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

بسم الله الرحمن الرحیم

ارزیابی انرژی، ردپای کربن و چرخه حیات در تولید روغن‌های گیاهی و بیودیزل

نوشین قلی پور زنجانی

پژوهشگاه استاندارد ، گروه پژوهشی پتروشیمی و پلیمر، کرج،
Email:n.gholipour@standard.ac.

کدمقاله: EFAB015831178

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

چکیده

این پژوهش با رویکرد ارزیابی چرخه حیات، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید روغن گیاهی و بیودیزل را در یک واحد صنعتی واقعی بررسی می‌کند. داده‌های مصرف الکتریسیته، گاز طبیعی و نفت‌گاز در مراحل روغن‌کشی، تصفیه و بسته‌بندی مبنای محاسبات بوده است. نتایج نشان می‌دهد که حمل‌ونقل دانه خام و روغن تصفیه‌شده سهم قابل‌توجهی در انتشار دارد. متوسط ردپای کربن تولید هر تن روغن خوراکی ۵.۵۴ تن دی‌اکسیدکربن معادل است. در بخش بیودیزل، فرایند ترانس‌استریفیکاسیون با کاتالیست‌های همگن و ناهمگن به‌عنوان گزینه بهینه از نظر مصرف انرژی و بازده معرفی می‌شود. این فرایند نیازمند تصفیه اولیه روغن و کنترل دقیق شرایط عملیاتی است. فناوری‌های نوین مانند مایکروویو، اولتراسونیک و تصفیه فیزیکی می‌توانند مراحل فرآوری و انرژی مصرفی را کاهش دهند. به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش کشاورزی قادر است تا ۰.۲۷۴ تن انتشار به ازای هر تن دانه را کاهش دهد. در نهایت، دستیابی به کاهش پایدار ردپای انرژی مستلزم گذار به اقتصاد دورانی، مواد اولیه کم‌کربن و بهینه‌سازی زنجیره تأمین است.

کلید واژه‌ها:دانه های روغنی، ردپای کربن، روغن های خوراکی، بیودیزل، انرژی

مقدمه

بیودیزل به دلیل سادگی تولید، قابلیت ترکیب با دیزل، محتوای اکسیژن بالا و نبود ترکیبات آروماتیک، سوختی تجدیدپذیر و پاک‌تر از نفت‌گاز است که با بهبود روان‌کنندگی، کاهش خوردگی و آلایندگی، موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها و تقویت اقتصاد کشاورزی می‌شود؛ هرچند هنوز هزینه تولید و انتشار اکسیدهای نیتروژن از چالش‌های آن است.

به طور کلی تولید بیودیزل از استرفیکاسیون روغن یکی از روش های مرسوم است و ارزیابی چرخه حیات (LCA) نشان می‌دهد استفاده از فناوری‌های نوین و انرژی‌های تجدیدپذیر در مزارع و فرایند تولید روغن می‌تواند ردپای کربن را در فرایند تولید بیودیزل از روغن کاهش داده و مسیر دستیابی به سامانه‌ای پایدار و کم‌کربن را هموار سازد.

معادله عمومی واکنش استری کردن و تولید بیودیزل از روغن به شرح زیر است.

(۱) $\text{Triglyceride} + 3\text{MeOH} \rightarrow \text{Glyserol} + \text{Methylesters (Biodiesel)}$

محصول اصلی واکنش ترانس‌استریفیکاسیون، بیودیزل (متیل استر) است که به عنوان سوخت در موتورهای دیزل به کار می‌رود. محصول جانبی این فرآیند، گلیسیرین است که ماده‌ای با کاربردهای گسترده در صنایعی مانند داروسازی، آرایشی، کشاورزی و مواد شیمیایی محسوب می‌شود[۱۹].

ارزیابی چرخه حیات (LCA) Life cycle assessment

ارزیابی چرخه حیات (LCA)روشی علمی برای سنجش اثرات زیست‌محیطی محصول از آغاز تا پایان عمر آن است و هدف آن کاهش اثرات منفی در کل چرخه حیات و زنجیره ارزش است.

در این مقاله، منابع متداول انتشار معادل دی‌اکسیدکربن (CO_{2e}) در فرآیند تولید روغن شامل موارد زیر در نظر گرفته شده است :

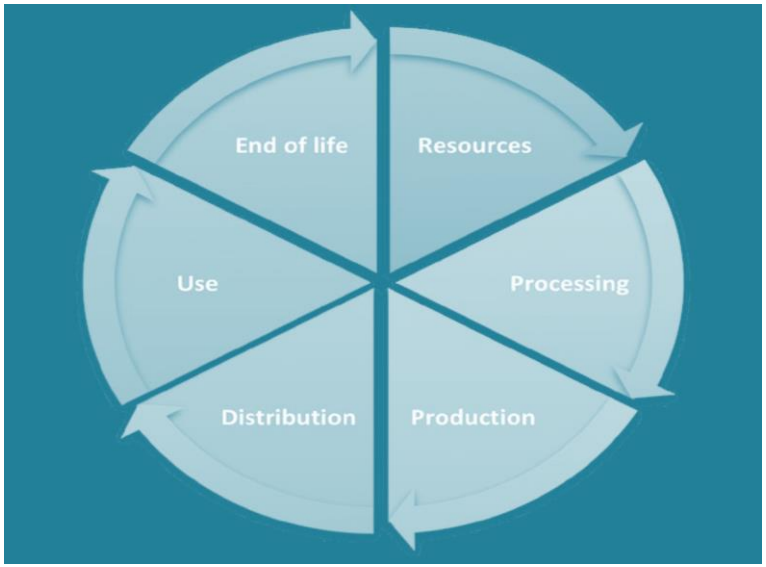
الف) انتشار CO_{2e} ناشی از حمل ونقل دانه روغنی.

ب) انتشار CO_{2e} ناشی از مصرف برق، گاز و سوخت مایع برای روغن کشی.

ج) انتشار CO_{2e} ناشی از تصفیه روغن .

د) انتشار CO_{2e} ناشی از مصرف برق فرآیند پرکردن ظروف

ه) انتشار CO_{2e} ناشی از انتقال روغن تصفیه شده به محل مصرف.



مواد و روش

جدول۱- خوراک ورودی واحد تولیدی روغن				
ردیف	دانه	میزان ورودی سالانه (ton) [۲۵]	ضریب نشر tCO_{2e}/ton oil seed [۵]	نشر دی اکسید کربن tCO_{2e}
۱	دانه سویا	۱۲۸۹۵۲	۰.۲۶۷	۳۴۴۳۰
۲	دانه کلزا	۱۵۶۲۸	۰.۲۵۰	۳۹۱۰
۳	دانه آفتابگردان	۱۱۹۸۴	۰.۲۷۴	۳۲۸۳

جدول ۲- پارامترهای مربوط به مصرف انرژی					
ردیف	منبع انرژی	واحد	میزان مصرف سالانه متوسط[۲۵]	ضریب نشر tCO_{2e}/unit [۲۶]	میزان نشر tCO_{2e}
۱	برق مصرفی	MWh	۱۰۷۴۲	۶۶۸/۰	۷,۷۱۷۵
۲	گاز طبیعی مصرفی	m^3	۷۷۳۹۳۹۹	۰.۰۰۳ ton/kg	۲۳۲.۲
۳	نفت گاز مصرفی	lit	۲۴۷۶۸۰۰	۰۰۰۸۳۲/۰	۲۰۶۰.۷

یافته های تحقیق

کمّی‌سازی ردپای کربن:

در این پژوهش محاسبات نشر دی‌اکسیدکربن معادل هر فعالیت در فرایند تولید روغن از مرحله ورود دانه‌های روغنی تا خارج کردن از واحد تولیدی انجام گرفته است. **مقادیر وزن مواد مورد استفاده برای یک سال در نظر گرفته شده‌اند.**

۵-۱ نشر CO_2 معادل تولید دانه روغنی

براساس محاسبات انجام شده در جدول ۱ میزان نشر دی اکسیدکربن ناشی از دانه های روغنی معادل ۴۱۶۲۴tCO_{2e} می باشد.

۵-۲ نشر CO_2 معادل انتقال دانه به واحد تولیدی

مسافت انتقال دانه (۱۵۶۵۶۳ton) به واحد تصفیه روغن ۳۰۰ km در نظر گرفته شد.

فاکتور نشر برای وسیله نقلیه دیزلی HGV (۳۰ton‹) معادل ۳۷۷/۱ kgCO2/(ton.km) در نظر گرفته شد.[۴]

میزان نشر مربوط به حمل و نقل = ۶۴۶۷۶ton CO2

۵-۳ نشر CO_2 معادل مصرف منابع انرژی الکتریسیته، نفت گاز و گاز طبیعی در تصفیه روغن

میزان نشر بر اساس مصر ف منابع انرژی طبق جدول ۲ محاسبه شد. که جمعا معادل ۹۴۶۷tCO_{2e} می باشد.

یافته های تحقیق

۵-۴ نشر CO_2 معادل مواد استفاده شده در فرایند تصفیه روغن

محاسبات برای فرایندهای تصفیه شامل صمغ گیری؛ بوگیری و رنگبری و بسته بندی در ظروف PET می‌باشد که طبق جدول ۳ در نظر گرفته شده است. میزان کل نشر دی اکسیدکربن معادل tCO2e ۳.۴۰۸ محاسبه شد.

۵-۵ نشر CO2 معادل انتقال روغن به محل مصرف

انتقال کل روغن ها و محصولات جانبی (ton)۱۷۰۲۷۲ (طبق جدول ۴) به محل مصرف (فاصله ۳۰۰ km)
فاکتور نشر برای وسیله نقلیه دیزلی HGV (۳۰ton) = (۱/۳۷۷ kgCO2/(ton.km)[۴]
میزان نشر مربوط به حمل و نقل = ۷۰۳۳۹tCO2

۵-۶ میزان کل نشر CO2 معادل کل فرایند از تولید دانه تا انتقال روغن به محل مصرف

میزان کل نشر CO2 برای تولید روغن در واحد در نظر گرفته شده در یک سال، معادل ۱۸۶۱۰۹tCO2 می باشد که با توجه به تولید ۳۳۵۹۴ton روغن خوراکی در این واحد، میزان متوسط نشر دی اکسید کربن معادل ۵.۵۴tCO2 برای هر تن روغن است. که با میزان ارائه شده در مقالات دیگر تطابق دارد و اختلاف آن می تواند به عواملی مانند فاصله محل تولید روغن از محل کاشت دانه روغنی مربوط باشد[۲۶].

بحث و نتیجه گیری

تحقق اقتصاد دورانی و کاهش ردپای کربن در صنعت روغن‌های گیاهی و بیودیزل، نیازمند رویکردی یکپارچه و چندوجهی شامل بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، کاربرد فناوری‌های پاک، مدیریت پایدار کاربری اراضی، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و استقرار سیستم‌های ارزیابی چرخه حیات است. اگرچه پیشرفت‌های فناورانه مانند تصفیه فیزیکی، حلال‌های سبز و پایش هوشمند، مسیر را هموار کرده‌اند، سرعت این تحول در گرو همکاری همه‌جانبه تنظیم‌کنندگان، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان و ایجاد شفافیت در عملکرد زیست‌محیطی زنجیره تأمین است. در این مسیر، ارزیابی چرخه حیات به عنوان ابزاری علمی و عملیاتی، امکان شناسایی نقاط بحرانی انتشار و اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی را فراهم می‌آورد و گذار تدریجی اما پایدار به سمت تولید سبزتر را تضمین می‌کند مقررات بهره‌وری انرژی برای کاهش تلفات و ردپای کربن ضروری است، اما تحقق اقتصاد دورانی در صنعت نیازمند تلاشی یکپارچه‌تر است. این گذار با ایجاد سیستم‌های ارزیابی مشترک برای بهینه‌سازی زنجیره‌تأمین و به‌کارگیری فناوری‌هایی مانند مواد بازیافتی قابل‌ردیابی، به‌تدریج ممکن می‌شود.

منابع و ماخذ

1. Murugesan, A., C. Umarani, T.R. Chinnusamy, M. Krishnan, et al., (2009) "*Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils—A review".* Renewable and Sustainable Energy Reviews, **13**(4): p. 825.
2. Balat, M. and H. Balat, (2008) "*A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel".* Energy Conversion and Management, **49**(10): p. 2727.
3. Amin, S., (2009) "*Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae.* Energy Conversion and Management, **50**(7): p. 1834.
4Bhaba Das, Goizeder Pajaro, Ed G.teNyenhuis, and G. Kablouti, (2024) "*Investigating the environmental benefits of oil reclamation – A case study".* Transformers Magazine, **11**(3): p. 80.
5. Al-Mansour, F., V. Jejčič, and T. Poje, (2022) "*Carbon footprint of vegetable oils produced on family farms"*, in *14th conference of Sustainable Environmental and Energy Protection*.
6. Janicka, P., J. Płotka-Wasylka, N. Jatkowska, A. Chabowska, et al., (2022) "*Trends in the new generation of green solvents in extraction processes".* Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, **37**.
7. Mansoor, S., S. Iqbal, S. Popescu, S. Kim, et al., (2025) "*Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future prospectives".* Frontiers in Plant Science.
8. Midhun, J., D. Stephi, K. Muthamil Selvi, Y. Kameshwari, et al., (2023) "*Effect of emerging pretreatment methods on extraction and quality of edible oils: A review".* Food and Humanity, **1**: p. 1511.
9. Dunford, N., (2022) "*Enzyme aided oil and oilseed processing: opportunities and challenges.* Current Opinion in Food Science", **48**: p. 100943.
10. Yadav, N., et al., (2025) "*Extrusion technology in food processing: Principles, innovations and applications in sustainable product development".* Food and Humanity, **5**: p. 100672.

تشکر وقدردانی
پایان