Iranian Journal of Biosystem Engineering ISNN: 2423-7841
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Evaluation of the environmental impacts of two pathways for utilizing chicken meat production waste in Guilan Province

Shamsi Soodmand-Moghaddam [1] | Mohammad Sharifi [2]✉ | Majid Khanali [3] | Homa Hosseinzadeh-Bandbafha [4]

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: sh.soodmand@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: m.sharifi@ut.ac.ir
3. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: khanali@ut.ac.ir
4. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: homa.hosseinzadeh @ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 29, 2023

Revised: Nov. 5, 2023

Accepted: Nov. 18, 2023

Published online: Summer 2023

Keywords:
Biorefinery,
Broiler waste,
Circular Bioeconomy,
Environmental Sustainability,
Life Cycle Assessment.

ABSTRACT

A chicken meat processing systems are a primary source of valuable materials because of the considerable amount of waste they generate. Among the most effective methods for managing and converting waste into higher-value materials is the adoption of a circular bioeconomy strategy within biorefineries. This study examines two biorefineries that utilize chicken waste. In the initial pathway, chicken meat and sound insulation from chicken feathers are manufactured while the second pathway also involves the production of chicken meat, sound insulation, as well as biodiesel and glycerol from chicken fat waste. In this research, Simapro software and ReCiPe method were used to evaluate the life cycle assessment. The findings from this research indicated that the second pathway offers superior environmental performance when compared to the first pathway. Based on the findings, the second pathway presents a decrease of 21.92% in the overall environmental impact caused by producing chicken meat when compared to the first pathway. Following the first pathway, the production of one ton of chicken meat can leads to damages of 6.83E-03 DALY to human health, 6.81E-05 species.yr to ecosystems, and $101 to resources. Following the second pathway, production leads to a reduction of 23.26% in human health damage, 24.48% in ecosystem damage, and 17.76% in resource depletion. As such, moving toward production along the second pathway, i.e. diverse materials production, represents a promising strategy for managing the existing waste and reducing the environmental damage caused by chicken meat production.

Cite this article: Soodmand-Moghaddam, Sh., Sharifi, M., Khanali, M., Hosseinzadeh-Banbafha, H. (2023) Evaluation of the environmental impacts of two pathways for utilizing chicken meat production waste in Guilan Province, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54 (2), 15-31. DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364574.665520

© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364574.665520

مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۴، شماره ۲ شاپا: ۷۸۴۱-۲۴۲۳
Homepage: http://ijbse.ut.ac.ir

بررسی اثرات زیست محیطی دو مسیر استفاده از ضایعات تولید گوشت مرغ در استان گیلان

شمسی سودمندمقدم[۱] | محمد شریفی[۲]✉ | مجید خانعلی[۳] | هما حسین‌زاده بندبافها[۴]

۱. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: sh.soodmand@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: m.sharifi@ut.ac.ir

۳. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: khanali@ut.ac.ir

۴. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: homa.hosseinzadeh@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۸/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۷
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
ارزیابی چرخه زندگی،
اقتصاد زیستی چرخه‌ای،
پالایشگاه زیستی،
پایداری زیست محیطی،
ضایعات مرغ گوشتی.

چکیده

سامانه‌های فرآوری گوشت مرغ با توجه به تولید حجم زیادی از ضایعات، منبع عظیمی از مواد با ارزش هستند. یکی از کارآمدترین رویکردها برای مدیریت صحیح و تبدیل ضایعات به مواد با ارزش افزوده، اجرای رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای تحت چارچوب پالایشگاه‌های زیستی است. پژوهش حاضر دو پالایشگاه زیستی مبتنی بر ضایعات مرغ را بررسی می‌کند. مسیر اول به تولید گوشت مرغ و تولید عایق صوتی از پر مرغ می‌پردازد. مسیر دوم به تولید گوشت مرغ، عایق صوتی و تولید بیودیزل و گلیسرول از ضایعات چربی مرغ تمرکز دارد. در این پژوهش برای ارزیابی چرخه زندگی از نرم افزار سیماپرو و روش رسپی استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که دومین مسیر، عملکرد زیست محیطی بهتری را در مقایسه با مسیر اول نشان می‌دهد. این مسیر در مقایسه با مسیر اول یک کاهش ۲۱/۹۲ درصدی را در کل اثرات منفی زیست محیطی ناشی از تولید گوشت مرغ از خود نشان داده است. تولید هر تن گوشت مرغ در راستای مسیر اول منجر به خسارت ۳-۱۰×۶/۸۳ دالی به سلامت انسان، ۵-۱۰×۶/۸۱ گونه در سال به زیست‌بوم و ۱۰۱ دلار به منابع می‌شود. این در حالی است که تولید در راستای مسیر دوم منجر به کاهش ۲۳/۲۶ درصدی در خسارت به سلامت انسان، ۲۴/۴۸ درصدی در خسارت به زیست‌بوم و ۱۷/۷۶ درصدی در خسارت به منابع شده است. بنابراین، حرکت به سمت تولید تحت مسیر دوم یعنی تولید مواد متنوع‌تر، علاوه بر مدیریت ضایعات، به شکل قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش خسارت‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید گوشت مرغ نقش دارد.

استناد: سودمندمقدم؛ شمسی، شریفی؛ محمد، خانعلی؛ مجید، حسین‌زاده بندبافها؛ هما، (۱۴۰۲) بررسی اثرات زیست محیطی دو مسیر استفاده از ضایعات تولید گوشت مرغ در استان گیلان، *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۴ (۲)، ۳۱-۱۵. https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364574.665520

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364574.665520

مقدمه

گوشت طیور، به عنوان یک منبع ضروری از اسیدهای آمینه مورد نیاز برای بدن، نقش مهمی در تأمین نیازهای پروتئینی ایفا می‌کند (He et al., 2021). فرآورده‌های طیور، علاوه بر این‌که منابع پروتئینی سالم و بدون محدودیت مذهبی هستند، در فهرست غذاهای مقرون به صرفه نیز قرار دارند (Wahyono et al., 2018). علی‌رغم مزایای قابل توجه گوشت طیور، رشد ۲۰ درصدی قابل توجه در این صنعت طی ۲۰ سال گذشته، منجر به بروز چالش‌های جدی در زمینه پایداری زیست‌محیطی و افزایش چشم‌گیر مصرف انرژی شده است (Chan et al., 2022). در حقیقت بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در تولید و فرآوری گوشت طیور، مربوط به انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی است (سپهوند و همکاران، ۱۳۹۸). این در حالی است که اثرات مخرب احتراق سوخت‌های فسیلی روی سلامت انسان و کیفیت زیست‌بوم در پژوهش‌های گسترده‌ای مستند شده است (Halkos et al., 2023). افزایش جمعیت و سطح استاندارد زندگی عملاً حذف انرژی‌های فسیلی در حال حاضر را منتفی می‌کند، بنابراین تلاش جدی در راستای مصرف بهینه منابع انرژی‌های فسیلی و تلاش برای تولید و به‌کارگیری بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر باید در دستور کار قرار گیرد (شریفی و همکاران، ۱۳۹۹).

در این راستا، رویکردهای مختلفی توسعه یافته و مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از موفق‌ترین رویکردهای توسعه داده شده تلاش برای گذر از اقتصاد خطی به سمت اقتصاد زیستی چرخه‌ای است. اقتصاد زیستی چرخه‌ای نه تنها بر استفاده کاراتر از انرژی متمرکز است بلکه استفاده کارآمد از زیست‌توده به عنوان یک منبع انرزی تجدیدپذیر را نیز ارائه می‌دهد که شامل ضایعات و جریان‌های جانبی برای تولید پایدار محصولات با ارزش افزوده بالا است (Tan et al., 2021). به طور کلی، یک رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای را می‌توان تحت یک پالایشگاه زیستی به مرحله اجرا درآورد. شایان ذکر است که پالایشگاه‌های زیستی امکان تبدیل زیست توده از یک محصول به چندین محصول را به روشی مشابه در پالایشگاه‌های نفتی برای دستیابی به حداکثر صرفه اقتصادی استفاده می‌شود، به مرحله اجرا درمی‌آورند (Tan et al., 2021). با توجه به ماهیت ضایعات حاصل از تولید و فرآوری گوشت مرغ که مملو از مواد غنی و با ارزش است، پژوهشگران استفاده از مفهوم پالایشگاه زیستی را برای صنایع مرتبط با تولید و فرآوری گوشت مرغ پیشنهاد کردند تا نه تنها در راستای مصرف بهینه انرژی گام بردارند بلکه ضایعات خود را برای ارزش افزوده محصولات ارزش‌گذاری کنند (Loo et al., 2020). این رویکرد با تولید محصولات با ارزش افزوده از ضایعات می‌تواند مشکلات دفع ضایعات را به طور قابل توجهی کاهش دهد و به سامانه تولید پایدارتر و سازگار با محیط‌زیست کمک کند (Sangkharak et al., 2020).

پیشینهٔ پژوهش

پژوهش‌های مختلف موفقیت اجرای پالایشگاه زیستی در صنایع مختلف را نشان دادند و اذعان کردند که این رویکرد می‌تواند بسیار تأثیرگذار و کارآمد باشد. نتایج پژوهشی روی تولید اتانول زیستی و الکتریسیته از ضایعات گیاهی در یک پالایشگاه زیستی نشان داد که این رویکرد می‌تواند منجر به کاهش ۵۰ درصدی در نشر گازهای گلخانه‌ای و ۸۰ درصدی در تقاضای انرژی فسیلی شود (Cherubini et al., 2010). در پژوهشی Schwede et al. (2017) به توسعه استفاده از ضایعات کشتارگاهی غنی از پروتئین، کود مرغ و کاه تحت چارچوب اقتصاد زیستی چرخه‌ای پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش، ادغام تولید مواد شیمیایی و سوخت زیستی با کشتارگاه‌های مرغ، راهبردی مناسب برای مدیریت پسماندهای آلی در جهت کارایی مصرف انرژی به شمار می‌رود. نتایج پژوهش Silalertruksa et al. (2017) در رابطه با بررسی پایداری زیست‌محیطی تولید شکر تحت چارچوب پالایشگاه زیستی نشان داد که تولید شکر تحت رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای منجر به کاهش ۳۳ درصدی در تغییرات آب و هوایی و کاهش ۶۲ درصدی در اسیدی شدن خاکی تحت شرایط تحقیق خواهد شد.

Cherubini et al. (2010) استفاده از بقایای گیاهی به‌عنوان مواد خام برای پالایشگاه زیستی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که پتانسیل‌های زیادی در تولید انرژی زیستی و محصولات شیمیایی وجود دارد که می‌توانند جایگزین محصولات و خدمات مشتق‌شده فسیلی شوند. همچنین استفاده از این پالایشگاه منجر به صرفه‌جویی قابل‌توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و انرژی فسیلی شد. طبق این پژوهش، صرفه‌جویی در گازهای گلخانه‌ای در محدوده ۵۰ درصد بود، در حالی که صرفه‌جویی در انرژی‌های تجدید ناپذیر به فراتر از ۸۰ درصد رسید. Papadaskalopoulou et al. (2019) پایداری زیست‌محیطی تولید اتانول زیستی از زباله‌های زیستی تحت پالایشگاه زیستی در مقابل روش‌های متداول مدیریت پسماند زیستی را با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کل پتانسیل خالص گرمایش جهانی در حالت پالایشگاه زیستی کمتر از روش‌های معمولی و به میزان ۲۳۸ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل به دست آمد. محققان این پژوهش همچنین تصریح کردند که ۵۲ درصد، ۲۶ درصد و ۲۲ درصد از این صرفه جویی به ترتیب به جایگزینی برق و

حرارت فسیلی، کودهای معدنی و بنزین با انرژی الکتریکی و حرارتی زیستی، کودهای زیستی و اتانول زیستی نسبت داده شده است. Hosseinzadeh-Bandbafha et al. (2022) به ارزیابی پایداری زیست‌محیطی تولید اتانول زیستی تحت یک پالایشگاه زیستی مبتنی بر گلرنگ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که پالایشگاه زیستی مبتنی بر گیاه گلرنگ منجر به کاهش هفت برابری در خسارت به کیفیت زیست‌بوم و کاهش دو برابری آسیب به منابع گردید. این پژوهش نشان داد که به منظور درک بهتر اثرات مطلوب اجرای زیست پالایشگاه‌ها و حذف مشکلات احتمالی استفاده از ابزارهای سنجش پایداری می‌توانند بسیار مفید واقع شوند. ارزیابی چرخه زندگی به عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌ها برای بررسی اثرات زیست محیطی محصولات و فرایندهای مختلف قادر است پیامدهای زیست محیطی تولید محصولات مختلف را در چارچوب پالایشگاه زیستی تعیین کرده و کمک شایانی به تصمیم گیرندگان در راستای درک اثرات ارزش گذاری ضایعات و محصولات زیستی تحت پالایشگاه‌های زیستی مختلف را از منظر زیست محیطی نماید (Ayala et al., 2023).

در این راستا و با توجه به این حقیقت که تاکنون اجرای رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای در صنایع تولید و فرآوری گوشت مرغ در ایران مورد توجه قرار نگرفته است، پژوهش حاضر اثرات زیست‌محیطی تولید گوشت مرغ را تحت رویکرد اقتصاد زیستی‌چرخه‌ای بر اساس دو مسیر مختلف برای اهداف مقایسه‌ای مورد بررسی قرار داد. مسیر اول به تولید گوشت مرغ و عایق صوتی از پر مرغ پرداخت و مسیر دو به تولید گوشت مرغ، عایق صوتی از پر مرغ، بیودیزل و گلیسرول از ضایعات چربی مرغ اختصاص داشت. به طور کلی، هدف پژوهش حاضر بررسی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی مرتبط با اتخاذ مسیرهای ذکر شده برای استفاده مجدد از ضایعات مرغ و انتخاب بهترین مسیر است.

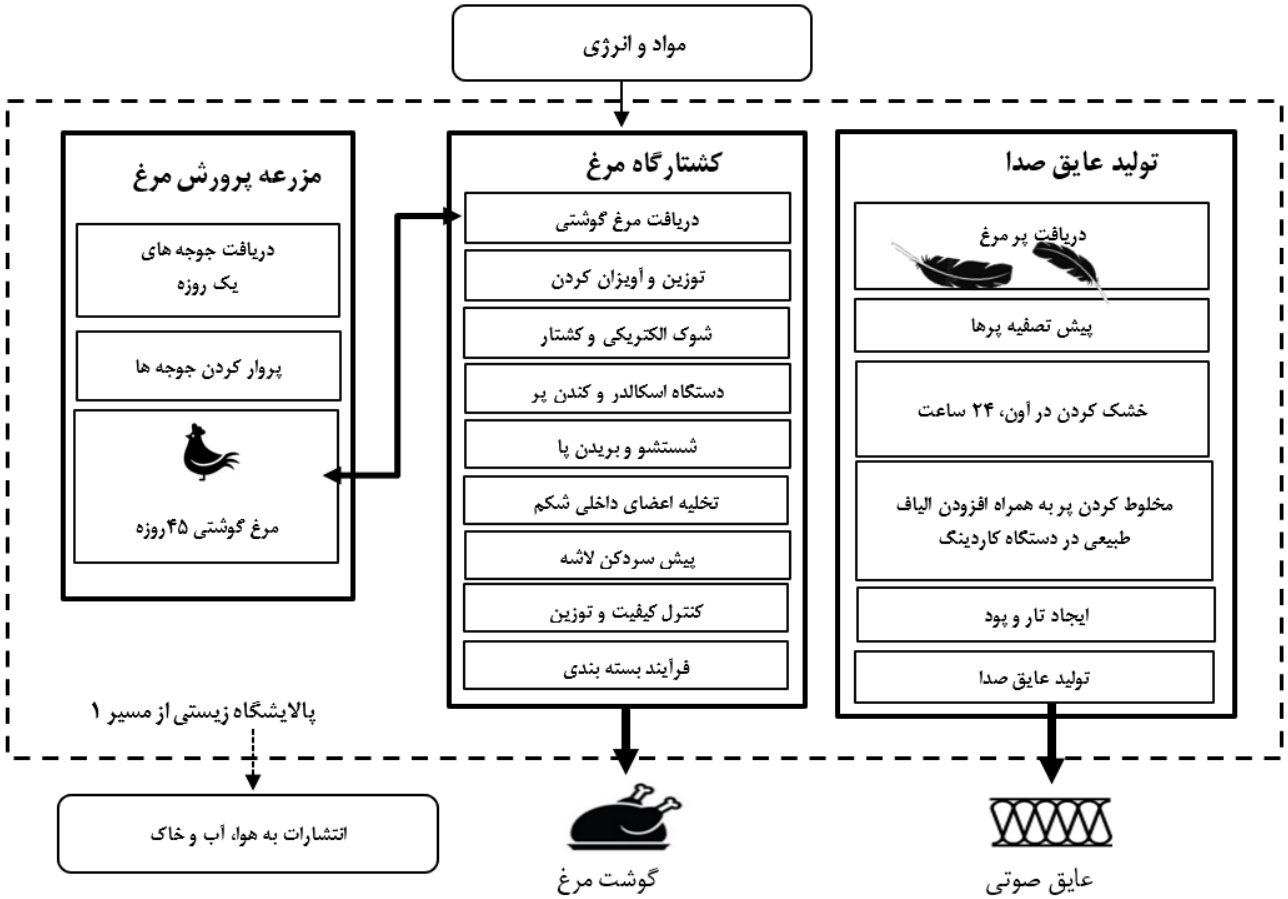
پژوهش حاضر نخستین پژوهش موردی در راستای برآورد اثرات زیست محیطی ناشی از تولید گوشت مرغ در پالایشگاه‌های زیستی در ایران است و تلاش می‌کند یک واحد پایدار و انعطاف‌پذیر برای تولید گوشت مرغ ایجاد کند که بر به حداکثر رساندن ارزش‌گذاری ضایعات و به حداقل رساندن ردپای زیست‌محیطی آن تأکید دارد.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در استان گیلان طی سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ انجام شده است. داده‌های اولیه مورد استفاده در پژوهش حاضر از یکی از گسترده‌ترین شبکه‌های تولید و توزیع گوشت مرغ در ایران از طریق مصاحبه حضوری با مرغداران و کارشناسان جمع‌آوری شده است. مجتمع سپیدماکیان بیش از ۱۹۰ واحد تولیدی با بازده ۱۰ میلیون قطعه مرغ در هر چرخه را به خود اختصاص داده است. علاوه بر این، کشتارگاه‌های این مجتمع توانایی پردازش ۱۵۰۰۰ قطعه مرغ در ساعت را دارند. بر اساس گزارش سازمان جهاد کشاورزی، استان گیلان سالانه بیش از ۱۵۹۷ هزار تن گوشت مرغ تولید می‌کند (وزارت جهادکشاورزی گیلان، ۱۴۰۲) که پسماند و ضایعات حاصل از آن‌ها با توجه به وضعیت اقلیمی منطقه منجر به معضلات و پیامدهای زیست‌محیطی جبران ناپذیری خواهد شد. بنابراین، نیاز به انتقال از وضعیت کنونی به تولید گوشت مرغ تحت یک اقتصاد زیستی‌چرخه‌ای ضروری است. در ادامه، دو مسیر پیشنهادی در جهت توسعه پالایشگاه‌های زیستی استفاده از ضایعات کشتارگاه‌های مرغ ارائه می‌شود.

مسیر اول

در مسیر شماره ۱ علاوه بر تولید و عرضه گوشت، از پرهای مرغ به دست آمده در مرحله کشتارگاه به منظور تولید عایق صوتی طبق روش Casadesús et al. (2019) استفاده شد. به منظور تولید عایق صوتی از پرهای مرغ به دلیل ناپایداری و فساد پرها، در ابتدا یک پیش تصفیه برای تثبیت و ضدعفونی آن‌ها انجام می‌شود. در چارچوب پالایشگاه زیستی مبتنی بر این مسیر، دو محصول نهایی شامل گوشت مرغ و عایق صوتی هستند. به منظور تولید عایق صوتی از پرهای مرغ به دلیل ناپایداری و زیست تخریب‌پذیری پرها، در ابتدا یک پیش تصفیه برای تثبیت و ضدعفونی آن‌ها انجام می‌شود. بدین منظور پرهای مرغ ابتدا در دمای ۲۰- درجه سلسیوس منجمد شده و سپس در ماشین لباسشویی در دمای ۳۵ درجه سلسیوس با محلول پراکسید هیدروژن به مدت ۵۰ دقیقه شسته شده و در نهایت در در دمای ۶۰ درجه سیلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. پس از آماده‌سازی اولیه، الیاف پرهای مرغ با استفاده از یک بازکننده الیاف در نساجی از ساقه پر جدا شدند. باتوجه به اینکه الیاف پر مرغ به اندازه کافی بلند نیستند و نمی‌توانند مستقیماً به یک ماده غیر بافته (منسوجات بی بافت) تبدیل شوند، در این پژوهش از الیاف طبیعی شسته شده به عنوان یک فیبر کراتینه با ویژگی‌های مشابه پر، به منظور بهبود انسجام استفاده شده است. الیاف پر مرغ با الیاف طبیعی در یک دستگاه کاردینگِ نساجی به منظور ارتقای همترازی نخ و تشکیل تار مخلوط شدند. تک لایه منسوجات بی بافت به دست آمده با استفاده از دستگاه سوزن زنی با دو تخته‌ی سوزنی ۱۲ میلی‌متری از هم جدا شد. شکل ۱ مراحل تولید گوشت مرغ و عایق صوتی از پر مرغ در این پالایشگاه زیستی را به صورت خلاصه نشان می‌دهد.

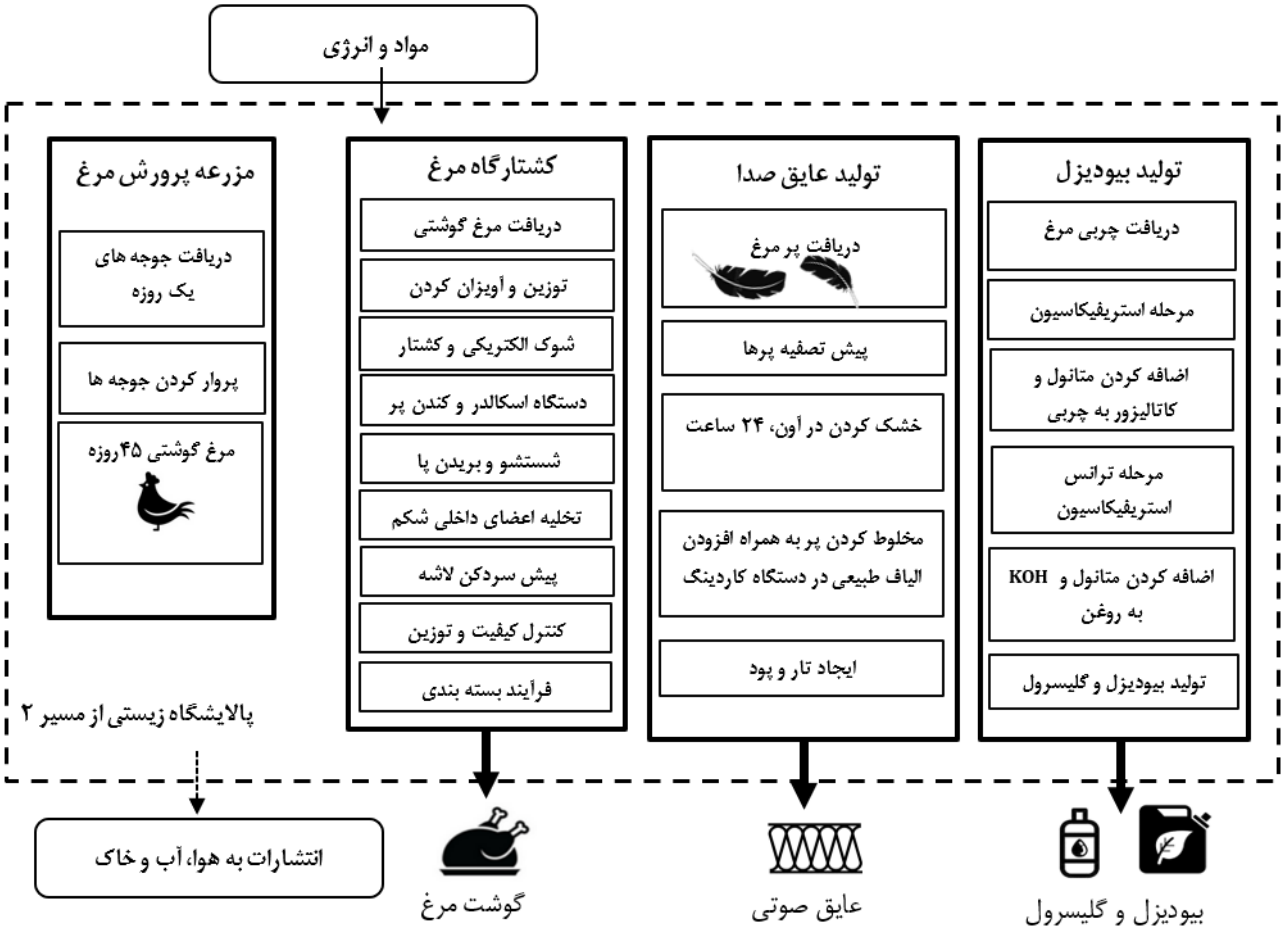


شکل ۱. تولید گوشت مرغ و عایق صوتی تحت پالایشگاه زیستی از مسیر شماره ۱

مسیر دوم

در مسیر شماره ۲ علاوه بر تولید گوشت مرغ و عایق صوتی مشابه با مسیر شماره ۱، از ضایعات چربی حاصل از مرحله کشتار مرغ، برای تولید بیودیزل از طریق فرآیندهای استریفیکاسیون و ترانس استریفیکاسیون استفاده شد. تولید بیودیزل طبق روش پژوهش Jørgensen et al. (2012) در نظر گرفته شد. چربی‌های حیوانی به دست آمده از ضایعات گوشت به دلیل هزینه کمتر، پتانسیل مناسبی برای تولید سوخت‌های زیستی دارند. در این پژوهش یک فرآیند دو مرحله‌ای برای تولید بیودیزل به مرحله اجرا درآمده است: مرحله اول شامل استریفیکاسیون چربی مرغ در حضور اسید سولفوریک به عنوان کاتالیزگر به منظور کاهش محتوای اسید چرب آزاد و مرحله دوم شامل اجرای واکنش ترانس استریفیکاسیون چربی مرغ و متانول در حضور پتاسیم هیدروکسید به منظور تولید بیودیزل و گلیسرول. شکل ۲ مراحل تولید این محصولات را تحت پالایشگاه زیستی پیشنهادی به صورت خلاصه نشان می‌دهد. اگرچه در حال حاضر پسماند صنایع گوشت در صنایع نساجی، روغن‌گیری و تولید خوراک دام و طیور استفاده می‌شود، هدف از پژوهش حاضر تمرکز بر تولید بیودیزل به عنوان یک جایگزین دوست‌دار محیط زیست برای سوخت دیزل است. در حقیقت به دلیل نشر بی‌رویه کربن دی اکسید و عواقب جبران ناپذیر آن روی اقلیم، تلاش‌های علمی و عملی به سمت کاهش این گاز است (Govindaraju et al., 2021). یکی از مهم‌ترین منابع نشر کربن دی اکسید تولید و احتراق سوخت‌های فسیلی است این در حالی است که بیودیزل یک منبع انرژی کربن–خنثی معرفی شده است که مصرف آن به جای دیزل و یا افزودن آن به دیزل حتی در غلظت‌های کم نه تنها منجر به کاهش نشر کربن دی اکسید می‌شود، بلکه از انتشار بسیاری از گازهای مخرب حاصل از احتراق سوخت دیزل جلوگیری کرده و یک گام استوار به سمت حفظ سلامت انسان و محیطزیست است (Shafiq et al., 2020). بنابراین، علی‌رغم هزینه بالاتر آن نسبت به سوخت دیزل، به دلیل هزینه‌های پنهان بسیار قابل‌توجه آن روی سلامت انسان و محیطزیست، دولت‌ها و سیاست‌گذاران در سراسر جهان به دنبال جایگزین کردن سوخت دیزل با بیودیزل هستند. به عبارت ساده‌تر، هزینه‌ای که صرف تولید بیودیزل می‌شود بسیار کمتر از هزینه‌ای است که در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی به انسان تحمیل می‌شود. بیماری‌های واگیردار، بلایای طبیعی حاصل از تغییر اقلیم و مرگ و میر ناشی از آن‌ها نمونه‌های ملموسی برای توجه هر چه بیشتر برای تولید و استفاده از بیودیزل به عنوان یکی از بهترین رویکردها برای کاهش نشر کرین دی اکسید است (Jørgensen et al.,

(2012. این در حالی است که استفاده از پسماند برای تولید بیودیزل به جای روغن حاصل از دانه‌های خوراکی، ارزشمندی این رویکرد را دو چندان می‌کند. شایان ذکر است که تولید و مصرف بیودیزل در ایران به دلیل منابع عظیم نفتی در سال‌های گذشته مغفول مانده است؛ با این وجود ایران، همانند بسیاری از کشورهای دیگر، متعهد به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه کربن دی اکسید و پیشگیری از تغییرات اقلیمی است. در این راستا، ایران اقداماتی را در سطوح مختلف به عمل آورده و در حال توسعه و راه‌اندازی اقدامات بیشتری در زمینه توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر، افزایش بهره‌وری انرژی، ترویج حمل و نقل عمومی، حفاظت از مناطق طبیعی و جنگل‌ها، توسعه وسایل نقلیه با انتشار کم، و حمایت از انتقال به انرژی‌های پاک است. بدیهی است تولید بیودیزل مبتنی بر پسماند مانند پسماند تولید مرغ می‌تواند گام موفقیت‌آمیزی برای رسیدن به این اهداف باشد که باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی، ایران نیازمند پژوهش‌های بیشتر، ایجاد تسهیلات تولید بیودیزل، تشویق به استفاده از آن در خودروها و صنایع، و اصلاح مقررات و سیاست‌ها است تا این رویکرد پایدار به عملیات موفقیت‌آمیز تبدیل شود. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند توجه سیاست‌گذاران، دولت، مدیران و عموم مردم را به سمت استفاده از این منبع با ارزش برای تولید بیودیزل معطوف کند.



شکل ۲. تولید گوشت مرغ و محصولات زیستی تحت پالایشگاه از زیستی مسیر شماره ۲

ارزیابی چرخه زندگی

در پژوهش حاضر از روش ارزیابی چرخه زندگی برای ارزیابی پایداری زیست محیطی تولید گوشت مرغ و ارزش‌دهی پسماند آن در شرایط کاربرد پالایشگاه‌های زیستی پیشنهادی استفاده شد. این روش شامل چهار مرحله تعریف هدف و محدوده پژوهش، اجرای فهرست موجودی چرخه زندگی، ارزیابی تأثیر چرخه زندگی و تفسیر نتایج به دست آمده از مراحل قبل است (شریفی و همکاران، ۱۴۰۰؛ قادرپور و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهش حاضر واحد عملکردی، یک تن گوشت مرغ بسته‌بندی شده در نظر گرفته شد. همچنین داده‌های موجودی چرخه زندگی

از دو گروه داده‌های پس‌زمینه[1] و پیش‌زمینه[2] به‌دست آمد. داده‌های پس‌زمینه اثرات زیست محیطی تولید و حمل و نقل مواد و حامل‌های انرژی مورد استفاده در پالایشگاه‌های پیشنهادی را در بر می‌گیرد که از پایگاه داده اکواینونت[3] قابل دسترسی در نرم افزار سیماپرو[4] استخراج شده است. داده‌های پیش‌زمینه شامل مقدار ورودی‌های مواد و انرژی استفاده‌شده و مقدار خروجی‌ها شامل محصولات، ضایعات و انتشارات است (جدول ۱). در پژوهش حاضر، در بین روش‌های موجود، روش رسپی[5] مورد توجه قرار گرفته است، زیرا هم دسته‌بندی تأثیر نقطه پایانی (مسائل زیست‌محیطی در حوزه‌های سلامت انسان، زیست‌بوم‌ها و منابع) و هم نقطه میانی (تمرکز بر مشکلات زیست محیطی) را ارائه می‌کند (Ferdous et al., 2023). همچنین از وزن‌دهی اثرات زیست محیطی به منظور دستیابی به یک شاخص امتیاز واحد و مقایسه دقیق اثرات زیست محیطی تولید گوشت مرغ در مسیرهای پیشنهادی استفاده شد. در انتها نیز تحلیل حساسیت برای تعیین عواملی که بیشترین تغییرات و حساسیت را در هر دسته آسیب برای دو پالایشگاه مورد بررسی ایجاد می‌کنند، انجام شد.

جدول ۱. مقدار داده‌های موجودی در پالایشگاه‌های زیستی پیشنهادی ۱ و ۲ (واحد عملکردی: یک تن گوشت مرغ) (González-García et al., 2014; Casadesús et al., 2019)

پالایشگاه‌های زیستی		واحد	عامل‌ها	پالایشگاه‌های زیستی		واحد	عامل‌ها
۲	۱			۲	۱		
الف) خروجی‌ها				**الف) ورودی‌ها**			
۱۰۰۰	۱۰۰۰	کیلوگرم (kg)	گوشت مرغ	۴۳۲	۴۳۲	تعداد (Num)	جوجه یک روزه
۲۳۴/۹	-	کیلوگرم (kg)	بیودیزل*	۶۸۱/۷۳	۶۸۱/۷۳	کیلوگرم (kg)	ذرت
۴۳۸	۴۳۸	مترمربع (m^2)	عایق صوتی	۳۱۶/۸۱	۳۱۶/۸۱	کیلوگرم (kg)	گندم
۲۵	-	کیلوگرم (kg)	گلیسرول	۵۵۴/۵۳	۵۵۴/۵۳	کیلوگرم (kg)	کنجاله سویا
پ) انتشارات مستقیم به هوا ناشی از مصرف مواد و انرژی در سامانه تولیدی				۱/۵۶	۱/۵۶	کیلوگرم (kg)	سدیم کلرید
۰/۳۳	۰/۳۳	کیلوگرم (kg)	گوگرد دی اکسید	۷/۹۱	۷/۹۱	کیلوگرم (kg)	اسید چرب
۱۲/۰۳	۱۲/۰۳	کیلوگرم (kg)	کربن مونوکسید	۱۹/۳۲	۱۹/۳۲	کیلوگرم (kg)	دی کلسیم فسفات
۱۷/۹۲	۱۷/۹۲	کیلوگرم (kg)	آمونیاک	۱۸/۱۴	۱۸/۱۴	کیلوگرم (kg)	مکمل های غذایی
۱/۳۷	۱/۳۷	کیلوگرم (kg)	اکسیدهای نیتروژن	۲/۸۰	۲/۸۰	کیلوگرم (kg)	کلر
۴۵/۹۹	۴۵/۹۹	کیلوگرم (kg)	کربن دی اکسید (فسیلی)	۰/۹۰	۰/۹۰	کیلوگرم (kg)	آهک
۴/۰۱	۴/۰۱	کیلوگرم (kg)	متان	۲۶/۸۰	۲۶/۸۰	کیلوگرم (kg)	مقوا
ت) انتشارات مستقیم به آب ناشی از مصرف مواد و انرژی در سامانه تولیدی				۸	۸	کیلوگرم (kg)	پلاستیک
۰/۳۴	۰/۳۴	کیلوگرم (kg)	تقاضای بیولوژیکی اکسیژن	۵۰۰	۵۰۰	کیلوگرم (kg)	خاک اره
۰/۵۹	۰/۵۹	کیلوگرم (kg)	تقاضای اکسیژن شیمیایی	۵/۰۶	۵/۰۶	کیلوگرم (kg)	دیزل
۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	کیلوگرم (kg)	فسفر	۱۹۲	۱۹۲	مترمکعب (m^3)	گاز طبیعی
۴/۴۲	۴/۴۲	کیلوگرم (kg)	نیترات	۱۶۱۱	۱۶۱۱	کیلووات ساعت (kWh)	الکتریسیته
۰/۳۶	۰/۳۶	کیلوگرم (kg)	آمونیاک	۹۷۸۰	۹۷۸۰	لیتر (L)	آب
۰/۲۹	۰/۲۹	کیلوگرم (kg)	نیتریت	۴۴	۴۴	تن کیلومتر (tkm)	حمل و نقل
۰/۱۰	۰/۱۰	کیلوگرم (kg)	فسفات	۲۷۰	–	کیلوگرم (kg)	چربی مرغ
۲/۵۶	۲/۵۶	کیلوگرم (kg)	جامدات معلق	۰/۲	-	کیلوگرم (kg)	اسید سولفوریک
				۰/۹۳	–	کیلوگرم (kg)	سدیم هیدروکسید
				۵۰/۷	–	کیلوگرم (kg)	متانول
				۲/۰۳	-	کیلوگرم (kg)	پتاسیم هیدروکسید
				۱/۶	-	کیلوگرم (kg)	هیدروکلریک اسید

* ضریب احشا حدود ۸۷ درصد در نظر گرفته شده است (Jørgensen et al., 2012)

1. Background data
2. Foreground data
3. EcoInvent
4. SimaPro 9.4.0.2
5. ReCiPe

یافته‌های پژوهش

اثرات زیست‌محیطی تولید هر تن گوشت مرغ در هر یک از مسیرهای ۱ و ۲ در سطح دسته‌های میانی در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج، تغییرات آب و هوایی ناشی از تولید گوشت مرغ تحت مسیر شماره ۱ به میزان ۳۰۷۹/۵ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل، در کل چرخه زندگی برآورد شده است که ۳۹ درصد از تأثیرات کلی تغییرات آب و هوایی به خوراک اختصاص یافته است (شکل ۳). از طرف دیگر، بر اساس یافته‌ها، تولید هر تن گوشت مرغ از طریق مسیر شماره ۲ منجر به کاهش قابل توجه رده اثر تغییرات آب و هوایی در مقایسه با مسیر شماره ۱ شده است. به عبارت بهتر، مقدار کربن دی اکسید معادل در این مسیر به ۲۳۸۲/۷۴ کیلوگرم رسیده است که نشان‌دهنده کاهش تقریباً ۲۳ درصدی نسبت به مسیر شماره ۱ است (شکل ۴). این نتیجه نشان می‌دهد که تنوع در تولید به دلیل کارایی بیشتر منابع و انرژی می‌تواند منجر به کاهش نشر کربن در ازای تولید هر تن گوشت مرغ شود. در پژوهشی دیگر در پالایشگاه‌های زیستی شکر مسیر با تولید مواد متنوع‌تر نسبت به مسیر با مواد تولیدی محدودتر نشر کربن را از ۵۰۹ به ۳۰۹ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل رسانیده است (Silalertruksa et al., 2017).

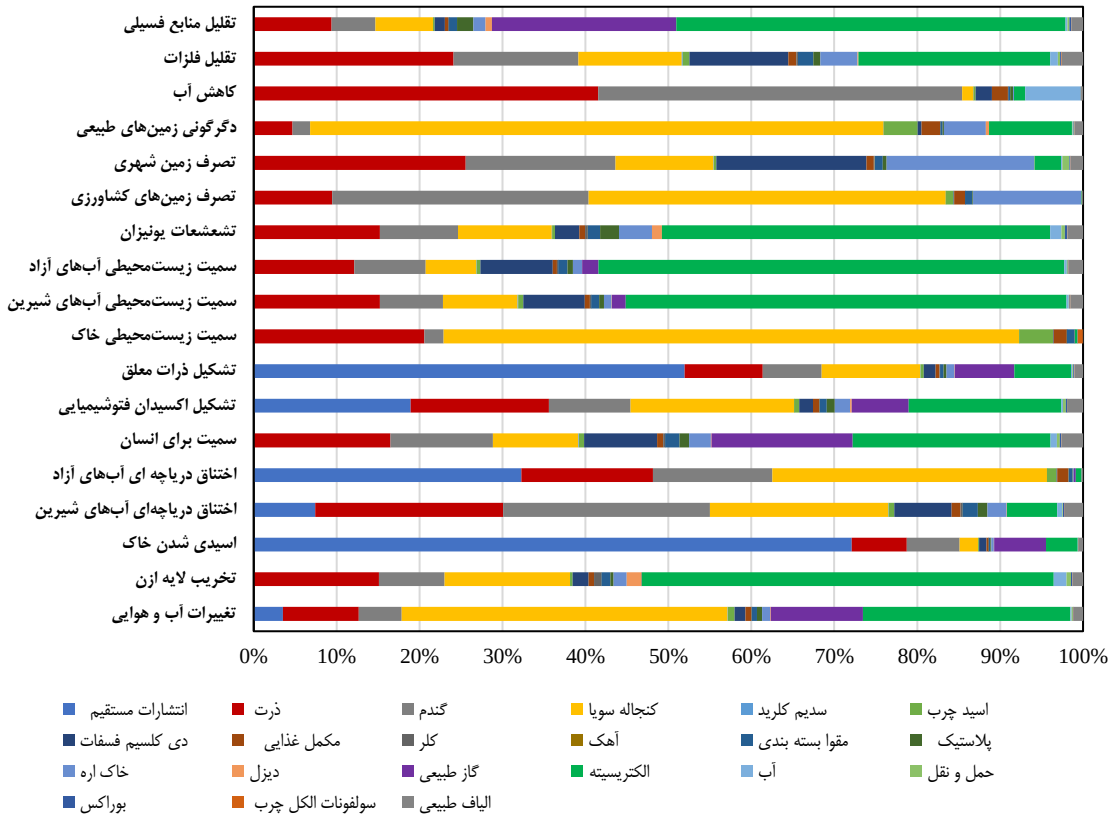
بر اساس جدول ۲، رده اثر تخریب لایه ازن به میزان $۱/۳۳ \times ۱۰^{-۴}$ کیلوگرم کلروفلوئوروکربن معادل برای مسیر شماره ۱ گزارش شده است که ۴۹/۶۳ درصد از تأثیر کلی بر تخریب لایه ازن را الکتریسیته به خود اختصاص داده است (شکل ۳). همچنین طبق نتایج موجود در جدول ۲ برای مسیر شماره ۲ کاهش قابل توجهی در رده اثر تخریب لایه ازن نشان داده شده است. بر اساس نتایج، رده اثر تخریب لایه ازن ناشی از تولید هر تن گوشت مرغ از $۱/۳۳ \times ۱۰^{-۴}$ کیلوگرم کلروفلوئوروکربن معادل در مسیر شماره ۱ به $۱/۱۲ \times ۱۰^{-۴}$ کیلوگرم معادل در مسیر شماره ۲ کاهش یافته است که نشان دهنده کاهش ۱۶/۳۲ درصدی است. این کاهش نشان می‌دهد که تولید محصولات زیستی متنوع از جمله تولید بیودیزل و گلیسرول از ضایعات چربی مرغ طبق مسیر شماره ۲ می‌تواند باعث جلوگیری از کاهش لایه ازن ناشی از تولید گوشت مرغ در مقایسه با مسیر شماره ۱ شود، که نشان‌دهنده یک نتیجه مثبت برای محافظت از لایه ازن است. رده اثر اسیدی شدن خاک تحت مسیر شماره ۱ به میزان ۴۶/۱۸ کیلوگرم گوگرد دی‌اکسید معادل کل برای تولید هر تن گوشت مرغ برآورد شد. بالاترین مقدار ثبت شده معادل ۳۳/۲۸ کیلوگرم گوگرد دی‌اکسید معادل است که از انتشارات مستقیم سامانه تولیدی وارد جو شده است (شامل همه انتشارات از مزرعه، به استثنای گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق گاز و گازوئیل)، که منجر به مشارکت ۷۲ درصدی در تأثیر کلی اسیدی شدن خاک می‌شود (شکل ۳). علاوه بر این، تولید گوشت مرغ بر اساس مسیر شماره ۲ کاهش قابل‌توجهی در رده اثر اسیدی شدن خاک در مقایسه با مسیر شماره ۱ نشان داده است. بدین صورت که انتشار گوگرد دی‌اکسید معادل به میزان ۳۴/۵۸ کیلوگرم کاهش یافته است (۲۵/۱۱ درصد کاهش نسبت به مسیر شماره ۱).

طبق جدول ۲، تولید گوشت مرغ تحت مسیر شماره ۲ به ترتیب کاهش تقریباً ۲۴/۱۴ درصدی و ۲۶ درصدی در اختناق دریاچه‌ای آب‌های شیرین و آب‌های آزاد در مقایسه با مسیر شماره ۱ نشان داد. این یافته‌ها نشان‌دهنده یک روند مثبت به سمت به حداقل رساندن تأثیرات سمی بر زیست‌بوم‌های زمینی، آب شیرین و دریایی و انسانی است که به دلیل ارزش‌گذاری ضایعات مرغ حاصل شده است (جدول ۲).

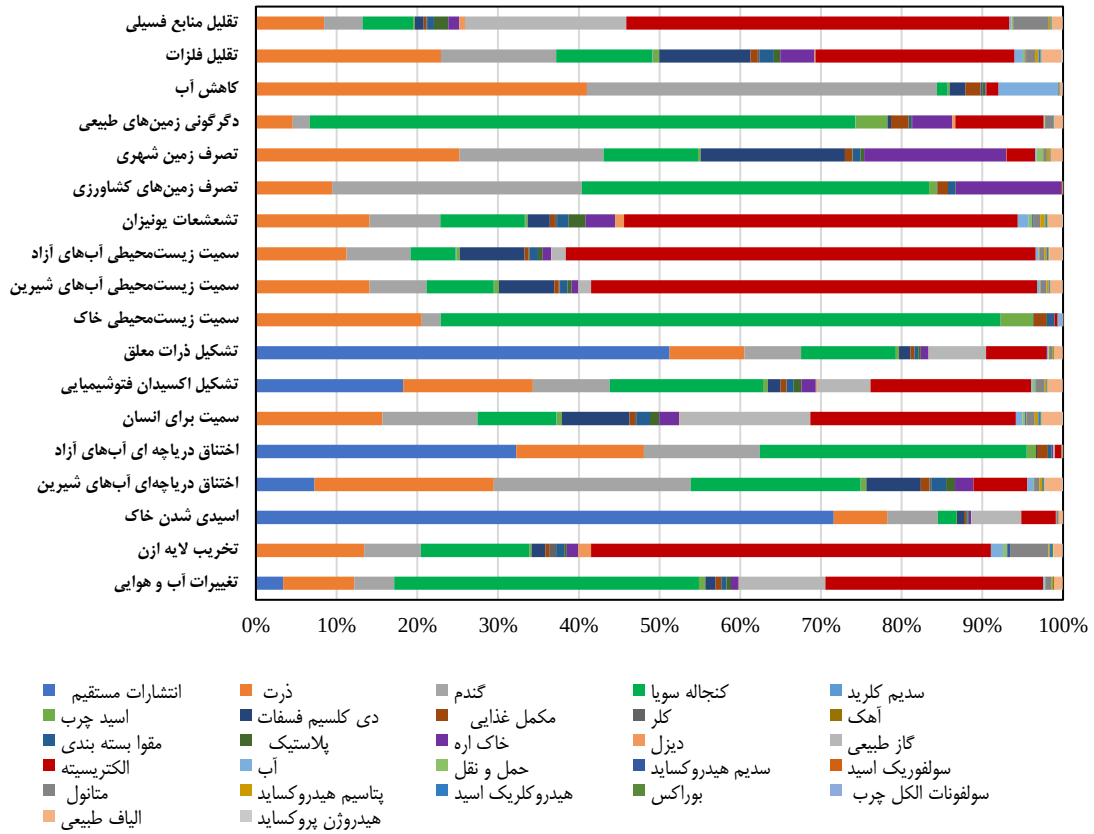
رده اثر اشغال زمین کشاورزی، اشغال زمین شهری و دگرگونی زمین‌های طبیعی ناشی از تولید هر تن گوشت مرغ تحت مسیر شماره ۲ به ترتیب در مقایسه با مسیر شماره ۱، کاهش ۲۵/۶۱ درصدی، ۲۴/۷۴ درصدی و ۲۳/۹۳ درصدی نشان داده است. لازم به ذکر است که تبدیل زمین‌های طبیعی به زمین‌های مورد استفاده برای انسان یکی از محرک‌های اصلی انقراض گونه‌ها در زیست‌بوم است. زمین‌های طبیعی تازه تغییر شکل یافته یک اثر منفی اضافی است که باید علاوه بر اثرات اشغال زمین در نظر گرفته شود که باعث عدم امکان بازگشت زمین به حالت طبیعی برای مدت طولانی می‌گردد. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهد که مسیر شماره ۲ به طور کلی پیشرفت‌هایی را در مقوله‌های تاثیر کاهش فلزات و منابع فسیلی و مصرف آب در مقایسه با مسیر شماره ۱ نشان می‌دهد. به عبارت بهتر، رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای تحت مسیر شماره ۲ می‌تواند به بهبود ۲۱/۹۲ درصدی در رده اثر کاهش فلزات و بهبود ۲۴/۷۵ درصدی در مصرف آب و بهبود ۱۷/۵۵ درصدی در کاهش منابع فسیلی منجر شود. به طور کلی، نتایج بر قابلیت استفاده از ضایعات مرغ برای تولید بیودیزل و گلیسرول و عایق صوتی طبق مسیر شماره ۲ به عنوان یک رویکرد عملی برای کاهش اثرات نامطلوب بر محیط‌زیست، سلامت انسان، زیست‌بوم‌ها و منابع تاکید می‌کند. استفاده از رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای و استفاده مجدد از ضایعات صنعت طیور در مسیر شماره ۲ منجر به کاهش چشم‌گیر رده اثرهای زیست محیطی شده است. به طور کلی پالایشگاه زیستی گوشت مرغ تحت این مسیر علاوه بر این که انتشار آلایندگی کمتری نسبت به مسیر شماره ۱ دارد، با پردازش زیستی ضایعات مرغ در راستای کاهش نگرانی‌های امنیت انرژی و محیط زیست و مدیریت بهتر جریان‌های ضایعات صنعت طیور گام بر می‌دارد.

جدول ۲. اثرات زیست‌محیطی تولید یک‌تن گوشت مرغ تحت مسیرهای ۱ و ۲

رده اثر	واحد	مسیر شماره ۱	مسیر شماره ۲	درصد تغییر
تغییرات آب و هوایی	**kg CO_2 eq**	۳۰۷۹/۵۰	۲۳۸۲/۷۴	۲۲/۶۳
تخریب لایه ازن	**kg CFC-11 eq**	۱/۳۳ × ۱۰$^{-۴}$	۱/۱۲ × ۱۰$^{-۴}$	۱۶/۳۲
اسیدی شدن خاک	**kg SO_2 eq**	۴۶/۱۸	۳۴/۵۸	۲۵/۱۱
اختناق دریاچه‌ای آب‌های شیرین	**kg P eq**	۰/۴۳	۰/۳۳	۲۴/۱۴
اختناق دریاچه ای آب‌های آزاد	**kg N eq**	۷/۱۳	۵/۳۱	۲۵/۵۳
سمیت برای انسان	**kg 1,4-DB eq**	۳۶۷/۶۲	۲۸۶/۹۱	۲۱/۹۶
تشکیل اکسیدان فتوشیمیایی	**kg NMVOC**	۷/۷۷	۵/۹۹	۲۲/۹۳
تشکیل ذرات معلق	**kg PM10 eq**	۸/۶۹	۶/۵۵	۲۴/۶۳
سمیت زیست‌محیطی خاک	**kg 1,4-DB eq**	۱۹/۳۲	۱۴/۳۷	۲۵/۵۹
سمیت زیست‌محیطی آب‌های شیرین	**kg 1,4-DB eq**	۴۹/۶۷	۳۹/۸۴	۱۹/۷۸
سمیت زیست‌محیطی آب‌های آزاد	**kg 1,4-DB eq**	۳۸/۸۷	۳۱/۲۵	۱۹/۵۹
تشعشعات یونیزان	**kBq U235 eq**	۷۰/۷۶	۵۶/۶۷	۱۹/۹۱
تصرف زمین‌های کشاورزی	**m^2a**	۲۰۲۸/۰۱	۱۵۰۸/۵۷	۲۵/۶۱
تصرف زمین شهری	**m^2a**	۳۷/۸۶	۲۸/۴۹	۲۴/۷۴
دگرگونی زمین‌های طبیعی	**m^2**	۱/۲۲	۰/۹۳	۲۳/۹۳
کاهش آب	**m^3**	۹۷/۵۶	۷۳/۴۱	۲۴/۷۵
تقلیل فلزات	**kg Fe eq**	۶۷/۹۶	۵۳/۰۶	۲۱/۹۲
تقلیل منابع فسیلی	**kg oil eq**	۵۸۲/۹۳	۴۸۰/۶۵	۱۷/۵۵



شکل ۳. مشارکت هر یک از نهاده‌ها در ایجاد اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید یک‌تن گوشت مرغ تحت پالایشگاه زیستی از مسیر شماره ۱



شکل ۴. مشارکت هر یک از نهاده‌ها در ایجاد اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید یک‌تن گوشت مرغ تحت پالایشگاه زیستی از مسیر شماره ۲

در جدول ۳ خسارت‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید یک تن گوشت مرغ نشان داده شده است. رده‌بندی با رویکرد نقطه پایانی، رویکرد خسارت محور نیز شناخته می‌شود که نتایج تحلیل سیاهه را به رده اثرهای محدودتری شامل رده خسارت سلامت انسان، کیفیت زیست‌بوم و تقلیل منابع تبدیل می‌کند (Tam et al., 2022). بر اساس نتایج مندرج در جدول ۳ تولید هر تن گوشت مرغ طبق مسیر شماره ۱ منجر به خسارت $۴/۱۶\times۱۰^{-۳}$ دالی[1] به سلامت انسان، $۹/۱۹\times۱۰^{-۶}$ گونه در سال[2] به زیست‌بوم و ۴۸/۶ دلار به منابع می‌شود. این در حالی است که تولید طبق مسیر شماره ۲ منجر به کاهش ۲۳/۵۶ درصدی خسارت به سلامت انسان، کاهش ۲۰/۶۷ درصدی خسارت به زیست‌بوم و همچنین کاهش ۱۸/۱۱ درصدی خسارت به منابع می‌گردد.

جدول۳. خسارت‌های زیست‌محیطی تولید یک‌تن گوشت مرغ تحت مسیرهای ۱ و ۲

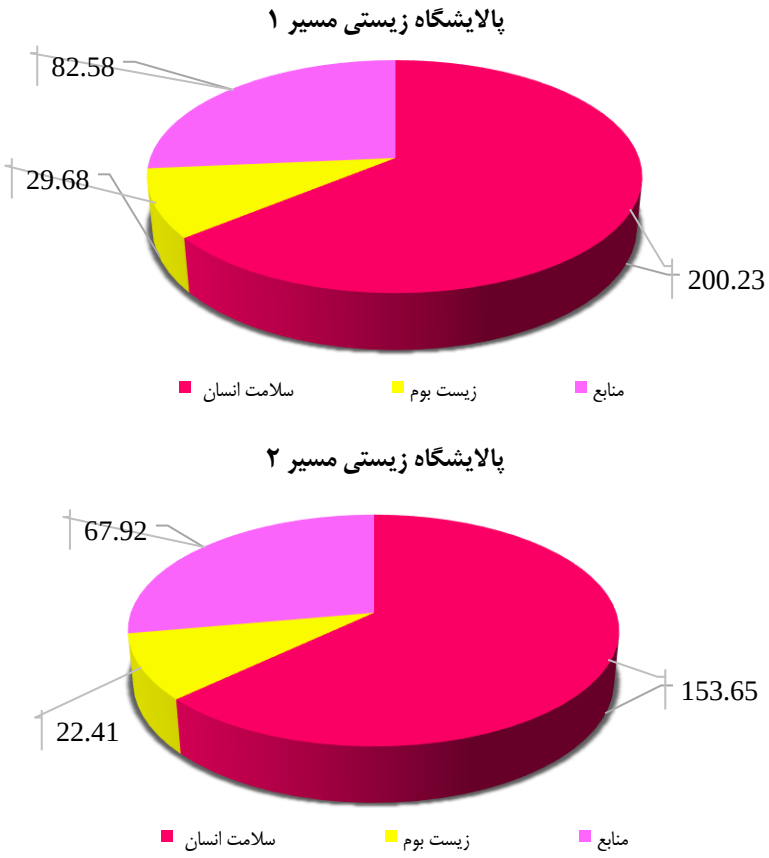
رده خسارت	واحد	مسیر شماره ۱	مسیر شماره ۲	درصد تغییر
سلامت انسان	DALY	$۶/۸۳\times۱۰^{-۳}$	$۵/۲۴\times۱۰^{-۳}$	۲۳/۲۶
کیفیت زیست‌بوم	species.yr	$۶/۸۱\times۱۰^{-۵}$	$۵/۱۴\times۱۰^{-۵}$	۲۴/۴۸
تقلیل منابع	$	$۱/۰۱\times۱۰^{+۲}$	$۸/۳۲\times۱۰^{+۱}$	۱۷/۷۶

ازآنجاکه یکی از اهداف اصلی این پژوهش مقایسه دو مسیر مختلف تولید گوشت مرغ تحت رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای است، علاوه بر رده اثر و رده خسارت، نتایج وزن‌دهی نیز ذکر شده است. وزن‌دهی خسارت‌های زیست‌محیطی به فرآیند تخصیص وزن به دسته‌های مختلف اثرات زیست‌محیطی اشاره دارد، تا مشخص شود کدام پالایشگاه زیستی کمترین تأثیرات زیست‌محیطی را دارد. لازم به ذکر است که در وزن‌دهی، به هر دسته آسیب که بازده آسیب بیشتری به محیط‌زیست دارد، وزن بیشتری داده می‌شود (Brilhuis-Meijer, 2020). نتایج وزن‌دهی به دست آمده بر اساس تولید یک تن گوشت مرغ برای دو مسیر پیشنهادی در شکل ۵ ارائه شده است. لازم به

1. DALY (Disability-adjusted life year)
2. Species.year

ذکر است که در روش ارزیابی چرخه زندگی، وزن‌دهی به معنای مشخص کردن اهمیت نسبی مواد مصرفی، فعالیت‌ها، یا عامل‌های مختلف زیست‌محیطی است که به پژوهش‌گران و تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد تا بهترین تصمیمات برای بهبود تأثیرات زیست‌محیطی محصولات یا فرآیندها را بگیرند و منابع خود را به طور مؤثرتر مدیریت کنند. در این پژوهش، وزن‌دهی براساس روش رسپی و با استفاده از نرم افزار سیماپرو انجام شده است. روش رسپی از شاخص‌های متعددی برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی استفاده می‌کند و به هر شاخص وزنی اختصاص می‌دهد تا اهمیت نسبی اثرهای مختلف در تجزیه و تحلیل چرخه زندگی محصول یا فرآیند مشخص شود. برای دستیابی به اطلاعات بیشتر مطالعه دستورالعمل ارائه شده برای این روش موجود در نرم افزار سیماپرو توصیه می‌شود.

بر اساس این نتایج، تحت مسیر شماره ۱ تولید هر تن گوشت مرغ، یک خسارت ۳۱۲/۴۹ پوینتی را به دنبال دارد که طبق شکل ۵ خسارت به سلامت انسان بیشترین سهم را در خسارت نهایی زیست‌محیطی آن با مقدار ۲۰۰/۲۳ پوینتی به خود اختصاص داده است. درحالی‌که تولید گوشت مرغ و تیمار پسماندهای آلی تحت مسیر شماره ۲ به منظور تولید بیودیزل و گلیسرول و عایق صوتی در مقایسه با مسیر شماره ۱ منجر به کاهش ۲۱/۹۲ درصدی در کل اثرات زیست‌محیطی شده است. نتایج موجود شکل ۵ نشان می‌دهد که تولید گوشت مرغ تحت مسیر شماره ۲ منجر به یک بهبود ۲۳/۲۶ درصدی در خسارت به سلامت انسان، ۲۴/۴۸ درصدی در خسارت به زیست‌بوم و ۱۷/۷۴ درصدی در خسارت به منابع می‌شود. در نتیجه می‌توان گفت که مسیر شماره ۲ روشی مناسب‌تر برای تصفیه پسماندهای چربی کشتارگاهی مرغ است که در صورت مطلوب بودن انرژی مصرفی برای این فرآیند، اثرات مثبت این فرآیند نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۵. مقادیر دسته‌های آسیب وزن‌دهی شده مربوط به مسیر شماره ۱ و ۲ (واحد عملکردی: یک تن گوشت مرغ)

در این پژوهش، تحلیل حساسیت به منظور تعیین عوامل متغیر که بیشترین تغییرات و حساسیت را در هر دسته آسیب برای دو پالایشگاه مورد بررسی ایجاد می‌کنند، انجام شده است. عوامل متغیر مسیر شماره ۱ شامل هیدروژن پروکسید، بوراکس، الیاف طبیعی و سولفونات الکل چرب به عنوان ورودی، گوشت مرغ و عایق صوتی به عنوان خروجی، و انتشارات مستقیم در طول تولید گوشت مرغ و عایق صوتی است. همچنین، عوامل مسیر شماره ۲ علاوه بر موارد قبلی شاملِ سدیم هیدروکسید، اسید سولفوریک، متانول، پتاسیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید به عنوان ورودی، و گوشت مرغ، عایق صوتی، بیودیزل و گلیسرول به عنوان چهار خروجی و انتشارات

مستقیم در طول تولید هر محصول تحت مسیر شماره ۲ است. از جمله ورودی‌های مشترک در هر دو پالایشگاه، ذرت، گندم، کنجاله سویا، سدیم کلرید، اسید چرب، دی کلسیم فسفات، مکمل غذایی، کلر، آهک، مقوا بسته بندی، پلاستیک بسته بندی، خاک اره، دیزل، گاز طبیعی، الکتریسیته، آب و حمل‌ونقل هستند. نتایج حساسیت عامل‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. این نمودارهای گردباد[1]، حساسیت‌ها را در تغییرات ۱۰ درصد از مقادیر متوسط عوامل مؤثر نشان می‌دهند، با این فرض که سایر عوامل در مقادیر میانگین خود ثابت هستند (Baaqel et al., 2023).

بر اساس نتایج، دسته آسیب به سلامت انسان در هر دو پالایشگاه تحت تأثیر خوراک قرار گرفته است. انتشارات مستقیم و الکتریسیته نیز در مسیر شماره ۱ و ۲، دومین و سومین عامل متداول حساس‌سازی برای این دسته آسیب هستند. علاوه بر این، دسته آسیب به کیفیت زیست‌بوم در هر دو پالایشگاه عمدتاً تحت تأثیر خوراک و الکتریسیته است. به طوری‌که اولین عامل مؤثر در مسیر شماره ۱، خوراک و دومین و سومین عامل حساس در این رده خسارت برای زیست‌بوم، الکتریسیته و گاز طبیعی است. در حالی که عوامل حساس برای مسیر شماره ۲ به ترتیب مربوط به خوراک، الکتریسیته و متانول هستند. در رده خسارت منابع، الکتریسیته و گاز طبیعی بیشترین حساسیت را برای مسیر شماره ۱ و ۲ نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج تحلیل حساسیت، مصرف بهینه سوخت‌های فسیلی در پالایشگاه‌ها، می‌تواند اثرات زیست محیطی را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد. بنابراین نوع انرژی سوختی مورد استفاده در سامانه‌های تولیدی گوشت مرغ می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر تأثیرات زیست محیطی بگذارد و این با نتایج پژوهش‌های دیگر نیز مطابقت دارد (Ziegler et al., 2016; Campos et al., 2020). با توجه به نتایج موجود در شکل ۵، محصولات مشترک تولید شده به همراه تولید گوشت مرغ در مسیر شماره ۲، اثرات زیست محیطی بسیار کمتری نسبت به حالت تولید در مسیر شماره ۱ دارد، که نشان می‌دهد استفاده از رویکرد اقتصاد زیستی‌چرخه‌ای طبق این مسیر می‌تواند اثرات زیست محیطی را در هر سه رده خسارت کاهش دهد.

شکل ۶. تحلیل حساسیت دسته‌های آسیب به عوامل ورودی مؤثر برای مسیر شماره ۱ و ۲

بر این اساس، حدود اطمینان نتایج خسارت‌های زیست‌محیطی تولید یک‌تن گوشت مرغ تحت مسیرهای ۱ و ۲ در بازه اطمینان ۹۵ درصد با تغییرات ۱۰ درصدی از مقادیر متوسط در جدول ۴ گنجانده شده است.

1. Tornado charts

جدول ۴. حدود اطمینان خسارت‌های زیست‌محیطی تولید یک‌تن گوشت مرغ تحت مسیرهای ۱ و ۲ بازه اطمینان ۹۵ درصد با تغییرات ۱۰ درصدی از مقادیر متوسط

رده خسارت	واحد	مسیر شماره ۱	مسیر شماره ۲
سلامت انسان	**DALY**	$(۵/۷۰ ، ۷/۹۶) \times 10^{-۳}$	$(۴/۶۰ ، ۵/۸۸) \times 10^{-۳}$
کیفیت زیست‌بوم	**species.yr**	$(۶/۴۸ ، ۷/۱۴) \times 10^{-۵}$	$(۴/۸۰ ، ۵/۴۸) \times 10^{-۵}$
تقلیل منابع	**$**	$(۹/۰۰ ، ۱۱/۲) \times 10^{+۱}$	$(۷/۹۳ ، ۸/۷۱) \times 10^{+۱}$

بحث

در پژوهش حاضر به مقایسه دو مسیر مختلف تولید گوشت مرغ تحت رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای پرداخته شد و مطابق نتایج، بهبودهای چشم‌گیری در کاهش اثرات زیست‌محیطی در تولید گوشت مرغ طبق مسیر دوم مشاهده گردید. لازم به ذکر است که در مسیر شماره ۲ علاوه بر تولید گوشت مرغ و عایق صوتی مشابه با مسیر شماره ۱، از ضایعات چربی مرغ حاصل از مرحله کشتار مرغ به منظور تولید بیودیزل استفاده شد. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، تولید هر تن گوشت مرغ طبق مسیر شماره ۲ منجر به کاهش قابل توجه‌ای در رده اثرهای مختلف در مقایسه با مسیر شماره ۱ شد که از جمله آن‌ها می‌توان به کاهش ۲۲/۶۳ درصدی رده اثر تغییرات آب و هوایی، کاهش ۱۶/۳۲ درصدی در رده اثر تخریب لایه ازن، کاهش ۲۵/۱۱ درصدی در رده اثر اسیدی شدن خاک و کاهش ۲۴/۱۴ درصدی در اختناق دریاچه‌ای، کاهش ۲۱/۹۲ درصدی در رده اثر کاهش فلزات و کاهش ۲۴/۷۵ درصدی در مصرف آب و کاهش ۱۷/۵۵ درصدی در کاهش منابع فسیلی اشاره کرد.

تحقیقات دیگر نیز نتایج مثبتی از کاهش اثرات زیست محیطی در استفاده از پالایشگاه‌های زیستی در صنایع دام و طیور نشان داده‌اند. برای مثال پژوهشی مشابه توسط Dos Santos et al. (2023) به بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید گوشت مرغ در برزیل با تمرکز بر بازیافت پسماندهای فرآیند تولید پرداخته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از پسماند مرغ برای تولید بیوگاز، انتشارات متان و آمونیاک را کاهش داده و بیش از ۵۰ درصد از اثرات زیست‌محیطی مرتبط با تغییر اقلیم، و اسیدی شدن خاک را کاهش می‌دهد. همچنین، استفاده از پسماند مرغ برای تولید جیره دام به کاهش انتشارات در محیط‌زیست از ۱۲ تا ۵۵ درصد در همه دسته‌های تأثیر منجر می‌شود. در پژوهشی دیگر Barua et al. (2020) توانایی تولید بیودیزل از پسماند چربی مرغ و تولید الکتریسیته از آن را در منطقه کواکاتا در بنگلادش جنوب شرقی با توجه به مقایسه اثرات زیست‌محیطی بین تولید الکتریسیته از بیودیزل و دیزل بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با تغییر به سمت تولید و استفاده از بیودیزل از پسماند چربی مرغ، مصرف انرژی سالیانه در منطقه به میزان ۲/۲ کیلووات‌ساعت در مترمربع کاهش یافته که یک کاهش ۷۰/۳ درصدی در گازهای گلخانه‌ای را در این منطقه نشان می‌دهد. نتایج پژوهش Ghosh et al. (2019) روی استخراج پروتئین از ضایعات گوشت مرغ با میدان‌های الکتریکی پالسی غیرحرارتی در یک پالایشگاه زیستی ضایعات گوشت نشان داد که میدان‌های الکتریکی پالسی همراه با فشار مکانیکی می‌توانند برای استخراج مولکول‌های عملکردی از زیست توده ضایعات گوشت با استفاده از فرآیند غیر حرارتی و عاری از مواد شیمیایی مورد استفاده قرار گیرند. چنین راهبردی می‌تواند درآمد اضافی ایجاد کند و در نتیجه کشاورزان و پردازشگرهای صنعت مرغ را وادار کند تا آلودگی زیست‌محیطی مربوط به ضایعات طیور را با استفاده از بکارگیری یک پالایشگاه زیستی کاهش دهند. همچنین Fiori et al. (2017) یک مطالعه موردی را برای صنعتی‌سازی یک پالایشگاه زیستی با هدف ارزش‌گذاری بقایای فرآوری ماهی انجام دادند. مطابق با مفهوم ضایعات صفر، تمام محصولات فرعی پالایشگاه زیستی به پروتئین‌های ماهی به عنوان پودر ماهی، و گلیسرول، اسیدهای چرب اشباع شده و اسیدهای چرب غیراشباع زنجیره کوتاه به عنوان سوخت زیستی مایع ارزش‌گذاری شدند. نتایج نشان داد که سوخت زیستی تولید شده امکان تولید الکتریسیته برای ۷۲۰ مگاوات ساعت در سال را فراهم می‌کند که کل برق مصرفی نیروگاه را پوشش می‌دهد و بیش از ۴۵ درصد انرژی حرارتی مورد نیاز را تامین می‌کند. بنابراین بر طبق مطالعات مختلف، استفاده از ضایعات به‌عنوان مواد خام برای پالایشگاه زیستی تحت رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای، پتانسیل‌های زیادی در تولید محصولات با ارزش افزوده بالا با پیروی از دستور کار اهداف توسعه پایدار و کاهش آسیب‌های زیست محیطی خواهد داشت.

بر طبق نتایج پژوهش حاضر، تولید گوشت مرغ و کاربرد پسماندهای آلی تحت مسیر شماره ۲ به منظور تولید بیودیزل و گلیسرول و عایق صوتی در مقایسه با مسیر شماره ۱ (تنها استفاده از پر در تولید عایق صوتی) منجر به کاهش ۲۱/۹۲ درصدی در کل اثرات زیست‌محیطی شد. نتایج موجود نشان داد که تولید گوشت مرغ تحت مسیر شماره ۲ منجر به بهبود ۲۳/۲۶ درصدی در کاهش خسارت به سلامت انسان، ۲۴/۴۸ درصدی در کاهش خسارت به زیست‌بوم و ۱۷/۷۶ درصدی در کاهش خسارت به منابع می‌شود. لذا بر طبق نتایج

پژوهش حاضر، رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای بر طبق مسیر دوم، به عنوان روشی سازگار با محیط زیست، با استفاده مجدد از مواد زیستی در یک پالایشگاه زیستی تولید گوشت مرغ، می‌تواند به کاهش اثرات زیست محیطی و مدیریت ضایعات تولیدی در صنعت طیور کمک قابل ملاحظه‌ای نماید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر، اثرات زیست‌محیطی تولید گوشت مرغ طبق رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای و تحت دو مسیر در استان گیلان مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. دو مسیر شامل پالایشگاه زیستی از طریق مسیر شماره ۱، (تولید گوشت مرغ و عایق صوتی از پر مرغ) و پالایشگاه زیستی از طریق مسیر شماره ۲ (تولید گوشت مرغ، عایق صوتی از پر، بیودیزل و گلیسرول از ضایعات چربی مرغ) هستند. یافته‌ها نشان‌دهنده یک الگوی آشکار از کاهش تأثیرات منفی بر سلامت انسان، سامانه‌های زیست‌محیطی و منابع طبیعی با پیشرفت از مسیر شماره ۱ به ۲ است. موارد فوق حاکی از آن است که پیشرفت‌ها به سمت مسیر شماره ۲ منجر به کاهش شیوع بیماری‌ها و آسیب‌های فیزیکی در جوامع انسانی، بهبود حفاظت از زیست‌بوم‌ها و کاهش از بین رفتن تنوع زیستی و بهبود مدیریت منابع و کاهش اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی می‌گردد. پس از ارزیابی اثرات زیست محیطی وزن‌دهی شده ۱ تن تولید گوشت مرغ، مشاهده شد که مسیر شماره ۲ منجر به کاهش ۲۱/۹۲ درصدی نسبت به مسیر شماره ۱ شد. در نتیجه نشان‌دهنده افزایش قابل توجه در پایداری زیست‌محیطی است. قابل ذکر است که حتی کاهش‌های بسیار کم نیز می‌تواند سهم بسزایی در دستیابی به پایداری محیطی به صورت جامع داشته باشد. پالایشگاه‌های زیستی گوشت مرغ، برای تولید بهینه گوشت مرغ و تولید مواد با ارزش افزوده از محصولات جانبی آن، دارای فرصت‌های بالقوه متعددی هستند که می‌توانند رشد آن‌ها را افزایش دهند. از طریق استفاده راهبردی از فرصت‌های آینده، پالایشگاه‌های زیستی که در گوشت مرغ تخصص دارند، این پتانسیل را دارند که جایگاه خود را در بخش مرغ افزایش دهند، استفاده از منابع را بهینه کنند و سامانه غذایی پایدار و چرخه‌ای را تقویت کنند و از همه مهم‌تر در راستای کاهش نشر کربن دی اکسید اقدام مؤثری انجام دهند.

از جمله پیشنهادهای مورد نظر در این پژوهش می‌توان به استفاده از منابع خوراک پایدار، مانند محصولات جانبی سایر صنایع یا محصولات زراعی کشت شده در زمین‌های حاشیه‌ای برای کاهش اثرات زیست محیطی تولید و حمل‌ونقل خوراک اشاره کرد. این امر می‌تواند به پایدارتر شدن پالایشگاه زیستی کمک کند. همچنین استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، مانند انرژی خورشیدی، باد یا برق آبی، می‌تواند به کاهش ردپای کربن پالایشگاه زیستی و کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی کمک شایانی کند و باعث پایداری بیشتر پالایشگاه زیستی می‌گردد. علاوه بر این، اجرای اقدامات حفاظت از آب، مانند استفاده مجدد و تصفیه فاضلاب، می‌تواند به کاهش ردپای آب پالایشگاه زیستی و کاهش خطر کمبود آب کمک کند. همکاری با محققان و شرکای صنعتی برای توسعه فناوری‌ها و روش‌های پایدار جدید که می‌توانند در عملیات پالایشگاه زیستی ادغام شوند، می‌تواند به نوآوری راه‌حل‌های جدید و بهبود پایداری پالایشگاه زیستی کمک کند.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

سپهوند، موحد؛ مبلی، حسین؛ شریفی، محمد و خانعلی، مجید (۱۳۹۸) . مدل‌سازی روند مصرف انرژی و ارزیابی شاخص‌های اقتصادی- زیست‌محیطی در تولید مرغ گوشتی (مطالعه موردی: شهرستان خرم‌آباد). *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۰(۲)، ۲۶۷-۲۷۹.

شریفی، محمد؛ اکرم، اسداله و مولودی، حسام‌الدین (۱۳۹۹). ارزیابی چرخه‌ی زندگی تولید سیب از دیدگاه انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی (مطالعه‌ی موردی: شهرستان‌های ارومیه و مهاباد). *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۱(۳)، ۵۶۳-۵۶۹.

شریفی، محمد؛ سودمندمقدم، شمسی و اکرم، اسداله (۱۴۰۰). بررسی مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید کدوحلوایی (مطالعه‌ی موردی: شهرستان بروجرد). *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۲(۱)، ۲۷-۳۶.

قادرپور، امید؛ گرامی، کریم و دهقان، الیاس (۱۳۹۹). ارزیابی چرخه زندگی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید نخود دیم در استان آذربایجان غربی. *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۱(۳)، ۶۱۱-۶۲۸.

REFERENCES

Ayala, M., Thomsen, M., & Pizzol, M. (2023). Life Cycle Assessment of pilot scale production of seaweed-based bioplastic. *Algal Research*, *71*, 103036.

Baaqel, H. A., Bernardi, A., Hallett, J. P., Guillén-Gosálbez, G., & Chachuat, B. (2023). Global Sensitivity Analysis in Life-Cycle Assessment of Early-Stage Technology using Detailed Process Simulation:

Application to Dialkylimidazolium Ionic Liquid Production. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *11*(18), 7157–7169.

Barua, P., Chowdhury, T., Chowdhury, H., Islam, R., & Hossain, N. (2020). Potential of power generation from chicken waste-based biodiesel, economic and environmental analysis: Bangladesh's perspective. *SN Applied Sciences*, *2*, 1–9.

Brilhuis-Meijer, E. (2020). Weighting: Applying a value judgement to LCA result.

Campos, I., Valente, L. M. P., Matos, E., Marques, P., & Freire, F. (2020). Life-cycle assessment of animal feed ingredients: Poultry fat, poultry by-product meal and hydrolyzed feather meal. *Journal of Cleaner Production*, *252*, 119845.

Casadesús, M., Álvarez, M. D., Garrido, N., Molins, G., Macanás, J., Colom, X., Cañavate, J., & Carrillo, F. (2019). Environmental impact assessment of sound absorbing nonwovens based on chicken feathers waste. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*, 489–499.

Chan, I., Franks, B., & Hayek, M. N. (2022). The 'sustainability gap'of US broiler chicken production: trade-offs between welfare, land use and consumption. *Royal Society Open Science*, *9*(6), 210478.

Cherubini, F., & Ulgiati, S. (2010). Crop residues as raw materials for biorefinery systems–A LCA case study. *Applied Energy*, *87*(1), 47–57.

Dos Santos, R. A., da Costa, J. S., Maranduba, H. L., de Almeida Neto, J. A., & Rodrigues, L. B. (2023). Reducing the environmental impacts of Brazilian chicken meat production using different waste recovery strategies. *Journal of Environmental Management*, *341*, 118021.

Ferdous, J., Bensebaa, F., & Pelletier, N. (2023). Integration of LCA, TEA, Process Simulation and Optimization: A systematic review of current practices and scope to propose a framework for pulse processing pathways. *Journal of Cleaner Production*, 136804.

Fiori, L., Volpe, M., Lucian, M., Anesi, A., Manfrini, M., & Guella, G. (2017). From fish waste to omega-3 concentrates in a biorefinery concept. *Waste and Biomass Valorization*, *8*, 2609–2620.

Ghosh, S., Gillis, A., Sheviryov, J., Levkov, K., & Golberg, A. (2019). Towards waste meat biorefinery: Extraction of proteins from waste chicken meat with non-thermal pulsed electric fields and mechanical pressing. *Journal of Cleaner Production*, *208*, 220–231.

González-García, S., Gomez-Fernández, Z., Dias, A. C., Feijoo, G., Moreira, M. T., & Arroja, L. (2014). Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study. *Journal of Cleaner Production*, *74*, 125–134.

Govindaraju, R., Chen, S.-S., Wang, L.-P., Chang, H.-M., & Pasawan, M. (2021). Significance of membrane applications for high-quality biodiesel and byproduct (glycerol) in biofuel industries. *Current Pollution Reports*, *7*, 128–145.

Halkos, G., & Gkampoura, E.-C. (2023). Assessing Fossil Fuels and Renewables' Impact on Energy Poverty Conditions in Europe. *Energies*, *16*(1), 560.

He, W., Li, P., & Wu, G. (2021). Amino acid nutrition and metabolism in chickens. Amino Acids in Nutrition and Health: Amino Acids in the Nutrition of Companion, Zoo and Farm Animals, 109–131.

Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A.-S., Kalogirou, S. A., Gupta, V. K., Park, Y.-K., Fallahi, A., Sulaiman, A., Ranjbari, M., Rahnama, H., & Aghbashlo, M. (2022). Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *161*, 112411.

Jørgensen, A., Bikker, P., & Herrmann, I. T. (2012). Assessing the greenhouse gas emissions from poultry fat biodiesel. *Journal of Cleaner Production*, *24*, 85–91.

Loo, C. P. Y., & Sarbon, N. M. (2020). Chicken skin gelatin films with tapioca starch. *Food Bioscience*, *35*, 100589.

Ghaderpour, O., Gerami, K., & Dehghan, E. (2020). Life Cycle Assessment and Energy Consumption Optimization in Rainfed Chickpea West Azarbayjan Province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *51*(3), 611-628. (In Persian).

Papadaskalopoulou, C., Sotiropoulos, A., Novacovic, J., Barabouti, E., Mai, S., Malamis, D., Kekos, D., & Loizidou, M. (2019). Comparative life cycle assessment of a waste to ethanol biorefinery system versus conventional waste management methods. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*, 130–139.

Sangkharak, K., Mhaisawat, S., Rakkan, T., Paichid, N., & Yunu, T. (2020). Utilization of mixed chicken waste for biodiesel production using single and combination of immobilized lipase as a catalyst. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–14.

Schwede, S., Thorin, E., Lindmark, J., Klintenberg, P., Jääskeläinen, A., Suhonen, A., Laatikainen, R., & Hakalehto, E. (2017). Using slaughterhouse waste in a biochemical-based biorefinery–results from pilot

scale tests. *Environmental Technology*, *38*(10), 1275–1284.

Sepahvand, M., Mobli, H., Sharifi, M., & Khanali, M. (2019). Modeling of Energy Consumption Trend and Economic-Environmental Indexes Assessment of Broiler Production (Case Study: Khorramabad County). *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *50*(2), 267-279. (In Persian).

Sharifi, M., Akram, A., & Moloudi, H. (2020). Assessing the Life Cycle of Apple Production in View of Energy and Environmental Pollutants (Case Study: Urmia and Mahabad Cities). *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *51*(3), 563-569. (In Persian).

Sharifi, M., Soodmand-Moghaddam, S., & Akram, A. (2021). Investigating the Energy Consumption and Environmental Pollutants of Pumpkin Production (Case Study: Boroujerd County). *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *52*(1), 27-36. (In Persian).

Shafiq, F., Mumtaz, M. W., Mukhtar, H., Touqeer, T., Raza, S. A., Rashid, U., Nehdi, I. A., & Choong, T. S. Y. (2020). Response surface methodology approach for optimized biodiesel production from waste chicken fat oil. *Catalysts*, *10*(6), 633.

Silalertruksa, T., Pongpat, P., & Gheewala, S. H. (2017). Life cycle assessment for enhancing environmental sustainability of sugarcane biorefinery in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 906–913.

Tam, V. W. Y., Zhou, Y., Illankoon, C., & Le, K. N. (2022). A critical review on BIM and LCA integration using the ISO 14040 framework. *Building and Environment*, *213*, 108865.

Tan, E. C. D., & Lamers, P. (2021). Circular bioeconomy concepts—A perspective. *Frontiers in Sustainability*, *2*, 701509.

Wahyono, N. D., & Utami, M. M. D. (2018). A review of the poultry meat production industry for food safety in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, *953*(1), 12125.

Ziegler, F., Hornborg, S., Green, B. S., Eigaard, O. R., Farmery, A. K., Hammar, L., Hartmann, K., Molander, S., Parker, R. W. R., & Skontorp Hognes, E. (2016). Expanding the concept of sustainable seafood using Life Cycle Assessment. *Fish and Fisheries*, *17*(4), 1073–1093.

Evaluation of the environmental impacts of two pathways for utilizing chicken meat production waste in Guilan Province

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Chicken meat not only can address the essential amino acids and protein requirements of humans but also as a cost-effective dietary choice. However, the rapid growth of the chicken industry due to its reasonable price and good quality has given rise to serious challenges pertaining to environmental sustainability and escalated energy consumption. In response to this challenge, the concept of circular bioeconomy that can be implemented by biorefineries is taken into consideration, aiming to transform chicken waste into added-value products, thereby mitigating the environmental impact. This study assesses the environmental impacts of chicken meat production based on this approach under two various pathways by life cycle assessment.

Material and methods

Primary data is sourced from a prominent collection representing one the Iran's most extensive chicken production and distribution networks in the Guilan province during 2022-2023. To implement a circular bioeconomy approach for chicken meat production two various pathways are proposed. Pathway 1 encompasses all processes within chicken farms and slaughterhouses. Additionally, chicken feathers obtained during the slaughterhouse stage were employed for sound insulation generation in this biorefinery. In contrast, Pathway 2 focuses on chicken meat and sound insulation production, as well as utilizing chicken fat waste from the slaughtering phase to produce biodiesel through esterification and transesterification processes. A life cycle assessment tool is used to assess the environmental impacts of chicken meat production under the mentioned pathways. The system boundaries are limited to meat production in farms and slaughterhouses along with the waste valorization phase and one ton of chicken meat as the functional unit is considered. The life cycle inventory is collected directly (face-to-face interview) and indirectly from the literature and EcoInvent database. The life cycle impact assessment is done by the ReCiPe method among available options due to its capacity to identify environmental impact at both midpoint and endpoint levels by the employment of SimaPro software. The study also weighted the environmental impacts to obtain a single score that helps to a better comparison and a more correct decision.

Results and discussion

Pathway 1 results in higher carbon emissions and ozone layer depletion due to electricity usage, while pathway 2, focusing on diverse bioproducts, reduces these impacts significantly. It also decreases other impact categories such as acidification, eutrophication, and land occupation. The findings highlight Pathway 2 is a practical and sustainable approach to improve the midpoint impact categories while promoting system efficiency and managing waste effectively. From the point of view of endpoint level, Pathway 1 leads to damages of 6.83E-03 DALY to human health, 6.81E-05 species.yr to ecosystems, and $101 to resources. Pathway 2 reduces damages by 23.26% in human health damage, 24.48% in ecosystem damage, and 17.76% in resource depletion. Weighting assigns more importance to categories with greater environmental impact. Under Pathway 1, each ton of chicken meat production results in 321.49 Pt, with human health damage contributing the most (200.23 Pt). Pathway 2, producing biodiesel, glycerol, and sound insulation, reduces overall impacts by 21.92%, showing improvements in human health (23.26%), ecosystem quality (24.48%), and resource depletion (17.76%). A sensitivity analysis is also done to identify effective factors in each damage category in both pathways. The results indicate that direct emissions, natural gas, and electricity play a key role in human health and ecosystem damage categories. For the resources damage category, optimal fossil fuel consumption significantly reduces impacts.

Conclusion

The study highlights that chicken meat production and its waste valorization under Pathway 2 leads to a decrease of 23.26% in human health, 24.48% in ecosystems, and 17.76% in resources compared to Pathway 1. Accordingly, variation in production for systems based on a circular bioeconomy approach can be proposed. Since chicken farms are trying to obtain more sustainability, this finding helps them to improve efficiency and decrease damages waste as well as produce a greener production for the future.