
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 21-03-2017		
	<u>Kabul/Accepted</u> 26-09-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.299127	

Zeytin Karasuyunun Elektrokoagülasyon ön arıtımlı tek fazlı Anaerobik arıtımı

Canan Can Yarımtepe^{1,2}, Nilgün Ayman Öz^{2*}, Orhan İnce¹

ÖZ

Bu çalışma kapsamında Çanakkale ili ve çevresi için önemli bir çevre sorunu teşkil eden zeytin karasuyunun tek fazlı ardışık kesikli anaerobik reaktörler ile arıtılabilirliği elektrokoagülasyon ön arıtımı kullanılarak incelenmiştir. Elektrokoagülasyon ön işlemi sayesinde, karasudaki kirletici konsantrasyonları, askıda katı madde miktarı başta olmak üzere çeşitli kirletici parametreleri bazında önemli bir giderim sağlanmıştır. Ön arıtılmış karasu numuneleri tek fazlı anaerobik reaktöre beslenerek, anaerobik arıtım verimliliği; çKOİ giderimi, biyogaz oluşumu ve metan içeriği açısından incelenmiştir. Hidrolik bekletme süresi 1 gün; çamur bekletme süresi 20 gün; organik yükleme oranı 1 gr KOİ/gr UAKM-gün olarak 30 gün boyunca işletilen ardışık kesikli anaerobik reaktörde; ortalama %70 organik madde giderimi elde edilmiştir. Eş zamanlı olarak günlük ortalama %80 metan içerikli 1000 mL biyogaz oluşumu sağlanmıştır. İşletme süresince metan üretim hızı ortalama 0,27 mL CH₄/gr KOİgiderilen ve kümülatif metan gazı oluşumu 19981 mL olarak tespit edilmiştir. Ön arıtımlı tek fazlı anaerobik arıtım ile; karasuyun organik madde içeriğinde büyük oranda giderim elde edilmiş, eş zamanlı olarak da temiz bir enerji kaynağı olan metan içeriği yüksek biyogaz eldesi sağlanmıştır. Bu çalışmanın bulguları; elektrokoagülasyon gibi kısa süreli bir ön arıtım ile; karasuyun tek fazlı anaerobik reaktöre doğrudan beslenebildiğini aynı zamanda bu sistemlerden yüksek verimi alınabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Zeytin karasuyu, ön arıtım, elektrokoagülasyon, anaerobik arıtım, koi giderimi, biyogaz oluşumu.

Single phase Anaerobic treatment of Olive Mill Wastewater pretreated by Electrocoagulation

ABSTRACT

In this study, anaerobic treatability of olive mill wastewater (OMW) which is an important environmental problem for Canakkale province, was investigated by using electrocoagulation pretreatment. With electrocoagulation pretreatment; significant pollutant removal efficiencies, mainly in terms of suspended solids, has been provided. Pretreated OMW samples were fed to single phase anaerobic reactor and anaerobic treatability has been investigated in terms of sCOD removal, biogas production and methane yield. In sequencing batch anaerobic reactor which was operated with 1 day as HRT, 20 days as SRT and

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, Turkey

² Canakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale, Turkey

1 gr COD/gr VSS-day as OLR; organic matter removal efficiency was determined as about 70% for 30 days. Daily biogas production and methane yield were determined as 1000 mL and 80%, respectively. During the operation; while 19981 mL methane was produced, methane production rate was determined as 0.27 mL CH₄/gr CODremoved. With electrocoagulation assisted single phase anaerobic treatment; while organic matter concentration of OMW has been significantly removed, biogas with high methane content has been produced simultaneously. According to results of this study, it has been stated that, with a pretreatment in short duration like electrocoagulation, pretreated olive mill wastewater could be fed directly to anaerobic reactor and high efficiencies could be obtained in anaerobic reactors.

Keywords: Olive mill wastewater, pretreatment, electrocoagulation, anaerobic treatment, cod removal, biogas production.

*Sorumlu yazar. Adres: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çanakkale 17100, Turkey. Tel.: +90 286 218 0018 / 2177; Fax: +90 286 218 0541. E-mail: nilgunayman@comu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zeytinyağı endüstrisi ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz bölgesinde önemli bir zirai faaliyet alanıdır. Ülkemizde zeytin üreticiliği özellikle Marmara ve Kuzey Ege bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Zeytin ve zeytinyağı üretimi sırasında karasu olarak tanımlanan yüksek miktarda atıksu oluşmaktadır. Bu atıksuyun arıtımı, içeriğindeki yüksek kirletici konsantrasyonları ve kompleks yapısı nedeni ile oldukça zor ve maliyetlidir. Zeytin karasuyunun arıtımına yönelik; fiziksel [1], kimyasal [2][3] ve biyolojik [4] arıtım prosesleri denenmiştir. Literatürde, aerobik sistemlere göre düşük çamur oluşumu, az enerji ihtiyacı ve biyogaz potansiyeli gibi birçok avantajı bulunan anaerobik arıtım prosesinin zeytin karasuyunun arıtılmasında kullanmasına yönelik çalışmalar mevcuttur [5][6][7]. Ancak zeytin karasuyunun içeriğindeki toksik/kompleks maddeler, lipidler ve yüksek katı madde miktarı anaerobik arıtım verimini kısıtlamaktadır. Bu nedenle, biyolojik arıtımın verimliliğini artırmak için çeşitli ön arıtım proseslerinin uygulanması gerekmektedir. Son yıllarda bu konularda yapılan laboratuvar ölçekli çalışmaların sayısında önemli bir artış gözlemlenmektedir.

Zeytin karasuyunun anaerobik arıtımı öncesi; aerobik arıtım [8][9], fiziko- kimyasal arıtım [10], adsorbsiyon [11], filtrasyon [12], ozonlama [13] ve ultrases [14][15] gibi birçok farklı ön arıtım prosesleri denenmiştir [16]. Atıksudan kirleticilerin uzaklaştırılmasında; adsorbsiyon, çöktürme ve flotasyon gibi birden fazla mekanizmanın rol aldığı bir proses olan elektrokoagülasyon atıksu arıtımında sıklıkla uygulanan bir prosestir [17]. Prosesin özellikle, biyolojik arıtım öncesinde, biyolojik proseslerin

Parametre	Birim	Karasu	Aşı çamuru
pH		5,05	-
İletkenlik	µs/cm ²	14460	-
Bulanıklık	NTU	19200±55	-
TKM	mg/L	56325±310	76728
TUKM	mg/L	39846±203	62908
AKM	mg/L	21350±107	50281
UAKM	mg/L	19600±50	35704
KOİ	mg/L	110393±271	-
BOİ	mg/L	28210±105	-
çKOİ	mg/L	57460±190	-

veriminin artırılmasında uygulanabileceği belirtilmiştir [17]. Böyle bir ön arıtım ile; karasuyun yoğun kirlilik konsantrasyonlarının bir miktar azaltılabileceği ve reaktörlerin işletiminin kolaylaştırılabileceği, bu sayede anaerobik arıtımından daha iyi bir verim elde edilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir. Literatürde farklı atıksular için elektrokoagülasyon ön arıtımlı

anaerobik arıtım performansının incelendiği birkaç çalışma [3][18][19] rapor edilmiştir. Bu çalışmalarda; elektrokoagulasyonun, katı madde gideriminde etkili olduğu; aynı zamanda biyolojik ayrışabilirliği düşük organik maddelerin (özellikle polifenollerin) önemli bir bölümünün uzaklaştırıldığı belirtilmiştir. Literatürde karasuyun elektrokoagulasyon ön arıtmılı tek fazlı anaerobik arıtımının incelendiği bir çalışmaya ise henüz rastlanmamıştır.

Bu kapsamda bu çalışmanın amacı elektrokoagulasyon ön arıtımı ile zeytin karasuyunun anaerobik olarak arıtımının, gerek performans gerekse metan içeriği açısından incelenmesidir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Atıksu ve aşı çamuru karakterizasyonu (Characterization of wastewater and seed sludge)

Çalışma süresince kullanılan zeytin karasuyu numuneleri Çanakkale ili Ayvacık ilçesinde bulunan 100 ton/gün zeytin işleme kapasitesine sahip, üç fazlı sistemle çalışan, TARİŞ Geyikli Zeytin İşleme Fabrikası çıkış atıksu akımından Aralık 2015'te kompozit olarak alınmış ve karakterizasyonu yapılmıştır. Tek fazlı anaerobik reaktörlerde kullanılan aşı çamuru İzmir'de bulunan Türk Tuborg Bira ve Malt Sanayi A.Ş. Anaerobik akışkan yataklı reaktöründen alınmıştır. Kullanılan aşı çamurlarının özellikleri, toplam katı madde (TKM), toplam uçucu katı madde (TUKM), askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) parametreleri ile belirlenmiştir. Atıksu ve aşı çamuru kompozisyonu Tablo 1.'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere; karasuyun yoğun organik madde ve katı madde konsantrasyonları mevcuttur.

Tablo 1. Atıksu karakterizasyonu (Wastewater characterization)

*n=10

2.3. Analitik metotlar (Analytical methods)

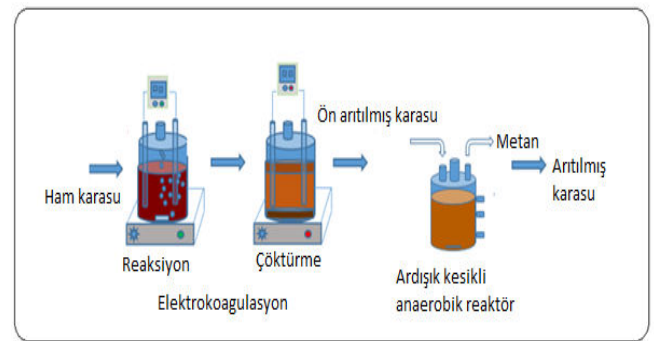
Çalışma süresince tüm analizler standart metotlara uygun olarak yürütülmüştür [20]. İletkenlik ve pH, ORION SA 520 çoklu ölçüm cihazı ile; bulanıklık Hach-2100AN IS Türbidimetre cihazı ile ölçülmüştür. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve

çözünmüş oksijen ihtiyacı (0,45 membran filtreden süzülükten sonra) kapalı reflaks metodu ile standart metotlara uygun olarak belirlenmiştir. Katı madde analizleri (Toplam katı madde, askıda katı madde, toplam uçucu katı madde ve uçucu askıda katı madde) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı analizi standartlara uygun olarak yürütülmüştür. Anaerobik reaktörlerde oluşan gaz, milli gaz cihazı (Ritter) ile belirlenmiş; oluşan gazın kompozisyonu ise Agilent 7820A model termal kondaktivite detektörlü bir gaz kromatografisi (Supelco) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Parametreler	Birim	Karasu
pH		7,2
İletkenlik	$\mu\text{s}/\text{cm}^2$	16280
Bulanıklık	NTU	2680±45
TKM	mg/L	37420±100
TUKM	mg/L	23420±85
AKM	mg/L	3700±55
UAKM	mg/L	3310±32
KOİ	mg/L	50499±148
BOİ	mg/L	19505±97
çKOİ	mg/L	40232±112

2.4. Deneysel Düzenek (Experimental set-up)

Çalışma kapsamında karasu numuneleri ilk olarak ön arıtım amacı ile elektrokoagulasyon prosesine tabi tutulmuş, sonrasında elektrokoagulasyon çıkış atıksuyu anaerobik reaktöre beslenmiştir. Deneysel düzenek Şekil 1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Deneysel düzenek (Experimental set-up)

Anaerobik ardışık kesikli reaktör çalışması; ısıtılmalı ve karıştırılmalı su banyosu içeri-sinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresince; sıcaklık

35±2°C ve karıştırma hızı 90 devir/dak olacak şekilde sabitlenmiştir. Aktif hacmi 1 L olan reaktör, karasu ile besle-nerek, S/X oranı (substrat/biyokütle) kademeli olarak arttırılmıştır. Reaktöre; her bir devir; 15 dk doldurma, 23 saat reaksiyon, 30 dk çökelme, 15 dk boşaltma fazlarından oluşacak şekilde günde bir kez besleme yapılmıştır. Atıksuyun pH'ı 6,8-7 arasında ayarlanarak, 1000-1500 mg/L sodyum bikarbonat formunda alkalinite eklenmiştir. Reaktör; hidrolik bekletme süresi 1 gün, çamur bekletme süresi 20 gün olacak şekilde işletilmiştir. Deneysel süresince çKOİ giderimi, biyogaz oluşumu ve içeriği takip edilmiştir. Reaktörün işletim verimi çKOİ giderimi ve biyogaz oluşumu baz alınarak takip edilmiştir.

Elektrokoagulasyon prosesi; iki adet alüminyum elektrot içeren 1 litre hacimli cam reaktörde yürütülmüştür. Elektrokoagulasyon; 10 volt doğru akım altında 4 saat süre ile uygulanmıştır. Elektrokoagulasyon prosesi sonrasında elde edilen üst faz numune-lerinin kompozisyonu standart metotlara uygun olarak izlenmiş, sonuçlar Tablo 2.'de özetlenmiştir. Ön arıtım deneyleri önceki bir çalışmada detaylı olarak açıklanmıştır [21].

Tablo 2. Ön arıtılmış karasu kompozisyonu (Composition of pretreated OMW) [21]

2.5. Spesifik Metan Aktivite Testi (Specific methanogenic activity test)

Anaerobik reaktörde kullanılacak çamurun metan aktivitesini belirleyebilmek için SMA testleri yapılmıştır. 1 L hacimli her bir reaktörde UAKM konsantrasyonu yaklaşık olarak 5000 mg/L olacak şekilde seyreltme suyu ile gerekli seyreltmeler yapılmıştır. Reaktörler; pH'ları 6.8-7 arasında olacak şekilde ayarlandıktan sonra 35°C'de karıştırmalı su banyosuna yerleştirilmiştir. Mikroorganizmaların yeni ortamlarına alışması için 12-16 saat beklenmiştir. Bekleme süresi sonunda, reaktörler substrat olarak asetat ile farklı konsantrasyonlarda (1000, 2000, 4000 ve 5000 mg/L) beslenmiştir. Her bir reaktörde oluşan biyogaz miktarı kaydedilmiş, düzenli aralıklarla metan içeriği analiz edilmiştir. Daha sonra bu veriler kullanılarak SMA değerleri hesaplanmıştır.

Potansiyel metan üretimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır [22];

$$SMA \text{ (mL CH}_4\text{/gUAKM.gün)} = (A \times B \times 24) / (D \times E) \quad (1)$$

A: 1 saatteki biyogaz üretimi

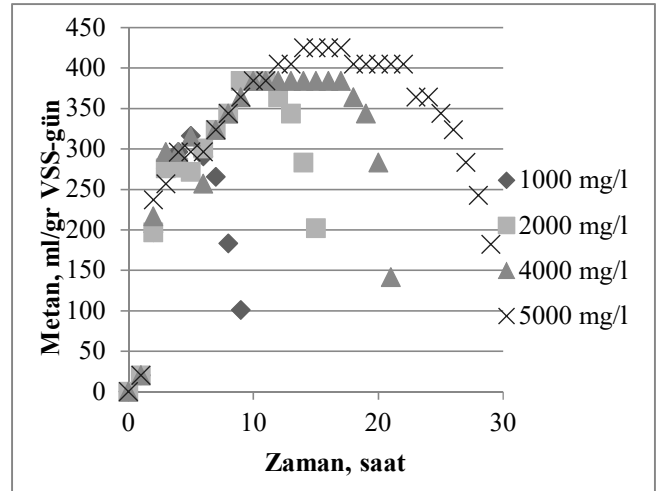
B: Biyogazın metan içeriği

D: SMA test reaktörünün aktif hacmi

E: SMA test reaktöründeki biyokütle konsantrasyonu (gUAKM/L)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Anaerobik sistemlerden yüksek performans elde edilebilmesi, reaktörde bulunan mikrobiyal topluluğun aktivitesine ve kompozisyonuna bağlıdır. Bu nedenle proje süresince reaktör çalışmalarında kullanılacak aşı çamurunun aktivitesi spesifik metanojenik aktivite testi ile belirlenmiştir. Metanojenik aktivite testinde substrat olarak 1000, 2000, 4000 ve 5000 mg/L konsantrasyonlarında asetat kullanılmıştır. SMA test sonuçlarının zamana bağlı metan üretim hız değerleri Şekil 2.'de verilmektedir.



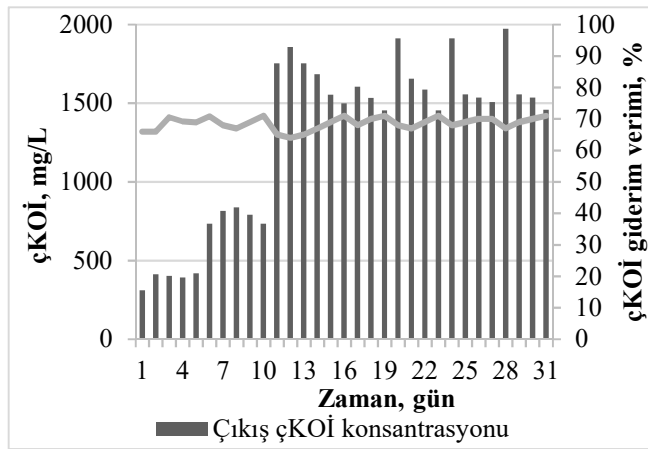
Şekil 2. Çeşitli asetat konsantrasyonlarında metan gazı üretim hızı (Methane production rate at different acetate concentrations)

Aktivite testi sonucunda; 1000, 2000, 4000 ve 5000 mg/L asetat ile beslenen reaktör-lerde maksimum metan oluşum hızı sırasıyla; 316 mL CH₄/gUAKM.gün, 384 mL CH₄/gUAKM.gün, 384 mL CH₄/gUAKM.gün ve 424 mL CH₄/gUAKM.gün olarak bulunmuştur. Literatürde, 300 mL CH₄/gUAKM.gün'den daha yüksek potansiyel metan üretim (PMÜ) hızlarına sahip anaerobik çamurlar iyi kalite çamur olarak belirtilmişlerdir [23]. Aktivite test sonuçlarına göre çalışma süresince metanojenik kapasitesi yüksek olan bu çamurun kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Ardışık kesikli anaerobik reaktöre, içerisindeki biyokütle konsantrasyonu 5000 mg/L olacak

şekilde, aşı çamuru yüklemesi yapılmıştır. Aşı çamuru eklenen reaktör, anae-robik şartlar altında bir gün süre ile karıştırılmadan 35°C'de su banyosunda bekletil-miş, anaerobik mikroorganizmaların adaptasyonu sağlanmıştır. Aktif hacmi 1 L olan anaerobik ardışık kesikli reaktörde S/X oranı (substrat/biyokütle) kademeli olarak arttırılarak (0,2-0,5 ve 1 aralığında) 24 saatlik hidroluk bekletme süresinde 1 ay boyunca işletilmiştir. Reaktörde doldurma, reaksiyon, durdurma ve boşaltma süreleri sırasıyla 15 dakika, 23 saat, 30 dakika ve 15 dakikadır. Bu şartlar altında reaktörlerde hidroluk bekletme süresi yaklaşık 1,05 ile 1,15 gün arasında tutulmuştur.

Çalışma süresince, çıkış çKOİ konsantrasyonu ve giderim verimi, biyogaz oluşumu ve metan içeriği takip edilmiştir. Çalışmanın ilk 5 günü reaktör 0,2 S/X oranı ile işle-tilmiş, 10. gün sonunda S/X oranı 1'e çıkartılmıştır. 10. günden itibaren, reaktörlerde-ki çKOİ giderimi ve biyogaz oluşumu sabitlenmiştir. 30 günlük işletim boyunca reaktör çıkışındaki çKOİ konsantrasyonları ve çKOİ giderim verimleri Şekil 3.'te gösterilmektedir.

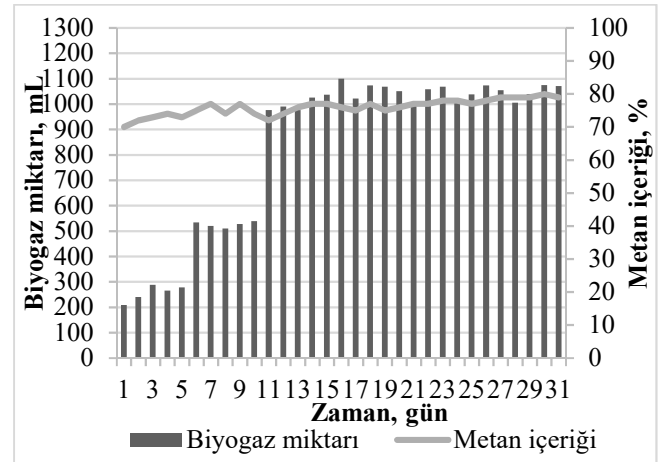


Şekil 3. Reaktör çıkışındaki çKOİ konsantrasyonları ve çKOİ giderim verimleri (Effluent sCOD and sCOD removal efficiencies)

Şekilden görüldüğü üzere; çalışmanın başlangıç evresinde %65 çKOİ giderimi elde edilirken, mikroorganizmaların ortama alışmasına bağlı olarak bu değer %70'lere kadar yükseltilmiştir. Çalışmanın 10. gününden itibaren sistem, yüklenen en yüksek S/X oranı olan 1'de çalıştırılmaya başlanmış ve çKOİ giderimi %64 seviyelerine gerilemiştir. Bu durumun mikroorganizmaların aşırı substrat nedeni ile aktivitelerini kaybettikleri ile açıklanabilmektedir. Ancak bu durum birkaç gün sürmüş, sonrasında mikroorganizmaların yeni organik yüklemeye alışması ile çKOİ giderim verimi yeni-den %70'lere çıkarılmıştır. Çalışmanın 15. gününden itibaren çKOİ giderimi %70±2 seviyesinde

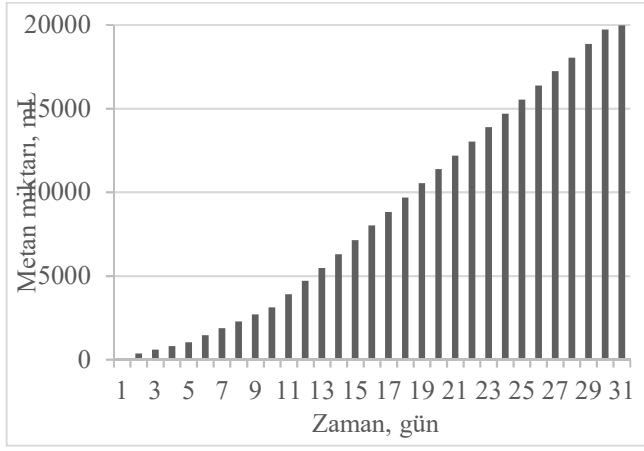
sabitlenmiştir. Bu şartlar altında, reaktör verimi %70 civarında gerçekleş-tiğinden daha yüksek organik yüklemelere çıkılamayacağı anlaşılmış ve çalışmanın bundan sonraki bölümünde reaktör S/X oranı 1 olacak şekilde işletilmiştir. Ön arıtım prosesi sonrasında büyük oranda giderilen katı madde konsantrasyonuna bağlı olarak, anaerobik reaktörün daha stabil işletilebildiği ve organik madde gideriminin sağlandığı düşünülmektedir. Khoufi et al. (2008); elektrokoagulasyon ile ön arıtım uyguladıkları zeytin karasuyunun anaerobik filtrede arıtılabilirliğini inceledikleri çalışmalarında; 38,5 gr KOİ/L organik yüklemeye %89 KOİ giderimi rapor etmişlerdir. İlaç endüstri atıksuyunun elektrokoagulasyon ön arıtmılı anaerobik arıtımının incelendiği bir çalışmada ise; 2 günlük hidroluk bekletme süresi ve 0,6 ila 4 kg KOİ/L aralığında değişen organik yüklemelerde %80 ila 90 arası KOİ giderimi sağlandığı belirtilmiştir [24].

Anaerobik arıtımın en önemli parametrelerinden biri olan biyogaz oluşumu reaktör işletme süresince takip edilmiştir. Reaktörde oluşan günlük biyogaz üretimi ve metan içeriği Şekil 4.'te; kümülatif metan üretimi ise Şekil 5.'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Reaktörde oluşan günlük biyogaz miktarı ve metan içeriği (Daily methane production and yield during the process)

Proses başlangıcında; günlük 200 mL oluşan biyogaz miktarı reaktöre beslenen orga-nik yükün artışına paralel olarak kademeli olarak artmış ve 15. günden sonra 1000 mL ile en yüksek seviyesine ulaşmıştır. 30 günlük işletim sonucunda oluşan toplam biyogaz miktarı 26294 mL olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Rektörde oluşan kümülatif metan gazı miktarı (Cumulative methane production during the process)

Anaerobik sistemlerin verimliliğinde elde edilen biyogazın metan içeriği önemli bir parametredir. Bu çalışma süresince de oluşan biyogazın kompozisyonu takip edilmiş ve metan içeriği 80 ± 3 olarak bulunmuştur. 30 günlük işletim süresinde, metan üre-tim hızı ortalama $0,27$ mL CH_4 /gr KOİgiderilen; üretilen kümülatif metan gazı miktarı ise 19981 mL olarak hesaplanmıştır. Literatürde elektrokoagülasyon ön arıtmılı anaerobik arıtılabilirliğin incelendiği az sayıda çalışmada; metan üretim hızı $0,2$ ile $0,3$ mL CH_4 /gr KOİgiderilen olarak rapor edilmiştir [25][26] Atık aktif çamurun elektrokoagülasyonla ön arıtımı sonrası anaerobik arıtımının gerçekleştirildiği bir diğer çalışmada; ön arıtımsız çamur ile karşılaştırıldığında ön arıtmılı atık çamur ile beslenen reaktörde 21 daha yüksek metan üretim hızı elde edildiği raporlanmıştır [26]. Ön arıtım prosesi ile kompleks organik maddelerin ayrışabilirliğinin artırıldığı ve bu sayede daha yüksek metan içerikli daha fazla biyogaz üretimi elde edildiği düşünülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma kapsamında, karasuyun elektrokoagülasyon ön arıtmılı tek fazlı anaerobik arıtımı incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, özellikle atıksuyun katı madde miktarının azaltılmasına yönelik uygulanan bir ön arıtım prosesinin anaerobik arıtım prosesi ile entegrasyonu ile daha iyi reaktör performansı ve buna bağlı olarak daha yüksek organik madde giderimi ve biyogaz oluşumu elde edilebileceği belirlenmiştir. Özellikle karasu gibi yoğun organik madde ve katı madde içeren kompleks bir atıksuyun 4 saat gibi kısa süreli bir ön arıtım prosesi ile anaerobik sisteme verilecek organik

yükün azaltılabildiği ve bu sayede anaerobik sistemin verimliliğinin iyileştirildiği gösterilmiştir. Bu kombine metotun karasu gibi yüksek organik madde içeriğine sahip ve/veya hidroliz aşamasının hız sınırlayıcı olduğu diğer atık ve atıksular için de uygulanabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafın-dan desteklenmiştir (Proje No: ARDEB 114Y179).

Kaynakça (References)

- [1] E. Turano, S. Curcio, M. G. De Paola, V. Calabrò, ve G. Iorio, "An integrated centrifugation-ultrafiltration system in the treatment of olive mill wastewater", *J. Memb. Sci.*, c. 209, sayı 2, ss. 519–531, 2002.
- [2] A. Ginos, T. Manios, ve D. Mantzavinos, "Treatment of olive mill effluents by coagulation-flocculation-hydrogen peroxide oxidation and effect on phytotoxicity", *J. Hazard. Mater.*, c. 133, sayı 1–3, ss. 135–142, 2006.
- [3] S. Khoufi, F. Aloui, ve S. Sayadi, "Treatment of olive oil mill wastewater by combined process electro-Fenton reaction and anaerobic digestion", *Water Res.*, c. 40, sayı 10, ss. 2007–2016, 2006.
- [4] G. Aggelis, D. Iconomou, M. Christou, D. Bokas, S. Kotzailias, G. Christou, V. Tsagou, ve S. Papanikolaou, "Phenolic removal in a model olive oil mill wastewater using *Pleurotus ostreatus* in bioreactor cultures and biological evaluation of the process", *Water Res.*, c. 37, sayı 16, ss. 3897–3904, 2003.
- [5] D. Dalis, K. Anagnostidis, A. Lopez, I. Letsiou, ve L. Hartmann, "Anaerobic digestion of total raw olive-oil wastewater in a two-stage pilot-plant (up-flow and fixed-bed bioreactors)", *Bioresour. Technol.*, c. 57, sayı 3, ss. 237–243, 1996.
- [6] T. H. Ergüder, E. Güven, ve G. N. Demirer, "Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors", *Process Biochem.*, c. 36,

- sayı 3, ss. 243–248, 2000.
- [7] B. Y. Ammary, “Treatment of olive mill wastewater using an anaerobic sequencing batch reactor”, *Desalination*, c. 177, sayı 1–3, ss. 157–165, 2005.
- [8] G. Pinto, A. Pollio, L. Previtiera, M. Stanzone, ve F. Temussi, “Removal of low molecular weight phenols from olive oil mill wastewater using microalgae”, *Biotechnol. Lett.*, c. 25, sayı 19, ss. 1657–1659, 2003.
- [9] C. F. Cereti, F. Rossini, F. Federici, D. Quarantino, N. Vassilev, ve M. Fenice, “Reuse of microbially treated olive mill wastewater as fertiliser for wheat (*Triticum durum* Desf.)”, *Bioresour. Technol.*, c. 91, sayı 2, ss. 135–140, 2004.
- [10] K. Kestioğlu, T. Yonar, ve N. Azbar, “Feasibility of physico-chemical treatment and Advanced Oxidation Processes (AOPs) as a means of pretreatment of olive mill effluent (OME)”, *Process Biochem.*, c. 40, sayı 7, ss. 2409–2416, 2005.
- [11] M. Beccari, L. Bertin, D. Dionisi, F. Fava, S. Lampis, M. Majone, F. Valentino, G. Vallini, ve M. Villano, “Exploiting olive oil mill effluents as a renewable resource for production of biodegradable polymers through a combined anaerobic-aerobic process”, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, c. 84, sayı 6, ss. 901–908, 2009.
- [12] I. Sabbah, T. Marsook, ve S. Basheer, “The effect of pretreatment on anaerobic activity of olive mill wastewater using batch and continuous systems”, *Process Biochem*, c. 39, ss. 1947–1951, 2004.
- [13] R. Andreozzi, G. Longo, M. Majone, ve G. Modesti, “Integrated treatment of olive oil mill effluents (OME): Study of ozonation coupled with anaerobic digestion”, *Water Res.*, c. 32, sayı 8, ss. 2357–2364, 1998.
- [14] N. A. Oz ve C. C. Yarimtepe, “Ultrasound assisted biogas production from landfill leachate.”, *Waste Manag.*, c. 34, sayı 7, ss. 1165–70, 2014.
- [15] N. A. Oz ve A. C. Uzun, “Ultrasound pretreatment for enhanced biogas production from olive mill wastewater”, *Ultrason. Sonochem.*, c. 22, ss. 565–572, 2015.
- [16] S. Erdem, C. C. Yarimtepe ve N. A. Oz, “Zeytin Karasuyunun Arıtım Yöntemleri”, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.1, sayı 1, 2015.
- [17] M. Bayramoglu, M. Kobya, M. Eyvaz, ve E. Senturk, “Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater”, *Sep. Purif. Technol.*, c. 51, sayı 3, ss. 404–408, 2006.
- [18] S. Khoufi, F. Feki, ve S. Sayadi, “Detoxification of olive mill wastewater by electrocoagulation and sedimentation processes”, *J. Hazard. Mater.*, c. 142, sayı 1–2, ss. 58–67, 2007.
- [19] K. Yetilmezsoy, F. Ilhan, Z. Sapci-Zengin, S. Sakar, ve M. T. Gonullu, “Decolorization and COD reduction of UASB pretreated poultry manure wastewater by electrocoagulation process: A post-treatment study”, *J. Hazard. Mater.*, c. 162, sayı 1, ss. 120–132, 2009.
- [20] A. Public ve H. Association, “APHA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, *Am. Public Heal. Assoc. Water Work. Assoc. Environ. Fed.*, c. 552, 1998.
- [21] C. C. Yarimtepe, N. A. Oz ve O. Ince, “Volatile fatty acid production dynamics during the acidification of pretreated olive mill wastewater”, *Bioresour. Technol.*, c. 241, sayı October 2017, ss. 936–944, 2017.
- [22] O. Ince, M. Kolukirik, N. A. Oz, ve B. K. Ince, “Comparative evaluation of full-scale UASB reactors treating alcohol distillery wastewaters in terms of performance and methanogenic”, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, c. 80, sayı October 2003, ss. 138–144, 2005.
- [23] O. Ince, “Potential energy production from anaerobic digestion of dairy wastewater”, *J. Environ. Sci. Heal. Part A - Toxic/Hazardous Subst. Environ. Eng.*, c. 33, sayı 6, ss. 1219–1228, 1998.
- [24] A. M. Deshpande, S. Satyanarayan, ve S.

- Ramakant, “Treatment of high-strength pharmaceutical wastewater by electrocoagulation combined with anaerobic process”, *Water Sci. Technol.*, c. 61, sayı 2, ss. 463–472, 2010.
- [25] S. Khoufi, F. Aloui, ve S. Sayadi, “Extraction of antioxidants from olive mill wastewater and electro-coagulation of exhausted fraction to reduce its toxicity on anaerobic digestion”, *J. Hazard. Mater.*, c. 151, sayı 2–3, ss. 531–539, 2008.
- [26] G. Zhen, X. Lu, Y. Y. Li, ve Y. Zhao, “Combined electrical-alkali pretreatment to increase the anaerobic hydrolysis rate of waste activated sludge during anaerobic digestion”, *Appl. Energy*, c. 128, ss. 93–102, 2014.