

Derleme Makale

Peynir Altı Suyunun İşlemesi ve Değerlendirilmesindeki Son Gelişmeler

Nihat Akın ¹  ve Damla Özışık ^{2,*} 

Gönderim: 30.11.2024

Kabul: 20.06.2025

¹ Gıda Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye; nakin@selcuk.edu.tr

² Gıda Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye; damlaozisik29@gmail.com

*Sorumlu yazar

Özet: Süt endüstrisi, dünyanın en büyük su tüketicilerinden biri olarak kabul edilmekte olup, bu endüstriden kaynaklanan atıklar çevreyi ciddi şekilde kirletmektedir. Arıtılmamış atık suyun çevreye salınması durumunda, süt endüstrisinden kaynaklanan organik ve inorganik kirlenimler karasal ve su ekosistemlerini bozabilir, bu da ekosistemin dengelessizliğine yol açabilir. Süt endüstrisinden kaynaklanan atık sular, fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle arıtılabilmektedir. Ancak, işletme maliyetlerinin düşürülmesi, verimliliğin artırılması, atık suyun geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması ile çevresel bozulmanın azaltılması için arıtma yöntemlerinde daha fazla ilerleme sağlanması gerekmektedir. Peynir altı suyunun atık olarak su sistemlerine salınması çeşitli çevresel riskler taşır. Ancak, bu atığı değerli ve son derece besleyici ürünlere dönüştürmek için birçok değerlendirme tekniği bulunmaktadır. Membran filtreleme gibi teknikler uygulanabilir, ancak bunlar her peynir altı suyu tipi için uygun olmayabilir. Değişkenliğe uyum sağlayabilen ve değerli ürünler üretebilen yeni metodolojiler geliştirilmelidir. Bu derleme, peynir altı suyu işleme tekniklerinin kapasitesini, uygulamalarını ve metodolojilerini değerlendirerek, ürün geliştirmede daha fazla yenilik yapabilecek ilgili araştırmaları tartışmaktadır. Peynir altı suyunun atık olarak çevresel etkilerine odaklanmakta ve bu etkileri en aza indirmek için çözüm yollarını araştırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: atık su arıtma; çevresel etki; membran filtreleme; peynir altı suyu; süt endüstrisi

Review Article

Recent Advances in Whey Processing and Valorisation

Abstract: The dairy industry is considered one of the largest water-consuming industries in the world, and waste from the dairy industry seriously pollutes the environment. If wastewater is released into the environment without treatment, these organic and inorganic pollutants from the dairy industry can disrupt terrestrial and aquatic ecosystems, thereby leading to ecosystem imbalance. Wastewater from the dairy industry can be treated by various methods such as physical, chemical and biological. However, further advances in treatment methods have become the need of the hour to reduce operating costs, increase efficiency, recycle and reuse wastewater, and reduce degradation of environmental resources. Whey has several environmental risks if disposed of as waste in watercourses. However, there are numerous valorisation techniques to convert it into valuable and highly nutritious products. Techniques such as membrane filtration may be utilised, but these are not applicable to all categories of whey. Novel methodologies that are agile enough to deal with whey variability can produce valorised products. This

review assesses the capability of whey processing techniques, applications and methodologies, discussing pertinent research that can innovate product development further. It focuses on environmental impacts of whey as a waste and ways of minimising it.

Keywords: wastewater treatment; environmental impact; membrane filtration; whey; dairy industry

1. Giriş

Küresel süt ürünleri sektörü, örneğin Avrupa Birliği'nde uygulanmaya başlanan yeni bölgesel süt ürünleri politikası ve Dünya Ticaret Örgütü'ndeki devam eden müzakerelerin sonuçlarına bağlı olarak sürekli değişim içerisinde. Süt ürünleri pazarındaki dalgalanmalar ve fiyat hareketlilikleri, gelecekteki süt ürünleri endüstrisi için sürekli bir zorluk teşkil etmektedir [1].

Peynir ve kazein bazlı süt ürünlerinin üretimi sırasında oluşan yan ürün olan peynir altı suyu, besin açısından zengindir ve çeşitli ticari kullanımlara sahiptir. Ancak peynir altı suyu, yüksek organik yükü nedeniyle doğa için kirletici özellik taşımaktadır [2]. Farklı süt endüstrilerinde oluşan atıklar, ileri teknolojilerin yardımıyla farklı katma değerli ürünlerde değerlendirilebilmektedir.

Peynir üretiminde kullanılan sütün (üretilen peynirin türüne bağlı olarak) yaklaşık %80-90'ı peynir altı suyu olarak ayrılır. Her yıl küresel olarak tahmini 180-190 milyon ton atık peynir altı suyu üretilmektedir ve bu peynir altı suyunun 100 milyon tonu peynir suyudur [3,4]. Bu rakam ilk olarak 2018'de rapor edilmiştir. Yıllık %1-2'lik bir artış oranına dayanarak, bu miktarın bu yıl 187-206 milyon ton civarında olduğu ve öngörülen büyümenin devam etmesi durumunda 2030 yılında 203-241 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu toplam miktarın 40 milyon tonu yalnızca Avrupa Birliği (AB) içinde üretilmekte olup, bu yıllık peynir altı suyu fazlasının 13 milyon tonuna eşdeğerdir [5]. Üretilen yüksek hacimli atık peynir altı suyu çevresel riskler taşımakta ve bu nedenle atık suyun arıtılması gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

Süzme yoğurt gibi pıhtılaşmış fermente süt ürünlerine yönelik tüketici talebinin son yıllarda üç katına çıkması nedeniyle atık yoğurt serumu üretim hacimleri artmıştır. Sonuç olarak, üretilen yoğurt suyu hacminin yıllık %1-2 arttığı tahmin edilmektedir [6, 7].

Daha önce, atık peynir altı suyunun arazi uygulamaları yoluyla, ön arıtmaya tabi tutulmadan doğrudan atık sulara deşarj edildiği, tanklarda depolandığı veya kanalizasyona deşarj edildiği belirtilmiştir [8, 9]. Alternatif bertaraf yöntemleri arasında, mevcut besin içeriği nedeniyle peynir altı suyunun gübre olarak kullanılması da yer almaktadır. Ancak, bu yöntemler yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) nedeniyle çevresel riskler taşımakta olup su kütlelerinde kirliliğe ve sucul organizmaların ölü-müne yol açma potansiyeline sahiptir. Atık düzenlemeleri bu bertaraf yöntemlerini kısıtlamış ve bunun sonucunda artan atık su arıtma maliyetleri, peynir altı suyu ürünleri pazarının gelişimini teşvik etmiştir. Süt endüstrisinin çevresel etkisine ilişkin tüketici farkındalığının artması, endüstrinin peynir altı suyu atıklarının bertaraf edilmeden önce daha verimli şekilde işlenmesini gündeme getirmiş ve bu amaca yönelik yenilikçi teknikleri teşvik etmiştir [12,13].

Peynir altı suyunun atık arıtma tesisleri aracılığıyla bertaraf edilmesi, süt ürünleri üreten işletmeler için maliyetli bir süreç olabilir ve düşük kâr marjlı, yüksek hacimli bir sektörde işletmenin başarı ile başarısızlık arasındaki farkı belirleyebilir. Asidik peynir altı suyunun (APAS) işlenmesi ve bertarafı, tatlı peynir altı suyuna (TPAS) kıyasla bileşim farklılıkları nedeniyle genellikle daha sorunludur. Genel olarak, APAS'ın pH, protein ve laktoz içeriği daha düşük, ancak kalsiyum, fosfor ve laktik asit içeriği daha yüksektir [14]. Bu durum, APAS bileşenlerinin konsantrasyon sırasında farklı davranışlarına neden olmakta ve akışın işlenmesini zorlaştırmaktadır [15]. Bu nedenle, güçlü kirleticilerin işlenmesi, değerlendirilmesi ve azaltılması için alternatif teknikler geliştirilmiştir [13].

Ek olarak, Peynir altı suyu, Lor peyniri ve Ricotta gibi asit-ısı kaynaklı pıhtılaşma düzenine sahip bazı peynir çeşitlerinin üretilmesinde kullanılır. Ancak, bu işlem 100 kg peynir altı suyu ve 5 kg süt içeren 105 kg'lık bir formülasyondan yaklaşık 5 kg lor/ricotta elde edilen katma değeri düşük bir işlemdir [16]. Bu nedenle, ilave atık su arıtma işlemleri çok önemlidir. Peynir yapımında ortalama olarak, süt hacminin %85-95'i, sütteki besin maddelerinin yaklaşık %55'ini içeren peynir altı suyu olarak açığa çıkar [17].

Bu derlemenin amacı, peynir altı suyunun atık olarak çevresel etkilerini ve peynir altı suyu arıtım ve işleme tekniklerindeki son gelişmeler ve sınırlamaları irdelemektir. Ayrıca, bu derleme, süt endüstrisinin sürdürülebilirlik yaklaşımlarıyla yenilikçi ürünler geliştirmesi için temel oluşturabilecek potansiyel peynir altı suyu ürünleri ve değerlendirme stratejilerini ve bunların gelecekteki eğilimlerini vurgulamayı hedeflemektedir. Süt ürünleri sektöründeki mevcut çevre ve sosyal yönetim (ESG) girişimleri, tam yağlı süt üretimi ve işlenmesiyle ilişkili sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılmasına odaklanmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve süt ürünleri tedarik zincirinin karbondan arındırılması, atıkların doğrudan azaltılması ve bu hedefe ulaşmak için peynir altı suyu gibi yan ürünlerin değerlendirilmesi yoluyla teşvik edilebilir.

2. Peynir Altı Suyu Atık Yönetimi

2.1. Peynir Altı Suyu Kategorileri (Uygulamalar ve Zorluklar)

Süt pıhtılaşma modeline göre peynir altı suyu, farklı besin bileşimi ve üretim araçlarıyla tatlı peynir altı suyu 'TPAS' ve Asidik peynir altı suyu 'APAS' olarak sınıflandırılır (Tablo 1). [18-21].

Asitle pıhtılaştırılmış ürünlere olan talep son yıllarda üç katına çıkmış ve 1.6 milyar litreden fazla APAS üretildiği belirtilmektedir [3]. Asidik peynir altı suyunun kuruma zorluklarını azaltmak için asitliği nötralize etmek amacıyla magnezyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit eklenebilir, böylece topak oluşumu önlenir. Kurumaya yardımcı olmak için sodyum silikat veya magnezyum silikat gibi serbest akışlı maddeler eklenebilir [22].

Tablo 1. *Peynir altı suyu çeşitleri, bileşimleri ve üretimleri*

Tip	Protein (g/l)	Laktoz (g/l)	Mineraller (g/l)	pH	Üretim
Tatlı peynir altı suyu (TPAS)	6-10	46-52	2.5-4.7	5.6-7	Peynir üretimi sırasında peynir mayasıyla pıhtılaşma sonucunda üretilir. Ayrıca peynir altı suyu olarak da anılır.
Asidik peynir altı suyu (APAS)	6-8	44-46	4.3-7.2	4.3 < 5.6	Laktozun laktik aside fermentasyonu yoluyla pıhtılaşma gerçekleşir; bu süreç süzme yoğurt üretiminde olduğu gibi veya asit kazein üretimi sırasında asit ilavesi yoluyla gerçekleşir. Asit kaynaklı pıhtılaşma, sütteki minerallerin dengesindeki değişiklikler nedeniyle kalsiyum seviyelerini büyük ölçüde artırır. Düşük pH, kazein misellerindeki kalsiyum fosfatın çözülmüş kalsiyum ve fosfata dönüşmesine neden olur, böylece asit peynir altı suyunda (APAS) tatlı peynir altı suyuna (TPAS) kıyasla artan mineral içeriğine yol açar.

2.1.1. Çevresel Etki (Enerji Talebi ve Karbon Ayak İzi)

Dünya genelinde peynir tüketiminin son 5 yılda yaklaşık %5 oranında arttığı bildirilmiştir [23] ve en popüler tür Cheddar peyniri olarak sınıflandırılmaktadır. Peynir üretimi, unlu mamuller endüstrisinden sonra (yılda 318 kt petrol eşdeğeri) Birleşik Krallık'taki ikinci en büyük enerji tüketicisidir (yılda 317 kt petrol eşdeğeri) (Birleşik Krallık Ulusal İstatistikleri 2020). Tatlı peynir altı suyu (TPAS) ve Asidik peynir altı suyu (APAS) ile ilgili uygulamalar ve zorluklar Tablo 2'de gösterilmektedir [3, 13, 21, 22, 24-29].

Tablo 2. Tatlı ve asidik peynir altı suyunun uygulamaları ve zorlukları

Kategori	Uygulamalar	Zorluklar	Referanslar
Tatlı Peynir Altı Suyu (TPAS)	• Süt bazlı içeceklerin hammaddesi; kefir gibi. • Peynir altı suyu proteini konsantresi • Peynir altı suyu proteini izolatu • İşlenmiş peynir türlerinin üretiminde kullanılan içerik maddesi.	• Peynir üretiminden kaynaklanan, lezzet katabilecek veya beslenme sorunlarına yol açabilecek artık bileşikler içerebilir. Gliko-makropeptid (GMP), peynir yapımından önce mikrofiltrasyon kullanılarak peynir altı suyunun ayrılmasıyla uzaklaştırılan bir örnektir. • Bebek mamasının amino asit profili üzerindeki etkisi nedeniyle GMP uzaklaştırılır; ancak bunun çıkarılması, peynir altı suyunun protein içeriğini yaklaşık %20 oranında önemli ölçüde azaltır.	[21], [24-26], [28], [29]

Asidik peynir altı suyu (APAS)	• Genellikle hayvan yemi olarak kullanılır. • APAS'ın değerlendirilmesine, peynir altı suyundaki biyolojik oksijen ihtiyacını %75 oranında azaltan laktoz fermentasyonu yoluyla alkollü içkiler üretilmesi örnek verilebilir. • APAS, yenilenemeyen enerjinin potansiyel alternatifi olarak elektrik üretmek amacıyla biyogaz için bir substrat olarak kullanılabilir. • APAS'ye atfedilen düşük pH ($\text{pH} \leq 5.2$'de), kalsiyum fosfatın çoğunluğu, APAS ve APAS'den türetilmiş ürünlerin daha fazla stabilitesini sağlayabilen, çözünür bir kalsiyum tuzu halinde çözünebilir.	• Laktoz davranışını etkileyen bileşim farklılıkları nedeniyle membran filtrasyonu yoluyla değerlendirilemez; özellikle kristallizasyon. • APAS'nin yüksek mineral içeriği, TPAS kullanımına kıyasla işlemenin karmaşıklığı nedeniyle onu peynir altı suyu proteini üretimi için elverişsiz hale getirir. • APAS, peynir altı suyu proteinlerinin izoelektrik noktasına daha yakın bir pH'a sahiptir, dolayısıyla protein kirlenmesinin artmasına neden olur ve süt minerallerinin membran- dan geri kazanılması için onu uygunsuz hale getirir. • İçerdiği laktik asidin termoplastik ve higroskopik yapısı, özellikle %2'nin üzerinde laktik asit mevcut olduğunda APAS'nin kurumasını zorlaştırır.	[3], [13], [22], [24-29]
--------------------------------	---	--	--------------------------

Çeşitli yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) çalışmaları, süt üretimini ana sıcak nokta olarak tanımlamıştır [30-33]. Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir litre tam yağlı süt gibi bir sistemdeki işlevsel bir birimin çevresel etki profilini sağlar. ISO 14040 standardında tanımlanan beşikten mezara yaklaşımıyla uyumludur. Bu değerlendirme, ürün ve süreçler için sera gazı emisyonlarının karbon ayak izini ve küresel ısınma potansiyelini (KIP) belirlemek için kullanılır.

Atık peynir altı suyunun yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), uygun şekilde bertaraf edilmediğinde çevresel kirliliğe yol açabilir. Bu durum, Tablo 3'te özetlenmiştir. Ancak, literatürde bildirilen bu değerler önemli ölçüde farklılık gösterebilir [5, 34-38].

Tablo 3. *Peynir ve asidik peynir altı suyunun kimyasal ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı*

Malzeme	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) (g/L)	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (g/L)
Peynir altı suyu	30-50	60-80
Asidik peynir altı suyu (APAS)	52-62	35-51
Tatlı peynir altı suyu (TPAS)	40-102	27-60

1 kg süt yağı, laktoz ve proteinin KOİ değerleri sırasıyla 3 kg, 1.13 kg ve 1 kg'dır [39]. Ancak peynir altı suyu, su (%93.0-94.0), laktoz (%4.5-6.0), proteinler (%0.6-1.1), mineraller (%0.8-1.0), laktik asit (%0.05-0.9) ve yağlardan (%0.06-0.5) oluşur [8]. Dolayısıyla, peynir altı suyunun toplam kuru madde-lerinin %70-75'ini oluşturan laktoz, tatlı peynir altı suyunun (TPAS) KOİ ve BOİ değerlerinin yaklaşık %90'ından sorumludur. Karşılaştırıldığında, asidik peynir altı suyunda (APAS) tatlı peynir altı suyuna göre daha düşük laktoz konsantrasyonları (44-46 g/L karşısında 46-52 g/L) bulunmaktadır, bu da genellikle literatürde bildirilen daha düşük KOİ ve BOİ değerlerine işaret edebilir [40, 41].

Peynir altı suyu, Lor veya Ricotta gibi ikincil ürünlere dönüştürülebilse de, bu süreç ikincil bir peynir altı suyu biyoatığı üretir; bu atık ürünlerin bertarafı, önemli çevresel zararlar nedeniyle AB ve ulusal mevzuatlar tarafından geleneksel yöntemlerle yasaklanmıştır. Ayrıca, atık peynir altı suyunun hayvan yemi olarak kullanılması, yüksek laktoz içeriğinin hayvan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri ve özellikle çiftliklerin işleme tesislerine uzak olması durumunda, peynir altı suyunun olası asitlenmesi nedeniyle artık nadiren tavsiye edilmektedir [42]. Yeni Atık Yönetimi Yönetmeliği, atık bertarafını en aza indirmeyi amaçlamaktadır, bu da peynir altı suyu atıklarının daha verimli bir şekilde işlenmesini gündeme getirmiş ve bu amaca yönelik yenilikçi teknikleri teşvik etmiştir.

Gıda ürünlerinin yaşam döngüsü ve küresel ısınma potansiyeli (GWP) hakkında detaylı bilgiler, çeşitli uluslararası raporlar ve kaynaklar ışığında ele alınmıştır. YDD'nin gelişimini destekleyen yaşam döngüsü envanterlerinde rapor edilen sera gazı emisyon verileri, çeşitli meta-analizler tarafından incelenmiş ve ürünlerin karbon ayak izi raporlamasında kullanılan Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) çıktılarına dönüştürülmüştür [43]. Özellikle süt ürünleri kategorilerinin enerji yoğun olduğu ve bu durumun ısı süreçlerinde daha fazla enerji verimliliği arayışını önemli kıldığı vurgulanmıştır [44]. Peynir altı suyu tozu üretimi, diğer süt ürünleri gibi süt tozu üretiminden daha yüksek bir GWP'ye sahiptir. Hem peynir altı suyu hem de süt tozlarının kurutulması gerektiği için enerji tüketimi artmaktadır; bazı araştırmacılar peynir altı suyu elde etmek için peynir işleme sırasında tüketilen enerjiyi de hesaba katmaktadır [45]. Farklı süt ürünlerinin tipik enerji tüketimi ve GWP değerleri Tablo 4'te özetlenmiştir [11, 46]. Örneğin, peynir altı suyu tozu üretimi, sıvı süt işlemeye göre daha fazla elektrik tüketir (8.69 kWh/kg ürün), ancak aynı miktarda su kullanımına sahiptir (2.9 L/kg). Sıvı süt ise daha az elektrik tüketir (0.32 kWh/kg) ancak aynı su miktarını gerektirir (2.9 L/kg). Süt tozu üretimi ise enerji yoğunluğu ve su kullanımı açısından benzer şekilde yüksektir (6.51 kWh/kg ve 19.3 L/kg) [46].

Tablo 4. Literatürde süt ürünlerinin işlemci kapısındaki toplam küresel ısınma potansiyeli

Günlük Ürünler	Küresel Isınma Potansiyeli (Kg CO ₂ eşdeğeri/kg)
Kaşar peyniri	14.02
Tam yağlı süt	1.589
Tereyağı	9.680-39.16
Süt tozu	12.353
Kurutulmuş peynir altı suyu (hayvan yemi)	12.100
Yoğurt	1.42-3.35
Peynir (ortalama)	6.7-9.47
Krema	3.5-4.5
Peynir altı suyu tozu	13.108

Peynir altı suyunun işlenmesinde değerlendirme işlemleri, ısıtma işlemi ve pastörizasyon verimliliğini artırma fırsatları sunar. Brooks ve ark. (2021) tarafından rapor edildiği üzere, yeni bir buhar infüzyon yöntemiyle işlem süresinin en az yarı yarıya azaltılması, yerinde bakım ve temizlik için aksama süresinin azaltılması ve enerji tüketiminin azaltılması gibi iyileştirmeler yapılmaktadır [47]. Bu yaklaşımlar, peynir altı suyu işleminin küresel ısınma potansiyelini (GWP) azaltmaya ve süt işleme tesisleri için net karbon sıfır sonuçlarına ulaşmaya yönelik belirlenmiş yolları göstermektedir [48].

3. Çevresel Etki Değerlendirmesi

3.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve Sıcak Nokta Analizi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), bir ürünün üretimden tüketime ve imhaya kadar tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkisini ölçen standartlaştırılmış bir metodolojidir [49]. Bu metodoloji, ötrofikasyon potansiyeli ve ozon tahribatı gibi çeşitli etki sonuçlarını belirleyip sağlar ve aynı zamanda bir ürünün üretimden tüketime kadar olan küresel ısınma potansiyelini (GWP) de tanımlar [50, 51]. Peynir üretimi ve depolaması için enerji tüketimi yaklaşık olarak 0,91 kWh/kg peynir olarak rapor edilmiştir [52]. İşlemenin elektrik gereksinimi olsa da, atık peynir altı suyu elektriğe dönüştürülerek genel çevresel etki azaltılabilir. Örneğin, asidik peynir altı suyu (APAS), biyogaz üretimi için bir substrat olarak kullanılarak yenilenemeyen enerjinin potansiyel bir alternatifi olan elektrik üretimine katkıda bulunabilir. APAS ve tatlı peynir altı suyu (TPAS), fosil yakıtların yerine geçebilir ve bir süt işletmesinin enerji ihtiyacının önemli bir kısmını anaerobik sindirim yoluyla karşılayabilir. Süt endüstrisindeki karbon ayak izinin büyük bir kısmının (%78-85) çiftlik düzeyinde meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu durum, özellikle hayvanların enterik fermantasyonundan kaynaklanan metan emisyonları ve gübre yönetimi ile gübre kullanımından kaynaklanan nitrojen oksit emisyonlarıyla ilişkilidir. Karşılaştırmalı olarak, çiftlik sonrası işleme faaliyetleri (örneğin paketleme, taşıma ve fosil yakıt yakma), bir süt ürünleri işlemecisinin değer zinciri boyunca toplam emisyonların küçük bir kısmını oluşturur (%8, %4 ve %3) [52]. YDD metodolojisi, hayvancılık sistemleri için biyojenik metan emisyonlarının yeniden değerlendirilmesinin önemini göstermiştir [48]. Son değerlendirmeler, özellikle Yeni Zelanda gibi bazı

ülkelerin hayvancılık ve mandıracılık sistemlerinin, kısa bir süre içinde ürettikleri sera gazı emisyonlarını bertaraf edebilecekleri ve bu nedenle net sıfır sera gazı emisyonu sağlayabilecekleri görüşünü ileri sürmektedir.

Süt ürünleri üretiminin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) içindeki önemi, sera gazı (GHG) emisyonlarının verimliliğe, hammaddelerin tam kullanımına ve ürün hacmine tahsis edilmesine dayanan uygulamaları kapsar. Tahsis modelleri, gıda ürünlerinin genellikle tek bir ürün için üretildiğinin nadiren olduğunu vurgular. İnek üretimi örneğinde, süt ve et birincil sonuçlar oluştururken, aynı süreçlerle ilişkili birçok diğer ürün tedarik zinciri de bulunmaktadır. Bu durum, süt ve et sistemlerinin çevresel etkilerini önemli ölçüde azalttığı bildirilen ve YDD yöntemleri kullanılarak yeniden değerlendirilen yeni yaklaşımlarla araştırılmıştır [53]. Bu yaklaşımlar, hammaddelerin optimal kullanımını sağlamayı, üretim süreçlerinin verimliliğini artırmayı ve ürünlerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini minimize etmeyi hedefler. Bu bağlamda yapılan çalışmalar, süt ve et sistemlerinin daha geniş bir bakış açısıyla değerlendirilmesini ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarını desteklemektedir.

Süt endüstrisinin çevresel etkisini değerlendirilmesini zorlaştıran neden olan birkaç faktör bulunmaktadır. Endüstrinin parçalı yapısı, birçok küçük ölçekli üreticinin varlığı, kayıtlı peynir altı suyu geri kazanımı ve atık su veya arazi uygulamaları yoluyla deşarjın olmaması gibi sebepler, veri toplamanın ve doğru bir değerlendirme yapmanın zorluğunu artırmaktadır. Bu durum, süt endüstrisinin genel çevresel etkisinin tam olarak anlaşılmasını engellemektedir. Bazı araştırmalar, atık peynir altı suyunun değerlendirilmesinin bazı peynir türlerinin çevresel etkisini %15'e kadar azaltabileceğini öne sürmektedir [31, 54]. Bu tür değerlendirme süreçleri, süt endüstrisinde çevresel sürdürülebilirliği artırmak için potansiyel sunmaktadır. Ancak, küçük ölçekli üreticiler için bu süreçlere erişim veya uygun fiyatlı çözümler sunma konusunda bazı zorluklar olabilir. Atık peynir altı suyunun ileri işlemler için satılabilir hale getirilmesi, bu süreçlerin finanse edilmesi, gerekli kaynakların sağlanması ve altyapının oluşturulması gibi önemli adımları gerektirebilir. Sonuç olarak, süt endüstrisinin çevresel etkilerini daha iyi anlamak ve azaltmak için hem büyük ölçekli üreticilerin hem de küçük ölçekli üreticilerin katılımını teşvik edecek, erişilebilir ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesi önemlidir.

3.1.1. Karbon Ayak İzi Değerlendirmesi

Şirketlerin, kullandıkları doğrudan enerjinin yanı sıra tedarik zincirleriyle ilişkili sera gazı emisyonlarını da değerlendirmeleri gerektiğinden, dünya çapındaki işletmelerin küresel ısınmaya katkısı için değerlendirme araçlarına ve hafifletme seçeneklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok şirket, kurumsal karbon ayak izini, enerji kullanımı ve ulaşım ile ilişkili toplam emisyonlara göre hesaplamaktadır [52].

Flysjö ve ark. (2014), çeşitli süt ürünleri için çiftlikten müşteriye karbon ayak izini hesaplamak için bir model önermiştir [52]. Bu model, süt ürünlerinin karbon ayak izinin çoğunlukla çiftlik düzeyinde oluştuğunu dikkate alarak, çiğ süt üretiminin farklı ürünler arasında nasıl dağıtılacağını belirlemeyi amaçlamaktadır. Özellikle, çiğ sütün karbon ayak izi, ağırlıklı olarak yağ ve protein içeriğine (1:1.4 oranında) göre tahsis edilmektedir. Arla Foods'un verilerine göre, süt ürünleri için kg başına karbondioksit eşdeğerleri şu şekildedir: taze süt ürünü için 1.1 kg, tereyağı için 8.1 kg, tereyağı karışımı için 6.5 kg, peynir için 7.4 kg, süt tozu için 1.2 kg [52]. Ancak, bu modelin kritik bir yönü, peynir altı suyu gibi

yan ürünlerin nasıl ele alındığıdır. Sütün laktoz içeriği için ayrıca ödeme yapılmadığından, bu yaklaşım peynir altı suyu üretiminin çevresel etkilerini tam olarak hesaba katmamaktadır. Modelde, süt serumundaki kuru maddenin emisyonları hesaba katılmadığından dolayı, peynir altı suyu içeren ürünlerin görünüşte daha düşük bir çevresel etkiye sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle, modelin, peynir altı suyu ve süt tozu gibi yan ürünlerin üretimi ve çiftlik dışı atıkların çevresel etkilerini doğru bir şekilde yansıtacak şekilde iyileştirilmesi gerekmektedir [46, 52, 55].

Evrensel olarak uygulanabilir bir analiz, atık üretmemenin ve peynir altı suyu gibi yan ürünleri kullanmanın veya değerlendirmenin faydalarını göz önünde bulundurarak ürün kaynak kullanımının gerçekçi bir ölçümünü elde eden bir hesaplama matrisi kullanır. Bu yaklaşıma girdi-çıktı YDD yaklaşımı denir ve süt ve süt ürünlerinin kuru madde içeriğinin yanı sıra bireysel süt ürünleri için ortalama operasyonel verileri belirler. Çiftlikte en büyük etkiye sahip olan peynir altı suyu tozları gibi yüksek konsantrasyonlu ürünlerle, süt ürünlerinin çiftçilik faaliyetlerinden kaynaklanan etkilerle ilişkilendirilmesini sağlar. Ancak böyle bir yaklaşım, benzer düzeyde teknolojiyi paylaşan farklı üretim tesislerine bir şekilde bağlı olabilir [56]. Bu yaklaşım, Uluslararası Sütçülük Federasyonu'nun süt ürünlerinin karbon ayak izini hesaplamaya yönelik yönergeleri tarafından tavsiye edilmektedir; burada farklı girdiler belirli tahsis faktörlerine sahiptir ve çiğ süt, süt kuru maddelerine göre tahsis edilir. Sonuç olarak, daha yüksek kuru maddeleri daha yüksek bir karbon ayak izi sağlar. Ancak farklı süt kuru maddeleri arasında ayırım yapmaz [52]. Dolayısıyla bu yaklaşım, tartışıldığı gibi, farklı süt bileşenlerinin daha yüksek karbon ayak izi değerleriyle ilişkili daha yüksek çevresel etkiyi belirlemede başarısız olabilir [39].

Yöntemler, operasyonların daha geniş etkilerini gerçekleştirmekte başarısız olurken, süt ürünleri üretim zincirinin tamamını dikkate alan diğer YDD yaklaşımları, en büyük sorunları değerlendirerek ve iyileştirmeler sağlamak için adımlar atarak çevresel zararın daha etkili bir şekilde azaltılmasını sağlayabilir. Böyle bir yaklaşımın, üreticilerin sürdürülebilir uygulamalara girişmelerine yardımcı olduğu, böylece çevreye verilen zararı hafiflettiği ve aynı zamanda bu tür çabaların performansını endüstri ortalamalarıyla karşılaştırdığı bildirilmektedir [32].

4. Peynir Altı Suyunun Değerlendirmesi

Peynir altı suyunun ekonomik sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi, atık yönetimi ve geri kazanım açısından önemli rol oynamaktadır. Geleneksel olarak, peynir altı suyu, değerli bileşenlerin geri kazanılabilmesi için filtreleme işlemleriyle işlenir. Bu süreç, içeceklerden, reçellere, konservelelere, soslara, bebek mamalarına, unlu mamullere, et ürünlerine, kozmetiklere, fonksiyonel gıdalara, diyet ve nutrasötik ürünlere kadar geniş bir yelpazede kullanılmadan önce uygulanır. Son yıllarda, peynir altı suyunun tüketim mallarında kullanımı hacim ve ekonomik değeri açısından artmaktadır, bu da atık peynir altı suyu üretiminin artışıyla ilgili umut verici bir gelişmedir [57]. Bu artış, peynir altı suyunun potansiyelini değerlendirme ve farklı endüstrilerde kullanımını genişletme fırsatı sağlamaktadır. Literatürde, peynir altı suyunun değerlendirilmesi için çeşitli teknikler ve yöntemler rapor edilmiştir. Bu yöntemler arasında filtreleme, ayırma işlemleri, sıcaklık işlemleri, membran teknolojileri ve biyoteknolojik süreçler gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu teknikler, peynir altı suyundan faydalı bileşenlerin geri kazanılmasını ve ekonomik olarak değerlendirilmesini sağlar. Peynir altı suyunun değerlendirilmesi

için tek bir nihai çözüm olmamasına rağmen, sürekli olarak gelişen ve yenilikçi değerlendirme teknikleri literatürde yer almaktadır. Bu tekniklerin ilerlemesi, peynir altı suyu gibi süt endüstrisi yan ürünlerinin sürdürülebilir yönetimini ve ekonomik kullanımını desteklemeye yönelik önemli adımlar olarak değerlendirilmektedir.

Peynir altı suyu, zengin bir laktoz ve protein kaynağı olarak doğası nedeniyle atık yönetimi açısından çekici bir alternatif sunmaktadır. Bu özellikleri, atık peynir altı suyunun katma değerli ürünlere veya bileşenlere dönüştürülmesini teşvik ederek atık bertaraf sorunlarının üstesinden gelinmesine yardımcı olur [25, 35]. Geleneksel imha yöntemlerine kıyasla, bu tür değerlendirme süreçleri "daha temiz" kullanım araçları sağlayarak sürdürülebilirliği artırmaya odaklanır [2]. Ancak, ekonomik ve sürdürülebilirlik açısından bazı zorluklar bulunmaktadır. Özellikle küresel atık miktarlarının artmasıyla birlikte, tek bir değerlendirme süreci veya yaklaşımının tüm işletmeler için uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, ekonomik olarak dezavantajlı işletmeler ve ekonomiler için uygun maliyetli ve verimli tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir, bu da daha sonra fırsatlar ve dayanıklılık sağlayabilir [42]. Son yıllarda, biyoyakıtların, biyo bazlı kimyasalların ve organik yan ürünlerin üretiminde atık kullanımının potansiyeli konusunda artan bir farkındalık bulunmaktadır. Bu süreçlerin benimsenmesi, 2050 yılına kadar dünya genelinde ilk iklim nötr bölgelerinin oluşturulması ve Avrupa Birliği'nin döngüsel bir bioekonomiye doğru ilerlemesi gibi hedeflerle uyumlu olduğu belirtilmektedir [58]. Peynir altı suyu atıklarına yönelik çeşitli değerlendirme stratejileri bulunmaktadır. Bu stratejiler, atık peynir altı suyunun ekonomik olarak değerlendirilmesini ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamak için çeşitli teknikler ve yaklaşımları içermektedir. Bu konuda daha fazla bilgi ve ayrıntı, aşağıdaki Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Değerleme tekniklerine genel bakış

Değerleme	Örnek teknikler	Ürünler	Referanslar
Peynir altı suyu proteini ve laktoz geri kazanımı	• İki Aşamalı Ultrafiltrasyon • Nanofiltrasyon • İyon değişim kromatografisi • Membran filtrasyonu	• Geri kazanımın: • Sığır serum albumini • Laktoferrin • İmmünoglobulinler • β-Laktoglobulin • α-Laktalbumin • Yüksek saflıkta peynir altı suyu proteinleri • Laktoz	[22], [59]

Peynir altı suyu proteini bazlı içecekler	• Peynir altı suyu yan ürünlerinin fermentasyonu • Ultrafiltrasyondan sonra kalan proteinsizleştirilmiş peynir altı suyu veya peynir altı suyu süzöntüsü • Peynir altı suyundan türetilen laktozun fermentasyonu • Etanol damıtma	• Probiyotik içecekler • Spor İçecekleri • Fonksiyonel içecekler • Fermente edilmemiş fonksiyonel içecekler • Etanol • Peynir altı suyu votkası, beyaz viski ve butik alkollü içkiler	[60-63]
Peynir altı suyu fermentasyon yan ürünleri	• Fermentasyon ve damıtma • Koyu fermentasyon	• Etanol • Biyohidrojen ve uçucu yağ asitleri	[58],[62],[64], [65]
Gıda ve Malzemeler	• Buharlaştırma, ters ozmoz, kristalizasyon ve kurutma • Membran teknolojileri • Asit ısı kaynaklı pıhtılaşması • Membran filtrasyonu • Mikropartiküle peynir altı suyu proteini • Asit-ısı kaynaklı pıhtılaşma	• Peynir altı suyu tozları • Peynir altı suyu proteini izolatları ve konsantreleri • Paneer, Queso Blanco ve Ricotta gibi peynirler • Peynir altı suyu kreması • Diyetetik/fonksiyonel gıdaların güçlendirilmesi • Yağ ikame maddesi olarak kullanın • Lor peyniri üretimi • Ricotta üretimi	[2],[16],[24], [66-69]
Kimyasallar ve koruyucular	• Asidik peynir altı suyunun hardalla otoklavlanması	• Koruyucular • Gıda koruması • Biyoetanol	[70-73]

	• Biyoaktif bileşikleri serbest bırakmak için peynir altı suyunun hidrolizi veya fermentasyonu • Enzimatik ve mikrobiyal katalizli hidroliz ve fermentasyon • Mezofilik laktik asit bakterileri fermentasyonu • Membran entegre hibrit reaktör sistemi • Anaerobik çamurun aşısı olarak kullanıldığı asidojenik fermentasyon	• Bakteri öldürücü dezenfektan • Asetik asit (%98 saflık) • Hidrojen, asetat, bütirat, propiyonat, valerat, laktat ve etanol üretimi
Hat içi süreçler	• Biyorafineriler ve biyoproses entegrasyonu • Hat içi ultrafiltrasyon • Beslemeli Kesikli Biyoreaktör	• Biyoyakıtlar ve biyokimyasallar [58], [74-76] • Besin, antioksidan ve biyoaktif geri kazanım • Hidrojeller, biyoplastikler ve biyoyakıtlar • Protein ve laktoz geri kazanımı • Gıda jelleri, protein konsantreleri, probiyotikli peynir altı suyu peynirleri • Asidik peynir altı suyunun <i>Pseudomonas taetrolens</i> tarafından laktobiyonik asit üretimi için substrat olarak kullanılması
Plastikler, filmler ve kaplamalar	• Biyorafineriler	• Polihidroksialkanoatlar [58],[68],[77] • Yenilebilir filmler [78]

	• Protein-polisakkarit/antimikrobiyal ajan biyofilmlerinin dehidrasyonu • Peynir altı suyu fermentasyonu ve polivinil alkol filminin hazırlanması	• Peynir için peynir altı suyu proteini-polisakkarit/antimikrobiyal madde kaplamaları • Peynir dilimlerinin korunması için laktik asit bakterileri fermente edilmiş peynir altı suyu taşıyan antifungal plastik filmler
İleri teknoloji	• Konsantrasyon ve fraksiyonlama için çok aşamalı membran filtrasyonu • Nanofiltrasyon elektrodializi	• Kirlenmeye veya kalite sorunlarına neden olan istenmeyen protein agregatlarının, kazeinlerin, mikroorganizmaların ve yağ globüllerinin uzaklaştırılması nedeniyle potansiyel olarak artan fonksiyonel özelliklere sahip peynir altı suyu proteini konsantreleri veya izolatları • Asidik peynir altı suyunun içerdiği mineraller (kalsiyum ve magnezyum)
Mikrobiyal ve Enzimatik Biyoprosesler	• Yağ üreten mikroorganizmalar biyokütle üretimi • Mikrobiyal ekim • Mikrobiyal ve enzimatik biyoprosesler • <i>Saccharomyces cerevisiae</i> tarafından fermentasyon • Batık fermentasyon	• Substrat olarak peynir altı suyunu kullanarak endüstriyel açıdan ilgi çekici tek hücreli yağların üretimi • Peynir altı suyunun teknik enzim üretimi için substrat ve indükleyici olarak kullanılması • Nutrasötikler ve biyoaktif peptitler, prebiyotikler, ekzopolisakkaritler, organik asitler, bakteriyosinler, izof-

		lavon aglikonlar ve endüstriyel açıdan önemli enzimlerin üretimi • Gıdaların fonksiyonel ve besinsel açıdan zenginleştirilmesi ve yeni fonksiyonel gıdaların geliştirilmesi için biyoaktif bileşiklerle zenginleştirilmiş peynir altı suyu • Laktoz kaynağı olarak peynir altı suyu tozu kullanılarak resveratrol üretimi • Sürdürülebilir yem için mantar biyokütlesi üretiminde peynir altı suyu ve portakal pekmezinin kullanımı
Geleneksel Olmayan İşleme	• Termal, ultrasonik ve termosonikasyon ön işlemleri • Peynir altı suyu proteini izolasyonunun ultrasonik modifikasyonu • Darbeli elektrik alanları • Ohmik Isıtma • pH değişimi ve ultrason işlemi • Çoklu frekanslı ıraksak ultrason • Yüksek hidrostatik basınç/elektroteknolojiler/ultrason • Elektroaktivasyon	• Peynir altı suyundan geliştirilmiş laktoz geri kazanımı [86-93] • Yapısal ve fonksiyonel özellikleri değiştirilmiş peynir altı suyu proteini izolasyonunun üretimi • Peynir yapımında ve üretilen peynir altı suyunda ileri işlemler için veya süzme peynirden peynir altı suyunun daha iyi uzaklaştırılmasında termal olmayan patojenik kontroller olarak darbeli elektrik alanlarının kullanılması

- Yeni işlevler için değiştirilmiş fizyokimyasal özelliklere sahip peynir altı suyu proteini izolatının üretimi
- Peynir altı suyu proteini izolatının emülsiyon stabilitesi de dahil olmak üzere fizyokimyasal özelliklerin modifikasyonu
- Emülsiyonların jelleşme özelliklerini geliştirmek için peynir altı suyu proteini emülsiyon jellerinin modifikasyonu
- Peynir altı suyunda ısıtılmanın tuzaklarından kaçınırken yeni gıda ürünleri/bileşikleri üretmek için özel işlemlerde kullanılabilir
- Geleneksel kimyasal izomerizasyona göre geliştirilmiş laktuloz üretimi

4.1. Peynir Altı Suyu Proteini Bazlı İçecekler

Peynir altı suyu proteinleri, çeşitli alanlarda önemli özelliklere sahiptir. Isıya duyarlılık, diğer proteinler ve karbonhidratlarla etkileşimler ve modifikasyonlar (hidroliz, agregasyon, konjugasyon), endüstriyel üretim, işleme uygunluk bu proteinlerin temel özelliklerindendir. Ayrıca, lezzet ve depolama üzerindeki etkileri, kalite yönleri ve beslenme, spor, egzersiz ve sağlık alanlarındaki rolleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu proteinler, spor ve egzersiz bilimi, bebek beslenmesi ve tıp/eczacılık gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [94].

Peynir altı suyu geleneksel olarak bir atık ürün olarak görülse veya kompozit gıdalarda bir bileşen olarak kullanılsa da, ticari peynir altı suyu bazlı yiyecek ve içecek ürünlerine olan ilgi giderek artmaktadır. Ticari peynir altı suyu içeceklerinin üretimi 1970'li yıllarda başlamış olsa da son yıllarda peynir altı suyu bazlı içecekler olan ilgi ve çeşitlilik artmıştır [2]. Son on yılda peynir altı suyu ve peynir altı suyu bileşenleri, sade veya katkılı meyve suyu, süt veya süt permeatı veya nutrasötik bileşikler ve/veya probiyotikler/prebiyotikler gibi peynir altı suyu bazlı içeceklerin üretiminde ticari olarak giderek daha

fazla kullanılmaktadır. Piyasada pek çok peynir altı suyu proteinli içecek mevcuttur. Bu bağlamda, gıda bileşenlerinin inovatif kullanımına yönelik yapılan çalışmalar, ürünlerin duyu ve işlevsel özelliklerini geliştirme potansiyelini ortaya koymaktadır [95]. Bununla birlikte, antimikrobiyal aktivite, büyük ölçüde ilgili bakteriyosin ve asitlerin üretimi nedeniyle uygulanan fermentatif süzün etkilenmiştir. Bununla birlikte, geliştirilen üretim süreçleri üretim hatlarına kolayca dahil edilebilir, böylece atık su hacmi ve arıtma maliyetleri en aza indirilebilir. Bu, yeni ürün geliştirme seçenekleri ve potansiyel pazar fırsatları sunabilir. Bununla birlikte literatürde çok çeşitli peynir altı suyu bazı içecekler geliştirildiği bildirilmiştir [2].

Dünya genelinde sütlü içeceklere, özellikle de sağlıklı ve fonksiyonel içeceklere olan yüksek talep, peynir altı suyu gibi yan ürünlerin değerlendirilmesi açısından fırsatlar sunmaktadır. Peynir altı suyu fermentasyonunda probiyotik mikroorganizmaların kullanılması, organik asitler bakımından zengin içecekler elde edilmesini sağlayabilir. Bu kapsamda kefir, fermente süt ürünleri içinde önemli bir örnek teşkil etmektedir. Eryılmaz ve ark. (2021), farklı kefir kültürleri ve süt markalarından elde edilen kefirlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini karşılaştırdığı çalışması, fermente ürünlerin özelliklerini belirlemede kullanılan yöntemler açısından önemli bir referans sunmaktadır. Bu çalışma, süt endüstrisinde katma değerli ürün geliştirme ve peynir altı suyu gibi yan ürünlerin değerlendirilmesi açısından önemli bir bağlam oluşturmaktadır [96].

4.1.1. Peynir Altı Suyu Proteini ve Laktoz Geri Kazanımı

Laktoz, glikoz ve galaktoz üretmek için doğrudan fermentasyona veya hidrolize edilmeye uygunken, proteinler yüksek besin değerine sahip olup gıda ve farmasötik ürünlerde çok yönlü fonksiyonel özellikler sunarlar [97]. Bu nedenle, laktoz ve proteinin geri kazanımı, peynir altı suyunun biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) yükünün azaltılmasına yardımcı olabilir ve peynir altı suyunun bertaraf edilmesinden kaynaklanan çevre kirliliği sorununun çözülmesine katkı sağlayabilir.

Peynir altı suyunu içeren proteinler ve laktoz peynir altı suyu çözeltilerinden geri kazanılabilir veya uzaklaştırılabilir [26]. 30 kDa'lık bir membran kullanan iki aşamalı bir ultrafiltrasyon işlemi, sığır serum albümini (BSA), laktoferrin (LF) ve immünoglobulinleri (Igs) tutulmasını sağlar. Sıralı bir 10 kDa membranı, beta-laktoglobulin (β -LG) ve alfa-laktalbumini (α -La) tutabilir. 1-kDa'lık bir nanofiltrasyon membranı, izole edilmiş peptitleri, ultra filtrelenmiş permeatta bulunan laktozdan ayırmaktadır. pH, membran seçiciliğini etkiler. İzoelektrik noktanın (pI) üzerindeki veya altındaki bir pH, peynir altı suyu proteinlerinin boyutunu ve dolayısıyla dağılımını etkilemektedir [59]. Dikkatlice seçilmiş membran molekül ağırlığı kesintileri kullanılarak seçici ayırma mümkündür ve protein denatürasyonunu önler [98].

İyon değiştirme kromatografisi (IEC), peynir altı suyu proteinlerini yüksek saflıkta üretmek için kullanılan etkili bir yöntemdir [99]. Bu yöntem genellikle dört adımdan oluşur ve proteinlerin elektrik yüklerine ve izoelektrik noktalarına (pI) dayanır (Tablo 6). Proteinler, pH değerine bağlı olarak pozitif veya negatif yüklü olabilir. pI'nin altındaki pH değerlerinde proteinler pozitif yüklüdür ve bu durumda katyonik iyon değiştiriciler tarafından emilirler. pI'nin üzerindeki pH değerlerinde ise proteinler negatif

yüklüdür ve anyonik iyon değiştiriciler tarafından emilirler. pH seviyesinin kontrol edilmesi, proteinlerin belirli koşullarda seçici olarak ayrılmasını sağlar. Ancak, proteinlerin denatürasyonu veya iyon değiştirici matrislere geri dönüşümsüz bağlanması, prosesin verimliliğini azaltabilir. Bu nedenle, işlem sırasında aşırı pH değerlerinden kaçınılmalıdır [22]. Peynir altı suyundan geri kazanılan proteinlerin özellikleri Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. *Peynir altı suyu proteinlerinin bileşimi ve fiziksel özellikleri*

Protein	Peynir altı suyu içeriği (%)	Molekül ağırlığı (kDa)	İzoelektrik nokta (pH)	Beslenme ve fonksiyonel faydalar
β -Laktoglobulin	48-58	18.0-18.36	5.2-5.5	• Esansiyel ve dallanmış amino asitlerin kaynağı • Retinol alımını artırır ve mükemmel jelleşme, emülsifiye etme ve köpürme özelliklerine sahiptir • Bir alerjen olarak kabul edilir
α -Laktoglobulin	13-25	14.0-14.15	4.2-4.8	• Başlıca insan sütü proteini • Esansiyel ve dallanmış amino asitlerin kaynağı • Kalsiyumu bağlar. Jelleřmeyen bir proteindir
Glikomakropeptid	10-20	7.0-8.6	<3.8	•Dallanmış amino asitlerin kaynağı
Sığır Serumu Al-bümini	5-10	66.0-69.0	4.7-5.1	• Esansiyel amino asit kaynağı

İmmünoglobulin-ler	8-15	150-1000	5.0-8.3	• 'Pasif bağışıklık' sağlayabilir
Laktoferrin	1-2	77.0-78.0	7.9	• Bakterisidal bir protein. • Demiri bağlar ve tümör oluşumunu engelleyebilir.
Laktoperoksidaz	0.5	78.0-89.0	9.6	• Antibakteriyel aktiviteye sahiptir.
Lizozim	0.0002	14.30	11.0	• Antimikrobiyal aktiviteye sahiptir.

Spesifik gelişmiş fiziksel işlevselliğe veya besinsel/fizyolojik işlevselliğe sahip bireysel peynir altı suyu proteinlerinin fraksiyonlarının daha da geliştirilmesi mümkün olabilir. Peynir altı suyu proteinlerini parçalamak için şu anda kromatografik ve membran ayırma yöntemleri kullanılmaktadır, ancak sulu iki fazlı ekstraksiyon ve manyetik balıkçılık gibi gelecek için umut vaat eden alternatif yöntemler de vardır [100]. Bununla birlikte, peynir altı suyu protein konsantresi ve hidroksipropil metil selülozdan oluşan iki fazlı sulu sistemler, α -laktalbumin ve β -laktoglobulinin seçici ayrılması için kullanılabilir [101].

Laktoz, genellikle ultrafiltrelenmiş ve proteinden arındırılmış peynir altı suyu permeatından izole edilir. Bu izolasyon süreci, konsantrasyon, kristalleşme, ayırma ve kurutma adımlarını içerir. Konsantrasyon aşamasında, ultrafiltrelenmiş permeat buharlaştırma ile yoğunlaştırılır. Daha sonra, konsantre edilmiş permeat içindeki laktoz kristalleştirilir ve santrifüjleme veya dekantörler gibi yöntemlerle ayrılır [26]. Son olarak, ayrılan laktoz kristalleri kurutulur. Mikrofiltrasyon (0.2 μ m gözenek boyutu), ultrafiltrasyon (5 kDa moleküler ağırlık sınırı), iyon değişimi ve ters ozmoz gibi teknikler kullanılarak %99.8 saflıkta ve %74 verimle laktoz geri kazanılabilir [102]. Ancak, peynir altı suyunun elektrodiyaliz işlemine tabi tutulması veya tuz içeriğini azaltmak için iyon değişim membranları (demineralizasyon) kullanılması, ardından buharlaştırma, kristalleştirme, santrifüjleme ve kurutma işlemlerinin sırasıyla yapılmasıyla laktozun %87.5'i geri kazanılabilir. Proteini uzaklaştırmak için iyon değiştirme reçineleri ile işlenmediğinde ise peynir altı suyundan yaklaşık %97 oranında daha yüksek laktoz saflığı elde edilebilir [24, 103, 104].

4.1.2. Peynir Altı Suyu Fermantasyon Yan Ürünleri

Peynir altı suyunda bulunan laktozun etanole dönüştürülmesi, bu yan ürünün çevresel etkisini azaltmanın etkili bir yoludur. Bu dönüşüm süreciyle biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) yaklaşık %75 oranında azaltılmakta ve daha önce atık olarak değerlendirilen peynir altı suyu ekonomik bir girdiye dönüştürülmektedir [13]. Peynir altı suyunun laktoz içeriği, onu fermantasyon ile alkollü içki üretimine

uygun kılmaktadır. Bazı araştırmacılar çalışmalarında, laktozu glikoz ve galaktoza hidrolize eden ve bu monosakaritleri fermantasyon yoluyla etanole metabolize eden *Kluyveromyces marxianus*'ın yanısıra ekzojen enzimler ve *Saccharomyces cerevisiae* gibi diğer maya türleri de kullanılmıştır. Peynir altı suyundan etanol üretim verimliliği %75.9 ile %96.6 arasında değişmektedir. Bu farkın, farklı fermantasyon substratlarından kaynaklandığı ileri sürülmektedir [13].

Düşük laktoz içeriğine sahip (%3-5 a/a) peynir altı suyunun fermantasyonu, genellikle düşük etanol konsantrasyonlarıyla (%2-3 v/v) sonuçlanmaktadır. Öte yandan, konsantre peynir altı suyu permeatı (%9.8 laktoz) kullanıldığında, elde edilen etanol konsantrasyonu belirgin şekilde artmakta ve ortalama %5.45 v/v düzeyine ulaşmaktadır. Ayrıca, konsantre permeat kullanımıyla elde edilen üretim verimliliği %89.4 olup, bu oran konsantre olmayan permeatın %87.4'lük verimliliğine kıyasla anlamlı olmasa da hafif bir artış göstermektedir [62, 64]. Bununla birlikte, konsantre peynir altı suyu permeatının üretimi ek işlem gerektirir, bunun sonucunda üretim süresi ve maliyetleri artar, dolayısıyla genel verimlilik azalır ve muhtemelen marjinal olarak iyileşen üretim verimliliği de olumsuz etkilenir. Benzer şekilde %80 laktoz konsantrasyonuna sahip demineralize peynir altı suyunun artan etanol konsantrasyonları gösterdiği rapor edilmiştir [105]. %10, %15 ve %20 w/v demineralize peynir altı suyu konsantrasyonları, ham peynir altı suyu fermantasyonu ile karşılaştırıldığında benzer şekilde artan kabul edilebilirlik ile sırasıyla %5.0, %7.6 ve %9.5 v/v etanol konsantrasyonları vermiştir [105]. Diğer peynir altı suyu içeceklerine benzer şekilde bu, ustalık isteyen ürünler pazarının önceki on yılda istikrarlı bir şekilde genişlemesiyle gelişim fırsatları sağlayabilir. Peynir altı suyu bazlı yeni ürünlerin geliştirilmesi, işletmelere ekonomik bir avantaj sağlarken, aynı zamanda yüksek bir fiyata satılabilecek bir ustalık becerisi ile üretilen bir ürünü de sağlayabilir. Buna karşılık, fermente peynir altı suyunun distilasyonunun, CO₂ emisyonlarını işlevsel birim başına 8.4 kg azalttığı ve maltlı arpa eşdeğerlerine kıyasla üretim sürecine 0.44 kg daha az su eklenmesini gerektirdiği gösterilmiştir [62]. Bununla birlikte, atık peynir altı suyundan mevcut mikroorganizma kültürleri ile alkol üretimi, gelişmekte olan ülkeler ve küçük kuruluşlar için uygun ve ucuz bir yöntem olarak değerlendirilebilir [64].

Atık peynir altı suyu yönetimi için belki de daha umut verici bir başka seçenek de ışıksız şartlarda yapılan fermantasyondur (IF). IF, çeşitli bakteri türlerinin (yani Clostridium ve Enterobacter) asidojenik metabolik yoluyla H₂, CO₂ ve organik asitler üretmek için karbonhidratları, proteinleri ve lipitleri substrat olarak kullanabildiği dolaylı bir teknolojidir [106]. IF, atık peynir altı suyunun yüksek karbonhidrat içeriğini kullanarak anaerobiyoz yoluyla biyohidrojen ve uçucu yağ asidi (VFA) üretimini içerir. Ancak IF termodinamik olarak elverişsizdir, kontrolü zordur ve substrat bileşimine, organik yükleme hızına, aşı tipine ve ön işleme, reaktör tipine ve çalışma rejimine, sıcaklığa, pH'ya, su basıncı ve hücrenin ortamda bekleme süresine duyarlıdır. Bu, laktoz ve VFA üretimi nedeniyle teorik maksimum 8 mol H₂/mol olmasına rağmen 1-4 mol H₂/mol verimle sonuçlandığı belirlenmiştir [58, 65]. Bununla birlikte IF, yenilenebilir substratların kullanımı, işlem basitliği ve ışıktan bağımsız olması nedeniyle alternatif biyolojik proseslerle karşılaştırıldığında, büyük ölçekli uygulama potansiyeli yüksek olan yenilenebilir H₂ üretebilmektedir. Bununla birlikte, hidrojen verimi ve üretim oranları genellikle endüstriyel uygulama için çok düşüktür, ancak yüksek hızlı reaktörlerin çalıştırılması, iki aşamalı bir IF sisteminin ve bunu

takip eden metanojenik aşamanın kullanılması bu sorunları önemli ölçüde azaltabilir. Ancak bu tür teknikler ve konfigürasyonlar daha kapsamlı araştırmalar gerektirir [107].

Günümüzde biyoyakıt üretimi için kullanılan hammaddeler, biyodizel veya biyoetanol genellikle gıda ve tarım kökenli ürünlerdir [108]. Araştırmalar, uçucu yağ asitlerinin (VFA), yağ üreten mikroorganizmalar tarafından ucuz alternatif karbon kaynakları olarak kullanılabileceğini ve bu asitlerin lipitlere, ardından biyodizele dönüştürülebileceğini göstermiştir [109]. Ancak fermente atık sudaki VFA konsantrasyonu çok düşüktür ve bu da ticarileştirme için bir engeldir [110]. Ticari üretim taleplerini tam olarak karşılayan VFA üretimi için arıtma çamuru fermantasyonunun tam ölçekli uygulamaları, zayıf fermantasyon yoğunluğu, düşük VFA konsantrasyonu ve zayıf substrat dönüşüm oranı nedeniyle hala nadiren rapor edilmektedir. Liu ve ark. (2019) tarafından, VFA üretiminde potansiyel ticari uygulama için kanalizasyon çamurundan VFA üretimini artırmak amacıyla anaerobik dinamik membran reaktörü (AnDMBR) kullanan yeni bir sıvı fermantasyon stratejisi önerilmiştir [111]. VFA üretkenliği ve konsantrasyonunun yanı sıra substrat dönüşüm oranı da sırasıyla 7.8 kg VFA - COD/m³ gün, 60 g/L ve 0.38 kg VFA – COD/kg VS'ye ulaştığı bildirilmiştir. Ayrıca dinamik membran yaklaşık 70 gün boyunca stabil olarak çalıştırılabilmiştir. Bu teknolojileri kullanarak VFA'ların üretilmesi, gelecekte biyodizelin ticari üretimine yardımcı olacaktır.

5. Gıda Katkı Maddeleri

Peynir altı suyu ayrıca gıdaların içinde bir bileşen olarak veya nano, mikro ve ultrafiltrasyon gibi katı bileşen geri kazanım teknikleri kullanılarak atık peynir altı suyundan kompozit gıda ürünleri üretmek için de kullanılabilir. Sonuç olarak, %25-30 yağ içeriğine sahip peynir altı suyu kreması, atık peynir altı suyundan çıkarılabilir ve peynir veya tereyağı üretiminde sütün standardizasyonu için kullanılabilir. Benzer şekilde, tatlı koyulaştırılmış peynir altı suyu, ters ozmoz ve nanofiltrasyon teknikleri kombine edilerek ya da ayrı ayrı kullanılarak üretilir. Bu tür teknikler, peynir altı suyu kuru madde miktarını %65'e kadar artırarak viskoz bir ürün oluşturur [2]. Benzer şekilde, içerilen laktoz benzer bir ultrafiltrasyon, iyon değişimi ve ters ozmoz serisi yoluyla geri kazanılabilir ve %99.8'lik bir saflık ve %74'lük genel bir geri kazanım elde edilebilir. Bununla birlikte, benzer filtreleme işlemleri laktoz ve peynir altı suyu proteininin sırasıyla %90 ve %80 oranında geri kazanılmasını sağlar [2].

Bu tür yan ürünler, daha önce tartışıldığı gibi içeceklerde bir bileşen olarak veya içeceklerin protein, esansiyel amino asit ve C vitamini içeriğini arttırmak için kullanılabilir. Sonuç olarak bu ürünler rahatsızlıklardan ve dejeneratif hastalıklardan muzdarip olanlar için uygun olabilir [2]. Benzer şekilde peynir altı suyu proteinleri, önemli biyolojik aktiviteleri ve kan şekeri homeostazisi, metabolizma ve sinir fonksiyonu için hayati önem taşıyan yüksek orandaki dallı zincirli amino asitler nedeniyle fonksiyonel nutrasötiklerdir [68]. Ek olarak, biyoaktif peynir altı suyu bileşenleri yağlanmayı, kardiyovasküler ve gastrointestinal sistemleri modüle edebilir. Bu nedenle, bu bileşiklerin fonksiyonel veya diyetel gıdaların zenginleştirilmesinde kullanılma potansiyeli nedeniyle bilim insanlarının ve tüketicilerin ilgisini çekmeye devam etmektedir [68].

Alternatif olarak, peynir altı suyu proteininden türetilen peptitler (proteaz enzimi kullanılarak farklı enzimatik işlemlerle üretilen protein hidrolizatları), sınırlı gastrointestinal stabiliteye ve biyoyararlanıma sahip olan geleneksel tuz bazlı zenginleştirme yöntemlerine kıyasla iyi bir demir bağlayıcı alternatif olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla peynir altı suyu proteinleri, demir emilimini ve biyoyararlanımını artırdığı iddiasıyla gıda maddeleri ve takviyelerde demir takviyesi için bir alternatif sağlayabilir. Peynir altı suyu proteininin alkalazla hidrolizi sırasında salınan peptitler, güçlü demir bağlayıcı özellikler gösterir. Bu nedenle peynir altı suyundan türetilen peptid-demir kompleksleri, biyoyararlanımlı bir demir taşıyıcı olarak kullanılabilecek potansiyel yeni fonksiyonel bileşenlerdir [112].

5.1. Hat İçi Süreçler

Son çalışmalar, tartışıldığı gibi, biyoyakıt (metan, hidrojen ve etanol), elektrik enerjisi ve/veya kimyasal emtia (karboksilik asitler, proteinler ve biyopolimerler) üretimi yoluyla atık peynir altı suyunun değerlendirilmesi amacıyla biyorafineriler olarak adlandırılan arıtma süreçlerinin entegrasyonuna odaklanmaktadır. Bu tür süreçler uygun maliyetli ve verimli değerlendirme için çok önemlidir. Süt endüstrisinde çeşitli değerli ürünler üretmek ve sıfır atık yaklaşımına ulaşmak için iki veya daha fazla fiziksel, kimyasal ve biyolojik sürecin bir kombinasyonu (aynı zamanda biyoproses entegrasyonu olarak da bilinir) kullanılabilir [58]. Ana fikir, gelişmiş biyotransformasyon ekstraksiyon teknikleri kullanılarak yeni gıdalara dahil edilmek üzere yüksek katma değerli bileşiklerin (besinler, antioksidan, biyoaktif moleküller) geri kazanılması da dahil olmak üzere, peynir altı suyunun toplam değerlendirilmesi için tüm süreçleri çok adımlı bir biyolojik arıtma stratejisine entegre etmektir. Geriye kalan üründen hidrojeller, biyoplastikler ve biyoyakıtlar gibi başka yeni malzemeler de elde edilebilmektedir. Örnek tekniklere mükemmel bir genel bakış Asunis ve ark. (2021) tarafından sağlanmıştır [58].

Daha yeni çalışmalar, peynir atığı akışlarındaki entegre ultrafiltrasyon süreçlerine odaklanılmış ve böylece küçük ve orta ölçekli süt ürünleri üreticilerine, proteinlerin ve laktozun geri kazanılması yoluyla daha fazla değer kazanma fırsatları sunarak sürdürülebilirliklerine katkıda bulunmuştur. Yakın zamanda tatlı keçi peynir altı suyu bileşenlerinin geri kazanılmasına yönelik entegre bir süreç tasarlanmıştır. Bu süreç filtrasyon, santrifüjleme ve pastörizasyon, ardından sıralı membran işlemleri, ultrafiltrasyon/seyreltme, ultrafiltrasyon permeatın seyreltme modunda nanofiltrasyonu ve nanofiltrasyon filtreden geçen maddelerin konsantrasyonunu/seyreltilmesini içermekte olup bu tür yenilikçi prosesler gıda jelleri, toz halindeki protein konsantreleri ve probiyotikli peynir altı suyu peynirleri dahil olmak üzere yenilikçi peynir altı suyu türevi ürün üretimini mümkün kılabilir. Dolayısıyla bu tür sistemler küçük ve orta ölçekli işletmeler için muhtemelen ekonomik açıdan uygundur [74, 75].

5.1.1. Diğer Kullanımlar ve Geleneksel Olmayan Teknikler

Karbondioksitin atmosferden uzaklaştırılması, küresel ısınmayı azaltmak için son zamanların cazip yöntemlerinden biridir. Peynir altı suyunun potansiyel bir uygulaması, karbondioksiti yakalamak için bir karbondioksit havuzu (sorbent) olarak kullanılması olabilir. Böyle bir teknik, ticari peynir altı suyu proteini izolatu (WPI) kullanılarak maksimum %0.4 karbon yakalama kapasitesi ve 130°C ve 170°C giriş gazı sıcaklıkları altında yapılan test koşullarında, püskürtürerek kurutulmuş WPI sırasıyla %0.78 ve %0.74 yakalama kapasitesi göstererek ümit verici sonuçlar elde etmiştir. Ancak bu değerler, endüstriyel

uygulamalar açısından yetersiz kalmaktadır. Ayrıca bu strateji, yakalama kapasitesi azaldığında bile, kullanılmış TEPA-fonksiyonlandırılmış epoksi reçinesi (TEFE) biçiminde atık üretmeye devam eder. Ek olarak, TEFE üretimi atık peynir altı suyunun daha fazla işlenmesini gerektirir; bu da daha fazla sera gazı emisyonuna yol açar. Bu nedenle, TEFE'nin bir karbon havuzu olarak kullanımı, üretim sürecindeki emisyonlar nedeniyle etkisini kaybedebilir; ancak aynı proses içinde yerinde (hat içi) bir karbon havuzu olarak yine de faydalı olabilir [99].

Literatürde, peynir altı suyunun arıtılması için kullanılan termal, ultrasonik ve termosonikasyon ön işlemleri gibi geleneksel olmayan teknikler rapor edilmiştir. Bu ön işlemler, değerli bileşiklerin peynir altı suyundan geri kazanımını artırmayı amaçlamaktadır [62]. Ayrıca, peynir altı suyu proteini izolatının ultrasonik modifikasyonu ile yapısal ve fonksiyonel özelliklerinin değiştirilmesi rapor edilmiştir [113]. Peynir yapımında termal olmayan teknolojiler olarak elektrik teknolojileri, örneğin darbeli elektrik alanları kullanılarak yeni işlevler elde edilmesi de araştırılmıştır [44]. Ohmik ısıtma gibi yöntemlerin kullanılmasıyla da peynir altı suyu için fizyokimyasal özelliklerin değiştirilmesi mümkün olabilir [93].

6. Gelecek Trendleri

Hayvansal ürünlere olan talebin 2050 yılına kadar %70 oranında artması beklenmektedir. Bu artışın, özellikle gıda atığı ve atık peynir altı suyu gibi sorunların daha da kötüleşmesine neden olurken gıda üreticilerinin sürdürülebilirlik ve verimlilik konularına daha fazla odaklanmalarını da beraberinde getirebileceği düşünülmektedir [114, 115]. Pek çok ülkede, atık peynir altı suyunun yönetimine ilişkin maliyetlerin ve yasal gerekliliklerin arttığı, daha sıkı düzenlemelerin gelecekte yürürlüğe girmesi olasıdır. Bu durum, atık suların değerli bileşenlerin daha fazla geri kazanılmasını teşvik edebilir; geri kazanılan malzemelerin doğru kullanımı potansiyel olarak büyük kazançlar sağlayabilir ve üretim süreçlerinin tamamında değer yaratılmasına olanak tanıyabilecektir. Ancak, çevresel düzenlemeler ve kirlilik önleme baskıları, süt endüstrisini peynir altı suyu atığı sorunuyla ilgili çözümler üretmeye zorlamaya devam edecektir [114]. Bu tür baskılar, plastik ambalaj işleyicilerine plastik ambalaj vergilerinin getirilmesi sonrasında yaşanan benzer baskılar gibi etkili olabilir.

Günümüzde, AB içerisinde atıkların taşınması ve yönetimi, 2008/98/EC sayılı direktif kapsamında. Biyoatıklardan üretilen çevre açısından güvenli malzemelerin kullanımı teşvik edilmektedir. Ayrıca, atık ve yan ürünler arasında ayırım yapan 'genişletilmiş üretici sorumluluğu' kavramı, atık üreticisinin atık yönetimi maliyetini ödemesi gerektiğini belirten 'kirleten öder ilkesi'ni onaylamaktadır. Bununla birlikte, atık değerlendirilmesinden üretilen ürünleri düzenleyen mevzuatlar pek çok ülkede sürdürülebilir alternatiflere duyulan ihtiyaca yanıt olarak ortaya çık-maktadır [116]. Ancak, belirlenen yasal gerekliliklerin gerçekçi ve ulaşılabilir kalması gerekmektedir. Ayrıca, bazı politika önerileri, ürün tasarımının, geri dönüştürülebilirlik gibi döngünün her aşamasındaki sorun gelişimini dikkate alarak ürün yaşam döngüsünün tamamını dikkate aldığı döngüsel ekonomilerin benimsenmesini teşvik etmelidir. Ayrıca politika uyumlu hale getirilmeli ve toplum, işletmeler ve tüketiciler için aynı şekilde uygulanmalıdır [117]. Bununla birlikte, bu tür döngüsel sistemler gıda üretimi ve israfın olumsuz çevresel etkilerini azaltacaktır [115]. Bununla birlikte, AB'de gıda tedarik zinciri genelinde gıda israfıyla mücadelede yönelik tutarlı ve iddialı bir yaklaşım mevcut değildir. Bazı uzmanlar, bu mevzuat alanlarının, uluslararası

çevresel hedeflere uygun şekilde gıda israfını önemli ölçüde azaltmak için yeterli yönlendirmeyi sağlamadığını öne sürmektedir. Bu nedenle, gıda zincirinin tamamındaki davranışları değiştirmek için artan gıda fiyatlarının yanı sıra, vergilendirme gibi bazı ekonomik araçlar önererek mevcut atık mevzuatında iyileştirmeler yapılması gerekmektedir [118]. Mevcut ekonomik koşullar altında, artan gıda fiyatlarının önerilen gıda israfının azaltılmasına yol açma potansiyeli incelenmeye değer bir konudur. Bu durum, gıda tedarik zinciri genelinde sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından önemli sonuçlar doğurabilir.

Ayrıca Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, gıda üreticilerinin ve işleyicilerinin, 2030 yılına kadar besin açısından zengin ürünlerin geliştirilmesi yoluyla döngüsellüğün artırılması adına, yan ürün ve yan üretim oluşumunu azaltmak için harekete geçmesini gerektirmektedir [119]. Bununla birlikte, yeni, potansiyel olarak işlevsel, süt ürünleri ve peynir altı suyu türevi gıdaların geliştirilmesi basit değildir; çünkü yerel mevzuata uyumun sürdürülmesi ve ürünlerin aynı zamanda ekonomik, ticari ve lojistik açıdan uygun kalması da gerekir. Bu nedenle, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşılmasını sağlamak için yeni gıda mevzuatlarının bilimsel ilerleme ve yeni gıda ürünü geliştirmeye eş zamanlı olarak güncellenmesi ve gelişmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, yeni üretim sistemleri sürdürülebilir kalmalı ve özellikle daha zorlu sürdürülebilirlik mevzuatı uygulamaya konduğunda süt endüstrisinin çevresel etkisini azaltmaya çalışmalıdır. Bununla birlikte endüstrinin, çevresel bozulmayı azaltmak için uygun işleme ve sanitasyon ile atık bertaraf standartlarına uymak için uygun bertaraf tekniklerini kullanması gerekir. Ancak yönetim tekniklerinin üretken, karlı ve sürdürülebilir kalması gerekir [120].

7. Sonuç

Peynir altı suyu besin açısından zengindir ve çeşitli ticari kullanım alanlarına sahiptir. Ancak yüksek hacimli üretimi nedeniyle peynir altı suyu atıkları çevresel riskler oluşturmaktadır. Peynir altı suyunun GWP (Küresel Isınma Potansiyeli) değerleri, enerji yoğunluğu açısından dikkate değerdir ve ısıl işlem uygulamalarında enerji verimliliğinin artırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Peynir altı suyunun çevresel etkilerini ve karbon ayak izini değerlendirmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Ancak bu yöntemler, peynir altı suyu ve süt tozu üretiminin ve çiftlik sonrası atıkları çevresel zararını tam olarak anlamada yetersiz kalmaktadır. YDD (Yönetim Derecelendirme) yaklaşımları, süt ürünleri üretim zincirinin tümünü kapsar ve üreticilerin sürdürülebilir uygulamalar benimsemelerine yardımcı olarak çevresel zararı azaltır; bu çabaların performansını sektör ortalamalarıyla karşılaştırır.

Peynir altı suyu, zengin bir laktoz ve protein kaynağı olması nedeniyle atık peynir altı suyunun katma değerli ürünlere veya bileşenlere dönüştürülmesini çekici bir alternatif haline getirir, bu da atık bertarafı sorunlarından kaçınmayı sağlar. Peynir altı suyunun tüketici mallarında çeşitli tüketici ürünlerinde kullanılabilmesi, her yıl üretilen atık peynir altı suyunun artmasıyla bağlantılı olarak umut vericidir. Ancak ekonomik ve sürdürülebilirlik zorluklarıyla birlikte, küresel atık üretiminin artmasıyla tek bir değerlendirme süreci veya yaklaşımının tek başına nihai bir çözüm sağlayamayacağı da belirtilmelidir.

Peynir altı suyunun çevresel etkisini azaltmaya yönelik stratejiler arasında peynir altı suyu ve atık su arıtımı, enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını azaltmak için ısı entegrasyonu, anaerobik sindirim (AS) ve peynir altı suyunun fermantasyonu yoluyla biyogaz ve biyoetanol üretimi gibi çeşitli enerji

tasarrufu ve geri kazanım teknolojilerinin uygulanması bulunmaktadır. Asidik peynir altı suyunun biyogaz için bir substrat olarak kullanılması, yenilenemeyen enerji kaynaklarının potansiyel bir alternatifi olarak elektrik üretimini mümkün kılar. Ayrıca, atık kullanımının biyoyakıtlar, biyo bazlı kimyasallar ve organik yan ürünler üretimi için potansiyelinin artan bir farkındalığa sahip olduğu görülmektedir.

2008/98/EC sayılı Atık Çerçeve Direktifi (WFD), atık oluşumunun önlenmesine öncelik vermekte ve bu doğrultuda işleme, geri dönüşüm ve geri kazanım gibi adımlara odaklanmaktadır; bertaraf ise en son seçenek olarak kabul edilmektedir. Bu direktif, 2008 yılında yürürlüğe gelse de, günümüzde hâlâ Avrupa Birliği'nin atık yönetimi politikalarına yön veren temel yasal çerçeveyi oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, biyo-ekonomi stratejisinin önemli bir parçası olarak gıda israfını azaltmayı hedefleyen AB politikalarıyla uyumludur. AB, gıda üretimi ve tedarik zincirleri boyunca gıda kayıplarını azaltma konusunda BM'nin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ni (SDG'ler) karşılamaya daha fazla kararlılıkla yaklaşmaktadır. Bu bağlamda, Avrupa ülkeleri biyolojik kaynakların üretimi, geri dönüşümü ve imhasına yönelik yaklaşımlarını yeniden gözden geçirmek zorunda kalacaklar. Gelecekte, atık peynir altı suyu yönetimi ile ilgili daha katı mevzuatın getirilmesi muhtemeldir. Bu durum, atık sularından değerli bileşenlerin daha fazla geri kazanılması için teşvik edici olabilir, aynı zamanda "genişletilmiş üretici sorumluluğu" ve "kirleten öder ilkesi" gibi kavramların atık yönetimindeki önemini vurgulamaktadır. Üreticilerin atık yönetimi maliyetlerini üstlenmesi, atık ve yan ürünler arasında ayırım yapılmasını teşvik eder ve sürdürülebilir atık yönetimi için önemli bir adım olarak kabul edilir.

Son olarak, BM'nin Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşılmasını desteklemek için yeni gıda mevzuatı, bilimsel ilerlemeler ve yeni gıda ürünleri geliştirme süreçleriyle eşzamanlı olarak güncellenmeli ve geliştirilmelidir. Bu yaklaşım, sürdürülebilirlik açısından daha uyumlu ve etkili bir gıda sistemine doğru ilerlemeyi sağlayacaktır.

Teşekkür

Yazarlar, *International Journal of Pure and Applied Sciences* dergisinin hakemlerine ve dergi kurullarına teşekkür eder.

Çıkar Çatışması

Çalışma kapsamında herhangi bir kişisel ve/veya finansal çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

Referanslar

- [1] Geary, U., Lopez-Villalobos, N., Garrick, D. J., & Shalloo, L. (2010). Development and application of a processing model for the Irish dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 93(11), 5091-5100.
- [2] Panghal, A., Patidar, R., Jaglan, S., Chhikara, N., Khatkar, S. K., Gat, Y., & Sindhu, N. (2018). Whey valorization: Current options and future scenario—a critical review. *Nutrition & Food Science*, 48(3), 520-535.
- [3] Chandrapala, J., Duke, M. C., Gray, S. R., Zisu, B., Weeks, M., Palmer, M., & Vasiljevic, T. (2015). Properties of acid whey as a function of pH and temperature. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4352-4363.

- [4] Flinois, J. C., Dando, R., & Padilla-Zakour, O. I. (2019). Effects of replacing buttermilk with yogurt acid whey in ranch dressing. *Journal Of Dairy Science*, 102(9), 7874-7883.
- [5] Zotta, T., Solieri, L., Iacumin, L., Picozzi, C., & Gullo, M. (2020). Valorization of cheese whey using microbial fermentations. *Applied Microbiology And Biotechnology*, 104(7), 2749-2764.
- [6] Sharma, D., Manzoor, M., Yadav, P., Sohal, J. S., Aseri, G. K., & Khare, N. (2018). Bio-valorization of dairy whey for bioethanol by stress-tolerant yeast. In *Fungi And Their Role In Sustainable Development: Current Perspectives*, 349-366.
- [7] Mano, J., Liu, N., Hammond, J. H., Currie, D. H., & Stephanopoulos, G. (2020). Engineering *Yarrowia lipolytica* for the utilization of acid whey. *Metabolic Engineering*, 57, 43-50.
- [8] Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. *Journal Of Environmental Management*, 110, 48-68.
- [9] Solak, B. B., & Akin, N. (2012). Health benefits of whey protein: A review. *Journal of Food Science and Engineering*, 2(3), 129.
- [10] Lindsay, M. J., Walker, T. W., Dumesic, J. A., Rankin, S. A., & Huber, G. W. (2018). Production of monosaccharides and whey protein from acid whey waste streams in the dairy industry. *Green Chemistry*, 20(8), 1824-1834.
- [11] Pal, P., & Nayak, J. (2016). Development and analysis of a sustainable technology in manufacturing acetic acid and whey protein from waste cheese whey. *Journal of Cleaner Production*, 112, 59-70.
- [12] Rivas, J., Prazeres, A. R., & Carvalho, F. (2011). Aerobic biodegradation of precoagulated cheese whey wastewater. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 59(6), 2511-2517.
- [13] Risner, D., Tomasino, E., Hughes, P., & Meunier-Goddik, L. (2019). Volatile aroma composition of distillates produced from fermented sweet and acid whey. *Journal Of Dairy Science*, 102(1), 202-210.
- [14] Schmidt, R. H., Packard, V. S., & Morris, H. A. (1984). Effect of processing on whey protein functionality. *Journal of Dairy Science*, 67(11), 2723-2733.
- [15] Dec, B., & Chojnowski, W. (2006). Characteristics of acid whey powder partially demineralised by nanofiltration. *Polish Journal Of Food And Nutrition Sciences*, 15(1), 87.
- [16] Farkye, N. Y. (2017). Quark, quark-like products, and concentrated yogurts. In *Cheese* (pp. 1103-1110). Academic Press.
- [17] Geiger, B., Nguyen, H. M., Wenig, S., Nguyen, H. A., Lorenz, C., Kittl, & Nguyen, T. H. (2016). From by-product to valuable components: Efficient enzymatic conversion of lactose in whey using β -galactosidase from *Streptococcus thermophilus*. *Biochemical Engineering Journal*, 116, 45-53.
- [18] Guo, M., & Wang, G. (2019). History of whey production and whey protein manufacturing. In *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications* (pp. 1-12).
- [19] Mulcahy, E. M. (2017). Preparation, characterisation and functional applications of whey protein-carbohydrate conjugates as food ingredients.
- [20] Stout, M., & Drake, M. (2019). Flavor aspects of whey protein ingredients. In *Whey Proteins* (pp. 377-406). Academic Press.
- [21] Tallapragada, P., & Rayavarapu, B. (2019). Recent trends and developments in milk-based beverages. In *Milk-based beverages* (pp. 139-172). Woodhead Publishing.
- [22] Huffman, L. M., & de Barros Ferreira, L. (2011). Whey-based ingredients. In *Dairy ingredients for food processing*, 1, 179-198.
- [23] Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknytė, M., & De Noni, I. (2018). Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in Food Science & Technology*, 74, 158-169.

- [24] Bansal, N., & Bhandari, B. (2016). Functional milk proteins: Production and utilization—whey-based ingredients. In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1B: Proteins: Applied Aspects*, 67-98.
- [25] Bolwig, S., Brekke, A., Strange, L., & Strøm-Andersen, N. (2019). 9 Valorisation of whey. In *From waste to value*, (pp. 162–182).
- [26] Bozanic, R., Barukcic, I., Lisak, K., & Jakopovic, T. L. (2014). Possibilities of whey utilisation. *Austin Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(7), 1036-1042.
- [27] Farkye, N. Y. (2004). Acid-and acid/rennet-curd cheeses part C: Acid-heat coagulated cheeses. In *Cheese: Chemistry, physics and microbiology* (Vol. 2, pp. 343-348). Academic Press.
- [28] Shon, J., Lee, S. H., Lee, F. Z., Lee, B. D., & Eun, J. B. (2007). The effects of heating on the physicochemical and functional properties of acid whey compared to sweet whey. *Food Science And Biotechnology*, 16(5), 836-842.
- [29] Zargar, M., Jin, B., & Dai, S. (2015). Development and application of reverse osmosis for separation. In *Membrane processing for dairy ingredient separation* (pp. 139–175).
- [30] Broekema, R., & Kramer, G. (2014). *LCA of Dutch semi-skimmed milk and semi-mature cheese*. Netherlands: Blonk Consultants..
- [31] González-García, S., Hospido, A., Moreira, M. T., Feijoo, G., & Arroja, L. (2013). Environmental life cycle assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa. *Journal Of Cleaner Production*, 52, 253-262.
- [32] Kim, D., Thoma, G., Nutter, D., Milani, F., Ulrich, R., & Norris, G. (2013). Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 1019-1035.
- [33] Van Middelaar, C. E., Berentsen, P. B. M., Dolman, M. A., & De Boer, I. J. M. (2011). Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. *Livestock Science*, 139(1-2), 91-99.
- [34] Chwialkowska, J., Duber, A., Zagrodnik, R., Walkiewicz, F., Łężyk, M., & Oleskowicz-Popiel, P. (2019). Caproic acid production from acid whey via open culture fermentation—Evaluation of the role of electron donors and downstream processing. *Bioresource technology*, 279, 74-83.
- [35] Das, B., Sarkar, S., Sarkar, A., Bhattacharjee, S., & Bhattacharjee, C. (2016). Recovery of whey proteins and lactose from dairy waste: A step towards green waste management. *Process Safety and Environmental Protection*, 101, 27-33.
- [36] Dufrene, A., Park, D., Olson, D., & Aryana, K. (2021). Survival of lactobacillus acidophilus in fruit-flavored Greek yogurt acid whey. *Food and Nutrition Sciences*, 12(7), 681-692.
- [37] Luo, N., Ye, A., Wolber, F. M., & Singh, H. (2021). Effect of gel structure on the in vitro gastrointestinal digestion behaviour of whey protein emulsion gels and the bioaccessibility of capsaicinoids. *Molecules*, 26(5), 1379.
- [38] Pandey, A., Srivastava, S., & Kumar, S. (2020). Development and cost-benefit analysis of a novel process for biofuel production from microalgae using pre-treated high-strength fresh cheese whey wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 23963-23980.
- [39] Kasmi, M., Hamdi, M., & Trabelsi, I. (2017). Processed milk waste recycling via thermal pretreatment and lactic acid bacteria fermentation. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 13604-13613.
- [40] Pires, A. F., Marnotes, N. G., Rubio, O. D., Garcia, A. C., & Pereira, C. D. (2021). Dairy by-products: A review on the valorization of whey and second cheese whey. *Foods*, 10(5), 1067.
- [41] Xia, J., He, J., Xu, J., Liu, X., Qiu, Z., Xu, N., & Su, L. (2021). Direct conversion of cheese whey to polyamic acid by mixed culture of *Aureobasidium pullulans* and permeabilized *Kluyveromyces marxianus*. *Bioresource Technology*, 337, 125443.

- [42] Isipato, M. (2021). *Application of microbial electrochemical systems for valorisation of cheese whey in biorefinery framework*.
- [43] Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal Of Cleaner Production*, 140, 766-783.
- [44] Ladha-Sabur, A., Bakalis, S., Fryer, P. J., & Lopez-Quiroga, E. (2019). Mapping energy consumption in food manufacturing. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 270-280.
- [45] Foster, C., Green, K., & Bleda, M. (2007). *Environmental impacts of food production and consumption: final report to the Department for Environment Food and Rural Affairs*.
- [46] Finnegan, W., Goggins, J., Clifford, E., & Zhan, X. (2017). Global warming potential associated with dairy products in the Republic of Ireland. *Journal Of Cleaner Production*, 163, 262-273.
- [47] Brooks, C., Swainson, M., Beauchamp, I., Campelos, I., Ishak, R., & Martindale, W. (2021). Transformational steam infusion processing for resilient and sustainable food manufacturing businesses. *Foods*, 10(8), 1763.
- [48] Allen, M. R., Shine, K. P., Fuglestedt, J. S., Millar, R. J., Cain, M., Frame, D. J., & Macey, A. H. (2018). A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 1(1), 16.
- [49] Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal Of Food Engineering*, 90(1), 1-10.
- [50] Berardy, A., Johnston, C. S., Plukis, A., Vizcaino, M., & Wharton, C. (2019). Integrating protein quality and quantity with environmental impacts in life cycle assessment. *Sustainability*, 11(10), 2747.
- [51] Finnegan, W., Goggins, J., & Zhan, X. (2018a). Assessing the environmental impact of the dairy processing industry in the Republic of Ireland. *Journal of Dairy Research*, 85(3), 396-399.
- [52] Flysjö, A., Thrane, M., & Hermansen, J. E. (2014). Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. *International Dairy Journal*, 34(1), 86-92.
- [53] Ineichen, S., Schenker, U., Nemecek, T., & Reidy, B. (2022). Allocation of environmental burdens in dairy systems: Expanding a biophysical approach for application to larger meat-to-milk ratios. *Livestock Science*, 261, 104955.
- [54] Finnegan, W., Yan, M., Holden, N. M., & Goggins, J. (2018b). A review of environmental life cycle assessment studies examining cheese production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23, 1773-1787.
- [55] Palmieri, N., Forleo, M. B., & Salimei, E. (2017). Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 140, 881-889.
- [56] Feitz, A. J., Lundie, S., Dennien, G., Morain, M., & Jones, M. (2007). Generation of an industry-specific physico-chemical allocation matrix. Application in the dairy industry and implications for systems analysis (9 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12, 109-117.
- [57] Rocha, J. M., & Guerra, A. (2020). On the valorization of lactose and its derivatives from cheese whey as a dairy industry by-product: an overview. *European Food Research and Technology*, 246(11), 2161-2174.
- [58] Asunis, F., De Gioannis, G., Francini, G., Lombardi, L., Muntoni, A., Poletti, A., ... & Spiga, D. (2021). Environmental life cycle assessment of polyhydroxyalkanoates production from cheese whey. *Waste Management*, 132, 31-43.
- [59] Bonnaillie, L. M., & Tomasula, P. M. (2008). Whey protein fractionation. In *Whey Processing, Functionality and Health Benefits* (pp. 15-38).

- [60] Barukčić, I., Lisak Jakopović, K., & Božanić, R. (2019). Valorisation of whey and buttermilk for production of functional beverages—an overview of current possibilities. *Food Technology And Biotechnology*, 57(4), 448-460.
- [61] Lawton, M. R., Dana, L. D., & Alcaine, S. D. (2021). Lactose utilization by *Brettanomyces claussenii* expands potential for valorization of dairy by-products to functional beverages through fermentation. *Current Opinion in Food Science*, 42, 93-101.
- [62] Risner, D., Shayeitz, A., Haapala, K., Meunier-Goddik, L., & Hughes, P. (2018). Fermentation and distillation of cheese whey: Carbon dioxide-equivalent emissions and water use in the production of whey spirits and white whiskey. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 2963-2973.
- [63] Tirloni, E., Vasconi, M., Cattaneo, P., Moretti, V., Bellagamba, F., Bernardi, C., & Stella, S. (2020). A possible solution to minimise scotta as a food waste: A sports beverage. *International Journal of Dairy Technology*, 73(2), 421-428.
- [64] Koushki, M., Jafari, M., & Azizi, M. (2012). Comparison of ethanol production from cheese whey permeate by two yeast strains. *Journal of Food Science And Technology*, 49, 614-619.
- [65] Lovato, G., Augusto, I. M. G., Júnior, A. D. N. F., Albanez, R., Ratusznei, S. M., Etchebehere, C., ... & Rodrigues, J. A. D. (2021). Reactor start-up strategy as key for high and stable hydrogen production from cheese whey thermophilic dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(54), 27364-27379.
- [66] Akan, E., Yerlikaya, O., Akpınar, A., Karagozlu, C., Kinik, O., & Uysal, H. R. (2021). The effect of various herbs and packaging material on antioxidant activity and colour parameters of whey (Lor) cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 74(3), 554-563.
- [67] Chudy, S., Makowska, A., Krzywdzińska-Bartkowiak, M., Piątek, M., Henriques, M., Borges, A. R., ... & Pereira, C. D. (2021). The effect of microparticulated whey protein on the characteristics of reduced-fat cheese and of the corresponding microwave vacuum-dried cheese puffs and finely ground puffs. *International Journal of Dairy Technology*, 74(4), 747-758.
- [68] Lappa, I. K., Papadaki, A., Kachrimanidou, V., Terpou, A., Koulougliotis, D., Eriotou, E., & Kop-sahelis, N. (2019). Cheese whey processing: Integrated biorefinery concepts and emerging food applications. *Foods*, 8(8), 347.
- [69] Wang, G., & Guo, M. (2019). Manufacturing technologies of whey protein products. In *Whey protein production, chemistry, functionality, and applications*, (pp. 13-37).
- [70] Addai, F. P., Lin, F., Wang, T., Kosiba, A. A., Sheng, P., Yu, F., ... & Shi, H. (2020). Technical integrative approaches to cheese whey valorization towards sustainable environment. *Food & Function*, 11(10), 8407-8423.
- [71] Santos, M. I. S., Fradinho, P., Martins, S., Lima, A. I. G., Boavida Ferreira, R. M. S., Pedroso, L., ... & Sousa, I. (2019). A novel way for whey: Cheese whey fermentation produces an effective and environmentally safe alternative to chlorine. *Applied Sciences*, 9(14), 2800.
- [72] Wójciak, K. M., Karwowska, M., & Dolatowski, Z. J. (2014). Use of acid whey and mustard seed to replace nitrites during cooked sausage production. *Meat Science*, 96(2), 750-756.
- [73] Xiong, X., Iris, K. M., Tsang, D. C., Bolan, N. S., Ok, Y. S., Igalavithana, A. D., ... & Vikrant, K. (2019). Value-added chemicals from food supply chain wastes: State-of-the-art review and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 375, 121983.
- [74] Macedo, A., Azedo, D., Duarte, E., & Pereira, C. (2021a). Valorization of goat cheese whey through an integrated process of ultrafiltration and nanofiltration. *Membranes*, 11(7), 477.
- [75] Macedo, A., Bilau, J., Cambóias, E., & Duarte, E. (2021b). Integration of membrane processes for by-product valorization to improve the eco-efficiency of small/medium size cheese dairy plants. *Foods*, 10(8), 1740.

- [76] Sarenkova, I., Sáez-Orviz, S., Ciprovica, I., Rendueles, M., & Díaz, M. (2022). Lactobionic acid production by *Pseudomonas taetrolens* in a fed-batch bioreactor using acid whey as substrate. *International Journal of Dairy Technology*, 75(2), 361-371.
- [77] Dopazo, V., Luz, C., Calpe, J., Vila-Donat, P., Rodriguez, L., & Meca, G. (2022). Antifungal properties of whey fermented by lactic acid bacteria in films for the preservation of cheese slices. *International Journal of Dairy Technology*, 75(3), 619-629.
- [78] Tamošaitis, A., Jaruševičienė, A., Strykaitė, M., & Damašius, J. (2022). Analysis of antimicrobial whey protein-based biocomposites with lactic acid, tea tree (*Melaleuca alternifolia*) and garlic (*Allium sativum*) essential oils for Edam cheese coating. *International Journal of Dairy Technology*, 75(3), 611-618.
- [79] Blais, H. N., Schroën, K., & Tobin, J. T. (2022). A review of multistage membrane filtration approaches for enhanced efficiency during concentration and fractionation of milk and whey. *International Journal of Dairy Technology*, 75(4), 749-760.
- [80] Nielsen, E. N., Skibsted, L. H., Yazdi, S. R., Merkel, A., & Ahrné, L. M. (2022). Improving electrodialysis separation efficiency of minerals from acid whey by nano-filtration pre-processing. *International Journal of Dairy Technology*, 75(4), 820-830.
- [81] Chourasia, R., Phukon, L. C., Abedin, M. M., Padhi, S., Singh, S. P., & Rai, A. K. (2022). Whey valorization by microbial and enzymatic bioprocesses for the production of nutraceuticals and value-added products. *Bioresource Technology Reports*, 19, 101144.
- [82] Costa, C. E., Romani, A., Teixeira, J. A., & Domingues, L. (2022). Resveratrol production for the valorisation of lactose-rich wastes by engineered industrial *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*, 359, 127463.
- [83] Gutiérrez-Hernández, C. A., Hernández-Almanza, A., Hernández-Beltrán, J. U., Balagurusamy, N., & Hernández-Teran, F. (2022). Cheese whey valorization to obtain single-cell oils of industrial interest: An overview. *Food Bioscience*, 50, 102086.
- [84] Hausjell, J., Miltner, M., Herzig, C., Limbeck, A., Saracevic, Z., Saracevic, E., ... & Spadiut, O. (2019). Valorisation of cheese whey as substrate and inducer for recombinant protein production in *E. coli* HMS174 (DE3). *Bioresource technology reports*, 8, 100340.
- [85] Ibarruri, J., & Hernández, I. (2019). Valorization of cheese whey and orange molasses for fungal biomass production by submerged fermentation with *Rhizopus* sp. *Bioprocess And Biosystems Engineering*, 42, 1285-1300.
- [86] Barba, F. J. (2021). An integrated approach for the valorization of cheese whey. *Foods*, 10(3), 564.
- [87] Cheng, Y., Yeboah, G. B., Guo, X., Donkor, P. O., & Wu, J. (2022). Gelling Characteristics of Emulsions Prepared with Modified Whey Protein by Multiple-Frequency Divergent Ultrasound at Different Ultrasonic Power and Frequency Mode. *Polymers*, 14(10), 2054.
- [88] Gentès, M. C., Caron, A., & Champagne, C. P. (2022). Potential applications of pulsed electric field in cheesemaking. *International Journal of Dairy Technology*, 75(2), 270-288.
- [89] Jiang, Z., Gao, Y., Li, J., Wang, K., Ma, C., Sun, D., ... & Hou, J. (2022). Consecutive pH-shift and ultrasound treatment modify the physicochemical properties of whey protein isolate. *International Dairy Journal*, 127, 105211.
- [90] Karim, A., & Aider, M. (2020). Contribution to the process development for lactulose production through complete valorization of whey permeate by using electro-activation technology versus a chemical isomerization process. *ACS Omega*, 5(44), 28831-28843.
- [91] Khaire, R. A., & Gogate, P. R. (2018). Intensified recovery of lactose from whey using thermal, ultrasonic and thermosonication pretreatments. *Journal of Food Engineering*, 237, 240-248.

- [92] Meng, Y., Liang, Z., Zhang, C., Hao, S., Han, H., Du, P., ... & Liu, L. (2021). Ultrasonic modification of whey protein isolate: Implications for the structural and functional properties. *LWT*, 152, 112272.
- [93] Rocha, C. M., Genisheva, Z., Ferreira-Santos, P., Rodrigues, R., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., & Pereira, R. N. (2018). Electric field-based technologies for valorization of bioresources. *Biore-source Technology*, 254, 325-339.
- [94] de Souza, R. R., Bergamasco, R., da Costa, S. C., Feng, X., Faria, S. H. B., & Gimenes, M. L. (2010). Recovery and purification of lactose from whey. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(11), 1137-1143.
- [95] Erdoğan, S. L., Tekgül, Y., & Koç, G. Ç. (2022). Farklı meyve çekirdekleri yağlarının keklerin kalite karakteristikleri üzerine etkisi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2), 342-350.
- [96] Eryılmaz, H., Ince, O. K., & Ince, M. (2022). Comparison of some physical and chemical properties of kefir obtained from different kefir cultures and brands of milk. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2), 468-477.
- [97] Jayaprakasha, H. M., Yoon, Y. C., & Paik, H. D. (2005). Probiotic functional dairy foods and health claims: an overview. *Food Science And Biotechnology*, 14(4), 523-528.
- [98] Zydney, A. L. (1998). Protein separations using membrane filtration: new opportunities for whey fractionation. *International Dairy Journal*, 8(3), 243-250.
- [99] Imtiaz-Ul-Islam, M., Hong, L., & Langrish, T. (2011). CO₂ capture using whey protein isolate. *Chemical Engineering Journal*, 171(3), 1069-1081.
- [100] El-Sayed, M. M., & Chase, H. A. (2011). Trends in whey protein fractionation. *Biotechnology Letters*, 33, 1501-1511.
- [101] Jara, F., & Pilosof, A. M. (2011). Partitioning of α -lactalbumin and β -lactoglobulin in whey protein concentrate/hydroxypropylmethylcellulose aqueous two-phase systems. *Food Hydrocolloids*, 25(3), 374-380.
- [102] de Souza, R. R., Bergamasco, R., da Costa, S. C., Feng, X., Faria, S. H. B., & Gimenes, M. L. (2010). Recovery and purification of lactose from whey. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(11), 1137-1143.
- [103] Chandan, R. C. (2014). Dairy-fermented products. In Clark, S., & Jung, S. (Eds.), *Food processing: Principles and applications* (pp. 405-436). Hoboken, NJ: Wiley.
- [104] Patel, S. R., & Murthy, Z. V. P. (2012). Lactose recovery processes from whey: a comparative study based on sonocrystallization. *Separation & Purification Reviews*, 41(4), 251-266.
- [105] Yamahata, N., Toyotake, Y., Kunieda, S., & Wakayama, M. (2020). Application of multiple sensory evaluations to produce fermented beverages made from sole whey using *Kluyveromyces marxianus*. *International Journal Of Food Science & Technology*, 55(4), 1698-1704.
- [106] Ferreira, A., & Gouveia, L. (2020). Microalgal biorefineries. In I. G. B. dos Santos & M. J. C. da Silva (Eds.), *Handbook of microalgae-based processes and products* (pp. 771-798). London: Academic Press..
- [107] Weide, T., Peitzmeier, J., Wetter, C., Wichern, M., & Bruegging, E. (2021). Comparison of thermophilic and hyperthermophilic dark fermentation with subsequent mesophilic methanogenesis in expanded granular sludge bed reactors. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(57), 29142-29159.
- [108] Srivastava, S., Jhariya, U., Purohit, H. J., & Dafale, N. A. (2021). Synergistic action of lytic polysaccharide monooxygenase with glycoside hydrolase for lignocellulosic waste valorization: a review. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-19.

- [109] Zhang, P., Chen, Y., & Zhou, Q. (2009). Waste activated sludge hydrolysis and short-chain fatty acids accumulation under mesophilic and thermophilic conditions: Effect of pH. *Water Research*, 43(15), 3735-3742.
- [110] Reyhanitash, E., Zaalberg, B., Kersten, S. R., & Schuur, B. (2016). Extraction of volatile fatty acids from fermented wastewater. *Separation and Purification Technology*, 161, 61-68.
- [111] Liu, H., Wang, L., Zhang, X., Fu, B., Liu, H., Li, Y., & Lu, X. (2019). A viable approach for commercial VFAs production from sludge: Liquid fermentation in anaerobic dynamic membrane reactor. *Journal Of Hazardous Materials*, 365, 912-920.
- [112] Athira, S., Mann, B., Sharma, R., Pothuraju, R., & Bajaj, R. K. (2021). Preparation and characterization of iron-chelating peptides from whey protein: An alternative approach for chemical iron fortification. *Food Research International*, 141, 110133.
- [113] Meng, Y., Liang, Z., Zhang, C., Hao, S., Han, H., Du, P., ... & Liu, L. (2021). Ultrasonic modification of whey protein isolate: Implications for the structural and functional properties. *LWT*, 152, 112272.
- [114] Henriques, M. H. F. (2013). *Recovery and application of whey proteins in conventional and non-conventional food systems* (Doctoral dissertation, Universidade de Coimbra, Portugal).
- [115] Torok, V. A., Luyckx, K., & Lapidge, S. (2021). Human food waste to animal feed: Opportunities and challenges. *Animal Production Science*, 62(12), 1129-1139.
- [116] Talbott, T. C. (2022). Extended Producer Responsibility: Opportunities and challenges for waste pickers. *Social Contracts and Informal Workers in the Global South*, (pp. 126–143). Oxford: Oxford University Press..
- [117] Momete, D. C. (2020). A unified framework for assessing the readiness of European Union economies to migrate to a circular modelling. *Science of the Total Environment*, 718, 137375.
- [118] Garske, B., Heyl, K., Ekardt, F., Weber, L. M., & Gradzka, W. (2020). Challenges of food waste governance: An assessment of European legislation on food waste and recommendations for improvement by economic instruments. *Land*, 9(7), 231.
- [119] Granato, D., Carochio, M., Barros, L., Zabetakis, I., Mocan, A., Tsoupras, A., ... & Pimentel, T. C. (2022). Implementation of sustainable development goals in the dairy sector: Perspectives on the use of agro-industrial side-streams to design functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 128-139.
- [120] Roufou, S., Griffin, S., Katsini, L., Polańska, M., Van Impe, J. F., & Valdramidis, V. P. (2021). The (potential) impact of seasonality and climate change on the physicochemical and microbial properties of dairy waste and its management. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 1-10.