مهندسی بیوسیستم ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۴ (ص ۲۷۴-۲۶۵)

ارزیابی چرخهٔ زندگی انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی تولید کلزا در استان مازندران با دو رویکرد متفاوت

سیدهاشم موسوی اول[1*]، شاهین رفیعی[2]، محمد شریفی[3] و سلیمان حسین‌پور[4]

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳، ۴. استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۴ - تاریخ تصویب:۱۳۹۴/۲/۱)

چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی چرخهٔ زندگی تولید کلزا در استان مازندران و تعیین میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی با استفاده از ضرایب متناظر است. اطلاعات لازم ازطریق مصاحبهٔ حضوری با کشاورزان در شهرستان‌های ساری، نکا، و بهشهر به‌دست آمد. به‌منظور تعیین تأثیرات زیست‌محیطی از مدل +Impact 2002 استفاده شد و با توجه به ضرایب مربوط، شاخص کلی انتشار آلاینده‌ها برای تولید کلزا محاسبه شد. در تحقیقات قبلی ارزیابی چرخهٔ زندگی محصولات با نرم‌افزار سیماپرو و یا با استفاده از ضرایب انجام شده است و فقط تعداد محدودی از شاخص‌های انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی برآورد شده است. با توجه به محدودیت استفاده از نرم‌افزار سیماپرو، در این تحقیق با استفاده از ضرایب، تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی محاسبه و چرخهٔ زندگی تولید کلزا به‌طور کامل ارزیابی شده است. ارزیابی دو روش استفاده از نرم‌افزار و به‌کارگیری ضرایب نشان داد نتایج کاملاً یکسان است.

کلیدواژگان: ارزیابی چرخهٔ زندگی، انرژی، شاخص زیست‌محیطی، ضریب، کلزا.

مقدمه

کشاورزی فرایند تبدیل انرژی است. در این فرایند انرژی خورشید، فراورده‌های سوخت‌های فسیلی، و الکتریسیته به غذا و الیاف لازم انسان تبدیل می‌شود. در کشاورزی اولیه که تنها متکی بر نیروی انسانی و خورشید بود کمی بیش از آن‌چه کشت می‌شد به‌عنوان محصول برداشت می‌شد. تأمین غذا و نیازهای جمعیت روزافزون جامعهٔ بشری نیاز به سرمایه‌گذاری بیش‌تری در زمینهٔ انرژی به‌عنوان یک نهاده داشته است، به‌نحوی که طی قرن‌ها، نیروی حیوان‌ها به خدمت گرفته شد و کمی بعد بشر با کنترل‌کردن نیروی آب و باد، آن‌ها را جایگزین نیروی حیوان کرد. با این تغییرها ضمن آزادشدن وقت و انرژی بیشتری از انسان، نیروی بیش‌تر و ارزان‌تری به نسبت گذشته در اختیار او قرارگرفت.

در سال‌های اخیر با گسترش آگاهی‌ها در زمینهٔ مسئلهٔ گرمایش زمین، نگرانی در زمینهٔ تأثیر انتشار کربن بر اقلیم جهانی افزایش یافته است و در زمان حاضر محیط‌زیست از مؤلفه‌های اصلی در سیاست‌های کلان جهانی بوده و بسیاری از مؤلفه‌های دیگر را تحت‌تأثیر قرار داده است. به همین دلیل مهمترین عامل و پیش‌نیاز بسیاری از فعالیت‌ها در سطح کلان، سازگاری با محیط‌زیست است. آلودگی‌های زیست‌محیطی از مهم‌ترین چالش‌های جامعهٔ انسانی در قرن حاضر است (OECD,2001). ارزیابی چرخهٔ زندگی (LCA) ابزاری برای تجزیه و تحلیل تأثیرات زیست‌محیطی محصولات در همهٔ مراحل چرخهٔ زندگی آن‌ها – از استخراج منابع تا تولید مواد، تولید قطعات، و تولید نهایی محصول و استفاده از محصول تا مدیریت پس از دفع آن شامل بازیافت، استفادهٔ مجدد، و دفع نهایی- (به عبارت دیگر رویکرد گهواره تا گور) است. در سال‌های اخیر ارزیابی چرخهٔ زندگی به ابزار مناسبی برای بررسی و تعیین میزان تأثیرات زیست‌محیطی در تولیدات کشاورزی و صنایع غذایی تبدیل شده است به‌طوری که در بسیاری از کشورها از آن به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی‌های زراعی استفاده می‌کنند. ارزیابی چرخهٔ زندگی روشی است برای تعیین تمام تأثیرات محیطی مرتبط با یک محصول، فرایند یا خدمات و تمام آلاینده‌های منتشرشده، و مواد زائد رهاشده به طبیعت (Rebitzer *et al.*, 2004). در طول قرن گذشته از این شیوه بیشتر در زمینه‌های صنعتی استفاده می‌شد اما امروزه اکثر محققان از آن به‌طور گسترده برای تعیین تأثیرات محصولات، فرایندها، و خدمات روی محیط‌زیست

* نویسنده مسئول: sh.mousavi@ut.ac.ir

استفاده می‌کنند (Ekvall, 1999; Harding *et al.*, 2008; Hart *et al.*, 2005).

در مطالعه‌ای چرخهٔ زندگی چند محصول گلخانه‌ای شامل فلفل، هندوانه، و گوجه‌فرنگی در کشور ایتالیا بررسی شد. این مطالعه شامل مراحل استخراج مواد اولیه، تولید نهاده‌ها، تولید محصول، حمل‌ونقل، و بسته‌بندی بود. ارزیابی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بیشترین آلایندگی‌ها به دو عامل نوع بسته‌بندی و ساختار گلخانه‌ها وابسته است. افزون بر آن گلخانه‌هایی که نیاز به سیستم گرمایش نداشتند دارای تأثیرات زیست‌محیطی بهتری بوده‌اند (Cellura *et al.*, 2012).

مطالعات مشابه دیگری نیز در زمینهٔ ارزیابی تولیدات کشاورزی با رویکرد ارزیابی چرخهٔ زندگی صورت گرفته است. از آن جمله می‌توان به ارزیابی شیوه‌های مرسوم و ارگانیک تولید شیر در سوئیس (Cederberg and Mattsson, 2000)، ارزیابی چرخهٔ زندگی تولید شیر در هلند (Thomassen *et al.*, 2008)، و همچنین به مطالعهٔ ارزیابی چرخهٔ زندگی کشت سیب‌زمینی در ایران (Khoshnevisan *et al.*, 2013) اشاره کرد.

در مطالعهٔ دیگری تأثیرات جایگزینی کود دامی به‌جای کودهای شیمیایی در تولید دو محصول برنج و بادام‌زمینی در کشور هند بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفادهٔ بیش از حد از کودهای شیمیایی در طی دوران انقلاب سبز در هند، در کنار تحمیل بار مالی سنگین بر بودجهٔ دولت، خساراتی را به کیفیت خاک وارد کرده است. بنابراین این تکنولوژی برای توسعهٔ بخش کشاورزی مناسب نیست و جایگزینی آن با کودهای دامی پیشنهاد شده است. در این پژوهش، آثار احتمالی این جایگزینی بر درآمد زارعان دو محصول برنج و بادام‌زمینی بررسی شده است. تأکید این پژوهش بر منافع زیست‌محیطی این جایگزینی در تکنولوژی کشاورزی همراه با درنظرداشتن اهمیت پایداری سطوح عملکرد محصولات و حفظ درآمد زارعان است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که امکان این جایگزینی در صورتی وجود خواهد داشت که همراه با جبران زیان‌های زارعان توسط دولت باشد و قیمت کودهای دامی ازطریق تشویق یک بازار پویای کودهای دامی کنترل شود (Ghosh, 2004).

با توجه به اینکه تاکنون تحقیق جامعی در زمینهٔ تحلیل تأثیرات زیست‌محیطی تولید کلزا در داخل و خارج کشور صورت نگرفته است، هدف از این تحقیق ارزیابی چرخهٔ زندگی تولید کلزا و تعیین میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی با استفاده از ضرایب متناظر است. در تحقیقاتی که تاکنون در این زمینه صورت گرفته است ارزیابی چرخهٔ زندگی محصولات با نرم‌افزار سیماپرو انجام شده است و یا با استفاده از ضرایب، فقط تعداد محدودی از شاخص‌های انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی برآورد شده است. با توجه به محدودیت استفاده از نرم‌افزار سیماپرو، در این تحقیق با استفاده از ضرایب، تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی محاسبه می‌شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، شهرستان‌های بهشهر، نکا، و ساری با توجه به اینکه سهم بیشتری از تولید کلزا در استان مازندران را به‌خود اختصاص داده‌اند، به‌عنوان مناطق مطالعه‌شده انتخاب می‌شوند. داده‌های لازم ازطریق پرسش‌نامه و مصاحبهٔ حضوری جمع‌آوری شد. نهاده‌های استفاده‌شده در تولید دانهٔ روغنی کلزا در منطقهٔ مورد نظر شامل نیروی کارگری، ماشین‌ها (کمباین، تراکتور، و سایر ماشین‌های مزرعه‌ای)، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات، پتاسیم، و گوگرد)، کود دامی، سموم شیمیایی (علف‌کش، حشره‌کش، و قارچ‌کش)، و بذر است. از طرف دیگر ستانده‌ها شامل بذر کلزا و همچنین کلش بود.

شاخص‌های انرژی

برای ارزیابی انرژی مصرفی و تولیدی در تولید کلزا از هم‌ارزهای انرژی استفاده شد که بیان‌کنندهٔ میزان محتوای انرژی نهاده یا ستاده است (جدول ۱).

شاخص‌های انرژی ابزاری هستند که امکان مطالعه و مقایسهٔ سیستم‌ها با یکدیگر را ارائه می‌دهند. سه شاخص مهم انرژی وجود دارد که امکان ارائهٔ شناختی جامع از وضعیت انرژی در کشاورزی و مقایسهٔ بازدهی انرژی در تولید محصولات گوناگون با یکدیگر را ارائه می‌دهد. نسبت انرژی بیانگر نسبت بین کالری گرمایی محصولات خروجی و کل انرژی صرف‌شده در عوامل تولید است. این شاخص فاقد واحد است و مقدار انرژی به‌دست‌آمده به‌ازای هر واحد مصرف انرژی برای تولید را نشان می‌دهد. شدت انرژی نشان‌دهندهٔ مصرف انرژی برای تولید یک واحد از محصول است. این شاخص بسته به نوع محصول کشاورزی، موقعیت، و زمان متفاوت است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سامانه‌های گوناگون تولید مورد نظر باشد. بهره‌وری انرژی (kg/MJ) عکس شدت انرژی است و از تقسیم مقدار محصول تولیدشده بر انرژی مصرف‌شده به‌دست می‌آید و درحقیقت، بیان‌کنندهٔ مقدار تولید محصول به‌ازای هر واحد انرژی مصرف‌شده است. افزودهٔ خالص انرژی یا انرژی خالص، تفاضل بین انرژی ناخالص تولیدشده و کل انرژی لازم برای تولید است. در این تحقیق واحد افزودهٔ خالص انرژی مگاژول بر هکتار است.

جدول ۱. محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید کلزا

مشخصات	واحد	محتوای انرژی (MJ/Unit)	مرجع
نهاده‌ها			
نیروی کارگری	h	۱٫۹۶	(Bozoglu and Ceyhan, 2009)
ماشین‌ها	kg		
تراکتور		۹۳٫۶۱	(Canakci *et al.*, 2005)
کمباین خودگردان		۸۷٫۶۳	(Canakci *et al.*, 2005)
سایر ماشین‌ها		۶۲٫۷	(Canakci *et al.*, 2005)
سوخت دیزل	L	۴۷٫۸	(Canakci and Akinci, 2006)
سموم شیمیایی	kg		
علف‌کش		۲۳۸	(Rafiee *et al.*, 2010)
حشره‌کش		۱۰۱٫۲	(Rafiee *et al.*, 2010)
قارچ‌کش		۲۱۶	(Rafiee *et al.*, 2010)
کود	kg		(Rafiee *et al.*, 2010)
نیتروژن		۶۶٫۱۴	(Rafiee *et al.*, 2010)
فسفر		۱۲٫۴۴	(Rafiee *et al.*, 2010)
پتاسیم		۱۱٫۱۵	(Rafiee *et al.*, 2010)
گوگرد		۱٫۱۲	(Rafiee *et al.*, 2010)
کود حیوانی		۰٫۳	(Rafiee *et al.*, 2010)
بذر	kg	۳٫۶	(Beheshti Tabar *et al.*, 2010)
ستانده‌ها			
دانهٔ روغنی کلزا	kg	۲۵	(Beheshti Tabar *et al.*, 2010)
کاه کلزا	kg	۱۷٫۲۵	(Mohammadi *et al.*, 2014)

$$ER = \frac{E_{out}\ (MJ\ ha^{-1})}{E_{in}\ (MJ\ ha^{-1})} \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

$$EI\ (MJ\ kg^{-1}) = \frac{E_{in}\ (MJ\ ha^{-1})}{Y\ (kg\ ha^{-1})} \qquad \text{(رابطهٔ ۲)}$$

$$EP\ (kg\ MJ^{-1}) = \frac{Y\ (kg\ ha^{-1})}{E_{in}\ (MJ\ ha^{-1})} \qquad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

$$NEG\ (MJ\ ha^{-1}) = E_{out}\ (MJ\ ha^{-1}) - E_{in}\ (MJ\ ha^{-1}) \qquad \text{(رابطهٔ ۴)}$$

که در این رابطه‌ها: EP بهره‌وری انرژی (kg/MJ)، Y عملکرد محصول (kg/ha)، و E_{in} انرژی ورودی (MJ/ha) است.

ارزیابی چرخهٔ زندگی تأثیرات زیست‌محیطی

در زمان حاضر سامانه‌های تولیدی کشاورزی بر پایهٔ استفاده از منابع محدودی مثل سوخت‌های فسیلی، منابع آبی، و دیگر نهاده‌های تجدیدناپذیر است که نگرانی‌هایی در زمینهٔ مشکلات زیست‌محیطی مانند آلودگی آب، خاک، هوا، کاهش حاصلخیزی، فرسایش خاک، و کاهش منابع به‌همراه دارد (Hokazono and Hayash, 2012). نتایج برخی مطالعات نشان داده است که کشاورزی نقش مهمی در انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر بازی می‌کنند (Lal, 2004). منابع اصلی انتشار این گازها به اتمسفر شامل سوخت‌های فسیلی استفاده‌شده در عملیات گوناگون کشاورزی، تلفات کربن از خاک به‌دلیل خاک‌ورزی، سوزاندن بقایای گیاهی و درختان جنگلی، دامداری، استفاده از کودهای دامی، و تولید و مصرف انواع کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنه است.

در این میان ارزیابی چرخهٔ حیات به‌عنوان روشی قابل استناد و کاربردی برای بررسی تأثیرات زیست‌محیطی در فرایند تولید محصولات کشاورزی معرفی شده است که به جنبه‌های عملی و بالقوهٔ زیست‌محیطی در سراسر چرخهٔ حیات یک محصول یا یک مرحله از مادهٔ خام فراوری‌شده تا تولید، مصرف، پایان اعمال زیستی، بازیافت، و دفع نهایی می‌پردازد. براساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰، ارزیابی چرخهٔ حیات شامل چهار بخش: بیان هدف، تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه، ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی، و تفسیر آن‌هاست (Iriarte *et al.*, 2010). بنابراین با توجه به اهمیت مباحث زیست‌محیطی در سامانه‌های کشاورزی، در این تحقیق سعی می‌شود شاخص‌های اصلی محیط‌زیستی با روش ارزیابی چرخهٔ زندگی برآورد شود.

در این تحقیق به‌منظور ارزیابی چرخهٔ زندگی تأثیرات زیست‌محیطی تولید کلزا در مرحلهٔ اول از مدل Impact 2002+ در نرم‌افزار سیماپرو استفاده شد و شاخص کلی انتشار آلاینده‌ها برای تولید کلزا محاسبه شد. در مرحلهٔ بعد با استفاده از ضرایب محاسبهٔ انتشار آلاینده‌ها با استفاده از مدل Impact 2002+، تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی محاسبه و ارزیابی چرخهٔ زندگی تولید کلزا به‌طور کامل انجام شده است و سپس نتایج به‌دست‌آمده با روش استفاده از نرم‌افزار و روش استفاده از ضرایب با یکدیگر مقایسه شده است.

توصیف صفات

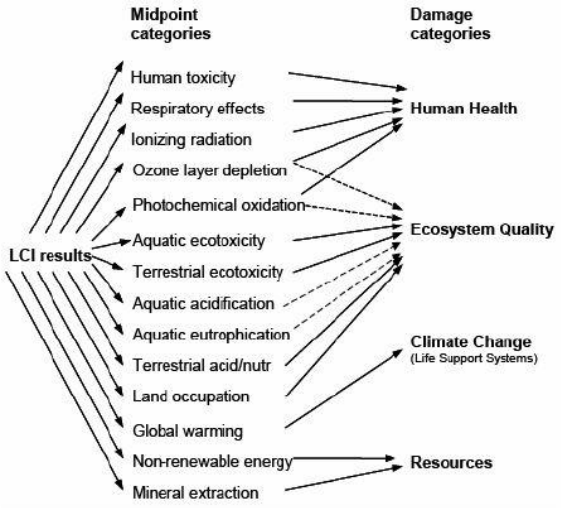
زمانی که گروه‌های اثر تعیین شد و نتایج سیاهه‌نویسی به این گروه‌ها اختصاص یافت لازم است تا شاخص‌های توصیف صفات تعیین شوند. این شاخص‌ها می‌بایست منعکس‌کنندهٔ سهم نسبی نتایج یک سیاهه‌نویسی در یک گروه اثر باشد. برای مثال در یک دورهٔ ۱۰۰ساله سهم یک کیلوگرم متان از گرمایش جهانی، ۲۱ برابر سهم یک کیلوگرم دی‌اکسیدکربن است. بنابراین اگر

شاخص توصیف صفت (charactrization factor) برای دی‌اکسیدکربن در گروه گرمایش جهانی برابر یک باشد برای متان باید برابر ۲۱ در نظر گرفته شود.

ارزیابی خسارت

از آنجا که شاخص‌های رده‌اثر زیادی وجود دارد، هنوز تفسیر نتایج تحقیق مشکل است. به‌منظور ساده‌کردن تفسیر این نتایج، یک فرایند گروه‌بندی در بعضی روش‌های استفاده‌شده در ارزیابی چرخهٔ زندگی مانند Ecoindicator، EPS 2000، Impact 2002+، و ... قابل استفاده است. در این روش‌ها، شاخص‌های رده‌اثر نزدیک به یکی از سه گروه نقطهٔ نهایی (سلامتی بشر، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب‌وهوایی، و منابع) برای رسیدن به رابطهٔ زیست‌محیطی بهینه تعریف می‌شوند. گروه‌های اثر متعلق به گروه نهایی همگی دارای واحدهای یکسان هستند، بنابراین به‌آسانی با هم جمع می‌شوند و عدد نهایی مقدار گروه اثر نهایی را مشخص می‌کند. تأثیرات نهایی مدل Impact 2002+ در شکل ۱ ارائه شده است.

در این تحقیق پس از بررسی‌های انجام‌شده روی مدل‌های گوناگون ارزیابی چرخهٔ زندگی و مقایسهٔ کلی نتایج، مدل Impact 2002+ در مقایسه با بقیهٔ روش‌ها بهتر بود و تحلیل‌های مربوط برای ارزیابی چرخهٔ زندگی توسط نرم‌افزار سیماپرو با این مدل انجام شد. مدل Impact 2002+ روش ارزیابی تأثیرات زیست است که توسط مؤسسهٔ فناوری فدرال سوئیس توسعه یافته است. روش حاضر اجرای عملی از یک رویکرد ترکیبی گروه‌های تأثیرات میانی و گروه‌های آسیب پیشنهاد می‌کند و درواقع ارتباط انواع نتایج ارزیابی چرخهٔ زندگی را ازطریق ۱۴ گروه تأثیرات میانی و چهار گروه تأثیرات کلی برقرار می‌کند که این گروه‌های اثر در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. ارتباط گروه‌های اثر میانی و کلی در مدل Impact 2002+

نرمال‌سازی

نرمال‌سازی فرایندی است که برای نشان‌دادن مقدار سهم معنی‌دار یک اثر از مشکل محیط زیستی کلی، لازم است. نرمال‌سازی با تقسیم شاخص‌های رده‌اثر به یک مقدار نرمال انجام می‌پذیرد. رایج‌ترین روش برای تعیین مقدار نرمال، تعیین شاخص‌های رده‌اثر در یک ناحیه در طول یک سال و تقسیم این نتایج بر تعداد ساکنان آن ناحیه است. همهٔ گروه‌های اثر بعد از نرمال‌سازی بدون واحد و قابل مقایسه با یکدیگرند. نرمال‌سازی هم بر نتایج داده‌های توصیف صفات‌شده و یا ارزیابی خسارت قابل اعمال است.

وزن‌دهی

وزن‌دهی مشکل‌ترین و بحث‌برانگیزترین مرحله از ارزیابی اثر چرخهٔ زندگی مخصوصاً برای روش‌های با نقطهٔ هدف میانی است. راه‌حل‌های گوناگونی برای حل یا ساده‌کردن این مشکل پیشنهاد شده است.

محاسبهٔ مقدار انتشار آلاینده‌ها

با نرم‌افزار سیماپرو می‌توان ارزیابی چرخهٔ زندگی تولید کلزا را برای میانگین مصرف نهاده‌ها در منطقه انجام داد ولی برای انجام پژوهش‌های مربوط به مدل‌سازی نیاز به انجام ارزیابی چرخهٔ زندگی برای هر واحد به‌صورت جداگانه است که با نرم‌افزار امکان‌پذیر نیست. به‌همین دلیل در این تحقیق از ضرایب استخراج‌شده برای مدل Impact 2002+ استفاده می‌شود. از حاصل‌ضرب این ضرایب در مقدار مصرف نهاده‌ها برای هر واحد تولیدی، میزان انتشار آلاینده‌های وزن‌دارشده با واحد μPt به‌دست می‌آید. با توجه به یکسان‌بودن واحد مربوط به هر گروه اثر می‌توان مقادیر را برای گروه‌های اثر گوناگون جمع کرد و مقدار انتشار آلاینده‌ها را به‌صورت یک مقدار عددی بیان کرد که در مرحلهٔ بعدی در مدل‌سازی و بهینه‌سازی استفاده می‌شود. بدین منظور لازم است ضرایبی به‌منظور محاسبهٔ مقدار انتشار آلاینده‌ها در گروه‌های اثر تعیین شود. در ادامه مقدار این ضرایب برای نهاده‌هایی که در فرایند تولید کلزا استفاده شده‌اند و تأثیرات زیست‌محیطی ایجاد می‌کنند، ارائه می‌شود. در ارزیابی چرخه زندگی تولید کلزا مقدار انتشارات برای بعضی گروه‌های اثر وجود ندارند ولی در مدل Impact 2002+ ارائه شده‌اند، برابر صفر بوده است و در محاسبات درنظر گرفته نشده‌اند.

در ارزیابی‌های چرخهٔ زندگی معمولاً تأثیرات زیست‌محیطی مربوط به ماشین‌ها، تجهیزات، و ساختمان‌ها ممکن است در نظر گرفته نشود و به‌همین دلیل در نرم‌افزار

سیماپرو در حالت پیش‌فرض این تأثیرات مربوط به فرایندهای زیربنایی از مدل حذف می‌شوند ولی در این تحقیق تأثیرات زیست‌محیطی ماشین‌های استفاده‌شده در عملیات مزرعه‌ای و همچنین تجهیزات استفاده‌شده در فرایند تولید نهاده‌ها محاسبه می‌شود و این ضرایب به‌دست‌آمده برای همهٔ نهاده‌ها با فرض محاسبهٔ اثر این فرایندهاست.

نتایج و بحث

تحلیل انرژی

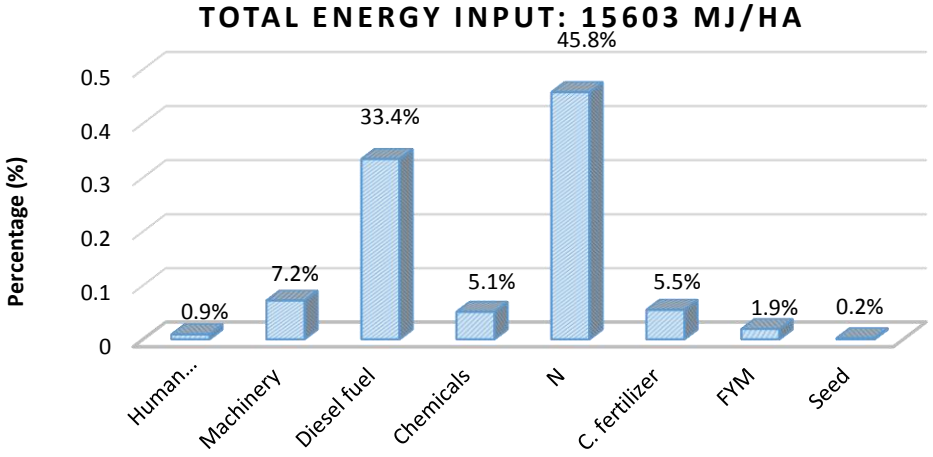
سهم نهاده‌های گوناگون از کل انرژی ورودی در تولید کلزا در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین سهم از کل انرژی نهاده‌ها در تولید کلزا مربوط به نهاده‌های نیتروژن و سوخت بوده است.

کودهای شیمیایی استفاده‌شده در منطقه برای کشت دانهٔ روغنی کلزا عبارت‌اند از: ازته (اوره)، سوپرفسفات تریپل، فسفات آمونیوم، سولفات آمونیوم، سولفات پتاسیم، و کودهای تقویتی بیست‌ـبیست و اکتیویج. همچنین در ۲۵٫۳۳درصد از مزارع از کود آلی استفاده شده است. در بین عناصر غذایی حاصل از مصرف کودهای شیمیایی، عنصر ازت (N) به‌دلیل اینکه در بیشتر کودهای شیمیایی موجود است بیشتر استفاده می شود. همچنین نقش کود ازته به‌دلیل داشتن ضریب انرژی بالاتر، بیشتر از کودهای دیگر در مصرف انرژی است و کودهای فسفر و پتاسیم نیز بعد از آن قرار دارند. در بین دانه‌های روغنی، کود گوگرد نیز بیشتر در تولید کلزا استفاده می‌شود.

پس از انرژی نهاده‌های نیتروژن و سوخت، نهاده‌های ماشین‌ها و سایر کودهای شیمیایی (به‌جز ازت) به‌عنوان نهاده‌های انرژی‌بر در تولید این دانهٔ روغنی در منطقهٔ مورد نظر شناخته می‌شوند؛ در حالی‌که انرژی بذر کمترین میزان را از کل انرژی ورودی داشته است.

براساس مطالعات قبلی نیز محققان بسیاری سهم نهاده‌های سوخت و کودهای شیمیایی را در مقایسه با سایر نهاده‌ها از کل انرژی ورودی بیشتر گزارش کرده‌اند. شیخ‌داوودی و هوشیار انرژی مصرفی برای تولید کلزا و آفتابگردان در استان فارس را بررسی کردند. براساس نتایج آنان، کل انرژی مصرفی برای تولید کلزا برابر (MJ/ha) ۳۰۸۸۹ بوده که ۳۸٫۹۳درصد مربوط به نهادهٔ کود و ۲۰درصد مربوط به نهادهٔ سوخت دیزل بوده است. همچنین در تولید آفتابگردان (MJ/ha) ۲۲۹۴۵٫۳ انرژی مصرف‌شده که سهم سوخت دیزل و کود به ترتیب برابر ۲۷٫۸۷درصد و ۲۶٫۶۴درصد بوده است (Sheikh Davoodi and Houshyar, 2009). مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که انرژی ورودی در تولید محصولات کلزا و آفتابگردان در استان فارس به نسبت نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه بیشتر بوده است که این به دلیل آبیاری کلزا در استان فارس و نیازنداشتن به آبیاری در استان مازندران است که باعث مصرف بیشتر انرژی غیرمستقیم آبیاری و همچنین انرژی الکتریکی برای پمپاژ آب در استان فارس می‌شود.

پیش از این صفا و همکاران در مطالعهٔ خود در مورد مصرف انرژی در کشت گندم در نیوزلند نشان دادند که کل انرژی ورودی برای کشت گندم آبی و دیم به ترتیب ۲۵٫۶ و ۱۷٫۴۵ گیگاژول در هکتار برآورد شده است. همچنین آن‌ها نشان دادند که در میان تمامی نهاده‌های مصرفی در کشت گندم آبی کودهای شیمیایی و الکتریسیته با سهم ۴۰درصد و ۳۰درصد بیشترین تأثیر را در کل انرژی نهاده‌ها به‌خود اختصاص داده‌اند (Safa *et al.*, 2011). در مطالعهٔ دیگری که توسط سینگ و همکاران در هند صورت گرفت، نشان داده شد که انرژی مصرفی کل برای تولید گندم در شرایط آب‌وهوایی گوناگون بین ۱۳٫۰۶ و ۱۷٫۹ گیگاژول در هکتار متغیر است (Singh *et al.*, 1999).



شکل ۲. سهم نهاده‌های گوناگون از کل انرژی ورودی در تولید کلزا

جدول ۲ شاخص‌های نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی، و افزودهٔ خالص انرژی در تولید دانهٔ روغنی کلزا و همچنین در حالت احتساب دانهٔ روغنی کلزا همراه با کلش را نشان می‌دهد؛ نتایج بررسی‌های انجام‌شده در منطقهٔ مطالعه‌شده نشان داد که بدون درنظرگرفتن انرژی مربوط به کلش، نسبت انرژی مربوط به تولید دانهٔ روغنی کلزا برابر ۳٫۳۳ است. همچنین در این حالت بهره‌وری انرژی و شدت انرژی به ترتیب ۰٫۱۳ kg/MJ، و ۷٫۵۱ MJ/kg است. همچنین با درنظرگرفتن انرژی مربوط به کلش، نسبت انرژی مربوط به تولید دانهٔ روغنی کلزا برابر ۵٫۳۹، و شاخص‌های بهره‌وری انرژی و شدت انرژی به ترتیب ۰٫۲۵ kg/MJ و ۳٫۹۵ MJ/kg است.

جدول ۲. شاخص‌های انرژی در تولید محصول کلزا در استان مازندران

عنوان	واحد	دانهٔ روغنی کلزا	دانهٔ روغنی و کلش
کل انرژی ورودی	MJ/ha	۱۵۶۰۲٫۷۹	۱۵۶۰۲٫۷۹
کل انرژی خروجی	MJ/ha	۵۱۹۱۹٫۰۵	۸۴۱۶۰٫۸
نسبت انرژی	-	۳٫۳۳	۵٫۳۹
بهره‌وری انرژی	kg/MJ	۰٫۱۳	۰٫۲۵
شدت انرژی	MJ/kg	۷٫۵۱	۳٫۹۵
افزودهٔ خالص انرژی	MJ/ha	۳۶۳۱۶٫۲۵	۶۸۵۵۷٫۹۸

تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی در کشت کلزا در استان مازندران

به‌منظور ارزیابی زیست‌محیطی کشت محصول مطالعه‌شده، چرخهٔ زندگی این محصول از مرحلهٔ استخراج مواد اولیه تا تحویل محصول برداشت‌شده به بازار منطقه‌ای مطالعه شد. به‌منظور دستیابی به اطلاعات لازم از روش Impact 2002+ استفاده شد و آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار سیماپرو انجام شد. تمامی محاسبات براساس یک کیلوگرم محصول تولیدی در مزرعه انجام شده است. به عبارت دیگر واحد کارکردی به‌صورت یک کیلوگرم محصول تولیدشده انتخاب شده است.

مقادیر واقعی شاخص‌های زیست‌محیطی

شاخص‌های زیست‌محیطی محاسبه‌شده در کشت کلزا در جدول ۳ نشان داده شده است.

ارزیابی خطرهای زیست‌محیطی

در مدل Impact 2002+ برای تبدیل مقادیر واقعی (Charactristics) تأثیرات زیست‌محیطی به مقادیر ارزیابی خطرهای (Damage assessment) مربوط به شاخص‌های زیست‌محیطی از ضرایب خاصی استفاده می‌شود که این ضرایب از نرم‌افزار سیماپرو استخراج شده است و در جدول ۴ ارائه می‌شود.

جدول ۳. مقدار واقعی شاخص‌های زیست‌محیطی برای یک کیلوگرم دانهٔ روغنی در کشت کلزا در منطقهٔ مطالعه‌شده

ردیف	بخش اثر	نماد	واحد	مقدار صفت
۱	مواد سرطان‌زا	C	kg C2H3Cl eq	۰٫۰۰۰۹۰۴۵۹۱
۲	غیر سرطان‌زا	NC	kg C2H3Cl eq	-۰٫۰۲۰۱۸۱۱۰۵
۳	مواد غیرآلی تنفسی	RI	kg PM2.5 eq	۰٫۰۰۰۲۲۳۳۳۶
۴	پرتوهای یونیزان	IR	Bq C-14 eq	۰٫۶۵۸۱۲۱۲۹۳
۵	کاهش لایهٔ ازن	OLD	kg CFC-11 eq	۴٫۲۲۵۲۸e-۸
۶	مواد آلی تنفسی	RO	kg C2H4 eq	۶٫۰۲۷۱۲e-۵
۷	مسمومیت آب‌ها	AE	kg TEG water	۲٫۵۸۰۶۱۴۲۰۵
۸	مسمومیت خاک	TE	kg TEG soil	-۱٫۵۰۹۷۱۱۱۰۶
۹	اسید زمینی/ تغذیه	TA/N	kg SO2 eq	۰٫۰۰۷۶۵۰۹۶۷
۱۰	زمین	LO	m2org.arable	-۰٫۰۰۴۳۷۰۸۷۵
۱۱	گرم‌شدن کرهٔ زمین	GWP	kg CO2 eq	۰٫۳۵۷۷۵۸۸۷۵
۱۲	انرژی غیرقابل تجدید	NRE	MJ primary	۵٫۱۱۱۰۰۴۱۶۹
۱۳	استخراج مواد معدنی	ME	MJ surplus	۰٫۰۰۲۴۲۷۳۷۷

جدول ۴. ضرایب تبدیل مقادیر واقعی (charactristics) تأثیرات زیست‌محیطی به مقادیر ارزیابی خطرهای (Damage assessment) مربوط به شاخص‌های زیست‌محیطی در مدل Impact 2002+

ردیف	گروه اثر	ضرایب تبدیل به خطر مدل ایمپکت	واحد ارزیابی خطرات
۱	مواد سرطان‌زا	۲٫۸۰e-۶	DALY
۲	غیر سرطان‌زا	۲٫۸۰e-۶	DALY
۳	مواد غیرآلی تنفسی	۷٫۰۰e-۴	DALY
۴	پرتوهای یونیزان	۲٫۱۰e-۱۰	DALY
۵	کاهش لایهٔ ازن	۱٫۰۵e-۳	DALY
۶	مواد آلی تنفسی	۲٫۱۳e-۶	DALY
۷	مسمومیت آب‌ها	۵٫۰۲e-۵	PDF*m2*yr
۸	مسمومیت خاک	۷٫۹۱e-۳	PDF*m2*yr
۹	ااسید زمینی/تغذیه	۱٫۰۴	PDF*m2*yr
۱۰	زمین	۱٫۰۹	PDF*m2*yr
۱۱	گرم‌شدن کره زمین	۱	kg CO2 eq
۱۲	اانرژی تجدیدناپذیر	۱	MJ primary
۱۳	ااستخراج مواد معدنی	۱	MJ primary

به‌منظور ارزیابی خطرهای زیست‌محیطی ناشی از تولید کلزا در منطقهٔ مطالعه‌شده، مقدار این شاخص‌های زیست‌محیطی برحسب ارزیابی خطرها در جدول ۵ مشاهده

می‌شود. این مقادیر برای میانگین مصرف نهاده‌ها برای تولید یک کیلوگرم کلزا در منطقه است.

جدول ۵. مقدار ارزیابی خطر مربوط به شاخص‌های زیست‌محیطی برای یک کیلوگرم دانهٔ روغنی در کشت کلزا

ردیف	بخش اثر	واحد	مقدار ارزیابی خطر
۱	مواد سرطان‌زا	DALY	۲٫۵۳۰e-۹
۲	غیر سرطان‌زا	DALY	-۵٫۷۰۰e-۸
۳	مواد غیرآلی تنفسی	DALY	۱٫۵۶۰e-۷
۴	پرتوهای یونیزان	DALY	۱٫۳۸۰e-۱۰
۵	کاهش لایهٔ ازن	DALY	۴٫۴۴۰e-۱۱
۶	مواد آلی تنفسی	DALY	۱٫۲۸۰e-۱۰
۷	مسمومیت آب‌ها	PDF*m2*yr	۱٫۳۰۰e-۴
۸	مسمومیت خاک	PDF*m2*yr	-۱٫۱۹۴e-۲
۹	اسید زمینی/تغذیه	PDF*m2*yr	۷٫۹۵۷e-۳
۱۰	زمین	PDF*m2*yr	-۴٫۷۶۰e-۳
۱۱	گرم‌شدن کرهٔ زمین	kg CO2 eq	۲٫۵۷۸e-۱
۱۲	انرژی تجدیدناپذیر	MJ primary	۵٫۱۱۱
۱۳	استخراج مواد معدنی	MJ primary	۲٫۴۲۷e-۳

نرمال‌سازی

به‌منظور مقایسهٔ شاخص‌های گوناگون زیست‌محیطی لازم است تمام این شاخص‌ها با واحد یکسانی برآورد گردند. برای این منظور از ضرایب نرمال‌سازی استفاده می‌شود و شاخص‌های نرمال‌شده بدون واحد برآورد می‌شود.

نرمال‌سازی محاسبهٔ اهمیت نتایج شاخص‌ها در ارتباط با برخی اطلاعات مرجع است. توجه به نرمال‌سازی برای درک بهتر میزان ارتباط با نتایج شاخص سیستم تحت مطالعه است. به عبارت دیگر در این بخش اهمیت یا بزرگی شاخص‌های محاسبه‌شده با توجه به اطلاعات مرجع محاسبه می‌شود.

اطلاعات مرجع می‌تواند مربوط به تعداد افراد یک شهر، کشور، و یا یک قاره شود. نرمال‌سازی نتیجهٔ شاخص را با تقسیم آن بر یک مقدار مرجع انتخاب‌شده تغییر می‌دهد. انتخاب سیستم مرجع بایستی با درنظر رفتن سازگاری مقیاس‌های مکانی و زمانی مکانیسم زیست‌محیطی و مقادیر مرجع انجام شود.

در مدل Impact 2002+ برای تبدیل مقادیر واقعی (Charactristics) تأثیرات زیست‌محیطی به مقادیر نرمال‌شده (Normalized) مربوط به شاخص‌های زیست‌محیطی از ضرایب خاصی استفاده می‌شود که این ضرایب از نرم‌افزار سیماپرو استخراج شده است در جدول ۶ ارائه می‌شود.

در جدول ۷ مقدار شاخص‌های زیست‌محیطی به‌صورت نرمال ارائه شده است. این شاخص‌ها برای گروه‌های اثر نهایی است که شامل سلامت بشر، کیفیت اکوسیستم، تغییر آب‌وهوا، و منابع هستند.

جدول ۶. ضرایب تبدیل مقادیر واقعی (Charactristics) تأثیرات زیست‌محیطی به مقادیر نرمال‌شده (Normalized) مربوط به شاخص‌های زیست‌محیطی در مدل Impact 2002+

ردیف	گروه اثر	نماد	واحد مقادیر واقعی	ضرایب تبدیل به خطر مدل ایمپکت
۱	مواد سرطان‌زا	C	kg C2H3Cl eq	۲٫۸۰e-۶
۲	غیر سرطان‌زا	NC	kg C2H3Cl eq	۲٫۸۰e-۶
۳	مواد غیرآلی تنفسی	RI	kg PM2.5 eq	۷٫۰۰e-۴
۴	پرتوهای یونیزان	IR	Bq C-14 eq	۲٫۱۰e-۱۰
۵	کاهش لایهٔ ازن	OLD	kg CFC-11 eq	۱٫۰۵e-۳
۶	مواد آلی تنفسی	RO	kg C2H4 eq	۲٫۱۳e-۶
۷	مسمومیت آب‌ها	AE	kg TEG water	۵٫۰۲e-۵
۸	مسمومیت خاک	TE	kg TEG soil	۷٫۹۱e-۳
۹	اسید زمینی/تغذیه	TA/N	kg SO2 eq	۱٫۰۴
۱۰	زمین	LO	m2org.arable	۱٫۰۹
۱۱	گرم‌شدن کرهٔ زمین	GWP	kg CO2 eq	۱
۱۲	انرژی تجدیدناپذیر	NRE	MJ primary	۱
۱۳	استخراج مواد معدنی	ME	MJ surplus	۱

جدول ۷. مقدار شاخص‌های زیست‌محیطی به‌صورت نرمال برای گروه‌های اثر نهایی

گروه اثر	کل	سوخت دیزل	ماشین ها	کود N	کود(P205)	کود(K2O)	آمونیوم سولفات	پتاسیم سولفات	سموم	کود حیوانی
کل	۱٫۴۵e-۵	۱٫۸۷e-۶	۵٫۴۸e-۶	۱٫۸۸e-۵	۴٫۵۴e-۶	۹٫۹۵e-۹	۱٫۱۲e-۶	۳٫۲۶e-۶	۳٫۷۶e-۶	-۲٫۴۰e-۵
سلامت بشر	-۶٫۳۰e-۷	۲٫۱۸e-۷	۵٫۷۷e-۷	۷٫۱۷e-۷	۹٫۳۴e-۸	۱٫۶۲e-۱۰	۱٫۵۲e-۷	۷٫۵۳e-۷	۲٫۶۶e-۷	-۳٫۴۰e-۶
کیفیت اکوسیستم	۳٫۶۱e-۵	۱٫۶۴e-۶	۳٫۶۹e-۶	۲٫۹۶e-۵	۲٫۳۹e-۶	۲٫۰۷e-۸	۸٫۴۹e-۷	۱٫۸۹e-۶	۲٫۱۶e-۶	-۶٫۱۰e-۶
تغییر آب‌وهوا	۳٫۳۶e-۵	۱٫۴۹e-۵	۲٫۷۸e-۶	۱٫۵۵e-۵	۲٫۳۸e-۶	۲٫۲۰e-۸	۸٫۴۶e-۷	۱٫۵۹e-۶	۲٫۶۶e-۶	-۷٫۱۰e-۶
منابع	۱٫۴۵e-۵	۱٫۸۷e-۶	۵٫۴۸e-۶	۱٫۸۸e-۵	۴٫۵۴e-۶	۹٫۹۵e-۹	۱٫۱۲e-۶	۳٫۲۶e-۶	۳٫۷۶e-۶	-۲٫۴۰e-۵

وزن‌دهی

برای اینکه بتوان شاخص‌های زیست‌محیطی را با واحدهای مربوط با یکدیگر جمع کرد و شاخص کلی برآورد کرد لازم است ضرایب وزنی برای این شاخص‌ها وجود داشته باشد. در مرحلهٔ انتهایی ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی این مرحله به‌منظور بی‌بعدکردن شاخص‌ها فراهم‌کردن امکان مقایسهٔ آن‌ها و درک بهتر نتایج حاصل عمل وزن‌دهی انجام می‌شود. دراین مرحله شاخص یا نتایج نرمال‌شده با مؤلفه‌های انتخاب‌شده وزن‌دهی

بی‌بعد می‌شوند. در مدل Impact 2002+ برای تبدیل مقادیر واقعی (Charactristics) تأثیرات زیست‌محیطی به مقادیر وزن‌دارشده (Weighted) مربوط به شاخص‌های زیست‌محیطی از فاکتورهای وزنی استفاده می‌شود که شاخص‌های وزن‌دارشده با واحد µPt برآورد می‌شود. این فاکتورها از نرم‌افزار سیماپرو استخراج شده است و در جدول ۹ ارائه می‌شود.

در جدول ۹ مقدار شاخص‌های زیست‌محیطی به‌صورت وزنی ارائه شده است. این شاخص‌ها برای گروه‌های اثر نهایی است. بیشترین میزان آلایندگی مرتبط با سه شاخص مواد غیرآلی تنفسی، گرم‌شدن کرهٔ زمین، و مصرف انرژی تجدیدناپذیر است. در مرحلهٔ تولید تا مصرف بیشترین تأثیر را بر آلایندگی‌های منتشرشده از خود نشان داده‌اند. در شاخص گرمایش جهانی سهم کود شیمیایی نیتروژن به‌طور معناداری بیش از سایر نهاده‌هاست. همچنین ماشین‌های کشاورزی، سایر کودهای شیمیایی سوخت دیزل، و سموم شیمیایی روی شاخص گرمایش جهانی نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند.

در تحقیقی در این زمینه، تأثیرات زیست‌محیطی در تولید دانه‌های روغنی در استان گلستان بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان آلایندگی مرتبط است با چهار شاخص: مسمومیت آب‌های آزاد، نقصان مواد غیرآلی، پتانسیل گرمایش جهانی، و مسمومیت آب‌های سطحی. این شاخص‌ها از مرحلهٔ تولید تا مصرف بیشترین تأثیر را روی آلایندگی‌های منتشرشده از خود نشان داده‌اند. در شاخص گرمایش جهانی سهم سوخت دیزل به‌طور معناداری بیش از سایر نهاده‌هاست. همچنین کودهای شیمیایی استفاده‌شده به‌ویژه کودهای نیتروژنه بر شاخص گرمایش جهانی نقش به‌سزایی ایفا کرده است (Mohammadi, 2014).

در جدول ۱۰ مقادیر شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید یک کیلوگرم دانهٔ روغنی کلزا با استفاده از دو روش نرم‌افزار سیماپرو و استفاده از ضرایب ارائه شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد نتایج به‌دست‌آمده از دو روش کاملاً یکسان است و این بیانگر این نکته است که با استفاده از ضرایب متناظر با نهاده‌های مصرفی در تولید محصولات کشاورزی و یا تولید محصولات دیگر می‌توان میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی را بدون نیاز به نرم‌افزار سیماپرو محاسبه کرد.

جدول ۸. ضرایب وزنی تبدیل مقادیر واقعی (Charactristics) تأثیرات زیست‌محیطی به مقادیر وزن‌دارشده (Weighted) در مدل Impact 2002+

ردیف	گروه‌اثر	واحد مقادیر واقعی	ضرایب تبدیل به شاخص‌های وزن‌دارشده	واحد شاخص‌های وزن‌دارشده
۱	مواد سرطان‌زا	kg C2H3Cl eq	۳۹۴٫۸	µPt
۲	غیر سرطان‌زا	kg C2H3Cl eq	۳۹۴٫۸	µPt
۳	مواد غیرآلی تنفسی	kg PM2.5 eq	۹۸۷۰۰	µPt
۴	پرتوهای یونیزان	Bq C-14 eq	۰٫۰۲۹۶۱	µPt
۵	کاهش لایهٔ ازن	kg CFC-11 eq	۱۴۸۰۵۰	µPt
۶	مواد آلی تنفسی	kg C2H4 eq	۳۰۰٫۳۳	µPt
۷	مسمومیت آب‌ها	kg TEG water	۰٫۰۰۳۶۶۴۶	µPt
۸	مسمومیت خاک	kg TEG soil	۰٫۵۷۷۴۳	µPt
۹	اسیدزمینی/ تغذیه	kg SO2 eq	۷۵٫۹۲	µPt
۱۰	زمین	m2org.arable	۷۹٫۵۷	µPt
۱۱	گرم‌شدن کرهٔ زمین	kg CO2 eq	۱۰۱	µPt
۱۲	انرژی تجدیدناپذیر	MJ primary	۶٫۵۸	µPt
۱۳	استخراج مواد معدنی	MJ surplus	۶٫۵۸	µPt

جدول ۹. مقدار شاخص‌های زیست‌محیطی به‌صورت وزنی برای گروه‌های اثر نهایی

گروه اثر	واحد	کل	سوخت دیزل	ماشین	کود N	کود(P205)	کود(K2O)	آمونیوم سولفات	پتاسیم سولفات	سموم	کود حیوانی
کل	µPt	۸۳٫۶۳	۱۸٫۶۳	۱۲٫۵۴	۶۴٫۶۳	۹٫۴۱	۰٫۰۵	۲٫۹۶	۷٫۴۹	۸٫۸۴	-۴۰٫۹۳
سلامت بشر	µPt	۱۴٫۴۸	۱٫۸۷	۵٫۴۸	۱۸٫۷۶	۴٫۵۴	۰٫۰۱	۱٫۱۲	۳٫۲۶	۳٫۷۶	-۲۴٫۳۲
کیفیت اکوسیستم	µPt	-۰٫۶۳	۰٫۲۲	۰٫۵۸	۰٫۷۲	۰٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۱۵	۰٫۷۵	۰٫۲۷	-۳٫۴۱
تغییر آب‌وهوا	µPt	۳۶٫۱۳	۱٫۶۴	۳٫۶۹	۲۹٫۶۳	۲٫۳۹	۰٫۰۲	۰٫۸۵	۱٫۸۹	۲٫۱۶	-۶٫۱۴
منابع	µPt	۳۳٫۶۵	۱۴٫۹۱	۲٫۷۸	۱۵٫۵۲	۲٫۳۸	۰٫۰۲	۰٫۸۵	۱٫۵۹	۲٫۶۶	-۷٫۰۶

جدول ۱۰. مقایسهٔ نتایج حاصل از نرم‌افزار و نتایج به‌دست‌آمده ازطریق ضرایب

نهاده‌ها	ضرایب محاسبه‌شده	مقدار نهادهٔ مصرف‌شده	مقدار محاسبه‌شده	داده‌های نرم‌افزار برای یک کیلو
کود N	۱۳۶۳٫۹۱	۹۸٫۴۱	۱۳۴۲۲۲٫۲۵	۱۳۴۲۱۹٫۶۶
کود(P205)	۴۵۳٫۲۸	۴۳٫۱۰	۱۹۵۳۶٫۴۸	۱۹۵۳۶٫۱۰
کود(K2O)	۱۶۳٫۸۷	۰٫۶۷	۱۰۹٫۷۹	۱۰۹٫۷۹
کود حیوانی	-۸۵٫۶۱	۹۹۲٫۸۳	-۸۴۹۹۶٫۰۶	-۸۴۹۹۴٫۴۲
پتاسیم سولفات	۶۰۱٫۲۵	۲۵٫۸۸	۱۵۵۶۰٫۲۴	۱۵۵۵۹٫۹۴
آمونیوم سولفات	۶۴۲٫۴۳	۹٫۵۸	۶۱۵۴٫۴۴	۶۱۵۴٫۳۲
سموم	۴۲۸۹٫۵۷	۴٫۲۸	۱۸۳۵۹٫۳۷	۱۸۳۵۹٫۰۲
ماشین‌ها	۱۹۵۶٫۳۶	۱۳٫۳۱	۲۶۰۳۹٫۱۸	۲۶۰۳۸٫۶۸
سوخت دیزل	۴۱۷٫۰۷	۹۲٫۷۷	۳۸۶۹۱٫۹۳	۳۸۶۹۱٫۱۹
کل	-	-	۱۷۳۶۷۷٫۶۳	۱۷۳۶۷۴٫۲۸

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق وضعیت موجود در مصرف انرژی برای تولید کلزا در استان مازندران و تعیین میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی حاصل از مراحل گوناگون تولید بررسی شد، سپس ارزیابی چرخهٔ زندگی محصول برای تخمین تأثیرات زیست‌محیطی در فرایند تولید انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که نهاده‌های نیتروژن و سوخت دیزل مهمترین نهاده‌های مصرف‌کنندهٔ انرژی بودند. پس از تعیین میزان مصرف انرژی در تولید کلزا، با استفاده از قیمت نهاده‌های استفاده‌شده و همچنین قیمت محصول، بهره‌وری اقتصادی برای تولید کلزا محاسبه شد. همچنین به‌منظور تعیین تأثیرات زیست‌محیطی از مدل Impact 2002+ در نرم‌افزار SimaPro استفاده شد و با توجه به ضرایب مربوط شاخص کلی انتشار آلاینده‌ها برای تولید کلزا محاسبه شد. از طرف دیگر با استفاده از ضرایب، تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی محاسبه شده و ارزیابی چرخهٔ زندگی تولید کلزا به‌طور کامل انجام شده است. ارزیابی دو روش استفاده از نرم‌افزار و به‌کارگیری ضرایب نشان داد نتایج کاملاً یکسان است.

با توجه به اینکه ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی در این تحقیق فقط در مرحلهٔ تولید نهاده‌ها انجام شده است، بهتر است این ارزیابی برای مرحلهٔ استفاده از نهاده‌ها در مزرعه نیز صورت پذیرد. همچنین با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان پیشنهاد کرد ضرایب متناظر برای سایر نهاده‌های مصرفی در تولیدات کشاورزی ارائه شود و درپایان با بومی‌سازی این ضرایب می‌توان مدلی بومی برای ارزیابی چرخهٔ زندگی محصولات در ایران برای نرم‌افزار سیماپرو ارائه داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه تهران برای تأمین اعتبار لازم و فراهم‌کردن امکان اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A. & Rafiee, S. (2010). Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 849-855.

Bozoglu, M. & Ceyhan, V. (2009). Energy conversion efficiency of trout and sea bass production in the Black Sea, Turkey. *Energy* 34, 199-204.

Canakci, M. & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy* 31, 1243-1256.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I. & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy Conversion and Management* 46, 655-666.

Cederberg, C. & Mattsson, B. (2000). Life cycle assessment of milk production -- a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production* 8, 49-60.

Cellura, M., Longo, S. & Mistretta, M. (2012). Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. *Journal of Cleaner Production* 28, 56-62.

Ekvall, T. (1999). Key methodological issues for life cycle inventory analysis of paper recycling. *Journal of Cleaner Production* 7, 281-294.

Ghosh, N. (2004). Reducing Dependence on Chemical Fertilizers and its Financial Implications for Farmers in India. *Ecological Economics* 49, 149-162.

Harding, K.G., Dennis, J.S., von Blottnitz, H. &, Harrison, S.T.L. (2008). A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel. *Journal of Cleaner Production* 16, 1368-1378.

Hart, A., Clift, R., Riddlestone, S. & Buntin, J. (2005). Use of Life Cycle Assessment to Develop Industrial Ecologies—A Case Study: Graphics

Paper. *Process Safety and Environmental Protection* 83, 359-363.

Hokazono, S. & Hayashi, K. (2012). Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: a comparison among three rice production systems in Japan. *Journal of Cleaner Production* 28, 101-112.

Iriarte, A., Rieradevall, J. & Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production* 18, 336-345.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H. & Sefeedpari, P. (2013). Prognostication of environmental indices in potato production using artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production* 52, 402-409.

Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30, 981-990.

Mohammadi, A. (2014). Energy use optimization and environmental impacts reduction of main field crops production with mathematical programming approach: Case study from Golestan province. Ph.D. dissertation, University of Tehran, Iran. (In Farsi).

Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H. & Nonhebel, S. (2014). Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30, 724-733.

OECD. (2001). Improving The Environmental Performance of Agriculture: Policy Options And Market Approaches. Paris. OECD.

Rafiee, S., Mousavi Avval, S.H. & Mohammadi, A. (2010). Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy* 35, 3301-3306.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T. et al., (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International* 30, 701-720.

Safa, M., Samarasinghe, S. & Mohssen, M. (2011). A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand. *Energy Conversion and Management* 52, 2526-2532.

Sheikh Davoodi, M.J. & Houshyar, E. (2009). Energy Consumption of Canola and Sunflower Production in Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmantal Science* 6, 381-384.

Singh, S., Singh, S., Pannu, C.J.S. & Singh, J. (1999). Energy input and yield relations for wheat in different agro-climatic zones of the Punjab. *Applied Energy* 63, 287-298.

Thomassen, M.A., van Calker, K.J., Smits, M.C.J., Iepema, G.L. & de Boer, I.J.M. (2008). Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems* 96, 95-107.