

Karkas Et Üretiminin Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Analizi ile Belirlenmesi

Nur Seda Şahin^{1*}, Yasemin Kaya², İlda Vergili³

^{1,2,3} İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

Sorumlu yazar e-posta*: nseda13@yahoo.com. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0528-8504>
e-posta: y_kaya@iuc.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7880-7363>
e-posta: ilda@iuc.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9083-3097>

Geliş Tarihi: 29 Ocak 2023 ; Kabul Tarihi: 6 Kasım 2023

Öz

Bu çalışmada Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan büyükbaş hayvan kesimi yapılan bir kesimhanenin Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) ile çevresel etkileri ortaya konmuş ve çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik alternatif senaryolar değerlendirilmiştir. Fonksiyonel birim olarak 1 kg karkas et alınmıştır. Sistem sınırı içerisinde canlı hayvanın transferi, karkas et üretimi ve et üreticisine transfer yer almaktadır. Çalışmada; abiyotik tüketim potansiyeli (ATP), abiyotik tüketim potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil), küresel ısınma potansiyeli (KIP), ozon tabakası incelmeye potansiyeli (OTİP), insana toksisite potansiyeli (İTP), tatlı su canlılarına ekotoksikite potansiyeli (TSCEP), deniz canlılarına ekotoksikite potansiyeli (DCEP), kara canlılarına ekotoksikite potansiyeli (KCEP), fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOP), asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ötrofikasyon potansiyeli (ÖP) etki kategorileri SimaPro 9.1.1 yazılımı ve CML-IA hesaplama metodu ile belirlenmiştir. Çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik enerji ve transfer aşaması için alternatif senaryo geliştirilerek mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Şebeke elektriğine alternatif olarak jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve biyogaz enerjisi ile senaryolar ve üreticiye transfer aşamasında kullanılan araç tipine alternatif senaryo oluşturulmuştur. Mevcut tesisin çevresel etkileri incelendiğinde ATP-fosil ve OTİP dışındaki tüm etki kategorilerinde en yüksek katkının kesimhaneye transfer aşamasından (%94,72-%99,94) kaynaklandığı görülmüştür. Kesimhaneye transfer aşamasının ATP-fosil'e katkısı %62,97, OTİP'ye %83,11 iken temizlik aşamasının ATP-fosil'e katkısı %33,95; OTİP'ye %15,69'dur. Karkas et üretimi aşaması için önerilen alternatif enerji senaryoları AS-1, AS-2 ve AS-3; ATP etki kategorisi dışındaki 10 etki kategorisinde %95 civarında azalma sağlamıştır. Biyogaz enerjisinin ele alındığı AS-4 senaryosu, FOP ve AP etki kategorilerinde sırasıyla %34,78 ve %0,46 oranında artışa neden olmuştur. Üreticiye transfer aşaması için önerilen AS-5 senaryosu bütün etki kategorilerini %33,57-%76,31 oranında azaltmıştır.

Anahtar kelimeler

Çevresel etki;
Kesimhane; CML-IA
metodu; SimaPro;
Yaşam Döngüsü Analizi

Determination of Environmental Effects of Carcass Meat Production by Life Cycle Analysis

Abstract

In this study, the environmental effects of a slaughterhouse for cattle located in Afyonkarahisar Organized Industrial Zone were revealed by Life Cycle Analysis (LCA) and alternative scenarios were evaluated for reducing the environmental impacts. The functional unit for the analysis was 1 kg of carcass meat produced by the slaughterhouse. Transportation of the live cattle, production of carcass meat and its transfer to the meat producer are inside the system boundary. The impact categories, which included abiotic depletion potential (ADP), abiotic depletion potential-fossil fuels (ADP-fuels), global warming potential (GWP), ozone layer depletion potential (ODP), human toxicity potential (HTP), ecotoxicity potential to freshwater organisms (FAETP), ecotoxicity potential to marine organisms (MAETP), ecotoxicity potential to terrestrial organisms (TETP), photochemical oxidant formation potential (PhOP), acidification potential (AP), and eutrophication potential (EP) were evaluated by SimaPro version 9.1.1 software using the CML 2001 method. Alternative scenarios were developed for the energy and transfer stages to reduce environmental impacts and compared with the current situation. Scenarios were created using geothermal, wind, solar, and biogas energy as alternatives to

Keywords

Environmental impact;
Slaughterhouse; CML-
IA method; SimaPRO;
Life Cycle Analysis.

grid electricity, and the vehicle type used during the transfer stage to the meat manufacturer was chosen as an alternative scenario. The results showed that the transfer to the slaughterhouse stage had the highest contribution to all impact categories except for ADP-fuels and ODP, with a range of 94.72% to 99.94%. The transfer to the slaughterhouse stage had a 62.97% contribution to ADP-fuels and 83.11% contribution to ODP, while the cleaning stage had a 33.95% contribution to ADP-fuels and 15.69% contribution to ODP. The alternative energy scenarios proposed for the carcass meat production stage (AS-1, AS-2, and AS-3) provided a 95% reduction in 10 impact categories, except for the ADP impact category. The AS-4 scenario, which deals with biogas energy, resulted in an increase of 34.78% and 0.46% in the PhOP and AP impact categories, respectively. AS-5 scenario proposed for the transfer to the meat producer stage reduced all impact categories by 33.57%-76.31%.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Gıda üretiminin sürdürülebilirliği son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Ülkemizde gıda sektörü içerisinde yer alan et ve et ürünleri üretimi, sektör sınıflandırmasına göre 'İmalat Sanayi Gıda Sektörü' içerisinde 'Mezbaha Ürünleri Sanayi' alt ayırımında değerlendirilmektedir. Et entegre tesislerinde, mezbahalarda ve şarküteri üretim birimlerinde yapılan büyükbaş (sığır, manda gibi) ve küçükbaş (koyun, keçi gibi) hayvanların kesimi sonucu elde edilen ya tamamen et ürünü olarak ya da ağırlıklı olarak et içeren sucuk, salam, sosis, kavurma, et konservesi ve işkembe gibi ürünler et mamulleri olarak isimlendirilmektedir. Modern kesimhanelerde insan gıdası olarak kullanılmayan sindirimdeki besin ve dışkı haricindeki artık ürünler (kemik, kıkırdak, kan gibi) yem sanayiinde değerlendirilmek üzere rendering işletmesine sevk edilmektedir. Hayvanların kesim işleminden sonra gövdeden ayrılan deri, bağırsak, böbrek gibi bölümleri yan ürünlerdir. Bu ürünler "yenilebilenler ve endüstride hammadde olarak kullanılanlar" olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Böbrek, yürek, karaciğer gibi ürünler yenilebilen yan ürünler kapsamındadır. Endüstride hammadde olarak kullanılan yan ürünler ise deri, bağırsak, yağlar, kan, et-kemik unu ve rendering yağları, tırnak-boynuz unu şeklinde sınıflandırılmaktadır (ORAN 2020).

Gıda zinciri içerisinde et, en değerli hayvancılık ürünü olup protein, aminoasitler, mineraller, yağlar, yağ asitleri, vitaminler ve az miktarda karbonhidrattan oluşmaktadır. Besin açısından bakıldığında etin önemi, tüm gerekli aminoasitleri içeren yüksek kaliteli proteinden elde edilmesi ve yüksek oranda faydalı mineral ve vitamin içermesidir. Dünya et üretiminin büyük çoğunluğunun, gelişmekte olan ülkelerde 2050

yılına kadar iki katına çıkması beklenmektedir. Büyüyen et pazarı, bu ülkelerdeki hayvan çiftçileri ve et işletmecileri için önemli bir fırsat sunmaktadır (Int Kyn. 1).

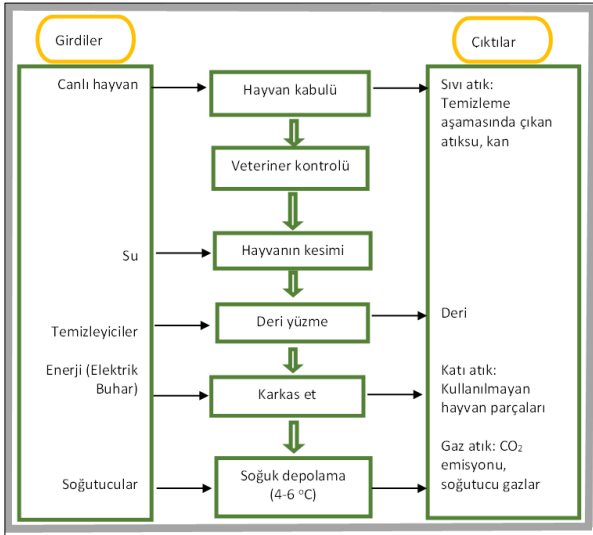
Dünya nüfusunun artması, ticaretin serbestleşmesi, gıda sistemlerinin küreselleşmesi, kentleşme, tüketicinin hayvansal protein içeriği oldukça yüksek gıdaları tercih etmesi, bunun sonucunda artan et tüketimine neden olan sebeplerdendir (Kanta 2019).

Dünya et tüketimi, dünya nüfusunun büyümesi ve kişi başına et tüketiminin artması sonucunda toplam tüketimin artması olarak iki önemli artış göstermektedir. Et, gıda zinciri boyunca en büyük çevresel etkiye sahip gıda ürünü olarak kabul edilirken, en büyük etkiler hayvancılık çiftliklerinden kaynaklanmaktadır (Djekic and Tomasevic 2016).

Et ürünleri içerisinde sığır eti, besleyici ve besin değeri yüksek bir gıda ürünüdür. Aynı zamanda domuz eti ve piliç gibi diğer et ürünlerine kıyasla sığır etinin yüksek çevresel etkiye sahip olduğu düşünülmektedir (Weber and Matthews 2008, Eshel *et al.* 2014).

Kırmızı et üretim ve akım şeması Şekil 1'de verilmiştir (Int Kyn. 2). Kırmızı et üretim süreci, üreticiden canlı hayvan alımı ile başlamaktadır. Veteriner kontrolü ile hayvanın sağlıklı ve etinin üretim için uygun olduğunun anlaşılmasının ardından karkas et üretimi için kesimhanelerde canlı hayvan kesimi gerçekleştirilmektedir. Baş, boyun ve ayaklarından ayrılarak hayvanın kanı akıtılmakta, ardından derisi yüzülen karkas et 4-6 °C'de depolanarak üretim amacına göre değerlendirilmektedir. Kırmızı et üretiminde temizleme aşamasında atıksu ve kan gibi sıvı atıklar, deri, kullanılmayan hayvan parçaları ile CO₂,

soğutucu gazlar gibi gaz atıklar oluşmaktadır. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), sürdürülebilirliği ölçmek ve nicel olarak ortaya koymak için kullanılan bir çevresel etki değerlendirme yöntemidir. Ürün veya prosesin tüm yaşam döngüsünü dikkate alarak ürünlerin çevresel performansını ölçmek için bir araç olarak kullanılmakta olup dört aşamadan oluşmaktadır: (i) Amaç ve kapsam (ii) Envanter analizi (iii) Etki değerlendirme (iv) Yorumlama (ISO 14040:2006 Uluslararası Standartlar Örgütü). Bir prosesin, ürünün veya sistemin çevresel etkilerini ortaya koymak veya alternatifleri ile karşılaştırmak için yapılan YDA çalışmalarında amaç kapsam aşaması gerek envanter analizinin detaylandırılması gerek etki değerlendirmenin uygun şekilde yapılması ve yorumlamanın sorulan soruyu cevaplaması açısından önemlidir.



Şekil 1. Kırmızı et üretim süreci akış şeması (Int Kyn. 2).

Envanter analizi aşamasındaki veri sayısı, veri toplama süresi ve veri kalitesi çalışmanın doğruluğunu belirler. Etki değerlendirme aşamasında en sık kullanılan çevresel etki kategorileri şunlardır: Abiyotik tüketim potansiyeli (ATP), abiyotik tüketim potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil), küresel ısınma potansiyeli (KIP), ozon tabakası incelmeye potansiyeli (OTİP), insana toksisite potansiyeli (İTP), tatlı su canlılarına ekotoksisite potansiyeli (TSCEP), deniz canlılarına ekotoksisite potansiyeli (DCEP), kara canlılarına ekotoksisite potansiyeli (KCEP), fotokimyasal

oksidan oluşumu potansiyeli (FOP), asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ötrofikasyon potansiyeli (ÖP).

Dünyada et ve et ürünleri sektörü ilgili YDA çalışmaları çoğunlukla domuz eti ve tavuk eti ürünlerine yoğunlaşmıştır (De Vries and De Boer 2010, Bava *et al.* 2015, Cesari *et al.* 2016, Kalhor *et al.* 2016, Skunca *et al.* 2018, Dorca-Preda *et al.* 2021, Qalase and Harding 2022). Ülkemizin et sektörü ile ilgili olarak sadece bir YDA çalışması literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada Geß *et al.* (2022) Avrupa ülkelerindeki (Almanya, İtalya, Portekiz, Slovenya, İspanya ve Türkiye) koyun eti üretiminin yaşam döngüsü boyunca çevresel etki ve maliyetlerini araştırmıştır. Bununla birlikte, literatürde büyükbaş hayvancılık (inek, dana gibi) tesisleri ile ilgili sınırlı sayıda YDA çalışması bulunmaktadır (Nguyen *et al.* 2010, Pelletier *et al.* 2010, Asem-Hiablíe *et al.* 2019, Kanta 2019).

Kanta (2019) tez çalışmasında Yunanistan'ın Selanik bölgesindeki bir süt sığırcı üretim çiftliğinde et ürünlerinin çevresel etki değerlendirmesini araştırmıştır. YDA çalışmasında SimaPro 7 yazılımı ve "CML 2 Baseline 2000" etki değerlendirme metodu kullanılmıştır. İncelenen çiftlikteki mevcut durum, hayvansal yan ürünlerin değerlendirilmesini kapsayan alternatif bir senaryo ile karşılaştırılmıştır. Etki değerlendirme sonucunda hayvansal yan ürünlerin kullanıldığı senaryonun çevresel etkisi daha düşük bulunmuştur. Bu senaryo; biyogaz üretimi (elektrik, ısı) için süt sığırcı gübresinin anaerobik parçalanmasının yanı sıra, sindirilmiş gübrenin yem ve mahsul üretimi için kullanılan Azot (N) ve Fosfor (P) yerine organik gübre olarak kullanılmasını kapsamaktadır.

Asem-Hiablíe vd. (2019)'nin yaptığı çalışmada, sığırcı eti sisteminin sürdürülebilirliğinin çiftlikten-kapıya ölçümleri de dâhil olmak üzere Amerika Birleşik Devletleri (ABD) sığırcı eti üretim zincirinin çevresel etki değerlendirmesi, YDA kullanılarak yapılmıştır. Fonksiyonel birim olarak 1 kg kemiksiz, yenilebilir sığırcı eti kullanıldığı çalışmada çevresel etkiler BASF Corporation Eko-Verimlilik Analizi metodolojisi kullanılarak yapılmıştır. Etki değerlendirme çalışması kapsamında su emisyonları (7005 L seyreltilmiş su eşd.), enerji kullanımı (1110 MJ), arazi kullanımı (47.4 m²), AP (726 g SO₂ eşd.), FOP (146.5 g C₂H₄-eşd.), KIP (48.4 kg CO₂ eşd.) ve OTİP

(1686 µg CFC-11 eşd.) etki kategorileri araştırılmıştır. ABD sığır eti üretim zinciri sisteminin bu çevresel değerlendirmesinde, incelenen etki kategorilerinin çoğunda en büyük etki yem ve sığır üretiminden kaynaklanmaktadır.

Nguyen vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, Avrupa Birliği'nde farklı sığır eti üretim sistemlerinin (buzağı ve süt veren inekler) çevresel sonuçları, YDA kullanılarak araştırılmıştır. Fonksiyonel birim olarak 1 kg karkas et seçilmiştir. Çalışmada değerlendirilen beş etki kategorisinin (KIP, AP, ÖP, arazi kullanım potansiyeli (AKP) ve yenilenemeyen enerji potansiyeli (YEP) hesaplarında EDIP ve IMPACT 2002+ metotları kullanılmıştır. Avrupa Birliği'nde bir çiftlikten çıkan 1 kg sığır eti için çevresel etkiler şöyle bulunmuştur: KIP: 16,0–27,3 kg CO₂ eşd., AP: 101–210 g SO₂ eşd., ÖP: 622–1651 g NO₃ eşd., YEP: 41.3–59.2 MJ, AKP: 16.5–42.9 m²yıl. Sonuç olarak buzağılardan et eldesinin çevresel yükünün daha yüksek olduğu ortaya konan çalışmada sürü yetiştirilmesinden kaynaklanan arazi kullanımının sürdürülebilirliğine de dikkat çekilmiştir.

De Vries ve De Boer (2010), hayvancılık ürünlerinin (domuz eti, tavuk, sığır eti, süt ve yumurta üretimi) çevresel etkilerinin YDA ile değerlendirildiği 16 çalışmayı karşılaştırdıkları bir derleme yayınlamıştır. Çalışma sonucunda sığır eti üretiminin arazi kullanımı, enerji kullanımı ve iklim değişikliği kategorisinde en yüksek etkiye sebep olduğunu raporlamışlardır. İkinci sırada domuz eti yer almıştır. Süt üretiminin en düşük çevresel etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Pelletier vd. (2010) yaptıkları çalışmada Yukarı Orta Batı ABD'de bulunan sığır eti üretimi yapılan 3 tesis için YDA çalışması yürütmüştür. Fonksiyonel birim 1 kg sığır eti olarak alınmıştır. Çalışmada enerji kullanımı, ekolojik ayak izi, sera gazı emisyonları ve ötrofikasyon emisyonlarını karşılaştırmak için SimaPro 7.1 YDA yazılım paketi kullanılmıştır. Ekolojik ayak izi Ecoinvent 2.0 yöntemi ile hesaplanmıştır. Ötrofikasyon emisyonları (PO₄ eşdeğeri birimleri olarak ifade edilen azot ve fosfor içeren bileşiklerin tüm emisyonları), CML 2001 yöntemine göre hesaplanmıştır. Etki analizi, sığır eti üretimi için yem kullanım oranına göre (%30, %60 ve %90 oranlarında) yapılmıştır. %30 oranında yem

kullanımında enerji kullanımı: 63.8 MJ, sera gazı emisyonu: 21.5 kg CO₂ eşd., ÖP: 169 g PO₄ eşd. ve ekolojik ayak izi: 150 m² olarak bulunmuştur. %60 oranında yem kullanımında enerji kullanımı: 48.4 MJ, sera gazı emisyonu: 19.2 kg CO₂ eşd., ÖP: 142 g PO₄ eşd. ve ekolojik ayak izi: 120 m² olarak hesaplanmıştır. %90 oranında yem kullanımında ise enerji kullanımı: 43.3 MJ, sera gazı emisyonu: 18.4 kg CO₂ eşd., ÖP: 133 g PO₄ eşd. ve ekolojik ayak izi: 110 m² olarak saptanmıştır.

Et ve et ürünleri endüstrisinin çevresel etkilerinin değerlendirildiği bu çalışmalar AB ve ABD ağırlıklı olup sektörün oldukça yaygın olduğu ülkemizde bölge koşullarını içeren detaylı bir çalışma, bilginiz dâhilinde yoktur.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar İli Organize Sanayi Bölgesi (OSB)'nde yer alan büyükbaş hayvan kesimi yapılan bir kesimhane tesisinin karkas et üretiminin çevresel etkileri YDA ile ortaya konmuştur. Bu yönüyle bu çalışmanın yapılacak bölgeye özgü bir çalışma olacağı öngörülmektedir. Çalışmada kesimhanenin çevresel etkilerinin ortaya konmasının yanı sıra alternatif senaryolar oluşturularak bu etkilerin azaltılabilmesi ve sürdürülebilirlik hedeflenmiştir.

Afyonkarahisar bölgesinde jeotermal enerji santralleri, rüzgâr enerji santralleri ve biyogaz üretim tesisleri yer almaktadır. Bu çerçevede çalışma kapsamında tesiste mevcutta kullanılan şebeke elektriğine alternatif senaryo olarak yenilenebilir enerji (jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve biyogaz enerjisi) kullanımı senaryoları oluşturularak değerlendirilmiştir. Transfer aşamasında ise alternatif senaryo olarak Euro 4 araç tipine alternatif daha düşük emisyon yayan Euro 6 araç kullanımı çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu YDA çalışmasında PRé Sustainability adlı bir Hollanda şirketi tarafından geliştirilen "9.1.1.7 Education" sürümü SimaPro yazılımı kullanılmıştır. Kullanım amaçlarından biri de sürdürülebilirliği ölçmek olan bu yazılım paketi, hammaddelerin çıkarılmasından üretim sürecine, kullanımına ve nihai bertarafına kadar yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerin ölçülmesini ve etki

değerlendirilmesini sağlamaktadır. YDA çalışması ISO Standardına uygun olarak dört adımda yürütülmüş olup bu adımlar aşağıda anlatılmıştır.

2.1. Amaç ve kapsam

Çalışmanın amacı (1) büyükbaş hayvan (sığır) kesimi yapılan bir kesimhane tesisinin çevresel etkilerini ortaya koymak ve (2) çevresel etkinin yüksek çıktığı prosesler için oluşturulan alternatif senaryolar ile mevcut durumu karşılaştırarak çevresel etkide oluşacak değişikliği ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında Afyonkarahisar İli Merkez İlçesi, Organize Sanayi Bölgesi'nde büyükbaş hayvan kesimi yapılan bir kesimhane tesisi incelenmiştir. Tesisin ana faaliyeti et kesimi ve karkas et üretimidir. Hayvanların ortalama ağırlığı 500 kg olarak kabul edilmiş olup kesim prosesi kütle dengesi Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışma, tesisten toplanan 1 senelik veri ile gerçekleştirilmiştir. Kesimhane tesisinin çevresel etkilerinin belirlenmesi için Simapro 9.1.1 yazılımı kullanılarak YDA çalışması yapılmıştır. Çevresel etki değerlendirme için CML-IA hesaplama metodu kullanılmıştır.

Çizelge 1. Kesim prosesi-kütle dengesi*.

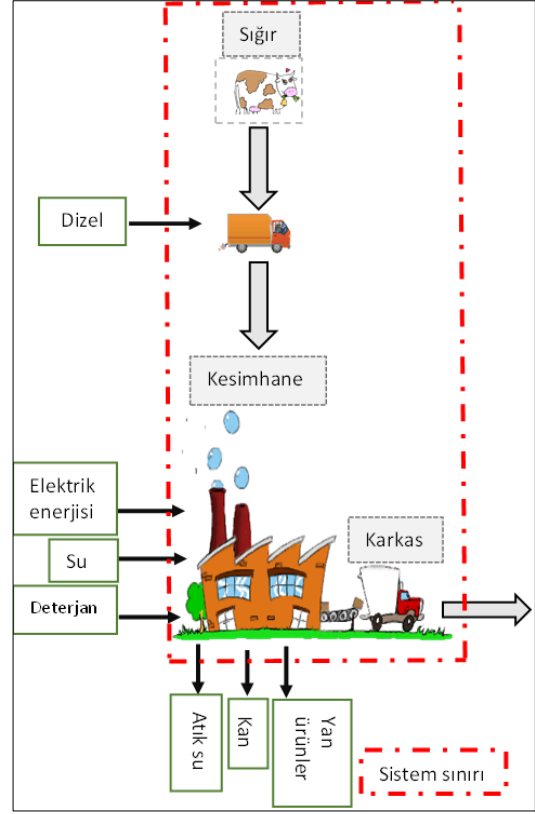
Ürünler	Yüzde (%)	Miktar (kg)
Karkas et	60	300
Sakatat	2.55	12.75
Deri	8.27	41.35
Kafa	3.23	16.15
Kan	6.68	33.40
Boş bağırsak	1.74	8.7
Boş iştakembe	2.49	12.45
Diğer	15.04	75.2
TOPLAM	100	500

*Yıldırım 1998.

Çalışmada fonksiyonel birim 1 kg karkas et olarak belirlenmiştir. Sistem sınırları, büyükbaş canlı hayvanın üreticiden alınarak kesimhanede kesilip sonrasında elde edilen karkas etlerin alınması ve üreticiye taşınması aşaması dâhil fabrika kapısına kadar olan süreci kapsamaktadır. Aynı zamanda temizlik maddesi olarak deterjan kullanımı da sistem sınırına dâhil edilmiştir. Kesimhane tesisi sistem sınırı Şekil 2'de verilmiştir.

Canlı hayvanın transferi, karkas et üretimi (kesim işlemi), deterjan kullanımı ve üreticiye transferi aşamaları YDA'nın sistem sınırlarını oluşturmaktadır. Sistem girdileri canlı hayvan, elektrik enerjisi, dizel yakıt, su ve deterjan (temizlik

amaçlı kullanım) iken çıktılar karkas et, atık su, kan ve yan ürünlerdir. Atık su, kan ve diğer yan ürünler sistem sınırları dışarısında bırakılmıştır. Kesimhane tesisinde üretim aşaması (enerji kullanımı) ve transfer aşaması (transfer araçları) için oluşturulan alternatif senaryolar Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kesimhane tesisi sistem sınırı.

Enerji kullanımındaki değişiklikler ile oluşturulan alternatif enerji senaryoları, bölgede yer alan yenilenebilir enerji kaynakları (jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve biyogaz) dikkate alınarak oluşturulmuştur. Afyonkarahisar'da bulunan Afjet Afjes Jeotermal Santrali (JES); 2,76 MWe (megawatt elektrik) kurulu gücü ile ortalama 5.400 kişiye düşen tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır (Int Kyn. 3). Afyonkarahisar'da ayrıca 4 adet kurulu rüzgâr santrali mevcuttur ve toplam kurulu güç 351 Mwe'tir (Int Kyn. 4). Ülkemiz güneş haritasına göre Ege bölgesi 1500-1750 kWh/m²-yıl arasında güneş enerjisi radyasyonuna sahip olup Ege bölgesinde, iç kesiminde yer alan Afyonkarahisar ili ise 1550-1650 kWh/m²-yıl güneş enerjisi radyasyonuna sahiptir (Int Kyn. 5). Afyonkarahisar'da 8,40 MW kurulu gücü ile Afyon Hayvansal Atık Biyogaz Santrali ve 4,02 MW kurulu

gücü Afyon Biyogaz Enerji Santrali bulunmaktadır (Int Kyn. 6). Üretim sektöründe gerek

hammadelerin fabrikaya/tesise gerekse ürünlerin tüketiciye ulaştırılması sırasında çeşitli ulaşım

Çizelge 2. Kesimhane tesisi alternatif senaryolar.

Senaryo adı	Kısaltma	Açıklama
Enerji senaryosu 1	AS-1	Karkas et üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı senaryo
Enerji senaryosu 2	AS-2	Karkas et üretiminde rüzgâr enerjisinin kullanıldığı senaryo
Enerji senaryosu 3	AS-3	Karkas et üretiminde güneş enerjisinin kullanıldığı senaryo
Enerji senaryosu 4	AS-4	Karkas et üretiminde biyogaz enerjisinin kullanıldığı senaryo
Transfer senaryosu	AS-5	Et ürünleri üreticisine transfer aşamasında kullanılan "Euro 4" soğutucu/donduruculu araçların yerine "Euro 6" modeli transfer araçlarının kullanıldığı senaryo

AS=Alternatif

Senaryo.

yollarının kullanılması ile çoğunlukla yenilenemeyen enerji kaynaklı yakıtların kullanılması sonucunda önemli miktarda emisyon açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu emisyonlar hava kalitesine ve insan sağlığına olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu çalışmada alternatif senaryolar ile mevcut üretimin çevresel etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır. Karayolu taşımacılığında Avrupa emisyon standartları, çevre açısından dikkate alınan bir diğer noktadır. Avrupa Emisyon standartları (Euro normları), kullanılan yakıttan bağımsız olarak bir aracın açığa çıkarabileceği emisyon limitlerini ifade etmektedir. Euro-4 standardı bir araç için emisyon limitleri; petrol NOx (azot oksitler) 0,08 g/km, dizel NOx 0,25 g/km, dizel PM (partikül madde) 0,025 g/km iken Euro-6 standardı bir araç için bu değerler; petrol NOx 0,06 g/km, dizel NOx 0,08 g/km, dizel PM 0,0045 g/km dir (Int Kyn. 7). Bu kapsamda oluşturulan alternatif transfer senaryosunda kesimhaneye hammadde transferinde Euro 4 araç tipine göre daha düşük NOx ve PM emisyonlarına sahip Euro 6 araçların kullanılması ile çevresel etki değerlerinde meydana gelebilecek değişimler değerlendirilmiştir.

2.2. Envanter analizi

Yaşam döngüsü envanter analizi safhasında, verilerin toplanması ve ürün sistemlerinin içindeki akışların modellenmesi yapılmaktadır (Bjørn et al. 2018). Kesimhane tesisinden 1 yıl (2019-2020 yılı) veri toplanmıştır. Alınan veriler doğrultusunda yıllık ortalama kesilen büyükbaş hayvan sayısı, elektrik tüketimi, su tüketimi ve temizlik maddesi tüketimi ile ortalama taşıma mesafeleri envanter toplama aşamasında sistem girdileri olarak alınmıştır. Yıllık ortalama hayvan kesimi, transfer mesafeleri ve

temizlik maddesi kullanımı verileri tesisten alınan birincil verilerdir. Ayrıca tesise ait yıllık su kullanımı ve elektrik tüketimi verileri Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Müdürlüğü ile yapılan görüşmelerden elde edilmiştir.

Toplanan envanter bilgisi, SimaPro yazılımında Ecoinvent 3 ve Agri-footprint 5 veritabanları kullanılarak modellenmiştir.

2.3. Etki analizi

Etki analizi aşamasında envanter analizi sırasında tanımlanan olası çevresel salımların insan sağlığı ve çevresel değerler ve aynı zamanda doğal kaynak tüketimi üzerindeki etkileri SimaPro 9.1.1.7 yazılımı kullanılarak CML-IA hesaplama metoduna göre karakterize edilmiştir. CML-IA, Hollanda'daki Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Merkezi (CML) tarafından geliştirilen bir YDA metodolojisidir (Int Kyn. 8). Sistem girdileri olarak kesim için canlı hayvan girdisi ve deterjan girdisi olarak küresel ölçekte veriler; elektrik girdisi olarak Türkiye orta voltaj verisi; transfer verisi olarak küresel Euro 4 tipi soğutucu-donduruculu araç verisi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında on bir etki kategorisi ele alınmıştır. Bunlar: ATP, ATP-fosil, KIP, OTİP, İTP, TSCEP, DCEP, KCEP, FOP, AP ve ÖP.

2.4. Yorumlama

CML-IA hesaplama metoduna göre SimaPro 9.1.1.7 yazılım programında hesaplanan karakterizasyon değerleri hem sayısal olarak hem de toplam yüzde katkı olarak hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar fonksiyonel birim (1 kg karkas et) için on bir adet etki kategorisine göre değerlendirilerek yorumlama yapılmıştır.

3. Bulgular

Afyonkarahisar İli OSB’de yer alan kesimhane tesisine ait 2020 yılı verileri, tesis ile kişisel iletişime geçilerek elde edilmiş birincil verilerdir. Tesiste çalışanların ısınma ihtiyacı için yakıt tüketim verileri girdi envanterine dâhil edilmemiştir. Kesimhane tesisinden elde edilen gerçek verilere ait bilgiler Çizelge 3’te verilmektedir. Mogensen vd. (2016) hayvan başına harcanan elektrik kullanımını 32-47 kWsa olarak vermiştir.

Çizelge 3. Kesimhane tesisinden elde edilen veriler.

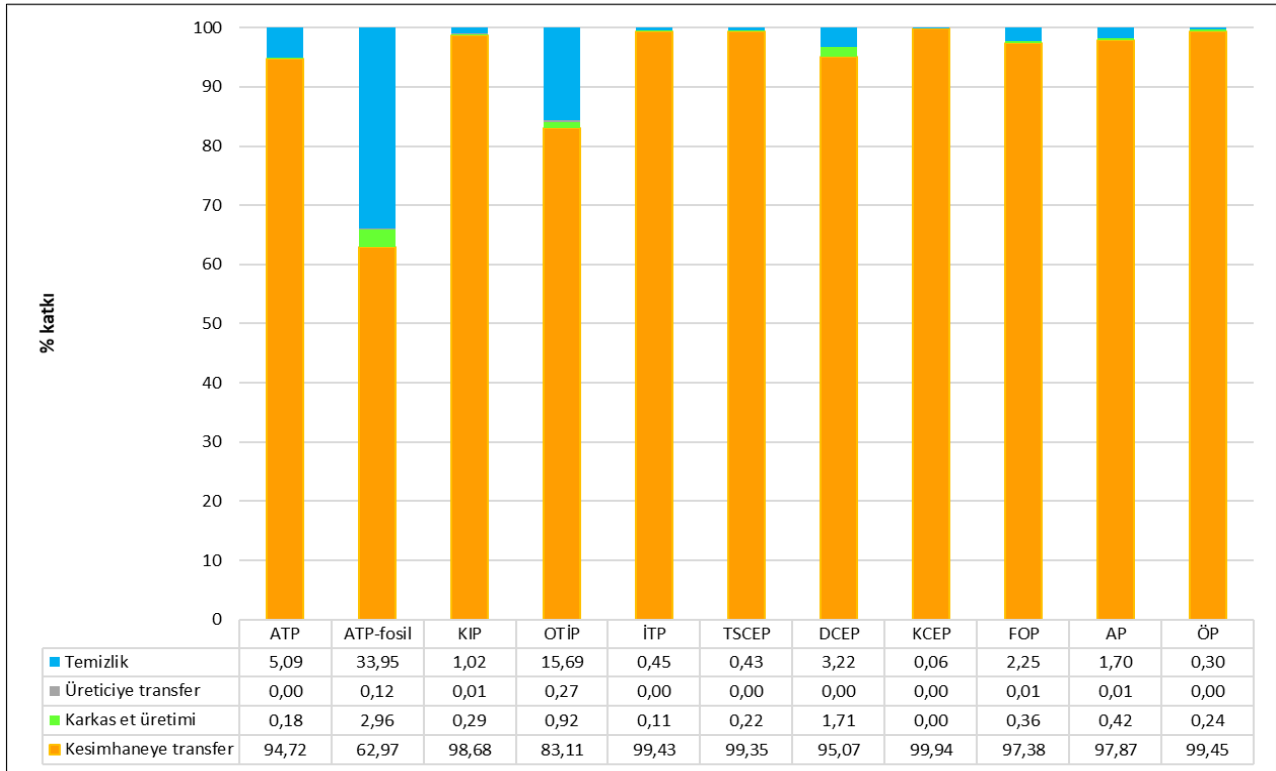
Kesimhane verileri*	Miktar
Yıllık toplam kesilen hayvan sayısı	4986 adet
Yıllık elektrik tüketimi	19889,6 kWh
Yıllık su tüketimi	4992 m ³
Yıllık deterjan kullanımı	960 kg

*Kesimhane tesisinden elde edilen birincil verilerdir.

Çizelge 4. Kesimhaneye ait çevresel etki değerlendirme sonuçları.

Etki kategorisi*	Birim	Kesimhaneye transfer	Karkas et üretimi	Temizlik	Üreticiye transfer	TOPLAM
ATP	kg Sb eşd.	7,26E-05	1,40E-07	3,90E-06	7,27E-10	7,66E-05
ATP-fosil	MJ	1,83E+01	8,60E-01	9,86E+00	3,47E-02	2,91E+01
KIP	kg CO ₂ eşd.	2,74E+01	7,96E-02	2,83E-01	2,62E-03	2,77E+01
OTİP	kg CFC-11 eşd.	1,74E-07	1,94E-09	3,29E-08	5,60E-10	2,10E-07
İTP	kg 1,4-DB eşd.	3,01E+01	3,46E-02	1,38E-01	4,48E-04	3,03E+01
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	2,15E+01	4,72E-02	9,30E-02	6,47E-05	2,16E+01
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	8,13E+03	1,46E+02	2,75E+02	2,02E-01	8,55E+03
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	3,33E+00	9,02E-05	1,94E-03	1,29E-06	3,33E+00
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	4,30E-03	1,61E-05	9,92E-05	2,33E-07	4,41E-03
AP	kg SO ₂ eşd.	1,02E-01	4,39E-04	1,76E-03	8,09E-06	1,04E-01
ÖP	kg PO ₄ eşd.	1,18E-01	2,84E-04	3,60E-04	1,60E-06	1,18E-01

* Abiyotik tüketim potansiyeli (ATP), abiyotik tüketim potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil), küresel ısınma potansiyeli (KIP), ozon tabakası incelmeye potansiyeli (OTİP), insana toksisite potansiyeli (İTP), tatlı su canlılarına ekotoksikite potansiyeli (TSCEP), deniz canlılarına ekotoksikite potansiyeli (DCEP), kara canlılarına ekotoksikite potansiyeli (KCEP), fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOP), asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ötrofikasyon potansiyeli (ÖP).



Şekil 3. Kesimhaneye ait çevresel etkilerin yüzde katkıları.

Bu tesiste ise 39-44 kWsa/hayvan'dır. Tesiste tüketilen su yaklaşık 1000 L/hayvan olup suyun yaklaşık %45'i kesim aşaması ve transfer araçlarının temizliği için kullanılırken %25'i organların çıkarılması, %25'i temizlik ve %10'u diğer işler için kullanılmaktadır. Mogensen vd. (2016) çalışmasında sadece kesim ve temizlik için 686 L/hayvan su tüketildiği belirtilmiştir.

Canlı hayvan üreticisinden kesimhaneye mesafe, en uzak üreticinin mesafesi olan 250 km ve kesimhaneden et üreticisine transfer mesafesi ise 3 km, tesisten birincil veri olarak alınmıştır. Çalışmada ele alınan kesimhane tesisinin mevcut koşullarında işletilmesinde kesimhaneye transfer, üretim (karkas et üretimi), deterjan kullanımı ve et ürünleri üreticisine transfer aşamalarının çevresel etkileri ve çevresel etkilerin yüzde katkıları Çizelge 4 ve Şekil 3'te verilmiştir.

3.1. Abiyotik tüketim potansiyeli (ATP)

ATP doğal kaynakların tükenmesini ifade eden bir etki kategorisidir ve kg Sb (antimon) eşdeğeri (eşd.) cinsinden belirtilmekte olup kullanılan mineral ve fosil yakıt miktarını ifade etmektedir (Pre-sustainability, 2022). ATP kategorisi toplam çevresel etki değeri 7,66E-05 kg Sb eşd. olup bunun büyük bir kısmını 7,26E-05 kg Sb eşd. (%94,72) ile kesimhaneye transfer aşaması oluşturmaktadır. Kesimhaneye transfer aşamasındaki etkinin de büyük bir kısmını canlı hayvan girdisi oluşturmaktadır. Tarım makineleri kullanımında çinko kaplama, kurşun-çinko üretiminden kaynaklı sülfirik asit ile fosfatlı gübre kullanımı gibi zirai faaliyetler bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır. Temizlik aşamasının etki değeri 3,90E-06 kg Sb eşd. olup %5,09 oranında katkı sağlamaktadır. Temizlikte kullanılan alkilbenzen sülfonat kimyasalının kullanımına bağlı olarak bu kimyasalın üretiminde ihtiyaç duyulan alüminyum, hidrojen florür ve sülfür gibi mineraller bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır.

3.2. Abiyotik tüketim potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil)

ATP-fosil etki kategorisi ise doğal fosil yakıt kaynaklarının tükenmesinin göstergesidir ve MJ

olarak ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022). Toplam çevresel etki 2,91E+01 MJ olup 1,83E+01 MJ ile büyük bir kısmını (%62,97) kesimhaneye transfer aşaması oluşturmaktadır. Temizlik aşamasındaki etki 9,86E+00 MJ olup %33,95 oranında katkı sağlamaktadır. Ayrıca karkas et üretiminden %2,96 katkı gelmiştir. Kesimhaneye transfer aşamasında ATP-fosil etkisi %94,27 oranında canlı hayvan girdisinden kaynaklanırken %5,96 oranında da transfer aracından kaynaklanmaktadır. Canlı hayvanın beslenmesi aşaması ve azotlu gübre kullanımı ile transferde dizel yakıt üretiminde petrol ve gaz kullanımı bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır. Temizlikte kullanılan alkilbenzen sülfonat kimyasalının kullanımına bağlı olarak bu kimyasalın üretiminde ihtiyaç duyulan petrol türevleri (benzen ve parafin gibi) bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır. Türkiye'nin 2019 yılı elektrik enerjisi şebeke elektriği kaynak dağılımı %21,7 kömür, %29,2 hidroelektrik, %18,8 doğalgaz, %15,4 linyit, %7 rüzgâr, %3 jeotermal, %3 güneş enerjisi oluşturmaktadır (Int Kyn. 9). Envanter analizine göre karkas et üretiminden kaynaklı ATP-fosil etkisi ağırlıklı olarak orta voltaj TR elektriğinin üretilmesi için taşkömürü, linyit ve doğalgaz karışımından elektrik enerjisi elde edilmesi aşamasından oluşmaktadır.

3.3. Küresel ısınma potansiyeli (KIP)

KIP, iklim değişikliği sebebiyle atmosferin ısınmasını ifade etmektedir. Küresel ısınmaya en fazla neden olan insan faaliyetlerinden biri de petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil kaynakların yakılmasıdır. YDA çalışmalarında KIP, kg CO₂ eşd. cinsinden ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022). KIP'ye dahil olan ana kirleticiler metan, karbon dioksit ve diazot monoksittir (Angerer et al. 2021). Toplam çevresel etki 2,77E+01 kg CO₂ eşd. olup 2,74E+01 kg CO₂ eşd. ile kesimhaneye transfer aşaması (%98,68) neredeyse tüm katkıyı oluşturmaktadır.

Kesimhaneye transfer aşamasında ana etkinin büyük bir kısmını canlı hayvan girdisi oluşturmakta olup hayvanın beslenmesi aşamasında havaya salınan emisyonlardan kaynaklı %65,33 CH₄

(biyogenik metan), %25,55 N₂O (diazot monoksit) ve %9,12 CO₂ (karbondioksit) emisyonları oluşturmaktadır. Mogensen et al. (2016) çalışmasında kesimhaneye transfer ve üretim aşamalarında toplam KIP değeri 40-50 kg CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. 391-655 kg ortalama ağırlığı olan sığırların kesimhaneye transferinde (100 km) KIP etki kategorisinde net 12,5-21,5 kg CO₂ eşd. rapor edilmiştir. Bu çalışmada ortalama 500 kg ağırlıktaki canlı hayvanın 250 km mesafedeki kesimhaneye transferinde bulunan KIP; 27,4 kg CO₂ eşd. olup, transfer mesafesi daha uzun olduğu için daha yüksek bir sonuç çıktığı düşünülmektedir.

3.4. Ozon tabakası incelmeye potansiyeli (OTİP)

OTİP insan faaliyetleri kaynaklı emisyonlar (kloroflorokarbon, hidrokloroflorokarbon, klor, brom vb.) tarafından stratosferdeki ozon miktarının azalmasını ve ozon deliği olarak adlandırılan ozon tabakasının incelmeye ifade etmektedir. YDA çalışmalarında OTİP, kg CFC-11 eşd. cinsinden ifade edilmektedir. (SimaPro Database manual, 2022). Toplam çevresel etki 2,10E-07 kg CFC-11 eşd. olup OTİP etki kategorisine en yüksek katkının %83,11 ile kesimhaneye transfer aşamasından kaynaklandığı görülmektedir. Aynı zamanda 3,29E-08 CFC-11 eşd. (%15,69) ile temizlik aşamasının da kayda değer bir katkısının olduğu görülmektedir. Kesimhaneye transfer aşamasında yüksek miktarda havaya halon 1301 (bromotriflorometan), halon 1211 (bromo klorodiflorometan), CFC-114 (diklorotetrafloroetan) ve HCFC-22 (klorodiflorometan) salınımları oluşmaktadır. Kesimhaneye transfer aşamasında etkinin yaklaşık %90'ını kesim için canlı hayvan girdisi oluştururken yaklaşık %10'unu ise transfer aracı oluşturmaktadır.

Canlı hayvanın beslenmesinde yem yetiştirilmesi aşamasında kullanılan azotlu gübre ve zirai faaliyetler ile transfer aracının dizel yakıt kullanımları için petrol ve gaz üretimi bu etkinin süreç katkılarını oluşturmaktadır. Temizlik aşaması alkilbenzen sülfonat kimyasalının kullanımından kaynaklı %40,84'ü Halon 1301, %31,06'sı HCFC-22, %23,49'u Halon 1211 ve %4,61'i CFC-114 emisyonları bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır.

3.5. İnsana toksisite potansiyeli (İTP)

İTP, YDA çalışmalarında çeşitli kimyasalların çevreye salınımı sonucu insan sağlığı üzerinde oluşturduğu toksik etkiyi ifade etmektedir. Ağır metaller gibi insan sağlığına toksik etkide bulunan kimyasalların çevresel etkisi olarak bilinmekte olup YDA çalışmalarında kg 1,4-DB (diklorobenzen) eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022). Toplam çevresel etki 3,03E+01 kg 1,4-DB eşd. olup 3,01E+01 kg 1,4-DB eşd. ile kesimhaneye transfer aşaması (%99,43) neredeyse tüm katkıyı oluşturmaktadır. Kesimhaneye transfer aşamasından kaynaklanan ana etkinin tamamını kesim için canlı hayvan girdisi oluşturmakta olup canlı hayvanın beslendiği sistemin tamamı bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır. Bu aşamada nikel, kurşun, kadmiyum, çinko ve bakır elementlerinin zirai faaliyetler sonucu toprağa emisyonları bu etkinin alt kaynağını oluşturmaktadır.

3.6. Tatlı su canlılarına ekotoksisite potansiyeli (TSCEP)

TSCEP etki kategorisi, toksik maddelerin havaya, suya veya toprağa karışımı sonucu tatlı su ekosistemine olan etkilerini içermektedir. TSCEP, kg 1,4-DB eşd. cinsinden ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022). TSCEP etki kategorisinde toplam çevresel etki 2,16E+01 kg 1,4-DB eşd. olup 2,15E+01 kg 1,4-DB eşd. ile kesimhaneye transfer (%99,35) neredeyse tüm katkıyı oluşturmaktadır. Kesimhaneye transfer aşamasından kaynaklanan ana etkinin tamamını kesim için canlı hayvan girdisi oluşturmaktadır. Canlı hayvanın beslendiği sistemin tamamı bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır. Bu aşamada bakır, nikel ve çinko gibi elementlerin zirai faaliyetler sonucu toprağa emisyonları bu etkinin alt kaynağını oluşturmaktadır.

3.7. Deniz canlılarına ekotoksisite potansiyeli (DCEP)

DCEP, toksik maddelerin deniz ekosisteminde oluşturduğu etkileri ifade etmekte olup YDA çalışmalarında kg 1,4-DB eşd. cinsinden ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022).

DCEP toplam çevresel etki değeri 8,55E+03 kg 1,4-DB eşd. olup 8,13E+03 kg 1,4-DB eşd. ile kesimhaneye transfer (%95,07) en büyük katkıyı oluşturmaktadır. Aynı zamanda 2,75E+02 kg 1,4-DB eşd. (%3,22) ile temizlik aşamasının da belirgin bir katkısının olduğu görülmektedir. Kesimhaneye transfer aşamasından kaynaklanan ana etkinin tamamını kesim için canlı hayvan girdisi oluşturmaktadır. Çinko, nikel ve bakır elementleri gibi toprağa emisyonlar; hidrojen florür gibi havaya ve berilyum gibi suya emisyonlar bu etkinin alt kaynağını oluşturmaktadır.

3.8. Kara canlılarına ekotoksisite potansiyeli (KCEP)

KCEP, çevreye salınan toksik maddelerin karasal ekosistem üzerinde oluşturduğu etkileri ifade etmektedir. KCEP, kg 1,4-DB eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022). KCEP etki kategorisinde toplam çevresel etki 3,33E+00 kg 1,4-DB eşd. olup ile kesimhaneye transfer aşaması (%99,94) tüm katkıyı oluşturmaktadır. Kesimhaneye transfer aşamasından kaynaklanan ana etkinin tamamını kesim için canlı hayvan girdisi oluşturmaktadır. Canlı hayvanın beslendiği sistemin tamamı bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır. Bu aşamada zirai faaliyetlerden kaynaklı bakır, nikel ve çinko gibi elementlerin toprağa emisyonları bu etkinin alt kaynağını oluşturmaktadır.

3.9. Fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOP)

FOP tarımsal ürünlere, insan sağlığına ve ekosisteme zarar veren reaktif maddelerin oluşumunu açıklayan bir etki kategorisidir. YDA çalışmalarında FOP, kg C₂H₄ eşd. cinsinden ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022). FOP etki kategorisinde toplam çevresel etki değeri 4,41E-03 kg C₂H₄ eşd. olup 4,30E-03 kg C₂H₄ eşd. ile kesimhaneye transfer (%97,38) neredeyse tüm katkıyı oluşturmaktadır. Aynı zamanda 9,92E-05 kg C₂H₄ eşd. (%2,25) ile temizlik aşamasının da belirgin bir katkısının olduğu görülmektedir.

Kesimhaneye transfer aşamasında ana etkinin büyük bir kısmını canlı hayvan girdisi oluşturmaktadır olup hayvanın beslenmesi aşamasında havaya salınan emisyonlar (%95,73 CH₄ - biyojenik metan, %2,61 SO₂ ve %1,66 C₂H₄) kaynaklıdır. Temizlik aşamasında kullanılan alkilbenzen sülfonat kimyasalının üretiminden kaynaklı emisyonların %98,97'sini SO₂ oluşturmaktadır.

3.10. Asidifikasyon potansiyeli (AP)

AP, asitleştirici maddelerin toprak, yeraltı suyu, yüzey suyu, organizmalar, ekosistemler ve malzemeler üzerinde oluşturduğu toksik etkiyi ifade eden etki kategorisidir. YDA çalışmalarında AP, kg SO₂ eşd. cinsinden ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022). En önemli antropojenik AP kaynakları elektrik ve ısıtma üretimindeki yanma süreçleri ve transferdir, ancak et üretimi ile ilgili olarak amonyak emisyonları (NH₃) da önemlidir (Mogensen *et al.* 2016). AP etki kategorisinde toplam çevresel etki değeri 1,04E-01 kg SO₂ eşd. olup etkinin büyük bir kısmını ortaya koyan aşama 1,02E-01 kg SO₂ eşd. ile (%97,87) kesimhaneye transfer aşamasıdır. Aynı zamanda 1,76E-03 kg SO₂ eşd. (%1,70) ile temizlik aşamasının da bir katkısının olduğu görülmektedir. Kesimhaneye transfer aşamasından kaynaklanan ana etkinin tamamını kesim için canlı hayvan girdisi oluşturmaktadır olup canlı hayvanın beslendiği sistemin tamamı bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır. Bu aşamada havaya salınan NH₃, NO_x ve SO₂ emisyonları bu etkinin alt kaynağını oluşturmaktadır.

3.11. Ötrofikasyon potansiyeli (ÖP)

ÖP, havaya, suya ve toprağa besi maddelerinin aşırı salınımı nedeniyle oluşan makro besi maddelerinin artışının sebep olduğu etkileri ifade eden etki kategorilerindedir. YDA çalışmalarında ÖP, kg PO₄ eşd. cinsinden ifade edilmektedir (SimaPro Database manual, 2022). ÖP etki kategorisinde toplam çevresel etki değeri 1,18E-01kg PO₄ eşd. olup kesimhaneye transfer aşaması (%99,45) neredeyse tüm katkıyı oluşturmaktadır. Kesimhaneye transfer aşamasından kaynaklanan

ana etkinin tamamını kesim için canlı hayvan girdisi oluşturmakta olup canlı hayvanın beslendiği sistemin tamamı bu etkinin süreç katkısını oluşturmaktadır.

Bu aşamada suya salınan NO_3^- (%70,60) ve P (%5,21) ile havaya salınan NH_3 (%17,18), N_2O (%5,95) ve NO_x (%1,06) emisyonları bu etkinin alt kaynağını oluşturmaktadır.

Sonuç olarak; kesimhanenin çevresel etkileri değerlendirildiğinde en büyük katkının kesimhaneye transfer aşamasından (%62,97-99,94) kaynaklandığı görülmektedir. Temizlik aşamasının da ATP-fosil ve OTİP etki kategorilerine orta derecede (%33,95 ve %15,69) olmak üzere diğer etki kategorilerine düşük katkısı (%0,06-5,09) söz konusudur. Elektrik tüketiminin yoğun olduğu karkas et üretimi aşamasının ATP-fosil etki kategorisine katkısı dikkat çekmiştir. Kesimhaneye transfer aşamasının katkısının yüksek çıkmasının

nedeni canlı hayvan girdisi ve dizel yakıtlı araç ile transferdir. Tesisin çevresel etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir kılmak için mevcut durumda yapılabilecek iyileştirmeler değerlendirildiğinde hammadde olarak canlı hayvan girdisi değiştirilemeyeceği için karkas et üretiminde yenilenebilir enerji kullanımını ve transfer aşaması için düşük emisyonlu araç kullanımını içeren alternatif senaryolar oluşturulmuştur. Tesiste kullanılan enerji girdisine alternatif olarak bölgede kullanılacak yenilenebilir enerji kaynakları ile oluşturulmuş alternatif enerji senaryolarına ait çevresel etkiler Çizelge 5'te verilmiştir.

Karkas et üretiminde alternatif enerji senaryolarının uygulanması ile çevresel etki kategorilerinde elde edilen azalmalar Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 5. Kesimhanede karkas et üretimini alternatif enerji senaryolarına göre çevresel etki değerleri.

Etki kategorisi	Birim	AS-1	AS-2	AS-3	AS-4	MD*
ATP	kg Sb eşd.	4,88E-08	4,91E-08	4,88E-08	5,22E-08	1,40E-07
ATP-fosil	MJ	3,18E-02	3,20E-02	3,17E-02	1,08E-01	8,60E-01
KIP	kg CO_2 eşd.	2,83E-03	2,84E-03	2,83E-03	3,69E-02	7,96E-02
OTİP	kg CFC-11 eşd.	1,85E-10	1,88E-10	1,85E-10	4,34E-10	1,94E-09
İTP	kg 1,4-DB eşd.	1,92E-03	1,15E-03	1,15E-03	3,69E-03	3,46E-02
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,27E-03	1,27E-03	1,27E-03	3,47E-03	4,72E-02
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	4,22E+00	4,23E+00	4,22E+00	1,33E+01	1,46E+02
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	3,32E-06	3,33E-06	3,32E-06	1,04E-05	9,02E-05
FOP	kg C_2H_4 eşd.	6,20E-07	5,33E-07	5,32E-07	2,17E-05	1,61E-05
AP	kg SO_2 eşd.	1,21E-05	1,21E-05	1,21E-05	4,41E-04	4,39E-04
ÖP	kg PO_4 eşd.	6,50E-06	6,51E-06	6,51E-06	1,05E-04	2,84E-04

*MD=Mevcut Durum, karkas et üretiminde enerji kaynağı olarak şebeke enerjisinin kullanılması.

Çizelge 6. Karkas et üretiminde alternatif enerji senaryoları ile çevresel etki kategorilerinde elde edilen değişim.

Etki kategorisi*	Değişim			
	AS-1	AS-2	AS-3	AS-4
ATP	% 65,14 azalma	% 64,93 azalma	% 65,14 azalma	% 62,71 azalma
ATP-fosil	% 96,30 azalma	% 96,28 azalma	% 96,31 azalma	% 87,44 azalma
KIP	% 96,44 azalma	% 96,43 azalma	% 96,44 azalma	% 53,64 azalma
OTİP	% 90,46 azalma	% 90,31 azalma	% 90,46 azalma	% 77,63 azalma
İTP	% 94,45 azalma	% 96,68 azalma	% 96,68 azalma	% 89,34 azalma
TSCEP	% 97,31 azalma	% 97,31 azalma	% 97,31 azalma	% 92,65 azalma
DCEP	% 97,11 azalma	% 97,10 azalma	% 97,11 azalma	% 90,89 azalma
KCEP	% 96,32 azalma	% 96,31 azalma	% 96,32 azalma	% 88,47 azalma
FOP	% 96,15 azalma	% 96,69 azalma	% 96,70 azalma	% 34,78 artma
AP	% 97,24 azalma	% 97,24 azalma	% 97,24 azalma	% 0,46 artma
ÖP	% 97,71 azalma	% 97,71 azalma	% 97,71 azalma	% 63,03 azalma

Karkas et üretimi aşamasında MD'ye alternatif olarak oluşturulan yenilenebilir enerji senaryoları incelendiğinde en yüksek çevresel etki değerlerini

tüm etki kategorilerinde biyogaz enerjisinin ele alındığı AS-4 vermiştir. Biyogaz enerjisi ile enerji eldesinde ısıtma ve besi malzemelerinin depolanma

ve degradasyon aşamalarının özellikle KİP, ÖP ve AP çevresel etkilerine katkısının diğer alternatif enerjilere göre ve hatta şebeke elektriğine göre daha fazla olduğu çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Fusi *et al.* 2016, Hijazi *et al.* 2016). Ayrıca, tarım ürünleri kullanıldığında hayvan gübresine oranla daha yüksek çevresel etkilerin oluştuğu rapor edilmiştir (Hijazi *et al.* 2016).

AS-1, AS-2 ve AS-3 için tüm etki kategorilerinde birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. Yedi çevresel etki kategorisinde (ATP, KİP, OTİP, TSCEP, DCEP, KCEP ve AP) AS-1 ve AS-3 için eşit değerler elde edilmiştir. Birbirine yakın değerler olmakla birlikte; üç etki kategorisinde (ATP-fosil, İTP ve FOP) AS-3 ve bir etki kategorisinde (ÖP) AS-1 en düşük çevresel etki değerlerini vermiştir. Jeotermal enerjinin rüzgâr enerjisi ve hidroelektrik enerji ile karşılaştırıldığı Atilgan ve Azapagic (2016)'in Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarını YDA metoduyla değerlendirildiği çalışmada da benzer şekilde jeotermal enerjide ÖP, OTİP ve ekotoksiste çevresel etki kategorilerinde (TSCEP, DCEP, KCEP) en düşük çevresel etki değerleri elde etmiştir.

Karkas et üretimi aşamasında alternatif olarak oluşturulan yenilenebilir enerji senaryolarına ait çevresel etkiler ile MD'ye ait çevresel etki değerleri karşılaştırıldığında önemli oranda azalmalar olduğu görülmüştür (Çizelge 5).

AS-1, AS-2 ve AS-3 senaryoları ile karkas et üretimi aşamasında en az azalma ATP çevresel etki kategorisinde (yaklaşık %65) elde edilirken OTİP etki kategorisinde %90 civarında ve diğer dokuz etki kategorisinde %95-98 gibi oldukça yüksek oranlarda azalma hesaplanmıştır. Şebeke elektriğine alternatif olarak rüzgâr enerjisinin kullanıldığı Bahadıroğlu (2021) ve Şanal (2020)'in çalışmalarında da AS-2 senaryosunda da görüldüğü gibi tüm çevresel etki kategorilerinde azalma gözlemlendiği rapor edilmiştir. Şebeke elektriğine alternatif olarak güneş enerjisinin kullanıldığı bazı çalışmalarda ATP ve OTİP etki kategorilerinde artış gözlemlenmiştir (Bahadıroğlu 2021) ancak AS-3 de tüm etki kategorilerinde azalma görülmüştür. Biyogaz enerjisinin alternatif enerji olarak ele alındığı AS-4 senaryosunda dokuz etki kategorisinde AS-1, AS-2

ve AS-3 senaryolarına göre daha düşük azalmalar (yaklaşık %53-93) elde edilirken AP etki kategorisinde %0,46 ve FOP etki kategorisinde %34,78 artış gözlemlenmiştir. AP etki kategorisinde MD'de elektrik üretiminde linyit kullanımından %66 oranında bir etki hesaplanmışken AS-4'te bu etkinin %82'si biyogaz eldesinde gübrenin anaerobik degradasyonu aşamasından kaynaklanmıştır. Sonuç olarak toplam AP etki değeri farklı proseslerden kaynaklansa dahi biyogaz enerjisi (AS-4) ile azaltılmamış, aksine bir miktar artmıştır. FOP etki kategorisinde MD'de elektrik üretiminde linyit kullanımından kaynaklanan SO₂ emisyonları etkinin %86'sına sebep olurken AS-4'te bu etkinin %65'i ısıtma ve biyogaz eldesinde gübrenin anaerobik degradasyonu aşamalarından kaynaklanan karbonmonoksit (fosil ve biyojenik) ve %18'i biyojenik metan emisyonlarından oluşmaktadır.

Sonuç olarak FOP etki değeri farklı proseslerden kaynaklansa dahi biyogaz enerjisi (AS-4) ile azaltılmamış, aksine %34,78 gibi önemli bir oranda artmıştır. Yenilenebilir enerji alternatifleri; jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi (AS-1, AS-2 ve AS-3) çevresel etki değerleri açısından birbirine yakın sonuçlar vermiş ve şebeke enerjisinin kullanıldığı MD'ye göre yaklaşık aynı miktarlarda azalma sağlamışlardır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, jeotermal enerjinin düşük atık üretiminin yanı sıra daha istikrarlı ve tutarlı elektrik üretimi potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir (Li vd. 2023). Ayrıca önceki araştırmalar, jeotermal enerji ile elektrik eldesinde daha düşük işletme maliyetlerinin söz konusu olduğunu göstermiştir (Int Kyn. 10). Bu bilgiler ışığında ve Afyonkarahisar ili çevresinde mevcut jeotermal enerji kapasitesi de göz önüne alındığında MD'deki şebeke elektriğine alternatif olarak jeotermal enerjinin kullanımı önerilmektedir. Üreticiye transfer aşamasında alternatif beşinci senaryo olarak oluşturulan transfer senaryosunun (AS-5) uygulanması ile çevresel etki kategorilerinde elde edilen değişimler Çizelge 7'de gösterilmektedir.

Üreticiye transfer aşamasında alternatif transfer senaryosu olarak oluşturulan beşinci senaryonun % azalma oranları incelendiğinde en fazla değişim

%76,31 ile ÖP ve %67,74 ile AP etki kategorilerinde görülmüştür.

Çizelge 7. Üreticiye transfer aşamasında alternatif transfer senaryosu ile çevresel etki kategorilerinde elde edilen değişim.

Etki kategorisi	Birim	AS-5	Değişim
ATP	kg Sb eşd.	4,37E-10	% 39,89 azalma
ATP-fosil	MJ	2,15E-02	% 38,04 azalma
KIP	kg CO ₂ eşd.	1,60E-03	% 38,93 azalma
OTİP	kg CFC-11 eşd.	3,23E-10	% 42,32 azalma
İTP	kg 1,4-DB eşd.	2,96E-04	% 33,93 azalma
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	4,06E-05	% 37,25 azalma
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,28E-01	% 36,63 azalma
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	8,57E-07	% 33,57 azalma
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	1,23E-07	% 47,21 azalma
AP	kg SO ₂ eşd.	2,61E-06	% 67,74 azalma
ÖP	kg PO ₄ eşd.	3,79E-07	% 76,31 azalma

Envanter verilerine göre ÖP'ye neden olan suya salınan PO₄³⁻ (fosfat) emisyonlarında %38 oranında ve havaya salınan NO_x emisyonlarında toplamda %87,06 oranında azalma görülmektedir. AP'ye neden olan havaya salınan toplam NO_x ve SO₂ emisyonlarında NO_x miktarında %87,06, SO₂ miktarında ise %37,93 oranında azalma görülmektedir. Euro 6 standardındaki transfer araçlarının NO_x ve PM emisyonlarının daha düşük olmasının bu iki etki kategorisine doğrudan yansıdığı söylenebilir. Diğer dokuz etki kategorisine bakıldığında %33,57 ile %47,32 oranlarında azalma görülmektedir.

Senaryolar ile kesimhane tesisinin toplam çevresel etkisinde gerçekleşen değişimler incelendiğinde tüm alternatif enerji senaryoları için kayda değer azalmalar ATP-fosil etki kategorisinde %2,74-%3; DCEP etki kategorisinde %1,58-%1,69 ve OTİP etki kategorisinde ise %0,84-%0,96 olarak belirlenmiştir. Alternatif transfer senaryosu, sadece ATP-fosil ve OTİP etki kategorilerinde düşük miktarda (%0,2) bir azalma sağlamıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, ilk aşamada Afyonkarahisar İli OSB'de yer alan bir kesimhane tesisinin 2019-2020 yılı büyükbaş hayvan kesimi için tesisten veriler alınarak 1 kg karkas et üretiminin çevresel etkileri belirlenmiştir. Kesimhane tesisinin çevresel etkilerinin araştırıldığı bu YDA çalışması sonucunda tüm etki kategorilerinde kesimhaneye transfer

aşamasının en yüksek çevresel etkiyi verdiği belirlenmiştir. Kesimhaneye transfer aşamasının katkısının yüksek çıkmasının nedeni canlı hayvan girdisi ve dizel yakıtlı araç ile transfer gerçekleştirilmesidir. Temizlik aşamasının ATP-fosil ve OTİP etki kategorilerine orta derecede katkısı söz konusudur. Elektrik tüketiminin yoğun olduğu karkas et üretimi aşamasının ATP-fosil etki kategorisine katkısı dikkat çekmiştir. Tesisin çevresel etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir kılmak için karkas et üretiminde yenilenebilir enerji kullanımı ve transfer aşamaları için alternatif senaryolar oluşturulmuştur. Karkas et üretiminde özellikle bölgede yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılacak olan jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin şebeke elektrigiğine kıyasla bütün etki kategorilerinde yüksek oranda azalma sağladığı saptanmıştır. Özellikle bölgenin jeolojik yapısından kaynaklı jeotermal enerji kullanımı hem düşük çevresel etki değerleri hem de düşük işletme maliyeti ile çevre dostu olarak öne çıkmaktadır. Bölgede elektrik üretiminde jeotermal enerjinin katkısının Türkiye geneli olan %3'ün üzerine çıkarılması önemlidir. Biyogaz enerjisi kullanılması durumunda ise dokuz etki kategorisinde daha düşük oranda iyileşmeler elde edilmiş; FOP ve AP etki kategorilerinde ise kötüleşme görülmüştür. Kesim yapıldıktan sonra üreticiye transfer aşamasında soğutucu-dondurucu araçların kullanımı, çevresel etkiyi ve karbon emisyonunu artırmaktadır. Transfer için oluşturulan AS-5 senaryosunda, dizel araçlar için izin verilen NO_x seviyesini 0,25 g/km'den 0,08 g/km'ye düşüren araç tipi tercih edildiğinde ÖP ve AP çevresel etki kategorilerinde belirgin bir iyileşme görülmüştür.

Bu çalışma, et sektörü için Yaşam Döngüsü Analizi ile kütleli olarak karkas et üretiminin çevresel yüklerini belirlemeye yardımcı olmakla birlikte üretim aşamasında harcanan enerji düşünüldüğünde, Türkiye'nin daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesinin önemini desteklemektedir. Ayrıca, karkas et üretiminde canlı hayvanın transferi ve kesim sonrası karkas etin et üreticisine transferi aşamalarında karayolu taşımacılığı, en çok kullanılan ulaşım biçimi olduğundan özellikle

emisyona azaltıcı soğutucu-dondurucu araçların tercih edilmesi çevresel açıdan (NO_x ve PM için) büyük önem arz etmektedir. Transfer aşamasında karayolu taşımacılığına alternatif olarak raylı sistemlerin kullanımı da araştırılması gerekli konulardan biridir.

Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 35203.

5. Kaynaklar

- Aberilla, J.M., Gallego-Schmid, A., Stamford, L., Azapagic, A., 2020, Design and environmental sustainability assessment of small-scale off-grid energy systems for remote rural communities, *Applied Energy*, **258**, 114004.
- Asem-Hiablie, S., Battagliese, T., Stackhouse-Lawson, K. R., Rotz, C.A., 2019, A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA, *The International Journal of Life Cycle assessment*, **24**, 441–445.
- Atilgan, B., & Azapagic, A., 2016, Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts. *Renewable Energy*, **89**, 649–657.
- Bahadıroğlu, M., 2021, Life cycle assessment of waste management and energy consumption for a restaurant, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Technical University Graduate School, İstanbul, 93.
- Bava, L., Zucali, M., Sandrucci, A., Tamburini, A., 2017, Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy, *Journal of Cleaner Production*, **140**, 685–691.
- Bjørn, A., Laurent, A., Owsianiak, M., 2018. *Life Cycle Assessment: Theory and Practice- Goal Definition*. Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen, S.I. (Editors), ISBN 978-3-319-56475-3 (e-Book), 17-30.
- Cesari V., Zucali M., Sandrucci A., Tamburini A., Bava L., Toschi I., 2016, Environmental impact assessment of an Italian vertically integrated broiler system through a Life Cycle approach, *Journal of Cleaner Production*, **16**, 32085.
- De Vries, M. and De Boer, I.J.M., 2010, Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments, *Livestock Science*, **128**, 1–11.
- Djekic, I. and Tomasevic, I., 2016, Environmental impacts of the meat chain e Current status and future perspectives, *Trends in Food Science & Technology*, **54**, 94–102.
- Dorca-Preda, T., Mogensen, L., Kristense, T., Trydeman Knudsen, M., 2021, Environmental impact of Danish pork at slaughterhouse gate – a life cycle assessment following biological and technological changes over a 10-year period, *Livestock Science*, **251**, 104622.
- Eshel, G., Shepon, A., Makov, T., Milo, R., 2014. Land irrigation water, greenhouse gas, and reactive nitrogen burdens of meat eggs, and dairy production in the United States. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **111**, 11996-12001.
- Fusi, A., Bacenetti, J., Fiala, M., Azapagic, A., 2016, Life Cycle Environmental Impacts of Electricity from Biogas Produced by Anaerobic Digestion, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **4**: 26.
- Geß A., Tolsdorf, A., Ko, N., 2022, A life cycle perspective of lamb meat production systems from Turkey and the EU, *Small Ruminant Research* **208**, 106637.
- Hijazi, O., Munro, S., Zerhusen, B., Effenberger, M., 2016, Review of life cycle assessment for biogas production in Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **54**, 1291–130.
- ISO, 2006. ISO14044:Environmental management-Life cycle assessment requirements and guidelines. The International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- Kalhor, T., Rajabipour, A., Akram, A., Sharifi, M., 2016, Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment, *Information Processing in Agriculture*, **3**, 262-271.
- Kanta, M.E.S., 2019. Environmental Impact Assessment Of Meat Product In Greece, Master of Science (MSc) in Environmental Management and Sustainability, School of Economic, Business Administration & Legal Studies, International Hellenic University, Thessaloniki-Greece, 85.
- Li, J., Tarpani, R.R.Z., Stamford, L., Gallego-Schmid, A., 2023, Life cycle sustainability assessment and circularity of geothermal power plants, *Sustainable Production and Consumption*, **35**, 141–156.
- Mogensen, M., Nguyen, T.L.T., Madsen, N.T., Pontoppidan, O., Preda, T., Hermansen, J.E., 2016, Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output, *Journal of Cleaner Production*, **133**, 284–293.

- Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E. and Mogensen, L., 2010, Environmental consequences of different beef production systems in the EU, *Journal of Cleaner Production*, **18**, 756–766.
- Pelletier, N., Pirog, R., Rasmussen, R., 2010, Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States, *Agricultural Systems* **103**, 380–389.
- Perez-Martinez, M.M., Noguero, R., Casales, B.I., Lois, R., Soto, B., 2018, Evaluation of environmental impact of two ready-to-eat canned meat products using Life Cycle Assessment, *Journal of Food Engineering*, **237**, 118–127.
- Qalase, C. and Harding, K.G., 2022, Eco-efficiency assessment of pork production through life-cycle assessment and product system value in South Africa, *E3S Web of Conferences*, **349**, 13002, LCM 2021.
- Santonja, G.G., Karlis, P., Stubdrup, K.R., Brinkmann, T., Roudier, S., 2019, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries. Publications Office of the European Union, ISBN: 978-92-76-13091-8. DOI: 10.2760/243911
- SERKA, 2015. TRA2 Bölgesi Kırmızı Et Sektörü, Stratejik Analiz, Serhat Kalkınma Ajansı.
- SimaPro Database Manual-Methods Library, PRÉ Sustainability, various authors, 2022.
- Skunca, D., Tomasevic, I., Nastasijevic, I., Tomovic, V., Djekic, I., 2018, Life cycle assessment of the chicken meat chain. *Journal of Cleaner Production*, **184**, 440–450.
- Şanal, İ., 2020. Profil boru üretiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 153.
- Tsutsumi, M., Ono, Y., Ogasawara, H., Masayuki, H., 2017, Life-cycle impact assessment of organic and non-organic grass-fed beef production in Japan, *Journal of Cleaner Production*, **172**, 2513–2520.
- Vitali A., Grossi, G., Martino, G., Bernabucci, U., Nardone, A., Lacetera, N., 2018, Carbon footprint of organic beef meat from farm to fork: a case study of short supply chain, *Science of Food and Agriculture*, **14**, 5518-5524.
- Weber, C.L., Matthews, H.S., 2008, Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the United States. *Environmental Science Technology*, **42**, 10, 3508–3513.
- Yıldırım, Y., 1998, Et Teknolojileri, Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayınları, Bursa.
- İnternet kaynakları**
- 1- <https://www.fao.org/partnerships/leap/en>
 - 2- https://rec.org.tr/wpcontent/uploads/2016/11/et_urunleri_rehberi.pdf (20.10.2023)
 - 3- <https://www.enerjiatlasi.com/jeotermal/> (21.07.2022)
 - 4- <https://www.enerjiatlasi.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/afyon> (21.07.2022)
 - 5- <https://www.enerjiatlasi.com/gunes/> (21.07.2022)
 - 6- <https://www.enerjiatlasi.com/biyogaz/> (21.07.2022)
 - 7- <https://motoreu.com/euro-emission-standards-and-their-meanings-blog> (04.04.2022)
 - 8- <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html> (07.12.2020)
 - 9- https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-4.1_Elektrik%20%C3%9Cretimi_O%C4%9Fuz%20T%C3%BCrky%C4%B1lmaz%2BYusuf%20Bayrak%20_A.pdf
 - 10- <https://www.irena.org/publications/2017/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2017> (24.01.2023)