan, M., Raju, G. B., & Prabhakar, S. (2004). Separation of pollutants from tannery effluents by electro flotation. *Separation and Purification Technology*, 40(1), 69-75.

- Nenno, V. E., Zelentsov, V. I., Datsko, T. Y., & Dvornikova, E. E. (1994). Gold and silver sorption from cyanide solutions by activated coal and metal isolation by electroflotation. *Surface engineering and applied electrochemistry C/C of elektronnaia obrabotka materialov*, 50-50.
- Nenno, V. E., Zelentsov, V. I., Mel' nichuk, E. V., Romanov, A. M., Datsko, T. Y., & Radzilevich, T. M. (1988). Experience in operating a device for concentration of mineral raw material combining electroflotation and separation in a froth layer. *Electronnaya Obrabotka Materialov*, 6, 77-79.
- Özgürses, M.T. (2003). Elektrokoagülasyon ile reaktif tekstil boya çözeltilerinin arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 39-75.
- Öztürk, T. (2006). İzmit evsel ve tehlikeli katı atık düzenleme depolama tesisi sızıntı sularının elektro- ve kimyasal koagülasyon yöntemleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi, Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Palomino Romero, J. A., Cardoso Junior, F. S. S., Figueiredo, R. T., Silva, D. P., & Cavalcanti, E. B. (2013a). Treatment of biodiesel wastewater by combined electroflotation and electrooxidation processes. *Separation Science and Technology*, 48(13), 2073-2079.
- Palomino-Romero, J. A., Salazar-Banda, G. R., & de O. Rezende, M. O. (2013b). Treatment of sewage by electroflotation: a pilot study. *Separation Science and Technology*, 48(1), 192-198.
- Panizza, M., & Cerisola, G. (2004). Influence of anode material on the electrochemical oxidation of 2-naphthol: Part 2. Bulk electrolysis experiments. *Electrochimica acta*, 49(19), 3221-3226.
- Patel, P. S., Bandre, N., Saraf, A., & Ruparelia, J. P. (2013). Electro-catalytic materials (electrode materials) in electrochemical wastewater treatment. *Procedia Engineering*, 51, 430-435.
- Poon, C. P. (1997). Electroflotation for groundwater decontamination. *Journal of hazardous materials*, 55(1), 159-170.
- Prokop'eva, M. F., Tkacheva, V. N., & Kirshina, E. Y. (1988). A gas chromatographic investigation of the composition of spent cooling lubricants and the products

- formed during their electroflotation-coagulation treatment. *Khimiya i Tekhnologia Vody*, 10(4), 335-337.
- Rajeshwar, K. ve Ibanez, J., (1996). *Environmental electrochemistry: fundamentals and applications in pollution abatement*. Academic Press, Inc., London.
- Rashed, E. M., El-Shafei, M. M., Heikal, M. A., & Noureldin, A. M. (2014). Application of contact stabilization activated sludge for enhancing biological phosphorus removal (EBPR) in domestic wastewater. *HBRC Journal*, 10(1), 92-99.
- Romanov, A., Kobya, M., Dimoğlu, A. (2000). Atıksulardaki kolloidal partiküllerin elektroflotokoagülasyonla giderimi, İTÜ 7. Endüstriyel Kirlenme Lontrolü Sempozyumu 2000, S. 67-74, İstanbul.
- Sarala, C. (2012). Domestic wastewater treatment by electrocoagulation with Fe-Fe electrodes. *International Journal of engineering trends and technology*, 3, 4.
- Shendrik, O. R., Andreeva, E. E., Ponomarev, M. I., & Ivanenko, I. B. (1993). Electroflotation treatment of fat-containing solutions. *Journal of water chemistry and technology C/C of khimııa ı tekhnologıa vody*, 15, 38-38.
- SKKY (2004). Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, 31.12.2004, Sayı;25687
- Solak, M., Kılıç, M., Hüseyin, Y., & Şencan, A. (2009). Removal of suspended solids and turbidity from marble processing wastewaters by electrocoagulation: Comparison of electrode materials and electrode connection systems. *Journal of Environmental Engineering and Technology*, 1(1), 1-10.
- Srinivasan, V., & Subbaiyan, M. (1989). Electroflotation studies on Cu, Ni, Zn, and Cd with ammonium dodecyl dithiocarbamate. *Separation Science and Technology*, 24(1-2), 145-150.
- Sun, T., He, Y., Ou, Z., Li, P., Chang, S., Qi, B., ... & Yang, G. (1998). Treatment of domestic wastewater by an underground capillary seepage system. *Ecological Engineering*, 11(1), 111-119.
- Şahan, T. (2008). Atık sularda bulunan bazı ağır metallerin biyosorpsiyon ile uzaklaştırılması ve biyosorpsiyon koşullarının optimizasyonu, Doktora tezi, Yüzüncüyıl Üniversitesi, Van, 138.
- Vlyssides, A. G., Karlis, P. K., & Zorpas, A. A. (1999a). Electrochemical oxidation of noncyanide strippers wastes. *Environment international*, 25(5), 663-670.

- Vlyssides, A. G., Loizidou, M., Karlis, P. K., Zorpas, A. A., & Papaioannou, D. (1999b). Electrochemical oxidation of a textile dye wastewater using a Pt/Ti electrode. *Journal of Hazardous Materials*, 70(1), 41-52.
- Vlyssides, A. G., Papaioannou, D., Loizidou, M., Karlis, P. K., & Zorpas, A. A. (2000). Testing an electrochemical method for treatment of textile dye wastewater. *Waste management*, 20(7), 569-574.
- Von Sperling, M. (1996). Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. *Water science and technology*, 33(3), 59-72.
- Yazıcı, H. (2007). *Marrubium Globosum SSP. Globosum bitkisi ile sulu çözeltilerden Cr ve Cu²⁺ iyonlarının biyosorpsiyonunun incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 140.
- Zeletsov, V. I., & Kiselev, K. (1986). An investigation of separation of valuable components from solutions with electrical flotation. *Sov. Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, (4), 70-76.

İnternet Adresleri

<http://www.tuik.gov.tr/>

<http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=267>

http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1576, 2016

<https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselistatistik/tabloOlustur.do, 2016>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zehra Çolak
Doğum Yeri : Kahta
Doğum Tarihi : 21.09.1985
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kahta Süper Lise/2003
Lisans : Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği/2011
Yüksek Lisans : Adıyaman Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim
Dalı/2017

Çalıştığı Kurum ve Yıl

Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi/2016