
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 26.07.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 09.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.336946	

Biyodizel atıksularında elektrokoagülasyon yöntemi ile MeOH ve KOİ gideriminin araştırılması

N.Pınar Tanattı¹, İ.Ayhan Şengil, Halil Aksu, Meryem Mehmetbaşıoğlu, Büşra Erden

ÖZ

Biyodizel atıksuları yüksek miktarda yağ, metanol, sabun ve gliserin içermektedir. Biyodizel üretiminin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri içerdiği yüksek kirlilik yükü nedeniyle geleneksel arıtma yöntemleri kullanılarak arıtılmamasıdır ve durum araştırmacıların oldukça ilgisini çekmektedir. Bu çalışmanın ana amacı, transesterifikasyon yöntemiyle üretilen biyodizel atıksularının laboratuvar ölçeğinde elektrokoagülasyon yöntemi ile kesikli bir reaktörde arıtılabilirliğinin incelenmesidir. EC prosesinde, başlangıç atıksu pH değeri 6, tuz miktarı 0,5 g/L, akım yoğunluğu 0,7 mA/cm² ve elektroliz süresi 2 dakika belirlenmiştir. 2 dakikalık elektrokoagülasyon prosesi sonucunda %64,2 MeOH ve %95,8 KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre MeOH ve KOİ gideriminde işletme boyunca elektrokoagülasyon yöntemi daha yüksek miktarda MeOH ve KOİ giderimi sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrokoagülasyon, biyodizel atıksuyu, Metanol

Treatment of MeOH and COD removal in biodiesel wastewaters by electrocoagulation

ABSTRACT

The main components of the wastewater are the residual remaining oil, methanol, glycerol, soap. In general, wastewater from the biodiesel processing industry contains high concentrations of COD, TOC, Glycerol, methanol and oil and/or grease such as 250 000- 450 000 mg L⁻¹, 54 000- 110 000 mg L⁻¹, 800-1500 mg L⁻¹, 6 000- 15 000 mg L⁻¹ and 15 000 mg L⁻¹, respectively. In this respect, biodiesel wastewater should not be discharged into public drainage because the oil causes clogging of the drainage and decreases biological activity in sewage treatment. The initial aim of this study is, investigation of, treatability of the biodiesel washing water, maintained by the esterification process with fulfillment laboratory scale studies. In this study, the treatment of biodiesel wastewater by electrocoagulation was investigated carried out in a batch reactor. Removal efficiencies for 64.2% of MeOH and 95.8% KOİ were obtained at wastewater initial pH 6, NaCl dose 0.5 g/L, current density of 0.7 mA/cm² and 2 min of operating time. According to these results, MeOH and COD removal are provided by the electrocoagulation method during operation at a higher amount of MeOH and COD removal.

Stet clita kasd gub rgren, no

Keywords: Electrocoagulation, Biodiesel wastewater, Methanol

¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Esentepe/SAKARYA
ptanatti@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için günümüz tüketim toplumlarında enerji ihtiyacının günden güne artmasına karşın enerji üretim kaynaklarının güvenilirliği önem kazanmıştır. 2015 yılı itibari ile dünyanın enerji ihtiyacının % 87'si petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. İngiliz petrol şirketi BP'nin verilerine göre 2014 yılı itibari ile dünya petrol rezervlerinin ömrü 56,8 yıl olarak belirlenmiştir [1].

Bunun yanında Fosil yakıtlar için biçilmiş bu kısa ömür ve var olan çevresel etkileri ikame yakıt üretimi ihtiyacını doğurmuştur [2]. Petrol türevli dizel yakıtı bir alternatif olan biyodizel yakıtı da bu açıdan oldukça dikkat çekmektedir.

Biyodizel bitkisel, hayvansal yağlar, kullanılmış pişirme yağları ve hatta algler gibi yenilenebilir kaynaklarının bir katalizör eşliğinde metanol veya etanol gibi kısa zincirli bir alkolle reaksiyonu sonucu ortaya çıkan dizel yakıtı alternatif bir yakıt türüdür[3].Biyodizel sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler açısından petrol kaynaklı dizel yakıtın yerini alabilecek[4]ve emisyon özellikleri iyileştirilen dizel motorlu araçlarda kullanımı mümkün en önemli çevre dostu alternatif yakıt türüdür [5].Bu yakıt daha temiz bir yanma, kullanımı kolay, biyolojik olarak parçalanabilirliği mümkün ve toksik değildir. Biyodizelle karıştırılan petrol esaslı dizel yakıtın yanması oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerlerini düşürür [6-13].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması konusunda Türkiye de 2009 yılı itibari ile önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Ülkemiz toplam yenilenebilir enerji üretimi kurulu güç kapasitesi 2009 yılında 15,5 GW olarak kaydedilmiş iken 2016 yılında bu miktar 34,2 GW ile iki kattan fazla artış göstermiştir [14].

Tüm bu avantajlarının yanında biyodizel yakıtının önemli bir dezavantajı mevcuttur. Biyodizel üretimi sırasında kullanılan transesterifikasyon prosesi sonucunda oluşan atıksular yüksek oranda organik madde ihtiva etmektedir. Biyodizel atıksuyunun kirlilik parametreleri incelendiğinde kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 300000-400000 mg/L, toplam organik karbon (TOK) 54000-

110000 mg/L, yağ-gres 17000-25000 mg/L, metanol 15000-6000mg/L ve gliserin 800-1500 mg/L değerleri karşımıza çıkmaktadır[15]. Bu düzeyde bir kirliliğe sahip atıksuların arıtımı oldukça zor olup bilinen yöntemlerde arıtımı yapılamamaktadır.Bu konuda literatürde yapılmış kimyasal ve biyolojik çalışmalar çok az sayıdadır.

Özellikle 2009 yılından sonra alternatif enerji kaynaklarının üretiminin artırılması konusundaki gelişmeler ile ülkemizde de biyodizel üretim trendinin artmaya devam ettiği bilinmektedir. Alkali kataliz transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üreten tesislerinin sayısının artması nedeniyle, bu tesislerin oluşturduğu yüksek kirlilik yüküne sahip atıksuların arıtım problemi ortaya çıkmıştır. Biyolojik olarak bu tip atıksuların arıtımının mümkün olması ancak bir ön arıtım ve ikincil bir ileri arıtımın yapılması ile gerçekleştirilebilmektedir. Ön arıtımın ardından oluşan yüksek miktarda gliserin ve metanol bu durumu ortaya çıkarmıştır. Elektrokoagülasyon işlemideelektrik akımı kullanılarak iyon ya da kolloidal yük nötralize edilir. Uygun bir çözünür anot ile katottan oluşan elektroliz sistemi elektrokoagülasyon prosesini oluşturmaktadır. Bu sistemde anodun çözülmesiyle 3 değerli katyonlar meydana gelir ve koagülantı oluşturur. Böylece gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda anotta açığa çıkan metal iyonları su ile reaksiyona girer ve metal oksitler ile hidroksitleri oluştururlar. Atıksudaki partikül maddeler anotta elektriksel olarak üreten metal iyonları ve oksit/hidroksitleri ile koagüle edebilirler [16].Bu çalışmada alkali kataliz transesterifikasyon yöntemi ile üretilen biyodizel atıksuyunun elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılması araştırılmıştır. Elektrokoagülasyon prosesi çalışmaları boyunca atıksuyun başlangıç pH'ı, tuz konsantrasyonu, akım yoğunluğu ve elektroliz zamanlarının KOİ ve MeOH giderme verimleri üzerine etkileri laboratuvar ölçekli kesikli reaktörlerde çalışılarak optimum koşulların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın amacına ulaşması halinde, ülkemizin önemli bir çevre problemi çözülmüş olacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

(MATERIAL AND METHOD)

2.1. Biyodizel Atıksuyunun Karakteristiği (Characterization of Biodiesel Wastewater)

Deneylerde kullanılacak olan atıksu özelliklerinin değişimini en aza indirmek için ve biyodizel endüstrisinin biyodizel üretimine ara vermesi nedeniyle deneylerde kullanılacak olan biyodizel atıksuyu laboratuvarında üretilmiştir.

Metil ester üretimi için, reaksiyon girdisi olarak 1 L yağ için 200 mL metanol, 4,9 g KOH kullanılmıştır. İlk olarak, katalizör olarak kullanılacak olan KOH, metanol içerisinde karıştırılmak suretiyle çözündürülmüş, daha sonra alkol-katalizör karışımı o sırada başka bir kabın içerisinde 40°C'ye kadar ısıtılmış durumda bekleyen yağın içerisine boşaltılmıştır.

Daha sonra bu karışım, 1 saat boyunca 55-60 °C sabit sıcaklıkta karıştırılmaya tabi tutulmuştur. Karıştırma işlemi için sıcaklık termostatlı ve devir ayarlı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma durdurulduğunda, açık kahverengi renkte 'gliserin' tabakası çökmeye başlamış ve iki faz oluşmuştur. Bir gece boyunca ayrışmanın tamamen gerçekleşebilmesi için bekletilen "ester + gliserin", daha sonra birbirinden ayrılarak ester tabakası ayrı bir kaba alınmıştır. Elde edilen esterin içerisinde reaksiyondan arta kalan alkol, katalizör, gliserin vs. artıklarını uzaklaştırmak için yıkama işlemi yapılmıştır. Bu işlem için, bir kaba ester hacminin yarısı kadar saf su ilave edilmiş, hava pompası ve hava taşı vasıtasıyla kabarcıklı bir şekilde yıkama yapılmıştır. İlk yıkama yaklaşık 7-8 saat sürmüş, ihtiyaca göre tekrar edilmiştir[17].

Tablo 1. Biyodizel atıksuyunun karakteristiği (Characterization of Biodiesel Wastewater).

Parametre	Değer
pH	10,35
Yağ-Gres (g/L)	20,3
KOİ (g/L)	389
TOK (g/L)	77
MeOH (g/L)	21,1

2.2. Metanol (MeOH) ve KOİ Analizi (Analysis of Methanol (MeOH) and KOI)

Metanol analizi SHIMADZU UV/Vis 1700 Marka spektrofotometre ile ölçülmüştür.

Metanol Analizinde Kullanılan Reaktifler:

100' er ml %10' luk (m/v) sodyum nitropruzit, %10' luk (m/v) potasyum ferrisiyanat ve %5' lik (m/v) sodyum hidroksit çözeltisi kullanılmıştır. Çözeltiler plastik kapta karıştırılarak 600 mL' ye saf su ile tamamlanmıştır ve kromojenik ayıraç (SNP) elde edilmiştir. MERK marka (Gas Chromatography Grade) Metanol stok çözeltide kullanılmıştır [18].

Metanol Analizi için Numunelerin Hazırlanması ve ölçülmesi:

1 mL numuneye 6 mL SNP eklenir ve 1 dk çalkalanır. Oda sıcaklığında 45 dk beklenir ve 481 nm dalga boyunda absorbanlıkları okunur [18].

KOİ Analizi:

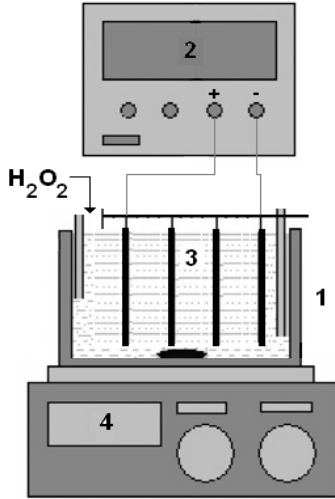
Kimyasal oksijen ihtiyacı analizleri Standart Methods 5220-D-COD-2005-P:5-20' e göre yapılmıştır.

2.3. Elektrokoagülasyon Çalışmaları (Studies of Electrocoagulation)

Elektrokoagülasyon demir ve alüminyum anotların çözünmesi sonucunda oluşan 3 değerli kanyonları oluşturur. Bu kanyonların koagülant etkisinin yanı sıra katotta oluşan hidrojen gazı yumakların ve yağ-gresin flote olmasını sağlar. Elektrokoagülasyon, özellikle yağlı atıksuların arıtılmasında çok etkilidir. Biyodizel atıksuları yüksek oranda yağ-gres içerdiğinden, ön arıtmada elektrokoagülasyon işleminden yararlanabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla bir elektrokoagülasyon sistemi ile kesikli çalışmalar yapılması amaçlanmıştır.

Kesikli deneylerin yapıldığı elektrokimyasal reaktör Şekil 1'de görülmektedir. Demir plakalardan yapılmış olan 4 adet elektrot bipolar şekilde bağlanmıştır. Reaktörde her bir demir elektrotun boyutu 6x12x0,15 cm ve toplam etkili elektrot alanı 144 cm² ve elektrotlar arası uzaklık 7,5 mm olacak şekilde dizayn edilmiştir. Güç kaynağı maksimum 0-30 V ve 0-5 A arasında

çalışacak şekilde seçilmiştir. Her bir deneyden önce, elektrotların yüzeyinde bulunan oksit ve diğer kalıntıların giderilmesi için elektrotlar, HCl (%35;1/1) çözeltisine 5 dakika bekletilmiş ve daha sonra saf su ile çalkalanacaktır. Elektrokoagülasyon işlemi tamamlandıktan sonra numuneler santrifüjlenerek analiz edilecektir.



Şekil 1. Elektrokoagülasyon (1: kesikli reaktör 2: dc güç kaynağı, 3; bipolar elektrotlar, 4: magnetik karıştırıcı) (Schematic diagram of experimental setup (1: electrocoagulation cell, 2: dc power supply, 3; bipolar electrodes ,4: magnetic stirrer))

3. DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

3.1. Başlangıç pH'ının Etkisi (Effect of Initial pH)

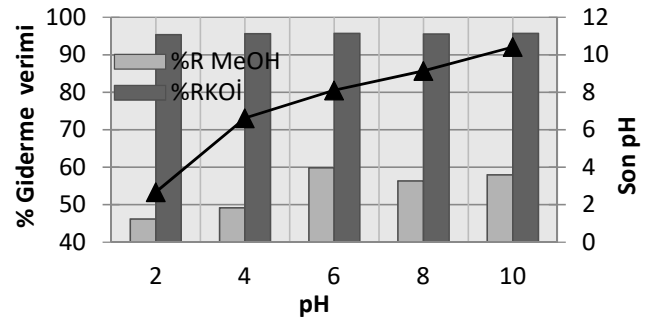
Elektrokoagülasyon yönteminin performansı üzerine etkili olan en önemli parametre pH'ıdır. Farklı pH değerleri ile koagülant partikülleri yüzeyden geçerken kinetik olarak Fe^{+2} Fe^{+3} e dönüşmektedir [19].

Biyodizel atıksuyunda pH'ın metanol (MeOH) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderme verimleri üzerine etkisini incelemek için değişik pH değerlerinde atıksu numuneleri ile çalışılmıştır. Elektrokoagülasyon yönteminin performansı üzerine etkili olan en önemli parametre pH'ıdır. Farklı pH değerleri ile koagülant partikülleri yüzeyden geçerken kinetik olarak Fe^{+2} Fe^{+3} e dönüşmektedir [19].

Biyodizel atıksuyunda pH'ın metanol (MeOH) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderme verimleri üzerine etkisini incelemek için değişik pH değerlerinde atıksu numuneleri ile çalışılmıştır.

Şekil 2' den görüldüğü gibi, elektrokoagülasyon işlemi süresince çözeltinin pH'ı katotta hidrojen deşarjı nedeniyle artmaktadır [20,21]. Elektrotların kimyasal çözünmesi ile hidrojen tüketilir ve pH artar [22]. Son pH elektrokoagülasyonda çok önemlidir. Demir elektrotta başlangıç pH'ı 6 iken bitiş pH'ının 8,1 olduğu belirlenmiştir. Farklı pH' larda bulunan sonuçlara göre EC prosesi için biyodizel atıksuyunun başlangıç pH'ının 6' ya ayarlanmasının uygun olacağı belirlenmiştir. Fe elektrot ile elektrokoagülasyon sırasında $Fe(H_2O)_4(OH)_2(k)$ ve $Fe_2O_3(H_2O)_6(k)$ türleri oluşmaktadır [23].

Şekil 2' den görüldüğü gibi başlangıç pH'ının KOİ giderme verimine etkisi her pH' da aynı olmasına rağmen MeOH giderme verimi üzerine etkisi pH 6' da yüksek olmaktadır. 10 dakika elektroliz süresi için en iyi giderim sonuçları pH 6' da ve $0,7 \text{ mA/cm}^2$ lik akım yoğunluğunda gözlemlenmiştir. Demir elektrot için MeOH giderme verimi 56,3 iken KOİ giderme verimi yaklaşık %95,6' dır. MeOH miktarları EC prosesinde pH 6' da 21133 mg/L' den 8490 mg/L ye düşmüştür.



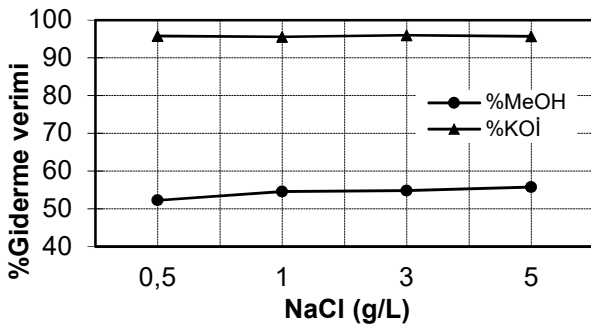
Şekil 2. Başlangıç pH'ının MeOH ve KOİ giderme verimi üzerine etkisi ($i = 0,7 \text{ mA/cm}^2$; $C_{o,MeOH} = 21133 \text{ mg/L}$; $C_{o,KOİ} = 389000 \text{ mg/L}$; $t = 10 \text{ dk}$; $NaCl = 1 \text{ g L}^{-1}$; $T = 298 \text{ K}$; Karıştırma hız = 120 rpm) (The effect of initial pH on the MeOH and COD removal efficiency)

3.2. İletkenliğin etkisi (Effect of Conductivity)

EC proseste iletkenliği sağlamak amacıyla en çok NaCl kullanılmaktadır. Elektrolitik hücrelerindeki elektriksel enerjinin hücre voltaj ve tüketimi çözelti iletkenliğinde akım verimliliğini etkilemektedir. Atıksuyun iletkenliği uygun miktarda NaCl' nin eklenmesi ile istenen seviyeye ayarlanmaktadır.

Biyodizel atıksuyunda 0,5 g/L ile 5 g/L tuz miktarları arasında çalışılmıştır. Burada amaç biyodizel atıksuyunun iletkenliği çok düşük olduğu için atıksuyun iletkenliğini artırmaktır. En iyi sonuç veren tuz konsantrasyonunu bulmak için pH 6' da, 0,7 mA/cm² akım yoğunluğunda 10 dakika elektroliz süresinde çalışılmıştır.

Şekil 3.' den görüldüğü gibi, tuz konsantrasyonu 0,5 g/L olduğunda MeOH giderme verimi % 52,3 iken KOİ giderme verimi % 95, 8, tuz konsantrasyonu 5 g/L olduğunda ise MeOH giderme verimi % 55,8 iken KOİ giderme verimi % 95,7 olarak bulunmuştur. Elektroliz süresi 10 dk olarak tutulduğunda tuz miktarının giderme verimi üzerine etkisi yüksek miktarda olmamaktadır. MeOH giderimi en iyi 1 g/L tuz konsantrasyonunda elde edilmiştir. 1 g/L tuz konsantrasyonunda MeOH giderme verimi % 54, 6 iken KOİ giderme verimi % 95,6 olarak bulunmuştur. MeOH değeri 9600 mg/L düşerken KOİ değeri 17310 mg/L düşmektedir. MeOH ve KOİ giderme verimleri dikkate alındığında iletkenliği sağlamak için 0,5 g/L tuz konsantrasyonu seçilmiştir.



Şekil 3. İletkenliğin MeOH ve KOİ giderme verimi üzerine etkisi (pH=6; $i = 0,7 \text{ mA/cm}^2$; $C_{o,MeOH} = 21133 \text{ mg/L}$; $C_{o,KOİ} = 389000 \text{ mg/L}$; $t = 10 \text{ dk}$; $T = 298 \text{ K}$; Karıştırma hız = 120 rpm) (The effect of conductivity on the MeOH and COD removal efficiency)

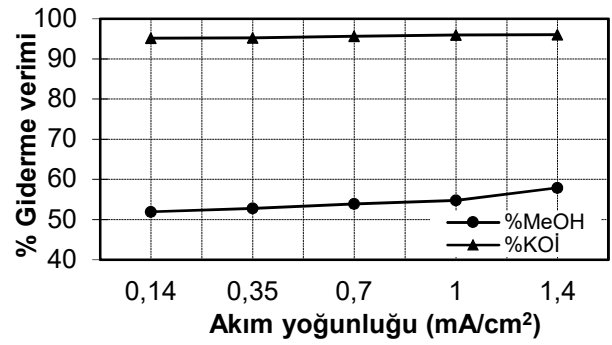
3.3. Akım yoğunluğunun etkisi (Effect of Current Density)

EC metodunda, bir elektriksel güç kaynağından sulu çözelti içerisindeki metal elektrotlara akım ve voltaj uygulanırsa anot elektrotlarda yükseltgenme ve katot elektrotlarda ise indirgenme reaksiyonları gerçekleşecektir. Akım yoğunluğunun belirlenmesinde koagülant üretim hızı, kabarcık

üretim hızı ve büyüklüğü ve bu nedenlerden dolayı flokların gelişimine etkisi olduğu bilinmektedir [21,24].

Biyodizel atıksuyunda tuz çalışmasından yararlanılarak 0,5 g/L tuz miktarları seçilmiştir. Burada amaç biyodizel atıksuyunun farklı akım yoğunluklarına bağlı olarak atıksuyun giderme verimleri hangi akım yoğunluklarında giderildiğini araştırmaktır.

Şekil 4' den görüldüğü gibi, farklı akım yoğunluklarının 10 dk elektrokoagülasyon işlemi boyunca KOİ giderme verimleri etkisi olmadığı anlaşılmaktadır ancak MeOH giderme verimi üzerine KOİ gideriminden daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. 0,14 mA/cm² akım yoğunluğunda demir elektrotta MeOH ve KOİ giderme verimleri 10 dk sonunda sırayla %51,9 ve %95,2 iken 1,4 akım yoğunluğunda %57,9 ve %96,0 olmaktadır. MeOH ve KOİ giderme miktarları sırası ile EC' de 10160 mg/L' den 8900 mg/L' ye, 18830 mg/L' den 15390 mg/L' ye düşmüştür.



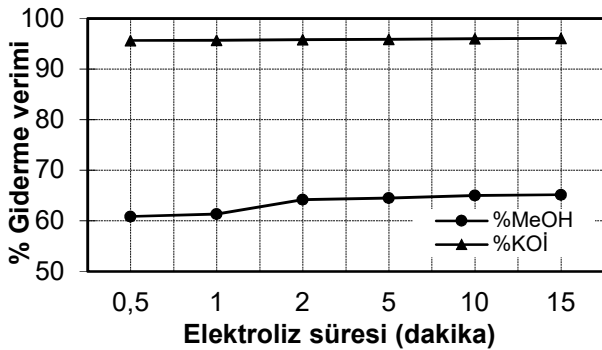
Şekil 4. Akım yoğunluğunun MeOH ve KOİ giderme verimi üzerine etkisi (pH=6; $C_{o,MeOH} = 21133 \text{ mg/L}$; $C_{o,KOİ} = 389000 \text{ mg/L}$; $t = 10 \text{ dk}$; $\text{NaCl} = 0,5 \text{ g/L}$; $T = 298 \text{ K}$; Karıştırma hız = 120 rpm) (The effect of current density on the MeOH and COD removal efficiency)

3.4. Elektroliz Zamanının Etkisi (Effect of Electrolysis Time)

Elektroliz zamanı (t) elektrotlarda iyonların üretim hızları ile belirlenmektedir. Biyodizel atıksuyunda 0,7 mA/cm² akım yoğunluğunda MeOH ve KOİ giderme verimleri incelenmiştir. Daha önceki çalışmalarından yararlanılarak pH 6' da çalışmalar yürütülmüştür.

MeOH ve KOİ giderme verimi ile elektroliz zamanı arasındaki bağıntı Şekil 5' de gösterilmektedir. Elektroliz zamanı olarak 0,5

0,5 dakika ile 15 dakika arasında çalışılmıştır. Elektroliz zamanı 0,5 dakikadan 15 dakikaya kadar demir elektrotun performansında yavaş yavaş artış gözlemlenmiştir. MeOH giderme verimi 0,5 dakikada %60,9 iken 15 dakikada %65,2 ve KOİ giderme verimi 0,5 dakikada %95,7' den 15 dakikada %96,1' e yükselmiştir. MeOH giderimi 2 dakikadan sonra çok etkilenmediği için optimum elektroliz süresi 2 dakika seçilmiştir. 2 dakikada MeOH ve KOİ giderme verimleri sırasıyla %64,2 ve %95,8 olarak bulunmuştur. 2 dakikada MeOH değeri 7570 mg/L' ye düşerken KOİ değeri 16230 mg/L'ye düşmektedir.



Şekil 5. Elektroliz süresinin MeOH ve KOİ giderme verimi üzerine etkisi (pH=6; i = 0,7 mA/cm; C_{o,MeOH} = 21133 mg/L; C_{o,KOİ} = 389000 mg/L; NaCl = 0,5 g/L; T = 298 K; Karıştırma hız = 120 rpm) (The effect of electrolysis time on the MeOH and COD removal efficiency)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

(CONCLUSION AND DISCUSSION)

Biyodizel atıksuyunda yağ asitleri, metil esterleri, gliserin ve metanol gibi maddeler bulunmaktadır. Bu maddelerin atıksudan uzaklaştırılması için elektrokoagülasyon çalışmaları yapılmıştır. Kesikli EC prosesinde, biyodizel atıksuyunun başlangıç pH'ının 6'ya ayarlanmasının uygun olacağı belirlenmiştir. İletkenliğin sağlanması amacıyla uygun NaCl konsantrasyonu 0,5 g/L, optimum akım yoğunluğu 0,7 mA/cm² ve optimum elektroliz süresi 2 dakika olarak belirlenmiştir. EC prosesinde, optimum şartlarda (pH 6, 0,5 g/L NaCl, 0,7 mA/cm² akım yoğunluğu ve 2 dakika elektroliz süresi) MeOH ve KOİ giderme verimleri sırasıyla %64,2 ve %95,8 olarak bulunmuştur.

Biyodizel atıksuyunda elektrokoagülasyon işlemi ile yağ asiti metil esterlerinin tamamına yakına giderilirken MeOH %64 civarında arıtılabilmektedir. Biyodizel atıksularının arıtımında iki kademeli arıtma yaparak MeOH giderimi sağlanabilmektedir. Biyodizel atıksularında EC prosesinden sonra ileri oksidasyon yöntemleri ile son arıtım uygulanabilirliği veya anaerobik arıtım üzerinde de araştırma yapmak gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ham petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu, 2016
Available:
http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROLDOTAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU_2016.pdf[Accessed: 1-June-2017].
- [2] S. K. Karmee, D. Linardi, J. Lee, and C.S.K. Lin, "Conversion of lipid from food waste to biodiesel," *Waste Management*, vol. 41, pp. 169–173, 2015.
- [3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü,
Available:
<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>[Accessed: 1-June-2017].
- [4] J.M Marchetti, "A summary of the available Technologies for biodiesel production based on a comparison of different feedstock's properties," *Process Saf Environ Prot*, vol. 90, pp. 157–63, 2012.
- [5] M.G. Gomes, D.Q. Santos, L.C. De Moraes, and D. Pasquini, "Purification of biodiesel by dry washing, employing starch and cellulose as natural adsorbents," *Fuel*, vol. 155, pp. 1–6, 2015.
- [6] Introduction To Biodiesel And Glossary Of Terms National Biodiesel Board, Usa
Available:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407909-0.00002-X>[Accessed: 2-June-2017].
- [7] Biodiesel emissions And healthy Effects Testing, *Bioenergy*, vol. 35, pp. 557-559, 2015.

- [8] G. Isenberg, "Assessment of Automotive Fuels," *Journal of Power Sources*, vol. 84, pp. 214-217, 1999.
- [9] G. Antolin, F.V. Tinaut, Y. Briceno, V. Castano, C. Perez, and A.I. Ramirez, "Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification," *Bioresource Technology*, vol. 83, pp. 111-114, 2002.
- [10] P. Hoffmann, "Tomorrow's Energy: Hydrogen, Fuel Cells and the Prospects for a Cleaner Planet," *The MIT Press*, Cambridge, Massachusetts and London, England, Third Printing, 2002.
- [11] G. Vicente, M. Martínez, and J. Aracil, "Optimisation of integrated biodiesel production, Part I. A study of the biodiesel purity and yield," *Bioresource Technol.*, vol. 98, pp. 1724-1733, 2007.
- [12] Q. Fu, C. Song, Y. Kansha, Y. Liu, M. Ishizuka, and A. Tsutsumi, "Energy saving in a biodiesel production process based on self-heat recuperation technology," *Chemical Engineering Journal*, vol. 278, pp. 556-562, 2015.
- [13] V.B. Veljković, I.B. Banković-Ilić, and O.S. Stamenković, "Purification of crude biodiesel obtained by heterogeneously-catalyzed transesterification," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 500-516, 2015.
- [14] E.T. Karagöl, and İ. Kavaz, "Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji", *Analiz*, vol. 197, 2017.
Available:
<https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>[Accessed: 7-June-2017].
- [15] N.P. Tanattı, "Biyodizel Atıksularının Elektrokoagülasyon ve İleri Oksidasyon Yöntemleri İle Arıtılabilirliği," (Doktora Tezi), *Sakarya Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2015.
- [16] D.L. Woytowich, C.W. Dalrymple, F.W. Gilmore, and M.G. Britton, "Electrocoagulation (Cure) Treatment Of Ship Bilgewater For The U.S. Coast Guard in Alaska," *Mts. Journal.*, vol. 27 (1), pp. 62-67, 1993.
- [17] İ. Taymaz, and M. Coban, "Performance and emissions of an engine fuelled with a biodiesel fuel produced from animal fats," *Thermal Science*, vol. 17, pp. 233-240, 2013.
- [18] Y.Y. Zhan, Y. Zhang Q.M. Lia, Xin-Zhen, and X.Z. Du, "A Novel Visible Spectrophotometric Method for the Determination of Methanol Using Sodium Nitroprusside as Spectroscopic Probe," *Journal of the Chinese Chemical Society*, vol. 57, pp. 230-235, 2010.
- [19] S. Song, Z. He, J. Qiu, L. Xu, and J. Chen, "Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of C. I. Reaktive Black 5 in aqueous solution: An investigation of the effect of operational parameters," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 55, pp. 238-245, 2007.
- [20] E.A. Vik, D.A. Carlson, A.S. Eikum, and E.T. Gjessing, "Electrocoagulation of potable water," *Water Res.*, vol. 18, pp. 1355-1360, 1984.
- [21] G. Chen, "Electrochemical Technologies in wastewater treatment," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 38, pp. 11-41, 2004.
- [22] M. Tir, N. Moulai-Mostefa, "Optimization of oil removal from oily wastewater by electrocoagulation using response surface method," *Journal of Hazard. Mater.*, vol. 158, pp. 107-115, 2008.
- [23] N.P. Tanattı, "Kanatlı hayvan kesimhane atıksularının elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılabilirliği," (Yüksek Lisans Tezi), *Sakarya Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2009.
- [24] M.Y.A. Mollah, P. Morkovsky, J.A.G. Gomes, M. Kesmez, J. Parga, and D.L. Cocke, "Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation," *J. Hazard. Mater. B*, vol. 114, pp. 199-210, 2004.