



FARKLI PEYNİR ÇEŞİTLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

İpek Gülçin Uysal¹, Neslihan Çolak Güneş^{1,3}, Nurcan Koca^{2,3*}

¹ Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Bornova, İzmir, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Müh. Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

³ Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemleri Anabilim Dalı, Bornova, İzmir, Türkiye

Geliş / Received: 14.05.2022; Kabul / Accepted: 21.09.2022; Online baskı / Published online: 19.10.2022

Uysal, İ.G., Çolak-Güneş, N., Koca, N. (2022). Farklı peynir çeşitlerinin yaşam döngüsü analizi. *GIDA* (2022) 47 (6) 941-961 doi: 10.15237/ gida.GD22062

Uysal, İ.G., Çolak-Güneş, N., Koca, N. (2022). *Life cycle analysis of various cheese types. GIDA* (2022) 47 (6) 941-961 doi: 10.15237/ gida.GD22062

ÖZ

Nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve ormanların azalması, dünyada hem ekolojik hem sağlıkla ilgili olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Tarım-gıda sanayii tüm dünyadaki sera gazı emisyonlarının üçte birinden sorumludur. Bu nedenle, gıda ürünlerinin çevresel etkilerinin incelenerek üretimin daha sürdürülebilir hale getirilmesi oldukça önemlidir. Süt sektöründe hem dünya genelinde hem de ülkemizde peynir üretim hacminin oldukça fazla olması, süt endüstrisindeki sürdürülebilirliğin peynir üretimi üzerinden değerlendirilebilmesinin önemini vurgulamaktadır. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), ürünlerin ve süreçlerin çevresel etkilerini inceleyen, küresel olarak kabul edilen, ISO tarafından standartlaştırılmış bir yöntemdir. Bu derleme çalışmasında, dünyada üretilen farklı peynir çeşitlerinin çevresel etkilerinin YDA ile incelendiği çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Çiğ süt üretimi, başta küresel ısınma potansiyeli olmak üzere pek çok çevresel etki kategorisinden sorumlu olarak ilk sırada yer alırken; arkasından enerji tüketiminin geldiğini ve ambalajlama, nakliye ve tüketici kullanımı gibi basamakların çoğunlukla minimum düzeyde katkısı olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca, peynir üretiminin çevresel etkilerinin azaltılması için çeşitli öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), peynir, sürdürülebilirlik, karbon ayak izi

LIFE CYCLE ANALYSIS OF VARIOUS CHEESE TYPES

ABSTRACT

Overpopulation, technological developments and deforestation have ecological and health consequences for the world. The agro-food industry is responsible for one-third of the global greenhouse gas emissions. So, it is crucial to make this industry more sustainable by examining the environmental effects related to food products. The fact that cheese production volume is high in the dairy industry, emphasizes the importance of evaluating the sustainability of cheese production in the dairy industry. Life Cycle Analysis (LCA), a globally accepted and ISO standardized method, examines the environmental impact of products and processes. In this study, studies which evaluated the environmental effects of cheese production in the world by LCA were reviewed. This study

* Yazışmalardan sorumlu yazar/Corresponding Author

✉: nurcan.koca@ege.edu.tr,

☎: (+90) 232 311 3029

☎: (+90) 232 342 7592

İpek Gülçin Uysal; ORCID no: 0000-0002-0225-2311

Neslihan Çolak Güneş; ORCID no: 0000-0002-0868-0448

Nurcan Koca; ORCID no: 0000-0002-0733-4500

reveals that raw milk production has the greatest impact in many impact categories and is followed next by energy consumption. Packaging, transportation and consumer use stages primarily affect the impact categories minimally. In addition, suggestions to reduce environmental impacts of cheese production have been presented.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), cheese, sustainability, carbon footprint

GİRİŞ

Nüfusun hızlı bir şekilde artması, teknolojiye gelişmeler, aşırı sanayileşme, ormanların azalması gibi değişimlerin doğurduğu başta iklim değişiklikleri olmak üzere ciddi çevresel sorunlar; insan sağlığını tehdit etmekte olup, günümüz bilim insanlarının çalışma odağındadır. 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu tarafından yayınlanan raporda sürdürülebilirlik “*bugünkü neslin ihtiyaçlarının gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmelerini tehlikeye atmaksızın karşılanması*” şeklinde tanımlanmıştır. Sosyal, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin eş zamanda gerçekleştiği durumlarda sürdürülebilirlikten bahsedilebilir.

Gıda endüstrisinin en önemli ve en büyük kollarından biri süt endüstrisidir. Bu endüstri alanında çiğ süt birçok süt ürününe (içme sütü, peynir, yoğurt, tereyağı, süt tozu vb.) işlenmektedir. Süt ürünleri yüksek besin değerleri ve enerji içerikleriyle protein, yağ, laktoz, kalsiyum, magnezyum, selenyum, B2, B5 ve B12 vitaminlerinin kaynağıdır. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, her ne kadar süt ürünleri pahalı olarak algılsa da et, kanatlı, balık ve sebze-meyve ürünlerine kıyasla 100 kcal başına düşen maliyetin süt ürünlerinde daha düşük olduğu bildirilmiştir (Westenhöfer, 2013). Bunun yanında, son yıllarda küresel boyutlarda meydana gelen ekonomik gelişmelerle birlikte kişi başına düşen süt ve süt ürünleri tüketimi artmış ve bu durum süt endüstrisi ürünlerinin ulusal ve uluslararası ticaretinin de artmasıyla sonuçlanmıştır (Terin, 2014). Günümüz süt endüstrisinde dünyanın başta gelen ihracatçıları Yeni Zelanda, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri iken en büyük ithalatçısı Çin’dir (FAO ve OECD, 2020). Sosyal bağlamda ise gelişmiş, gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkeler için süt sektörü sayısız iş fırsatı sunmaktadır (Dairy Australia, 2015). Ancak, süt ürünleri üretiminde hayvansal hammadde, yoğun enerji ve su

kullanımı ve ortaya çıkan atıklar nedeniyle olumsuz çevresel etkiler söz konusudur. Bu sebeplerden dolayı, bu sektördeki çevresel sürdürülebilirlik son yıllarda gündemde olan önemli bir konu başlığıdır (Finnegan vd., 2018a).

Süt ve süt ürünlerine olan talep dünya genelinde her geçen gün artmaktadır. 2019 yılında dünya süt üretiminin yıllık %1.3 artarak 852 Mt’a ulaştığı görülmekle birlikte önümüzdeki 10 yıllık süreçte bu sayının yıllık 997 Mt’a çıkması beklenmektedir (FAO ve OECD, 2020). Çiğ sütün hammadde olarak kullanıldığı ürünler çok çeşitli olup, kullanılan sütlerin %81’i inek, %15’i manda ve %4’ü keçi, koyun ve deve sütü şeklinde sıralanmaktadır (Cabral vd., 2020). Elde edilen sütün büyük bir kısmı işletmelerce içme sütü, peynir, yoğurt vb. ürünlere işlenmekte olup, bu operasyonlar dahilinde yüksek miktarlarda enerji ve su tüketimleri gerçekleşmektedir. Bu tüketim hem insan sağlığını hem de doğal dengeyi doğrudan veya dolaylı şekilde etkileyerek çevresel tahribata sebep olmaktadır.

Ürünlerin ve proseslerin çevresel etkilerinin göstergesi olarak ortaya atılan ayak izi kavramı sürdürülebilirlikle iç içe olup, 3 temel alt başlıktan oluşmaktadır: Ekolojik ayak izi, karbon ayak izi ve su ayak izi. Ekolojik ayak izi kullanılan kaynakları üretmek için ihtiyaç duyulan üretken toprakların toplam alanını ve dünyanın neresinde olursa olsun toprağın bulunduğu yerde, tanımlanmış bir nüfus tarafından üretilen atıkları sindirmek için gereken alanı ifade etmektedir (Dam vd., 2017). Karbon ayak izi, canlıların faaliyetleri sonucu oluşan sera gazı miktarının CO₂ eşd olarak ton cinsinden belirlenmesidir (Fakher, 2019). İnsan faaliyetlerine bağlı karbon emisyonları incelendiğinde hayvancılık sektörü çok büyük yer tutmaktadır. FAO (2022) verilerine göre 2010 yılında hayvancılık tedarik zinciri toplam 8.1 Gt CO₂ eşd emisyon gerçekleştirmiştir. Su ayak izi ise, yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerle bağlantılı su miktarı şeklinde tanımlanmıştır (ISO, 2014). Süt

endüstrisi besinsel, ekonomik ve sosyal yararlarının yanında tüm gıda endüstrisinin en fazla ayak izine sahip koludur (Munir vd., 2014). Reijnders ve Soret (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada vejetaryen olmayan besinlerin çevresel etkilerinin vejetaryen olanlara kıyasla 1.5-2 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, süt endüstrisindeki peynir üretiminin çevresel etkilerinin taşıdığı öneme dikkat çekmektedir. Süt endüstrisinin çevresel etki alanlarından bazıları asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, arazi kullanımı ve küresel ısınma potansiyelidir. Tüm bunların içinde iklim değişikliğine etki etmesi sebebiyle küresel ısınma potansiyeli ve ona bağlı olarak sera gazı emisyonu en dikkat çeken etki kategorisidir (Mottet vd., 2017). Buna ek olarak, işletmelerdeki elektrik ve fosil yakıt tüketimi; iklim değişikliği, giderek artan enerji talebi, insan toksisitesi ve ekotoksikite ile doğrudan bağlantılıdır. Ayrıca ürünlerin dağıtımı/taşınması fotokimyasal oksidan oluşturma potansiyeli ile ve yerinde atık su uygulamaları da ötrofikasyon potansiyeli ile ilişkilendirilmektedir (Riva vd., 2017).

Son yıllarda sürdürülebilirlik üzerine tasarlanan metot ve teknikler gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, ürünlerin ve proseslerin çevresel etkilerinin incelendiği ve dünya çapında kabul görmüş en kapsamlı ve bütüncül yöntem Yaşam Döngüsü Analizidir. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), ISO 14040 ve 14044 kapsamında ürünlerin yaşam döngüleri boyunca sahip oldukları çevresel yükleri inceleyen bilimsel bir metodolojidir (ISO, 2006a,b). Başka bir ifadeyle ürünlerin, proseslerin ve hizmetlerin sera gazı emisyonu ve diğer çevresel etkilerinin ölçümünde sıkça tercih edilen bütünsel bir metottur. YDA metodolojisi, ürünlerin yaşam döngüleri boyunca tüm girdi ve çıktılarn hesaplanması için tutarlı standartları kapsar (Milani vd., 2011).

Süt sektörü dünyanın en önemli tarım-gıda endüstrilerinden biridir. Süt endüstrisinin çevresel etkilerinin belirlenmesi; bu endüstrinin diğerleri arasındaki yeri, ekonomik ve toplumsal etkileri düşünüldüğünde birçok sektöre göre daha fazla önem arz etmektedir. Nitekim son yıllarda süt

endüstrisinin inovatif pazarda üst düzeylerde yer alması ve organik süt üretimi gibi alanlara talebin artması bu gerekliliği daha da ön plana çıkarmaktadır. Peynir, yüksek besin değerine sahip olmasının yanı sıra sütün değerlendirilmesinde stratejik bir üründür. Ulusal Süt Konseyi'nin 2021 yılında yayınladığı rapora göre, 2020 yılında ülkemizde toplam 767 000 ton peynir üretimi gerçekleşmiştir.

Üçtuğ (2019) tarafından gerçekleştirilen derlemede peynirin diğer süt ürünlerine kıyasla (süt, yoğurt, tereyağı vb.) çevresel etki kategorilerine en fazla etki ettiği bildirilmiştir. Bu durum, süt sektöründe peynir üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak ve çevresel etkilerini minimize edebilmek adına YDA çalışmaları üzerine odaklanılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu çalışmada, dünyada farklı peynir çeşitleri için gerçekleştirilen YDA çalışmaları detaylı olarak incelenerek peynir üretimleri sonucu oluşan çevresel etkiler ortaya konulmuştur.

YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

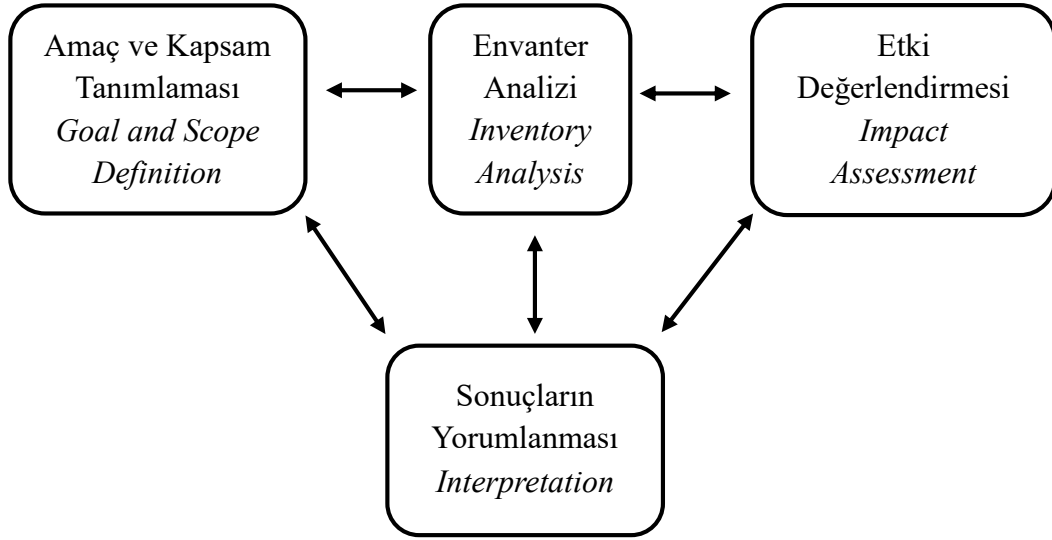
YDA dünya çapında kabul görmüş, standartlara bağlanmış ve ürünler ile proseslerin çevresel etkilerinin detaylıca incelendiği bir metottur. Çevresel etkiler hammadde alımından üretime, ürünün kullanımından yaşam sonu değerlendirmelerine ve geri dönüşüm ile nihai bertarafına kadar tüm basamakları kapsar. YDA ile bir ürün sisteminin çevresel etkilerini incelemek mümkün olup ekonomik ve sosyal etkiler kapsam dışında yer alır. Hem doğal çevre hem de insan sağlığı ve kaynaklar tüm boyutlarıyla incelendiğinden, YDA oldukça kapsamlı bir yöntemdir. Yaşam Döngüsü Analizi standartları ISO 14040 ve ISO 14044 çerçevesinde belirlenmiştir. Bir ürünün YDA metodolojisi Şekil 1'de görüldüğü gibi 4 temel basamaktan oluşur (ISO, 2006a).

Amaç ve Kapsam Tanımlaması

Yaşam Döngüsü Analizinde amaç ve kapsam tanımlaması, çalışmanın gerçekleştirilme ve elde edilecek sonuçların kullanılma amaçlarının belirtilmesini kapsar. Bu basamakta fonksiyonel birimler, sistem sınırları, uygulanacak tahsis

metotları, veri kaynakları, varsayımlar, sınırlamalar ayrıntılı olarak belirtilir. Ayrıca amaçlanan uygulamalar, hedef kitlesi ile incelenecek sistemin tanımlamasından oluşturulacak çalışmanın formatına kadar tüm detaylara yer verilir (ISO, 2006b). YDA kapsamında belirlenen sistem sınırları beşikten mezara, beşikten kapıya veya kapıdan kapıya olabilir. Beşikten mezara ifadesi

“bir ürünün üretimi için kullanılan hammaddelerin tedarikinden kullanımı, kullanım ömrü sonunda işlenmesi, geri dönüşümü ve nihai bertarafına kadar hayatı” şeklinde tanımlanmaktadır (ISO, 2006a). Beşikten kapıya ifadesi hammadde tedariki, nakliye, üretim aşamalarını kapsarken, kapıdan kapıya ifadesi üretim sürecini ifade eder.



Şekil 1. Yaşam Döngüsü Analizi basamakları
Figure 1. Phases of Life Cycle Assessment

Envanter Analizi

Envanter analizi, çalışılan sistem dahilindeki tüm girdi ve çıktıların envanterinin oluşturulmasını kapsar. Oluşturulan envanter, çalışmanın hedefinin gerçekleştirilmesi için gerekli tüm verileri içermelidir. Bu veriler, Şekil 2’de görüldüğü gibi temel olarak enerji ve hammadde girdileri; oluşan ürünler, yan ürünler ve atıklar; suya ve toprağa tüm deşarjlar ve tüm diğer çevresel boyutlar şeklinde sıralanabilir (ISO, 2006a). Bunlar haricinde hammadde üretimleri ve işletmeye getirilme şekilleri, getirilme mesafeleri, bu süreçte tüketilen yakıt, elektrik vb. miktarları; işletmede üretilen ürünün tüketiciye ulaştırılması sürecinde gerçekleştirilen tüm operasyonlar ile temizlik süreçlerinde tüketilen kimyasal çeşitleri ile miktarları da incelenmesi gereken verilere dahil edilir. Elde edilen verilerin tümü belirlenen fonksiyonel birim bazında incelenmelidir.

Etki Değerlendirmesi

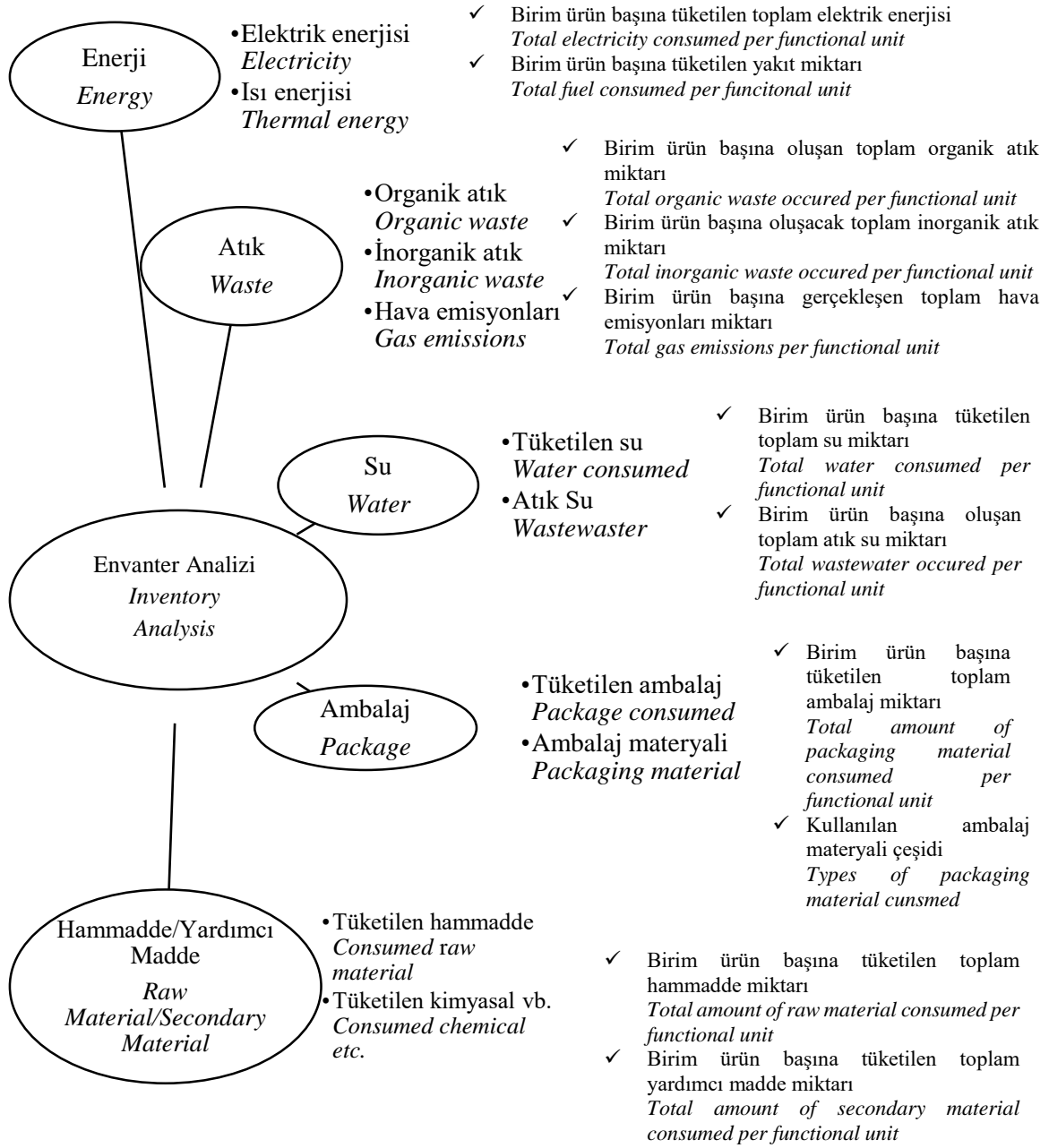
Etki değerlendirme, çevresel etkilerin önemini vurgulandığı ve envanter analizi sonuçlarını kapsayan ve sonuçların yorumlanması için gerekli bilgi kaynağı olan, YDA metodolojisinin üçüncü basamağıdır. Bu basamakta envanter verilerinin, belirli çevresel etki kategorilerinin kategori göstergeleriyle birleştirilmesi sağlanır. Etki değerlendirmesinin zorunlu ve isteğe bağlı unsurları mevcuttur (ISO, 2006a).

Zorunlu unsurlar;

- Etki kategorileri, kategori göstergeleri ve nitelendirme modellerinin seçimi,
- Envanter analizi sonuçlarının sınıflandırılması,
- Kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması olarak sıralanabilir.

Etki değerlendirmesinin isteğe bağlı unsurları ise;

- Kategori gösterge sonuçlarının büyüklüğünün, referans bilgilere göre hesaplanması,
- Gruplandırma
- Önem belirleme olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2. YDA basamaklarından olan Envanter Analizi için gereken verilere örnekler

Figure 2. Examples of data required for Inventory Analysis from LCA

YDA çalışmalarında incelenen etki kategorileri şu şekilde sıralanabilir:

-Küresel Isınma Potansiyeli

Karbon ayak izi, iklim değişikliği ve sera gazı emisyonları küresel ısınma potansiyeli kategorisi altında incelenmektedir. Fonksiyonel birim başına meydana gelen sera gazı emisyonu (CO₂, CH₄, N₂O vb.) miktarı olarak tanımlanmakta olup, kg CO₂eq birimi ile ifade edilmektedir (ISO, 2006b). Meydana gelen sera gazı emisyonları küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir. Yakıt kullanımı ve ısı enerjisi tüketimi ile doğrudan bağlantılıdır.

-Asidifikasyon Potansiyeli

Çevrede asitlik etkisine ve asit yağmurlarına sebep olan emisyonların (sülfür oksitler, oksijen oksitler, amonyak vb.) ölçüsü şeklinde tanımlanmakta olup, kg SO₂eq birimi ile ifade edilmektedir (Reijnders ve Soret, 2003; Muthu, 2014).

-Ötrofikasyon Potansiyeli

Arazilerde gübre kullanımı gibi çevrede ötrofikasyona sebep olan emisyonların ölçüsü şeklinde tanımlanmaktadır. Genellikle doğrudan fosfat, nitrat, nitrojen, amonyak ve kimyasal oksijen gereksinimi yüksek madde emisyonları sonucunda oluşur (Garcia, 2013b). Ötrofikasyon sonucunda sucul fauna ve florada bulunan pek çok canlı türünde toplu kayıplar gerçekleşir. Alglerin ve siyanobakterilerin aşırı üremesi sonucunda fazla besin oluşumuyla ortaya çıkan ötrofikasyon, çevresel tahribatın yanında büyük ekonomik kayıplara da sebep olmaktadır (Morelli vd., 2018). Temiz su ötrofikasyonu fosfor emisyonları sonucunda oluşmakta olup, kg P_{eq} birimi ile ifade edilmektedir (Kim, 2014).

-Fotokimyasal Oksidan Oluşum Potansiyeli

Fotokimyasal ozon oluşumu bu kategori altında incelenmektedir. Ekosistemi, insan sağlığını ve mahsulleri etkileyen reaktif maddelerin, özellikle de ozon oluşumunun ölçüsü şeklinde tanımlanmakta olup, kg metan olmayan uçucu organik maddeler (kg NMVOC) birimi ile ifade edilmektedir. Özellikle nakliye ve üretim basamaklarına bağlı yanma tepkimeleri sonucu gerçekleşen emisyonlardır (Kim vd., 2014). Atmosferde nitrojen oksitler ve uçucu organik maddeler bulunduğu, güneş ışığı varlığında

ozon oluşumu gerçekleşir. Düşük miktarlarda ozon üretimi mahsullerde zarara ve başta astım olmak üzere pek çok solunum rahatsızlığına yol açmaktadır (Üçtuğ vd., 2019).

-Ozon Tabakası Delinme Potansiyeli

Ozon tabakasını delme potansiyeline sahip gaz emisyonlarının ölçüsü şeklinde tanımlanmakta olup, kg CFC-11_{eq} (kloroflorokarbon) birimi ile ifade edilmektedir. Ozon tabakasının zarar görmesi sonucunda ultraviyole (UV) ışınlarının atmosfere ulaşması azaltılamaz ve kanserojenik etkiye sahip UVB ışınları yerküre yüzeyine ulaşır (Üçtuğ vd., 2019).

-Ekotoksosite

Temiz su, deniz ve kara ekotoksitesitesi bu kategori altında incelenmektedir. Ekotoksik madde konsantrasyonlarının artmasıyla canlı türlerinin etkilenmesini ifade eder (Fornasari, 2013). Kimyasal durum doğrudan emisyon noktaları bazında potansiyel toksik materyal emisyonlarının ölçüsü şeklinde tanımlanmakta olup, kg 1,4 diklorobenzen (kg 1,4-DCB_{eq}) birimi ile gösterilmektedir. Ağır metal emisyonları ile pestisit ve herbisit kullanımlarıyla ilişkili olduğu söylenebilir (Doublet vd., 2013).

-İnsan Toksisitesi

İnsan sağlığı, kanserojen ve kanserojen olmayan insan sağlığı başlıkları bu kategori altında incelenmektedir. Materyallerin kimyasal içerikleri ve üretim akışlarındaki doğrudan emisyon noktaları kapsamındaki toksisite potansiyellerinin ölçüsü şeklinde tanımlanmakta olup, kg 1,4-DCB_{eq} birimi ile gösterilmektedir. İnsan toksisitesi ve ekotoksosite üzerindeki etkiler çoğunlukla elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır (kömür madenciliği faaliyetlerine bağlı olarak gerçekleşen arsenik ve diğer ağır metal emisyonları) (Kim vd., 2013).

-Kaynakların Kullanımı

Doğal kaynakların yenilenebilmelerinden daha hızlı bir şekilde tüketilmesini ifade eder ve kg Sb_{eq} birimi ile ifade edilmektedir (Mittal ve Gupta, 2015; Lovarelli vd., 2019). Doğal kaynaklar yenilenebilir veya yenilenemez olabilir. Kaynakların kullanımı genellikle çiftçilik,

balıkçılık, madencilik vb. aktiviteler ile doğrudan ilişkilidir.

-Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı veya arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak damarlı bitki türlerindeki kayıpları ifade etmekte olup, m² a birimi ile gösterilmektedir (Fornasari, 2013).

-Enerji Tüketimi

Kümülatif enerji gereksinimi bu kategori altında incelenmektedir. Belirlenen sistem sınırları içerisinde tüketilen toplam enerji miktarını, çoğunlukla elektrik ve ısı enerjisi miktarını ifade etmekte olup, MJ birimi ile gösterilmektedir. Doğal gaz, kömür vb. doğrudan kullanımıyla ilişkilidir.

-Su Tüketimi

Belirlenen sistem sınırları içerisinde gerçekleşen toplam su tüketimini ifade etmekte olup, m³ birimi ile gösterilmektedir.

-Temiz Su Tükennesi

Aynı zamanda su ayak izini ifade eder. Su ayak izi, ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevresel etkilerle bağlantılı su miktarı şeklinde tanımlanmış olup, m³ birimi ile gösterilmektedir (ISO, 2014).

-Abiyotik Faktörlerin Tüklenme Potansiyeli

İnorganik kaynakların (mineraller, torf, kil vb.) tükennesinin ölçüsü şeklinde tanımlanmakta olup, kg Sb_{esd} birimi ile ifade edilmektedir (Biron, 2016).

-İyonlaştırıcı Radyasyon Potansiyeli

İyonlaştırıcı radyasyon, atomlar tarafından elektromanyetik dalgalar (gama, X-Ray) veya parçacıklar (nötronlar, beta, alfa) şeklinde yayılan bir enerji çeşididir (WHO, 2016). İyonlaştırıcı Radyasyon Potansiyeli etki kategorisi kg U_{235esd} birimi ile ifade edilmektedir (Pollaro vd., 2020). Elektrik üretimi için nükleer reaktörlerde kullanılan radyoaktif maddelerden kaynaklanan iyonize radyasyon da bu kategori dahilinde incelenmektedir (Canellada vd., 2018).

-Partikül Madde Oluşum Potansiyeli

Partikül madde oluşumu, atmosfere NO_x, NH₃, SO₂ veya PM_{2.5} emisyonları ile başlayıp bu

emisyonların havada dönüşümünü içeren reaksiyonlarla devam eder. PM_{2.5}'in insanoğlu tarafından solunmasının ölümlerle sonuçlanabilen sağlık sorunlarına yol açtığı belirtilmektedir (Zelm vd., 2016). Partikül Madde Oluşum Potansiyeli etki kategorisi kg PM_{2.5 esd} birimi ile ifade edilmektedir.

Sonuçların Yorumlanması

Sistem sınırları dahilinde gerçekleştirilen tüm çalışmaların ve elde edilen sonuçların tanımlandığı, nitelendirildiği, denetlendiği ve değerlendirildiği prosedür olarak Yaşam Döngüsü Analizinin son basamağıdır. Yorum aşaması, amaç ve kapsam tanımlaması basamağı ile uyumlu olarak açıklamalar yapmak ve tavsiyelerde bulunmak için kullanılan sonuçları ortaya koyar (ISO 2006a).

PEYNİR ÜRETİMLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Süt endüstrisi genelinde olduğu gibi peynir üretimi özelinde de su ve enerji tüketimi, atık yönetimi, kaynakların kullanımı vb. gibi konular, üretime bağlı çevresel etkilerin belirlenmesinde incelenmesi gereken konu başlıklarıdır. Üretim süreçleri boyunca meydana gelen CO₂ ve sera gazı emisyonları, çevresel etkilerle bağlantılı su miktarları ve tüketilen kaynakların üretimi ile atıkların bertarafı için gerekli kara ve su alanları, başka bir deyişle karbon ayak izi, su ayak izi ve ekolojik ayak izi kavramları, peynir üretimlerinin sebep olduğu çevresel etkilerin belirlenmesi noktasında oldukça önemlidir.

Peynir üretiminde ortak aşamalar olmakla birlikte, her peynirin üretimi kullanılan süt çeşitliliği ve miktarı, su tüketimi, uygulanan sıcaklık farklılıkları, farklı olgunlaştırma süre ve koşulları gibi kendine özgü nitelikler ve üretim aşamaları da içermektedir. Buna bağlı olarak peynir çeşitliliği bazında çevresel etkiler de birbirinden farklılıklar göstermektedir. Süt üretiminin dünya genelinde insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık %4'ünü oluşturduğu bilinmesine karşın çiğ sütün ve işlendiği ürünlerin karbon ayak izi coğrafya, hayvan türü, üretim koşulları gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişkendir (Laca vd., 2020). Çevresel kaygı ve düzenlemelerle süt endüstrisinin sebep olduğu çevresel etkilerin

düzenlenmesine çalışılmaktadır. Pek çok ülkenin gündeminde süt sektörünün sebep olduğu sera gazı emisyonlarının azaltılabilmesi için yapılabilecek düzenlemeler yer almaktadır. Hollanda, Danimarka ve Almanya gibi ülkelerde yapılan düzenlemeler sayesinde çiftliklerden kaynaklanan nitrojen ve fosfat emisyonlarının yarattığı çevresel etki azaltılmakta olup, bu durum dünya genelinde bahsi geçen konu üzerine yaratıcı ve etkili çözümler bulunması yönünde bir rekabet oluşturmaktadır (FAO ve OECD, 2020). Enerji ve su tüketimlerinin yanında, peynir üretimi sonucu oluşan peynir altı suyu oldukça ciddi çevresel etkilere sebep olmaktadır. Herhangi bir arıtıma tabi tutulmayan peynir altı suyu, evsel atık suyun yaklaşık 100 katı fazla organik içeriğe sahiptir (Gosalvitr, 2019). Pek çok akademik çalışmada peynir altı suyunun çeşitli işlemler neticesinde biyogaz ile elektrik ve ısı enerjilerine dönüştürülebileceği görülmektedir.

Dünya genelinde en fazla peynir tüketimi Avrupa ve Kuzey Amerika'da gerçekleşmektedir (FAO ve OECD, 2020). Peynir üretimlerini ele alan Yaşam Döngüsü Analizi çalışmalarının büyük kısmının da bu bölgelerde yapıldığı görülmektedir. Yaşam Döngüsü Analizi uygulanırken, ürünler arasındaki pay göz önünde bulundurulması gereken bir husustur. ISO 14044 standartlarına göre belirli bir ürüne ait tüm girdi ve emisyonlar, sistemi mümkün olduğunca alt sistemlere ayırarak paylaştırılmalıdır (Finnegan vd., 2018b). Villegas vd. (2012) tarafından yayınlanan çalışmada, küresel ısınma potansiyeli gibi etki kategorileri üzerinde tahsis metodunun oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Fakat peynir üretiminde ürünler ve yan ürünler arasında ortak prosesler bulunduğu için alt sistemlere ayırarak tahsis metodunun uygulanmasında sorunlar yaşanmaktadır. Bu noktada sistem genişlemesi, fiziksel tahsis, fizikokimyasal tahsis gibi metotlar uygulanabilir (ISO, 2006b). Kullanılan tahsis metoduna bağlı olarak peynir üretim süreci sırasında tüketilen enerji miktarı değişiklik gösterebilmektedir (Villegas vd., 2012). Buna ek olarak malzeme seçimi ve kullanım miktarına bağlı olarak ambalajlama da çevresel etkileri yadsınamayacak bir başlıktır.

Süt endüstrisinde gerçekleştirilmiş YDA çalışmaları incelendiğinde, çalışmaların büyük çoğunluğunda en az bir peynir çeşidinin bulunduğu göze çarpmaktadır. Bu durumun en önemli sebebi, her bir peynir üretiminin bulunduğu coğrafyaya ait özellikleri yansıtarak kendine özgü özellikler göstermesi, dolayısıyla her peynir çeşidinin üretim sürecinde birbirinden farklı çevresel etkilere sebep olmasıdır. Peynirler üretildikleri coğrafyaya ait özellikler taşımakta ve bu özellikleri yansıtmaktadırlar. Ulusal Süt Konseyi'nin Dünya ve Türkiye'de Süt İstatistikleri Raporu'nda (2021) dünya genelinde 2000-4000 çeşit peynir üretimi gerçekleştirildiği öngörülmektedir. Her bir peynir türünün kendine ve bulunduğu coğrafyaya has özellikler taşıdığı göz önünde bulundurulduğunda, peynir üretimlerinin çevresel etkilerinin incelenmesinin bu denli dikkat çekmesi sağlam temellere oturmaktadır.

Dünyanın çeşitli bölgelerinde üretilen farklı türdeki peynirler için yapılmış olan Yaşam Döngüsü Analizi çalışmaları ve küresel ısınma potansiyeli açısından kıyaslamaları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgede, dünyada kabul edilen en yaygın çevresel etki kategorisi olan karbon ayak izinin birim peynir miktarı için karşılaştırılabilmesi amaçlanmıştır. Seçilen fonksiyonel birim nedeniyle kıyaslanabilir olmayan çalışmalara bu çizelgede yer verilmemiş, metin içinde değinilmiştir. Çalışmaların %95'inde peynir üretimlerinin çevresel etkilerinin incelenmesine küresel ısınma potansiyeli etki kategorisinin dahil edildiği görülmektedir. Karbon ayak izi, iklim değişikliği ve sera gazı emisyonları bu kategori altında incelenmiştir.

YDA etki değerlendirmesi, çeşitli yazılımlar yardımıyla yapılmaktadır. Bunlar arasında SimaPro, GaBi, openLCA, Enviance, Earthsmart ve Umberto sayılabilir. openLCA, GaBi ve SimaPro yazılımları dünya genelinde akademik çalışmalarda oldukça yaygın kullanılmaktadır. Çizelge 1 incelendiğinde peynir üretimlerinin YDA çalışmaları için en fazla SimaPro yazılımının kullanıldığı görülmektedir. Bu yazılım, ürün ve hizmetlerin çevresel performansını ortaya koyan, hem özel sektörde hem de akademik alanda

Peynir üretimlerinin yaşam döngüsü analizi

kullanılan bir araçtır. GaBi ise YDA, Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi, Yaşam Döngüsü Raporlaması gibi pek çok hizmetin sunulduğu; içinde kendi veri tabanlarını da barındıran bir araçtır. Bunların yanında openLCA çeşitli veri tabanlarının entegre edilebildiği ve YDA

uygulamaları için tasarlanmış bir araçtır. Bu yazılımların yanında Ecoinvent veri tabanının da sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ecoinvent, dünya genelinde çevresel verilerin desteklenerek kullanımının teşvik edildiği bir veri tabanıdır.

Çizelge 1. Peynir üretimlerinin incelendiği Yaşam Döngüsü Analizi çalışmalarında incelenen etki kategorileri ve Küresel Isınma Potansiyeli açısından kıyaslanması (Fonksiyonel Birim: 1 kg peynir)
 Table 1. Impact categories examined in Life Cycle Assessment studies analyzed cheese production and its comparison in terms of global warming potential (Functional Unit: 1 kg cheese)

Peynir Adı Cheese Type	Süt Türü Milk Type	Ülke Country	Sınır Boundary	Program & Veritabanı Software & Database	Etki Kategorileri Impact Categories														Kaynak Reference		
					GWP	AP	EP	RD	EC	POCP	ET	LU	WU	ADP	ODP	HT	FD	IR		PMF	
Hushallsost Angsgarden	İnek Cow	İsveç Sweden	B-M	Literatür Literature	8.80	X	X	X	X	X	X				X				Berlin, 2002		
Peynir Cheese	İnek Cow	İsveç Sweden	B-M	Literatür Literature	10.70		X			X									Berlin vd., 2008		
Yarı-sert peynir Semi-hard cheese	İnek Cow	Hollanda Holland	B-K	Ecoinvent	8.50				X			X	X						Middelaar vd., 2011		
Mahon-Menorca	İnek Cow	İspanya Spain	K-K	GaBi 4.0	0.80		X					X							Sanjuan vd., 2011		
Çedar Cheddar	İnek	ABD USA	K-K	GaBi 2008 Ecoinvent 2007 NREL 2008	0.80				X										Villegas vd., 2012		
Krema peyniri Cream cheese	İnek Cow	Romanya Romain	B-K	Provac Impex SRL Ecoinvent data v2.2 Literatür ESU	3.24														Doublet vd., 2013		
Taze peynir Fresh cheese					3.24																
Yarı yumuşak peynir Semi-soft cheese					7.76	X	X			X	X		X		X	X					
Yumuşak peynir Soft cheese					7.76																
San Simon da Costa	İnek Cow	İspanya Spain	B-M	SimaPro 7.3.2 Ecoinvent	10.44	X	X		X	X		X		X	X				Garcia vd., 2013a		
Olgunlaştırılmış peynir Ripened cheese	İnek Cow	Portekiz Portuguese	B-K	SimaPro 7.3.2 Ecoinvent	7.49	X	X		X	X		X		X	X				Garcia vd., 2013b		
Çedar Cheddar	İnek Cow	ABD USA	B-M	SimaPro 7.3 Ecoinvent	8.60												X	X	Kim vd., 2013		
Mozarella Mozzarella					7.28		X	X	X	X											
Peynir Cheese	İnek Cow	Kanada Canada	B-M	SimaPro 7.3.2 Ecoinvent LCI v2.2	5.30														Verge vd., 2013		
Parmigiano Reggiano	İnek Cow	İtalya Italy	B-M	Ecoinvent	0.09	X	X	X			X	X			X	X		X	Fornasari, 2013		
Çedar Cheddar	İnek Cow	ABD USA	K-K	SimaPro 7.3 Ecoinvent	1.29					X	X	X					X	X	Kim vd., 2014		
Mozarella Mozzarella					1.81		X														
Yarı olgun Gouda Semi-cured Gouda	İnek Cow	Almanya Germany	B-M	SimaPro 7.3.3 Blonk Consultants' Agri-footprint LCA database	8.67	X	X	X				X						X	Broekema ve Kramer, 2014		

Çizelge 1. Devam
Table 1. Continue

Peynir Adı <i>Cheese Type</i>	Süt <i>Milk</i>	Ülke <i>Country</i>	Sınır <i>Boundry</i>	Program& Veritabanı <i>Software& Database</i>	Etki Kategorileri <i>Impact Categories</i>														Kaynak <i>Reference</i>
					GWP	AP	EP	RD	EC	PO CP	ET	LU	W U	AD P	O DP	HT	FD	IR	
Peynir (Sarı, beyaz, küflü ve krema) <i>Cheese (Yellow, white, mold, cream)</i>	İnek <i>Cow</i>	Danimarka <i>Denmark</i>	B-K	SimaPro 7 Ecoinvent	6.50				X									Flysjö vd., 2014	
Peynir <i>Cheese</i>	İnek <i>Cow</i>	Srbistan <i>Serbia</i>	B-M	CcaLC 2013 Ecoinvent V2.2	8.10	X	X			X				X	X			Djekic vd., 2014	
Çedar <i>Cheddar</i>	İnek <i>Cow</i>	Danimarka <i>Denmark</i>	B-K	Literatür <i>Literature</i>	10.50													Kristens en vd., 2015	
Gouda peyniri <i>Gouda cheese</i>	İnek <i>Cow</i>	İsveç <i>Sweden</i>	B-K	Literatür <i>Literature</i>	8.48			X	X			X	X					Oulu, 2015	
Çedar ve Mozzarella <i>Cheddar and Mozzarella</i>	İnek <i>Cow</i>	İrlanda <i>Ireland</i>	B-K	Ecoinvent Literatür <i>Literature</i>	7.20				X			X					X	Finnegan vd., 2017	
Mozzarella <i>Mozzarella</i>	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-M	SimaPro 8.1 Ecoinvent v3.2	6.66	X	X		X	X	X			X	X	X		Riva vd., 2017	
Peynir <i>Cheese</i>	İnek <i>Cow</i>	Brezilya <i>Brazil</i>	B-K	SimaPro 8.0.5.13 Ecoinvent USLCI Industry data Agri-footprint	14.45	X	X	X		X				X		X		Santos Jr vd., 2017	
Pecorino Romano	Koyun <i>Sheep</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	Ecoinvent v3.1 USLCI SimaPro	16.90		X	X		X	X		X	X	X			Vagnoni vd., 2017	
Pecorino di Osilo					17.10														
Grana Padano	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	EFE-So Ecoinvent v3	10.30	X	X	X		X	X			X			X	Bava vd., 2018	
Pecorino	Koyun <i>Sheep</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	SimaPro 8.0.2	22.13	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	Mondell o vd., 2018	
Franxon ve Casin	İnek <i>Cow</i>	İspanya <i>Spain</i>	B-K	SimaPro v8	10.20	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	Canellad a vd., 2018	
Asiago	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	SimaPro 8.1.1. Ecoinvent v3.1	10.10	X	X			X	X	X		X	X	X		Riva vd., 2018	
Mozzarella <i>Mozzarella</i>	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	Ecoinvent 3.0	9.73													Forleo vd., 2018	
Çedar <i>Cheddar</i>	İnek <i>Cow</i>	İrlanda <i>Ireland</i>	K-K	Ecoinvent v3	0.48	X	X		X							X		Finnegan vd., 2018	
Mozzarella ve Minas frescal peyniri <i>Mozzarella and Minas frescal cheese</i>	Manda <i>Buffalo</i>	Brezilya <i>Brazil</i>	B-K	SimaPro v.8.5.2.0	8.17	X	X	X		X				X		X		Alves vd., 2019	
Mozzarella <i>Mozzarella</i>	Manda <i>Buffalo</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	SimaPro 8.5 Ecoinvent	31.80	X	X											Berlese vd., 2019	
Grana Padano	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	Agribalyse v1.3 Agri-footprint v.4 Ecoinvent 3.4 ELCD v3.2 Swiss Input Output database Industry data 2.0 USLCI	12.50	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	Famigliet ti vd., 2019	
Grana Padano	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	SimaPro Ecoinvent v3	1.38													Lovarelli vd., 2019	
Parmigiano Reggiano					1.46	X	X	X		X		X							

Peynir üretimlerinin yaşam döngüsü analizi

Çizelge 1. Devam
Table 1. Continue

Peynir Adı <i>Cheese Type</i>	Süt Türü <i>Milk Type</i>	Ülke <i>Country</i>	Sınır <i>Boundry</i>	Program& Veritabanı <i>Software& Database</i>	Etki Kategorileri <i>Impact Categories</i>														Kaynak <i>Reference</i>		
					GWP	AP	EP	RD	EC	PO CP	ET	LU	W U	AD P	O DP	HT	FD	IR		PM F	
İspanyol artisanal peynir <i>Spanish artisanal cheese</i>	İnek <i>Cow</i>	İspanya <i>Spain</i>	B-K	SimaPro v8. USLCI EcoInvent v3	15.65														Laca vd., 2020		
Keçi peyniri <i>Goat cheese</i>	Keçi <i>Goat</i>	Brezilya <i>Brazil</i>	B-K	Simapro 8.3.0.0 Ecoinvent 3.2	61.90	X	X	X		X	X			X	X	X	X	X	Cabral vd., 2020		
Cacioricotta Cilentana	Keçi <i>Goat</i>	İtalya <i>Italy</i>	K-K	openLCA v. 1.7.3 Ecoinvent database v. 3.1	19,00 9.2	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	Pollaro vd., 2020		
Toma di Lanzo	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	SimaPro 8.5 Ecoinvent database	3.00		X	X				X					X		Verdun a vd., 2020		
Beira Baixa	Koyun <i>Sheep</i>	Portekiz <i>Portuguese</i>	B-M	Ecoinvent database GaBi	14.96	X	X												Nunes, 2020		
Keçi peyniri <i>Goat cheese</i>	Keçi <i>Goat</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	Simapro	14.16														Celozzi vd., 2020		
Taze peynir <i>Fresh cheese</i>	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	Ecoinvent database v3.1 Simapro software v8.0.5	10.10														Berton vd., 2021		
Orta-olgun peynir <i>Medium-ripened cheese</i>					10.90	X	X		X			X									
Olgun peynir <i>Ripened cheese</i>					11.70																
Caciotta					9.70																
Ricotta					4.30																
Oaxaca peyniri	İnek <i>Cow</i>	Meksika <i>Mexico</i>	K-K	Herarquista (H) v 1.01 SimaPro v.8.5.0.0 Ecoinvent v.3	15.60	X	X			X	X		X	X	X	X			Vargas vd., 2021		
Paneer	İnek <i>Cow</i>	Hindistan <i>India</i>	K-K	Ecoinvent v3.6 Ecoinvent v2 Simapro	0.39	X		X			X	X		X			X	X	Kumar vd., 2021		
Çedar <i>Cheddar</i>	İnek <i>Cow</i>	İngiltere <i>England</i>	K-K	Gabi v8.6 Ecoinvent	0.33	X	X			X	X	X		X	X	X	X	X	Gosalvi tr vd., 2021		
Parmigiano Reggiano	İnek <i>Cow</i>	İtalya <i>Italy</i>	B-K	SimaPro 9.1.1 EcoInvent 3.6 Agri-footprint	6.92												X		Borghes i vd., 2022		
İzmir tulum peyniri <i>İzmir tulum cheese</i>	İnek <i>Cow</i>	Türkiye <i>Turkey</i>	B-K	GaBi GaBi Professional Food&Feed	12.6	X	X			X	X			X		X			Uysal, 2022; Koca vd., 2022		

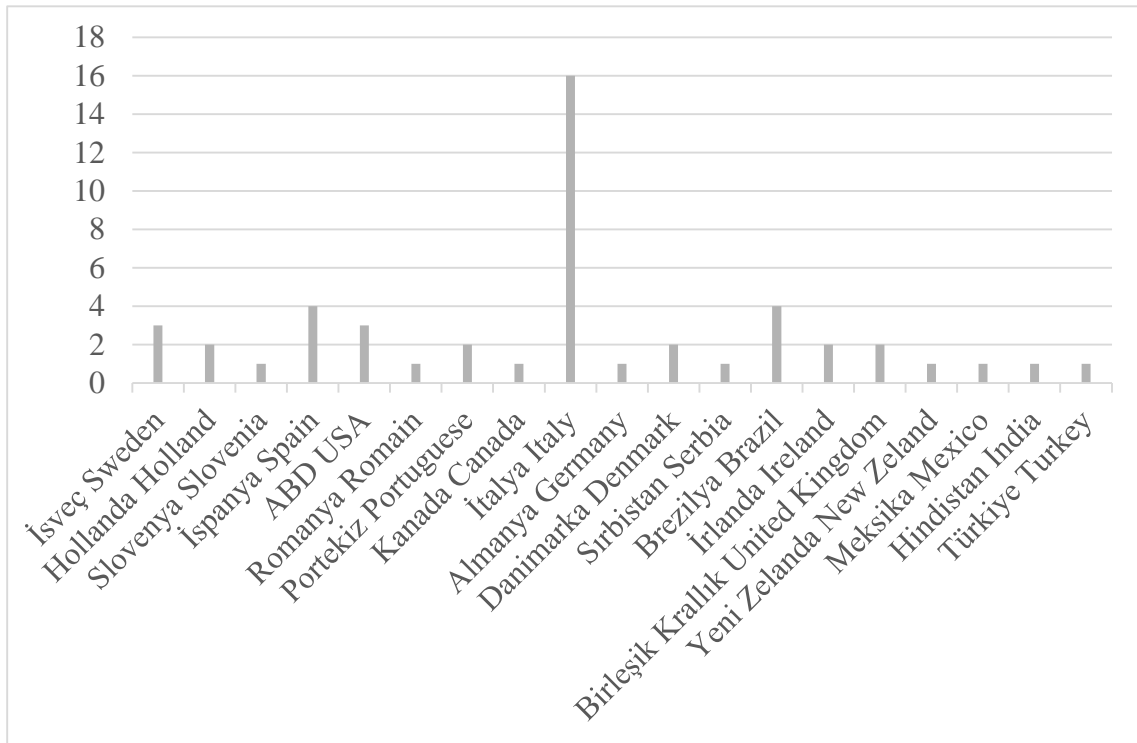
B-M: Beşikten Mezara, *Cradle to Grave* B-K: Beşikten Kapıya, *Cradle to Gate* K-K: Kapıdan Kapıya, *Gate to Gate*

X: Çalışmalarda incelenen etki kategorisi, *Impact category examined in the studies*

GWP: Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO₂ eşd/kg peynir) *Global Warming Potential (kg CO_{2eq}/kg cheese)*, AP: Asidifikasyon Potansiyeli, *Acidification Potential* EP: Ötrofikasyon Potansiyeli, *Eutrophication Potential* RD: Kaynakların Tükенmesi, *Resource Depletion* EC: Enerji Tüketimi, *Energy Consumption* POCP: Fotokimyasal Ozon Oluşum Potansiyeli, *Photochemical Ozone Creation Potential* ET: Ekotoksitesite, *Ecotoxicity* LU: Arazi Kullanımı, *Land Use* WU: Su Tüketimi, *Water Use* ADP: Abiyotik Kaynakların Tükенme Potansiyeli, *Abiotic Depletion Potential* ODP: Ozon Tabakası Delinme Potansiyeli, *Ozone Layer Depletion Potential* HT: İnsan Toksisitesi, *Human Toxicity* FD: Temiz Su Tükенmesi, *Freshwater Depletion* IR: İyonlaştırıcı Radyasyon Potansiyeli, *Ionizing Radiation* PMF: Partikül Madde Oluşum Potansiyeli, *Particulate Matter Formation*

Peynir üzerine ilk YDA çalışmaları 2000'li yılların başında yürütülmüş, yarı-sert İsveç peynirinin çevresel etkileri; kaynakların kullanımı, enerji tüketimi, küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli ve fotokimyasal oksidan üretim potansiyeli etki kategorileri altında incelenmiştir (Berlin, 2002). Bunun yanı sıra, peynir üretiminin YDA çalışmalarının büyük bir kısmının İtalya'da yoğunlaştığı görülmektedir. Parmesan, Asiago, Pecorino, Grana Padano (Fornasari, 2013; Vagnoni vd., 2017; Riva vd., 2018; Mondello vd., 2018; Bava vd., 2018; Lovarelli vd., 2019; Famiglietti vd., 2019) gibi coğrafi işaretli İtalyan peynirlerinin çevresel etkilerinin incelenmesinin yanı sıra, mozzarella ve ricotta (Palmieri vd., 2017; Riva vd., 2017; Forleo vd., 2018; Berlese vd., 2019; Berton vd., 2021) gibi dünyada oldukça geniş üretim hacmine sahip İtalyan peynirlerinin

de çevresel performansı değerlendirilmiştir. Özellikle 2013 yılından sonra peynir üretiminin YDA çalışmaları dünya genelinde ivme kazanmış, süt endüstrisinin temel ürünlerinden olan peynirin çevresel performansının önemi birçok çalışmada vurgulanmıştır (Osojnik Crnivec ve Marinsek-Logar, 2009; Middelaar vd., 2011; Kim vd., 2013; Verge vd., 2013; Garcia vd., 2013a,b; Djekic vd., 2014; Nigri vd., 2014; Kristensen vd., 2015; Oulu, 2015; Santos Jr vd., 2017; Finnegan vd., 2017; Canellada vd., 2018; Gosalvittr vd., 2019; Alves vd., 2019; Tarighaleslami vd., 2020; Nunes, 2020; Celozzi vd., 2020). İncelenen çalışmaların ülkelere göre dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir. Oluşturulan grafik, yayın için gerçekleştirilen tüm literatür araştırması ve çalışmaların yayınlandığı ülkeler göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.



Şekil 3. Peynir üretimlerinin Yaşam Döngüsü Analizi çalışmalarının ülkelere göre dağılımı
Figure 3. Distribution of Life Cycle Assessment studies of cheese production by country

Yaşam Döngüsü Analizi ile üretimlerinin çevresel etkileri incelenen peynir türlerine bakıldığında çedar, mozzarella, Gouda gibi dünya genelinde sıkça tercih edilen peynirlerin yanı sıra Hushallsost

Angsgarden, Pecorino Romano, Pecorino di Osilo gibi yöresel peynirlere de yer verildiği göze çarpmaktadır. Bu durum, her bir peynir üretiminin bulunduğu coğrafyaya ait özellikleri

yansıtarak kendine özgü özellikler göstermesi, dolayısıyla birbirinden farklı çevresel etkilerle sonuçlanmasıyla doğrudan ilişkilidir.

Çizelge 1'e göre, çalışmalara en fazla dahil edilen etki kategorileri küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli ve ötrofikasyon potansiyeli iken, en az incelenen kategoriler su tüketimi, abiyotik faktörlerin tükenme potansiyeli, iyonlaştırıcı radyasyon potansiyeli ve parçacıklı madde oluşum potansiyelidir.

Beşikten mezara, beşikten kapıya yapılan farklı peynir çeşitlerinde yapılan çalışmalarda, küresel ısınma potansiyeline en çok etki eden aşamanın çiğ süt üretimi aşaması (yaklaşık %90'lara ulaşan değerler) olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, çiğ süt üretimi aşaması, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, arazi kullanımı ve fotokimyasal oksidan oluşumu üzerinde de önemli etkilere sahiptir. Garcia vd. (2013), olgunlaştırılmış peynir üretiminde bu etkileri sırasıyla %91, %86, %99 ve %69 olarak belirtmiştir. Benzer şekilde, koyun peynir üretiminde, çiğ süt eldesinin asidifikasyon potansiyeline %96, temiz su ötrofikasyonuna %100 oranında etki ettiği saptanmıştır (Nunes vd., 2020). Keçi peynir üretiminde de keçi sütü eldesinin çevresel etkileri benzer bulunmuştur (Cabral vd., 2020). Bu benzerlik, YDA analizi ile çiğ süt eldesinin çevresel etkilerini ele alan çalışmaların çoğunda vurgulanmıştır. Bu sonuçlar, süt üretim çiftliklerinde çevresel etkilerin en aza indirilmesi için gerekliliklerin yerine getirilmesinin süt ürünleri üretiminde sürdürülebilirlik kavramı için önemini göstermektedir. FAO (2022) GLEAM (Global Livestock Environment Assessment Model) sonuçlarına göre, süt üretim çiftliklerinde oluşan emisyonlar üretici bazında önemli farklılıklar göstermektedir. Üreticiye bağlı bu farklılıkların temel nedenleri tarım-çevre etkileşimleri, üretim yöntemleri ve tedarik zinciri yönetiminde olan farklılıklardır. Hayvancılık tedarik zincirine ait emisyonlar, 4 temel başlıktan kaynaklanmaktadır: enterik fermantasyon (%44), gübre yönetimi (%10), yem üretimi (%41) ve enerji tüketimi (%5). Özellikle enterik metan gazının azaltılması ve

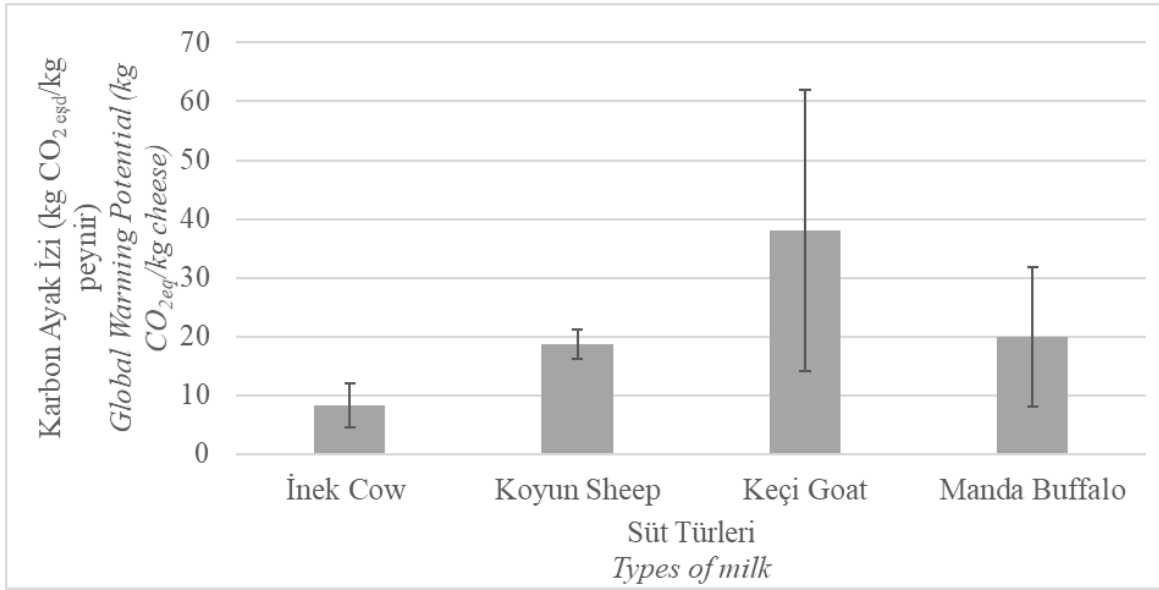
gübre yönetimi çiftlik aşamasında çevresel etkilerin azaltılması için büyük önem taşımaktadır.

Şekil 4'te, Çizelge 1 kapsamında incelenen çalışmalarda peynir üretimlerinde beşikten kapıya küresel ısınma potansiyelinin kullanıldığı süt türlerine göre dağılımı görülmektedir. Söz konusu şekil incelendiğinde, inek sütünden elde edilen peynirlerin karbon emisyonlarının ortalama değerlerinin kg peynir bazında diğer süt türlerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. FAO (2022) verilerine göre dünya genelinde hayvancılık sektör emisyonlarının %62'sini sığır, %9.5'ini manda ve %7.35'ini küçükbaş hayvan emisyonları oluşturmaktadır. En yüksek toplam emisyonlar dana eti ve inek sütüne aittir (sırasıyla 3.0 ve 1.6 Gt CO_{2esd}), Buna karşın bu değerler, kg protein başına meydana gelen emisyon olarak ele alındığında süt türlerine ait sıralamada en düşük pay inek sütüne (87 kg CO_{2esd}/kg protein) verilmiştir. Toplam emisyon değerleri olarak değerlendirildiğinde manda ve küçükbaş hayvan sütlerinin emisyon değerleri inek sütü toplam emisyon değerlerine kıyasla daha düşük olmasına karşın, kg protein başına değerlendirildiğinde manda (140 kg CO_{2esd}/kg protein) ve küçükbaşlar (148 kg CO_{2esd}/kg protein) için daha yüksek değerlerin olduğu tespit edilmiştir. Keçi ve koyun sütünden peynir üretiminde yapılan YDA çalışması çok sınırlıdır. Dolayısıyla, süt türleri arasında gerçek bir kıyas yapabilmek için keçi ve koyun sütünden peynir üretimi üzerine YDA çalışmalarının artırılması gereklidir.

Şekil 4'te aynı süt türünden üretilen peynirlerde özellikle keçi sütü kullanımında kg peynir başına oluşan küresel ısınma potansiyeli değerlerinde sapmaların yüksekliği dikkati çekmektedir. Pollaro vd. (2020) yaptıkları çalışmada keçi peyniri üreten iki farklı işletmede küresel ısınma potansiyelini kıyaslamışlardır. Çalışmada openLCA v. 1.7.3 yazılımı ve Ecoinvent database v. 3.1 kullanılmıştır. İlk işletmede keçiler çiftlikte kendi ürettikleri sebze ve tahıl ile beslenmiş ve peynir üretiminde elde edilen peynir suyunu ve gübreyi tekrar işletmede kullanmışlardır. İkinci işletmede ise beslemenin yarısı doğada yapılmış ve elde edilen gübre ve peynir suyu ise satılmıştır. İlk çiftlikte küresel ısınma potansiyeli (9.2 kg

CO_{2eq} /kg peynir), çalışmalarda inek sütü için elde edilen değerlere benzer bulunmuştur. Diğer işletmede ise küresel ısınma potansiyeli daha yüksek (19 kg CO_{2eq} /kg peynir) tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Cabral (2020), keçi peyniri üretiminde kullanılan sütün eldesinde, keçilerin beslenmesinde soya konsantratinin bir kısmının saman ve yeşil ot ile yer değiştirilmesinin çevresel etkileri azalttığını belirtmiştir. Buna ilaveten,

Çedar peyniri üretiminde Jersey ve Holstein inek sütü kullanımında karbon ayak izi değerlerinde farklılıklar olduğu, Jersey sütü kullanımının karbon ayak izini azalttığı bildirilmiştir (Canellada vd., 2018). Bu durum, süt verimliliğinin, besleme şekillerinin ve elde edilen yan ürün ve artıkların nasıl ve nerede değerlendirildiğinin küresel ısınma potansiyeli üzerinde önemini göstermektedir.



Şekil 4. Peynir üretimlerinde beşikten kapıya küresel ısınma potansiyelinin kullanılan süt türlerine göre dağılımı

Figure 4. Distribution of global warming potential from cradle to gate in cheese production by types of milk used

Küresel ısınma potansiyelinin dahil edilmediği çalışmaların ilki Osojnik Crnivec ve Marinsek-Logar (2009) tarafından gerçekleştirilmiş olup, sert-pişmiş Slovenya peyniri üretiminin çevresel etki noktaları belirleme analizi gerçekleştirilmiştir. Küresel ısınma potansiyelinin etki kategorilerinde incelenmediği bir diğer çalışma Reijnders ve Soret (2003) tarafından yapılmış ve Hollanda'da üretilen inek peyniri üretimi, arazi kullanımı, ekotoksosite, ötrofikasyon potansiyeli ve asidifikasyon potansiyeli kategorileri altında incelenmiştir.

Peynir üretiminde çiğ süt üretim aşamasından sonra elektrik tüketimi ve buhar eldesinin çevresel etki kategorilerine önemli etkileri bulunmaktadır. Bu kapsamda, peynir işletmesinde sütün pastörizasyonu, peynir altı suyu peyniri üretiminde ısı işlemler, peynir altı suyuna

uygulanan ısı işlemler (konsantrasyon, pastörizasyon, kurutma), soğutma işlemleri ele alınabilir. Diğer taraftan, Garcia vd. (2013) tarafından yayınlanan çalışmada peynir suyunun direkt atık sularla karıştırılması yerine, peynir altı suyu tozu üretimiyle değerlendirilmesi durumunda ötrofikasyon potansiyeli ve ozon tabakası delinme potansiyeli gibi etki kategorilerinde %15'e kadar iyileşme sağlanabildiği belirtilmiştir. Çalışmada SimaPro 7.3.2 yazılımı ve Ecoinvent veritabanı kullanılmıştır. Peynir altı suyunun hayvancılıkta kullanımı, abiyotik kaynakların tükenmesi, ozon tabakası delinmesi, fosil kaynakların tükenmesi gibi etki kategorilerinde olumlu sonuçlar vermiştir (Palmieri vd., 2017).

Peynirler yaygın olarak pastörize ya da termize sütten üretilmektedir. Buna karşın, çiğ sütten üretilen peynir çeşitleri de dikkate değerdir. Özellikle geleneksel peynirlerde çiğ sütten üretim ve sonrasında olgunlaştırma yaygındır. Nigri vd. (2014) Minas peynirinin artisanal ve endüstriyel üretimlerinin çevresel etkilerini YDA analizi ile incelemişlerdir. Endüstriyel üretimde sütün pastörize edilmesi nedeniyle daha fazla enerji kullanımı açısından daha fazla çevresel etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Buna karşın, artisanal üretimde gıda güvenirliliği riskinin göz ardı edilmemesi gerektiği ve ayrıca düşük üretim kapasitesinin de market ihtiyacını karşılayamayacağı belirtilmiştir. Nakliye, temizleme ve paketlenme aşamalarında çiğ sütten üretim ile pastörize sütten üretimin çevresel etkileri benzer bulunmuştur.

Peynir üretiminde çiğ süt üretim aşaması da dahil olmak üzere su kullanımı ve temizlik amaçlı atık su oldukça fazladır. Başta ötrofikasyon potansiyeli olmak üzere çeşitli etki kategorileri su kullanımı ile doğrudan bağlantılıdır. Dolayısıyla, peynir üretiminde su yönetimi önemli bir unsurdur (Kim vd., 2013). Çedar ve mozzarella peynir üretiminde temiz su tüketimine en fazla etkinin %90.8 oranı ile CIP (yerinde temizlik uygulamaları) işlemi olduğu belirtilmiş (Kim vd., 2014) olmakla birlikte, bu değer daha küçük işletmelerde ve geleneksel üretimlerde CIP sistemlerinin daha az kullanılması sebebiyle daha düşük olacaktır.

Peynir üretiminde olgunlaştırma aşamasının çevresel etkileri de incelenmiştir. Kim vd (2013), çedar peynirinde 60 ay olgunlaştırmanın sera gazı emisyonlarını %22 artırdığını ve ayrıca soğutma işlemlerinde elektrik tüketimine bağlı insan toksisitesi ve ekotoksitesite kategorilerinde de artış olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada SimaPro 7.3 yazılımı ve Ecoinvent veritabanı kullanılmıştır.

Ülkemiz de dahil olmak üzere bazı ülkelerde peynir üretiminde pıhtının satın alınarak işlenmesi peynir üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Ancak, pıhtı satın alınarak üretilen mozzarella peynirinin çevresel etkileri çiğ sütten üretilen mozzarella peynirinin çevresel etkilerinden daha yüksek bulunmuştur (Riva vd., 2017).

Ülkemizde peynir üretimlerinin YDA analizi ile incelenmesi süreci oldukça yenidir. İzmir tulum peyniri üretiminin çevresel etkileri YDA ile belirlenmiş; küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, abiyotik tükenmesi, temiz su ekotoksitesitesi potansiyeli, insan toksisitesi potansiyeli ve fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli incelenmiştir (Uysal, 2022). Küresel ısınma potansiyeli 12.6 kg CO_{2esd}/kg peynir olarak tespit edilmiştir. Bunun %73.81'ini çiğ süt üretimi; onu takiben elektrik tüketimi %14.29'unu, buhar tüketimi %5.68'ini, paketlenme aşaması %2.1'ini ve atık yönetimi %1.33'ünü oluşturmaktadır. Ayrıca, İzmir tulum peynirinin çevresel etkileri beşikten kapıya YDA analizi ile üç farklı senaryo üzerinden senaryo analizi gerçekleştirilmiştir (Koca vd., 2022). Bu kapsamda çiğ sütün farklı mesafelerden işletmeye getirilmesi, tüketilen elektriğin çeşitli oranlarda güneş enerjisinden karşılanması ve ısı enerjisinin belirli bölümünün güneş ısı sistemlerden elde edilmesi durumları incelenmiştir. Çalışmada, çiğ sütün işletmeye nakliye mesafesi arttıkça küresel ısınma potansiyeli, temiz su ekotoksitesitesi potansiyeli, insan toksisitesi potansiyeli ve fotokimyasal ozon oluşum potansiyelinde gözle görülür bir artış olduğu, elektrik gereksiniminin %100 güneş enerjisinden karşılandığı durumda ise abiyotik tükenmesi (elementler) dışındaki tüm etki kategorilerinin en düşük seviyede olduğu saptanmıştır. Ayrıca, mayalama odası iklimlendirmesi için %50 oranında güneş ısı kolektörleri kullanılması durumunda abiyotik tükenmesi (elementler) ve temiz su ekotoksitesitesi potansiyeli hariç tüm çevresel etki kategorilerinde azalma sağlandığı tespit edilmiştir.

Partikül madde oluşum potansiyeli etki kategorisinin oldukça az çalışmaya dahil edildiği tespit edilmiştir (Çizelge 1). Ayrıca, bu etki kategorisi, diğerlerine kıyasla en geç incelenmeye başlanmış olup, ilk kez 2014 yılında Nigri vd. tarafından Minas peynirinin endüstriyel ve butik üretimlerinin YDA ile incelenerek çevresel etkilerinin karşılaştırıldığı Brezilya'da gerçekleştirilen çalışmada karşımıza çıkmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma, Brezilya'da daha sonra gerçekleştirilen çalışmalar için öncü

niteliğindedir. İlerleyen yıllarda Brezilya, İtalya ve İspanya'da gerçekleştirilen çalışmalarda bahsedilen etki kategorisi detaylıca incelenmiş ve en fazla etki eden üretim basamakları tespit edilmiştir.

İyonlaştırıcı radyasyon potansiyeli peynir üretimlerinin çevresel etkilerinin oluşumunda diğer etki kategorileri kadar önem taşımamakla birlikte en fazla çiftlik aşamasından, en az nakliye ve tüketim ile olgunlaştırma aşamalarından etkilenmektedir. Mondello vd. (2018) ve Canellada vd. (2018)'e göre, güneş enerjisi kullanımıyla su tüketimi, fosil yakıt tüketimi, iyonlaştırıcı radyasyon potansiyeli gibi etki kategorilerinde %30'lara varan oranlarda iyileştirmelerin gerçekleştirilebilmesi mümkündür.

Ele alınan çalışmalarda belirlenen sistem sınırları ve fonksiyonel birimler detaylıca incelendiğinde, fonksiyonel birimlerin çoğunlukla 1 kg peynir olarak seçildiği görülmektedir. Bu seçim, çalışmalar neticesinde elde edilen verilerin kıyaslanması adına önemli olup bazı çalışmalarda (Verge vd., 2013; Famiglietti vd., 2019; Lovarelli vd., 2019; Verduna vd., 2020) seçilen fonksiyonel birimin sütün bileşenleri dikkate alınarak belirlendiği görülmektedir. Çok fazla peynir çeşidi ve karakteristiği bulunması nedeniyle, fonksiyonel birim tanımlamalarına çeşitli spesifikasyonların (kuru madde, yağ, protein gibi) dahil edilmesi sonuçların kıyaslanabilirliği açısından önemlidir. Nitekim taze peynirler ile olgun peynirler arasında ya da yumuşak peynir ve sert peynirler arasında kg peynir başına kuru madde ya da bileşen değerleri belirgin farklılıklar gösterebilmektedir. Çalışmaların gerçekleştirildiği sistem sınırlarına bakıldığında beşikten mezara analizler olmakla birlikte, sistem sınırlarının çoğunlukla beşikten kapıya olarak belirlendiği göze çarpmaktadır. Beşikten kapıya olarak ifade edilen sistem sınırları çığ süt eldesinden yani çiftlik aşamasından, oluşan son ürünün işletme çıkış noktasına kadar şeklinde açıklanabilir.

Sanjuan vd. (2011) tarafından yayınlanan çalışmada Mahon-Menorca peynirinin çevresel etkilerinin analizi yanında ekonomik analizi de gerçekleştirilmiştir. YDA ile çevresel etkileri

incelenen peynire Veri Zarflama Analizi de uygulanarak eko verimliliği en yüksek üretim tekniğine karar verilmesine çalışılmıştır. Çalışma, iki farklı tekniğin bir arada kullanılarak hem çevresel hem de ekonomik bakış açısıyla daha sürdürülebilir üretim sistemlerinin oluşturulmasına ışık tutması açısından önem taşımaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu derlemede, peynir üretimi üzerine yapılan Yaşam Döngüsü Analizi çalışmaları incelenmiş ve üretim aşamalarının çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Çığ süt üretimi aşaması, başta küresel ısınma potansiyeli olmak üzere etki kategorilerinin çoğuna en fazla etki eden basamaktır. Dolayısıyla, hayvancılık ve tarım ayağında yapılacak iyileştirmeler ile (kaynakların etkin kullanımı, dengeli besin alımı, çiftlikte yem üretimi ve gübrenin kullanımı, süt verimliliğinin artırılması, organik tarım, iyi tarım uygulamaları, tarım ilacı kullanımının azaltılması, bölge iklim ve coğrafyasına uygun yem türleri yetiştirilmesi, verimli sulama sistemlerinin kurulması, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması vb.) çevresel etkilerde azalma sağlanması mümkündür. Peynir işletmesinin süt üretim tesislerine yakınlığı ve kurulum yerinin uygunluğu, hatta süt üretim çiftliklerini kapsamaması çevresel etkilerin azaltılması için etkindir. Bu kapsamda, peynir işletmelerinin çevre dostu süt çiftlikleri ile çalışmaları, süt üretim aşamasında çevresel etkilerin en aza indirilmesi konusunda farkındalığı artıracaktır.

Elektrik tüketimi ve kazan emisyonları etki kategorilerine doğrudan etki etmektedir. Yanmaya ve fosil yakıt tüketimine bağlı başta küresel ısınma potansiyeli (karbon ayak izi) olmak üzere tüm çevresel etkilerin azaltılabilmesi için enerji verimliliği sağlanması ve fosil kaynaklı enerji yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanılması oldukça önemlidir. Bu sebeple enerji verimliliği yüksek ekipmanlar ile güneş enerjisi, biyoenerji vb. yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalıdır. Çiftliklerden elde edilen gübrelerden enerji elde edilip işletme enerji ihtiyacına destek olabilmesi adına biyogaz üniteleri kurulabilir. Elde edilen metan gazı ocaklarda, aydınlatmada, ısıtmada vb. alanlarda

enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir. Ayrıca, işletmelerde baca gazından çıkan atık ısının değerlendirilebilmesi için ısı geri kazanım sistemleri kurularak atık ısıdan işletme için gerekli sıcak su elde edilerek enerji tasarrufu sağlanabilir.

Süt işletmelerinin fiziki koşullarının da uygunluğu da dikkate alınarak hem çatılara hem de arazi içerisinde uygun noktalara konumlandırılacak güneş ısı kolektörleri ile ısı enerji ihtiyacının karşılanmasına destek olunabileceği gibi, fotovoltaik panellerle de elektrik enerjisi gereksiniminin bir kısmı karşılanabilir.

Peynir üretiminde, ambalajlama, nakliye ve tüketici kullanımı basamakları çoğunlukla etki kategorilerine minimum düzeyde etki etmektedir. Ozon tabakası delinme potansiyeli, nakliyeden en fazla etkilenen etki kategorisidir. İşletmelerde temizlik ve sanitasyon operasyonları için kimyasallar yerine ozon kullanımı veya ısı dezenfeksiyon yöntemi tercih edilerek temizlik ve sanitasyon operasyonlarına bağlı çevresel etkiler azaltılabilir.

Peynir altı suyu peynir üretiminde en önemli yan üründür. Bu yan ürün herhangi bir şekilde değerlendirilmeden atık olarak muamele edildiğinde başta ötrofikasyon potansiyeli olmak üzere ciddi çevresel tahribata sebep olmaktadır. Peynir altı suyu ülkemizde çoğunlukla lor üretiminin hammaddesi olarak kullanılmakta ve peynir altı suyu tozu üretilerek cips, bisküvi, içecek vb. pek çok üründe değerlendirilmektedir. Az miktarda da peynir altı suyu protein ürünleri üretilmektedir. Peynir altı suyunun gerek hayvan beslenmesinde gerekse yeni ürünlerin eldesinde kullanımı için alternatif değerlendirme yöntemlerinin yaygınlaştırılması ile çevresel etkilerin azaltılmasına önemli katkı sağlanacaktır. Peynir altı suyunun ürünlere değerlendirilmesi sonrasında, özellikle peynir suyu peynirleri üretimi sonrasında, ortaya çıkan atık suyun sahip olduğu yüksek BOD (biyolojik oksijen gereksinimi) ve COD (kimyasal oksijen gereksinimi) sebebiyle anaerobik arıtmaya uygundur. Atık suyun yarattığı etkinin azaltılması, biyo-çürütücülerin kullanımı gibi uygulamaların kullanımı ve iyileştirilmesi ile sağlanabilir.

Peynir üretiminde süt ve peynir kayıpları hem çevresel etkiler açısından önem arz etmekte hem de ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle, söz konusu kayıpların en aza indirileceği üretim ekipman ve yöntemlerinin seçilmesi kaynakların verimli kullanılması anlamında önemlidir. Ayrıca, insan sağlığını tehdit etmeyen, ancak kalite kusurları içeren üretim ve satışta olan peynirlerin atık yerine yeni ürünlere değerlendirilebilmesi için yasal kılavuzların oluşturulması atık açısından çevresel etkiyi azaltacak ve ekonomik dönüş sağlayacaktır.

Peynir üretimi, ürün çeşitliliği ve kullanılan süt türü bazında üretim aşamalarında önemli farklılıklar içerdiğinden çevresel etkilerinin ve Yaşam Döngüsü Analizinin her peynir çeşidi için ayrı olarak yapılması gerekmektedir. Ayrıca, yapılan çalışmalarda fonksiyonel birimin kg peynir bazında tanımlanması önemli olmakla birlikte, peynir çeşitlerinde bileşen farklılıkları dikkate alındığında gerçekçi kıyaslamalar yapabilmek için bileşen (kg kuru madde, kg protein, kg yağ) bazında da tanımlanması da önem arz etmektedir. Beşikten mezara çevresel etkiler ele alınarak daha bütüncül bir analizin gerçekleştirilmesi mümkündür.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarların, başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar makalenin yapılmasında yazılmasında ve yayınlanmasında eşit katkı sağlamışlardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (Proje Numarası: 22579) desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

Alves, E. C., Soares, B. B., Neto, J. A. de A., & Rodrigues, L. B. (2019). Strategies for reducing environmental impacts of organic mozzarella cheese production. *Journal of Cleaner Production*, 223:226–237.

- Bava, L., Bacenetti, J., Gislou, G., Pellegrino, L., D'Incecco, P., Sandrucci, A., Zucali, M. (2018). Impact assessment of traditional food manufacturing: The case of Grana Padano cheese. *Science of the Total Environment*, 626:1200–1209.
- Berlese, M., Corazzin, M., Bovolenta, S. (2019). Environmental sustainability assessment of buffalo mozzarella cheese production chain: A scenario analysis. *Journal of Cleaner Production*, 238.
- Berlin, J. (2002). Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *International Dairy Journal*, 12:939–953.
- Berlin, J., Sonesson, U., Tillman, A.M. (2008). Product Chain Actors' Potential for Greening the Product Life Cycle: The Case of the Swedish Postfarm Milk Chain. *Journal of Industrial Ecology*, 12(1): 95-110.
- Berton, M., Bovolenta, S., Corazzin, M., Gallo, L., Pinterits, S., Ramanzin, M., Ressi, W., Spigarelli, C., Zuliani, A., Sturaro, E. (2021). Environmental impacts of milk production and processing in the Eastern Alps: A “cradle-to-dairy gate” LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, 303:127056.
- Biron, M. (2016). *Material selection for thermoplastic parts*. Amsterdam, Elsevier, 603-653.
- Borghesi, G., Stefanini, R., Vignali, G. (2022) Life cycle assessment of packaged organic dairy product: A comparison of different methods for the environmental assessment of alternative scenarios. *Journal of Food Engineering*, 318:110902.
- Broekema, R., Kramer, G. (2014). LCA of Dutch semi-skimmed milk and semi-mature cheese, Blonk Consultants.
- Cabral, C. F. S., Veiga, L. B. E., Araujo, M. G., Souza, S. L. Q. (2020). Environmental Life Cycle Assessment of goat cheese production in Brazil: a path towards sustainability. *Food Science and Technology*, 129:109550.
- Canellada, F., Laca, A., Laca, A., Diaz, M. (2018). Environmental impact of cheese production: A case study of a small-scale factory in southern Europe and global overview of carbon footprint. *Science of the Total Environment*, 635:167–177.
- Celozzi, S., Mattiello, S., Battini, M., Bailo, G., Bava, L., Tamburini, A., Valsecchi, I., Zucali, M. (2020). Valutazione della sostenibilità ambientale della produzione di latte e formaggio caprino mediante approccio LCA. *Large Animal Review*, 26:293-298.
- Dairy Australia. (2015). Australia dairy industry in focus 2015. *Southbank: Dairy Australia Limited*.
- Dam, T. A., Pasche, M., Werlich, N. (2017). Trade patterns and the ecological footprint a theory-based empirical approach. *Jena Economic Research Papers*, 5:1-37.
- Djekic, I., Miocinovic, J., Tomasevic, I., Smigic, N., Tomic, N. (2014). Environmental life-cycle assessment of various dairy products. *Journal of Cleaner Production*, 68:64–72.
- Doublet, G., Jungbluth, N., Stucki, M., Schori, S. (2013). Life cycle assessment of Romanian beef and dairy products. Sense Project Number 288974.
- Fakher, H. A. (2019). Investigating the determinant factors of environmental quality (based on ecological carbon footprint index). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(10):10276-10291.
- Famiglietti, J., Guerci, M., Proserpio, C., Ravaglia, P., Motta, M. (2019). Development and testing of the Product Environmental Footprint Milk Tool: A comprehensive LCA tool for dairy products. *Science of the Total Environment*, 648:1614–1626.
- FAO, OECD. (2020). Dairy and dairy products. *OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2020-2029*
- FAO. (2022). GLEAM 2.0: Global livestock environmental assesment model. <https://www.fao.org/gleam/results/en/>.
- 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.
- Finnegan, W., Goggins, J., Zhan, X. (2018a). Assessing the environmental of the dairy processing industry in the Republic of Ireland. *Journal of Dairy Research*, 85(3):1-4.

- Finnegan, W., Yan, M., Holden, N. M., Goggins, J. (2018b). A review of environmental life cycle assessment studies examining cheese production. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23:1773–1787.
- Flysjö, A., Thrane, M., Hermansen, J. E. (2014). Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. *International Dairy Journal*, 34:86–92.
- Forleo, M. B., Palmieri, N., Salimei, E. (2018). The eco-efficiency of the dairy cheese chain: an Italian case study. *Italian Journal of Food Science*, 30:362–380.
- Fornasari, L. (2013). Developing a model for the life cycle assessment of the Parmigiano, Reggiano cheese. *Progress In Nutrition*, 15:184–193.
- Garcia, S. G., Castanheira, E. G., Dias, A. C., Arroja, L. (2013a). Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill. *Journal of Cleaner Production*, 41:65–73.
- Garcia, S. G., Hospido, A., Moreira, M. T. (2013b). Environmental life cycle assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa. *Journal of Cleaner Production*, 52:253–262.
- Gosalvitr, P., Cuellar-Franca, R. M., Smith, R., Azapagic, A. (2021). Integrating process modelling and sustainability assessment to improve the environmental and economic sustainability in the cheese industry. *Sustainable Production and Consumption*, 28:969-986.
- Gosalvitr, P., Cuellar-Franca, R., Smith, R., Azapagic, A. (2019). Energy demand and carbon footprint of cheddar cheese with energy recovery from cheese whey. *Energy Procedia*, 161:10–16.
- ISO. (2006a). ISO 14040: Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework. *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland.
- ISO. (2006b). ISO 14044: Environmental management—Life cycle assessment, life cycle impact assessment. *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland.
- ISO. (2014). ISO 14046: Environmental Management – Water Footprint – Principles, Requirements and Guidelines. *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland.
- Kim, D., Thoma, G., Nutter, D., Milani, F., Ulrich, R., Norris, G. (2013). Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18:1019–1035.
- Kim, D., Thoma, G., Ulrich, R., Nutter, D., Milani, F. (2014). Life Cycle Assessment of Cheese Manufacturing in the United States. Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, 634-640.
- Koca, N., Çolak Güneş, N., Uysal, İ. G. (2022). İzmir tulum peyniri üretiminde çevresel sürdürülebilirliğin Yaşam Döngüsü Analizi ile incelenmesi. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü, Genel Araştırma Projesi, Proje No:22579, İzmir.
- Kristensen, T., Soegaard, K., Eriksen, J., Mogensen, L. (2015). Carbon footprint of cheese produced on milk from Holstein and Jersey cows fed hay differing in herb content. *Journal of Cleaner Production*, 101:229-237.
- Kumar, M., Choubey, V. K., Deepak, A., Gedam, V. V., Raut, R. D. (2021). Life cycle assessment (LCA) of dairy processing industry: A case study of North India. *Trends In Food Science & Technology*, 118:207-229.
- Laca, A., Gomez, N., Laca, A., Diaz, M. (2020). Overview on GHG emissions of raw milk production and a comparison of milk and cheese carbon footprints of two different systems from northern Spain. *Environmental Science and Pollution Research*, 27:1650-1666.
- Lovarelli, D., Bava, L., Zucali, M., D'Imporzano, G., Adani, F., Tamburini, A. Sandrucci, A. (2019). Improvements to dairy farms for environmental sustainability in Grana Padano and Parmigiano Reggiano production systems. *Italian Journal of Animal Science*, 18(1):1035-1048.
- Middelhaar, C. E. van, Berentsen, P. B. M., Dolman, M. A., Boer, I. J. M. de. (2011). Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. *Livestock Science*, 139:91–99.

- Milani, F. X., Nutter, D., Thoma, G. (2011). Invited review: Environmental impacts of dairy processing and products: A review. *American Dairy Science Association*, 94:4243–4254.
- Mittal, I., Gupta, R. K. (2015). Natural Resources Depletion and Economic Growth in Present Era. *SOCH- Mastnab Journal of Science & Technology*, 10(3).
- Mondello, G., Salomone, R., Neri, E., Patrizi, N., Bastianoni, S., Lanuzza, F. (2018). Environmental hot-spots and improvement scenarios for Tuscan “Pecorino” cheese using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 195:810–820.
- Morelli, B., Hawkins, T. T., Niblick, B., Henderson, A. D., Golden, H. E., Compton, J. E., Cooter, E. J., Bare, J. C. (2018), Critical review of eutrophication models for life cycle assessment. *Environmental Science & Technology*, 52(17):9562-9578.
- Mottet A, de Haan C, Falcucci A, Tempio G, Opio C, Gerber P. (2017). Livestock: on our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*, 14:1-8.
- Munir, M. T., Yu, W., Young, B. (2014). Can exergy be a useful tool for the dairy industry?. Proceedings of the 24th European symposium on computer aided chemical engineering, 24(33):1129-1134.
- Muthu, S. S. (2014). *Assessing the environmental impact of textiles and the clothing supply chain*. Amsterdam: Elsevier, Woodhead Publishing, 105-131.
- Nigri, E. M., Barros, A. C. de, Rocha, S. D. F., Filho, E. R. (2014). Assessing environmental impacts using a comparative LCA of industrial and artisanal production processes: “Minas Cheese” case. *Food Science and Technology*, 34(3):522–531.
- Nunes, O. S., Gaspar, P. D., Nunes, J., Quinteiro, P., Dias, A.C., Godina, R. (2020). Life-Cycle Assessment of Dairy-Products- Case Study of Regional Cheese Produced in Portugal. *Processes*, 8:1182.
- Osojnik Crnivec, I. G., Marinsek-Logar, R. (2009). Identification of Environmental impact hotspots in traditional food production lines. *Acta Agriculturae Slovenica*, 94(1):39–46.
- Oulu, M. (2015). The unequal exchange of Dutch cheese and Kenyan roses: Introducing and testing an LCA-based methodology for estimating ecologically unequal exchange. *Ecological Economics*, 119:372–383.
- 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.
- Pollaro, N., Santagata, R., Ulgiati, S. (2020). Sustainability evaluation of sheep and goat rearing in Southern Italy. A life cycle cost/benefit assessment. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 8(3):229-241.
- Reijnders, L., Soret, S. (2003). Quantification of the environmental impact of different dietary protein choices. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78 (suppl), 664S-8S.
- Riva, A. D., Burek, J., Kim, D., Thoma, G., Cassandro, M., Marchi, M. D. (2017). Environmental life cycle assesment of Italian Mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities. *American Dairy Science Association*, 100:7933–7952.
- Riva, A. D., Burek, J., Kim, D., Thoma, G., Cassandro, M., Marchi, M. D. (2018). The environmental analysis of asiago PDO cheese: a case study from farm gate-to-plant gate. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1):250-262.
- Sanjuan, N., Ribal, J., Clemente, G., Fenollosa, M. L. (2011). Measuring and improving eco-efficiency using data envelopment analysis: A case study of Mahon-Menorca cheese. *Journal of Industrial Ecology*, 15:614–628.
- Santos Jr., H. C. M., Maranduba, H. L., Neto, J. A. de A., Rodrigues, L. B. (2017). Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 24:3470–3482.
- Tarighaleslami, A. H., Ghannadzadeh, A., Atkins, M. J. (2020). Environmental life cycle assesment for a cheese production plant towards sustainable energy transition: Natural gas to biomass vs.

- natural gas to geothermal. *Journal of Cleaner Production*, 275:122999.
- Terin, M. (2014). Dünya Süt ve Süt Ürünleri Üretim, Tüketim, Fiyat ve Ticaretindeki Gelişmeler. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(3):53-63.
- Ulusal Süt Konseyi. (2021). Dünya ve Türkiye’de süt sektör istatistikleri: 2020 süt raporu.
- Uysal, İ. G. (2022). İzmir tulum peyniri üretiminde Yaşam Döngüsü Analizi ile çevresel etkilerin sürdürülebilirlik kapsamında incelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemleri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bornova, İzmir.
- Üçtuğ, F. G. (2019). The environmental life cycle assessment of dairy products. *Food Engineering Reviews*, 11:104–121.
- Üçtuğ, F. G., Atluğkoyun, A. İ., İnaltekin, M. (2019). Environmental life cycle assessment of yoghurt supply to consumer in Turkey. *Journal Of Cleaner Production*, 215:1103–1111.
- Vagnoni, E., Franca, A., Porqueddu, C., Duce, P. (2017). Environmental profile of Sardinian sheep milk cheese supply chain: A comparison between two contrasting dairy systems. *Journal of Cleaner Production*, 165:1078–1089.
- Vargas, C. S., Perez, L. B., Ortiz, V. E. E., Garcia, C. G. M. (2021). Environmental impact of Oaxaca cheese production and wastewater from artisanal dairies under two scenarios in Aculco, State of Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 311:127586.
- Verduna, T., Blanc, S., Merlino, V. M., Cornale, P., Battaglini, L. M. (2020). Sustainability of Four Dairy Farming Scenarios in an Alpine Environment: The Case Study of Toma di Lanzo Cheese. *Frontiers in Veterinary Science*, 7:569167.
- Verge, X. P. C., Maxime, D., Dyer, J. A., Desjardins, R. L., Arcand, Y., Vanderzaag, A. (2013). Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. *American Dairy Science Association*, 96:6091–6104.
- Villegas, H. A. A., Kraatz, S., Reinemann, D. J. (2012). Life cycle impact assessment and allocation methods development for cheese and whey processing. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55(2):613-627.
- Westenhöfer, J. (2013). Energy density and cost of foods in Germany. *Ernaehrungs Umschau International*. 60(3):30–35.
- Zelm, R. V., Preiss, P., Dingenen, R. V., Huijbregts, M. (n.d.). Particulate Matter Formation. https://lc-impact.eu/doc/method/Chapter6_Part particulate-matter-formation.pdf (Erişim tarihi: 26.09.22).