اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵

مدیریت پسماند و بازیافت انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی: رویکردی نوین بر تبدیل ضایعات به منابع انرژی تجدیدپذیر

سعیده شفیعی ورزنه۱*، فاطمه قوشی۲

۱- دکتری تخصصی، گروه صنایع غذایی، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، ایران

۲- کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران

ایمیل نویسنده مسئول:
Saeideh.shafiei@iau.ac.ir

شماره مقاله

چکیده

رشد روزافزون جمعیت و صنعتی شدن جوامع، چالش‌های چندوجهی در حوزه امنیت انرژی، پایداری زیست‌محیطی و مدیریت منابع ایجاد کرده است. حجم عظیم ضایعات غذایی و پسماندهای کشاورزی، که به دلیل رهاسازی نامناسب موجب آلودگی می‌شوند، به عنوان حاملان پتانسیل انرژی قابل توجهی شناخته می‌شوند. این مرور جامع، بر تحول پارادایم مدیریت این پسماندها از یک معضل دفنی به یک منبع استراتژیک انرژی متمرکز است. در این راستا، فناوری‌های کلیدی تبدیل بیوماس ضایعات به انرژی‌های گرمایی و الکتریکی، به‌ویژه تخمیر بی‌هوازی، پیرولیز و هضم ترکیبی، به صورت تحلیلی بررسی و مزایا و محدودیت‌های عملیاتی و اقتصادی هر یک مقایسه شده‌اند. همچنین، چارچوب‌های سیاستی و اقتصادی لازم برای ادغام موفق این فناوری‌ها در مدل‌های اقتصاد چرخشی مورد بحث قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که با انتخاب فناوری مناسب و طراحی سیستمی یکپارچه، بخش قابل توجهی از نیاز انرژی صنایع غذایی و کشاورزی می‌تواند از طریق منابع پسماند داخلی تأمین گردد، که این امر موجب تقویت تاب‌آوری عملیاتی و کاهش چشمگیر ردپای کربنی می‌شود

کلید واژه‌ها: مدیریت پسماند، ضایعات غذایی، انرژی‌های زیستی، تخمیر بی‌هوازی، امنیت انرژی، بهره‌وری منابع

مقدمه

تأمین انرژی پایدار و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی، محور اصلی توسعه پایدار در قرن بیست و یکم محسوب می‌شود. صنایع غذایی و کشاورزی، به‌عنوان یکی از ارکان اصلی حیات بشر، در این میان دارای دو مشخصه کلیدی هستند: مصرف بالای انرژی در فرآیندهای تولید، فرآوری و نگهداری؛ و تولید مقادیر انبوهی از پسماند آلی. ضایعات غذایی در سرتاسر زنجیره ارزش، از مزارع تا میز مصرف، یک اتلاف منابع دوگانه را نمایندگی می‌کند: اتلاف منابع اولیه مصرف شده (آب، زمین، انرژی) و پتانسیل انرژی نهفته در ساختار شیمیایی خود پسماند.

برآوردهای جهانی نشان می‌دهد که حدود یک‌سوم کل مواد غذایی تولید شده برای مصرف انسانی در سطح جهان به هدر می‌رود یا از بین می‌رود که معادل صدها میلیارد کیلووات ساعت انرژی بالقوه است. دفن این مقادیر عظیم مواد آلی در محل‌های دفن زباله، منجر به تولید متان و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. این واقعیت، ضرورت تغییر دیدگاه از مدیریت دفع پسماند به مدیریت بهره‌برداری از منبع را اجتناب‌ناپذیر ساخته است.

در این راستا، وضعیت کنونی و چشم‌انداز آینده تبدیل ضایعات غذایی و کشاورزی به انرژی در صنایع مرتبط، نیازمند یک تحلیل جامع است. پژوهش حاضر به تحلیل فنی و اقتصادی فناوری‌های پیشرو، چالش‌های اجرایی در مقیاس صنعتی، و نقش این رویکرد در تحقق اهداف اقتصاد چرخشی می‌پردازد. هدف این مرور، ارائه یک نقشه راه علمی برای فعالان صنعت و پژوهشگران جهت استخراج حداکثری ارزش از جریان پسماند است.

متن اصلی

پارامترهای کلیدی در تبدیل انرژی

در ارزیابی پتانسیل انرژی یک پسماند آلی، دو پارامتر اساسی مورد توجه قرار می‌گیرند:

الف) ارزش گرمایی: این پارامتر نشان‌دهنده میزان انرژی آزاد شده در اثر احتراق کامل ماده است و معمولاً با معیارهایی چون ارزش گرمایی خالص و ارزش گرمایی ناخالص بیان می‌شود. پسماندهای غذایی با محتوای چربی و کربوهیدرات بالاتر دارای ارزش گرمایی خالص بالاتری هستند که آن‌ها را برای تولید انرژی حرارتی مستقیم یا بیودیزل ایده‌آل می‌سازد.

ب) پتانسیل بیوگاز: برای فرآیندهای زیستی، بهترین پتانسیل بیوگاز میزان حجم بیوگاز قابل تولید به ازای واحد جرم ماده خشک را نشان می‌دهد. این پتانسیل تابعی از نسبت کربن به نیتروژن، سطح مواد جامد فرار و عدم وجود ترکیبات بازدارنده مانند برخی فلزات سنگین یا مواد ضدعفونی‌کننده است.

فناوری‌های حرارتی-شیمیایی به طور خاص برای پسماندهایی که دارای رطوبت کمتری هستند یا زمانی که هدف تولید سوخت‌های خالص‌تر است، کارایی دارند. پیرولیز، که شامل تجزیه حرارتی مواد آلی در دماهای بالا (معمولاً ۳۰۰-۸۰۰درجه سانتی‌گراد) و در غیاب اکسیژن است، محصول اصلی خود را به شکل بیو-اویل که یک سوخت مایع متراکم است، تولید می‌کند؛ همچنین گازهای غیرقابل میعان و جامد کربنی نیز حاصل می‌شوند که بیو-اویل به دلیل حجم انرژی بالاتر و قابلیت حمل و نقل بهتر نسبت به بیوگاز مزیت محسوب می‌شود، اما این فرآیند با چالش ذاتی تولید بیو-اویل اسیدی، خورنده و دارای اکسیژن بالا مواجه است که نیازمند فرآیندهای تصفیه پرهزینه برای تبدیل به سوخت‌های استاندارد است؛ در این میان، بیوچار نیز محصولی ارزشمند برای اصلاح خاک و ذخیره‌سازی کربن ارائه می‌دهد. گازی‌سازی از سوی دیگر، فرآیندی حرارتی است که بیوماس را در دماهای بسیار بالاتر (بیش از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) و تحت کنترل دقیق مقدار اکسیژن یا بخار آب، به گاز ترکیبی تبدیل می‌کند که حاوی هیدروژن و متان است؛ این گاز ترکیبی به دلیل خلوص بالاتر نسبت به بیوگاز حاصل از فرآیند تخمیر بی هوازی، کاربرد مستقیم در توربین‌های گازی برای تولید برق یا در فرآیندهای شیمیایی مانند تولید متانول را فراهم می‌آورد.

نتیجه گیری

مدیریت پسماند غذایی و کشاورزی از منظر تولید انرژی، دیگر یک گزینه فرعی یا صرفاً راهکار دفع در انتهای خط تولید نیست، بلکه به ضرورتی استراتژیک برای تضمین امنیت انرژی و دستیابی به پایداری زیست‌محیطی در صنایع مرتبط تبدیل شده است. فناوری‌های تبدیل کلیدی، شامل تخمیر بی‌هوازی، پیرولیز، و گازی‌سازی، چارچوب‌های عملیاتی مشخصی را برای تبدیل کارآمد این جریان پسماند غنی به منابع انرژی قابل استفاده نظیر بیوگاز، بیوچار، و بیو-اویل تعریف نموده‌اند؛ با این حال، همانطور که موانع فنی و لجستیکی نشان داد، موفقیت در مقیاس صنعتی نیازمند پذیرش یک رویکرد سیستمی و یکپارچه است که تلفیقی از بهینه‌سازی‌های مهندسی (مانند انتخاب فناوری پیشرفته و پیش‌تیمار مؤثر)، الزامات اقتصادی (شامل کاهش هزینه‌های لجستیک زنجیره تأمین و بازاریابی پایدار محصولات جانبی) و حمایت‌های سیاستی ساختاری (برای تسهیل مدل‌های اقتصاد چرخشی) را در بر گیرد. بنابراین، جهت‌گیری‌های آتی پژوهش باید معطوف به توسعه کاتالیزورهای کارآمدتر برای بهبود کیفیت بیو-اویل و استقرار سیستم‌های کنترلی هوشمند و تطبیق‌پذیر باشد که بتوانند نوسانات خوراک ورودی را به صورت فوری و هم‌زمان مدیریت کنند. این پیشرفت‌ها صنایع غذایی را قادر می‌سازد تا نقشی محوری در گذار به یک سیستم انرژی غیرمتعارف مبتنی بر منابع تجدیدپذیر ایفا کرده و با تبدیل مؤثر پسماند به انرژی، نه تنها به اهداف بهره‌وری و کاهش اثرات زیست‌محیطی دست یابند، بلکه جایگاه خود را به عنوان بازیگران کلیدی در اقتصاد چرخشی تثبیت نمایند.

منابع

1. Zorpas, A. A. (2020). Strategy development in the framework of waste management. Science of the total environment, 716, 137088.
2. Loizia, P., Voukkali, I., Zorpas, A. A., Pedreño, J. N., Chatziparaskeva, G., Inglezakis, V. J., Doula, M. (2021). Measuring the level of environmental performance in insular areas, through key performed indicators, in the framework of waste strategy development. Science of the Total Environment, 753, 141974.
3. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. bmj, 372.
4. Mayer, F., Bhandari, R., & Gäth, S. (2019). Critical review on life cycle assessment of conventional and innovative waste-to-energy technologies. Science of the total environment, 672, 708-721.
5. Ali, J., Rasheed, T., Afreen, M., Anwar, M. T., Nawaz, Z., Anwar, H., & Rizwan, K. (2020). Modalities for conversion of waste to energy—Challenges and perspectives. Science of The Total Environment, 727, 138610.
7. Idowu, I., Li, L., Flora, J. R., Pellechia, P. J., Darko, S. A., Ro, K. S., & Berge, N. D. (2017). Hydrothermal carbonization of food waste for nutrient recovery and reuse. Waste Management, 69, 480-491.
8. Algapani, D. E., Qiao, W., Ricci, M., Bianchi, D., Wandera, S. M., Adani, F., & Dong, R. (2019). Bio-hydrogen and bio-methane production from food waste in a two-stage anaerobic digestion process with digestate recirculation. Renewable energy, 130, 1108-1115.
9. Vieira, S., Schneider, J., Martinez Burgos, W. J., Magalhães, A., Medeiros, A. B. P., de Carvalho, J. C., ... & Sydney, E. B. (2022). Pretreatments of solid wastes for anaerobic digestion and its importance for the circular economy. In Handbook of solid waste management: Sustainability through circular economy (pp. 69-94). Singapore: Springer Nature Singapore.
10. Chen, Y., Pinegar, L., Immonen, J., & Powell, K. M. (2023). Conversion of food waste to renewable energy: A techno-economic and environmental assessment. Journal of Cleaner Production, 385, 135741.