فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

۲۶۶-۲۵۱
مقاله پژوهشی

ارزیابی چرخه حیات (LCA) در تولید محصول های کشاورزی، مطالعه موردی: سیب و انگور

الهام ابراهیمی[۱*] و لاله ابراهیمی[۲]

[۱] گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۲] بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۲

ابراهیمی، ا. و ابراهیمی ل. ۱۴۰۱. ارزیابی چرخه حیات (LCA) در تولید محصول‌های کشاورزی، مطالعه موردی: سیب و انگور. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۱): ۲۵۱-۲۶۶.

سابقه و هدف: روش ارزیابی چرخه حیات (LCA)[۱] از روش‌های جامع ارزیابی است که امکان تخمین اثرهای محیط زیستی تجمعی ناشی از همه مرحله‌های چرخه حیات یک فعالیت را فراهم می‌آورد. نبود توجه کافی به الگوی مصرف نهاده‌های تولیدی در بخش کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی آب در ایران، می‌تواند سبب تشدید چالش‌های محیط زیستی شود. اتلاف نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی برای افزایش بهره‌وری، سبب آلودگی منابع آب و خاک می‌شود. از سوی دیگر در مطالعات مربوط به ارزیابی اثرهای محیط زیستی، محصول‌های زراعی به مراتب بیشتر از محصول‌های باغی مورد توجه قرار گرفته است، حال آنکه محصول‌های باغی آب‌بر تر هستند.

مواد و روش‌ها: با توجه به اینکه ایران به‌عنوان کشوری نیمه خشک با بحران کم‌آبی مواجه است، در این مطالعه ارزیابی فعالیت‌های کشاورزی و محصول‌های انگور و سیب با استفاده از جاپای بوم‌شناختی و ارزیابی چرخه حیات به‌عنوان راهکار مناسبی برای برنامه‌ریزی‌های آینده در جهت کاهش فشارهای محیطی و تأمین نیازهای مصرفی در راستای نیل به هدف‌های توسعه پایدار مدنظر قرارگرفته است. برای اطلاعات مربوط به تولید نهاده‌ها و تجزیه وتحلیل اثرهای محیط زیستی محصول‌های انگور و سیب، از نرم‌افزار Simapro 9.0.0.49 استفاده شده است. محاسبات به ازای یک واحد کارکردی معادل با یک کیلوگرم انجام شد. تأثیر چرخه حیات ارزیابی و در شش گروه تأثیر تقاضای انرژی تجمعی، جاپای بوم‌شناختی، جاپای آب، پتانسیل گرمایش جهانی، پروتکل گازهای گلخانه‌ای و سنجه زیستی (شامل گازهای گلخانه-ای، لایه اوزون، اسیدی شدن، تغذیه گرایی، فلزهای سنگین، آفت کش و منابع انرژی) دسته بندی شد.

نتایج و بحث: براساس نتایج، سنجه کمیابی آب براساس جاپای آب برای سیب حدود ۱/۷ برابر انگور است. مقدار جاپای بوم‌شناختی کربن دی اکسید و اشغال سطح برای محصول سیب به ترتیب ۱/۳ و ۴/۶۵ برابر محصول انگور می‌باشد. پتانسیل گرمایش جهانی که براساس تجمع گازهای کربن دی‌اکسید، متان و نیتروژن اکسید به‌دست می‌آید، تفاوت فاحشی در بین این دو محصول نداشته و مقدار آن برای

* Corresponding Author: *Email Address*. ebrahimielham@ut.ac.ir
http://dx.doi.org/envs.2021.36828
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.1.14.3

سیب ۱/۳ برابر انگور می‌باشد. تولید گازهای گلخانه‌ای و نیز آسیب ناشی از استفاده از آفت‌کش‌ها برای محصول سیب به‌ترتیب با نسبت ۱/۲۹ و ۴/۲۴ بیشتر از محصول انگور است. مقدار مصرف منابع انرژی برای یک واحد عملکردی از دو محصول سیب و انگور به‌ترتیب برابر ۱۰/۱ و ۹/۱۳ مگاژول ارزش حرارتی خالص می‌باشد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی ارزیابی اثرهای محیط زیستی تولید دو محصول سیب و انگور نشان داد که در بیشتر سنجه‌های مورد مطالعه، محصول سیب آسیب بیشتری به محیط‌زیست وارد می‌کند. حال‌آنکه میزان کاهش دی کسید کربن برای یک کیلوگرم محصول سیب ۴۴ برابر همین میزان محصول انگور است. بسته به وضعیت محیط زیستی منطقه مطالعاتی، می‌توان درمورد ترجیح کشت این دو محصول تصمیم‌گیری نمود. با توجه به منابع محدود آب در ایران، تغییر و بهبود الگوی کشت در مقیاس خرد و کلان می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر وضعیت محیط زیست بگذارد. روش‌های مدیریت زراعی مانند کاربرد نهاده‌های آلی، گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن و مدیریت خاک‌ورزی می‌توانند به‌منظور کاهش اثرهای محیط زیستی مدنظر قرار بگیرند. استفاده از روش‌های کنترل بیولوژیک آفت‌ها می‌تواند از مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌ها و سم‌ها جلوگیری و سبب آسیب کمتر به محیط زیست شود.

واژه‌های کلیدی: سنجه زیستی، اثرهای محیط‌زیستی، جاپای بوم‌شناختی، مصرف منابع، گرمایش جهانی.

مقدمه

با رشد فزاینده جمعیت در سال‌های اخیر و به‌تبع آن افزایش مصرف منابع، فشار بر محیط‌زیست و منابع افزایش یافته و ادامه این روند سبب می‌شود که محیط توان تأمین نیازهای جمعیت را نداشته باشد. استفاده بیش‌ازحد از منابع می‌تواند سبب ایجاد پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی جبران-ناپذیری شود. با توجه به مفاهیم توسعه پایدار، ظرفیت محدود منابع و افزایش نیازهای اساسی جمعیت، تعیین میزان مصرف و وسعت زمین‌های پشتیبان مورد نیاز جهت برنامه‌ریزی مطلوب با رویکرد آینده‌نگرانه ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا مفهوم جاپای بوم‌شناختی و روش-های سنجش آن به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری پایداری فعالیت‌های انسانی دارای اهمیت است. براساس آمارهای موجود، حدود ۹۰ درصد از مصرف آب در کشور به بخش کشاورزی مربوط می‌شود (Ebrahimi and Zarghami, 2019) و از سوی دیگر تا حدود ۲۰ درصد از اثرهای گلخانه‌ای زمین، مربوط به فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد (Khojastehpour *et al*., 2015; Kheyralipour *et al*., 2017; Fathi *et al*., 2019).

تأثیرهای کشاورزی در ایران نیز بر محیط‌زیست، شامل کمبود آب، آلودگی کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، فرسایش خاک، ورود آفت‌کش‌ها و کودها به منابع آب و خاک و بیماری‌های ناشی از آن‌ها، استفاده از فاضلاب‌های شهری تصفیه نشده برای آبیاری و آلودگی محصول‌های کشاورزی می‌باشد(Bennett *et al*., 2004; Elhami *et al*., 2014; Khodarezayi *et al*., 2017; Dekamin 2019; Amiri *et al*., 2020). از دلیل‌های اصلی افزایش غلظت دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای، مصرف سوخت‌های فسیلی، تولید سیمان و تغییر کاربری زمین‌ها بوده و افزایش سوزاندن زیست‌توده گیاهی، عملیات خاک‌ورزی، مصرف کودها و دیگر مواد شیمیایی مانند آفت‌کش‌ها و سم‌های دفع آفت‌ها نیز سبب تشدید این مشکل شده است (Vafabakhsh and Mohammadzadeh, 2019). هر فعالیت کشاورزی که میزان منابع تخلیه شده و آلودگی‌های انتشاریافته آن، توسط محیط طبیعی قابل جبران باشد، ازنظر اکولوژیکی پایدار خواهد بود. ازاین‌رو ارزیابی دقیق اثرهای محیط زیستی، اولین قدم در ارزیابی پایداری اکولوژیکی یک سیستم تولید کشاورزی است (Garrigues *et al*., 2011). روش ارزیابی چرخه حیات از روش‌های جامع ارزیابی اثرهای محیط زیستی به‌شمار می‌رود و یک رویکرد گهواره تا گور[۲] برای ارزیابی سیستم‌های مختلف است. به‌بیان‌دیگر این فرایند ارزیابی با جمع‌آوری مواد خام برای تولید محصول آغاز و با برگشت محصول مصرفی به زمین به پایان رسیده و امکان تخمین اثرهای

محیط زیستی تجمعی ناشی از همه مرحله‌های چرخه حیات محصول را فراهم می‌آورد (Karegari and Mastouri, 2010). تعریف LCA براساس انجمن سم شناسی محیط زیستی و شیمی[۳] عبارت است از "شناسایی و کمی کردن انرژی و مواد مصرفی و زائده‌های منتشره به محیط‌زیست و ارزیابی فرصت‌ها برای بهبود وضعیت محیط‌زیست که شامل کل چرخه حیات محصول، فرایند یا فعالیت، از استخراج مواد خام، تا دفع نهایی می‌شود" (SEAC, 1993).

اثرهای محیط زیستی بخش کشاورزی، در مورد منابع آب، هوا و خاک می‌تواند به‌طورکلی شامل گرمایش زمین، اسیدی شدن، نیتریفیکاسیون، سمیت اکولوژیکی (اکوسیستم آبی و خاکی)، تأثیر بر لایه اوزون و در نهایت مقدار انرژی مصرف‌شده تجدید ناپذیر توسط سیستم می‌باشد. نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده در ایران با هدف نشان دادن دامنه وسیع مطالعات مربوط به ارزیابی محیط زیستی در کشاورزی و اهمیت نقش آن‌ها در مدیریت پایدار نظام‌های کشاورزی، بیان شده است. در مورد مطالعات مربوط به ارزیابی چرخه حیات محصول‌های زراعی در ایران می‌توان به (Soltani *et al*., 2010; Fallahpour *et al*., 2012; Hasemi-Mobtaker *et al*., 2020) برای محصول گندم، (Shiri *et al*., 2018; Khoshnevisan *et al*., 2019) برای ذرت، (Khorramdel *et al*., 2014; Zarei *et al*., 2019) برای گوجه‌فرنگی و خیار و (Mousavi-avval *et al*., 2015; Khanali *et al*., 2018; Fathi *et al*., 2019) برای دانه‌های روغنی اشاره کرد. در مورد مطالعات ارزیابی چرخه حیات محصول‌های باغی نیز، مطالعات (Hesampour *et al*., 2018) برای خرما، (Waismoradi *et al*., 2015; Alishah *et al*., 2019) برای مرکبات، (Rajaeifar *et al*., 2014; Khodarezayi *et al*., 2017) برای زیتون و (Naderi *et al*., 2020) برای سیب مورد بررسی قرارگرفته‌اند. در مطالعات اشاره شده، ارزیابی چرخه حیات به‌طور عموم در مقیاس محدود مورد بررسی قرارگرفته است و به مفهوم جاپای بوم‌شناختی توجه نشده است.

در این مقاله، ابتدا جمع‌بندی مطالعات مربوط به ارزیابی اثرهای محیط زیستی در بخش کشاورزی ارائه شده است. سپس به جزئیات استفاده از روش LCA در فعالیت‌های مختلف بخش کشاورزی، تعیین دامنه و محدوده و نیز جمع‌بندی بررسی‌های انجام‌شده با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات برای تولید محصول‌های کشاورزی انگور و سیب در بخش‌های مختلف ایران (ازجمله حوضه دریاچه ارومیه) . به‌عنوان محصول‌های پرآب‌بری با تأکید بر پتانسیل گرمایش جهانی، مدنظر قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

فعالیت‌های کشاورزی منجر به مشکل‌های مختلف محیط‌زیستی شامل مصرف بالای منابع، گرمایش جهانی، تغذیه‌گرایی و نیز آلودگی‌های ناشی از آفت‌کش‌ها شده است. در این مطالعه، ارزیابی مستمر منابع برای برنامه‌ریزی‌ها در جهت کاهش فشارهای محیطی و تأمین نیازهای مصرفی به‌صورت صحیح با استفاده از مفاهیم توسعه پایدار مانند روش جاپای بوم-شناختی با تأکید بر روش LCA مدنظر قرارگرفته است. برای تجزیه و تحلیل اثرهای محیطی زیستی از نرم‌افزار Simapro 9.0.0.49 استفاده شده است.

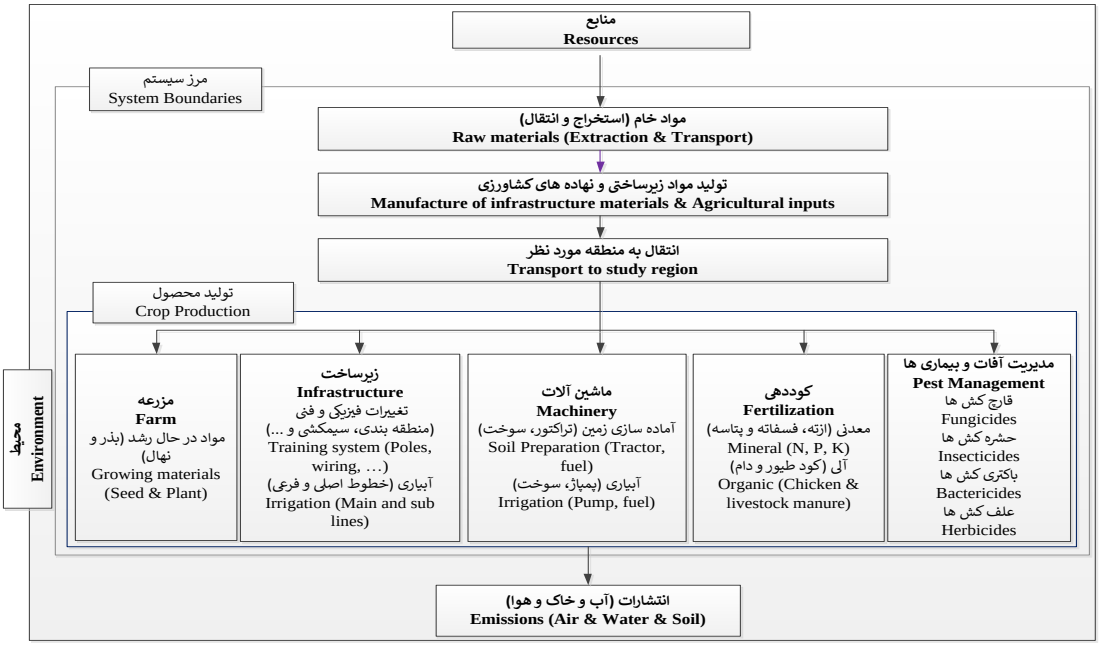
سه رویکرد اصلی برای محاسبه جاپای بوم‌شناختی وجود دارد که شامل روش مؤلفه‌ای (روش ارزیابی چرخه حیات)، روش مرکب و تلفیق این دو روش می‌باشد (Simon *et al*., 2000). در مطالعه حاضر ۱) تقاضای انرژی تجمعی[۴]، ۲) جاپای بوم‌شناختی[۵]، ۳) جاپای آب[۶]، ۴) پتانسیل گرمایش جهانی[۷]، 5) پروتکل گازهای گلخانه‌ای[۸]، و 6) سنجه زیستی[۹] براساس رویکرد LCA محاسبه شده است. روش محاسبه در ادامه ارائه شده است.

ارزیابی چرخه حیات

به‌طورکلی چهار فاز مختلف در روش LCA باید از هم تمییز داده شوند: شناسایی هدف و دامنه، آنالیز فهرست موجودی، ارزیابی اثرها و تفسیر (Khoshnevisan *et al*., 2013;

(Naderi *et al.*, 2020). کاربرد این روش در سیستم‌های کشاورزی به اندازه کافی خوب و دارای نتایج قابل قبول است که می‌تواند اطلاعات لازم برای پایداری اقتصادی و محیط زیستی سیستم‌های کشاورزی موجود را ارائه دهد (Thomassen *et al.*, 2008). در مرحله تعیین هدف و دامنه، چرایی (هدف) و چگونگی (دامنه) و محدوده مطالعه (مرز سیستم) تعیین و به‌دلیل ماهیت تکرارپذیر ارزیابی چرخه حیات، ممکن است دامنه کاربرد در حین مطالعه تصحیح شود. تعریف هدف و دامنه کاربرد یک پروژه، ارزیابی چرخه حیات، زمان و منابع مورد نیاز را تعیین می‌کند. واحد کارکردی وزن و زمین از متداول‌ترین واحدهای کارکردی در مطالعات کشاورزی بوده و دامنه ارزیابی چرخه حیات مطالعه به لحاظ پوشش زمانی، فنی و جغرافیایی و سطح پیچیدگی مطالعه در ارتباط با هدف مطالعه تعریف و تعیین می‌شود. مرز سیستم شامل مواد مصرفی در تولید محصول و انتشارات است. تمام موارد سهیم در چرخه حیات محصول داخل مرز سیستم نشان داده می‌شوند (Roy *et al.*, 2009).

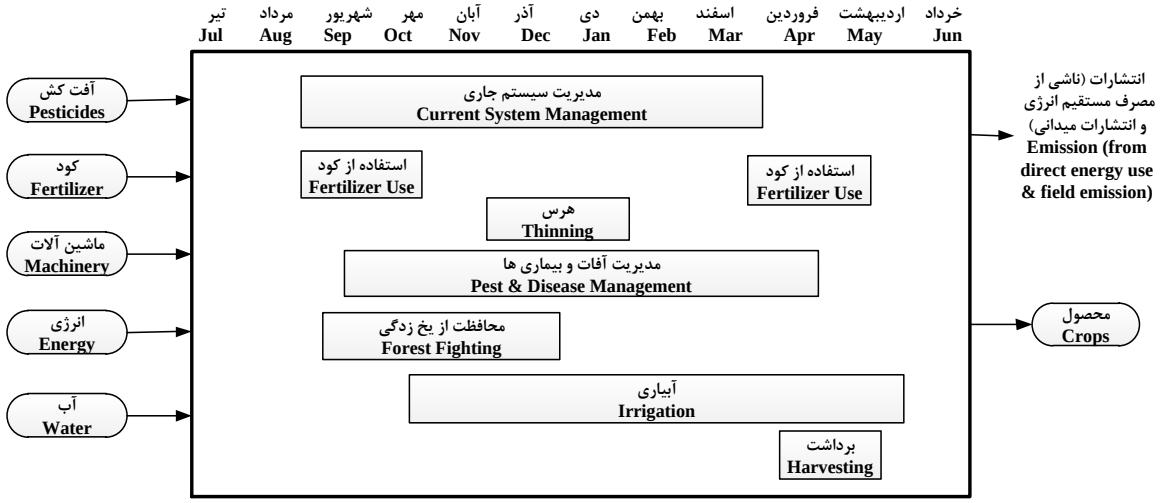
در آنالیز فهرست موجودی، جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز به‌منظور کمی سازی ورودی‌ها و خروجی‌های چرخه حیات محصول بررسی می‌شوند. فعالیت‌های کشاورزی شامل روش‌هایی است که توسط کشاورز به‌کاربرده می‌شود مانند روش‌های آبیاری، کنترل علف‌های هرز، هرس، مدیریت استفاده از کودها و نهاده‌ها و مدیریت آفت‌ها و بیماری‌ها. برخی از داده‌ها قابل جمع‌آوری بوده و دسته دیگر از داده‌ها مربوط به مواردی هستند که از پایگاه‌های داده بین‌المللی قابل دریافت می‌باشند. در ارزیابی اثرها، پیامدهای چرخه حیات یا بررسی می‌شوند. ارزیابی اثر مرحله‌ای از ارزیابی چرخه حیات است که هدف آن سنجش پتانسیل اثرهای محیط زیستی سیستم تولید است. در واقع هدف ارزیابی پیامد چرخه حیات ارائه نتایج قابل فهم است که با استفاده از آن بتوان اثرهای محیط زیستی سیستم مورد مطالعه را به‌درستی درک و نتایج را مقایسه نمود. در مرحله تفسیر که آخرین بخش ارزیابی است، نتایج به‌دست آمده پیامدهای محیط زیستی و گزینه‌هایی برای کاهش آن‌ها ارائه می‌دهد. هدف اساسی LCA، شناسایی فعالیت‌هایی هست که دارای اثرهای محیط زیستی هستند. به این منظور تولید محصول به‌عنوان یک فعالیت کشاورزی به‌صورت عمومی در نظر گرفته شده است (شکل ۱).



شکل ۱- مرحله‌های مختلف چرخه حیات سیستم‌های کشاورزی (با اقتباس از Bojacá *et al.* 2017)

Fig. 1- Different stages of the life cycle of agricultural systems (adopted from Bojacá *et al.*, 2017)

در شکل ۱، چرخه حیات از مقطع استخراج مواد از منابع آغاز و به انتشارات مربوطه به محیط (آب، خاک و هوا) منتهی می‌شود. شکل ۲، عملیات میدانی در تولید محصول‌های کشاورزی را نشان می‌دهد که شامل جزئیات بیشتر می‌باشد.



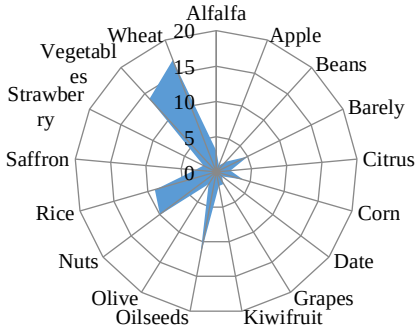
شکل ۲-عملیات میدانی در تولید محصول‌های کشاورزی (با اقتباس از Canals *et al.*, 2006)

Fig. 2- Field operations in agricultural production (adopted from Canals *et al.*, 2006)

براساس شکل ۲، فرایندهای عملیات میدانی کشاورزی نشان داده شده است. انتشار گازهای مضر در طول عملیات میدانی به مدیریت علف‌های هرز، استفاده از کود، هرس و مدیریت آفت‌ها و بیماری‌ها مربوط می‌شود. از ماشین‌آلات مختلف برای عملیات میدانی مانند کود دهی، کنترل آفت-ها، برداشت محصول، هرس و غیره استفاده می‌شود. این ماشین‌آلات شامل تراکتور، مورس و سم‌پاش می‌باشند و انرژی مرتبط با ماشین‌آلات شامل انرژی ناشی از مواد اولیه، نگهداری و حمل و نقل است. انتشار CO_2 در درجه اول به میزان کربن سوخت بستگی دارد اما مقدار انرژی مصرفی در دوره‌های مختلف تولید محصول نیز محاسبه می‌شود.

مطالعه موردی

در این مطالعه، محاسبه جاپای بوم‌شناختی آب و کربن با تأکید بر بخش کشاورزی مدنظر قرارگرفته است. برای تعیین محصول‌هایی که در مطالعه موردی بررسی شوند، در ابتدا مروری بر حدود ۸۰ مطالعه انجام شده در ایران انجام شد. پراکندگی مطالعات ارزیابی چرخه حیات در کشاورزی ایران در شکل ۳ نشان داده شده است. حال‌آنکه براساس اطلاعات شکل ۱، جنبه‌های بسیاری از ارزیابی چرخه حیات در کشاورزی ایران، از جمله بخش مدیریت آفت‌ها و بیماری‌ها، کود، آب و سوخت مصرفی در زمان‌های مختلف فعالیت، مورد غفلت واقع شده است. درحالیکه استفاده از انرژی فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل فعالیت‌های مربوط به تولید و حمل کودها و سم‌های دفع آفت‌ها است؛ مصرف انرژی برای آبیاری به کمیت و منبع آب مورد استفاده، فاصله تحویل از منبع و نوع سیستم آبیاری به‌کار رفته مربوط می‌شود و میزان انتشار CO_2 از دستگاه‌های آبیاری براساس مصرف انرژی فسیلی و برق برای پمپاژ برآورد می‌شود.



شکل ۳- پراکندگی مطالعات ارزیابی چرخه حیات در فعالیت‌های کشاورزی ایران

Fig. 3- Dispersion of life cycle assessment studies in agricultural activities in Iran

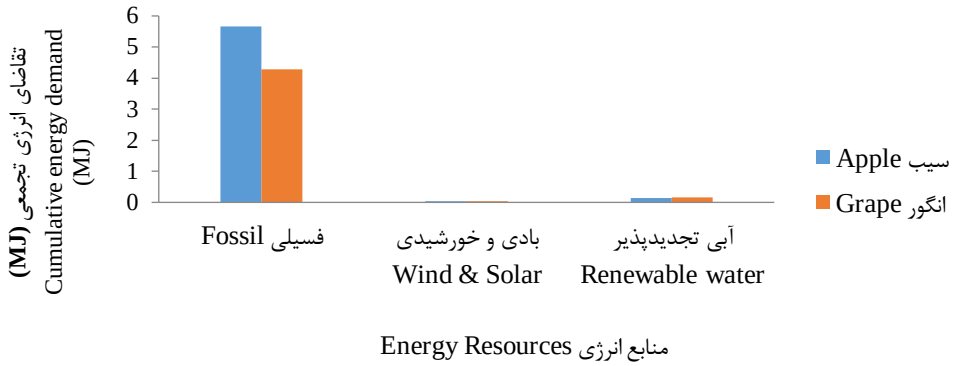
دو محصول باغی سیب و انگور که جزء محصول‌ها با بیشترین سطح زیر کشت در حوضه دریاچه ارومیه هستند، براساس نرم افزار NETWAT دارای نیاز آبی بیش از ۸۰۰۰ m^3/ha می‌باشند و مطالعات قابل توجهی در این زمینه انجام نشده است (شکل ۳). از این‌رو به‌دلیل سطح زیر کشت بالا و نیاز آبی قابل‌توجه، این دو محصول مورد بررسی قرار می‌گیرند.

نتایج و بحث

بررسی‌ها و محاسبات برای یک کیلوگرم از هر یک از محصول‌های سیب و انگور انجام شده است. نتایج بررسی ارزیابی اثرهای محیط زیستی دو محصول باغی سیب و انگور به‌صورت زیر است:

تقاضای انرژی تجمعی

تقاضای انرژی تجمعی هنگام استفاده از سوخت های فسیلی برای سیب بیشتر از انگور می‌باشد، درحالی‌که برای سایر انواع انرژی، مقدار تقاضای انرژی تجمعی برای انگور بیشتر است (شکل ۴).



شکل ۴- تقاضای انرژی تجمعی برای محصول‌های سیب و انگور براساس منابع انرژی تجدید پذیر و تجدید ناپذیر

Fig. 4- Cumulative energy demand for apple and grape based on renewable and non-renewable energy sources

مقادیر تقاضای انرژی تجمعی در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس بیشترین تقاضای انرژی برابر با مقدار ۵.۶۶ مگا ژول است که مربوط به سوخت فسیلی و محصول سیب می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر تقاضای انرژی تجمعی برای محصول‌های سیب و انگور(مگا ژول)

Table 1. Cumulative energy demand values for apple and grape (MJ)

تقاضای انرژی تجمعی از منابع انرژی Cumulative energy demand	سیب Apple	انگور Grape
فسیلی Fossil	5.66	4.29
بادی و خورشیدی Wind & Solar	0.0345	0.0413
آبی تجدید پذیر Renewable water	0.146	0.154

جاپای بوم‌شناختی

مقادیر جاپای بوم‌شناختی برای محصول سیب در تمام موارد (کربن دی‌اکسید و اشغال سطح) بیشتر از محصول انگور می‌باشد. براساس مقادیر جاپای بوم‌شناختی ارائه شده در جدول ۲ در بین دسته‌های مختلف جاپای بوم‌شناختی، بیشترین عدد مربوط به جاپای بوم‌شناختی کربن می‌باشد که به‌مراتب از دسته اشغال سطح این سنجه بیشتر است. مقدار جاپای بوم‌شناختی کربن در اکسید و اشغال سطح برای محصول سیب به ترتیب ۱/۳ و ۴/۶۵ برابر محصول انگور می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر جاپای بوم‌شناختی (کربن دی‌اکسید، اشغال سطح) برای محصول‌های سیب و انگور (مترمربع/ سال)

Table 2. Ecological footprint values (Carbon dioxide, surface occupation) for apple and grape (m^2/year)

جاپای بوم‌شناختی Ecological footprint	سیب Apple	انگور Grape
کربن دی‌اکسید Carbon dioxide	0.99	0.76
اشغال سطح Surface occupation	0.20	0.004

جاپای آب

جاپای آب براساس روش بیان شده توسط Hoekstra *et al.*, (2012) محاسبه شده است که سنجه‌ای از کمیابی آب را ارائه می‌دهد. مقادیر جدول ۳ نشان می‌دهد که این سنجه برای سیب حدود ۱/۷ برابر بیشتر از انگور است.

جدول ۳- مقادیر جاپای آب برای محصول‌های سیب و انگور (مترمکعب)

Table 3. Water footprint values for apple and grape (m^3)

جاپای آب **Water footprint**	سیب **Apple**	انگور **Grape**
شاخص کمیابی آب Water Scarcity index	0.33	0.20

پتانسیل گرمایش جهانی

مواردی که در مطالعات محیط زیستی مربوط به فعالیت‌های کشاورزی به‌طور عموم مدنظر قرار می‌گیرند، در درجه اول شامل انتشار گازهای آلاینده می‌باشد. پتانسیل گرمایش جهانی برای بیان میزان مشارکت انتشار انواع گازها از نظام‌های کشاورزی در بروز مشکل‌های محیط زیستی و تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. پتانسیل گرمایش جهانی براساس تجمع گازهای کربن دی‌اکسید، متان و نیتروژن اکسید به‌دست می‌آید (Alishah et al., 2019). مصرف سوخت دیزل در موتور تراکتور و سایر ماشین‌آلات مربوطه، منجر به آزاد شدن برخی ترکیب‌های مضر به هوا می‌شود.

پتانسیل گرمایش جهانی به‌عنوان یکی از مهمترین اثرهای محیط زیستی برای دو محصول سیب و انگور محاسبه شده است. مقادیر ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که پتانسیل گرمایش جهانی برای محصول سیب ۱/۳ برابر مقدار این سنجه برای انگور است.

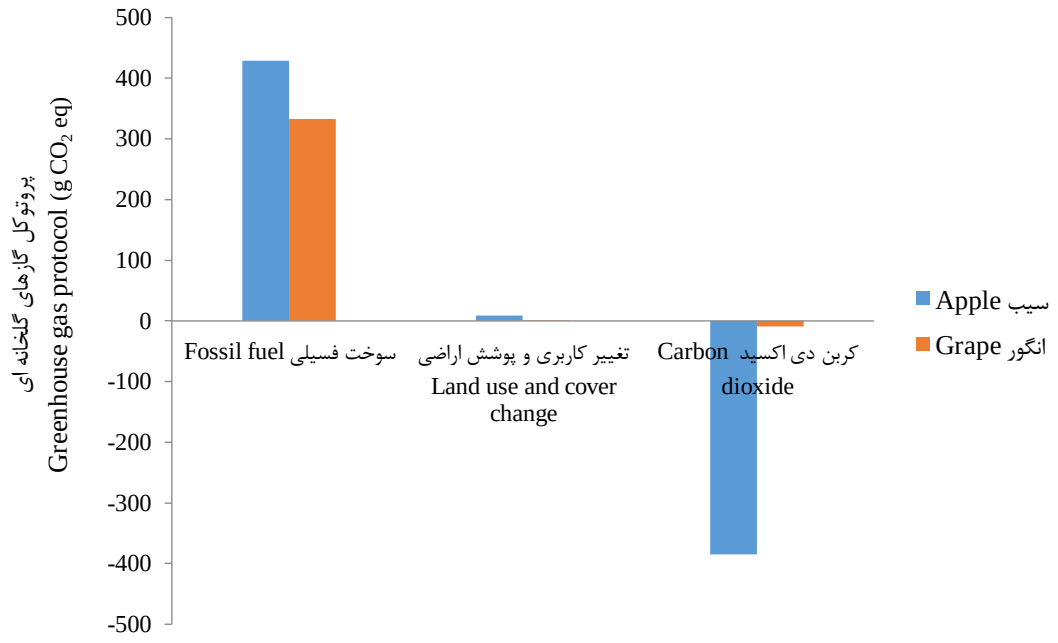
جدول ۴- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی برای محصول‌های سیب و انگور (کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل)

Table 4 - Global warming potential values for apple and grape (kg CO_2 eq)

گرمایش جهانی **Global warming**	سیب **Apple**	انگور **Grape**
شاخص پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential index	0.44	0.34

پروتکل گازهای گلخانه‌ای

پروتکل گازهای گلخانه‌ای شامل کربن معادل برای سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری زمین‌ها و نیز کاهش کربن دی‌اکسید می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵- پروتکل گازهای گلخانه‌ای برای محصول‌های سیب و انگور

Fig. 5- Greenhouse gas protocol for apple and grape crops

جدول ۵- مقادیر پروتکل گازهای گلخانه‌ای برای محصول‌های سیب و انگور (کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل)

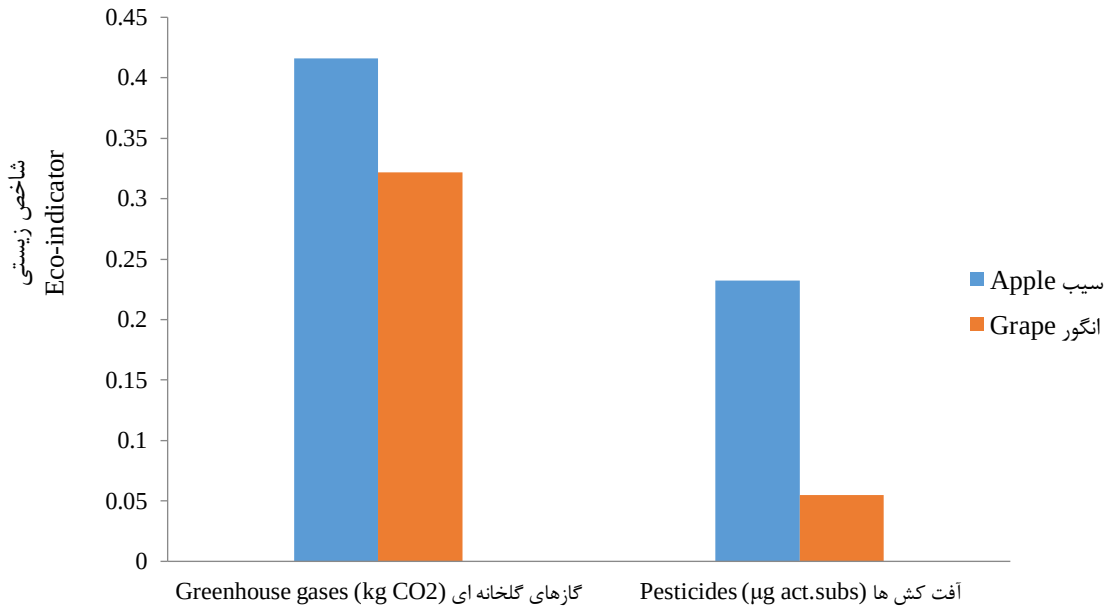
Table 5. Greenhouse gas protocol values for apple and grape (kg CO_2 eq)

پروتکل گازهای گلخانه‌ای Greenhouse gas protocol	سیب Apple	انگور Grape
سوخت فسیلی Fossil fuel	0.429	0.333
تغییر کاربری و پوشش زمین‌ها Land use and cover change	0.000894	0.00191
کاهش گاز کربن دی‌اکسید Carbon dioxide reduction	0.385	0.00875

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۵ تمام مقادیر زیرمجموعه پروتکل گازهای گلخانه‌ای برای محصول سیب بیشتر است. تنها در مورد تغییر کاربری زمین‌ها، مقدار سنجه برای انگور بیشتر از سیب است. نتایج نشان می‌دهد که باوجود اثرهای مخرب محیط زیستی مختلف، یک کیلوگرم سیب می‌تواند به اندازه ۰/۳۸۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل، در کاهش گاز کربن دی‌اکسید مؤثر باشد، این مقدار برای یک کیلوگرم انگور به میزان ۰/۰۰۸۷۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل است.

سنجه زیستی

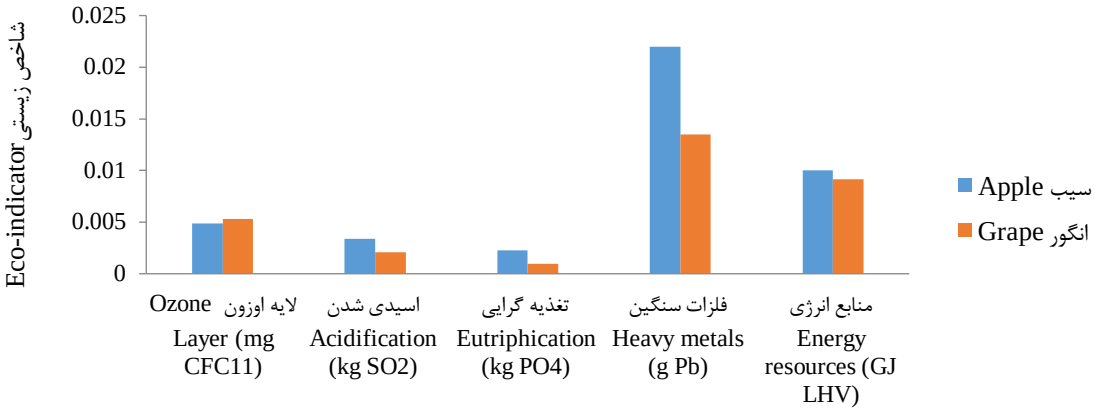
سنجه زیستی بررسی‌شده، شامل زیرمجموعه‌های افزایش گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه اوزون، افزایش اسیدی شدن، افزایش تغذیه گرایی، افزایش فلزهای سنگین، مصرف آفت‌کش‌ها، و نیز مصرف منابع انرژی می‌باشد.



شکل ۶- زیرمجموعه‌های گازهای گلخانه‌ای و آفت‌کش‌ها از سنجه زیستی برای محصول‌های سیب و انگور

Fig. 6- Subsets of greenhouse gases and pesticides in the eco-indicator for apple and grape

شکل ۶ نشان می‌دهد که محصول سیب از لحاظ تولید گازهای گلخانه‌ای و نیز آسیب ناشی از استفاده از آفت‌کش‌ها به ترتیب با نسبت ۱/۲۹ و ۴/۲۴ بیشتر از انگور است. شکل ۷ سایر زیرمجموعه‌های سنجه زیستی برای این دو محصول را نشان می‌دهد.



شکل ۷- سایر زیرمجموعه‌های سنجه زیستی برای محصول‌های سیب و انگور

Fig. 7- Other subsets of eco-indicator for apple and grape

در جدول ۶ مقادیر هر یک از این زیرسنجه‌ها برای محصول‌های سیب و انگور ارائه شده است. در بیشتر موارد محصول سیب بیشتر از محصول انگور تأثیرگذار است؛ تنها موردی که محصول انگور مؤثرتر است، تخریب لایه اوزون با نسبت ۱/۱ می‌باشد.

جدول ۶- مقادیر سنجه زیستی برای محصول‌های سیب و انگور

Table 6. Eco-indicator values for apple and grape

سنجه زیستی Eco-indicator	سیب Apple	انگور Grape
گازهای گلخانه‌ای (kg CO_2) Greenhouse Gases	0.416	0.322
لایه اوزون (mg CFC11) Ozone Layer	0.00498	0.00531
اسیدی شدن (kg SO_2) Acidification	0.00337	0.00208
تغذیه گرایی (kg PO_4) Eutrophication	0.00229	0.000933
فلزهای سنگین (g Pb) Heavy Metals	0.022	0.0135
آفت‌کش‌ها (mg act.subs) Pesticide	0.000232	0.000547
منابع انرژی (MJ LHV) Energy Resources	10.1	9.13

انتشارات نیتروژن و فسفر ناشی از مصرف نهاده‌ها در کشاورزی، انتشارات مستقیم کودها می‌باشد. انتشارات ناشی از کودها در اثر فرسایش و رواناب به آب‌های سطحی وارد می‌شود.

نتیجه‌گیری

در راستای استفاده بهینه از منابع و کشاورزی پایدار، تأمین امنیت غذایی با حفظ منابع و حداقل اثرهای محیط‌زیستی به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل شده است (Mohammadzadeh *et al.*, 2017). از آنجا که اثرهای محیط‌زیستی تولید محصول‌های زراعی در ایران بالا است و کشاورزی پرمصرف‌ترین بخش در استفاده از منابع آب است، ارزیابی جامع اثرهای تولید دارای اهمیت می‌باشد (Dekamin *et al.*, 2019). بر همین اساس در این مطالعه، برای رسیدن به درک جامعی از اثرهای محیط‌زیستی تولید محصول‌های مختلف کشاورزی در ایران با تأکید بر دو محصول سیب و انگور، روش ارزیابی چرخه حیات مورد استفاده قرارگرفته است. در مقیاس جهانی، حدود پنج درصد از کل انرژی در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بیش از ۱۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مربوط به این بخش می‌باشد (Smith *et al*. 2014). این مقدار در برخی از مطالعات تا بیش از ۲۰ درصد نیز برآورد شده است (Khojastehpour *et al.*, 2015; Kheyralipour *et al.*, 2017; Fathi *et al.*, 2019). که به‌طور عمده ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، سم‌ها و کودهای کشاورزی، و عملیات خاک‌ورزی می‌باشد (Camargo *et al.*, 2013). همچنین الگوی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم نظام‌های

کشاورزی می‌تواند تحت تأثیر عامل‌هایی نظیر نوع نظام زراعی، الگوی کشت، سطح فناوری، جمعیت شاغل در کشاورزی، دانش کشاورزان، نوع و مقدار مصرف کودهای شیمیایی و میزان عملکرد محصول قرار گیرد (Mohammadzadeh *et al*., 2017). یکی از رویکردهای مناسب در جهت افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش اثر ردپای محیط‌زیستی انرژی‌های ورودی، ارزیابی و آگاهی از جریان مؤثر بر وضعیت محیط‌زیست در نظام‌های تولید محصول‌های کشاورزی می‌باشد.

جمع‌بندی مطالعات انجام شده در ایران نشان می‌دهد که کمتر به ارزیابی اثرهای محیط زیستی تولید محصول‌های باغی پرداخته شده است، حال‌آنکه به‌طورکلی می‌توان اظهار داشت که محصول‌های باغی نسبت به اغلب محصول‌های زراعی، آب بیشتری نیاز دارند. از سوی دیگر، هرچند که امروزه مدل‌های متنوعی برای بررسی الگوی کشت در حوضه‌های آبریز مختلف کشور طراحی و ارائه شده‌اند، اما ارائه تصویر کلی که بتواند دورنمایی از وضعیت کشاورزی و منابع آب ایران را نمایش دهد، دارای اهمیت می‌باشد. در این مطالعه اثرهای محیط زیستی مربوط به دو محصول سیب و انگور از منظر شش روش مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج بیان شده، هیچ یک از دو محصول برتری کاملی نیست به هم نداشتند ولی در بیشتر سنجه‌های مورد مطالعه، محصول سیب آسیب بیشتری به محیط‌زیست وارد می‌کند. نتایج نشان داد که بیشترین تقاضای انرژی برابر با مقدار ۵/۶۶ مگاژول است که مربوط به سوخت فسیلی و محصول سیب می‌باشد. مقادیر جاپای بوم‌شناختی کربن برابر با ۰/۹۹ مترمربع در سال برای یک کیلوگرم سیب و ۰/۷۶۴ مترمربع در سال برای یک کیلوگرم انگور به‌دست آمد. سنجه کمیابی آب براساس جاپای آب برای سیب حدود ۱/۷ برابر بیشتر از انگور است و پتانسیل گرمایش جهانی برای محصول سیب ۱/۳ برابر مقدار این سنجه برای محصول انگور است. نتایج نشان می‌دهد که باوجود اثرهای مخرب محیط زیستی مختلف، یک کیلوگرم سیب می‌تواند به‌اندازه ۰/۳۸۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل، در کاهش گاز کربن دی‌اکسید مؤثر باشد، این مقدار برای یک کیلوگرم انگور به میزان ۰/۰۰۸۷۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل است. محصول سیب از لحاظ تولید گازهای گلخانه‌ای و نیز آسیب ناشی از استفاده از آفت‌کش‌ها به ترتیب با نسبت ۱/۲۹ و ۴/۲۴ بیشتر از محصول انگور است. در مورد پتانسیل گرمایش جهانی، نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از پژوهش (Mohseni *et al*., 2018) سازگار می‌باشند. استفاده از نتایج این مطالعه در کنار مدل‌های بررسی الگوی کشت در حوضه‌های آبریز مختلف کشور می‌تواند منجر به ارائه تصویر کل‌نگرانه‌ای شود که دورنمایی از وضعیت کشاورزی و منابع آب ایران نمایش می‌دهد. اطلاعات مستخرج از این مطالعه می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای بهبود تصمیم‌گیری کشاورزان در مقیاس خرد و یا تصمیم گیران مرتبط با بخش کشاورزی تلقی شود. با توجه به منابع محدود آب در ایران و نیز وضعیت نامناسب ایران از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییر و بهبود الگوی کشت در مقیاس خرد و کلان می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر وضعیت محیط‌زیستی کشور بگذارد. روش‌های مدیریت زراعی مانند کاربرد نهاده‌های آلی، گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن و مدیریت خاکورزی می‌توانند به‌منظور کاهش اثرهای محیط زیستی مدنظر قرار بگیرند. روش‌های کنترل بیولوژیک آفت‌ها و بیماری‌ها می‌تواند از مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌ها و سم‌ها جلوگیری کنند و سبب آسیب کمتر به محیط زیست شوند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Life Cycle Assessment
[2] Cradle to Grave
[3] Society of Environmental Toxicology and Chemistry
[4] Cumulative energy demand
[5] Ecological footprint
[6] Water footprint
[7] Global warming potential
[8] Greenhouse Gas Protocol V1.02
[9] Eco-indicator

منابع

Alishah, A., Motevali, A., Tabatabaeekoloor, R. and Hashemi, S.J., 2019. Multiyear life energy and life cycle assessment of orange production in Iran. Environmental Science and Pollution Research. 26(31), 32432-32445. (In Persian with English abstract).

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Armin, M., 2020. Extended energy analysis (EAA) of two canola farming systems in Khorramabad, Iran. Agricultural Systems. 180, 102789.

Bennett, R., Phipps, R., Strange, A. and Grey, P., 2004. Environmental and human health impacts of growing genetically modified herbicide-tolerant sugar beet: a life-cycle assessment. Plant Biotechnology. 2(4), 273-278.

Bojacá, C.R., Wyckhuys, K.A. and Schrevens, E., 2014. Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. Journal of Cleaner Production. 69, 26-33.

Camargo, G.G., Ryan, M.R. and Richard, T.L., 2013. Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy analysis tool. Bio Science, 63(4), 263-273.

Canals, L.M., 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, Ecosystems and Environment. 114(2-4), 226-238.

Dekamin, M., Barmaki, M., Kanooni, A. and Mosavi, R., 2019. Environmental Impact Assessment of Soybean Cultivation in Ardabil Farms, J. Env. Sci. Tech. 21(8), 174-184. (In Persian with English abstract).

Ebrahimi E. and Zarghami, M., 2019. Sustainability assessment of restoration plans under climate change by using system dynamics: application on Urmia Lake, Iran. Journal of Water and Climate Change. 10(4), 938-952.

Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Behbahani, A. G. and Bannayan, M., 2012. The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. Environment, development and sustainability. 14(6), 979-992.

Fathi, R., Kheiralipour, K. and Azizpanah, A., 2019. Assessment of the Pattern of Energy Consumption in Dryland Rape Production and its Environmental Effects in Ilam province. Energy Economics Review. 15(62), 155-179. (In Persian with English abstract).

Garrigues, E., Corsona, M.S., Angers, D.A., Van der Werfa, H.M.G. and Walter, C., 2011. Soil quality in life cycle assessment: towards development of an indicator. Ecological Indicators. 18: 434-442.

Hesampour, R., Bastani, A. and Heidarbeigi, K., 2018. Environmental assessment of date (Phoenix Doctylifera) production in Iran by life cycle assessment. Information Processing in Agriculture. 5(3), 388-393.

Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Chapagain, A.K., Mathews, R.E. and Richter, B.D., 2012. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. PLoS ONE. 7(2): e32688.

Karegari, N. and Mastouri, R., 2010. Life cycle assessment in the study of the environmental effects of agricultural activities. National Conference on Agricultural Waste and Waste Management. Tehran, Iran.

Khanali, M., Mousavi, S.A., Sharifi, M., Nasab,

F.K. and Chau, K.W., 2018. Life cycle assessment of canola edible oil production in Iran: A case study in Isfahan province. Journal of Cleaner Production. 196, 714-725.

Khojastehpour, M., TaheriRad, A. and Nikkhah, A., 2015. Life cycle assessment of cotton production in Golestan province based on biomass production, energy, and income. Iranian Biosystem Engineering. 46 (2), 95-104. (In Persian with English abstract).

Khorramdel, S., Koocheki, A., Mahallati, M.N. and Mollafilabi, A., 2019. Study of life cycle assessment (LCA) for corn production system under Mashhad climatic conditions. Agroecology, 11(3), 925-939. (In Persian with English abstract).

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M. and Mousazadeh, H., 2013. Regression modeling of field emissions in wheat production using a life cycle assessment (LCA) approach. Electronic Journal of Energy and Environment. 1(2), 9-19. (In Persian with English abstract).

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H. and Clark, S., 2014. Environmental impact assessment of tomato and cucumber cultivation in greenhouses using life cycle assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system. Journal of Cleaner Production. 73, 183-192.

Mohammadzadeh, A., Damghani, A.M., Vafabakhsh, J. and Deihimfard, R., 2017. Assessing energy efficiencies, economy, and global warming potential (GWP) effects of major crop production systems in Iran: a case study in East Azerbaijan province. Environmental Science and Pollution Research. 24(20), 16971-16984. (In Persian with English abstract).

Mohseni, P., Borghei, A.M. and Khanali, M., 2018. Coupled life cycle assessment and data envelopment analysis for mitigation of environmental impacts and enhancement of energy efficiency in grape production. Journal of cleaner production. 197, 937-947.

Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Sharifi, M. and Hosseinpour, S., 2015. Life cycle assessment of energy and environmental impact of canola production in Mazandaran province with two different approaches. Iranian Biosystem engineering. 46 (3), 265-274. (In Persian with English abstract).

Naderi, S., Raini, M.G.N. and Taki, M., 2020. Measuring the energy and environmental indices for apple (production and storage) by life cycle assessment (case study: Semirom county, Isfahan, Iran). Environmental and Sustainability Indicators.

Rajaeifar, M.A., Akram, A., Ghobadian, B., Rafiee, S. and Heidari, M.D., 2014. Energy-economic life cycle assessment (LCA) and greenhouse gas emissions analysis of olive oil production in Iran. Energy. 66, 139-149. (In Persian with English abstract).

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N. and Shiina, T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. Journal of food engineering. 90(1), pp.1-10.

SETAC—Society of Environmental Toxicology and Chemistry (1993) Guidelines for life-cycle assessment: a ‘Code of Practice’.

Shiri, M., Ataei, R. and Golzardi, F., 2018. Life cycle assessment (LCA) for a maize production system under Moghan climatic conditions. Environmental Sciences. (In Persian with English abstract).

Smith, P., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J. and Jafari, M.,

2014. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5. Cambridge University Press.

Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E. and Soltani, E., 2010. Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. Electronic journal of crop production, 3(3), 201-218. (In Persian with English abstract).

Thomassen, M.A., van Calker, K.J., Smits, M.C., Iepema, G.L. and de Boer, I.J., 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. Agricultural systems. 96(1-3), 95-107.

Vafabakhsh, J. and Mohammadzadeh, A., 2019. Energy flow and GHG emissions in major field and horticultural crop production systems (case study: Sharif Abad plain). Journal of Agroecology. 11(2):365-382. (In Persian with English abstract).

Waismoradi, A., Yousefinejad-Ostadkelayeh, M. and Rahmati, H., 2015. Environmental impact assessment of tangerine production using LCA methodology, case study: Guilan province of Iran.

Zarei, M.J., Kazemi, N. and Marzban, A., 2019. Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 18(3), 249-255.

Environmental Sciences Vol.20 / No.1 / Spring 2022

251-266
Original Article

Life cycle assessment (LCA) in crop production, case study: apple and grape

Elham Ebrahimi [1*] and Laleh Ebrahimi [2]

[1] Department of Environmental Engineering, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 2021.01.09 Accepted: 2021.11.23

Ebrahimi, E. and Ebrahimi, L., 2022. Life cycle assessment (LCA) in crop production, case study: apple and grape. Environmental Sciences. 20(1): 251-266.

Introduction: Life Cycle Assessment (LCA) is a comprehensive assessment method that allows the estimation of cumulative environmental impacts from all life cycle stages of an activity. The destructive effects of agricultural development on the environment are of great importance. Insufficient attention to the pattern of consumption of production inputs in the agricultural sector as the primary consumer of water in Iran can exacerbate environmental challenges. Inputs misuse such as chemical fertilizers to increase agricultural productivity pollutes water and soil resources. On the other hand, in environmental impact assessment studies, crops have received much more attention than horticultural crops, while horticultural crops generally have more water requirements.

Material and methods: As Iran, a semi-arid country, is facing a water shortage crisis, in this study, the evaluation of agricultural activities and apple and grape crops is considered. The ecological footprint and life cycle assessment (LCA) are used as suitable solutions for plans to reduce environmental pressures and meet needs to achieve sustainable development goals. Input generation information of Simapro 9.0.0.49 software was used to analyze the environmental impact. Calculations were performed for a functional unit of 1 kg. Life cycle impact was assessed and categorized into six impact groups: cumulative energy demand, ecological footprint, water footprint, global warming potential, greenhouse gas protocol, and eco-indicator (including greenhouse gases, ozone layer, acidification, eutrophication, heavy metals, pesticide, and energy resources).

Results and discussion: According to the results, the water scarcity index based on the water footprint for apples was about 1.7 times that of grapes. The ecological footprint of carbon dioxide and surface occupation

[*] Corresponding Author: *Email Address*. ebrahimielham@ut.ac.ir

for apples was 1.3 and 4.65 times that of the grapes. Based on the accumulation of carbon dioxide, methane, and nitrogen oxides, the potential for global warming was not significantly different between the two crops. Its value for apples was 1.3 times that of grapes. Greenhouse gas emissions and pesticide damages were 1.29 and 4.24 times higher for apples, respectively than for grapes. Consumption of energy sources for one functional unit of two apple and grape crops was 10.1 and 9.13 MJ LHV, respectively.

Conclusion: Generally, the evaluation of the environmental impacts of apple and grapes production showed that in most of the studied indicators, apple causes more damage to the environment. However, the reduction of carbon dioxide per kilogram of apple is 44 times the same amount of grapes. Depending on the environmental situation of the study area, it is possible to decide on the cultivation preference of these two crops. Due to the limited water resources in Iran, changing and improving the cultivation pattern on micro and macro scales can significantly affect the environment. Crop management methods such as organic inputs, nitrogen-fixing plants, and tillage management can reduce environmental impacts. The use of biological pest control methods can prevent the improper use of pesticides and toxins, causing minor damage to the environment.

Keywords: Eco-indicator, Environmental impacts, Ecological footprint, Resource use, Global warming.