

ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖRDE SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ BİYOLOJİK ARITIMI

Engin GÜRTEKİN

Erat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

ÖZET: Bu çalışmada, süt endüstrisi atıksuyunun Ardışık Kesikli Reaktörde (AKR) arıtımına organik yük ve havalandırma süresinin etkisi araştırılmıştır. Azalan organik yük ve artan hidrolik bekleme süresi (HBS), ardışık kesikli reaktörde KOİ, BOİ₅ ve NH₄⁺-N giderme verimini artırmıştır. Ardışık Kesikli Reaktörde (AKR) 24 saatlik çevrim süresinde, 7 saatlik havalandırma süresinin KOİ, BOİ₅ ve NH₄⁺-N giderme verimi bakımından yeterli olduğu belirlenmiştir. Süt endüstrisi atıksuyunun Ardışık Kesikli Reaktörde (AKR) 4 günlük hidrolik bekleme süresi (HBS) ve 0,60 kg BOİ₅/m³-günlük organik yük altında arıtılması sonucu, KOİ parametresi bakımından Su Kirliliği Kalitesi Yönetmeliğindeki (SKKY) deşarj standardını sağlamıştır. Ancak, daha fazla amonyum giderimi için daha yüksek hidrolik bekleme süresinin (HBS) gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ardışık kesikli reaktör, süt endüstrisi atıksuyu, organik yük, havalandırma süresi.

Biological Treatment of Dairy Wastewater in Sequencing Batch Reactor

ABSTRACT: In this study, the effects of organic loading and aeration time on biological treatment of dairy industry wastewater were investigated. The removal efficiencies of the Sequencing Batch Reactor (SBR) increased when the organic loading was decreased and hydraulic retention time (HRT) was increased. The Sequencing Batch Reactor (SBR) was operated in 24 h time cycle and the aeration time of 7 h was sufficient for COD, BOD₅ and NH₄⁺-N removal. The COD parameter in the treated effluent satisfied the discharge limits of Water Pollution Control Regulation (WPCR), when the reactor was operated with dairy industrial wastewater under HRT of 4 h and the organic loading of 0,60 kg BOD₅/m³-d. Therefore, the results showed that higher HRT was required for higher ammonium removal.

Keywords: Sequencing batch reactor, dairy industry wastewater, organic loading, aeration time.

GİRİŞ

Süt ve süt ürünlerini işleyen işletmelerden kaynaklanan atıksular kirlenmemiş sular ve kirlili sular olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Şengül, 1991). İşletmelerin genelde toplam atıksu hacminin % 60-98'ini soğutma suları teşkil eder. Süt mamullerinin elde edilmesinde kullanılan tüm cihazlar ve tanklar işlenmiş süt ve süt ürünlerini içerdiklerinden dolayı sistemde oluşan soğutma suları ile soğutulurlar. İkinci gruptaki atıksular, üretim işlemlerinden gelip, özellikleri çok değişkendir.

Süt endüstrisi atıksularının değişken yapısı verimli bir atıksu arıtımını güçleştirmektedir ve

uygun arıtılmazsa potansiyel bir çevre kirliliği kaynağıdır (Wang ve diğ., 2006).

Süt endüstrisi atıksuları yüksek oranda biyolojik parçalanabilir özelliğe sahiptirler ve fiziksel-kimyasal ve biyolojik metotlar ile arıtılabilmektedir. Aerobik prosesler, özellikle de aktif çamur tesisleri, süt endüstrisi atıksularının arıtımında sıkça kullanılmaktadır, ama yüksek enerji sarfiyatı bu prosesin önemli bir dezavantajıdır (Demirel, 2005). Anaerobik prosesler ise, işletmeye alma süresinin uzun olması, işletme kontrolünün zorluğu, değişken yük, organik ve toksik bileşikler şokuna hassas olması gibi önemli dezavantajlara sahiptir (Öztürk, 2000).

Biyolojik arıtma proseslerinden AKR, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Steinmetz ve diğ., 2002; Ganesh ve diğ., 2006; Fongsatitkul ve diğ., 2008; Zhan ve diğ., 2009). AKR prosesin atıksuların biyolojik arıtımında işletme esnekliği ve verimli atıksu arıtımı performansına sahip olduğu bilindiğinden, süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında da uygun yöntem olabilir. AKR, atıksu arıtımı için kullanılan doldur-boşalt prensibine bağlı olarak işletilen bir aktif çamur sistemidir. AKR'de arıtım alan yerine zamanla olmaktadır. AKR ile klasik aktif çamur sistemde kullanılan prosesler aynıdır. Tek fark, AKR'de arıtım tek bir reaktörde gerçekleşirken klasik aktif çamur sistemde farklı reaktörlerde gerçekleşmektedir. AKR'de bir çevrim, atıksuyun reaktöre doldurulmasından boşaltılmasına kadar geçen süre için kullanılmaktadır ve beş ardışık fazdan oluşmaktadır: doldurma, reaksiyon, çökeltme, boşaltma ve dinlendirme.

Süt endüstrisi atıksuyunun AKR'de arıtılmasıyla % 97 BOİ₅, % 93 KOİ, % 97 TAKM ve % 76 TKM giderme verimi elde edilmiştir (Samkutty ve diğ., 1996). AKR, süt endüstrisi atıksularının birincil ve ikincil arıtımında iyi bir proses olduğu belirtilmiştir (Eroğlu ve diğ., 1991; Samkutty ve diğ., 1996).

Ardışık kesikli reaktör, Fransa'da Jura dağlarında bulunan küçük peynir yapımı tesislerinden gelen atıksuları arıtmak için kullanılmış ve 0.50 kgKOİ/m³/gün organik yükleme altında % 97,7 KOİ ve % 99,8 BOİ₅ giderme verimi elde edilmiştir. AKR'ün oldukça esnek, etkili olduğu ve finansal olarak avantajlı bir çözüm sağladığı belirtilmiştir (Torrijos ve diğ., 2001).

Süt endüstrisi atıksuyunun arıtımı için tek ve iki kademeli AKR'ün karşılaştırıldığı çalışmada, 10000 mg/l KOİ içeren atıksuyun tek kademeli AKR'de 1 günlük HBS'de arıtılması sonucunda % 80,2 KOİ, % 63,4 TKM, % 66,2 TUKM, % 75 TKN ve % 38,3 TN giderme verimi elde edilmiştir (Li and Zhang, 2002).

Süt endüstrisi atıksuyunun arıtıldığı AKR'de 3 günlük HBS ve 1,34 kg BOİ₅/m³-gün gibi yüksek organik yük altında; % 87 KOİ, % 79,9 BOİ₅, % 48,7 TKN ve % 79,3 yağ-gres giderimi elde edilmiştir (Sirianuntapiboon ve diğ., 2005).

Günümüzde entegre süt ve süt ürünleri tesislerinin sayısı artmış ve bunun sonucu olarak da bu sanayiden kaynaklanan atıksu miktarı artmıştır. Süt endüstrisi atıksuları yüksek oranda biyolojik olarak parçalanabilir özelliğe sahip olmasına rağmen, değişken bir yapıda olması biyolojik olarak arıtımında verimin azalmasına neden olmaktadır. AKR, bir biyolojik arıtma prosesi olup, değişken yapıdaki atıksuların arıtımında işletme esnekliği gösterebilmekte ve sürekli kontrolün sağlanmasına imkan verebilmektedir. AKR, süt endüstrisi atıksuyunun arıtımında alternatif bir yöntem olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, süt endüstrisi atıksuyunun ardışık kesikli reaktörde (AKR) arıtımına organik yük ve havalandırma süresinin etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada birbirine paralel olarak 3 laboratuvar ölçekli ardışık kesikli reaktör kullanılmıştır. Her bir AKR'ün çalışma hacmi 5 l'dir. AKR'de her bir devir 24 saat olup, günde 1 devir yapılmıştır. Her bir devir; 2 saat doldurma, 19 saat reaksiyon (havalandırma), 1.5 saat çökeltme, 0.25 saat boşaltma ve 1.25 saat dinlendirme fazlarından oluşmaktadır. Reaktörlere atıksuyun beslenmesi peristaltik pompa ile gerçekleştirilmiştir. Reaktörler, doldurma fazında bir karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Reaksiyon fazında atıksuyun havalandırılması hava pompası ve difüzör yardımı ile yapılmıştır. Çökeltme, boşaltma ve dinlendirme fazlarında karıştırma ve havalandırma uygulanmamıştır. Reaktörler, oda sıcaklığında (22±2°C) işletilmiştir. Reaktörlerdeki MLSS konsantrasyonu 3000±100 mg/l'de tutulmuştur. Tüm çalışma boyunca reaktörlerdeki çamur yaşı sabit tutulmuş olup, 10 günlük çamur yaşında çalıştırılmışlardır. Bunun için, havalandırma fazının sonunda 500 ml karışık sıvı reaktörden çekilmiştir.

Deneysel Çalışma Planı

Deneyler, iki aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamada, AKR'ün verimine HBS'nin etkisi çalışılmıştır. Bu amaçla, AKR üç farklı hidrolik bekleme süresinde (2 gün, 4 gün ve 6 gün) işletilmiştir. BOİ₅ konsantrasyonu 2400 mg/l olan atıksu için 2 gün, 4 gün ve 6 gün HBS'e karşılık gelen organik yüklemeler sırasıyla 1.2 kg BOİ₅/m³-gün, 0.60 kg BOİ₅/m³-gün ve 0.4 kg BOİ₅/m³-gün'dür. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, organik karbon ve amonyum giderimine havalandırma süresinin etkisi araştırılmıştır.

Atıksu ve Çamur

Bu çalışmada kullanılan atıksu bir süt fabrikasından temin edilmiştir. Atıksuyun karakterizasyonu Tablo 1'de verilmiştir. Aktif çamur, bir Eysel Atıksu Arıtma Tesisinin geri devir hattından alınmış ve aktif çamurun 1 hafta süre boyunca süt endüstrisi atıksuyuna adaptasyonu sağlanmıştır.

Tablo 1. Atıksu karakterizasyonu.
Table 1. Wastewater characterization.

Parametre	Değer
KOİ (mg/l)	4000
BOİ ₅ (mg/l)	2400
NH ₄ -N (mg/l)	50
TP (mg/l)	18
pH	6.7

Tablo 2. 2, 4 ve 6 günlük hidrolik bekleme süresinde AKR'ün çıkış kalitesi ve arıtma verimi.
Table 2. Effluent qualities and removal efficiencies of SBR system under various HRTs of 2, 4 and 6 days.

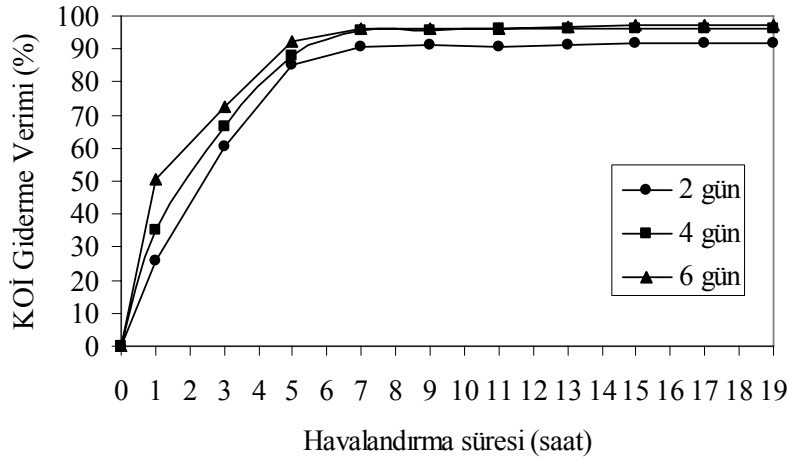
HBS (gün)	Organik yük (kgBOİ ₅ /m ³ -gün)	KOİ		BOİ ₅		NH ₄ ⁺ -N	
		Çıkış (mg/l)	Arıtma Verimi (%)	Çıkış (mg/l)	Arıtma Verimi (%)	Çıkış (mg/l)	Arıtma Verimi (%)
2	1.20	272	93.2	257	89.3	16	68.0
4	0.60	128	96.8	120	95.0	11	78.0
6	0.40	100	97.5	84	96.5	5	90.0

Analitik yöntemler

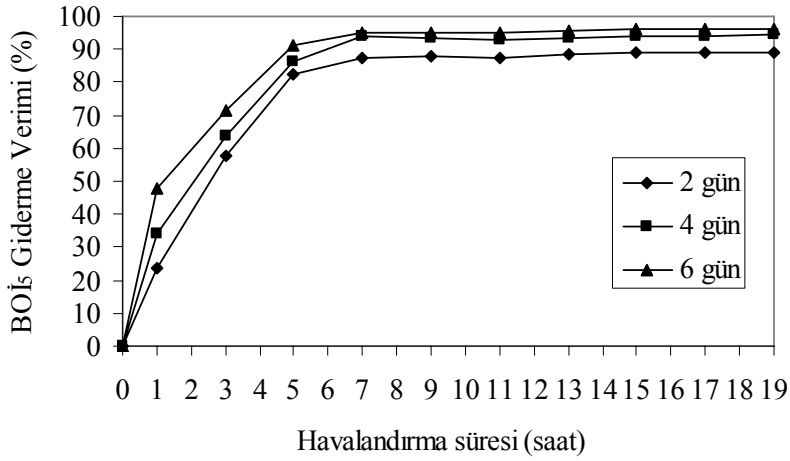
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizi Standart Metotlara (APHA, AWWA, WCPF, 1998) göre dikromat yöntemiyle yapılmıştır. Amonyum (Kit Kodu: 100683; Ölçüm Aralığı: 2-150 mg/l NH₄⁺-N), Toplam fosfor (Kit Kodu: 114729; Ölçüm Aralığı: 0.5-25 mg/l P) analizleri Standart Kit (Merck Specquorant) kullanılarak yapılmıştır. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) analizi Oxidirect BOİ₅ seti ile yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

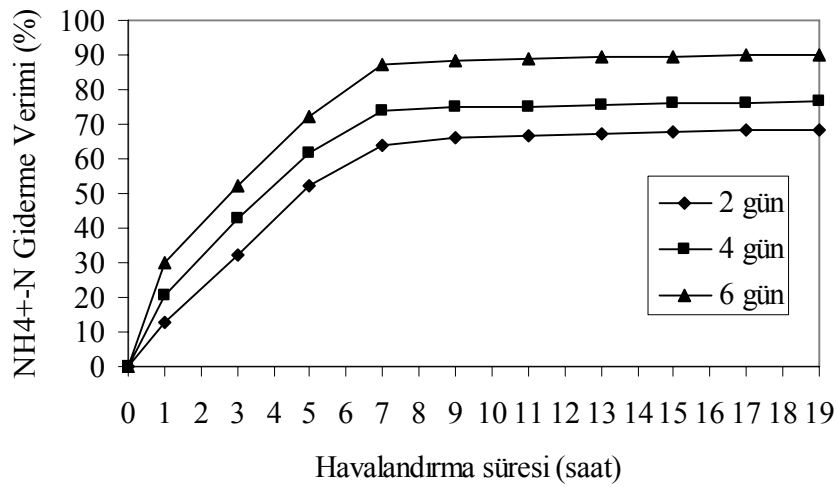
Süt endüstrisi atıksuyunun 2 gün, 4 gün ve 6 günlük hidrolik bekleme sürelerinde işletilen AKR'de arıtılmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. AKR'de organik yükün azalması ve HBS'nin artmasıyla çıkış kalitesi ve arıtma verimi artmıştır. 2 gün, 4 gün ve 6 günlük hidrolik bekleme sürelerinde işletilen reaktörlerde KOİ giderme verimi sırasıyla, % 93.2, % 96.8 ve % 97.5 olarak bulunmuştur. Süt ve süt ürünleri sanayisinin 24 saatlik kompozit numune bazında alıcı ortama deşarj standardında KOİ konsantrasyonu 160 mg/l olarak verilmiştir (SKKY, 2004). 4 günlük hidrolik bekleme süresinde ve 0.60 kg BOİ₅/m³-günlük organik yüklemeler altında çıkış KOİ konsantrasyonu 128 mg/l olarak bulunmuş olup, deşarj standardının sağlandığı görülmektedir. Yapılan benzer bir çalışmada, 8 günlük hidrolik bekleme süresinde ve 0.50 kg BOİ₅/m³-günlük organik yüklemeler altında çıkış KOİ konsantrasyonu 122 mg/l olarak bulunmuştur (Sirianuntapiboon ve diğ., 2005).



Şekil 1. KOİ giderme verimine havalandırma süresinin etkisi.
Figure 1. The effect of aeration time on the COD removal efficiency.



Şekil 2. BOİ5 giderme verimine havalandırma süresinin etkisi.
Figure 2. The effect of aeration time on the BOD₅ removal efficiency.



Şekil 3. NH₄⁺-N giderme verimine havalandırma süresinin etkisi.
Figure 3. The effect of aeration time on the NH₄⁺-N removal efficiency.

2 gün, 4 gün ve 6 günlük hidrolik bekleme sürelerinde işletilen reaktörlerde BOİ₅ giderme verimi sırasıyla, % 89.3, % 96.8 ve % 97.5 olarak bulunmuştur. 2 gün, 4 gün ve 6 günlük hidrolik bekleme sürelerinde işletilen reaktörlerde NH₄⁺-N giderme verimi ise sırasıyla, % 68.0, % 78.0 ve % 90.0 olarak bulunmuştur. Hidrolik bekleme süresinin 2 günden 6 güne çıkmasıyla % 22'lik daha fazla NH₄⁺-N giderme veriminin elde edildiği görülmektedir.

2 gün, 4 gün ve 6 gün HBS'de çalıştırılan reaktörlerde KOİ, BOİ₅ ve NH₄⁺-N giderme verimine havalandırma süresinin etkisi sırasıyla Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. KOİ, BOİ₅ ve NH₄⁺-N giderme veriminin çalışılan tüm HBS'de 7 saatlik havalandırma süresine kadar arttığı ve 7. saatten sonra ise giderme verimlerinde fazla değişimin olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar, 7 saatlik havalandırma süresinin KOİ, BOİ₅ ve NH₄⁺-N giderimi için yeterli olduğunu göstermektedir.

Havalandırma süresinin artması, işletme maliyetini artırdığından pratik bir uygulama değildir. AKR, artılan atıksuyun karakterine, artılmak istenen parametreye ve arıtma şekline paralel olarak bir çevriminde yer alan faz sürelerinin değiştirilmesi mümkündür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde, 19 saatlik havalandırma süresi 7 saate azaltılmıştır. Havalandırma süresindeki bu 12 saatlik fazla süre, dinlendirme faz süresine eklenmiştir. Diğer faz süreleri ise değiştirilmemiştir. Yapılan bu değişiklik sonucu, KOİ, BOİ₅ giderme veriminde % 1-2'lik bir azalma ve NH₄⁺-N giderme veriminde % 2-4'lük bir azalma olmuştur. 2 gün, 4 gün ve 6 günlük hidrolik bekleme sürelerinde işletilen reaktörlerde KOİ giderme verimi sırasıyla, % 92.0, % 96.1 ve % 97.1 olarak bulunmuştur. 4 günlük HBS ve 0.60 kg BOİ₅/m³-günlük organik yükleme altında çıkış KOİ konsantrasyonu 155 mg/l olup deşarj standardını sağladığı görülmektedir. 2 gün, 4 gün ve 6 günlük hidrolik bekleme sürelerinde işletilen reaktörlerde BOİ₅ giderme verimi sırasıyla, % 88.8, % 94.2 ve % 96.0 olarak bulunmuştur. 2 gün, 4 gün ve 6 günlük hidrolik bekleme sürelerinde işletilen reaktörlerde NH₄⁺-N giderme verimi ise sırasıyla, % 66.0, % 74.0 ve %

88.0 olarak bulunmuştur. Yüksek amonyum gideriminin gerekmediği durumda, 4 günlük HBS ve 0.60 kg BOİ₅/m³-günlük organik yük altında işletilen AKR performansının yeterli olduğu görülmektedir. Ancak, yüksek amonyum gideriminin gerekli olması halinde daha yüksek HBS'ne ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Havalandırma faz süresinin azaltılıp dinlendirme faz süresinin artırılması yanında bir gündeki devir sayısının artırılması şeklinde bir uygulama da yapılabilir. Ancak, eşit debideki atıksuyu aynı HBS'de arıtmak için 2 kat (2×7 saat = 14 saat) havalandırma süresi gerekli olduğundan ekonomik değildir. Bu nedenle, bir gündeki devir sayısını artırmak yerine bir devirdeki dinlendirme faz süresini artırmak daha uygundur.

SONUÇLAR

Artan HBS ve azalan organik yük, AKR'de süt endüstrisi atıksuyunun arıtma verimini artırmıştır. 4 günlük HBS ve 0.60 kg BOİ₅/m³-günlük organik yükleme altında çalıştırılan reaktörde çıkış suyundaki KOİ konsantrasyonunun, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki deşarj standardından (160 mg/l) düşük olduğu gözlenmiştir. AKR'de bir çevrimde, 7 saatlik havalandırma süresinde KOİ, BOİ₅ ve NH₄⁺-N giderme verimi bakımından 19 saatlik havalandırma süresinde elde edilen giderme verimlerine yakın sonuçlar alındığından, işletme maliyeti de göz önünde bulundurularak 7 saatlik havalandırma süresinin yeterli olduğu bulunmuştur. 4 günlük HBS ve 0.60 kg BOİ₅/m³-günlük organik yükün AKR'de süt endüstrisi atıksuyunun arıtılmasında KOİ giderme verimi bakımından uygun neticeler verdiği, daha yüksek amonyum giderme verimi için ise daha yüksek HBS'nin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, eşit debide atıksuyun aynı hidrolik bekleme süresinde artırılması durumunda, bir gündeki devir sayısını artırmak yerine bir devirdeki dinlendirme faz süresini artırmanın daha ekonomik olduğu ve bu uygulamanın KOİ, BOİ₅ ve NH₄⁺-N giderme verimine de etkisinin çok az olduğu bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- APHA, AWWA, WCPF., 1998, Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C.
- Demirel, B., 2005, Süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımı. İTÜ Dergisi/e- Su Kirlenmesi Kontrolü, 15 (1-3), 3-16.
- Eroglu V., Öztürk I., Demir I., Akça L. and Alp K., 1991, Sequencing Batch and Hybrid Anaerobic Reactors Treatment of Dairy Wastes. In the Proceedings of 46th Annual Purdue Univ. Industrial Waste Conf., May 13-15, USA.
- Fongsatitkul, P., Wareham, D.G. and Elefsiniotis, P., 2008, Treatment of four industrial wastewaters by sequencing batch reactors: Evaluation of COD, TKN and TP removal. Environmental Technology, 29 (11), 1257-1264.
- Ganesh, R., Balaji, G. and Ramanujam, R.A., 2006, Biodegradation of tannery wastewater using sequencing batch reactor – Respirometric assessment. Bioresource Technology, 97 (15), 1815-1821.
- Li, X. and Zhang, R., 2002, Aerobic treatment of dairy wastewater with sequencing batch reactor systems. Bioprocess Biosystem Engineering 25, 103-109.
- Öztürk, İ., 2000, Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Samkuttu, P.J., Gough, R.H. and McGrew, P., 1996, Biological treatment of dairy plant wastewater. Journal Environ. Science Health A, 31 (9), 2143-2153.
- Sirianuntapiboon, S., Jeeyachok, N. and Larplai, R., 2005, Sequencing batch reactor biofilm system for treatment of milk industry wastewater. Journal of Environmental Management, 76, 177-183.
- SKKY, 2004, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. 25687 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Steinmetz, H., Wiese, J. and Schmitt, T.G. 2002, Efficiency of SBR technology in municipal wastewater treatment plants. Water Science and Technology 46 (4), 293-299.
- Şengül, F., (1991). Endüstriyel atıksuların özellikleri ve arıtılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir.
- Torrijos, M., Vutton, V. and Moletta, R., 2001, The SBR process: an efficient and economic solution for the treatment of wastewater at small cheesemaking dairies in the Jura mountains. Water Science and Technology, 43 (3), 373-380.
- Wang, L.K., Hung, Y.T., Lo, H.H. and Yapijakis, C., 2006, Waste treatment in the food processing industry. Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Zhan, X.M., Healy, M.G. and Li, J.P., 2009, Nitrogen removal from slaughterhouse wastewater in a sequencing batch reactor under controlled low DO conditions. Bioprocess and Biosystems Engineering, 32 (5), 607-614.