

ارزیابی پایداری زیست محیطی پالایشگاه زیستی یکپارچه تولید گوشت مرغ و محصولات زیستی

شمسی سودمندمقدم^۱، محمد شریفی^{۱*}، مجید خانعلی^۱، هما حسین‌زاده بندبافها^۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

۱- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

E-mail: m.sharifi@ut.ac.ir

* مسئول مکاتبه: محمد شریفی

چکیده

استفاده از ضایعات مرغ برای تولید پایدار انرژی و محصولات مختلف در پالایشگاه‌های زیستی یکپارچه، یک گزینه امیدوارکننده و مفید برای مهار آلاینده‌ها در شرایط امروزی است. این پالایشگاه‌ها از ضایعات مرغ به عنوان ماده خام استفاده می‌کنند و با استفاده از روش‌های مختلف، از این ماده برای تولید فرآورده‌های ارزشمند زیستی استفاده می‌کنند. اجرای پالایشگاه‌های زیستی دوستدار محیط، چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای برای ارتقای اقتصاد آگاهانه محیط‌زیست ارائه می‌دهد. از این رو، این پژوهش بر ارزیابی زیست محیطی تولید گوشت مرغ با استفاده از روش مرسوم و یک رویکرد مبتنی بر پالایشگاه زیستی از طریق ارزیابی چرخه حیات تمرکز دارد. پژوهش حاضر پیامدهای زیستی تولید گوشت مرغ را در یک چارچوب اقتصاد زیستی چرخه‌ای ارزیابی می‌کند. این پژوهش شامل توسعه دو سناریوی متمایز است، سناریو ۱ مربوط به تولید گوشت مرغ از طریق روش‌های معمولی و رایج و سناریو ۲ شامل تولید گوشت مرغ و ارزش‌گذاری ضایعات پر مرغ به هیدرولیز مایع، و ارزش‌گذاری ضایعات چربی مرغ به بیودیزل و گلیسرول است. بر اساس یافته‌ها، تولید گوشت مرغ طبق سناریو ۲ باعث کاهش ۴۶ درصدی آسیب به سلامت انسان در مقایسه با سناریو ۱ گردید. همچنین تولید گوشت مرغ طبق سناریو ۱ منجر به آسیب $10^{-5} \times 10^3$ گونه در سال به زیست‌بوم شد در حالی که با بکارگیری سناریو ۲ این آسیب ۴۳ درصد کاهش یافت. سناریو ۲ همچنین کاهش ۳۴ درصدی خسارت به منابع را نسبت به سناریو ۱ به ازای تولید هر تن گوشت مرغ نشان داد. درصدهای کاهش ذکر شده، پیشرفت سناریو ۲ را در به حداقل رساندن ردپای زیست‌محیطی آن در مقایسه با سناریو ۱ نشان می‌دهد و نشان‌دهنده بهبود قابل توجهی در پایداری زیست‌محیطی است.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد زیستی چرخه‌ای، بیودیزل، پالایشگاه زیستی، ضایعات مرغ، هیدرولیز مایع

How to cite:

Shamsi Soodmand-Moghaddam, Mohammad Sharifi, Majid Khanali, Homa Hosseinzadeh-Bandbafha, N. 2023 Evaluation of the environmental sustainability of the integrated biorefinery for the production of chicken meat and biological products. Journal of Agricultural Mechanization 8 (4): 17-25.

Evaluation of the environmental sustainability of the integrated biorefinery for the production of chicken meat and biological products

Shamsi Soodmand-Moghaddam¹, Mohammad Sharifi^{1*}, Majid Khanali¹, Homa Hosseinzadeh-Bandbafha¹

Received: August 6, 2023

Accepted: January 23, 2024

1- Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*Corresponding Author: m.sharifi@ut.ac.ir

Abstract

The utilization of poultry byproducts for sustainable and productive production of energy and bioproducts in integrated biorefineries is a promising and beneficial proposition to reduce pollutants in contemporary circumstances. These biorefineries employ chicken byproducts as the raw constituents and utilize these materials to produce high-value biological products via distinctive methods. The implementation of sustainable and eco-friendly biorefineries presents a promising prospect for fostering an environmentally aware economic structure. As a result, this research concentrates on assessing the environmental impact of conventional chicken meat production methods and biorefinery-led meat production methods via life cycle assessment techniques. This study examines the ecological consequences of chicken meat production in a circular bioeconomy framework. The current research includes the development of two distinct scenarios: scenario 1 focuses exclusively on conventional chicken meat production methods and scenario 2 encompasses the production of chicken meat and the economic utilization of chicken feather waste via liquid hydrolysate, as well as the valuation of chicken fat waste to biodiesel and glycerol. As per the results, producing chicken meat according to scenario 2 leads to a 46% reduction in the detrimental impact on human health when compared to scenario 1. Also, the production of chicken meat according to scenario 1 leads to the amount of damage to the ecosystem of $1.03E-5$ species per year, while applying scenario 2, this damage is reduced by 43%. Scenario 2 also shows a 34% reduction in resource damage compared to scenario 1 per ton of chicken meat production. The reported reduction percentages shed light on the progress of scenario 2 in reducing its environmental footprint compared to scenario 1, which further highlights the significant advancements in environmental sustainability achieved through the mentioned process.

Keywords: Biodiesel, Biorefinery, Chicken waste, Circular bioeconomy, Liquid hydrolysate

۱- مقدمه

مصرف انرژی، بخشی جدایی ناپذیر از محصولات و خدمات است و در حال حاضر، بخش عمده‌ای از این انرژی مربوط به انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی است (Pata et al., 2023). در سال‌های اخیر، رشد جمعیت و پیشرفت در استانداردهای زندگی به طور بی‌سابقه‌ای باعث افزایش تقاضا برای مصرف انرژی و محصولات مختلف شده است (Sadiq et al., 2023). پیامدهای مضر احتراق سوخت‌های فسیلی بر سلامت انسان و کیفیت زیست‌بوم، از جمله مسائل چالش برانگیز است. در واقع، احتراق سوخت فسیلی منجر به انتشار مقادیر زیادی کربن و سایر گازهای نامطلوب می‌شود که به گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی کمک می‌کند (Wang et al., 2024). گرمایش جهانی و تغییرات آب‌وهوایی مسئول آسیب‌های مختلفی برای اکوسیستم و سلامت انسان هستند. در این راستا، استفاده از سوخت‌های مشتق شده از زیست‌توده، به نام سوخت‌های زیستی به عنوان یک جایگزین امیدوارکننده برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی مرتبط با سوخت‌های فسیلی معرفی شده است (Jalilian et al., 2020). زیست توده با تولید بالای خود در سطح جهانی، می‌تواند منبع مفیدی برای تولید سوخت‌های زیستی با ارزش بالا در صنایع مختلف باشد (Guo et al., 2022). زیست توده از مزیت دستیابی به تعادل کربن خنثی برخوردار است زیرا همان مقدار کربن را در طول رشد جذب می‌کند که هنگام استفاده به عنوان سوخت زیستی آزاد می‌شود.

در حال حاضر، یکی از منابع زیست‌توده از نسل دوم، بقایای تولید مواد غذایی از منابع حیوانی است. لازم به ذکر است که سامانه‌های تولید حیوانات، حجم عظیمی از ضایعات را تولید می‌کنند که منبع عظیمی از چربی‌ها و سایر مواد با ارزش است (Gómez et al., 2023). در سال‌های گذشته، صنعت جهانی تولید گوشت مرغ نرخ رشد قابل توجهی را تجربه کرده است (Cheng et al., 2023). اگرچه این افزایش منجر به تامین نیازهای پروتئینی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و همچنین ایجاد فرصت‌های اقتصادی می‌شود، اما منجر به چالش‌های جدی برای پایداری زیست‌محیطی مزارع مرغ می‌گردد. به عنوان مثال، افزایش تولید گوشت مرغ منجر به رشد قابل توجه ضایعات و بقایای مرغ می‌شود. مدیریت ضایعات در مزارع مرغ بسیار چالش برانگیز است زیرا معمولاً ضایعات با استفاده از روش‌های غیراصولی دفع می‌شوند (Gupta et al., 2023). مدیریت نادرست در سطح جهانی منجر به بار نامطلوب بر محیط‌زیست، جامعه و اقتصاد می‌شود. این در حالی است که با توجه به ویژگی‌های ارزشمند این ضایعات مانند پر، پا، ضایعات چربی، می‌توان از این مواد در تولید محصولات مختلفی مانند سوخت‌های زیستی و بیوشیمیایی استفاده کرد (S. Tan et al., 2023). بنابراین، تلاش‌ها باید به سمت مدیریت صحیح ضایعات مرغداری‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد با ارزش افزوده تحت رویکردهای نوآورانه هدایت شود. اقتصاد زیستی چرخه‌ای به‌عنوان اقتصادی تعریف می‌شود که هدف آن استفاده پایدار از منابع

طبیعی و ایجاد حداقل ضایعات است. این مفهومی است که هدف آن ارتقای پایداری زیست‌محیطی، رشد اقتصادی و رفاه جامعه است (Dey Chowdhury et al., 2023). بنابراین، این کار می‌تواند با استفاده مجدد و بازیافت منابع، کارایی را در صنایع مرغ افزایش دهد. یک رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای را می‌توان تحت یک پالایشگاه زیستی اجرا کرد.

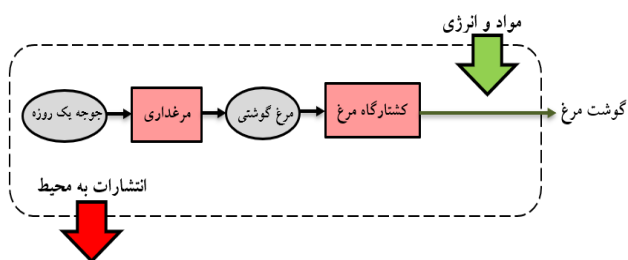
پالایشگاه زیستی تأسیساتی است که مکانیسم‌های بیوشیمیایی و ترموشیمیایی متنوعی را برای تبدیل زیست‌توده به مجموعه وسیعی از کالاهای با ارزش مانند سوخت‌های زیستی، محصولات زیستی و مواد شیمیایی تجدیدپذیر ترکیب می‌کند (Soodmand-Moghaddam et al., 2023). این فرآیند مبتنی بر استفاده از زیست توده، به عنوان ماده خام برای تولید خروجی‌های متعدد و با ارزش قابل توجه است، شبیه به پالایش مرسوم نفت خام در یک پالایشگاه نفت برای به دست آوردن کالاهای متنوع. در راستای آن، محققان استفاده از مفاهیم پالایشگاه زیستی را برای صنایع مرغ پیشنهاد و اجرا کردند تا ضایعات خود را برای ارزش‌افزوده محصولات ارزش‌گذاری کنند. با اجرای یک رویکرد پالایشگاه زیستی که از منابع زیست توده حاصل از ضایعات مرغ استفاده می‌کند، صنعت مرغ می‌تواند به طور موثر آلودگی، انتشارات زیست‌محیطی و اثرات منفی آن‌ها بر سلامت انسان و اکوسیستم را کاهش دهد (Gómez et al., 2023). به عبارت بهتر، از طریق تبدیل ضایعات به محصولات با ارزش و انرژی زیستی در یک پالایشگاه زیستی، بار زیست محیطی مرتبط با ضایعات مرغ را می‌توان به طور قابل توجهی به حداقل رساند. این رویکرد نه تنها مشکلات دفع ضایعات را کاهش می‌دهد، بلکه به سیستم تولید پایدارتر و سازگار با محیط‌زیست کمک می‌کند (Mozhiarasi et al., 2022). به عنوان مثال، نتایج پژوهشی روی تولید بیودیزل از ضایعات چربی مرغ به منظور تولید الکتریسیته از این ضایعات، نشان داد که میزان گازهای گلخانه‌ای در منطقه مورد مطالعه حدود ۷۰ درصد کاهش یافته است. همچنین به دلیل استفاده از پسماند برای تولید بیودیزل، مصرف انرژی سالیانه در منطقه حدود ۲ کیلووات‌ساعت در مترمربع کاهش پیدا کرده است (Barua et al., 2020). در پژوهشی دیگر یک پالایشگاه زیستی گوشت برای استخراج مواد شیمیایی کاربردی از ماهیچه سینه مرغ بررسی شد. نویسندگان اظهار داشتند که روش فوق‌عاری از اثرات حرارتی و عوامل شیمیایی است و پتانسیل تولید جریان‌های درآمدی مکمل را در عین کاهش زباله و آلودگی زیست‌محیطی دارد (Ghosh et al., 2019). در پژوهشی تأثیرات زیست‌محیطی فرآیند بازیافت ضایعات مرغ بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از این ضایعات برای تولید بیوگاز، تا ۵۰ درصد از اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، استفاده از این پسماند برای تولید جیره غذایی باعث کاهش ۵۵ درصدی انتشارات در محیط برای همه دسته‌های اثر می‌گردد (Dos Santos et al., 2023). اگرچه این تلاش‌های تحقیقاتی نتایج ارزشمندی به همراه داشته است، اما سناریوهای محدودی را بررسی کرده و بر پایداری تولید متمرکز نشده است. روش‌های متعددی برای

مناطق کشور تبدیل کرده است. بر اساس گزارش سازمان جهاد کشاورزی، این استان سالانه بیش از ۱۵۹۷ هزار تن گوشت مرغ تولید میکند (وزارت جهاد کشاورزی گیلان، ۱۴۰۲). با این وجود، تولید قابل توجه جوجه‌ها چالشی حیاتی در مدیریت کارآمد ضایعات تولید شده توسط این پرندگان ایجاد می‌کند. با توجه به این موضوع، فرصتی برای استفاده از این ضایعات به عنوان منبعی ارزشمند برای توسعه یک پالایشگاه زیستی با هدف تولید گوشت مرغ و محصولات زیستی وجود دارد. داده‌های اصلی به‌دست‌آمده در این پژوهش از مجموعه‌ای برجسته به دست آمده است که یکی از گسترده‌ترین شبکه‌های تولید و توزیع مرغ در ایران را نشان می‌دهد. مجتمع مورد بحث، دارای مزارع مرغ گوشتی با ظرفیت ۱۰ میلیون جوجه‌ریزی در هر دوره و کشتارگاه‌هایی با ظرفیت کشتار ۱۶ هزار قطعه در ساعت می‌باشد.

۲-۲- توسعه سناریوها

۲-۲-۱- سناریو ۱

در این پژوهش، سناریو ۱ تمام فرآیندهای درگیر در مرغداری‌ها و کشتارگاه‌های مرغ را در بر گرفته است و نشان‌دهنده وضعیت فعلی و متعارف تولید است. این سناریو به عنوان الگوی اساسی برای تولید گوشت مرغ در منطقه عمل کرده است. خروجی اولیه این سناریو فقط گوشت مرغ است. انرژی و مقدار مواد مورد استفاده در طول فرآیند تولید گوشت مرغ در این سناریو مستقیماً از مزارع مرغ و کشتارگاه‌ها بدست آمد. به طور خلاصه، این پژوهش شامل دریافت و پرورش جوجه‌های یک روزه با میانگین وزن ۴۰ گرم برای مدت زمان پرورش ۴۵ روز و رسیدن به وزن ۲/۵ کیلوگرم بود. پس از پایان این مدت و رسیدن به وزن موردنظر، جوجه‌های گوشتی به یک مرکز تخصصی در نظر گرفته شده برای کشتار مرغ منتقل شدند. در این زمینه خاص، ضایعات حاصل از مرغ، یعنی فضولات مرغ، و بقایای کشتارگاه، متشکل از بافت چربی و پر، اغلب یا در محیط دور ریخته می‌شوند یا با ارزش اسمی معامله می‌شوند. یک شکل شماتیک برای تولید گوشت مرغ توسط سناریو ۱ در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- تولید گوشت مرغ تحت سناریو ۱

Fig. 1. Production of chicken meat under scenario 1

ارزیابی پایداری زیست‌محیطی وجود دارد. با این حال، ارزیابی چرخه حیات یک رویکرد قابل توجه است، همانطور که توسط تحقیقات قبلی نشان داده شده است (D'amato et al., 2020). یک پژوهش ارزیابی چرخه حیات، بر مبنای چهار گام پایه استوار است که شامل: گام ۱: تعریف هدف و دامنه، گام ۲: تجزیه و تحلیل موجودی یا تحلیل سیاهه، گام ۳: ارزیابی اثرات، گام ۴: تفسیر و ارائه نتایج است (Duan et al., 2022). در مرحله تعریف هدف و دامنه، اهداف مطالعه مشخص می‌گردد و مرزهای سامانه تعیین می‌شود. در مرحله تجزیه و تحلیل موجودی، ورودی‌ها و خروجی‌ها برای هر فرآیند چرخه حیات برای کل سامانه گردآوری و محاسبه می‌شود. معمولاً صدها منبع و انتشار محاسبه و جمع‌آوری می‌شود. در مرحله ارزیابی اثرات چرخه زندگی، منابع و انتشارات بر اساس دسته‌بندی تأثیرشان طبقه‌بندی می‌شوند و به واحدهای تأثیر معادل تبدیل می‌شوند تا مقایسه شوند و در مرحله نهایی، یافته‌های ارزیابی اثرات و موجودی در مرحله نهایی تفسیر می‌شوند تا مشخص شود که پژوهش تا چه اندازه به اهداف خود دست یافته است.

در زمینه پالایشگاه زیستی، ارزیابی چرخه حیات می‌تواند برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی عملیات و محصولات آن استفاده شود و یک فرآیند راهبردی است که اثرات زیست‌محیطی مرتبط با تمام مراحل چرخه حیات یک محصول، از جمله تهیه، تولید، توزیع، استفاده و دفع مواد خام را ارزیابی می‌کند (Moretti et al., 2022). بنابراین، پژوهش حاضر اثرات زیست‌محیطی تولید گوشت مرغ در پالایشگاه زیستی را تحت رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای از دیدگاه زیست‌محیطی بر اساس سناریوی جدید بررسی می‌کند و سعی در یافتن فرصت‌ها و محدودیت‌های زیست‌محیطی تولید گوشت مرغ در پالایشگاه زیستی دارد. برای این منظور، دو سناریوی مختلف برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید گوشت مرغ در نظر گرفته شده است. سناریوی اول تولید متعارف گوشت مرغ را بدون هیچ گونه فرآیند اضافی نشان می‌دهد. سناریوی دوم شامل تولید گوشت مرغ همراه با تولید هیدرولیز مایع از پر مرغ، و تولید بیودیزل و گلیسرول از ضایعات چربی مرغ می‌باشد. هدف پژوهش حاضر به حداکثر رساندن ارزش‌گذاری ضایعات و به حداقل رساندن ردپای زیست‌محیطی آن در تولید گوشت مرغ است. این تحقیق این پتانسیل را دارد که به عنوان منبع اطلاعاتی ارزشمندی برای سیاست‌گذاران، متخصصان صنعت و محققانی که متعهد به ارتقای اقتصاد زیستی چرخه‌ای، کاهش ردپای زیست‌محیطی و افزایش پایداری کلی بخش مرغ هستند، باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، استان گیلان در شمال ایران و در مجاورت سواحل جنوبی دریای خزر بود که دارای آب و هوای معتدل همراه با مه متناوب بوده که آن را به یکی از پر بارش‌ترین

۲-۲-۲- سناریو ۲

در سناریو ۲، علاوه بر تولید گوشت مرغ، از چربی ضایعات مرغ برای تولید بیودیزل از طریق فرآیندهای استریفیکاسیون و ترانس استریفیکاسیون استفاده شد. علاوه بر این، پره‌های مرغ به عنوان یک جزء اساسی برای تولید محصولی به نام هیدرولیز مایع در یک پالایشگاه زیستی استفاده گردید. لازم به ذکر است که هیدرولیز مایع که از پره‌های مرغ پس از فرآیند هیدرولیز به دست می‌آید، مایعی با محتوای پروتئین بالا (۶۰-۷۰ درصد پروتئین) است که می‌تواند برای کاربردهای مختلف صنعتی، غذایی و آرایشی بهداشتی استفاده شود. اسیدهای آمینه و پپتیدهای مشتق شده از هیدرولیز پر مرغ را می‌توان به عنوان منبع طبیعی کلاژن استفاده کرد که به دلیل خواص ضد پیری و تقویت کننده پوست شناخته شده است (Solcova et al., 2021). برای روشن تر شدن، ر چارچوب این وضعیت خاص، سه‌گانه‌ای از محصولات شامل گوشت مرغ، سوخت زیستی بیودیزل و

مایع پره‌های مرغ براساس روش ارائه شده توسط Solcova et al. (2021) استفاده شد. به طور خلاصه، راکتور ابتدا با بخار تحت فشار تصفیه شد، سپس ظرف تا محدوده دمایی ۱۱۵-۱۳۹ درجه سلسیوس گرم گردید، در حالی که به هم زدن مداوم ادامه می‌داد. مدت زمان عملیاتی راکتور از ۳ تا ۵ ساعت متغیر بود. این راکتور با ۳۵ کیلوگرم پر مرغ، ۱/۶ کیلوگرم اسید مالیک و ۴۲۴ لیتر آب شارژ شد. اتوکلاو تحت فشار بخار، در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت، در حالی که به طور مداوم هم زده می‌شد. پس از آن، مخزن تحت یک عملیات حرارتی در دمای ۱۳۹ درجه سلسیوس با حفظ فشار ۰/۲۶ مگاپاسکال قرار گرفت. پارامترهای تجویز شده بر روی مخلوط واکنش به مدت ۶ ساعت اعمال شد، پس از آن یک رژیم خنک کننده تدریجی شروع شد و به مدت ۱۰ ساعت ادامه یافت تا دما به ۱۰۰ درجه سلسیوس برسد. فرآیند هیدرولیز همزمان با فاز خنک‌کننده اتفاق افتاد و منجر به تبدیل قابل توجه زیست توده مورد استفاده در کل زمان واکنش ۱۶ ساعت شد. میزان هیدرولیز مایع بدست آمده از پر مرغ در این پژوهش ۴۳۷ کیلوگرم بود (جدول ۱). یک طرح برای تولید گوشت مرغ توسط سناریو ۲ در شکل ۲ ارائه شده است.

هیدرولیز مایع در یک پالایشگاه زیستی تولید شد. چربی‌های مرغ مشتق شده از ضایعات گوشت، پتانسیل امیدوارکننده‌ای را برای تولید سوخت‌های زیستی، در اینجا بیودیزل، به دلیل هزینه نسبتاً پایین تر نشان داد. تحت چارچوب اقتصاد زیستی چرخه‌ای، گلیسرول، که محصول جانبی تولید بیودیزل است، یک محصول با ارزش در نظر گرفته می‌شود.

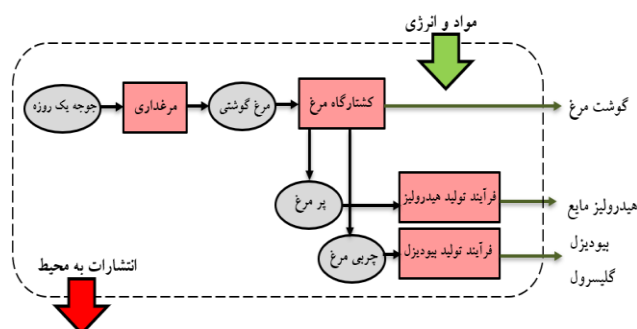
پره‌های مرغ محصول جانبی تولید شده در طی فرآیند کشتار مرغ است. این پرها از ۹۰ درصد پروتئین تشکیل شده‌اند و کراتین، پروتئین ساختاری نامحلول اولیه آن است. با بررسی دقیق تر روی ساختار و ترکیب پرها، مشخص شده‌است که کل پره‌های مرغ می‌تواند به‌عنوان یک منبع زنده پروتئین و شکل خالص کراتین باشد (Mattiello et al., 2022). در واقع، استفاده از پره‌های مرغ برای تولید هیدرولیز مایع پتانسیل زیادی را نشان می‌دهد. در راستای آن، از یک راکتور هم‌زن مداوم تحت یک اتمسفر نیتروژن ساکن و شرایط دمای بالا در محدوده ۱۱۵ تا ۱۳۹ درجه سلسیوس برای تولید هیدرولیز

Fig. 2. Production of chicken meat under scenario 2

۳-۲- ارزیابی چرخه حیات

در پژوهش حاضر از روش ارزیابی چرخه حیات برای ارزیابی پایداری زیست محیطی سناریوهای پیشنهادی استفاده شد. بر این اساس، هدف این پژوهش، ارزیابی اثرات زیست محیطی مرتبط با تولید گوشت مرغ در پالایشگاه زیستی بر اساس سناریوی جدید برای شناسایی محاسن و معایب زیست محیطی تولید سنتی گوشت مرغ است. برای دستیابی به هدف تحقیق، تعیین پارامترهای سامانه و واحد عملکردی ضروری است. بر اساس اهداف مختلف، واحد عملکردی را می‌توان جرم، انرژی و غیره تعریف کرد. پژوهش حاضر واحد عملکردی را به عنوان یک تن گوشت مرغ بسته بندی شده شناسایی کرد. همچنین پژوهش حاضر داده‌های موجودی چرخه حیات را از دو گروه مجزا، یعنی داده‌های پس‌زمینه و پیش‌زمینه به دست آورد.

داده‌های پس‌زمینه شامل داده‌های مربوط به تهیه مواد و حامل‌های انرژی، حمل‌ونقل بین‌المللی، تولید مواد شیمیایی اولیه، به دلیل گستردگی از پایگاه‌های داده اکواینونت موجود در نرم افزار سیمپرو گردآوری شده است. داده‌های پیش‌زمینه مربوط به مقادیر مصرف مواد و انرژی در طول چرخه حیات تولید یک تن گوشت مرغ بسته‌بندی در سناریوهای مورد بررسی بود که در طول انجام آزمایش‌ها و همچنین به طور مستقیم از اطلاعات کارشناسان مجموعه مورد نظر در محدوده مورد مطالعه و ادبیات گذشته جمع‌آوری گردید (جدول ۱). در تحقیق حاضر، در بین روش‌های موجود، روش رسی مورد توجه قرار گرفته است، زیرا هم دسته‌بندی تأثیر نقطه پایانی (مسائل زیست محیطی در حوزه‌های سلامت انسان، زیست‌بوم‌ها و منابع) و هم نقطه میانی (تمرکز بر مشکلات زیست محیطی) را ارائه می‌کند. همچنین از وزندهی اثرات زیست محیطی برای به دست



شکل ۲- تولید گوشت مرغ تحت سناریو ۲

انتشار از $15/3 \text{ kBq U235}$ در سناریو ۱ به 11 kBq U235 توسط سناریو ۲ (کاهش ۲۸ درصدی) تولید گوشت بهبود یافته است.

یافته‌ها نشان می‌دهد که تولید گوشت مرغ هنگام تلاش برای ارزش بخشیدن به ضایعات مرغ به بیودیزل، گلیسرول و هیدرولیز مایع منجر به تأثیر $32/8 \text{ m}^2\text{a}$ بر اشغال زمین‌های کشاورزی می‌شود که نشان دهنده کاهش ۴۵ درصدی در مقایسه با تولید گوشت مرغ معمولی است. تولید گوشت مرغ تحت رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای تحت سناریو ۲ نیز به ترتیب منجر به کاهش تقریباً ۲۴ و ۲۸ درصدی در رده تأثیر اشغال زمین شهری و دسته تأثیر تغییر زمین طبیعی می‌شود. همچنین سناریو ۲ کاهش قابل توجهی به میزان ۳۱ درصد در کاهش مصرف آب نسبت به سناریو ۱ نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت ردپای آب، این نتیجه نشان می‌دهد که هنگام طراحی سیستم‌های اقتصاد زیستی چرخه‌ای، باید به این نکته توجه کرد که محصولاتی که از پسماند ارزش‌گذاری می‌شوند می‌توانند منجر به کاهش مثبت مصرف آب شوند. در این پژوهش ارزش‌گذاری ضایعات مرغ به‌عنوان بیودیزل، گلیسرول و هیدرولیز مایع در مقایسه با تولید مرسوم گوشت مرغ پایداری بیشتری را از نظر مصرف آب نشان می‌دهد.

دسته‌های تأثیر تقلیل فلزات و تقلیل منابع فسیلی نیز در مقایسه با سناریو ۱ کاهش نشان می‌دهند. به طور خاص، رده تأثیر تقلیل فلزات در تولید گوشت مرغ $8/03$ به $6/51$ کیلوگرم آهن معادل در سناریو ۱ کاهش می‌یابد که نشان دهنده کاهش تقریباً ۱۹ درصدی است. علاوه بر این، رده تأثیر تقلیل منابع فسیلی تولید گوشت مرغ از 292 کیلوگرم نفت معادل در سناریو ۱ به 189 کیلوگرم نفت معادل در سناریو ۲ کاهش می‌یابد، یعنی کاهش 35 درصدی. جدول ۲ همچنین نتایج دسته‌های آسیب نقطه پایانی را نشان می‌دهد که برای ۱ تن تولید گوشت مرغ تحت سناریوی ۱ و ۲ به دست آمده است. بر اساس یافته‌ها، تولید گوشت مرغ بر اساس سناریو ۲ نشان دهنده آسیب کمتری به سلامت انسان با مقدار $10^{-3} \times 2/7$ دالی نسبت به $10^{-3} \times 5/1$ دالی در سناریو ۱ نشان می‌دهد. این نشان دهنده کاهش ۴۶ درصدی در مقایسه با سناریو ۱ است. تولید گوشت مرغ به روش سنتی (سناریو ۱) همچنین منجر به مقدار آسیب $5-10^{-3} \times 1/03$ گونه در سال به زیست بوم می‌شود در حالی که با بکارگیری سناریو ۲ این آسیب ۴۳ درصد کاهش می‌یابد. در نهایت، سناریو ۲ خسارت کمتری به منابع با ارزش $31/7$ دلار به ازای هر تن تولید گوشت مرغ نشان می‌دهد که کاهش تقریباً ۳۴ درصدی را نسبت به روش سنتی تولید یعنی سناریو ۱ نشان می‌دهد.

آوردن یک شاخص امتیاز واحد و مقایسه دقیق سناریوها و انتخاب بهترین سناریو استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید گوشت

مرغ بر اساس دو سناریو

جدول ۲ اثرات و خسارت‌های زیست‌محیطی تولید یک تن گوشت مرغ بسته بندی شده را بر اساس سناریوی ۱ و ۲ نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌ها، تولید هر تن گوشت مرغ تحت سناریو ۲ منجر به کاهش قابل توجه رده تأثیر تغییرات آب و هوایی در مقایسه با سناریو ۱ می‌شود. به عبارت بهتر، انتشارات کربن‌دی‌اکسید معادل از 1070 کیلوگرم در سناریو ۱ به 624 کیلوگرم در سناریو ۲ کاهش می‌یابد که نشان دهنده کاهش تقریباً ۴۲ درصدی است. سناریو ۲ همچنین کاهش را در رده تأثیر تخریب لایه ازن نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، رده تأثیر تخریب لایه ازن ناشی از تولید هر تن گوشت مرغ از $3/1 \times 10^{-5}$ کیلوگرم CFC معادل در سناریو ۱ به $2/6 \times 10^{-5}$ کیلوگرم CFC معادل در سناریو ۲ کاهش یافت که نشان دهنده کاهش ۱۵ درصدی است. علاوه بر این، تولید گوشت مرغ بر اساس سناریو ۲ کاهش قابل توجه ۴۸ درصدی در دسته تأثیر اسیدی شدن خاک را در مقایسه با سناریو ۱ نشان داد. مقوله‌های تأثیر اختناق دریاچه‌ای آب شیرین ناشی از تولید گوشت مرغ نیز تحت سناریو ۲ در مقایسه با سناریو ۱ حدود ۳۹ درصد کاهش می‌یابد. همچنین از نقطه نظر سمیت انسانی، تولید گوشت تحت سناریو ۲ در مقایسه با سناریو ۱ کاهش قابل توجه ۳۹ درصدی را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۶، رده‌های تأثیر تشکیل اکسیدان فتوشیمیایی و تشکیل ذرات معلق برای تولید گوشت مرغ تحت سناریو ۲ به ترتیب با $16/7$ کیلوگرم NMVOC و $7/11$ کیلوگرم PM10 معادل محاسبه شدند که نشان‌دهنده کاهش ۴۸ درصدی برای هر دو دسته برای تولید گوشت مرغ است زمانی که ضایعات مزارع مرغ به عنوان بیودیزل، گلیسرول و هیدرولیز مایع ارزش‌گذاری می‌شوند. علاوه بر این، سناریو ۲ در مقایسه با سیستم تولید مرغ معمولی، نشان‌دهنده کاهش تقریباً ۴۶ درصدی برای دسته تأثیر سمیت زیست‌محیطی خاک و کاهش ۳۰ درصدی برای هر دو دسته تأثیر سمیت زیست‌محیطی آب‌های شیرین و آب‌های آزاد است. همچنین بر اساس یافته‌های این پژوهش، سناریو ۲ کاهش قابل توجهی را در دسته تأثیر تشعشعات یونیزان نسبت به سناریو ۱ نشان می‌دهد. به عبارت بهتر،

جدول ۱- مقدار داده‌های موجودی در سناریوهای ۱ و ۲

Table 1. Amount of inventory data in scenarios 1 and 2

پارامتر Items	واحد Unit	سناریو ۱ Sc-1	سناریو ۲ Sc-2	پارامتر Items	واحد Unit	سناریو ۱ Sc-1	سناریو ۲ Sc-2
جوجه یک روزه One day old chick	Num	432	432	هیدروکلریک اسید Hydrochloric acid	kg	-	1.6
ذرت Corn	kg/d	14.4	14.4	چربی مرغ Chicken fat	kg	-	270
گندم Wheat	kg	6.69	6.69	سدیم هیدروکسید Sodium hydroxide	kg	-	0.93
کنجاله سویا Soybean meal	kg	11.7	11.7	اسید سولفوریک Sulfuric acid	kg	-	0.2
سدیم کلراید Sodium chloride	kg	0.033	0.033	متانول Methanol	kg	-	50.7
اسید چرب Fatty acid	kg	0.16	0.16	پتاسیم هیدروکسید Potassium hydroxide	kg	-	2.03
دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	kg	0.4	0.4	خروجی ها: Outputs			
مکمل های غذایی Nutritional supplements	kg	0.38	0.38	گوشت مرغ Chicken meat	kg	1000	1000
کلر Chlorine	kg	0.51	0.51	بیودیزل Biodiesel	kg	-	238
آهک Lime	kg	0.5	0.5	هیدرولیز مایع Liquid hydrolysate	kg	-	438
مقوا cardboard	kg	9	9	گلیسرول Glycerol	kg	-	25
پلاستیک plastic	kg	0.56	0.56	انتشارات Emissions			
خاک اره Sawdust	kg	0.75	0.75	دی اکسید گوگرد Sulfur dioxide	kg	0.485	0.485
دیزل Diesel	kg	5.05	5.06	مونوکسید کربن Carbon monoxide	kg	15	15
گاز طبیعی Natural gas	m3	192	192	آمونیاک Ammonia	kg	18.1	18.1
الکتریسیته Electricity	kWh	410	538	اکسیدهای نیتروژن Nitrogen oxides	kg	30	30
آب Water	L	725	1310	دی اکسید کربن Carbon dioxide	kg	55.2	55.2
حمل و نقل Transport	tkm	1.93	3.69	متان Methane	kg	5.62	5.62
پر مرغ Chicken feather	kg	-	35	تقاضای بیولوژیکی اکسیژن BOD5	kg	3.72	3.72
چربی مرغ Chicken fat	kg	-	270	تقاضای اکسیژن شیمیایی COD	kg	5.05	5.05
سدیم هیدروکسید Sodium hydroxide	kg	-	0.93	فسفر Phosphorus	kg	0.0103	0.0103
اسید سولفوریک Sulfuric acid	kg	-	0.2	نیترات Nitrate	kg	5.31	5.31
متانول Methanol	kg	-	50.7	آمونیاک Ammonia	kg	0.369	0.369
پتاسیم هیدروکسید Potassium hydroxide	kg	-	2.03	نیتريت Nitrite	kg	0.294	0.294
هیدروکلریک اسید Hydrochloric acid	kg	-	1.6	فسفات Phosphate	kg	0.12	0.12
مالیک اسید Malic acid	kg	-	1.62	جامدات معلق Suspended solids	kg	2.56	2.56

۳-۲- وزن دهی اثرات زیست محیطی

وزن دهی اثرات زیست محیطی، در تسهیل درک جامع از نتایج بدست آمده در تحقیقات تطبیقی، اهمیت قابل توجهی دارد. بنابراین، به منظور انجام یک تحلیل مقایسه‌ای برای سناریوهای تولید گوشت مرغ، نتایج مربوطه در کنار هم قرار گرفتند و از طریق یک ارزیابی مبتنی بر وزن بررسی شدند (شکل ۳). نتیجه این پژوهش، روند کاهشی قابل توجهی را در رده‌ی آسیب به سلامت انسان از سناریو ۱ به سناریو ۲ ارائه می‌دهد، که نشان می‌دهد با پیشرفت به سمت سناریو ۲، بار بیماری‌ها و آسیب‌های ناشی از تولید گوشت مرغ بر جمعیت‌های انسانی کاهش می‌یابد.

مشابه دسته آسیب به سلامت انسان، روند کاهشی تاثیرات زیست محیطی از سناریو ۱ به سناریو ۲ برای دسته آسیب به زیست بوم نیز وجود دارد. این نشان می‌دهد که تولید گوشت مرغ تحت سناریو ۲ حفاظت بهتر زیست بوم را نشان می‌دهد و در نتیجه کاهش و نابودی تنوع زیستی را کم می‌کند. همچنین سناریو ۲ کمترین تأثیر را بر با ادامه اولویت‌بندی و سرمایه‌گذاری در شیوه‌های پایدار، صنعت تولید گوشت مرغ می‌تواند ردپای زیست محیطی خود را بیشتر کاهش دهد و به آینده‌ای آگاهانه‌تر و پایدارتر از نظر زیست محیطی کمک کند. با این حال، پالایشگاه‌های زیستی که از ضایعات مرغ به عنوان خوراک استفاده می‌کنند، در تلاش‌های خود برای تبدیل ضایعات به محصولات با ارزش با محدودیت‌های مختلفی مواجه می‌شوند. ضایعات تولید شده توسط جوجه‌ها ترکیبی از مواد آلی مختلف است که شامل فضولات، پرها، اجزای بستر و خوراک مصرف نشده است. تبدیل موفقیت آمیز این جریان ضایعات پیچیده به کالاهای با ارزش، استفاده از فناوری‌های پیچیده و انعطاف‌پذیر را ضروری می‌کند. پیچیدگی‌های فنی مرتبط با توسعه و اجرای روش‌های تبدیل مناسب ممکن است به اقدامات بهینه‌سازی برای ترکیب‌های مختلف ضایعات نیاز داشته باشد. ارتقاء سطح پالایشگاه‌های زیستی ضایعات مرغ از مراحل آزمایشگاهی تا تولید تجاری اغلب چالش برانگیز است. افزایش موفقیت آمیز عملیات پالایشگاه زیستی مستلزم در نظر گرفتن دقیق عواملی مانند طراحی تجهیزات، کارایی فرآیند و قابلیت اقتصادی

کاهش منابع نشان می‌دهد، که نشان‌دهنده استفاده کارآمدتر از منابع، کاهش مصرف، و اثرات زیست محیطی و اقتصادی کمتر مرتبط با استخراج و تخلیه منابع است. شکل ۳ از نظر کلی اثرات زیست محیطی وزن دهی شده در تولید ۱ تن گوشت مرغ بر اساس دو سناریو مختلف در این پژوهش را نشان می‌دهد. سناریو ۲ در مقایسه با سناریوی ۱ کاهش قابل توجهی را به میزان ۴۴ درصد نشان می‌دهد. این درصد بهبود انجام شده توسط سناریو ۲ در به حداقل رساندن ردپای محیط زیستی آن‌ها در مقایسه با سناریو ۱ نشان دهنده بهبود قابل توجهی در پایداری زیست محیطی است. این نتایج بر اثربخشی استراتژی‌ها و شیوه‌های اجرا شده در سناریو ۲ برای کاهش اثرات زیست محیطی آن‌ها تأکید می‌کند. شایان ذکر است که حتی کاهش نسبتاً کوچکتر می‌تواند به پایداری کلی محیط زیست کمک کند. به‌طور کلی، مقایسه مزایای بالقوه اتخاذ رویکردهای سازگار با محیط زیست در تولید گوشت مرغ به عنوان نمونه‌های قابل توجهی از تأثیر مثبتی هستند که می‌توان از طریق اجرای استراتژی‌ها و شیوه‌های مؤثر به دست آورد.

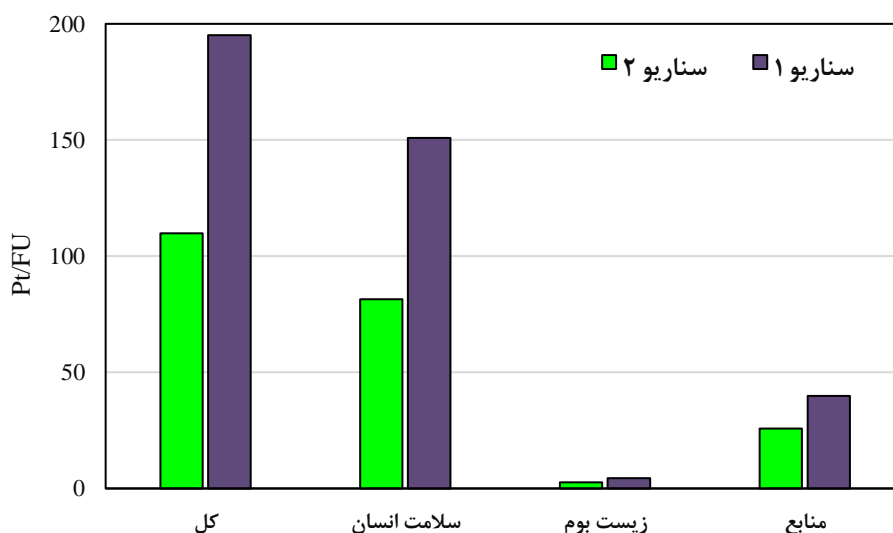
است. فرآیندهای درگیر در پالایشگاه زیستی، استفاده از انرژی و منابع را برای کارهایی مانند مدیریت ضایعات، پیش تصفیه، تبدیل و جداسازی محصول ضروری می‌سازد. ارزیابی انرژی و استفاده از منابع پالایشگاه زیستی باید با مزایای زیست محیطی و قابلیت مالی این روش سنجیده شود. امکان‌سنجی اقتصادی پالایشگاه‌های زیستی با استفاده از ضایعات مرغ یک مانع قابل توجه است. هزینه‌های مربوط به جمع‌آوری ضایعات، پردازش اولیه، روش‌های تبدیل و توزیع محصولات می‌تواند قابل توجه باشد. دستیابی به سودآوری با ایجاد درآمد کافی از فروش محصولات پالایشگاهی زیستی می‌تواند یک تلاش چالش برانگیز باشد. ایجاد و بهره‌برداری از پالایشگاه‌های زیستی برای ضایعات مرغ ممکن است مشمول تعهدات نظارتی و مجوز باشد. پایبندی به مقررات زیست محیطی، دستورالعمل‌های مدیریت پسماند و سایر استانداردهای مرتبط، پیچیدگی و هزینه‌هایی را برای عملیات پالایشگاه زیستی ایجاد می‌کند. موفقیت پالایشگاه‌های زیستی ضایعات مرغ می‌تواند تحت تأثیر سطح تقاضای بازار و پذیرش محصولات مشتق شده آن‌ها باشد.

جدول ۲- اثرات و خسارت های زیست محیطی تولید یک تن گوشت مرغ بسته بندی شده

Table 2. Effects and environmental damages of producing one ton of packaged chicken meat

رده اثر Impact category	واحد Unit	سناریو ۱ Sc 1	سناریو ۲ Sc 2	رده اثر Impact category	واحد Unit	سناریو ۱ Sc 1	سناریو ۲ Sc 2
تغییرات آب و هوایی Climate change	kg CO2 eq	1.07E+03	6.24E+02	سمیت زیست محیطی آب‌های شیرین Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.19E+01	8.39E+00
تخریب لایه ازن Ozone depletion	kg CFC-11 eq	3.10E-05	2.64E-05	سمیت زیست محیطی آب‌های آزاد Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	9.90E+00	6.91E+00

رده اثر Impact category	واحد Unit	سناریو ۱ Sc 1	سناریو ۲ Sc 2	رده اثر Impact category	واحد Unit	سناریو ۱ Sc 1	سناریو ۲ Sc 2
سمیت برای انسان Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1.27E+02	7.79E+01	تصرف زمین‌های کشاورزی Agricultural land occupation	m2a	5.93E+01	3.27E+01
تشکیل اکسیدان فتوشیمیایی Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	3.22E+01	1.67E+01	تصرف زمین شهری Urban land occupation	m2a	1.54E+00	1.17E+00
تشکیل ذرات معلق Particulate matter formation	kg PM10 eq	1.37E+01	7.11E+00	دگرگونی زمین‌های طبیعی Natural land transformation	m2	8.34E-02	5.99E-02
تشعشعات یونیزان Ionising radiation	kBq U235 eq	1.53E+01	1.10E+01	رده خسارت کیفیت زیست‌بوم Ecosystem quality damage category	گونه در سال species.yr	1.03E-05	5.92E-06
رده خسارت سلامت انسان Human health damage category	دالی DALY	5.15E-03	2.78E-03	کاهش آب water depletion	m2	3.89E+00	2.70E+00
اسیدی شدن خاک Terrestrial acidification	kg SO2 eq	6.66E+01	3.44E+01	تقلیل فلزات Metal depletion	kg Fe eq	8.03E+00	6.51E+00
اختناق دریاچه‌ای آب‌های شیرین Freshwater eutrophication	kg P eq	7.43E-02	4.51E-02	تقلیل منابع فسیلی Fossil depletion	kg oil eq	2.92E+02	1.89E+02
سمیت زیست‌محیطی خاک Terrestrial ecotoxicity	kg N eq	6.45E-01	2.40E+00	رده خسارت تقلیل منابع Resources depletion damage category	دلار \$	4.79E+01	3.17E+01



شکل ۳- مقایسه اثرات زیست محیطی وزن دار شده در تولید هر تن گوشت مرغ در دو سناریو

Fig. 3. Comparison of the weighted environmental impacts of 1 ton of chicken meat production in two scenarios.

اولیه و مرسوم تولید می‌کند، و سناریو ۲ که گوشت مرغ و ضایعات مرغ را به هیدرولیز مایع، بیودیزل و گلیسرول تبدیل می‌کند توسعه می‌یابد. یافته‌ها نشان‌دهنده یک الگوی آشکار از کاهش تأثیر بر رفاه انسان، سیستم‌های اکولوژیکی و منابع طبیعی با پیشرفت از سناریو ۱ به سناریو ۲ است. موارد فوق حاکی از آن است که پیشرفت‌ها به

۴- نتیجه‌گیری نهایی

این پژوهش اثرات زیست محیطی تولید گوشت مرغ را تحت یک رویکرد اقتصاد زیستی چرخه‌ای ارزیابی می‌کند. در این پژوهش، دو سناریو از جمله سناریو ۱، که گوشت مرغ را با استفاده از روش‌های

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 سیستم غذایی پایدار و چرخه‌ای را تقویت کنند.

منابع

- 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.
- Cheng, Z., Jia, Y., Bai, Y., Zhang, T., Ren, K., Zhou, X., Zhai, Y., Shen, X., & Hong, J. (2023). Intensifying the environmental performance of chicken meat production in China: From perspective of life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135603.
- D'amato, D., Gaio, M., & Semenzin, E. (2020). A review of LCA assessments of forest-based bioeconomy products and processes under an ecosystem services perspective. *Science of the Total Environment*, 706, 135859.
- Dey Chowdhury, S., Suhaib, K. H., Bhunia, P., & Surampalli, R. Y. (2023). A critical review on the vermicomposting of organic wastes as a strategy in circular bioeconomy: Mechanism, performance, and future perspectives. *Environmental Technology*, 1–38.
- 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.
- Duan, Z., Huang, Q., & Zhang, Q. (2022). Life cycle assessment of mass timber construction: A review. *Building and Environment*, 109320.
- Ghosh, S., Gillis, A., Sheviriyov, 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.
- Gómez, E. M. P., Domínguez, R. E., López, D. A., Téllez, J. F., Marino, M. D., Almada, N., Gange, J. M., & Moyano, E. L. (2023). Chicken litter: A waste or a source of chemicals? Fast pyrolysis and hydrothermal conversion as alternatives in the valorisation of poultry waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 169, 105796.
- Guo, H., Cui, J., & Li, J. (2022). Biomass power generation in China: Status, policies and recommendations. *Energy Reports*, 8, 687–696.
- Gupta, S., Sharma, S., Aich, A., Verma, A. K., Bhuyar, P., Nadda, A. K., Mulla, S. I., & Kalia, S. (2023). Chicken feather waste hydrolysate as a potential biofertilizer for environmental sustainability in organic agriculture management. *Waste and Biomass Valorization*, 1–17.

سمت سناریو ۲ منجر به کاهش شیوع بیماری‌ها و آسیب‌های فیزیکی در جوامع انسانی، بهبود حفاظت از اکوسیستم‌ها و کاهش از بین رفتن تنوع زیستی و بهبود مدیریت منابع، منجر به کاهش پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی می‌شود.

پس از ارزیابی اثرات زیست‌محیطی وزنی کلی ۱ تن تولید گوشت مرغ، مشاهده شد که سناریو ۲ منجر به کاهش ۴۴ درصدی نسبت به سناریو ۱ شد. در نتیجه نشان دهنده 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. بهینه‌سازی فناوری‌های فرآوری این محصولات، پتانسیل بهبود بهره‌وری و بازده پالایشگاه‌های زیستی‌ای که از گوشت مرغ استفاده می‌کنند را دارد. روش‌های مختلف، از جمله هیدرولیز آنزیمی، پردازش با فشار بالا، و فیلتراسیون غشایی، نشان داده شده‌اند که استخراج، جداسازی و خالص‌سازی پروتئین‌ها را افزایش می‌دهند و در نتیجه منجر به تولید محصولات نهایی با کیفیت برتر می‌شوند. ایجاد پالایشگاه‌های زیستی گوشت مرغ پتانسیل بررسی ایجاد کالاهای نوآورانه و با ارزش را دارد. این فرآیند شامل بازیابی و جداسازی ترکیبات فعال زیستی متمایز مانند پپتیدها، کلاژن و مواد معدنی است که چشم‌اندازهای امیدوارکننده‌ای را در حوزه‌های مواد غذایی، دارویی و آرایشی نشان می‌دهند.

پالایشگاه‌های زیستی همچنین می‌توانند با گسترش سبد محصولات خود و دسترسی به بازارهای جدید، پایداری اقتصادی خود را افزایش دهند. پالایشگاه‌های زیستی که گوشت مرغ را فرآوری می‌کنند، این پتانسیل را دارند که سنتز مواد مغذی و عملکردی را که هم از گوشت مرغ و هم از محصولات جانبی آن به دست می‌آیند، در اولویت قرار دهند. ترکیب موادی مانند ایزوله‌های پروتئین، هیدرولیزات و پپتیدها در فرمول‌های غذایی پتانسیل بهبود پروفایل‌های تغذیه‌ای و ویژگی‌های حسی و ایجاد مزایای سلامتی را دارد. علاقه روزافزون مصرف‌کنندگان به غذاهای کاربردی نشان‌دهنده وجود بازار بالقوه پر سود برای چنین موادی است. ایجاد پالایشگاه‌های زیستی برای گوشت مرغ این پتانسیل را دارد که سهم ارزشمندی در پیشرفت فرمولاسیون‌های خوراک دام پایدار داشته باشد. پالایشگاه‌های زیستی این پتانسیل را دارند که نگرانی‌های زیست‌محیطی را با تبدیل محصولات جانبی مرغ به مواد اولیه خوراک کاهش دهند و در نتیجه وابستگی به منابع خوراک معمولی مانند کنجاله سویا یا پودر ماهی را کم کنند. تولید خوراک دام به شیوه‌ای پایدار، در راستای تاکید روزافزون بر کاهش اثرات زیست‌محیطی دامپروری است. از طریق استفاده استراتژیک از فرصت‌های آینده،

- Jalilian, N., Najafpour, G. D., & Khajouei, M. (2020). Macro and micro algae in pollution control and biofuel production—a review. *ChemBioEng Reviews*, 7(1), 18–33.
- Mattiello, S., Guzzini, A., Del Giudice, A., Santulli, C., Antonini, M., Lupidi, G., & Gunnella, R. (2022). Physico-Chemical Characterization of Keratin from Wool and Chicken Feathers Extracted Using Refined Chemical Methods. *Polymers*, 15(1), 181.
- Moretti, C., Hoefnagels, R., van Veen, M., Corona, B., Obydenkova, S., Russell, S., Jongerius, A., Vural-Gürsel, I., & Junginger, M. (2022). Using lignin from local biorefineries for asphalts: LCA case study for the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 343, 131063.
- Mozhiarasi, V., & Natarajan, T. S. (2022). Slaughterhouse and poultry wastes: Management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–24.
- Pata, U. K., Erdogan, S., & Ozkan, O. (2023). Is reducing fossil fuel intensity important for environmental management and ensuring ecological efficiency in China? *Journal of Environmental Management*, 329, 117080.
- Sadiq, M., Ou, J. P., Duong, K. D., Van, L., & Xuan Bui, T. (2023). The influence of economic factors on the sustainable energy consumption: evidence from China. *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, 36(1), 1751–1773.
- Soodmand-Moghaddam, S., Sharifi, M., Khanali, M., & hosseinzadeh-bandbafha, H. (2023). Evaluation of the environmental impacts of two pathways for utilizing chicken meat production waste in Guilan Province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 54(2), 15-31. (In Persian).
- Solcova, O., Knapek, J., Wimmerova, L., Vavrova, K., Kralik, T., Rouskova, M., Sabata, S., & Hanika, J. (2021). Environmental aspects and economic evaluation of new green hydrolysis method for waste feather processing. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(6), 1863–1872.
- Tan, S., Zhou, G., Yang, Q., Ge, S., Liu, J., Cheng, Y. W., Yek, P. N. Y., Mahari, W. A. W., Kong, S. H., & Chang, J.-S. (2023). Utilization of current pyrolysis technology to convert biomass and manure waste into biochar for soil remediation: A review. *Science of The Total Environment*, 864, 160990.
- Wang, J., & Azam, W. (2024). Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries. *Geoscience Frontiers*, 15(2), 101757.

