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

بهینه‌سازی تولید بیوگاز از ضایعات دامی با استفاده از شبیه‌سازی فرایند هضم بی‌هوازی: کاربرد در مزارع و واحدهای دامپروری

رضا عبدی[۱]، آرمان جلالی[۲]، نازیلا مفخم ظریفی[۳]
۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
ایمیل نویسنده مسئول: a.jalali@tabrizu.ac.ir

شماره مقاله EFAB01583137

چکیده

این پژوهش با شبیه‌سازی مدل ADM1 در نرم‌افزار Aspen Plus، فرایند تولید بیوگاز از ضایعات دامی را بهینه‌سازی کرد. نتایج نشان داد افزایش دما از ۳۵ به ۵۵ درجه، نرخ تولید متان را ۶۶ درصد افزایش می‌دهد .زمان ماند بهینه ۳۵-۳۰ روز و رآکتور CSTR نسبت به نوع جریان پیستونی ۹۱ درصد بازدهی بیشتری دارد. در نهایت، بهینه‌سازی چندمتغیره تولید بیوگاز را ۱۱ درصد افزایش داد و خطای مدل کمتر از ۱۲ درصد بود.

کلید واژه‌ها: بیوگاز، زمان ماند هیدرولیکی (HRT)، شبیه‌سازی فرایند، ضایعات حیوانی، مدل ADM1، هضم بی‌هوازی (AD)، Aspen Plus،

مقدمه

افزایش تقاضای انرژی و نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از دفع پسماند، توسعه فناوری‌های تبدیل پسماند به انرژی را ضروری ساخته است. هضم بی‌هوازی (AD) به عنوان فناوری پایدار، ضایعات آلی با ارزش حرارتی پایین (نظیر ضایعات کشتارگاهی و فضولات دامی) را به بیوگاز (متان) و کود آلی تبدیل می‌کند. با این حال، ضایعات پروتئینی به دلیل محتوای بالای ازت، با چالش‌هایی مانند تولید آمونیاک و مهار فرایند مواجه هستند.

فرایند AD شامل چهار مرحله (هیدرولیز، اسیدزایی، استات‌زایی، متانوژنز) بوده و به شدت وابسته به دما، pH و HRT است. انجام مطالعات تجربی پرهزینه و زمان‌بر است، لذا شبیه‌سازی کامپیوتری (مدل استاندارد ADM1) در پلتفرم‌هایی مانند Aspen Plus، ابزاری قدرتمند و مقرون‌به‌صرفه برای بهینه‌سازی محسوب می‌شود.

- نوآوری پژوهش: شبیه‌سازی اختصاصی هضم ضایعات پروتئینی حیوانی خالص با ADM1 در Aspen Plus و بهینه‌سازی همزمان دما، HRT و هندسه رآکتور.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی هضم بی‌هوازی ضایعات پروتئینی در نرم‌افزار Aspen Plus با سه بلوک اصلی انجام شد: بلوک MIXER برای اختلاط، بلوک RCSTR (رآکتور همزن‌دار با حجم ۱۰ مترمکعب) که کلیه واکنش‌های مدل ADM1 در آن تعریف گردید، و بلوک Flash2 برای جدا کردن فاز گاز از مایع.

سینتیک واکنش‌ها با استفاده از مدل مونود و پارامترهای کالیبره‌شده شامل نرخ هیدرولیز پروتئین (۰/۲۵ در روز) و نرخ رشد متانوژن‌ها (۰.۸ در روز) تعریف شد.

تحلیل پارامتریک در سه سطح دمایی (۲۵، ۳۵ و ۵۵ درجه سلسیوس)، بازه زمانی ماند هیدرولیکی (۷ تا ۴۵ روز) و دو پیکربندی رآکتور (CSTR و جریان پیستونی) انجام گرفت.

بهینه‌سازی چندمتغیره با هدف حداکثرسازی نرخ تولید متان و تحت محدودیت‌های pH (۷/۲-۶/۸) و غلظت آمونیاک (کمتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) اجرا شد.

در نهایت، اعتبارسنجی مدل با داده‌های تجربی نشان‌دهنده خطای نسبی میانگین ۱۱/۴ درصد بود.

اگر نیاز به کوتاه‌تر کردن مجدد یا تغییر ساختار دارید، بگویید.

نتیجه گیری

این پژوهش موفق به توسعه، اعتبارسنجی و به کارگیری یک مدل شبیه‌سازی دینامیکی-ترمودینامیکی قوی برای فرایند هضم بی‌هوازی ضایعات پروتئینی حیوانی در پلتفرم Aspen Plusشد. مدل مبتنی بر ADM1با خطای قابل قبول (کمتر از ۱۲٪) اعتبارسنجی گردید. تحلیل پارامتریک سیستماتیک منجر به دستیابی به یافته‌های کلیدی کمّی زیرشد:

۱ .دمای ترموفیلیک (۵۵ درجه) به دلیل تسریع سینتیک میکروبی، مؤثرترین اهرم برای افزایش بازده (+۶۶٪) است.

۲ .زمان ماند بهینه (HRT) برای تضمین تجزیه کامل و جلوگیری از شسته‌شدن بیوماس، ۳۵-۳۰ روز تعیین شد.

۳ .رآکتور CSTRبه دلیل ایجاد محیطی یکنواخت و بدون گرادیان‌های بازدارنده، برتری زیادی (+۹۱٪) نسبت به پیکربندی Plug Flowدارد.

۴ .بهینه‌سازی یکپارچه نشان داد که اعمال همزمان شرایط بهینه می‌تواند منجر به +۱۱٪ بهبود اضافی در خروجی سیستم شود.

منابع

Wang, Y., Li, Y., Zhang, L., & Liu, G. (2023). Anaerobic digestion of protein-rich slaughterhouse waste: Process optimization, inhibition mitigation, and microbial community dynamics. *Bioresource Technology*, ۳۸۷, ۱۲۹۷۵۰.

Rajendran, K., O'Gallachoir, B., & Murphy, J. D. (2022). The role of modelling in the development of anaerobic digestion technology: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۱۶۸, ۱۱۲۸۴۵.

Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S. V., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A., ... & Vavilin, V. A. (2002). The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). *Water Science and Technology*, ۱۰)۴۵), ۷۳-۶۵.

Li, Y., Zhang, Y., Sun, Y., & Wu, W. (2021). The rate-limiting step of anaerobic digestion of protein-rich substrates: Hydrolysis or acidogenesis? *Journal of Environmental Management*, ۲۹۵, ۱۱۳۳۰۷.

Zhang, R., Zhang, J., & Li, G. (2022). Kinetic parameter calibration of ADM1 for anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste under mesophilic and thermophilic conditions. *Chemical Engineering Journal*, ۴۴۵, ۱۳۶۷۵۰.