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

بررسی مصرف انرژی و انتشار کربن در تولید و بازیافت فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر به عنوان جایگزینی پایدار برای بسته‌بندی‌های متعارف

رقیه اشرفی یورقانلو [۱،]، مهلا پیروزی فرد[۲]،
۱-دانشیار، گروه فناوری کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران
۲- مدرس، گروه فناوری کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران
ایمیل نویسنده مسئول: **r.ashrafi1@yahoo.com**

شماره مقاله EFAB01583145

چکیده

صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان پلیمرهای پایه فسیلی، تأثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی دارد. در سال‌های اخیر، توسعه فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی بر پلیمرهای طبیعی، پروتئینی و سنتزی زیستی به‌عنوان جایگزینی پایدار برای پلاستیک‌های متعارف مطرح شده است. این مقاله مروری به بررسی جامع چرخه عمر (LCA) این فیلم‌ها، شامل تولید مواد اولیه، فرآوری، تبدیل به فیلم، استفاده، توزیع و مدیریت پسماند پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که فیلم‌های نشاسته‌ای و پروتئینی کم‌مصرف‌ترین گزینه‌ها از نظر انرژی هستند، در حالی که پلیمرهای سنتزی زیستی مانند PLA و PHA مصرف انرژی بالاتری دارند اما به واسطه منشأ تجدیدپذیر، انتشار کربن پایین‌تری نسبت به پلیمرهای نفتی دارند. علاوه بر این، قابلیت کمپوست‌پذیری و بازیافت انرژی، مزیت‌های محیط‌زیستی قابل توجهی فراهم می‌کند. با وجود چالش‌های فنی، اقتصادی و زیرساختی، فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر گزینه‌ای امیدبخش برای بهبود پایداری زیست‌محیطی بسته‌بندی مواد غذایی محسوب می‌شوند.

کلید واژه ها: بازیافت، بسته‌بندی، چرخه عمر، فیلم زیست‌تخریب‌پذیر، مصرف انرژی

مقدمه

صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان پلیمرهای پایه‌فسیلی، نقشی تعیین‌کننده در الگوهای جهانی مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی ایفا می‌کند. در پاسخ به این چالش‌ها، توسعه و استفاده از فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان یک رویکرد راهبردی مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، ارزیابی واقع‌بینانه پایداری این مواد مستلزم بررسی جامع مصرف انرژی، انتشار کربن و سایر شاخص‌های زیست‌محیطی در چرخه کامل عمر آن‌ها است. هدف این مقاله ارائه تحلیل علمی و مروری بر یافته‌های موجود در سطح بین‌المللی درباره مصرف انرژی و میزان انتشار کربن در تولید، استفاده، مدیریت پسماند و بازیافت فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر می‌پردازد. چالش‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی مرتبط با تجاری‌سازی این فیلم‌ها نیز تحلیل شده است تا تصویری روشن از چشم‌انداز آینده ارائه شود.

متن اصلی

فیلم‌های پلی‌ساکاریدی (نشاسته، آلژینات، کیتوزان) به‌دلیل منشأ طبیعی و هزینه پایین، و فیلم‌های پروتئینی (ژلاتین، کازئین) به‌دلیل خواص سدگری در برابر اکسیژن، از گزینه‌های مهم بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر هستند. نشاسته کمترین مصرف انرژی را دارد اما حساس به رطوبت است. آلژینات خواص سدگری مطلوبی در برابر گازها دارد. کیتوزان دارای خواص ضد میکروبی طبیعی است. ژلاتین گزینه‌ای مناسب برای توسعه فیلم‌های زیستی کم‌هزینه است و کازئین عملکرد برتری در حفظ کیفیت مواد غذایی ارائه می‌دهد. در میان پلی‌استرهای سنتزی زیست‌تخریب‌پذیر، PLAبه دلیل شفافیت و قابلیت فرآوری بالا کاربرد گسترده دارد. PHAبه دلیل قابلیت تولید از پسماندهای کشاورزی، تجزیه‌پذیری سریع و خواص مکانیکی قابل‌رقابت با پلیمرهای پتروشیمیایی، امیدبخش‌ترین گزینه برای بسته‌بندی پایدار محسوب می‌شود. مرحله تولید مواد اولیه، بنیادی‌ترین بخش چرخه عمر است و بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی و انتشار کربن کل را شکل می‌دهد. مرحله تبدیل به فیلم نیز انرژی‌بر است؛ اکستروژن رایج‌ترین روش و قالب‌گیری فشاری کمترین مصرف انرژی را دارد. مرحله استفاده و توزیع به دلیل نازکی و وزن کم فیلم‌ها، کم‌اثرترین مرحله چرخه عمر از منظر انرژی محسوب می‌شود. فیلم‌های نشاسته‌ای کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارند، فیلم‌های پروتئینی انتشار بالاتری دارند و PLAو PHAبه دلیل فرآیندهای تخمیر و استخراج، بیشترین انتشار کربن را در میان فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر نشان می‌دهند. با این حال، پلی‌اتیلن سنتزی به دلیل وابستگی به منابع فسیلی، انتشار کربن بالاتری نسبت به همه فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر دارد. فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر در شرایط کمپوست صنعتی قادر به تجزیه کامل طی ۱۲ تا ۲۴ هفته هستند و این فرآیند انتشار گاز متان را ۶۰ تا ۸۰ درصد کاهش داده و منجر به تولید کود آلی می‌شود.

نتیجه گیری

بازیافت انرژی از طریق سوزاندن کنترل‌شده نیز امکان بهره‌برداری از ارزش حرارتی این فیلم‌ها را فراهم می‌کند. با وجود مزایای زیست‌محیطی، چالش‌های فنی نظیر مقاومت مکانیکی پایین‌تر و حساسیت به رطوبت و دما وجود دارد. هزینه تولید فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر به طور متوسط ۲۰ تا ۵۰ درصد بالاتر از پلاستیک‌های متعارف است. همچنین فقدان زیرساخت‌های جمع‌آوری و بازیافت اختصاصی و کمبود آگاهی مصرف‌کنندگان از موانع کلیدی به‌کارگیری گسترده این فیلم‌ها محسوب می‌شود.

نتیجه گیری:

فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، با توجه به منشأ تجدیدپذیر و قابلیت تجزیه‌پذیری، جایگزینی پایدار برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی متعارف هستند. مزیت عمده آن‌ها کاهش اثرات زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول چرخه عمر است. فیلم‌های نشاسته‌ای و پروتئینی به دلیل مصرف انرژی پایین‌تر، در رتبه‌های بالاتر پایداری قرار دارند. با این حال، محدودیت‌های فنی (مقاومت مکانیکی پایین و حساسیت به رطوبت)، اقتصادی (هزینه بالاتر تولید) و زیرساختی (فقدان زیرساخت‌های جمع‌آوری و بازیافت)، مانع اصلی پیاده‌سازی گسترده در ایران هستند. در مجموع، این فناوری راهکاری علمی و عملی برای کاهش وابستگی به پلاستیک‌های فسیلی و ارتقای پایداری محیط‌زیستی بسته‌بندی مواد غذایی ارائه می‌دهد.

منابع

منابع و ماخذ

1. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science advances, 3(7), e1700782.
2. García-Marín, L. M., & Renteria, M. E. (2024). Fighting plastic pollution with a circular economy roadmap and strategy: Addressed to the United Nations Environment Programme. J. Sci. Policy Gov, 24(01).
3.Riopedre-Fernandez, M., Biriukov, D., Dračínský, M., & Martinez-Seara, H. (2024). Hyaluronan-arginine enhanced and dynamic interaction emerges from distinctive molecular signature due to electrostatics and side-chain specificity. Carbohydrate Polymers, 325, 121568.
4. Jiang, H., Fei, X., Zhang, G., Hu, X., Gong, D., & Pan, J. (2023). Complexing with fibrillated glutenin and orange peel pectin improves the aqueous dispersion and storage stability of hesperitin/hesperidin. Food Hydrocolloids, 145, 109138.
5. Zhou, W., Yu, J., Zhao, L., Wang, K., Hu, Z., Wu, J. Y., & Liu, X. (2024). Enhancement of chitosan-based film physicochemical and storage properties by interaction with proanthocyanidin and natural deep eutectic solvent. International Journal of Biological Macromolecules, 278, 134611.
6. Xu, L., Chen, R., & Ren, T. (2025). Fabrication of gelatin-based photodynamic food packaging with dual-antimicrobial activity for enhanced pork preservation. Food Hydrocolloids, 166, 111361.