نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۱(۶۱)، بهار ۱۴۰۱، صفحه ۹۸-۸۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1912008.1723

ارزیابی چرخه حیات و اثرات زیست محیطی تولید کلزا (*Brassica napus* L.) در استان البرز

شهرام خسروی‌بمی[۱]، محمدرضا اردکانی[۲*]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[۳]، امیرحسین شیرانی‌راد[۴] و پریسا نجات‌خواه معنوی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۰

چکیده

در سال‌های اخیر، افزایش آگاهی در مورد مشکلات زیست محیطی، به‌ویژه گرم شدن کره زمین، نگرانی‌های مربوط به تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو جهانی را در جوامع مختلف علمی افزایش داده است. ارزیابی چرخه حیات بیشتر برای ارزیابی و مقایسه تأثیرات زیست محیطی تولید انرژی و جنبه‌های اقتصادی تولید یک محصول در سراسر جهان استفاده می‌شود. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و تحلیل اثرات زیست محیطی تولید کلزا از نظر ارزیابی چرخه حیات با استفاده از نرم‌افزار SimaPro انجام شده و هدف این تحقیق تمرکز بر اثرات زیست محیطی است. به‌منظور انجام آزمایش‌ها از یک تن کلزا به‌عنوان واحد عملیاتی استفاده شد. داده‌های مورد نیاز اجرای این آزمایش از ۳۰ مزرعه در استان البرز جمع‌آوری شد. نتایج این تحقیق نشان داد که پتانسیل مسمومیت انسانی، مسمومیت خاک، مسمومیت آب‌های شیرین و مسمومیت آب‌های آزاد به ازای تولید هر تن دانه کلزا به‌ترتیب ۸۸۱/۶۳، ۷/۰۸، ۲۸۸/۶۷ و ۶۱۸۵۱۵/۱۴ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن و پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی ۰/۴۳ کیلوگرم معادل اتیلن بود. میزان نیتروژن، فسفات و پتاسیم مصرفی برای تولید هر تن دانه کلزا به‌ترتیب حدود ۸۴، ۶۳ و ۶۳ کیلوگرم و میزان سوخت گازوئیل و انرژی الکتریسیته مصرفی نیز به‌ترتیب ۱۳۳/۵ لیتر و ۵۸۶ کیلووات برآورد شد. میزان انتشار گازهای CO_2، CO، N_2O و NO_X نیز به‌ترتیب حدود ۳۶۱، ۴/۱، ۱۱/۵ و ۴/۸ کیلوگرم به ازای تولید هر تن دانه کلزا بود. همچنین، مشخص شد که کودهای شیمیایی بیشترین سهم را در بین ورودی‌های ارزیابی‌شده در چرخه زندگی کلزا داشتند. به‌طورکلی، این بررسی نشان داد که مدیریت مواد مغذی و سموم دفع آفات می‌تواند به عنوان یک نقطه قوت برای بهینه‌سازی تأثیرات زیست محیطی تولید کلزا در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: اکسیداسیون فتوشیمیایی، شاخص زیست محیطی، گرمایش جهانی، مسمومیت انسانی، مسمومیت خاک و آب.

۱- گروه زراعت، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۳- گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۴- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*** نگارنده‌ی مسئول** mreza.ardakani@gmail.com

مقدمه

شناخت و ارزیابی چرخه حیات محصول یکی از روش‌های اندازه‌گیری انتشار گازهای گلخانه‌ای است. گرم شدن کره زمین یک مسئله شناخته شده برای همه است. درحالی‌که امنیت غذایی به تولید محصولات کشاورزی بستگی دارد، مقدار زیادی انرژی در شکل تجدید پذیر و تجدید ناپذیر از منابع مختلف در این بخش مصرف می‌شود (Khoshnevisan *et al.*, 2014). مصرف فزاینده انرژی مشکلاتی ایجاد کرده که سلامتی بشر و محیط‌زیست را تهدید می‌کند (Rafiee *et al.*, 2010).

طبق گزارش نشریه ملی نشنال جئوگرافیک به‌دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین، تا سال ۲۰۵۰ بیش از یک میلیون گونه از گیاهان و جانوران در معرض خطر قرار می‌گیرند و توزیع جغرافیایی بسیاری از گونه‌ها تغییر می‌یابد. اکنون سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی از منابع محدودی مانند سوخت‌های فسیلی، آب و سایر ورودی‌های غیرقابل تجدید استفاده می‌کنند و این واقعیت با نگرانی‌هایی در مورد محیط زیست مانند آلودگی آب، آلودگی خاک و هوا، کاهش باروری خاک، فرسایش خاک و کاهش منابع همراه دنبال می‌شود. آلودگی ناشی از آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای یک مشکل جدی است. به نظر می‌رسد استفاده گسترده از تراکتورهای دیزل کشاورزی و وسایل حمل و نقل و ماشین آلات کشاورزی تهدیدهای بی پایان برای اکوسیستم هستند (Shiri *et al.*, 2018). امروزه با افزایش مکانیزاسیون و استفاده از ماشین‌آلات در کشاورزی، استفاده از سوخت‌های فسیلی افزایش یافته و این سوخت‌ها یکی از منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیست در قرن حاضر هستند. از طرف دیگر، آلودگی خاک ناشی از ورود بنزین و تجزیه روغن موتورهای دیزلی سوخته در زمین منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود (Liang *et al.*, 2013). علاوه بر سوخت‌های فسیلی به دنبال کشاورزی مدرن، استفاده از کودهای نیتروژن در جهان به سرعت در حال افزایش است. کشاورزی در ایران طی چند دهه گذشته سرعت زیاد فشرده‌سازی را تجربه کرده است. با وجودی که این الگوی تولید باعث بهبود قابل‌توجه عملکرد محصولات زراعی در کوتاه مدت شده ولی افزایش سریع مصرف انواع نهاده‌ها را نیز به همراه داشته است، شواهد موجود نشان می‌دهد که در طی ۵۰ سال گذشته افزایش پنج برابری تولید غذا در کشور توأم با ۱۰ برابر شدن مصرف نهاده‌های شیمیایی بوده است، به‌طوری‌که، مصرف کودهای نیتروژنی از ۲۰ کیلوگرم در هکتار در دهه ۵۰ شمسی به ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار در دهه ۹۰ رسیده است (Nasiri and Kouchaki, 2015).

شرط لازم برای کاهش انتشار در اکوسیستم‌های مدیریت شده، یافتن منابع انتشار است. یکی از روش‌های جدید در کشاورزی و صنعت برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی چرخه حیات است. در ارزیابی چرخه حیات از اصطلاح گهواره تا گور استفاده شده است. این بدان معناست که ارزیابی چرخه حیات (LCA) ابزاری برای اندازه‌گیری جنبه‌های زیست محیطی تولید در طول چرخه حیات یک محصول است، به‌عبارت دیگر، با استفاده از این ابزار تمام اثراتی که از ابتدا تا شکل‌گیری محصول روی محیط اعمال می‌کند یا فرآیند ارزیابی و محاسبه می‌شود (Rajaeifar *et al.*, 2013).

دانه‌های روغنی دومین ذخیره بزرگ مواد غذایی در جهان هستند. آمار فائو نشان می‌دهد که کلزا (*Brassica napus* L.) از نظر کمیت سومین منبع بزرگ تولید روغن نباتی در جهان است (Nemecek *et al*., 2007; Choobin *et al*., 2016) این دانه روغنی در بیشتر مناطق ایران رشد می‌کند و میزان روغن آن حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد از کل وزن دانه است (Rajaeifar 2013. Nazari *et al*., 2017). علاوه بر این، کلزا در حال حاضر بزرگ‌ترین منبع تولید بیودیزل در جهان است. یکی از عوامل مؤثر بر سلامتی انسان و محیط زیست، انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول چرخه حیات محصولات کشاورزی است.

ارزیابی چرخه حیات روشی برای بررسی جنبه‌های زیست محیطی مرتبط با یک محصول در چرخه حیات آن می‌باشد (Ghadirianfar, 2013) که بررسی سهم مراحل مختلف چرخه حیات از کل بارهای زیست محیطی، معمولاً با هدف اولویت‌بندی توسعه محصولات و یا فرآیندها و مقایسه بین محصولات عمده‌ترین کاربردهای آن می‌باشند.

بر اساس استاندارد ISO یک سری دستورالعمل‌هایی تدوین شده است که مطالعات LCA باید بر آن اساس باشد. لذا کلیه مدل‌های توسعه‌یافته بر پایه دستورالعمل ISO می‌باشند و این پژوهش نیز از این امر مستثنا نمی‌باشند. براساس ایزو ۱۴۰۴۰، هر پروژه ارزیابی چرخه حیات شامل چهار مرحله تعریف هدف و دامنه، تجزیه‌وتحلیل سیاهه، ارزیابی پیامد و تفسیر الزامی می‌باشد. این روش در سال‌های اخیر به ابزار مناسبی جهت بررسی و تعیین میزان اثرات زیست محیطی در تولیدات کشاورزی و صنایع غذایی تبدیل گردیـده، به‌طوری‌که در بسیاری از کشورها از آن به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی‌های زراعی استفاده می‌کنند (Kaab *et al*., 2021). در این زمینه مطالعاتی انجام شده است، به‌عنوان مثال، آبلیوتیس و همکاران (Abeliotis *et al*., 2013) از نرم‌افزار SimaPro برای ارزیابی اثرات زیست محیطی حبوبات استفاده کردند. آنها برق و کود را به‌عنوان تأثیرگذارترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای گزارش دادند. رجایی‌فر و همکاران (Rajaeifar *et al*., 2013) میزان انتشار دی‌اکسید کربن در چرخه حیات را برای تولید بیودیزل حاصل از کلزا به‌عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی مورد مطالعه قرار دادند. آنها سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای را در سه مرحله اصلی شامل تولید محصولات کشاورزی، حمل و نقل و تبدیل صنعتی مورد بررسی قرار دادند. تحقیقات آنها نشان داد که کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در کلیه مراحل چرخه حیات تولید بیودیزل ۱۰۵۴/۹۸ کیلوگرم CO_2 در هکتار و مرحله تولید محصولات کشاورزی رتبه اول را کسب کرده است. خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan *et al*., 2014) چرخه عمر گیاه سیر را ارزیابی و اثرات محیطی آن را توسط نرم‌افزار SimaPro ارزیابی کردند. سهل و پوتینگ (Sahle and Potting, 2013) از نرم‌افزار SimaPro برای ارزیابی چرخه کشت گل رز در اتیوپی استفاده کردند. آنها ۹ شاخص محیطی از جمله تخلیه منابع زیرزمینی (غیرزنده)، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل گرم شدن کره زمین، پتانسیل تخلیه ازن و پتانسیل سمیت انسانی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین میزان آلایندگی مربوط به کود شیمیایی، به‌ویژه کودهای نیتروژن است. پس از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از

استفاده از سموم دفع آفات گیاهی، آنها به‌ویژه بر شاخص سمیت زمینی، سمیت آب شیرین و اکسیداسیون فتوشیمیایی تأثیر گذاشتند. آنها همچنین اظهار داشتند که سموم دفع آفات هیچ تأثیر قابل توجهی بر سایر شاخص‌های محیطی ندارند و کودهای شیمیایی و مدیریت سموم دفع آفات را برای بهبـود شرایط محیطی پیشنهاد داده‌اند.

فتحی و همکاران (Fathi *et al*., 2019) در تحقیقی الگوی مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی تولید کلزا در شرایط دیم استان ایلام را بررسی نمودند، نتایج حاصل نشان داد متوسط نسبت انرژی برای تولید کلزای دیم در سه شهرستان چرداول، دره شهر و آبدانان به‌ترتیب با در نظر گرفتن انرژی کاه و کلش ۹۱/۶ و ۶۷/۷، ۹۱/۷ ژول می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی چرخه حیات، در بخش‌های اثر، تقلیل منابع آلی، تخریب لایه ازن و مسمومیت آب‌های آزاد، بیشترین اثر مربوط به سوخت دیزل بوده است. همچنین، در بخش‌های اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی و مسمومیت انسان‌ها، انتشارات مستقیم بیشترین سهم را در آلایندگی به خود اختصاص داده است.

خیرعلی‌پور و همکاران (Khair Alipour *et al*. 2017) اثرات زیست محیطی تولید کلزا به روش ارزیابی چرخه حیات را در استان اردبیل مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه‌گیری نمودند که نهاده‌های کود نیتروژن، سوخت و الکتریسیته بیشترین سهم را در شاخص‌های زیست محیطی مورد مطالعه دارا می‌باشند و شاخص‌های زیست محیطی مسمومیت آب‌های آزاد، پتانسیل اختناق دریاچه‌ای، اسیدیته و گرمایش جهانی نسبت به سایر گروه‌های اثر دارای اثرات زیست محیطی بیشتری می‌باشند.

مواد و روش‌ها

از آنجا که استان البرز یکی از استان‌های مهم از نظر سطح زیر کشت کلزا در کشور است و بیشترین سطح زیر کشت در شهرستان‌های ساوجبلاغ و نظرآباد به کشت کلزا بعد از گندم و جو اختصاص دارد، کلزا به‌عنوان محصول مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. منطقه مورد مطالعه در ۵۰/۹۲۸۹ درجه از شمال‌غربی غرب استان تهران با ارتفاع ۸۳۵ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی استان البرز ۲۴۳/۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۴ درجه سلسیوس است. منطقه دارای خاک لوم رس است.

داده‌های مورد استفاده در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ از طریق پرسشنامه‌های توزیع شده بین ۳۰ مزرعه از اراضی کلزا در اسـتان البرز جمع‌آوری شده است. میزان تولید کلزا در منطقه در سال‌زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ ۹۱۰ تن بوده است که نشان‌دهنده اهمیت تولید کلزا در منطقه است. ورودی‌های تولید شده در کلزا مورد مطالعه قرار گرفته است.

تعریف و تبیین مراحل ارزیابی LCA کلزا در استان البرز

تعیین هدف و واحد کارکردی

هدف از ارزیابی چرخه حیات تولید کلزا تعیین نقاط داغ چرخه حیات تولید آن و ارایه راهکارهای مناسب برای کاهش اثرات محیط زیستی مربوطه است. با انجام ارزیابی چرخه حیات در سیستم تولید کلزا، اطلاعاتی به‌دست خواهد آمد که به کشاورزان و سیاست‌مداران و قانون‌گذاران کمک خواهد کرد اقداماتی را انجام دهند که باعث کاهش مواد آلوده‌کننده ناشی از

تولید این محصول شود. واحد کارکردی در این مطالعه، تولید یک تن کلزا تعیین شد.

مرز سیستم

از آن‌جایی‌که ارزیابی چرخه حیات رهیافتی پیچیده و دقیق است تصمیم گرفته شد که مرزهای سیستم به نحوی تعیین شود که داده‌های موجود و زمان اجازه انجام تحقیق را بدهد. در این مطالعه فرآیند مصرف توسط مصرف‌کننده و دفع پسماند (چراکه هنوز در ایران فرآیند مصرف و دفع پسماند حاصل از آن به فرآیندی نظام‌مند تبدیل نشده است) و همچنین نوع ابزارآلات و ابنیه به کار رفته در سامانه‌های تولید را لحاظ ننموده است، اما با استفاده از مرور منابع و همچنین جمع‌آوری اطلاعات از بخش‌های مرتبط، اطلاعات مربوط نهاده‌های لازم برای تولید کلزا، حامل‌های انرژی مصرف شده کلزا لحاظ گردیده است. در این مطالعه مرز سیستم تولید کلزا از گهواره تا مزرعه تعیین شد.

صورت‌برداری

ارزیابی چرخه حیات در این تحقیق دربردارنده جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز به‌منظور کمی نمودن تمامی دروندادها و بروندادهای مرتبط با تولید یک تن کلزا است (جدول ۱). در این تحقیق مرز سیستم تا مرحله تولید کشاورزی است. مرحله کشاورزی شامل روش‌های کشاورزی است که توسط کشاورز مانند آبیاری و روش‌های آن، کنترل علف‌های هرز، مدیریت استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها به‌کار برده می‌شود. داده‌های لازم برای این مطالعه به دو دسته داده‌های اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. داده‌های اولیه شامل میزان کودها و آفت‌کش‌های مصرف‌شده، میزان برداشت کلزا، مصرف آب و الکتریسیته برای آبیاری، مصرف سوخت برای تراکتور و سایر ماشین‌آلات و ... است. این داده‌ها از طریق مشاهده، نمونه‌برداری و پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. پرسش‌نامه‌ها در روستاهای مختلف و از طریق مصاحبه حضوری با کشاورزان پر شدند. داده‌های اقلیمی و خاکی نیز از اطلاعات موجود در سازمان جهاد کشاورزی استان البرز استفاده گردید.

داده‌های ثانویه شامل منابع داده‌های مختلف است؛ از مطالعات بین‌المللی برای برآورد داده‌هایی که جمع‌آوری آنها از مزارع امکان‌پذیر نیست (مانند انتشار نیتروژن و آفت‌کش‌ها و برخی ترکیبات از مزارع) و از پایگاه‌های داده بین‌المللی که مصرف مواد و انرژی برای تولید نهاده‌ها را محاسبه می‌کند، استفاده می‌شود (مانند آفت‌کش‌ها و کودها). برای صورت‌برداری داده‌های مربوط به تولید کودها و آفت کش‌ها از داده‌های EcoInvent® 3.0 در نرم‌افزار SimaPro 8.0.4.30 استفاده شد. کودهای شیمیایی استعمال شده شامل بیشترین کود استفاده شده در مزارع البرز شامل نیتروژن، پتاسیم و فسفات بود. برای برآورد انتشارات مستقیم از مزرعه کلزا (شامل انتشار ترکیبات نیتروژنه، فسفر) از روش‌های موجود در مقالات بین المللی استفاده شد. بر اساس کونگشانگ (Kongshaug, 1998) تولید کودها ۱/۲ درصد کل انتشارات گازهای گلخانه‌ای را منتشر می‌کند؛ که ۰/۳ درصد به‌عنوان CO_2، ۰/۳ درصد N_2O و CO_2 ناشی از سوخت فسیلی ۰/۶ درصد است. تولید کودها سهم بزرگی در طبقات اثر اسیدی شدن، تخلیه منابع غیرزنده، سمیت برای خاکزیان و سمیت برای آبزیان دریایی دارد (Sahle and Potting, 2013). انتشارهای نیتروژن و فسفر ناشی از مصرف کودها است. در مطالعات LCA در کشاورزی، انتشارات مستقیم نیتروژن معمولاً در مرحله تولید کشاورزی اتفاق می‌افتد.

انتشارات نیتروژن شامل انتشار آمونیاک (NH_3) از طریق تصعید، انتشار نیتروز اکسید (N_2O) و آبشویی نیترات (NO_3) است. اغلب برآورد انتشار واقعی و دقیق نیتروژن به محیط آب و هوا مشکل است چون به نوع خاک، شرایط اقلیمی و عملیات مدیریتی کشاورزی وابستگی زیادی دارد. اندازه‌گیری این انتشارات نیازمند صرف وقت و هزینه زیادی است که در هر مورد نیز تغییرپذیری زیادی نشان می‌دهد (Isermann, 1990). به‌این منظور در اهداف LCA، میزان میانگین انتشار بالقوه، با توجه به شرایط رایج حاکم بر سیستم تحت بررسی تعیین می‌شود. لذا روش‌هایی مورد نیاز است که با در نظر گرفتن ویژگی‌های هر مکان، محاسبه انتشار بالقوه نیتروژن را برای پژوهشگران چرخه حیات تسهیل کند (Brentrup *et al*, 2000). در این مطالعه مانند اغلب مطالعات ارزیابی چرخه حیات کشاورزی، برای تخمین انتشارات ترکیبات نیتروژن (NH_3، N_2O و NO_3) ناشی از استعمال کودها، از روش پیشنهادی برنتراپ و همکاران (Brentrup *et al*., 2001) استفاده شد. نیترات به‌وسیله کودها و معدنی سازی مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها به خاک وارد می‌شود. نیترات در خاک می‌تواند به‌وسیله گیاهان جذب شود. ریسک آبشویی نیترات در پاییز و زمستان بیشتر است چون در این فصول میزان بارندگی بیشتر از میزان جذب آن توسط گیاه است. علاوه بر این، معدنی شدن نیتروژن در اواخر تابستان بالاترین میزان را دارد زیرا در این زمان نیتروژن به میزان کمی توسط گیاه جذب می‌شود (Baghdadi *et al*., 2017). آبشویی نیترات باعث هدرروی نیتروژن مورد نیاز گیاه، سمیت و اتروفیکاسیون و انتشار به هوا می‌شود. آبشویی فسفر بر اساس معادلات پیشنهادی نیمیک و همکاران (Nemecek *et al*., 2007) محاسبه شد.

تصعید آمونیاک

میزان تصعید آمونیاک در کودهای معدنی و آلی بسته به شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک، نحوه و زمان کود دهی متفاوت است. در میان کودهای معدنی نیتروژن بیشترین تصاعد آمونیاک را دارد. فاکتور انتشار آمونیاک از نیتروژن در این مطالعه به‌علت عدم وجود بررسی‌های لازم برابر متوسط اروپا در نظر گرفته شده است. پارامترهای لازم جهت محاسبه انتشار آمونیاک شامل: دمای زمان کوددهی: دمای زمان کوددهی در این مطالعه ۱۵-۱۰ درجه سلسیوس، سرعت نفوذ: کم، بارش بعد از عملیات کوددهی: بارشی وجود نداشت، ترکیب کود با خاک: مقداری از کود شیمیایی قبل از کشت با خاک ترکیب شد و زمان بین کوددهی و ترکیب کردن: زمان بین خالی کردن کود و ترکیب کردن یک روز بود.

انتشار N_2O

کشاورزی با سهم ۴۷ درصدی نقش مهمی در انتشار نیتروژن اکسید در جهان دارد. نزدیک ۸۰ درصد انتشار N_2O در رابطه با کودهای معدنی و آلی است. دو فرآیند نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون در خاک به این انتشار واکنش نشان می‌دهند.

دنیتریفیکاسیون N_2, N_2O, NO, NO_3, NO_2، نیتریفیکاسیون NH_4, N_2O, NO_3، محاسبه انتشار N_2O (Kroeze, 1999)

N_2O emission [kg N_2O-N×ha^{-1}] = 0.0125 × N application [kg N× ha^{-1}]

انتشار نیترات (NO_3)

نیترات از جمله عناصری است که قابلیت جذب بالایی توسط گیاهان دارد و اگر توسط گیاه

جذب نشود قابلیت آبشویی بالایی دارد. طبق برآورد کروزه (Kroeze, 1999) به‌طور متوسط و با توجه به شرایط ۱۴ درصد از کود مصرفی به‌صورت نیترات از دسترس خارج می‌شود.

آبشویی فسفر

آبشویی فسفات معمولاً به‌دو صورت رواناب سطحی و فرسایش خاک صورت می‌گیرد و به عواملی همچون نوع خاک، مقدار کود مصرفی و مقدار فرسایش خاک بستگی دارد.

آبشویی رواناب سطحی

$$Pro = Prol \times Fro$$

$$Fro = 1 + 0.2/80 \times P_2O_5min + 0.7/80 \times P_2O_5sl + 0.4/80 \times P_2O_5man$$

Pro مقدار فسفات ازدست‌رفته به‌وسیله رواناب، Prol متوسط مقدار فسفات از دست‌رفته در زمین‌های زراعی (۰/۱۷۵ کیلوگرم فسفات به ازای هر هکتار)، Fro فاکتورهای مربوط به کودها، min معدنی، sl محلول یا آبکی، man کود حیوانی، Fr فاکتورهای غنی‌سازی فسفات: به‌طور متوسط ۱/۸۶ و Ferw کسری از خاک فرسایش که به رودخانه می‌رسد (به‌طور متوسط ۰/۲).

آفت‌کش‌ها

تنوع استفاده از آفت‌کش‌ها و همچنین مقدار استفاده از آنها در کشت کلزا متفاوت بود. محاسبه انتشار آفت‌کش‌ها از روش پیشنهادی ون‌دن‌برگ و همکاران (van den Berg *et al.*, 1999) استفاده شد. بر اساس پیشنهاد آنها ۳۰-۵۰ درصد از آفت‌کش‌ها به هوا انتشار می‌یابد. فاکتورهای محاسبه انتشارات آفت‌کش‌ها شامل نوع آفت‌کش، شرایط محیطی، روش استفاده و مهارت استفاده از آن بستگی دارد (van den Berg *et al.*, 1999; Salyani and Cromwell, 1992). اسپری کردن و تصعید بعد از آن عامل اصلی انتشار آفت‌کش‌ها به هوا است.

الکتریسیته

در مطالعه حاضر کشاورزان برای پمپاژ کردن آب جهت آبیاری از برق استفاده می‌کردند. استفاده از برق در حقیقت باعث اثرات محیط زیستی می‌شود.

سوخت دیزلی

مصرف سوخت دیزل در موتور تراکتور و سایر ماشین‌آلات مربوطه، منجر به آزاد شدن برخی ترکیبات مضر به هوا می‌شود. فاکتورهای انتشار برای مصرف سوخت دیزل توسط آی.پی.سی.سی (Anonymus, 2006) و سهل و پوتینگ (Sahle and Potting, 2013) ارایه شده است. به ازای مصرف هر کیلوگرم سوخت دیزلی ۰/۱ گرم N_2O، ۰/۲ گرم CH_4، ۳۱۴۰ گرم CO_2، ۳۶ گرم CO، ۴۲ گرم NO_X به داخل هوا انتشار می‌یابد (Sahle and Potting, 2013).

ارزیابی اثر و طبقات اثر مورد مطالعه

در این مرحله ابتدا باید مشخص ساخت که کدام طبقات اثر لحاظ شوند و نیز برای ارزیابی تأثیر از چه روشی استفاده شود. در این مطالعه، همه پنج طبقه اثر موجود در روش مطرح شده است. این پنج طبقه اثر شامل پتانسیل سمیت برای انسان، پتانسیل سمیت برای آب‌های شیرین، پتانسیل سمیت برای آب‌های دریایی (آزاد)، پتانسیل سمیت برای اکوسیستم‌های خشکی (خاک) و پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی به‌منظور تعیین اثرات لحاظ گردید.

در این مطالعه برای ارزیابی اثر چرخه حیات از نرم‌افزار SimaPro 8.0.4.30 استفاده شد.

نرم‌افزار Simapro

برای ارزیابی اثرات در ارزیابی چرخه حیات بسته به نوع محصول روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی وجود دارد. یکی از کاربردی‌ترین و

جامع‌ترین این نرم‌افزارها سیماپرو است. سیماپرو شامل روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات است که جهت محاسبه نتـایج ارزیـــابی اثرات به‌کار می‌روند. در هر یک از روش‌ها، عوامل محیط زیستی خاصی مورد ارزیابی قرارگرفته‌اند. سیماپرو به‌عنوان ابزاری حرفه‌ای در تحلیل جنبه‌های محیط زیستی کالا یا خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. نرم‌افزار این عمل را به شیوه سیستماتیک و دایمی انجام می‌دهد، به‌نحوی‌که می‌توان بهترین راه‌حل‌ها جهت انجام پروژه را در اختیار گرفت. سیماپرو دارای چندین نسخه است و شامل مجموعه‌ای وسیع از اطلاعات و روش‌های ارزیابی اثرات است. نرم‌افزار این امکان را فراهم می‌آورد تا مدل‌های چرخه حیات برای محصولات (کالا و خدمات) ایجاد گردند (Goedkoop *et al.*, 2008).

در مطالعه حاضر از نسخه سیماپرو ۸,۰,۴,۳۰ استفاده شده است که دارای ۵۹ روش ارزیابی اثرات است. از این میان، تعداد ۱۴ روش ازجمله IMPACT 2002+ از کشورهای اروپایی، دو روش (BEES و ACTR 2) از آمریکای شمالی و چندین روش دیگر از جمله CML 2001 گردآوری شده‌اند. نرم‌افزار دارای تعداد زیادی پروژه است. یک پروژه شامل کلیه اطلاعاتی است که کاربر در بخش‌های مختلف آن اعم از گردآوری داده‌ها، مراحل تولید محصول و اطلاعات مربوط به ارزیابی اثرات وارد می‌کند. پروژه‌ها بر اساس کشورهای مختلف با در نظر گرفتن انتشارات مخصوص به خود جمع‌آوری گشته‌اند.

نتایج و بحث

در مرحله اول آنالیز چرخه حیات که تعریف اهداف و حوزه عمل تحقیق بود، یک واحد کارکردی نظام تولید کلزا معادل با یک تن دانه مشخص شد. سپس میزان نهاده‌های مصرفی و نوع عملیات به‌کار گرفته‌شده به ازای هر واحد کارکردی این نظام تولیدی تعیین شد. میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها به ازای تولید هر تن دانه کلزا در مزارع استان البرز در جدول ۱ (میانگین مصرف نهاده و انرژی و انتشارات به محیط در منطقه مورد مطالعه میباشد) ارایه شده است.

میزان نیتروژن، فسفات و پتاسیم مصرفی برای تولید هر تن دانه کلزا به‌ترتیب حدود ۸۴، ۶۳ و ۶۳ کیلوگرم برآورد شد (جدول ۱). میزان سوخت گازوئیل و انرژی الکتریسیته مصرفی نیز به‌ترتیب ۱۳۳/۵ لیتر و ۵۸۶ کیلووات محاسبه گردید. همچنین مشخص شد که به ازای تولید هر تن دانه کلزا در مزارع استان البرز حدود ۱۴۶۰ مترمکعب آب و ۶۰۰ گرم آفت‌کش مصرف می‌شود (جدول ۱). شیری و همکاران (Shiri *et al.*, 2018) نیز میزان مصرف نهاده‌های مختلف نظام تولید ذرت در شرایط آب و هوایی مغان شامل سوخت گازوئیل، کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم را به‌ترتیب حدود ۳۲ لیتر و ۲۵، ۱۹ و ۸ کیلوگرم به ازای هر تن دانه برآورد کردند. در مطالعه‌ای دیگر میزان مصرف نهاده‌های سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید یک تن بادام زمینی به‌ترتیب ۵۷ لیتر و ۱۶، ۷ و ۷ کیلوگرم گزارش شده است (Nikkhah *et al.*, 2015).

میزان انتشار نیترات و آفت‌کش‌ها به محیط حدود ۱۱/۶۹ و ۰/۱۸۹ کیلوگرم به ازای هر تن دانه کلزا برآورد گردید (جدول ۱). همچنین، میزان انتشار گازهای CO_2، CO، N_2O و NO_X به‌ترتیب حدود ۳۶۱، ۴/۱، ۱۱/۵ و ۴/۸ کیلوگرم به ازای تولید هر تن دانه کلزا بود (جدول ۱). میزان انتشار گاز CH_4 نیز ۲۳ گرم به ازای هر تن

دانه کلزا برآورد شد (جدول ۱). میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن برای نظام تولید ذرت در شرایط آب و هوایی مغان حدود ۰/۸ کیلوگرم به ازای تولید یک تن دانه برآورد شده است (Shiri *et al.*, 2018). میزان انتشار این گاز برای تولید هر تن گندم زمستانه در شرایط آب و هوایی آلمان حدود ۰/۲۱ کیلوگرم گزارش شده است (Brentrup *et al.*, 2004a).

پتانسیل مسمویت انسانی

طبق نتایج بررسی‌ها (جدول ۲) آلاینده‌های منتشر شده برای برداشت یک تن کلزا به‌میزان ۸۸۱/۶۳ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن بر شاخص پتانسیل مسمومیت انسانی اثرگذار بوده است (Brentrup *et al.*, 2004b). بیشترین سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص مسمومیت انسانی مربوط به کود نیتروژن با ۳۱/۱۵ درصد بود (شکل ۱). پس از کود نیتروژن، نهاده‌های الکتریسیته، کود فسفات و پتاس به‌ترتیب با سهم نسبی ۲۲/۸۹، ۲۱/۹۶ و ۱۸/۰۷ درصد بیشترین سهم نسبی در شاخص مسمومیت انسانی را داشتند (شکل ۱). بنابراین در مورد اثر مسمویت انسانی بیشترین تاثیر مربوط به کودهای نیتروژن‌دار و انرژی الکتریکی می‌باشد که از طریق آزاد نمودن یون‌های NO_X و N_2O و انتشار آنها به محیط بیشترین تاثیرات زیست محیطی را برجای می‌گذارد. از آنجا که بالاترین میزان انتشار آمونیاک در اکوسیستم‌های مختلف زراعی بعد از مصرف کودهای نیتروژن‌دار رخ می‌دهد، بنابراین افزایش مصرف کودهای نیتروژن، می‌تواند افزایش انتشار گازهای آلاینده را به دنبال داشته باشد (Brentrup *et al.*, 2000; Brentrup *et al.*, 2004a; 2004b).

مواد انتشار یافته از مصرف سوخت‌های فسیلی، ساخت و کاربرد سموم شیمیایی مهم‌ترین عوامل ایجاد سمیت برای انسان محسوب می‌شوند. بروز سمیت برای محیط‌های آبی و خشکی نیز بیش از هر عاملی ناشی از تولید و مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشند به‌طوری‌که ۵۱ تا ۶۸ درصد از این دو نوع سمیت تنها مربوط به ساخت و کاربرد کودهای شیمیایی است (Anonymus, 2003) و به همین دلیل افزایش سطح مصرف نهاده‌ها باعث افزایش سمیت اکولوژیکی در بوم نظام‌های زراعی می‌شود.

نتایج چارلز و همکاران (Charles *et al.*, 2006) نیز حاکی از آن است که هر سه نوع سمیت اکولوژیکی بسته به سطح مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که با دو برابر شدن کاربرد کودهای نیتروژنی در گندم سمیت برای انسان، سمیت برای محیط آبی و سمیت برای خشکی (خاک) در واحد کارکردی هکتار به‌ترتیب ۱۰۰، ۵۰ و ۲۳۰ درصد بیشتر شد. فتحی و همکاران (Fathi *et al.*, 2019) در ارزیابی اثرات زیست محیطی زراعت دیم کلزا در استان ایلام گزارش کردند که پتانسیل مسمومیت انسانی برای تولید یک تن دانه کلزا حدود ۱۸۶ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن بود.

پتانسیل مسمومیت آب‌های شیرین

طبق بررسی‌ها، آلاینده‌های منتشر شده برای برداشت یک تن کلزا به‌میزان ۲۸۸/۶۷ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن بر شاخص پتانسیل مسمومیت آب‌های شیرین اثرگذار بوده است (جدول ۲). بیشترین سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص مسمومیت آب‌های شیرین مربوط به کود فسفات با ۳۳/۰۲ درصد بود (شکل ۲). پس از کود فسفات، نهاده‌های کود نیتروژن، کود پتاس و

الکتریسیته به‌ترتیب با سهم نسبی ۲۵/۵۹، ۲۲/۵۵ و ۱۴/۹۲ درصد بیشترین سهم نسبی در شاخص مسمومیت آب‌های شیرین را داشتند (شکل ۲). در مورد سمیت آب‌های شیرین بیشترین تاثیر مربوط به کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات و پتاسیم) که به روش‌های آبشویی همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها تشریح گردید باعث ایجاد سمیت در آب‌های شیرین گردیده و موجب انتشار به محیط می‌گردد. استفاده بی‌رویه و غیراستاندارد از کودهای شیمیایی باعث آزاد شدن و انتشار یون‌های خطرناک به منابع آب‌های شیرین گردیده که موجبات سمیت آب‌های شیرین می‌گردد. سیاوشی و دستان (Siavoshi and Dastan.2019) نیز با بررسی چرخه حیات تولید گندم آبی در منطقه بوشهر گزارش کردند که با افزایش مصرف کود نیتروژن از ۷۰ به ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار، میزان مسمومیت آب‌های شیرین از ۵۳ به ۸۵ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی‌کلروبنزن رسید. پتانسیل مسمومیت آب‌های سطحی به ازای تولید هر تن دانه کلزا در شرایط دیم حدود ۳۴ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن گزارش شده است (Fathi *et al.*, 2019).

پتانسیل سمیت خشکی (مسمومیت خاک)

نتایج نشان داد که آلاینده‌های منتشر شده برای برداشت یک تن کلزا به‌میزان ۷/۰۸ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن بر شاخص پتانسیل مسمومیت خاک اثرگذار بوده است (جدول ۲). بیشترین سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص مسمومیت خاک (خشکی) مربوط به کود نیتروژن با ۲۸/۷۱ درصد بود (شکل ۳). پس از کود نیتروژن، نهاده‌های آفت‌کش‌ها، الکتریسیته و کود فسفات به‌ترتیب با سهم نسبی ۱۸/۵۶، ۱۶/۸۱ و ۱۵/۵۳ درصد بیشترین سهم نسبی را در شاخص مسمومیت خاک داشتند (شکل ۳). سمی شدن اکوسیستم‌های خشکی به‌عوامل گوناگون و متعددی از جمله آزاد شدن یون‌های خاصی که از کودهای شیمیایی و همچنین آفت کش‌های شیمیایی می‌باشد که باعث آزاد شدن و رها شدن ترکیبات خاصی از جمله دی‌اکسید کربن، متان و دی‌اکسید نیتروز به محیط می‌گردد (Shiri *et al.*, 2018). فتحی و همکاران (Fathi *et al.*, 2019) نیز با بررسی اثرات زیست محیطی تولید کلزا در شرایط دیم استان ایلام گزارش کردند که پتانسیل مسمومیت خاک به ازای تولید هر تن دانه کلزا، ۱۰/۶۹ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی‌کلروبنزن می‌باشد.

پتانسیل مسمویت آب‌های دریایی (آب‌های آزاد)

طبق نتایج بررسی‌ها، آلاینده‌های منتشرشده برای برداشت یک تن کلزا به میزان ۶۱۸۵۱۵ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن بر شاخص پتانسیل مسمومیت آب‌های آزاد اثرگذار بوده است (جدول ۲). حداکثر سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص مسمومیت آب‌های آزاد مربوط به کود فسفات با ۲۸/۲۵ درصد بود (شکل ۴). پس از کود فسفات، نهاده‌های کود نیتروژن، الکتریسیته و کود پتاس به‌ترتیب با سهم نسبی ۲۶/۲۵، ۲۲/۸۲ و ۱۸/۴۶ درصد بیشترین سهم نسبی در شاخص مسمومیت آب‌های آزاد را داشتند (شکل ۴). سمی شدن آب‌های دریایی نیز بیشتر با کودهای شیمیایی از جمله کود فسفات می‌باشد که از طریق آبشویی همان‌گونه که قبلا بیان گردید سبب آزاد شدن ترکیبات و یون‌های خاص و انتشار آنها به منابع آب‌های سطحی و انتقال آنها به آب‌های رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و دریاها می‌گردد و باعث بروز خطرات حیاتی برای گونه‌های آبزی

می‌شود. در مطالعه‌ای مشابه میزان مصرف نهاده‌های سوخت، کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید یک تن بادام زمینی به ترتیب ۵۷ لیتر، ۱۶، ۷ و ۷ کیلوگرم گزارش شد (Nikkhah *et al*., 2015). مصرف کودهای شیمیایی، علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید و کاهش منابع تجدیدناپذیر انتشار آلاینده‌ها را نیز به دنبال دارند که این آلاینده‌ها در قالب گروه‌های مختلف تأثیر اثرات سوء زیست محیطی مختلفی بر جای می‌گذارند (Babaei *et al*., 2012). پتانسیل مسمومیت آب‌های آزاد به ازای تولید هر تن دانه کلزا در شرایط دیم حدود ۳۵۶۷۶ کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن گزارش شده است (Fathi *et al*., 2019).

پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی

در این مطالعه، شاخص اکسیداسیون فتوشیمیایی برای برداشت یک تن کلزا حدود ۰/۴۲۸ کیلوگرم معادل اتیلن برآورد گردید (جدول ۲). بیشترین سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص اکسیداسیون فتوشیمیایی مربوط به کود نیتروژن با ۱۷/۵۶ درصد بود (شکل ۵). پس از کود اوره، نهاده‌های کود فسفات، الکتریسیته و سوخت دیزلی به‌ترتیب با سهم نسبی ۱۶/۰۶، ۱۲/۰۷ و ۱۱/۳۲ درصد بیشترین سهم نسبی در شاخص اکسیداسیون فتوشیمیایی را داشتند (شکل ۵). پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی به طور عمده ناشی از تشکیل اوزون در لایه‌های تحتانی اتمسفر است. مقدار تولید اوزون تحت تأثیر غلظت NO_X، ترکیبات آلی فرار، منواکسیدکربن و متان می‌باشد که شرایط محیطی مثل دما، تشعشع و جریانات همرفتی بر آن اثر می‌گذارد (Bare *et al*., 2003). ایریارت و همکاران (Iriarte *et al*., 2010). مقدار اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی برای تولید هر تن کلزا و آفتابگردان را معادل ۱/۱ و ۲۴ کیلوگرم معادل اتیلن برآورد کردند. فتحی و همکاران (Fathi *et al*., 2019) نیز شاخص اکسیداسیون فتوشیمیایی برای برداشت یک تن کلزا در شرایط دیم استان ایلام را حدود ۰/۰۷ کیلوگرم معادل اتیلن برآورد کردند. سیاوشی و دستان (Siavoshi and Dastan, 2019) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق ارزیابی چرخه زندگی و اثرات زیست محیطی تولید کلزا در استان البرز، جهت ارزیابی و مقایسه از نظر اثرات زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در فرایند تولید کلزا به‌طورکلی کودهای شیمیایی به خصوص نیتروژن و فسفات بیشترین اثر را بر مسمویت انسان، خاک و آب‌های شیرین و آزاد داشتند و در صورت مدیریت مصرف کودهای شیمیایی، تا حد زیادی امکان کاهش آلایندگی در زراعت کلزا وجود دارد. نتایج این تحقیق می‌تواند برای کاهش اثرات زیست محیطی در تولید کلزا از طریق کاهش و بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها از جمله سوخت، کود، بهبود روش‌های آبیاری، افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱- میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها در نظام تولید کلزا (به ازای یک تن دانه)

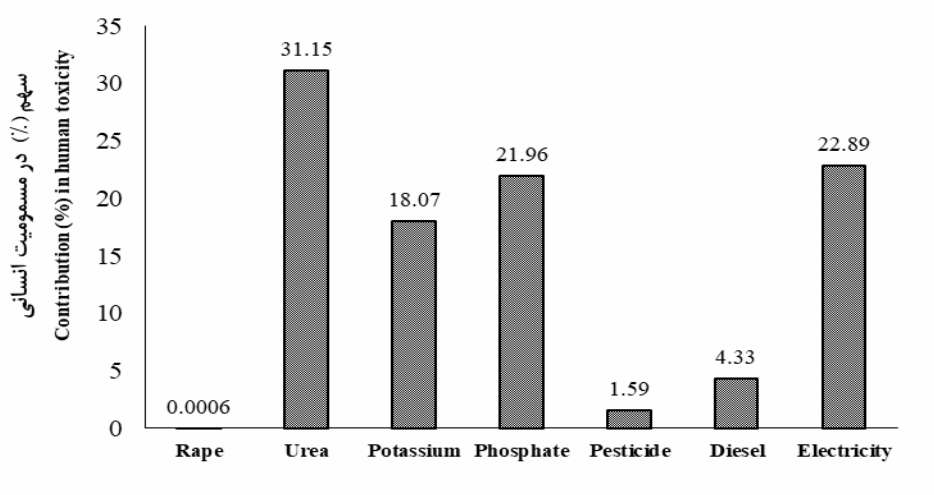
Table 1- The rate of inputs and outputs in canola production systems (per ton of grain)

	ورودی/خروجی Input\output	واحد Unit	میانگین Mean
	آبیاری Irrigation	مترمکعب m^3	1458.5
کود شیمیایی Fertilizer	نیتروژن Nitrogen	کیلوگرم kg	83.5
	فسفات Phosphate	کیلوگرم kg	62.5
	پتاسیم Potassium	کیلوگرم kg	62.5
	آفت‌کش‌ها Pesticides	کیلوگرم kg	0.63
	سوخت گازوئیل Fossil fuel	لیتر L	133.5
	الکتریسیته Electrical energy	کیلووات kW	586
انتشارها Inventories	نیترات Nitrate	کیلوگرم kg	11.69
	آفت‌کش‌ها Pesticides	کیلوگرم kg	0.189
	CH_4	گرم g	23
	CO_2	کیلوگرم kg	361.1
	CO	کیلوگرم kg	4.14
	N_2O	کیلوگرم kg	11.5
	NO_X	کیلوگرم kg	4.83

جدول ۲- شاخص‌های زیست‌محیطی تولید یک تن کلزا

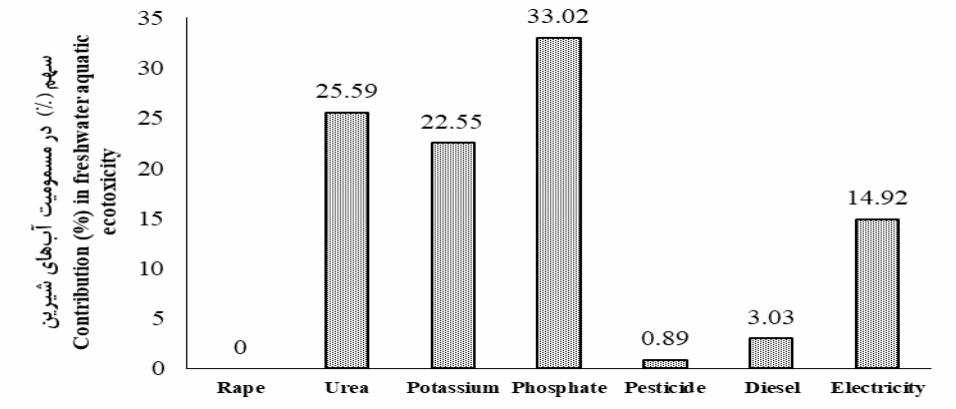
Table 2- Environmental impacts for production of one ton of canola

بخش‌های اثر Impact categories	واحد Unit	میانگین Mean
مسمومیت انسانی Human toxicity	کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن kg 1,4-Dichlorobenzene eq.	881.626
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	کیلوگرم معادل اتیلن kg C_2H_4 eq.	0.42781
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن kg 1,4-Dichlorobenzene eq.	7.0793
مسمومیت آب‌های شیرین Freshwater aquatic ecotoxicity	کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن kg 1,4-Dichlorobenzene eq.	288.665
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic ecotoxicity	کیلوگرم معادل ۱ و ۴- دی کلرو بنزن kg 1,4-Dichlorobenzene eq.	618515.14



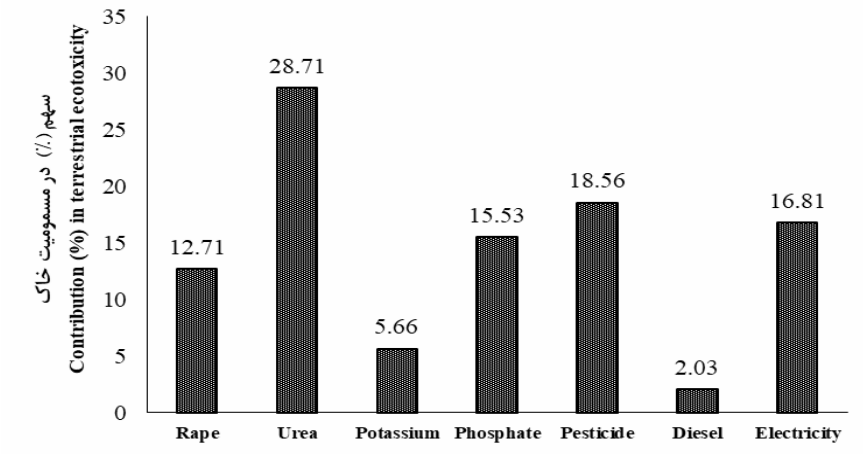
شکل ۱- سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص مسمومیت انسانی

Figure 1- The relative contribution of inputs in human toxicity



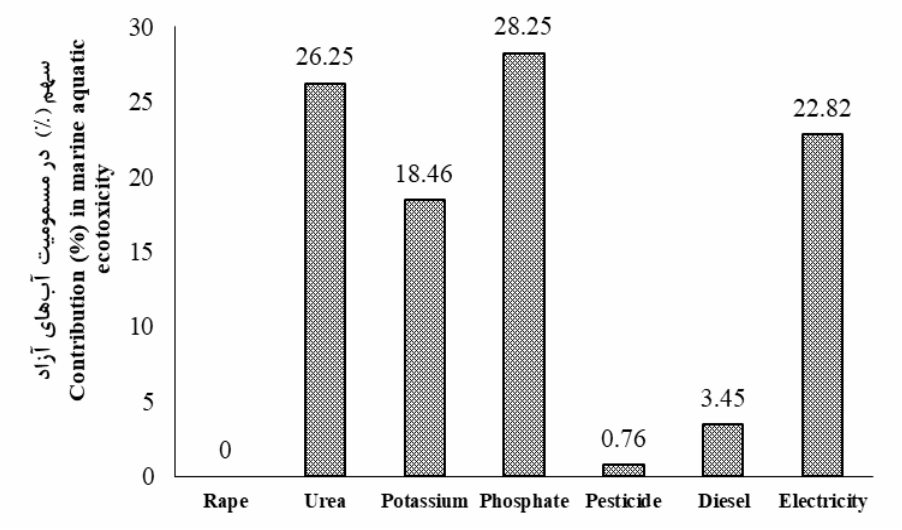
شکل ۲- سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص مسمومیت آب‌های شیرین

Figure 2- The relative contribution of inputs in freshwater aquatic ecotoxicity



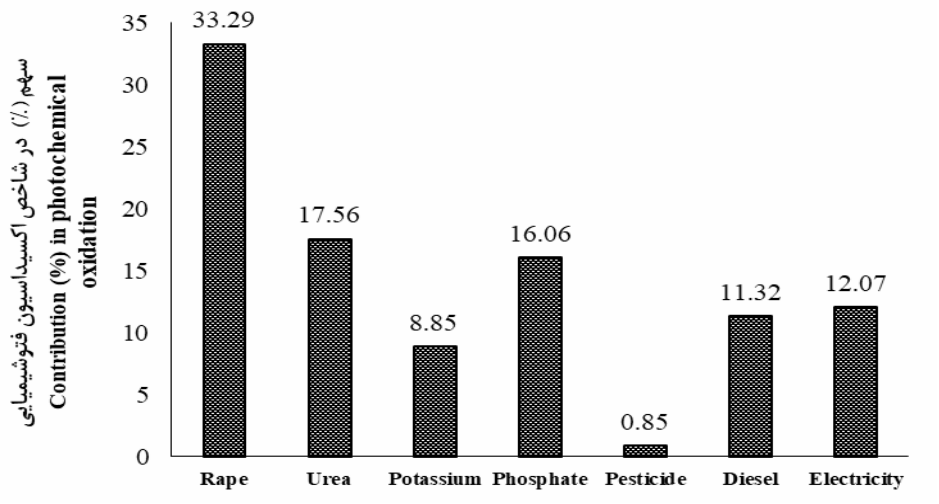
شکل ۳- سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص مسمومیت خاک

Figure 3- The relative contribution of inputs in terrestrial ecotoxicity



شکل ۴- سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص مسمومیت آب‌های آزاد

Figure 4- The relative contribution of inputs in marine aquatic ecotoxicity



شکل ۵- سهم نسبی نهاده‌ها در شاخص اکسیداسیون فتوشیمیایی

Figure 5- The relative contribution of inputs in photochemical oxidation

References منابع مورد استفاده

- Abeliotis, K., V. Detsis, and C. Pappia. 2013. Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece. *Journal of Cleaner Production*. 41: 89-96.
- Anonymus. 2003. NRMRL, National risk management research laboratory, tools for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts (TRACI): user's guide and system documentation. EPA/600/R-02/052. Ohio, United States, Environmental Protection Agency.
- Anonymus. 2006. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Cropland. In: Eggleston, H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Vol. 4. Hayama, Japan: National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Chapter 5.
- Anonymus. 2006. ISO 14040. Environmental management–life cycle assessment–principles and framework. British Standards Institution. London, UK.
- Babaei, M., M.R. Ardakani, F. Rejali, A.H. Shirani Rad, F. Golzardi, and S. Mafakheri. 2012. Response of agronomical traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to co-inoculation with *Glomus intraradices* and *Pseudomonas fluorescens* under different phosphorus levels. *Annals of Biological Research*. 3(8): 4195-4199.
- Baghdadi, A., M. Balazadeh, A. Kashani, F. Golzardi, M. Gholamhoseini, and M. Mehrnia. 2017. Effect of pre-sowing and nitrogen application on forage quality of silage corn. *Agronomy Research*. 15(1): 11-23.
- Bare, J.C., G.A. Norris, D.W. Pennington, and T. McKone. 2003. TRACI: The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. *Journal of Industrial Ecology*. 6: 49-78
- Bouwman, A. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Soils and the Greenhouse Effect. John Wiley and Sons: New York, USA, pp: 61–128.
- Brentrup F., J. Küsters, H. Kuhlmann, and J. Lammel. 2004a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*. 20: 247-264.
- Brentrup, F., J. Küsters, H. Kuhlmann, and J. Lammel. 2001. Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizers. *European Journal of Agronomy*. 14: 221-332.
- Brentrup, F., J. Küsters, J. Lammel, and H. Kuhlmann. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 5: 349-357.
- Brentrup, F., J. Küsters, J. Lammel, P. Barraclough, and H. Kuhlmann. 2004b. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*. 20: 265-279.

- Charles, R., O. Jolliet, and D. Gaillard Gand Pellet. 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 113: 216-225
- Choobin, S., B. Hosseinzadeh Samani, and Z. Esmaeili. 2016. Life-cycle assessment of environmental effects on rapeseed production. *Journal of Renewable Energy and Environment.* 3(4): 10-19.
- Eggleston, H., S. Buendia, L. Miwa, K. Ngara, and T. Tanabe. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programmed. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Hayama, Japan. pp: 3-74.
- Fathi, R., K. Kheiralipour, and A. Azizpanah. 2019. Assessment of the pattern of energy consumption in dryland rape production and its environmental effects in Ilam province. *Energy Economics Review*. 15: 155-179. (In Persian).
- Ghadirianfar, M. 2013. Evaluation of life cycle of ethanol produced from sugarcane molasses, energy cycle and environmental effects in Iran. Ph.D. Thesis in Agricultural Mechanization Engineering. University of Tehran. (In Persian).
- Goedkoop, M., A. De Schryver, M. Oele, S. Durksz, and D. De Roest. 2008. Introduction to LCA with SimaPro 7, PRé Consultants. California, USA. pp: 1-80
- Hammond, A.L., E. Rodenburg, and W. Moomaw. 1990. Accountability in the greenhouse. *Nature*. 347: 705-706.
- Iriarte, A., J. Rieradevall, and X. Gabarrell. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production*. 18(4): 336-345.
- Isermann, K. 1990. Share of agriculture in nitrogen and phosphorus emissions into the surface waters of Western Europe against the background of their eutrophication. *Fertilizer Research*. 26: 253-269.
- Kaab, A., M. Sharifi, and H. Mobli. 2021. Life cycle assessment and estimation of environmental pollutant emissions in sugarcane production (*Saccharum officinarum* L.) using artificial neural network. Agroecology. 12(1): 87-106. (In Persian).
- Khair Alipour, K., H. Jafari Samarbon, and M. Soleimani. 2017. Determining the environmental effects of rapeseed production by life cycle assessment method, case study: Ardabil province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering.* 48(4): 517-526. (In Persian).
- Khoshnevisan, B., E. Bolandnazar, S. Shamshirband, H. Motamed, N. Badrul, L. Mat, M.L.M. Kiah. 2015**.** Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*. 86: 67–77.
- Khoshnevisan, B., M.A. Rajaeifar, S. Clark, S. Shamahirband, N.B. Anuar, N.L.M. Shuib, and A. Gani. 2014. Evaluation of traditional and consolidated rice farms in Guilan Province, Iran, using life cycle assessment and fuzzy modeling. *Science of the Total Environment*. 481: 242-251.

- Kongshaug, G. 1998. Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, 28 September-1 October, 1998, 18 pp.
- Kroeze, C., A. Mosier, and L. Bouwman. 1999. Closing the global N_2O budget: A retrospective analysis 1500-1994. *Global Biogeochemical Cycles*. 13(1): 1-8.
- Liang, S., M. Xu, and T. Zhang. 2013. Life cycle assessment of biodiesel production in China. *Bioresource Technology*. 129: 72-77.
- Liebig, M., J. Morgan, J. Reeder, B. Ellert, H. Gollany, and G. Schuman. 2005. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural practices in northwestern USA and western Canada. *Soil and Tillage Research*. 83: 25-52.
- Nasiri, M., and A.R. Kouchaki. 2015. Life cycle assessment in the ecosystem of wheat production systems (*Triticum aestivum* L.) comparison of input consumption levels. *Journal of Agroecology*. 9(4):45-56. (In Persian).
- Nazari, Sh., M.A. Aboutalebian, and F. Golzardi. 2017. Seed priming improves seedling emergence time, root characteristics and yield of canola in the conditions of late sowing. *Agronomy Research*. 15(2): 501-514.
- Nemecek, T., A. Heil, O. Huguenin, S. Meier, S. Erzinger, S. Blaser, D. Dux, and A. Zimmermann. 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems. Final Report Ecoinvent. Ecoinvent center. pp: 1-295. Zürich and Dübendorf, Swiss.
- Nikkhah, A., M. Khojastehpour, B. Emadi, A. Taheri-Rad., and S. Khorramdel. 2015. Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*. 92(1): 84-90.
- Rafiee, S., S.H.M. Avval, and A. Mohammadi. 2010**.** Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*. 35(8): 3301–3306.
- Rajaeifar, M.A., B. Ghobadian, M.D. Heidari, and E. Fayyazi. 2013. Energy consumption and greenhouse gas emissions of biodiesel production from rapeseed in Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 5(6): 063134.
- Sahle, A., and J. Potting. 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the Total Environment*. 443: 163-172.
- Salyani, M., and R.P. Cromwell. 1992. Spray drift from ground and aerial applications. *Transactions of the ASAE*. 35: 1113-1120.
- Shiri, M., R. Ataei, and F. Golzardi. 2018. Life cycle assessment (LCA) for a maize production system under Moghan climatic conditions. *Environmental Sciences*. 16(1): 191-206. (In Persian).
- Siavoshi, M., and S. Dastan. 2019. Life cycle assessment of irrigated wheat production under the effects of nitrogen amounts and splitting its use in Boushehr region. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(3): 461-484. (In Persian).
- van den Berg, F., R. Kubiak, W.G. Benjey, M.S. Majewski, S.R. Yates, G.L. Reeves, J.H. Smelt, and A.M.A. Van der Linden. 1999. Emission of pesticides into the air. *Water, Air and Soil Pollution*. 115: 195-218.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1912008.1723

Life Cycle Assessment and Environmental Effects of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Production in Alborz Province

Shahram Khosravi Bami[1], Mohammad Reza Ardakani[2]*, Abdolmajid Mahdavi Damghani[3], Amir Hossein Shirani Rad[4] and Parisa Nejatkhah Manavi[1]

Received: October 2020 , Revised: 26 October 2020, Accepted: 1 November 2021

Abstract

In recent years, growing awareness of environmental problems, particularly global warming, has raised concerns about the impact of greenhouse gas emissions on the global atmosphere. More life cycle assessments are used to assess and compare the environmental impacts of energy production and the economic aspects of producing a product worldwide. The aim of this study was to evaluate and analyze the environmental effects of canola production in terms of life cycle assessment (LCA) using SimaPro software with the aim of focusing on environmental impacts. In order to perform the experiments, one ton of rapeseed was used as the operational unit. Required data were collected from 30 farms in Alborz province. The results indicated that the potential of human toxicity, terrestrial ecotoxicity, freshwater aquatic ecotoxicity, and arine aquatic ecotoxicity per ton of rapeseed production were 881.63, 7.08, 288.67, and 618515.14 kg 1,4-dichlorobenzene equal (1,4-DB eq.), respectively, and photochemical oxidation potential was 0.43 kg C_2H_4 eq. The amount of nitrogen, phosphate and potassium used to produce each ton of rapeseed was about 84, 63 and 63 kg, respectively, and the amount of diesel fuel and electrical energy were estimated at 133.5 liters and 586 kW, respectively. Also, the CO_2, CO, N_2O and NO_X emissions were about 361, 4.1, 11.5 and 4.8 kg per ton of rapeseed, respectively. It was also found that chemical fertilizers had the largest contribution among the evaluated inputs in the canola life cycle. As a whole, this study showed that the management of nutrients and pesticides can be considered as a strong point for optimizing the environmental impact of rapeseed production.

Key words: Environmental index, Global warming, Human toxicity, Photochemical oxidation, Terrestrial and aquatic ecotoxicity.

1- Department of Agronomy, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
3- Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
4- Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), 31359-33151, Karaj, Iran.
**Corresponding Author: mreza.ardakani@gmail.com*