

Süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımı

Burak DEMİREL^{*1}, Orhan YENİGÜN², Turgut T. ONAY²

¹University of Applied Sciences Hamburg, Lifetec Process Engineering, Lohbrügger Kirchstrasse 65, 21033 Hamburg, Germany

²Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Bebek, 34342, İstanbul

Özet

Bu makalede, süt endüstrisi atıksularının laboratuvar, pilot ve tam ölçekli havasız arıtımı konusunda son yıllarda yapılan araştırmaların bir özeti sunulmaktadır. Makalede süt endüstrisi atıksularının tek ve iki kademeli havasız arıtımı irdelenerek; aerobik ve anaerobik proseslerin birlikte kullanımı detaylı olarak incelenmiş ve bu konuda daha fazla araştırma yapılması gereken alanlar belirtilmiştir. Süt endüstrisi atıksularının arıtımında, fiziksel-kimyasal ve aerobik metotlara göre daha önemli avantajlara sahip olmaları nedeni ile konvansiyonel (tek kademeli) ve iki kademeli havasız (anaerobik) arıtma prosesleri kullanılmaktadır. Bu prosesler içinde, özellikle yukarı akışlı çamur yatağı havasız reaktörlerden sıkça faydalanılmaktadır, çünkü bu reaktörler kısa zaman içinde yüksek miktarda atıksu arıtılabilir kapasitesine sahiptirler. Süt endüstrisi atıksularında mevcut, yüksek miktarda lipid ve askıda katı madde miktarı özellikle tek kademeli havasız arıtma sistemlerinin performanslarını olumsuz biçimde etkilemektedir. Bu yüzden, iki kademeli havasız arıtma prosesleri süt endüstrisi atıksularının arıtımında önemli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Süt endüstrisi atıksularının iki kademeli havasız arıtımı, özellikle asit kademesinin mikrobiyolojisi ve de metan fazının performansı açısından daha detaylı incelenmelidir. Ayrıca havasız arıtma prosesleri metan ve hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynakları üretimi çok önemli potansiyele sahip olduklarından, yüksek organik yüke sahip süt endüstrisi atıksularından biyogaz üretimi de üzerinde durulması gereken bir konudur. İlgili yönetmelikler çerçevesinde belirlenen atıksu deşarj limitlerine ulaşmak için süt endüstrisi atıksularının arıtımında aerobik prosesler de anaerobik prosesler ile beraber sıkça kullanılmaktadır. Özellikle azot ve fosfor giderimi açısından bu proseslerin performansları çok önem taşımaktadır ve bu konuda güncel çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Anahtar kelimeler: Süt endüstrisi atıksuyu, havasız arıtma, aerobik, biyogaz.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Burak DEMİREL. Burak.Demirel@rzbd.haw-hamburg.de. Tel: 00 49 40 42875-6223. Makale metni 14.04.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 20.12.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Anaerobic treatment of dairy wastewaters

Extended abstract

For treatment of dairy wastewaters, biological conventional single and high-rate two-phase anaerobic treatment processes are commonly used, since they have more important advantages than physical-chemical and other biological methods. In this review article, a summary of recent laboratory, pilot and full-scale research activities on anaerobic treatment of dairy wastewaters are presented. In the article, single and two-phase anaerobic treatment of dairy wastewaters are firstly evaluated; combined use of aerobic and anaerobic processes are investigated in detail and areas where further research required are determined.

In single-phase anaerobic treatment of dairy wastewaters, anaerobic filter and upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors are commonly used. Anaerobic filters usually provide higher chemical oxygen demand (COD) removals around 90 %. Generally, anaerobic filters are operated in an organic loading rate range of between 5 to 10 kg COD/m³/day. However, low suspended solids (SS) and lipid concentrations in dairy effluents are key factors of success in anaerobic filter treatment. UASB reactors are another imperative alternatives for biological treatment of dairy waste effluents, since these reactors can treat larger volumes of wastewater, relatively at lower hydraulic retention times (HRT). Higher organic loading rates (OLR) are therefore applicable. However, biogranulation mechanism is the key parameter in UASB reactor systems, to attain a higher process efficiency and stability, independent of the wastewater type to be treated. UASB reactor systems are able to provide more than 90 % COD removal and can be operated in an OLR range up to 22 kg COD/m³/day. More research is particularly required on the microbiology of UASB reactor systems, to understand the mechanism of granulation clearly, so that the rates, when operated in an OLR range from 6 to 11 y can extensively be used in biological treatment of dairy and other seasonal industrial wastewaters. In addition to anaerobic filter and UASB reactor systems, hybrid reactors and anaerobic sequencing batch reactors (ASBR) are also employed in anaerobic biological treatment of dairy wastewaters. Both processes are able to provide higher than 90 % removal rates, when operated in an OLR range from 6 to 11 kg COD/m³/day.

Two-phase anaerobic treatment systems are also important alternatives for anaerobic treatment of dairy wastewaters. During two-phase anaerobic treatment processes, the performance of the first phase -acidogenesis- is of paramount importance. The most appropriate substrate should be provided in the acidogenic phase, to the subsequent methanogenic phase, for successful conversion to methane during methanogenesis. High-rate two-phase anaerobic treatment systems seem quite useful for treating dairy effluents, which contain particularly high concentrations of COD, suspended solids and lipids. For two-phase anaerobic processes, COD removals vary between 90 and 95 %. The flow rate and the nature of the particular dairy waste stream, the concentrations of suspended solids, lipids and proteins, and the variations in production cycles are the most important parameters, which affect the stability and performance of both conventional single-phase and high-rate two-phase anaerobic treatment systems. Two-phase anaerobic treatment processes seem more convenient for dairy streams with a high content of SS and lipids. Besides, there must be a sufficient amount of alkalinity present in anaerobic reactors for a stable operation. Anaerobic treatment systems also generate biogas, a valuable source of renewable and clean energy. Hydrogen and methane are produced via conventional single and two-phase anaerobic treatment of dairy wastewaters, since particular dairy waste streams contain a high organic load.

In addition to anaerobic treatment processes outlined above, combined aerobic-anaerobic treatment systems are commonly used, to treat dairy wastewaters. The primary objectives in these treatment systems are to reduce the concentrations of nitrogen (N) and phosphorus (P) released, and to achieve the high effluent discharge limits currently enforced by regulations.

Finally, two-phase anaerobic treatment of dairy waste effluents, combined aerobic-anaerobic biological treatment systems, and production of renewable biogas from dairy wastewaters are particular areas, where further and more detailed attention should be directed towards in near future

Keywords: Dairy wastewater, anaerobic treatment, aerobic, biogas.

Giriş

Süt endüstrisi, yüksek oranda organik madde içeren, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) konsantrasyonları yüksek, kuvvetli karakterde atıksular üretmektedir (Orhon vd., 1993). Atıksudaki yüksek organik yüke neden olan maddeler ise süttten kaynaklanan karbonhidratlar, proteinler ve yağlardır (Perle vd., 1995). Süt endüstrisi atıksuları genelde üretim esnasında cihazların ve hatların temizlenmesi, taşıyıcı konteynerlerin temizlenmesi, süt silolarının yıkanması, ve cihaz veya operasyon hataları sonucu oluşmaktadır (Kasapgil vd., 1994; Danalewich vd., 1998). Süt endüstrisi atıksuları fiziksel-kimyasal ve biyolojik metodlar ile arıtılabilirler. Fiziksel-kimyasal proseslerde kullanılan kimyasal madde maliyetlerinin yüksekliği ve çözülmüş KOİ gideriminin az olması, biyolojik proseslerin tercihine yol açmaktadır (Vidal vd., 2000). Son zamanlarda aerobik prosesler ile süt endüstrisi atıksuyu arıtımı çeşitli çalışmalara konu olmuştur (Jung vd., 2002; Andreottola vd., 2002; Bae vd., 2003; Green vd., 2004; Arrojo vd., 2004; Carta-Escobar vd., 2004; Carta-Escobar vd., 2005a; Carta-Escobar vd., 2005b). Aerobik prosesler, özellikle de aktif çamur tesisleri, süt endüstrisi atıksularının arıtımında sıkça kullanılmaktadır, ama yüksek enerji sarfiyatı bu prosesin önemli bir dezavantajıdır. Havasız (anaerobik) prosesler ise, havalandırma için enerji tüketimine ihtiyaç olmaması, az miktarda fazla çamur oluşumu ve tesis kurulumu için az miktarda alana ihtiyaç duyması gibi önemli avantajlara sahiptir. Ayrıca süt endüstrisi atıksularından biyogaz üretimi de bu prosesi, aerobik arıtma proseslerine nazaran, çok daha cazip kılmaktadır (Baig vd., 1999; Ramasamy ve Abbasi., 2000; Goldstein, 2004; McGrath ve Mason, 2004). Makalenin ilk bölümünde öncelikle süt endüstrisi atıksularının konvansiyonel tek kademeli havasız arıtımı ile ilgili çalışmalardan bahsedilmektedir. Daha sonraki bölümde ise iki kademeli havasız süt endüstrisi atıksularının arıtımı irdelenmektedir. Makalenin en son kısmında ise süt endüstrisi atıksularının arıtımında aerobik-anaerobik proseslerin beraber kullanımından bahsedilmiştir. Ayrıca konu ile ilgili daha fazla ilgi ve araştırma gereken alanlar da sonuçlar kısmında belirtilmektedir.

Tek kademeli havasız arıtma prosesleri

Havasız arıtma prosesleri, gerek süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında gerekse yüksek organik madde içeren tarım endüstrisi atıksularının arıtımında, aerobik proseslere göre, önemli avantajlara sahiptir (Gavala vd., 1996; Rajeshwari vd., 2000). Geçmiş tarihli bazı çalışmalarda süt endüstrisi atıksularının tek kademeli havasız prosesler ile biyolojik arıtımı detaylı bir şekilde incelenmiştir (Cordoba vd., 1984; Samson vd., 1985; Lo ve Liao, 1986; Barford vd., 1986; Lo vd., 1987; Toldra vd., 1987; Mendez vd., 1989). Yakın tarihlerde gerçekleştirilen çalışmaların bir özeti ise Tablo 1'de sunulmaktadır.

Süt endüstrisi atıksularının arıtımı için havasız filtre reaktörlerden genellikle faydalanılmaktadır. Eğer arıtılacak proses atıksuyunun askıda katı partikül madde (AKM) konsantrasyonu düşük ise, biyolojik arıtma için havasız filtre reaktörler uygundur. Özellikle 1990'dan itibaren süt endüstrisi atıksularının havasız filtre reaktörler ile arıtımını konu alan çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır (Viraraghavan ve Kikkeri, 1990; Viraraghavan ve Kikkeri, 1991a; Viraraghavan ve Kikkeri, 1991b; Anderson vd., 1994a; Monroy vd., 1994; Viraraghavan vd., 1996; Chen vd., 1996; İnce, 1998a; Alves vd., 1998; Punal vd., 1999). Bu araştırmalara kısaca göz atıldığında, laboratuvar ölçekli çalışmalarda süt endüstrisi atıksuyunda KOİ giderimi ortalama % 78-92 arasında değişirken (hidrolik bekleme süresi 4 gün) (Viraraghavan ve Kikkeri, 1990; Viraraghavan ve Kikkeri, 1991a), pilot ölçekli çalışmalarda KOİ gideriminin % 85 üzerinde olduğu görülmektedir (6 kg KOİ/m³/gün organik yükleme için) (İnce, 1998a). Son zamanlarda gerçekleştirilen araştırmalarda ise bu konuya fazla ilgi gösterilmemiştir ve sadece bir kaç önemli çalışma literatürde yer almıştır. Yapılan bir çalışmada yukarı akışlı havasız filtre reaktör, 21 kg KOİ/m³/gün organik yükleme seviyesine kadar çalıştırılmış, ve süt endüstrisi atık suyunda ortalama olarak % 80 civarında KOİ gideri sağlanmıştır (İnce vd., 2000). Omil vd. (2003), ise kalite kontrol laboratuvarından kaynaklanan süt endüstrisi atıksuyunun, tam ölçekli havasız filtre reaktör tarafından arıtımını incelemiştir.

Tablo 1. Süt endüstrisi atıksularının arıtımında tek kademeli havasız arıtma sistemlerinin performansları

Atıksu Tipi	Reaktör Tipi	Hidrolik Bekletme Süresi	Yük (kg KOİ/m ³ /gün)	Sıcaklık (°C)	KOİ Giderimi (%)	Uygulama Ölçeği	Referans
Peyniraltı atıksuyu	Havasız filtre	4 gün		30-21-12.5	92-85-78	Laboratuvar	Viraraghavan ve Kikkeri (1990); Viraraghavan ve Kikkeri (1991a)
Dondurma atıksuyu	Havasız filtre		5.5		75	Pilot	Monroy ve diğerleri, (1994)
Dondurma atıksuyu	Havasız filtre		6		85	Pilot	İnce (1998)
Dondurma atıksuyu	Havasız filtre	0.5 gün	21		80		İnce ve diğerleri, (2000)
Çiğ süt	Havasız filtre		5-6		90	Tam	Omil ve diğerleri, (2003)
Yağlı atıksu	Havasız filtre		10		85	Laboratuvar	Haridas ve diğerleri, (2005)
Peyniraltı atıksuyu	UASB*				> 97	Laboratuvar	Yan ve diğerleri, (1989)
Peynir üretimi atıksuyu	UASB*		31		90	Laboratuvar	Gutierrez ve diğerleri, (1991)
Entegre tesis atıksuyu	Hibrit UASB*	5 saat	8.5	30	87	Laboratuvar	Öztürk ve diğerleri, (1993)
Entegre tesis atıksuyu	Hibrit UASB*		1-8	30	92	Laboratuvar	Cordoba ve diğerleri, (1995)
Peynir üretimi atıksuyu	UASB*	30-40 gün	1.5-1.9	35	81	Laboratuvar	Gavala ve diğerleri, (1999)
Yağlı atıksu	UASB*				50		Cammarota ve diğerleri, (2001)
Yağlı atıksu	UASB*				82-90		Leal ve diğerleri, (2006)
Sentetik	Hibrit	1.7-4.1 gün	0.82-6.11	35	90-97	Laboratuvar	Ramasamy ve diğerleri, (2004)
Peyniraltı	Hibrit	2 gün	11		> 95	Laboratuvar	Strydom ve diğerleri, (1995)
Sentetik	Ardışıklı-kesikli	6 saat		5	62	Laboratuvar	Banik ve Dague (1997)
Sentetik dondurma atıksuyu	CSTR	7.45-5.99-4.60-3.76-2.99 gün		35	(Çözünmüş KOİ) 98-97-96-94-92 (Çözünmüş KOİ)	Laboratuvar	Ramasami ve Abbasi (2000)
	Ters akışlı akışkan yatak	3-60 gün	10-12		> 90		Arnaiz ve diğerleri, (2003)

* UASB= Yukarı akışlı çamur yatağı

Yaklaşık 5-6 kg KOİ/m³/gün organik yükleme seviyelerinde, havasız filtre reaktör, % 90 üzerinde KOİ giderimi sağlamıştır. Ayrıca, atıksu içinde mevcut yağ da havasız filtre reaktör tarafından başarılı şekilde bertaraf edilmiştir. Daha yakın tarihli bir çalışmada ise, havasız filtre reaktör, yağ içeriği yüksek, kompleks bir süt endüstrisi atıksuyunun arıtımı için kullanılmıştır (Haridas vd., 2005). Laboratuvar ölçekli bu çalışmanın sonucunda, yaklaşık 10 kg KOİ/m³/gün organik yükleme seviyelerinde, KOİ gideriminin % 85 üzerinde olduğu görülmüştür.

Yukarı akışlı havasız çamur yatağı (UASB) reaktörler endüstriyel atıksuların arıtımı için hızlı ve verimli alternatiflerdir, ancak bu prosesin başarısı açısından reaktör içinde mevcut biyokütlenin granüler şekilde olması gereklidir (Forster, 1991). Diğer endüstriyel atıksularda olduğu gibi, tam ölçekli yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörler yaklaşık 20 yıldan beri süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımında başarı ile kullanılmaktadırlar. Nitekim geçmiş tarihli bir takım çalışmalarda süt endüstrisi atıksularının tek kademeli yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörler ile arıtımları detaylı bir şekilde incelenmiştir (Yan vd., 1989; Yan vd., 1990; Gutierrez vd., 1991; Hwang ve Hansen, 1992; Yan vd., 1993; Öztürk vd., 1993; Cordoba vd., 1995). Bu çalışmaların bazılarında göz atıldığında, laboratuvar ölçekli hibrid yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörün, büyük bir süt endüstrisi tesisinden kaynaklanan atıksuların arıtımında %87 civarında KOİ giderimi sağladığı (30°C sıcaklık, 5 saat hidrolik bekletme süresi ve 8.5 g KOİ/litre/gün organik yükleme şartlarında) (Öztürk vd., 1993), başka bir laboratuvar ölçekli çalışmada ise, peynir altı atıksuyunda % 97 üzerinde KOİ giderimi elde edildiği görülmektedir (Yan vd., 1989). Laboratuvar ölçekli başka bir çalışmada, 31 g KOİ/litre/gün organik yükleme seviyesinde, yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktör, peynir üretimi proses atıksuyunda % 90 oranında KOİ giderimine ulaşırken (Gutierrez vd., 1991), 0.4-5 gün hidrolik bekletme süresi arasında çalıştırılan sürekli yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktör, % 64 ve 99 arasında değişen KOİ giderimi sağlamıştır

(Hwang ve Hansen, 1992). Yakın tarihli araştırmalara bakıldığında ise, KOİ konsantrasyonu 12-60 g KOİ/litre arasında değişen bir peynir üretimi proses atıksuyunun biyolojik arıtımı için laboratuvar ölçekli bir yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktör kullanılmıştır (Gavala vd., 1999). 2-7.3 g KOİ/litre/gün organik yükleme seviyesi ve 6 günlük hidrolik bekletme süresi için elde edilen KOİ giderimi oranları % 85-99 arasında değişirken, 30-40 günlük hidrolik bekletme süresinde elde edilen KOİ giderimi yaklaşık % 81 olarak belirtilmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda yağ ve gres (yaklaşık 868 mg/l) içeren süt endüstrisi atıksuyu yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktör tarafından arıtılmıştır (Camarrota vd., 2001). Bu tip atıksu için elde edilen KOİ giderimi verimi % 50 seviyesi altında olup, çıkışta uçucu askıda katı madde (UAKM) miktarı 944 mg/l seviyesine kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Laboratuvar ölçekli bir diğer çalışmada, yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörler, 35°C sıcaklıkta ve kesikli olarak çalıştırılıp, ani hidrolik ve organik yüklemelerin, ve de süt endüstrisi atıksuyu içinde mevcut serbest yağ miktarının, reaktörlerin performansları üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Nadaiş vd., 2001). Yazarlara göre yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörler bu şok yüklemelere rağmen iyi performans göstermişlerdir. Ramasamy vd., (2004), iki tip yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktör kullanarak, süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımını incelenmişlerdir. Reaktörler, 3-12 saat hidrolik bekletme süresi arasında ve 2.4-13.5 kg KOİ/m³/gün organik yükleme seviyelerinde çalıştırılmışlardır. Her iki reaktör için de 3 saatlik hidrolik bekletme süresinde elde edilen en yüksek KOİ giderimi % 95.6-96.3 arasında değişirken, 12 saatlik hidrolik bekletme süresinde KOİ giderimi yaklaşık % 92-90 olarak bulunmuştur. Düşük sıcaklıkta (10-20°C) süt endüstrisi atıksuyunun yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktör tarafından arıtımı incelenmiş ve bu sıcaklık seviyesinde KOİ gideriminin % 80 üzeri olduğu görülmüştür (Luostarinen ve Rintala, 2005). Buna karşılık düşük sıcaklıkta azot ve fosfor gideriminin yeterli olmadığı yazarlar tarafından belirtilmiştir. Yukarı akışlı mezofilik havasız çamur yatağı reaktörler kesikli olarak çalıştırılmış ve süt en-

düstrisi atık suyunun arıtımındaki performansları incelenmiştir (Nadai vd., 2005). Reaktörler 24-144 saat bekletme sürelerinde ve 2.5-29 kg KOİ/m³/gün yüklerinde çalıştırılmışlardır. En verimli sonuç 96 saatlik bekletme süresinde elde edilmiştir. Ayrıca 22 kg KOİ/m³/gün yüke kadar son derece dengeli işletim koşulları sağlanmıştır. Yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörler kullanılarak, 200-600-1000 mg/L yağ ve gres içeren sentetik süt endüstrisi atıksuyunun havasız arıtımı incelenmiştir (Leal vd., 2006). 1000 mg/l yağ ve gres içeren atıksuyun havasız arıtımı sonucunda yaklaşık olarak % 82-90 arasında değişen KOİ giderimi elde edilmiştir.

Havasız filtre ve yukarı akışlı havasız reaktörlere ilaveten, hibrit reaktörler ve havasız ardışıklı-kesikli reaktörlerde süt endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımında kullanılmaktadırlar. Daha önce gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli bir çalışmada, hibrit havasız reaktör sistemi ile sentetik süt endüstrisi atıksuyunda, 1.7-4.1 gün hidrolik bekletme süresi ve 0.82-6.11 kg KOİ/m³/gün organik yüklemeye seviyelerinde, % 90-97 civarında KOİ giderimi elde edilmiştir (Strydom vd., 1995). Daha yakın tarihli bir çalışmaya bakıldığında ise, kuvvetli asidik peynir altı atıksuyunun laboratuvar ölçekli havasız hibrit reaktör ile arıtımı incelenmiştir (Çallı ve Yükselen, 2002). Bu çalışmada 2 gün hidrolik bekletme süresi ve yaklaşık 11 kg KOİ/m³/gün organik yüklemeye seviyesinde, % 95 civarında KOİ giderimi sağlanmıştır. Havasız ardışıklı-kesikli reaktör sistemleri de süt endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımında verimli sonuçlar sağlamaktadır. Daha önce gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli bir çalışmada, 6 saat hidrolik bekletme süresi ve 5°C sıcaklıkta, yağ içermeyen sentetik bir süt endüstrisi atıksuyu için, havasız ardışıklı-kesikli reaktör sistemi, % 62 civarında çözülmüş KOİ ve % 75 civarında BOİ₅ giderimi sağlamıştır (Banik ve Dague, 1997). 5-20°C sıcaklık ve 6-24 saat hidrolik bekletme seviyeleri için ise, KOİ giderimi % 62-90, BOİ₅ giderimi % 75-90 arasında değişmiştir. Daha yakın tarihli bir araştırmada, süt endüstrisi atıksuyunun havasız ardışıklı-kesikli reaktör sistemi ile arıtılması için gerekli temel prensipler ve sistemin arıtma verimi irdelenmiştir (Ruiz vd., 2001).

Yazarlar, dengeli bir işletim için en yüksek organik yüklemeye seviyesini 6 kg KOİ/m³/gün olarak rapor etmişlerdir.

Yukarıda özetlenen bu çalışmalara ilaveten, son zamanlarda süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımını değişik açılardan inceleyen araştırmalar da gerçekleştirilmiştir. Yapılan bir çalışmada biyofilm destek sistemlerinin havasız sürekli tam karışım reaktörlerin üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Ramasamy ve Abbasi, 2000). Süt endüstrisi atıksuyu kullanılarak gerçekleştirilen bu laboratuvar ölçekli araştırmanın sonucunda biyofilm destek sistemlerinin etkisiyle reaktörün performansının, reaktörden bakteri kaçışının azalması ve atıksu-mikroorganizma temasının geliştirilmesi nedeniyle, önemli derecede arttığı gözlenmiştir. Hu vd., (2002), laboratuvar ölçekli çalışmada sentetik süt endüstrisi atıksuyunun havasız arıtımında proses kinetik sabitlerini incelemişlerdir. 2.99-7.45 gün hidrolik bekletme süresi ve 37°C sıcaklıkta gerçekleştirilen çalışmada, Monod ve Contois modelleri kullanılmıştır. Elde edilen verilerin ışığında Contois modelinin bu prosesin kinetik sabitlerini daha iyi belirlediği tespit edilmiştir. Leal vd., (2002), yüksek konsantrasyonlarda yağ (180, 450, 900 ve 1200 mg/l) içeren süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımında hidrolik enzimlerin kullanımını incelemişlerdir. Yazarlar, enzimler ile ön arıtım işlemine tabii tutulan atıksuların havasız arıtım performansında ciddi oranda gelişme gözlemlemişlerdir. Yakın tarihli başka bir çalışmada ise süt endüstrisi atıksuyunun havasız arıtımında ters akışlı akışkan yatak teknolojisinin etkileri araştırılmıştır (Arnaiz vd., 2003). Sabit atıksu KOİ konsantrasyonu, 3-60 gün arası değişen hidrolik bekletme süresi ve iki farklı reaktör kullanarak gerçekleştirilen çalışmada, her iki reaktörde de % 90 üzerinde KOİ giderimi elde edilmiştir (10-12 kg KOİ/m³/gün organik yüklemeye şartlarında).

İki kademeli havasız arıtma prosesleri
Özellikle yüksek konsantrasyonlarda organik askıda katı madde içeren yemek ve tarım endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımı için iki kademeli havasız arıtma prosesleri çok uygundur (Guerrero vd., 1999; Demirel ve Yenigün,

2002; Demirel vd., 2005). İki kademeli havasız arıtma sistemlerinde ilk kademe asitleşme (asit) kademesi, ikinci kademe ise giderilen KOİ'nin metan gazına dönüştürüldüğü methan kademesidir. Bu sistemde ilk kademe olan asit reaktörünün performansı en az ikinci kademe kadar önemlidir, çünkü asit reaktörü metan reaktörü için en uygun besi maddesini sağlamalıdır. Literatürde süt endüstrisi atıksularının iki kademeli havasız arıtımı esnasında asit reaktörünün performansını inceleyen çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Yu ve Fang (2000) laboratuvar ölçekli bir çalışmada sentetik süt endüstrisi atıksuyunun, yukarı akışlı reaktörde, asitleşme kademesini incelemiştir. 55°C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonucunda yazarlar organik yüklemeye değerindeki (KOİ bazında) artışla beraber, asitleşme derecesinin arttığını rapor etmişlerdir. Fang ve Yu (2000) hidrolik bekletme süresinin süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme derecesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 4-24 saat hidrolik bekletme süresi, 5.5 pH değeri ve 37°C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonucunda, 12 saat hidrolik bekletme süresi için asitleşme derecesi % 54.1, 24 saat hidrolik bekletme süresi için asitleşme derecesi % 59.1 olarak tespit edilmiştir. Laboratuvar ölçekli başka bir çalışmada substrat konsantrasyonunun sentetik süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme safhası üzerindeki etkileri incelenmiştir (Yu ve Fang, 2001a). 2-30 g KOİ/l substrat konsantrasyonu ve 55°C sıcaklık şartları altında, asetat, propiyonat, bütrat ve etanol başlıca asitleşme ürünleri olarak tespit edilmiştir. Yu ve Fang (2001b), orta ve yüksek konsantrasyonlu sentetik süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme safhasını laboratuvar ölçekli yukarı akışlı bir reaktörde incelemiştir. Yazarlar, yüksek konsantrasyonlu sentetik süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme safhasındaki en önemli ürünleri, alkol ve hidrojen (H₂) olarak belirlemiştir. Laboratuvar ölçekli başka bir çalışmada ise, çinko (Zn) ve bakırın (Cu) süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme safhası üzerindeki etkileri irdelenmiştir (Yu ve Fang, 2001c). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre bakırın, çinkoya göre, uçucu yağ asitleri (UYA) ve hidrojen (H₂) üretimi üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yu vd. (2002a), süt endüstrisi

atıksuyu kullanarak, asit reaktörlerinin devreye alınması esnasında sistemde mevcut bakteri topluluğunun performansını ve davranışını takip etmişlerdir. Bakteri topluluğunun performansının dengeye ulaşması için 2 aydan fazla bir süre gerekmiştir. Yu ve diğerleri (2002b), laboratuvar ölçekli yukarı akışlı reaktör kullanarak, 4.0-6.5 pH aralığında ve 37°C sıcaklıkta, sentetik süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme safhasını incelemiştir. 12 saat hidrolik bekletme süresi ve 5.5 pH değerinde, karbonhidratların % 95'i, proteinlerin % 82'si ve lipidlerin % 41'i biyolojik olarak ayrılmışlardır. Sentetik süt endüstrisi atıksularının asitleşme safhası 55°C sıcaklık seviyesinde de incelenmiştir (Yu vd., 2002c). Kesikli çalışan reaktörler kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonucunda, yazarlar hidrojen (H₂) üretiminin karbonhidrat fermentasyonu ile ilgili olduğunu öne sürmüşlerdir. 37 ve 55°C sıcaklık seviyelerinde iki adet yukarı akışlı havasız asit reaktörü sentetik süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme safhasını incelemek için devreye alınmıştır (Yu vd., 2002d). Denenen organik yüklemeye değerleri için, iki farklı sıcaklık seviyesinde çalışan reaktörün performansları (asitleşme derecesi ve KOİ giderimi bazında) arasında önemli bir fark tespit edilmiştir. Mason ve Mulcahy (2003), süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme safhasını, laboratuvar ölçekli kesikli ve yarı kesikli reaktörler kullanarak incelemiştir. 20°C sıcaklık seviyesinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda, asetik asitin en çok üretilen UYA olduğu tespit edilmiştir. Daha yakın tarihli laboratuvar ölçekli bir çalışmada ise, hidrolik bekletme süresinin süt endüstrisi atıksuyunun asitleşme safhası üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Demirel ve Yenigün, 2004). 12-24 saatlik hidrolik bekletme süresi arasında ve 35°C sıcaklık seviyesinde çalıştırılan sürekli tam karışimli reaktör kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonucunda, en yüksek asitleşme derecesi, 12 saatlik hidrolik bekletme süresinde, % 56 olarak elde edilmiştir. Demirel ve Yenigün (2006), 12-24 saatlik hidrolik bekletme süresi arasında ve 35°C sıcaklıkta çalıştırılan laboratuvar ölçekli sürekli tam karışimli reaktörde mevcut bakteri topluluğunun davranışını incelemiştir. Hidrolik bekletme süresinde azalma ile beraber toplam bakteri topluluğunun sayında da azalma gözlenmiştir.

Süt endüstrisi atıksularının iki kademeli havasız arıtımı ile ilgili literatürde geçmiş tarihli çeşitli çalışmalar mevcuttur (Li vd., 1984; Tanaka ve Matsuo, 1985; da Motta-Marques vd., 1990; Cohen vd., 1994; Anderson vd., 1994b; Jeyaseelan ve Matsuo, 1995). Bu araştırmalar prosesi bir bütün olarak (asit ve metan kademeleri) olarak irdeleyen çalışmalardır. Konu ile ilgili daha yakın tarihli, detaylı çalışmalar da mevcuttur, ama bu çalışmalar maalesef sayıca azdır. Yapılan çalışmaların genel olarak bir özeti Tablo 2’de verilmektedir.

İnce (1998b), laboratuvar ölçekli bir çalışmada, süt şişeleme tesisinden kaynaklanan atıksuyun iki kademeli havasız arıtımını incelemiştir. Sistem, sürekli tam karışimli reaktör (asit reaktörü) ve yukarı akışlı havasız filtre reaktörden (metan reaktörü) oluşup, 2 günlük hidrolik bekletme süresi ve 5 kg KOİ/m³/gün organik yükleme şartlarında çalıştırılmıştır. Yılmaz ve Yenigün (1999), laboratuvar ölçekli bir çalışmada, sentetik peynir altı atık suyunun iki kademeli havasız arıtımını incelemiştir. Sistem, sürekli tam karışimli reaktör (asit reaktörü) ve yukarı akışlı havasız filtre reaktörden (metan reaktörü) oluşup, 35°C sıcaklık seviyesinde çalıştırılmıştır. 4 günlük hidrolik bekletme süresinde, sistem % 95 oranında KOİ giderimi sağlamıştır. İnce ve

İnce (2000), laboratuvar ölçekli iki kademeli havasız arıtma sisteminin mikrobiyolojik yapısını incelemiştir. Süt endüstrisi atıksuyunun substrat olarak kullanıldığı çalışmada, metan reaktöründe mevcut toplam otofloresan metan bakterilerinin sayısının, toplam bakteri sayısına oranı % 2-13 arasında değişmektedir. Bu oran asit reaktöründe ise % 0.01-3 civarında tespit edilmiştir.

Gerek tek kademeli, gerek ise iki kademeli havasız arıtma sistemlerinde amaç; yüksek atık stabilizasyonu ve reaktör biyogazında yüksek oranda metan gazı elde etmektir. Bu amaçlara ulaşmak için mümkün olan en yüksek yükleme değerleri ve sonuçta elde edilebilecek arıtma performansları çok önem kazanmaktadır. Bu makalede havasız arıtma ile ilgili özetlenen çalışmalara göz atıldığında, maksimum yükleme seviyelerini ve arıtma performanslarını en çok etkileyen faktörler; yüksek atıksu konsantrasyonu, süt endüstrisi atıksuyunun debi ve kompozisyonunda, imalata bağlı olarak gelişen, ani ve yüksek değişimler, yüksek oranlarda askıda katı madde (AKM) ve lipid konsantrasyonları, reaktörde mevcut alkalinite miktarı ve atıksu özelliklerine uygun havasız reaktör seçimi olarak sıralanabilir. Süt endüstrisi atıksuyunun debi ve kompozisyonunda meydana gelebilecek ani ve

Tablo 2. Süt endüstrisi atıksularının arıtımında iki kademeli havasız arıtma sistemlerinin performansları

Atıksu Tipi	Reaktör tipleri	Hidrolik Bekletme Süresi	Yük (kg KOİ/m ³ /gün)	Sıcaklık (°C)	KOİ Giderimi (%)	Uygulama Ölçeği	Referans
Seyreltilmiş süt atığı	CSTR+Yukarı akışlı filtre reaktör	4.4 gün			92	Laboratuvar	Tanaka ve Matsuo (1985)
	Havasız akışkan yatak reaktörler		9.4		76-92		da Motta-Marques ve diğerleri, (1990)
Yağsız süt	CSTR+Yukarı akışlı filtre reaktör	2 gün		20	96	Laboratuvar	Jeyaseelan ve Matsuo (1995)
Süt ve krema şişeleme tesisi atıksuyu	CSTR+Yukarı akışlı filtre reaktör	2 gün	5	33-36	90	Laboratuvar	İnce (1998)
Sentetik peynir altı atıksuyu	CSTR+Yukarı akışlı filtre reaktör	5 gün		35	95	Laboratuvar	Yılmaz ve Yenigün (1999)

yüksek değişiklikler havasız atıksu arıtma sisteminden önce bir dengeleme tankının devreye alınması ile çözülebilir. Atıksuda mevcut yüksek AKM konsantrasyonları özellikle havasız filtre ve sürekli tam karışimli reaktörlerin performanslarını olumsuz şekilde etkileyebilirler. Ayrıca yine atıksuda mevcut yüksek protein ve yağ konsantrasyonları da havasız arıtma proseslerinde çeşitli problemler yaratabilir. Örneğin, yüksek yağ konsantrasyonları tek kademeli havasız filtre reaktörlerde tıkanmaya yol açabilir. Bu tip problemleri önlemek için havasız filtre reaktörlerde uygun dolgu malzemesi seçimi çok önemlidir (Uğurlu ve Forster, 1991; Anderson vd., 1994a). Yüksek konsantrasyonda protein ve yağ içeren süt endüstrisi atıksularının tek kademeli havasız arıtımı için yüksek çalışma hacmine sahip reaktörlerin, uzun hidrolik bekletme süresinde çalıştırılmaları gerekebilir, çünkü protein ve yağ hidrolizi için uzun zaman gerekmektedir (Hu vd., 2002). Özellikle yüksek konsantrasyonlarda AKM ve yağ içeren, konsantre süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımı için, iki kademeli havasız arıtma prosesleri daha uygun bir seçim olarak gözükmektedir (Jeyaseelan ve Matsuo, 1995). Süt endüstrisi atıksularının, tek veya iki kademeli havasız arıtımında, kararlı işletim şartları için, reaktörlerde yeterli miktarda alkalinite bulunması da çok önemli bir faktördür (Monroy vd., 1994; Omil vd., 2003).

Süt endüstrisi atıksularının havasız/aerobik arıtımı

İlgili yönetmelikler doğrultusunda belirlenen atıksu deşarj limitlerine ulaşmak için, süt endüstrisi atıksularının arıtımında, aerobik prosesler anaerobik prosesler ile beraber kullanılmaktadırlar. Konu ile ilgili geçmiş tarihli çalışmalar literatürde yer almaktadır (Kasapgil vd., 1994; Malaspina vd., 1995; Monroy vd., 1995; Comeau vd., 1996; Donkin ve Russell, 1997). Yakın tarihli çalışmalara bakıldığında ise, pilot ölçekli bir çalışmada, yüksek konsantrasyona sahip süt endüstrisi atıksuyunun, 5-7 günlük hidrolik bekletme sürelerinde, havasız ön arıtımı ve aerobik arıtımı incelenmiştir (Page vd., 1999). Karpacak vd. (2001), süt endüstrisi atıksuyundan patojen giderimini incelemiştir.

Yazarlara göre, atıksuyun bulanıklığı, sistemin patojen giderim kapasitesini etkilemiştir. Garrido vd. (2001), endüstriyel bir süt analiz laboratuvarından deşarj edilen atıksuların arıtımını incelemiştir. Havasız bir filtre reaktör ve ardışıklı-kesikli reaktör kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucunda, sistem çıkışı çözünmüş KOİ konsantrasyonu 200 mg/l, toplam azot konsantrasyonu ise 10 mg/l değerlerinin altında bulunmuştur. Ayrıca bu sistemin daha az çamur ürettiği ve enerji tüketiminin de düşük olduğu yazarlarca belirtilmiştir. Bickers vd., (2003), yüksek oranda fosfor içeren sentetik süt endüstrisi atıksuyundan fosfor giderimi incelenmiştir. Havasız bir reaktör ve aktif çamur sistemi kullanarak gerçekleştirilen çalışmanın sonucunda, atıksu arıtma çamuru fosfor konsantrasyonu 4.9 mg P/mg TSS civarı olarak tespit edilmiştir. Daha yakın tarihli bir çalışmada, havasız arıtma prosesleri ile birlikte çalıştırılan aerobik/anaerobik membran biyoreaktörlerin, süt endüstrisi atıksularının arıtımı için uygun bir yöntem olduğu belirtilmektedir (Çiçek, 2003). Li ve Zhang (2004), laboratuvar ölçekli bir çalışmada, anaerobik ve aerobik ardışıklı-kesikli reaktörler kullanarak, süt endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtımını incelemiştir. Yazarlara göre, bu sistem atıksuda etkili bir nitrifikasyon sağlamıştır. Carrasco vd. (2004), süt endüstrisi atıksuyunu arıtan tam ölçekli bir arıtma tesisinin performansını incelemiştir. Havasız filtre reaktör ve ardışıklı-kesikli reaktörden oluşan arıtma tesisi, 8-12 kg KOİ/m³ konsantrasyonuna sahip atıksu için, çıkışta 50-200 mg/l KOİ değerleri sağlamaktadır.

Sonuçlar

Süt endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımı için konvansiyonel havasız prosesler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu proseslerin içinde özellikle yukarı akışlı çamur yatağı havasız reaktörlerden endüstriyel atıksu arıtımında sıkça faydalanılmaktadır, çünkü bu tip reaktörler daha kısa sürede, daha fazla hacimde atıksu arıtım kapasitesine sahiptir. Yukarı akışlı çamur yatağı havasız reaktörlerin mikrobiyolojisi üzerinde yapılacak daha detaylı araştırmalar bu tip reaktörlerin endüstriyel uygulamalarda çok daha

etkin olarak kullanımının yolunu açabilir. Makalede de belirtildiği gibi, süt endüstrisi atıksuyunda yüksek konsantrasyonda mevcut lipid ve AKM miktarı, tek kademeli havasız arıtma sistemlerinin performanslarını (KOİ giderimi, çıkış suyu kalitesi, vs. gibi parametreler bazında) olumsuz şekilde etkilemektedir. Bu yüzden, iki kademeli havasız arıtma prosesleri süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımı için önemli bir alternatif olarak değerlendirilmelidir, çünkü literatürde yer alan bazı çalışmalarda, iki kademeli havasız arıtma sistemlerinin, özellikle gıda endüstrisi atıksuları için, tek kademeli havasız arıtma proseslerine oranla, KOİ giderimi ve metan gazı üretimi bazında, daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Ayrıca iki kademeli havasız endüstriyel atıksu arıtma sistemleri ile lipid ve AKM problemleri de çözülmektedir. Literatürde süt endüstrisi atıksularının iki kademeli havasız arıtımını bir bütün olarak kapsayan pek fazla çalışma mevcut değildir, sadece asit fazının performansı ile ilgili detaylı çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca metan fazının ve pilot veya tam ölçekli tesislerin performansları ile ilgili literatürde pek fazla bilgi yoktur. Süt endüstrisi atıksularının iki kademeli havasız arıtımı, özellikle hem asit hem de metan fazlarının mikrobiyolojisi ve sistemin biyogaz üretimi (hidrojen ve metan) kapasitesi açısından, daha detaylı şekilde incelenmelidir. Lipidlerin yanısıra yüksek konsantrasyonda protein içeren süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımı hakkında da daha detaylı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır, çünkü literatürde mevcut çalışmalarda bu konu hakkında çelişkili bilgiler bulunmaktadır. Özellikle süt endüstrisi atıksularının iki kademeli havasız arıtımı esnasında, asit kademesinde, proteinlerin hidrolizini irdeleyen çeşitli araştırmalarda farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Süt endüstrisi atıksularından azot ve fosfor giderimi hakkında son zamanlarda pilot ve tam ölçekli çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir, çünkü bu konuda çok sıkı deşarj yönetmelikleri yürürlüğe girmiştir. Süt endüstrisi atıksularından azot ve fosfor giderimi için aerobik ve anaerobik prosesler birlikte sıkça kullanılmaktadır ve büyük olasılıkla bu konuda daha detaylı çalışmalar yakın zamanda gerçekleştirilecektir. Havasız arıtma/çürütme prosesleri yenilenebilir-temiz enerji

kaynakları (metan ve hidrojen gibi) üretimi açısından çok önemli bir potansiyele sahiptir. Dolayısıyla yüksek organik kirliliğe sahip süt endüstrisi atıksularından, tek veya iki kademeli havasız arıtma prosesleri kullanarak biyogaz üretimi, üzerinde daha detaylı çalışılması gereken, cazip bir konu olarak gözükmektedir.

Kaynaklar

- Alves M., Pereira A., Mota M., Novais J.M. ve Colleran E. (1998). Staged and non-staged anaerobic filters: microbial activity segregation, hydrodynamic behaviour and performance, *Journal of chemical technology and biotechnology*, **73**, 99-108.
- Anderson G.K., Kasapgil B. ve Ince O. (1994a). Comparison of porous and non-porous media in upflow anaerobic filters when treating dairy wastewaters, *Water Research*, **28**, 1619-1624.
- Anderson G.K., Kasapgil B. ve Ince O. (1994b). Microbiological study of two-stage anaerobic digestion during start-up, *Water Research*, **28**, 2383-2392.
- Andreottola G., Foladori P., Ragazzi M. ve Villa R. (2002). Dairy wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor, *Water Science and Technology*, **45**, 12, 321-328.
- Arnaiz C., Buffiere P., Elmaleh S., Lebrato J. ve Moletta R. (2003). Anaerobic digestion of dairy wastewater by inverse fluidization: The inverse fluidized bed and the inverse turbulent bed reactors, *Environmental Technology*, **24**, 11, 1431-1443.
- Arrojo B., Mosquera-Corral A., Garrido J.M. ve Mendez R. (2004). Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors, *Water Research*, **38**, 14-15, 3389-3399.
- Bae T.H., Han S.S. ve Tak T.M. (2003). Membrane sequencing batch reactor system for the treatment of dairy industry wastewater, *Process Biochemistry*, **39**, 2, 221-231.
- Baig S., Shahjahan S. ve Kausar T. (1999). Methane production from dairy wastewater, *J. Sci. Ind. Res.*, **58**, 7, 543-546.
- Banik G.C. ve Dague R.R. (1997). ASBR treatment of low strength industrial wastewater at psychrophilic temperatures, *Water Science and Technology*, **36**, 337-344.
- Barford J.P., Cail R.G., Callander I.J. ve Floyd E.J. (1986). Anaerobic digestion of high-strength cheese whey utilizing semicontinuous digesters

- and chemical flocculant addition, *Biotechnology and Bioengineering*, **28**, 1601-1607.
- Bickers P.O., Bhamidimarri R., Shepherd J. ve Russell J. (2003). Biological phosphorus removal from a phosphorus-rich dairy processing wastewater, *Water Science and Technology*, **48**, 43-51.
- Callı B. ve Yukselen M. A. (2002). Anaerobic treatment by a hybrid reactor, *Environ. Eng. Sci.*, **19**, 143-150.
- Cammarota M.C., Teixeira G.A. ve Freire D.M.G. (2001). Enzymatic pre-hydrolysis and anaerobic degradation of wastewaters with high fat contents, *Biotechnology Letters*, **23**, 1591-1595.
- Carrasco E.F., Omil F., Garrido J.M., Arrojo B. ve Mendez R. (2004). Advanced monitoring and supervision of biological treatment of complex dairy effluents in a full-scale plant, *Biotechnology Progress*, **20**, 3, 992-997.
- Carta-Esobar F., Pereda-Marin J., Mateos-Alvarez P., Romero-Guzman F., Duran-Barrantes M.M. ve Barriga-Mateos F. (2004). Aerobic purification of dairy wastewater in continuous regime Part 1. Analysis of the biodegradation process in two reactor configurations, *Biochemical Engineering Journal*, **21**, 2, 183-191.
- Carta-Esobar F., Pereda-Marin J., Mateos-Alvarez P., Romero-Guzman F. ve Duran-Barrantes M.M. (2005a). Aerobic purification of dairy wastewater in continuous regime Part 2. Kinetic study of the organic matter removal in two reactor configurations, *Biochemical Engineering Journal*, **22**, 2, 117-124.
- Carta-Esobar F., Pereda-Marin J., Mateos-Alvarez P., Romero-Guzman F., Duran-Barrantes M.M. ve Barriga-Mateos F. (2005b). Aerobic purification of dairy wastewater in batch reactors: kinetic study of the influence of a pre-storage stage without aeration in the degradation of organic matter and ammonium consumption by nitrification, *Process Biochemistry*, **40**, 2, 549-556.
- Chen T.H. ve Shyu W.H. (1996). Performance of four types of anaerobic reactors in treating very dilute dairy wastewater, *Biomass Bioenergy*, **11**, 431-440.
- Cohen A., Thiele J.H. ve Zeikus J.G. (1994). Pilot-scale anaerobic treatment of cheese whey by the substrate shuttle process, *Water Science and Technology*, **30**, 433-442.
- Cordoba, P.R., Riera, S.F. ve Sineriz, F. (1984). Treatment of dairy industry wastewater with an anaerobic filter, *Biotechnology Letters*, **6**, 753-758.
- Cicek N. (2003). A review of membrane bioreactors and their potential application in the treatment of agricultural wastewater, *Can. Biosyst. Eng.*, **45**, 637-649.
- Comeau Y., Lamarre D., Francois R., Michel P., Desjardins G., Hade C. ve Mayer R. (1996). Biological nutrient removal from a phosphorus-rich pre-fermented industrial wastewater, *Water Science and Technology*, **34**, 169-177.
- Cordoba P.R., Francese A.P. ve Sineriz F. (1995). Improved performance of a hybrid design over an anaerobic filter for the treatment of dairy industry wastewater at laboratory scale, *Journal of fermentation and bioengineering*, **79**, 270-272.
- da Motta-Marques D.M.L., Cayless S.M. ve Lester J.N. (1990). Start-up regimes for anaerobic fluidized systems treating dairy wastewater, *Biol. Wastes*, **34**, 191-202.
- Danalewich J.R., Papagiannis T.G., Belyea R.L., Tumbleson M.E. ve Raskin L. (1998). Characterization of dairy waste streams, current treatment practices, and potential for biological nutrient removal, *Water Research*, **32**, 3555-3568.
- Demirel B. ve Yenigün O. (2002). Two-phase anaerobic digestion processes: a review, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **77**, 743-755.
- Demirel B. ve Yenigün O. (2004). Anaerobic acidogenesis of dairy wastewater: the effects of variations in hydraulic retention time with no pH control, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **79**, 755-760.
- Demirel B., Yenigün O. ve Onay T. (2005). Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, *Process Biochemistry*, **40**, 2583-2595.
- Demirel B. ve Yenigün O. (2006). Changes in microbial ecology in an anaerobic reactor, *Biore-source Technology*, Article in press.
- Donkin M.J. ve Russell J.M. (1997). Treatment of a milk powder/butter wastewater using the AAO activated sludge configuration, *Water Science and Technology*, **36**, 79-86.
- Fang H.H.P. ve Yu H.Q. (2000). Effect of HRT on mesophilic acidogenesis of dairy wastewater, *Journal of Environmental Engineering*, **126**, 1145-1148.
- Forster C.F. (1991). Anaerobic upflow sludge blanket reactors: aspects of their microbiology and their chemistry, *Biotechnol. Env.*, **17**, 3, 221-231.
- Garrido J.M., Omil F., Arrojo B., Mendez R. ve Lema J.M. (2001). Carbon and nitrogen removal from a wastewater of an industrial dairy laboratory with a coupled anaerobic filter-sequencing batch reactor system, *Water Science and Technology*, **43**, 249-256.

- Gavala H.N., Skiadas I.V., Nikolaos A.B. ve Lyberatos G., (1996). Anaerobic digestion of agricultural industries wastewaters, *Water Science and Technology*, **34**, 67-75.
- Gavala H.N., Kopsinis H., Skiadas I.V., Stamatelaitou K. ve Lyberatos G.L. (1999). Treatment of dairy wastewater using an upflow anaerobic sludge blanket reactor, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **73**, 59-63.
- Goldstein J. (2004). Reducing greenhouse gas emissions and electrical power costs, *BioCycle*, **45**, 10, 35-37.
- Green M., Gidron E., Beliavski M., Lahav O. ve Tarre S. (2004). Treatment of dairy wastewater using a vertical bed with passive aeration, *Environmental Technology*, **25**, 10, 1123-1129.
- Guerrero L., Omil F. Mendez R. ve Lema J.M. (1999). Anaerobic hydrolysis and acidogenesis of wastewaters from food industries with high content of organic solids and protein, *Water Res.*, **33**, 3281-3290.
- Gutierrez J.L.R., Garcia Encina P.A. ve Polanco, F.F. (1991). Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor, *Bioresour. Technol.*, **37**, 271-276.
- Haridas A., Suresh S., Chitra K.R. ve Manilal V.B. (2005). The buoyant filter bioreactor: a high-rate anaerobic reactor for complex wastewater-process dynamics with dairy effluent, *Water Res.*, **39**, 993-1004.
- Hu W.C., Thayanithy K. ve Forster C.F. (2002). A kinetic study of the anaerobic digestion of ice cream wastewater, *Process Biochem.*, **37**, 965-971.
- Hwang S.H. ve Hansen C.L. (1992). Performance of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating whey permeate, *Trans. ASAE*, **35**, 1665-1671.
- Ince O. (1998a). Potential energy production from anaerobic digestion of dairy wastewater, *J Environ. Sci. Health, Part A: Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.*, **33**, 1219-1228.
- Ince O. (1998b). Performance of a two-phase anaerobic digestion system when treating dairy wastewater, *Water Res.*, **32**, 2707-2713.
- Ince O., Ince B.K. ve Donnelly T. (2000). Attachment, strength and performance of a porous media in an upflow anaerobic filter treating dairy wastewater, *Water Science and Technology*, **41**, 261-270.
- Ince B.K. ve Ince O. (2000). Changes to bacterial community make-up in a two-phase anaerobic digestion system, *J Chem. Technol. Biotechnol.*, **75**, 500-508.
- Jeyaseelan S. ve Matsuo T. (1995). Effects of phase separation in anaerobic digestion on different substrates, *Water Sci. Technol.*, **31**, 153-162.
- Jung F., Cammarota M.C. ve Freire D.M.G. (2002). Impact of enzymatic pre-hydrolysis on batch activated sludge systems dealing with oily wastewaters, *Biotechnol. Lett.*, **24**, 21, 1797-1802.
- Karpiscak M.M., Sanchez L.R., Freitas R.J. ve Gerba C.P. (2001). Removal of bacterial indicators and pathogens from dairy wastewater by a multi-component treatment system, *Water Science and Technology*, **44**, 183-190.
- Kasapgil B., Anderson G.K. ve Ince O. (1994). An investigation into the pre-treatment of dairy wastewater prior to aerobic biological treatment, *Water Science and Technology*, **29**, 205-212.
- Leal M.C.M.R., Cammarota M.C., Freire D.M.G. ve Sant'Anna G.L. (2002). Hydrolytic enzymes as coadjuvants in the anaerobic treatment of dairy wastewaters, *Brazilian J Chem. Eng.*, **19**, 2, 175-180.
- Leal M.C.M.R., Freire D.M.G., Cammarota M.C. ve Sant'Anna G.L. (2006). Effect of enzymatic hydrolysis on anaerobic treatment of dairy wastewater, *Process Biochem.*, Article in Press.
- Li A., Sutton P.M., Corrado J.J. ve Kothari D. (1984). Optimization of two-phase anaerobic fluidized bed process. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Fixed-Film Biological Processes*, Arlington, VA, USA, 1984, 1741-1759.
- Li X. ve Zhang R.H. (2004). Integrated anaerobic and aerobic treatment of dairy wastewater with sequencing batch reactors, *Trans. ASAE*, **47**, 235-241.
- Lo K.V. ve Liao P.H. (1986). Two-stage anaerobic digestion of cheese-whey, *Biomass*, **10**, 319-322.
- Lo K.V., Liao P.H. ve Chiu C. (1987). Mesophilic anaerobic digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure, *Biomass*, **15**, 45-53.
- Luostarinen S.A. and Rintala J.A. (2005). Anaerobic on-site treatment of black water and dairy parlour wastewater in UASB-septic tanks at low temperatures, *Water Res.*, **39**, 2-3, 436-448.
- Malaspina F., Stante L., Cellamare C.M. ve Tilche A. (1995). Cheese whey and cheese factory wastewater treatment with a biological anaerobic-aerobic process, *Water Science and Technology*, **32**, 59-72.
- Mason I.G. ve Mulcahy J. (2003). Volatile fatty acid production from afm dairy wastewater, *Trans. ASAE*, **46**, 3, 819-824.
- McGrath R.J. ve Mason I.G. (2004). An observational method for the assessment of biogas pro-

- duction from an anaerobic waste stabilisation pond treating farm dairy wastewater, *Biosystems Eng.*, **87**, 4, 471-478.
- Mendez R., Blazquez R., Lorenzo F. ve Lema J.M. (1989). Anaerobic treatment of cheese whey. Start-up and operation, *Water Science and Technology*, **21**, 1857-1860.
- Monroy O., Johnson K.A., Wheatley A.D., Hawkes F. ve Caine M. (1994). The anaerobic filtration of dairy waste: Results of a pilot trial, *Bioresource Technology*, **50**, 243-251.
- Monroy O.H., Vazquez F.M., Derramadero J.C. ve Guyot J.P. (1995). Anaerobic-aerobic treatment of cheese wastewater with national technology in Mexico: The case of 'El Sauz', *Water Science and Technology*, **32**, 149-156.
- Nadais H., Capela I., Arroja L. ve Duarte A. (2001). Effects of organic, hydraulic and fat shocks on the performance of UASB reactors with intermittent operation, *Water Sci. Technol.*, **44**, 4, 49-56.
- Nadais H., Capela I., Arroja L. ve Duarte A. (2005). Optimum cycle time for intermittent UASB reactors treating dairy wastewater, *Water Research*, **39**, 1511-1518.
- Omil F., Garrido J.M., Arrojo B. ve Mendez R. (2003). Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale, *Water Res.*, **37**, 4099-4108.
- Orhon D., Gorgun E., Germirli F. ve Artan N., Biological treatability of dairy wastewaters, *Water Research*, **27**, 625-633.
- Ozturk I., Eroglu V., Ubay G. ve Demir I. (1993). Hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor (HUASBR) treatment of dairy effluents, *Water Science and Technology*, **28**, 77-85.
- Page I., Ott C.R., Pottle D.S., Cocci A.A. ve Landine R.C. (1999). Anaerobic-aerobic treatment of dairy wastewater: A pilot study. In *Proceedings of the 1999 31s Mid-Atlantic Industrial and Hazardous Waste Conference*, Storrs, CT, USA, 1999, 69-78.
- Perle M., Kimchie S. ve Shelef G. (1995). Some biochemical aspects of the anaerobic degradation of dairy wastewater, *Water Research*, **29**, 1549-1554.
- Punal A., Mendez-Pampin R.J. ve Lema J.M. (1999). Characterization and comparison of biomasses from single and multi fed upflow anaerobic filters, *Bioresource Technology*, **68**, 293-300.
- Rajeshwari K.V., Balakrishnan M., Kansal A., Lata K. ve Kishore V.V.N. (2000). State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, **4**, 135-156.
- Ramasamy E.V. ve Abbasi S.A. (2000). Energy recovery from dairy waste-waters: impact of biofilm support systems on anaerobic CST reactors, *Applied Energy*, **65**, 1-4, 91-98.
- Ramasamy E.V., Gajalakshmi S., Sanjeevi R., Jithesh M.N. ve Abbasi S.A. (2004). Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors, *Bioresource Technology*, **93**, 209-212.
- Ruiz C., Torrijos M., Sousbie P., Martinez J.L. ve Moletta R. (2001). The anaerobic SBR process: basic principles for design and automation, *Water Science and Technology*, **43**, 201-208.
- Samson R., Van den Berg B., Peters R. ve Claude H. (1985). Dairy waste treatment using industrial scale fixed-film and upflow sludge bed anaerobic digesters: Design and start-up experience. In *Proceedings of 39th Purdue Industrial Waste Conference*, West Lafayette, Indiana, USA, 235-241.
- Strydom J.P., Mostert J.F. ve Britz T.J. (1995). Anaerobic treatment of a synthetic dairy effluent using a hybrid digester, *Water SA*, **21**, 125-130.
- Tanaka S. ve Matsuo T. (1985). Treatment characteristics of the two-phase anaerobic digestion system using an upflow filter, *Water Science and Technology*, **18**, 217-224.
- Toldra F., Flors A.J.L. ve Valles S. (1987). Fluidized bed anaerobic biodegradation of food industry wastewaters, *Biological Wastes*, **21**, 55-61.
- Ugurlu A. ve Forster C.F. (1991). Thermophilic anaerobic treatment of ice cream wastes: A comparison of porous and non-porous media, *Trans. Inst. Chem. Eng.*, **69**, 37-42.
- Vidal G., Carvalho A., Mendez R. ve Lema J.M. (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters, *Bioresource Technology*, **74**, 231-239.
- Viraraghavan T. ve Kikkeri S.R. (1990). Effect of temperature on anaerobic filter treatment of dairy wastewater, *Water Science and Technology*, **22**, 191-198.
- Viraraghavan T. ve Kikkeri S.R. (1991a). Dairy wastewater treatment using anaerobic filters, *Can. Agric. Eng.*, **33**, 143-149.
- Viraraghavan T. ve Kikkeri S.R. (1991b). Start-up of anaerobic filters treating dairy wastewater: effect of temperature and shock load, *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering*, **26**, 287-300.
- Viraraghavan T. ve Varadajaran R. (1996). Low-temperature kinetics of anaerobic-filter wastewater

- ter treatment, *Bioresource Technology*, **57**, 165-171.
- Yan J.Q., Lo K.V. ve Liao P.H. (1989). Anaerobic digestion of cheese whey using up-flow anaerobic sludge blanket reactor, *Biological Wastes*, **27**, 289-305.
- Yan J.Q., Lo K.V. ve Liao P.H. (1990). Anaerobic digestion of cheese whey using up-flow anaerobic sludge blanket reactor. Sludge and substrate profiles, *Biomass*, **21**, 257-271.
- Yan J.Q., Lo K.V. ve Pinder K.L. (1993). Instability caused by high strength of cheese whey in a UASB reactor, *Biotechnology and Bioengineering*, **41**, 700-706.
- Yilmazer G. ve Yenigün O. (1999). Two-phase anaerobic treatment of cheese whey, *Water Science and Technology*, **40**, 289-295.
- Yu H.Q. ve Fang H.H.H.P. (2000). Thermophilic acidification of dairy wastewater, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **54**, 439-444.
- Yu H.Q. ve Fang H.H.H.P. (2001a). Production of volatile fatty acids and alcohols from dairy wastewater under thermophilic conditions, *Trans. ASAE*, **44**, 1357-1361.
- Yu H.Q. ve Fang H.H.H.P. (2001b). Acidification of mid- and high-strength dairy wastewaters, *Water Research*, **35**, 3697-3705.
- Yu H.Q. ve Fang H.H.H.P. (2001c). Inhibition on acidogenesis of dairy wastewater by zinc and copper, *Environ. Technol.*, **22**, 1459-1465.
- Yu H.Q., Chan O.C. ve Fang H.H.H.P. (2002a). Microbial community dynamics during start-up of acidogenic anaerobic reactors, *Water Research*, **36**, 3203-3210.
- Yu H.Q., Chan O.C. ve Fang H.H.H.P. (2002b). Acidogenesis of dairy wastewater at various pH levels, *Water Science and Technology*, **45**, 201-206.
- Yu H.Q., Chan O.C. ve Fang H.H.H.P. (2002c). Anaerobic acidification of a synthetic wastewater in batch reactors at 55°C, *Water Science and Technology*, **46**, 153-157.
- Yu H.Q., Chan O.C., Fang H.H.H.P. ve Gu G.W. (2002d). Comparative performance of mesophilic and thermophilic acidogenic upflow reactors, *Process Biochemistry*, **38**, 447-454.