

ELEKTROKİMYASAL PROSES KULLANILARAK  
KENTSEL VE YÜKSEK ORGANİK İÇERİKLİ  
ATIKSULARIN ARITILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI

CEYHUN AKARSU

MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERSİN  
TEMMUZ – 2014

ELEKTROKİMYASAL PROSES KULLANILARAK  
KENTSEL VE YÜKSEK ORGANİK İÇERİKLİ  
ATIKSULARIN ARITILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI

CEYHUN AKARSU

MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN  
Prof. Dr. Fadime TANER

MERSİN  
TEMMUZ - 2014

Ceyhun AKARSU tarafından Prof. Dr. Fadime TANER danışmanlığında ve Prof. Dr. Azize AYOL eş danışmanlığında hazırlanan "Elektrokimyasal Proses Kullanılarak Kentsel ve Yüksek Organik İçerikli Atıksuların Arıtılabilirliğinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.






Prof. Dr. Fadime TANER

Prof. Dr. Azize AYOL

Prof. Dr. Nurcan KÖLELİ

Doç.Dr. Bahadır Kürşad KÖRBAHTI

Yrd.Doç.Dr. Nadir DİZGE

İmza  
  
  
  
  


Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/09/2014 tarih ve 214/19/522 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## **ELEKTROKİMYASAL PROSES KULLANILARAK KENTSEL VE YÜKSEK ORGANİK İÇERİKLİ ATIKSULARIN ARITILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ceyhun AKARSU**

### **ÖZ**

Son yıllarda düşük maliyet ve yüksek verimli arıtım metodlarına verilen önem artış göstermiştir. Bu metodlardan biri de elektrokimyasal prostedir. Çalışmada 4 farklı atıksu numunesinden elektrokimyasal prosesi ile kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), katı madde (KM), askıda katı madde (AKM), organik madde (OM), ve uçucu askıda katı madde (U-AKM) ve nutrient giderimi araştırılmıştır. Sistemde işleme tabi tutulan suyun elektriksel iletkenlik, tuzluluk, sıcaklık ve pH değişkenleri ölçülmüştür. Reaktörde elektrot olarak alüminyum, titanyum ve demir kullanılmıştır. Reaktörden belirli zaman periyotlarında sistemden numuneler alınmış alınan numunelerde giderim verimleri belirlenmiştir. Kentsel nitelikli atıksuların arıtıldığı bir atıksu arıtma tesisinden alınan ham kentsel atıksu ve kentsel katı atık depolama sahasından alınan sızıntı suyunda maksimum KOİ giderimi demir elektrotunda sırasıyla %80-100 , %55-70 aralığında elde edilmiştir. Bir bira fabrikasından alınan ham atıksuda maksimum KOİ giderim verimi alüminyum elektrotu için %30-45 arasında saptanmıştır. Pakmaya fabrikasından alınan numuneye ait maksimum KOİ giderim verimi ise titanyum plaka da %40-55 arasında saptanmıştır. Reaktör sisteminde kentsel atıksu ve sızıntı suyu için AKM ve organik madde gideriminde önemli bir giderim verimi sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrokimyasal arıtma, Evsel Atıksu, Sızıntı suyu, Maya Endüstrisi Atıksuyu, Bira Endüstrisi Atıksuyu

**Danışman:** Prof. Dr. Fadime TANER, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**Eş Danışman:** Prof. Dr. Azize AYOL, Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

## **RESEARCHING OF TREATABILITY OF DOMESTIC AND HIGH STRENGTH WASTEWATER BY USING ELECTROCHEMICAL PROCESS**

**Ceyhun AKARSU**

### **ABSTRACT**

In recent years, the importance to low cost and high efficient treatment methods have been increased. One of these processes is the electrochemical process. In this study, the removal of chemical oxygen demand ( COD ), suspended solids ( SS ), nutrients from domestic wastewater, leachate, brewery factory wastewater and yeast factory wastewater were experimentally investigated by using electrochemical process. Electrical conductivity, salinity, temperature, and pH were measured after the process application. Aluminium, iron and titanium as materials for electrodes were used in the reactors, simultaneousl. Samples were taken in certain time intervals and removal efficiencies were determined. 80-100% and 55-70% COD removals were obtained by iron electrodes in domestic wastewater and leachate, respectively. 30-45% COD removal efficiency was achieved by aluminium electrodes in brewery wastewater. For yeast wastewater, COD removal efficiencies were 40-55% by using titanium electrodes. In this study, experimental results from domestic wastewater and leachate showed that the electrochemical process was also effective on SS and nutrient removal.

**Key Words:** Electrochemical treatment method, domestic wastewater, leachate water, brewery wastewater, yeast wastewater

**Advisor:** Prof. Dr. Fadime TANER, Department of Environmental Engineering, University of Mersin

**Co-Advisor:** Assoc. Prof. Dr. Azize AYOL, Department of Environmental Engineering, University of Dokuz Eylul

## TEŞEKKÜR

Lisans öğrenimimle birlikte bu tez çalışmasında yardımlarını unutamayacağım, her türlü ilgi ve desteğini asla eksik etmeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yalnız bırakmayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Fadime TANER'e,

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgisini paylaşan, zamanını bana ayıran, yeni bir çalışma alanı sunan, ilgi ve desteğini eksik etmeyen değerli eş danışman hocam Prof. Dr. Azize AYOL'a,

Üniversite öğrenimim ve tez çalışmam boyunca desteklerini aldığım Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nün tüm öğretim üyeleri ve personeline,

Yüksek lisans eğitimim sırasında bilgi ve yardımı eksik etmeyen Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nün tüm öğretim üyeleri ve personeline,

Ve son olarak yaşamım boyunca vermiş olduğum tüm kararlarda beni destekleyen bu tez çalışması ile birlikte her türlü konuda maddi-manevi ilgisini her an üzerimde hissettiğim aileme, ve özellikle Meltem SARP'a, Mustafa KIRSEVEN'e

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ceyhun AKARSU

Mersin, Temmuz 2014

## İçindekiler

<b>ÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLERİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ELEKTROKİMYASAL ARITIM.....	1
1.1.1 Koagülasyon Ve Flokülasyon Mekanizmaları .....	2
1.1.1.1 Kolloidal partikül arayüzü.....	2
1.1.1.2 Kolloidlerin stabilitesi .....	4
1.1.1.3 Kolloidlerin destabilizasyonu.....	5
1.1.1.4 Koagülant madde .....	6
1.1.2 Elektrokoagülasyon Prosesi .....	7
1.1.2.1 Proseste gerçekleşen reaksiyonlar.....	9
1.1.2.2 Çamur özellikleri.....	11
1.1.2.3 Arıtım parametreleri.....	11
1.1.2.4 Elektrokoagülasyon reaktör türleri ve tasarımı .....	12
1.1.2.5 Elektrokoagülasyon prosesi kullanım alanları .....	14
1.1.2.6 Ekonomik ve ekolojik yapı .....	15
1.1.3 Elektrooksidasyon Prosesi.....	16
1.1.4 Elektroflotasyon Prosesi .....	18
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRILMASI</b> .....	<b>19</b>
2.1 ELEKTROKİMYASAL PROSES İLE KENTSEL ATIKSU ARITIMI.....	19
2.2 ELEKTROKİMYASAL PROSES İLE ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMI.....	19
2.3 ELDE EDİLEN ÇAMUR.....	20
<b>3. MATERYAL METOD</b> .....	<b>21</b>
3.1 MATERYAL.....	21
3.1.1 Elektrokimyasal Reaktör .....	22
3.1.2 Atıksu Örnekleri.....	23
3.1.2.1 Kentsel atıksu .....	23

3.1.2.2 Sızıntı suyu.....	24
3.1.2.3 Maya sanayi atıksuyu.....	25
3.1.2.4 Bira ve malt sanayi atıksuyu.....	25
3.2 METOD .....	26
3.2.1 Yapılan Analizler .....	26
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>27</b>
4.1 KENTSEL ATIK SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI.....	27
4.1.1 Atıksuda Katı Madde, Organik Madde, Askıda Katı Madde Ve Uçucu Askıda Katı Madde Giderimi .....	28
4.1.2 Kentsel Atıksuda KOİ Giderimi .....	37
4.1.3 Kentsel Atıksuda Nutrient Giderimi .....	39
4.2 SIZINTI SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI .....	40
4.2.1 Sızıntı Suyunda Askıda Katı Madde, Katı Madde ve Uçucu Askıda Katı Madde Giderimi .....	41
4.2.2 Sızıntı Suyunda KOİ Giderimi.....	44
4.2.3 Sızıntı Suyu Nutrient Giderimi .....	45
4.3 BİRA VE MALT SANAYİ ATIK SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI .....	45
4.3.1 Bira Sanayi Atıksuyunda Askıda Katı Madde, Katı Madde ve Uçucu Askıda Katı Madde Giderimi .....	46
4.3.2 Bira Atıksuyunda KOİ Giderimi.....	49
4.3.3 Bira Sanayi Atıksuyu Nutrient Analizi .....	51
4.4 MAYA SANAYİ ATIK SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI .....	51
4.4.1 Maya Sanayi Atıksuyunda Askıda Katı Madde, Katı Madde ve Uçucu Askıda Katı Madde Giderimi .....	52
4.4.2 Maya Sanayi Atıksuyunda KOİ Giderimi.....	55
4.4.3 Maya Sanayi Atıksuyunda Nutrient Giderimi .....	56
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>57</b>
5.1 KENTSEL ATIKSU ARITIMI.....	57
5.2 SIZINTI SUYU ARITIMI .....	57
5.3 BİRA SANAYİ ATIKSUYU ARITIMI .....	58
5.4 MAYA SANAYİ ATIKSUYU ARITIMI .....	59
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>60</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>67</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Zeta Potansiyeli gösterimi.....	3
Şekil 1.2. İki partikül arasındaki mesafenin bunların arasında etkili olan net kuvvete etkisi .....	5
Şekil 1.3. EC prosesinde oluşan reaksiyonlar .....	9
Şekil 1.4. Örnek elektrokoagülasyon reaktörü a) yatay , b) dikey .....	13
Şekil 1.5. Su akış modu.....	14
Şekil 1.6. Elektrooksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanması.....	17
Şekil 3.1. Elektrokimyasal Reaktör Düzenegi .....	22
Şekil 3.2. Elektrokimyasal Reaktör Düzenegi - 2 .....	23
Şekil 4.1. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi .....	29
Şekil 4.2. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı UAKM giderimi .....	30
Şekil 4.3. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi.....	31
Şekil 4.4. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı organik madde giderimi .....	32
Şekil 4.5. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi .....	33
Şekil 4.6. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı UAKM giderimi .....	34
Şekil 4.7. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi.....	35
Şekil 4.8. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı organik madde giderimi .....	36
Şekil 4.9. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi .....	38
Şekil 4.10. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi .....	39
Şekil 4.11. Sızıntı suyunda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi.....	42
Şekil 4.12. Sızıntı suyunda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi .....	43
Şekil 4.13. Sızıntı suyunda elektrot ve zamana bağlı U-AKM giderimi .....	44
Şekil 4.14. Sızıntı suyunda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi .....	45
Şekil 4.15. Bira ve malt sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi ...	47
Şekil 4.16. Bira ve malt sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı U-AKM giderimi .....	48
Şekil 4.17. Bira ve malt sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi .....	49
Şekil 4.18. Bira ve malt sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi .....	50
Şekil 4.19. Maya sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi.....	53
Şekil 4.20. Maya sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı U-AKM giderimi .....	54
Şekil 4.21. Maya sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi .....	55
Şekil 4.22. Maya sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi .....	56

## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. Koagülant maddeler .....	6
Çizelge 3.1. Kentsel atıksuyuna ilişkin özellikler .....	24
Çizelge 3.2. Katı atık depolama alanı sızıntı suyuna ilişkin özellikleri .....	24
Çizelge 3.3. Maya sanayi atıksuyuna ilişkin özellikler .....	25
Çizelge 3.5. Çalışma süresince analizlerde kullanılan parametre, numune, metod ve enstrüman gösterimi .....	26
Çizelge 4.1. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisine ait atıksuda 7.5 Volt ile elektrokimyasal arıtım ile farklı zamanlarda çalıştırılması ile ölçülen pH, sıcaklık, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik sonuçları .....	27
Çizelge 4.2. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisine ait atıksuda 15 Volt ile elektrokimyasal arıtım ile farklı zamanlarda çalıştırılması ile ölçülen pH, sıcaklık, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik sonuçları .....	28
Çizelge 4.3. Kentsel atıksuda elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde miktarı .....	29
Çizelge 4.4. Kentsel atıksuda elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde miktarı .....	30
Çizelge 4.5. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde yüzdesi .....	31
Çizelge 4.6. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı organik madde yüzdesi .....	32
Çizelge 4.7. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde miktarı .....	33
Çizelge 4.8. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde miktarı .....	34
Çizelge 4.9. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde miktarı .....	35
Çizelge 4.10. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı organik madde yüzdesi .....	36
Çizelge 4.11. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı kimyasal oksijen ihtiyacı analiz sonuçları .....	37
Çizelge 4.12. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisine ait numunenin 15 Volt ile Elektrokimyasal arıtım ile KOİ giderim sonuçları .....	38
Çizelge 4.13. Kentsel atıksu giriş değerleri ve reaktörün 7,5V ile 120 dakika süresince çalıştırılması sonucu elde edilen nütrient analiz sonuçları .....	39
Çizelge 4.14. Kentsel atıksu giriş değerleri ve reaktörün 15V ile 120 dakika süresince çalıştırılması sonucu elde edilen nütrient analiz sonuçları .....	40
Çizelge 4.15. Sızıntı suyunun 15 Volt ile Elektrokimyasal arıtım sonucu karakteristik özellikleri .....	40
Çizelge 4.16. Sızıntı suyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde miktarı .....	41

Çizelge 4.17. Sızıntı suyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde analiz sonuçları .....	42
Çizelge 4.18. Sızıntı suyunun elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde analiz sonuçları .....	43
Çizelge 4.19. Sızıntı suyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı KOİ giderim analiz sonuçları .....	44
Çizelge 4.20. Sızıntı suyunda elektrotla bağlı nütrient giderim analiz sonuçları.....	45
Çizelge 4.21. Bira ve malt sanayi atık suyunun 15 Volt ile Elektrokimyasal arıtım sonucu karakteristik özellikleri.....	46
Çizelge 4.22. Bira sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde miktarı.....	47
Çizelge 4.23. Bira sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde miktarı.....	48
Çizelge 4.24. Bira sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde yüzdesi.....	49
Çizelge 4.25. Bira sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı KOİ analiz sonuçları .....	50
Çizelge 4.26. Bira sanayi atıksuyunda elektrotla bağlı nutrient analiz sonuçları .....	51
Çizelge 4.27. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı işletim şartlarında pH, sıcaklık, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik sonuçları .....	51
Çizelge 4.28. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde analiz sonuçları .....	52
Çizelge 4.29. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde analiz sonuçları .....	53
Çizelge 4.30. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde analiz sonuçları.....	54
Çizelge 4.31. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı KOİ analiz sonuçları .....	55
Çizelge 4.32. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrotla bağlı nütrient analiz sonuçları .....	56

## **1. GİRİŞ**

Dünya popülasyonu artışı ve temiz su kaynaklarındaki azalma yeni su arıtma teknolojilerine olan ilgiyi arttırmaktadır. Hem kentsel hem de endüstriyel alanlarda kullanılan atıksu arıtım teknolojileri, su ortamlarını korunması için geliştirilmelidir.

Yüksek organik içerikli atıksular için akla gelen birincil arıtım metodu biyolojik arıtım olsa da atıksuların çok farklı kirletici türlerini barındırması, biyolojik olarak parçalanamayacak madde bulundurması, işletim maliyeti ve işletme zorluğu ile birlikte istenilen hız ve etkide olmaması nedeniyle alternatif arıtım prosesleri üzerine çalışmalar sürdürülmektedir.

Tüm atıksular göz önüne aldığımızda en yüksek debili atıksular evsel atıksulardır. Endüstri türlerine bağlı olarak endüstriyel atıksu tipleri değişkenlik gösterirken evsel atıksular her bölgede oluşmaktadır. İncelendiğinde çok farklı yöntemlerle evsel atıksuların arıtılabilirliği üzerine çalışıldığı görülmektedir[1].

Elektrokimyasal teknolojiler, çevre sorunlarının çözümünde uygulanan kimyasal proseslerin aksine atık hacmini arttırmadıklarından ideal prosesleri oluşturmaktadır. Elektrokimyasal metodlar genellikle oda sıcaklığında çalışır; seçimli ayırmaya ve geri kazanmaya yardımcı olur. Reaksiyonlar üzerinde, uygulanan potansiyel farkı veya akım yoluyla kontrol sağlanır ve reaksiyonun izlediği yol güç kaynağı kontrolüyle takip edilerek meydana gelebilecek kazalar önlenir. Bu sebeplerden dolayı elektrokimyasal teknoloji çevre temizliği için diğer alternatif yöntemlerden daha fazla kabul görmektedir[2].

## 1.1 ELEKTROKİMYASAL ARITIM

Elektrokimyasal arıtım proseslerinin genel mekanizmasında koagülasyon, adsorbsiyon, çöktürme ve flotasyon prosesleri bulunur [3]. Son yıllarda elektrokimyasal arıtım prosesi çevreye uyumlu ve çok yönlü bir arıtım prosesi olmasından dolayı atıksu arıtımında oldukça dikkat çekmektedir. Elektrokimyasal proseslerin en önemli farklılıkları prosesin şekli ve yapısıdır(Elektrot tipi, uygulanan akım, elektriksel gerilim ve prosesin tipi). Özellikle elektrot tipi sistemin elektrokoagülasyonu mu yoksa elektrooksidasyonu mu tetikleyeceğini belirleyen unsurların başında gelmektedir.[4]

### 1.1.1 Koagülasyon Ve Flokulasyon Mekanizmaları

Atıksulardaki kirleticiler daha çok koloidal partikül halindedir ve bu partiküller filtrasyon, sedimentasyon ve flotasyon ile kolayca giderilemezler. Bu partiküller küçük boyuttadır ve yüksek yüzey alanına sahiptirler.

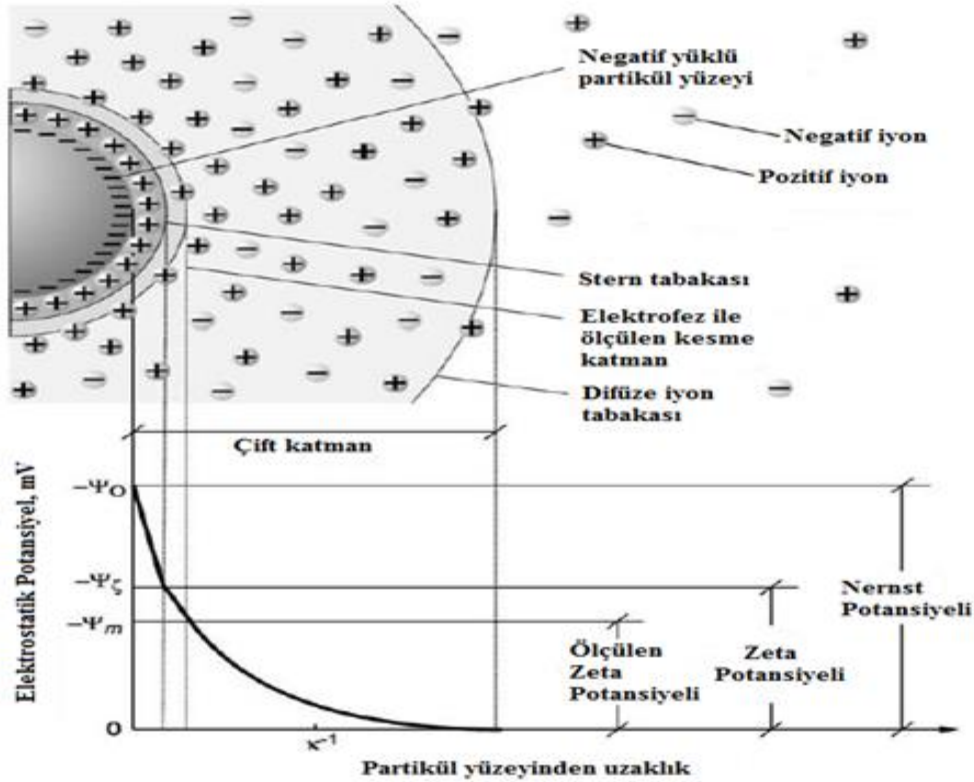
#### 1.1.1.1 Kolloidal partikül arayüzü

Kolloid başka bir madde içinde sağılmış mikroskobik bir maddedir[5]. Bu partiküllerin çapı 1 nm ile 1µm arasında değişmektedir[6]. Bu partiküller normal olarak optik mikroskopta görülemezler, ultramikroskop veya elektron mikroskopu kullanılarak varlığı tespit edilebilir. Bu boyutlarda dağılmış faz bulunan homojen karışımlar genel olarak koloidal aerosoller, koloidal emülsiyonlar, koloidal köpükler, koloidal dispersiyon ve hidrosoller olarak adlandırılmaktadır.

Çözelti içindeki kolloidlerin stabil ve destabil durumda bulunmaları parçacık yüzey yüklerinin bir sonucudur. Çözeltide ki kolloidde iyonizasyon, iyon adsorpsiyonu gibi olaylarla yüzey yükü oluşabilir. Kolloid yüzeyinde oluşan yük formu çözelti içindeki diğer iyonları da etkiler. Aynı yüke sahip iyonları iterken karşıt yükteki iyonlar yüzeye doğru çekilir. İyonların partikül yüzeyine oluşturdukları bu tepki elektriksel çift tabaka oluşmasına sebep olur[7].

Kolloidlerin kararlılığı sahip oldukları yüzeysel elektriksel yüke bağlıdır. Tanecik yüküne bağlı olarak yakın çevresi tanecik ile zıt yüklü iyonlarla çevrilir. Buna

sabit tabaka veya stern tabakası denir. Tanecik yüzeyinden uzaklaştıkça elektriksel çekim azaldığından zıt yüklü iyonların arasına, aynı yüklü iyonlarda karışabilir. Tanecikten belli bir mesafe sonra elektriksel potansiyel sıfırlanır. Bu mesafe izoelektrik nokta olarak adlandırılır. Sabit tabakanın bitişinden izo elektrik noktaya kadar olan mesafeye de dağınık tabaka veya difüze tabaka denir. Taneciğin yüzeyine yakın olan ve tanecikle birlikte hareket eden bir sınır düzlemi vardır bu düzleme de kesme düzlemi denir. Kesme yüzeyindeki elektriksel potansiyel ile izoelektrik nokta arasındaki potansiyel farkına ise Zeta Potansiyeli denir.



Şekil 1.1. Zeta Potansiyeli gösterimi[8]

Yüklü yüzey arabirimi Helmholtz, Gouy and Chapman modelleri kullanılarak tanımlanmıştır[5]. Stern bu modelleri kullanarak günümüz elektriksel çift tabaka modelini yaratmıştır. Bu modelde bir iç katman (Stern yada Helmholtz tabakası) ve bir de dış

katman ( Gouy-Chapman tabakası) vardır. Dış katmandaki iyonlar difüzyon etkisindeyken iç katmandaki iyonlar yüzeye sıkı bir şekilde bağlı durumdadır. Gouy-Chapman modeline göre çift tabakada dağılım potansiyeli aşağıdaki eşitlik ile tespit edilebilir :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon} \quad (1)$$

$\psi$ : difüze katman ile yaygın tabaka arasındaki elektriksel potansiyel

$\rho$ : o noktadaki yük yoğunluğu

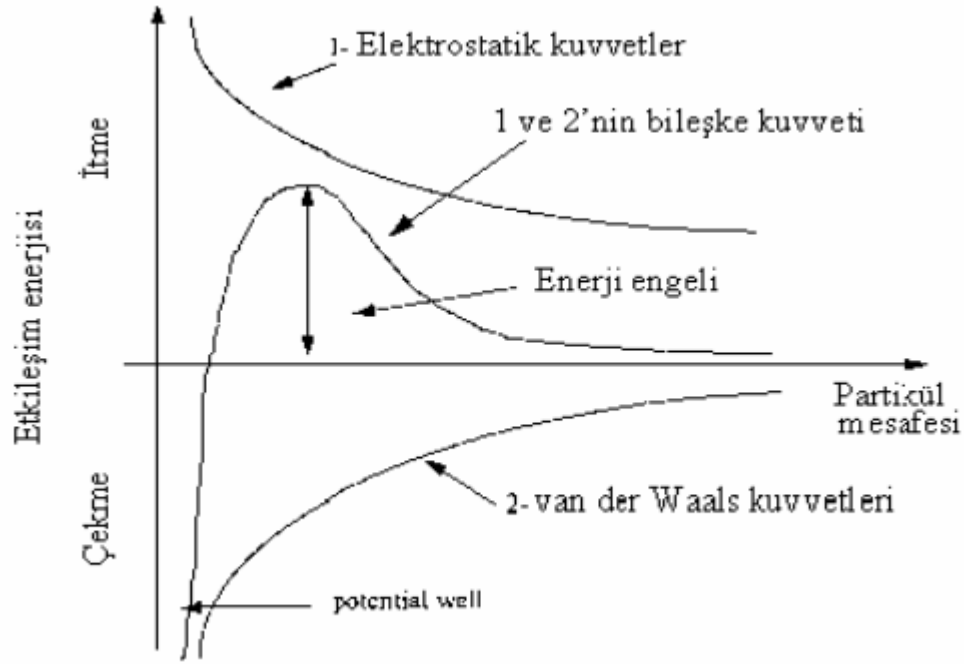
$\epsilon$ : iletkenlik

#### 1.1.1.2 Kolloidlerin stabilitesi

Kolloidlerin kümeleştirilmesi veya çöktürülmesi çok yavaş işler bu nedenle sabit dağılım gösterirler. Bu önemlidir çünkü su ve atıksu arıtımı düşünüldüğünde bu partiküller çöktürme işlemi ile ortamdan uzaklaştırılamayacaktır. Bununla birlikte tanecikler, moleküllerarası çekim kuvveti olan Van der waals kuvvetleri ile de birbirini çekmeye başlar. Bütün moleküller ve kolloidler yükleri ve bileşimleri dikkate alınmaksızın bir çekim kuvvetine sahiptir. Bu çekim kuvvetinin büyüklüğü; taneciğin yoğunluğunun ve bileşiminin bir fonksiyonudur. Sulu fazın bileşiminden bağımsız durumdadır. Van der waals kuvvetleri tanecik yüzeyinden uzaklaştıkça azalır.

Kolloidler su içinde Brownian hareketle hareket ederler. Aynı yüklü iki kolloid bir arada olduklarında birbirlerini itmek isterler. Çekme kuvveti ise Van der Waals kuvvetleri ile Brownian hareketlerinden doğan kinetik enerjiden dolayı ortaya çıkar.

İtme kuvvetleri; hidrofobik sistemde zeta potansiyelinden, hidrofilik sistemde ise zeta potansiyeline ek olarak, parçacığı çevreleyen su kütesinden etkilenir. Bağlı su elektriksel bir yalıtkan gibi davranır ve taneciklerin birbirine yaklaşmasını engeller.



Şekil 1.2. İki partikül arasındaki mesafenin bunların arasında etkili olan net kuvvete etkisi[8]

Tanecikler birbirine yaklaştığında artan itme kuvvetine karşılık, enerji engelini aşacak kadar yeterince yaklaştığında van der waals kuvvetleri etkin duruma geçer. Böylece partiküller bir arada kalabilirler. Eğer kolloidleri kararsızlaştırmak ve bir araya getirmek için, var olan enerji engelini aşabilecek kinetik enerjinin sağlanması veya enerji bariyerinin düşürülmesi gerekir.

#### 1.1.1.3 Kolloidlerin destabilizasyonu

Kolloidlerin zeta potansiyeli, sistemin pH' sını izoelektrik noktaya ayarlayarak azaltılabilir. İzoelektrik noktada birincil yük sıfırdır ve zeta potansiyelini oluşturmak üzere çift tabaka mevcut değildir. Zeta potansiyelini azaltmanın bir yolu da kolloidlerle zıt yüklü iyon veya kolloidlerin eklenmesidir. Böylece kesme düzlemindeki yük düşer. Kolloidlerle "karşılıklı yumaklaşma", iyonlarla sabit veya dağınık tabakada bu zıt yüklü iyonların çoğalması nedeni ile yumaklaşma olur. İyonlarla yumaklaşma da eklenen iyonun değeri önemlidir. Hidrofilik kolloidler için zeta potansiyelini azaltmaya ilave olarak,



taneciği çevreleyen bağlı suyunda uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla yoğun tuz ilave edilir. Bu tuzların en önemlileri  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $I^-$  anyonları içerenlerdir. Suyu çok duyarlı olan bu anyonlar kolloidlerdeki bağlı suyu alırlar[9]. Kolloidlerin destabilizasyonunda dört farklı mekanizma söz konusudur

-Çift tabakanın sıkılaştırılması

-Adsorpsiyon ve yük nötralizasyonu

-Çökelek içinde tutma

-Adsorpsiyon ve tanecikler arası köprü oluşumu

#### 1.1.1.4 Koagülant madde

Kolloidal maddeler negatif yüklüdür, bu yüzden koagülant madde olarak 3+ değerlikli iyonlar tercih edilir. Bu elementlerin sülfat ve klorür bileşikleri suya eklenir ve sudaki alkalinite ile birleşerek metal hidroksitleri oluşturur. Oluşan metal hidroksitler normal pH değerlerinde az çözünen ve çökebilen özelliğe sahiptirler. Çökelti beraberinde bir araya gelen kolloid birikimlerini de çökeltirler. Koagülasyon işleminde yaygın olarak  $Ca(OH)_2$  kullanılmakla birlikte alüm,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve polimerler kullanılır.

Çizelge 1.1. Koagülant maddeler

Kimyasal Madde	Formül	Renk	Asitlik veya Alkalinite
Demir Klorür	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Kahverengi	Asit
Demir Sülfat – I	$Fe(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Sarımsı-kahverengi	Asit
Demir Sülfat – II	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Yeşil	Asit
Aluminyum Sülfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	Beyaz	Asit
Sodyum Aluminat	$NaAlO_2 \cdot nH_2O$	Beyaz	Alkali
Sönmüş Kireç	$Ca(OH)_2$	Beyaz	Alkali
Sönmemiş Kireç	$CaO$	Beyaz	Alkali

Atıksu arıtma işlemlerinde en yaygın kullanılan koagülant alüminyum sülfat dodekahidrat [ alüm,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  ]' tır. Alümün suda hidrolizi sonucu oluşan alüminyum hidroksit genellikle  $Al_2O_3 \cdot xH_2O$  kimyasal formundadır ve amfoterdir. Hem

baz hem de asit gibi davranır. Alüm flokları yaklaşık olarak pH 7’de en az çözünür. pH 7,6’nın altında flok yükü pozitif, pH 8,2’nin üstünde negatiftir [10].

Demir tuzları da yaygın bir şekilde koagülant olarak kullanılmaktadır ancak alüme göre daha pahalı olduklarından ekonomik olmaması nedeniyle daha az tercih edilir. FeCl<sub>3</sub> etkili bir koagülant olmasının yanı sıra, suda hidrolizi sonucu oldukça aktif ve geniş bir yüzey alanına sahip Fe(OH)<sub>3</sub> flokları da oluşturur. Böylece suda bulunan metaller ve bazı kirleticiler bu floklara adsorpsiyon yoluyla sistemden uzaklaşırlar.

Alüminyum tuzları ile optimum koagülasyon pH 5-7, demir tuzları ile optimum koagülasyon pH 4-10 arasında gerçekleşir. Bu tür koagülasyon işlemlerinde kolloidler hidrate polimerik yapı içerisinde tutulur [11].

### 1.1.2 Elektrokoagülasyon Prosesi

Elektrokoagülasyon (EC), elektroliz sonucu anotun çözünmesi ile arıtılacak atıksu içerisinde metal hidroksit floklarının oluşturulmasından ibaret olan bir prosesdir. EC prosesinin prensibi koagülasyon, adsorpsiyon, çöktürme ve flotasyon giderme mekanizmalarının biri veya bir kaçına dayandığı, alüminyum ve demir gibi metal anotların anodik çözünmeye uğraması ve hidrolizi ile çok az çözünen Al(OH)<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>2</sub> ve Fe(OH)<sub>3</sub> gibi metal hidroksitlerin oluşması şeklindedir [12,13].

Bu elektrotlardan çözünen metal iyonları ortam koşullarına göre metal-polimer kompleksleri oluşturmakta ve kirleticileri adsorplayarak koagüle olmaktadır. EC prosesinde genellikle art arda üç aşamanın olduğu kabul edilmektedir;

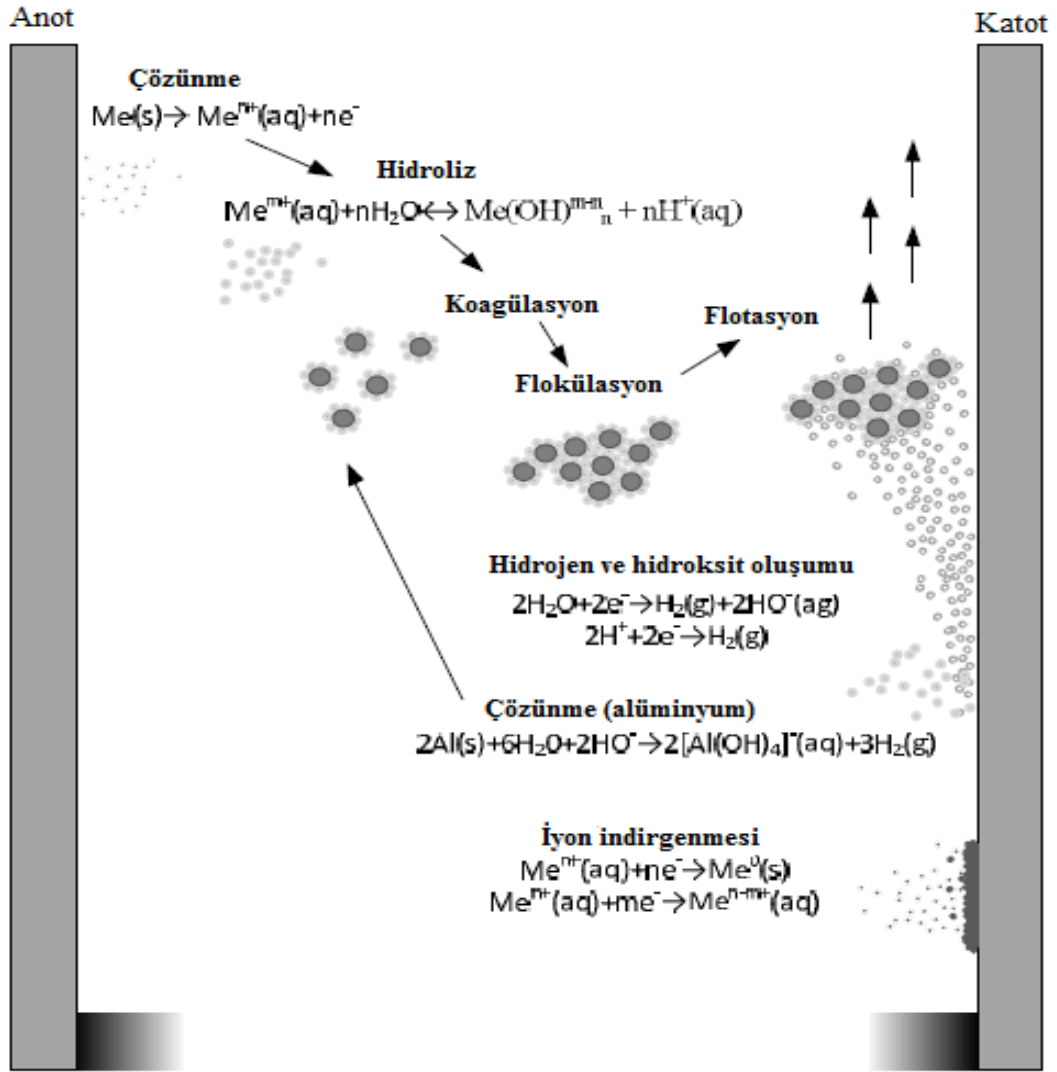
1. Elektrolitik oksidasyonda çözünen elektrot ile koagülan türlerin oluşumu,
2. Kararsız hale getirilmesi, partikül süspansiyonu ve emülsiyonların kırılması,
3. Kararsız hale getirilen fazlarda flokların toplanması [12,14].

Yaygın olarak kullanılan koagülasyon ve flokülasyon uygulamalarına kıyasla elektrokoagülasyon, elektriksel alanın varlığından dolayı en küçük kolloid tanecikleri uzaklaştırabilme avantajına sahiptir. Ayrıca oluşan çamur, temel olarak metal oksitleri

veya hidroksitleri içermesiyle kolay çökebilir ve susuzlaştırılabilir bir yapı sergilemektedir [15].

Elektrokoagülasyon prosesi; ağır metalleri giderir, süspansiyon ve koloidal katıları giderir, sudaki yağ emülsiyonlarını kırar, yağ ve gresi giderir, kompleks organikleri giderir, bakteri ve virüsleri giderir.

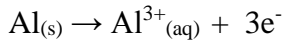
Faydaları; ilk yatırım maliyeti alternatif teknolojilerden belirgin bir şekilde düşüktür. İşletme maliyeti alternatif teknolojilerden belirgin bir şekilde düşüktür. Düşük enerji ihtiyacı gerektirir. Kimyasal ilavesi yoktur. Fazla bakım gerektirmez İşgücü ihtiyacı düşüktür. Çamur minimizasyonu sağlar. Birçok kontaminantı bir arada giderir. Diğer bir deyişle alternatif proseslerde belli kontaminantları gidermede birkaç proses art arda kullanılır. Ancak, elektrokoagülasyon bu kontaminantları tek bir prosesle giderebilmektedir.



Şekil 1.3. EC prosesinde oluşan reaksiyonlar[16]

#### 1.1.2.1 Proseste gerçekleşen reaksiyonlar

Demir ve alüminyum elektrotları suda çözünür ve oluşan maddeler koagülant madde görevini üstlenir. Bu elektrotlar suda aşağıdaki gibi çözünür:



3



Suda alüminyum Al(III) olarak çözünürken, demir Fe(II) veya Fe(III) olarak çözünebilir. Demirin bu kararsızlığını suyun pH'ı ve daha önemlisi suyun oksijene doygunluğu etkiler. Anoksik şartlarda demir 2+ yükseltgenir iken oksik şartlarda 3+'e yükseltgenir.

Bir elektrokoagülasyon prosesinde demir ve alüminyum için gerçekleşecek reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.



Alkali koşullarda



Asidik koşullarda



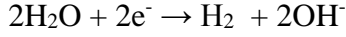
Alkali koşullarda



Asidik koşullarda



Bunların dışında katotta ortamdaki oksijenin değişime uğradığı bir tepkime gerçekleşir.



11

### 1.1.2.2 Çamur özellikleri

Günümüzde çamurun arıtımı ve bertaraf edilmesi yüksek maliyetli bir işlem olduğu için proses sonrası elde edilen çamurun özellikleri önemlidir. Elektrokoagülasyon çamurunda kullanılan elektrot çeşidine bağlı olarak farklı karakteristik özellikler gösterir. Elektrot olarak demirin kullanıldığı proses çamurunda demir-oksi hidroksit ( FeO(OH)) veya hematit görülebilirken alüminyum kullanılan proses çamurunda alüminyum hidroksit Al(OH)<sub>3</sub> veya alüminyum-oksi hidroksit AlO(OH) görülebilir[17]. Zodi ve arkadaşlarının[18] yaptığı çalışma da kağıt imalathanesinin çamur yapısı incelenmiştir. Çamurun arıtılan atıksu başına alüminyum için 0,207 – 0,310 L/g ve demir için 0,081 – 0,091 L/g oluşmuştur. Demir elektrotu sonucu oluşan çamurun daha yoğun ve daha fazla sıkışmış tabaka olduğu görülmüştür. Elektrokoagülasyon prosesi sırasında üretilen hidrojenin partikül flotasyonunu hızlandırdığı ve çöktürme hızını artırdığı görülmüştür.

### 1.1.2.3 Arıtım parametreleri

Elektrokoagülasyon ile atıksuda kirlilik giderimine etki eden bazı parametreler vardır. Bu parametreler ve etkileri aşağıdaki gibidir:

Elektrot cinsi; Demir, alüminyum veya titanyum gibi inert maddeler olabilir. Kullanılacak elektrot aynı zamanda reaktörde gerçekleşecek kimyasal tepkimeleri de belirlemiş olur. Optimum elektrot tercihi giderilmek istenen kirleticiye ve elektrotun kimyasal özelliklerine göre değişiklik gösterir. Genel olarak yapılan araştırmalar ışığında bakıldığında alüminyum elektrotunun demir elektrotuna göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Çözelti pH'ı; EC proses işlemi sırasında oluşacak metal hidroksitlerin üzerinde etkisi vardır. Ayrıca elektrotun çözünmesini de etkiler. Demir, alüminyuma göre daha

geniş pH aralığında etkilidir. Yüksek alkalın pH'ında reaktör ortamında düşük giderim özelliğine sahip  $Al(OH)_4^-$  ve  $Fe(OH)_4^-$  iyonları oluşur. pH'ın 3 ten düşük olduğu durumda ise alüminyum iyonlarının suya geçişi için gerekli akım artacaktır. Yüksek akım ihtiyacı yüksek elektrik ihtiyacı demektir. Buda proses işletme maliyetini arttıracaktır. Demir elektrotunda ise Fe(II) ve Fe(III) iyonları pH'ın 5 ten büyük olduğu ortamlarda suda serbest halde olabildikleri için düşük pH ta başarısız olacaktır[19].

Akım Yoğunluğu; Elektrot ile atıksu arasında gerçekleşecek elektrokimyasal reaksiyonları direkt olarak etkiler. Ayrıca suda çözünecek iyon miktarını da belirler

Alıkonma Süresi; Sistemde kullanılacak koagülant miktarı ile birlikte, düşük alıkonma süresinde gözlenebilecek yüksek verim başarılı bir sonuç olmasını sağlayacaktır.

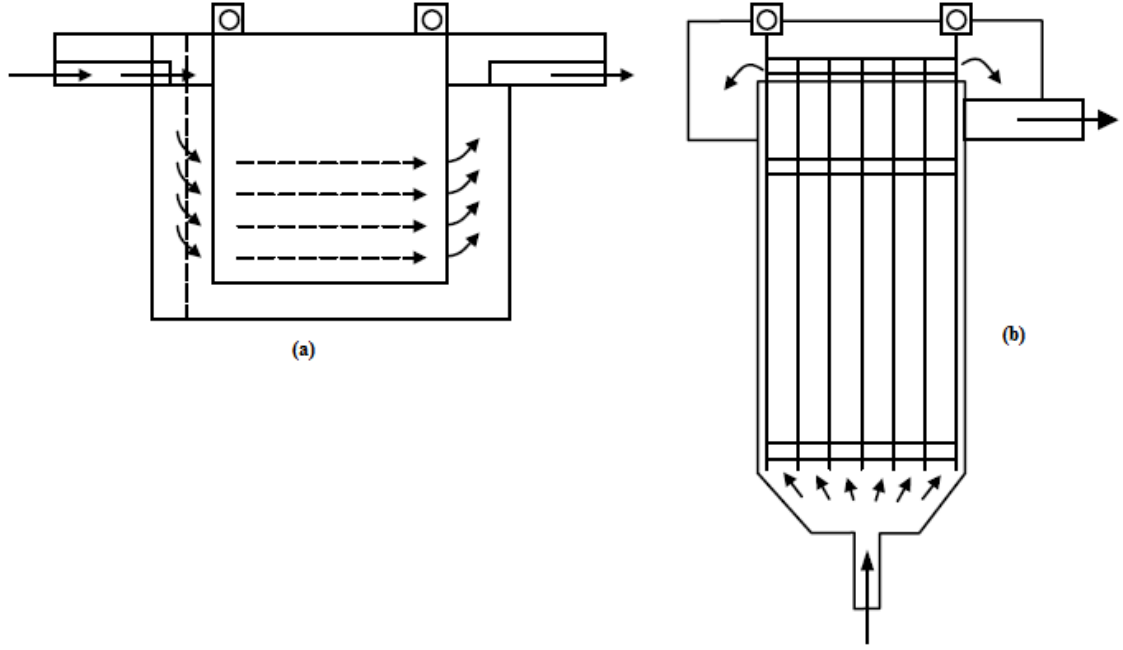
Sıcaklık; proses sırasında gerçekleşen reaksiyonlar ve iletkenlik üzerinde etkisi vardır. Ayrıca elektrot çeşidine bağlı olarak giderim oranına doğrudan etkisi vardır. Alüminyum elektrotu kullanılarak yapılan çalışmalarda atıksu sıcaklığı 60 °C yaklaştıkça arıtım verimi artış göstermiştir.

Kirletici Değişimi; giderim miktarını etkiler.

Anyon Değişimi; Atıksudaki anyon konsantrasyonu alüminyum elektrotunun pasif tabaka kararlılığını etkiler. Sülfat anyonları metal katyon oluşumunu azaltırken, klor elektrot üstünde aşınmaya neden olmaktadır.

#### 1.1.2.4 Elektrokoagülasyon reaktör türleri ve tasarımı

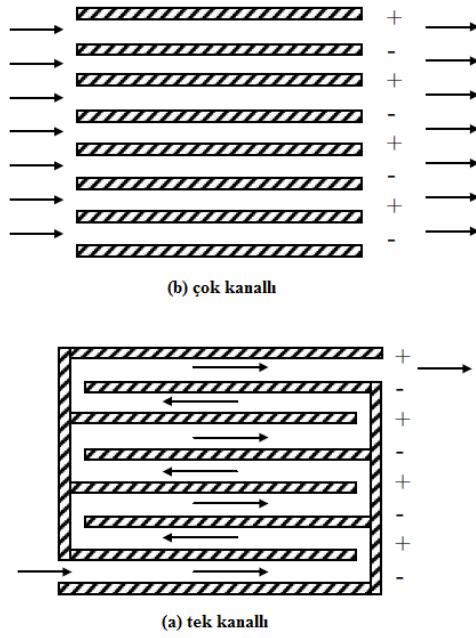
Kullanılan elektrotların yönüne bağlı olarak, elektrokoagülasyon reaktörü yatay veya dikey olabilir.



Şekil 1.4. Örnek elektrokoagülasyon reaktörü a) yatay , b) dikey [19]

Elektrokoagülasyon sistemini kolay işletilebilir olması için genellikle elektrot tabakaları bi-polar olarak yerleştirilir. Atıksu tek bir kanaldan veya birden fazla kanaldan akabilir.





Şekil 1.5. Su akış modu[19]

Çok kanallı sistemin işletimi kolay fakat her bir kanaldaki akım miktarı oldukça düşüktür. Elektrot yüzeyinin tamamı verimle kullanılamıyorsa tek kanallı sistem tercih edilmelidir[19].

#### 1.1.2.5 Elektrokoagülasyon prosesi kullanım alanları

Elektrokoagülasyon çalışmaları belirli karakterdeki kirlilik veya kirletici kaynağı üzerinde denenmiştir. Bu çalışmalar temel olarak 3 başlıkta incelenebilir[20].

Sentetik çözeltilerden, yer altı sularından veya atıksulardan metal iyon veya hidroksitlerin giderilmesi; Yapılan çalışmalarda sistem içerisindeki optimum şartlar sağlandığında yüksek miktarda giderim görülmüştür.

Sentetik çözeltilerden veya atıksulardan organik madde giderilmesi; Alüminyum ve demir gibi elektrotlar kullanıldığında atıksularda %70 üzerinde organik madde giderimi olduğu görülmüştür. Organik madde giderme de demir elektrotu, renk gideriminde alüminyum elektrotunun daha ideal olduğu görülmüştür.

Yüzey sularından organik - inorganik madde ve mikroorganizma giderilmesinde kullanılır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda aluminyum elektrotunun demir elektrotuna göre daha ideal olduğu ve giderim veriminin %90 üstünde olduğu gözlenmiştir.

#### 1.1.2.6 Ekonomik ve ekolojik yapı

Yapılan araştırmaların bazıları elektrokoagülasyonu ekonomik açıdan değerlendirmeye yöneliktir. Bu araştırmalarda ise temel gider tablosunu kullanılan kimyasal miktarı, elektrot ve elektrik enerjisi harcamaları oluşturmaktadır. Bu hesaplamalarda kaba tahmin üzerine kurulmuştur ve işletme için ön hazırlıkta gerekli yatırım maliyetleri bu hesaba katılmamaktadır. Eyvaz ve arkadaşlarının[21] boya endüstrisi atıksuyu üzerine maliyet çalışması yapmıştır. Bu çalışmada atıksudan giderilen TOK kg başına işletme maliyetinin 1,3 ile 3,4 dolar arası değiştiği görülmüştür. Sridhar ve arkadaşlarının[22] kağıt fabrikası atıksuyu işletme maliyeti analizinde ise maliyetin m<sup>3</sup> atıksu başına 1,52 dolar olduğu saptanmıştır. Meunier ve arkadaşları[23] elektrokimyasal ve kimyasal çöktürmeyi karşılaştırmış ve EC prosesinin 5 kat daha ucuz olduğunu belirlemiştir. Yine Kobya ve arkadaşlarının[24] yaptığı çalışma göstermiştir ki metal kesme atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılması ile oluşan maliyet metre küp atıksu başına demir elektrotu için 0,025 – 0,90 dolar aluminyum elektrotu için ise 0,01 – 0,79 dolardır. Bayramoğlu ve arkadaşlarının[25] yaptığı çalışmada ise tekstil atıksularının kimyasal olarak arıtımı elektrokoagülasyona göre 3,2 kat daha maliyetli olduğu görülmüştür.

Kimyasal koagülasyon ile elektrokoagülasyon maliyetinin karşılaştırıldığı çok az makale mevcuttur. Yaygın koagülantlar için ortalama maliyet hesabını yapmak gerçekte zor olabilir. Bunun nedeni harcanan koagülant miktarı ve cinsinin prosese göre değişiklik göstermesidir. Demir ve aluminyum metal formları metal tuz formlarına göre daha pahalıdır çünkü yüksek enerji gerektirir.

Bununla birlikte elektrokoagülasyonun ekolojik etkileri de bilinmemektedir. Daha önce ifade edildiği gibi metal elektrot formları yüksek enerji gerektirir. Yapılan

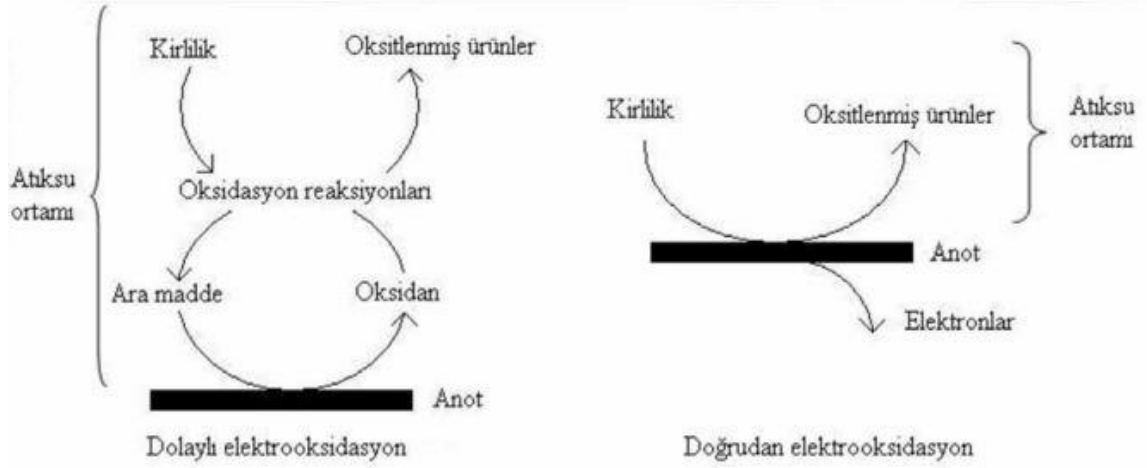
belirlemelerde Amerika’da aluminyum üretimi için harcanan enerji ülkenin toplam enerji harcamasının %5’ ini oluşturmaktadır. Bu nedenle genellikle aluminyum geri dönüşüme uğrattılıp metal form daha az enerji harcanarak elde edilir. Bu konuda daha belirgin açıklamalar yapabilmek için elektrokoagülasyon ile kimyasal koagülasyon aynı atıksu arıtımı için kullanılan enerji miktarı ile koagülant madde harcamaları hesaplanıp karşılaştırıldığı çalışmalar yapılmalıdır[26].

### 1.1.3 Elektrooksidasyon Prosesi

Bu proste ana prensip titanyum, grafit, platin gibi inert madde elektrot olarak kullanılarak organik maddelerin doğrudan veya dolaylı olarak oksitlenmesi esasına dayanır.

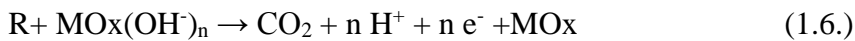
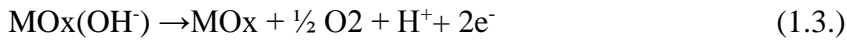
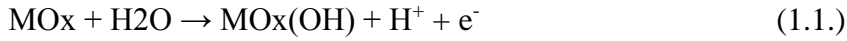
Doğrudan anodik proste kirleticiler ilk önce anot yüzeyine adsorbe olurlar ve daha sonra anot yüzeyinden elektron transferi gerçekleşir[27]. Organik kirleticilerin doğrudan oksidasyon hızı, anodun aktif noktalarına organik bileşiklerin difüzyon hızı ve uygulanan akım şiddeti yardımıyla anodun katalitik aktivitesine bağlıdır.

Dolaylı elektrooksidasyon süresince organik maddelerin oksidasyonunda etkili olan klor, hipoklorit, hidrojen peroksit ve ozon gibi ajanlar anodik olarak üretilir[28,29]



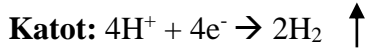
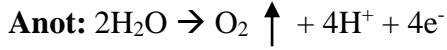
Şekil 1.6. Elektrooksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanması[29].

Metal yüzeyinde gerçekleşen elektrooksidasyon reaksiyonları genel olarak şu şekilde gerçekleşmektedir[30]:



#### 1.1.4 Elektroflotasyon Prosesi

Diğer bir elektrokimyasal arıtım metodu ise elektroflotasyondur. Bu yöntemde proses sırasında elektrotlarda oluşan gaz kabarcıkların kirleticileri adsorbe ederek yüzeye çıkarması sonucu kirliliğin giderilmesi esasına dayanır. Bu işlem genellikle diğer elektrokimyasal prosesler ile birlikte kullanılır. Elektrokoagülasyon prosesi esnasında da gerçekleşen bu proseste aşağıdaki reaksiyonlar görülmektedir.



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 optimizasyon çalışmaları yapılması gerekmektedir. Elektrotun cinsi ve yüzey alanı en önemli parametre olmakla birlikte, akım yoğunluğu ve reaktör tipi de çok önemlidir.

Atıksulardan elektroflotasyon yöntemiyle giderilen kirleticiler daha çok yağ ve emülsiyonlar gibi düşük yoğunluklu maddeler olabildiği gibi askıda katı maddeler de olabilmekte ve özellikle bazı tesislerde problem oluşturan giderilemeyen KOİ'nin bir kısmı da bu yöntemle giderilebilmektedir. Bu gibi yararlı özelliklerinden dolayı elektroflotasyon çeşitli sanayilerde kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak metal kaplama, tekstil, boya ve kimya sanayileri verilebilir[4,27].

## 2. KAYNAK ARAŞTIRILMASI

### 2.1 ELEKTROKİMYASAL PROSES İLE KENTSEL ATIKSU ARITIMI

Yang ve arkadaşlarının[27] elektrokoagülasyon çalışmış ve yüksek KOİ giderimi görülmüş ancak katı madde ve renk gideriminde istenen verime ulaşamamıştır; yinede bu çalışmaya göre elektrokoagülasyon prosesi düşük debili tesislerde verimli şekilde kullanılabilir. İlhan ve arkadaşları[30] İstanbul-Yenikapı Atıksu Arıtım Tesisi atıksuyunun demir elektrotu kullanılarak elektrokoagülasyon ile arıtılması ile %60 KOİ giderimi ve %70 askıda katı madde giderimi olduğunu belirlemiştir. Çamur üretimi %1,5 ile 2 arası olmuştur. Bukhari[31] paslanmaz çelik elektrotu, 0.8 amper ve 5 dakika alıkonma süresi işletme parametreleri ile yaptığı çalışmada %95.4 toplam askıda katı madde giderimi yapabirmiştir. Çalışma sırasında fark edilmiştir ki demir iyonları klorin ile oksidasyonu ile ferik iyonlara dönüşmüştür.

### 2.2 ELEKTROKİMYASAL PROSES İLE ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMI

Linares-Hernandez ve arkadaşları[32] iki basamaklı elektrokoagülasyon prosesi ile %99 KOİ, %100 renk ve %100 bulanıklık giderimi belirlemiştir. Yine Augustin'in[33] palmye yağı atıksuyu üzerine yaptığı çalışmada alüminyum elektrotu kullanılarak elektrokoagülasyonun KOİ, BOİ, bulanıklık, asidite ve ağır metal gideriminde başarılı olduğu saptamıştır. Wang ve Chou'nun[34] yaptığı çalışmada optimum koşullar sağlanarak KOİ konsantrasyonunun elektrokoagülasyon ile minimum %90 giderimin mümkün olduğu, bu verim ile atıksuyun geri kullanılabilceği belirtilmiştir. Espinoza-Quiones ve diğerleri[35] deri terbiye prosesi atıksuyunun alüminyum elektrotunun kullanıldığı, pH'ın 7,6'nın altında olduğu, 30-45 dakikalık alıkonma süresi ile işletilen bir elektrokoagülasyon prosesi ile KOİ, katı madde, bulanıklık, toplam çözünmüş madde, ve çıkış kimyasal konsantrasyonlarında her biri için %95 üzerinde giderim oranına sahip olduğunu saptamıştır.

Körbahti ve Tanyolaç[36] yaptığı çalışmada endüstriyel tekstik atıksuyunun elektrokimyasal olarak arıtılabilirliğini araştırmıştır. Kesikli elektrokimyasal reaktörde

demir elektrotu kullanılmış ve işletme parametrelerinin verim üzerine etkileri araştırılmıştır.

Akbulut ve arkadaşları[37] 2004 yılında yaptığı çalışmada petrol içeren atıksuların elektrokimyasal yöntemlerle arıtılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında paslanmaz çelik elektrotu ile elektroflotasyon, demir ve alüminyum elektrotları ile elektrokoagülasyon prosesi çalıştırılmış ve atıksuda farklı sürelerde KOİ, bulanıklık, fenol, yağ ve gres ile hidrokarbon giderimi incelenmiştir.

Asselin ve arkadaşları[38] mezbahane atıksuyunun alüminyum elektrotunun kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesi ile arıtımını çalışmış ve toplam askıda katı madde de %89, bulanıklık %90, BOİ %86 ve yağ ve greste %99 giderim sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte kimyasal ve çamur uzaklaştırma, enerji ve elektrot giderinide dahil ettikleri bir maliyet hesabı yapmışlar ve metreküp başına 0,71 dolar hesaplamışlardır. Khansorthong ve Hunsom'un[39] kağıt sanayi atıksuyunda yaptığı çalışmada renk ve KOİ giderim oranları sırasıyla %91 ve %77'dir. Bu giderim verimi için gerekli maliyet hesabı yapıldığında ise metreküp atıksu için 0,29 dolar olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca KOİ, askıda katı madde, pH ve renk gibi değişkenlerin deşarj standartlarına uygun olduğu görülmüştür.

Zaied ve Bellahkal[40] kraft prosesinden gelen kara likör de denilen atıksuyu pH'ın 7, elektroliz süresinin 50 dakika olduğu standartlarda %98 KOİ, %92 polifenol ve %99 renk giderimi saptamışlardır. Tezcan ve arkadaşları'nın[41] bitkisel yağ rafinerisi atıksuyunun alüminyum elektrotu kullanılarak elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılması üzerine çalışmış ve yüksek başarı olduğunu belirtmiştir. Proses süresinin 90 dakika olduğu koşullarda KOİ giderim verimi %98,9'tur. Sengil ve arkadaşları[42] tabakhane kireçleme atıksuyu üzerine çalışmış ve %82 KOİ, %90 sülfat ve %96 yağ-gres giderimi belirlemiştir. Katal ve Pahlavanzadeh'nin[43] yaptığı çalışmada alüminyum ve demir elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesinde düşük maliyet ve yüksek verimli bir arıtım görülmesi için pH'ın 5 ile 7 arasında, akım yoğunluğunun 70 mA/cm<sup>2</sup> olması gerektiğini belirlemiştir. Aynı çalışmada sıcaklığın verime etkisinin önemsenmeyecek derecede düşük olduğu ileri sürülmüştür. Aoudj ve arkadaşları'nın[44] renk giderimi için yaptığı

çalışmada optimum şartlarda %98 giderim başarısı saptanmıştır. Raju ve arkadaşları[45] tekstil atıksuyunda elektrokoagülasyon ile KOİ giderimi üzerine çalışmış ve 1,316 ile 42,9 mg/L arası giderim miktarları saptamışlardır.

### 2.3 ELDE EDİLEN ÇAMUR

Elektrokoagülasyon prosesi optimum şartlar ile çalıştırıldığında alternatif arıtım metodlarına göre daha kararlı ve daha az çamur üretimine sahiptir[46]. Proses sonucu oluşan çamurlar çoğunlukla metal hidroksitler halindedir. Çamur bertaraf maliyeti alternatif elektrokimyasal teknolojilerine göre daha düşük olması ile birlikte proses sonucu elde edilen çamurun değerlendirilmesi üzerine bazı çalışmalar da yürütülmektedir.

İTÜ Çevre Mühendisliği bölümünden Tünay O. ve ark. yaptığı çalışmada elektrokoagülasyon (EK) prosesinden kaynaklanan arıtma çamurlarının tekstil son işlemleri boya banyolarında yaygın olarak kullanılan reaktif boyarmaddelerin adsorpsiyon yöntemi ile gideriminde adsorban olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada Reactive Black 5, Crimson HEXL ve Yellow HE4R reaktif boyar maddeleri, çelik elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesinden arta kalan arıtma çamurları ile %90 üzerinde giderim yapıldığı saptanmıştır. Alüminyum elektrotunun kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesine ait arıtma çamurlarında ise Crimson HEXL ve Yellow HE4R için ise 1 g/L adsorban dozajında %95'in üzerinde boyar madde gideriminin olduğu tespit edilmiştir[47].

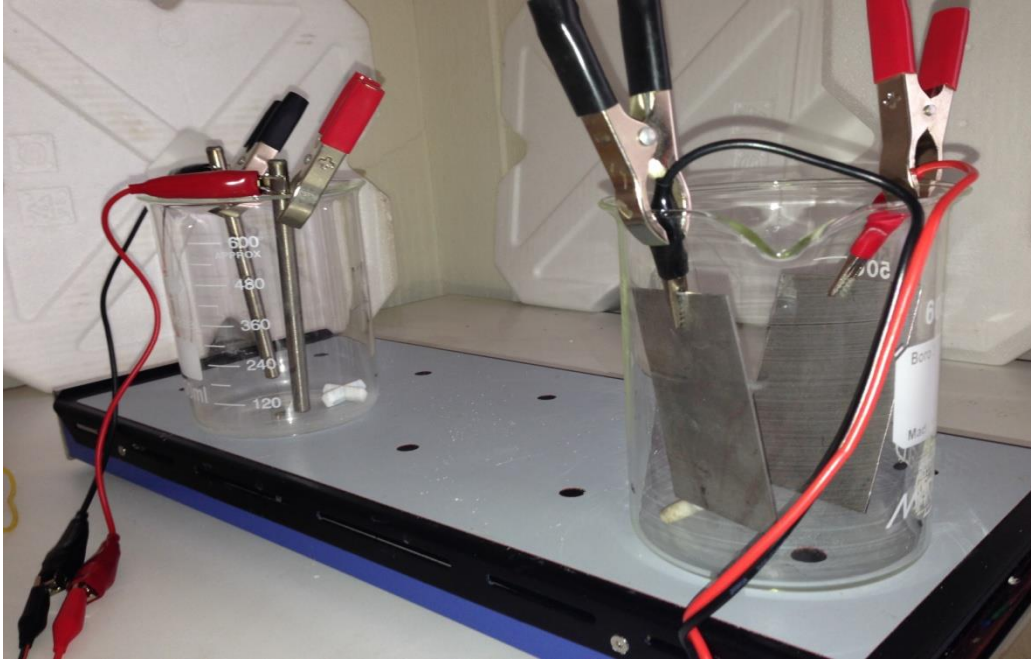
## 3. MATERYAL METOD

### 3.1. MATERYAL



### 3.1.1. Elektrokimyasal Reaktör

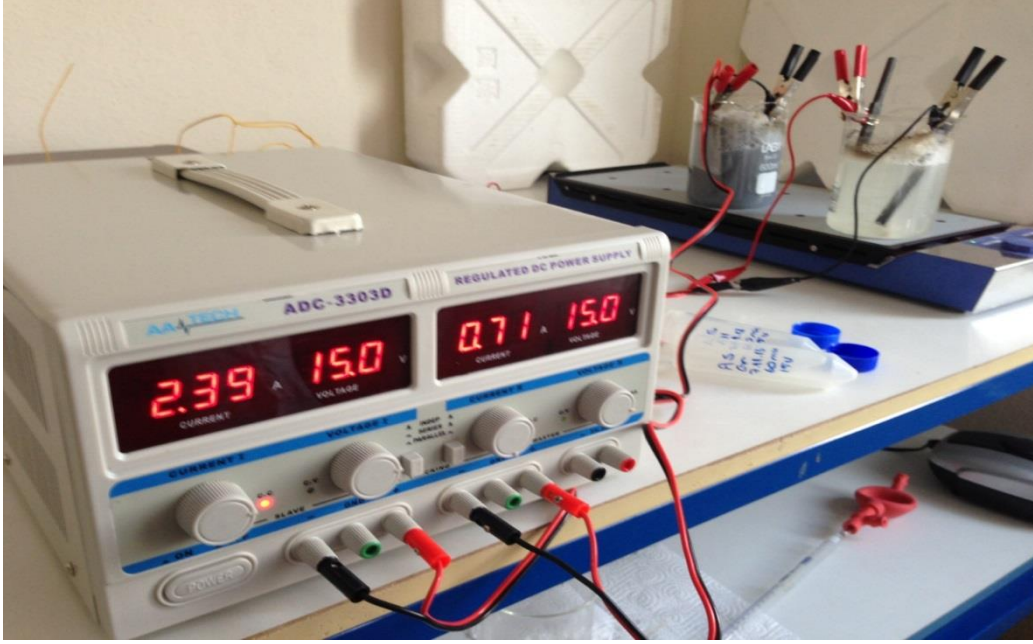
Çalışmalar süresince 600 mL' lik bir reaktör (cam beher) kullanılmış olup bu reaktörde kesikli olarak çalışılmıştır. Çalışma boyunca Demir, Alüminyum, Titanyum ve Grafit elektrotlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar süresince elektrotlar arası mesafe 6,5 cm'dir. Yapılan çalışmalarda elektrotun mevcut yüzey alanının % 80 ile 90 'lık kısmı su içinde kalması sağlanmıştır. Yapılan hesaplamalar ve analizler bu yüzey alanı etkileşimlerine göre hesaplanmıştır.



Şekil.3.1. Elektrokimyasal Reaktör Düzenegi

Reaktöre yapılan besleme ise çalışma öncesinde yapılmaktadır. Reaktörde akım ve voltaj kontrolü dijital doğru akım güç kaynağı ile sağlanmıştır. Reaktörde atıksu

120 dakika işletilmiştir ve bu süre içinde 15, 30, 60 ve 120 dakika da analiz için numune alınmıştır. Bu işlem her atıksu için aynı şekilde uygulanmıştır. Çalışma sırasında güç kaynağı 15V ‘ a ayarlanmıştır. Ayrıca kentsel atıksu numunesi 15V‘ a ek olarak 7,5V ile de çalışılmış ve giderim verimleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Elektrokimyasal Reaktör Düzenegi - 2

### 3.1.2. Atıksu Örnekleri

Atıksu örnekleri, İzmir İli'nde işletilen kentsel atıksu arıtma tesisi girişinden, katı atık depolama sahası sızıntı suyu, İzmir İli'nde bulunan maya üretim fabrikası atıksuyu ve bira ve malt sanayi atıksuyu tesis işletme giriş noktalarından alınmıştır. Alınan atıksu numunelerinin elektrokimyasal proses ile arıtılabilirliği incelenmiştir.

#### 3.1.2.1 Kentsel atıksu

İzmir İli'nde işletilen bir Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinden alınan atıksu numunesinin öncelikle özellikleri belirlenmiş ve daha sonra bu numuneye elektrokimyasal arıtım uygulanmıştır. Kentsel atıksuya demir, alüminyum, titanyum ve grafit elektrotlar ile elektrokimyasal proses uygulanmış olup sistem 7,5 Volt ve 15,0 Volt olmak üzere iki akımda çalıştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Kentsel atıksuyuna ilişkin özellikler

Parametre	Birim	Değer
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg O <sub>2</sub> /L	5760
Askıda Katı Madde (AKM)	g/L	0,26
Uçucu Askıda Katı Madde (U-AKM)	g/L	16,22
Katı Madde (KM)	%	0,52
Organik Madde (OM)	%	16,60
Nitrat Azotu (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	1,1
Nitrit Azotu (NH <sub>4</sub> -N)	mg/L	0,24
Toplam Fosfat (Toplam-P)	mg/L	5,3
pH	-	7,7
Elektriksel İletkenlik	mS / cm	5
Tuzluluk	mg/L	1

### 3.1.2.2 Sızıntı suyu

Bir katı atık depolama sahasından alınan sızıntı suyunun özellikleri belirlenmiş ve daha sonra bu numuneye elektrokimyasal arıtım uygulanmıştır. Sızıntı suyu demir, alüminyum ve titanyum elektrotları ile 15 Voltta çalışılmıştır.

Çizelge 3.2. Katı atık depolama alanı sızıntı suyuna ilişkin özellikleri

Parametre	Birim	Değer
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg O <sub>2</sub> /L	38 000
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	7 200
Uçucu Askıda Katı Madde (U-AKM)	g/L	87,2
Katı Madde (KM)	%	21,45
Organik Madde (OM)	%	91,78
Nitrat Azotu (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10,1
Nitrit Azotu (NH <sub>4</sub> -N)	mg/L	3,29
Toplam Fosfor (Toplam-P)	mg/L	26,8
pH	-	8,7

Elektriksel İletkenlik	mS / cm	36,4
Tuzluluk	mg/L	22,2

### 3.1.2.3 Maya sanayi atıksuyu

Maya sanayisine ait atıksuyun özellikleri belirlendikten sonra bu numuneye elektrokimyasal arıtım uygulanmıştır. Maya sanayi atıksuyu demir, alüminyum ve titanyum elektrotları ile 15 Volta çalışılmıştır.

Çizelge 3.3. Maya sanayi atıksuyuna ilişkin özellikler

Parametre	Birim	Değer
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg O <sub>2</sub> /L	14 400
Askıda Katı Madde (AKM)	g/L	0,3
Uçucu Askıda Katı Madde (U-AKM)	g/L	16,4
Katı Madde (KM)	%	1,14
Organik Madde (OM)	%	33,16
Nitrat Azotu (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,2
Nitrit Azotu (NH <sub>4</sub> -N)	mg/L	0,87
Toplam Fosfor (Toplam-P)	mg/L	3,93
pH	-	6,04
Elektriksel İletkenlik	mS / cm	12,71
Tuzluluk	mg/L	19

### 3.1.2.4 Bira ve malt sanayi atıksuyu

Bira sanayisine ait atıksuyun özellikleri belirlendikten sonra bu numuneye elektrokoagülasyon uygulanmıştır. Bira sanayi atıksuyu demir, alüminyum ve titanyum elektrotları ile 15 Volta çalışılmıştır.

Çizelge 3.4. Bira ve malt sanayi atıksuyuna ilişkin özellikler

Parametre	Birim	Değer
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg O <sub>2</sub> /L	8800
Askıda Katı Madde (AKM)	g/L	0,28
Uçucu Askıda Katı Madde (U-AKM)	g/L	16,38
Katı Madde (KM)	%	0,31
Organik Madde (OM)	%	56,38

Nitrat Azotu (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,3
Nitrit Azotu (NH <sub>4</sub> -N)	mg/L	0,39
Toplam Fosfat (Toplam-P)	mg/L	3,08
pH	-	6,01
Elektriksel İletkenlik	mS / cm	2,27
Tuzluluk	ppm	1,1

## 3.2 METODLAR

### 3.2.1 Yapılan Analizler

Ham atıksu ve elektrokimyasal arıtma uygulanmış numunelerde, pH, sıcaklık, toplam katı madde, toplam organik madde, askıda katı madde, uçucu askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Analizlerin tümü Standart Metotlara (APHA, 2005) göre yapılmıştır. Kullanılan cihaz ve izlenen yöntemler aşağıdaki çizelge 3.5’te verilmektedir.

Çizelge 3.5. Çalışma süresince analizlerde kullanılan parametre, numune, metod ve enstrüman gösterimi

PARAMETRE	NUMUNE	METOD	ENSTRÜMAN
pH	Atıksu	4500-H B Metod Elektrometrik (APHA, AWWA-WPCF-1992)	WTW 340i
ORP	Atıksu	Standart Method-2580-B	WTW 340i
AKM	Atıksu	Standart Method-2580-B	-
İletkenlik	Atıksu	2510 B Metod (APHA, AWWA -WPCF-1992)	WTW 340i
KOİ	Atıksu	5220 D Metod, (APHA, 2005)	-
Azot	Atıksu	Merck kit 14537	Spektrofotometre
Fosfor	Atıksu	Merck kit 00616	Spektrofotometre
TKM	Çamur	Standart Metod-2540-B	-
UAKM	Çamur	Standart Metod-2540-E	-

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sistem üzerinde elektrot cinsi, akım miktarı ve proses çalışma süresinin etkileri incelenmiştir. Farklı atıksular ile gerçekleştirilen elektrokimyasal proses çalışmasının sonuçları bu kısımda sunulmaktadır.

##### 4.1 KENTSEL ATIK SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI

Çizelge 4.1. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisine ait atıksuda 7.5 Volt ile elektrokimyasal arıtım ile farklı zamanlarda çalıştırılması ile ölçülen pH, sıcaklık, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik sonuçları

Numune	pH	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (mg/L)	Elektriksel İletkenlik
Demir - 15 dakika	8,43	20,0	4,8	8,69
Demir - 30 dakika	9,16	21,7	4,7	8,37
Demir - 60 dakika	8,78	23,1	4,6	8,30
Demir - 120 dakika	8,24	23,9	4,6	8,16
Alüminyum - 15 dakika	7,44	20,0	5,0	8,94
Alüminyum - 30 dakika	6,89	23,0	4,8	8,50
Alüminyum - 60 dakika	6,69	24,0	4,5	8,10
Alüminyum - 120 dakika	7,37	24,8	4,3	7,76
Titanyum - 15 dakika	7,68	20,0	4,9	8,79
Titanyum - 30 dakika	7,70	21,5	4,9	8,85
Titanyum - 60 dakika	7,72	22,2	4,9	8,68
Titanyum - 120 dakika	7,76	22,8	4,9	8,83
Grafit - 15 dakika	7,42	20,0	4,9	8,75
Grafit - 30 dakika	7,25	20,7	5,7	8,74
Grafit - 60 dakika	6,68	23,8	4,7	8,62
Grafit - 120 dakika	6,99	22,2	4,7	8,49

Çizelge 4.2. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisine ait atıksuda 15 Volt ile elektrokimyasal arıtım ile farklı zamanlarda çalıştırılması ile ölçülen pH, sıcaklık, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik sonuçları

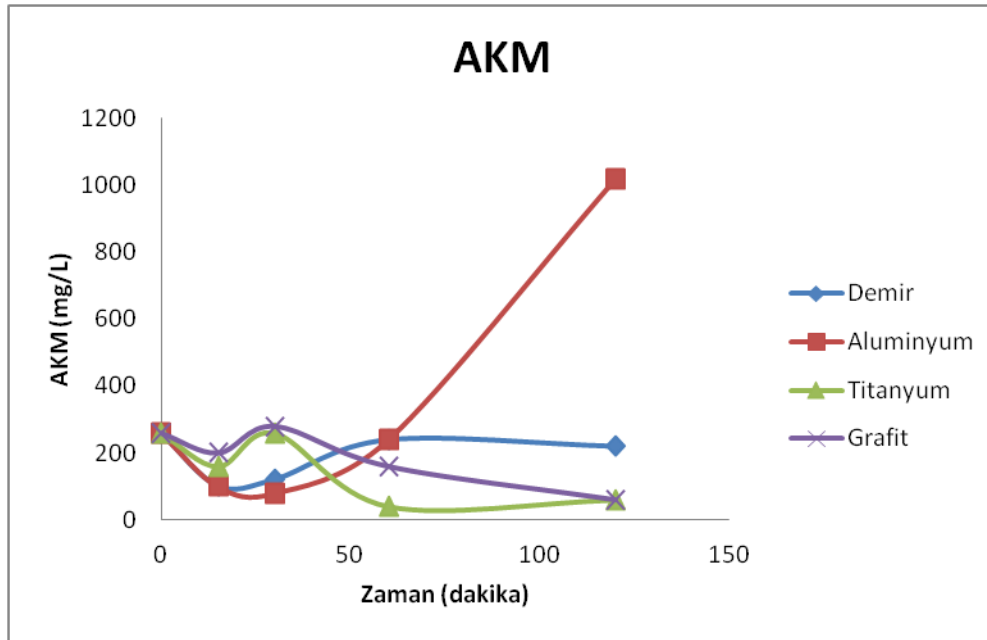
Numune	pH	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (mg/l)	Elektriksel İletkenlik
Demir - 15 dakika	9,16	21,2	4,8	8,52
Demir - 30 dakika	8,84	26,0	4,5	8,17
Demir - 60 dakika	10,45	28,9	4,4	7,98
Demir - 120 dakika	8,13	32,7	4,6	8,35
Alüminyum - 15 dakika	6,76	25,8	4,6	8,23
Alüminyum - 30 dakika	6,91	33,8	4,4	7,86
Alüminyum - 60 dakika	7,40	41,0	4,8	7,71
Alüminyum - 120 dakika	7,49	57,4	4,3	7,58
Titanyum - 15 dakika	7,42	21,5	4,9	8,85
Titanyum - 30 dakika	7,40	22,8	4,9	8,80
Titanyum - 60 dakika	7,36	25,0	4,9	8,80
Titanyum - 120 dakika	7,25	28,8	4,9	8,78
Grafit - 15 dakika	7,31	21,7	4,8	8,21
Grafit - 30 dakika	6,90	25,5	4,7	8,44
Grafit - 60 dakika	6,55	29,4	4,7	8,32
Grafit - 120 dakika	5,78	33,1	4,7	8,09

#### 4.1.1 Atıksuda Katı Madde, Organik Madde, Askıda Katı Madde Ve Uçucu Askıda Katı Madde Giderimi

Elektrokimyasal arıtım prosesinde elektrot cinsinin ve sürenin katı maddeler ve organik madde giderim üzerindeki etkileri incelenmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Çizelge 4.3. Kentsel atıksuda elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde miktarı

NUMUNE	Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	260
Demir - 15 dakika	100
Demir - 30 dakika	120
Demir - 60 dakika	240
Demir - 120 dakika	100
Alüminyum - 15 dakika	100
Alüminyum - 30 dakika	80
Alüminyum - 60 dakika	240
Alüminyum - 120 dakika	1 020
Titanyum - 15 dakika	160
Titanyum - 30 dakika	260
Titanyum - 60 dakika	40
Titanyum - 120 dakika	60
Grafit - 15 dakika	200
Grafit - 30 dakika	280
Grafit - 60 dakika	160
Grafit - 120 dakika	60

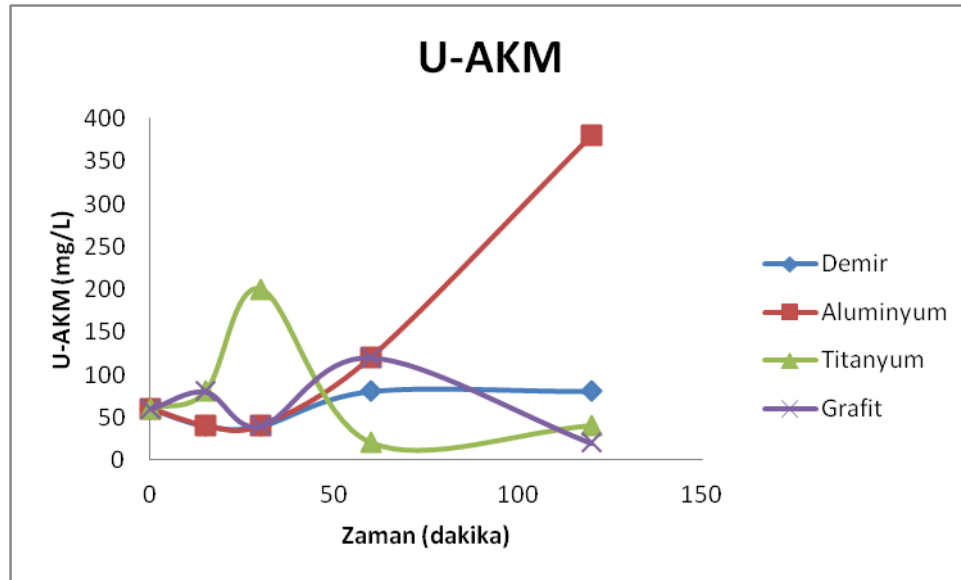


Şekil 4.1. Kentsel atıksuda elektrot ve zamanın AKM giderimi



Çizelge 4.4. Kentsel atıksuda elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde miktarı

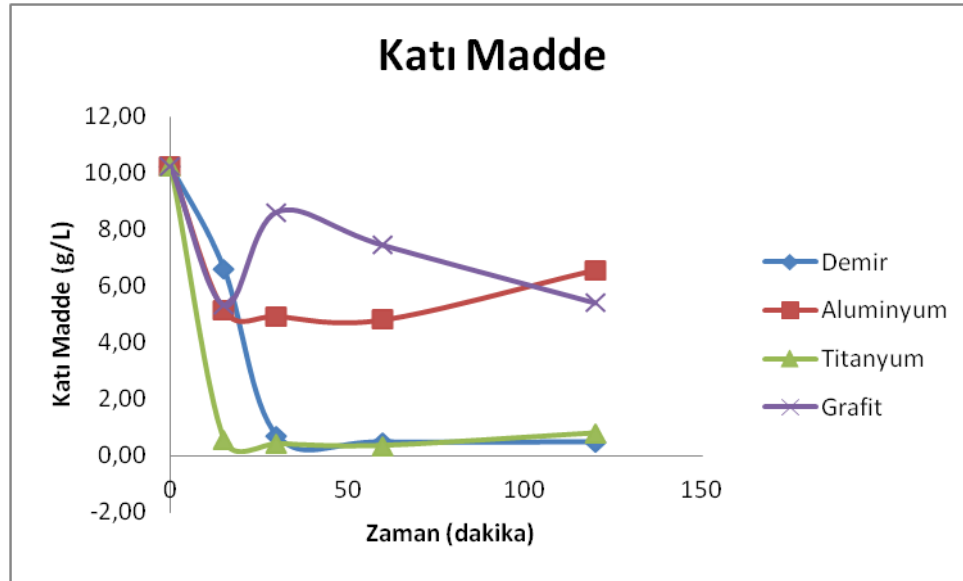
NUMUNE	Uçucu Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	60
Demir - 15 dakika	40
Demir - 30 dakika	40
Demir - 60 dakika	80
Demir - 120 dakika	80
Alüminyum -15 dakika	40
Alüminyum - 30 dakika	40
Alüminyum - 60 dakika	120
Alüminyum - 120 dakika	380
Titanyum - 15 dakika	80
Titanyum - 30 dakika	200
Titanyum - 60 dakika	20
Titanyum - 120 dakika	40
Grafit - 15 dakika	80
Grafit - 30 dakika	40
Grafit - 60 dakika	120
Grafit - 120 dakika	20



Şekil 4.2. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı UAKM giderimi

Çizelge 4.5. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde miktarı

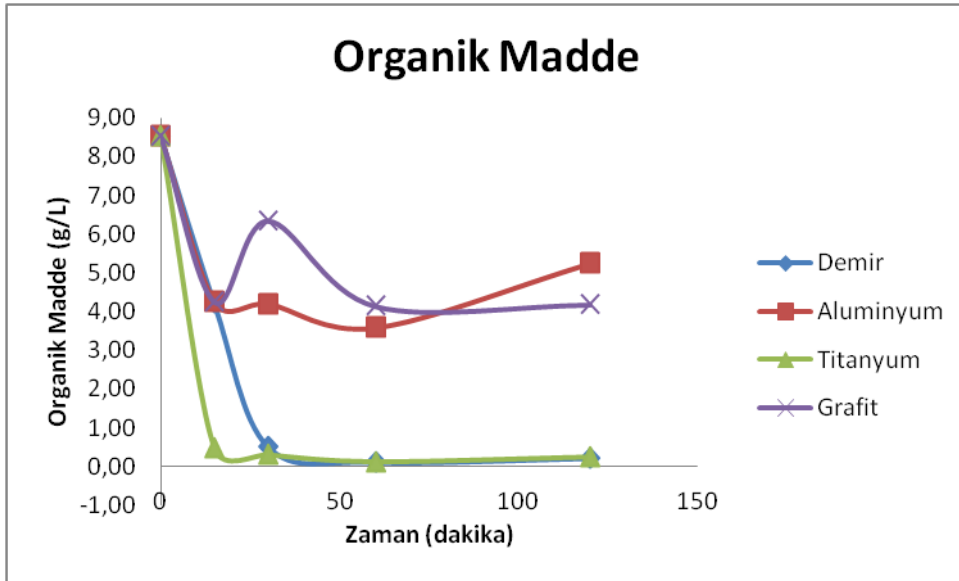
NUMUNE	Katı Madde (g/L)
Giriş	10,24
Demir - 15 dakika	6,62
Demir - 30 dakika	0,70
Demir - 60 dakika	0,48
Demir - 120 dakika	0,48
Alüminyum - 15 dakika	5,16
Alüminyum - 30 dakika	4,94
Alüminyum - 60 dakika	4,82
Alüminyum - 120 dakika	6,58
Titanyum - 15 dakika	0,56
Titanyum - 30 dakika	0,42
Titanyum - 60 dakika	0,36
Titanyum - 120 dakika	0,80
Grafit - 15 dakika	5,34
Grafit - 30 dakika	8,64
Grafit - 60 dakika	7,46
Grafit - 120 dakika	5,42



Şekil 4.3. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi

Çizelge 4.6. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı organik madde miktarı

NUMUNE	Organik Madde (g/L)
Giriş	8,54
Demir - 15 dakika	4,22
Demir - 30 dakika	0,52
Demir - 60 dakika	0,12
Demir - 120 dakika	0,22
Alüminyum - 15 dakika	4,26
Alüminyum - 30 dakika	4,20
Alüminyum - 60 dakika	3,58
Alüminyum - 120 dakika	5,24
Titanyum - 15 dakika	0,48
Titanyum - 30 dakika	0,30
Titanyum - 60 dakika	0,12
Titanyum - 120 dakika	0,24
Grafit - 15 dakika	4,26
Grafit - 30 dakika	6,34
Grafit - 60 dakika	4,14
Grafit - 120 dakika	4,18



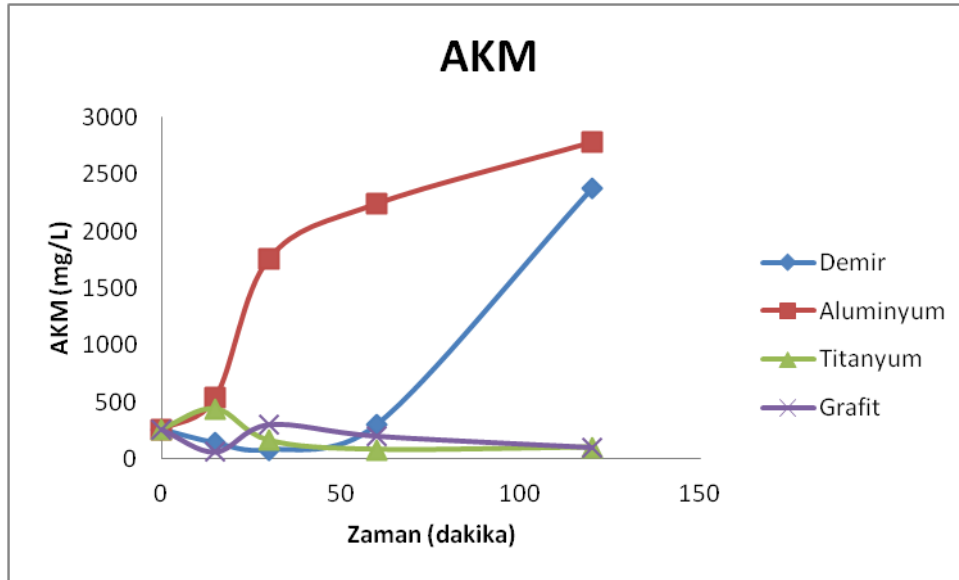
Şekil 4.4. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı organik madde giderimi

Elektrot ve zamana bağlı organik maddenin yüzdesel miktarı incelendiğinde analiz sonuçları tablolarda ve şekillerde gösterildiği gibidir.

Yukarıda ki değerler sistemin 7,5V ile çalıştırılması ile saptanmıştır. Aynı şartlar sağlanarak sistem 15V ile çalıştırıldığında ise şu sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde miktarı

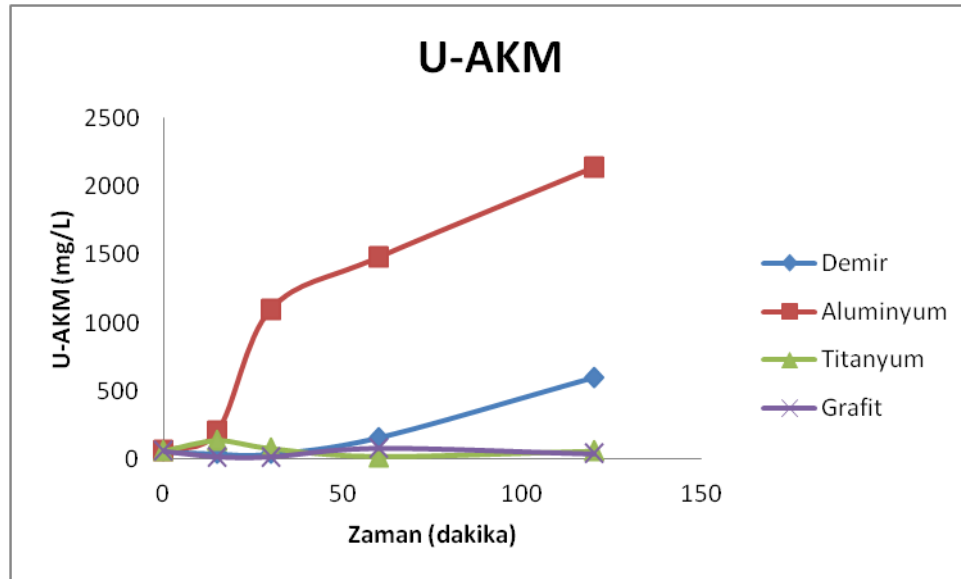
NUMUNE	Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	260
Demir - 15 dakika	140
Demir - 30 dakika	80
Demir - 60 dakika	300
Demir - 120 dakika	2 380
Alüminyum -15 dakika	540
Alüminyum - 30 dakika	1 760
Alüminyum - 60 dakika	2 240
Alüminyum - 120 dakika	2 780
Titanyum - 15 dakika	440
Titanyum - 30 dakika	160
Titanyum - 60 dakika	80
Titanyum - 120 dakika	100
Grafit - 15 dakika	60
Grafit - 30 dakika	300
Grafit - 60 dakika	200
Grafit - 120 dakika	100



Şekil 4.5. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi

Çizelge 4.8. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde miktarı

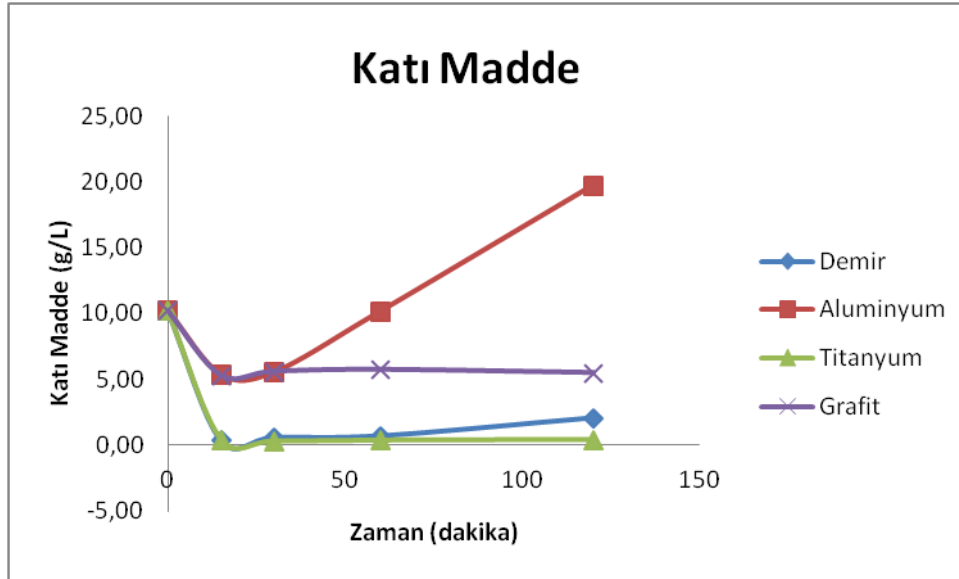
NUMUNE	Uçucu Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	60
Demir - 15 dakika	40
Demir - 30 dakika	40
Demir - 60 dakika	160
Demir - 120 dakika	600
Alüminyum -15 dakika	200
Alüminyum - 30 dakika	1 100
Alüminyum - 60 dakika	1 480
Alüminyum - 120 dakika	2 140
Titanyum - 15 dakika	140
Titanyum - 30 dakika	80
Titanyum - 60 dakika	20
Titanyum - 120 dakika	60
Grafit - 15 dakika	20
Grafit - 30 dakika	20
Grafit - 60 dakika	80
Grafit - 120 dakika	40



Şekil 4.6. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı UAKM giderimi

Çizelge 4.9. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde miktarı

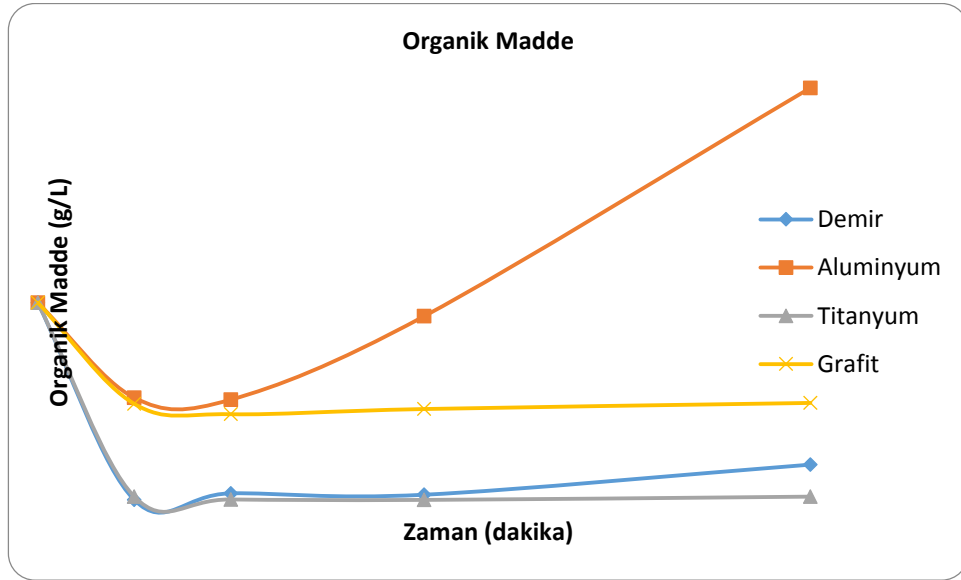
NUMUNE	Katı Madde (g/L)
Giriş	10,24
Demir - 15 dakika	0,36
Demir - 30 dakika	0,60
Demir - 60 dakika	0,72
Demir - 120 dakika	2,10
Alüminyum - 15 dakika	5,38
Alüminyum - 30 dakika	5,56
Alüminyum - 60 dakika	10,18
Alüminyum - 120 dakika	19,74
Titanyum - 15 dakika	0,44
Titanyum - 30 dakika	0,30
Titanyum - 60 dakika	0,36
Titanyum - 120 dakika	0,42
Grafit - 15 dakika	5,30
Grafit - 30 dakika	5,60
Grafit - 60 dakika	5,74
Grafit - 120 dakika	5,50



Şekil 4.7. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi

Çizelge 4.10. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı organik madde miktarı

NUMUNE	Organik Madde (g/L)
Giriş	8,54
Demir - 15 dakika	0,16
Demir - 30 dakika	0,44
Demir - 60 dakika	0,38
Demir - 120 dakika	1,66
Alüminyum - 15 dakika	4,50
Alüminyum - 30 dakika	4,42
Alüminyum - 60 dakika	7,96
Alüminyum - 120 dakika	17,66
Titanyum - 15 dakika	0,30
Titanyum - 30 dakika	0,18
Titanyum - 60 dakika	0,16
Titanyum - 120 dakika	0,30
Grafit - 15 dakika	4,24
Grafit - 30 dakika	3,80
Grafit - 60 dakika	4,02
Grafit - 120 dakika	4,28



Şekil 4.8. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı organik madde giderimi

#### 4.1.2 Kentsel Atıksuda KOİ Giderimi

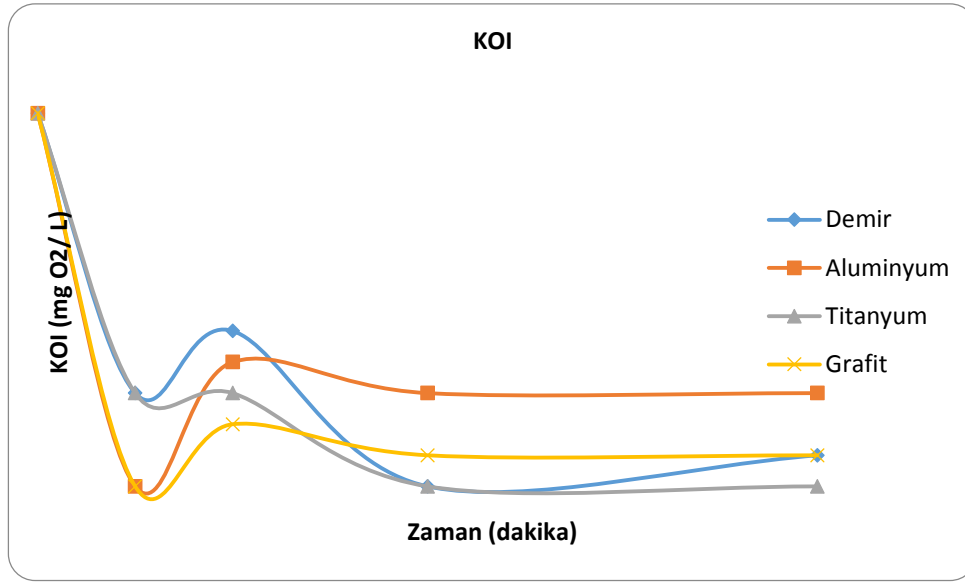
Sistem 7,5V ile çalıştırıldığında sistemde organik maddenin elektrotun cinsine ve zamana bağlı giderim miktarı incelenmiştir ve tablo 4.5'te ki sonuçlar saptanmıştır.

Çizelge 4.11. Kentsel atıksu numunesinde elektrot ve süreye bağlı kimyasal oksijen ihtiyacı analiz sonuçları

Numune Adı	KOİ ( mgO <sub>2</sub> / L )
Giriş	5 760
Demir - 15 dakika	1 440
Demir - 30 dakika	2 400
Demir - 60 dakika	0
Demir - 120 dakika	480
Alüminyum -15 dakika	0
Alüminyum - 30 dakika	1 920
Alüminyum - 60 dakika	1 440
Alüminyum - 120 dakika	1 440
Titanyum - 15 dakika	1 440
Titanyum - 30 dakika	1 440
Titanyum - 60 dakika	0
Titanyum - 120 dakika	0
Grafit - 15 dakika	0
Grafit - 30 dakika	960
Grafit - 60 dakika	480
Grafit - 120 dakika	480

Yukarıda verilen tablodaki sonuçların grafik gösterimi şekil4.9 da verilmiştir.



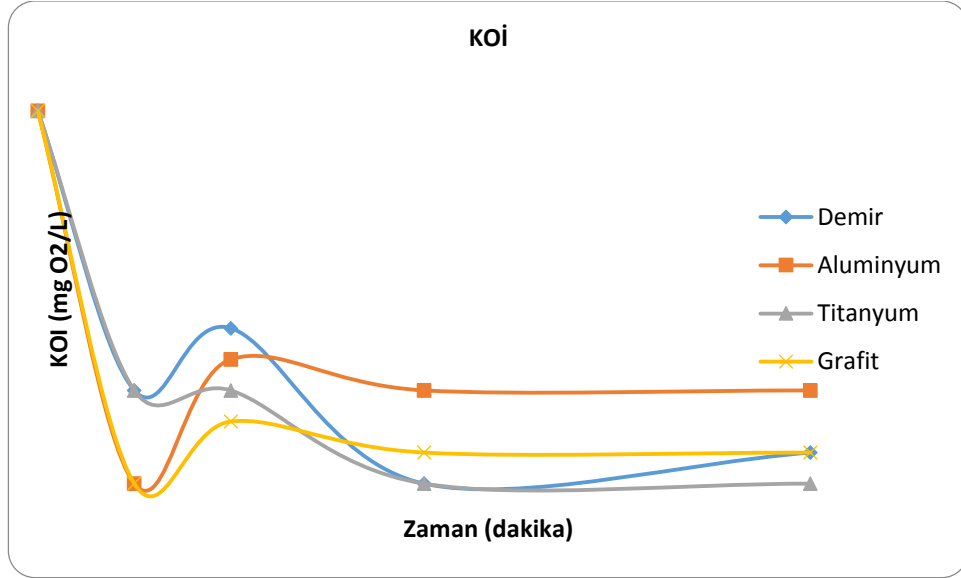


Şekil 4.9. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi

Aynı proses 15V akım ile işletildiğinde aşağıdaki KOİ giderim değerleri saptanmıştır.

Çizelge 4.12. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisine ait numunenin 15 Volt ile Elektrokimyasal arıtım ile KOİ giderim sonuçları

Numune Adı	KOİ ( mgO <sub>2</sub> / L )
Giriş	5 760
Demir - 15 dakika	1 440
Demir - 30 dakika	2 880
Demir - 60 dakika	2 400
Demir - 120 dakika	0
Alüminyum -15 dakika	0
Alüminyum - 30 dakika	480
Alüminyum - 60 dakika	1 440
Alüminyum - 120 dakika	2 400
Titanyum - 15 dakika	480
Titanyum - 30 dakika	960
Titanyum - 60 dakika	1 440
Titanyum - 120 dakika	480
Grafit - 15 dakika	480
Grafit - 30 dakika	960
Grafit - 60 dakika	480
Grafit - 120 dakika	2 400



Şekil 4.10. Kentsel atıksuda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi

#### 4.1.3 Kentsel Atıksuda Nutrient Giderimi

Reaktörden 120. dakika da alınan numunelere nutrient analizi de yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.13. Kentsel atıksu giriş değerleri ve reaktörün 7,5V ile 120 dakika süresince çalıştırılması sonucu elde edilen nütrient analiz sonuçları

Numune	Toplam P (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)
Giriş	5,30	1,1	0,24
Demir Elektrotu	1,65	0,3	0,87
Alüminyum E.	0,80	1,5	1,84
Titanyum E.	4,70	1,1	1,73
Grafit E.	1,00	5,8	2,15

Çizelge 4.14. Kentsel atıksu giriş değerleri ve reaktörün 15V ile 120 dakika süresince çalıştırılması sonucu elde edilen nütrient analiz sonuçları

Numune	Toplam P (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)
Giriş	5,30	1,1	0,24
Demir Elektrotu	73,20	1,3	178,00
Alüminyum E.	0,25	5,5	1,15
Titanyum E.	2,80	4,0	1,68
Grafit E.	2,30	13,4	3,38

#### 4.2 SIZINTI SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI

Sızıntı suları organik kirlilik bakımından oldukça zengindir. Yapılan çalışmada Elektrokimyasal arıtım yöntemiyle bu organik kirliliğin zaman ve elektrot tipine bağlı olarak giderim verimleri incelenmiştir. Elektrot olarak demir, alüminyum ve titanyum kullanılmıştır. Reaktör sürekli çalışırken 15, 30 , 60, 120 dakikalarda numune alınıp karşılaştırılan analizler yapılmıştır.

Sistem işletilirken pH, sıcaklık, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik değerleri gözlenmiş ve anlık ölçümleri alınmıştır.

Çizelge 4.15. Sızıntı suyunun 15 Volt ile Elektrokimyasal arıtım sonucu karakteristik özellikleri

Numune	pH	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (mg/l)	Elektriksel İletkenlik
Demir -15 Dakika	8,06	22,4	35,4	22,2
Demir - 30 Dakika	8,74	25,6	34,4	20,5
Demir - 60 Dakika	8,96	29,8	33,6	21,2
Demir -120 Dakika	9,36	30,1	30,3	18,8
Alüminyum -15 Dakika	8,75	26,7	34,8	21,7
Alüminyum - 30 Dakika	8,67	39,8	32,8	20,5
Alüminyum - 60 Dakika	8,79	49,8	30,6	19,6
Alüminyum - 120 Dakika	10,95	40,5	26,3	16,7

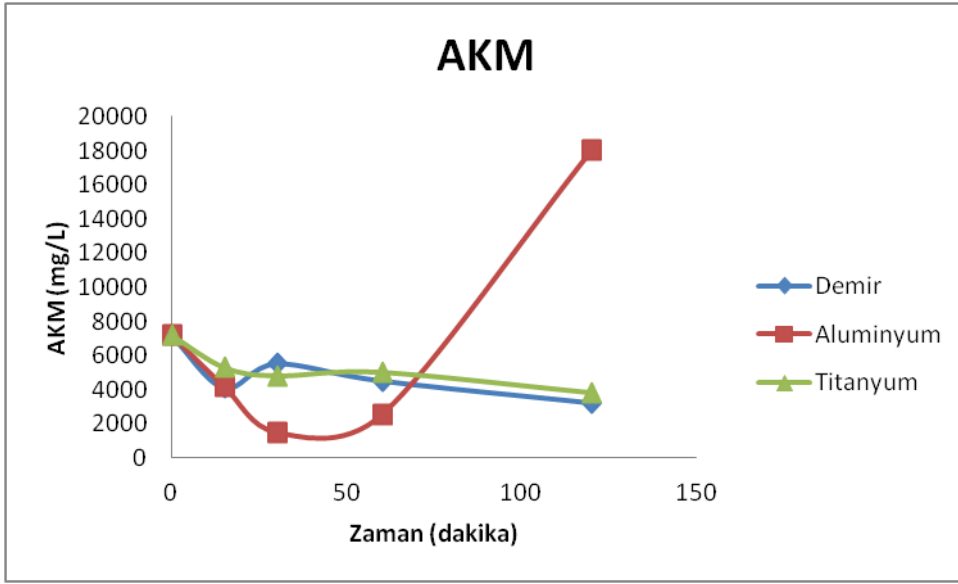
Titanyum - 15 Dakika	8,06	20,5	36,2	22,6
Titanyum - 30 Dakika	9,36	30,1	30,3	18,8
Titanyum - 60 Dakika	8,50	28,2	35,9	22,3
Titanyum - 120 Dakika	8,81	36,1	32,1	20,5

#### 4.2.1 Sızıntı Suyunda Askıda Katı Madde, Katı Madde ve Uçucu Askıda Katı Madde Giderimi

Başta organik kirleticiler olmak üzere birçok kirletici türünü barındıran askıda katı maddelerin elektrokoagülasyon prosesi ile yüksek giderim beklenmektedir.

Çizelge 4.16. Sızıntı suyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde miktarı

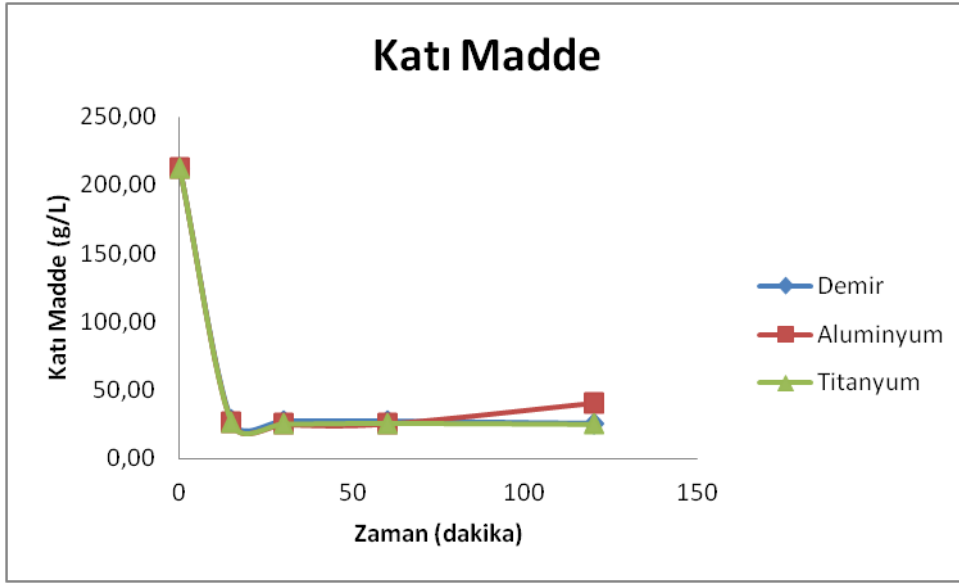
NUMUNE	Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	7 200
Demir - 15 dakika	4 100
Demir - 30 dakika	5 500
Demir - 60 dakika	4 500
Demir - 120 dakika	3 200
Alüminyum -15 dakika	4 200
Alüminyum - 30 dakika	1 500
Alüminyum - 60 dakika	2 500
Alüminyum - 120 dakika	18 000
Titanyum - 15 dakika	5 300
Titanyum - 30 dakika	4 800
Titanyum - 60 dakika	5 000
Titanyum - 120 dakika	3 800



Şekil 4.11. Sızıntı suyunda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi

Çizelge 4.17. Sızıntı suyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde analiz sonuçları

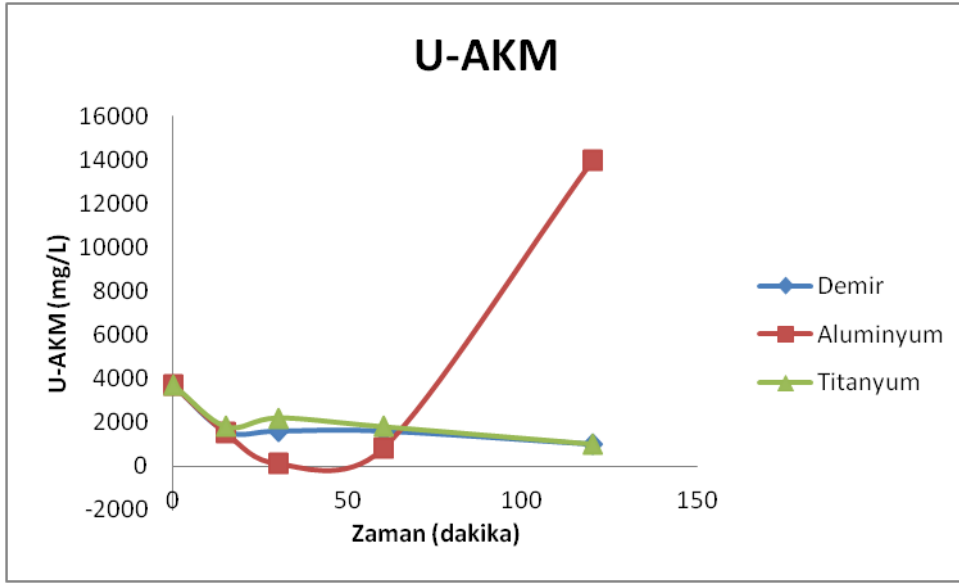
NUMUNE	Katı Madde (g/L)
Giriş	212,34
Demir - 15 dakika	27,46
Demir - 30 dakika	26,92
Demir - 60 dakika	26,80
Demir - 120 dakika	25,14
Alüminyum - 15 dakika	26,14
Alüminyum - 30 dakika	24,58
Alüminyum - 60 dakika	25,14
Alüminyum - 120 dakika	40,36
Titanyum - 15 dakika	25,88
Titanyum - 30 dakika	24,82
Titanyum - 60 dakika	25,36
Titanyum - 120 dakika	24,66



Şekil 4.12. Sızıntı suyunda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi

Çizelge 4.18. Sızıntı suyunun elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde analiz sonuçları

NUMUNE	Uçucu Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	3 700
Demir - 15 dakika	1 600
Demir - 30 dakika	1 600
Demir - 60 dakika	1 600
Demir - 120 dakika	1 000
Alüminyum - 15 dakika	1 500
Alüminyum - 30 dakika	100
Alüminyum - 60 dakika	800
Alüminyum - 120 dakika	14 000
Titanyum - 15 dakika	1 800
Titanyum - 30 dakika	2 200
Titanyum - 60 dakika	1 800
Titanyum - 120 dakika	1 000



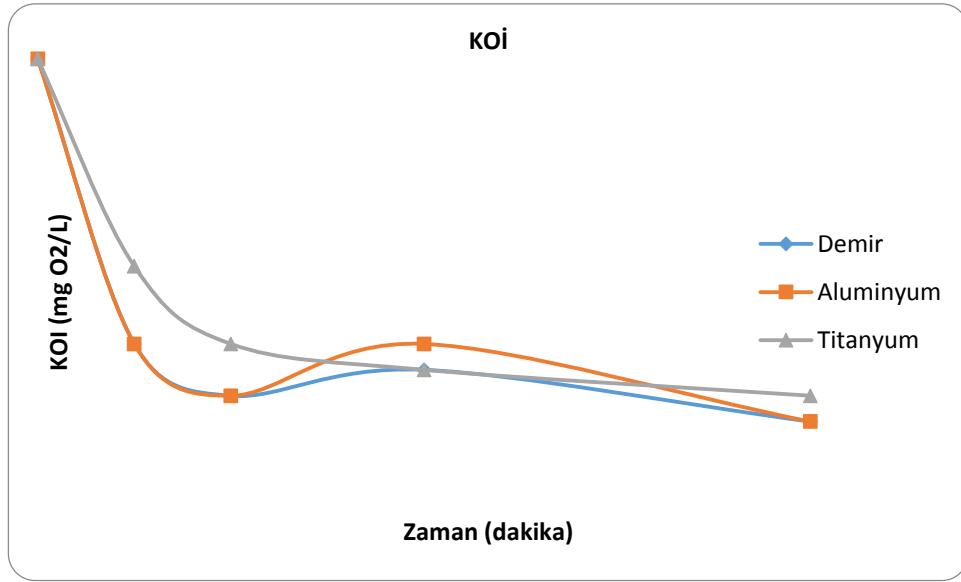
Şekil 4.13. Sızıntı suyunda elektrot ve zamana bağlı U-AKM giderimi

#### 4.2.2 Sızıntı Suyunda KOİ Giderimi

Reaktör 15V sabit voltajı ile 3 farklı elektrot kullanılarak çalıştırıldığında belirlenen zaman aralıklarında alınan numuneler analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar görülmüştür.

Çizelge 4.19. Sızıntı suyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı KOİ giderim analiz sonuçları

Numune Adı	KOİ ( mgO <sub>2</sub> / L )
Giriş	38 000
Demir - 15 dakika	6 400
Demir - 30 dakika	4 800
Demir - 60 dakika	5 600
Demir - 120 dakika	4 000
Alüminyum -15 dakika	6 400
Alüminyum - 30 dakika	4 800
Alüminyum - 60 dakika	6 400
Alüminyum - 120 dakika	4 000
Titanyum - 15 dakika	8 800
Titanyum - 30 dakika	6 400
Titanyum - 60 dakika	5 600
Titanyum - 120 dakika	4 800



Şekil 4.14. Sızıntı suyunda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi

#### 4.2.3 Sızıntı Suyu Nutrient Giderimi

Çizelge 4.20. Sızıntı suyunda elektrota bağlı nütrient giderim analiz sonuçları

Numune	Toplam P (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)
Giriş	26,80	10,1	3,09
Demir	2,00	0,3	0,50
Alüminyum	0,75	0,4	0,09
Titanyum	1,75	0,3	0,72

#### 4.3 BİRA VE MALT SANAYİ ATIK SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI

Bira sanayisine ait atıksuyun karakteristik özellikleri belirlenmiş ve daha sonra bu numuneye elektrokimyasal arıtım uygulanmıştır. Sızıntı suyu Demir, Alüminyum ve Titanyum elektrotları ile 15 Volta çalışılmıştır.



Çizelge 4.21. Bira ve malt sanayi atık suyunun 15 Volt ile Elektrokimyasal arıtım sonucu karakteristik özellikleri

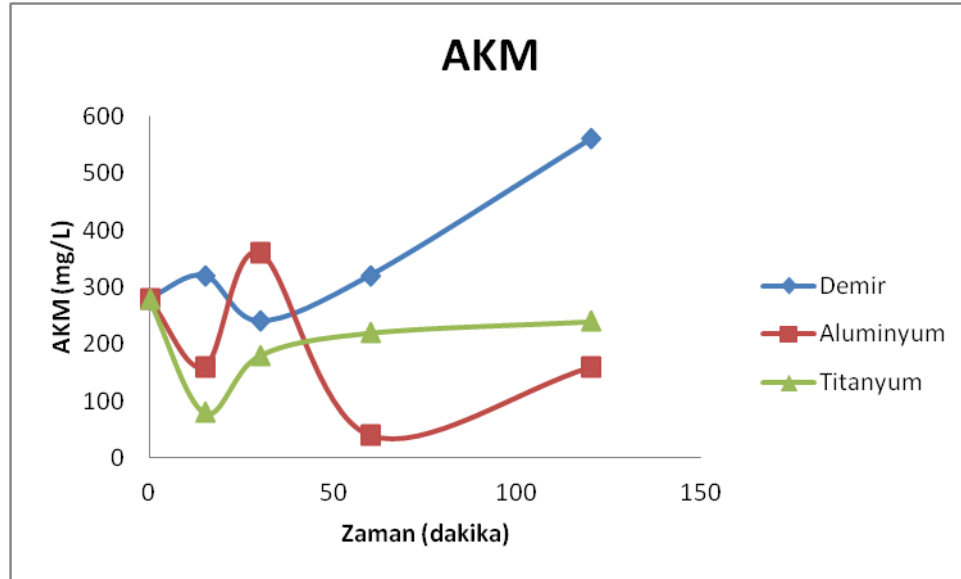
Numune	pH	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (mg/l)	Elektriksel İletkenlik
Demir -15 Dakika	7,10	23,4	1,3	2,77
Demir - 30 Dakika	7,41	24,2	1,1	2,44
Demir - 60 Dakika	9,12	25,3	1,0	2,19
Demir -120 Dakika	9,35	24,2	0,9	2,13
Alüminyum -15 Dakika	6,25	21,7	1,0	2,31
Alüminyum - 30 Dakika	6,32	22,6	1,0	2,29
Alüminyum - 60 Dakika	6,40	24,1	1,0	2,21
Alüminyum - 120 Dakika	7,46	23,5	2,2	0,90
Titanyum - 15 Dakika	6,04	18,3	1,0	2,26
Titanyum - 30 Dakika	6,07	18,2	1,0	2,34
Titanyum - 60 Dakika	6,14	19,3	1,1	2,33
Titanyum - 120 Dakika	6,39	19,2	1,1	2,34

#### 4.3.1 Bira Sanayi Atıksuyunda Askıda Katı Madde ve Uçucu Askıda Katı Madde Giderimi

Deşarj standartları limit değerine yakın miktarda askıda katı madde içeren bu atıksuyun proses sırasında AKM değişimleri gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.22. Bira sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde miktarı

NUMUNE	Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	280
Demir - 15 dakika	320
Demir - 30 dakika	240
Demir - 60 dakika	320
Demir - 120 dakika	560
Alüminyum -15 dakika	160
Alüminyum - 30 dakika	360
Alüminyum - 60 dakika	40
Alüminyum - 120 dakika	160
Titanyum - 15 dakika	80
Titanyum - 30 dakika	180
Titanyum - 60 dakika	220
Titanyum - 120 dakika	240

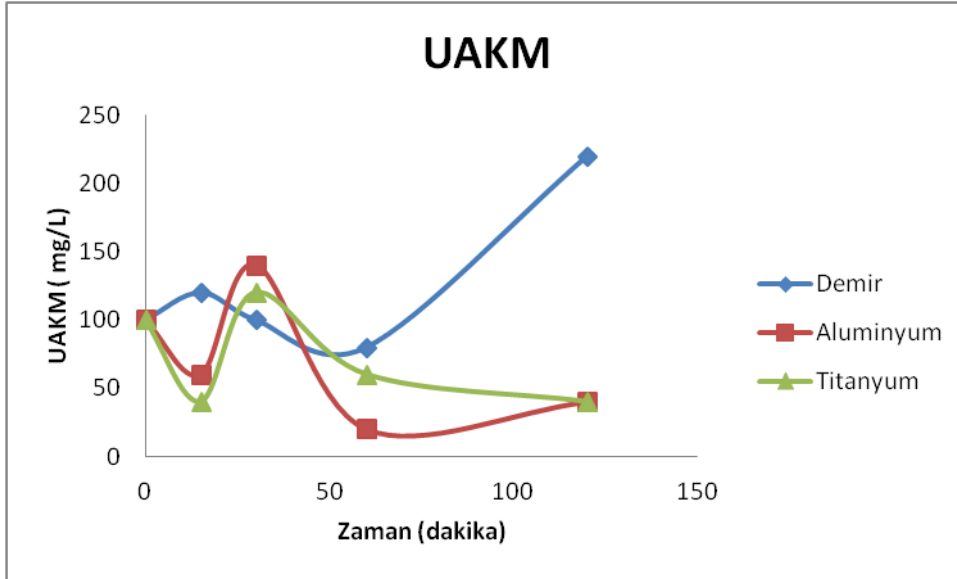


Şekil 4.15. Bira ve malt sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi

Reaktör işletme şartları değiştirilmeden AKM dışında U-AKM, KM ve OM analizi de yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.23. Bira sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde miktarı

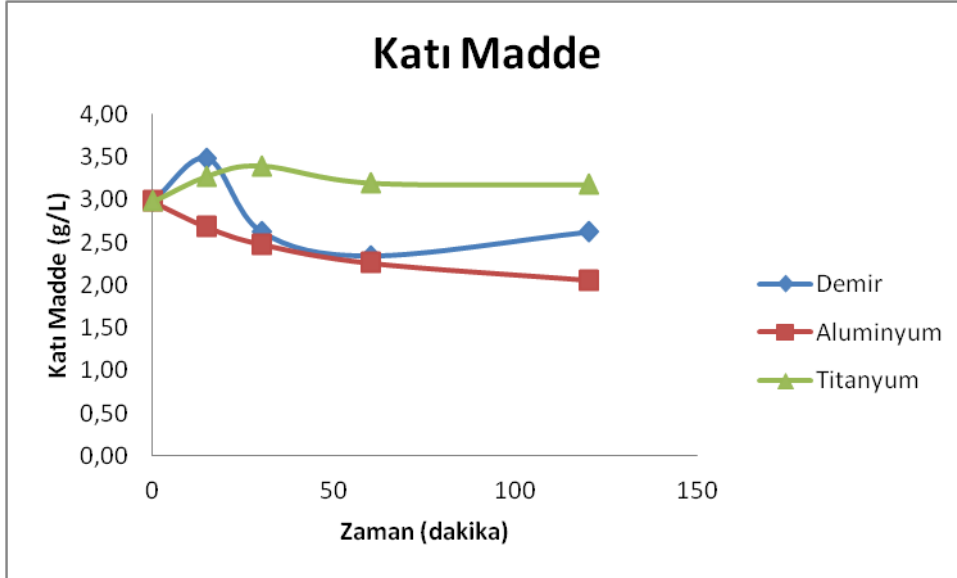
NUMUNE	Uçucu Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	100
Demir - 15 dakika	120
Demir - 30 dakika	100
Demir - 60 dakika	80
Demir - 120 dakika	220
Alüminyum -15 dakika	60
Alüminyum - 30 dakika	140
Alüminyum - 60 dakika	20
Alüminyum - 120 dakika	40
Titanyum - 15 dakika	40
Titanyum - 30 dakika	120
Titanyum - 60 dakika	60
Titanyum - 120 dakika	40



Şekil 4.16. Bira ve malt sanayi atıksuyunda bağlı U-AKM giderimi

Çizelge 4.24. Bira sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde yüzdesi

NUMUNE	Katı Madde (g/L)
Giriş	2,98
Demir - 15 dakika	3,48
Demir - 30 dakika	2,62
Demir - 60 dakika	2,34
Demir - 120 dakika	2,62
Alüminyum -15 dakika	2,68
Alüminyum - 30 dakika	2,48
Alüminyum - 60 dakika	2,26
Alüminyum - 120 dakika	2,06
Titanyum - 15 dakika	3,28
Titanyum - 30 dakika	3,40
Titanyum - 60 dakika	3,20
Titanyum - 120 dakika	3,18



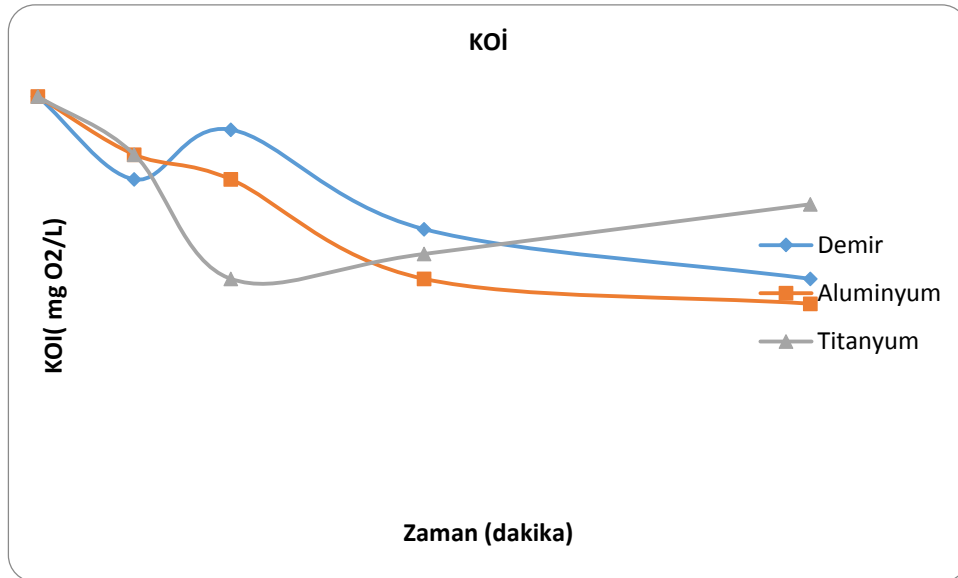
Şekil 4.17. Bira ve malt sanayi atıksuyunda bağlı katı madde giderimi

#### 4.3.2 Bira Atıksuyunda KOİ Giderimi

Bira sanayi atıksuyunda belirtilen şartlar ile KOİ analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.25. Bira sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı KOİ analiz sonuçları

Numune Adı	KOİ ( mgO <sub>2</sub> / L )
Giriş	8 800
Demir - 15 dakika	7 200
Demir - 30 dakika	8 160
Demir - 60 dakika	6 240
Demir - 120 dakika	5 280
Alüminyum -15 dakika	7 680
Alüminyum - 30 dakika	7 200
Alüminyum - 60 dakika	5 280
Alüminyum - 120 dakika	4 800
Titanyum - 15 dakika	7 680
Titanyum - 30 dakika	5 280
Titanyum - 60 dakika	5 760
Titanyum - 120 dakika	6 720



Şekil 4.18. Bira ve malt sanayi atıksuyunda bağlı KOİ giderimi

#### 4.3.3 Bira Sanayi Atıksuyu Nutrient Analizi

Reaktörün üç elektrot ile 120 dakika çalıştırılması ile elde edilen nütrient analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.26. Bira sanayi atıksuyunda elektrotla bağlı nütrient analiz sonuçları

Numune	Toplam P (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)
Giriş	3,08	0,3	0,39
Demir	0,77	3,2	0,09
Alüminyum	3,11	0,5	0,21
Titanyum	2,97	2,6	0,39

#### 4.4 MAYA SANAYİ ATIK SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI

Maya sanayisine ait atıksuyun karakteristik özellikleri belirlenmiş ve daha sonra bu numuneye elektrokoagülasyon uygulanmıştır. Sızıntı suyu demir, alüminyum ve titanyum elektrotları ile 15 Volta çalışılmıştır.

Çizelge 4.27. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı işletim şartlarında pH, sıcaklık, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik sonuçları

Numune	pH	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (mg/l)	Elektriksel İletkenlik
Demir -15 Dakika	7,67	30,1	12,90	7,2
Demir - 30 Dakika	6,61	32,6	12,65	7,3
Demir - 60 Dakika	6,08	19,5	12,70	7,3
Demir -120 Dakika	10,06	35,5	11,51	6,6
Alüminyum -15 Dakika	9,01	52,6	11,24	6,7
Alüminyum - 30 Dakika	6,14	19,4	12,76	7,3
Alüminyum - 60 Dakika	8,92	39,8	13,56	7,1
Alüminyum - 120 Dakika	7,70	60,5	12,09	7,1

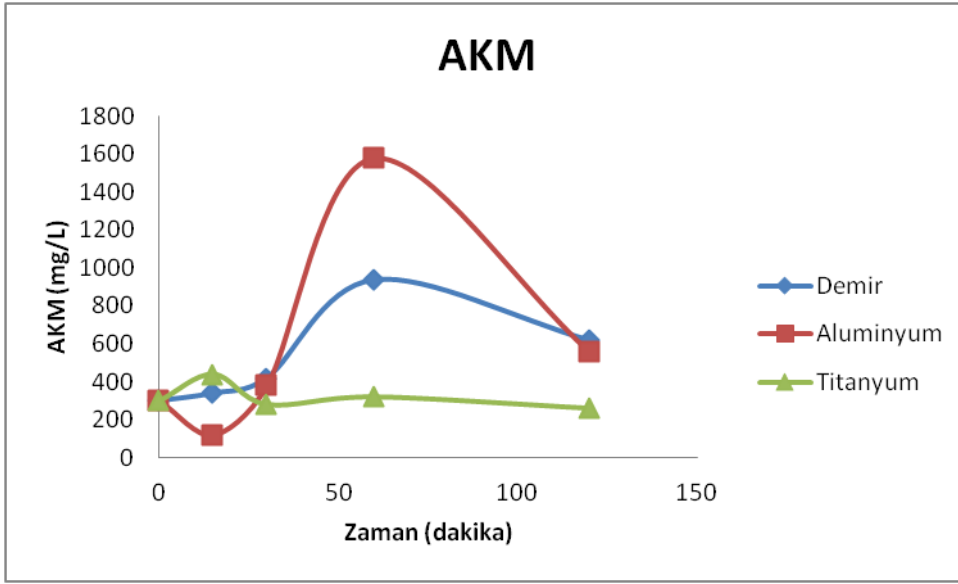
Titanyum - 15 Dakika	6,16	20,1	12,73	7,3
Titanyum - 30 Dakika	9,17	34,6	12,75	7,3
Titanyum - 60 Dakika	7,84	45,8	12,13	7,0
Titanyum - 120 Dakika	6,37	20,0	12,76	7,4

#### 4.4.1 Maya Sanayi Atıksuyunda Askıda Katı Madde, Uçucu Askıda Katı Madde ve Katı Madde Giderimi

Reaktörde dört farklı elektrot kullanılarak çalıştırıldığında elde edilen AKM sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.28. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı askıda katı madde analiz sonuçları

<b>NUMUNE</b>	<b>Askıda Katı Madde (mg/L)</b>
Giriş	300
Demir - 15 dakika	340
Demir - 30 dakika	420
Demir - 60 dakika	940
Demir - 120 dakika	620
Alüminyum -15 dakika	120
Alüminyum - 30 dakika	380
Alüminyum - 60 dakika	1 580
Alüminyum - 120 dakika	560
Titanyum - 15 dakika	440
Titanyum - 30 dakika	280
Titanyum - 60 dakika	320
Titanyum - 120 dakika	260

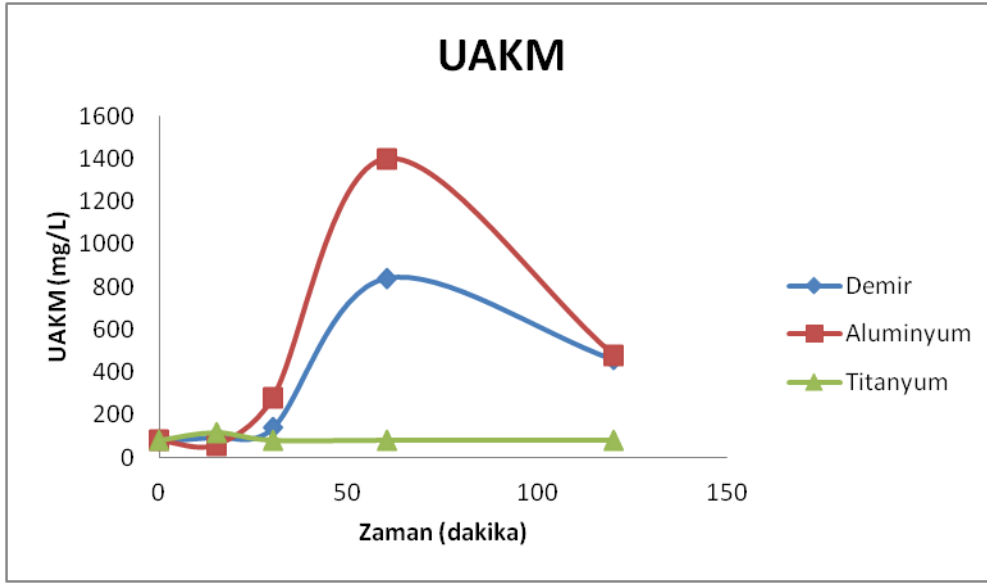


Şekil 4.19. Maya sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı AKM giderimi

Çizelge 4.29. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı uçucu askıda katı madde analiz sonuçları

NUMUNE	Uçucu Askıda Katı Madde (mg/L)
Giriş	80
Demir - 15 dakika	100
Demir - 30 dakika	140
Demir - 60 dakika	840
Demir - 120 dakika	460
Alüminyum -15 dakika	60
Alüminyum - 30 dakika	280
Alüminyum - 60 dakika	1 400
Alüminyum - 120 dakika	480
Titanyum - 15 dakika	120
Titanyum - 30 dakika	80
Titanyum - 60 dakika	80
Titanyum - 120 dakika	80



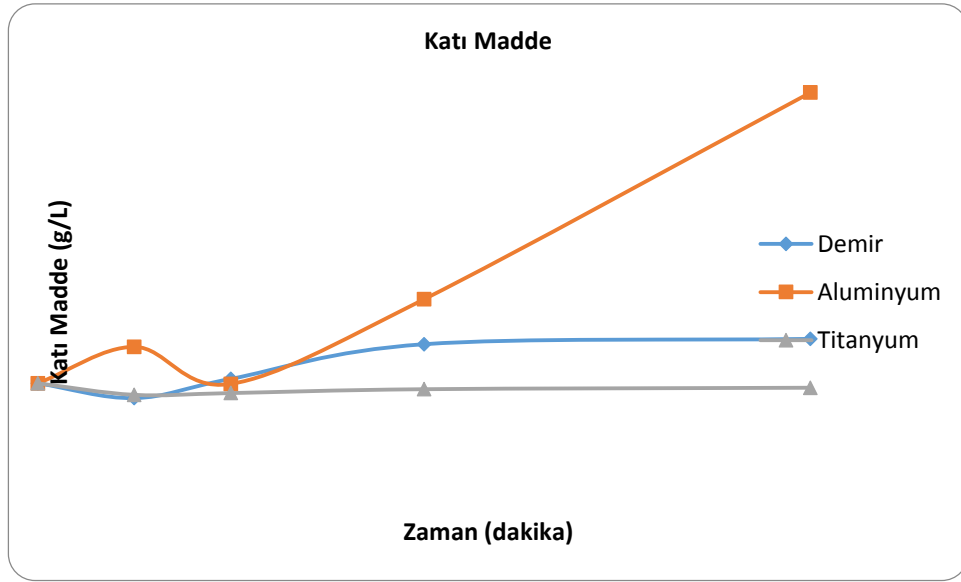


Şekil 4.20. Maya sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı U-AKM giderimi

Maya endüstrisi atıksuyu katı madde oranı yüzdesel ifade ile aşağıdaki tabloda görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.30. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı katı madde analiz sonuçları

NUMUNE	Katı Madde (g/L)
Giriş	11,34
Demir - 15 dakika	10,34
Demir - 30 dakika	11,64
Demir - 60 dakika	13,98
Demir - 120 dakika	14,34
Alüminyum - 15 dakika	13,80
Alüminyum - 30 dakika	11,30
Alüminyum - 60 dakika	17,02
Alüminyum - 120 dakika	30,98
Titanyum - 15 dakika	10,56
Titanyum - 30 dakika	10,68
Titanyum - 60 dakika	10,94
Titanyum - 120 dakika	11,04

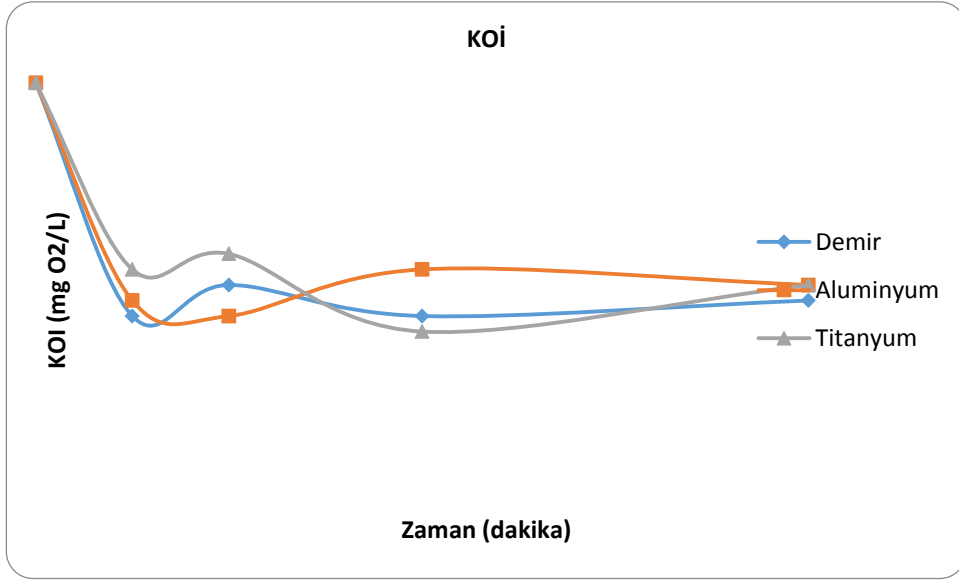


Şekil 4.21. Maya sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı katı madde giderimi

#### 4.4.2 Maya Sanayi Atıksuyunda KOİ Giderimi

Çizelge 4.31. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrot ve süreye bağlı KOİ analiz sonuçları

Numune Adı	KOİ ( mgO <sub>2</sub> / L )
Giriş	14 400
Demir - 15 dakika	7 200
Demir - 30 dakika	8 160
Demir - 60 dakika	7 200
Demir - 120 dakika	7 680
Alüminyum -15 dakika	7 680
Alüminyum - 30 dakika	7 200
Alüminyum - 60 dakika	8 640
Alüminyum - 120 dakika	8 160
Titanyum - 15 dakika	8 640
Titanyum - 30 dakika	9 120
Titanyum - 60 dakika	6 720
Titanyum - 120 dakika	8 160



Şekil 4.22. Maya sanayi atıksuyunda elektrot ve zamana bağlı KOİ giderimi

#### 4.4.3 Maya Sanayi Atıksuyunda Nutrient Giderimi

Maya sanayine ait atıksuyun nütrient analiz sonuçları aşağıdaki tablodaki gibidir.

Çizelge 4.32. Maya sanayi atıksuyu numunesinde elektrota bağlı nütrient analiz sonuçları

Numune (mg/L)	Toplam P (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)
Giriş	3,93	0,2	0,87
Demir	3,10	0,3	0,26
Alüminyum	10,2	0,2	0,25
Titanyum	0,25	1,0	0,76

## **5. SONUÇ VE ÖNERİLER**

### **5.1 KENTSEL ATIKSU ARITIMI**

Elektrokimyasal proses ile kullanılan elektrot ve akım değiştirildiğinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde dört elektrot ve iki akım içinde sonuçlar verilmiştir. Tercih edilecek elektrot türü, alıkonma süresi ve akım miktarı atıksuyunda giderilmek istenen kirletici maddeye göre değişecektir. Mevcut deşarj limit standartları göz önüne alındığında çalışılan atıksu numunesi için tercih şöyle olabilir. Her iki akımda da KOİ giderimi %100'e yakın sonuçlar olduğu görülmüştür. Düşük maliyet öncelik alınacağı için eşit giderim miktarları durumunda 7,5V'un tercih edilmesi doğru olacaktır. Bu akımda çalışılan dört elektrot için 15 dakika alıkonma süresinde %100'e yakın giderim oranına sahip alüminyum elektrotu tercih edilmelidir.

Askıda katı madde, katı madde, uçucu askıda katı madde ve organik madde sonuçları incelendiğinde reaktörün istenilen verimde çalışması ve beklenen deşarj limitlerine ulaşması için alüminyum elektrotunun tercih edilmesi gerektiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar göz önünde tutulduğunda reaktörün 7,5V ile çalıştırılması kirletici istenmeyen maddelerin giderimini olumlu yönde etkilemiştir. Titanyum elektrotu ile daha iyi giderim oranına sahip olsa da ( titanyum için %85 oranında giderim alüminyum için ise %70) titanyum için bu verime ulaşılabilmesi için reaktörün 60 dakika çalışması gerekmektedir, alüminyum elektrotu ile bu süre sadece 15 dakikadır.

Nütrient için yapılan analizlerde sadece 120 dakika alıkonma süresine sahip numuneler kullanılsa da giderim için doğru elektrot için kolaylıkla fikir edinmemize yardımcı olmuştur. Hem 7,5V hem de 15V için yapılan analizlerde 15V ile çalışan reaktöre ait atıksuyun yeterince çökmemesi ve iyonların analiz yapılan madde ile reaksiyona girmesi sonucu analiz sonuçları istenildiği gibi değildir. Bu nedenle 7,5V ile çalışılan reaktöre ait değerlerin karşılaştırılması daha doğru olmuştur. Bu karşılaştırmaya göre demir elektrotu nütrient gideriminde daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kentsel atıksuyun deşarj kriterleri düşünüldüğünde titanyum elektrotu ile 7,5V' ta 60 dakika çalışılması gerektiği saptanmıştır.

## 5.2 SIZINTI SUYU ARITIMI

Sızıntı suyunun reaktörde işletilmesi sonrası yapılan analizlerden elde edilen sonuçlarda KOİ gideriminde %68 ile %74 arasında orana sahip olduğu görülmüştür. Giderim için üç farklı elektrot dört farklı alıkonma süresi karşılaştırıldığında maksimum giderim oranının demir ve alüminyum elektrotların 120 dakika alıkonma süresi ile çalıştırıldığında olduğu hesaplanmıştır. Bu iki elektrottan hangisinin tercih edileceğinin kararı ortam pH'ı ile birlikte diğer giderim sonuçlarına dikkat edilmelidir.

Askıda katı madde, katı madde, uçucu askıda katı madde ve organik madde sonuçları incelendiğinde çalışılan 3 elektrottan en iyi işletim ve giderim verimi sağlayan elektrotun alüminyum olduğu görülmüştür. Sistemin en iyi giderim oranına 30'uncu dakikada ulaştığı saptanmıştır. Alüminyum elektrotu ile 60'ıncı dakikayı geçen alıkonma süresi ile işletildiğinde askıda katı madde miktarının arttığı görülmüştür. Bunun nedeni reaktörde flok ve köpük oluşması olabilir.

Yüksek nütrient içeriğine sahip olan sızıntı suyu ile yapılan çalışma sonucunda toplam fosforda %90 ile %99 a yakın giderim yapılmıştır. Reaktörde üç elektrot ile çalışılmış ve analiz için yapılan numuneler 120 dakika alıkonma süresinde işletilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki en iyi giderim verimi alüminyum elektrotunda görülmüştür.

## 5.3 BİRA SANAYİ ATIKSUYU ARITIMI

Bira sanayi atıksuyunun elektrokimyasal arıtım ile organik yük giderilebilirliği incelendiğinde reaktörün KOİ giderim veriminde %45 olduğu görülmektedir. Atıksu KOİ'si 8800 mg/L den 4800 mg/L' ye düşürülmüştür. Bu giderim sistemdeki analiz edilen maksimum giderim miktarıdır. Alüminyum elektrotu ile 120 dakika çalışılması sonucu gözlenmiştir. KOİ giderim oranının bu kadar düşük olmasının sebebi organik maddenin suda çözünebilen bileşik formunda olmasından kaynaklanabilir. Bira endüstrisinde elektrokoagülasyon prosesinden sonra sisteme dahil edilecek yarı geçirgenli membran

prosesi ters ozmos işlemi ile çözünmüş olduğu düşünülen bu maddelerin giderimini sağlayarak atıksu deşarj kriterlerine ulaşmasını sağlayabilir.

Deşarj limitlerinin üzerinde askıda katı madde miktarına sahip bira sanayi atıksuyunun katı madde giderimi üzerine yapılan analizler incelendiğinde alüminyum elektrotu ile reaktörün 60 dakika çalıştırıldığında AKM miktarında %85 giderim olduğu sonucuna varılmıştır. Bu giderim oranı ile deşarj limitlerinin altında eser miktarda AKM bulunmaktadır.

Nütrient gideriminde sonuçlar incelendiğinde her ne kadar üç elektrotta giderim konusunda başarılı işletme sonuçlarına sahip olsa da reaktör verimliliği açısından en doğru seçim alüminyum elektrotu olacaktır.

#### 5.4 MAYA SANAYİ ATIKSUYU ARITIMI

Yüksek organik bileşik içeriğine sahip maya atıksuyu elektrokimyasal proses ile arıtmaya çalışıldığında KOİ gideriminin %45 ile %55 arasında kaldığı görülmüştür. Atıksunun işlem öncesi KOİ'si 14400 mg/L iken 6720 mg/L' ye düşürülmüştür. Bu giderim miktarı analiz edilen maksimum değerdir ve titanyum elektrotu ile sistemin 60 dakika çalıştırılması ile elde edilmiştir. Atıksuyun KOİ'sinin deşarj limitlerine ulaşamamasının sebebi atıksudaki organik ve inorganik kirleticilerin çözünmüş halde bulunması ve koagülant madde ile etkileşime girememiş olması olabilir. Maya endüstrisinde elektrokoagülasyon prosesinden sonra sisteme dahil edilecek yarı geçirgenli membran prosesi ters ozmos işlemi ile çözünmüş olduğu düşünülen bu maddelerin giderimini sağlayarak atıksu deşarj kriterlerine ulaşmasını sağlayabilir.

Askıda katı madde miktarı deşarj sınırlarının üzerinde olan maya atıksuyu alüminyum elektrotu ile 15 dakika işletilmesi sonucu 0,3g/L iken 0,12g/L ye düşürülerek %60 giderim sağlanmıştır. Bu giderim ile deşarj limitinin altında askıda katı madde miktarına ulaşılmıştır.

Nütrient gideriminde en başarılı verim sonucuna sahip elektrotun titanyum ve demir olduğu görülmüştür. İşletilen su nütrient bakımından deşarj edilmeye uygundur.

## **KAYNAKLAR**

1. Kurt, U., İlhan, F., Birben, N.C., Ulucan, K., Gonullu, M.T., ‘‘Sızıntı Sularının Evsel Atıksularla Birlikte Elektrokoagülasyon Prosesiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi’’, TÜRKAY, (2009).
2. Dziejewski, J., Marczak S., Conniellis Ch., ‘‘Electrochemical detoxification of a 1,4-benzoquinone solution in wastewater treatment’’, Water Research, 28:887-893, (1994).
3. Ihara I., Kanamura K., Shimada E., et.al., ‘‘High Gradient Magnetic Separation Combined With Electrocoagulation and Electrochemical Oxidation for the Treatment of Landfill Leachate’’, Ieee Transactions On Applied Superconductivity, 14(2): 1558-1560, (2004).
4. İlhan, F., Kurt, U., Apaydin, O., Gonullu, M.T., ‘‘Elektrokimyasal Arıtım Uygulamaları:Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışmaları.’’, TÜRKAY, (2007).
5. Britannica Online, "Colloid", <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/125898/colloid> (22.04.2014)
6. Levine, I. N. ‘‘Physical Chemistry, 5th ed.’’, McGraw-Hill, Boston, 955s., (2001).
7. Martin, A., Bustamante, P., Chun, A.H., "Physical Pharmacy’’, Lea & Febiger, Philadelphia, 398-422 s. (1993).
8. <http://cevre.beun.edu.tr/dersnotu/cevrekimyasi2/koagulasyon-flokulasyon.pdf> (24.04.2014)
9. Field, J.A., Leyendeckers, M.J.H., Sierra-Alvarez, R., Lettinga, G., Habets, L.H.A., ‘‘The methanogenic toxicity of bark tannins and the anaerobic biodegradability of water-soluble bark matter’’, Water Sci. Technol., 20:219–240, (1988).
10. ECKENFELDER, W.W.; ‘‘Industrial Water Pollution Control’’, McGraw-Hill, New York, 400s., (1989).
11. DAVUTOĞLU, C., ‘‘Termik Santral Bacagazı Arıtma Tesisi Kaynaklı Koagülasyon Çamurunda Florür Giderimi’’, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 15-16 s., (2008).



12. Holt, P.K., Barton, G.W., Wark, M., and Mitchell, C.A., “A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation”, *Colloid Surface A*, 211: 233-248, (2002).
13. Canizares, P., Carmona, M., Lobato, J., Martinez, F. and Rodrigo, M.A., “Electrodissolution of aluminum electrodes in electrocoagulation processes”, *Indian journal of Engineering Chemical Research*, 44: 4178-4185, (2005).
14. Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., and Cocke, D.L., “Electrocoagulation (EC)-science and applications”, *Journal of Hazardous Materials*, 84: 29-41, (2001).
15. Arslan, T., Kabdaşlı, I., Arslan-Alaton, İ., Ölmez, T., ve Tünay, O., “Kompleks olarak bağlı metal içeren atıksuların elektrokoagülasyon prosesi ile arıtımı”, *İ.T.Ü. Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 18(11):42-52, (2008).
16. Vepsalainen, M., “Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewater”, *VTT Science*, 19:27, (2012).
17. Sasson, M.B., Calmano, W., Adin, A. “Iron-oxidation processes in an electroflocculation (electrocoagulation) cell”, *J. Hazard. Mater*, 171(3):704–709, (2009).
18. Zodi, S., Louvet, J., Michon, C., Potier, O., Pons, M., Lapticque, F., Leclerc, J., “Electrocoagulation as a tertiary treatment for paper mill wastewater: Removal of non-biodegradable organic pollution and arsenic”, *Sep. Purif. Technol.*, 81(1):62–68 (2011).
19. Chen, G., “ Electrochemical technologies in wastewater treatment”, *Separation and Purification Technology*, 38(1): 11–41, (2004).
20. Emamjomeh, M.M., Sivakumar, M., “Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes”, *J. Environ. Manage.*, 90(5): 1663–1679, (2009).
21. Eyvaz, M., Kirlaroglu, M., Aktas, T.S., Yuksel, E., “The effects of alternating current electrocoagulation on dye removal from aqueous solutions”, *Chem. Eng. J.*, 153(1): 16–22, (2009).

22. Sridhar, R., Sivakumar, V., Immanuel, V.P., Maran, J.P., ‘‘Treatment of pulp and paper industry bleaching effluent by electrocoagulant process’’, J. Hazard. Mater., 186(2): 1495–1502, (2011).
23. Meunier, N., Drogui, P., Mercier, G., Blais, J., ‘‘Treatment of metal-loaded soil leachates by electrocoagulation’’, Sep. Purif. Technol. 67: 110–116, (2009).
24. Kobya, M., Ciftci, C., Bayramoglu, M., Sensoy, M.T., ‘‘Study on the treatment of waste metal cutting fluids using electrocoagulation’’, Sep. Purif. Technol., 60(3): 285–291, (2007).
25. Bayramoglu, M., Eyvaz, M., Kobya, M., ‘‘Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation’’, Chem. Eng. J., 128(2): 155–161, (2007).
26. <http://www.rumelialuminyum.com/images/al%C3%BCminyumsanayisi.pdf>  
(01.05.2014)
27. Yang, Y.; Liu, L.; Jin, Q., ‘‘Study on treatment of municipal domestic sewage by electrocoagulation and electroflotation.’’, J. Xi’an Univ. Architect. Tech., 3, (2008).
28. Chiang, L.C., Chang, J.E., Wen, T.C., ‘‘Indirect oxidation effect in electrochemical oxidation treatment of landfill leachate’’, Water Research, 29(2): 671–678, (1995).
29. Vlyssides, A.G., Israilides, C.J., Loizidou, M., Karvouni, G., Mourafeti, V., ‘‘Electrochemical treatment of vinasse from beet molasses’’, Water Sciences and Technology, 36(2-3): 271-278, (1997).
28. Fil, A.B., Boncukluođlu, R., Yılmaz, A.E., Bayar, S., ‘‘Antep Fıstığı İşleme Atıklarının Elektrokimyasal Yöntemiyle Ön Arıtım Çalışmaları’’, Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der., 2(2): 29-36, (2012).
29. Avcu F., ‘‘ Atık Sulardaki Fenolün Elektrokimyasal Yöntemle Arıtılması İçin Elektrokimyasal Yöntem Geliştirilmesi’’, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 14 s., (2010).

30. İlhan, F., Kurt, U., Apaydin, O., Gonullu, M.T., "Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes.", *Environ. Eng. Sci.*, 154(1-3): 381-389, (2008).
31. Bukhari, A.A., "Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater" *Bioresour. Technol.*, 99(5): 914-921, (2008).
32. Linares-Hernandez, I., Barrera-Diaz, C., Pablo, C., Rojas, J., Roa-Morales, G.R., Urena, F., "Industrial Wastewater Treatment by Electrocoagulation-Direct Anodic Oxidation System" *ECS Trans.*, 20(1): 301-311, (2009).
33. Augustin, M.B., Waya, S.P., Phutdhawong, W., "Electrocoagulation of Palm Oil Mill Effluent.", *Journal of environmental quality* 40(4): 1332-9, (2008).
34. Wang, C., Chou, W., "Performance of COD removal from oxide chemical mechanical polishing wastewater using iron electrocoagulation.", *J. Environ. Sci. Health A*, 44(12): 1289, (2009).
35. Espinoza-Quiñones, F.R., Fornari, M.M.T., Módenes, A.N., Palácio, S.M., da Silva Jr. F.G., Szymanski, N., Kroumov, A.D., Trigueros, D.E.G., "Pollutant removal from tannery effluent by electrocoagulation.", *Chem. Eng. J.*, , 151(1-3): 59-65, (2009).
36. Körbahti, B., et. al., "Continuous electrochemical treatment of simulated industrial textile wastewater from industrial components in a tubular reactor", *J. Hazard Mater*, 170(2-3): 771-778, (2009).
37. Akbulut, H. Y., Karpuzcu, M., Cihan, F., Dimoglo, A., "Petrol İçeren Atıksuların Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılması", *Çevre Bilim ve Teknoloji Dergi*, 2(1): 53-65, (2004).
38. Asselin, M., Drogui, P., Benmoussa, H., Blais, J., "Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse

wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells.” *Chemosphere*, 72(11): 1727-1733, (2008).

39. Khansorthong, S., Hunsom, M., ‘‘Remediation of wastewater from pulp and paper mill industry by the electrochemical technique’’, *Chem. Eng. J.*, 151(1-3): 228-234, (2009).

40. Zaied, M., Bellakhal, N., ‘‘Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry.’’ *J. Hazard. Mater.*, 163(2-3): 995-1000, (2009).

41. Tezcan Un, U., Koparal, A.S.; Bakir Ogutveren, U., ‘‘Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes.’’ *J. Environ. Manage.*, 90(1): 428-433, (2009).

42. Şengil, I.A., Kulaç, S., Özacar, M., ‘‘Treatment of tannery liming drum wastewater.’’, *J. Hazard. Mater.*, 167(1-3): 940-946, (2009).

43. Katal, R., Pahlavanzadeh, H., ‘‘Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater.’’, *Desalination*, 265(1-3): 199-205, (2011).

44. Aoudj, S., Khelifa, A., Drouiche, N., Hecini, M., Hamitouche, H., Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry. *Chem. Eng. Process.*, 49(11): 1176-1182, (2010).

45. Raju, G.B., Karuppiah, M.T., Latha, S.S., Parvathy, S., Prabhakar, S., ‘‘Treatment of wastewater from synthetic textile industry by electrocoagulation-electrooxidation.’’, *Chem. Eng. J.*, 144(1): 51-58, (2008).

46. Larue O., Vorobiev E., Vu C., ‘‘Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions’’, *Separation and Purification Technology*, 31(2): 177-192, (2003).

47. Tünay, O., Metin, E., Kabdaşlı, I., Ölmez-Hancı, T., ‘’Elektrokoagülasyon prosesi ile üretilen atık çamurlarının reaktif boyar madde gideriminde adsoran olarak kullanılabilirliği.’’, Itüdergisi, 20(1):49-56, (2010).

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad :** Ceyhun AKARSU

**Doğum Tarihi :** 30 / 06 / 1990

### Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Okul Adı	Yıl
Lisans	Çevre Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2008-2012
Yüksek Lisans	Çevre Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2012- 2014

### Görevler :

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Arş. Gör.	Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü	2013-

### Çalışmalar :

#### Lisans

- Sentetik Olarak Hazırlanan Tekstil Atık Suyunun Bardenpho Sistemi Kullanılarak Arıtımının Araştırılması(2012).

#### Yüksek Lisans

- Elektrokimyasal Proses Kullanılarak Kentsel Ve Yüksek Organik İçerikli Atıksuların Arıtılabilirliğinin Araştırılması(2014)