

PAPER DETAILS

TITLE: Süt Endüstrisi Atık Sularinin Aritilmasında Aktif Çamur Prosesinin Kullanımı

AUTHORS: Elif Ayse ANLI,Tuba SANLI

PAGES: 252-259

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/797368>

Süt Endüstrisi Atık Sularının Arıtılmasında Aktif Çamur Prosesinin Kullanımı

Elif Ayşe Anlı  , Tuba Şanlı 

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Ankara

Geliş Tarihi (Received): 20.04.2019, Kabul Tarihi (Accepted): 27.06.2019

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): kocaoglu@agri.ankara.edu.tr (E. A. Anlı)

☎ 0312 596 17 75 📠 0312 318 22 19

Öz

Su, süt endüstrisi için önemli proses ortamıdır ve gerçekleştirilen temizlik, dezenfeksiyon, soğutma ve ısıtma gibi çok çeşitli işlemlerde önemli rol oynar. Bu nedenle, süt işleyen tesisler çok miktarda su kullanır ve bunun sonucu olarak, yüksek miktarda organik madde içeren atık su üretir. Sütçülük atık suları başlıca ünitelerin temizlenmesi sonucu suya karışan süt, işleme, paketlenme sırasında dökülen süt veya ürünler, peyniraltı suyu, salamura, yayıkaltı (tereyağı üretiminden kalan), motor yağları, temizlikte kullanılan deterjan ve kimyasal maddeleri içermektedir. Sütçülük atık sularının kimyasal kompozisyonu genel olarak organik maddelerden oluşmakta ve besin bakımından zengin kirleticiler nedeniyle yüksek biyolojik oksijen ve kimyasal oksijen ihtiyacı ile karakterize edilmektedir. Bu nedenle, arıtılmamış ya da kısmen arıtılmış atık su deşarj eden süt işleme endüstrileri ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Süt endüstrisi atık suları geleneksel olarak biyolojik ve fizikokimyasal yöntemlerle arıtılmaktadır. Atık suyun kompozisyonu düşünülerek uygun yöntemin seçimi arıtma sisteminin başarısını etkilemektedir. Süt endüstrisi atık sularında yüksek organik madde içeriği nedeniyle biyolojik arıtma yöntemleriyle etkili arıtma sağlanabilmektedir. Aktif çamur prosesi ise biyolojik arıtma yöntemleri içerisinde en fazla kullanılan yöntemdir. Aktif çamur prosesi ile atık suda bulunan karbon, nitrojen ve fosfor biyolojik olarak uzaklaştırılmaktadır. Arıtma sürecinde farklı görevleri olan mikroorganizma topluluğu olarak bilinen aktif çamur prosesi çevre dostu, ekonomik maliyeti düşük ve hedef atık doğru seçildiğinde etkili bir arıtma yöntemi olarak bilinir. Bu derlemede süt endüstrisi atık sularının özellikleri ile bu atıkların biyolojik arıtma yöntemlerinden biri olan aktif çamur prosesine uygunluğu değerlendirilmiş, ayrıca aktif çamur prosesinin prensibi ve sistemin çalışmasını etkileyen mikroorganizma topluluğu ve görevlerine ilişkin bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süt endüstrisi atık suları, Biyolojik arıtma yöntemleri, Aktif çamur prosesi

Use of Activated Sludge Process in Dairy Wastewater Treatment

ABSTRACT

Water is an important process medium used in cleaning, disinfection, cooling and heating practices in dairy plants. Large amounts of water is used so high amount of organic matter loaded wastewater is obtained during manufacture of dairy products. Dairy wastewater contains cleaning water mixed with milk or milk products poured out during processing and packaging, whey from cheese-making, brine, buttermilk, fat, oil and grease, chemical agents, detergents and sanitizers used in cleaning practices. Dairy wastewater is characterized with its high BOD and COD levels due to high level of organic matter content. Environmental problems can occur when dairy effluents are discharged without treatment or discharge of semi-treated wastewater. Dairy wastewater is treated generally by biological and physicochemical methods. Success of the treatment depends on composition of wastewater. Dairy wastewater can be effectively treated by biological methods due to its nutritious nature. Activated sludge process is the most commonly used technique. C, N and P can be biologically separated from dairy plant wastewater. Activated

sludge process is an environmentally friendly, economic and efficient technique when target waste is properly selected. Microbial community present in sludge used during treatment is called as activated sludge. In this review, the properties of dairy wastewater, the principles of activated sludge process and the functions of microbial community used in activated sludge process are stated.

Keywords: Dairy wastewater, Biological wastewater treatment, Activated sludge process

GİRİŞ

Süt endüstrisi atıkları yüksek organik madde yüküne sahip ve buna bağlı olarak yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) olan endüstriyel atıklardır [1-4]. Süt endüstrisi için su en önemli proses ortamıdır [1]. Günlük olarak binlerce m³ ile ifade edilecek büyük miktarlarda atık su, süt işletmeleri tarafından deşarj edilmektedir [5, 6]. Ürün çeşitliliğine bağlı olarak, üretim ve temizlik uygulamaları dahil olmak üzere işlenen sütün her litresi için yaklaşık olarak 2 ila 6 kat kadar atık su açığa çıktığı belirtilmiştir [7]. Süt endüstrisi atık sularında yüksek miktarlarda çözünür ve süspanse katılar, azot ve fosfat bulunmaktadır [1]. Yağ ve gresin de dahil olduğu süspanse formdaki katılar, süttten gelen karbondhidratlar, proteinler, yağlar aynı zamanda proseste kullanılan cihazların, proses hatlarının ve taşıma ekipmanlarının temizliğinden geriye kalan yıkama suları da katkıda bulunmaktadır [8]. Atık suyun bu zengin bileşimi, arıtma işlemi uygulanmadan uzaklaştırılması sonucunda ciddi çevre kirliliği problemlerine dolayısıyla da toplum sağlığı açısından risklere yol açmaktadır [6, 9, 10] Bununla birlikte uygun olmayan yöntemlerin arıtma prosesinde kullanımı toprak, su ve hava kirliliğine neden olarak ekolojik dengenin bozulmasıyla sonuçlanabilmektedir [10].

Son yüzyıl içerisinde devam eden nüfus artışı ve endüstrielleşmeden insan yaşamı ve bağlı olduğu birçok ekosistem olumsuz yönde etkilenmektedir. Ekosistemin parçası olan okyanus ve nehirler; yetersiz şekilde muamele edilen endüstriyel ve kentsel atık suların deşarj edilmesi sonucunda kirlenmektedir [11]. Doğal su kaynaklarının azalması endüstriyel gelişme ve kentsel yaşam standardı açısından ciddi bir kısıtlama oluşturmaktadır [1]. Arıtma işlemiyle, deşarj edilen atık suların kaybettikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerin bir kısmı veya tamamı tekrar kazandırabilmektedir. Kullanım sularının alıcı ortamlara deşarjı öncesinde doğal, fiziksel, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerinin yeniden sağlanabilmesi için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerin tamamı arıtma prosesi kapsamındadır [12]. Atık su arıtma tesisleri, genelde birbirini takip eden havuz veya tanklardan meydana gelen, çeşitli faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıkların arıtıldıkları, içerisindeki kirliliklerin uzaklaştırıldığı tesislerdir [13]. Atık su arıtma proseslerinde, biyolojik olarak önemli elementlerin inorganik formda yeni yapısal formlara dönüşümünün sağlandığı atık su elde edilmektedir [12].

Endüstriyel atık suların bileşim özellikleri yönünden geniş bir değişime sahip olması arıtma proseslerini zorlaştırmaktadır. Atık suyun arıtılarak sadece deşarj kalitesinin iyileştirilmesi işletmeler açısından maddi bir yük oluşturmaktadır. Dolayısıyla arıtılmış atık suyun geri

dönüşüm yoluyla yeniden kullanımı ve suyun saflaştırılmasında uygun teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir [1]. Arıtılmış atık suyun deşarj edileceği alıcı ortamın kullanım amacı arıtmanın derecesini belirlemektedir. Atık suyun deşarj edildiği akarsu ortamının içme suyunun elde edildiği veya yüzmeye amacıyla kullanılan bir ortam olması durumunda taşıma amacıyla kullanılan bir akarsuya nazaran daha ileri derecede arıtılması gerekmektedir [13].

Toplam süspanse katılar (TSS), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅) veya kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) atık suların ekosistemler üzerindeki kirlitici unsurlarıdır [11]. BOİ, atık su içerisinde biyolojik olarak parçalanabilen madde içeriği olarak tanımlanmıştır. Organik kirliticilerin parçalanması için 5 günlük periyot içerisinde mikroorganizmalar için gerekli oksijen ihtiyacı BOİ₅ olarak (mg oksijen/L veya g oksijen/m³) 7 günlük periyot için bu değer BOİ₇ olarak ölçülmektedir [14]. Kimyasal oksidan bir madde (potasyum dikromat veya potasyum permanganat) ile okside edilecek kirlilik unsurlarının miktarı ise KOİ olarak ifade edilmektedir [14]. Arıtma proseslerinde her 1 kg'lık KOİ'nin uzaklaştırılması için aerobik sistemler ve anaerobik sistemlerde sırasıyla 0.5 kg ve 0.1 kg çamur üretimi gerçekleşmektedir [15].

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIK SULARININ ÖZELLİKLERİ

Süt endüstrisi atıklarında sütün bileşiminde bulunan proteinler, karbondhidratlar, yüksek miktarda yağ, gres, yıkama suları, deterjan ve dezenfektanlar ile proses sonucu açığa çıkan peyniraltı suyu ve yayıkaltı gibi süt yan ürünleri bulunmaktadır [3, 8]. Süt, tereyağı, yoğurt, dondurma, sütlü tatlılar ve peynir gibi zengin ürün çeşitliliği olan süt endüstrisinin atık su miktar ve kompozisyonu oldukça değişkendir [16]. Organik materyal yükü ürün çeşidi, mevsimsel değişiklikler ve sütün hacmi ile orantılı olarak değişmekle beraber genel olarak litresinde 0.3-5.9 BOİ₅ ve 1-10 g arasında KOİ içermektedir. Genel itibarıyla bu atıkların belirgin renge ve ağır kokuya sahip olduğu bilinmektedir [7]. Süt işletmelerinin hemen hepsinde uygulanan yerinde temizlik uygulamalarında (CIP) kullanılan kostik, fosforik asit/ nitrik asit, sodyum hipoklorit solüsyonları da endüstri atık sularına karışmaktadır [17]. Süt endüstrisi atıklarının bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Süt endüstrisi atık sularında kirlilik yaratan en önemli unsurun peynir üretiminden geriye kalan peyniraltı suyu olduğu bilinmektedir [3]. Peyniraltı suyu protein, yağ, laktoz, mineraller ve tuzlar yönünden zengin bileşime sahip olduğu için kanalizasyona direkt deşarj edilmesi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Peyniraltı suyunun çeşitli yöntemlerle değerlendirilerek ekonomiye katkısı olan ve çevre açısından daha güvenli bir endüstriyel atık formuna dönüştürülmesi mümkündür

[18]. Yüksek miktarlarda yağ ve gres ile işletme atık sularında süreklilik arz eden peynir ve tereyağı üretiminin son ürünleri olan peyniraltı suyu ve yayıkaltı, arıtma sürecinde oldukça yavaş parçalanmaktadır [3,

19]. Bu kirleticilerin varlığı özellikle de pompa ve havalandırma sistemlerinde filamentoz mikroorganizmaların gelişmesi nedeniyle problemlere neden olmaktadır [19].

Tablo 1. Süt endüstrisi atık sularının genel bileşimi [7]

Parametre	Miktar
Katı madde	3300-57045 mg/L
Süt yağı, yağ, gres	14000-24500 mg/L
Azot	30-46 mg/L
Fosfor	30-650 mg/L
KOl	1-10 g/L
BOİ	0.3-5.9 g/L

ATIK SU ARITMA YÖNTEMLERİ

Atık suyun arıtılmasının ilk amacı; biyolojik oksijen ihtiyacının (BOİ) azaltılması, iz organik bileşenlerin ve toksik kimyasalların uzaklaştırılması, sürdürülebilir çevre için nitrat ve fosfatın azaltılması, patojen bakterilerin azaltılması veya uzaklaştırılmasıdır. İkinci amaç ise çamurdan enerji ve biyolojik gübre elde edilmesidir [20]. Süt endüstrisini içine alan tüm tarım ve gıda endüstrileri atıkları, yüksek protein ve organik yükleri, değerli besin maddeleri içermeleri nedeniyle toprağın iyileştirilmesinde yani gübre amaçlı olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Süt endüstrisi atıklarının nitrojen, magnezyum, kalsiyum ve fosfor gibi elementler yönünden zengin olması ve ağır metal konsantrasyonunun normal standartların altında olması çevre açısından güvenli olmasını sağlamaktadır [21].

Atık suların arıtılmasında fiziksel, kimyasal, biyolojik, aerobik ve anaerobik yöntemlerin birlikte kullanıldığı çok aşamalı yöntemler uygulanabilmektedir [22]. Süt endüstrisi atık sularının arıtılmasında aerobik ve anaerobik yöntemler kullanılabilmektedir [19]. Bununla birlikte söz konusu proseslerin arazi masraflarındaki değişiklikler, iklim koşulları, çamur geri dönüşümünün gerekli olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [23]. Bu yöntemlerden aerobik biyoreaktörlerde yağ ve gresin neden olduğu kalıcı tabaka havalandırma tanklarında biyokütlenin topaklaşmasını ve sediment oluşturma yeteneğini kısıtlamakta ve aynı zamanda biyolojik parçalanma için gerekli olan gaz transferini önlemektedir. Bu durum arıtma prosesinin etkinliğini azaltmakta ve kötü koku oluşumuna neden olmaktadır [19]. Peyniraltı sularının arıtılmasında kullanılan anaerobik yöntemlerin uygulanmasında ise peyniraltı suyunun asidik özellik taşıması, yüksek KOl'ye sahip olması ve topaklaştırılmasında bazı güçlüklerle karşılaşılması belirlenen olumsuzluklar arasındadır [9]. Ayrıca arıtılmış atık sular için nanofiltrasyon ve ters ozmoz teknikleri arıtma sonrasında kullanılabilmektedir. Membran teknikleriyle laktoz ve süt proteinlerinden arındırılmış yeniden kullanılabilir su elde edilebilmektedir. Ayrılan laktoz ve protein ise insan tüketimi dışında farklı amaçlar için kullanılmaktadır [16].

Fiziksel Arıtma

Fiziksel arıtma yöntemlerinde kaba ve çöktürülebilir katıların çarpma işlemiyle elenmesi, öğütülmesi, ızgaradaki iri maddelerin tutulması, topaklaştırılması,

yüzdürülmesi ve çöktürülmesi gibi işlemler uygulanmaktadır [24].

Kimyasal Arıtma

Arıtma işleminde kimyasal reaksiyonlar kullanıldığında bu yöntem kimyasal arıtma olarak tanımlanmaktadır. Zararlı bileşiklerin zararsız forma dönüştürülmesi, biyolojik arıtmadan önce atık suların pH değerlerinin ayarlanması ve nötralizasyon, dezenfeksiyon, klasik biyolojik ve kimyasal arıtma yöntemleriyle uzaklaştırılamayan organik maddelerin giderilmesinde adsorbsiyon işlemlerinin uygulanması kimyasal arıtma kapsamında yer almaktadır [24]. Süt endüstrisi atık sularının fizikokimyasal yöntemler ile etkili bir şekilde arıtılması nedeniyle bu yöntemlerin gelecek vadeden uygulamalar olduğu düşünülmektedir [25]. Bu uygulamalardan koagülasyon/flokülasyon yönteminde inorganik, organik ve doğal koagülant maddeler kullanılarak arıtma sonrası muamele gerçekleştirilmektedir [16].

Biyolojik Arıtma

Biyolojik arıtma ile süzme, çöktürme gibi fiziksel işlemlerle atık sudan ayrılması sağlanamayan koloidal maddeler (organik maddeler) kararlı hale getirilmektedir [13, 14, 26]. Biyolojik arıtma, aslında doğada kendiliğinden ancak yavaş olarak meydana gelen bir temizleme süreci olarak bilinir. Kontrollü koşullar altında uygulandığında ise optimum çalışma koşullarının sağlanmasıyla işlem yoğunlaştırılarak hızlandırılmaktadır [11].

BİYOLOJİK ARITMA YÖNTEMLERİ

Biyolojik arıtma yöntemleri olarak aktif çamur prosesi, havalandırma havuzları, stabilizasyon havuzları, damlatmalı filtreler ve biyodiskler (döner diskler) yaygın olarak kullanılmakla birlikte ardışık kesikli reaktörler, anaerobik çamur örtülü reaktörler ve anaerobik filtreler de kullanılabilmektedir [8, 25, 27, 28].

Biyolojik arıtma prosesinde organik materyal sistemde esas görevi yapan kontrollü ortamda geliştirilen mikroorganizmalar tarafından kararlı hale dönüştürülmektedir [13]. Mikroorganizmalar tarafından organik maddenin bir bölümü ayrıştırılarak çeşitli gazlara (CO₂, N, P vb) dönüştürülmekte; diğer bir bölümü ise hücre materyali, yani yeni mikroorganizmalar haline

getirilmektedir [13, 14, 26]. Bu süreçte mikrobiyolojik oksidasyonla parçalanma ürünleri oluşmakta aynı zamanda yoğun olarak kullanılan mikroorganizmalara kirlenmelerin absorblanması ve topaklaşarak uzaklaştırılması sağlanmaktadır [11, 13, 14, 26]. Arıtma sonrasında membran ayırma teknikleri (mikro ve ultrafiltrasyon) kullanılarak biyokütle sudan ayrılması, havalandırılması ve ortamdan uzaklaştırılmak istenilen kontaminantların ayrılması sağlanır [9].

Biyolojik arıtmada hem aerobik hem de anaerobik prosesler kullanılabilir. Aerobik uygulamada organik atıklar aerobik mikroorganizmalar tarafından serbest veya çözünür oksijen kullanılarak biyokütle ve CO₂'e dönüştürülür. Aerobik biyolojik prosesler, organik atık suların muamele edilmesinde yüksek işlem etkinliği sağladığı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Aerobik sistemler ile daha yüksek düzeyde çözünür ve biyolojik olarak ayrıştırılabilir organik materyalin uzaklaştırılabildiği bilinmektedir. Bu sistemlerde elde edilen biyokütle daha sağlıklı topaklaştırılması, arıtılmış suda süspanse katı madde konsantrasyonunun daha düşük düzeyde olmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak aerobik sistemlerden elde edilen atık suyun kalitesi anaerobik sistemlerden daha üstündür [6,11,23].

Anaerobik yöntemler biyoteknolojik gelişmeler nedeniyle kirlilik kontrolünde tercih edilen yöntemlerdir. Bu yöntemde kompleks organik atıklar oksijensiz ortamda hidroliz, asitogenez ve metanogenez olmak üzere 3 ana basamak yoluyla metan, CO₂ ve H₂O olarak parçalanmaktadır [11]. Anaerobik yöntemlerin daha az enerji gereksinimi olması (havalandırma gerekliliğinin olmaması), alan kurulum maliyeti gereksiniminin aerobik tesislere göre daha düşük olması, daha az miktarda çamur oluşumunun meydana gelmesi ve bu yöntemle süt endüstrisi atıklarından biyogaz üretimi imkânının bulunması gibi avantajları bulunmaktadır [6, 8, 11].

Sistemden çıkan arıtılmış su kirlilik yükü açısından değerlendirildiğinde aerobik yöntemlerin anaerobik sistemlerden daha üstün olduğu bilinmektedir [11]. Ancak süt endüstrisi atıklarının arıtılmasında aerobik reaksiyonlar daha büyük önem taşımaktadır [29] ve bu yöntemlerden aktif çamur prosesi, süt endüstrisi atıklarının organik materyal yükünün oldukça yüksek olması nedeniyle daha fazla tercih edilmektedir [8].

AKTİF ÇAMUR PROSESİ

Aktif çamur prosesi biyolojik arıtma yöntemleri içerisinde en fazla kullanılan yöntemdir [30]. Sistem ilk defa 1913-1914 yıllarında Arden ve Lockett'in çalışmaları sonucunda Manchester'da keşfedilmiştir [13]. Organik ve inorganik maddeleri içeren atık su ile canlı ve ölü mikroorganizmaların karışımı aktif çamur olarak bilinmektedir [13, 18].

Aktif çamur prosesinde atık suda bulunan karbon (C), nitrojen (N) ve fosfor (P) biyolojik olarak uzaklaştırılmaktadır [30, 31]. Aktif çamur prosesinde ilk olarak atık su çökeltme tankına alınır ve burada başta büyük boyutlu parçacıklar olmak üzere atık suyun içerisindeki çökebilir unsurlar ayrılır. Ortam pH'sı 5-9

aralığına standardize edilir [29, 30]. Proses biyokimyasal ve fiziksel olmak üzere 2 aşamadan oluşmaktadır [30]. İlk aşama biyokimyasal aşama olarak da bilinen solunum aşamasıdır ve havalandırma tankında gerçekleşir [30, 32]. Fiziksel ve ikincil arıtıcı olarak bilinen sentez aşaması ise ikinci aşamayı oluşturmaktadır [29, 30]. Havalandırma tankında organik materyal içeren atık su havalandırılır (yaklaşık 6-8 saat kadar) bu esnada süspanse ve çözünür formdaki organik materyal çamur mikroorganizmaları tarafından absorpsiyon ve adsorpsiyon yoluyla parçalanır [23, 29, 33, 34]. Arıtmanın fiziksel aşaması çökeltme tankında gerçekleşirken reaksiyon sonucunda oluşan yeni hücreler, çamur şeklinde topaklaşarak sıvı kısımdan ayrılır [30, 32]. Topaklaşan materyalin son çökeltme tankında bekleme süresi en fazla 6 saat civarında olmalıdır [29]. Aktif çamur olarak adlandırılan çöktürülen biyokütle bir kısmı havalandırma tankına geri gönderilirken kalan fazla çamur atık olarak uzaklaştırılır [34]. Bu biyolojik arıtma yönteminde organik materyalin bir kısmı yeni hücre sentezinde kullanılırken bir kısmı da serbest enerjiye dönüşür [13, 18, 32, 34] CO₂, H₂O, NO₃ ve SO₄ gibi daha stabil son ürünler oluşur [29]. Aktif çamur prosesinin basit bir gösterimi Şekil 1'de verilmiştir [22].

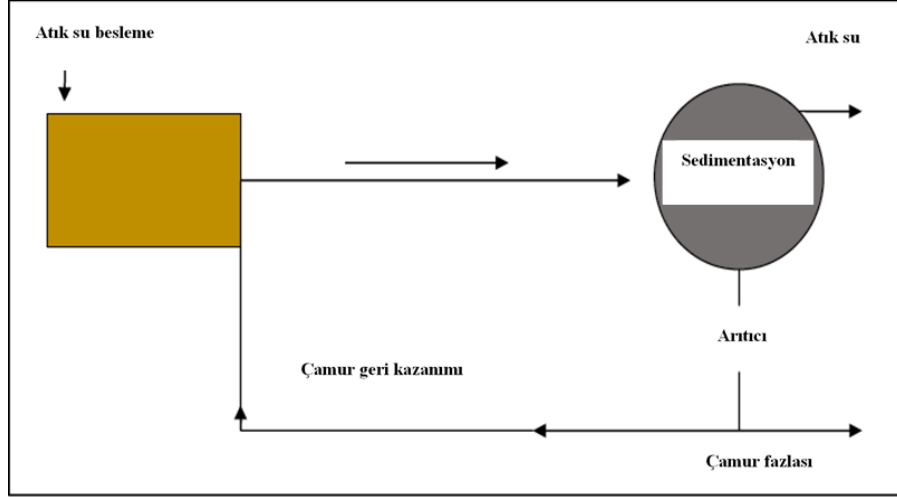
Şekil 1'de görüldüğü gibi içerisinde topak oluşturan süspansiyon halinde biyokütle (mikroorganizma topluluğu) bulunan reaktöre biyolojik olarak parçalanabilir organik materyal verilir [35]. Aktif çamur prosesinde, yüksek miktarda mikroorganizma içeren biyolojik oksidasyon (havalandırma) tanklarında, döner silindirik fırçalı yüzey havalandırıcılar veya basınçlı püskürtücüler ile ortama hava verilir [36]. Havalandırma tankında çözünür oksijen konsantrasyonunun 3-5 mg/L aralığında olması oldukça önemlidir. Karışımın havalandırma tankından sedimentasyon tankına akışı ile aktif çamurun büyük kütleler halinde çökmesi sağlanır [22]. İşlem sonunda reaktör içerisinde elde edilen biyokütle karışımı ve su ayrılır, elde edilen çamur reaktöre geri verilir [35]. Söz konusu prosesin avantaj ve dezavantajları Tablo 2'de verilmiştir.

AKTİF ÇAMUR MİKROFLORASI

Aktif çamur oksijenin bol olduğu havalandırılmalı ortamlarda organik maddelerin yükseltgenmesiyle kendi enerji ve sentez gereksinimlerini karşılayan ve bu şekilde kirliliği uzaklaştıran topaklaşma eğilimindeki mikroorganizma grupları olarak bilinir [34, 37]. Başlangıçta aktif çamur ekosisteminin mikroflorası hakkında çok az bilgi bulunmaktaydı. 1935 yılında Butterfield tarafından yapılan çalışma ile çamur sonuçlarına göre *Zooglea ramigera*'nın atıksu arıtımı açısından tek bakteri olduğuna görüşü öne sürülmüştür. 1950'li yılların başlarında yapmış oldukları çalışmalarda aktif çamur oluşumunda farklı bakterilerin varlığı düşünülmüş; fakat çamur içerisindeki oransal dağılımları belirlenememiştir [38]. Bu görüşlerin sonrasında yapılan çalışmalarda aktif çamurun mikroskobik incelenmesi sonucunda topluluğun bakteriler, mantarlar, algler, protozoalar, filamentöz mikroorganizmalar, virüsler, sinek larvaları, kurtlar ve rotiferlerden oluştuğu, ancak bu karma kültürde en önemli bileşenin bakteriler olduğu

belirlenmiştir [29, 32, 37]. Bakterilerin yanı sıra serbest yüzen siliatlar, askıda siliatlar ve rotiferler, aktif çamur prosesinin başarısından sorumlu diğer mikroorganizmalardır [39]. Baskın olan organotrofik bakterilerin çamur floklarına dahil olduğu ama bazılarının ise sıvı içerisinde serbest olarak dolaştığı bilinmektedir [40]. Topluluk mikroorganizmalar arasında

işbirliği ve iletişimi arttırdığı bilinen hücre dışı polimerik yapıda eksopolisakkarit bir materyal vasıtasıyla bir arada tutulmaktadır. Aktif çamur prosesinde meydana gelen topaklaşma mekanizması ile mikroorganizmaların işlem görmüş atık sudan ayrılması kolaylaşmaktadır [32].



Şekil 1. Aktif çamur prosesinin gösterimi

Tablo 2. Avantaj ve dezavantajlarıyla aktif çamur prosesi [8, 34]

Avantajları	Dezavantajları
• Düşük kurulum maliyeti • Yüksek atık kalitesi ile düşük ayak izinin olması • Kolay uygulanabilir olması • Kompakt dizaynının yeterli olması küçük alan gereksinimi olması • KOİ içeriğinin genel olarak düşük olmasına bağlı olarak başarılı bir nitrifikasyonun sağlanması • Yüksek atık yükünün sisteme alınabilmesi ve toksik bileşenlerin seyreltilmesi • Küçük sistemler için kullanılması	• Yüksek enerji sarfıyatı • Yüksek miktarda çamur üretimi • Köpük oluşumu • Oluşan çamurun bertaraf edilmesi için uygun yöntemlerin gerekliliği • Prosesin etkili kontrolünün gerekliliğinin olması • Proses esnasında çamurun aktivitesini koruması gerekliliği • Atığın kompozisyonuna bağlı arıtma başarısının değişmesi

Aktif çamur mikroflorasında yer alan her bir mikroorganizmanın arıtma prosesinde ayrı bir görevi bulunmaktadır. Genel olarak topaklaşmayı sağlayan mikroorganizmalar, saprofitler, diğer canlılarla beslenen organizmalar ve zararlı mikroorganizmalar bu mikroflorada yer almaktadır. [37]. Bu topluluk içerisinde bakteriler ve mantarlar organik maddeleri ayrıştırarak çoğalırken; protozoalar (tek hücreli hayvanlar) ise bakterilerle ve mantarlarla, çok hücreli hayvanlar da tek hücrelilerle beslenmektedir [13]. Aktif çamurda yer alan mikroorganizmalar ve mikroflora içerisindeki görevlerine ilişkin detaylar aşağıda belirtilmiştir.

Bakteriler

Aktif çamur topluluğu içerisinde ekosistemin toplam popülasyonunun %95'lik kısmını bakterilerin oluşturduğu ve uygun çevresel koşullar altında aktif çamur prosesinde organik materyal ve besin maddelerini atık sudan etkili bir şekilde uzaklaştırdıkları bilinmektedir [30]. Proseste yer alan bakteriler hem topaklaşmadan sorumlu hem de saprofit özelliğe sahip olabilmektedir.

Saprofitler organik materyalin parçalanmasından sorumludur. İlk olarak organik materyal birincil saprofitler tarafından sonrasında çıkan metabolitler ise ikincil saprofitler tarafından parçalanır. Saprofitler çoğunlukla Gram (-) bakterilerden oluşurken, mantarlar, mayalar ve kamçılı protozoaların da organik maddelerin parçalanmasında görev aldıkları bilinmektedir [37].

Aktif çamur içerisinde bulunan flok oluşturma yeteneğine sahip bakteriler atık suda bulunan organik materyal üzerinde büyüyerek flok oluşturmaktadır. Flok oluşturma mekanizması üzerinde filamentöz bakterilerin iskelet oluşumu yoluyla katkıda bulunmaktadır. Eksopolisakkarit materyal vasıtasıyla da diğer bakteriler bu iskelet yapıya tutunmakta ve flok çapının artmasını (topaklaşmayı) sağlamaktadır. Aktif çamur mikroflorasında bulunan ve sistemin önemli bir parçası olan topaklaşmadan sorumlu mikroorganizmaların görevi çamurun atık sudan ayrılmasını sağlamaktır. *Zooglea ramigera* bakterisi başta olmak üzere birçok bakteri bu mekanizmanın parçasıdır [37].

Aktif çamurdaki mikrobiyel denge oldukça önemlidir. Filamentli (ipliksi) bakterilerin arıtma prosesinde küçük parçaları tutma ve bu şekilde arıtma çıkış suundaki bulanıklığı azaltma görevi bulunmaktadır. Belirli miktarda filamentli bakteri varlığı aktif çamur uygulaması açısından faydalı iken, bu bakterilerin miktarının az olması ise küçük ve kolay dağılabilen flokların oluşumuna neden olmaktadır. Bu koşullar altında oluşan

çamurun çökme kabiliyeti iyi olmasına karşın çıkış suyunun karakteristiğinde bozulmalar meydana gelmektedir [36]. Filamentli bakterilerin miktarı arttığında ise şişkin çamur durumunun ortaya çıktığı ve çamur çökmesi sorununun meydana geldiği bilinmektedir [36, 40]. Aktif çamurda rastlanan bakteri genusları ve görevleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Aktif çamurda bulunan başlıca bakteri genusları ve fonksiyonları [40, 41]

Genus	Görevi
<i>Zooglea</i>	Mukoz madde üretimi
<i>Pseudomonas</i>	Karbonhidratların parçalanması, mukoz madde üretimi, denitrifikasyon
<i>Bacillus</i>	Proteinleri parçalanması
<i>Arthrobacter</i>	Karbonhidratların parçalanması
<i>Microtrix</i>	Yağların parçalanması, filamentöz büyüme
<i>Nocardia</i>	Filamentöz büyüme, köpük oluşumu
<i>Sphaerotilus</i>	Filamentöz büyüme
<i>Acinetobacter</i>	Fosforun uzaklaştırılması
<i>Nitrosomonas</i>	Nitrifikasyon
<i>Nitrobacter</i>	Nitrifikasyon
<i>Achromobacter</i>	Denitrifikasyon
<i>Cytophaga</i>	Polimerik substratların parçalanması

Protozoalar

Aktif çamur içerisinde bakterilerin predatorü olarak görev alan protozoalar, atık su içerisindeki dağılmış katı madde miktarının ve çözünür BOİ'nin azaltılmasına yardımcı olmaktadır [40]. Protozoalar aktif çamur prosesinin diğer canlılarla beslenen organizmalar grubunda yer alırlar ve çoğunlukla bakteriler ile yaşamlarını sürdürürler [37]. Aktif çamurda bulunduran protozoalar bakteriler tarafından oluşturulan floğa tutunarak burada çoğalmaya başlarlar [40]. Tipik bir aktif çamur içerisinde yaklaşık olarak 5×10^4 protozoa olduğu bildirilmiştir [42]. Protozoaların toplam çamur ağırlığının % 5-10'unu oluşturduğu ve aktif çamur topaklarının üzerinde 230 çeşitten fazla protozoa bulunduğu

bilinmektedir [37, 41]. Aktif çamurda bazı durumlarda amöba (amip) ve flagellate (kamçılılar) da bulunmasına rağmen siliatlar aktif çamurdaki protozoaların çoğunluğunu oluşturmaktadır [37, 42]. Flagellatların varlığı yetersiz arıtma ve genç biyokütle yaşı ile ilişkilidir. Amipler ve flagellatlar süspanse katı madde miktarı yüksek atıklarda görülürler. Serbest yüzücü siliatlar, ince silleri vasıtasıyla hareket eder ve besinlerine bu şekilde ulaşırlar. Saplı tüylü siliatlar ise silleri ile atık sudaki katı materyallere tutunurlar ve besinleri kendilerine çekerler. Atık suyun oldukça temiz olduğu ve askıda katı madde miktarının düşük olduğu dönemde baskın durumdadırlar [43-45]. Aktif çamur içerisindeki siliatların en baskın olan türleri *Opercularia*, *Vorticella*, *Aspidisca*, *Carchesium* ve *Chilodonella*'dır [42].

Protozoalar arıtma prosesinde proses aşamalarının indikatörü olarak kullanılabilir. Sağlıklı aktif çamur ve atık su kalitesi için varlıkları önemlidir. Protozoaların herhangi bir türünün varlığı sistemin doğru işlediğinin bir göstergesidir [43-45]. Protozoalar aynı zamanda aktif çamur içerisindeki patojenik bakteri ve virüs miktarının önemli düzeyde azaltılmasından sorumludur [42] ve arıtma sürecinin başlangıcında

oldukça aktiflerdir. Bu dönemde arıtma ve buna bağlı olarak oksijen kullanımı yüksek düzeydedir. Ancak hareketli bir yapıya sahip olmaları nedeniyle protozoalar bu süreçte hafif kahverengimsi renkte bir çamur oluşmasına ve atık suyun bulanıklaşmasına neden olmaktadır. Arıtmanın ilerleyen aşamalarında atıktaki besin miktarının azalmasıyla birlikte daha kompleks yapıya sahip ve daha az besin gereksinimi olan protozoa çeşitlerinden yüzücü siliatlar ve bu koşullarda canlılığını koruyabilen bakteriler baskın duruma gelirler. Bu dönem genel anlamıyla aktif çamurun olduğu dönemdir ve çamur rengi kahverengi olarak karakterize edilir. Atık miktarının giderek azaldığı son dönemde mikroorganizmalar iç solunum yoluyla parçalanırlar, siliatlar ve rotiferler gibi yüksek yapıları canlılar var olurlar. Arıtmanın bu sürecinde çamur fiziksel olarak zor çöken ve koyu kahverengi renkte ve daha az aktif özelliktedir [37].

Rotiferler

Rotiferler yaşlanmış (olgunlaşan) aktif çamur içerisinde yer alan çok hücreli organizmalardır. Serbest halde dağılmış olan bakterilerin uzaklaştırılması ve mukusla çevrelenmiş dışkı topakları oluşumuna yardımcı olmak gibi görevleri bulunmaktadır. Aktif çamur içerisinde yer alan en bilinen 4 rotifer türü *Philodina*, *Habrotrocha*, *Notommata* ve *Lecane*'dir [42]. Genel olarak iyi çalışan atık su arıtma tesislerinde bulunan rotiferler, suyun olduğu bütün habitatlarda bulunan en küçük ve en basit çok hücreli mikroorganizmalardır. Rotiferler, yüksek miktarda çözünmüş oksijene ihtiyaç duyarlar, dolayısıyla onların varlığı suyun biyolojik sağlığının bir göstergesidir [43-45].

Nematodes ve Flatworms (Kurtçuklar)

Kurtçuklar organik çamurda yaşamlarının yanı sıra atık su arıtma proseslerinde damlatmalı filtrelerde ve aktif çamurda biyolojik sümüksü yapılar içinde yaşarlar. Bu

organizmalar atık su arıtma tesislerine ilk olarak arıtma tesislerine akış ve sızma yoluyla toprağa tutunarak ulaşırlar. Zorunlu aerob olmaları nedeniyle sadece aerobik arıtma sistemlerinde, büyük ama değişken miktarlarda bulunurlar. Katı organik maddeleri parçalarlar. Nematode (solucan)'un bulunması mikroflora aktivitesini ve parçalanmayı destekler. Aktif çamur sistemlerinde nematode'lar, toprak partiküllerinde tüneller açarak oksijen difüzyonunu sağlarlar [43-45].

Aktif Çamur İçerisinde Yer Alan Diğer Mikroorganizmalar

Algler sağlık açısından tehlike teşkil etmezken su ve atık su arıtma tesislerinde tıkanma vb. problemlere neden olmaktadır. Fungi (mantarlar) su ve atık su uygulamalarında minör düzeyde öneme sahiptirler. Organik materyali kullanarak beslenirler. Su yassı kurtları alglere beslenen havuzların daha az derin kısımlarında görülürler. Varlıkları proses problemlerinin biyolojik göstergesidir. Çözünür oksijen miktarının azalmasıyla canlılıkları azalır. Tubifexler (çamur kurtları) yağlı organik madde yükü yüksek ve oksijen konsantrasyonu düşük olan yüzey sularında dayanıklı flora olarak bulunabilmektedir. Bu nedenle aktif çamur florasında söz konusu canlılarında yer alabilecekleri bildirilmektedir [43-45]. İlave ten zararlı mikroorganizmaların varlığı aktif çamur prosesini olumsuz yönde etkilemektedir. *Sphaerotilus natans* ve mantarlardan *Geotrichum* mantarları, mikroorganizmalar arası uyumu bozan zararlı mikroorganizmalardır [37].

SONUÇ

Süt endüstrisi atık sularının kompozisyonu ürün çeşitliliği, üretim yöntemi, kullanılan temizlik ajanları, dezenfektanlar olmak üzere farklı parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yüksek BOİ, KOİ, askıda toplam süspanse katı madde miktarı, yağ ve gres içermeleri nedeniyle süt endüstrisi atık sularının en etkin şekilde arıtılması gerekmektedir. Yüksek organik materyal yükü nedeniyle süt endüstrisi atık sularının biyolojik yöntemlerle daha etkin şekilde arıtılması sağlanmaktadır. İkincil kirlenme olmadan daha düşük uygulama maliyeti ile gerçekleştirilen biyolojik arıtma yöntemlerinden aktif çamur prosesi ise bu yöntemlerden en popüler olanıdır. Yöntemde doğada yavaş olarak süregelen biyolojik oksidasyonun hızlandırılması esastır. Aktif çamur prosesinde topaklaşma eğiliminde ve saprofit özellikte olan bakteriler başta olmak üzere protozoalar, rotiferler, kurtçuklar, mantarlar görev alan mikroorganizmalar arasındadır. Atık su içerisindeki organik materyal bu mikroorganizmalar tarafından solunum ve sentez aşamalarıyla daha stabil son ürünlere parçalanarak aktif çamur kütlesine dönüştürülmektedir. Ancak işlem sonrası açığa çıkan çamur miktarının fazla olması yöntemin dezavantajıdır. Aktif çamur prosesi ile açığa çıkan fazla çamurun değerlendirilmesi konusunda yeni gelişmelerin yöntemin uygulanabilirliğini ve devamlılığını sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Sarkar B., Chakrabarti P.P., Vijaykumar A., Kale V. (2006). Wastewater treatment in dairy industries-possibility of reuse. *Desalination*, 195, 141-152.
- [2] Gürtekin, E. (2008). Süt endüstrisi atıksuyunun arıtımında ardışık kesikli reaktöre zeolit ilavesinin etkisi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- [3] Koyuncu, M., Tunçtürk, Y. (2014). Sütçülük atık sularının arıtılma gereksinimi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 88-93.
- [4] Lumina, P., Pavithra, M.P. (2018). Treatability studies of dairy wastewater by electrocoagulation process. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(7), 249-252.
- [5] Orhon, D., Gorgon, E., Grimly, G., Rattan, N. (1993). Biological treatability of dairy wastewaters. *Water Research*, 27, 625-633.
- [6] Banu, J.R., Anandan, S., Kaliappan, S., Yeom, I. (2008). Treatment of dairy wastewater using anaerobic and solar photocatalytic methods. *Solar Energy*, 82, 812-819.
- [7] Karadag, D., Köroğlu, O. E., Ozkaya, B., Cakmakci, M., Heaven, S., Banks, C. (2014). A review on fermentative hydrogen production from dairy industry wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 89(11), 1627-1636.
- [8] Demirel, B., Yenigün, O., Onay, T.T. (2005). Süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımı. *İTÜ Dergisi, Su Kirlenmesi Kontrolü*, 15(1-3), 3-16.
- [9] Farizoğlu, B., Keskinler, B., Yıldız, E., Çakıcı, A. (2004). Peyniraltı sularının arıtıldığı jet loop membran biyoreaktörün membran filtrasyonu özelliklerinin araştırılması. *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 14(2), 1-8.
- [10] Bilir-Ormanlı, F.S. (2009). Detection of the important pollution parameters in dairy plants Wastewater. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 56, 137-139.
- [11] Chan, Y.J., Chong, M.F., Law, C.L., Hassell, D.G. (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155, 1-18.
- [12] Stainer R.Y., Adelberg E.A., Ingraham J.L. (1976). *The Microbial World*. 4th Edition, Prentice-Hall International, INC, New Jersey, 871.
- [13] Anonim (2011). Atık su Yönetimi ve Çevre. <http://www.iski.gov.tr/Web/statik.aspx?KID=1001217> (Erişim Tarihi 19.01.2011).
- [14] Bylund, G. (2015). *Dairy Processing Handbook*. Tetra Pak Second Edition. Processing Systems AB, Sweden, 486 p.
- [15] Porwal, H.J., Mane, A.V., Velhal, S.G. (2015). Biodegradation of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge. *Water Resources and Industry*, 9, 1-15.
- [16] Kushwaha, J.P., Srivastava, V.C., Mall, I.D. (2011). An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 442-452.
- [17] Tikariha ,A., Omprakash, S. (2014). Study of characteristics and treatments of dairy industry

- waste water. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, 2(1), 16-22.
- [18] Özdemir, İ., Altıok, E., Gökkaya, D.S., Ötleş, S., Kabay, N., Yüksel, M. (2018). Peyniraltı Suyunun Fraksiyonlarına Ayrılmasında Bütünleşik Membran İşlemlerinin Uygulanabilirliği. *Akademik Gıda*, 16(4), 371-380.
- [19] Jung, F., Cammarota, M.C., Freire, D.M.G. (2002). Impact of enzymatic pre-hydrolysis on batch activated sludge systems dealing with oily wastewaters. *Biotechnology Letters*, 24, 1797-1802.
- [20] Sharma, N., Bhatnagar, P., Chatterjee, S., Goswami, P. (2017). Waste water microbes and environmental "clean up": Roadmap to environmental sustainability. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 3341-3350.
- [21] Frac, M., Jezierska-Tys, S., Oszust, K., Gryta, A., Pastor, M. (2017). Assessment of microbiological and biochemical properties of dairy sewage sludge. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14, 679-688.
- [22] Goli, A., Shamiri, A., Khosroyar, S., Talaiekhosani, A., Sanaye, R., Azizi, K. (2019). A review on different aerobic and anaerobic treatment methods in dairy industry wastewater. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 6(1), 113-141.
- [23] Deshmukh D.S. (2017). Wastewater generation and its treatment in dairy industries. *International Journal of Application of Engineering and Technology*, 2(3), 25-35.
- [24] Eltem, R. (2001). Atık sular ve Arıtım, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Yayın No: 172, İzmir.
- [25] Yonar, T., Sivrioğlu, Ö., Özengin, N. (2018). Physico-chemical treatment of dairy industry wastewaters: A review. In: *Technological Approaches For Novel Applications in Dairy Processing* (Ed. N. Koca), IntechOpen Limited, UK.
- [26] Berkün, M. (2006). Atık Su Arıtma Ve Deniz Deşarjı Yapıları. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [27] Carta-Escobar, F., Pereda-Marin, J., Alvarez-Mateos, P., Romero-Guzman, F., Duran-Barrantes, M.M., Barriga-Mateos, F. (2004). Aerobic purification of dairy wastewater in continuous regime. Part I: Analysis of the biodegradation process in two reactor configurations. *Biochemical Engineering Journal*, 21, 183-191.
- [28] Eroğlu, V. (2008). Atık suların tasfiyesi. Su Vakfı Yayını, İstanbul. Atık Su Yönetimi ve Çevre. <http://www.iski.gov.tr/Web/statik.aspx?KID=1001217> (Erişim Tarihi 19.01.2011).
- [29] Atamer M. (2005). Sütçülük Atıkları, Çevre Sorunları Ve Arıtma Yöntemleri. Süt Endüstrisinde Sanitasyon. Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- [30] Martins, A.M.P., Pagilla, K., Heijnen J.J., Van Loosdrecht, M.C.M. (2004). Filamentous bulking sludge-a critical review. *Water Research*, 38, 793-817.
- [31] Cronje, G.L., Beeharry, A.O., Wentzel, M.C., Ekama, G.A. (2002). Active biomass in activated sludge mixed liquor. *Water Research*, 36, 439-444.
- [32] Vatansever, A. (2005). Aktif çamur yumaklaşmasında kalsiyum iyonu konsantrasyonunun etkisi. Yüksek Lisans Tezi. ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [33] Balasubramanian, R., Anirbid, S., Sivakumar, P., Anbarasu, K. (2018). Production of biodiesel from dairy wastewater sludge: A laboratory and pilot scale study. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27, 945-953.
- [34] Judal, A.L., Bhadania, A.G., Upadhyay, J.B. (2015). Biological unit operation for waste water treatment: Aerobic Process. *International Conference of Advance Research and Innovation (ICARI-2015)*.
- [35] Byrne, R. J. (2002). Design and operation of dairy effluent treatment plants. In: *Encyclopedia of Dairy Science*, Hubert Roginski (Editor), Volume 2, Academic Press.
- [36] Özdemir, Z., Güzeloğulları, S., Sofu, A., Ekinci, F.Y. (2008). Aktif çamurdaki ekzopolisakkaritler. cevre.club.fatih.edu.tr/web/yeni/konfreweb/2008_pdf/sayfa388.pdf. (Erişim tarihi 11.02.2011).
- [37] Tanyolaç, A., Çelebi, S. S. (1992). Endüstriyel atık su arıtımı. TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi.
- [38] Dias, F.F., Bhat, J.V. (1964). Microbial Ecology of Activated Sludge. *American Society for Microbiology*, 12(5), 412-417.
- [39] Anonim. (2019). <http://omucevre.blogspot.com/2007/09/aktif-amur-mikrobiyolojisi.html>
- [40] Horan (1990). *Biological Wastewater Treatment Systems: Theory And Operation*. Wiley, New York, USA.
- [41] Haliki, A., Özdemir, G., Uzel A. (2004). Aktif çamur sistemlerinde sorun yaratan filamentli mikroorganizmaların izolasyonu ve kontrol stratejileri üzerine bir araştırma. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 21(3-4), 275-277.
- [42] Wendorff, W.L. (1998). *Treatment of dairy wastes*. In: *Applied Dairy Microbiology*, Emler H. Marth, James L. Steele, Marcel Dekker INC, 461-484.
- [43] Gray, N.F. (2004). *Biology of wastewater treatment* (Second Edition). Series on Environmental Science and Management. Vol. 4 Hardcover. Imperial College Press.
- [44] Spellman, F.R. (1999). *Microbiology for Water and Wastewater Operators*. 1st Edition. CRC Press.
- [45] Spellman, F.R. (2013). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. 3rd Edition. CRC Press.