

## Süt Endüstrisi Atıksularının Yukarı Akışlı Anaerobik/Aktif Çamur Reaktörleri ile Arıtılabilirlik Çalışması

Şevket TULUN\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray

Geliş tarihi: 19.03.2019

Kabul tarihi: 30.09.2019

### Öz

Bu çalışmada süt endüstrisi atıksularını yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör (UASB) ve aktif çamur reaktör sistemleri kullanılarak altı aylık süre boyunca arıtım verimleri incelenmiştir. Arıtılabilirlik çalışmalarında atıksular önce UASB reaktöre sonra aktif çamur reaktör sistemlerine verilmiştir. Her bir reaktör ve sistemden çıkan sular için 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>), toplam organik karbon (TOK) ve askıda katı madde (AKM) parametreleri incelenmiştir. Çıkış atıksuyunda BOİ<sub>5</sub>, TOK ve AKM parametrelerinde elde edilen arıtma verimleri sırasıyla %99,33, %94,55 ve %89,23 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde süt endüstrisi atıksularının UASB ve aktif çamur reaktörleri ile etkin bir şekilde arıtılabileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Süt endüstrisi atıksuları, Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör, Aktif çamur reaktör

## Treatment of Dairy Industry Wastewater Using Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket/Activated Sludge Reactors

### Abstract

In this study, the treatment efficiencies of the dairy wastewater were investigated by using up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) and activated sludge reactor systems for six months. In treatability studies, wastewaters were first given to the UASB reactor and then to activated sludge reactor systems. 5-day biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), total organic carbon (TOC) and suspended solids (SS) removal efficiencies were investigated for each reactor and system effluent. The effluent yields obtained from BOD<sub>5</sub>, TOC and SS parameters were 99.33%, 94.55% and 89.23%, respectively. When the results were evaluated, it was determined that the wastewater from the dairy industry could be effectively treated with UASB and activated sludge reactors.

**Keywords:** Dairy industry wastewater, Up-flow anaerobic sludge blanket reactor, Activated sludge reactor

\* Sorumlu (Başlıca) yazar (Corresponding author): Şevket TULUN, [sevkettulun@gmail.com](mailto:sevkettulun@gmail.com)

## 1. GİRİŞ

Endüstrilerde üretilen atıksu miktarı su kullanımının yanı sıra sanayi tipine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Birçok ülkede süt ve süt ürünlerine olan talebin sürekli artması süt endüstrisinin hızlı bir şekilde büyümesine neden olmuştur [1]. Süt endüstrisi tüm dünyadaki en büyük sanayilerinden biridir [2]. Süt endüstrisi birçok ülkede gıda işleme atıksularının büyük bir kısmının kaynağı olarak kabul edilir. Sular; temizlik, sanitasyon, ısıtma, soğutma ve zemin temizliği dahil olmak üzere süt endüstrisinde tüm adımlarında kullanılır [3,4]. Üretilen atıksu miktarı işlenen 1 L süt başına 0,2-10 L aralığında olduğu tahmin edilmektedir [5]. Süt endüstrisinde, özellikle laktoz, protein ve süttten oluşan yağlar olmak üzere farklı özellikte atıksular oluşur. Bu atıksular arıtım yapılmadan deşarj edildiğinde hem ötrifikasyona hem de nütrient kaybına neden olur [6,7]. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi pek çok ülkenin kanunlarında atıksularda bulunan besinlerin deşarjına yönelik kısıtlayıcı önlemler almıştır [8].

Bu nedenle süt atıksuları atık su deşarj standartlarını (AB Direktifi 2000/60/EC) karşılaması gerekmektedir [9]. Süt endüstrisi atıksuları elde edilecek ürünün türüne bağlı olarak, kullanılacak ekipman ve süreçlere bağlı olarak atıksu özelliği değişiklik gösterir [10,11]. Bu nedenle uygun bir arıtma tesisi tasarlanması amacıyla süt endüstrisi için özel koşulların göz önünde bulundurulması gerekmektedir [10,12]. Atıksuları yüksek besin maddeleri ve organik maddeler ile karakterize edilir [13,14]. pH'ı son ürüne bağlı olmakla beraber 6,6-12,2 aralığında değişebilir [15].

Süt endüstrisi atıksuları aerobik teknolojiler ile arıtımı sınırlıdır. Sınırlı olmasının temel nedeni, yüksek organik yükleri, oksijen tedariki için fazla enerji gereksinimleri, oksijen aktarımındaki sorunlar, fazla çamur oluşumu ve oluşan çamurun katılaştırılmasında ve kalınlaşmasındaki zorluklardır [16,17]. Ancak biyolojik arıtım yöntemleri dezavantajlarına rağmen kullanımı yaygındır [18].

Biyolojik arıtım yöntemlerinin yanı sıra membran [19], adsorpsiyon [20], koagülasyon-flokülasyon

[21] ve elektrokimyasal [22] arıtımları içeren fiziksel-kimyasal arıtımlar kullanılmaktadır [23]. Bu yöntemlerin en önemli dezavantajları arasında ilave reaktif maliyeti ve düşük organik madde giderimi bulunmaktadır. Havalandırılmalı lagünler su kalitesinde dalgalanmalara ve fazla alan ihtiyacından, anaerobik lagünler ise H<sub>2</sub>S gibi kötü koku oluşturmalarından [24] dolayı her sistemin ayrı ayrı kullanılması fizibil olmamaktadır.

Süt endüstrisi atıksularının arıtımında en çok kullanılan yöntemler biyolojik arıtım yöntemler olması ve yüksek verimlerde giderim elde edilmesinin yanında yukarıda bahsedilen dezavantajlarını azaltıcı önlemler alınması gerekmektedir.

Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörler (UASB) yaklaşık 20 yıldır süt endüstrisi atıksularının arıtımında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Geçmiş yıllarda süt endüstrisi atıksuları ile birçok çalışma yapılmıştır. Peynir atıksularının laboratuvar ölçekli UASB reaktörleri ile 6 günlük hidrolik bekleme süresi sonucunda giriş kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerine bağlı olarak %85 ile %99 arasında giderim verimleri elde edildiği rapor edilmiştir [25].

Süt ve evsel atıksuların kombinasyonundan oluşan atıksuların arıtılması için anaerobik sistem ve aerobik sistem birlikte kullanılmıştır. 26 saatlik hidrolik bekleme süresi (24 saati yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör, 2 saat aktif çamur için) sonunda toplam KOİ değerinin %98,9, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) değerinin %99,6'lık kısmı giderilmiştir [26]. Aerobik biyoreaktörler süt endüstrisi atıksuları için KOİ, toplam fosfor (TP) ve toplam azot (TN) konsantrasyonlarının azaltımına yönelik bir ön işlemdir [27].

Bu çalışma da süt endüstrisinden temin edilen atıksuların UASB reaktör ve aktif çamur reaktörlerinin bir araya getirilmesi sonucu oluşan kombine sistem kullanılarak süt endüstrisi atıksularının toplam organik karbon (TOK), BOİ<sub>5</sub> ve askıda katı madde (AKM) giderim verimleri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

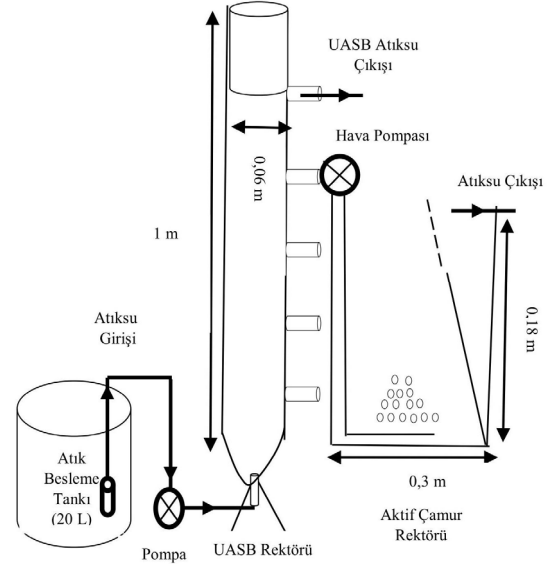
Çalışmada kullanılan atıksu örneği Aksaray İli'nde faaliyet gösteren süt ve süt ürünleri üretimi yapan bir fabrikadan haftalık olarak alınmıştır. Alınan örnekler +4 °C'de saklanarak 20 L'lik besleme tanklarına konulmuş ve tasarlanan arıtma sistemine pompa yardımıyla iletilmiştir. Kullanılan atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Ham atıksuyun karakterizasyonu

Parametre	Ölçüm Sayısı (n)	Birim	Ortalama Sonuç (Xort)	Standart Sapma Değeri (σ)
pH	24	-	6,76	0,27
Sıcaklık	24	°C	25,1	0,2
İletkenlik	24	µs/cm	3950	25
BOİ <sub>5</sub>	24	mg/L	2363	103
AKM	24	mg/L	3310	285
TOK	24	mg/L	1370	87

Laboratuvar ortamı 25±1 °C'de klima yardımıyla sabit tutulmuştur. UASB reaktörün beslemesi, otomatik ayarlanabilir pompa yardımı ile 20 L besleme tankında bulunan atıksu ile sağlanmıştır. UASB reaktör paslanmaz çelikten yapılmış, 0,06 m çapında 1 m yüksekliğinde, 2 L hacim sahip olup kullanılabilir hacmi 1,75 L'dir. USAB reaktörden çıkan atıksular 0,07×0,18×0,3 m boyutlarında, 1,5 L hacmi havalandırma bölmesinden, 0,65 L çökeltme bölmesinden oluşan aktif çamur reaktörüne verilmiştir. Havalandırma bölümü ile çökeltme bölgesi delikli bir plaka yardımıyla ayrılmıştır. Aktif çamur reaktörü, 8 saat hidrolik alıkonma süresi ve 18 gün çamur alıkonma süresinden işletilmiştir. Reaktörde havalandırma havzasında yeterli oksijen (>2 mg/L) hava pompası kullanılarak oluşturulmuştur. Çökelmiş çamurun havalandırma havuzuna geçişi çamur geri dönüşüm oranı (r) 1 sabitlenmesi şartıyla tabanda bulunan 2 cm açıklıktan sağlanmıştır. Reaktör ortalama 1600 mg MLVSS/L mikroorganizma konsantrasyonunda işletilmiştir. Artılabilirlik

çalışmalarının yapıldığı deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Deney düzeneğinin şematik gösterimi

### 2.2. Analiz Yöntemleri

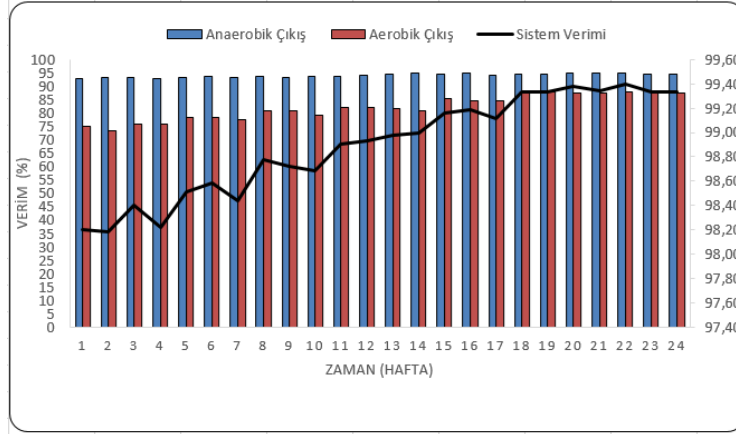
pH, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık ölçümleri dijital iyon analizi yapan (Hach, HQ440d) cihazı kullanılmıştır. Atıksu numunelerinde TOK ile toplam azot (TA) miktarı Shimadzu marka ve TOC-VCPN/TNM-1 modeli TOK-TA cihazıyla belirlenmiştir. 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) oksitop (WTW) ölçüm yöntemine göre yapılmıştır [31]. Atıksu numunelerindeki AKM 0,45 µm gözenek çapındaki filtrelerden süzülerek gravimetrik olarak tespit edilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar 3 tekrarlı ve doğrulamalı olarak yapılmıştır. Sonuçlar arasında %10'luk fark oluşması durumunda çalışmalar tekrarlanmıştır. Çalışmalarda kullanılan tüm kimyasallar %99,9 analitik saflıktadır.

## 3. BULGULAR

### 3.1. 5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Giderim Verimleri

Süt endüstrisi atıksularının önce UASB reaktörlerine daha sonra aktif çamur reaktörüne

verilmesi sonucu her bir reaktör çıkışında elde edilen BOİ<sub>5</sub> giderim verimleri ile sistemin tamamında elde edilen giderim verimleri Şekil 2’de verilmiştir.



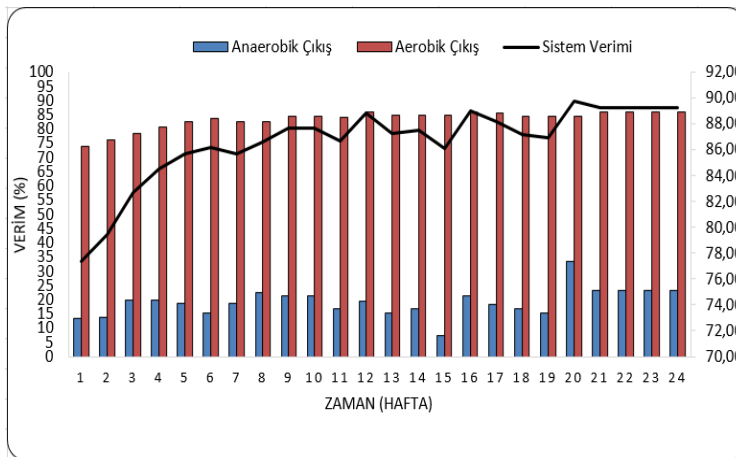
Şekil 2. BOİ<sub>5</sub> giderim verimleri

Şekil 2’de görüldüğü gibi UASB reaktöre de BOİ<sub>5</sub> giderim verimleri %92,00’in üzerindedir. Ham atıksuyun BOİ<sub>5</sub> değeri 2363±103 mg/L seviyelerindeyken 24 haftalık işletme süresi sonunda UASB reaktör çıkışında 120 mg/L’ye düşmüştür ve %94,67’lik giderim verimi elde edilmiştir. UASB çıkış suyu aktif çamur reaktörüne verildiğinde belirlenen işletme süresi sonunda %87,5’lik arıtım verimi elde edilmiştir. Aktif çamur reaktörüne gelen organik yükün büyük bir kısmı UASB reaktöründe giderilmesinden dolayı aktif çamur reaktörüne gelen atıksuyun organik yükü azalmış ve buna bağlı olarak aktif çamur

reaktöründe verim artmıştır. Sistemin genel giderim verimi ise %99,33 olarak belirlenmiştir. İlk 17 hafta işletme sürelerinde giderim verimi kademeli olarak artmış daha sonraki işletme sürelerinde ise giderim verimlerinde fazla bir artış olmamıştır.

### 3.2. Askıda Katı Madde Giderim Verimleri

Benzer şartlar altında hem her bir reaktör çıkışlarında askıda katı madde giderimleri hem de sistem sonunda elde edilen giderim verimleri Şekil 3’de verilmiştir.



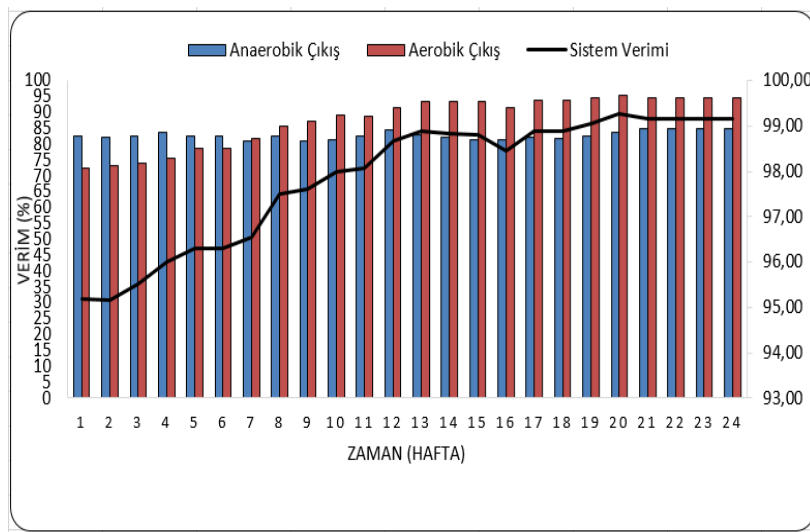
Şekil 3. AKM giderim verimleri

UASB reaktör çıkışında AKM giderim verimleri en yüksek %23,08 bulunmuştur. AKM giderim verimlerinin düşük olmasının ana nedeni UASB reaktörden katı madde kaçıdır. Reaktör içerisinde çökeltme özelliğindeki zayıf çamurlar reaktörden yıkanarak çıkmıştır. UASB reaktöründen çıkan atıksular aktif çamur sistemine verilmesi sonucu AKM giderim verimleri belirlenen işletme süresi sonunda %86,00 olarak belirlenmiştir. Aktif çamur sisteminde yüksek verim elde edilmesi çökeltme

bölümünün verimliliğinin göstergesidir. Sisteminin genel AKM giderim verimi %89,23 olduğu tespit edilmiştir.

### 3.3. Toplam Organik Karbon Giderim Verimleri

Laboratuvar şartlarında süt endüstrisi atıksularının toplam organik karbon (TOK) giderim verimlerine her bir reaktörün etkisi ve sistemin genel etkisi Şekil 4' te verilmiştir.



Şekil 4. TOK giderim verimleri

UASB reaktör çıkış suyunda TOK 220 mg/L ölçülmüştür. Yaklaşık %84,83'lük giderim verimi sağlanmıştır. Giderim veriminin yüksek olması UASB reaktörü içerisinde bulunan çamur ile atıksu arasında optimum temas süresi sağlanmış olmasıdır. Yüksek organik madde konsantrasyonuna sahip süt endüstrisi atıksularının reaktör içerisindeki temas süresi artırım verimi açısından önemlidir. UASB reaktörü çıkış suyunda organik yükü ciddi miktarda azalan atıksuyun aktif çamur reaktörü çıkış suyunda TOK 12 mg/L'ye düşmüştür. Belirlenen işletme süresi sonunda sistem geneli giderim verimi %94,55'dir.

## 4. SONUÇLAR

Birçok endüstriyel faaliyetlerde olduğu gibi süt endüstrisinde de üretimi yöntemine bağlı olarak

farklı karakterizasyonlarına sahip atıksu oluşmaktadır. Oluşan atıksu genellikle yüksek organik madden, fazla miktarda yağdan ve katı maddelerden oluşur. Bu özelliğe sahip atıksuların arıtılması oldukça zordur. Bu çalışmada UASB reaktörü ile birlikte aktif çamur reaktöründen oluşan arıtma sisteminin KOİ, BOİ<sub>5</sub> ve AKM giderim verimleri hem reaktörler bazında hem de arıtma sistemi bazından ayrı ayrı incelenmiştir.

BOİ<sub>5</sub> ve TOK parametreleri belirlenen işletme süreleri sonunda UASB reaktör çıkış suyunda sırasıyla %94,67, %84,83 giderim verimleri elde edilmiştir. Giderim verimlerine bakılarak UASB reaktörün tek başına yeterli olduğu görülmektedir. AKM parametresi üzerinde UASB reaktörün etkisi oldukça az olduğu belirlenmiştir. Bunun temel nedeni reaktörden katı madde kaçıdır. Aktif çamur reaktöründe AKM giderim verimi %86,00 olarak

belirlenmiştir. Çökeltme haznesinden savaklanan suda yapılan bu analiz çökeltmenin istenilen ölçüde gerçekleştirildiğinin göstergesidir.

Süt endüstrisi atıksularının arıtılabilirliğinin yapıldığı bu çalışmada sistem bütününde BOİ<sub>5</sub>, TOK ve AKM parametrelerinde elde edilen arıtma verimleri sırasıyla %99,33, %94,55 ve %89,23 olduğu belirlenmiştir. Süt endüstrisi atıksularının yapısında organik (karbon bazlı) maddeler bulunmaktadır. Organik yabancı maddeler çok çeşitli kaynaklardan gelebilir. Bu maddelerin biyolojik arıtımları neticesinde BOİ<sub>5</sub> verimleri daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Atıksuyun yapısında plastik, yapıştırıcı bazlı organik ürünler bulunmasına bağlı olarak TOK giderim verimleri daha düşük olmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde süt endüstrisi atıksularının UASB ve aktif çamur reaktörleri ile etkin bir şekilde arıtılabileceği belirlenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Adulkar, T.V., Rathod, V.K., 2014. Ultrasound Assisted Enzymatic Pre-treatment of High Fat Content Dairy Wastewater, *Ultrasonics Sonochemistry* 21, 1083-1089.
2. Sarkar, B., Chakrabarti, P.P., Vijaykumar, A., Kale, V., 2006. Wastewater Treatment in Dairy Industries-possibility of Reuse. *Desalination* 195(1-3), 1-306.
3. Farizoglu, B., Uzun, S., 2011. The Investigation of Dairy Industry Wastewater Treatment in a Biological High Performance Membrane System. *Biochemical Engineering Journal* 57, 46-54.
4. Kumar, S., Gupta, N., Pakshirajan K., 2015. Simultaneous Lipid Production and Dairy Wastewater Treatment Using *Rhodococcus Opacus* in a Batch Bioreactor for Potential Biodiesel Application. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3, 1630-1636.
5. Perle, M., Kimchie, S., Shelef, G., 1995. Some Biochemical Aspects of the Anaerobic Degradation of Dairy Wastewater. *Water Resources* 29, 1549-1554.
6. Chen, Z., Luo, J., Chen, X., Hang X., Shen, F., Wan, Y., 2016. Fully Recycling Dairy Wastewater by an Integrated Isoelectric Precipitation-nanofiltration-anaerobic Fermentation Process. *Chemical Engineering Journal* 283, 476-485.
7. Tocchi, C., Federici, E., Fidaati, L., Manzi, R., Vinciguererra, V., Petruccioli, M., 2012. Aerobic Treatment of Dairy Wastewater in an Industrial Three-reactor plant: Effect of Aeration Regime on Performances and on Protozoan and Bacterial Communities. *Water Research* 46, 3334-3344.
8. Vidal, G., Carvalho, A., Méndez, R., Lema, J.M., 2000. Influence of the Content in Fats and Proteins on the Anaerobic Biodegradability of Dairy Wastewaters. *Bioresource Technology* 74, 231-239.
9. Passeggi, M., López, I., Borzacconi, L., 2012. Modified UASB Reactor for Dairy Industry Wastewater: Performance Indicators and Comparison with the Traditional Approach. *Journal of Cleaner Production* 26, 90-94.
10. Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T. 2005. Anaerobic Treatment of Dairy Wastewaters: a Review. *Process Biochemistry* 40, 2583-259.
11. Perle, M., Kimchie, S., Shelef, G., 1995. Some Biochemical Aspects of the Anaerobic Degradation of Dairy Wastewater. *Water Research* 29(6), 1549-1554.
12. Andrade, L.H., Mendes, F.D.S., Espindola, J.C., Amaral, M.C.S., 2014. Nanofiltration as Tertiary Treatment for the Reuse of Dairy Wastewater Treated by Membrane Bioreactor. *Separation and Purification Technology* 126, 21-29.
13. Wolicka, D., 2008. Biotransformation of Phosphogypsum in Wastewaters from the Dairy Industry. *Bioresource Technology* 99, 5666-5672.
14. Bhatia, M., Goyal, D., 2014. Analyzing Remediation Potential of Wastewater Through Wetland Plants: A Review. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 33, 9-27.
15. Rilo, M.S., Coimbra, N.R., Villacorta, M.J., Otero, M., 2015. Treatment of Dairy Industry Wastewater by Oxygen Injection: Performance and Outlay Parameters from the Full Scale Implementation. *Journal of Cleaner Production* 86, 15-23.

16. Turan, M., 2004. Influence of Filtration Conditions on the Performance of Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes in Dairy Wastewater Treatment. *Desalination* 170, 83-90.
17. Sarkar, B., Chakrabarti, P.P., Vijaykumar, A., Kale, V., 2006. Wastewater Treatment in Dairy industries-possibility of Reuse. *Desalination* 195, 141-152.
18. Rivas, J., Prazeres, A.R., Carvalho, F., Beltran, F., 2010. Treatment of Cheese Whey Wastewater: Combined Coagulation-flocculation and Aerobic Biodegradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58, 7871-7877.
19. Guven, G., Perendeci, A., Tanyolac, A., 2008. Electrochemical Treatment of Deproteinated Whey Wastewater and Optimization of Treatment Conditions with Response surface Methodology. *Journal of Hazardous Materials* 157, 69-78.
20. Karadag, D., Koroğlu, E.O., Ozkaya, B., Cakmakci, M., 2015. A Review on Anaerobic Biofilm Reactors for the Treatment of Dairy Industry Wastewater. *Process Biochemistry* 50, 262-271.
21. Kushwaha, P.J., Srivastava, C.V., Mall, D.I., 2011. An Overview of Various Technologies for the Treatment of Dairy Wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(5), 442-452.
22. Arvanitoyannis, S.I., Giakoundis, A., 2006. Current Strategies for Dairy Waste Management: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, 379-390.
23. Benaissa, F., Said, K.H., Mostefa, M.N., 2014. Optimization and Kinetic Modeling of Electrocoagulation Treatment of Dairy Wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 5988-5994.
24. Hoseyni, M.S., Moradi, O., Tahmacebi, S., 2013. Removal of COD from Dairy Wastewater by MWCNTs: Kinetics and Thermodynamics. *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures* 21, 794-803.
25. Akinbile, O.C., Yusoff, S.M., Zuki, A.A.Z., 2012. Landfill Leachate Treatment Using Sub-surface Flow Constructed Wetland by *Cyperus haspan*. *Waste Management* 32, 1387-1393.
26. Yang, L., Tsai, Y.K., 2007. Treatment of Aged Landfill Leachate by Cascade Constructed Wetland Systems. *Ecology & Hydrobiology* 7(3-4), 353-359.
27. Healy, M.G., Rodgers M., Mulqueen, J., 2007. Treatment of Dairy Wastewater Using Constructed Wetlands and Intermittent Sand Filters. *Bioresource Technology* 98, 2268-2281.
28. Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T.T., 2005. Anaerobic Treatment of Dairy Wastewaters: A Review. *Process Biochemistry* 40, 2583-2595.
29. Tawfik, A., Sobhey, M., Badawy, M., 2008. Treatment of a Combined Dairy and Domestic Wastewater in an Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor Followed by Activated Sludge (AS System). *Desalination* 227, 167-177.
30. Heaven, W.M., Wild, K., Souza, D.D., Nahid, A., Tull, D., Watkins, M., Hannah, M., Nash, D., 2012. Physicochemical Properties and Trace Organic Compounds in a Dairy Processor's Aerobic Bioreactor. *Bioresource Technology* 124, 119-128.
31. APHA (American Public Health Association) (2012). American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF). *Standard methods for the examination of water & wastewater*, 22<sup>nd</sup> ed.

