



Süt Endüstrisi Atıklarının Çevresel Etkileri ve Biyoteknolojik Olarak Değerlendirilmesi^A

Tülay ÖZCAN^{1*}, Buket Tuğçe HARPUGİL²

Öz: Tüm dünyada süt ürünlerine olan talebin artışı süt endüstrisinin gelişmesine olanak sağlarken, bir yandan da proses atıklarının üretiminin artmasına neden olmaktadır. Süt endüstrisinde peynir altı suyu, yayık altı suyu, pıhtı haşlama suyu, proses yıkama suları, süt çamurları, diğer işleme ve temizleme suları başlıca atıklardır. Süt endüstrisi atıkları yüksek besin bileşeni konsantrasyonu, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), organik ve inorganik içeriklere sahiptirler. Ayrıca çok çeşitli temizlik asit ve alkali deterjan maddelerini de içerebilmektedirler. Süt endüstrisinden kaynaklanan kirlilik toprak, havanın ve suyun kalitesi, biyo-çeşitlilik ve ekosistemi etkileyebilmektedir. Bu sebeple sanayi atıklarından değerli mikrobiyel metabolitleri ve yeni fonksiyonel ürünleri üretmek amacıyla biyoteknolojik proseslerin geliştirilmesi oldukça önemli olduğu gibi, belirtilen biyolojik atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğini azaltmak da mümkün hale gelebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Süt endüstrisi, atık, çevre, biyoproses, anaerobik arıtma.

^A Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir.

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹Tülay ÖZCAN, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, Türkiye, tulayozcan@uludag.edu.tr, [OrcID 0000-0002-0223-3807](https://orcid.org/0000-0002-0223-3807)

² Buket Tuğçe HARPUGİL, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, 501908012@ogr.uludag.edu.tr, [OrcID 0000-0002-3829-5882](https://orcid.org/0000-0002-3829-5882)

Environmental Effects of Dairy Industry Wastes and Their Biotechnological Evaluation

Abstract: The increase in demand for dairy products all over the world enables the dairy industry to develop, on the other hand, it causes an increase in the production of process waste. In the dairy industry, whey, buttermilk, cheese curd boiling water, process washing water, milk sludge, other processing and cleaning water are the main wastes. Dairy industry wastes have high nutrient concentration, biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), organic and inorganic contents. They may also contain a wide variety of cleaning acid and alkaline detergents. Pollution from the dairy industry can affect the quality of soil, air and water, biodiversity and the ecosystem. For this reason, it is very important to develop biotechnological processes to produce valuable microbial metabolites and new functional products from industrial wastes, and it is also possible to reduce environmental pollution caused by the specified biological wastes.

Keywords: Dairy industry, waste, environment, bioprocess, anaerobic treatment.

Giriş

Ülkelerin gelişiminde önemli bir role sahip olan sanayileşme ile birlikte, doğada sınırlı olan kaynaklar aşırı derecede kullanılmaktadır. Bu durum, çevre kirliliği, küresel ısınma, iklim değişikliği, doğal kaynakların yetersizliği gibi şimdiki ve gelecek nesiller için birçok tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Özellikle endüstrilerin neden olduğu kirlilik tüm dünyada büyük bir endişe kaynağı olmaya devam etmekte ve ülkeler doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesine yönelik çevre politikalarına yoğunlaşmaktadır. Teknolojik çağın temelini oluşturan ve toplumların sürekliliğinin sağlanmasında önemli olan üretim sektörleri arasında gıda endüstrisi, aşırı su tüketimi ve birim başına yüksek miktarda ürün üretimi ile çevresel açıdan büyük etkiye sahip bulunmaktadır (Karthikeyan ve ark., 2015). Süt endüstrisi, dünya çapında yaygın olan ve süt, süt tozu, tereyağı, peynir ve dondurma gibi birçok ürünü üreten ve bu üretimlere bağlı olarak katı ve sıvı atıkların ortaya çıktığı gıda endüstrisinin önemli payına sahip dallarından birisidir (Jaganmai ve Jinka, 2017).

Pek çok ülkede süt ve süt ürünleri talebindeki artış, dünya çapında süt sektörünün büyük ölçüde büyümesine yol açmaktadır (Chokshi ve ark., 2016). Bununla birlikte, hızlı endüstriyel büyüme sadece verimliliği arttırmakla kalmamakta, aynı zamanda toprak veya su kaynaklarındaki toksik maddelerin yayılımının artmasına da neden olmaktadır. Bu yayılım, çevrenin zarar görmesi ile birlikte, aynı zamanda insanlar için de ciddi sağlık tehlikelerinin bir kaynağı haline dönüşmektedir (Porwal ve ark., 2015). Yüksek organik içeriği nedeniyle, süt ürünlerinin üretiminden kaynaklanan atıklar çevre için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Her yıl dünya çapında yaklaşık 4-11 milyon tonu kapsayan süt atıkları, biyolojik çeşitlilik için ciddi bir tehlike olarak çevreye

salınmaktadır. Atık suyun doğrudan çevreye verilmesinden kaynaklanan sorunlardan biri de, çözünmüş oksijenin tükenmesidir. Özellikle yağlar, yağ ve gres yağı durumunda, su yüzeyinde oksijen transferini engelleyen ve daha sonra suda yaşayan hayvanları ve bitkileri zorlayıcı yaşam koşullarına yönlendiren bir film oluşturmaktadır (Rosa ve ark., 2009).

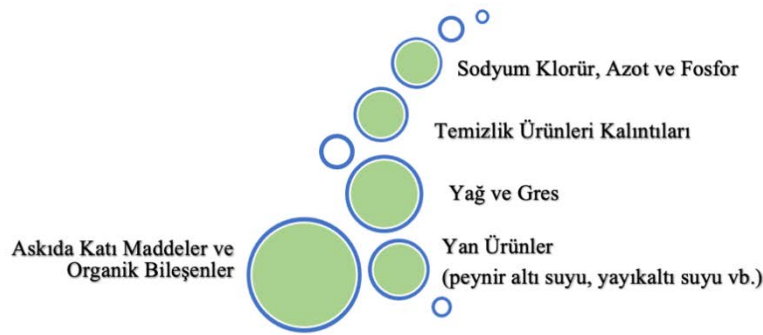
Su, süt endüstrisinin ana bileşenlerinden birisi olduğu için, önemli miktarda atık suyun güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi gerçek bir sorun haline dönüşmektedir. Süt endüstrisinden açığa çıkan atık su, askıda ya da çözünmüş besinsel katı içeriği, çözünür organik bileşenleri, laktoz, süt yağı, sülfat ve klorürleri içermekte ve bunun sonucu olarak da yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ile karakterize edilmektedir. Genellikle, süt endüstrisi atık suları fiziko-kimyasal ve biyolojik yöntemlerle arıtılmaktadır. Reaktiflerin maliyeti ve KOİ'nin fiziko-kimyasal yöntemlerle sınırlı uzaklaştırılması nedeniyle daha çok biyolojik yöntemler tercih edilmektedir. Ayrıca, son yıllarda, süt endüstrisi yan ürünlerinin işlenmesi ve kullanımı ile ilgili çalışmalar da gittikçe artmaktadır (Ganju ve Gogate, 2017; Chandra ve ark., 2018; Avcı ve Ozcan, 2020). Bu atıklar etkili bir şekilde diğer endüstriyel ve fonksiyonel değeri yüksek ürünlerin geliştirilmesi veya enerji üretimi için hammadde olarak kullanılabilir (Chandra ve ark., 2018; Wong ve ark., 2018). Günümüzde, süt endüstrisi atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili araştırmalar daha çok biyoterapötik ürünler ve biyoteknolojik yöntemlere odaklanmaktadır. Süt endüstrisi yan ürünlerinin biyoteknolojik uygulamalar ile alternatif ürünlere ve bileşenlere dönüştürülmesi mümkün hale gelebilmektedir (Faria ve ark., 2017). Çevresel sorunlara yönelik çözümlerin oluşturulabilmesi için bu yöntemler süt atığından kaynaklanan organik yükü azaltmak için önemli ölçüde kullanılabilir. Kirliliğin uzaklaştırılması için süt atığının bileşimini incelemek, karakterize etmek ve olası kullanım alternatiflerini araştırmak uygulamaların esasını oluşturmaktadır (Daneshvar ve ark., 2018; Avcı ve Ozcan, 2020).

Süt Endüstrisi Atıklarının Özellikleri ve Çevresel Etkileri

Süt ürünlerinin sıvı atıkları, süt endüstrisinin çevresel etkilerinin temelini oluşturmaktadır. Şekil 1, süt işletmelerinde yaygın olarak ortaya çıkan sıvı atık kaynaklarını göstermektedir. Süt endüstrisi de dahil olmak üzere gıda endüstrilerinden gelen atıklar yüksek düzeyde organik madde, yağ ve gres, yağ asidi ve önemli düzeyde azotlu ve fosforlu bileşikler içerebilmektedir. Ayrıca hijyen uygulamaları ve ekipman temizliğinde kullanılan temizlik ürünlerinin kalıntılarını da kapsamaktadır (Porwal ve ark., 2015).

Süt ürünlerinin işlenmesi, yüksek su tüketimine ihtiyaç göstermekte ve çoğunlukla kimyasal olarak modifiye edilmiş, sıvı şeklinde büyük miktarda atık ortaya çıkmaktadır (Sarkar ve ark., 2006). Bu nedenle de, süt endüstrisinden atık su deşarjı miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Süt endüstrisi tarafından işlenen sütün litresi başına yaklaşık 6-10 L atık su oluşmaktadır. Kaynağına ve bileşimlerine bağlı olarak süt ürünleri atık suları; işleme suyu, atık su ve sıhhi atık su olarak sınıflandırılmaktadır (Britz ve ark., 2006). Süt işleme atık suyu yıkama için kullanılan deterjanlara ve dezenfektanlara ek olarak genellikle yüksek konsantrasyonda laktoz, kazein, inorganik tuzlar, yağ ve peynir altı suyu proteini gibi çözünmüş organik bileşenlere sahip bulunmaktadır.

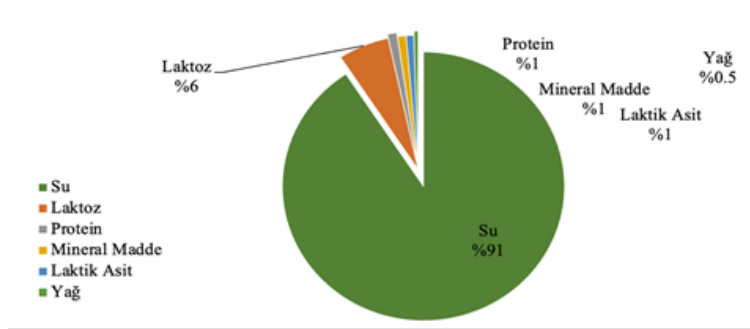
Bu atık suyun bileşimi esas olarak ürün ve işleme yöntemine bağlı olarak da değişmektedir (Carvalho ve ark., 2013). Süt çamurunda ise, kazein, yağ, laktoz, biyolojik değerli N, P, K bileşenleri bulunmaktadır (Singh ve ark., 2013). Süt endüstrisinden sterilize ve pastörize süt, peynir, krema, tereyağı, dondurma, yoğurt, ayran ve süt tozu gibi çeşitli ürünler elde edilmektedir. Çoğunlukla süt ürünleri atıkları; teknolojik döngülerde kaybolan süt veya süt ürünlerini (yağsız süt, bozulmuş süt, dökülmüş süt ve peynir pıhtısı parçaları), işleme operasyonlarının yan ürünlerini (peynir altı suyu permeatı, peynir altı suyu, haşlama suyu, yayık altı suyu, salamura suyu), CIP (yerinde temizleme) prosedürlerinde kullanılan reaktifleri, konteynerlerin, teneke kutuların, ekipman tanklarının, şişelerin ve yerlerin yıkanmasında kullanılan kirleticileri ve üretim sürecinde kullanılan farklı katkı maddelerini içermektedir (Slavov, 2017).



Şekil 1. Süt endüstrisi atık sularının bileşenleri

Süt endüstrisinin temel sıvı yan ürünü, peynir ve kazein üretimi sırasında üretilen peynir altı suyudur. Peynir altı suyu, lipit, karbonhidrat, suda çözünür vitamin, mineral ve biyolojik değeri yüksek proteinleri içermektedir (Chatzipaschali ve Anastassios, 2012). Şekil 2 peynir altı suyunun genel bileşimini göstermektedir. Peynir fabrikalarından gelen atık sular iki gruba ayrılmaktadır. Boru hatlarından çıkan deterjan ve süt artıkları ile karıştırılmış yıkama ve pastörizasyon suları birinci gruba girmektedir ve bunlar düşük organik yüke sahip olup, genellikle yerinde uygun aerobik arıtma ünitelerinde arıtılmaktadır. İkinci grupta ise, peynir altı suyu bulunmaktadır. Peynir altı suyu atıkları toplam atık suyun yaklaşık 1/3'ünü oluştursa da, yüksek organik yüke (yüksek KOİ ve BOİ) sahiptirler ve bu atıklar toprakta veya su kaynaklarında doğrudan bertarafına izin verilemeyecek kadar kirletici olmaktadır (Chatzipaschali ve Stamatis, 2012). Başta peynir altı suyu olmak üzere peynir fabrikalarından gelen atık suların arıtımı fiziko-kimyasal ve/veya biyolojik yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, fiziko-kimyasal yöntemlerde maliyet daha yüksektir ve çözünür KOİ'nin giderilmesi düşüktür. Bu nedenle organik yükün uzaklaştırılması amacı ile anaerobik sindirim ve biyolojik yöntemler daha çok tercih edilmektedir (Vidal ve ark., 2000). Üretim şekline ve kazeinin pıhtılaşmasına göre, peynir altı suyu iki gruba ayrılmaktadır: pH <5 olan asidik peynir altı suyu ve pH değeri pH 6-7 olan tatlı peynir altı suyu şeklindedir. Peynir altı suyunun bileşimi, üretimde kullanılan sütün özelliği/bileşimi, peynir üretim tekniği, maya miktarı, pıhtılaşma için kullanılan asit/enzim, bunların özelliği/miktarı ve pıhtılaşma süresi/sıcaklığı gibi faktörlere de bağlıdır (Chatzipaschali ve Stamatis, 2012). Peynir işleme atıkları, fiziko-

kimyasal özellikleri, içerdiği mineraller (%0.46-10), toplam askıda katı maddeler ($0.1-22 \text{ kg m}^{-3}$), pH (3.3-9.0), fosfor ($0.006-0.5 \text{ kg m}^{-3}$) toplam azot ($0.01-1.7 \text{ kg m}^{-3}$), organik yük ($0.6-102 \text{ kg m}^{-3}$), laktoz ($0.18-60 \text{ kg m}^{-3}$), protein ($1.4-33.5 \text{ kg m}^{-3}$) ve yağlar ($0.08-10.58 \text{ kg m}^{-3}$) vb. bileşenler nedeniyle süt endüstrisinde önemli bir çevresel etki oluşturmaktadır. Peynir altı suyu bu özelliği ile, aşırı oksijen tüketimine, geçirgenliğin azalmasına, ötrofikasyona ve toksisiteye neden olmaktadır. (Ergüder ve ark., 2001; Prazeres ve ark., 2012).



Şekil 2. Peynir altı suyunun bileşimi

Yayık altı suyu, tereyağı üretimi sırasında ortaya çıkan, süt yağı globül membranı (MFGM), fosfolipid ve biyoaktif peptid içeriği yönünden zengin ve gıdalarda emülsifikasyon etkisi ile kullanılan bir süt endüstrisi yan ürünüdür. Bu nutrasötik yan ürün, biyoaktif protein ve lipit içeriğinin yanı sıra, MFGM bileşiklerinin antikanserojen, antibakteriyel, kolesterol düşürücü, antioksidatif stres ve kalp-damar rahatsızlıklarını azaltıcı ve bağışıklık sistemini düzenleyici özelliği ile de sağlık açısından dikkat çekmektedir (Ozcan ve Demiray-Teymuroglu, 2020).

Çizelge 1’de süt endüstrisi atık suyunun genel özellikleri verilmiştir. Süt endüstrisi atık suları yüksek BOİ değeri ($40-48.000 \text{ mg/L}$), KOİ değeri ($80-95.000 \text{ mg/L}$) ve 4.7 ile 11 arasında değişen pH aralığına sahip bulunmaktadır. pH değerlerindeki geniş değişim aralığı ve içerik; uygulanan temizleme yöntemine, temizleme suyundaki çok çeşitli asit/alkali deterjanların içeriğine ve miktarına, ayrıca süt prosesinde uygulanan ısıtma sıcaklıkları ve diğer işleme yöntemlerine bağlı olarak şekillenen kalıntılara ve bunların uzaklaştırılma şekline göre değişmektedir (Britz ve ark., 2006). Süt endüstrisi atık suları genellikle beyaz renkte (peynir altı suyu sarımsı-yeşil renktedir), hoş olmayan bir kokuda ve bulanık özelliğe sahiptirler (Shete ve Shinkar, 2013; Slavov, 2017). Sıvılarının sıcaklığı ($17-25 \text{ }^\circ\text{C}$) normal atık su sıcaklığından ($10-20 \text{ }^\circ\text{C}$) daha yüksektir, bu nedenle süt atık sularında kanalizasyon arıtma tesislerine kıyasla daha hızlı bir biyolojik bozulma meydana gelmektedir (Slavov, 2017).

Çizelge 1. Süt endüstrisi atık suyunun genel özellikleri

Bileşen	Değer
pH	7.2
Alkalite	600 mg/L
Toplam Çözünmüş Katı Madde	1060 mg/L
Askıda Katı Madde	760 mg/L
BOİ	1240 mg/L
KOİ	84 mg/L
Toplam Nitrojen	84 mg/L
Fosfor	11.7 mg/L
Yağ ve Gres	290 mg/L
Klorür	105 mg/L

BOİ: biyolojik oksijen ihtiyacı, KOİ: kimyasal oksijen ihtiyacı

Süt ürünleri için atık sudaki BOİ ve KOİ değerleri önemli parametrelerdir. Atık sudaki ana BOİ kaynakları peynir, tereyağı ve krema üretiminden arta kalan peynir altı suyu ve yayık altı suyudur (Avcı ve Ozcan, 2020). Spesifik süt bileşenlerinin atık yük eşdeğerleri şunlardır: 1kg laktoz, 1.13kg KOİ; 1kg süt yağı yaklaşık 3kg KOİ ve 1kg protein 1.36kg KOİ'ye eşittir. Ancak, bu bileşenlerin özellikleri işleme proseslerindeki farklılığa bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Jaganmai ve Jinka, 2017). Bununla birlikte, toplam çözünür katılar da (TSS), atık su artımının verimliliğinin değerlendirilmesi ve belirlenmesi için genellikle kullanılan önemli parametrelerden birisidir. Süt endüstrisi atıklarında yüksek TSS konsantrasyonunun ortaya çıktığı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Porwal ve ark., 2015; Al-Wasify ve ark., 2018).

Yapılan bir araştırmada, süt endüstrisi atık suyunda fiziko-kimyasal özellikler değerlendirilmiş, yüksek biyolojik kirlilik parametreleri saptanmıştır (Al-Wasify ve ark., 2018). Atık maddenin ortalama sıcaklığının 34 °C, TSS içeriğinin 1222 mg/L ve pH'ın 9.8 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çözünmüş oksijen (DO), BOİ ve KOİ değerleri sırasıyla 1.2 mg/L, 650 mg/L ve 1448 mg/L olarak bulunmuştur. Bir başka benzer çalışmada, Ocak ve Temmuz aylarında toplanan süt atık sularının fiziko-kimyasal özellikleri incelenmiştir. Ocak ayında sıcaklık 27 ± 2.08 °C, pH 6.8 ± 0.64 , BOİ 320 ± 26.76 mg/L ve KOİ 954 ± 86.18 mg/L değerlerinde, Temmuz ayında ise sıcaklık 31 ± 1.53 °C, pH 6 ± 0.69 , BOİ 355 ± 78.99 mg/L, COD 982 ± 67.57 mg/L olarak saptanmıştır (Verma ve Singh, 2017). Bu sonuçlar, farklı süt işleme yöntemi, süt ürünlerinin çeşidi ve mevsimler arasındaki farklılıkların fiziko-kimyasal parametrelerde değişimlere neden olduğunu göstermektedir.

Süt endüstrisinden gelen atıklar, süttten kaynaklanan karbonhidrat, protein ve yağlar gibi yüksek konsantrasyonda organik madde bulundurması nedeniyle, özellikle yerel kanalizasyon ve belediye sistemlerinde organik yük açısından ciddi sorunlar ortaya çıkarabilmektedir. Süt endüstrisinden kaynaklanan bu kirlilik hava, toprak ve su kalitesini de etkilemektedir (Chen ve ark., 2018). İleri aşamalarda bu, oluşturduğu biyolojik kirliliğin yanı sıra, iklimsel değişimin nedeni de olabilmektedir. Yüksek organik yükün varlığından dolayı, süt atıklarından gelen maddeler su kanalizasyonlarına boşaltıldığında, çözünmüş oksijenin tükenmesine neden

olacak şekilde hızla bozunmaktadır. Bu tür su kütleleri, tehlikeli patojen hastalıklar (sıtma, sarıhumma vb.) için bir yayılma etkeni haline gelebilmektedir ve ayrıca böceklerin (sivrisinekler ve böcekler) ve çeşitli kemirgenlerin yayılmasını teşvik etmektedir (Al-Wasify ve ark., 2018). Bunun yanı sıra, biyolojik arıtma birimlerinde çamurun düşük çökebilirliği, oksijenin tükenmesi ve düşük proses verimliliği gibi çeşitli operasyonel güçlükleri de ortaya çıkarmaktadır (Damasceno ve ark., 2008). Amonyak, nitrat ve azot çığ sütte bulunmaktadır, bu da methemoglobinemiye neden olabilmekte ve bu bileşenler nitrite dönüştürüldüğünde ise yeraltı suyunu kirletebilmektedir (Khushwaha ve ark., 2011).

Süt atığının yüksek konsantrasyonu ve yoğun bileşim içeriği hem balık hem de alglerin spesifik çeşitleri için toksik etki oluşturabilmektedir (Shete ve Shinkar, 2013). Süt ürünü atıkları su içinde oksijen tüketimine neden olan yosun ve bakterilerin gelişmesine neden olmakta ve bu da deniz canlılarında su kaybına, bu süreçte de balıkların kademeli olarak ölmesine neden olmaktadır (Shete ve Shinkar, 2013). Sucul yaşamda, yüksek TSS konsantrasyonu nedeniyle bazı sorunlarla karşılaşılabilir. Ayrıca, asılı parçacıklar nedeniyle su kütlelerine ışığın nüfuz etmesi sınırlı olabilmekte, bu da balıklarda solungaçların tıkanmasına neden olmaktadır (Al-Wasify ve ark., 2018).

Süt işleme atık suyu ve peynir altı suyu yüksek organik yükü nedeniyle ana kirleticilerdir. Peynir altı suyu, çoğunlukla laktoz olmak üzere karbohidratlardan (%4-5) oluşmaktadır (Slavov, 2017). Yüksek BOİ (<35,000 mg/L) ve KOİ (<60,000 mg/L) varlığı nedeniyle laktoz en fazla kirlilik oluşturan yan ürün olarak kabul edilmektedir. Arıtma olmadan atılırsa, bu endüstriyel atık toprağın fiziksel ve kimyasal bileşimini değiştirebilmekte, bu da ürün veriminin düşmesine ve suda oksijen bulunmamasına neden olabilmektedir (De Jesus ve ark., 2015). Yapılan çalışmalarda, nehir ve göllere peynir altı suyunun atılmasının büyük bir kirliliğe neden olduğu tespit edilmiştir. Bu koşullar ötrofikasyon sürecinin yükselmesine ve sonuç olarak mikroorganizmaların yanı sıra su bitkilerinin de aşırı büyümesine neden olmaktadır. Bir araştırmaya göre, yaklaşık 40.000 L atılmamış peynir altı suyu, günlük 250.000 kişi tarafından üretilen kirliliğe eşit bir kontaminasyona yol açmaktadır (De Jesus ve ark., 2015). Dolayısıyla, endüstrilerden kaynaklanan başlıca kirlilik kaynağı atık su deşarjıdır ve bunun sonucu olarak da ekosistem etkilenmektedir. Endüstriyel atıkların olumsuz etkisi canlı organizmanın yanı sıra tarımı da etkilemekte ve bu da çevrenin bozulmasına neden olmaktadır. Çevresel kirlilik ve karbon emisyonu ile ilgili olarak daha çok fermente süt ürünlerinin üretiminden arta kalan proses suları etki yaratmaktadır. Fermente olmayan ürünler ise çok fazla bir yan ürün oluşturmamaktadır. Dünya çapında yaygın şekilde üretilen ve tüketilen dondurmanın çevresel etkileri çok az bilinmektedir. Dondurma üretiminde girdiler ürüne dahil olmakta, üretim prosesi gereği çok fazla atık ve kayıp ortaya çıkmamaktadır (Kothari ve ark., 2012; Verma ve Singh, 2017).

Dondurma üretiminde, vanilya ve çikolatalı dondurma, toplam pazar payının yaklaşık %36'sını kaplayan ve her biri yaklaşık %18 olan yaygın aromalardır (Key Note, 2015). Kullanılan hammaddeler çevresel etkilerin çoğuna en fazla katkıda bulunanlardır (>%70). Bunun istisnası, esas olarak perakendecideki soğutulmuş depolamadan (%95) kaynaklanan ozon tabakasının incelmesidir. Etkiler depolama süresine ve soğutucu akışkanın türüne bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, çikolatalı dondurmanın küresel ısınma potansiyeli, kakao çekirdeği yetiştiriciliğiyle ilişkili arazi kullanım değişikliğine karşı çok hassastır ve bu da çevresel etkiyi %60

arttırmaktadır. Konstantas ve ark., (2019), dondurma çeşitlerinin tüm yaşam döngüsünü göz önünde bulundurarak dondurmanın çevresel sürdürülebilirliğini değerlendirmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirme sonuçları, dört ürünün etkilerinin büyük ölçüde benzer olduğunu göstermektedir. Bu trendin istisnaları tatlı su ve deniz eko-toksitesitesi, tarımsal arazi işgali, mineral tükenmesi, su tüketimi ve su ayak izidir. Bu kategorilerde dondurmalar, ürünler arasında en az $\pm\%10$ varyasyon göstermektedir, çikolata ürünleri ortalama olarak vanilyadan yaklaşık $\%16$ daha yüksek bir etkiye sahiptir. Değerlendirmelerde bir diğer önemli eğilim, dondurmaların premium çeşitlerinin normal olanlardan daha yüksek çevresel etkilere sahip olmasıdır. Örneğin, belirsizlik analizi, normalden daha yüksek bir küresel ısınma potansiyeline sahip premium versiyonlarının olasılığının vanilyalı dondurma için $\%68$ ve çikolata için $\%92$ olduğunu göstermektedir.

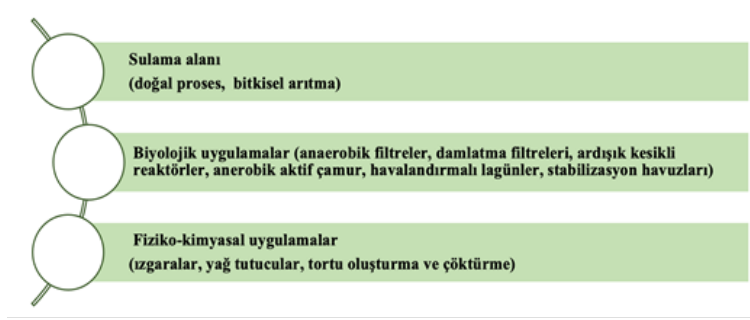
İnsanlığın enerjiye olan ihtiyacı ve enerjiyi elde etmek için gerçekleştirdiği faaliyetlerde fosil yakıt tüketimiyle açığa çıkan gazların atmosferdeki varlığının artması sonucu doğal sera etkisinden daha fazla sera etkisine sebep olmaları küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli nedenidir. Hammaddeler, üretimin egemen olduğu fosil yakıt tüketimi hariç, tüm etki kategorilerine en fazla katkıda bulunanlardır. Hammadde aşamasında çiğ süt, etkilerin büyük çoğunluğuna neden olmaktadır. Ayrıca, arazi kullanım değişikliği söz konusu olduğunda kakao tozu küresel ısınma potansiyeline önemli ölçüde ($\%70$) katkıda bulunabilmektedir. Üretimde özellikle sertleştirme işlemi ve derin dondurma enerji tüketimine etki etmektedir. Perakende aşaması da ozon tabakasının incelmeye en önemli katkıda bulunmaktadır. Bu esas olarak soğutucu akışkanların üretimi ve sızıntısından kaynaklanmaktadır. Etkiler, üretici ve perakendecideki dondurmanın depolama süresine ve kullanılan soğutucu akışkan türüne bağlı olarak değişmektedir. Yapılan bir çalışmada, İngiltere'nin yıllık 404 kiloton dondurma tüketimine dayanarak, sektörün yılda yaklaşık 17TJ birincil enerji tükettiği ve 1.5Mt CO₂ eşdeğeri yaydığı tahmin edilmektedir. Dondurma sektörü, İngiltere'deki tüm yiyecek ve içecek sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının $\%1.8$ 'ini temsil etmektedir. Sektördeki gelecekteki gelişmeler, süt ve kakao üretimine ve muhtemelen bu iki bileşenin miktarını azaltmak için ürün formülasyonunu değiştirmeye odaklanmalıdır. Depolama süresinin azaltılması, ozon tabakasının incelmeye ve küresel ısınma potansiyelini engelleyebilmek için bir diğer önemli iyileştirme seçeneğidir (Konstantas ve ark., 2019)..

Süt Atıklarının Arıtılması ve Değerlendirilmesi

Birçok ülkede süt endüstrisi atıkları doğrudan su ile atılmasına rağmen, oluşturabileceği biyolojik kirlilik ve çevresel etki nedeniyle bu tercih edilen bir yöntem değildir. Bu nedenle de Şekil 3'de açıklanan arıtma yöntemleri tercih edilmektedir. Bu yöntemler sulu sistemler, fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri olarak özetlenebilmektedir. Pek çok ülkede, atık su arıtımı uzun yıllar, geleneksel biyolojik yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Bu tesisler, yüksek ilk yatırım, üretim ve bakım maliyeti, yüksek enerji tüketimi, yüksek karbondioksit emisyonu, koku salınımı ve gürültü oluşturan sonuçları ile ortalama 30 yıl ömre sahip olmuşturlar. Düşük gelirli, gelişmekte olan ülkelerin bu tesislerin inşası için hiçbir fonunun olmayışı ve ayrıca bu tesisleri

işletmek ve yönetmek için teknik uzmanlıklarının olmaması, arıtılmamış atık suyun doğrudan çevreye atılarak bertaraf edilmesine neden olmuştur (Stefanakis ve ark., 2014).

Sulak alanlar, geleneksel arıtmaların aynı işlevine sahip oldukları gibi, daha ekonomik, çevre dostu ve enerji verimliliği olan bir formda oldukları için bir tür sürdürülebilir atık su arıtma olarak kabul edilirler. Bir sulak alan, atık suyun arıtılması için mikrobiyel bir popülasyonu içermektedir, bu nedenle bu sistem doğal bir süreç içinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde, sulak alan bitkileri, çöktürücü ajanlar ve mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Özellikle daha az inşaat, enerji ve işletme maliyeti, kontrol edilebilir koku, çamur geri dönüşümü azlığı ve uzun kullanım ömrü nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde süt ürünleri tesisleri arıtımı için tercih edilmektedir (Stefanakis ve ark., 2014; Slavov, 2017). Bununla birlikte, bu yöntem, geniş bir yüzey alanında kullanımı ile hem yüzey hem de yeraltı suyu için potansiyel risk oluşturması, böceklerin varlığı ve tehlikeli uçucu maddelerin ortaya çıkması gibi bazı dezavantajları da içermektedir (Carvalho ve ark., 2013; Slavov, 2017).



Şekil. 3. Süt endüstrisi sıvı atıklarının arıtma yöntemleri

Normalde, süt atık sularının arıtılması için aerobik ortam kullanılmaktadır. Çoğunlukla ağır yüklü süt atığı suyu oksijenli sulak alanlarda arıtılırken, 20 °C'de beş gün içinde süt atığı ile aerobik havuzda %85 oranında BOİ değerinde azalma sağlanabilmektedir (Britz ve ark., 2006). Süt atık sularındaki süt yağının ve protein kolloidlerinin uzaklaştırılması ve azaltılması fiziko-kimyasal arıtma ile sağlanabilmektedir. En önemli fiziko-kimyasal arıtma aşamalarından birisi, endüstriyel atık suların arıtılmasına yardımcı olan pıhtılaşma ya da tortu oluşturmadır (flokülasyon) (Carvalho ve ark., 2013). Bu adım, suyun bulanıklığından sorumlu olan askıya alınmış ve koloidal haldeki partikülleri azaltmakta, KOİ ve BOİ içeriğinden sorumlu organik maddelerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Koagülant ilavesi, parçacık miktarının dengesizleşmesi, ardından parçacık ve çökelti oluşumu ile sonuçlanmakta ve sonuçta çökme veya tortulaşma oluşmaktadır. Süt atık sularında doğal pıhtılaşma özel laktik asit bakterileri kullanılarak sağlanabilmektedir. Bu bakteriler laktozu fermente etmekte ve böylece laktoz atık suda süt proteininin denatürasyonuna neden olan laktik aside dönüşmektedir. Ortak pıhtılaştırıcılar ile karşılaştırıldığında, araştırmacılar daha düşük dozda (10 mg/L) kitosanın bile KOİ ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerlerini önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, kitosan işleminden sonra toz aktif kömür (PAC) ile arıtmanın atık sudan renk ve kokunun giderilmesinde yararlı olduğu sonucuna varmışlardır (Sarkar ve ark., 2006).

FeSO₄ ve H₂O₂ ile oksidasyon ön işlemi, peynir altı suyunda bulunan yağın %80'e kadar uzaklaştırılmasıyla sonuçlanmaktadır (1.93 g/L başlangıç konsantrasyonu) (Vlyssides ve ark., 2012). Ek olarak, verilen bitki bazlı doğal bir pıhtılaştırıcı olan tanenin doğrudan uygulanması üzerinde çalışılmıştır. Bu maddenin kullanımının

avantajları; inorganik pıhtılaştırıcılardan daha iyi genel performansa sahip olması, üretilen atığın biyo bozunur olması ve geniş bir pH aralığında uygulanabilir olmasıdır. Bu bağlamda, pıhtılaştırıcı olarak tanen kullanımının süt endüstrisinden gelen atık suların arıtılması için umut verici olduğunu göstermiştir (Justina ve ark., 2018).

Biyolojik arıtma; damlama filtreleri, gazlı lagünler, aktif çamur, yukarı akışlı anaerobik çamur battaniyesi (UASB), anaerobik filtreler, sıralı kesikli reaktör (SBR) vb. süreçleri içeren süt atık suyu için en çok tercih edilen ve organik atıkların süt atıklarından uzaklaştırılması için kullanılan yöntemdir (Carvalho ve ark., 2013). Bununla birlikte bu yöntem, aerobik biyodegradasyon sırasında çamur oluşumu, kanalizasyon çamuru arıtımı da dahil olmak üzere maliyetli olabilecek bertaraf sorunlarına da neden olabilmektedir (Dabrowski ve ark., 2017). Çamurun organik materyali ve hatta toksik ağır metallerinin de burada adsorbe edebilmesi ciddi bir sorun oluşturabilmektedir. Bununla birlikte, biyolojik sistem, uygun mikroorganizmalar mevcutsa, kompleks organikleri mikrobiyolojik olarak dönüştürme ve hatta ağır metalleri adsorbe etme yeteneğine de sahip olmaktadır (Britz ve ark., 2006). Oksijen ihtiyacına bağlı olarak biyolojik arıtma i) Aerobik ve ii) Anaerobik yöntemler şeklinde ikiye ayrılabilir. Aerobik yöntem süt atık su arıtma tesislerinin çoğunda kullanılmaktadır, ancak düşük su tampon kapasitesi ve yüksek laktoz seviyesinden kaynaklanan hızlı asidifikasyon ve küf gelişimi nedeniyle etkinliği azalmaktadır. Aerobik biyolojik arıtma, oksijen bakımından zengin ortam varlığında geliştirilen ve organik bileşikleri karbon dioksit, su ve hücre materyale oksitleyen mikroorganizmalara bağlı olarak şekillenmektedir (Britz ve ark., 2006). Amonyaktan (NH_3) elde edilen azot bu yöntemde kolayca bozulurken, fosfor giderimi durumunda etkinlik oldukça azalmakta ve esas olarak çevresel koşullara bağlı olmaktadır. Burada, anaerobik bakterilerle karşılaştırıldığında, aerobik bakteriler daha az etkili olmaktadır (Slavov, 2017). En eski biyolojik arıtma yöntemleri arasında olan, süzme filtreleri veya konvansiyonel damlama gibi aerobik filtrelerin kullanılması, yüksek kalitede son ürünleri oluşturmaktadır. Yüksek dayanıklılığa sahip süt ürünlerinde ise (yağ ve gres bakımından zengin) aerobik filtrelerin kullanımı sınırlı olmaktadır. Biyokütle kaybı ve filtre kirlenmesi gibi sorunlar, yüksek yağ ve ağır biyofilm blokajının artışına bağlı olarak verimin azalmasına neden olabilmektedir. Genel öneri ise, atık su için organik yüklemenin $0.28\text{--}0.30 \text{ kg BOI/m}^3$ den fazla olmaması ve devir daim yapılması gerektiği şeklinde olmaktadır (Britz ve ark., 2006).

Süt atık suyu arıtımı için, farklı yükleme kabiliyetleri ve etkin esnekliği nedeniyle sıralı kesikli reaktör (SBR) tercih edilmektedir (Slavov, 2017). SBR, havalandırma, çökeltme, katı madde çekme ve katıların geri dönüşümü için kullanılan tek bir tank ve çekme ünitesidir. Gil-Pulido ve ark. (2018), atık suda ve süt ürünlerinde yüksek organik yük mevcut olduğunda azot ve fosfor iyileştirme sınırlamalarını düzenlemek için “Aralıklı Havalandırma Sekanslama Toplu Reaktörü”nü (IASBR) performansını araştırmışlardır. IASBR teknolojisi 3 farklı havalandırma oranıyla (0.4-0.8 L/dak) uygulanmıştır. Reaktör 0.6 L/dak havalandırma oranıyla çalıştığında, yüksek miktarda besin giderimine ulaşılmıştır (ortofosfatların %90'ından fazlası ve sentetik süt atık suyunda amonyum azot giderimi). Bu çalışmanın ana katkısı, süt ve atık su arıtımı için geleneksel Biyolojik Besin Giderimi'ne (BNR) verimli bir seçenek sunulmasının yanı sıra enerji ve altyapı taleplerinin azaltılmış olmasıdır.

Anaerobik arıtma, esas olarak maliyet etkinliği nedeniyle aerobik arıtma sisteminden daha uygundur. Anaerobik sistemlerin doğru kullanımı hoş olmayan kokuya neden olmamaktadır. Düşük konsantrasyonda askıda katı madde içeren sıvılar için, biyolojik arıtma olarak anaerobik filtre reaktörlerinin kullanılması uygun olmaktadır. Bazı araştırmacılar, anaerobik işlemlerin aslında peynir endüstrisinde yüksek organik yüke sahip atık su arıtmanın tek geçerli yöntemi olduğunu belirtmektedirler (Carvalho ve ark., 2013). Anaerobik arıtma tekniklerinin bazı örnekleri şunlardır: anaerobik sindirim (AD), UASB, yukarı akışlı anaerobik filtre, tamamen karıştırılmış tank reaktör (CSTR), anaerobik temas işlemi, genişletilmiş yatak ve/veya sıvılaştırılmış yataklı sindiriciler, membran anaerobik reaktör sistemi (MARS) ve sabit yataklı sindiricilerdir (Goli ve ark, 2019). Enzimatik hidroliz gibi bir ön arıtma, yüksek yağ içerikli atık su için anaerobik işlemin verimliliğini ve performansını artırabilmektedir. Potansiyel olarak lipitler, karbonhidratlar (0.42 L/g) ve proteinler (0.63 L/g) (Neves ve ark., 2009) ile karşılaştırıldığında metana göre (0.99 L/g) yüksek teorik dönüşüm sağlamaktadır. Bununla birlikte, lipit hidrolizi genellikle anaerobik işlem için sınırlayıcı bir adımdır. Bazı araştırmacılar, bu yağ etkilerini en aza indirmek ve esas olarak lipit hidrolizini iyileştirmek için enzim ilavesi (genellikle lipazlar) ile arıtmanın yollarını araştırmışlardır (Meng ve ark., 2015, Meng ve ark., 2017).

Genel olarak, aerobik ve anaerobik proses arıtmaları genellikle tarımsal atık su arıtımı sınırlarına ulaşmak için süt atık su arıtımında birlikte kullanılmaktadır. Aerobik teknoloji sadece karbon içeren kirletici seviyesini düşürdüğünden ve etkisi besin maddelerinin uzaklaştırılması için zayıf olduğundan, bir ön adım olarak düşünülmeli ve geliştirilmelidir. Ardışık UASB reaktörü ve aerobik denitrifikasyon aşamaları kullanılarak, karışık süt atık suyu tam ölçekli bir seviyede başarıyla arıtılmıştır. KOİ'nin %95'inin yok edilmesi sonucu üretilen CH₄, tüm bir bitkinin enerji ihtiyacını karşılamak için yeterli miktardadır (Britz ve ark., 2006).

Süt Endüstrisi Atıklarında Biyoteknolojik Uygulamalar

Biyolojik dönüşümler potansiyel yakıt hücrelerini, aerobik/anaerobik mikrobiyel fermantasyonu ve ayrıca anaerobik sindirim gibi biyoteknolojik süreçleri kapsamaktadır. Ayrıca, çeşitli biyolojik değerli ürünlerin üretimi için de kombine biyoteknolojik ve fiziko-kimyasal süreçler kullanılabilir (Chen ve ark., 2018). Süt endüstrisi atıklarının değerlendirilmesinde kullanılan farklı biyoteknolojik yöntemler Çizelge 2'de belirtilmektedir. Fermantasyon ile peynir altı suyu, peynir altı suyu permeatı ve tereyağı üretiminden arta kalan yayık altı suyu, çok çeşitli ürünlerin üretimi için kullanılabilir (Panesar ve ark., 2013, Özdemir ve Özcan, 2019). Chokshi ve ark. (2016) *Acutodesmus dimorphus* mikro alginin, çiğ süt atık sularından besinleri tüketmek için etkin bir şekilde kullanılabilirliğini belirtmiştir (Çizelge 2). Çalışmada 4 günlük kültürasyon uygulamasından sonra KOİ seviyesi %90'ın üzerinde azalırken, amonyak azotu 6 günlük kültürasyondan sonra tamamen tüketilmiştir. Araştırmacılar elde edilen biyokütlede %25 lipit ve %30 karbonhidrat saptamışlar ve *Acutodesmus dimorphus* mikro alginin biyodizel ve biyoetanole dönüşüm için kullanılabilirliğini, etkin bir atık su bertarafınının sağlandığını ve yüksek miktarda biyokütlenin sürdürülebilir bir şekilde üretilebileceğini belirtmişlerdir.

Geotrichum candidum, lignolitik enzim üreten ve artık atık suyu endüstriyel işlemler ile temizleyebilen bir küf türüdür. Bu nedenle, *Geotrichum candidum*'un gelişmesi ve biyokütle üretimi için substrat olarak yağ pres suyu ve peynir altı suyu karışımının (20:80) kullanımı değerlendirilmiştir (Aouidi ve ark., 2010). Araştırmacılar, küf 5 gün boyunca 30 °C'de aerobik koşullar altında geliştirmişler ve bu karışımın, su ile seyreltme veya diğer besinler ile takviye gerekmeksizin biyokütle elde etmek için en ucuz ve en etkili substrat olabileceği sonucuna varmışlardır. Biyobozunur malzemeler olarak biyoplastiklerin, özellikle polihidroksialkanoatların (PHA), yüksek derecede kirletici yağdan üretilen plastikler için iyi bir alternatif olduğu belirtilmektedir. Çalışmalar peynir altı suyundan PHA üretimine odaklanmaktadır (Pakalapati ve ark., 2018).

Çizelge 2. Süt sanayi atıklarının değerlendirilmesinde biyoteknolojik uygulamalar

Ürün	Atık	Uygulama	Biyolojik ürün
Gıda zenginleştirici	Peynir altı suyu ve permeatı	Proses geliştirici, fermantasyon, terapötik etki, tekstür geliştirici, stabilizatör, yağ ikamesi	Peynir altı suyu türevi ürünler (peynir altı suyu protein konsantratu, peynir altı suyu protein izolatu, peynir altı suyu protein hidrolizatı)
Gıda zenginleştirici	Yayık altı suyu	Proses geliştirici, terapötik etki, tekstür geliştirici, stabilizatör, emülgatör, yağ ikamesi	Yayık altı suyu tozu
Biyokütle	Peynir altı suyu	<i>Geotrichum candidum</i> için besin ortamı	Biyokütle
	Atık su	<i>Acutodesmus dimorphus</i> için besin ortamı	Biyokütle; biyodizel ve biyoetanol
Biyoplastik	Peynir altı suyu	<i>Ralstonia eutropha</i> DSM545, <i>Pseudomonas hidrojenovora</i> veya diğer türler için besin ortamı	Biyoplastik (polihidroksialkanoatlar, PHA)
	Süt sanayi atığı	<i>Bacillus megaterium</i> SRKP-3 veya <i>Brevibacterium casei</i> SRKP2 için besin ortamı	Biyoplastik (polihidroksibutiratlar, PHB)
Biyogübre	Süt sanayi çamuru	<i>Rhizobium</i> için besin ortamı	Süt çamurunun substrat olarak kullanımı ile düşük maliyetli biyogübre
Biyoyakıt	Peynir altı suyu	<i>Kluyveromyces fragilis</i> ile fermantasyon	Etanol ve alkollü içeceklerde kullanımı
	Peynir altı suyu tozu	<i>Kluyveromyces sfragilis</i> ile fermantasyon	Biyoyakıt (etanol)
	Peynir altı suyu	<i>Conspicua</i> W16'da ve <i>Candida</i> ile fermantasyon	Biyoyakıt (etanol)
	Peynir altı suyu	<i>Clostridium acetobutylicum</i> DSM792 için besin ortamı	Biyobütanol
	Atık su	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> için besin ortamı	Biyobütanol
Biyoenjerji	Atık su	Mikroalgler için besin ortamı	Biyoyakıt (biyodizel ve biyoetanol)
	Yağlı atık	Anaerobik biyodegradasyon	Biyometan (enerji)
	Süt ürünü atığı	Asidojenik fermantasyon ve anaerobik sindirim	Biyoenjerji (H ₂ ve CH ₄ üretimi)
Organik asit	Peynir altı suyu	<i>Aspergillus niger</i> ATCC 9642 için besin ortamı	Sitrik asit
	Peynir altı suyu	<i>Actinobacillus succinogenes</i> 130Z için besin ortamı	Süksinik asit
	Tatlı peynir altı suyu	<i>Propionibacterium shermanii</i> için besin ortamı	Propiyonik asit
	Yoğurt üretim atığı	<i>Lactobacillus casei</i> ATCC393 ile fermantasyon	Laktik asit
Biyoaktif peptit	Peynir altı suyu	<i>Maclura pomifera</i> 'dan lateks kullanımı	Biyoaktif peptit
Enzimler	Atık su	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Pseudomonas</i> ssp. ve <i>Streptomyces</i> için besin ortamı	Lipaz
Biyosülfaktan	Atık su	<i>Candida bombicola</i> ATCC22214 ile yetiştirme	Biyosülfaktan
Tek hücre proteini	Peynir altı suyu	Çoğunlukla mayalar olmak üzere laktoz fermente eden mikroorganizmalar için besin ortamı	Tek hücreli proteini
Polisakkaritler	Peynir altı suyu permeatı	<i>Xanthomonas campestris</i> için besin ortamı	Xanthan gum
	Deproteinize peynir altı suyu	<i>Streptococcus thermophilus</i> için besin ortamı	Eksopolisakkarit

Marangoni ve ark., (2002), *Ralstonia eutropha* DSM545 ile hidrolize peynir altı suyu permeatından PHA üretmişler ve polimerin son bileşiminin, ticari açıdan 3HV'nin %38'i olduğunu belirtmişlerdir (Çizelge 2). Polihidroksibutiratlar (PHB) en yaygın PHA türüdür ve *Bacillus megaterium* SRKP-3 tarafından üretilmektedirler. Süt endüstrisi atıkları, optimize edilmiş bir ortamda 36 saat geliştirme yöntemi ile maksimum PHB (11.32 g/L) üretim verimi ile substrat olarak kullanılabilir (Çizelge 2). *Brevibacterium casei* SRKP2, endüstriyel atık sütünü PHB üretimi için karbon kaynağı olarak kullanma yeteneğine de sahiptir. Bu bakteri 37 °C'de 48 saat içinde PHB (2.940 g/L) üretebilmektedir. Ayrıca, *Pseudomonas hidrojenovora*, laktoz hidrolize peynir altı suyu permeatından glikoz ve galaktozu metabolize ederek PHB üretme özelliği göstermiştir. Belirtilen biyoplastikler çevre dostudur, tıbbi alanda etki gösterebilmektedir ve ayrıca vücuda ilaç takviyesini kolaylaştırıcı nano parçacıkların üretimi için de kullanılabilir (Koller ve ark., 2008; Pandian ve ark., 2010).

Biofertilizer üretiminde, süt endüstrisinden kaynaklanan çamurun, *Rhizobium* gelişiminde etkili olduğu belirtilmiştir. Çalışma, %60 süt çamurunun uygun bir gelişme ortamı olduğunu ve *Rhizobium* (Maya Özü Mannitol Broth) için kullanılan standart ortamla karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlara yol açtığını ortaya koymuştur. Araştırmacılar, süt endüstrisi çamurunun bir substrat olarak tekrar kullanılmasıyla biyo-gübre üretim maliyetinin düşürüleceği sonucuna varmışlardır (Singh ve ark., 2013).

Biyoyakıtların üretiminde, biyoyakıt ateşlemesi, fosil yakıtların yakılmasına kıyasla çevreye daha az kirletici madde salmaktadır (Bhatia ve ark., 2018). Süt endüstrisi atıkları, *Kluyveromyces fragilis* (Parrondo ve ark., 2000), *Kluyveromyces marxianus* DSMZ-7239 (Ozmihci ve Kargi, 2007) gibi çeşitli mayalar kullanılarak etanol üretimi için substrat olarak kullanılabilir. *Kluyveromyces fragilis*, peynir altı suyunda bulunan laktozu hidrolize etmekte (%20), bu da alkollü içeceklerin üretimi veya diğer uygulamalar için kullanılacak etanol üretimine (35.2 g/L) olanak sağlamaktadır (Parrondo ve ark., 2000). Minakshi ve Shilpa (2012) tarafından substrat olarak peynir altı suyu kullanılarak yapılan bir çalışmada, *Candida inconspicua* W16 tarafından aljinat kalsiyum jel içinde yüksek verimde etanol (30.3 g/L) üretilmiştir.

Biyolojik bileşen olarak peynir altı suyu tozunun kullanıldığı bir çalışmada, *Kluyveromyces marxianus* DSMZ-7239 ile 0.54g etanol/g laktoz elde edilmiştir. Sonuçlar, yüksek oran/verim elde etmek ve substrat inhibisyonunu önlemek için başlangıç şeker konsantrasyonunun 75g/L'nin (peynir altı suyu tozu <156 g/L) altında ve başlangıç biyokütlesinin 850 mg/L'nin üzerinde olması gerektiğini göstermiştir (Ozmihci ve Kargi, 2007). Butanol (1.5 g/L) üretiminde, laktoz içeren peynir altı suyunun fermantasyonu için %4.5-5 konsantrasyonunda *Clostridium acetobutylicum* DSM 792 suşu kullanılmıştır. İşlem, 5 gün boyunca 37 °C ve 150 rpm başlangıç kültüründe gerçekleştirilmiştir (Foda ve ark., 2010).

Chlorella pyrenoidosa, atık sularındaki bileşenleri hidrolize etme kabiliyetine sahip yeşil renkli bir mikro algdir. Bu mikroalgin süt atık suları ve biyoyakıt (biyodizel) üretimindeki potansiyelini incelemek için alg biyokütlesinin biyoyakıt haline dönüştürülmesi çok aşamalı bir süreçte gerçekleştirilmiştir. Toz haline getirilmiş alg biyokütlesinden yağ ekstraksiyonu n-hexan ve metanol kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Süt atık sularının fosfor (%80-85) ve azot (%60-80) içeriğinde, biyokütle (18.8 g/L) ve biyoyakıt (6.7 mL) üretiminde 15 günlük yetiştirme sürecinde azalma gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, *Chlorella pyrenoidosa*'nın kirletici yükün

hafifletilmesi için etkili olabileceğini ve biyoyakıt üretimi için potansiyel ajan olarak kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır (Kothari ve ark., 2012). Arıtım ve biyodizel üretimi amacıyla *Chlorella* spp.'nin süt atık suyunda kullanımının, yüksek kaliteli biyodizel üretimini sağlayan büyük bir potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir (Lu ve ark., 2015). Bununla birlikte, ticari olarak sürdürülebilir biyoyakıtın üretilmesi için alg üretim sisteminin daha fazla araştırılması ve geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir (Passero ve ark., 2014; Lu ve ark., 2015; Ding ve ark., 2015; Dong ve ark., 2016). Herhangi bir ön işlem yapılmadan ana substrat olarak süt atık sularında mikroalg *Acutodesmus dimorphus*'un geliştirilmesi, biyoyakıt üretiminde olumlu sonuçlar vermiştir. Çalışmada, üründen %90'dan fazla KOİ ve %100 amonyak uzaklaştırımının yanı sıra, biyokütle üretimi, dört günlük deneylerde 840 mg/L (kuru hücre ağırlığı) civarında bulunmuştur (Chokshi ve ark., 2016).

Başka bir yaklaşım, fermantatif hidrojen üretimi ile ilgilidir. Hidrojen, gelecekteki enerji talebini çözmek için en umut verici kaynaklardan biridir ve çevresel olarak çekici bir yaklaşıma sahiptir (Chandra ve ark., 2018; Wong ve ark., 2018). Bu tür ürünler, süt üreticilerinin atıkları gibi karbonhidrat açısından zengin bileşime sahip kaynaklardan üretilmektedir (Rugele ve ark., 2013).

Süt endüstrisi atıklarının organik yükü tipik olarak 1–10 g /L KOİ ve 0.3–5.9 g/L BOİ aralığındadır. Bu sayede biyoenerji üretimi için mükemmel bir kaynak olan yüksek biyobozunurluğa sahiptir. Asidojenik fermantasyondan sonra, ara ürünler asetojenler tarafından bozularak, asetat, CO₂ ve H₂ üreterek uçucu yağ asitlerine (VFA) dönüştürülmektedir. Bu bileşikler ayrıca, metanojenler tarafından da CH₄'e dönüştürülmektedir (Mohan ve ark., 2010). Bu çalışmalarla, süt endüstrisinden gelen ürün, asidojenik fermantasyon ve anaerobik sindirim yoluyla H₂ ve CH₄ üretimi için uygun bir hammadde haline dönüşmektedir (Chandra ve ark., 2018).

Süt atıklarını kullanabilen mikrobiyel yakıt hücresi kaynağı olarak yeni alternatif ve yenilenebilir elektrik kaynaklarının geliştirilmesi de düşünülmüştür (Bhatia ve ark., 2018). *Saccharomyces cerevisiae* PTCC5269 canlı hücreleri, peynir altı suyunda bulunan şekeri kullanabilir ve iki gün boyunca kararlı bir voltaj, 470µA enerji ve maksimum 50µW akım üretebilirler (Chandra ve ark., 2018). Elektrik enerjisi elde etmenin bir başka yolu da, süt endüstrisinin atık su arıtma tesisinde atık işleme tesisi tarafından üretilen yağlı atıklardan olabilmektedir. Bu yağlı atıklar, dönüşüm ünitelerinde sıvı atıklardan ayrılmakta, esas olarak lipitler ve proteinler olmak üzere yüksek konsantrasyonlarda organik madde içermektedir. Özellikleri ve yağın metana yüksek teorik dönüşüm verimleri göstermesi nedeniyle, yağlı atıkların anaerobik biyodegradasyonu, yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyometan üretiminin ilginç bir yolu olabilmektedir (Hamawand ve ark., 2016). Bununla birlikte, yağlı atık suların dezavantajları da bulunmaktadır. Lipitler mikroorganizmalar için yetersiz erişilebilirlikte olduklarından, uzun zincirli yağ asitlerini inhibe edici özelliklere sahip olabilmektedir. Bu nedenle, yağlı atıkların anaerobik sindirimi, enzimatik hidroliz (esas olarak lipaz), asit muamelesi (pH=2-2.5 için HCl ilavesi), termal hidroliz veya saponiasyon gibi ön arıtma işlemlerini gerektirebilmektedir (Carrere ve ark., 2012).

Bila ve ark., (2016), süt endüstrisi yağ atıklarının anaerobik sindiriminden biyometan üretmek için çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Araştırma, işlem sırasında metan üretimini doğrulamanın mümkün olduğu bir AMTPS'de (Anaerobik Metan Potansiyel Test Sistemi) gerçekleştirilmiştir. 63 günlük sürekli çalışma sonrasında, daha iyi sonuçlara ulaşan deneyler (0.1 veya 0.25g /100g lipaz ve 0.23g/100g kalsiyum klorür ile), özel metan üretimine (34.4-35g metan/ g atık) dayalı olarak seçilmiştir ve burada enerji elektrik üretimi olan

hipotetik bir bitkinin yağlı atıkların artırılmasında kullanılabileceği belirlenmiştir. Günde 1000 kg yağ atığı işlendiğinde, üretilen biyometanın işlenmesi için gereken enerjinin kendi kendine korumak için yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

Tek hücre proteinlerinin (SCP) önemli özelliği, ham proteine bağlı olarak kurutulmuş ağırlığın %40-80'i arasında değişen yüksek protein içeriğine sahip olmalarıdır. Ayrıca, bu protein bitkisel proteinden çok hayvansal proteine benzemekte, bu nedenle de üstün kalite özelliğine sahip olmaktadır. Genel olarak Güvenli (GRAS) olarak bilinen ve SCP üretiminde kullanılan farklı mikroorganizmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte üretimde daha çok mayalar tercih edilmektedir, çünkü bu mikroorganizmalar pek çok karbon kaynağında kolayca gelişebilirler ve bakterilere kıyasla daha büyük verime ve boyutlara sahip olduklarından kolayca hasat edilebilirler (Kasmi, 2016; Spalvins ve ark., 2018). SCP üretimi için mikroorganizma seçiminde, peynir altı suyundaki laktozu metabolize etme yeteneği etkili olabilmektedir. Laktozu metabolize etme yetenekleri nedeniyle, *Kluyveromyces* (*K. lactis* ve *K. marxianus*), *Candida* (*C. pseudotropicalis*) ve *Trichosporon* gibi farklı maya türleri çoğunlukla kullanılmaktadır (Kasmi, 2016). Peynir altı suyunda bulunan azotun karmaşık yapısı nedeniyle mikroorganizmalar, optimum büyümeleri için kolayca asimile edilen basit organik veya inorganik azot formlarına ihtiyaç duymaktadırlar (örneğin, üre, maya özütü). En iyi maya gelişimi ve SCP üretimi için 25-35 °C'lik bir sıcaklık aralığına ihtiyaç duyulduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu durum bazı maya suşları için de değişebilmektedir (örneğin, *C. utilis*). Bakteriler için optimum gelişme sıcaklığı yaklaşık 30 °C'dir. Ancak *Bifidobacteria* veya *Streptococcus thermophilus* gibi bazı *Lactobacillus* türleri 37-47 °C arasında optimum gelişme sıcaklığına sahiptirler (Kasmi, 2016).

Gıda, içecek ve ilaç endüstrileri genellikle çok sayıda farklı ürünü üretmek için katkı maddesi olarak kullanılan pek çok kimyasal bileşiği tercih etmektedir. Bu tür katkı maddeleri, aroma arttırıcılar, stabilizatörler, asitleştirici ajanlar veya koruyucular olarak etki gösterebilirler. Organik asitler (süksinik, laktik, sitrik ve propiyonik asit) bu grup bazı katkı maddelerine örnektirler (Darouneh ve ark., 2009; De Jesus ve ark., 2015) ve Çizelge 2'de gösterildiği gibi peynir altı suyundan elde edilebilirler. Sitrik asit, peynir altı suyundan *Aspergillus niger* ATCC 9642 kullanılarak üretilmektedir. Bu yöntemde, yüzey kültürü işleminde farklı sakaroz, glikoz, fruktoz, galaktoz, riboflavin, trikalsiyum fosfat ve metanol konsantrasyonları incelenmiştir. Araştırmacılar, en yüksek verimin (106.5 g/L), 16 günlük kültürasyondan sonra ve %1 metanol varlığında veya yokluğunda, %15 sükröz kullanılarak saptandığını bildirmişlerdir (El-Holi ve AIDelaimy, 2003). Süksinik asit, peynir altı suyu ve *Actinobacillus succinogenes* 130Z kültürü kullanılarak üretilmektedir. En yüksek verim (fermantasyon işlemi sırasında tüketilen 1 g laktozdan üretilen 0.57 g süksinik asit), 50g/L başlangıç peynir altı suyu konsantrasyonunda elde edilirken, ilk peynir altı suyunda 100 g/L konsantrasyonda en yüksek verimlilik (0.58 g/L) elde edilmiştir. Optimum fermentasyon koşullarında (pH 6.8, %5 aşılama miktarı ve başlangıç peynir altı suyu konsantrasyonu 50g/L), 0,44 g/hL verimlilik ile 0.57 g/L süksinik asit verimi (fermantasyon işlemi sırasında tüketilen 1 g laktozdan üretilen g süksinik asit) elde edilmiştir. Araştırmacılar, *A. succinogenes* 130Z'nin peynir altı suyunu süksinik aside dönüştürebildiğini ve maliyet açısından etkin bir fermentatif üretim kaynağı olabileceği sonucuna varmıştır (Wan ve ark., 2008). Laktik asit, laktoz ve glikoz içeren bir atık madde olan yoğurt ve peynir altı suyundan üretilmektedir. Çalışmada, *Lactobacillus casei* ATCC393 kullanılarak

kontrollü pH koşulları altında maksimum 25.9 g/L laktik asit 34 saat sonra elde edilmiştir. Üretilen bu laktik asit ayrıca, propilen oksit, polilaktik asit polimeri (PLA) ve akrilik tamponlar veya propilen glikol üretimi için de kullanılmaktadır (Alonso ve ark., 2010). Propionik asit, *Propionibacterium* türleri kullanılarak üretilmektedir. Temel olarak, propiyonik asit, B₁₂ vitamini bileşiklerinin üretimi veya biyokütle üretimi için koruyucu olarak kullanılmakta ve *Propionibacterium* suşlarının bazıları da probiyotik kültürler olarak kabul edilebilmektedir (De Jesus ve ark., 2015). Pastörize tatlı peynir altı suyu, *Prophatibacterium shermanii* ile 72 saat 30 °C'de inoküle edilmiş ve 10g/L propionik asit üretimi gerçekleştirilmiştir (Anderson ve ark., 1986).

Biyoteknoloji uygulamaları ile seçilmiş bazı suşlardan çok çeşitli enzimler ticari olarak sentezlenebilmektedir (Çizelge 2). Bu enzimler, endüstride farklı biyolojik prosesler için geniş bir uygulama alanına sahiptirler. *A. niger*, *Pseudomonas* spp. ve *Streptomyces* spp. gibi bazı suşlar tanımlanmış ve organik bileşikleri kolayca parçalayabilen hidrolizasyon yeteneği yüksek mikroorganizmalardır. Bu suşlar atık suda bulunan yağları/ lipitleri parçalayabilirler ve lipaz enzimi üretimi için endüstrilerde geniş uygulama alanı bulmaktadırlar. Lipazlar için farklı uygulamalar arasında yağların modifikasyonu, çeşitli organik sentezler, gıda işleme ve kimyasal analizlerde ortam zenginleştirme sayılabilmektedir (Jaganmai ve Jinka, 2017). Laktoperoksidaz, bir anyonik yüzey aktif madde kullanılarak sıvı emülsiyon membranı (LEM) ile peynir altı suyundan Priyanka ve Rastogi (2018) tarafından başarıyla ekstrakte edilmiştir. Optimal koşullar altında laktoperoksidaz aktivite geri kazanımı ve saflaştırma faktörü sırasıyla %75.21 ve 2.86 olarak bulunmuştur.

Biyoaktif peptitler, bir öncü proteinin ortasında bulunan inaktif amino asit dizileridir. Enzimatik veya kimyasal hidroliz ile salındıklarında biyolojik aktivitelere sahip olmaktadır. Genellikle süt, peynir altı suyu, yayık altı suyu ve kolostrum antihipertansif aktivite ve antioksidan özelliklerde biyolojik değere sahip bu bileşiklerin temel kaynakları olup fonksiyonel gıda pazarının potansiyel bileşenleridirler (Corrons ve ark., 2012; De Jesus ve ark., 2015; Çizelge 2).

Peynir altı suyu, *Xanthomonas campestris* kullanılarak ksantan zamkı (heteropolisakkarit) gibi polisakkaritlerin üretilmesinde de kullanılabilir (Çizelge 2). Bu yöntemde, peynir altı suyu permeatı hidrolize laktoz fermantasyon işlemi için substrat olarak kullanılmaktadır (Mesomo ve ark., 2009). Ek olarak, atıkların bileşimindeki süt şekeri laktoz ekzopolisakkaritlerin (EPS) üretimi için de kullanılmaktadır. Dekstranlar gibi ekzopolisakkaritler, *Leuconostoc mesenteroides* suşu kullanılarak üretilmektedir (Santos ve ark., 2005). EPS bileşikleri mikroorganizmaların yüzeylere yapışmasını, biyofilmlerin oluşumunu kolaylaştırarak organizmaları çevresel etkenlere karşı korumaktadır ve bu bileşikler, gıda ve farmasötik endüstrilerinde viskozite, emülsiyon ve tekstür geliştirici, detoksifiye edici ve stabilizatör özellikleri ile fonksiyonel uygulamalara sahiptirler (De Jesus ve ark., 2015). Yapılan bir çalışmada, deproteinize peynir altı suyundan *Streptococcus thermophilus* kullanılarak maksimum 152 mg/L EPS elde edilebildiğini saptanmıştır (Ricciardi ve ark., 2002). Biyo-yüzey aktifler (BS), sıvıların yüzey gerilimini azaltabilen amfipatik moleküllerdir (hidrofilik ve hidrofobik kimyasal gruplar). Sentezlenmesi küf, maya ve bakteriler tarafından olmakta ve tarım, ilaç, kozmetik ve gıda endüstrilerinde kullanılabilir (De Jesus ve ark., 2015). *Candida bombicola* ATCC 22214 suşunun süt atık suyundan sophorolipidleri (SL) sentezleyebildiği saptanmıştır (Daverey ve ark., 2009). (Çizelge 2). *Bacillus licheniformis* M104, peynir altı suyunda geliştirildikten sonra gram pozitif suşlara ve patojenik enterobakterilere karşı

antimikrobiyal aktivite gösteren bir BS lipopeptidi üretebilmektedir. Araştırmacılar, üretilen biyo-yüzey aktif maddenin biyoteknolojik ve biyo-farmasötik uygulamalar için büyük bir potansiyel sundukları sonucuna varmışlardır (Gomaa, 2013).

Sonuç

Süt endüstrisi, çok fazla su kullanan ve yüksek miktarda süt ürünü üreten önemli bir gıda işleme sektörüdür. Atığın bileşimi üretim çeşidine göre değiştiğinden, atık suyun biyobozunurluğu ve arıtımı farklılık yaratmaktadır. Genel olarak süt endüstrisi atıkları, yüksek organik içeriğe, BOİ/KOİ değerine ve sıcaklığa sahiptirler. Uygun bir şekilde işlenmez ve doğrudan toprağa bırakılırsa, ciddi çevre sorunlarına neden olabilir ve hatta insanları, suda yaşayan organizmaları, balıkları ve tarımı büyük ölçüde etkileyebilmektedirler. Süt atıklarının işlenmesinde fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, çözünür KOİ'nin giderilmesinde daha iyi verimlilik ve maliyetlerin azalması nedeniyle biyolojik yöntemler de tercih edilmektedir. Anaerobik biyolojik arıtma atığın doğrudan kullanımı için daha çok önerilmekte ve uygun kullanımı kokuya neden olmamaktadır. Öte yandan, farklı biyoteknolojik alternatif yöntemlerle de atıkların değerlendirilmesi söz konusu olmaktadır. Biyoteknolojik yöntemler, biyolojik değeri yüksek organik atığı substrat olarak kullanma ve terapötik ürünlere dönüştürme potansiyeline sahiptir. Süt endüstrisindeki bu yan ürünler ayrıca, gıda, yakıt, sağlık, ilaç ve plastikte kullanım alanı bulmaktadır. Bugün tüm dünyada karbon emisyonunu azaltıp, her proses için karbon ayak izini hesaplayarak küresel iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmenin gerekliliği konusunda geniş bir fikir birliği bulunmaktadır. Biyolojik kazanımı arttırmak ve çevre kirliliğini azaltacak metodolojileri optimize etmek, yeşil ve sürdürülebilir bir tarım ve çevrenin kazanımı için olanak sağlayacaktır.

Teşekkür Bilgi notu

Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında her hangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Al-Wasify, R.S., Ali, M.N., and Hamed, S.R. 2018. Application of different magnetic intensities for the treatment of landfill leachate in Egypt. Cogent Engineering, 5: 1436114.
- Alonso, S., Herrero, M., Rendueles, M., and Díaz, M. 2010. Residual yoghurt whey for lactic acid production. Biomass and Bioenergy, 34: 931-938.

- Anderson, T.M., Bodie, E.A., Goodman, N., and Schwartz, R.D. 1986. Inhibitory effect of autoclaving whey-based medium on propionic acid production by *Propionibacterium shermanii*. Applied and Environmental Microbiology, 51: 427-428.
- Aouidi, F., Khelifi, E., Asses, N., Ayed, L., and Hamdi, M. 2010. Use of cheese whey to enhance *Geotrichum candidum* biomass production in olive mill wastewater. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 37: 877-882.
- Avci, H.R., and Ozcan, T. 2020. The characterisation of dairy industry waste buttermilk from different butter processing procedures. Fresenius Environmental Bulletin, 29: 5472-5478.
- Bhatia, S.K., Joob, H., and Yanga, Y. 2018. Biowaste-to-bioenergy using biological methods-A mini-review. Energy Conversion and Management, 177: 640-660.
- Bila, D.M., Vendramel, S.M.R., and Sant'Anna, G.L., J. 2016. Traitement enzymatique et digestion anaérobie d'une mousse de flottation. Chambéry, France: Annales 5èmes Journées de la Methanisation (édition électronique).
- Britz, T.J., van Schalkwyk, C., and Hung, Y.T. 2006. Treatment of dairy processing waste waters. Waste Treatment in the Food Processing Industry, 1-28p.
- Carrere, H., Rafrafi, Y., Battimelli, A., Torrijos, M., Delgenes, J.P., and Motte, C. 2012. Improving methane production during the codigestion of waste-activated sludge and fatty wastewater: Impact of thermo-alkaline pretreatment on batch and semi-continuous processes. Chemical Engineering Journal, 210: 404-409.
- Carvalho, F., Prazeres, A.R., and Rivas, J. 2013. Cheese whey waste water: Characterization and treatment. Science of the Total Environment, 445-446: 385-396.
- Chandra, R., Castillo-Zacarias, C., Delgado, P., and Parra-Saldívar, R. 2018. A biorefinery approach for dairy wastewater treatment and product recovery towards establishing a biorefinery complexity index. Journal of Cleaner Production, 183: 1184-1196.
- Chatzipaschali, A.A., and Stamatis A.G. 2012. Biotechnological utilization with a focus on anaerobic treatment of cheese whey: current status and prospects. Energies, 5: 3492-3525.
- Chen, G.Q., Talebi, S., Gras, S.L., Weeks, M., and Kentish, S.E. 2018. A review of salty waste stream management in the Australian dairy industry. Journal of Environmental Management, 224: 406-413.
- Chen, Q., Xiao, Y., Zhang, W., Zhang, T., Jiang, B., Stressler, T., Fischer, L., and Mu, W. 2018. Current research on cellobiose 2-epimerase: Enzymatic properties, mechanistic insights, and potential applications in the dairy industry. Trends in Food Science and Technology, 82: 167-176.
- Chokshi, K., Pancha, I., Ghosh, A., and Mishra, S. 2016. Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry wastewater: An integrated approach towards sustainable biofuel production. Bioresource Technology, 221: 455-460.

- Corrons, M.A., Bertucci, J.I., Liggieri, C.S., López, L.M.I., and Bruno, M.A. 2012. Milk clotting activity and production of bioactive peptides from whey using *Maclura pomifera* proteases. *LWT-Food Science and Technology*, 47: 103-109.
- Dabrowski, W., Żyłka, R., and Malinowski, P. 2017. Evaluation of energy consumption during aerobic sewage sludge treatment in dairy wastewater treatment plant. *Environmental Research*, 153: 135-139.
- Damasceno, F.R.C., Cammarota, M.C., and Freire, D.M.G. 2008. Impact of the addition of an enzyme pool on an activated sludge system treating dairy wastewater under fat shock loads. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 83: 730-738.
- Daneshvar, E., Zarrinmehr, M.J., Koutra, E., Kornaros, M., Farhadian, O., and Bhatnagar, A. 2018. Sequential cultivation of microalgae in raw and recycled dairy wastewater: Microalgal growth, wastewater treatment and biochemical composition. *Bioresource Technology*, 273: 556-564.
- Darouneh, E., Alavi, A., Vosoughi, M., Arjm, M., Seifkordi, A., and Rajabi, R. 2009. Citric acid production: Surface culture versus submerged culture. *African Journal of Microbiology Research*, 3: 541-545.
- Daverey, A., Pakshirajan, K., and Sangeetha, P. 2009. Sophorolipids production by *Candida bombicola* using synthetic dairy wastewater. *International Journal of Environmental Sciences and Engineering*, 1: 173-175.
- De Jesus, C.S.A., Ruth, V.G.E., Daniel, S.F.R., and Sharma, A. 2015. Biotechnological alternatives for the utilization of dairy industry waste products. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6: 223-235.
- Ding, J., Zhao, F., Cao, Y., Xing, L., Liu, W., Mei, S., and Li, S. 2015. Cultivation of microalgae in dairy farm wastewater without sterilization. *International Journal of Phytoremediation*, 17: 222-227.
- Dong, T., Knoshaug, E.P., Davis, R., Laurens, L.M.L., Van Wycken, S., Pienkos, P.T., and Nagle, N. 2016. Combined algal processing: A novel integrated biorefinery process to produce algal biofuels and bioproducts. *Algal Research*, 19: 316-323.
- El-Holi, M.A., and Al-Delaimy, S. 2003. Citric acid production from whey with sugars and additives by *Aspergillus niger*. *African Journal of Biotechnology*, 2: 356-359.
- Ergüder, T.H., Tezel, U., Güven, E., and Demirel, G.N. 2001. Anaerobic biotransformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors. *Waste Management*, 21: 643-650.
- Faria, A., Gonçalves, L., Peixoto, J.M., Peixoto, L., Brito, A.G., and Martins, G. 2017. Resources recovery in the dairy industry: Bioelectricity production using a continuous microbial fuel cell. *Journal of Cleaner Production*, 140: 971-976.
- Foda, M.I., Dong, H., and Li, Y. 2010. Study the suitability of cheese whey for bio-butanol production by *Clostridia*. *Journal of American Science*, 6: 39-46.
- Ganju, S., and Gogate, P.R. 2017. A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. *Journal of Food Engineering*, 215: 84-96.

- Goli, A., Shamiri, A., Khosroyar, S., Talaiekhosani, A., Sanaye, R., and Azizi, K. 2019. A review on different aerobic and anaerobic treatment methods in dairy industry wastewater. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 6: 113-141.
- Gomaa, E.Z. 2013. Antimicrobial activity of a biosurfactant produced by *Bacillus licheniformis* strain M104 grown on whey. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56: 259-268.
- Gil-Pulido, B., Tarpeyc, E., Almeida, E.L., Finnegan, W., Zhanc, X., Dobson, A.D.W., et al. 2018. Evaluation of dairy processing wastewater biotreatment in an IASBR system: Aeration rate impacts on performance and microbial ecology. *Biotechnology Reports*, 19: e00263.
- Hamawand, I., Sandell, G., Pittaway, P., Chakrabarty, S., Yusaf, T., Chen, G., Seneweera, S., Al-Lwayzy, S., Bennett, J., and Hopf, J. 2016. Bioenergy from cotton industry wastes: A review and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66: 435-448.
- Jaganmai, G., and Jinka, R. 2017. Production of lipases from dairy industry wastes and its applications. *International Journal of Current Microbiological and Applied Sciences*, 5, 67-73.
- Justina, M.D., Muniz, B.R.B., Bröring, M.M., Costa, V.J., and Skoronski, E. 2018. Using vegetable tannin and polyaluminium chloride as coagulants for dairy wastewater treatment: A comparative study. *Journal of Water Process Engineering*, 25: 173-181.
- Karthikeyan, V., Venkatesh, K.R., and Arutchelvan, V. 2015. A correlation study on physico-chemical characteristics of dairy wastewater. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 7: 89.
- Kasmi, M. 2016. Biological processes as promoting way for both treatment and valorization of dairy industry effluents. *Waste and Biomass Valorization*, 9: 1-15.
- Key Note, 2015. Ice Creams and Frozen Desserts. *Reichmond Upon Thames: Key Note*.
- Koller, M., Bona, R., Chiellini, E., Fernandes, E.G., Horvat, P., Kutschera, C., Hesse, P., and Braunegg, G. 2008. Polyhydroxyalkanoate production from whey by *Pseudomonas hydrogenovora*. *Bioresource Technology*, 99: 4854-4863.
- Konstantas, A., Stamford, L., and Azapagic, A. 2019. Environmental impacts of ice cream. *Journal of Cleaner Production*, 209: 259-272.
- Kothari, R., Pathak, V.V., Kumar, V., Singh, D.P., and Chee, M. 2012. Experimental study for growth potential of unicellular algal *Chlorella pyrenoidosa* on dairy waste water: An integrated approach for treatment and biofuel production. *Bioresource Technology*, 116: 466-470.
- Kushwaha, J.P., Srivastava, V.C., and 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.
- Lu, W., Wang, Z., Wang, X., and Yuan, Z. 2015. Cultivation of *Chlorella* sp. using raw dairy waste water for nutrient removal and biodiesel production: Characteristics comparison of indoor bench-scale and outdoor pilot-scale cultures. *Bioresource Technology*, 192: 382-388.

- Mohan, S.V., Mohanakrishna, G., Velvizhi, G., Babu, V.L., and Sarma, P. N. 2010. Biocatalyzed electrochemical treatment of real field dairy wastewater with simultaneous power generation. *Biochemical Engineering Journal*, 51: 32-39.
- Marangoni, C., Furigo, A., Jr., and de Aragão, G.M. 2002. Production of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) by *Ralstonia eutropha* in whey and inverted sugar with propionic acid feeding. *Process Biochemistry*, 38: 137-141.
- Meng, Y., Li, S., Yuan, H., Zou, D., Liu, Y., Zhu, B., and Li, X. 2015. Effect of lipase addition on hydrolysis and biomethane production of Chinese food waste. *Bioresource Technology*, 179: 452-459.
- Meng, Y., Luan, F., Yuan, H., Chen, X., and Li, X. 2017. Enhancing anaerobic digestion performance of crude lipid in food waste by enzymatic pretreatment. *Bioresource Technology*, 224: 48-55.
- Mesomo, M., Silva, M.F., Boni, G., Padilha, F.F., Mazutti, M., Mossi, A., de Oliveria, D., Cansian, R.L., Luccio, M.D., and Treichel, H. 2009. Xanthan gum produced by *Xanthomonas campestris* from cheese whey: Production optimisation and rheological characterisation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89: 2440-2445.
- Minakshi, D., and Shilpa, V. 2012. Comparative analysis of bioethanol production from whey by different strains of immobilized thermotolerant yeast. *International Journal Scientific Research Public*, 2: 1-5.
- Neves, L., Pereira, M.A., Mota, M., and Alves, M.M. 2009. Detection and quantification of long chain fatty acids in liquid and solid samples and its relevance to understand anaerobic digestion of lipids. *Bioresource Technology*, 100: 91-96.
- Ozcan, T., and Demiray-Teymuroglu, M. 2020. *Bioactive components* of milk fat globule membrane and technological applications. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 8: 10-28.
- Özdemir, T, and Özcan, T. 2019. Süt ürünlerinin mikro yapısının oluşumunda süt proteinlerinin önemi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33: 355-374.
- Ozmihci, S., and Kargi, F. 2007. Kinetics of batch ethanol fermentation of cheese-whey powder (CWP) solution as function of substrate and yeast concentrations. *Bioresource Technology*, 98: 2978-2984.
- Pakalapati, H., Chang, C., Show, P.L., Arumugasamy, S.K., and Lan, Chi-Wei 2018. Development of polyhydroxyalkanoates production from waste feedstocks and applications. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 126: 282-292.
- Pandian, S.R., Deepak, V., Kalishwaralal, K., Rameshkumar, N., Jeyaraj, M., and Gurunathan, S. 2010. Optimization and fed-batch production of PHB utilizing dairy waste and sea water as nutrient sources by *Bacillus megaterium* SRKP-3. *Bioresource Technology*, 101: 705-711.
- Panesar, P.S., Kumari, S., and Panesar, R. 2013. Biotechnological approaches for the production of prebiotics and their potential applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, 33: 345-364.

- Parrondo, J., Garcia, L.A., and Diaz, M. 2000. Production of an alcoholic beverage by fermentation of whey permeate with *Kluyveromyces fragilis* I: Primary metabolism. *Journal of the Institute of Brewing*, 106: 367-375.
- Passero, M.L., Cragin, B., Hall, A.R., Staley, N., Coats, E.R., McDonald, A.G., et al. 2014. Ultraviolet radiation pre-treatment modifies dairy wastewater, improving its utility as a medium for algal cultivation. *Algal Research*, 6: 98-110.
- Porwal, H.J., Mane, A.V., and Velhal, S.G. 2015. Biodegradation of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge. *Water Resources and Industry*, 9: 1-15.
- Prazeres, A.R., Carvalho, F., and Rivas, J. 2012. Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management*, 110: 48-68.
- Priyanka, B.S., and Rastogi, N.K. 2018. Downstream processing of lactoperoxidase from milk whey by involving liquid emulsion membrane. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 48: 270-278.
- Ricciardi, A., Parente, E., Crudele, M.A., Zanetti, F., Scolari, G., and Mannazzu, I. 2002. Exopolysaccharide production by *Streptococcus thermophilus* SY: Production and preliminary characterization of the polymer. *Journal of Applied Microbiology*, 92: 297-306.
- Rosa, D.R., Duarte, I.C.S., Saavedra, N.K., Varesche, M.B., Zaiat, M., Cammarota, M.C., and Freire, D.M. 2009. Performance and molecular evaluation of an anaerobic system with suspended biomass for treating wastewater with high fat content after enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*, 100: 6170-6176.
- Rugele, K., Mezule, L., Dalecka, B., Larsson, S., Vangs, J., and Rubulis, J. 2013. Application of fluorescent in situ hybridisation for monitoring methanogenic archaea in acidwhey anaerobic digestion. *Agronomy Research*, 11, 373-380.
- Santos, M., Rodrigues, A., and Teixeira, J.A. 2005. Production of dextran and fructose from carob pod extract and cheese whey by *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B512 (f). *Biochemical Engineering Journal*, 25: 1-6.
- Sarkar, B., Chakrabarti, P.P., Vijaykumar, A., and Kale, V. 2006. Wastewater treatment in dairy industries-possibility of reuse. *Desalination*, 195, 141-152.
- Shete, B.S., and Shinkar, N.P. 2013. Dairy industry wastewater sources, characteristics and its effects on environment. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3: 1611-1615.
- Singh, A.K., Singh, G., Gautam, D., and Bedi, M.K. 2013. Optimization of dairy sludge for growth of *Rhizobium* cells. *BioMed research international*, 845264.
- Slavov, K.A. 2017. General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater-A review. *Food Technology and Biotechnology*, 55: 14-28.
- Spalvins, K., Zihare, L., and Blumberga, D. 2018. Single cell protein production from waste biomass: Comparison of various industrial by-products. *Energy Procedia*, 147: 409-418.
- Stefanakis, A., Akrotas, C.S., and Tsihrintzis, V.A. 2014. *Vertical flow constructed wetlands: Eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 392 pp.

- Verma, A., and Singh, A. 2017. Physico-chemical analysis of dairy industrial effluent. *International Journal of Current Microbiological and Applied Sciences*, 6: 1769-1775.
- Vidal, G., Carvalho, A., Méndez, R., and Lema, J.M. 2000. Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*, 74: 231-239.
- Vlyssides, A.G., Tsimas, E.S., Barampouti, E.M.P., and Mai, S.T. 2012. Anaerobic digestion of cheese dairy wastewater following chemical oxidation. *Biosystems Engineering*, 113: 253-258.
- Wan, C., Li, Y., Shahbazi, A., and Xiu, S. 2008. Succinic acid production from cheese whey using *Actinobacillus succinogenes* 130 Z. *Applied Biochemical and Biotechnology*, 145: 111-119.
- Wong, Y.M., Show, P.L., Wu, T.Y., Leong, H.Y., Ibrahim, S., and Juan, J.C. 2018. Production of bio-hydrogen from dairy wastewater using pretreated landfill leachate sludge as an inoculum. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 127: 1-10.

