

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAĞLI ATIKSULARIN ÜÇ BOYUTLU ÇELİK TEL ELEKTROT KULLANIMI İLE
ELEKTROKİMYASAL ARITIMI

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERCAN GÖÇ

OCAK 2018

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAĞLI ATIKSULARIN ÜÇ BOYUTLU ÇELİK TEL ELEKTROT KULLANIMI İLE
ELEKTROKİMYASAL ARITIMI

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sercan GÖÇ

DANIŞMAN: Prof. Dr. Ayten GENÇ

ZONGULDAK

Ocak 2018

KABUL:

Sercan GÖÇ tarafından hazırlanan “Yağlı Atıksuların Üç Boyutlu Çelik Tel Elektrot Kullanımı İle Elektrokimyasal Arıtımı” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 26/01/2018

Danışman: Prof. Dr. Ayten GENÇ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Şeyda KORKUT

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Handan UCUN ÖZEL

Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2018



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Sercan GÖÇ



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAĞLI ATIKSULARIN ÜÇ BOYUTLU ÇELİK TEL ELEKTROT KULLANIMI İLE ELEKTROKİMYASAL ARITIMI

Sercan GÖÇ

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayten GENÇ

Ocak 2018, 103 sayfa

Elektrokimyasal teknolojiler, ağır metallerin, boyaların, organiklerin ve yağların atık sudan uzaklaştırılması için başarıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada, hacimce %2 oranında bor yağı (Petrol Ofisi) kullanılarak hazırlanan sentetik yağlı atıksuların arıtımı, çelik tellerin (SS410) elektrot olarak kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak 0.65 mm genişliğinde çelik tellerden oluşan yataklar anot ve katot elektrot olarak kullanılmıştır. Elektrotlara 5, 10 ve 15 V potansiyel farkı uygulanmış ve en yüksek yağ giderim verimi (%90) en yüksek potansiyel farkı uygulamasında elde edilmiştir. Ayrıca çelik tel yatak elektrotlar ile elde edilen yağ giderim verimlerinin çelik levha elektrotlar kullanımında elde edilen giderim verimlerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Elektrokimyasal arıtımda akım yoğunluğunun arıtım verimine önemli etkisi olduğu bilindiği için deneyler üç farklı elektrot yatak uzunluğu (9, 18 ve 27 cm) sabit potansiyel farkında (15 V) gerçekleştirilmiştir. Elektrot yatak uzunluğu 9 cm olduğunda arıtım verimi düşük olmakla birlikte (%87), 18 cm ve 27 cm uzunluklarda ise %90 yağ giderim verimleri elde edilmiştir. Ancak bu yatak uzunluklarına karşılık gelen spesifik enerji tüketimi hesaplandığında 5.62

ÖZET (devam ediyor)

kWsa/m^3 ve 9.10 kWsa/m^3 elde edilmiştir. Bu durumda arıtım verimi ve enerji tüketimi birlikte değerlendirildiğinde en uygun elektrot yatak uzunluğunun 18 cm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elektrot yataklar arasına polipropilen ve poliüretan kimyasal malzemeden yapılmış gözenekleri ve emülsiyon içerisinde elektrotlar arası iletkenleri farklı, üç yalıtkan malzeme yerleştirilerek arıtım veriminin değişimi izlenmiştir. Malzemelerin iletkenliklerine bağlı olarak yağ giderim verimlerinin %10 ve %90 aralığında değişebildiği gözlenmiştir.

Elektrotlara uygulanan potansiyel farkı 15 V değerinde sabit tutularak elektrokimyasal arıtım deneyleri kesikli ve sürekli akışta üç farklı debide (51, 108, 146 mL/dak) tekrarlanmıştır. Çalışılan debilerde kesikli akışta arıtılan su sürekli olarak sisteme geri gönderilerek karışım sağlanmıştır. Bu nedenle her üç debide elde edilen arıtım verimi yaklaşık olarak aynıdır ve %90 civarındadır. Sürekli akışlı deneylerde ise debinin artışı ile %89, %78 ve %55 yağ giderim verimleri elde edilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında hacimce %5 seyreltilmiş sintine suyu kullanılarak elektrokimyasal hücre arıtım deneyleri ile kesikli akışta %90 giderim verimi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağlı atıksuların arıtımı, emülsiyon atık yağ, elektrokinetik arıtım, elektro-koaleser, çelik elektrot.

Bilim Kodu: 615.01.01.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ELECTROCHEMICAL TREATMENT OF OILY WASTEWATER USING THREE DIMENSIONAL STEEL WIRE ELECTRODES

Sercan GÖÇ

**Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Ayten GENÇ
January 2018, 103 pages**

Electrochemical technologies have been successfully applied for the removal of heavy metals, dyes, organics and oils from wastewater. In this study, the treatment of synthetic oily wastewaters prepared from 2% by volume of bor oil (Petrol Ofisi) was carried out by using steel wires (SS410) as electrodes. In the experiments, the beds made of strip steel wires with a width of 0.65 mm were used as anode and cathode electrodes. The potential difference of 5, 10 and 15 V was applied to the electrodes and the highest oil removal (90%) was obtained with the highest potential difference applied. It has also been observed that the oil removal efficiencies obtained with steel wire bed electrodes were higher than those obtained with the use of steel plate electrodes.

Experiments were also carried out with constant potential difference (15 V) for three different electrode bed lengths (9, 18 and 27 cm) since it is known that the current density is a significant influence on the removal efficiency of the electrochemical treatment. When the electrode bed length was 9 cm, the removal efficiency was low (87%) and 90% oil removal efficiencies were obtained at 18 cm and 27 cm lengths. However, the corresponding specific energy consumption

ABSTRACT (continued)

for these two bed lengths were calculated as 5.62 kWsa/m³ and 9.10 kWsa/m³ were obtained. When the removal efficiency and energy consumption were analyzed together, it was determined that the optimal electrode bed length was 18 cm. In addition, three materials which were made of polyurethane having different porosities and conductivities were placed in between the electrode beds and were tested for the use of insulating materials. Depending on the conductivities of the materials, it has been observed that the oil removal efficiencies can vary between 10% and 90%.

Electrochemical treatment experiments were performed at three different volumetric flowrates (51, 108, 146 mL/min) in batch and continuous flow, with the potential difference applied the electrodes keeping constant at 15 V. In the batch flow, the treated water was continuously recycled to the entrance. Therefore, approximately the same oil removal efficiency was obtained for the three studied flowrates and was around 90%. The corresponding steady state removal efficiencies at the studied volumetric flowrates were 89%, 78% and 55%, respectively, in the continuous flow operation.

In the final stage of the study, the electrochemical treatment experiments at batch flow were carried out using bilge water diluted to 5% by volume and 90% oil removal efficiency was obtained.

Keywords: Oily wastewater treatment, emulsion waste oil, electrokinetic treatment, electro-coalescer, steel electrode.

Science Code: 615.01.01

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması sırasında ve deneysel çalışmalarda bilimsel tecrübesini paylaşan, bana her konuda ilgi, alaka ve samimiyetle destek olan saygı değer hocam Sayın Prof. Dr. Ayten GENÇ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca üzerimde emeği geçen, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma, tez jüri üyeliği için zaman ayıran değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Şeyda KORKUT ve Sayın Doç. Dr. Handan UCUN ÖZEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda yardımcı olan saygı değer meslektaşım Buket ÇERKEŞLİ'ye, bana maddi ve manevi destek olan arkadaşlarım Çevre mühendisliği yüksek lisans öğrencisi Abdülkerim BAYRAKTUTAR, Makine mühendisi Cüneyt AKSU, Matematik bölümü yüksek lisans öğrencisi Umut ÖZCENGİZ ve diğer adını yazamadığım destek olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana her konuda destek olan ve "beni geç" diyerek beni teşvik eden çok değerli babam İbrahim GÖÇ ve saygı değer annem Ümran GÖÇ'e, ailemin diğer fertleri olan kıymetli kardeşim Çağrı GÖÇ, dedem Sadık BATTAL ve anneannem Nimet BATTAL'a bana maddi ve manevi desteklerinden dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1 METAL KESME SIVILARI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	5
2.2 YAĞLI ATIKSULARIN ARITIMI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	8
2.3 KOALESER (COALESCER) İLE YAĞLI ATIKSULARIN ARITIMI.....	14
2.4 ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE YAĞLI ATIKSULARIN ARITIMI	16
2.4.1 Elektroflotasyon	17
2.4.2 Elektro-oksidasyon	18
2.4.3 Elektro-koagülasyon	19
2.5 ELEKTRO-KOALESER İLE YAĞLI ATIKSULARIN ARITIMI	24
2.6 ELEKTROSTATİK KOALESER MODELLEME ÇALIŞMALARI.....	24
BÖLÜM 3 METAL KESME SIVILARININ ÖZELLİKLERİ, KULLANIM ALANLARI ve ARITIM YÖNTEMLERİ	29

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1 METAL KESME SIVILARININ ÖZELLİKLERİ	29
3.2 METAL KESME SIVILARININ FONKSİYONLARI.....	31
3.3 METAL KESME SIVISININ UYGULAMALARA GÖRE SINIFLANDIRILMASI... 32	
3.3.1 Sentetik Metal Kesme Sıvısı.....	32
3.3.2 Yarı Sentetik Metal Kesme Sıvıları	32
3.3.3 Saf Metal Kesme Sıvıları	33
3.3.4 Emülsiyon Metal Kesme Sıvıları	33
3.4 METAL KESME SIVISI ATIKSULARININ ÖZELLİKLERİ	34
3.5 METAL KESME SIVISI ATIKSULARININ ARITIM YÖNTEMLERİ.....	34
3.5.1 Elektrokimyasal Arıtma Yöntemleri.....	36
3.5.1.1 Elektro-oksidasyon (EO _x) prosesi.....	37
3.5.1.2 Elektroflotasyon (EF) prosesi.....	38
3.5.1.3 Elektro-koagülasyon (EK) prosesi	39
3.6 YAĞ TUTUCULAR.....	41
3.6.1 Koaleser (Birleştirici) Yağ Tutucu.....	42
BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	45
4.1 MATERYAL ve METOT	45
4.1.1 Kullanılan Metal Kesme Sıvısı	45
4.1.2 Kullanılan Kimyasal Malzemeler	45
4.1.3 Sentetik Atıksu Numunesinin Hazırlanması	46
4.1.4 Atıksu Numunelerinin Kararlılığı	46
4.1.4 Atıksuların Hazırlanması ve Karakterizasyonunun Belirlenmesinde Kullanılan Cihazlar	47
4.2 ELEKTROKİMYASAL HÜCRE DÜZENEGİ	50
4.2.1 Giriş ve Çıkış Savakları	51
4.2.2 Elektrotlar	51
4.2.2.1 Elektrot ortamının fiziksel özellikleri	54
4.3 ENERJİ TÜKETİMİ VE SPESİFİK ENERJİ TÜKETİMİ	56

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5 BULGU ve TARTIŞMA	59
5.1 GİRİŞ VE ÇIKIŞ SAVAK YAPILARININ GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ	59
5.2 YALITKAN ARA ORTAM MALZEMESİNİN GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ	60
5.3 ELEKTROTLAR ARASI POTANSİYEL FARKININ GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ	61
5.3.1 Elektrotlar Arası Potansiyel Farkına Göre Enerji Tüketimi	63
5.4 KESİKLİ AKIŞTA DEBİ DEĞİŞİMİNİN BULANIKLILIK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ.....	63
5.4.1 Kesikli Akışta Debinin Güç Tüketimine Etkisi	65
5.5 SÜREKLİ AKIŞTA DEBİ DEĞİŞİMİNİN BULANIKLILIK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ.....	65
5.5.1 Sürekli Akışta Debinin Enerji Tüketimine Etkisi:	65
5.6 ÇELİK TEL KATOT ELEKTROT YATAK POROZİTESİNİN BULANIKLIK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ	67
5.6.1 Kesikli Akışta Katot Elektrot Ortam Porozitesinin Enerji Kullanımına Etkisi	68
5.7 YATAK UZUNLUĞUNUN GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ	69
5.7.1 Kesikli Akışta Elektrot Yatak Uzunluğunun Enerji Tüketimine Etkisi.....	70
5.8 SİNTİNE SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI.....	71
5.8.1 Sintine Suyunun Elektrokimyasal Arıtımında KOİ Giderimi.....	72
BÖLÜM 6 SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR.....	79
EK AÇIKLAMALAR	85
ÖZGEÇMİŞ	103



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Koaleser çalışma mekanizması.	15
Şekil 2.2 Su partikülü üzerindeki kuvvet dengesi.	25
Şekil 3.1 İki elektrotlu şematik elektrokoagülasyon hücresi.	40
Şekil 4.1 Atıksuların elektriksiz ve elektrik uygulamalı ortamda iletkenliklerinin yağ yüzdesine bağlı olarak değişimi.	47
Şekil 4.2 Peristaltik pompa.	49
Şekil 4.3 Elektrokimyasal hücre.	50
Şekil 4.4 Elektrokimyasal hücre (a) üst görünüm, (b) karşıdan görünüm.	50
Şekil 4.5 Spiral Çelik top elektrotlar ve yerleşim düzenleri.	51
Şekil 4.6 Hazırlanan anot elektrotun üstten görünümü.	52
Şekil 4.7 Deney düzeneğine yerleştirilmiş ara ortam.	52
Şekil 4.8 Katot elektrot yan (a) ve üst (b) görünümü.	53
Şekil 4.9 Elektrokimyasal gözenekli hücre ortamı.	53
Şekil 4.10 (a) Çelik teller (1-2 mm) (b) Piknometre.	54
Şekil 5.1 Savakların bulanıklık giderimine etkisi.	59
Şekil 5.2 Ara ortam malzemelerinin bulanıklık giderim verimine etkisi.	60
Şekil 5.3 Ara ortam malzemesine göre akım değişimi.	61
Şekil 5.4 Voltaj değişimine göre giderim verimi.	62
Şekil 5.5 Voltaj değişimine göre akım grafiği.	62
Şekil 5.6 Kesikli akışta farklı debilerde bulanıklık giderim verimleri.	64
Şekil 5.7 Kesikli akışta farklı debilerde akım değişimleri.	64
Şekil 5.8 Sürekli akışta farklı debilerde bulanıklık giderim verimleri.	66
Şekil 5.9 Sürekli akışta farklı debilerde akım değerleri.	66
Şekil 5.10 Katot elektrot yatak gözenekliliğinin bulanıklık giderimine etkisi.	67
Şekil 5.11 Katot elektrot yatak gözenekliliğine bağlı akım değişimleri.	68
Şekil 5.12 Yatak uzunluğuna göre bulanıklık giderim verimi.	69
Şekil 5.13 Yatak uzunluğuna göre akım değişimi.	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.14 Sintine atıksularının elektrokimyasal arıtımı.	71
Şekil 5.15 Sintine suyu giderimi işlemi (a) giriş haznesi (b) çıkış haznesi.....	72
Şekil 5.16 Sintine atıksularının elektrokimyasal arıtımında KOİ giderim verimleri.	73
Şekil E2.1 Elektro koaleser giriş savak yapısı ve boyutlandırılması	95
Şekil E2.2 Elektro koaleser çıkış savak yapısı ve boyutlandırılması	95
Şekil E2.3 Elektro koaleser üst görünüm ve boyutlandırılması	96
Şekil E2.4 Elektro koaleser yan görünümü ve boyutlandırılması.....	97



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Yağlayıcı olarak bitkisel yağların avantaj ve dezavantajları	7
Çizelge 2.2 Yağlı atıksuların giderim yöntemlerinin karşılaştırılması.	9
Çizelge 2.3 MYH ile oluşturulan sistemler ve karakterilizasyonu.....	11
Çizelge 2.4 Literatürde kimyasal arıtım çalışmaları	13
Çizelge 2.5 MKS'lerinin elektrokoagülasyon ile arıtımı	21
Çizelge 2.6 Literatürde yağlı atıksuların elektro-koagülasyon ile arıtımı konusunda yapılan çalışmalar	23
Çizelge 3.1 Elektrokoagülasyon anot ve katot reaksiyonları.	39
Çizelge 4.1 Bor yağı tipik özellikleri.	45
Çizelge 4.2 Emülsiyonun fiziksel özellikleri.	46
Çizelge 4.3 Deney ve analizde kullanılan cihazlar.	48
Çizelge 4.4 Bir adet çelik tel topun fiziksel özellikleri.	55
Çizelge 4.5 Anot ve katot elektrot yataklarında porozite değişimleri.....	55
Çizelge 5.1 Elektrotlara uygulanan potansiyel farkına göre enerji tüketim değişimi	63
Çizelge 5.2 Kesikli akışta debi değişiminin enerji kullanımına etkisi	65
Çizelge 5.3 Sürekli akışta debi değişiminin enerji kullanımına etkisi	66
Çizelge 5.4 Kesikli akışta katot elektrot ortam porozitesinin enerji tüketimine etkisi	69
Çizelge 5.5 Kesikli akışta yatak uzunluğunun enerji tüketimine etkisi	70



EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK 1 Petrol Ofisi Bor Yağı Bileşenleri.....	87
EK 2 Elektrostatik Koaleser Tasarım Çizimleri ve Boyutlandırmaları.....	93
EK 3 Elektrotlarda Kullanılan Çeliğin Sınıflandırma Özellikleri (SS410).....	99





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

d_g	: Gaz kabarcığı çapı
g	: Yerçekimi ivmesi
$\sqrt{\quad}$: Yüzme hızı
ρ_w	: Suyun yoğunluğu
ρ_g	: Gaz kabarcığının yoğunluğu
μ	: Suyun dinamik viskozitesi
V_{su}	: Damla hacmi
$\rho_{yağ}$: Yağ yoğunluğu
A_p	: Hareket yönüne dikey kesit alanı
C_D	: Laminer akışta damlacığın sürtünme faktörü
\sqrt{e}	: Damlacığın elektriksel alan şiddetindeki hızı
$dist$: İki damla arasındaki mesafe
d_d	: Damlacık çapı
E	: Elektriksel alan şiddeti
ϵ_0	: Elektriksel sabit
ϵ_r	: Yağ/Su elektrik sabiti
$conc$: Boyutsuz molar oran
q	: Yük miktarı
I	: Akım
t	: Zaman
F	: Faraday sabiti
M_w	: Çözünen metalin molekül ağırlığı
n	: Çözünen metalin tesir değeri
A	: Elektrot yüzey alanı
i	: Akım yoğunluğu
n_H	: Hidrojenin elektron transfer sayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

n_o	: Oksijenin elektron transfer sayısı
Q_H	: Hidrojen oluşum debisi
Q_O	: Oksijen oluşum debisi
V_O	: Normal koşullar altında gazların molar hacmi
M_A	: Şişe + Kapak kütlesi
M_B	: Şişe + Kapak + kuru tel parçaları kütlesi
M_C	: Şişe + Kapak + kuru tel parçaları + Su kütlesi
M_D	: Şişe + Kapak + Su kütlesi
ε	: Porozite
V_b	: Boşluk hacmi
V_T	: Katı-sıvı toplam hacmi,
E_T	: Enerji tüketimi
U	: Voltaj
V	: Arıtılan atıksu hacmi

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
AISI D2	: Çelik Standardı
AKM	: Askıda Katı Madde
API	: American Petroleum Institute
BTC	: Benzen- 1, 3, 5 tricarboxylate
BTT	: Bipolar Trickle Tower
COD	: Chemical Oxygen Demand
CPS	: Coalescence Plate Separator
DAF	: Dissolved Air Flotation
DC	: Doğru Akım
DSA	: Dimensionally Stable Anodes
EF	: Elektroflotasyon
EK	: Elektrokoagülasyon
GAK	: Granüllü Aktif Karbon
IAF	: Induced Air Flotation

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
MKS	: Metal kesme sıvısı
MMO	: Mixed Metaloksit
MOY	: Metal-Organik Yapı
MYH	: Mikrobiyal Yakıt Hücresi
NCPC	: Natco Corrugated Plate Coalescer
NTU	: Bulanıklık Birimi
PA	: Poliamit (, naylon 6, 12)
PAK	: Polialüminyum klorür
PBT	: Polibütilen Tereftalat
PP	: Polipropilen
PPC	: Performax Plate Coalescer
PPI	: Paralel Plakalı İnseptör
PVC	: Poli Vinil Klorür
PYF	: Palmiye yağı fabrikası
SET	: Spesifik Enerji Tüketimi
SGÜ	: Spesifik Güç Üretimi
SS 316	: Çelik Standardı
SS 410	: Elektro koaleser de kullanılan çelik elektrot standardı
SS	: Süspanse Katı
TKN	: Toplam Kjeldal Azotu
TOK	: Toplam Organik Karbon
TTO	: Toplam Toksik Organikler
VIEC	: Vessel Internal Electrostatic Coalescer
WPC	: Wemco Plate Coalescer
Y&G	: Yağ ve Gres



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayide veya sanayi dışı olarak kullanılan yağlar sularda ciddi boyutta kirliliğe neden olmaktadır. Yağlı atıksuların başlıca kaynakları petrol çıkarma alanları, petrol rafinerileri, petrokimyasal ürünler, petrol ürünleri depolama alanları, tekstil sektörü (yün yıkama işlemi), yağ fabrikaları, tabakhaneler (deri yıkama işlemi), araç tamir-bakım noktaları, bitkisel yağlar, mezbahalar ve metal kesme sıvılarıdır. Bu kirletici kaynaklarından gelen atıksularda dispers yağlar damla boyutuna göre karakterilize edilmektedir. Atıksularda yağ damla çapı 20 µm üstünde olduğunda graviteyle ayırma ve flotasyon gibi fiziksel metotlar sık olarak kullanılmaktadır. 20 µm altında, emülsiyon yağ damlacıklarının arıtımı için fiziksel yöntemlerin etkisi azalmaktadır. Emülsiyon yağ damlaları yüzey yükleri nedeniyle kararlı yapıdadır. Bu nedenle damlaların yüzey yüklerinde fiziksel, kimyasal, biyolojik ve elektrokimyasal arıtım yöntemleri ile değişimler sağlanarak kararsız hale getirilirler. Yaygın olarak membran filtrasyon (mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ters osmoz), koaleser, adsorpsiyon (aktif karbon), koagülasyon ve flokülasyon (demir tuzları), elektroflotasyon, elektro-oksidasyon, elektro-koagülasyon ve elektrokoaleser gibi yağ giderim yöntemleri kullanılmaktadır.

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda elektrokimyasal yöntemler ve koaleser (mikro lif yapılı) sıvı-sıvı ayırıcılar ile emülsiyon yapılarının arıtımı çalışılmaktadır. Koaleser malzemeleri membran yapılarına benzese de oleofilik ve daha gözenekli yapıdadır. Bu malzemelerin yağların geri kazanımını sağlama imkanları bulunmaktadır ve membranlara oranla tıkanma olasılığı düşüktür. Fakat damla boyutu düştükçe koaleser ile arıtımda verim düşmektedir. Elektrokimyasal yöntemler ile arıtımda ise yağ yapısı bozulduğundan geri kazanım mümkün değildir. Elektrokoaleser bir elektrokimyasal arıtım yöntemidir. Yaygın olarak petrol susuzlaştırma yani emülsiyon olmuş su damlalarını birleştirmek için kullanılmaktadır.

Metal kesme sıvıları bileşenlerinde birçok katkı maddesi bulunmaktadır. Soğutma, yağlama ve biyolojik bozulmaya direnç gibi özelliklere sahiplerdir. Metal kesme ve işlemede kullanılan bu

sıvılar ürün kalitesini arttırmayı amaçlar. Su bazlı kullanımlarında emülsiyon yapıdadırlar. Kullanımları sonrası termal bozulmaya uğraması ve askıda metal parçaları bulundurmaları gibi nedenlerden dolayı etkinliklerini yitirirler. Yapılarındaki katkı maddesi ile beraber yüksek KOİ içeriğine sahip ve tehlikeli kimyasallar grubunda bir kirleticidir. İçeriğinde bulundurdukları yüzey aktif maddeler, biyosidler ve diğer katkı maddeleri nedeniyle karmaşık yapılu atıksu özelliği gösterirler. Bu nedenle arıtmaları büyük problem olmaktadır. Hibrit prosesler kullanılarak problemlere çözüm aranmaktadır.

Bu çalışmada metal endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bor yağı (Petrol Ofisi) metal kesme sıvısı kullanılarak hazırlanan sentetik atıksuların elektrokimyasal yöntem ile arıtımı incelenmiştir. Atıksu numuneleri hacimce %2 oranında bor yağı içermektedir. Deneylerde kullanılan elektrokimyasal hücrenin hacmi 5 L'dir. Tasarımda kullanılan üç boyutlu anot ve katot elektrotları oluşturmak için 0,65 mm genişliğinde paslanmaz çelik teller (SS410) kullanılmıştır. Çelik teller hazır olarak alınmıştır ve helezonik yapıdadır. Helezonik yapıdaki teller tek eksenli sarılmıştır. Hazır alınan silindirik şekilde sarılmış çelik elektrotlar yaklaşık olarak 5 cm çapında ve 5 cm yüksekliktedir.

Katod haznesi 6 cm yüksekliğinde, 17 cm genişliğinde ve 27 cm uzunluğundadır ve 30 adet silindirik çelik bulunmaktadır. Anot haznesi ise aynı genişlik ve uzunlukta olmakla birlikte yüksekliği 2 cm'dir. Bu nedenle anot 6 adet silindirik telden oluşmaktadır. Elektrotlar arasında 1cm yüksekliğinde yalıtkan bir malzeme (polipropilen) yerleştirilmiştir. Ayrıca elektrot yapıları silindirik olduğundan yatay konumda yerleştirildiklerinde dikdörtgen prizma olan elektrokimyasal ünitenin taban bölgesine boşluk oluşmaktadır. Oluşan boşlukların kapatılması için 2 cm derinliğinde, 5,67 cm genişlikte ve 27 cm uzunluğunda 3 adet oluk (PVC boru) yerleştirilerek ölü bölgelerin oranı azaltılmıştır.

Elektrokimyasal arıtım deneyleri elektrotlara 5, 10 ve 15 V potansiyel farkı uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Elektrotlara uygulanan potansiyel farkı arttıkça yağ giderim veriminin arttığı gözlenmiştir. Elde edilen en yüksek giderim verimi %90'dır. Ayrıca çelik tel yatak katot ile elde edilen yağ giderim verimlerinin çelik levha katot kullanımında elde edilen giderim verimleri ile benzer olduğu gözlenmiştir.

Elektrotlara uygulanan potansiyel farkı 15 V değerinde sabit tutularak elektrokimyasal arıtım deneyleri kesikli ve sürekli akışta üç farklı debide (51, 108, 146 mL/dak) tekrarlanmıştır.

Çalışılan debilerde kesikli akışta arıtılan su sürekli olarak sisteme geri gönderilerek karışım sağlanmıştır. Bu nedenle her üç debide elde edilen arıtım verimi yaklaşık olarak aynıdır ve %90 civarındadır. Sistemin yaklaşık olarak 40 dakika sonra yatışkın duruma ulaştığı gözlenmiştir ve toplam deney süresi 2 saat olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde 2 saat süren sürekli akışlı deneylerde ise debinin artışı ile arıtım verimlerinin azaldığı gözlenmiştir. Çalışılan atıksu debilerinde yatışkın durumdaki giderim verimleri sırası ile %89, %78 ve %55 elde edilmiştir.

Elektrot ortamının giderim verimine etkisini incelemek için dört farklı poroziteye (%99.3, %98.1, %97.2, %96.9) sahip katot oluşturulmuştur. Uygulanan sabit potansiyel altında giderim verimleri ve akım değerleri incelenmiştir. Ek olarak katot için çelik levha kullanılmıştır. Ünite tabanından 6 cm yukarıda olacak şekilde sabitlenmiş altı boş bırakılmıştır. Çelik levha yerleştirildiğinde giriş ve kenarlarda açıklık kalmayacak şekilde sabitlenmiştir. Tek akış, çıkış tarafından 1 cm açıklıktan sağlanmıştır.

Elektrokimyasal arıtımda akım yoğunluğunun arıtım verimine önemli etkisi olduğu bilindiği için deneyler üç farklı elektrot yatak uzunluğu (9, 18 ve 27 cm) sabit potansiyel farkında (15 V) gerçekleştirilmiştir. Elektrot yatak uzunluğu 9 cm olduğunda arıtım verimi düşük olmakla birlikte (%87), 18 cm ve 27 cm uzunluklarda ise %90 yağ giderim verimleri elde edilmiştir. Ancak bu yatak uzunluklarına karşılık gelen spesifik enerji tüketimi hesaplandığında 5.62 kWsa/m³ ve 9.10 kWsa/m³ elde edilmiştir. Bu durumda arıtım verimi ve enerji tüketimi birlikte değerlendirildiğinde en uygun elektrot yatak uzunluğunun 18 cm olduğu belirlenmiştir.

Elektrot yataklar arasına poliüretan kimyasal malzemedan yapılmış gözenekleri ve iletkenleri farklı üç malzeme yerleştirilerek yalıtkan malzeme olarak kullanımları test edilmiştir. Malzemelerin elektrotlar arası iletkenliği ve flotasyonu engellemesine bağlı olarak yağ giderim verimlerinin %10 ve %90 aralığında değişebildiği gözlenmiştir.

Çalışmanın son aşamasında gemi atıksuları olarak bilinen ve viskozitesi yüksek sintine suyunun KOI arıtımı incelenmiştir. Yapılan deneylerde, sintine suyu hacimce %5 seyreltilmiş ve hazırlanan arıtım ünitesinde elektrotlarda potansiyel farkı oluşturmadan %90 KOI giderim verimi sağlanmıştır. Sintine suyundaki yağların paslanmaz çeliğe adsorplandığı gözlenmiştir.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 METAL KESME SIVILARI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Kesme yağı, yağlama soğutma özelliklerine bağlı olarak metal kesme veya işleme proseslerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kesme yağları; soğutma, sürtünme azaltma (yağlama), işleme malzemesinin kaynama mukavemetinin azaltılması olmak üzere üç özelliği ile ön plana çıkmaktadır (Baradie 1996, Chawaloeshonsiya et al. 2017).

Düzgün bir şekilde uygulandığında kesme sıvısı, daha yüksek kesme hızları, daha yüksek besleme hızları ve daha fazla kesim derinliği kullanımını mümkün kılarak üretkenliği artırabilir ve maliyetleri düşürebilir. Malzeme, talaş ve iş parçasının üzerinden akar bir kesme sıvısı ısıyı ortadan kaldırmakta ve böylece kesme alanındaki sıcaklıkları düşürebilmektedir. Genellikle sıcaklık düşüşü, aşınma hızında azalmaya ve takım ömründe artışa neden olur (Baradie 1996).

İşleme prosesinde kesme akışkanlarının verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için kesme sıvısı türlerinin ve çalışma koşullarının bilgisi kritik önem taşır. Kesme sıvısı kalitesi aynı zamanda işlenen metalin yüzey pürüzlülüğünü de belirlemektedir. Kesme alanına kesme sıvısı uygulamak için kullanılan yöntemlerin iyi anlaşılması, talaşlı imalatta ısı oluşumunu önemli ölçüde azaltabilir ve böylece yüzey pürüzlülüğünü iyileştirebilir. Günümüzün imalat sanayiinde, düşük maliyet, yüksek verimlilik ve iyi ürün kalitesi gibi özellikler aranmaktadır ve bu özellikleri sağlayabilecek kesme sıvıları seçilmektedir (Debnath et al. 2014, Baradie 1996).

Kesme sıvılarının her geçen gün artan miktarda kullanımları ve içerdikleri kimyasal maddelerden dolayı kullanım sürelerini dolduran yağlar çevresel problemlere neden olmaktadır. Çevresel kaygıların sonucu olarak, kirlilik üzerine artan yönetmelikler, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen kesme sıvılarına olan talebin artmasına neden olmaktadır. Kuşkusuz, biyolojik kesme sıvıları, mineral esaslı kesme sıvılarından kaynaklanan

ekolojik problemleri önemli ölçüde azaltmıştır. Dünyada kullanılan kesme sıvılarının yaklaşık %85'i mineral bazlı kesici sıvılardır. Diğerleri arasında en yüksek kullanılma miktarına sahiptir (Debnath et al. 2014). Satın alma, hazırlama, bakım ve elden çıkarma da dahil olmak üzere kesme sıvıları maliyetinin, bir ürünün toplam işleme maliyetinin yaklaşık %16'sı olduğu tahmin edilmektedir (Debnath et al. 2014). Üretilen parçaların durulanmasında kullanılan endüstriyel yıkayıcılardan çıkan atıksuyun, emülsifiye yağ konsantrasyonu 300-7000 mg/L ve serbest yağ içeriği 30000 mg/L olabilmektedir (Demirbaş and Kobya 2016). Kesme sıvılarının biyolojik olarak parçalanabilir olmaması ve arıtımlarının özel işlemler gerektirmesi nedeniyle bu sıvıların bertaraf maliyeti satın alma maliyetlerinin iki ila dört katına kadar çıkabilmektedir (Shokrani et al. 2012).

Kesme sıvıları; saf yağ, su bazlı yağ/su veya su/yağ (seyreltilmiş emülsiyer/çözücüler) ve gaz/sıvı olarak uygulanabilmektedir. Yağ içeriklerine göre ise bitkisel, mineral, hayvansal, sentetik ve yarı sentetik olarak sınıflara ayrılabilir. Ayrıca kesme sıvıları çeşitli yüzey aktif maddeler, biyositler ve özelliğe göre eklenen diğer kimyasallar içerebilmektedir (Baradie 1996, Debnath et al. 2014).

Emülsiyon kesme sıvıları su bazlı olmaları nedeniyle biyolojik olarak bozulmaya meyillidir. Klocke ve Kuchle (2011) yaptıkları çalışmada emülsiyer yağ içeriğinin içine %0.15 biyosit ekliyerek biyolojik dayanımını arttırmışlardır. Bununla birlikte, Kuram et al. (2013) formaldehit kimyasalının kanserojen potansiyeli olan biyositlerin salınımını tetiklemekte olduğu için zararlı olduğunu savunmaktadır. Kanser Araştırmaları Ajansı, heterosiklik ve poliaromatik halkaları içeren petrol esaslı kesme sıvılarında kanserojen kimyasal maddeler olduğunu ve bu sıvılara maruziyetinin mesleki cilt kanseri ile sonuçlanabileceğini bildirmektedir (Abdalla et al. 2007, Debnath et al. 2014). Bu tehlikeli maddeler nedeniyle, toksik ve daha az biyodegradasyona neden olan sıvılar, akciğer kanseri, solunum yolu hastalıkları, dermatolojik ve genetik hastalıklar gibi ciddi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Ozcelik et al. 2011). Özellikle kükürt, klor, fosfor, hidrokarbonlar ve biyosit gibi kimyasal katkılarla kesme sıvıları tarafından üretilen sis, duman ve koku cilt reaksiyonları ve solunum problemlerine de neden olabilmektedir (Debnath et al. 2014).

Günümüzde hergeçen gün daha sıkı kontrol ve deşarj limitleri içeren çevre ve sağlık koruma ile ilgili oluşturulan yeni mevzuatlar, kesme sıvılarının kullanımı ve bertarafı için maliyetin sürekli olarak artmasına ve çevreye duyarlı bilimsel araştırmaların yapılmasına yol açmaktadır.

Kesme sıvılarının çevreye duyarlı özellikleri arasında biyolojik olarak parçalanabilirlik, toksisite ve yenilenebilirlik değerlendirilmektedir (Kuram et al. 2013). Biyolojik bozunabilirlik göz önüne alınırsa, kesme sıvılarını formüle etmek için esterler ve bitkisel yağlar daha fazla tercih edilmektedir. Çünkü mineral yağa göre kolaylıkla biyolojik olarak bozunabilmektedir (Debnath et al. 2014). Bitkisel tabanlı kesme sıvılarının avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.1’de sunulmuştur.

Çizelge 2.1 Yağlayıcı olarak bitkisel yağların avantaj ve dezavantajları (Shashidhara and Jayaram 2010).

<i>Avantajlar</i>	<i>Dezavantajlar</i>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Yüksek biyolojik bozunabilirlik</i> • <i>Çevresel olarak düşük kirletici</i> • <i>Katkılara uyumlu</i> • <i>Düşük üretim maliyeti</i> • <i>Geniş üretim imkanları</i> • <i>Düşük toksisite</i> • <i>Yüksek parlama noktası</i> • <i>Düşük uçuculuk</i> • <i>Yüksek viskosite indeksleri</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Düşük termal stabilite</i> • <i>Oksidatif kararlılık</i> • <i>Yüksek donma noktası</i> • <i>Zayıf korozif koruma</i>

Salete ve Oliveira (2008), hintyağı ve mineral yağdan elde edilen yeni bir kesme sıvısı için biyolojik bozunabilirlik testi gerçekleştirmiştir. Test, karanlıkta 20-25 °C’de 28 gün boyunca yürütülmüştür. Hintyağı içerikli yeni kesme sıvısının yüksek bozunma oranlarına sahipken, mineral yağın sadece %20 - %60 oranında bozunduğunu tespit etmişlerdir. Benzer şekilde sentetik yağ ve kolza tohumu yağı için aynı işlemler uygulandığında kolza tohumu yağı tamamen bozulmuş, sentetik ham yağ %20 - %30 civarı bir bozulma gerçekleştirmiştir (Salete ve Oliveire 2008).

Sharma ve Singh (2013), AISI D2 çeliğinin kuru ve kuruya yakın kesim işlemlerini mineral yağlara alternatif olarak bitkisel yağ tabanlı kesme sıvı ile karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlar, kuru kesim sırasında oluşan sıcaklığın %50 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Julie et al (2012), deneysel olarak kendi tasarımları (Taguchi L₉) olan soya yağı bazlı bir kesme sıvısı geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, soya bazlı kesme sıvısı petrol bazlı kesme sıvılarına kıyasla yüzey pürüzlülüğünün azaltılmasında benzer performans sergilerken, takım aşınmasına göre daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuştur.

Mineral yağ tabanlı kesme sıvıları biyolojik olarak zor parçalanmaktadır. Yüzey aktif maddeler ile emülsiyon oluşturduğunda kararlı hale getirilerek işlemde geçirilmesi gerekmektedir. Arıtımı zor olması nedeniyle çeşitli yöntemler çalışılmıştır. Ayrıca yüzey aktif maddeler ortamda bulunduğu, soğurma ve bozunma gibi etkileri vardır. Bu özellikle toprağa üzerinde biyo-yararlanımı ve biyolojik bozunumu niteliklerini etkilemektedir (Karhu 2015).

2.2 YAĞLI ATIKSULARIN ARITIMI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Yağ ve gres, çok çeşitli endüstrilerde ve evsel kanalizasyonda yaygın olarak görülen bir kirleticidir. Atık sulara petrol ve petrol ürünleri, örneğin metal işleme, metal kesme, petrol rafinerileri, petrokimya, tekstil, yağlı atık toplama ve nakliyesi ayrıca gıda endüstrisi ve lokantalar vb. gibi faktörlerden dolayı yağlı atıklar karışabilmektedir. Bu nedenle, yağlı atıksular sadece mineral ve sentetik yağlar değil bitkisel yağlar ve esterler de içermektedir (Karhu 2015).

Yağ endüstrisi tarafından çeşitli komplikasyonlar ile üretilen organik ve inorganik bileşenler, salin solüsyonu (belli ölçülerde sodyum bikarbonat ve sodyum klorür içeren distile su çözelti, deniz vb.) içerisinde en geniş atık akışını oluşturmaktadır (Karhu 2015). Deniz ortamındaki yağ, deniz yaşamı, kara canlılığı, insan sağlığı ve doğal kaynaklara zarar verebilir. Aşırı viskoz yapısı ve toksisitesi ciddi sorunlara sebep olmaktadır (McLaughlin et al. 2014). Sintine suyu, gemide çeşitli kaynaklardan gelen yağlı sıvılar ve diğer kirleticilerin bir karışımıdır. Sintine suyu gemide tutulamazsa, özellikle okyanuslarda yolculuk yapan gemilerde boşaltma öncesi yağ ayırıcılar ile muamele edilerek arıtımları zorunludur (Yu et al. 2017). Yağlı atıksular, içme suyu ve yer altı suyu kaynaklarını etkilemekte, insan sağlığı için tehlike yaratmakta, atmosferik kirlilik, doğal yaşam ve görünümünü tahrip etmekte ve yanıcı özellik gibi çeşitli olumsuzluklara sahiptir (Yu et al. 2017). Yağlı atıksu çevreye deşarj edildiğinde, ekolojik kaynakları ve işlevleri etkileyen yüzey filmleri ve kıyı şeridinde tortu oluşumuna neden olur (Barrera-Díaz et al.2006). Yağlı atıksuların arıtımı için fiziksel, kimyasal, elektro-kimyasal, biyolojik prosesler ve

proseslerin birlikte kullanımları olmak üzere çeşitli arıtım yöntemleri uygulanmıştır (Ahmadun et al. 2009, An et al. 2017).

Gravite, siklon ayırma, kimyasal çöktürme, sorpsiyon, membran filtreleme ve kimyasal oksidasyon gibi bazı mevcut teknolojiler yağ kaldırma için kullanılmıştır (An et al. 2017). Yağlı atıksuların arıtımında kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 Yağlı atıksuların giderim yöntemlerinin karşılaştırılması (An et al. 2017).

<i>Giderim yöntemleri</i>	<i>Avantaj</i>	<i>Dezavantaj</i>
<i>Gravite ayırıcılar</i>	<i>Basit tasarım, düşük enerji tüketimi</i>	<i>Geniş alan, yavaş ayırma oranı, mikro boyutlu kirleticilere etkisiz</i>
<i>Hidro-siklonlar</i>	<i>Geniş arıtma kapasitesi, küçük hacimli, basit işletme ve kurulum</i>	<i>Yüksek enerji gereksinimi, ince yağ damlacıkları için düşük ayırma verimi, yüksek bakım maliyeti</i>
<i>Sorpsiyon</i>	<i>Basit çalışma, yüksek verim, düşük maliyeti</i>	<i>İnce yağ damlacıkları için düşük ayırma verimi, yüksek maliyetler, yüksek konsantrasyonunda verimsiz</i>
<i>flotasyon</i>	<i>Uzun ömürlü, dayanıklı, yüksek kirletici taşma, kolay kullanım</i>	<i>Aşırı köpüklenme ve çamur üretimi, ayırma işlemi süresi uzun</i>
<i>Membran fitrasyonlar</i>	<i>Yüksek verim, kimyasal ilave olmaması ve işlenebilir atık oluş.</i>	<i>Membran tıkanması ve performansın azalması, ön arıtım gereksimi</i>
<i>Kimyasal oksidasyon</i>	<i>Yüksek verim, hızlı parçalama, işletim kolaylığı</i>	<i>Yüksek maliyet, istenmeyen yan ürün, operatör için güvenlik sorunu</i>
<i>biyodegrasyon</i>	<i>Düşük işletim maliyeti, temiz teknoloji</i>	<i>Yüksek bekleme süresi, geniş alan, sıcaklık ve pH değişimlerine karşı hassas, kalifiyeli operatör gerekli</i>
<i>Koalgülasyon</i>	<i>İyi yağ giderim verimliliği</i>	<i>Kompleks işletme, yüksek işletme maliyeti, ikincil kirleticilerin üretilmesi</i>

Yağlı atıksu arıtma işlemi, gaz flotasyonu ile gerçekleştirilebilir. Düzgün çalışan gaz flotasyon üniteleri, atıksu içeriğindeki yağ konsantrasyonlarını 40 mg/L'nin çok altında düşürülebilmektedir. Gaz flotasyonundaki en önemli faktör, kabarcığın yükselme hızıdır. Stokes deklemanı (2.1) ile kabarcığın çapına bağlı olarak yoğunluk farkı nedeniyle oluşturduğu hız bulunabilmektedir (Moosai ve Dawe 2003).

$$v = \frac{d_g^2 g (\rho_w - \rho_g)}{18\mu} \quad (2.1)$$

d_g : gaz kabarcığı çapı (cm)

g : yer çekimi ivmesi (cm/s^2)

v : yüzme hızı (cm/s)

ρ_w : suyun yoğunluğu (g/cm^3)

ρ_g : gaz kabarcığı yoğunluğu (g/cm^3)

μ : suyun dinamik viskozitesi (gr/cm. s)

Gaz flotasyon (IAF) için bazı özel dağıtıcılarla (devirli çarklı kompresör, ejektör, gaz kabarcık çapı ortalama: 1000 μm) verilebileceği gibi su basıncı altında çözündürülerek ardından basınç düşüşüyle de verilebilmektedir (DAF, gaz kabarcık çapı ortalama: 20-100 μm). Özel dağıtıcılarla yapılan filotasyon deniz petrol üretim atık arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Moosai ve Dawe 2003). Flotasyon sadece Stokes denklemine bağlı değildir. Gaz kabarcıklarının dağılımı, giriş yağ konsantrasyonu, su ve atık yağın kimyasal içeriği, pH ve viskozite ilişkisinin ara faz üzerindeki etkisi, kabarcıkların ara yüzey özellikleri ve yayılma stabilitesi gibi parametrelere de bağlıdır (Moosai ve Dawe 2003). Etchepare et al. (2016) yaptığı çalışmalarda, nano ve mikro balon çaplarının farklı koşullarda giderim verimi üzerine etkisini incelemiştir. Tuzlu su (30 g/L, NaCl) içerisindeki emülsiyeye olmuş petrol, ilk olarak gravite ile ayırma işleminden geçirilmiş ve katyonik poliakrilamid (dismulgan) kullanılarak floklama işlemi uygulanmıştır. Ardından nano ve mikro gaz kabarcıkları ile ayrı ayrı ve birlikte flotasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. En iyi giderim verimi dismulgan'ın 5 mg/L ve 5 bar basınç değerlerinde elde edilmiştir. Besleme yağı konsantrasyonu 334-484 mg/L değerlerini aştığında giderim verimi düşmektedir. Giderim verimi nano ve mikro gaz kabarcıkları için sırasıyla %73 - %84 ve %92 - %95'dir. Tuz kullanılmadığında ise giderim verimi %75 ve %90'lardadır. Cai et al. (2016), flotasyon için döngülü bir sistem üzerinde akış hızının (0.25, 0.50, 0.75, 1 m^3/sa) oluşan damlacık üzerine etkilerini incelemiştir. Döngülü akış hızının yüksek olması durumunda

küçük çaplı yağ damlacık oranının arttığı görülmüştür. Debi artışının aynı zamanda giderim verimini düşürdüğü tespit edilmiştir. Giderim verimi en yüksek %75 civarında elde edilmiştir.

Son zamanlarda yeni arıtım yöntemlerinden olan mikrobiyal yakıt hücreleri ile atıksudan elektrik üretimi ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Tee et al. (2016), palmye yağı fabrikası (PYF) atık suyunu hava katodu üzerinden geçirerek mikrobiyal yakıt hücresi (MYH) ve ganüllü aktif karbon (GAK) adsorpsiyon işlemlerinden geçirip hibrit sistem performansını incelemiştir. Tasarımlarına göre mikrobiyal yakıt pili spesifik güç üretimi (SGÜ) 55 mW/m³ olarak bulunmuştur. Ortalama akım değeri ise 2.13 mA ve iç direnci ise 29.3 Ω olarak tespit edilmiştir. 884 mg/L KOİ kirletici konsantrasyonu içeriği bulunan atıksuyun sadece adsorpsiyon ile arıtımında %79.6 giderim sağlanırken, hibrit sistem uygulaması ile KOİ giderimi %90.5'e yükselmiştir. Kirletici konsantrasyonu arttıkça giderim verimi düşmüştür. Yapılan bu çalışma ve karşılaştırılan benzeri çalışmalar Çizelge 2.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.3 MYH ile oluşturulan sistemler ve karakterizasyonu (Tee et al. 2011).

	<i>Tek bölmeli MYH (Jiang ve Li 2009)</i>	<i>Tek bölmeli MYH (Kong et al. 2011)</i>	<i>Tek bölmeli MYH (Kong et al. 2011)</i>	<i>Tek bölmeli MYH (Tee et al. 2011)</i>
<i>KOİ giderim</i>	>90%	86%	79%	>90%
<i>SGÜ</i>	7.2 W/m ³	0.397 W/m ³	0.54 W/m ³	55 mW/m ³
<i>Anot</i>	<i>Grafit çubuk ve GAK</i>	<i>Grafit çubuk ve GAK</i>	<i>Grafit çubuk ve grafit granülleri</i>	<i>Grafit fiber fırça ve GAK</i>
<i>Katot</i>	<i>Pt kaplı karbon kumaş</i>	<i>Pt kaplı karbon kumaş</i>	<i>Pt kaplı karbon kumaş</i>	<i>Aktif karbon fiber keçe</i>
<i>Atık su</i>	<i>Evsel ve sentetik</i>	<i>Sihhi (nutrien ilavesi yok)</i>	<i>Sihhi (nutrien ilavesi yok)</i>	<i>PYF</i>
<i>Akış modu</i>	<i>Kesikli akış</i>	<i>Kapalı döngü (akışkan yatak)</i>	<i>Kapalı döngü (akışkan yatak)</i>	<i>Kapalı döngü</i>

Sorachoti et al. (2016), metal kesme sıvısı emülsiyonlarını metal-organik yapıları (MOY) absorbanla giderimi üzerine çalışmışlardır. MOY'lar organik ligantlarla metal iyonlarının koordineli polimerleşmesiyle oluşan gözenekli yapılardır. Çalışmalarında Cu-BTC (benzen-1,3,5 tricarboxylate) olan MOY kullanmışlardır. Ayrıca GAK kullanarak yüzey alanları ve giderim verimlerini karşılaştırmışlardır. Cu-BTC Sentezinde, azot gazı altında sıcaklık oda sıcaklığından 450°C'a kadar 5°C/dak olacak şekilde arttırmışlardır. Buna ek olarak, sıcaklık (80,100 ve 120°C) su/etanol (1:1, 2:1, 3:1) oranı ve sentezlenme sürelerinde (8, 16, 24 sa) yüzey alanları (m²/g) ölçülmüştür. Cu-BTC 3:1 çözeltide sıcaklık ve zamana bağlı olarak yüzey alanı

doğru orantılı olarak arttığını tespit etmişlerdir. En yüksek verim (80°C, 8 sa 3:1 şartlarında sentezlenen Cu-BTC (549.5 m²/g) 60 dak karıştırılarak adsorpsiyon yapıldığında %98.3 olarak bulmuşlardır. Karşılaştırma olarak etanol içeriği 1:1 (471,7 m²/g) ve GAK (955 m²/g) giderim verimlerini sırası ile %6.8 ve %22.2 olarak bulmuşlardır. Bitanol veya etanol ile yıkandıklarında (3sa) sırasıyla %73 ve %82 oranında geri kazanım sağlanabilmektedir.

Koagülasyon/flokülasyon metal tuzları yardımı ile zeta-potansiyelini kırmayı amaçlayan giderim prosesidir. Genelde iki tanktan oluşmak üzere; ilk tankta hızlı karıştırma ile metal tuzları homojen karışım sağlayarak emülsiyon yapısını bozar, ikinci tanka ise yavaş karışım ile flokların oluşması amaçlanır. Ardından çeşitli proseslerle sedimentasyon, DAF, membran vb. işlemler uygulanabilmektedir. Uygulanan bu işlemler ile ilgili çalışmalar Çizelge 2.4'de verilmektedir (Pintor et al. 2016). İkincil kimyasal yüklü çamur oluşumu bu prosesin en büyük dezavantajlarındanadır.

Daud et al. (2015) bilyodizel atıksuyu ile yaptıkları çalışmalarda koagülatlara göre yağ gres ve KOİ giderim verimlerini incelemişlerdir. Bilyodizel atıksuları yüksek miktarda yağ-gres içeren bazık ve az miktarda da azot ve fosfor bulundurmaktadır. Bu neden ile arıtımı zordur. Deneylerinde koagülant olarak; alüminyum sülfat (Alum: Al₂(SO₄)₃.18H₂O: 500 mg/L), polialüminyum klorür (PAK: 300 mg/L), demir sülfat (Fe₂(SO₃)₃.7H₂O: 450 mg/L), demir klorür (FeCl₃.6H₂O: 350 mg/L) kullanmışlardır. Standart jar testi ile koagülant miktarını belirlemişlerdir. Koagülasyon ve flokülasyon hidrolık kalış süresi ve karıştırma hızlarını sırası ile 4 dak-150 rpm ve 20 dak- 20 rpm olarak gerçekleştirmişlerdir. Alum, PAK, demir klorür ve demir sülfat yağ-gres (Y&G) ve KOİ giderim verimleri sırası ile %99 - %53, %97 - %75, %97 - %63 ve % 94 - %54 olarak bulmuşlardır.

Yağlı atıksuların membranlar ile arıtımında oldukça yüksek giderim verimleri elde edilebilir. Bu nedenle atık yağın arıtım sonrası geri kazanımı mümkün olabilmektedir. Membranın iyi performans sağlaması ise bakım ve tıkanma faktörlerinin optimize edilmesini gerektirir. Bu nedenle seçilen ön arıtım işlemi, membranın karakteri ve işletme koşulları mümkün olduğunca iyi incelenerek karar verilmelidir. Membranlar oluşturulma amaçlarına göre, süperhirofobik (su ile temas açısı=0°), süper hidrofilik (su ile temas açısı>150°), süperoleofilik (yağ ile temas açısı=0°) ve süperolefobik (yağ ile temas açısı >150°) özellikler taşıyabilmektedirler (Pintor et al. 2016).

Çizelge 2.4 Literatürde kimyasal arıtım çalışmaları (Pintor et al. 2016, *Dassey ve Theegala 2012, **Santo et al. 2012).

Yöntemler	Reaktifler	Deney numunesi	Y-G _g (mg/L)	Y-G _c (mg/L)	Giderim (%)
Solvent ilavesi	n-hekzan (6:10)	Palmiye yağı fab. Atıksuyu (pH: 9)	1089	54	95,3(Y-G _g)
Koagülasyon	Alüminyum klorür (60 mg/L Al)	Çözünebilir yağ emülsiyonu (50:50 w/w)	3000	-	≈90 (KOİ)
Koagülasyon/ Flokülasyon/ DAF	Demir sülfat (50 mg/L)	Petrol işleme atıksuyu (pH: 8,5)	200	-	>95 (Y-G _g)
	Demir sülfat (10 mg/L)				85 (Y-G _g)
	Demir klorür (100 mg/L Fe ⁺³) (flokleştirici olarak sodyum oleat (50 mg/L) ilavesi ile)	n-oktan emülsiyon (pH ≈ 6)	500	<30	≈95 (Y-G _g)
	Alum (100 mg/L)	Petrol işletme atıksuyu (pH 8,5)	200	-	>95 (Y-G _g)
	Alum	Bitkisel yağ rafinerisi atıksu	345-800	104-320	48-73
	Demir klorür (800 mg/L) (flokleştirici olarak Floccin (900 mg/L) ilavesi ile)	*Kümes hayvanları işletmesi atıksuyu	KOİ: 10000 mg/L	14297	KOİ:900
Koagülasyon/ Flokülasyon/ sedimentasyon	PAX-18 (Polialüminyum klorür) (27 mg/L Al ₂ O ₃)	**Petrol rafineri atıksuyu (Sülfid oksidasyon tankından sonra)	-	-	KOİ:184-580 mg/L
	Alüminyum sülfat (40 mg/L Al ₂ (SO ₄) ₃)				KOİ: 517 mg/L
	Demir sülfat (56 mg/L Fe ₂ (SO ₄) ₃)				KOİ: 573mg/L
	PAX-18 (Polialüminyum klorür) (200 mg/L Al ₂ O ₃)	Konserve balık imalathanesi atıksuyu	759	-	99,5 (Y-G _g)
	Alüminyum sülfat (200 mg/L Al ₂ (SO ₄) ₃ .16H ₂ O)				99,4 (Y-G _g)
	Demir sülfat (200 mg/L)				99,5 (Y-G _g)
	Demir klorür (200 mg/L)				99,2 (Y-G _g)
	Kalsiyum klorür (100 mg/L)				97 (Y-G _g)
	RIFLOC 1815 (organik koagülant) (150 mg/L)	Konserve balık imalathanesi atıksuyu (pH 9)	405	-	98,6
	Kireç (16,6kg/gün), Alum (5 kg/gün)	Bitkisel yağ rafinerisi atıksu	1150	10,6	-
	PAK (20 mg/L Al)	Yarı sentetik motor yağı emülsiyonu	102,5	<5	-
	Alum (8 g/L)	Palmiye yağı fab. Atıksuyu	2000	-	99 (Y-G _g)
	PAK (6 mg/L)				
	Kitosan (0,5 g/L)				
	Alüminyum sülfat (1 g/L) kalsiyum oksit (nötralizasyon için)	Biyodizel atıksuyu (asit ile yağ asiti giderilmiş) (pH 6)	Ort. 20000	105	98,8 (Y-G _g)
Alum (200 mg/L AL ⁺³) (Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O)	Mezba atıksuyu (pH 7)	275-376	-	93-97 (Y-G _g)	
Demir sülfat (200 mg/L Fe ⁺²) (Fe ₂ (SO ₄) ₃ .7H ₂ O)				88,6 (Y-G _g)	
Demir klorür (100 mg/L Fe ⁺³) (FeCl ₃ .6H ₂ O)				89,9 (Y-G _g)	
Koagülasyon/ Sedimentasyon/DAF	Kalsiyum klorür	Bitkisel yağ rafinerisi atıksu (asitleştirilmiş)	2896-4750	104-320	93-97 (Y-G _g)
Koagülasyon/IAF	Kitosan (100 mg/L)	Zeytin yağı ile y/s emülsiyonu	5000	-	>90(bulan.)
Flokülasyon/DAF	Cat-Floc K-10 (poli (dimetil-dialil-amonyum klorür)) hacimce %1'i (5ml/L)	Akar yakıt-tatlı su emülsiyon	150-15000	0	-
		Akar yakıt-tuzlu su emülsiyon			
Yüzey Aktif madde/DAF	Setiltrimetilamonyum bromid (CTAB) (100 mg/L)	Terebentin y/s emülsiyonu	50-100	-	≈100 (Y-G _g)
	CTAB (25 mg/L) kondansat Oktilfenol etilen oksit (Np.42) (25 mg/L)	Terebentin y/s emülsiyonu (tuzlu su ile)			≈100 (Y-G _g)

Yoon et al. (2014), yağlı suları arıtmak için kompozit membran tasarlamışlardır. Tasarladıkları membranın seçici ıslanabilme özelliğine sahip olduğunu çalışmalarının sonunda göstermişlerdir. Oluşturdukları membran paslanmaz çelik üzerine poli (dialidimetilamonyum klorid) çözeltisi, sodyum perflorooktanoat ve silis nanopartiküllerin karıştırılması ile oluşturulmuştur. Hazırlanan membran dikey akış sırasında gözlemlendiğinde, hegzadekanın ve suyun temas açılırları sırası ile 95° ve 0° 'dir. Membranın hem oleofobik hem süper hidrofilik özellik gösterdiğini bulmuşlardır. Hazırladıkları membran ardına grafin ekleyerek çözünmüş yağların tutulmasını amaçlamışlardır. Matos et al. (2016), metal kesme sıvısı (hacimce %1, KOİ: 25745 mg/L) ile hazırladıkları emülsiyonu koagülasyon (kalsiyum klorür) /santifürj (15dak, 4500 rpm) /ultrafiltrasyon (seramik membran; ZrO₂) hibrit sistemi ile KOİ'sini en yüksek %97.4 olarak giderebilmişlerdir. Koagülant konsantrasyonu, besleme akışı, sıcaklık vb. gibi parametrelerin membran arıtımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak en etkili parametrenin besleme akışı olduğuna karar vermişlerdir çünkü membran üzerinden oluşan basıncın arttığı görülmüştür.

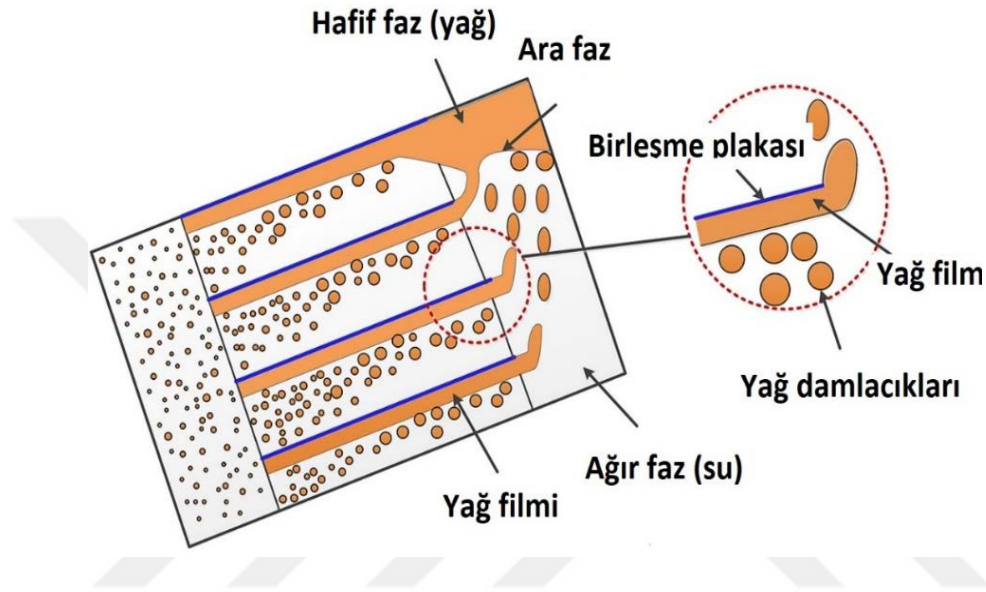
2.3 KOALESER (COALESCER) İLE YAĞLI ATIKSULARIN ARITIMI

Koaleser çalışma prensibi bir ortam üzerinde yağ damlalarının birleşerek büyümesidir (Şekil 2.1). Stokes denklemi prensibine göre büyüyen yağ damlalarının yüzeye çıkma hızları artar ve koaleser tutma ortamından kurtulurlar. Böylelikle birleşen yağ damlaları sudan ayrılmış olur. Koaleser yapısal olarak membran ve gravite ile ayırma yöntemlerinin birlikte kullanımına benzemektedir. Yoğunluk farkı, yağ damlası çapı, viskozite, koaleser yağ tutucu ortam lif çapı, porozite, akış şekli, yağ konsantrasyonu ve yağ tutucu ortam malzemezi gibi parametreler koaleser verimini etkilemektedir (Krasinski 2014, Zhao and Li 2011).

Günümüzde, geleneksel yağlı atık su arıtma prosesleri, havalı yüzdürme, membran ayırma, kimyasal koagülasyon, kimyasal oksidasyon, adsorpsiyon, biyolojik bozunum ve benzeri süreçleri içerir. Bununla birlikte, bu geleneksel teknolojilerin uygulanmasında, karmaşık prosedürler, düşük uygulama performansı, yüksek işletme maliyeti, yüksek yönetim ihtiyacı, geri kullanılamayan yağ gibi bazı problemler yaşanabilmektedir. Buna karşılık, yağlı atıksuların arıtımında lifli yapılara sahip, cam, metaller, seramik, paslanmaz çelik, polipropilen (oleofobik yapıya gözenekli ortam) vb. koaleser tasarımları ile dışarıdan güç ve kimyasal kullanımı olmaksızın yüksek yağ giderim verimleri sağlanabilmektedir. Ayrıca kullanılan cihazların basit yapıda ve uzun ömürlü olmaları da bu yöntemin en önemli avantajları arasındadır (Kiralj et al.

2016). Ancak 20 μm 'den düşük çapa sahip emülsiyeye yağ damlalarının arıtımında performansları düşüktür (Krasinski 2014, Zhao and Li 2011).

Oluklu plakalı ortam en yaygın kullanılan koaleser sistemidir (Şekil 2.1). Ancak, yağ/su ayrıştırması için uygulanan oluklu plakalarla ilgili mikroskopik deney ve mekanizma araştırmaları yetersizdir (Han et al. 2017).



Şekil 2.1 Koaleser çalışma mekanizması (Han et al. 2017).

Koaleserlerin temeli Amerikan Petrol Enstitüsünün geliştirdiği API ayırım tanklarına dayanır. API tanklarındaki arıtım gravite ile ayırım prensibine göre tasarlanmıştır. Yaklaşık olarak 100-150 μm çapında yağ damlaları giderebilmektedir. Shell şirketi (1950) yağların üzerinde birikebilecekleri paralel plakalar yerleştirerek PPI (paralel plakalı inseptör) sepatörünü tasarlamıştır. Yaklaşık olarak 80 μm civarında olan yağ damlalarının giderimini yapabilmektedir. Fram şirketi (1970) PPI sepatörünü geliştirerek CPS'yi (Coalescence plate separator) tasarlamıştır. V-şekilli plakalar üst üste yerleştirilerek ortam oluşturulmuş ve yağların tutunmalarının artması sağlanmıştır. Ters V-olukların üstünde küçük ya drenaj delikleri vardır. C-EN ATCO şirketi (1980) eski tasarımları geliştirerek PPC (Performax Plate Coalescer) sepatörünü tasarlamıştır. Plaka levhalar yerine oleofobik yapıda olan polipropilen kullanılmıştır (NCPC: Natco Corrugated Plate Coalescer). Polipropilenin çapraz bağlı yapısı birleşme yapısını ve giderim verimini artırmaktadır. WPC'da (Wemco Plate Coalescer) kıvrımlı dikdörtgen Polipropilenleri (PP) 60° açı ile birleştirme ortamına yerleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda başlıca hedeflerin bekleme süresini azaltmak, daha küçük yağ damlalarını tutabilmek ve tank hacmini küçültmek olduğu anlaşılmaktadır (Han et al. 2017).

Krasinski (2016), su/yağ emülsiyonu (yağ damlacığı ortalama 4 µm) içerisindeki yağ damlacıklarını büyütme amaçlı, üç farklı polimer (polipropilen (PP), poliester (polibütülen tereftalat için olan, PBT) ve poliamit (PA, naylon 6, 12) ile birleşme ortamı hazırlamıştır. Polimerler eritilerek nozıl ile püskürtme (meltbolw) yöntemi ile farklı porozitelerde (ε) ve basınç uygulanarak (200, 400, 600 ve 1000 g/m²) oluşturulmuştur. Lif yapıdaki polimer yapıların morfolojisinin polimer sıcaklığı, püskürme akış hızı, hazırlama ortamının sıcaklığı ve nozıl geometrisi gibi özelliklere bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Oluşturulan ortam PP1 (d_{ort.}:1,37 µm, ε: %79.8), PP2 (d_{ort.}:11.6 µm, ε: %84.1), PP3 (d_{ort.}:16.7 µm, ε: %84.2), PP4 (d_{ort.}:59.5 µm, ε: %92.2), PBT1 (d_{ort.}:1.64 µm, ε: %81), PBT2 (d_{ort.}:10.5 µm, ε: %85.3), PA1 (d_{ort.}:4.28 µm, ε: %81.4) ve PA2 (d_{ort.}:11.3 µm, ε: %84.2) olarak verilmektedir. Polimer lifleri dört katman ile birbirine bağlamışlardır. İlk katman gözenekliliği ve lif çapı en küçük, dördüncü katman drenaj olduğu için çapı en ve gözenekliliği en büyük olarak damla çapındaki büyümeyi incelemişlerdir. Yağ damlacıklarının (PP1: 1000 g/m²) akış hızından bağımsız olarak %90 oranında büyüdüğünü tespit etmişlerdir.

Kiralj et al. (2016), çalışmalarında 3 farklı viskozite (10-170 mPa.s) değerine sahip mineral yağ kullanmışlardır. Araştırmada 500 mg/L yağ konsantrasyonunda yağ damlalarının (d_{ort.}:10 µm (0,8-33 µm)) ayırma işlemi paslanmaz çelik yatak (d: 40 µm, L: 30 mm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylede farklı porozite (%91-98) ve yüzey alanına (0.7 × 10⁻⁹-5.389 × 10⁻⁹ m²) sahip yatak üzerinde permabilite (10-50 m/sa) hızı değiştirilmiştir. Yağın viskozitesinin giderim verimini etkilediği gözlenmiştir. Düşük viskozite değerlerinde daha düşük permabilite değerleri ile giderim verimi artmaktadır ve permeabilite 30 m/s olduğunda %90'ların üzerinde yağ giderim verimleri elde edilmiştir.

2.4 ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE YAĞLI ATIKSULARIN ARITIMI

Elektrokimyasal teknolojilerde arıtımın gerçekleştiği üniteler çoğunlukla iki elektrottan oluşan hücrelerdir. Genellikle demir, alüminyum, paslanmaz çelik, karbon çelik, karbon ve platin gibi metal ve yarı iletken malzemeler elektrot olarak kullanılmaktadır. Arıtım verimi pH, akım yoğunluğu, elektrot malzemesi, elektrot yerleşim düzeni ve reaksiyon hızı gibi parametrelere bağlıdır (An et al. 2017).

Elektrokimyasal arıtım prosesleri temelinde kullanılan elektrot malzemesine göre elektroflotasyon, elektrooksidasyon, elektrokoagülasyon ve elektrokoaleser olarak adlandırılmaktadır (Mhatre et al. 2015).

2.4.1 Elektroflotasyon

Flotasyon, mekanik veya çözülmüş hava sistemleri ile yapılabileceği gibi elektriksel metotlarla da yapılabilmektedir. Çözelti içerisindeki elektrotlarda potansiyel farkı oluşturulduğunda elektroliz gerçekleşir ve elektrotlarda gaz kabarcıkları oluşur. Elektrotlardan açığa çıkan gaz kabarcıklarının kirleticileri adsorbe ederek yüzeye çıkarması ile kirliliğin giderilmesi işlemi elektroflotasyon olarak adlandırılmaktadır (Kyzas and Matis 2016).

Uygulamalarda elektrotların tankın tüm yüzey alanını kapsayacak şekilde yerleşimi, atıksu ve gaz kabarcığı arasında homojen bir karışım sağlanabilmektedir. Oluşan gaz kabarcıklarının boyutu ortamın türbülansına, hidrolik kalış süresine, atıksuyun kimyasal özelliklerine ve elektrotlar arası uygulanan potansiyel farkına bağlıdır. Arıtımda düşük voltaj (5-20 V) değerleri uygulandığından enerji tüketimi azdır. Ayrıca demir veya alüminyum gibi çözümler elektrotlar kullanıldığında da az miktarda olsa da elektroflotasyonun elektrokoagülasyon ile birlikte gerçekleştiği görülmektedir (Kyzas and Matis 2016).

Nahui et al. (2008), tasarladıkları elektroflotasyon hücresi ile emülsiyon yağların giderimini araştırmışlardır. Elektrot malzemesi olarak paslanmaz çelik katot ($98.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$) ve DSA ($154 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, dimensionally Stable Anodes, $\text{Ti/Ru}_{0,34}\text{Ti}_{0,66}\text{O}_2$ ile kompozit) kullanmışlardır. Deneylerde akım yoğunluğu, flokleştirici (polielektrolit, demir tozu) ve elektrolit (NaCl) konsantrasyonlarının arıtım verimine etkisi araştırılmıştır. Elektrotlar dikdörtgen prizma tankın (1.5 L) dip bölgesine yerleştirilmiştir. Deneylerde elektrotlar arası mesafe 1.5 cm olarak sabit tutulmuştur. Emülsiyonlarda ortalama yağ konsantrasyonu 350 mg/L'dir. Elde edilen deney sonuçları DSA elektrotunun gözenekli yapısının gaz oluşumunu olumlu etkileyerek flotasyon arıtımını artırdığını göstermiştir. 19.40 A/m^2 akım yoğunluğunda ve 10.167 kW-sa/m^3 spesifik enerji tüketiminde en yüksek yağ giderim verimi %99 olarak elde edilmiştir.

Alam ve Shang (2017), yağ-kum atıklarından bitüm arıtımını elektroflotasyon yöntemi kullanarak incelemiştir. Çalışmada iridyum oksit (Ti-IrO_2) kaplı titanyum ızgara anot ile paslanmaz çelik (SS316) katot kullanılmıştır. Elektrotları tankın (4.5 L) taban bölgesine

yerleştirilmiştir. Elektrotlar arası mesafe 15 mm olarak ayarlanmıştır. pH (3.3-10.7), akım yoğunluğu (50-300 A/m²), bitüm konsantrasyonu (22,5-314 mg/L) ve sodyum klorür (NaCl) dozajı (17.5-70 g/kg) gibi işletme parametrelerinin flotasyonun çalışma performansına etkileri araştırılmıştır. Tuz dozajının giderim verimine katkısı olmamasına karşılık güç tüketiminin azalmasında önemli bir parametre olduğu ifade edilmiştir. Tasarımın giderim verimini etkileyen parametreler analizler sonrası önem sırasına göre akım yoğunluğu, bitüm konsantrasyonu ve pH olarak belirtilmiştir. Deneylede bitüm konsantrasyonunun 106.8 mg/L'den 10 mg/L'ye düşmesi, 150 A/m² akım yoğunluğunda ve 8.5 ortam pH değerinde elde edilmiştir.

2.4.2 Elektro-oksidadasyon

Elektro-oksidadasyon kirleticilerin anot üzerinde elektro-kinetik reaksiyonlar sonucu oksitleyerek parçalamasıdır. Arıtım sonrası ikincil kirletici sorunu olmaması endüstriyel olarak büyük avantaj sağlar. Fakat güç kullanımı fazla olduğundan maliyetli bir arıtım yöntemidir. Elektrot olarak çözünmeyen elektrotlar (çelik, titanyum, platin vb.) kullanılır (Segura et al. 2017, Coutanceau et al. 2008).

Santos et al. (2006), elektro-kinetik olarak çözünmeyen elektrotlar (DAS: Ti/Ru_{0,34}Ti_{0,66}O₂, A: 8 cm²) kullanarak elektro-oksidadasyon yöntemi ile yağlı suların arıtımını çalışmışlardır. Deneylelerinde ilk olarak elektrot yüzeyinde radikal hidroksit ve oluşan metal oksitlerle, paralel reaksiyonlarda oluşan ara oksitleyici ajanlar yardımıyla yağ oksitlemeyi ve elektrot yüzeyinde oluşan elektrotflotasyon etkisi ile yağ topaklaştırmayı hedeflemişlerdir. İletkenliği arttırmak için sülfürik asit (0.5 M H₂SO₄) eklenmiştir. Oksitleyici ajanların oluşabilmesi için referans elektrot olarak AgCl₂ (Cl⁻) kullanılmıştır. Ayrıca akım yoğunluğu (50, 75, 100 mA/cm²) ve sıcaklığın (10, 25, 50 °C) değişiminin giderim verimine etkisini incelemişler ve bu parametreleri giderim verimini doğru orantılı olarak etkilediğini belirtmişlerdir. En yüksek KOİ giderimi 50°C sıcaklıkta ve 100 mA/cm² akım yoğunluğunda %57 olarak elde edilmiştir.

Yavuz et al. (2010), elektro-oksidadasyon arıtım yöntemini petrol rafinerisi atıksuyundan alınan numunelerde KOİ gidermekte uygulamışlardır. Çalışmada bor katkılı elmas elektrot ve Ru-MMO (Rutenyum- Mixed Metaloksit) elektrotları kullanılmıştır. Çalışma koşulları oda sıcaklığında (20-25 °C) gerçekleştirilmiştir. Atıksu numunesinin başlangıç KOİ değeri 590 mg/L ve iletkenliği 15.63 mS/cm'dir. Akış hızı 24.83 mL/dak sabit olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Elektro-oksidadasyon deneylelerinde ünite 4 kompartımana ayrılmıştır ve

toplam hacim 270 mL'dir. Ünite 3cm×4cm boyutlarında Ru- MMO'dan yapılmış, 4 anot ve 4 katot bulunmaktadır. Sistem kesikli olarak çalıştırılmış ve peristaltik pompa ile akışın geri döngüsü sağlanmıştır. Kesikli akışta, 20 mA/cm² akım yoğunluğunda 210 dakika çalışma süresinde %94.5 fenol, %70 KOİ giderimi elde edilmiştir. Elektro-oksidadasyon deneylerinin diğer bir grubunda ise bor katkılı elektrot kullanılarak (20 mA/cm², 7200 mA, 24.83 mL/dak, 40 dak) %89.83 giderim verimi 4.05 kW-h/g spesifik enerji tüketiminde elde edilmiştir. Bunlara ek olarak BTT reaktörü (bipolar Trickle Tower) ile oksitleyici ajanların kullanımı ile gerçekleştirilen elektro-oksidadasyon deneylerinde Rasching halkası şekilli bor katkılı elmas elektrotlar kullanılmıştır. Elektrolit olarak NaCl test edilmiştir. Reaktör hacmi 125 mL'dir ve 2.5 cm çaplı silindirden oluşmaktadır. Elektrotlar arası mesafe 22.5 cm'dir. Reaktör 26 katmanlıdır ve her katmanda 4 elektrot bulunmaktadır. Her elektrot arasına yalıtkan malzeme yerleştirilerek izalasyon sağlanmıştır. Bor katkılı elmas elektrotlar ile yapılan deneylerde 5mA/m² akım yoğunluğunda fenol giderimi %99.53 ve KOİ giderimi %96.04 olarak elde edilmiştir. KOİ konsantrasyonu 590 mg/L değerinden 60 dakika çalışma süresinde 36.7 mg/L değerine düşürülmüştür. BTT reaktörü ile yapılan deneyler tuz (0.05 M NaCl) ilavesi ile yapıldığında 3 mA/cm² akım yoğunluğunda elde edilen fenol ve KOİ giderim verimlerini sırasıyla %98.9 (60 dak), %95.48'dir (90 dak).

2.4.3 Elektro-koagülasyon

Elektro-koagülasyon, alüminyum ve demir gibi elektrotlara voltaj farkı uygulandığında indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları nedeniyle ortama metal iyonlarının verilmesi ile atısların arıtımda kullanılan bir elektrokimyasal yöntemdir. Aynı zamanda flotasyon ve oksidadasyon özellikleri de elektrot tasarımına göre görülebilmektedir. Bir elektro-koagülasyon işleminde, elektrotlar harici bir DC kaynağına bağlanır ve tasarımda en önemli parametre anot ve katot elektrot malzemelerinin seçimidir. Anot elektrot olarak genellikle alüminyum ve demir kullanılırken katot elektrot için paslanmaz çelik, karbon çelik ve grafit elektrotlar da kullanılmaktadır (Khandegar and Saroha 2013, Moussa et al. 2017).

Elektrokoagülasyon arıtım yöntemi atıksulardan boyarmadde, ağır metal ve yağ giderimlerinde başarıyla uygulanmıştır (Emamjomeh and Sivakumar 2009). Enerji tüketiminin yanı sıra elektokoagülasyon prosesinde karşılaşılan en büyük sorun elektrotların pasivizasyonudur (Genç and Eryılmaz 2017). Bu durumda anot elektrotta yükseltgenme reaksiyonu gerçekleşmediğinden ortama metal iyonu karışmamaktadır ve arıtım verimi düşmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda çoğunlukla akım yoğunluğu, sıcaklık, pH, elektrot malzemesi ve akış hızı parametrelerinin arıtım verimine etkisi incelenmiştir (An et al. 2017, Moussa et al. 2017).

Demirbaş ve Kobyay (2016), çalışmalarında ağır metal işleme sanayisinden aldıkları metal kesme sınırlarının (pH: 6.6, iletkenlik: 6.1 ± 0.4 mS/cm, KOİ: 17312 ± 2812 mg/L, TOK: 3155 ± 505 mg/L, bulanıklılık: 15350 ± 2100 NTU, askıda katı madde: 150 ± 25 mg/L) elektro koagülasyon ve kimyasal koagülasyon işlemlerinden geçirerek optimum performans aralığını değerlendirmişlerdir. Ayrıca optimum değerde maliyet karşılaştırması yapmışlardır. Koagülant olarak alum, alüminyum klorür, demir sülfat ve demir klorür kullanılmıştır. Konsantrasyon değerleri 50-1000 mg/L ve pH 4-9 arasında 6 farklı değerde belirlenmiştir. Optimum belirlemeler jar testi ile 5 dak 160 rpm hızlı karıştırma ve 20 dak 30 rpm yavaş karıştırma ile elde edilmiştir. Alüminyum klorür ve alum (500 mg/L) için pH değeri 6.5 olduğunda giderim sırası ile $\%96 \pm 1$ ve $\%97 \pm 1$ olarak verilmiştir. pH değeri düştüğünde yada arttığında giderim verimi düşmektedir. pH dengesi için 0,1 M NaOH veya 0,1 M H₂SO₄ kullanılmıştır. Demir içeren metal tuzları 7.5 pH değerinde $\%80$ - $\%90$ değerlerinde giderim elde edilmiştir. Elektro koagülasyon deneylerinde Al ($\%99.53$ saflıkta), döküm demir ($\%99.50$ saflıkta) elektrotlar kullanılmıştır. Elektrotların yüzey alanı 143 cm²'dir ve elektrokimyasal hücreye 2 anot ve 2 katot yerleştirilmiştir. Elektrotlar arasında üç farklı mesafede (45, 53 ve 63 cm) çalışılmıştır. Deneyler galvanostatik şartlar altında gerçekleştirilmiştir. İletkenliğin enerji tüketimi üzerine etkisi ortama Na₂SO₄ ilavesi yapılarak incelenmiştir. Elektro-koagülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlara göre alüminyum elektrotların demir elektrotlara göre daha geniş bir pH aralığında arıtımı gerçekleştirebildiği gözlenmiştir. 25 dakika arıtma sürecinde (pH:5, akım yoğunluğu: 5.80 A/m²) alüminyum elektrotlar kullanıldığında $\%93$ KOİ ve $\%80$ TOK giderim verimleri elde edilmiştir. Demir elektrotlar için aynı işlem süresinde (pH:7, akım yoğunluğu: 7.80 A/m²) $\%93$ KOİ ve $\%82$ TOK giderim verimleri gözlenmiştir. Her iki elektrot kullanımında da akım yoğunluğu arttıkça giderim verimi artmaktadır.

Literatürde metal kesme sınırları içeren (MKS) atıksuların elektrokoagülasyon ile arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar Çizelge 2.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.5 MKS'larının elektrokoagülasyon ile arıtımı (Demirbaş ve Kobyay 2016).

<i>Arıtım prosesi</i>	<i>Atık MKS kaynağı ve optimum koşullar</i>	<i>Giderim verimi</i>	<i>Referanslar</i>
<i>EK (Al anot)</i>	<i>Sentetik MKS solüsyonu: Hysol-X kesme yağı, pH: 6.5 iletkenlik: 4.32 mS/cm Cyağ: 9600 mg/L bulanıklılık: 2960 NTU Optimum işletme: akım yoğunluğu: 138,8 A/m² (İ: 3.5 A) T: 20 °C, t: 3 sa, SET: 9.88kWha/m³</i>	<i>Yağ > %99</i>	<i>Sangal et al. (2013)</i>
<i>EK (Al anot)</i>	<i>Sentetik MKS solüsyonu: Tasfaşout 22 B kesme yağı, pH: 8.65 iletkenlik: 1.12 mS/cm, KOİ: 62300 mg/L, bulanıklılık: 29700 NTU Optimum işletme: akım yoğunluğu: 25 mA/cm², pH: 5-8, t: 2 dak</i>	<i>KOİ %90 NTU %99</i>	<i>Tir and Mostefa (2008)</i>
<i>EK (Al ve Fe anot)</i>	<i>MKS atıksuyu: pH: 7,1 KOİ: 17312mg/L TOK: 3155 mg/L Optimum işletme: pH: 5 (Al)-7 (Fe), akım yoğunluğu: 60 A/m², t: 25 dak</i>	<i>Al için KOİ-TOK %93-80, İşl. Mal: 0.768 \$/m³ Fe için KOİ-TOK %92-82 İşl. Mal: 0.497 \$/m³</i>	<i>Kobyay et al. (2008)</i>
<i>EK (Al anot)</i>	<i>MKS atıksuyu: demiryolu sanayi yağlı atıksuyu, KOİ: 1500 mg/L, TAKM: 100 mg/L, Y-G: 100 mg/L</i>	<i>Y-G %70, KOİ %48 İşl. Mal: 1.99 \$/m³</i>	<i>Cheryan and Rajagopalan (1998)</i>

Genç ve Eryılmaz (2017), çalışmalarında yatay ve dikey akışlı yatakların elektro koagülasyon giderim verimine ve spesifik enerji tüketimine etkisini araştırmışlardır. Hacimce %2 oranında sentetik yağlı atıksular, bor yağı (Petrol Ofisi) kullanılarak hazırlanmıştır. Bu nedenle atıksuyun içerisinde sürfaktan, biyosid yağlayıcı ajanlar, basınç katkı maddeleri, köpük giderici ajanlar ve korozyon önleyicileri bulunmaktadır. Deneyleerde yatay ve dikey akış olmak üzere iki farklı elektrokimyasal hücre kullanılmıştır. Her iki hücrenin de hacimleri ($35 \times 9,5 \times 17 \text{ cm}^3$) eşittir. Elektrotlar 13.5 cm uzunluğunda, 8.5 cm eninde ve 0.3 cm kalınlığında alüminyum plakalardır. Tüm deneyleerde, sekiz alüminyum plaka kullanılmıştır ve iki elektrot arasındaki mesafe 1 cm'dir. Dikey ve yatay elektrokimyasal hücrelerde elektrotlar akışa dik olarak yerleştirilmiştir. Deneyleerinin sonunda elektrot yüzeylerinin bir film ile kaplandığı ve yüzey etkinliğinin azaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle her deneyin sonunda elektrotların yüzeyi zımparalanarak kalıntı yağlardan arındırılmış ve elektrotlar bir gün boyunca asetik asit çözeltisinde bekletilmiştir. Deneyleer kesikli ve sürekli akış modunda gerçekleştirilmiştir. Yatay akışlı elektrokimyasal hücrede KOİ ve bulanıklılık verimi kesikli modda sırası ile %97 ve %95, sürekli modda ise %81 ve %72'dir. Dikey akışlı elektrokimyasal hücrede ise kesikli modda %88 ve %76 ve sürekli modda %83 ve %55'dir. Spesifik enerji tüketimleri kesikli ve sürekli akışlarda sırasıyla, yatay hücre için 11.77 ve 14.64 kWsa/m³, dikey hücre için 9.97 ve 12.95 kWsa/m³ elde edilmiştir. Sürekli akışta enerji tüketiminin arttığı görülmektedir. Ayrıca yatay hücrenin dikey hücreye göre %18 daha fazla enerji tükettiğini deneyleer sonucu belirlenmiştir. Birim KOİ giderimi için spesifik enerji tüketimleri kesikli ve sürekli akış için ise sırası ile, yatay hücrede 0.22 ve 0.21 kWsa/kgKOİ, dikey hücrede 0.15 ve 0.15 kWsa/kgKOİ elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yatay hücredeki enerji tüketimi dikey hücredeki enerji tüketiminden %47 daha fazladır. Ayrıca elektrotların elektrokimyasal hücre içerisinde yerleşimleri değiştirilerek yerleşim düzeninin artım verimine etkisi araştırılmıştır. Girişe göre farklı mesafelerde yerleştirilen (4, 12 ve 21 cm) elektrotlar ile yapılan deneyleerde elektrotların girişten 12cm mesafede yerleşiminde en yüksek artım veriminin elde edildiği ifade edilmiştir.

Yağlı atıksuların elektrokoagülasyon ile arıtımı konusunda yapılan çalışmalar Çizelge 2.6'da sunulmuştur. Bu çalışmalarda elektrot malzemesi olarak çoğunlukla demir ve alüminyumun kullanıldığı ve genellikle elde edilen yağ giderim verimlerin oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 2.6 Literatürde yağlı atıksuların elektro-koagülasyon ile arıtımı konusunda yapılan çalışmalar (An et al. 2017).

<i>İşletme Yağlı atıksular</i>	<i>C_{yağ} (mg/L)</i>	<i>Elektrot</i>	<i>Akım yoğunluğu (A/m²)</i>	<i>Reaksiyon süresi (dak)</i>	<i>Giderim verimi (%)</i>	<i>Spesifik enerji tüketimi (kW/m³)</i>
<i>Mezbaha</i>	<i>720-950</i>	<i>Demir</i>	<i>13.63</i>	<i>60</i>	<i>99</i>	<i>0,00015</i>
<i>Mezbaha</i>	<i>143.1</i>	<i>Alüminyum</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>85(KOİ)</i>	<i>2,14</i>
<i>Biyodizel</i>	<i>6020</i>	<i>Alüminyum, Grafit</i>	<i>124.8</i>	<i>23,54</i>	<i>97.77</i>	<i>5,57</i>
<i>Restoran</i>	<i>120-15000</i>	<i>Alüminyum</i>	<i>30-80</i>	<i>15</i>	<i>>94</i>	<i><1.5</i>
<i>Restoran</i>	<i>1300</i>	<i>Alüminyum, Grafit</i>	<i>12.12</i>	<i>90</i>	<i>98</i>	<i>3,35</i>
<i>Petrokimya</i>	<i>1,96</i>	<i>Demir ve alüminyum</i>	<i>150</i>	<i>10</i>	<i>80</i>	<i>2,2</i>
<i>Mezbaha</i>	<i>853</i>	<i>Alüminyum</i>	<i>50</i>	<i>90</i>	<i>86,3(KOİ)</i>	<i>11.3</i>
<i>Mezbaha</i>	<i>1500-1800</i>	<i>Demir</i>	<i>150</i>	<i>25</i>	<i>98</i>	<i>0.3</i>
<i>Tabakhane</i>	<i>638-780</i>	<i>Demir</i>	<i>22,4</i>	<i>20</i>	<i>99</i>	<i>0.13</i>
<i>Sintine suyu</i>	<i>2000</i>	<i>Pt/Tr</i>	<i>128</i>	<i>240</i>	<i>93,2</i>	<i>33.25 kWh/kg KOİ</i>
<i>Tabaklaştırılmış yağı</i>	<i>4340</i>	<i>Demir</i>	<i>200</i>	<i>15</i>	<i>90(KOİ)</i>	<i>1.279 (6.28\$/m³)</i>
<i>Petrol rafinerisi</i>	<i>700 (KOİ)</i>	<i>Alüminyum ve demir</i>	<i>90</i>	<i>39</i>	<i>85</i>	<i>0.74</i>
<i>Palmiye yağı fab.</i>	<i>50000 (KOİ)</i>	<i>Alüminyum</i>	<i>35,8</i>	<i>480</i>	<i>57.66(KOİ)</i>	<i>0.3 kWh/kg KOİ</i>
<i>Mezbaha</i>	<i>275-376</i>	<i>Alüminyum</i>	<i>100</i>	<i>20</i>	<i>94.7</i>	<i>25.02</i>
<i>Araç temizleme</i>	<i>572 (KOİ)</i>	<i>Demir, bor katkılı elmas</i>	<i>20</i>	<i>6</i>	<i>75</i>	<i>0.14</i>
<i>Palmiye yağı fab.</i>	<i>3000</i>	<i>Alüminyum</i>	<i>20</i>	<i>5</i>	<i>72</i>	<i>0.1</i>
<i>Sintine suyu</i>	<i>5000</i>	<i>Demir ve alüminyum</i>	<i>6</i>	<i>1 L/dak</i>	<i>>99</i>	<i>-</i>
<i>Tabakhane kireçleme</i>	<i>185</i>	<i>Demir</i>	<i>35</i>	<i>10</i>	<i>96</i>	<i>0.00015(Y-G)</i>
<i>Tabakhane</i>	<i>1574</i>	<i>Demir</i>	<i>200</i>	<i>40</i>	<i>95</i>	<i>6</i>
<i>Restoran</i>	<i>100-250</i>	<i>Demir</i>	<i>10-14</i>	<i>30</i>	<i>>95</i>	<i>0.6-0.84</i>

2.5 ELEKTRO-KOALESER İLE YAĞLI ATIKSULARIN ARITIMI

Elektro-koaleser, yağ emülsiyonlarında bulunan su damlacıklarının birleşmesini elektrostatik olarak gerçekleştirmek için ortaya çıkan bir teknolojidir. Tarihsel olarak, elektrostatik-koaleser, Kaliforniya'daki petrol endüstrileri için icat edilmiştir (Cottrell and Speed 1911). Dağılmış yağ fazını düşük dielektrik sabiti ile ayırmayı amaçlar. Genel olarak uygulamalarda petrol kuyularından çıkarılan ham petrolün susuzlaştırması amaçlanmıştır. Ham petrol içinde yağ damla boyutu 50μ den küçük dağılımlıdır. Elde edilen ham petrol, kuyunun yaşına bağlı olarak büyük bir su fraksiyonu ihtiva edebilir ve içeriğindeki su ihtivası %0.3'den daha az bir değere düşürülmelidir (Mhatre et al. 2015).

Elektro-koaleser tasarımlarında çoğunlukla 50 Hz veya 60 Hz frekanslarda alternatif akım (AC) kullanılmıştır. Temelde emülsiyonda elektrik alanı oluşturularak damlacıklar arasındaki dipolar çekim kuvvetinin artması ile damlacıkların birleşmesinin sağlanması amaçlanmaktadır (Aryafard et al. 2015). Doğru akım (DC) uygulamaları, AC'ye kıyasla geçmişte daha az yaygındır. Elektro-koaleser prosesinde arıtım verimini etkileyen temel parametreler: elektrik alanı, frekans, elektrot yapısı ve malzemesi, birleşme (coalesence) potansiyeli, akış tipi ve akışkanın fiziksel-elektriksel özellikleridir (Eow ve Ghadiri 2001, Mhatre et al. 2015).

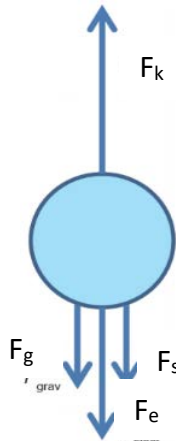
Vessel Internal Electrostatic Coalescer (VIEC) sistemlerinin performansının değerlendirilmesi konusunda yapılan bir çalışmada (Piasecki et al. 2004) damlacıkların birleşme oranının damla boyutunun karesi ile değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca damlaların birleşme oranının, elektrostatik indükleme kuvveti, film reolojisi, çarpışma frekansı (türbülans düzeyine bağlı olarak) ve konsantrasyon gibi parametrelere bağlı olduğu ifade edilmiştir. Özellikle su konsantrasyonunun belirli bir değeri aşması durumunda sistemde kısa devreler oluşabileceği ve damlaların birleşme olasılığının azalacağı bildirilmiştir. Kısa devre oluşumunu engellemek için elektrotların yalıtım malzemesi ile kaplanması önerilmiştir. İşletme koşullarında $0.2 \text{ kV/cm} - 2 \text{ kV/cm}$ (50/60 Hz) aralığında çalışılarak kritik elektrik alanı belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulamalarda VIEC sistemleri %10 su içeriğini %3'e düşürebilmektedir.

2.6 ELEKTROSTATİK KOALESER MODELLEME ÇALIŞMALARI

Aryafard et al. (2015) yaptıkları bir çalışmada petrol susuzlaştırmada kullanılan bir elektro-koaleser arıtma sisteminin işletme verilerini kullanarak istatistik bir model geliştirmişlerdir.

Pratik uygulamalarda tek damlacık üzerine yapılan gelişmiş modellemeler dispers ve sürekli faz arasındaki ilişkiyi tam tanımlayamamaktadır. Bu neden ile bu modelde yoğunluk dengesi denklemlerinden yararlanılmışlardır. Yoğunluk denge denklemleri, makroskopik seviyede damlacık yoğunluğu değişim oranını tanımlar. Geliştirilen modelin en zayıf noktası basınç değişim karşısında damlacığın fiziksel özelliklerinin belirlenmesindeki zorluk olduğu ifade edilmiştir. Modelde elektrik alanı iki aşamalı olarak kabul tanımlanmıştır. Damlacıkların sürekli fazda yükseliş hızları Stokes denklemi ile belirlenmiştir. Denklemin çözümü için kararlı durum koşullarında sınıf metodu kullanılmıştır. Bu metod için 110 damla ve 1- 5000 μm arası değişen damla boyutu seçilmiştir. Geliştirilen model işletme verileriyle uyumluluk göstermiştir. Elektrotlara uygulanan potansiyel fark artırıldığında arıtım veriminin de artış gösterdiği belirlenmiştir. 1 kV/cm ve 2kV/cm değerlerinde su giderim verimleri sırası ile %93,92 ve %97,85 elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada basınç farkının artması ile damla sayısında artış ve giderim veriminde de düşüş gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Elektrokoaleser ile arıtımda kritik çap boyutunu hesaplamak için bir matematiksel model Stoke denkleminde elektriksel alan kuvveti eklenerek elde edilmiştir (Rossi et al. 2017). Geliştirilen modelde su damlalarının küresel olduğu ve damlaların elektrik alan altında şekillerini korudukları kabul edilmiştir. Ayrıca ortam ve damlacıkların fiziksel özelliklerinin (yoğunluk ve viskozite) sabit olduğu ve sürtünme faktörünün sabit olduğu (C_D) varsayılmıştır. Damlacık üzerine etki eden kuvvetler Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Su partikülü üzerindeki kuvvet dengesi (Rossi et al. 2017).

Burada su damlası üzerine etki eden kuvvetler F_k , F_s , F_g ve F_e sırasıyla ortam sıvısının kaldırma kuvvetini, ortam tarafından uygulanan viskoz sürtünme kuvvetini, damlanın ağırlık kuvvetini

ve damlaya uygulanan elektrik alan kuvvetini belirtmektedir. Sıvı ortamın damlayı kaldırma kuvveti damlanın hacmine eşdeğer ortam sıvısının ağırlık kuvvetine eşittir:

$$F_k = V_{su} \times \rho_{yağ} \times g \quad (2.2)$$

V_{su} : damla hacmi (m^3)

$\rho_{yağ}$: yağ yoğunluğu (kg/m^3)

Viskoz sürtünme kuvveti ise elektrik alanı altında damlanın hızına bağlı olarak ifade edilmektedir:

$$F_s = C_D \times \frac{(\sqrt{v_e})^2}{2} \times \rho_{yağ} \times A_p \quad (2.3)$$

A_p : hareket yönüne dikey kesit alanı (m^2)

C_D : laminar akışta damlacığın sürtünme faktörü ($24/Re$)

$\sqrt{v_e}$: damlacığın elektriksel alan şiddetindeki hızı (m/s)

Su damlalarının elektrik alan altındaki hızları ortam viskozitesine ve uygulanan elektrik alan şiddetine bağlı olarak değişir (Rossi et al. 2017):

$$\sqrt{v_e} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r E^2 d_d^5}{32\pi \cdot \mu \cdot dist^4} \quad (2.4)$$

$dist$: iki damla arasındaki mesafe (m)

d_d : Damlacık çapı (m)

E : elektriksel alan şiddeti (V/m)

ϵ_0 : elektriksel sabit (8.85×10^{-12} F/m)

ϵ_r : yağ/su elektrik sabiti

Rossi et al. (2017) sürekli fazdaki damlaların düzenli kübik bir dağılım sergilediklerini varsaymıştır:

$$dist = \left(\frac{100\pi d_d^3}{conc} \right)^{1/3} \quad (2.5)$$

conc: boyutsuz molar oran

Uygulanan elektrik alanında damlaların bir araya gelerek birleşmesini sağlayan elektrik alan kuvveti ise damlalar arasındaki mesafenin dördüncü kuvveti ile ters orantılıdır (Rossi et al. 2017):

$$F_e = \frac{6\varepsilon_0\varepsilon_r E^2 d_d^6}{dist^4} \quad (2.4)$$





BÖLÜM 3

METAL KESME SIVILARININ ÖZELLİKLERİ, KULLANIM ALANLARI ve ARITIM YÖNTEMLERİ

Çalışmanın bu bölümünde metal kesme sıvılarının özellikleri, fonksiyonları, sınıflandırılması ile ilgili bilgi verilmiş, metal kesme sıvısının atıksulardaki özelliklerine göre arıtım yöntemlerinden bahsedilmiştir.

3.1 METAL KESME SIVILARININ ÖZELLİKLERİ

Metal kesme sıvıları, talaş kaldırma ve taşlama, sıvama, ekstrüzyon, kalıplama, dövme, haddeleme, kaplama ve ısıl işlemler gibi uygulamalarda verim ve kaliteyi arttırmak için kullanılmaktadırlar. Metal kesme işlemlerinde kullanılan sıvılar, çalışma sırasında oluşabilecek deformasyonları ve sürtünme nedeniyle ısı artışını indirgemektedir. Kesme bölgesinde oluşan ısı; su, sulu çözelti ya da iyi ısı iletme özelliği olan bir sıvı aracılığıyla kondüksiyon yoluyla ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Metal kesme sıvıları yağlama ve soğutma fonksiyonları yapılan işleme göre farklı özellikler gerektirdiği için çeşitli modifiyeler ile gruplandırılabilirler. Kesme sıvılarının bileşenleri, mineral (petrol tabanlı) ve sentetik yağlar ile çeşitli katkı maddeleridir. Günümüzde mineral yağların geri kazanım maliyetlerinin yüksek olması ve çevreye olan zararlarının istenmemesi sebebiyle bitkisel ve hayvansal yağlarla yapılan metal kesme sıvıları önem kazanmaya başlamıştır (Dolapçı 2010).

Kesim işlemlerinde metal kesme sıvısı kullanımı kesim hızını arttırmaktadır. Ayrıca, kesim için kullanılan aletlerin ömrünü uzatmak ve ürünün kalitesini arttırmak amaçlı kullanılmaktadır. Kullanılan kesme sıvısının kalitesi; istenilen kesim hızı ve yüzey pürüzlülüğü, kesici takımın kullanım ömrünü arttırması gibi faktörler ile değerlendirilebilmektedir. Metal malzemelerdeki oluşacak pası da engelleyebilmelidir. Sürtünmeyi en aza indirgemeli, alevlenme ısısı yüksek olmalı, çabuk bozulmamalı, kolay depolanabilmeli, kötü kokmamalı, zararlı madde içermemeli ve maliyeti düşük olmalıdır (Çiftçi 2007, Dolapçı 2010).

Metal kesme sıvılarının performansı; pH değeri, yoğunluk, viskozite, şeffaflık, parlama, yanma ve donma noktası, damla boyutu, korozyon ve kesme sıvısı konsantrasyonu gibi parametrelere bağlıdır (Bakırcı 2014).

- a) *pH*: Ortamın pH değerindeki değişimler, kesme sıvısının korozyon koruyucu özelliği ve kararlılığını etkilemektedir. Metal kesme sıvıları, emülsiyon veya çözelti durumunda zayıf alkali durumdadır. Soğutucu ve yağlayıcı özellikteki metal kesme sıvılarının genel olarak pH aralığı 9.0 ile 9.3 arasında bulunmaktadır. Fakat ortamdaki gelen mikroorganizma veya başka maddeler ile pH değerleri düşebilmektedir. İçeriğinde amin bulunan metal kesme sıvıları için pH değeri 8.5 olarak sınırlandırılmaktadır. Bu değer altında sıvının karakteristik özellikleri çok hızlı bir şekilde azalabilmektedir. Amin içermeyen kesim sıvılarının pH değeri 8'in altında da sıkıntısız çalışabilmektedir. Ayrıca, kesim sıvısının ve çalışma ortamının alkali olması nedeniyle insan derisine olumsuz etkiler bırakabilmektedir.
- b) *Yoğunluk*: Metal kesme sıvısının yoğunluğu, suyun yoğunluğuna yakın olmalıdır. Bunun nedeni ise karışım sonrası heterojen karışımı sağlayarak faz ayrımı oluşmasını önlemektir.
- c) *Viskozite*: Kesme işleminde kullanılan kesme sıvısının viskozitesi düşük olmalıdır. Yüksek viskoziteli kesim sıvılarında kalın film tabakaları oluşmaktadır. Bu nedenle, kesim işlemi sırasında yüzey teması azalır ve verimliliği düşürür. Ayrıca oluşan talaşların uzaklaştırılması zorlaşır. Kesim işlemi sırasında çalışma yüzeyinde atık oluşumu başlar. Yüksek viskoziteli kesme sıvılarının düşük viskoziteli kesme sıvılarına göre buharlaşma değeri daha azdır. Fakat talaş yüzeyi ve kesme yüzeyinde oluşan atıklar nedeniyle miktarında azalmalar olmaktadır. Yüksek viskoziteli kesim sıvılarında düşük viskoziteli kesim sıvılarına göre metal kesim sıvısının devir daim yapıldığı sistemlerde, kesilen metal talaşlarının çökme hızı, daha yavaştır.
- d) *Şeffaflık*: Kesim işleminin izlenebilmesi için metal kesme sıvısının şeffaf ve berrak olması istenir.
- e) *Damla boyutu*: Emülsiyonların damla boyutuna bağlı olarak görünüşleri değişmektedir. Damlacıklar 1 µm veya daha büyükse emülsiyon beyaz renklidir. Damlacık boyutu 0.05-0.1 µm arasında yarı saydam ve 0.05 µm'den küçükse saydamdır (Bakırcı 2014). Ayrıca emülsiyonlar dispers fazda damlacıkların büyüklüğüne göre makro-emülsiyon (0.2–50 µm), mikro-emülsiyon (0.01-0.1µm) ve çoklu emülsiyonlar olarak sınıflandırılabilir. Mikro-emülsiyonların kararlılığı makro-emülsiyonlara göre daha yüksektir (Şık 2009).
- f) *Korozyon*: Yüksek soğutma özelliğine sahip su, korozif yapıdadır. Tuz, pH ve oksijen gibi faktörler de korozyonu arttırmaktadır. Metal kesme sıvıları içerdikleri katkı maddeleri ile

yüzeyde ince film oluşturarak korozyonu önleyebilmektedir. Yüzeyde oluşan ince film tabakaları polar ve pasife edici filmler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Polar filmler aminler ve yağ asitleri gibi organik bileşenler içerirken; pasife edici filmler oksijen içeren boratlar, fosfatlar ve silikatlar gibi inorganik bileşenlerden oluşur.

- g) *Konsantrasyon:* Özellikle su ile karışabilen emülsiyeler metal kesme sıvıları için önemlidir. Genelde, suyla karışan soğutucu yağlayıcıların konsantrasyonu kullanım esnasında düşer. Bunun nedeni; aşınmayla, talaşla ve iş parçasıyla ortamdaki uzaklaşan yağ miktarıdır. Eğer yüksek çalışma sıcaklıkları söz konusu ise buharlaşan suyun da etkisi ortaya çıkar ve bu durumda soğutucu yağlayıcının konsantrasyonu artar (Dolapçı 2010).

3.2 METAL KESME SIVILARININ FONKSİYONLARI

Metal kesme sıvıları soğutma, kaynağı önleme ve yağlayıcılık fonksiyonlarına sahip olmalıdır. İdeal metal kesme sıvısı bu üç özelliği yerine getirebilmelidir.

- a) *Soğutma fonksiyonu:* Metal kesme sıvısının iyi bir soğutma gerçekleştirebilmesi için kesim bölgesine düşük basınçta ve yüksek akış hızında uygulanmalıdır. Bu sayede metal kesme sıvısı ince bir film tabakası oluşturabilmektedir ve işlem bölgesinden sıçrama kayıpları da azaltılabilmektedir. Kesim sıvısının sürekli akışı kesim bölgesinde oluşan talaşların ve ısının giderimini sağlamaktadır. Metal kesme sıvısının soğutma etkinliği; ıslanan yüzey alanına, viskozitesine, kimyasal özelliklerine ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Metal kesme sıvısının soğutma özelliği işlem sırasında kayma direncini düşürerek sürtünme ısısını da azaltmaktadır (Aşkın 2011).
- b) *Yağlama fonksiyonu:* Metal kesme sıvısı kesim bölgesinde iki yüzey arasında film tabakası oluşturarak sürtünme katsayısını azaltmalı, hareketi kolaylaştırmalı ve aşınmaya engel olmalıdır. Yağlama mekanizmasında, Van der Waals kuvvetleri filmin yüzeylere yapışmasını sağlar. Metal kesme sıvılarının çalışma alanı yüzeyinde film tabakası oluşturması kohezyon ve adezyon kuvvetleriyle ilgilidir. Her sıvı kohezyon ve adezyon niteliklerine sahiptir. Sürtünmenin önlenmesi için adezyon kuvvetinin kohezyon kuvvetinden büyük olması gerekmektedir (Lawal et al. 2012).
- c) *Kaynağı önleme fonksiyonu:* Metal kesme sıvısı, kesim işlemi sırasında kesilen malzeme ile kesicinin ısı ve basınç altında kaynak olmalarını önleyici bir reaktif olarak davranmalıdır. Kesme sıvısının soğutma ve yağlama özelliğine rağmen belirli noktalarda temas oluşmaktadır.

Sınırlı noktaların teması sonucu çıkan ısı küçük metal partiküllerinin kesici takıma kaynamasına yetecek derecede yüksektir. Bu durumu engellemek için, sülfür, kükürt ve diğer kimyasallar kesme sıvısına ilave edilir. Eklenen ilave maddeler ile temas alanında sabunumsu metalik bir film tabakası oluşmasıyla metal partiküllerin kaynaması engellenebilmektedir (Pawlak et al. 2005).

3.3 METAL KESME SIVISININ UYGULAMALARA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Metal kesme sıvıları, uygulanan proseslere göre farklı etkin özelliklere sahip olmalıdır. Bu özelliklerinden dolayı dört farklı grup adı altında incelenmektedirler.

3.3.1 Sentetik Metal Kesme Sıvısı

Sentetik metal kesme sıvıları, laboratuvar ortamında petrol esaslı olmayan sentetik bazlı yağlardan kimyasal sentez yöntemi ile elde edilmektedir. Mineral yağlara alternatif olarak kesme sıvılarında kullanılırlar. Mineral yağlara oran ile düşük sıcaklıklarda kolay akabilme, yüksek sıcaklıklarda aşırı incelmeme, enerji tasarrufu, düşük sürtünme katsayısı, yüksek ve düşük sıcaklıklar ile yüksek basınca karşı dayanıklı olma gibi özellikleri fazladır. Sentetik metal kesme sıvıları içeriğinde kullanılan sentetik bazlı yağların türüne göre adlandırılırlar. Sentetik esterler, organik asitler ile alkollerin laboratuvar ortamında reaksiyona girmesi sonucu elde edilirler (Şık 2009).

Sentetik metal kesme sıvıları, suyla seyreltildiklerinde emülsiyonlar sütümsü görünümün aksine yarı şeffaf ve şeffaf solüsyonlar oluştururlar. Parlamazlar, duman yapmazlar ve zehirsiz özelliklerinin yanı sıra çok iyi soğutma özellikleri vardır. İçeriğinde mineral yağlar bulunmadığı için yağlayıcılık özelliği ve pas önleyici özellikleri katkı maddeleri ile arttırılmıştır. Sentetik kesme sıvıları, yağ bazlı sıvılarda rastlanan problemlere göre daha az rastlansa da aşırı çalkalanma durumunda köpüklenme ve sprey halinde havada yayılmaları gibi olumsuzluklara sahiptir (Dolapçı 2010).

3.3.2 Yarı Sentetik Metal Kesme Sıvıları

Yarı sentetik kesme sıvıları, kararlı mikro-emülsiyon sistemi oluşturmak amacıyla yağ bazlı katkıların su içinde emülsiyeye edilmesiyle meydana gelirler. Kullanım amaçlarına göre içeriğine

bazı katkı maddeleri eklenir. Bu katkı ile yüksek basınca dayanım, pas önleyici, anti-bakteriyel özelliklere sahip olabilirler. Yağlayıcılık ve soğutuculuk özelliklerine sahiptirler. Yarı sentetikler, mineral ve sentetik yağ özellikleri gösterdikleri için ayrı olarak sınıflandırılmaktadırlar. Çok iyi ısı iletimi ve bozunmaya karşı dirence sahiptirler. Sentetik kesme sıvılarına göre pas önleme ve yağlayıcılık özellikleri daha iyidir. İçerdikleri mineral yağ özellikleri, korozyonu önler. Viskoziteleri düşüktür. Bu sayede içerisinde bulunan talaşlar kolay çöker ve filtrasyonu kolay olması nedeniyle geri deviri daha kolay sağlanır. Akışkanın hareketli ve çalkantı durumunda sprey oluşturduğu gözlenmektedir. Suyun sertliği sentetik kesme sıvılarının kararlılığını etkilemektedir. İçeriğinde bulunan katkı maddeleri, kolay köpüklenmelerine sebep olmaktadır. Çözünebilen yağlara göre daha az yağlayıcılık özelliklerine sahiptirler. Atıklarının işlenmesi masraflıdır (Tucker 2006, Dolapçı 2010).

3.3.3 Saf Metal Kesme Sıvıları

Saf metal kesme sıvıları, yağlayıcılık ihtiyacının ön plana çıktığı kesim işlemlerinde genel olarak tercih edilmektedir. Bu tip kesme sıvıları mineral bazlı, sentetik veya bitkisel yağlardandır ve seyreltilmeden polar veya kimyasal katkı maddeleriyle özellikleri artırılarak kullanılabilirler. Saf kesme sıvıları susuz kullanıldıkları için katkı maddesi diğer kesim sıvısı türlerine göre daha azdır. Kesme sıvısı performansı yağ (mineral yağ, bitkisel yağ veya sentetik esterler), polar katkı maddeleri, yüksek basınç altında çalışabilmeleri için kimyasal maddeler, istenilen niteliklerde oksidasyon direnci, yağda çözünübilirlik, yapışkanlık özelliklerine göre belirlenmektedir (Tucker 2006).

3.3.4 Emülsiyon Metal Kesme Sıvıları

Yağın, yüzey aktif madde ve diğer katkı maddeleriyle birlikte su ile karıştırılarak damlacıklar halinde su içerisinde askıda kalarak oluşturulan metal kesme sıvılarıdır. Su, yüksek ısı iletkenliği ve buharlaşma ısıyla en etkili soğutma ortamlarından biridir. İçeriğinde bulunan yağ sayesinde yağlayıcılık özelliği bulunmaktadır. Fakat çalışma şartlarına göre sülfürlü, klorlu ve fosforlu katkı ile yağlayıcılık ve yüksek basınca dayanım özellikleri artırılabilir. Yağ ile su karışımı olması nedeniyle bu tip kesme sıvıları, ideal soğutma ve yağlama karakteri gösterirler. Çalışma yüzeylerine ince film tabakası oluşturabilmeleri sayesinde pasa karşı koruma sağlamaktadırlar. Farklı tip kesim uygulamalarında kullanılabilirlikleri yüksektir. Maliyeti su ile seyreltildikleri için saf kesim sıvılarından azdır. İçerisinde suyun varlığı pas

kontrolü, bakteri üremesi, küf, kaçak yağ sorunu ve buharlaşma kayıpları gibi dezavantajlar oluşturur. Bu gibi problemler katkı maddeleri ile indirgenebilmektedir. Sert sularla karıştırıldıklarında emülsiyon yapıları bir miktar bozulabileceğinden dolayı çalışma ortamında tortular bırakılmasına neden olmaktadır (Karahan 2010).

3.4 METAL KESME SIVISI ATIKSULARININ ÖZELLİKLERİ

Metal kesme sıvıları içeren atıksularının özellikleri kullanılan metal kesme sıvısı, uygulama yöntemi ve kullanım süresine göre değişmektedir. Metal kesme atıksuları BOI_5 , KOI , süspanse katılar (SS), NH^3-N , toplam kjeldal azotu (TKN), yağ-gres, As, Se, CN, Hg, Pb, Cu, Ni, Ag, Zn, Cr, SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , ve toplam toksik organikler (TTO) gibi kirletici parametre konsantrasyonlarını içerebilmektedir (Bakırcı 2014). Bu sıvılar tehlikeli kimyasallar sınıfına girmektedir ve toprağa olan yüksek girişim kapasitelerinden dolayı yeraltı suları için çok ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle doğal ortama verilmeden önce metal kesme sıvıları içeren atıksuların arıtılmaları gerekmektedir (Aşkın 2011). Metal kesme işlemi sonucu ortaya çıkan metal kesme sıvısı atıksuları ile ilgili deşarj standartları her geçen gün kısıtlanmaktadır (Bakırcı 2014).

3.5 METAL KESME SIVISI ATIKSULARININ ARITIM YÖNTEMLERİ

Metal kesme sıvıları, içerilerinde yağ ve kullanım alanına bağlı olarak emülgatör ile modifiye edilmiş sıvılardır. Yağlar su içerisinde yüzeyde, emülsiyon halinde, çözünmüş partiküller halinde ve katı maddelerin üzerine adsorbe edilmiş halde bulunabilirler (Rajeshwork and Ibanez 1996). Yağların arıtımı fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak yapılabilmektedir. Yüksek stabiliteye sahip yağ emülsiyonlarının klasik metotlarla arıtılması oldukça zordur. Yağlar biyolojik olarak zor parçalanmalarının yanı sıra biyolojik olarak toksik etkide gösterebilmektedir. Bu atıksuların arıtımında ilgili deşarj standartlarının sağlanabilmesi için çoğunlukla üç aşamalı arıtım gerçekleştirilmektedir (Bakırcı 2014). İlk aşama, akış hızı kontrolü, atıksuların dengelenmesi, yüzen yağlar ve çökelebilen katıların ayırma işlemleri gibi fiziksel arıtım aşamasıdır. Fiziksel işlemler, ızgaralar, yağ tutucular ve çöktürme olarak sıralanabilir. ızgaralar genellikle atıksu içerisinde katı üzerine adsorbe olmuş iri parçaları uzaklaştırmak için kullanılır. Yağ tutucular serbest yağların giderimi için kullanılır. Bunlar genellikle giriş ve çıkış yapısı ve bunları ayıran bir savaktan oluşur. Yoğunluk farkından dolayı yüzen serbest yağlar, yüzeyden mekanik olarak sıyrılarak uzaklaştırılır. Lifli veya gözenekli bir ortamda damlacıkların bir araya getirilmesi ile

damla çapları büyütülerek kaldırma kuvveti etkisinde sıvı-sıvı yoğunluk farkını esas alan birleştirici (coalescence) paket arıtım yöntemiyle de ayırım gerçekleştirilmektedir (Krasinski 2014).

Tasarım parametreleri, bekletme süresi ve yüzeysel akış hızı olarak bilinmektedir. Bu sistemlerde %20 –30 arası yağ gres ve %25-30 arasında KOİ giderimi sağlanır (Kalat, 2011). İkinci aşamada, termal evaporasyon, distilasyon, membran (ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon), kimyasal arıtma, koagülasyon, gibi işlemler yer alır. Yağ ve gres, atıksuda serbest ve emülsifiye durumda bulunabilmektedir. Emülsifiye yağlar yüzeylerinde oluşan zetapotansiyeli olarak adlandırılan iyon tabakası giderilme işleminden sonra birleştirilerek giderilir. Bu amaçla kimyasal, fiziksel, elektriksel ve biyolojik metotlar kullanılır. Emülsiyonun kimyasal olarak bozulabilmesi için koagülant maddeler (alüm ve demir tuzları), asitler (HCl ve H₂SO₄), tuzlar ve organik polielektrolitler eklenir. Ayrıca ısıtma, santrifüj ve filtrasyon gibi fiziksel metotlar da uygulanmaktadır. En yaygın kullanılan fiziko-kimyasal arıtma yöntemleri çözünmüş hava flotasyonu (DAF), koagülasyon ve çöktürmedir (Kalat 2011).

Çözünmüş hava flotasyonu, katı veya sıvı-sıvı ayırımı ilkesine dayanan yüzdürme prosesidir. Suda bulunan hafif, batmayan ince veya kaba askıda organik, inorganik bileşiklerin ve yağların, mikroskopik gaz kabarcıkları aracılığıyla yüzeye taşınımıdır. Daha sonra sıyrıcılar aracılığıyla, yağ tabakası su yüzeyinden ayrılmaktadır. Çözünmüş hava flotasyonunda genellikle geri devirli sistemler uygulanır. Arıtma verimini artırmak için bir koagülant ve polielektrolit kullanımı çok yaygındır (Kalat 2011).

Koagülasyon ve sedimentasyon, çeşitli organik veya inorganik kimyasallar ekleyerek (koagülant) zetapotansiyelinin giderilmesi ile emülsiyon özelliği bozular. Bu koagülantlar yardımıyla kolloid parçacıkları kararsızlaştırılır. Tek başına çökmeyen bu parçacıkların van der waals kuvveti ile bir araya gelerek kolayca çökebilen kümeler haline dönüşmesi işleminin bütünü pıhtılaştırma (koagülasyon) olarak tanımlanır. Yumaklaştırma (flokülasyon) işlemi ise, pıhtılaşmış taneciklerin yumaklar teşkil ederek çökebilir büyüklüğe ulaşmasıdır (Kalat 2011).

Üçüncü aşamada ise membran ayırma (ters osmoz ve nanofiltrasyon), aktif karbon adsorpsiyonu, biyolojik arıtma, metallerin çöktürülmesi, kimyasal oksidasyon, elektrokimyasal arıtma yöntemleri ve bu aşamaların kombinasyonlarından oluşmaktadır (Kobya et al. 2008).

Yağ-gres aerobik biyolojik arıtma proseslerinde biyolojik bozulma hızının düşük olması ve mikroorganizmaların oksijen gereksinimlerini engellemesi nedeniyle proses öncesi giderimi yapılmalıdır. Yağlı atıksular, fizikokimyasal prosesler ile tek başına deşarj standartlarını sağlayamamaktadır (Kalat 2011).

3.5.1 Elektrokimyasal Arıtma Yöntemleri

Metal kesme sıvı atıksularının arıtımı üzerine birçok arıtım prosesi geliştirilmiştir. Bu atıksuların arıtımında kullanılan fizikokimyasal ve biyolojik arıtım yöntemlerinin birçok avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Arıtım prosesi kontrolü, çamur oluşumu, kimyasal madde tüketiminin veya maliyetinin yüksekliği, arıtma prosesi alanı büyüklüğü gibi dezavantajları mevcuttur. Bu nedenle söz konusu dezavantajları ortadan kaldıracak daha etkili, ekonomik ve işletme kolaylığı gereken arıtım sistemlerinin geliştirilmesine gereksinim bulunmaktadır. Alıcı ortam deşarj standartlarının sağlanmasında daha etkili ve giderim verimi yüksek ileri atıksu arıtım proseslerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle toksik ve tehlikeli atıksuların arıtımında pratikte kullanılacak ileri atıksu arıtım proseslerinden en önemlisi Elektrokimyasal arıtım yöntemleri göze çarpmaktadır (Eyvaz 2006).

Elektrokimyasal prosesler basit olarak iki elektrot ile elektron döngüsü ile gerçekleşir. Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bu düzeneklere genel olarak elektrokimyasal hücre denilmektedir. Bu hücrelerde yükseltgenmenin gerçekleştiği elektrot anot, indirgenmenin gerçekleştiği elektrot ise katot olarak adlandırılır ve çözültü içerisinde bulunan katyonlar katoda, anyonlar ise anoda doğru hareket ederler (Ulucan 2011). Anot ve katotta genellikle metal, karbon veya bir yarı iletken elektrot kullanılmaktadır (Pletcher ve Walsh 1990).

Elektrokimyasal tepkimenin gerçekleşebilmesi için anot ve katodu birbirine bağlayan güç kaynağı ve elektrotların içerisinde bulunduğu çözültüde iletkenliğinin olması gerekmektedir (Özyonar 2007). Bir elektrokimyasal hücrede, devreden geçen toplam elektrik yükü (q), akım şiddetine (I) bağlı olarak ifade edildiğinde: akım Elektrokimyasal arıtım yöntemlerinde kullanılan temel kanun Faraday Kanunu ve akım verim eşitlikleridir. Geçen yük miktarını q ve akım şiddetini I ile zamanı t ile gösterirsek eşitlik (3.1)'deki gibi tanımlanır (Özyonar 2007).

$$q = \int I dt \quad (3.1)$$

q: Yük miktarı (C)

I: Akım şiddeti (A)

t: Elektrik yüklerinin geçtiği zaman (s)

Bu durumda ortamda çözünen metal miktarı Faraday kanunu (3.2) ile sabit akım şiddetinde hesaplanabilmektedir (Özyonar 2007).

$$m = \frac{q}{n.F} = \frac{I.t.M_W}{n.F} \quad (3.2)$$

F: Faraday sabiti (C/mol)

M_w: Çözünen metalin molekül ağırlığını (g/mol)

n: Çözünen metalin tesir değerliğini

Akım yoğunluğu ise birim elektrot yüzeyinden geçen elektrik akımı olarak tanımlanır.

$$i = I/A \quad (3.3)$$

A: Elektrot yüzey alanı, (m²)

i: Akım yoğunluğu, (Amper/m²)

Son yıllarda elektrokimyasal arıtım prosesi çevreye uyumlu ve çok yönlü bir arıtım prosesi olması nedeni ile atıksu arıtımında oldukça dikkat çekmektedir (Özyonar 2007). Elektrokimyasal arıtım proseslerinin mekanizmasında koagülasyon, adsorbsiyon, absorpsiyon, çöktürme ve flotasyon işlemleri yer almaktadır.

3.5.1.1 Elektro-oksidasyon (EOx) prosesi

Elektrooksidasyon prosesi elektrot tipine göre diğer elektrokimyasal yöntemlerden farklılık göstermektedir. Tİ, Ru,Pt, paslanmaz çelik gibi çözünmeyen elektrotlar kullanılmaktadır. Literatürde genellikle Ti/Pt-Ir, Ti/RhO_x-TiO₂, Ti/PdO-CO₃O₄, TiO₂/TiRuO₂, Ti/Pt, PbO₂/SnO₂, PbO₂/Ti, SnO₂, PbO₂, BDD vb. anot elektrotlar kullanılmaktadır (Segura et al.

2017). RuO₂, Co₃O₄ ve MnO₂, metal oksitlerin titanyum metali üzerine tatbiki ile oluşturulan anotun diğer anotlara göre daha iyi katalitik aktivite göstermektedir. Bununla beraber, kurşun ve grafit anotların da çok iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Koby et al. 2008). Bu elektrotların yardımı ile O₂ ve H₂ gazları ile oluşan H₂O₂ ve •OH radikalleri ile istenilen oksidasyon sağlanmaktadır. Bu işlemle birlikte birçok madde oksidasyona uğratılabilirken biyolojik olarak parçalanabilirliği zor olan bileşikler, biyolojik olarak kolay parçalanabilir organik bileşiklere veya CO₂ ve H₂O gibi son ürünlere dönüştürülür.

Elektrooksidasyon prosesi verimini belirleyen faktör anot aktivitesidir. Ayrıca diğer parametreler akım, sıcaklık ve pH organik bileşiklerin veya diğer oksidatların difüzyon hızını etkilemektedir. Eğer anodun yeteri kadar yüksek potansiyeli varsa, atıksuda bulunan klorür iyonları veya organik bileşiklerin doğrudan oksidasyonu gibi ikincil reaksiyonlarda oluşabilir (Ulucan 2011).

Klor, güçlü oksidant yapısı sayesinde bazı organik bileşikleri okside edebilir. Yapılan çalışmalarda atıksu tipine bağlı olarak farklılık gösterse de elektrooksidasyon prosesinde ortalama %90 oranında KOİ giderimi elde edilebilmektedir (Bakırcı 2014). Etkili giderim ve çamur oluşumunun çok az olması nedeniyle elektrokimyasal yöntemler arasında tercih edilen bir yöntem olarak yer almaktadır (Segura et al. 2017).

3.5.1.2 Elektroflotasyon (EF) prosesi

Elektroflotasyon yöntemi, genellikle başka bir elektrokimyasal proses ile birlikte uygulanmaktadır (Rajeshwork and Ibanez 1996). Bu yöntemde elektrotlarda elde edilen gaz ve kaldırma kuvvetinin yardımı ile kirleticinin atıksu yüzeyine taşınımı olarak basitçe tanımlanabilir.

Elektroflotasyon yöntemi, atıksularda bulunan düşük yoğunluktaki ve askıda katı maddeleri yüksek verim ile giderebilmektedir. Temelde çalışma mekanizması flotasyon prosesi ile aynıdır ancak gaz kabarcıklarının elektrot yüzeyinde elektrokimyasal reaksiyon sonucu oluşmasıdır. Suyun elektroliz reaksiyonu reaksiyon (3.4)'de görüldüğü gibi hidrojen gazının oluşumu, oksijen gazının iki katıdır (Alam ve Shang 2016).



Faraday kanununa göre hidrojen (Q_H) ve oksijen (Q_O) gaz oluşum debileri (L/s) denklem (3.5) ve (3.6)'da verilmektedir (Tijani ve Rahim 2016, Vu et al. 2014).

$$Q_H = \frac{I \cdot V_o}{n_H \cdot F} \quad (3.5)$$

$$Q_O = \frac{I \cdot V_o}{n_O \cdot F} \quad (3.6)$$

n_H : Hidrojenin elektron transfer sayısı (mol başına 2 elektron)

n_O : Oksijenin elektron transfer sayısı (mol başına 4 elektron)

Q_H : Hidrojen oluşum debisi (L/s)

Q_O : Oksijen oluşum debisi (L/s)

V_o : Normal koşullar altında gazların molar hacmi (22,4L/mol)

Elektroflotasyon proseslerinde gaz kabarcıkları çalışma mekanizmasının temelini oluşturmaktadır. Boyutları küçük olmasına rağmen çok yüksek dispersiyona sahiptirler. Gaz kabarcıklarının oluşumu pH, sıcaklık, elektrot malzemesi, yüzey alanı, akım yoğunluğu, reaktör ve elektrot tasarımı gibi parametreye bağlıdır. Elektrot malzemesi ve yüzey alanı verilen diğer parametreler arasında en önemlilerindedir (Ulucan 2011).

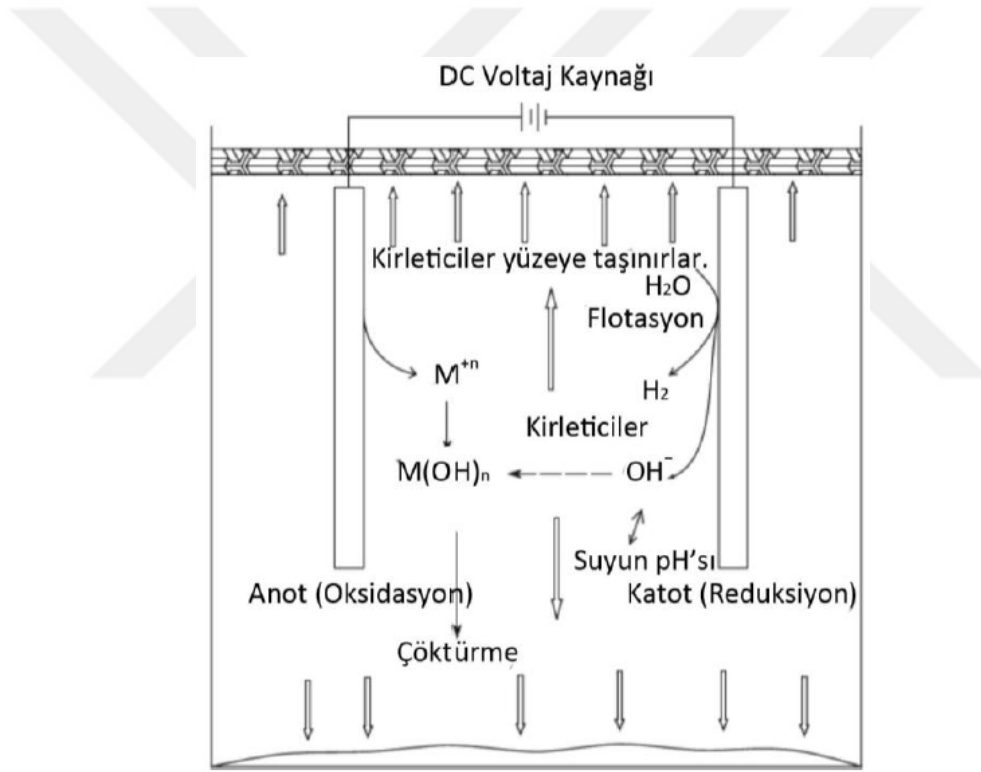
3.5.1.3 Elektro-koagülasyon (EK) prosesi

Basit elektrokoagülasyon reaktörü bir anot ve bir katottan oluşmaktadır. Dış bir kaynaktan potansiyel akım uygulandığında, anot maddesinde oksidasyon gerçekleşirken katotta metallerin indirgenme ya da yükseltgenmeleri görülür. Anot olarak M metali kullanıldığında gerçekleşecek elektrokimyasal reaksiyonlar Çizelge 3.1'de verilmektedir (Vu et al. 2014).

Çizelge 3.1 Elektrokoagülasyon anot ve katot reaksiyonları.

Anot	Katot
$M_{(s)} \rightarrow M_{(aq)}^{+n} + ne^{-}$	$M_{(aq)}^{+n} + ne^{-} \rightarrow M_{(s)}$
$2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H_{(aq)}^{+} + O_{2(g)} + 4e^{-}$	$2H_2O_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2OH^{-}$

Elektrokoagülasyon, çözünebilen elektrot kullanımı ile gerçekleşmektedir. En yaygın olarak alüminyum (Al^{+3}) ve demir (Fe^{+3} , Fe^{+2}) elektrotları kullanılmaktadır. Elektrotlardan ortama verilen Al^{+3} veya Fe^{+3} , Fe^{+2} iyonları suda polimerik demir ve alüminyum hidroksitleri oluşturmaktadır. Bu polimerik hidroksitler koagülantlardır. Atıksu içerisinde var olan kirleticiler, oluşan polimerik hidroksitlere fiziksel/ kimyasal olarak tutunarak arıtılmaktadırlar. Emülsiyeye yağlar, askıda katı maddeler ve kolloidal maddeler koagülantlarla fiziksel ve kimyasal reaksiyona girerek daha büyük floklar oluşturmaktadır. Oluşan flokların arıtımı yoğunluğa göre sedimentasyon, flotasyon veya filtre ile sağlanabilmektedir. Koagülasyonda, koagülant kimyasallarının eklenmesi ile elde edilirken, elektrokoagülasyon prosesinde koagülantlar elektrotlardan elde edilmektedir. Ana hatları ile proses Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Ulucan 2011).



Şekil 3.1 İki elektrotlu şematik elektrokoagülasyon hücresi (Ulucan 2011).

Elektrokoagülasyon proseslerinde, ortamın kimyasal özelliği ve iletkenliği etken parametrelerdir. Ek olarak, pH, ortamdaki kolloidal partiküllerin boyutu ve kimyasal türlerin konsantrasyonu gibi parametreler verime etkimektedir. Elektrotlar üzerinde oluşan elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu küçük miktarlarda gaz kabarcıkları oluşmaktadır. Elektrokoagülasyon gerçekleşirken düşüğe olsa elektroflotasyon ile arıtım da gerçekleşebilmektedir (Ulucan 2011, Bakırcı 2014).

3.6 YAĞ TUTUCULAR

Atıksuda bulunan, yoğunluğu sudan düşük olan yağ, gres, solvent gibi yüzdürülebilir maddeleri sudan ayırmak için yağ tutucular kullanılır. Yağ tutucu tasarımında damla boyutu önemlidir. Dağılımdaki yağ damlacıklarına kaldırma kuvveti etki etmesi için belirli bir hacme gelmeleri gerekmektedir ve Stokes denklemi ile damlacık boyutuna göre ayrışma hızı hesaplanabilmektedir. Yağ tutucuda serbest yağlar tankın yüzeyine toplanır ve daha sonra sıyırma ile ortamdan uzaklaştırılır. Yağ tutucu tasarımı, yoğunlukları 0.80 g/cm^3 ve çapı $150 \text{ }\mu\text{m}$ 'den büyük serbest yağ taneciklerinin giderilmesi esasına dayanmaktadır (URL 2).

Yağ tutucu verimini artırmak için havuz içerisine plakalar da yerleştirilebilir. Plakalı yağ tutucu, oluklu ve paralel levhalardan oluşur. $60 \text{ }\mu\text{m}$ 'den büyük yağ damlacıklarını ayırmak için tasarlanırlar. Fakat yüksek yağ yüklemelerinde, yağ damlası kesme kuvvetinden dolayı arıtma verimini düşürmektedir. Bu durumda atıksu girişi, plakanın tersi yönünde yapılmalıdır. Böylece ayrılan yağ tanecikleri akışa ters yönde hareket ederek yükselir (burada levhalar 45° açılı ve 10 cm aralıklı yerleştirilir). Hidrolik yük, sıcaklık ve yağın özgül ağırlığı ile değişmektedir. Yağ, 20°C sıcaklık ve 0.9 g/cm^3 özgül ağırlığında en düşük debiyeye sahiptir. $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{sa}$ 'lik hidrolik yüklemelerde, $60 \text{ }\mu\text{m}$ boyutundaki yağ damlacıkları tutulabilmektedir. Tasarımda belirlenen büyüklük, %50 emniyet faktörü ile büyütülmelidir (URL 2).

Emülsiyeye yağ, ortamda kolloidal halde bulunan yağdır. Yağ damlacıklarının fiziksel olarak ayrılmasında damlaların birleştirilmesi esastır. Damlaların birleşmesi için farklı uygulamalar bulunmaktadır: koagülasyon, yumaklaştırma, yüzdürme, birleştirme (coalescence) ve elektrokimyasal prosesler. Emülsiyeye yağın sudan arıtımı için öncelikle damlalar arasındaki dengeyi sağlayan kimyasal kuvvetlerin kırılması gerekmektedir. Koagülasyon- yumaklaştırma proselerinde genellikle asit ilavesi veya emülsiyon kırıcı polimerler (polipropilen) kullanılmaktadır. Elektriksel yöntemlerle emülsiyeye yağın zetapotansiyeli kırılarak geliştirilmiş birleştirme yöntemleri de kullanılmaktadır. Daha sonra serbest yağ, yüzdürme ile yüzeyden alınmaktadır. Emülsiyon halindeki yağı ayırmak için ise kabarcıklı ya da çözülmüş hava ile yüzdürme üniteleri kullanılabilir. Yüzebilenler dışındaki diğer katı maddelerin tabana çökelmeleri söz konusu olduğunda yağ tutucular, çamur depolama hazneli olarak yapılırlar ve çökelen çamur ile yüzen maddelerin kolayca alınabilecekleri bir düzende inşa edilmelidir. Kentsel atıksu arıtma tesisleri için en uygun çözüm (özellikle ön çöktürme havuzunun olmadığı hallerde), kum tutucu ile yağ tutucunun aynı havuz içerisinde yapılmasıdır. Yüzeyden alınan

yağlar, yakma ve geri kazanma tesislerine iletilebilirler (Cusack et al. 2009, Krasinski 2014). Temel olarak tasarımımda düşünülmesi gereken üst kısımda yağ biriktirme hacmi, dipte çökelen katılar için gerekli çökme hacmi ve yağın sudan ayrılması için gerekli hacimdir.

3.6.1 Koaleser (Birleştirici) Yağ Tutucu

Damlaları birleştirerek (coalescence) büyütme, sıvı-sıvı ve sıvı-gaz ayrımı için petrokimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir ayırma tekniğidir. Günümüzde koaleser sistemleri, geleneksel yer çekimi ayırıcılarından daha çok tercih edilmektedir (Kiralj et al.2016). Gözenekli iç kısma sahip olan koaleser, atıksuyun yağdan arındırılması, yakıtların sudan arındırılması, kostik yıkama kalıntılarından petrokimyasal ürünlerin çıkarılması gibi büyük ölçekli proseslerde kullanılmaktadır. Daha az sermaye, düşük işletme maliyeti, az bakım ve daha az yer kaplaması en büyük avantajlarındandır (Krasinski 2013).

Koaleser yöntemi, küçük partiküllerin veya damlacıkların bariyer veya elektrik enerjisi vasıtasıyla daha büyük partikül veya damlalara dönüşümünü içerir. Birleşim, iki ya da daha fazla küçük damlacıkların daha büyük damlaları oluşturmak üzere bir araya geldiği işlemidir. Damlacıklar, moleküler çekim kuvveti, yüzey gerilimi veya elektriksel çekim kuvveti ile bir araya gelir. Yeterli bir boyuta ulaştıklarında, yoğunluk farkına göre ortamdan arıtmaları kolaylıkla sağlanabilmektedir (Krasinski 2013). Damlaların koaleser işleminde birleşme aşamaları; damlacıkların toplanması, daha küçük olan damlacıkların daha büyük damlalar oluşturması, büyük damlaların yükselmesi veya çökmesi olarak sıralanabilir. Bir emülsiyonda damlaların boyutu ne kadar küçük ise, emülsiyonda homojenlik artar (Zhao and Li 2011, Krasinski 2013). Dağınık (disperse) fazın damlacık boyutu küçüldükçe arıtım zorlaşmaktadır. Damlaların çapı azaldığında damlalara etki eden kaldırma kuvvetinin büyüklüğü de orantılı olarak azalır.

Koaleser tasarımımda damlaların birleşimini destekleyici özelliklerine sahip uygun gözenekli veya lifli materyal tabakalar, yataklar veya katmanlar (mekanik koaleser) kullanılabilir (Zhao and Li 2011). Bu nedenle koaleser faz ayrımları için Baki-Ergün (Carman- Kozeny) denkleminde faydalanarak damlacık boyutlarını artırmak için gerekli ortam hakkında yorum yapılabilmektedir. Yüzeysel hız, dinamik viskozite, gözenekli ortam derinliği, ortamda tutulan maddelerin boyutu, gözeneklilik ve basınç farkı gibi parametrelere bağlıdır (Krasinski 2013).

Tabakaların yerleşim düzenleri veya elektrik alanı uygulaması ile arıtım veriminde önemli iyileştirilmeler sağlanabilmektedir (Krasinski 2014).

Elektrostatik bir koaleserde su damlalarının petrolden arıtımında elektrostatik kuvvet yağ-su emülsiyonlarını kırmak için kullanılır. Bu teknoloji, petrolün maksimum izin verilen su içeriğinin yüzde birinden daha az olmasını sağlamak için denizaşırı üretim tesislerinde oldukça yaygındır. Kaynaştırıcı olarak adlandırılan sistem, küçük su damlacıklarını birleştirir ve daha büyük damlacıklar oluşturur. Dolayısıyla daha hızlı ayrılmaya zorlar ve damlacıkların elektrotlara doğru göç hızını artırır (Mousavi et al. 2014, Mhatre et al. 2015). Bu nedenle, yağdaki su damlacıklarının çökme hızı, sadece viskozite ve yoğunluğa değil aynı zamanda damlacık yarıçapına da bağlıdır (URL 1).

Elektrostatik koaleser'in temel özelliği, elektrostatik alan kuvvetinin, su gibi iletken damlacıklar ve yağ gibi bir izolasyon ortamı üzerinde etkili olmasıdır (Mousavi et al. 2014). Bir elektrik alanının varlığında, su damlacıkları, elektrik yükleri ve itici yüzeysel etkileşimleri aşarak yağ filmi drenajı ve ardışık birleşme ile sonuçlanan dipol haline gelir. Damlacıkların kaynaşması temel olarak elektrostatik indüklenen kuvvetler, film reolojisi, laminer veya türbülans seviyesine ve konsantrasyona bağlı çarpışma frekansına bağlıdır (URL 1).

Elektrostatik koaleser, doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) ile oluşturulan elektriksel alanlar ile çeşitlendirilebilmektedir. Fakat DC alanlar genellikle su içeriği düşük emülsiyonlarda yaygın olarak kullanılır. Bu sayede, elektrolitik bozunma azaltılır (Mousavi et al. 2014). Elektrostatik birleştirme hızını doğrudan etkileyen parametreler ise akış hareketi, elektrostatik çekim tipi (DC, AC), uygulanan elektriksel alanın frekansı, damlacık boyutu ve akışkanın fiziksel ve elektriksel özellikleri olarak verilmektedir (Mhatre et al. 2015).



BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu bölümünde yağ/su emülsiyonlarının hazırlanması, arıtım çalışmaları sırasında kullanılan metal kesme sıvısı, kullanılan cihazlar ve hazırlanılan deney düzeneği hakkında bilgi verilecektir.

4.1 MATERYAL ve METOT

4.1.1 Kullanılan Metal Kesme Sıvısı

Sentetik atıksuların hazırlanmasında metal kesme sıvısı olarak bor yağı (Petrol Ofisi) kullanılmıştır. Çeşitli metallerin işlenmesinde (kesme ve talaşlama) su ile %5-10 oranında karıştırılarak kullanılan çok amaçlı bir metal işleme sıvısıdır. Bor yağının özellikleri Çizelge 4.1’de verilmektedir. İçeriğindeki kimyasallar hakkında detaylı bilgi EK 1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Bor yağı tipik özellikleri.

<i>Yoğunluk (15°C) (g/mL)</i>	0.885
<i>Kinematik viskozite (40°-100°) (mm²/s)</i>	25
<i>Emülsiyon pH (20°)</i>	8.8

4.1.2 Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Deneyel çalışmada kullanılan atıksu numunesinin aktarımını sağlayan giriş ve çıkış hortumları deney sonrası tıkanma problemi veya kesit daralmasına uğramaktadır. Bunun sebebi yağ damlalarının birikimidir. Hortumların temizliği için asetik asit kullanılmıştır.

4.1.3 Sentetik Atıksu Numunesinin Hazırlanması

Elektrokoaleser deneyleri için hazırlanan emülsiyonlar, musluk suyuna hacimce %2 oranında bor yağı karıştırılarak hazırlanmıştır. Su-yağ karışımı 30 dakika 1300 rpm (devir/dak) hızında karıştırılmıştır. Hazırlanan her atıksu numunesi en fazla 1 saatlik beklemeden sonra elektrokoaleser deneylerinde kullanılmıştır.

4.1.4 Atıksu Numunelerinin Kararlılığı

Emülsiyonların kararlılığı, koloidal yapıdaki damlaların homojen dağılmasının ve birleşmemesinin sebebidir. Emülsiyonu oluşturan iki fazın ayrılabilmesi için kararlılığın bozulması gerekmektedir (Yu et al. 2017). Emülsiyon kararlılığı bozulan kolloidlerin büyütülerek kaldırma veya yerçekimi kuvvetlerinin etkisinde giderimi sağlanabilmektedir.

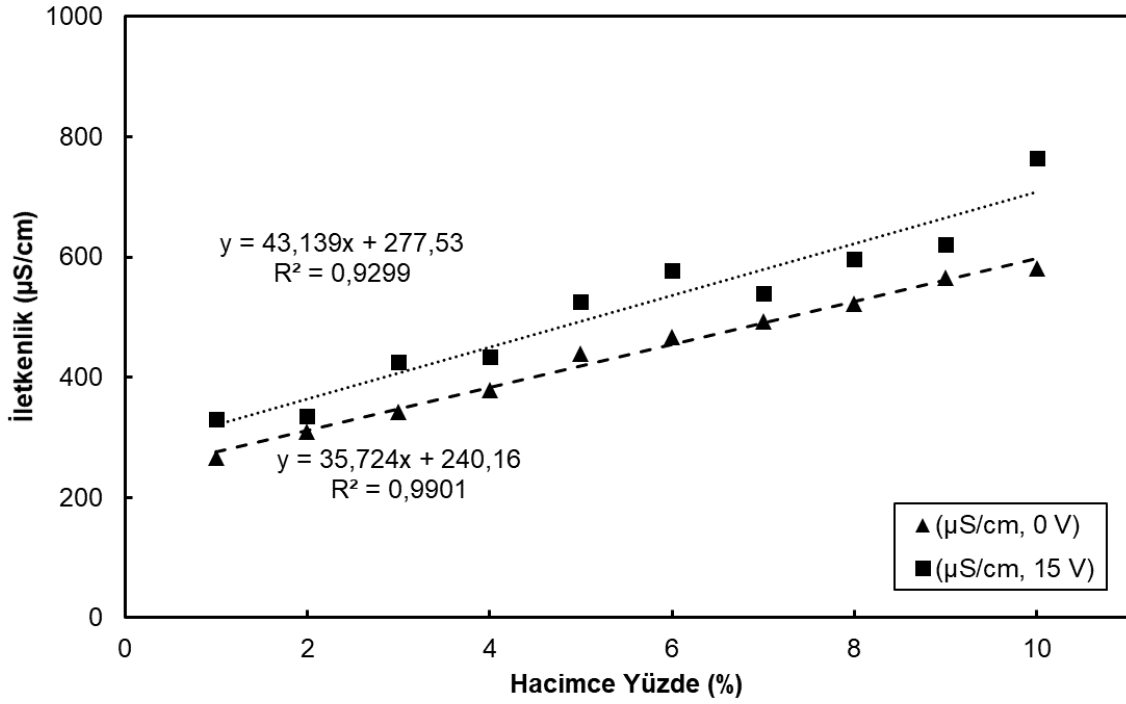
Bor yağı ile hazırlanan emülsiyonların kararlılık testlerinde bir ay süre ile bekletilmesine rağmen emülsiyon halini koruduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu numunelerin belirli aralıklarda bulanıklıkları ölçüldüğünde değerlerin çok fazla değişmediği görülmüştür. Bor yağı ile hazırlanan emülsiyonların fiziksel özellikleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 Emülsiyonun fiziksel özellikleri.

<i>pH</i>	8.8
<i>İletkenlik ($\mu S/cm$)</i>	360
<i>Viskozite ($mPa.s$)</i>	2,40
<i>Yoğunluk (g/cm^3)</i>	1.0355
<i>Zetapotansiyeli (mV)</i>	-27.32

Bor yağının su ile karıştırılmadan önceki yoğunluğu suyunkine çok yakındır. Bu nedenle sentetik atıksu numunelerinin yoğunlukları da suyun yoğunluğuna çok yakındır. Ayrıca hacimce %1-10 oranında yağ içeren ardışık atıksu numuneleri aynı karıştırma yöntemi ile hazırlanarak bir saat 15 V potansiyel altında elektriksel alana maruz bırakılmış ve numunelerin iletkenlikleri ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.1’de verilmektedir. Yağların temelde elektriği iletmediği bilinmekle birlikte, atıksu numunelerinin iletkenlikleri yağ yüzdesine bağlı olarak

elektrikli ve elektrisiz ortamda doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Elektrotlara voltaj farkı uygulandığında iletkenlikteki artışın daha fazla olduğu gözlenmektedir. Yağ yüzdesi ile iletkenlikteki artışın bor yağının içeriğinde kullanılan metalik yapıdaki emülgatörlerin olduğu düşünülmektedir (EK-1). Elektrotlara voltaj farkı uygulandığında yağ damlalarının birleşmesi sağlandığından daha fazla emülgatör iyonunun ortamda serbest olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.1 Atıksuların elektriksiz ve elektrik uygulamalı ortamda iletkenliklerinin yağ yüzdesine bağlı olarak değişimi.

4.1.4 Atıksuların Hazırlanması ve Karakterizasyonunun Belirlenmesinde Kullanılan Cihazlar

Bor yağı ile hazırlanan atıksu numunlerinin pH, iletkenlik, bulanıklık, yoğunluk, viskozite ve zeta potansiyelleri ölçülmüştür. Yağ-su emülsiyonları mekanik ve manyetik karıştırıcı yardımıyla hazırlanmıştır. Yapılan analizlerde ve deneylerde kullanılan cihazlar Çizelge 4.3'de verilmektedir.

Karıştırma: Emülsiyon hazırlamada mekanik ve manyetik olmak üzere iki farklı karıştırıcı kullanılmıştır. Mekanik karıştırıcı iki kademeli olarak çalışmaktadır. Hazırlanan deney düzeneği için emülsiyonlar mekanik karıştırıcı ile hazırlanmıştır. Emülsiyonlar hazırlanırken ikinci kademede 1800 rpm hızında karıştırma gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3 Deney ve analizde kullanılan cihazlar.

<i>Cihaz adı</i>	<i>Marka – model no.</i>
<i>Mekanik karıştırıcı</i>	<i>Heidolph RZR 2020</i>
<i>Manyetik karıştırıcı</i>	<i>IKA C-MAG HS 7</i>
<i>pH metre/ iletkenlik ölçer</i>	<i>Thermo Scientifc ORION</i>
<i>Ph metre</i>	<i>WTW inoLab pH 7110</i>
<i>Viskozimetre</i>	<i>SOIF NAJ-8S</i>
<i>Türbidimetre</i>	<i>Aqualytic AL450T-IR</i>
<i>Zeta potansiyel ölçüm sistemi</i>	<i>Malvern Zeta-meter System 4.0</i>
<i>DC Güç kaynağı</i>	<i>Extech Instruments 382280</i>
<i>Peristaltik pompa</i>	<i>Masterflex Cole Parmer L/S</i>

pH: Emülsiyonlar ortalama pH değeri 8.8'dir.

Yoğunluk: Emülsiyonların yoğunlukları piknometre aracılığı ile tespit edilmiştir. Yoğunluk hesabında piknometrenin darası alındıktan sonra örnek ile doldurulur ve tekrar tartılır. Elde edilen ağırlık değeri piknometrenin hacmine bölünerek sıvının yoğunluğu bulunur. (Bakırcı 2014).

Vizkosite: Viskozimetre, konik uclu dairesel olarak hareket edebilen ve sıvı ile konik uç arasındaki sürtünme direncini ölçen bir cihazdır. Bilindiği üzere vizkosite sıvının akmaya gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Cihazın ölçtüğü direnç, sıvının yarattığı sürtünme gerilimine orantılıdır. SOIF NAJ-85 markalı vizkosimetre ölçüm aralığı 1- 2 000 000 mPa.s'dır. Ölçüm cihazı 4 kademe çalışmaktadır. Her kademe hızları sırasıyla 6, 12, 30 ve 60 devir/ dak olarak verilmektedir. % 2'lik hazırlanan emülsiyonlarda yapılan çalışmalarda aynı cihaz ile 6 devir/dak hızında vizkosite bulunmuştur (Bakırcı 2014).

Bulanıklık: Deneylerde ve analizlerde kullanılan AL450T-IR markalı cihaz türbiditeyi 0.01-1100 NTU/FTU aralığında ölçmektedir. Alınan numuneler bu değerlerin üstünde olduğu için seyreltilerek ölçümler yapmıştır. Numune almak için otomatik pipetlerden faydalanılmıştır. Kullanılan otomatik pipetler Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Işık kaynağı 860 nm dalgaboyu ile kızılötesi LED'dir (ışık yayan diyot). Işık kaynağında yayılan ışık cihaza konulan numune tarafından yansıtılır. Yansıtılan ışık, bir fotodiyot tarafından 90° lik bir açı ile algılanır. Bu

prensip ISO 7027' nin bir parçasıdır (Bakırcı, 2014). Deney süresince arıtımın takibi bulanıklık ile gerçekleştirilmiştir. Bulanıklık verimi %75 oranlarına gelene kadar 15 dakika aralıklarla numune alınmıştır. Deneyler ilerledikçe numuneler 2' inci dakikaya kadar 10' ar saniye ardından 3' üncü dakika 15' er saniye, 4' üncü dakikaya kadar 30' ar saniye, 10' uncu dakikaya kadar 1' er dakika, 20' inci dakikaya kadar 2' şer dakika, 1 saate kadar 5' er dakika ve 2 saate kadar 10' ar dakika ara ile numune alınmıştır. Bazı deneyler için ek olarak 15 dakika ara ile 4 numune daha alınarak bir saat uzatılmıştır. Alınan numunelerin bulanıklıkları 3' er kez ölçülerek ortalama değeri alınmıştır. Giderim verimleri ölçülen bulanıklık üzerinden hesaplanmıştır.

DC Güç kaynağı: Deneylerde elektrik kaynağı olarak Extech Instruments 382280 markalı cihaz kullanılmıştır. Bu güç kaynağı 40V voltaj ve 5A akım sağlayabilmektedir. Deneyler 5, 10, ve 15V olarak gerçekleştirilmiştir. Sabit voltaj uygulanarak giderim verimine göre akım ve voltaj karşılaştırmaları incelenmiştir.

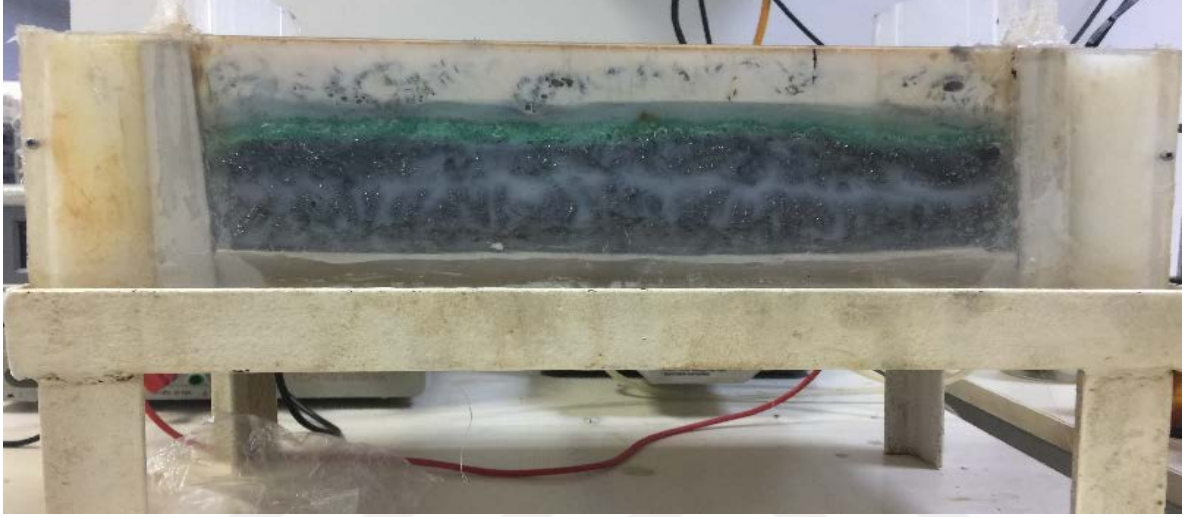
Debi: Deneyler de debi kontrolü Masterflex Cole Pomes L/S peristaltik pompa ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz orjinalde 36mL/dak maksimum debi ile çalışabilmektedir. Fakat farklı hortumlar kullanılarak debi değeri yükseltilmiştir. Kullanılan peristaltik pompa Şekil 4.3' de verilmiştir. Çalışmalarda 50, 100 ve 150 mL/dak değerlerine yakın olmak üzere üç farklı debide giderim verimine etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.2 Peristaltik pompa.

4.2 ELEKTROKİMYASAL HÜCRE DÜZENEGİ

Deney düzeneği 17 cm genişliğinde, 37 cm uzunluğunda ve 10 cm yüksekliğinde dikdörtgen prizmadan oluşmaktadır. Akış dar kesit alanı üzerinden gerçekleşecek şekilde savaklar giriş ve çıkıştan 5 cm içeride yerleştirilmiştir. Oluşturulan elektrokimyasal hücrenin fotoğrafı Şekil 4.3'de verilmektedir.



Şekil 4.3 Elektrokimyasal hücre.

Elektrotlar sıkıştırılabildikleri en yoğun halleri silindirik olduklarından dolayı deney düzeneğinin alt yüzeyine üç PVC boru yarım olarak kesilerek sabitlenmiştir. Bu sayede daha sıkı bir elektrot ortamı sağlanmış, kayıplar azaltılmış ve akış düzenli olarak yönlendirilmiştir. Deney düzeneğinin üstten ve karşıdan görünüşü Şekil 4.4'de sunulmuştur.



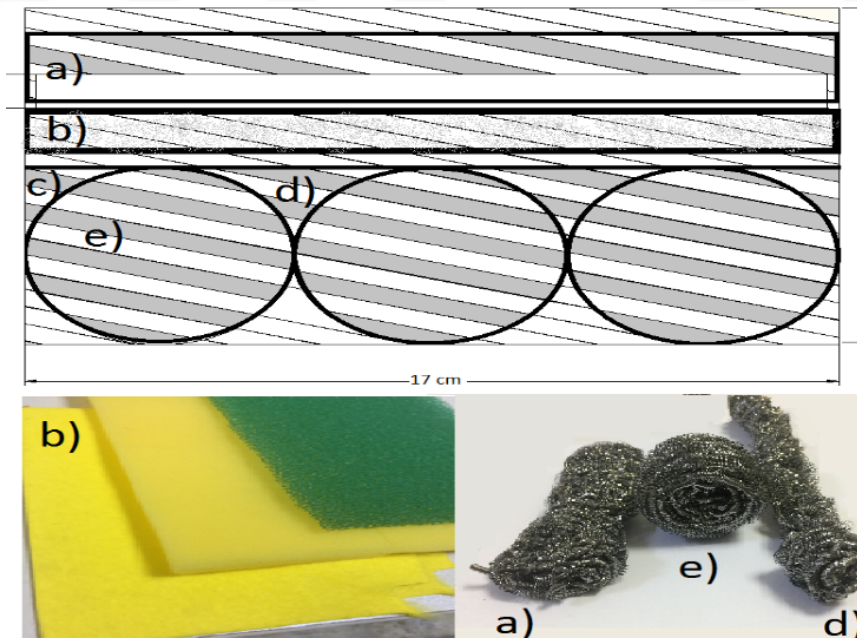
Şekil 4.4 Elektrokimyasal hücre (a) üst görünüm, (b) karşıdan görünüm.

4.2.1 Giriş ve Çıkış Savakları

Ön çalışma deneylerinde deney düzeneğinde akışın anot üzerinden olması durumunda yağ birikiminin az olduğu ve giderim veriminin düştüğü görülmüştür. Bu neden ile girişin katot üzerinden çıkışın anot üzerinden alınarak çapraz akış olması sağlanmıştır. Giriş ve çıkış savakları şematik olarak boyutlandırılarak EK 2’de verilmektedir. Su içinde dispers faz olarak bulunan yağ damlacıklarının yüzey yükleri negatif yüklendiğinden (Bakırcı 2014) anot elektrot elektrokimyasal ünitenin üst kısmına yatay olarak yerleştirilmiştir. Böylelikle yağ damlacıklarının yüzeyde toplanmaları amaçlanmıştır.

4.2.2 Elektrotlar

Elektrot olarak şerit telden spiral olarak sarılmış çelik toplar kullanılmıştır. Toplar esnek olmaları nedeniyle spiral yapıları bozulmadan kullanılmıştır. Spiral olarak sarılmış çelik toplar Şekil 4.6’da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Spiral olarak sarılmış çelik topların hacmi yaklaşık olarak $2.61 \pm 1 \text{ cm}^3$, kütlesi ise yaklaşık olarak $20 \pm 0.5 \text{ g}$ olarak ölçülmüştür. Katotta 30 çelik top, anotta 6 çelik top ve aralarında yalıtkan bir ara ortam kullanılmıştır.



Şekil 4.5 Spiral Çelik top elektrotlar ve yerleşim düzenleri.

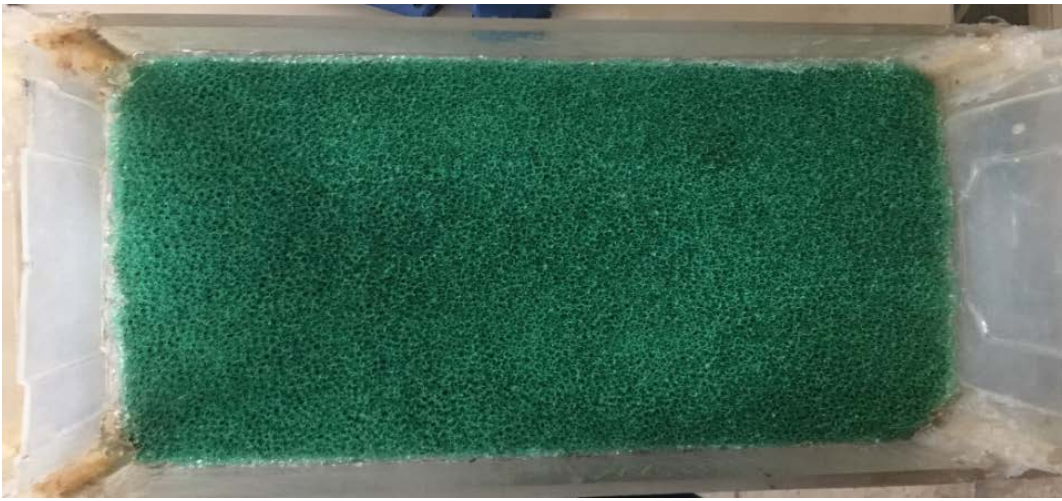
Anot elektrot: Anot kısmında yatay olarak yerleştirilen spiral çelik top elektrotlar genişletilmiş ve yaklaşık olarak 2 cm yüksekliğinde 6 adet yan yana koyularak dizilmiştir.

Şekil 4.6’de hazırlanan elektrot gösterilmiştir. Gözenekli olması koaleser oluşumuna imkân vermektedir.



Şekil 4.6 Hazırlanan anot elektrotun üstten görünümü.

Deney düzeneği anot ve katot arası yalıtkan ara ortam: Anot ve katot arasına iletken olmayan ve flotasyona imkân sağlayan gözenekli bir ortam kullanılması gerekmektedir. Bu neden ile yalıtkan ve gözenek yapıları farklı olan 3 çeşit ara ortam kullanılmıştır. Polipropan yeşil sünger, poliüretan sarı sünger ve elyaf sarı sıkıştırılmış bez Şekil 4.5’ de verilmektedir. Polipropan yeşil süngerin deney düzeneğine yerleşimi ise Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Ara ortam elektrostatik hücre içine silikon ile yapıştırılarak sabitlenmiştir.



Şekil 4.7 Deney düzeneğine yerleştirilmiş ara ortam.

Katot elektrot: Katot elektrotlar da spiral çelik toplardan oluşmaktadır. Katot toplamda 30 çelik toptan oluşmaktadır. Şekil 4.5’de verilen *e)* bölümünde maksimum 9 adet spirel çelik top kullanılmıştır. Hacim olarak orantılı olması için *d)* bölmesine 1’er top ve *c)* bölmesine yarım çelik top esnetilerek sıkıştırılmıştır. Böylelikle *c)* ve *d)* bölmeleri sayesinde homojen akış olması sağlanmıştır. Şekil 4.8’de deney düzeneğinde yerleştirilen katot elektrotların fotoğrafı sunulmaktadır.



Şekil 4.8 Katot elektrot yan (a) ve üst (b) görünümü.

Deney ünitesinin tabanına katot, aralarında yalıtkan ortam ve üzerlerine anot konulduktan sonra elektrokimyasal gözenekli hücre ortamı tamamlanmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Elektrokimyasal gözenekli hücre ortamı.

4.2.2.1 Elektrot ortamının fiziksel özellikleri

a) Çelik Tel elektrotların Piknometre Yöntemi ile Özgül Ağırlığının Belirlenmesi:

Bu çalışmada kullanılan çelik tel elektrotların yoğunluğu piknometre kullanılarak yapılan ağırlık sonuçlarına göre belirlenmiştir:

$$\rho_{elektrot} = \frac{(M_B - M_A)}{(M_D - M_A) - (M_C - M_B)} \times \rho_w \quad (4.1)$$

M_A: piknometre (16.8671 g)

M_B: piknometre + kuru tel parçaları (17.1624 g)

M_C: piknometre + kuru tel parçaları +Su (27.4971 g)

M_D: piknometre + Su (27.2402 g)

Yoğunluk deneyleri yapıldığında suyun sıcaklığı 21°C ölçülmüştür ve tartımlarda $\pm 0.001g$ hassaslıkta terazi kullanılmıştır. Öncelikle teller küçük boyutlarda (yaklaşık olarak 1-2 mm) kesilmiştir (Şekil 4.10). Deneyde ilk olarak piknometre tartılmıştır. Piknometre kabı kapak (M_A) ile beraber 16.8671 g 'dır. Piknometre ve su doldurulduğunda (M_D) 27.2402g'dır. Boş kuru piknometre içerisine hazırlanan kesilen teller (M_B) konularak tartılmıştır. Bu tartım sonucu 17.1624 g elde edilmiştir. Ardından içerisinde tel parçaları bulunan piknometreye su ilave edildi (M_C) ve tartım sonucu 27.4971g olarak elde edildi. Elde edilen tartım sonuçlarına göre Denklem (4.1) yarımıyla elektrot tellerin yoğunluğu ($\rho_{elektrot}$) 7.675 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca elektrot tellerin üreticisi firma (Hedef Tüketim Ürünleri) tellerin SS410 çelik standardında olduğunu bildirmiştir. Elde edilen yoğunluk değeri EK 3'de sunulan SS410 çelik özellikleri ile uyumluluk göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.10 (a) Çelik teller (1-2 mm) (b) Piknometre.

b) Anot ve Katot Çelik Tel Elektrot Yataklarının Porozitelerinin Belirlenmesi:

Katot ve anot elektrot yatak hacimleri 2520.25 ve 884 cm³'tür. Bu elektrot yataklarına yerleştirilen çelik tellerin hacimleri 78.18 ve 15.63 cm³' ve kütleleri 600 g ve 120 g'dır. Bu durumda her iki elektrot haznesindeki boşluk hacimleri 2442.07 cm³ ve 868.36 cm³ elde edilir.

Porozite (ϵ) boşluk hacmin toplam hacme oranıdır:

$$\epsilon = \frac{V_b}{V_T} \quad (4.2)$$

V_b : Boşluk hacmi

V_T : Toplam hacim

DeneySEL çalışmalarda anot elektrot yatağı 6 adet çelik top sarmalı yerleştirilmiştir. Bir çelik top sarmalının fiziksel özellikleri Çizelge 4.4'de sunulmuştur. Elektrot olarak kullanılan çelik top sarmalının fotoğrafı Şekil 4.5'de sunulmuştur. Çalışmada katot elektrot yatağına farklı sayıda (6, 18, 27 ve 30) çelik top sarmalları yerleştirilmiştir. Çizelge 4.4'de tek bir çelik top değerleri kullanılarak anot ve katot elektrot haznelerinin poroziteleri hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'de sunulmuştur. Sonuçlar her bir elektrot haznesindeki boşluk hacminin çok yüksek oranlarda olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4 Bir adet çelik tel topun fiziksel özellikleri.

Çap (cm)	5
Yoğunluk (g/cm ³)	7.65
Kütle (g)	20 ± 0.5
Hacim (cm ³)	2.61 ± 0.01

Çizelge 4.5 Anot ve katot elektrot yataklarında porozite değişimleri.

Anot Elektrot Yatağı (Çelik top sayısı)	Katot Elektrot Yatağı (çelik top sayısı)	Porozite (ϵ) (Anot/Katot)
6	6	0.982 / 0.969
6	18	0.982 / 0.972
6	27	0.982 / 0.981
6	30	0.982 / 0.993

c) Elektrot Yüzey Alanı Belirlenmesi

Anot ve katodu oluşturan çelik dikdörtgen kesitli teller tek parça olarak düşünülürse kesit alanı ile uzunluk çarpımı hacmi verecektir. Dolgu malzemesinin hacmi bilinmektedir. Homojen kabul edilen tel kesit alanı 0.0195 mm^2 (0.65×0.03) olduğuna göre anot ve katot tel uzunluğunu hesaplamak için hacmini kesit alanına oranlarsak katot için 4009.02 m ve anot için ise 801.8 m olarak bulunmaktadır. Dikdörtken kesitli telin iki kenarı bilindiği için yüzey alanıda kesit alanının çevresi ile çarpılırsa yüzey alanları katot ve anot sırasıyla 5.45 ve 1.09 m^2 olarak hesaplanmıştır. Toplam elektrot yüzey alanı ise 6.543 m^2 'dir.

4.3 ENERJİ TÜKETİMİ VE SPESİFİK ENERJİ TÜKETİMİ

Elektrotlarda potansiyel farkı uygulandığında gerekli güç devreden geçen akımın potansiyel farkı ile çarpımı ile elde edilir. Bu durumda “t” süresi kadar elektrotlarda potansiyel farkı uygulandığında tüketilen toplam elektrik enerjisi ise gücün toplam zamana göre toplam değişiminin hesaplanması ile edilir:

$$E_T = \int_0^t U \cdot I \, dt \quad (4.3)$$

E_T : Enerji tüketimi (kWh)

U : Elektrotlar arasındaki potansiyel farkı (V)

Bu çalışmada elektrokimyasal deneyler çelik elektrot yatakları arasındaki potansiyel farkının sabit tutulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu durumda “U” Denklem (4.3)’te yer alan integral teriminin dışına çıkar:

$$E_T = U \int_0^t I \, dt \quad (4.4)$$

Deneyler esnasında belirli sürelerde akım değerleri kaydedildiği için Denklem (4.4)’yer alan integral sayısal integral yöntemlerinden trapez kuralı uygulanarak elde edilebilir. Ayrıca toplam enerji tüketimi arıtılan suyun birim hacmine düşen enerji olarak ifade edilerek farklı çalışmalardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması hedeflenmiştir (Genç ve Eryılmaz 2017):

$$SET = \frac{\int_0^t U \cdot I \, dt}{V} \quad (4.5)$$

SET: Spesifik enerji tüketimi (kWsa/m³)

V: arıtılan atıksu hacmi (m³)





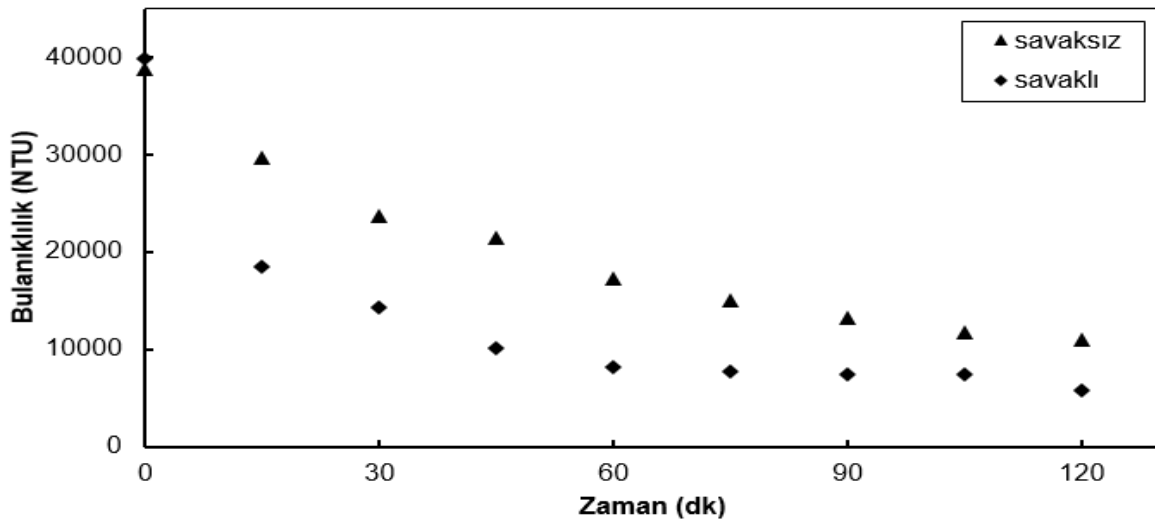
BÖLÜM 5

BULGU ve TARTIŞMA

Bu bölümde hazırlanan gözenekli çelik tel elektrotlar ve oluşturulan elektrokoalesere etki eden parametreler incelenmiştir. Parametrelere göre enerji tüketimine etkileri hesaplanarak yorumlanmıştır.

5.1 GİRİŞ VE ÇIKIŞ SAVAK YAPILARININ GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

Deneyel çalışmada kullanılan savak yapılarının çizimleri Ek2’de detaylı olarak sunulmuştur (Şekil Ek2.2 ve Şekil Ek2.3). Elektrokimyasal hücrenin giriş ve çıkışına 5 cm uzunluğunda giriş ve çıkış hazneleri yapılandırılmıştır. Atıksu yüzeyden 2 cm aşağıdaki 1cm genişliğindeki aralıktan elektrokimyasal elektrot bölümüne giriş yapmaktadır. Elektrokimyasal ünitenin alt kısmında oluşabilecek tıkanmaları önlemek için yaklaşık 5.7 cm çapında 2 cm yüksekliğinde elips şeklinde oluk yapıları oluşturulmuştur.



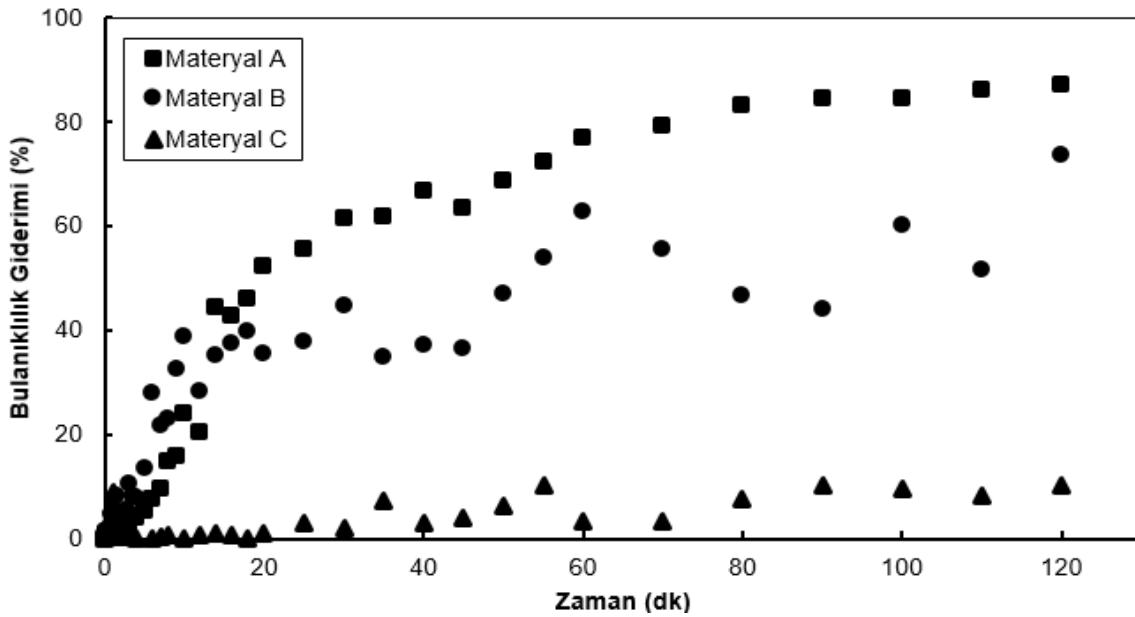
Şekil 5.1 Savakların bulanıklık giderimine etkisi.

Arıtılmış su tabandan bu oluklardan akarak 2.5 cm yüksekliğindeki aralıktan elektrokimyasal üniteyi terk etmektedir. Oluşturulan bu savak yapıları yardımı ile arıtım verimlerinde artışlar

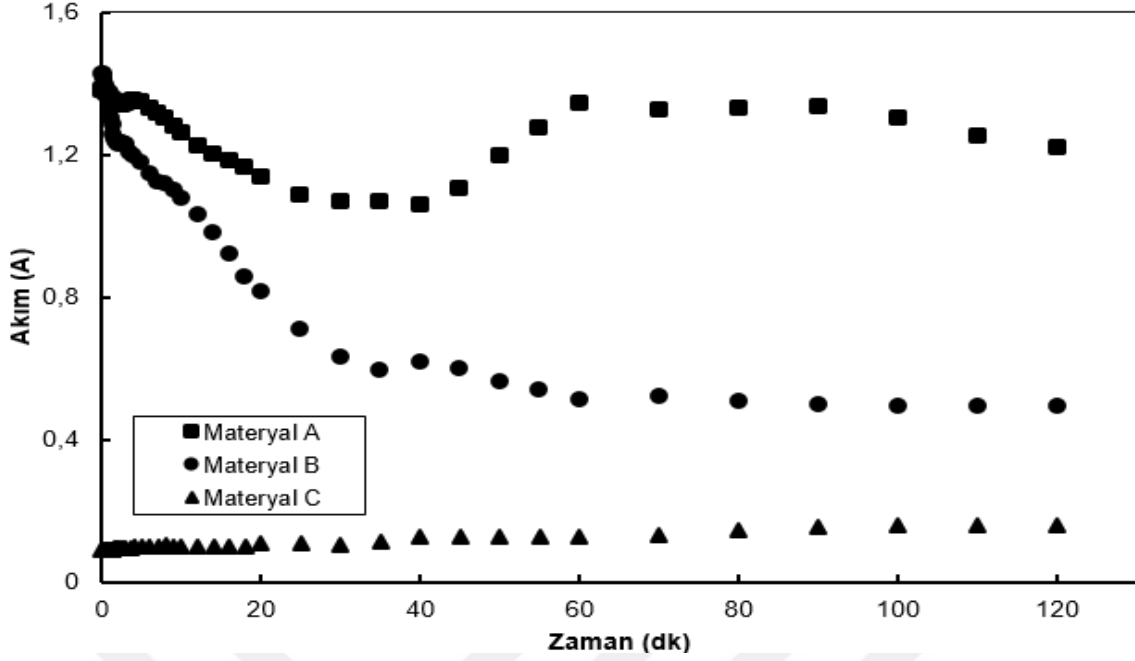
gözlenmiştir (Şekil 5.1). Çelik elektrot yataklar arası 15 V potansiyel farkı uygulandığında başlangıçta bulanıklığı 40000 NTU olan atıksuyun bulanıklığı 15 dakikalık arıtma sonucunda savaksız yapıda 30000 NTU'ya düşerken savaklı yapıda 18000 NTU'ya düştüğü gözlenmiştir. Bulanıklıktaki bu düşüşe savak yapılarının yağ damlacıklarının flotasyon ile arıtımını kolaylaştırmasının neden olduğu ve faz ayırımına yardımcı olduğu anlaşılmıştır.

5.2 YALITKAN ARA ORTAM MALZEMESİNİN GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

Çelik tel elektrot yatakları arasına üç farklı yalıtkan malzeme yeleştirilerek ara malzemenin arıtım verimine etkisi deneysel çalışmalar ile araştırılmıştır. Ara malzemeler polipropilen ve polüretandan yapılmıştır ve en temel farklılıkları gözenek yapılarıdır. Her üç malzemenin yapısı Materyal ve Metot bölümünde Şekil 4.5'de sunulmuştur. Ayrıca vakum filtrasyon ile yapılan deneylerde taşıyıcı levha üzerine konulan malzemelerin hidrolik iletkenlikleri ölçülmüştür. Materyal A, Materyal B ve Materyal C için hidrolik iletkenlikleri sırası ile $0.0101 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$, $0.0062 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$ ve $0.0082 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$ olarak bulunmuştur. Gözenekliliği en fazla olan ve boşlukların gözle fark edildiği polipropilen malzemedir (Materyal A). İkinci yalıtkan malzeme preslenmiş polüretan bezdir (Materyal B). Materyal C ise polüretan bazlı süngerdir. Şekil 5.2'de elektrot yataklar arası potansiyel farkı 15 V olduğunda kullanılan malzemelere göre bulanıklık giderim verimleri sunulmuştur. Ara ortam malzemesi olarak Materyal A, Materyal B ve Materyal C kullanıldığında elde edilen giderim verimleri %87, %74 ve %10'dur.



Şekil 5.2 Ara ortam malzemelerinin bulanıklık giderim verimine etkisi.



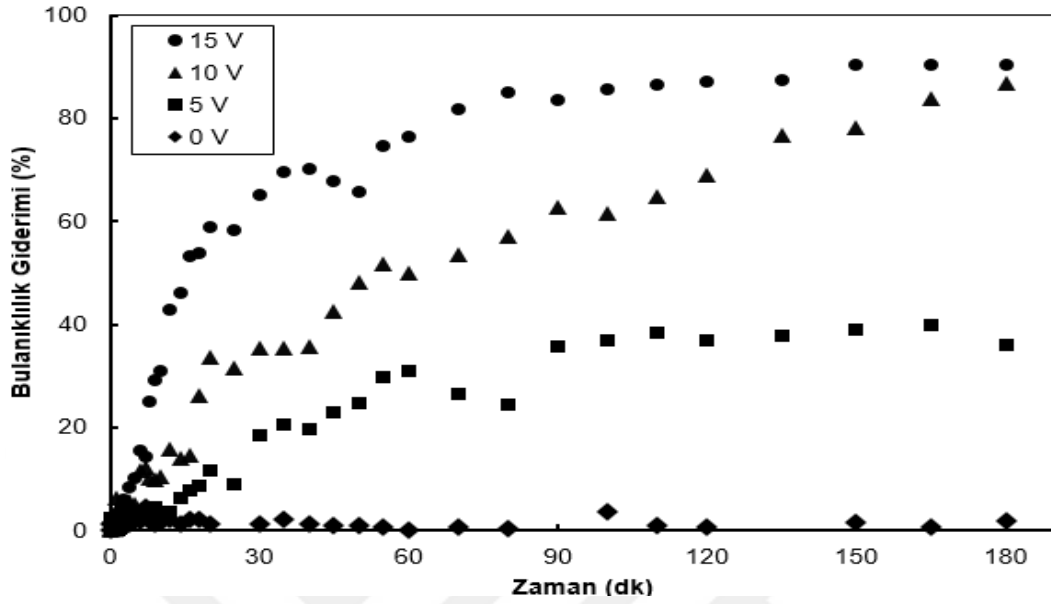
Şekil 5.3 Ara ortam malzemesine göre akım değişimi.

En yüksek giderim verimi Materyal A kullanımında elde edilmiştir. Materyal B katotta oluşan gaz kabarcıklarının geçişini engelleyerek, yağların yüzeye taşınmalarını yavaşlatmıştır. Buna karşılık Materyal C’de katotta oluşan gaz kabarcıklarının tutundukları ve anota doğru geçişlerinin olmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle devreden geçen toplam akımın diğer malzemelere göre oldukça düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.3). Yatışkın durumda elektrokimyasal üniteden geçen akım değerleri Materyal A, Materyal B ve Materyal C için sırasıyla 1,4, 0,6 ve 0,2 A elde edilmiştir. Çalışmada diğer parametrelerin incelenmesi elektrokimyasal arıtma deneylerinde yalıtkan ara malzeme olarak Materyal A kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.3 ELEKTROTLAR ARASI POTANSİYEL FARKININ GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

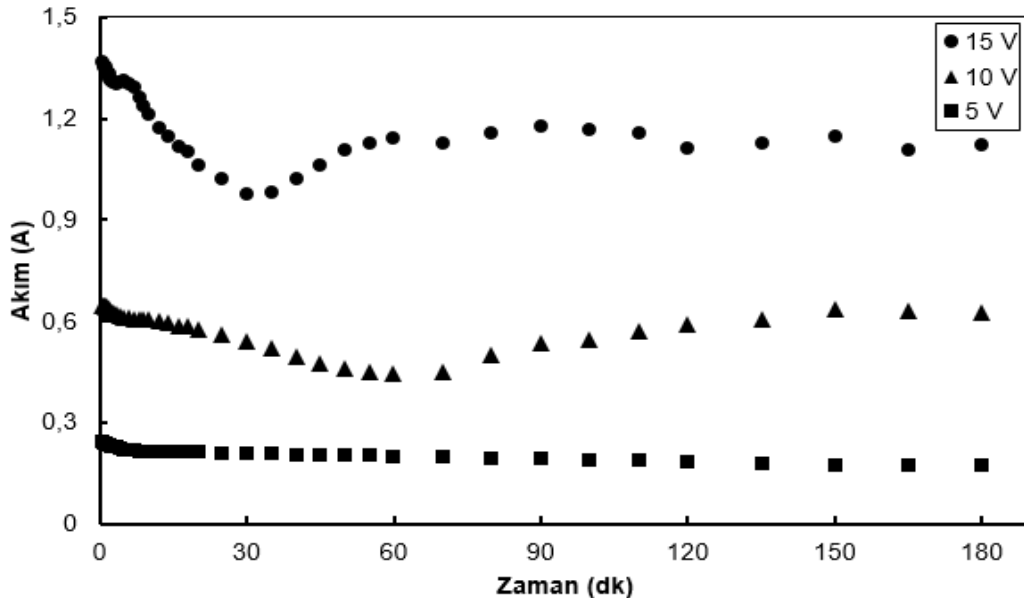
Elektrokimyasal hücrede anot ve katot yatak uzunluğu 27 cm’de sabit tutularak deneyler elektrotlara 5 V, 10 V ve 15 V potansiyel farkı uygulanarak kesikli akışta gerçekleştirilmiştir. Atıksuyun debisi 108 mL/dak’dır. Her üç potansiyel farkında elde edilen bulanıklık giderim verimleri ve akım değerleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5.4’te elektrokimyasal hücrede potansiyel farkı uygulanmadan elde edilen bulanıklık giderim verimleri gösterilmiştir. Sonuçlardan sistemde elektrik alan oluşmadığında yağ ayrımının

mümkün olmadığı ve artırım veriminin çok düşük değerlerde (%5'ten küçük) kaldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.4 Voltaj değişimine göre giderim verimi.

Şekil 5.4'de görüldüğü gibi elektrotlara uygulanan potansiyel farkı arttıkça bulanıklılık giderim verimleri artmaktadır. 3 saatlik deney süresinde 5 V, 10 V ve 15 V için bulanıklılık giderim verimleri sırasıyla %39, %86 ve %90'dır.



Şekil 5.5 Voltaj değişimine göre akım grafiği.

Şekil 5.5'de elektrokimyasal hücreden geçen akım değerlerinin ise uygulanan potansiyel farklarına göre sırasıyla ortalama 0,28 A, 0,62 A ve 1,18 A olarak değiştiği gözlenmektedir.

Özellikle 10 V ve 15 V potansiyel farkı uygulamalarında akımda yaşanan düşmelere sistem yatışkın duruma ulaşmadığı için yağ arıtımında oluşan ani ve yüksek değişimlerin sebep olduğu öngörülmektedir.

5.3.1 Elektrotlar Arası Potansiyel Farkına Göre Enerji Tüketimi

Şekil 5.5’de sunulan akım değerleri kullanılarak Denklem 4.4 yardımı ile toplam tüketilen elektrik enerjisi ve Şekil 5.4’te sunulan giderim verimi yardımı ile de karşılık gelen spesifik enerji değerleri 2 saatlik çalışma süreleri için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Elektrotlara uygulanan potansiyel farkına göre enerji tüketim değişimi.

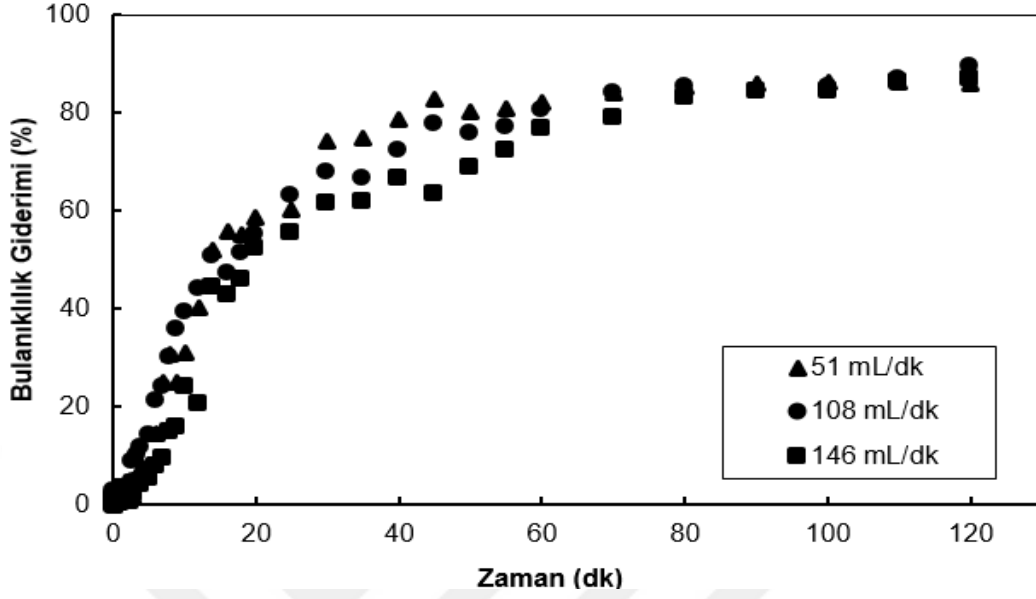
<i>Potansiyel Farkı</i> (V)	<i>Bulanıklık giderimi</i> (%)	<i>Enerji Tüketimi</i> (kWsa)	<i>SET</i> (kWsa/m ³)
5	37	0.002	1.086
10	69	0.0106	3.060
15	90	0.041	9.10

Elektrotlara uygulanan potansiyel farkı arttıkça tüketilen elektrik enerjisi artış göstermektedir. Bu sonuç literatürde yer alan sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Yapılan çalışmada akım değeri 0.44, 0.88, 1.31 ve 1.75 A olmak üzere sabit uygulandığında potansiyel fark değeri arttığı ve dolayısı ile enerji tüketimide (pH:9, I: 1,75A, SET:18.72 kWsa/m³ verim:%39) arttığını belirtmiştir (Aşkın 2011). Ayrıca sonuçlar oldukça düşük enerji tüketimlerinde çok yüksek yağ giderim verimlerinin elde edilebildiğini göstermektedir.

5.4 KESİKLİ AKIŞTA DEBİ DEĞİŞİMİNİN BULANIKLILIK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

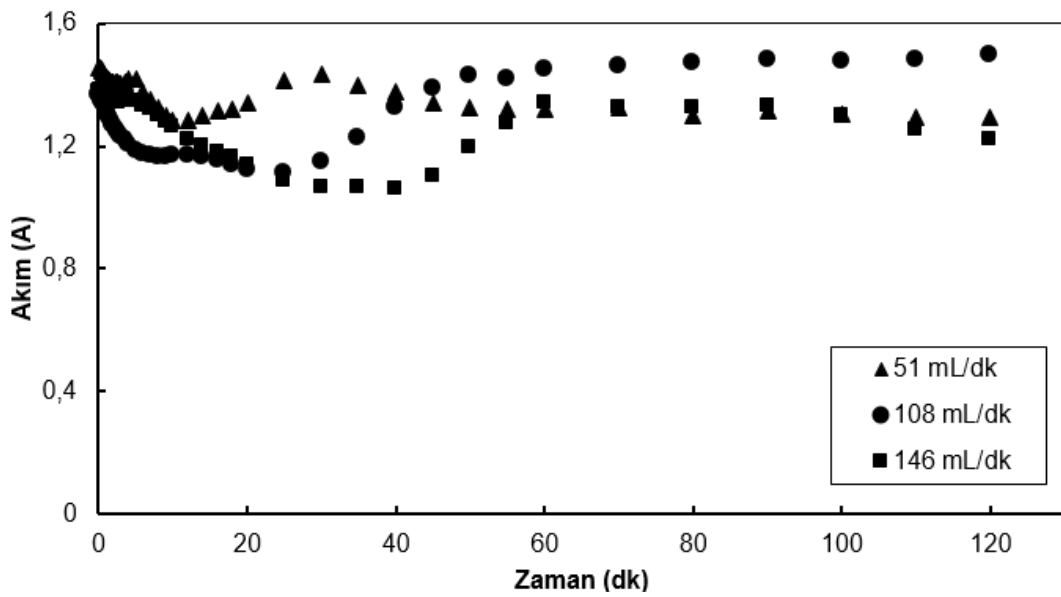
Elektrokimyasal arıtım deneyleri kesikli akışta üç farklı debi (51, 108 ve 146 mL/dak) değerinde çalışılmıştır ve sonuçlar Şekil 5.6’da sunulmuştur. Deneylerde elektrotlara uygulanan potansiyel fark 15 V ve elektrot yatak uzunluğu 27 cm’dir. Kesikli akışta arıtılan su tekrar sisteme girişten gönderildiğinden temelde farklı debilerdeki arıtımda yatışkın durumda giderim verimlerinin eşit olması beklenmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki çalışılan debilerde 70

dakikalık arıtma sonucunda üç debi içinde arıtım verimleri neredeyse eşittir. Örneğin 120 dakika arıtım sonrası elde edilen bulanıklık giderim verimleri sırasıyla %86, %90 ve %87'dir.



Şekil 5.6 Kesikli akışta farklı debilerde bulanıklık giderim verimleri.

Şekil 5.6'da sunulan deneylere ait akım değerleri Şekil 5.7'de sunulmuştur. Düşük debide (51 mL/dak) sistem daha hızlı bir şekilde yatışkın duruma ulaşmaktadır. Çalışılan debilerde elde edilen arıtım verimleri yaklaşık olarak eşitken kesikli akışta debi değişiminin akım değerlerinde farklılıklar gösterdiği gözlenmektedir. Bu değişimlerin etkisi arıtımda kullanılan enerji tüketimi üzerinde görülebilmektedir.



Şekil 5.7 Kesikli akışta farklı debilerde akım değişimleri.

5.4.1 Kesikli Akışta Debinin Güç Tüketimine Etkisi

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilen deney sonuçları kullanılarak Denklem 4.4 ve Denlem 4.5 yardımı ile toplam enerji tüketim ve SET değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.2’de sunulmuştur.

Çizelge 5.2 Kesikli akışta debi değişiminin enerji kullanımına etkisi (15 V-2 sa).

<i>Debi (mL/dak)</i>	<i>Bulanıklık giderimi (%)</i>	<i>Enerji (kWsa)</i>	<i>SET (kWsa/m³)</i>
51	86	0.04	9.31
108	90	0.04	9.10
146	87	0.03	8.56

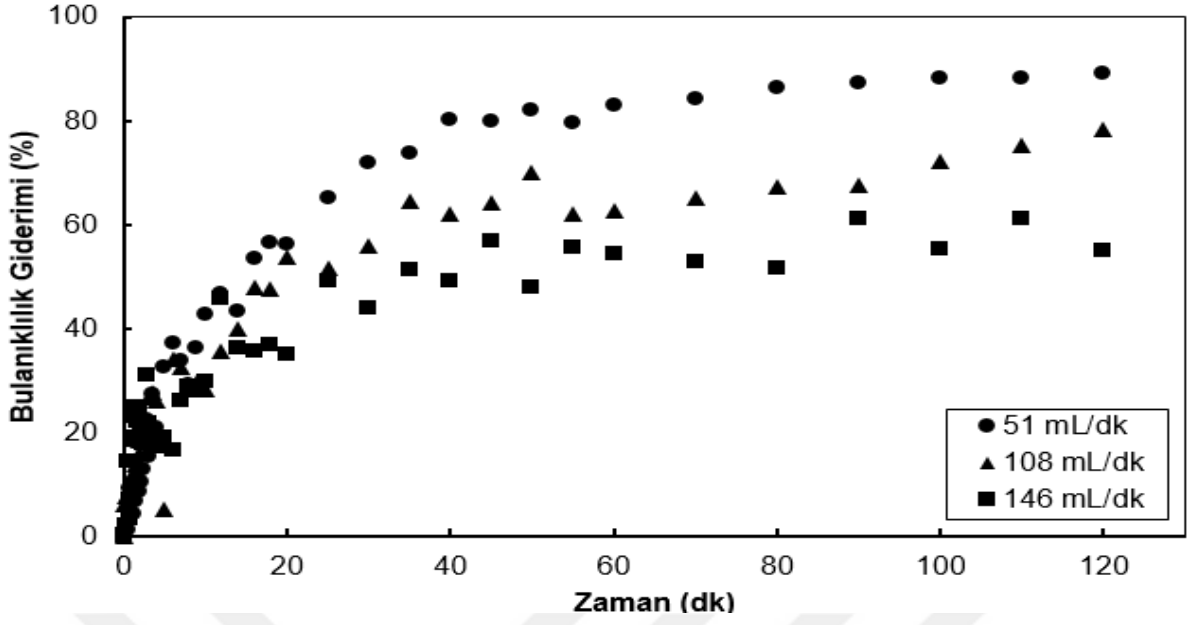
Kesikli akışta enerji tüketiminin debinin artışı ile azaldığı gözlenmektedir. Debinin artışı ile elektrokinetik ünite de karışımın arttığı ve özellikle anot elektrot üzerinde biriken yağ damlalarının su hızındaki artış ile ortama katıldığı düşünülmektedir.

5.5 SÜREKLİ AKIŞTA DEBİ DEĞİŞİMİNİN BULANIKLILIK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

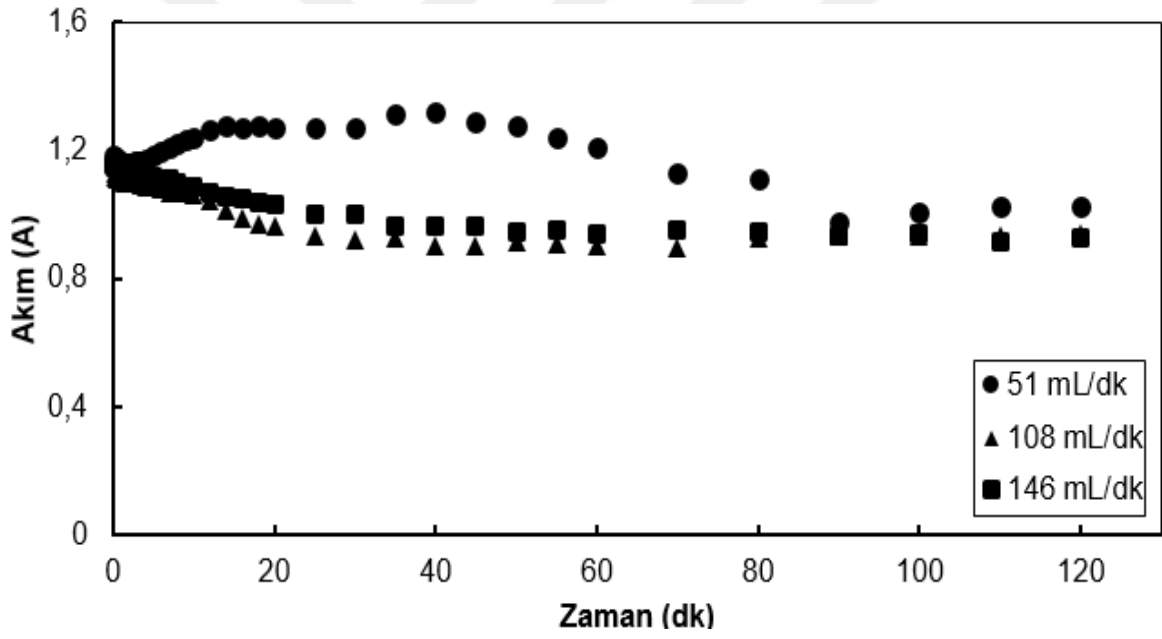
Elektrokimyasal arıtım deneyleri aynı çalışma şartlarında 51, 108 ve 146 mL/dak atıksu debilerinde sürekli akışta tekrarlanmış ve bulanıklık giderim verimleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Sürekli akışta debinin artışı ile bulanıklık giderim veriminin düştüğü (%89, %78 ve %55) gözlenmiştir. Debideki artış ile elektrokimyasal ünite de hidrolik kalış süresi azalacağından giderim verimlerinde düşüşler olabileceği öngörülmektedir. Bu deneylerde elde edilen akım değerleri Şekil 5.9’da sunulmuştur.

5.5.1 Sürekli Akışta Debinin Enerji Tüketimine Etkisi:

Farklı debilerde sürekli akışta elektrokimyasal arıtımda elde edilen bulanıklık giderim verimleri (Şekil 5.8) ve akım değerleri (Şekil 5.9) kullanılarak 2 saat arıtım sonunda enerji tüketim değerleri hesaplanarak sonuçlar Çizelge 5.3’te sunulmuştur. En yüksek enerji tüketiminin; giderim veriminin en fazla ve en düşük debide (51 mL/dak) olduğu görülmektedir. Arıtımda emülsiyon yapısı bozulduğundan metalik bazlı emülgatörler (EK-1) serbest kaldığından ortamdaki serbest iyon sayısı artarak iletkenliğin artmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.8 Sürekli akışta farklı debilerde bulanıklık giderim verimleri.



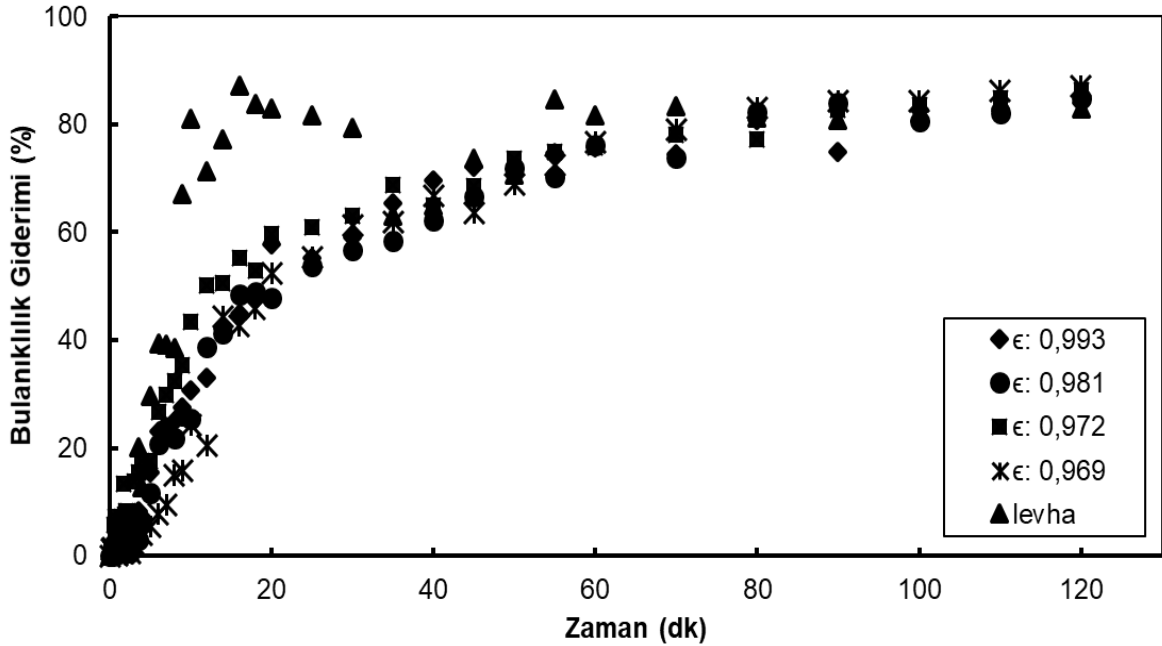
Şekil 5.9 Sürekli akışta farklı debilerde akım değerleri.

Çizelge 5.3 Sürekli akışta debi değişiminin enerji kullanımına etkisi (15 V-2 sa).

Debi (mL/dak)	Bulanıklık giderimi (%)	Enerji (kW.sa)	SET (kW.sa/m ³)
51	89	0.035	6.340
108	78	0.028	2.80
146	55	0.029	3.03

5.6 ÇELİK TEL KATOT ELEKTROT YATAK POROZİTESİNİN BULANIKLIK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

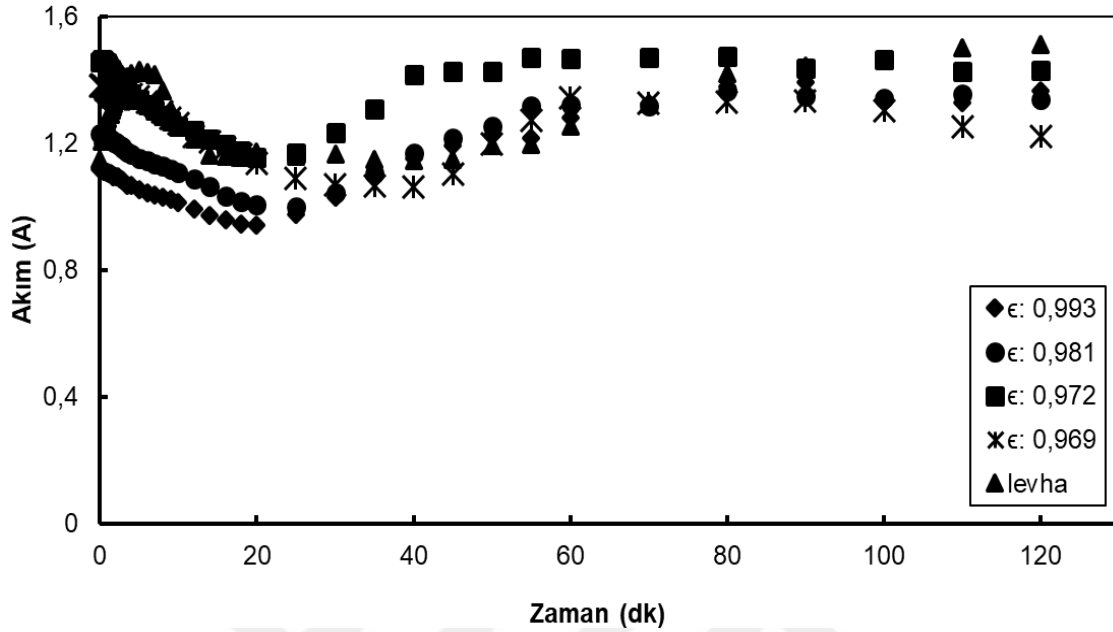
Elektrokimyasal ünite de yer alan anot ve katot elektrot yataklarının hacimleri sabittir. Anot elektrot yatağına Şekil 4.5 'de yer alan toplardan çelik toplardan 6 tane yerleştirilmiştir. Katot elektrot yatağına ise bu çelik toplardan 6 ($\epsilon: 0,993$), 18 ($\epsilon: 0,981$), 27 ($\epsilon: 0,972$) ve 30 ($\epsilon: 0,969$) adet yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu durumda katot elektrot yatağının porozitesi değişmektedir ve karşılık gelen porozite değerleri Çizelge 5.4'de verilmektedir. Çelik tel elektrot yataklarına 15 V potansiyel farkı uygulandığında kesikli akışta elde edilen bulanıklık giderim verimleri Şekil 5.10'da gösterilmektedir. Ayrıca bu grafikte katot elektrot olarak çelik levha (0.043 m^2) kullanımı sonuçları da sunulmaktadır. İki saat arıtım sonunda 6, 18, 27, 30 çelik top ve çelik levha katot elektrotlar için bulanıklık giderim verimleri sırasıyla %84, %85, %86, %87 ve %83'dür.



Şekil 5.10 Katot elektrot yatak gözenekliliğinin bulanıklık giderimine etkisi.

Katot elektrot yatağında porozitenin azalması ile elektrot yüzey alanında artış olmaktadır. Elektrotlarda oluşan gaz kabarcıklarında artması beklenilir ancak anot elektrot yüzeyinin sabit kalması ortamda oluşan elektrik alanının düzenli oluşmasını engellemektedir. Bu nedenle katot elektrot alan artışı giderim veriminde önemli ölçüde artışa neden olmamıştır. Çelik levha elektrot kullanımında yatışkın çalışma şartlarının daha kısa sürede (yaklaşık 20 dak) elde edildiği gözlenmektedir. Ancak levha elektrotlarda atıksuyun akış profilinin elektrokimyasal

ünitede daha kısıtlı olması nedeniyle giderim verimlerinde daha fazla artış ve yükselişler gözlenmektedir.



Şekil 5.11 Katot elektrot yatak gözenekliliğine bağlı akım değişimleri.

Şekil 5.11’de 6 (ϵ : 0,993), 18 (ϵ : 0,981), 27 (ϵ : 0,972), 30 (ϵ : 0,969) çelik top ve çelik levha katot elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilen elektrokimyasal arıtım deneylerindeki akım değerleri sunulmaktadır.

5.6.1 Kesikli Akışta Katot Elektrot Ortam Porozitesinin Enerji Kullanımına Etkisi

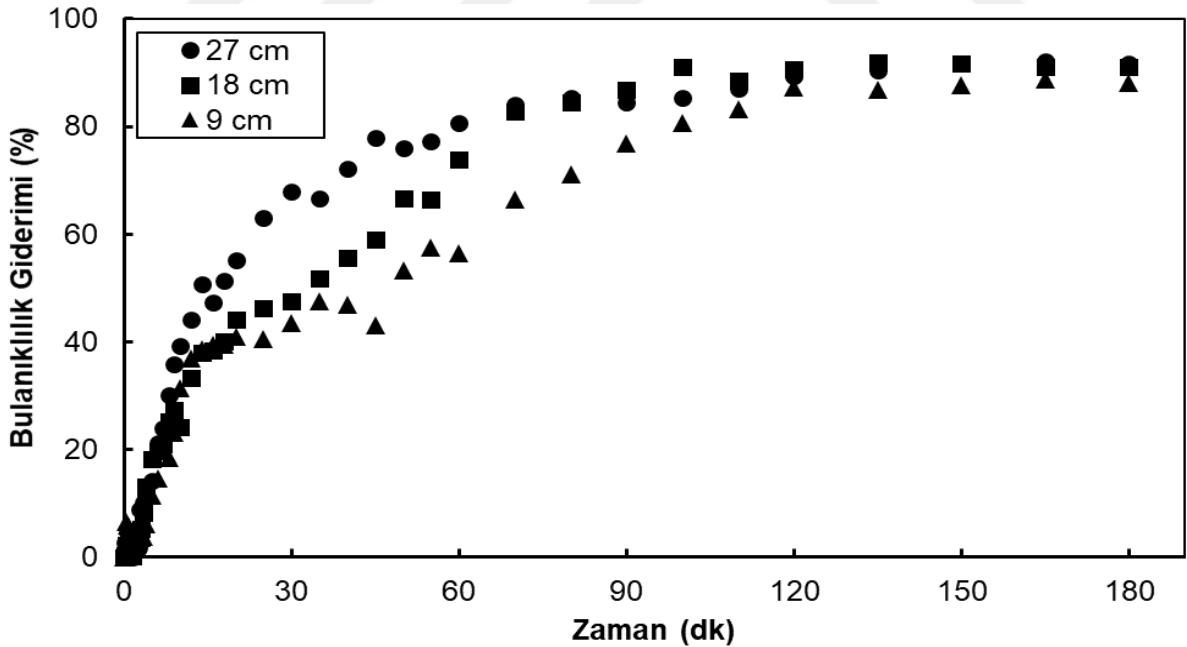
Şekil 5.11’de sunulan akım değerleri ve trapez yöntemi yardımıyla sayısal integrasyon yöntemi ile katot elektrot porozitesindeki değişimlere karşılık toplam enerji ve spesifik enerji tüketimleri hesaplanarak sonuçlar Çizelge 5.4’de sunulmuştur. En yüksek enerji tüketimi çelik levha katot elektrot kullanımında elde edilmiştir. Bu elektrot kullanımında çelik tel elektrotların tersine arıtımın başında akımda artış gözlenmiştir. Akımdaki artış ortam direncinde azalışların olduğu göstermektedir. Başlangıçta elektrot yüzeylerinde oluşan elektrokimyasal reaksiyonların en hızlı olduğu ifade edilebilir. Arıtım ilerledikçe elektrotların yüzeylerinde film tabakalarının oluştuğu gözlenmiştir. Çelik tel katot elektrotlarda ortam porozitesinde veya elektrot yüzey alanında yüksek değişimler olmadığı için arıtım veriminde ve enerji tüketim değerlerinde önemli değişimler gözlenmemiştir. Çelik levha katot elektrot kullanımında ortalama bulanıklık giderimi %80 ve toplam enerji tüketimi 0.04 kW.sa olarak ifade edilebilir.

Çizelge 5.4 Kesikli akışta katot elektrot ortam porozitesinin enerji tüketimine etkisi (2 sa; 15 V; 146 mL/dak).

Katot Porozitesi	Bulanıklık giderimi (%)	Enerji (kW.sa)	SET (kW.sa/m ³)
0,993 (6)	83,44	0.037	8.49
0,981 (18)	84,95	0.037	8.97
0,972 (27)	86,30	0.042	9.67
0,969 (30)	87	0.037	8.56
Levha	82,92	0.04	9.49

5.7 YATAK UZUNLUĞUNUN GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

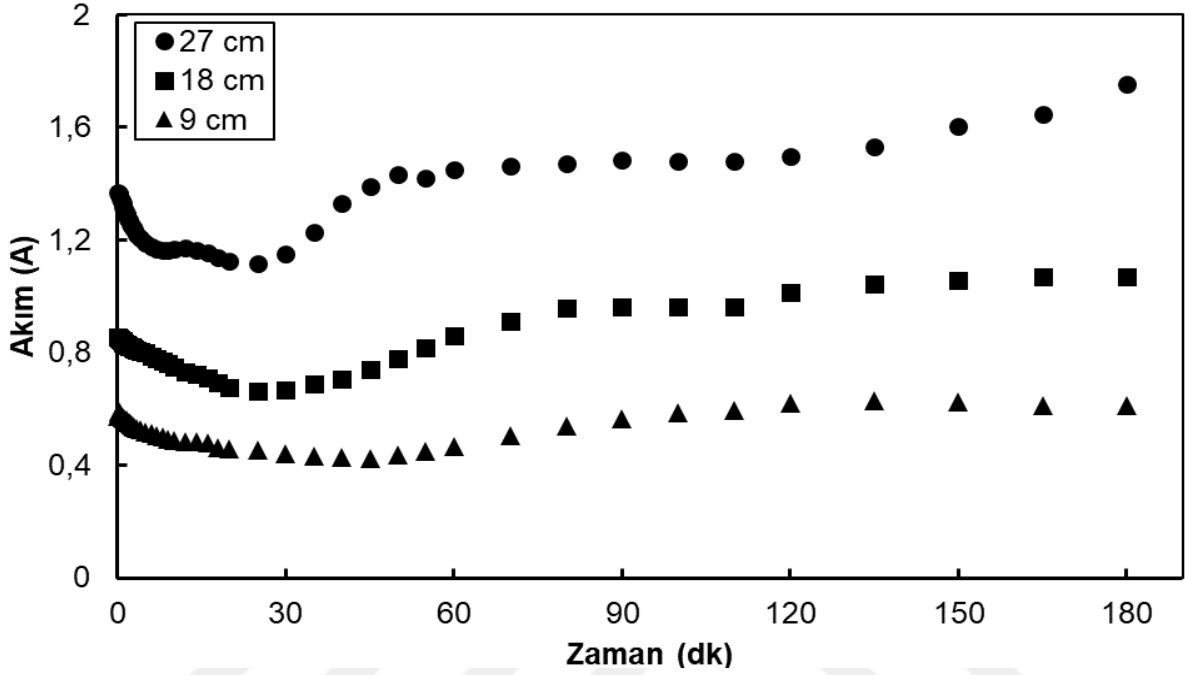
Elektrokimyasal üniteye yer alan anot ve katot elektrot yataklarının uzunlukları 27 cm'dir. Bu çalışmada elektrot yatak uzunluğunun bulanık giderim verimine etkisini incelemek için elektrot yataklarındaki poroziteler sabit tutularak sadece elektrot yatak uzunlukları 9 cm, 18 cm ve 27 cm olacak şekilde ayarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde anot ve katot ve elektrot yataklarındaki poroziteler 0.982 ve 0.969'dur.



Şekil 5.12 Yatak uzunluğuna göre bulanıklık giderim verimi.

Elektrot yatakları arasında 15 V potansiyel uygulandığında ve kesikli akışta gerçekleştirilen deneylerde elde edilen bulanıklık giderim verimleri Şekil 5.12'de sunulmuştur. Bu deneylerde gözlenen akım değerleri ise Şekil 5.13'de gösterilmektedir. Elektrokimyasal artımda yatışkın

duruma ulaşma sürelerinin elektrot yatak uzunluğuna bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. Yatak uzunlukları 9, 18 ve 27 cm olduğunda yatışkın duruma ulaşma sürelerinin 120, 70 ve 60 dak olduğu belirlenmiştir. Yatışkın durumda üç yatak uzunluğu içinde bulanıklık giderimi ortalama olarak %90 civarındadır.



Şekil 5.13 Yatak uzunluğuna göre akım değişimi.

5.7.1 Kesikli Akışta Elektrot Yatak Uzunluğunun Enerji Tüketimine Etkisi

Elektrot yatak uzunluklarındaki artış ile ortamdan geçen akım artmaktadır (Şekil 5.13). Bu nedenle yatak uzunluğundaki artışla birlikte arıtımda tüketilen enerji miktarı da artmaktadır. Yatak uzunluğuna bağlı olarak Şekil 5.13'deki akım değerleri kullanılarak hesaplanan enerji tüketimleri Çizelge 5.5'de görülmektedir. Bulanıklık giderim verimleri ile enerji tüketimi bir arada düşünüldüğünde en uygun yatak uzunluğunun 18 cm olduğu görülmektedir.

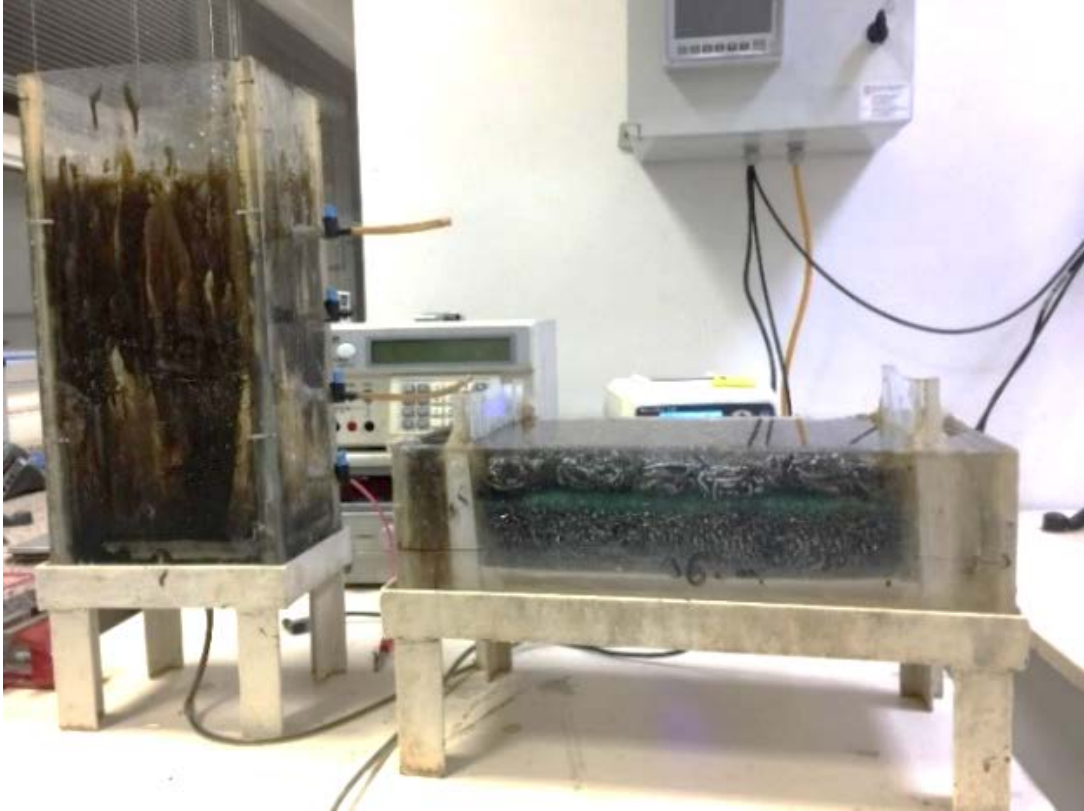
Çizelge 5.5 Kesikli akışta yatak uzunluğunun enerji tüketimine etkisi (15V; 2 sa).

Yatak uzunluğu (cm)	Bulanıklık giderimi (%)	Enerji (kW.sa)	SET (kW.sa/m ³)
9	87	0.010	3.50
18	90	0.025	5.62
27	90	0.041	9.10

5.8 SİNTİNE SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL ARITIMI

Gemilerden elde edilen sintine atıksuyu hacimce %5 oranında çeşme suyu ile seyreltilerek 30 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra atıksu bir kaba boşaltılarak taban kısmından alınan su numuneri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 5.14’de verilmektedir. Deneylerde 30 dakika mekanik karışım sonrası hazırlanan atıksu şekildeki dik kap içerisine boşaltılmış ve 146 mL/dak debi ile sisteme aktarılmıştır. Deneyler kesikli akışta gerçekleştirilmiştir.

Elektrokimyasal ünitenin 146 mL/dak ile doldurumu 35 dakika almaktadır. Bu nedenle ilk atıksu numunesi girişten ve daha sonra ikinci numune çıkıştan 35. dakikada alınmıştır. Bu aşamadan sonra atıksu geri döngü ile girişteki dikey kaba gönderilmiştir. Çelik tel elektrot yataklarında potansiyel farkı uygulanmamıştır. Şekil 5.15’de arıtılmış ve arıtılmamış sintine su örneklerinin fotoğrafları yer almaktadır. Elektrik uygulanmayan hücre arıtım sonrasında su bir gün beklediğinde yüzeyde tabakalaşmış kirece benzer katıların ve tabanda kırmızı çökeltilerin oluştuğu gözlenmiştir.

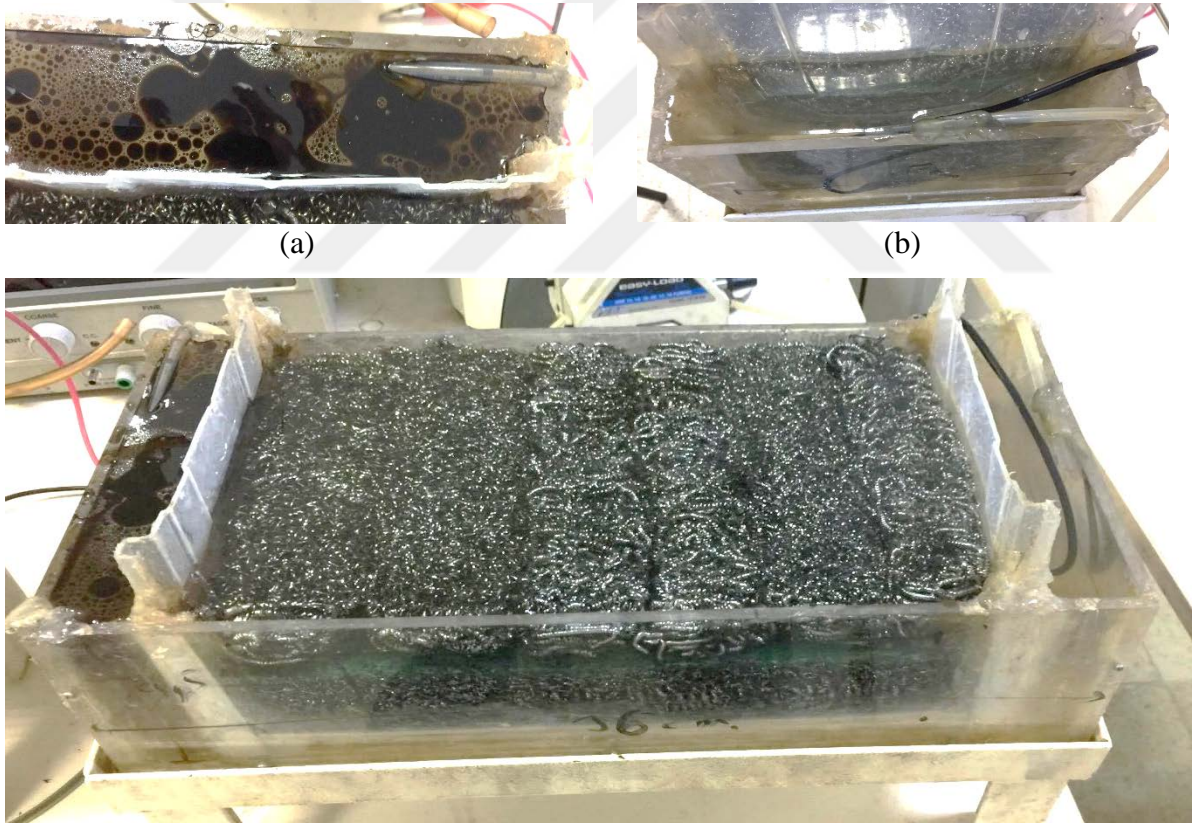


Şekil 5.14 Sintine atıksularının elektrokimyasal arıtımı.

5.8.1 Sintine Suyunun Elektrokimyasal Arıtımında KOİ Giderimi

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) organik ve inorganik maddelerin indirgenme - yükseltgenme reaksiyonlarıyla parçalanması sırasında gerekli olan oksijen miktarıdır. Yöntem, tüm organik ve inorganik maddelerin kuvvetli oksitleyicilerle asit ortamlarda oksitlenebilecekleri esasına dayanmaktadır. Oksidasyon sırasında karbonlu organik maddeler ve azotlu organik maddeler CO_2 , H_2O ve NH_3 'e dönüşmektedir.

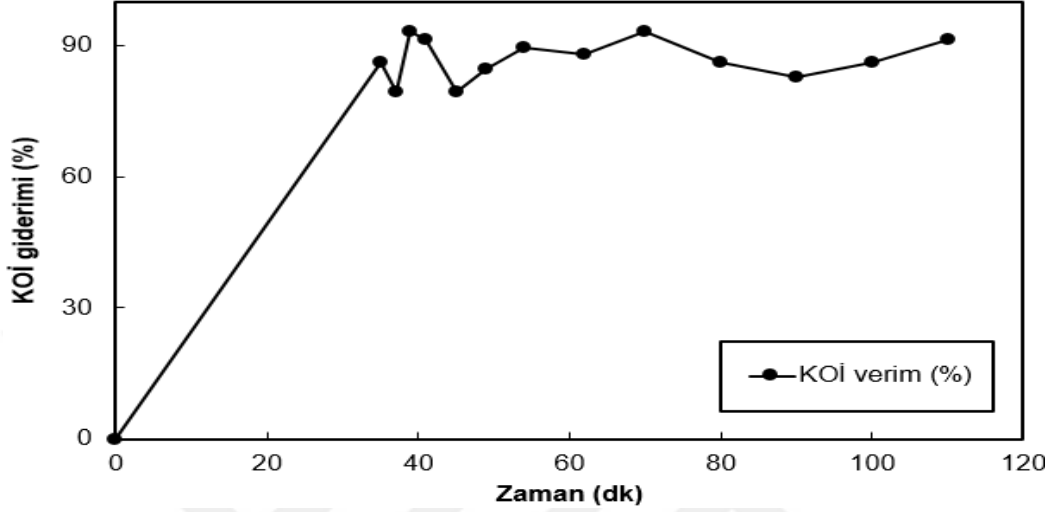
KOİ değeri numunenin kuvvetli asidik koşullarda potasyum dikromat ile oksitlenmesini sağlayan 2 saatlik bir kaynama sonunda kalan oksitleyi miktarının standart indirgen madde çözeltisi kullanılarak volumetrik yöntemle saptanmıştır. Her numune için üç adet ölçüm yapılarak harcanan demir amonyum sülfat çözeltilerinin ortalaması alınmıştır.



Şekil 5.15 Sintine suyu giderimi işlemi (a) giriş haznesi (b) çıkış haznesi.

Sintine suyunun arıtımında toplamda 14 numune alınmıştır ve numuların KOİ değerleri Şekil 5.16'da sunulmuştur. Deneylerde 35. dakikadan sonra elektrotlara potansiyel farkı uygulanmamasına rağmen KOİ giderim veriminin %90 civarında elde edilmesi yağların çelik tel elektrotlara adsorplandığını göstermektedir. Elde edilen KOİ giderim verimleri

incelendiğinde sintine atıksularının arıtımında ortamda elektrik alanının bulunması arıtım verimini önemli ölçüde etkilemediği belirlenmiştir. Bu neden ile sisteme elektrik uygulanmamıştır. Sintine yağlı atıksuyun arıtımı temelde, çelik tel üzerine adsorpsiyon mekanizması ile gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 5.16 Sintine atıksularının elektrokimyasal arıtımında KOİ giderim verimleri.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada yağlı atıksuların elektrokimyasal arıtımı çelik tel elektrot yatakları kullanılarak incelenmiştir. Deneyler metal endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bor kesme sıvısı ile hacimce %2 bor kesme sıvısı içeren sentetik atıksu numuneleri kullanılarak yapılmıştır. Yarı sentetik özelliğe sahip bor yağında hidrokarbonlar ile birlikte emülgatörlerde yer almaktadır. Bor yağının yoğunluğu 890 kg/m^3 olduğundan suyla iyi bir karışım sağlamaktadır. Bor yağının suyla oluşturduğu emülsiyonlarda damlaların %90'ının çapı $20 \mu\text{m}$ 'den küçüktür. Oda sıcaklığında yapılan deneylerde bor yağı ile hazırlanan emülsiyonların iletkenliği $360 \pm 10 \mu\text{S/cm}$ ölçülmüştür. Su içinde bor yağı yüzdesi arttıkça iletkenliğin doğrusal olarak artış gösterdiği gözlenmiştir.

Elektrokimyasal arıtımda giriş ve çıkış yapıları ile elektrot yataklar arasında kullanılan ara malzemenin fiziksel özelliklerinin arıtım verimini önemli ölçüde etkilediği gözlenmiştir. Bu çalışmada anot elektrot yatağı elektrokimyasal ünitenin üst kısmına yerleştirilerek yağların yüzeyde toplanması hedeflenmiştir. Ayrıca ara ortam malzemesinin seçiminde gözeneklilik ile birlikte yağları adsorbe edip etmemesinin önemli bir parametre olduğu gözlenmiştir.

Elektrokimyasal arıtım deneyleri çelik tel elektrot yataklarına üç farklı (5, 10 ve 15 V) potansiyel farkı uygulanarak gerçekleştirilmiş ve en yüksek bulanıklık giderim verimi (%90) 15 V'ta elde edilmiştir. Ancak elektrotlar arası potansiyel farkın artırılması giderim verimini artırmakla birlikte ortamdan geçen akımda artış sağlayacağından arıtımda kullanılan enerji tüketiminde artışa neden olmaktadır. Bu nedenle arıtımda elektrotlara yüksek voltaj farkı uygulaması her zamanı en iyi değer olmayabilir.

Elektrokimyasal arıtımda debinin giderim verimine etkisi için deneyler üç farklı debide (51, 108 ve 146 mL/dak) kesikli ve sürekli akışlarda gerçekleştirilerek incelenmiştir. Kesikli akışta her üç debide ortalama olarak %87 civarında giderim verimleri elde edilirken, sürekli akışta

debideki artış ile giderim verimlerinde azalmalar (%89,%78 ve %55) gözlenmiştir. Çalışılan üç debide 2 saat arıtım sonunda enerji tüketimleri kesikli akışta 0.04, 0.04 ve 0.03 sürekli akışta ise 0.035, 0.028 ve 0.029 kWsa olarak hesaplanmıştır.

Porozitenin giderim verimine etkisinin anlaşılabilmesi için 4 farklı poroziteye sahip katot oluşturuldu. Aynı zamanda kıyaslamak içinde çelik levha katot kullanıldı. Yapılan çalışmalar sonucunda anotun porozitesinin değişimi giderim verimine az da olsa katkı sağladığını göstermiştir. Fakat güç tüketimi yakın değerleri vermektedir. Porozitenin elektriksel giderim işlemine etkisinin olmadığı sadece yüzeysel hızı düşürme etkisi olduğu sonucuna varılabilmektedir. Çelik levhanın katot olarak kullanıldığı deney sonucu olarak çok hızlı giderim verimi yükselmekte fakat dengesiz yapıdadır. %69-83 arasında bulanıklılık giderimi periyodik olarak değişmektedir. Ek olarak enerji tüketimi çelik tel ortam ile yapılan sisteme göre fazladır.

Elektrostatik ünite 9, 18 ve 27 cm elektrot yatak uzunlukları kullanılarak yağlı atıksuların arıtım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elektrot yatak uzunluğunda artış ile elektrot yüzey alanlarında artış olacağından arıtım verimlerinde artış beklenmekle birlikte enerji tüketiminde de artış olacağı teorik olarak tahmin edilmektedir. 2 saat arıtım sonunda 9, 18 ve 27 cm elektrot yatak uzunlukları için sırası ile %87, %90 ve %90 bulanıklık giderim verimleri elde edilmiştir. Bu giderim verimlerine karşılık gelen enerji tüketimleri ise aynı sıra ile 3.50, 5.62, 9.10 kWsa/m³ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda giderim verimi ve enerji tüketimi birlikte değerlendirildiğinde en uygun elektrot yatak uzunluğunun 18 cm olduğu belirlenmektedir.

Gemilerden alınan sintine suyu seyreltilerek hazırlanan elektrokimyasal hücreye elektrik verilmeden arıtılmıştır. Arıtımda temel arıtma mekanizmasının adsorpsiyon olduğu belirlenmiştir. Çok yüksek viskoziteye sahip sintine atıksularının çelik tellere adsorplandığı ve elektrik verilsede elektrotlarda oluşacak gaz kabarcıkları ile taşınamayacağı gözlenmiştir. Yapılan deneylerde %90 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir.

Tasarlanan elektrostatik hücre gelecek çalışmalar için bir çok geliştirmeye açıktır. Tasarım ünite derinliği artırılarak anot elektrotunun üzerinde yağ yükselme mesafesi artırılabilir. Ayrıca anot porozitesinin giderim verimine etkisi üzerinde çalışılabilir. Fakat anot elektrotu ünite sabit yapıda olmalıdır. Yüzeyde yağ birikimi elektrotlara uygulanan kaldırma kuvvetinin artmasına neden olmaktadır. Ara malzeme seçiminde iletkenlik ve flotasyon

faktörleri önem taşımaktadır. Farklı ara malzeme ortamı araştırılabilir. Elektrotlar arası mesafe değiştirilerek farklı ara metaryeller ile yüksek voltajlarda çalışılabilir. Yüksek voltaj değerleri elektrotlar arası iletkenliğin azaltılması ile çalışılabilir. Bu sayede enerji tüketimi dengelenebilir.





KAYNAKLAR

- Abdalla H S, Baines W, McIntyre G and Slade C** (2007) Development of Novel Sustainable Neat-Oil Metal Working Fluids for Stainless Steel and Titanium Alloy Machining. Part 1. Formulation Development. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 34: 21-33.
- Ahmadun F, Pendashteh A, Abdullah L C, Biak D R A, Madaeni S S and Abidin Z Z** (2009) Review of Technologies for Oil and Gas Produced Water Treatment. *Jornal of Hazardous Materials*, 170: 530-551.
- Alam R and Shang J** (2016) Electrochemical model of electro-flotation. *Journal of Water Process Engineering*, 15: 116-123.
- Alam R and Shang J** (2017) Removal of Bitumen from Mature Oil Sands Tailings Slurries Byelectro-Flotation. *Journal of Water Process Engineering*, 15: 116-123.
- An C, Huang G, Yao Y and Zhao S** (2017) Emerging Usage of Electrocoagulation Technology for Oil Removal from Wastewater: Review. *Sicience of Total Environment*, 579: 537-556.
- Aryafard E, Farsi M and Rahimpour M R** (2015) Modeling and Simulation of Crude Oil Desalting in An Industrial Plant Considering Mixing Valve and Electrostatic Drum. *Chemical Engineering and Processing*, 95: 383–389.
- Aşkın Ş** (2011) Bitkisel Tabanlı Metal Kesme Sıvılarının Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Giderimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Gebze, 71 s.
- Bakırcı B** (2014) Kesme Sıvılarının Karakterizasyonu ve Elektrokoagülasyon ile Atıksuların Arıtımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 111 s.
- Baradie M A** (1996), Cutting Fluids: part I. Caharacterisation. *Journal of Materials Processing Techology*, 56: 786-797.
- Barrera-Díaz C, Roa-Morales G, Ávila-Córdoba L, Pavón-Silva T and Bilyeu B** (2006) Electrochemical Treatment Applied to Food-Processing Industrial Wastewater. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45: 34–38.
- Cai X, Chen J, Liu M, Ji Y and An S** (2017), Numerical Studies an Dynamic Characteristics of Oil-Water Separation in Loop Flotation Column Using a Population Balance Model. *Separation and Purification Technology*: 176: 134-144.
- Chawaloeshonsiya N, Prommajun C, Wongwailikhit K and Painmanakul P** (2017), Comparison of Cutting-Oil Emulsion Treatment by Electrocoagulation-Flotation in Bubble Column and Airlift Reactors. *Environmental Technology*, 38 (10): 1295-1304.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Cottrell F G and Speed J B** (1911) Separating and Collecting Particles of One Liquid Suspended in Another Liquid. *United States Patent Office*, No: US 987 115A, California.
- Coutanceau C, Brimaud S, Lamy C, Léger J, Dubau L, Rousseau S and Vigier F** (2008) Review of Different Methods for Developing Nanoelectrocatalysts for The Oxidation of Organic Compounds. *Electrochimica Acta*, 53: 6865–6880,
- Cusack R** (2009) Rethink Your Liquid-Liquid Separations. *Hydrocarbon Processing*, June: 53-60
- Çiftçi Ç** (2007) Metal Kesme Atıksularının Koagülasyon ve Elektrokoagülasyon ile Arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 83s.
- Dassey A J and Theegala C S** (2012), Evaluating Coagulation Pretreatment on Poultry Processing Wastewater for Dissolved Air Flotation. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47: 2069-2076.
- Daud Z, Awang H, Latif A A A, Nasir N, Ridzuan M B and Ahmad Z** (2015) Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195: 2407 – 2411.
- Debnath S, Reddy M M and Yi Q S** (2014), Environmental Friendly Cutting Fluids and Cooling Techniques in Machining: A Review. *Journal of Cleaner Production*, 83: 33-47.
- Demirbaş E and Kobya M** (2016), Operating Cost and Treatment of Metalworking Fluid Wastewater by Chemical Coagulation and Elektrocoagulation Processes. *Process Safety and Environmental Protection*, 105: 79-90.
- Dolapçı F** (2010) Bitkisel Kesme Sıvılarının Birleşim-Özellik Bağlantılarının Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 146s.
- Emamjomeh M M and Sivakumar M** (2009) Review of Pollutants Removed by Electrocoagulation and Electrocoagulation/Flotation Processes. *Journal of Environmental Management*, 90: 1663–1679.
- Eow J S and Ghadiri M** (2002) Electrostatic Enhancement of Coalescence of Water Droplets in Oil: A Review of The Technology. *Chemical Engineering Journal*, 85: 357–368.
- Etchepare R, Oliveria H, Azevedo A and Rubio J** (2017), Separation and Emulsified Crude Oil in Saline Water by Dissolved Air Flotation with Micro and Nanobubbles. *Separation and Purification Technology*, 186: 326-332.
- Eyvaz M** (2006) Farklı Demir ve Alüminyum Elektrot Bağlantıları ile Tekstil Atıksularının Elektrokoagülasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 173s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Genç A and Eryılmaz C** (2017) Dependency of Removal Efficiency on Electrode Arrangements in The Treatment of Oily Wastewaters by Electrocoagulation. *Separation Science and Technology*, 52 (9): 1594–1601.
- Han Y, He L, Luo X, Lü Y, Shi K, Chen J and Huang X** (2017), A Review of The Recent Advances in Design of Corrugated Plate Packs Applied for Oil–Water Separation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 53: 37-50.
- Julie Z Z, Rao P N and Eckman M** (2012) Experimental evaluation of a bio-based cutting fluid using multiple machining characteristics. *International Journal of Modern Engineering*, 12 (2): 35-44.
- Kalat D** (2011) Bitkisel Yağ Sanayi Rafinasyon Atıksularının Anaerobik Mezofilik ve Termofilik Şartlarda Arıtılabilirliği. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 163s.
- Karahan M** (2010) Ham Soya Yağından Metal Kesme Sıvısı Eldesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Gebze, 94s.
- Karhu M** (2015), Treatment and characterisation of oily wastewater. *University of Oulu Graduate School*, Acta oulu university, faculty of technology, faculty of science, Finlandiya, 105s.
- Khandegar V and Saroha A K** (2013) Electrocoagulation for The Treatment of Textile Industry Effluent- A review. *Journal of Environmental Management*, 128: 949-963.
- Kiralj A, Vulić T, Sokolović D, Sokolović S and Dugić P** (2016) Separation of Oil Drops from Water Using Stainless Steel Fiber Bed. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 23(2): 269-277.
- Klocke F and Kuchle A.** (2011) Cutting Fluids. *Manufacturing Processes 1 Cutting*, 1st edition, ISBN: 978-3-642-11979-8, Springer, e-book, 219-236.
- Koby M, Çiftçi C, Bayramoğlu M and Sensoy M T** (2008) Study on The Treatment of Waste Metal Cutting Fluids Using Electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, 60: 285-291
- Krasinski A** (2013) A Numerical Model of Droplets Coalescence and Drainage in Fibrous Structures. *Chemical Engineering Transactions*, 32: 1495-1500.
- Krasinski A** (2014) Filter Media: Multilayer PP Filters for The Separation of O/W Emulsions. *Filtration + Separation*, 51 (6): 22-28.
- Krasinski A** (2016) Separation of Oil-In-Water Emulsions Using Polymer Coalescence Structures, *Environment Protection Engineering*, 42 (2): 19-39.
- Kuram E, Ozcelik B, Bayramoglu M, Demirbas E and Simsek T B** (2013) Optimization of cutting fluids and cutting parameters during end milling by using D-optimal design of experiments. *Journal of Cleaner Production*, 42: 159-166.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kyzas G Z and Matis K A** (2016) Electroflotation Process: A Review. *Journal of Molecular Liquids*, 220: 657-664.
- Lawal S A, Choudhury I A and Nukman Y** (2012) Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals—A review. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 52: 1–12.
- Matos M, García C F, Suárez M A, Pazos C and Benito J M** (2016) Treatment of Oil-in-Water Emulsions by A Destabilization/Ultrafiltration Hybrid Process: Statistical Analysis of Operating Parameters. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 59: 295-302.
- McLaughlin C, Falatko D, Danesi R and Albert R** (2014) Characterizing shipboard bilgewater effluent before and after treatment. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21: 5637–5652.
- Mhatre S, Vivacqua V, Ghadiri M, Abdullah A M and Al-Marri M J** (2015), Elektrostatic Phase Separation: A review. *Chemical Engineering Research and Desing*, 96: 177-195.
- Moosai R and Dawe R A** (2003) Gas Attachment of Oil Droplets for Gaz Flotation for Oily Wastewater Cleanup. *Separation and Purification Technology*, 33: 303-314.
- Mousavi S H, Ghadiri M and Buckley M** (2014), Electro-Coalescence of Water Drops in Oils under Pulsatile Elecrtic Fields. *Chemical engineering science*, 120: 130-142.
- Moussa D T, El-Naas M H, Nasser M and Al-Marri M J** (2017) A Comprehensive Review of Electrocoagulation for Water Treatment: Potentials and Challenges. *Journal of Environmental Management*, 186: 24-41.
- Nahui F N B, Nascimento M R, Cavalcanti E B and Vilar E O** (2008) Electroflotation of Emulsified Oil in Industrial Wastes Evaluated with A Full Factorial Design. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25 (3): 435-442.
- Ozelik B, Kuram E, Cetin M H and Demirbas E** (2011) Experimental Investigations of Vegetable Based Cutting Fluids with Extreme Pressure During Turning of AISI 304L. *Tribology International*, 44 (12): 1864-1871.
- Özyonar F** (2007) Entegre Et ve Et Ürünleri Tesisleri Atıksularının Kimyasal Koagülasyon ve Elektrokoagülasyon Yöntemleri ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 86s.
- Pawlak Z, Klamecki B E, Rauckyte T, Shpenkov G P and Kopkowski A** (2005) The Tribochemical and Micelllar Aspects of Cutting Fluids. *Tribology International*, 38: 1-4.
- Piasecki W, Florkowski M, Fulczyk M, Sipowicz J and Sundt H** (2004) Novel Oil-Water Separation Technology (VIEC). *Innovative Engineering ABB review*, 4: 67-70.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Pintor A M A, Vilar V J P, Botelho C M S and Boaventura R A R** (2016) Oil and Grease Removal from Wastewaters: Sorption Treatment as an Alternative to State-of-The-Art Technologies. A Critical Review. *Chemical Engineering Journal*, 297: 229-255.
- Pletcher D (Ed.) and Walsh F C (Ed.)** (1990) *Industrial electrochemistry*, 2nd edition, ISBN: 978-94-011-2154-5, Springer Science+Business Media, LCC, e-book, 639pp.
- Rajeshwork K (Ed.) and Ibanez J (Ed.)** (1996) *Environmental Electrochemistry: Fundamentals and Applications in Pollution Abatement*, 1st edition, ISBN: 0-12-576260-7, Academic Press, London, 776 pp.
- Rossi F, Colombo S, Pierucci S, Ranzi E and Manenti F** (2017) Upstream Operations in the Oil Industry: Rigorous Modeling of an Electrostatic Coalescer. *Engineering*, 3: 220–231.
- Salete M A and Oliveira J F G D** (2008) Vegetable Based Cutting Fluid-an Environmental Alternative to Grinding Process. *LCE: 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, 17-19 March 2008, Sydney N.S.W, CIRP, ISBN: 1877040673, e-book, 664-668.
- Santo C E, Vilar V J P, Botelho C M S, Bhatnagar A, Kumar E and Boaventura R A R** (2012) Optimization of Coagulation–Flocculation and Flotation Parameters for The Treatment of a Petroleum Refinery Effluent from a Portuguese Plant. *Chemical Engineering Journal*, 183: 117-123.
- Santos M R G, Goulart M O F, Tonholo J and Zanta C L P S** (2006) The Application of Electrochemical Technology to The Remediation of Oily Wastewater. *Chemosphere*, 64: 393–399.
- Segura S G, Ocon J D and Chong M N** (2017) Electrochemical Oxidation Remediation of Real Wastewater Effluents — A Review. *Process Safety and Environmental Protection*, 113: 48-67.
- Sharma J and Singh B S** (2013) Investigation of Effects of Dry and Near Dry Machining on AISI D2 Steel Using Vegetable Oil. *Journal of Cleaner Production*, 66: 619-623.
- Shashidhara Y M and Jayaram S R** (2010) Vegetable Oils as a Potential Cutting Fluid-An Evolution. *Tribology International*, 43: 1073-1081.
- Shokrani A, Dhokia V and Newman S T** (2012) Environmentally Conscious Machining of Difficult-to-Machine Materials with Regard to Cutting Fluids. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 57: 83-101.
- Sorachoti K, Panghumhang B, Tanboonchuy V, Tulaphol S and Grisdanurak N** (2016) Reversible Adsorption of Metalworking Fluids (MWFs) on Cu-BTC Metal Organic Framework. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25: 768-774.
- Şık E** (2009) Bitkisel Tabanlı Yağlardan Metal Kesme Sıvısı Eldesi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Gebze, 127s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tee P, Abdullah M O, Tan I A W, Amin M A M, Nolasco-Hipolito C and Bujang K** (2016), Performance Evaluation of A Hybrid System for Efficient Palm Oil Mill Effluent Treatment Via an Air-Cathode, Tubular Upflow Microbial Fuel Cell Coupled with a Granular Activated Carbon Adsorption. *Bioresource Technology*, 216: 478-485.
- Tijani A S and Rahim A H A** (2016) Numerical Modeling the Effect of Operating Variables on Faraday Efficiency in PEM Electrolyzer. *Procedia Technology*, 26: 419 – 427
- Tucker K H** (2006) Metalforming Application. *Metalworking Fluids*, Byers JP (Ed.), 2nd, ISBN: 978-1-57444-689-0, CRC press, Boca Raton, Florida, 104-125.
- Ulucan K** (2011) Sintine Sularının Elektrokimyasal Olarak Arıtılabilirliğinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 99s.
- URL1** <https://www.chemtech-online.com/O&G/Nitin%20Nageshwar_july13.html>, Ziyaret tarihi: 20.11.2017.
- URL2**<<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=9.5.13873&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=teknik%20usuller%20tebli%C4%9Fi>>, Ziyaret tarihi: 15.10.2017
- Vu T P, Vogel A, Kern F, Platz S, Menzel U and Gadow R** (2014) Characteristics of An Electrocoagulation–Electroflotation Process in Separating Powdered Activated Carbon from Urban Wastewater Effluent. *Separation and Purification Technology*, 134: 196–203
- Yavuz Y, Koparal A S and Ögütveren Ü B** (2010) Treatment of Petroleum Refinery Wastewater by Electrochemical Methods. *Desalination*, 258: 201–205.
- Yoon H, Na S H, Choi J Y, Latthe S S, Swihart M T, Al-Deyab S S and Yoon S S** (2014), Gravity-Driven Hybrid Membrane for Oleophobic–Superhydrophilic Oil–Water Separation and Water Purification by Graphene. *Langmur*, 30: 11761-11769.
- Yu L, Han M and He F** (2017) A Review of Treating Oily Wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: 1913-1922.
- Zhang J Z, Rao P N and Eckman M** (2012) Experimental Evaluation of a Bio-Based Cutting Fluid Using Multiple Machining Characteristics. *International Journal of Modern Engineering*, 12: 35-44.
- Zhao H and Li G** (2011), Application of Fibrous Coalescer in the Treatment of Oily Wastewater. *Procedia Environmental Sciences*, 10: 158 – 162.



EK AÇIKLAMALAR





EK 1
PETROL OFİSİ BOR YAĞI BİLEŞENLERİ





GÜVENLİK BİLGİ FORMU

BOR YAGI

Avrupa Birliği EC 1907/2006 Direktifi EK II' ye (REACH) ve 26 Aralık 2008 tarihli, 27092 mükerrer sayılı, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Tehlikeli Maddeler ve Müstahzarlara İlişkin Güvenlik Bilgi Formlarının Hazırlanması ve Dağıtılması Hakkında Yönetmeliğe uygun düzenlenmiştir.

1 MADDE/MÜSTAHZAR VE ŞİRKET/İŞ SAHİBİNİN TANITIMI

ÜRÜN ADI	BOR YAGI
TEDARİKÇİ	OMV PETROL OFİSİ A.Ş. Ayazağa Eski Büyükdere Cad. No:33-37 B Blok 34398 Maslak-Istanbul/TURKEY Tel: +90 212 329 1500 Fax: +90 212 329 1896 www.poas.com.tr info@poas.com.tr
ÜRÜN NO.	26112
KULLANIM	Kesme yağı
ACİL DURUM TELEFONU	POAŞ: +90 212 329 1845 (mesai saatleri) Ulusal Zehir Danışma Merkezi (UZEM):114

2 TEHLİKELERİN TANITIMI

Gözleri tahriş eder.

SINIFLANDIRMA (27092 T.C.) Xi;R36.

ÇEVRE

Ürünün çevre için tehlikeli olması beklenmemektedir.

İNSAN SAĞLIĞI:

Uzun süreli temasta cildi geçici olarak tahriş edebilir. Göze sıçrama, kızartı ve tahrişe neden olabilir.

3 BİLEŞİMİ/İÇİNDEKİLER HAKKINDA BİLGİ

İsim:	EC No.	CAS Numarası	İçindekiler	Sınıflandırma (T.C.27092)
2,2' -oksibisetanol	203-872-2	111-46-6	1-5%	Xn;R22
Alkyl amide			1-5%	Xi;R41.
Fatty acid amide			1-5%	Xi;R36.
N,N methylenebismorpholine			< 1%	Xn;R22. C;R34. R52.
Potassium benzoate			< 1%	Xi;R38.
propan-2-ol	200-661-7	67-63-0	1-5%	F;R11 Xi;R36 R67
Sodium pyrithione			< 1%	Xn;R20/21/22. Xi;R36/38. N;R50.
Sodium sulfonate			1-5%	Xn;R22. Xi;R38,R41.
Tall oil fatty acid			1-5%	R52/53.
Yağlama Yağları, solvent ekstraksiyon ve dewaxing işlemleri ürünü hidrokarbon karışımı(C15-C50)	278-012-2	74869-22-0	60-100%	-

Tüm (R) Cümlecikleri İçin Tam Metin 16. Bölümde Verilmiştir.

TERTİP HAKKINDA

Bazı maddenin yürürlükteki mevzuata göre sınıflandırması yoktur. Üretici firma tarafından sınıflandırması yapılmıştır. IP 346 'ya göre DMSO oranı %3 'ten küçüktür.

BOR YAGI

4 İLK YARDIM ÖNLEMLERİ

GENEL BİLGİLER.

Herhangi bir rahatsızlığın devamı halinde doktora başvurun.

SOLUMA

Maruz kalan kişiyi hemen temiz havaya çıkarın. Bunu ve ağız suyuyla çalkalayın. Herhangi bir rahatsızlığın devamı halinde doktora başvurun.

YUTMA

ŞUURUNDA OLMAYAN BİR KİMSEYİ KESİNLİKLE KUSTURTMAYIN VE BİR SIVI İÇİRTMEYİN! Ağız iyice çalkalayın. Herhangi bir rahatsızlığın devamı halinde doktora başvurun.

DERİYLE TEMAS

Kazazadeyi kirlenme yerinden uzaklaştırın. Kirlenmiş giysileri çıkarın. cildi hemen sabun ve suyla yıkayın. Herhangi bir rahatsızlığın devamı halinde doktora başvurun.

GÖZLERLE TEMAS

Kazazadeyi hemen maruz kalma yerinden başka bir yere götürün. Kontak lens varsa gözleri yıkamadan önce çıkarılmalıdır. Göz kapaklarını aralılarak gözleri hemen bol suyla yıkayın. En az 15 dakika durulamaya devam ederek bir sağlık uzmanı çağırın.

5 YANGINLA MÜCADELE ÖNLEMLERİ

SÖNDÜRME GEREÇLERİ

Bu ürün parlayıcı değildir. Cıvardaki diğer maddeler için uygun bir yangın söndürme malzemesi kullanın.

ÖZEL YANGINLA MÜCADELE YÖNTEMLERİ

Yangın buharlarını solunmaktan kaçının.

YANGINDA KORUYUCU TEDBİRLER:

Yangın halinde başsız solunma aygıtı ve tam koruyucu giysi kullanılacaktır.

6 KAZA SONUCU YAYILMA ÖNLEMLERİ

KİŞİSEL GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

Bu güvenlik bilgi formunun 8ci bölümünde gösterilen şekilde koruyucu giysi giyin.

ÇEVREYİ KORUMA ÖNLEMLERİ

Kanalizasyon, toprak veya su yollarına dökmeyin.

DÖKÜNTÜ TEMİZLEME YÖNTEMLERİ:

Hiçbir tehlike olmaması şartıyla mümkünse sızıntıyı durdurun. Vermikülit, kuru kum veya toprağa emdirerek kutuların içine koyun. Döküntü alanını temizlemek için bol suyla yıkayın. Su yollarına veya lağımlara bulaştırmayın.

7 ELLEÇLEME VE DEPOLAMA

KULLANIM TEDBİRLERİ

Dökmemeye çalışın, cilt ve gözlerle temastan kaçınin.

DEPOLAMA TEDBİRLERİ

Sıkı sıkı kapalı orijinal ambalajında ve kuru ve serin bir yerde depolayın. Orijinal kabında muhafaza edin.

DEPOLAMA SINIFI

Kimyasal depolama.

8 MARUZİYET KONTROLLERİ/KİŞİSEL KORUNMA

KORUYUCU TEÇHİZAT



TEKNİK TEDBİRLER

Uygun havalandırma sağlayın. Çalışmaya Bağlı Maruz Kalma Sınırlarına dikkat edin ve buhar soluma riskini alçaltın.

SOLUNUM AYGITI

Belli bir tavsiyede bulunulmamıştır, ancak gene de havada aşırı derecede bulaşma olması halinde fevkalade durumlarda solunumu koruyucu kullanmak zorunlu olabilir.

BOR YAGI

ELLERİ KORUMA

ciltle temas tehlikesi olduğu zaman uygun koruyucu eldiven kullanın.

GÖZLERİ KORUMA

Sıçrama tehlikesi varsa koruyucu gözlük veya yüz siperi takın.

DİĞER KORUNMA YÖNTEMLERİ

ciltle her türlü temas olanağını önleyecek uygun giysiyi giyin.

SAĞLIK TEDBİRLERİ

ÇALIŞILAN YERLERDE SİGARA İÇMEYİN! Her vardiya değişimde ve yemekten önce, sigara içmeden önce ve tuvalete gitmeden önce yıkayın. cildin ıslanması veya kirlenmesi halinde hemen yıkayın. Kirlenmiş giysilerin hepsini hemen çıkarın. cildin kurumasını önlemek için uygun bir cilt kremi kullanın. Kullanım sırasında herhangi bir şey yemeyin veya içmeyin, ve sigara içmeyin.

9 FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLER

GÖRÜNÜŞ	Sıvı		
RENK	Sarı		
BAĞIL YOĞUNLUK	0,89 g/ml 15	VİZKOZİTE.	43 cSt 40

10 KARARLILIK VE TEPKİME

KARARLILIK

Normal ısı şartları altında dengeli.

KAÇINILMASI GEREKEN DURUMLAR

Uzun süre aşırı ısıdan sakının. Kuvvetli oksitleyicilerle temastan sakının.

TEHLİKELİ BOZUNMA/AYRIŞMA ÜRÜNLERİ

Yangının yarattığı şeyler: Karbonmonoksit (CO) Karbondioksit (CO2)

11 TOKSİKOLOJİ BİLGİSİ

SOLUMA

Yoğun halde buharlar boğazı ve solunum sistemini tahriş edebilir ve öksürüğe neden olabilirler.

YUTMA

Yutulması halinde rahatsızlığa neden olabilir.

DERİYLE TEMAS

Sıvı cildi tahriş edebilir.

GÖZLERLE TEMAS

Gözleri tahriş eder.

12 EKOLOJİ BİLGİSİ

EKOTOKSİSİTE

Çevre için tehlikeli sayılmamaktadır.

13 BERTARAF BİLGİLERİ

BERTARAF ETME YÖNTEMLERİ

Çöpleri ve atıkları yerel mercilerin kurallarına uygun olarak bertaraf edin.

14 TAŞIMACILIK BİLGİLERİ

GENEL	Ürün, tehlikeli malların nakliyatı hakkında uluslararası yönetmelik kapsamında değildir (IMDG, IATA, ADR/RID).
	Nakliyat için ikaz işareti gerekli değildir.
KARAYOLU NAKLİYAT NOTLARI	Sınıflandırılmış değildir.
DEMİRYOLU NAKLİYAT NOTLARI	Sınıflandırılmış değildir.
DENİZ YOLU NOTLARI	Sınıflandırılmış değildir.
HAVA NAKLİYAT NOTLARI	Sınıflandırılmış değildir.

15 MEVZUAT BİLGİLERİ

REVİZYON TARİHİ: 17.06.2011

BOR YAGI

ETIKETLEME



Tahriş Edici

RİSK CÜMLECİKLERİ TAM

R36 Gözleri tahriş eder.

GÜVENLİK CÜMLECİKLERİ

S2 Çocukların ulaşabileceği yerlerden uzak tutun.
S25 Göz ile temasından sakının.
S26 Göz ile temasında derhal bol su ile yıkayın ve doktora başvurun.
S46 Yutulması halinde hemen bir doktora başvurun, kabı veya etiketi gösterin.
S56 Bu maddeyi ve kabını tehlikeli veya özel atık toplama yerlerinde bertaraf edin / ettirin.
S64 Yutulması halinde, ağız su ile yıkayın (sadece kişinin bilinci yerinde ise).

16 DİĞER BİLGİLER

BİLGİ KAYNAKLARI

Bu GBF hammadde tedarikçilerimizden alınan bilgiler dahilinde düzenlenmiştir.

REVİZYON İLE İLGİLİ AÇIKLAMA

Firma unvanının değişmesi

DÜZENLEYEN

TSE Sertifikalı Güvenlik Bilgi Formu Düzenleyicisi. (Sertifika no: GBF - 0397)

REVİZYON TARİHİ 17.06.2011

TARİH: 30.03.2011

RİSK CÜMLECİKLERİ TAM

R67 Buharları uyuşukluğa ve baş dönmesine neden olabilir.
R38 Cildi tahriş eder.
R41 Gözde ciddi hasar riski
R36 Gözleri tahriş eder.
R36/38 Gözleri ve cildi tahriş edicidir.
R11 Kolay alevlenir.
NC Sınıflandırılmamıştır
R20/21/22 Solunduğunda, cilt ile temasında ve yutulduğunda sağlığa zararlıdır.
R50 Sucul organizmalar için çok toksiktir.
R52/53 Sucul organizmalar için zararlı, sucul ortamda uzun süreli ters etkilere neden olabilir.
R52 Sucul organizmalar için zararlıdır.
R34 Yanıklara neden olur.
R22 Yutulması halinde zararlıdır.

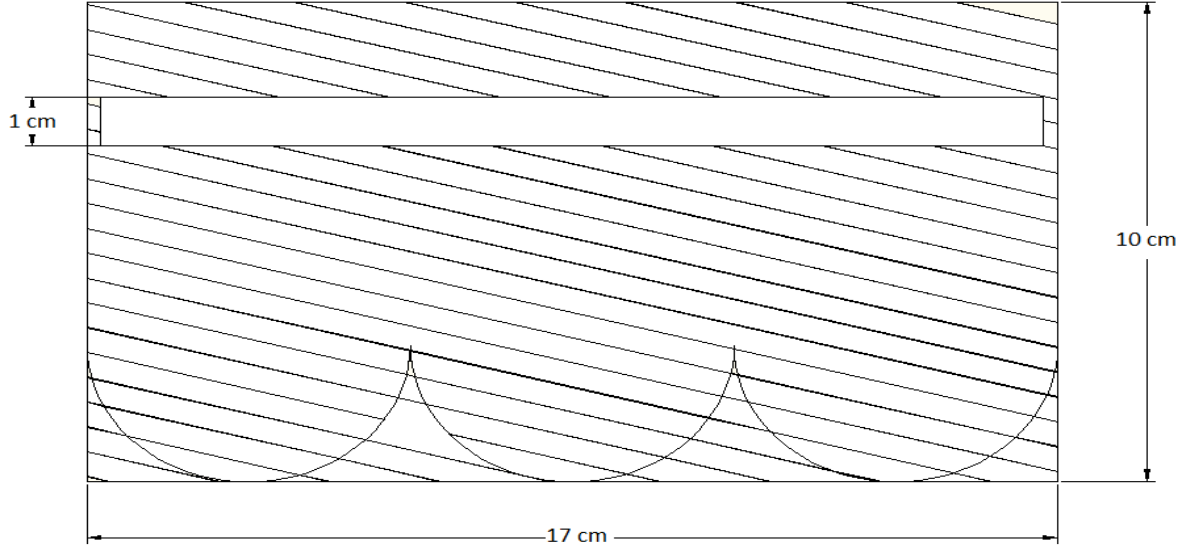
ÇEKİNCE

Bu bilgi yalnızca belirli özgül bir maddeye ilişkindir ve aynı maddenin başka maddelerle birlikte kullanıldığı bir bileşimde veya herhangi bir proseste kullanılmamalıdır. Bu bilgi, firmanın üst düzeyde bilgisi ve kanaati dahilinde, belirtilen tarih itibarıyla doğru ve güvenilir bilgidir. Yine de doğruluğu, güvenilirliği, ve eksiksizliği yönünde hiçbir teminat garantisi veya beyanda bulunulamaz. Bu bilginin kendi kullanımına yönelik uygunluğu konusunda ikna olmak kullanıcının kendi sorumluluğudur.

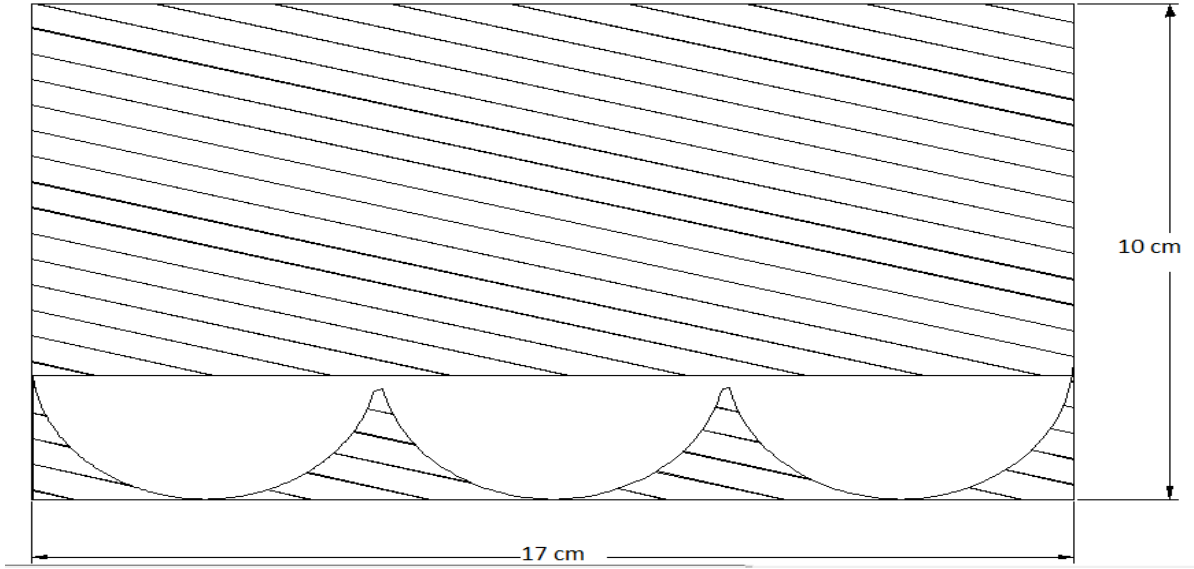


EK 2
ELEKTROSTATİK KOALESER TASARIM ÇİZİMLERİ ve
BOYUTLANDIRMALARI

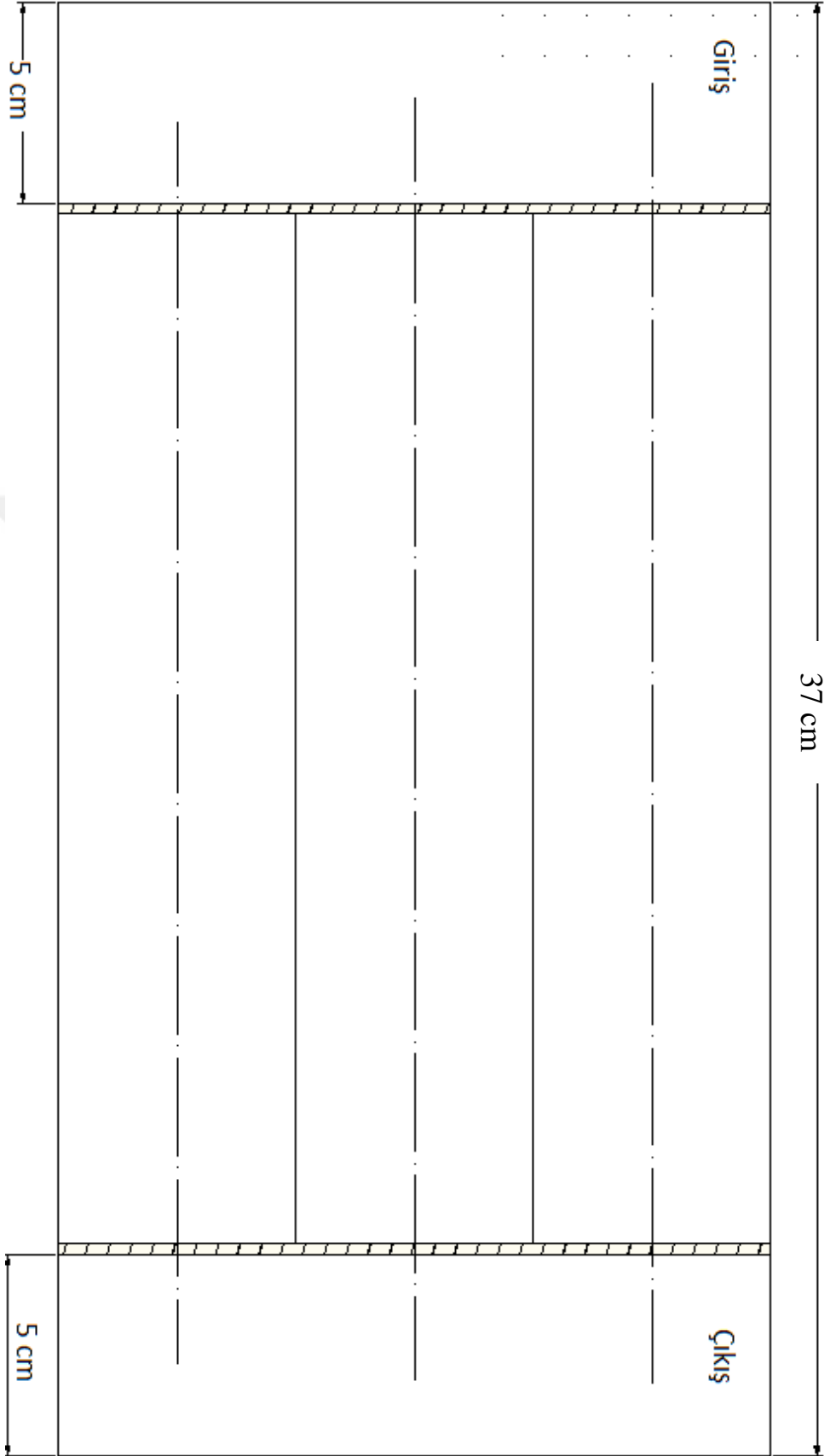




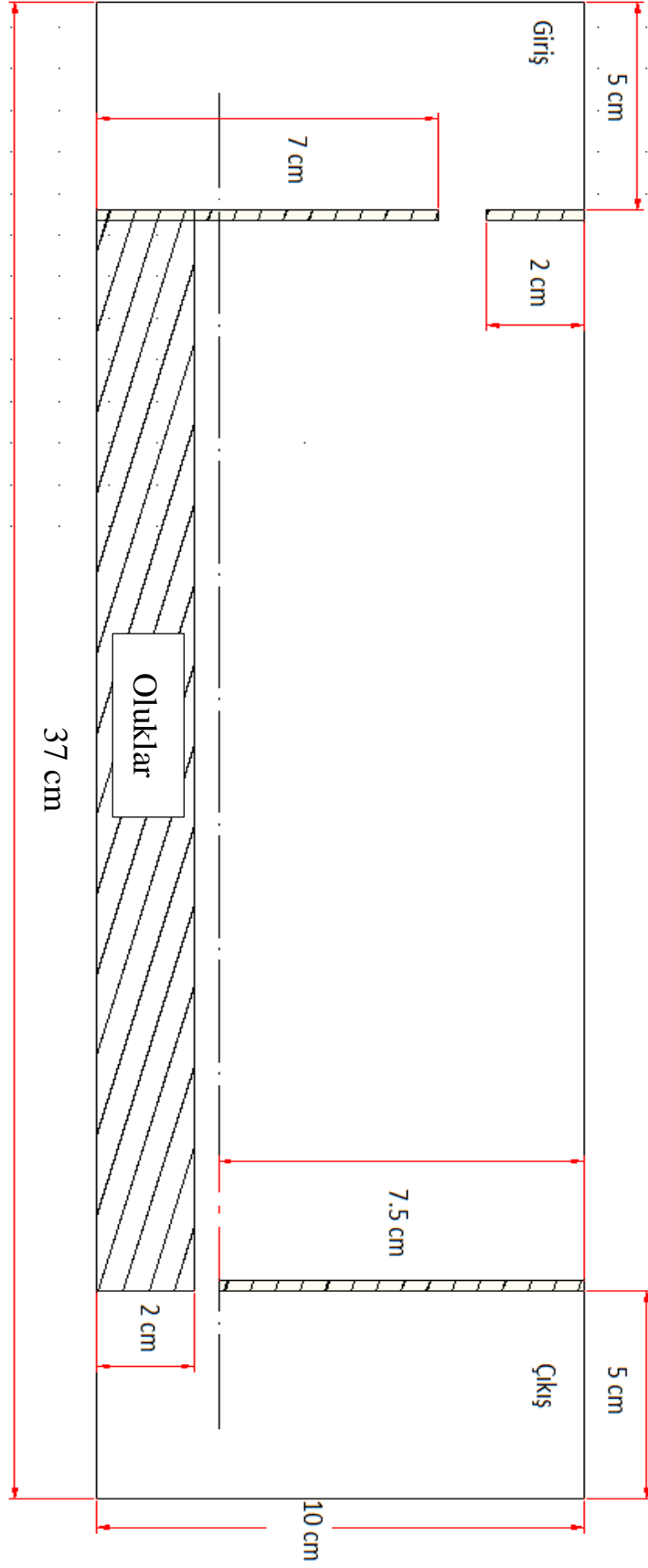
Şekil E2.1 Elektro koaleser giriş savak yapısı ve boyutlandırılması



Şekil E2.2 Elektro koaleser çıkış savak yapısı ve boyulandırması



Şekil E2.3 Elektro koaleser üst görünüm ve boyutlandırılması



Şekil E2.4 Elektro koaleser yan görünümü ve boyutlandırılması



EK 3
ELEKTROTLARDA KULLANILAN ÇELİĞİN SINIFLANDIRMA ÖZELLİKLERİ
(SS410)



410 STAINLESS STEEL

UNS S41000



AK Steel Type 410 is a martensitic stainless steel that provides good corrosion resistance plus high strength and hardness. It is magnetic in both the annealed and hardened conditions. A wide range of properties can be developed with different heat treatments.

Applications requiring moderate corrosion resistance and high mechanical properties are ideal for this alloy. Typical uses include flat springs, knives, kitchen utensils and hand tools.

COMPOSITION

	%
Carbon	0.15 max.
Manganese	1.00 max.
Phosphorus	0.040 max.
Sulfur	0.030 max.
Silicon	1.00 max.
Chromium	11.50 - 13.50

AVAILABLE FORMS

AK Steel produces Type 410 Stainless Steel in coils and cut lengths in thicknesses 0.010" to 0.145" (0.25 mm to 3.68 mm) and widths up to and including 26" (660 mm).

SPECIFICATIONS

AK Steel Type 410 Stainless Steel sheet and strip is covered by the following specifications:

AMS 5504
ASTM A 240

MECHANICAL PROPERTIES

Typical Annealed Mechanical Properties

UTS ksi (MPa)	0.2% YS ksi (MPa)	Elongation % in 2" (50.8 mm)	Hardness Rockwell
75 (517)	45 (310)	25	B80

Fatigue Strength*

Test Temperature °F (°C)	Endurance Limit ksi (MPa) - 10 ⁷ cycles
70 (21)	58.0 (400)
700 (371)	49.0 (338)
850 (454)	43.5 (296)
1000 (538)	27.0 (186)

*Heat treated to 110 ksi (758 MPa) YS.

PHYSICAL PROPERTIES

Density, 0.28 lbs/in³
7.74 g/cm³

Electrical Resistivity, microhm-in
(microhm-cm) 70°F (21°C) – 22.50 (57)

Specific Heat, BTU/lb•°F (kJ/kg•K)
32 - 212°F (0 - 100°C) – 0.11 (0.46)

Thermal Conductivity, BTU/hr/ft²/ft•°F
(W/m•K)

at 212°F (100°C) – 14.4 (24.9)

at 932°F (500°C) – 16.6 (28.7)

Coefficient of Thermal Expansion,
in/in•°F (µm/m•K)

32 - 212°F (0 - 100°C) – 5.5 x 10⁻⁶ (9.9)

32 - 1200°F (0 - 649°C) – 6.5 x 10⁻⁶ (11.6)

Modulus of Elasticity, ksi (MPa)
29 x 10³ (200 x 10³)

CORROSION RESISTANCE

AK Steel Type 410 provides good corrosion resistance to air, water and some chemicals. It shows satisfactory resistance to nitric acid, concentrated sulfuric acid, dilute acetic acid and naphtha. Resistance to food acids is good.

HEAT TREATMENTS

Annealing: Heat slowly to 1500 - 1650°F (816 - 899°C), cool to 1100°F (593°C) in furnace, air cool.

Process Annealing: Heat to 1350 - 1450°F (732 - 788°C), air cool.

Hardening: Heat to 1700 - 1850°F (927 - 1010°C), air cool or oil quench. Follow by stress-relief or temper.

Stress Relieving: Heat at 300 - 800°F (149 - 427°C) for 1 to 2 hours, air cool.

Tempering: Heat to 1100 - 1400°F (593 - 760°C) for 1 to 4 hours, air cool.

WELDABILITY

The martensitic class of stainless steels has limited weldability due to its hardenability. Special consideration is required to avoid cold cracking by pre-heating to 550°F (260°C). Post-weld heat treatment should be considered to achieve required properties. This particular alloy is generally considered to have the best weldability of this stainless class. A major difference is the lower carbon content for this alloy which eliminates the need for post-weld heat treating. When a weld filler is needed, AWS

E/ER 410, 410 NiMo, and 309L are most often specified. Type 410 is well known in reference literature and more information can be obtained in this way.

FORMABILITY

AK Steel Type 410 has reasonably good cold working properties and can be moderately drawn and formed in the annealed condition.

METRIC CONVERSION

Data in this publication are presented in U.S. customary units. Approximate metric equivalents may be obtained by performing the following calculations:

Length (inches to millimeters) –
Multiply by 25.4

Strength (ksi to megapascals or meganewtons per square meter) –
Multiply by 6.8948

Temperature (Fahrenheit to Celsius) –
(°Fahrenheit - 32) Multiply by 0.5556

Density (pounds per cubic inch to kilo-grams per cubic meter) – Multiply by 27,670

The information and data in this product data sheet are accurate to the best of our knowledge and belief, but are intended for general information only. Applications suggested for the materials are described only to help readers make their own evaluations and decisions, and are neither guarantees nor to be construed as express or implied warranties of suitability for these or other applications.

Data referring to mechanical properties and chemical analyses are the result of tests performed on specimens obtained from specific locations with prescribed sampling procedures; any warranty thereof is limited to the values obtained at such locations and by such procedures. There is no warranty with respect to values of the materials at other locations.

AK Steel and the AK Steel logo are registered trademarks of AK Steel Corporation.



Customer Service 800-331-5050

AK Steel Corporation
9227 Centre Pointe Drive
West Chester, OH 45069

www.aksteel.com

© 2007 AK Steel Corporation



7100-0096 7/07

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Aydın'ın Söke ilçesinde doğan Sercan GÖÇ, ilköğretiminin 6.sınıfına kadar Osmaneli Atatürk İlköğretim Okulu'nda ve geri kalan kısmını Bilecik İlköğretim Okulu'nda, Ortaöğrenimini Bilecik Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği (İ.Ö.) Bölümü'nde eğitime başladı. 2010 yılında ÖSS ile Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliğine (%30 İngilizce) Bölümü' ne geçiş yaptı ve eğitimini burada tamamladı. 2015 yılında bu bölümden mezun olduktan sonra aynı yıl Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Hacıoğlu Mah. Yolveren sk. No: 34
Osmaneli/BİLECİK

Tel: 0(544) 791 94 42

E-posta: sercangoc09@gmail.com