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

ارزیابی فنی‌اقتصادی تولید کود آلی پیشرفته از پسماندهای کشاورزی

محمد علی قانع[1]
۱-معاون آموزش و استاندارد سازی اداره کل استاندارد استان هرمزگان، بندرعباس
Ali.ghane@gmail.com

شماره مقاله EFAB015831232

چکیده

افزایش تولید پسماندهای دامی و بقایای گیاهی در بخش کشاورزی، هم‌زمان با کاهش ماده آلی خاک و وابستگی روبه‌افزون به نهاده‌های شیمیایی، ضرورت توسعه راهکارهای پایدار برای بازیافت زیستی این جریان‌های پسماندی را برجسته کرده است. تولید کودهای آلی پیشرفته، به‌ویژه کمپوست غنی‌شده، یکی از گزینه‌های قابل‌اتکا برای تبدیل پسماندهای آلی به محصولی با ارزش افزوده و اثرات مثبت زیست‌محیطی است. با این حال، موفقیت چنین سامانه‌ای تنها به جنبه‌های زیست‌فنی محدود نمی‌شود و مستلزم ارزیابی هم‌زمان امکان‌سنجی فنی و اقتصادی، کیفیت خوراک، نیازهای فرایندی، الزامات کنترلی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، و پایداری بازار مصرف است. در این مقاله، یک چارچوب تحلیلی و مفهومی برای ارزیابی امکان‌سنجی تولید کمپوست غنی‌شده از مخلوط پسماندهای دامی و بقایای گیاهی ارائه می‌شود، بدون آنکه متکی بر داده‌های آزمایشگاهی یا عملیات پایلوت باشد. ابتدا منطق فرایندی و ملاحظات اختلاط، نسبت کربن به نیتروژن، رطوبت، تهویه و زمان ماند تشریح می‌شود. سپس معیارهای فنی شامل پایداری فرایند، بازده جرمی، کیفیت محصول، و ریسک‌های بهداشتی و زیست‌محیطی تحلیل می‌گردد. در ادامه، ساختار هزینه‌ای پروژه از منظر سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی، و شاخص‌های اقتصادی نظیر هزینه تمام‌شده، دوره بازگشت سرمایه، ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی بررسی می‌شود. نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که موفقیت اقتصادی این فناوری به عواملی مانند دسترسی پایدار به خوراک ارزان، مقیاس مناسب واحد، کنترل کارآمد فرایند، و امکان فروش محصول به بازارهای هدف وابسته است. مقاله حاضر نشان می‌دهد که تولید کود آلی پیشرفته می‌تواند به‌عنوان یک گزینه فنی–اقتصادی قابل دفاع در چارچوب اقتصاد چرخشی و مدیریت پایدار پسماندهای کشاورزی مطرح باشد.

کلمات کلیدی: امکان‌سنجی، کمپوست غنی‌شده، پسماند دامی، بقایای گیاهی، ارزیابی فنی، ارزیابی اقتصادی، اقتصاد چرخشی

مقدمه

افزایش جمعیت، فشار بر منابع طبیعی، محدودیت زمین‌های کشاورزی و تشدید مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مدیریت نامناسب پسماندها، موجب شده است که راهکارهای مبتنی بر بازیافت و بازچرخانی مواد آلی بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرند. در بسیاری از مناطق کشاورزی، دو جریان پسماندی عمده شامل پسماندهای دامی و بقایای گیاهی به‌صورت هم‌زمان تولید می‌شوند. [۱–۳]. کمپوست‌سازی یکی از شناخته‌شده‌ترین مسیرهای تبدیل زیستی پسماندهای آلی است که در آن، ماده آلی ناپایدار تحت شرایط هوازی به محصولی پایدارتر، ایمن‌تر و قابل استفاده در خاک تبدیل می‌شود. کمپوست خام از نظر غلظت عناصر غذایی، یکنواختی، و ارزش افزوده اقتصادی در سطحی نیست که به‌سادگی با کودهای تجاری رقابت کند. اخیرا مفهوم کمپوست غنی‌شده یا کود آلی پیشرفته مورد توجه قرار گرفته است؛ محصولی که علاوه بر تثبیت زیستی، با افزودن مواد معدنی، ریزمغذی‌ها، اصلاح‌کننده‌های آلی یا حامل‌های زیستی، عملکرد تغذیه‌ای و ارگانیک بهتری ارائه می‌دهد [۴ و ۵]. بخش قابل توجهی از مطالعات موجود یا بر جنبه‌های آزمایشگاهی و کیفیت محصول متمرکز بوده‌اند یا صرفاً به توصیف کلی مزایای بازیافت زیستی پرداخته‌اند. در مقابل، مقالاتی که بدون اتکا به داده‌های عملیاتی، یک چارچوب امکان‌سنجی منسجم و قابل استفاده برای تصمیم‌گیری صنعتی ارائه دهند، کمتر دیده می‌شوند. ازاین‌رو، هدف این مقاله ارائه یک تحلیل فنی–اقتصادی ساختارمند برای ارزیابی امکان تولید کود آلی پیشرفته از مخلوط پسماندهای دامی و بقایای گیاهی است؛ تحلیلی که بتواند مبنای اولیه برای طراحی، سرمایه‌گذاری و توسعه مقیاس صنعتی قرار گیرد.

متن اصلی

برای تولید کود آلی پیشرفته از مخلوط پسماندهای دامی و بقایای گیاهی، یک زنجیره فرایندی چندمرحله‌ای قابل تعریف است که از دریافت خوراک آغاز شده و تا بسته‌بندی محصول نهایی ادامه می‌یابد. این زنجیره، اگرچه در عمل می‌تواند بسته به شرایط محلی ساده‌تر یا پیچیده‌تر شود، از منظر مفهومی شامل مراحل زیر است:دریافت و آماده‌سازی خوراک، تنظیم نسبت اختلاط، کمپوست‌سازی هوازی، پایدارسازی و بلوغ، غنی‌سازی محصول و خشک‌سازی، بسته‌بندی و عرضه. ارزیابی فنی در این مطالعه بر این فرض استوار است که محصول نهایی بدون انجام آزمایش‌های میدانی یا پایلوت، از منظر طراحی فرایند و منطق مهندسی قابل ارزیابی است. در این چارچوب، تمرکز بر قابلیت اجرا، پایداری عملکرد، کنترل‌پذیری و ریسک‌های محتمل است. پایداری فرایند به کنترل هم‌زمان چند متغیر وابسته است. رطوبت بسیار بالا می‌تواند تخلخل را کاهش داده و شرایط بی‌هوازی ایجاد کند؛ در مقابل، رطوبت پایین فعالیت میکروبی را کند می‌سازد. همچنین، اگر نسبت کربن به نیتروژن نامناسب باشد، ممکن است یا فرایند کند شود یا اتلاف نیتروژن به صورت آمونیاک افزایش یابد. ازاین‌رو، طراحی یک سامانه موفق مستلزم آن است که خوراک ورودی از نظر ترکیب به‌دقت مدیریت شود و در طول فرایند نیز پایش دوره‌ای انجام گیرد. با در نظر گرفتن در دسترس بودن دو جریان پسماند مکمل، امکان ایجاد تعادل نسبی در رطوبت و کربن/نیتروژن، و قابلیت استفاده از افزودنی‌های ساده برای غنی‌سازی، از دیدگاه فنی تولید کود آلی پیشرفته قابل دفاع است. با این حال، موفقیت آن به کنترل دقیق فرایند، انتخاب مقیاس مناسب و مدیریت یکنواخت خوراک وابسته خواهد بود.

نتیجه گیری

یافته‌های تحلیلی این مقاله نشان می‌دهد که تولید کود آلی پیشرفته از مخلوط پسماندهای دامی و بقایای گیاهی، از منظر مفهومی یک گزینه واقع‌بینانه و سازگار با اصول اقتصاد چرخشی است. مزیت اصلی این رویکرد در آن است که دو نوع پسماند با ویژگی‌های مکمل را در یک زنجیره ارزش به محصولی قابل استفاده در کشاورزی تبدیل می‌کند. پسماند دامی منبع غنی نیتروژن و رطوبت است، در حالی که بقایای گیاهی به‌عنوان منبع کربن و ساختاردهنده، شرایط فیزیکی مناسب‌تری برای تهویه و پایداری فرایند فراهم می‌کند. با این حال، داوری علمی این نوع طرح‌ها معمولاً بر دو محور سخت‌گیرانه متمرکز است: نخست، آیا فرایند واقعاً قابل اجرا و پایدار است؟ دوم، آیا محصول نهایی از نظر اقتصادی توان رقابت دارد؟ مقاله حاضر برای پاسخ به این دو پرسش، یک چارچوب مهندسی‌محور ارائه داد. در این چارچوب، نشان داده شد که بدون کنترل خوراک، رطوبت، تهویه و زمان ماند، حتی یک طرح از نظر تئوریک مناسب نیز ممکن است در عمل ناکارآمد شود. همچنین، از منظر اقتصادی، غنی‌سازی محصول باید به‌گونه‌ای انجام شود که ارزش افزوده حاصل از آن از هزینه‌های اضافی بیشتر باشد.این مقاله یک چارچوب فنی-اقتصادی برای ارزیابی امکان‌سنجی تولید کود آلی پیشرفته از مخلوط پسماندهای دامی و بقایای گیاهی ارائه کرد. نتایج تحلیلی نشان داد که این رویکرد از نظر فنی، به دلیل مکمل بودن ویژگی‌های دو جریان پسماند، ظرفیت مناسبی برای تبدیل به محصولی پایدار و قابل مصرف دارد. از نظر اقتصادی نیز، در صورتی که خوراک با هزینه پایین در دسترس باشد، مقیاس تولید بهینه انتخاب شود، و محصول نهایی از ارزش بازار کافی برخوردار باشد، پروژه می‌تواند توجیه‌پذیر باشد. با وجود این، سودآوری پروژه به‌شدت به کنترل فرایند، کیفیت غنی‌سازی، هزینه‌های لجستیکی و پذیرش بازار وابسته است. بنابراین، موفقیت چنین طرحی نه در یک عامل منفرد، بلکه در هم‌افزایی میان طراحی فنی، مدیریت عملیاتی و استراتژی تجاری نهفته است. در مجموع، تولید کود آلی پیشرفته از پسماندهای دامی و بقایای گیاهی می‌تواند یکی از مسیرهای عملی برای توسعه کشاورزی پایدار، کاهش بار زیست‌محیطی پسماندها و خلق ارزش اقتصادی در چارچوب اقتصاد چرخشی باشد.

منابع

[1] Haug, R. T. The Practical Handbook of Compost Engineering. CRC Press, 1993.
[2] Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. Bioresource Technology, 100(22), 5444–5453.
[3] Awasthi, M. K., et al. (2016). Sustainable bioconversion of food waste into compost using microorganisms. Bioresource Technology, 215, 1–10.
[4] Sanchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity. Bioresource Technology, 78(3), 301–308.
[5] Zhang, L., Sun, X., Tian, Y., Gong, X., & Wang, J. (2013). Biochar as a possible remedy for composting of animal manure and agricultural residues. Bioresource Technology, 144, 326–333.