



## Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Derleme Makalesi (Review Article)*

Makale Doi: 10.17100/nevbiltek.1005367

Geliş Tarihi:06-10-2021

Kabul Tarihi:18-11-2021



### Atık Madeni Yağlar ve Yağlı Atıksu Arıtma Yöntemlerine Dair Bir Araştırma

Ezgi GÜNEŞ GÜRDAL

*Lubratech Endüstriyel Yağlar ve Kim. Mad. San. Tic. A.Ş, Kocaeli, Türkiye*

ID: 0000-0002-0311-1350

#### Öz

Endüstriyelleşme ile birlikte dünyadaki madeni yağ talebi her geçen gün büyük artış göstermektedir. Bu artış çeşitli kaynaklara göre ortalama olarak yaklaşık 36 milyon ton/yıldır. Artan talep atık yağın artışına sebep olmaktadır ve insan sağlığı ile çevre için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu tehdidi önlemek için yağ atıklarının bertarafının kontrollü bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada madeni yağ üretimi, çeşitleri ve yağ içeren atıksuların bertaraf yöntemleri araştırılmıştır. Elde edilen literatür sonuçlarına göre atık yağ ile kirlenmiş suların arıtımında kullanılan en etkili yöntemler elektrokoagülasyon ve membran filtrasyonudur. Membran filtrasyonunda ise membran gözenek çapı azaldıkça arıtım verimi artış göstermiştir. Uygun koagülant seçimi yapılan elektrokoagülasyon yöntemi ve membran filtrasyonunda nanofiltrasyon yada hibrit sistemler kullanıldığında yüzde yüze varan giderim verimleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte tek başına uygulanan konvansiyonel yöntemlerin giderim verimleri, ileri arıtım teknolojileri ve hibrit sistemlere göre daha düşüktür.

**Anahtar Kelimeler:** Atık yağ; elektrokoagülasyon; flotasyon; madeni yağ; membran filtrasyonu.

### A Research on Waste Mineral Oils and Oily Wastewater Treatment Methods

#### Abstract

With industrialization, the demand for mineral oil in the world is increasing day by day. According to various sources, this increase is approximately 36 million tons/year on average. Increasing demand causes an increase in waste oil and poses a significant threat to human health and the environment. In order to prevent this threat, the disposal of oil wastes should be done in a controlled manner. In this study, mineral oil production, types and disposal methods of oil-containing wastewater were investigated. According to the results of the literature, the most effective methods used in the treatment of waste oil-contaminated water are electrocoagulation and membrane filtration. In membrane filtration, the treatment efficiency increased as the membrane pore diameter decreased. Removal efficiencies of up to one hundred percent were determined when nanofiltration or hybrid systems were used in membrane filtration and electrocoagulation method with appropriate coagulant selection. However, the removal efficiencies of conventional methods applied alone are lower than advanced treatment technologies and hybrid systems.

**Keywords:** Electrocoagulation; flotation; membrane filtration; mineral oil; waste oil.

\*Sorumlu yazar: ezgi.gurdal@lubratech.com.tr

## 1. Giriş

Madeni yağlar, farklı viskoziteye sahip olan mineral veya petrol esaslı olmayan yağlara, talep edilen koşulları karşılamak amacıyla seçilen çeşitli katkı maddelerinin katılmasıyla elde edilen yağlardır. Aşınma, paslanma, köpük önleyici katık, viskozite ayarlayıcı, yüksek basınca dayanıklılık gibi fiziksel ve kimyasal özellikler kazandıran performans katıklarının harmanlaması sonucu elde edilmektedir [1]. Mineral yağlar petrolden elde edilir. Sentetik yağlar ise kimyasal sentezler sonucunda elde edilen yağlardır [2].

Günümüzde madeni yağ endüstrisine talep gün geçtikçe artmaktadır. Madeni yağ endüstrisi önemli, karlı ve bir o kadar da karmaşık bir sektör olarak bilinmektedir. Dünya çapında büyükten küçüğe değişen üreticiler sayesinde 90'lı yıllarda Avrupa'da 300'den fazla ve dünyada 1700' den fazla yağlayıcı olmasına rağmen bu sayı her yıl %50 oranında artış göstererek, dünya çapında madeni yağların kullanım oranları artmıştır [3]. 2011 yılında dünyada 35,1 milyon ton yağlayıcı tüketilirken bu sayının Avrupa'da 7 milyon ton civarında olduğu kaydedilmiştir [2]. Yağlayıcıların tüketim alanlarına göre dağılımları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Yağlayıcıların tüketim alanlarına göre dağılımları [4]

Kullanım yeri	Tüketim oranı (%)
İçten yanmalı motor	42
Dışli Yağları	7
Kimyasallar	10
Gresler	3
Deniz Yağları	10
Diğer endüstriyel yağlayıcılar	28

Günümüzde madeni yağ kullanımının artması atık madeni yağ miktarını da artırmaktadır. Kullanılmış madeni yağın geri dönüşümü ile dünya çapında güç kaynaklarının korunması iyi bilinen bir alternatiftir. Atık madeni yağlar genel olarak otomotiv, tarım endüstrisi, makina sanayi, tekstil endüstrisi ve enerji dağıtım ağından elde edilmektedir. Endüstriyel yağlama amaçlı kullanılan ve/veya kullanım ömrü tamamlanmış yağlar, atık yağ olarak açığa çıkmaktadırlar ve çevreye zarar vermeden bertarafı yada geri kazanımı gerekmektedir. Madeni yağ endüstrisinde çok miktarda su kullanılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan atıksu miktarı da fazla olmaktadır. Sudaki bu yağ, en önemli ve alıcı ortamdaki en zor uzaklaştırılan kirleticilerden biridir. Bu yağlar çevreye gelişigüzel bırakıldığında ciddi çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Endüstriyel işletmelerde ise mineral yağın çoğunu geri kazanmak ve suyu yeniden kullanabilmek için arıtmak en önemli unsurdur [1].

## 2. Madeni Yağlar

### 2.1. Madeni Yağların Üretimi

Baz yağlar, madeni yağların ham maddesini oluşturmaktadır ve ham petrolün rafinerilerde atmosferik olarak işlenmesi ve uygulanan çeşitli yöntemlerle elde edilmektedir. Madeni yağ sektöründe taleplere uygun olarak üretilen çok çeşitli markalar mevcuttur. Kullanım yerlerine ve istenilen performansa göre farklı viskoziteli baz yağlar elde edebilmek için, farklı katkı maddeleri ile modifikasyon yapılmaktadır. Baz yağlara korozyon önleyici katıklar, oksidasyon önleyici katıklar, deterjan katıkları, dispersan katıklar, köpük önleyici katıklar, pas önleyici katıklar, akma noktası düşürücü katıklar ve viskozite geliştirici katıklar eklenmektedir [5]. Ancak tüm madeni yağların ham maddesi aynı olmasına rağmen, talebe uygun gerçekleştirilen katık maddesi sentezi sebebiyle bu yağlar arasında belirgin farklar mevcuttur. Bu farkların iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi tercih edilen baz yağların kimyasal özelliklerinin farklılığı ile kullanılan katık maddelerinin cinsidir. İkincisi ise kullanılan katık madde miktarlarının farklı olmasıdır [6].

## 2.2. Madeni Yağların Sınıflandırılması

Madeni yağlar, grup (Grup I, Grup II, Grup III, Grup IV ve Grup V), baz stok (mineral bazlı yağlayıcılar, sentetik yağlayıcılar, yarı sentetik yağlayıcılar ve biyo-bazlı yağlayıcılar), ürün tipi (motor yağı, şanzıman ve hidrolik sıvısı, metal işleme sıvısı, genel endüstriyel yağ, dişli yağı, gres, proses yağı ve diğer ürün çeşitleri), son kullanıcı sanayi (enerji üretimi, otomotiv ve diğer taşımacılık, iş makineleri, yiyecek ve içecek, metalurji ve metal işleme, kimyasal imalat ve diğer son kullanıcı endüstrileri) ve coğrafyaya (Asya-Pasifik, Kuzey Amerika, Avrupa, Güney Amerika, Orta Doğu ve Afrika) göre sınıflandırılmaktadır (Tablo 2) [7].

Tablo 2. Madeni yağların sınıflandırılması [7]

Baz Yağları	Baz Stok	Ürün Tipine Göre	Son Kullanıcı Sanayi	Coğrafyaya Göre
<ul style="list-style-type: none"><li>GRUP I</li><li>GRUP II</li><li>GRUP III</li><li>GRUP IV</li><li>GRUP V</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Mineral Bazlı Yağlayıcılar</li><li>Sentetik Yağlayıcılar</li><li>Yarı Sentetik Yağlayıcılar</li><li>Biyo-bazlı yağlayıcılar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Motor Yağı</li><li>Hidrolik yağı</li><li>Metal İşleme Sıvısı</li><li>Genel Endüstriyel yağlar</li><li>Dişli yağları</li><li>Gres</li><li>Proses Yağları</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Enerji Üretim</li><li>Otomotiv</li><li>İş Makineleri</li><li>Metallurji ve Metal İşleme</li><li>Kimyasal İmalat</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Asya-Pasifik</li><li>Kuzey Amerika</li><li>Avrupa</li><li>Güney Amerika</li><li>Orta Doğu</li><li>Afrika</li></ul>

Mineral bazlı yağlar, ham petrolden elde edilir. Her molekülünde 30 karbon atomu bulunan hidrokarbon içerir. Dünya çapında oldukça fazla kullanılan ekonomik ve popüler bir yağlayıcıdır. Viskozite indeksi yüksektir. Hayvansal yağlar, bitkisel yağlar ve sentetik yağlayıcılar ile karıştırılarak kullanılabilir. Sülfür içeriği ve kimyasal formuna göre (alifatikler (a-Parafinik, b-Naftanik) ve aromatikler) iki grupta sınıflandırılır [8]. Sentetik yağlar ise, kimyasal sentez yöntemleriyle elde edilen petrol esaslı olmayan yağlardır. Sentetik yağlar, düşük sıcaklık, minimum sürtünme gibi özelliklere sahip olması açısından oldukça fazla kullanılan bir yağ çeşididir. Düşük sıcaklıkta yüksek akışkanlık özelliğine sahip olup çok yüksek sıcaklıkta ise incelmeme gibi avantajları mevcuttur. Çalışılabilir sıcaklık aralığının ve oksidasyonunun yüksek olması kullanım ömrünün de yüksek olmasını sağlamaktadır. Bu özellikleri ve yüksek basınç dayanımı mineral yağlara oranla bir üstünlük sağlamaktadır. Başlıca sentetik baz yağlar; polialfaolefin (PAO), alkali aromatik, polibütan, alifatik diester, polyeşter, polialken glikol ve fosfat esterleridir [5].

Sentetik yağların ham maddesi olan sentetik baz yağ, ileri teknolojik yöntemlerle elde edilebildiğinden dolayı yüksek maliyetlidir. Bu nedenle sentetik yağlar mineral yağlara göre daha pahalıdır ve geri kazanımının sağlanması ekonomik açıdan avantaj sağlamaktadır.

Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği'ne göre atık yağlar, A ve B olmak üzere iki gruba ayrılmıştır [9]. Yönetmeliğe göre metallerin ve plastiklerin fiziki ve mekanik yüzey işlemlerinden ve biçimlendirilmesinden kaynaklanan atıklar, atık hidrolik yağlar, atık yalıtım ve ısı iletim yağları, yağ/su ayırıcısı içerikleri ile atıkların fiziksel/kimyasal arıtımından kaynaklanan atıklar A grubunda, atık motor ile şanzıman ve yağlama yağları ise B grubunda yer almaktadır. Ayrıca yönetmeliğe göre, toplam klor (mg/kg), toplam (Mg, Na, Ba, Cu, B, Pb, Mn, Ni, Si, Al, As, Cd, Ca, Fe, P, Zn, Cr, Sn) (mg/kg), arsenik (As) (mg/kg), kadmium (Cd) (mg/kg), krom (Cr) (mg/kg), kurşun (Pb) (mg/kg), glikol (mg/kg), poliklorlu bifeniller (PCB) (mg/kg), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) (% (m/m)), viskozite indeksi, doymuş hidrokarbon içeriği (% (m/m)), hidrokarbon içeriği (% (m/m)), kükürt içeriği (% (m/m)), parlama noktası (°C), akma noktası (°C), uçuculuk (%), asit sayısı (mg KOH/g), baz sayısı (mg KOH/g) ve su (mg/kg) atık yağların analizindeki parametrelerdir [9].

## 2.3. Atık Madeni Yağların Çevresel ve Sağlık Etkileri

Atık madeni yağlar, çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit unsurudur. İçeriğinde yüksek miktarda yağ, renk ve KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) içermektedir [10]. Bu sebeple, madeni yağ atıklarının bertarafının kontrollü bir şekilde

yapılması gerekmektedir. Kontrolsüz deşarjlar, su, toprak ve hava kirliliğine yol açarak çevre, insan ve diğ er canlıların sağ lığı için ciddi tehlikelere sebep olmaktadır.

Ham petrolün içeriğ inde yağ layıcılar ve petrokimyasal ürün türevleri bulunmaktadır. Petrol ürünlerinden aç ığ a çıkan atıksu, toksik etkisi ve arıtılabilirliğ inin zor olması gibi sebeplerden dolayı sucul çevre için kirletici özelliğ i en yüksek olan atıksudur [11].

Atık yağ lar kullanıld ığı yere bağı lı olarak değ iş en miktarlarda ağır metaller iç erebilir. Ham ağır metaller ve iş lem gördükten sonra ağır metallerin bozunmuş yapısı biyolojik olarak arıtma yapan tesisler için ek bir kirlilik yükü oluşturmakta ve arıtımda ek ünitelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yağ lama yağ ları, her şeyden önce kullanıld ığı alana uygun olmalıdır. Yağ sızıntısı, yağ buharı görünümü ve kasıtlı ya da yanlışlıkla dökülme gibi uygun olmayan depolama koş ullarında atık yağ lar ciddi derecede tehlike meydana getirmektedir. İnsan sağ lığı na ek olarak petrol sızıntısı aynı zamanda mali kayıplara da yol açmaktadır.

Yağ lama yağ ları herhangi bir biçimde potansiyel olarak insan sağ lığı na ve çevreye zarar verebilmektedir. Yağ layıcılarda her şeyden önce doğ ru yağ ın doğ ru yerde kullanılması çok önemlidir. Buna rağ men kontaminasyon tehdidiyle insan sağ lığı için risk oluşturması olası bir problemdir. Gerekli önlemler alınmadığı taktirde yağ sızıntısı, yağ buharı, dökülme gibi sebeplerden dolayı uzun süre atık madeni yağ a maruz kalan kişilerde nefes darlığı, ciltte kanser, ciltte pigmentlerin bozukluğu (renk gitmesi), egzamatik sorunlar, deride ve yağ bezlerinde çürükler, araç sürtücülerinde sinir sisteminde titreme, baş ağ rısı, yağ ve benzinle 5-35 yıl arası çalışanlarda akciğ er ve bronşlarda dinlenmeyi önleyici olumsuzluklar, kanserojen etki, ayak tabanında siğ iller ve anemi gibi belirtiler meydana gelmiştir.

Ekotoksik özelliklerinden dolayı, atık yağ içeren atıksular deş arj alanını kirleterek burada bulunan canlıların yaşamsal faaliyetlerinin sona ermesine ve yüzeyde birikerek alıcı ortamdaki oksijenin azalmasına sebep olur. Böylece insan ve çevreye verdiğ i zararların yanı sıra atık su arıtma tesislerine de zarar verir ve iş letme maliyetini artırarak ekonomik kayıp oluşturur.

Yağ içeren atıksuların arıtma tesisinde oluşturduğ u problemler ise biyolojik arıtım faaliyetlerinde rol oynayan mikroorganizmaların yüzeylerini kaplayarak aktivitelerini engellemesi, parçalanmaya karşı direnç oluşturması, ç amur çürütücülerde aş ırı köpüklenmeye sebep olması ve filtrasyonda filtre gözeneklerini tı kayabilmesi olarak sıralanabilir.

### **3. Atık Madeni Yağ ların Geri Kazanımı ve Yağ İçeren Atıksuların Bertaraf Yöntemleri**

#### **3.1. Atık Madeni Yağ ların Geri Kazanımı**

Madeni yağ lar kullanım amacına bağı lı olarak çeş itli katkı maddeleri ile muamele edilerek piyasada tüketilmektedir. Madeni yağ ların kullanımı sonucunda içeriğ inde bulunan katkı maddeleri ve yağ ın yüksek ısıda iş lem görmesi nedeniyle oluş an safsızlıkların geri kazanım iş lemleri vasıtasıyla giderilmesi gerekmektedir. Yağ katkı maddeleri genel olarak; antioksidant (yükseltgenme önleyici), dispersing (homojenasyon), antiwear (aş ınma önleyici), antirust (pas önleyici), detergents (köpük kesici), extreme pressure (yüksek basınç) şeklinde süksinimidler, aminler, poliüre, fosfatlar, fosfonatlar, naftenatlar, sülfonatlar şeklinde çeş itli kükürt, kurş un, ç inko, sodyum, silisyum vb. organometalik bileş iklerden oluş maktadır.

Atık yağ lama yağ larının geri dönüşümü uzun yıllardan beri süregelen bir iş lemdir ve esas olarak baz yağ ları ile bağı lıdır. Oluş an çevre sorunları ile birlikte geri dönüş türülmüş yağ ın kalitesinin arttırılması ve yağ hacimlerini arttırmak amacıyla atık yağ arıtımına ilgi oldukça artış göstermektedir.

Bazı özel endüstriyel yağ lar, kaynağ ında kolayca ayrılır ve yeniden kullanıma hazır hale getirilir. Bunun için tipik işleme yöntemleri, filtreleme, su veya uçucu bozunma ürünlerinin vakum altında uzaklaştırılmasıdır. Kaynağ ında geri kazanılamayan yağ lar için kullanılan çeş itli yöntemler vardır. Asit/kil arıtımı bunlardan bir tanesidir [12, 13]. Fakat

arıtım esnasında kullanılan kimyasalların tehlike oluşturmaları ve geri kazanımda istenilen verimi sağlamaması gibi nedenlerle yerini yeni teknolojilere bırakmıştır. Bir başka yöntem olan çözücü ekstraksiyonu yönteminde, atık yağdan baz yağı çıkarabilmek için propan gibi çözücüler kullanılmaktadır. Katıkları içeren yüksek kaynama noktalı asfaltik bir kalıntı oluşmakta ve baz yağ bu kalıntıdan geri kazanılmaktadır. Ayrılan baz yağ için düşük şiddette asit/kil muamelesi, tek başına kil muamelesi yada hidrofinisaj (hidrolik sonlandırma) işlemi ile bitirme yapmak gerekebilir [14]. Bir diğer yöntem distilasyon/kil arıtımı yöntemidir. Yüksek vakum altında ince film damıtma ile asfaltik kalıntıdan gaz yağı, yağlayıcı yağı, katkı maddeleri ve kirleticiler uzaklaştırılır. Kil işlemi ile bitirme yapılır ve baz yağın %70-80'i geri kazanılır [15]. En yüksek kalitede baz yağın elde edildiği diğer yöntem ise distilasyon/hidroarıtım yöntemidir [16]. Ön işlem ve ince film damıtımından sonra baz yağ fraksiyonu hidroarıtıma tabi tutulur. Son bir damıtma adımı uygulandığında %90-95'e varan baz yağ geri kazanılır. Tüm bu geri kazanım yöntemlerinden sonra, düşük kaynama noktalı distilat, gaz yağı ve tehlikeli olmayan asfaltik kalıntı yan ürün olarak açığa çıkar. Oluşan emisyon ve atık buhar sınırlıdır. Distilasyon/hidroarıtım ile geri kazanılan baz yağlar diğer yöntemlere göre daha kalitelidir. İşletme maliyeti yüksek olmasa da ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve vasıflı işletim gerektirmesi dezavantajlarındandır [17].

### 3.2. Yağ İçeren Atıksuların Bertaraf Yöntemleri

Geri kazanımı sağlanamayan ve atıksu içerisine karışan yağlayıcıların arıtımında kullanılan başlıca yöntemler elektrokimyasal arıtım, membran filtrasyonu, biyolojik arıtım, adsorpsiyon, flotasyon (yüzdürme), flokülasyon ve kimyasal koagülasyon (ultrasonla dağılmış nano ölçekli sıfır değerlikli demir parçacıkları, titanyum dioksit, vakumlu ultraviyole ve doğal mineraller) ve birden fazla yöntemin uygulandığı hibrit teknolojilerdir.

Elektrokimyasal arıtımda elektrokoagülasyon ve elektroflokülasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Flokülasyon süspansiyon oluşturma, koagülasyon ise çöktürme esasına dayanmaktadır [18]. Flokülasyon işlemi, mineral işlemeden kaynaklanan bir ayırma yöntemidir. Su ve atık su için kullanılan flokülasyon, yüzdürme ile karşılaştırıldığında daha geniş uygulamalarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda ağır metal içeren madeni yağ atıklarında da flokülasyon işlemi uygulanabilir ki, bu durumda devreye elektroflokülasyon yöntemi girer.

Flotasyon işlemi, basit yağ tutucular, çözülmüş hava flotasyonu (CHF), dispers hava yüzdürmesi ve vakum yüzdürmesi olmak üzere dört farklı biçimde uygulanabilmektedir. Basit yağ tutucularda, atıksu belirli bir alıkonma süresine tabi tutulur ve sudan daha küçük yoğunluğa sahip yağ partikülleri yoğunluk farkına bağlı olarak yüzeyde toplanır. Ardından toplanan yağlar flotasyon yöntemi ile yüzeyden uzaklaştırılır. Diğer sistemlerde ise, atıksu içine hava kabarcıklarının yollanarak, yağ partiküllerinin yoğunluklarının azaltılması ve yüzeye doğru yol alması ve yüzeyde toplanması sağlanır.

CHF yönteminde öncelikle atıksuyun pH'ı dengeye getirilir. Ardından koagülant eklenerek basınçla mikrobaloncuk ardından da partikül ve hava kabarcık kümelerinin köpük haline gelmesi sağlanır. Oluşan köpük, mekanik sıyrıcı ile yüzeyden alınır. Yağ depolama bölgesine gönderilir. Tekrar koagülant uygulanarak ağırlaşan partiküllerin dibeye çökmesi sağlanır.

CHF'nin uygulandığı bir çalışmada yağlı atıksu bir limanın akaryakıt tesisi yağından temin edilmiş olup sırasıyla asit kraking, CHF ve aktif çamur üniteleri kullanılarak %98 oranında yağ-gres giderimi sağlanmıştır [19]. Wang, çöktürme ve flotasyon uygulayarak yağ içeren atıksudan %90 oranında yağ giderimi sağlamıştır [20]. Sıyrıcı flotasyonunun uygulandığı bir çalışmada rafineri yağına arıtım uygulanmıştır. Zhu ve Zheng bu çalışmada %81,4 yağ giderimi elde etmişlerdir [21]. Sentetik endüstriyel yağ üzerinde CHF yöntemini uygulayan Al-Shamrani ve diğ. %90 oranında yağ giderimi sağlamışlardır [22, 23].

Lin ve Wen 2003 yılında geliştirdikleri ve CAX adını verdikleri kompozit malzemesini kullandıkları koagülasyon yönteminde yağ endüstrisi atıksuyundan %98 oranında yağ giderimi sağlamışlardır [24]. Koagülant olarak çinko silikat ve poliakrilamidin kullanıldığı bir çalışmada rafineri yağında %99 [21] ve poli alüminyum çinko silikat klorürün kullanıldığı başka bir çalışmada ise %71,8 olarak yağ giderimi tespit edilmiştir [23, 25]

Elektrokimyasal arıtım ile yapılan çalışmalarda Körbahti ve Artut elektrokimyasal reaktörde Pt/Ir anotları ve demir katotları kullanmış, temizlik maddesi, solvent, yağlayıcı ve hidrolik yağ içeren sintine sudan %93,2 [26], Ngamlerdpokin ve diğ. kimyasal ve elektrokoagülasyon ile protonasyon uyguladıkları bitkisel yağdan oluşan biyodizelden %99,36 [27] Jaruwat ve diğ. kimyasal arıtım ve elektrokimyasal arıtım (Ti/RuO<sub>2</sub>) uyguladıkları ham biyodizelden %98 [28], Sekman ve diğ. Al elektrotları uyguladıkları elektrokoagülasyon metodunda çamur, kirli balast suyu, atık yağ karışımı içeren sintine sudan %80 [29], Ahmadi ve diğ. polialüminyum klorür ile elektrokoagülasyon uyguladıkları biyodizel fabrikasından temin ettikleri karışımdan %100 [30] ve Xu ile Zhu, elektrokoagülasyon uyguladıkları restoran atıksuyundan %95 [31] oranında atık yağı giderebilmişlerdir [18].

Membran filtrasyon yönteminde ise membran materyali olarak polimer yada seramik seçilerek genel olarak mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz yöntemleri uygulanmaktadır.

Membran filtrasyonu ile yapılan çalışmalarda ise Sun ve diğ. biyofilm ve membran biyoreaktör (MBR) konfigürasyonundan oluşan arıtım ünitesinde gri su, siyah su ve sintine su içeren gemi atıksuyunu arıtarak %98,9 [32], Soltani ve diğ. hollow fiber (HF) propilen (PP) membran kullanarak membran biyoreaktör ünitesinde yüksek oranda tuz, yağ ve deniz sedimenti içeren atıksuyu arıtarak %100 [33], Salahi ve diğ. çapraz akışlı membran filtrasyonunda beş farklı polimerik membran kullanarak (2 mikrofiltrasyon (MF) polisülfon (PSf), 2 ultrafiltrasyon (UF) poliakrilonitril (PAN), 1 UF PSf) Amerikan Petrol Endüstrisi'nden temin ettikleri atıksudan %97,2 [34], Nandi ve diğ. kaolin, kuvars, feldspar, sodyum karbonat, borik asit ve sodyum metasilikat maddelerinden düşük maliyetli ürettikleri seramik membranlar ile sentetik sudan yapılan yağ-su arıtımında %98,8 [35], Yang ve diğ. kaolin/MnO<sub>2</sub> çift katmanlı kompozit dinamik membran olarak porlu seramik tübüler membran kullandıkları çalışmalarında kerosen, yüzey aktif madde ve musluk suyu içeren bir karışımdan %99 [36], Abadi ve diğ. tübüler seramik MF membran kullanarak Amerikan Petrol Endüstrisi'nden temin ettikleri yağlı atıksudan %85 [37], Mittal ve diğ. hidrofilik seramik polimerik kompozit membran kullanarak bir rafinerideki ham petrolden %93 [38], Pendashteh ve diğ. polivinilden florür (PVDF) ve poliamid (PA) polimerlerini kullanarak bir petrol yatağından aldıkları su ve hipersalin yağlı sentetik atıksu karışımından %98,9 [39], Madaeni ve diğ. hidrofilik MF-UF polimerik membran kullanarak yağlı atıksu ve gaz yağını karıştırdıkları atıksudan %95 [40], Noshadi ve diğ. ise farklı basınç ve farklı çıkış hızlarında UF PSf membranlar ile arıtım sağlamışlar ve yağ, gres, sabun, renkli bileşenler, deterjan, sodyum fosfat, sodyum silikat gibi mineral bileşenleri içeren karışımdan %97'lik [41] yağ giderimi elde etmişlerdir. Karakulski ve Marawski ise PVDF polimeri kullanarak UF membranla %98, nanofiltrasyon (NF) membranla ise %100 oranında arıtım gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları atıksu, bakır fabrikası atıksuyudur ve içeriğinde askıda katı maddeler, yağ, yağlayıcılar ve bakır iyonları bulunmaktadır [18, 42]. MF uygulanan çalışmalardan birinde ham petrol ve musluk suyunun 10 dakika boyunca 5000 rpm hızında karıştırılmasıyla oluşturulan atıksu için karbon bazlı membran ile ekstrüzyon yöntemi ve karbonizasyon uygulanması sonucunda %97 [43] ve zeolit/seramik çapraz akışlı membran sisteminde dinamik membran filtrasyonunun uygulandığı bir çalışmada ise yağlayıcı, distile su ve yüzey aktif madde karışımından %99 [44] oranında yağ giderimi elde edildiği belirlenmiştir [23].

Yağ içeren atıksuların bertarafında uygulanan biyolojik arıtımda, mikroorganizmalar vasıtasıyla biyoçözünür organik maddelerin yıkımına dayanan bir lipaz enzimi üretim aşaması söz konusudur. Adsorpsiyon yönteminde polipropilen, aktif karbon ve kitosan bazlı poliakrilamid adsorbent olarak kullanılabilir [18].

Biyolojik olarak yağ içeren atıksuların arıtımı için yapılan çalışmalarda Song ve diğ. mantar lipazı sergileyen tam hücreli bir katalizör yapısı kullanmıştır ve aktif çamur ünitesinde arıtım sağlayarak glukoz, pepton ve fosfat içeren sentetik yağlı sudan %96,9 [45], Dumore ve Mukhopadhyay aktif çamur ünitesinde triasilgliserin lipaz kullanarak adsorpsiyon hidrolizine dayalı çalışmalarında yağlayıcı üreten bir şirketin atıksuyundan %48 [46], Tang ve diğ. Bio-Amp adı verilen bir biyolojik katkı maddesi kullanarak (nütrient karışımı, beş adet *Pseudomonas* ve *Bacillus* zincirli) bir üniversitenin yemekhanesinden temin ettikleri atıksudan %40 [47], Zhao ve diğ. konvansiyonel aktif çamur ünitesi kullanarak batık biyolojik havalandırma vasıtasıyla bir petrol sahasının drenaj kuyusundan %95 [48], Xie ve diğ. küçük ölçekli sabit film biyolojik havalandırma filtre vasıtasıyla bir rafineri tesisinin atıksuyundan %94 [49], İbrahim ve diğ. biyosorbent kullanarak standart mineral yağ, su ve emülgatör içeren atıksudan adsorpsiyon yöntemiyle %90 [50] ve Srinivasan ve Viraraghavan biyokütle kullanarak uyguladıkları biyosorpsiyon sonrasında standart mineral yağ, bitkisel yağ ve kesme yağı karışımından %99'a [51] varan oranda yağ giderimi sağlamıştır. Nopcharoenkul ve diğ. *Pseudoxanthomonas* sp. RN402 kullanarak uyguladıkları biyobozunma ile dizel yağın %89'unu ve ham petrol yağının %83'ünü [52], Chanthamalee ve diğ. ise *Gordonia* sp. JC11 bakterisi ile biyolojik bozunma uygulayarak petrollü hidrokarbon içeren sintine suyun %50'sini [53] biyolojik arıtım yöntemleri ile arıtmayı başarmışlardır [18]. Ayrıca havalandırma biyolojik filtrasyon reaktörü vasıtasıyla yapılan bir çalışmada %94 oranında yağ giderimi sağlanmıştır [48].

Hibrit teknolojilerin kullanıldığı çalışmalar incelenecek olursa, Otadi ve diğ. laboratuvar ölçekli bir çalışmada fiziksel arıtım, kimyasal arıtım (CHF) ve biyolojik arıtım (aktif çamur, durultucu, çöktürme tankı) kombinasyonunu kullanarak bir petrol rafinerisinin atıksuyunda %29,7 [54] ve Rattanapan ve diğ. CHF, asidifikasyon ve koagülasyon ile palmye yağı, yağ mahsulü araştırma-geliştirme biriminden aldıkları biyodizelden %95 [55] arıtım elde ettiklerini belirtmişlerdir. McLaughlin ve diğ. yerçekiminden faydalanarak yağ-su ayırıcısı kullanmış ve liman atığı akaryakıtları, damıtılmış yakıt yağı ve yağ emülsiyon karışımından %97 [56], PAN ve PA polimerleri kullanılarak uygulanan hibrit UF/ters osmoz (RO) membran arıtımı ile Salahi ve diğ. yağlı bir atıksudan %100 [57], hibrit PVDF MF/polietersülfon (PES) UF membranlar ile Masoudnia ve diğ. yağlı bir atıksudan %99,9 [58] ve batık fotokatalitik reaktör vasıtasıyla UV radyasyonu altında PVDF TiO<sub>2</sub> ile Ong ve diğ. ticari kesme yağı ve distile yağ karışımından oluşan sentetik yağlı atıksudan %90'a [59] varan oranlarda yağ giderimi elde etmişlerdir [18]. Literatür çalışmalarına ait olan bilgilerin özeti, Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Literatür özeti

Arıtım Yöntemleri	Atıksu İçeriği	Giderim Verimi
<i>Flotasyon</i>		
CHF	Rafineri yağı	%81,4 [21]
CHF	Sentetik endüstriyel yağ	%90 [22]
<i>Koagülasyon</i>		
Koagülasyon (CAX)	Yağ endüstri atıksuyu	%98 [24]
Koagülasyon (çinkosilikat-poliakrilamid)	Rafineri yağı	%99 [21]
Koagülasyon (polialüminyum çinko silikat)	Yağlı atıksu	%71,8 [23]
Elektrokoagülasyon (Pt/Ir ve Fe)	Temizlik maddesi, solvent, yağlayıcı, hidrolik yağ	%93,2 [26]
Elektrokoagülasyon	Bitkisel yağ karışımı	%99,36 [27]
Kimyasal koagülasyon + Elektrokoagülasyon (Ti/Ru <sub>2</sub> )	Biyodizel	%98 [28]
Elektrokoagülasyon (Al elektrodu)	Çamur, kirli balast suyu, atık yağ karışımından oluşan sintine su	%80 [29]
Elektrokoagülasyon (polialüminyum klorür)	Biyodizel	%100 [30]
Elektrokoagülasyon	Restoran atıksuyu	%95 [31]
<i>Membran Filtrasyonu</i>		

**Tablo 3 (Devamı).** Literatür özeti

Biyofilm+ MBR	Gemi atıksuyu	%98,9 [32]
MBR (HF PP)	Tuz, yağ, deniz sedimenti içeren karışım	%100 [33]
Çapraz akışlı membran filtrasyonu (MF-UF PS-PAN)	Amerikan Petrol Endüstrisi atıksuyu	%97,2 [34]
Membran filtrasyonu (düşük maliyetli seramik membran)	Sentetik atıksu	%98,8 [35]
Dinamik membran filtrasyonu (kompozit seramik)	Kerosen, yüzey aktif madde, musluk suyu karışımı	%99 [36]
Membran filtrasyonu (hidrofilik tübüler seramik membran)	Amerikan Petrol Endüstrisi atıksuyu	%85 [37]
Membran filtrasyonu (hidrofilik seramik kompozit membran)	Ham petrol endüstrisi	%93 [38]
Membran filtrasyonu (PVDF/PA)	Petrol yatağı + hipersalin içeren yağlı sentetik su	%98,9 [39]
Membran filtrasyonu (hidrofilik polimerik MF-UF membran)	Yağlı atıksu + gaz yağı	%95 [40]
Membran filtrasyonu (UF PSf)	Yağ, gres, sabun, deterjan, sodyum fosfat, sodyum silikat karışımı	%97 [41]
Membran filtrasyonu (UF PVDF-NF PVDF)	Bakır fabrikası atıksuyu	%98 - %100 [42]
Membran filtrasyonu + ekstrüzyon + karbonizasyon	Ham petrol + musluk suyu	%97 [43]
Dinamik çapraz akışlı membran filtrasyonu (zeolit/seramik)	Yağlayıcı + distile su + yüzey aktif madde karışımı	%99 [44]
<i>Biyolojik Artım</i>		
Aktif çamur (mantar lipazı)	Glukoz + pepton + fosfat içeren sentetik atıksu	%96,9 [45]
Aktif çamur (triasilgliserin lipaz) + adsorpsiyon	Yağlayıcı üreten bir şirketin atıksuyu	%48 [46]
Aktif çamur (biyolojik katkı maddesi – Bio-Amp)	Bir üniversitenin öğrenci yemekhanesi atıksuyu	%40 [47]
Konvansiyonel aktif çamur + batık biyolojik havalandırma	Petrol drenajı kuyusu	%95 [48]
Küçük ölçekli biyolojik sabit film havalandırılmalı filtre	Rafineri tesisi atıksuyu	%94 [49]
Biyosorpsiyon	Standart mineral + yağ + emülgatör içeren atıksu	%90 [50]
Biyosorpsiyon	Standart mineral yağ + bitkisel yağ + kesme yağı karışımı	%99 [51]
Biyobozunma ( <i>Pseudoxanthomonas</i> sp. RN402)	Dizel – ham petrol	%89- %83 [52]
Biyobozunma ( <i>Gordonia</i> sp. JC11)	Petrollü hidrokarbon içeren sintine su	%50 [53]
Havalandırılmalı biyolojik filtrasyon reaktörü	Petrol sahası drenaj kuyusu	%94 [48]
<i>Hibrit Sistemler</i>		
Asit kraking + CHF + aktif çamur	Liman akaryakıt tesisi	%98 [19]
Çöktürme + flotasyon	Yağ içeren atıksu	%90 [20]
Fiziksel artım + kimyasal artım (CHF) + biyolojik artım (aktif çamur + durultucu + çöktürme tankı)	Petrol rafinerisi atıksuyu	%29,7 [54]
CHF + asidifikasyon + koagülasyon	Palmiye yağı + yağ mahsulü biyodizel	%95 [55]
Yerçekimli yağ-su ayırıcısı	Tersane atık suyu + damıtılmış yakıt yağı + yağ emülsiyonu	%97 [56]
Membran filtrasyonu (UF/RO- PAN/PA)	Yağlı atıksu	%100 [57]
Membran filtrasyonu (MF/UF-PVDF/PES)	Yağlı atıksu	%99,9 [58]
Batık fotokatalitik reaktör + UV (PVDF + TiO <sub>2</sub> )	Ticari kesme yağı + distile yağ karışımı	%90 [59]

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Endüstriyel üretimin artmasıyla madeni yağların kullanımı da artmıştır. Hem ekonomik açıdan hem de atık olarak oluşturabilecekleri kirlilik yükü açısından madeni yağlar iyi değerlendirilmeli ve atık oluşumu mümkünse kaynağında önlenmelidir. Ekonomik açıdan incelendiğinde endüstride kullanılan atık yağların uygun yöntemlerle geri kazanımı mümkündür ve geri kazanımdaki amaç madeni yağın esasını oluşturan baz yağı geri kazanabilmektir. Geri kazanım yöntemlerinden en ideali olan distilasyon/hidroartım yöntemi ile atık yağdan %90-95 oranında ve yüksek kalitede baz



yağın elde edilebildiğini söylemek mümkündür. Çevre, insan ve diğer canlıların sağlığı açısından inceleme yapıldığında ise atık yağların sulara karıştığı durumlarda sudaki yağın en yüksek verimlilikle giderildiği yöntemler tercih edilmelidir. Atıksulardan atık yağ giderimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, en yüksek yağ arıtımını elektrokoagülasyon yöntemi ile nanofiltrasyon (NF) membran ve/veya ultrafiltrasyon/ters osmoz (UF+RO) membran filtrasyonunun sağladığını söylemek mümkündür. Bu arıtım yöntemleri uygulanarak atıksudan %100 oranında atık yağ uzaklaştırılabilmektedir.

## 5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Çalışmaya olan desteklerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Sevgi GÜNEŞ DURAK'a teşekkürlerimi sunarım. E.G.G.: Literatür taraması ve makale yazımı.

## 6. Kaynaklar

- [1]. Tetteh, E. K., Rathilal, S., "Effects of a polymeric organic coagulant for industrial mineral oil wastewater treatment using response surface methodology (RSM)," *Water SA*, 44(2), 155–161, 2018.
- [2]. Gosalia, A., "Sustainability and the Global Lubricants Industry," *The European Lubricants Industry Magazine*, 109, 2012.
- [3]. Tetteh, E. K., Rathilal, S., Chollom, M. N., "Treatment of Industrial Mineral Oil Wastewater-Optimisation of Coagulation Flotation process using Response Surface Methodology (RSM)," *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(23), 13084–13091, 2017. Retrieved from <http://www.ripublication.com>.
- [4]. Özbey, A., Metin, E., (n.d.) "Atık Yağların Yönetimi," *PETDER*, Retrieved November 12, 2021, from <https://www.petder.org.tr/Uploads/Document/02cfc115-a858-49ad-98b0-0c1a0f4c1a8e.pdf?v-636450635310213718>.
- [5]. Neftçi, A., "Petrol Rafineri Tipleri", 2015. Retrieved October 1, 2021, from <http://docplayer.biz.tr/6268450-Petrol-rafineri-tipleri.html>.
- [6]. Rac, A., Vencl, A., "Ecological and Technical Aspects of the waste Oils Influence on the Environment," *Tribology*, 18(1), 2012.
- [7]. Mordor Intelligence, "Lubricants Market | Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021- 2026), 2020. Retrieved October 1, 2021, from <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lubricants-market>.
- [8]. Hirani, H., *Fundamentals of Engineering Tribology with Applications*. Delhi: Cambridge University Press, 2016.
- [9]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, December 21 "Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği," *Resmi Gazete*, 2019. Retrieved September 28, 2021, from <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/yon-30985at-kyagyonynt-20201224171101.pdf>.
- [10]. O, A. A., Jameel, A. T., Muyubi, S. A., Karim, M. I. A., Alam, and Md. Z., "Removal of Oil and Grease as Emerging Pollutants of Concern (EPC) in Wastewater Stream," *IJUM Engineering Journal*, 12(4), 2011.
- [11]. Aljuboury, D. A. D. A., Palaniandy, P., Abdul Aziz, H. B., Feroz, S., "Treatment of petroleum wastewater by conventional and new technologies - A review," *Global Nest Journal*, 19(3), 439–452, 2017.
- [12]. Emam, E. A., Shoaib, A. M., "Re-refining of Used Lube Oil, II-by Solvent/Clay and Acid/Clay-Percolation Processes," *ARNP Journal of Science and Technology*, 2(11), 2012. Retrieved from <http://www.ejournalofscience.org>.

- [13]. Abu-Ellella, R., Ossman, M. E., Farouq, R. M., Abd-Elfatah, M., “Used Motor Oil Treatment: Turning Waste Oil Into Valuable Products,” *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 7(2015), 57–67, 2015. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.714.8676&rep=rep1&type=pdf>
- [14]. Rincón, J., Cañizares, P., García, M. T., Gracia, I., “Regeneration of Used Lubricant Oil by Propane Extraction,” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42(20), 4867–4873, 2003.
- [15]. Vural, U. S., “Waste Mineral Oils Re-Refining with Physicochemical Methods,” *Turkey Turkish Journal of Engineering (TUJE)*, 4(2), 62–69, 2020.
- [16]. Kumar, S., Bajwa, N. S., Rana, B. S., Nanoti, S. M., Garg, M. O., “Desulfurization of gas oil using a distillation, extraction and hydrotreating-based integrated process,” *Fuel*, 220, 754–762, 2018.
- [17]. Betton, C. I., “Lubricants and Their Environmental Impact,” In R. Mortier, M. F. Fox, & S. T. Orszulik (Eds.), *Chemistry and Tech of Lubricants* (3rd ed., pp. 435–457). London: Springer Science and Business Media B.V., 2010.
- [18]. Jamaly, S., Giwa, A., Hasan, S. W., “Recent improvements in oily wastewater treatment: Progress, challenges, and future opportunities,” *Journal of Environmental Sciences*, 37, 15–30, 2015.
- [19]. Erol Nalbur, B., Karaelli, E., “Petrol İçeren Atıksuların Arıtılabilirliği ve Arıtım Sisteminin Tasarlanması,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt*, 24(1), 231–242, 2019.
- [20]. Wang, T., “Improve the efficiency of the sewage settling tank degreasing with flotation,” *Oil-Gasfield Surface Engineering*, 26(7), 26–27, 2007. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85006561078&origin=inward&txGid=b99ec0606118e5822166ec9311914c42>.
- [21]. Zhu, D. H., Zheng, Z. H., “Application of MAF Air Flotation Technology in Refinery Wastewater Treatment,” *Environment Protection in Petrochemical Industry*, 25(3), 16–18, 2002. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85006575501&origin=inward&txGid=d01d192f641769264835456a2a95560e>.
- [22]. Al-Shamrani, A. A., James, A., Xiao, H., “Separation of oil from water by dissolved air flotation,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 209(1), 15–26, 2002.
- [23]. Yu, L., Han, M., He, F., “A review of treating oily wastewater,” *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1913–S1922, 2017.
- [24]. Lin, Z. S., Wen, W., “Study on Oily Wastewater Treatment with CAX Composite Coagulator,” *Mar. Environ. Sci.*, 22, 15–19, 2003. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84958168708&origin=inward&txGid=9d3e30509bad1485de31db773650a5b0>.
- [25]. Cong, L. N., Liu, Y. J., Hao, B., “Synthesis and application of PAZSC in oily wastewater treatment,” *Chem. Eng.*, 1(1), 5–9, 2011. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85006629907&origin=inward&txGid=cf2e17382f90cadede3f5c33731ac9ed>.
- [26]. Körbahti, B. K., Artut, K., “Electrochemical oil/water demulsification and purification of bilge water using Pt/Ir electrodes,” *Desalination*, 258(1–3), 219–228, 2010.
- [27]. Ngamlerdpokin, K., Kumjadpai, S., Chatanon, P., Tungmanee, U., Chuenchuanom, S., Jaruwat, P., ... Hunsom, M., “Remediation of biodiesel wastewater by chemical- and electro-coagulation: A comparative study,” *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2454–2460, 2011.
- [28]. Jaruwat, P., Kongjao, S., Hunsom, M., “Management of biodiesel wastewater by the combined processes of chemical recovery and electrochemical treatment,” *Energy Conversion and Management*, 51(3), 531–537, 2010.

- [29]. Sekman, E., Top, S., Uslu, E., Varank, G., Bilgili, M. S., "Treatment of Oily Wastewater From Port Waste Reception Facilities by Electrocoagulation," *International Journal of Environmental Research*, 5(4), 1079–1086, 2011.
- [30]. Ahmadi, S., Sardari, E., Javadian, H. R., Katal, R., Sefti, M. V., "Removal of oil from biodiesel wastewater by electrocoagulation method," *Korean Journal of Chemical Engineering* 2012 30:3, 30(3), 634–641, 2012.
- [31]. Xu, X., Zhu, X., "Treatment of refractory oily wastewater by electro-coagulation process," *Chemosphere*, 56(10), 889–894, 2004.
- [32]. Sun, C., Leiknes, T. O., Weitzenböck, J., Thorstensen, B., "Development of a biofilm-MBR for shipboard wastewater treatment: The effect of process configuration," *Desalination*, 250(2), 745–750, 2010.
- [33]. Soltani, S., Mowla, D., Vossoughi, M., Hesampour, M., "Experimental investigation of oily water treatment by membrane bioreactor," *Desalination*, 250(2), 598–600, 2010.
- [34]. Salahi, A., Gheshlaghi, A., Mohammadi, T., Madaeni, S. S., "Experimental performance evaluation of polymeric membranes for treatment of an industrial oily wastewater," *Desalination*, 262(1–3), 235–242, 2010.
- [35]. Nandi, B. K., Moparthy, A., Uppaluri, R., Purkait, M. K., "Treatment of oily wastewater using low cost ceramic membrane: Comparative assessment of pore blocking and artificial neural network models," *Chemical Engineering Research and Design*, 88(7), 881–892, 2010.
- [36]. Yang, T., Ma, Z. F., Yang, Q. Y., "Formation and performance of Kaolin/MnO<sub>2</sub> bi-layer composite dynamic membrane for oily wastewater treatment: Effect of solution conditions," *Desalination*, 270(1–3), 50–56, 2011.
- [37]. Abadi, S. R. H., Sebzari, M. R., Hemati, M., Rekabdar, F., Mohammadi, T., "Ceramic membrane performance in microfiltration of oily wastewater," *Desalination*, 265(1–3), 222–228, 2011.
- [38]. Mittal, P., Jana, S., Mohanty, K., "Synthesis of low-cost hydrophilic ceramic–polymeric composite membrane for treatment of oily wastewater," *Desalination*, 282, 54–62, 2011.
- [39]. Pendashteh, A. R., Abdullah, L. C., Fakhru'L-Razi, A., Madaeni, S. S., Zainal Abidin, Z., Awang Biak, D. R., "Evaluation of membrane bioreactor for hypersaline oily wastewater treatment," *Process Safety and Environmental Protection*, 90(1), 45–55, 2012.
- [40]. Madaeni, S. S., Gheshlaghi, A., Rekabdar, F., "Membrane treatment of oily wastewater from refinery processes," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 8(1), 45–53, 2013.
- [41]. Noshadi, I., Salahi, A., Hemmati, M., Rekabdar, F., Mohammadi, T., "Experimental and ANFIS modeling for fouling analysis of oily wastewater treatment using ultrafiltration," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 8(4), 527–538, 2013.
- [42]. Karakulski, K., Morawski A. W., "Recovery of process water from spent emulsions generated in copper cable factory," *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1667–1671, 2011. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410016213>.
- [43]. Song, C., Wang, T., Pan, Y., Qiu, J., "Preparation of coal-based microfiltration carbon membrane and application in oily wastewater treatment," *Separation and Purification Technology*, 51(1), 80–84, 2006.
- [44]. Cui, J., Zhang, X., Liu, H., Liu, S., Yeung, K. L., "Preparation and application of zeolite/ceramic microfiltration membranes for treatment of oil contaminated water," *Journal of Membrane Science*, 325(1), 420–426, 2008.
- [45]. Song, H., Zhou, L., Zhang, L., Gao, B., Wei, D., Shen, Y., ... Jiang, Z., "Construction of a whole-cell catalyst displaying a fungal lipase for effective treatment of oily wastewaters," *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 71(3–4), 166–170, 2011.

- [46]. Dumore, N. S., Mukhopadhyay, M., "Removal of oil and grease using immobilized triacylglycerin lipase," *International Biodeterioration & Biodegradation*, 68, 65–70, 2012.
- [47]. Tang, H. L., Xie, Y. F., Chen, Y. C., "Use of Bio-Amp, a commercial bio-additive for the treatment of grease trap wastewater containing fat, oil, and grease," *Bioresource Technology*, 124, 52–58, 2012.
- [48]. Zhao, X., Wang, Y., Ye, Z., Borthwick, A. G. L., Ni, J., "Oil field wastewater treatment in Biological Aerated Filter by immobilized microorganisms," *Process Biochemistry*, 41(7), 1475–1483, 2006.
- [49]. Xie, W., Zhong, L., Chen, J., "Treatment of slightly polluted wastewater in an oil refinery using a biological aerated filter process," *Wuhan University Journal of Natural Sciences* 2007 12:6, 12(6), 1094–1098, 2007.
- [50]. Ibrahim, S., Ang, H.-M., Wang, S., "Adsorptive separation of emulsified oil in wastewater using biosorbents," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 7(SUPPL. 2), S216–S221, 2012.
- [51]. Srinivasan, A., Viraraghavan, T., "Oil removal from water by fungal biomass: A factorial design analysis," *Journal of Hazardous Materials*, 175(1–3), 695–702, 2010.
- [52]. Nopcharoenkul, W., Netsakulnee, P., Pinyakong, O., "Diesel oil removal by immobilized *Pseudoxanthomonas* sp. RN402," *Biodegradation*, 24, 387–397, 2013.
- [53]. Chanthamalee, J., Wongchitphimon, T., Luepromchai, E., "Treatment of Oily Bilge Water from Small Fishing Vessels by PUF-Immobilized *Gordonia* sp. JC11," *Water, Air, & Soil Pollution* 2013 224:7, 224(7), 1–13, 2013.
- [54]. Otadi, N., Hassani, A. H., Javid, A. H., Khiabani, F. F., "Oily compounds removal in wastewater treatment system of pars oil refinery to improve its efficiency in a lab scale pilot," *Journal of Water Chemistry and Technology* 2010 32:6, 32(6), 370–377, 2011.
- [55]. Rattanapan, C., Sawain, A., Suksaroj, T., Suksaroj, C., "Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes," *Desalination*, 280(1–3), 370–377, 2011.
- [56]. McLaughlin, C., Falatko, D., Danesi, R., Albert, R., "Characterizing shipboard bilgewater effluent before and after treatment," *Environmental Science and Pollution Research* 2014 21:8, 21(8), 5637–5652, 2014.
- [57]. Salahi, A., Badrnezhad, R., Abbasi, M., Mohammadi, T., Rekabdar, F., "Oily wastewater treatment using a hybrid UF/RO system," *New pub: Balaban*, 28(1–3), 75–82, 2012.
- [58]. Masoudnia, K., Raisi, A., Aroujalian, A., Fathizadeh, M., "A hybrid microfiltration/ultrafiltration membrane process for treatment of oily wastewater," *New pub: Balaban*, 55(4), 901–912, 2014.
- [59]. Ong, C. S., Lau, W. J., Goh, P. S., Ng, B. C., Ismail, A. F., "Investigation of submerged membrane photocatalytic reactor (sMPR) operating parameters during oily wastewater treatment process," *Desalination*, 353, 48–56, 2014.