

ارزیابی شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی کشت سیب‌زمینی با رویکرد چرخه زندگی: مطالعه موردی شهرستان فریدون‌شهر در استان اصفهان

بنیامین خوشنویسان^{۱*}، شاهین رفیعی^۲، محمود امید^۳، علیرضا کیهانی^۴ و مهران موحدی^۵
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲، ۳، ۴. استاد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۵. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۱۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۱/۱۷)

چکیده

با افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در نتیجه استفاده از ماشین‌ها و نهاده‌های بیشتر، انرژی استفاده‌شده نیز به‌سرعت در حال افزایش بوده که پیامد آن تأثیرات زیست‌محیطی منفی بر آب، هوا، و زمین است. در این مقاله، تولید سیب‌زمینی شهرستان فریدون‌شهر در استان اصفهان از دیدگاه مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی مطالعه شد. واحد عملکردی یک هکتار و مرز سامانه، به‌عنوان دروازه مزرعه انتخاب شدند. همچنین، پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها در سه بخش پتانسیل گرمایش جهانی، مسمومیت انسان، و اختناق دریاچه‌ای تفسیر شده است. نتایج نشان داد که از بعد مصرف انرژی، بیشترین میزان انرژی مصرفی به الکتریسیته تعلق دارد. کودهای شیمیایی و سوخت دیزل بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های گرمایش جهانی و اختناق دریاچه‌ای نشان دادند. آفت‌کش‌ها با وجود سهم بسیار ناچیز در انرژی ورودی، با سهم ۷۰ درصد بیشترین نقش را در افزایش شاخص مسمومیت انسان داشتند. در میان مواد منتشرشده از کودهای شیمیایی، N_2O با سهم ۹۷ درصد بیشترین اثرگذاری را در بخش گرمایش جهانی به‌همراه داشت. در میان تمامی نهاده‌های مصرفی، فسفات و دیازینون هر یک با سهم ۶۸ درصد به‌ترتیب مهم‌ترین نقش را در شاخص اختناق دریاچه‌ای و مسمومیت انسان ایفا کردند.

کلیدواژه‌ها

اختناق دریاچه‌ای، چرخه زندگی، گرمایش جهانی، مسمومیت انسان‌ها، مصرف انرژی.

شیمیایی، آفت‌کش‌ها، و مواردی از این دست وابسته شده است. اما تغییرات هرچه بیشتر در سامانه‌های زراعی، بر مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد منابع انرژی تجدیدناپذیر، کاهش تنوع زیستی و تغییرات آب‌وهوایی می‌افزاید. با افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در نتیجه استفاده از ماشین‌ها و نهاده‌های بیشتر، انرژی استفاده‌شده نیز به‌سرعت در حال افزایش بوده که پیامد آن تأثیرات زیست‌محیطی منفی بر آب، هوا، و زمین است.

تحقیقات زیادی در زمینه مصرف انرژی و انتشار

مقدمه

از اهداف اصلی سیاست‌های بخش کشاورزی، خودکفایی در تأمین مواد غذایی کشور است. افزایش عملکرد در واحد سطح، به‌منزله رویکردی برای دستیابی به این هدف، به پیشرفت‌های تکنیکی، آموزش و تا حدود زیادی افزایش مصرف نهاده‌هایی همچون کودهای

* نویسنده مسئول
Email: b_khoshnevisan@ut.ac.ir

تلفن: ۰۹۳۸۸۴۷۲۲۰۸

محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، میزان عملکرد محصول باید افزایش یابد تا شدت انتشار آلاینده‌ها به سبب استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی توجیه پذیر شود (Charles et al., 2006).

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه مصرف و بهینه‌سازی انرژی تولیدات زراعی در ایران صورت گرفته است. در مطالعه‌ای که در استان همدان پیرامون انرژی مصرفی و تحلیل هزینه تولید سیب‌زمینی تحت فناوری‌های زراعی متفاوت انجام پذیرفت (Zangeneh et al., 2010) نشان داد که تولید سیب‌زمینی به دلیل استفاده زیاد از نهاده‌ها در این استان کارا نیست. در مطالعه‌های موردی که روی گلخانه‌های استان تهران صورت گرفت، نشان داده شد که ۷۸ درصد از کل انرژی مصرف شده به سوخت دیزل تعلق داشته است و نهاده‌های کود شیمیایی و الکتریسیته در رتبه‌های بعدی قرار دارند (Banaeian et al., 2011). در مطالعه تحلیل انرژی مصرفی و میزان CO₂ منتشر شده در تولید سیب‌زمینی تحت سطوح گوناگون مزارع در شهرستان فریدون‌شهر، به بررسی میزان انرژی مصرفی در سه سطح گوناگون زمین پرداخته شد ولی فقط میزان انتشار دی‌اکسیدکربن مرتبط با نهاده‌های مصرفی مورد بحث قرار گرفت (Pishgar-Komleh et al., 2012). با وجود گستردگی تحقیقات در زمینه انرژی مصرفی در بخش‌های گوناگون کشاورزی در ایران، هیچ‌یک از منظر ارزیابی چرخه زندگی و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن، که بر بخش‌های متفاوت طبیعت اثرگذار است، به این مقوله پرداخته‌اند. در این تحقیق، تولید سیب‌زمینی شهرستان فریدون‌شهر از دیدگاه مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی مطالعه شده است. همچنین پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها در سه بخش پتانسیل گرمایش جهانی^۲، مسمومیت انسان‌ها^۳ و اختناق دریاچه‌ای^۴ تفسیر شده است.

■ مواد و روش‌ها

شهرستان فریدون‌شهر در استان اصفهان بین ۳۴ درجه

آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از آن در بخش کشاورزی صورت گرفته است. Singh (2007) برای مطالعه کارایی فنی تولید گندم در مزارع یک‌پارچه و غیریک‌پارچه، تابع تولیدی احتمالی ویژه در کابداگلاس شکل داد. مطالعه‌ای که روی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید روغن کلزا به جای سوخت جایگزین برای بخش حمل‌ونقل انجام گرفت، نشان داد که بخش زراعی مصرف‌کننده ۶۸ درصد انرژی اولیه و مسبب انتشار ۸۷ درصد از گازهای گلخانه‌ای در کل فرایند تولید روغن کلزا بوده و دلیل اصلی آن استفاده از کودهای شیمیایی و انتشار N₂O است (Malca and Freire, 2010).

ارزیابی چرخه زندگی^۱ به ابزار مناسبی برای بررسی تعیین میزان تأثیرات زیست‌محیطی در تولیدات کشاورزی و غذایی تبدیل شده است به طوری که در بسیاری از کشورها ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی‌های زراعی است. مطالعات زیادی با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی در زمینه محصولات کشاورزی صورت گرفته است. مطالعه تأثیرات محیطی کشت‌های گلخانه‌ای و مزارع در کشور سوئیس، اهمیت مدیریت کودهای شیمیایی را نشان داد. در این تحقیق نشان داده شد که انتخاب و استفاده از کودهای شیمیایی باید با دقت و به صورت بهینه صورت گیرد تا از انتشار این مواد به آب‌های زیرزمینی جلوگیری شود (Romero-Gomez et al., 2012).

بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید سیب در کشور نیوزلند نشان داد که دلیل اصلی پتانسیل گرمایش جهانی و مسمومیت انسان، انتشار حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی است (Mila i Canals et al., 2006). تأثیر ابعاد زمین و استفاده از سامانه‌های کشت فشرده از دیگر مواردی است که نظر پژوهشگران را به خود جلب کرده است. آن‌ها سامانه‌های متفاوت زراعی را از بعد تأثیرات زیست‌محیطی به کمک ارزیابی چرخه زندگی بررسی می‌کنند. تحقیقاتی که در زمینه بهینه‌سازی سامانه تولید گندم با بهره از ارزیابی چرخه زندگی در کشور سوئیس صورت گرفت نشان داد که به‌منظور کاهش تأثیرات

2. Global warming potential
3. Human Toxicity potential
4. Eutrophication potential

1. Life Cycle assessment

از مصرف زیاده‌نهادها و به‌ویژه سوخت‌های فسیلی است. به‌عبارت‌دیگر، در پروژه ارزیابی چرخه زندگی تمام فرایندهای تولید محصول از مرحله استخراج مواد اولیه تا دفع پسماندهای باقی‌مانده از مصرف آن محصول (گهواره تا گور) بررسی می‌گردد و نتایج حاصل از آن برای کاهش تأثیرات مخرب زیست‌محیطی استفاده می‌شود. بر این اساس هدف تحقیق، ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی کشت سیب‌زمینی در سه بخش اثر^۱ (پتانسیل گرمایش جهانی، مسمومیت انسان و اختناق دریاچه‌ای) تعیین شده بود. اصول ارزیابی چرخه زندگی ارائه‌شده استانداردهای (۱۴۰۴۰) و ISO (۱۴۰۴۴)، چهار مرحله اصلی را برای هر پروژه ارزیابی چرخه زندگی الزامی کرده است (ISO., 2006).

تعریف هدف و دامنه: در این مرحله چارچوب کلی کار که شامل: واحدهای کارکردی (جریان‌های مرجع)، مرزهای سامانه، تخصیص منابع، و انتخاب بخش‌های تأثیر است، مشخص می‌شود.

تحلیل سیاهه^۲: در این مرحله، منابع استفاده‌شده و انتشار آلاینده‌ها در کل یا بخشی از دوره حیات محصول که با توجه به مرزهای سامانه تعیین می‌شوند، در نظر گرفته می‌شود.

ارزیابی تأثیرات چرخه زندگی: به‌منظور تفسیر نتایج، در این مرحله، انتشار آلاینده‌های مهم در بخش‌های اثرگذار خلاصه و ارائه می‌شود.

تحلیل نتایج: در این قسمت تمام نتایج به‌منظور نتیجه‌گیری و ارائه راه‌کارها تحلیل می‌شود.

در این مطالعه، واحد عملکردی یک هکتار در نظر گرفته شد. برای تعیین هدف ارزیابی چرخه زندگی، نیاز به تعریف واضحی از عملکردهای محصول یا خدمات است. واحد عملکردی، کمیت عملکردهای تعیین‌شده را مشخص می‌کند. از اهداف اولیه واحد عملکردی، ایجاد مرجعی جهت نرمال‌سازی داده‌های ورودی و خروجی (از نظر محاسبات ریاضی) است.

دروازه مزرعه مرز سامانه تعیین شد. انرژی به‌منزله ورودی سامانه و محصول تولیدی همراه با انتشار آلاینده‌ها به آب، خاک، و هوا به‌منزله خروجی از سامانه در نظر گرفته شدند (شکل ۱).

و ۲۷ دقیقه و ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. منطقه فریدون‌شهر با ۲۱۵۴/۵ کیلومتر مربع مساحت، در غرب استان اصفهان واقع شده است. ایران با تولید حدود ۴/۷ میلیون تن در سال در رتبه ۱۴ تولیدکنندگان سیب‌زمینی در جهان قرار دارد (FAO, 2007). استان اصفهان با سطح زیر کشت ۱۷۵۸۱ هکتار یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان سیب‌زمینی در کشور است، به‌طوری‌که تولید استان حدود ۳۷۹۳۴۸ تن و میانگین ۲۱ تن در هکتار است (FAO, 2007). هدف از انتخاب محصول سیب‌زمینی از میان انبوهی از محصولات تولیدی در شهرستان، متداول‌بودن کشت آن است، به‌طوری‌که سیب‌زمینی ۳۷/۵ درصد سطح زیر کشت محصولات آبی شهرستان را به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2009). اطلاعات لازم از طریق پرسش‌نامه و گفتگوی مستقیم با کشاورزان گردآوری و برای تعیین تعداد پرسش‌نامه‌ها از رابطه کوکران استفاده شد (Banaeian et al., 2011).

$$n = \frac{Nt^2S^2}{Nd^2 + t^2S^2}$$

در این رابطه n اندازه نمونه‌ها، N تعداد منابع در جامعه هدف، t ضریب قابلیت اعتماد (۱/۹۶ که بیانگر قابلیت اطمینان ۹۵ درصد است)، S² واریانس صفت در جمعیت، d دقت ($\bar{x} - \bar{X}$) خطای قابل قبول در اندازه نمونه ۵ درصد برای قابلیت اطمینان ۹۵ درصد بوده است. بر این اساس تعداد ۲۶۱ پرسش‌نامه تهیه شد.

استفاده از واژه ارزیابی چرخه زندگی به دهه ۱۹۶۰ بازمی‌گردد، هنگامی که نگرانی پیرامون کاهش شدید منابع فسیلی افزایش یافته بود و دانشمندان با بهره‌گیری از این مفهوم به دنبال درک تأثیرات منفی ناشی از مصرف انرژی بودند. پیش‌بینی‌ها پیرامون کاهش سریع منابع سوخت‌های فسیلی و تأثیرات مخرب استفاده از این سوخت‌ها بر تغییرات آب‌وهوایی، اهمیت مبحث ارزیابی چرخه زندگی را بیش از پیش آشکار می‌ساخت. امروزه، از ارزیابی چرخه زندگی به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات برای مقایسه فرایندهای تولیدی مشابه استفاده می‌شود. هدف از این مقایسه، یافتن واحد تولیدی با میزان انتشار آلاینده‌های کمتر و یا یافتن راهکارهای مناسب برای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی ناشی

شود (Guinée *et al.*, 2002). در این پژوهش شاخص، در دوره صدساله مطالعه شد. $GWP_{a,i}$ از مراجع گوناگون قابل دسترسی است. در انجام محاسبات، ضرایب تبدیل در هر سه بخش اثر، از پایگاه داده Ecoinvent و نرم افزار Simapro گرفته شد.

اختناق دریاچه‌ای پوشش‌دهنده تمام تأثیرات بالقوه ناشی از تجمع عناصر غذایی پرمصرف است که مهم‌ترین آن‌ها ازت و فسفر هستند. به عبارت دیگر اختناق دریاچه‌ای، واکنش اکوسیستم به افزایش مواد طبیعی یا مصنوعی مانند نیترات و فسفر است که به واسطه کودهای شیمیایی یا پساب فاضلاب‌ها به محیط اضافه می‌شود. یکی از پیامدهای منفی اختناق دریاچه‌ای کاهش اکسیژن دریاچه‌ها یا آبگیرهاست که به مرگ ناگهانی موجودات آبی مانند ماهی‌ها منجر می‌شود. برای محاسبه اختناق دریاچه‌ای از رابطه ۲ استفاده شده است (Guinée *et al.*, 2002).

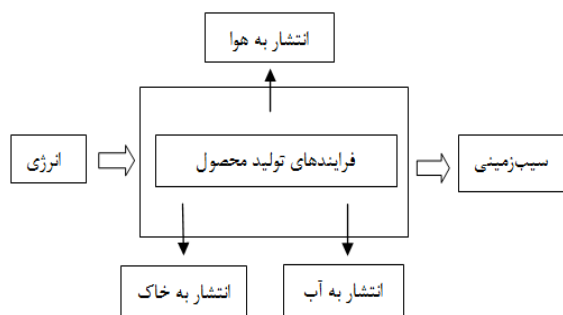
$$E = \sum_i EP_i * m_i \quad \text{رابطه ۲}$$

نتایج این شاخص برحسب کیلوگرم PO_4^{-3} معادل بیان می‌شود. EP_i پتانسیل اختناق دریاچه‌ای برای ماده آم منتشر شده به آب، خاک یا هواست. m_i میزان انتشار برحسب کیلوگرم از ماده آم به هوا، آب یا خاک است. تأثیر مواد سمی موجود در طبیعت بر سلامتی انسان‌ها، با شاخص مسمومیت اندازه‌گیری می‌شود. این شاخص اثر، طبق رابطه ۳ محاسبه شده است (Guinée *et al.*, 2002):

$$HT = \sum_i \sum_{ecom} HTP_{ecom,i} * m_{ecom,i} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه HT بیانگر مسمومیت انسان است و برحسب 1,4-dichlorobenzene معادل بیان می‌شود. $HTP_{ecom,i}$ پتانسیل مسمومیت انسان برای ماده آم منتشر شده به هوا، آب یا خاک است. $m_{ecom,i}$ مقدار انتشار از ماده آم به هر سه قسمت ذکر شده است. کودهای استفاده شده در منطقه شامل کودهای ازته، فسفره، پتاسه و کودهای حیوانی بوده است. تأثیرات محیطی استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی ناشی از انتشار آمونیم، NO_x ، N_2O ، و آب‌شویی فسفات بوده است که براساس روابطی که (Nemecek *et al.*, 2007b) پیشنهاد کرده، محاسبه شده است.

تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف الکترونیته به



شکل ۱. انتخاب دروازه مزرعه به‌منزله مرز سامانه تولید سیب‌زمینی

بخش‌های اثر بهره‌گرفته در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. روش ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی بر اساس $CML2^1$ صورت گرفته است (Guinée *et al.*, 2002).

جدول ۱. بخش‌های اثر و واحدهای اندازه‌گیری هر بخش

بخش‌های اثر	نماد	واحدهای اندازه‌گیری
گرمایش جهانی	CH	kg CO ₂ eq.
اختناق دریاچه‌ای	E	kg PO ₄ ⁻³ eq.
مسمومیت انسان	HT	kg 1,4-DB eq.

پتانسیل گرمایش جهانی به‌منظور بیان سهم گازهای منتشر شده از سامانه‌های زراعی که باعث بروز مشکل زیست‌محیطی تغییر آب‌وهوا می‌شود، استفاده می‌شود (Sheng-Wei *et al.*, 2010). برای یافتن شاخص پتانسیل گرمایش جهانی از رابطه ۱ استفاده می‌شود (Guinée *et al.*, 2002):

$$CH = \sum GWP_{a,i} * m_i \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه CH بیانگر تغییرات آب‌وهوایی (گرمایش جهانی) است و برحسب کیلوگرم CO₂ معادل بیان می‌شود. $GWP_{a,i}$ پتانسیل گرمایش جهانی برای ماده آم با طول عمر جوی a سال است. m_i (کیلوگرم) مقدار آلاینده منتشر شده است. در کل، نتیجه حاصل را پتانسیل گرمایش جهانی و در بعضی مراجع به‌منزله تغییرات آب‌وهوایی تعبیر می‌کنند که می‌تواند برای دوره‌های ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال محاسبه

نتایج و بحث

از آن‌جا که هر یک از نهاده‌های ورودی دارای انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی متفاوتی هستند، پیش از ارزیابی‌های زیست‌محیطی، میزان مصرف انرژی تحلیل شد. نیروی انسانی، کودهای شیمیایی و حیوانی، سوخت دیزل، ماشین‌ها، آب آبیاری، سموم شیمیایی و بذر مصرفی به‌منزله نهاده وارد فرایند تولید شدند. تأثیر مواد سمی موجود در طبیعت بر سلامتی انسان‌ها، با شاخص مسمومیت اندازه‌گیری می‌شود. این شاخص اثر، طبق رابطه ۳ محاسبه شده است (Guinée et al., 2002):

$$HT = \sum_i \sum_{ecom} HTP_{ecom,i} * m_{ecom,i} \quad (\text{رابطه ۳})$$

جدول ۲ هم‌ارز انرژی نهاده‌ها، ستانده، و انرژی مصرفی معادل را نشان می‌دهد.

نوع سوخت استفاده‌شده در نیروگاه برای تولید برق بستگی دارد. با فرض این‌که بخش بزرگی از نیروگاه‌ها از گاز طبیعی برای تولید برق استفاده کرده‌اند و مابقی نیروگاه‌های برق، آبی بوده‌اند، اطلاعات انتشار آلاینده‌های مرتبط با تولید الکتریسیته از نرم‌افزار SimaPro 5.1 استخراج گردیده است.

داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول نهاده‌های انرژی است که از روش پرسش‌نامه تهیه شده است و با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۳ تأثیرات زیست‌محیطی هر یک محاسبه شده است. دسته دوم شامل فرایندهایی است که برای تولید مواد مصرفی صورت گرفته است. محاسبه این فرایندها بخش جدانشدنی پروژه ارزیابی چرخه زندگی است. برای مثال برای تولید یک کیلوگرم کود از ته چه میزان مواد آلاینده به طبیعت افزوده می‌شود. برای استخراج این گروه از داده‌ها از پایگاه داده Ecoinvent استفاده گردیده است. درنهایت، نتایج حاصل از این دو گروه در هر بخش اثر با هم جمع و تفسیر نتایج صورت گرفته است.

جدول ۲. جدول تراز انرژی تولید سیب‌زمینی

مرجع	کل انرژی معادل (مگاژول بر هکتار)	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد	نهاده/ستانده
الف) نهاده				
(Kitani, 1999)	۶۰۳/۵۶	۱/۹۶	ساعت	نیروی کار
(Kitani, 1999)	۵۸۵۴/۵۴	۴۷/۸	لیتر	سوخت دیزل
(Kitani, 1999)	۴۵۳۲۲/۱	۱۲	کیلووات ساعت	الکتریسیته
(Mandal et al., 2002)	۲۶۵/۵۳	۱۲۰	کیلوگرم	سموم شیمیایی کودهای شیمیایی
(Pervanchon et al., 2002)	۱۹۴۸۳	۶۶/۱۴	کیلوگرم	نیتروژن
(Pervanchon et al., 2002)	۲۲۴۳/۷	۱۲/۴۴	کیلوگرم	فسفات
(Pervanchon et al., 2002)	۱۷۱۸/۸	۱۱/۱۵	کیلوگرم	پتاسیم
(Ozkan et al., 2004b)	۳۹۵۰/۸۴	۰/۳	کیلوگرم	کود حیوانی
(Ozkan et al., 2004a)	۱۲۳۰۷/۱	۳/۶	کیلوگرم	بذر
(Ozkan et al., 2004c)	۹۱۰/۹۱	۶۴/۸	کیلوگرم	ماشین‌ها
(Canakci and Akinci, 2006)	۱۸۷۸۷/۱۳	۱/۰۲	مترمکعب	آب آبیاری
	۱۱۱۴۵۰		مگاژول بر هکتار	کل انرژی ورودی
ب) ستانده				
(Esengun et al., 2007)	۷۹۲۰۶	۳/۶	کیلوگرم	سیب‌زمینی

کودهای از ته نقش مهمی در انتشار آلاینده‌ها دارند. N_2O به صورت محصول میانی در طول دوره فرایند دی‌نیتریفیکاسیون در خاک تولید می‌شود. همچنین می‌تواند به عنوان محصولی جانبی در فرایند تبدیل NH_4^+ به NO_3^- حاصل شود. کشاورزی‌های فشرده^۱ با میزان بالای مصرف کودهای از ته سهم زیادی در افزایش انتشار N_2O دارند. اکسید دی‌نیتروژن جزء گازهای گلخانه‌ای با تأثیر بسیار زیاد است.

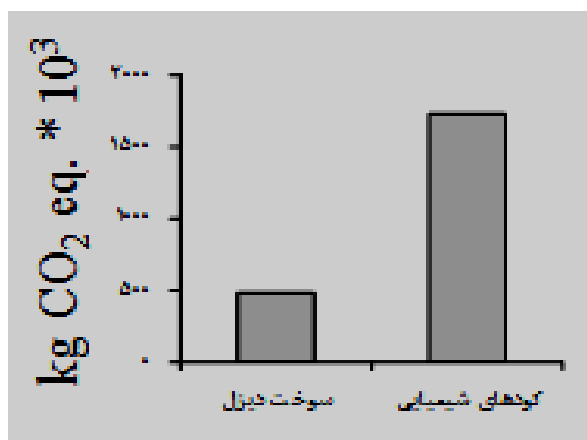
پیش از این نیز در تحقیقاتی که بر سامانه‌های زراعی در کشور سوئیس انجام گرفت، مشخص گردید که CO_2 و N_2O منتشرشده از کودهای شیمیایی بیشترین سهم را در پتانسیل گرمایش جهانی داشته است اما متان با وجود تأثیر بسیار مهمی که در زراعت دارد روی این شاخص نقش کم‌رنگی داشته است (Nemecek et al., 2011).

در شاخص اختناق دریاچه‌ای نیز، مواد انتشاریافته از کودهای شیمیایی دارای بیشترین تأثیر بودند. مهم‌ترین ماده منتشرشده از کودهای شیمیایی که بیشترین نقش را بر اختناق دریاچه‌ای ایفا کرد فسفات با سهم ۶۸ درصد بوده است. فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان به حساب می‌آید که باید از طریق کودهای شیمیایی و حیوانی تأمین شود. بخشی از فسفر از طریق آب‌شویی از دست می‌رود و وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. فسفر اصلی‌ترین عامل اختناق دریاچه‌ای در بیشتر اکوسیستم‌های آبی اروپا معرفی شده است (Charles et al., 2006). در این بخش پس از فسفات، NO_3 با ۲۳ درصد بیشترین اثرگذاری را نشان داد. سموم شیمیایی در این قسمت، مؤثر نبوده‌اند. احتراق سوخت‌های دیزل نیز تأثیر بسیار کمی در این قسمت داشته است (شکل ۳).

در ارزیابی زیست‌محیطی که روی تولید گوجه‌فرنگی در مزارع و گلخانه‌های تونلی با استفاده از کمپوست و کودهای شیمیایی انجام گرفت، آشکار شد که کودهای شیمیایی در مرحله تولید، بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های اسیدی‌شدن، پتانسیل گرمایش جهانی و اختناق دریاچه‌ای دارند (Ma-rtinez-Blanco et al., 2011). از این رو، مدیریت

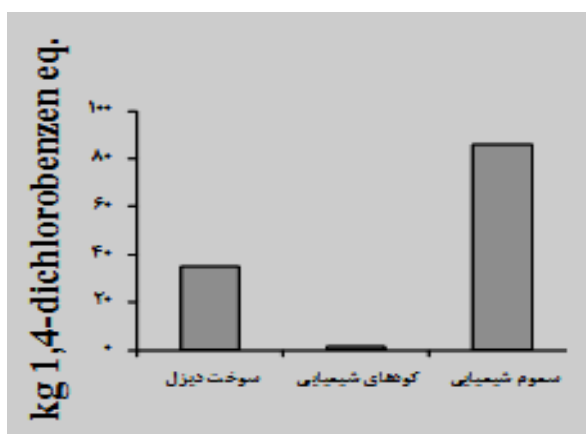
بیشترین مصرف انرژی به میزان ۴۵۳۲۲/۱ مگاژول بر هکتار به الکتریسیته تعلق دارد. بخش قابل توجهی از این انرژی برای آبیاری مزارع صرف می‌شود. پس از آن کودهای شیمیایی با سهم ۲۱ درصدی بیشترین میزان انرژی را به خود اختصاص دادند. در میان کودهای شیمیایی، کودهای از ته با سهم ۸۳ درصدی بیشترین میزان مصرف را داشته است. در مطالعه‌ای که در استان همدان بر میزان انرژی مصرفی در تولید سیب‌زمینی صورت گرفت، نشان داده شد که بیشترین میزان انرژی مصرفی در تولید سیب‌زمینی به الکتریسیته و کودهای شیمیایی به ترتیب با ۵۶۰۲۳/۵۱ و ۳۲۹۴۸/۴۲ مگاژول بر هکتار تعلق دارد (Zangeneh et al., 2010). در تحقیقات مشابه دیگری در استان اصفهان، آشکار شد که بیشترین انرژی مصرفی به کودهای شیمیایی و بذر مصرفی به ترتیب به میزان ۲۳۱۸۱ و ۱۱۴۹۷ مگاژول بر هکتار اختصاص دارد (Pishgar-Komleh et al., 2012). تفاوت نتایج به دست آمده در این است که در پژوهش مذکور از سوخت دیزل برای تأمین برق مصرفی به منظور استحصال آب استفاده می‌شد اما بررسی‌های ما در این مطالعه نشان داد که در بیشتر مزارع از الکتریسیته برای آبیاری مزارع استفاده می‌شود.

مؤثرترین عامل بر پتانسیل گرمایش جهانی استفاده از کودها است (شکل ۴). مهم‌ترین ماده انتشاریافته از آن‌ها که بیشترین تأثیر را در افزایش پتانسیل گرمایش جهانی نشان داد، اکسید دی‌نیتروژن انتشاریافته به هوا (۹۷ درصد) بود. در سوخت دیزل، دی‌اکسید کربن انتشاریافته به هوا، با سهم ۹۲ درصد مهم‌ترین نقش را ایفا کرد.



شکل ۲. پتانسیل گرمایش جهانی برای ۱۰۰ سال

تأثیرات زیست‌محیطی کاربرد قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها در مزارع و گلخانه‌ها با هم متفاوت است. این تأثیرات برای محصولات کشت‌شده در گلخانه‌های پلاستیکی بیشتر از مزارع است. اما در مورد کاربرد علف‌کش‌ها نتیجه حاصل‌شده کاملاً برعکس است. بنابراین، پیشنهاد شده است که در مناطقی که میزان آسیب‌پذیری و احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی بالا است، انتخاب سموم شیمیایی با دقت بیشتری صورت پذیرد (Marucci et al., 2008).



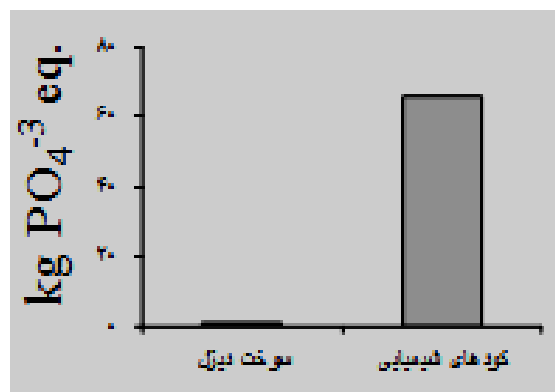
شکل ۴. مسمومیت انسان

عدم استفاده از سموم شیمیایی و استفاده از شیوه‌های کشت ارگانیک در پاره‌ای از مواقع سبب کاهش عملکرد محصول خواهد شد. دو راهکاری که برای حمایت از کشاورزان و ترغیب آن‌ها به کشت‌های ارگانیک وجود دارد شامل تعیین قیمت بالاتر برای محصولات ارگانیک و حمایت‌های دولت به صورت دادن یارانه مستقیم به آن‌ها است. در برخی از کشورهای اروپایی نظیر سوئیس پرداخت مستقیم به کشاورزان برای حمایت از آن‌ها در کشت‌های ارگانیک و کشت‌های بدون سموم و کودهای شیمیایی به منظور حفظ محیط‌زیست صورت می‌گیرد (Nemecek et al., 2011).

به منظور تحلیل بهتر نتایج به دست آمده، تأثیر کودهای شیمیایی، سوخت دیزل، و مواد شیمیایی به صورت درصد تأثیر کل در شکل ۵ نشان داده شده است.

مدیریت کودهای شیمیایی، هم از جنبه انرژی و هم از دیدگاه زیست‌محیطی بسیار با اهمیت است. مواد انتشاریافته از این کودها بر هر سه شاخص اثرگذارند،

مصرف کودهای شیمیایی در کاهش این شاخص‌ها بسیار تأثیرگذار است.



شکل ۳. اختناق دریاچه‌ای

برای کاهش اثرات زیست‌محیطی مواد باقی‌مانده از کودهای شیمیایی در خاک، پیش از هرگونه استفاده از آن‌ها، باید میزان ماده آلی خاک به همراه ریزمغذی‌های پرمصرف و کم‌مصرف موجود در خاک مشخص شود و باتوجه به ویژگی‌های خاک از نظر فیزیکی، شیمیایی، و میزان هدایت عصاره خاک و روش‌های آبیاری استفاده‌شده، میزان و نوع کود مصرفی تعیین شود (Russo and De Lucia, 2008).

تحلیل نتایج حاصل از مسمومیت انسان‌ها، نشان داد که سموم شیمیایی به کاررفته در کشت سیب‌زمینی بیشترین تأثیر را در این بخش اثر، به همراه داشته است (شکل ۴). بالاترین اثرگذاری در این قسمت به دیازینون با ۶۸ درصد تعلق داشت. کودهای شیمیایی دارای کم‌ترین اثرگذاری بودند. کرومیوم^۱ مهم‌ترین موادی است که در اثر احتراق سوخت دیزل در این قسمت مشاهده شد. آلاینده‌های ناشی از روغن‌ها متناسب با سوخت دیزل مصرفی در نظر گرفته شده‌اند. میزان روغن مصرفی به صورت ۳/۶ مگاژول به ازای هر لیتر سوخت دیزل مصرفی در تراکتور در نظر گرفته شده است (Dalgaard et al., 2001). با محاسبه چگالی و ارزش گرمایی برابر با سوخت دیزل برای روغن‌ها، مقدار روغن مصرف‌شده به صورت ۰/۱ کیلوگرم بازای هر کیلو دیزل یا ۰/۰۲۴ کیلو بازای هر مگاژول دیزل مصرفی تعیین شده است.

در نیروگاه‌ها به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی، آلاینده‌های زیست‌محیطی زیادی منتشر می‌شوند. با این فرض که در تمام مزارع، داخل مرز سامانه انتخاب‌شده، از موتورهای الکتریکی به جای موتورهای دیزلی برای استحصال آب استفاده شده است، و هدف بررسی میزان آلاینده‌گی درون مزرعه است، از این رو، الکتریسیته روی شاخص‌های انتخاب‌شده بی‌تأثیر بوده است. در مقابل، سموم شیمیایی استفاده‌شده که از نظر میزان مصرف انرژی کم‌ترین اثرگذاری را داشتند، در شاخص مسمومیت انسان‌ها بسیار مؤثر بودند. بنابراین، مدیریت مصرف سموم شیمیایی و استفاده از روش‌های بیولوژیک می‌تواند کاهش‌دهنده این شاخص باشد. استفاده از سوخت دیزل علاوه بر تأثیرگذاری در مصرف انرژی از نظر آلودگی، در هر سه بخش مشاهده می‌شود. پیشنهاد می‌شود با استفاده از سوخت‌های زیستی و پاک‌تر علاوه بر کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، به حفظ محیط‌زیست نیز کمک کنیم. مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از کشت‌های ارگانیک در کاهش شاخص‌های گرمایش جهانی و اختناق دریاچه‌ای بسیار مؤثر خواهد بود. مدیریت مصرف کودهای شیمیایی، علاوه بر کاهش انرژی مصرفی در این بخش، به کاهش شاخص‌های زیست‌محیطی نیز کمک چشمگیری خواهد کرد.

■ سپاسگزاری

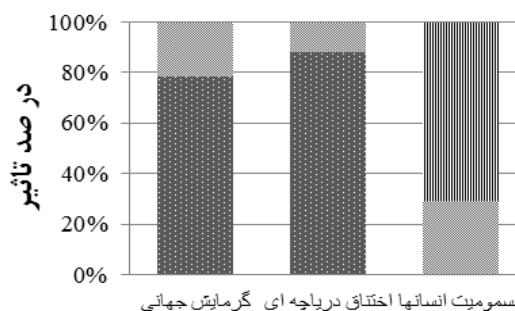
از زحمات مهندس مهدی جمالی قهدریجانی که در تکمیل اطلاعات مورد نیاز نهایت همکاری را با ما داشتند، صمیمانه سپاس‌گزاریم. از گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران که حمایت مالی این تحقیق را بر عهده داشته است، قدردانی می‌کنیم.

■ اختصارات

EP	پتانسیل اختناق دریاچه‌ای
GWP	پتانسیل گرمایش جهانی
HTP	پتانسیل مسمومیت انسان‌ها

هرچند که بیشترین تأثیر آن‌ها روی اختناق دریاچه‌ای (۸۸ درصد) و گرمایش جهانی (۷۸ درصد) است. استفاده تلفیقی از کمپوست‌ها به همراه کودهای شیمیایی، علاوه بر بهبود وضعیت فیزیکی خاک، می‌تواند به حفظ محیط‌زیست و افزایش پایداری در کشاورزی کمک کند. مزایای اصلی مزارع ارگانیک حفاظت بهتر از منابع است. علت این امر آن است که مزارع ارگانیک بیشتر از منابع داخلی و آلی خودشان بهره می‌برند و ورود نهاده‌ها به‌ویژه نهاده‌های شیمیایی به آن‌ها محدود است، در نتیجه منابع فسیلی و معدنی کمتری استفاده می‌شود (Nemecek et al., 2011).

به‌منظور کاهش تأثیرات منفی ناشی از احتراق سوخت دیزل که در هر سه شاخص نقش قابل توجهی دارد، استفاده از سوخت‌های زیستی یکی از راه‌حل‌های موجود است. سوخت‌های زیستی نسبت به سوخت دیزل متداول، دارای آلاینده‌گی کمتری است. احتراق آن در مقایسه با سوخت دیزل سبب کاهش میزان ریزذرات، منواکسیدکربن، و در شرایط ویژه سبب کاهش اکسیدهای نیتروژن می‌شود. بیودیزل‌ها بر کاهش انتشار SO_x مؤثرند و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از میزان CO ، هیدروکربن‌ها، دوده و ریزذرات می‌کاهند.



کودهای شیمیایی ■ سوخت دیزل ■ آفت کش ها ■

شکل ۵. درصد تأثیر کل مواد به کاررفته

■ نتیجه‌گیری

با این‌که الکتریسیته بیشترین میزان انرژی مصرفی را به‌خود اختصاص داده است اما درون مرز انتخاب‌شده برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی، بی‌تأثیر بوده است. هرچند باید یادآور شد که در فرایند تولید الکتریسیته

REFERENCES

1. Anonymous (2009). Annual agricultural statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran.
2. Banaeian, N., Omid, M., and Ahmadi, H. (2011). Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. *Energy Conversion and Management* 52, 1020-1025.
3. Canakci, M., and Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy Convers Manage* 31, 1243-56.
4. Charles, R., Jolliet, O., Gillard, G., and Pellet, D. (2006). Environmental analysis of intensity level in wheat production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 113, 216-225.
5. Dalgaard, T., Halberg, N., and Porter, J. R. (2001). A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87, 51-65.
6. Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O., and Erdal, H. (2007). An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renew Energy* 32, 1873-1781.
7. FAO (2007). <http://www.fao.org>.
8. Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., de Koning, K. R. A., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., Bruijn, H., Duin, R. v., and Huijbregts, M. A. J. (2002). "Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards," Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
9. ISO. (2006). ISO 14040 - Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.
10. Kitani, O. (1999). Energy and Biomass Engineering. In "CIGR Handbook of Agricultural Engineering", Vol. 5, pp. 330. St. Joseph, MI: ASAE.
11. Malca, J., and Freire, F. (2010). Energy and environmental benefits of rapeseed oil replacing diesel. *Int. J. Green Energy* 6, 287-301.
12. Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M., and Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India *Biomass Bioenergy* 23(5), 337-345.
13. Martinez-Blanco, J., Munoz, P., Anton, A., and Rieradevall, J. (2011). Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of cleaner production* 19, 985-997.
14. Marucci, A., Pagniello, B., Campiglia, E., Roupheal, Y., and Colla, G. (2008). Environmental impact of pesticides in vege crop production under the Mediterranean climate of central Italy. *Acta Hort* 801, 1583-1590.
15. Mila i Canals, L., Burnip, G. M., and Cowell, S. J. (2006). Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 114, 226-238.
16. Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., and Gaillard, G. (2011a). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agriculture Systems* 104, 217-232.
17. Nemecek, T., Kägi, T., and Blaser, S. (2007b). Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent v2.0 No.15. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. Available from: <http://www.ecoinvent.org/documentation/reports/>.
18. Ozkan, B., Akcaoz, H., and Fert, C. (2004a). Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renew Energy* 29, 39-51.
19. Ozkan, B., Akcaoz, H., and Karadeniz, F. (2004b). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Convers Manage* 45, 1821-1830.
20. Ozkan, B., Kurklu, A., and Akcaoz, H. (2004c). An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass Bioenergy* 26, 189-95.
21. Pervanchon, F., Bockstaller, C., and P., G. (2002). Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agroecological indicator: the energy indicator. *Agric. Syst.* 72, 149-72.
22. Pishgar-Komleh, S. H., Ghahderijani, M., and Sefeedpari, P. (2012). Energy consumption and CO2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner production*.
23. Romero-Gomez, M., Suarez-Rey, E. M., Anton, A.,

- Castilla, N., and Soriano, T. (2012). Environmental impact of greenhouse and open-field cultivation using a life cycle analysis: the case study of green bean production. *Journal of Cleaner Production* 28, 63-69.
24. Russo, G., and De Lucia, B. (2008). Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation. *Acta Horti* 801 1597-1604.
25. Sheng-Wei, N., Wang-Sheng, G., Yuan-Quan, C., and Peng-Sui, A. (2010). Use of life cycle assessment methodology for determining phytoremediation potentials of maize-based cropping systems in fields with nitrogen fertilizer. *Journal of Cleaner Production* 18, 1530-1534.
26. Singh, S. (2007). A study on technical efficiency of wheat cultivation in Haryana. *Agric.Econ.Res.Rev* 20, 127-36.
27. Zangeneh, M., Omid, M., and Akram., A. (2010). A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technology in Hamadan province of Iran. *Energy Conversion and Management* 35, 2927-2933.