بررسی مصرف انرژی در تولید سیب بر پایه چرخه زیست LCA در استان آذربایجان غربی

چکیده

ارزیابی شاخص های انرژی و زیست‌محیطی یک روش معمول برای تخمین تولید پایدار در بخش‌های مختلف کشاورزی است. با توجه به سطح زیر کشت سیب در شهرستان ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی، هدف مطالعه‌ی حاضر بررسی وضعیت مصرف انرژی و انتشار آلاینده های زیست‌محیطی از طریق ارزیابی چرخه‌ی زیست برای تولید و ذخیره سازی سیب در فصل برداشت محصول است. اطلاعات مورد نیاز از طریق پرسشنامه و مصاحبه با باغداران سیب جمع آوری شد. بر اساس نتایج، میانگین کل انرژی مورد نیاز ورودی و عملکرد باغ سیب به ترتیب ۱۱۶۵۰۵ مگاژول بر هکتار و ۳٤۹۵۱ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. برای عملیات پس از برداشت، میانگین کل انرژی ورودی ۱۵۷۲۷ مگاژول بر تن برآورد شد. در باغ سیب، سهم سوخت، سموم دفع آفات و حمل و نقل نسبت به کل انرژی ورودی به ترتیب ۵۸٪ ، ۱۲٪ و ۱۱٪ بودند، در حالی که در بخش پس از برداشت، سهم جعبه‌ی سیب و برق در ورودی انرژی به ترتیب ۵۰٪ و ٤٦٪ بود. ارزیابی شاخص های انرژی نشان داد که نسبت انرژی ۰/۷۲ کیلوگرم بر مگاژول، بهره وری انرژی ۰/۳ کیلوگرم بر مگاژول، انرژی خاص ۳/۳۳ مگاژول بر کیلوگرم و انرژی خالص اضافه شده ۳۲٦۲۱- مگاژول بر هکتار بود. بر اساس نتایج بدست آمده از ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سیب، بالاترین است میزان آلودگی نرمال در باغ سیب مربوط به اوتروفیکاسیون و اثر مسمومیت آبی آب شیرین به ترتیب با مقادیر 473×10^{-9} و 137×10^{-9} بوده است، در حالی که در عملیات پس از برداشت، سمیت آبی و تأثیر اسیدی شدن به ترتیب با مقادیر $0/0802 \times 10^{-9}$ و $0/0121 \times 10^{-9}$ بیش‌ترین مقدار را داشتند. بر اساس نتایج، سوخت دیزل و کود با سهم ۹۷٪ از کل انتشارات تولید شده به عنوان نقاط مهم زیست‌محیطی در باغ سیب شناخته شده اند.

کلمات کلیدی: ارزیابی چرخه‌ی زیست، شاخص‌های انرژی، شاخص‌های زیست‌محیطی، سیب، آذربایجان غربی

۱- مقدمه

سیستم های کشاورزی طی سال ها به خاطر دلایلی مانند توسعه‌ی مکانیزاسیون، استفاده از کودها، سموم دفع آفات و بذرهای اصلاح شده به شدت تغییر کرده‌اند. بنابراین، وابستگی به سوخت های فسیلی در این بخش افزایش یافته است [۱و۲]. استفاده‌ی مؤثر از انرژی در بخش کشاورزی نقش مهمی در تولید پایدار، سیستم بهینه‌سازی اقتصادی، حفظ ذخایر سوخت فسیلی و کاهش آلودگی هوا بازی می کند. از تجزیه و تحلیل انرژی در کشاورزی می توان در ارزیابی تأثیر فعالیت های انسانی بر پایداری محیط زیست در الگوهای مختلف جریان انرژی استفاده کرد [۳و٤]. از طرف دیگر، استفاده‌ی بیش از حد از انرژی باعث ایجاد برخی مشکلات زیست‌محیطی مانند گرم شدن کره‌ی زمین ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب – خاک و هوا، کاهش حاصل‌خیزی خاک، فرسایش خاک و کاهش منابع شده است. به‌منظور انتخاب اقدامات مناسب برای کاهش اثرات زیست‌محیطی، مدیریت کارآمد مصرف انرژی مهم است و به عنوان یکی از شاخص‌های مهم توسعه پایدار در نظر گرفته می شود [٥و٦]. در سال‌های اخیر، ارزیابی چرخه‌ی زیست (LCA) به ابزاری مفید برای بررسی و تعیین اثرات زیست‌محیطی محصولات کشاورزی و منابع غذایی تبدیل شده است. در این روش، افراد مشغول در حوزه‌ی LCA[1] تمام ورودی‌ها و انتشارات را در یک سیستم که بر اساس چرخه‌ی زیست محصولات یا فرآیند تولید است، تجزیه و تحلیل می کنند [۷، ۸و ۹]. با توجه به اهمیت روزافزون محصولات باغی در سبد غذایی خانواده‌های ایرانی، این محصول نقش مهمی در اشتغال و تهیه انواع محصولات باغی دارد. سیب[2] مهم ترین میوه در مناطق سرد و معتدل است که با توجه به محصولات این نوع مناطق، این میوه بیش ترین نرخ تجارت جهانی را در مقایسه با سایر میوه‌های باغی دارد. تولید جهانی سیب ۸۹/۳ تن در سال ۲۰۱٦ بود که ایران با تولید ۳۰۵۰۰۰۰ تن (۳/٪٤ کل تولید جهانی) پس از چین، اروپا و آمریکا در رتبه‌ی ٤ قرار دارد [۱۰].

از آن جایی که پس از برداشت میوه‌های سیب، بخشی از آن‌ها مصرف می شود و با توجه به فساد پذیری آن‌ها و پاسخ‌گویی به نیازهای بازار در خارج از فصل برداشت، ذخیره‌ی میوه‌ی سیب بسیار ضروری است. برخی از عوامل در ذخیره و انبارداری میوه‌ی سیب مانند درجه حرارت محیط انبار، رطوبت نسبی، فشار نسبی، نوع مرتب سازی، بسته بندی و استفاده از مواد پوشش دهنده برای افزایش طول عمر میوه مؤثر هستند [۱۲,۱۱].

مطالعات زیادی با تمرکز بر انرژی و تجزیه و تحلیل زیست‌محیطی تولید سیب وجود دارند؛ تقوی فر و مردانی (۲۰۱٦) انرژی کلی ورودی و خروجی را در تولید سیب برای استان آذربایجان غربی به ترتیب ۷۷٦٤ مگاژول بر هکتار و ۸۰۲٦۹٥ مگاژول بر هکتار گزارش دادند. براساس نتایج آن‌ها، سهم آب آبیاری و سوخت دیزل به انرژی کلی ورودی، به ترتیب ۳٦٪ و ۱٦٪ بود [۱۳]. رافعی و همکاران (۲۰۱۰) نتیجه گرفتند که نسبت انرژی[3] (ER)، بهره‌وری انرژی[4] (EP) و انرژی مخصوص[5] (SE) به ترتیب در تولید سیب و در استان تهران به ترتیب ۱/۱٦ کیلوگرم بر مگاژول، ۰/٤٦ کیلوگرم بر مگاژول و ۲/۰٦ مگاژول بر کیلوگرم است [۱]. در مطالعه‌ای که در یونان انجام شد، گروه اول (چهار باغ معمولی و سه باغ یک‌پارچه) بالاترین انرژی ورودی را داشتند، در حالی که گروه سوم (همه باغات ارگانیک)

[1]- Life Cycle Assessment
[2]- *M. pumila*
[3]- Energy Ration
[4]- Energy Productivity
[5]- Specific Energy

پایین‌ترین انرژی ورودی را داشتند. بیشترین عوامل در تشکیل خوشه حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و آبیاری بودند. به‌علاوه، برای گروه اول تولید میوه (٤١١٨٩ کیلوگرم بر هکتار) و انرژی خروجی (٩٨٨٥٤ مگاژول بر هکتار) بیش‌ترین بودند [١٤]. هم‌چنین، براساس تحقیق خانعلی و همکاران (۲۰۲۰) سوخت دیزل بیش‌ترین میزان مصرف انرژی را با نسبت ۷۷٪ دارد [١٥]. لونگو و همکاران (٢٠١٦) LCA زنجیره‌های منبع سیب ارگانیک و معمولی را در شمال ایتالیا به دست آورد. آن‌ها نشان دادند که برخلاف باروری پایین، ترجیح سیب های ارگانیک به سیب های معمولی می تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک کند. با کمی استثناء، اختلاف کم‌تر از ۷٪ بین پروفیل‌های زیست‌محیطی دو محصول مورد آزمایش رخ می‌دهد [١٦]. در مطالعه‌ی دیگری در کشور چین، عملکرد زیست‌محیطی سیستم‌های تولید سیب معمولی و ارگانیک ارزیابی شد. تحقیق آن‌ها نشان داد که تولید و انتشار کودهای مرتبط با آن (به عنوان مثال مصنوعی و دامی) و انرژی های ورودی برای مدیریت آفت و بیماری جزء عوامل اصلی اثرات زیست‌محیطی روی سیستم تولید سیب معمولی بودند، در حالی که سهم مهمی در اثرات کلی زیست‌محیطی به دلیل تولید و ذخیره کود ارگانیک در سیستم‌های تولید سیب ارگانیک است [١٧]. رویکرد فکری چرخه‌ی زیست LCA می تواند تضمین کند که تأثیرات زیست‌محیطی از طریق یک روش یک‌پارچه مشاهده می شوند و فقط از یک مرحله به مرحله‌ی منتقل نمی شوند [١٨و١٩].

مرور منابع موجود نشان می دهد که هیچ مطالعه‌ی کاملی در مورد تخمین انرژی و شاخص های زیست‌محیطی از تولید محصول سیب باغی تا عملکردهای پس از برداشت (ذخیره سیب) در ایران وجود ندارد. از طرف دیگری، محصول سیب یکی از محصولات استراتژیک و مهم در ایران و به خصوص در استان آذربایجان غربی است و نیازمند مطالعه‌ی وسیعی است که بیش‌تر و بهتر روی آن عمل شود و در راستای استفاده‌ی بهینه و بهینه سازی مصرف انرژی در تولید محصول مذکور در جنبه‌های مختلف آن اقدامات لازم و کاربردی انجام شود. با توجه به این که مطالعات زیادی در رابطه با بررسی انرژی مصرفی در چرخه‌ی کامل تولید محصولات کشاورزی در نقاط مختلف جهان به انجام رسیده است، لیکن با توجه به تفاوت هایی که فرآیند تولید محصولاتی مانند سیب به صورت بومی و منحصر به‌فرد در هر منطقه‌ای دارا می‌باشد، از این رو انجام مطالعه‌ی موردی در پیشنهاده‌ی حاضر حائز اهمیت به‌نظر می‌رسد.

۲- مواد و روش

۲-۱- تولید و انبارداری سیب

از آن‌جا که درختان سیب با بذر تولید مثل نمی کنند، از قلمه‌ها برای تکثیر درختان جدید استفاده می شود. ساقه زیر زمینی که برای قلمه زدن استفاده می شود به گونه‌ای انتخاب می‌شود که درختان سیب‌هایی در اندازه‌های مختلف، مقاومت در برابر سرما، حشرات و بیماری ها و وابستگی به خاک پرورش دهند. عملکرد و بازده درختان بسته به تراکم درخت از ٤٠ تا ۲۰۰ کیلوگرم خواهد بود (تعداد درختان کاشته شده در مترمربع). در طول زمستان، درختان سیب در اواخر ماه فروردین استراحت می کنند و دوباره رشد می کنند. درختان به طور معمول در اواخر پاییز پس از ریزش برگ‌ها یا در اوایل بهار قبل از رشد برگ‌ها هرس می شوند. در اوایل فصل برداشت محصول، باروری و خاک‌ورزی درختان هم‌زمان انجام می شود. برای بهبود کیفیت خاک، کود و کودهای شیمیایی مانند نیترات آمونیوم، سوپر فسفات و سولفات پتاسیم در صورت لزوم استفاده می شوند. با شروع گل‌دهی، مرحله اول آبیاری به پایان می رسد و مرحله دوم پس از برداشت میوه به پایان می رسد. دوره‌ی آبیاری درختان بسته به میزان آب موجود برای آبیاری از ۷ تا ١٤ روز متغیر است. آبیاری به دو روش قطره ای و غرق آبی انجام می شود. برداشت از اواسط شهریور آغاز می شود و تا اواخر ماه آبان یا بعضی اوقات تا اواسط آذر ادامه دارد. [۲۰]. حداقل رطوبت نسبی انبار باید ۹۰٪ باشد. در غیر این صورت، میزان تبخیر رطوبت میوه افزایش یافته و باعث چین و چروک و کاهش وزن می شود [۲۱].

۲-۲- جمع آوری داده و حوزه تحقیقات

مطالعه حاضر در باغ‌های سیب ارومیه، با مساحت ۱۰۵۴۸ هکتار و ۱۳۳۲ متر بالاتر از سطح دریا، واقع در بخش مرکزی استان آذربایجان غربی انجام شده است. (شکل ۱) جامعه آماری گسترده ای به استفاده از نمونه گیری تصادفی ساده نیاز دارد. در این روش، احتمال نمونه گیری در هر مرحله برای تمام اعضای جامعه یکسان است. بنابراین، اندازه نمونه با فرمول کوچران تعیین می شود.

$$n = \frac{\mathrm{N}t^2\ S^2}{Nd^2 + t^2 s^2} \qquad (۱)$$

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}} \qquad (۲)$$

که در آن N برابر با (۶۲۰) اندازه جامعه آماری است (در این مورد تعداد تولید کنندگان سیب در منطقه تحقیق)، t ضریب اطمینان در سطح ۹۵٪ برابر با (۱/۹۶) است، s^2 واریانس پیش بینی شده (نسبت انرژی) برابر با (۰/۱۷٤)، d خطای مجاز برابر با (۰/۷۳٦) و n اندازه نمونه است. برای برآورد انحراف معیار جامعه هدف (S)، ۲۰ باغ به طور تصادفی انتخاب شدند و انحراف معیار نسبت به انرژی در معادله (۱) وارد شد. تولید کنندگان سیب ۹۱ پرسشنامه را تکمیل کردند.

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ارومیه در ایران

از پرسشنامه‌ها برای جمع‌آوری داده‌ها در مورد کلیه ورودی‌ها مانند نیروی انسانی، سوخت دیزل، حمل و نقل، آب آبیاری، کودها (نیترات، فسفات، پتاس و سولفات)، کود، سموم دفع آفات (حشره‌کش، سم‌کش و قارچ‌کش) و تولید سیب به عنوان یک خروجی استفاده می‌شود. بیش از ۸۰٪ تولید کنندگان سیب محصولات خود را به چهار سردخانه اصلی در استان آذربایجان غربی منتقل کردند، جایی که ٤٠٪ آن‌ها محصولات خود را در سردخانه‌های صنعتی نگهداری می کنند. اطلاعات مربوط به جعبه، وسایل نقلیه حمل و نقل، آب، انرژی و گاز طبیعی مورد استفاده در طی مراحل پس از برداشت با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه با تولیدکنندگان سیب به دست آمد.

۲-۳- جریان ورودی و شاخص‌های انرژی

کیتانی (۱۹۹۹) با ضرب هر مقدار ورودی در ضریب انرژی مربوطه، معادل انرژی ورودی و خروجی را در فرمول ۳ محاسبه کرد [۲۲].

$$E_{input}=I_{consumption} \times ec_{input} \quad (۳)$$

که در آن E_{input} انرژی ورودی‌های مصرفی (مگاژول بر هکتار)، $I_{consumed}$ مجموع انرژی ورودی است که مصرف میشود (واحد ha^{-1}) و ec_{input} معادل انرژی ورودی هاست (واحد MJ^{-1}). واحد ورودی بسته به ماهیت ورودی متفاوت است. به عنوان مثال، برای سوخت دیزل واحد لیتر و برای کودها واحد کیلوگرم است. برای بررسی تأثیر اندازه باغ در مصرف انرژی و مقایسه انرژی تولیدی بین باغات با اندازه های مختلف، باغ های سیب به سه دسته کوچک (زیر ۰/۷۵ هکتار)، متوسط (۷۵/۵-۰/۱ هکتار) و بزرگ (بیش‌تر از ۱/۵ هکتار) تقسیم شدند) و سپس از آزمون چند دامنه دانکن برای مقایسه آماری این سه دسته استفاده شد.

شاخص‌های انرژی به عنوان ابزاری موثر برای بررسی و مقایسه سیستم‌های مختلف تولید کشف شده اند. علاوه بر این، تعیین این شاخص ها می تواند به افزایش بهره وری انرژی کمک کند. نسبت انرژی (ER)، بهره وری انرژی (EP) (کیلوگرم بر مگاژول)، انرژی ویژه (SE) (مگاژول بر کیلوگرم) و انرژی خالص اضافه شده (NEG) (مگاژول بر هکتار) از شاخص هایی هستند که با استفاده از معادلات زیر قابل محاسبه هستند:

$$ER=\frac{EO\ \left(MJ.ha^{-1}\right)}{EI\ \left(MJ.ha^{-1}\right)} \quad (٤)$$

$$EP=\frac{Y\ \left(kg.ha^{-1}\right)}{EI\ \left(MJ.ha^{-1}\right)} \quad (٥)$$

$$SE=\frac{EI\ \left(MJ.ha^{-1}\right)}{Y\ \left(kg.ha^{-1}\right)} \quad (٦)$$

$$NEG\ =\ EO\ -\ EI \quad (٧)$$

که در آن EO انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)، EI انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار) و Y بازده (کیلوگرم بر هکتار) است.

۲-٤- ارزیابی چرخه‌ی زیست تولید و انبارداری سیب

ارزیابی چرخهٔ زیست به عنوان ابزاری برای جمع‌آوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و پیامدهای بالقوه زیست-محیطی یک سیستم تولید در طول چرخه‌ی عمر محصول تعریف شده است. با توجه به استاندارد ۱٤۰٤۰ ایزو ۲۰۰٦ چهار مرحله اصلی رویکرد LCA عبارتند از تعیین هدف و دامنه، فهرست موجودی چرخه‌ی زیست (LCI[6])، ارزیابی تأثیر چرخه‌ی زیست (LCIA[7]) وهدف و منظور [۲۳و۲٤].

۲-٤-۱- هدف و منظور

اولین گام این مطالعه، شناسایی اهداف مطالعه است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیرات تولید سیب در باغ ها، حمل و نقل و ذخیره سازی در سردخانه‌ها بر محیط زیست بود. این مرحله واحدهای عملکردی (FU[8]) و مرزهای سیستم را تعیین می کند. مرز سیستم در این مطالعه به عنوان گذار از تولید سیب در باغ (گهواره) به ذخیره سیب در سردخانه تعریف شده است. واحد عملکردی توصیف عددی سیستم تولید است [۲۵و۲٦]. تجزیه و تحلیل محیط زیست در این مطالعه با استفاده از ۱ تن سیب تولید شده به عنوان واحد عملکردی انجام شد.

۲-٤-۲- موجودی چرخه‌ی زیست سیب

این مرحله فهرستی از موجودی ورودی ها را ارائه می‌دهد که شامل انتشار مستقیم به هر محیط (هوا، آب و خاک) و هم‌چنین انتشارات غیرمستقیم ناشی از تولید نهاده در هر ۱ تن تولید سیب است. انتشار مستقیم و غیر مستقیم نیز به عنوان ورودی مرحله‌ی ارزیابی تأثیر چرخه زیست LCIA در ارزیابی چرخه ی زیست در نظر گرفته می شود. در باغ های سیب حمل و نقل، درجه بندی و ذخیره سازی در سردخانه می تواند میزان انتشار را تعیین کند. میزان انتشار

[6] - Life Cycle Inventory
[7] - Life Cycle Impact Assessment
[8] - Functional Units

غیر مستقیم به عنوان مقدار ورودی مورد استفاده در هر واحد عملکردی تعریف می شود که از طریق پرسشنامه تعیین می شود. عوامل آب و هوایی و مدیریت عملیات می توانند بر انتشار مستقیم تأثیر بگذارند [۲۷و۲۸]. معادلات زیر برای تخمین ذخایر کود استفاده شدند:

$$NH_3 - N = (N_{fer} \times F_{fer}) + (N_{fym} \times F_{fym}) \quad (۸)$$

$$NO_2 - N_{direct} = (N_{fer} + N_{fym} + N_{res}) \times F_1 \quad (۹)$$

$$NO_3^- - N = (N_{fer} + N_{fym} + N_{res}) \times Frac_{LEACH} \quad (۱۰)$$

که در آن N_{fer} مقدار نیتروژن در کود است، F_{fer} ضریب انتشار NH_3 در کود است، N_{fym} مقدار نیتروژن در کود است، F_{fym} ضریب انتشار در کود است، $NO_2 - N_{direct}$ انتشار مستقیم مونوکسید دی نیتروژن است. N_{res} محتوای نیتروژن در بقایای گیاهی است، $F1$ عامل انتشار NO_2 $(\frac{kgN_2O-N}{kgN})$است که برابر با (۰/۰۱) است [۲۹]. $Frac_{LEACH}$ ضریب تبدیل $(\frac{kgNO_3^- - N}{kgN_{applide}})$ با مقدار ۰/۳ و NO_3^- میزان انتشار نیترات با مقدار ۱/٤۰ است. فاکتورهای انتشار کود از [۲۹] و [۳۰] محاسبه شدند. به دلیل شسته شدن و فرسایش خاک، بخشی از فسفر موجود در کود به منابع آب آزاد می شود [۳۱]. ضریب انتشار کودهای بر پایه P مقدار ۰/۰۵ بدست آمد [۲۹]. علاوه بر این، ضریب تبدیل فسفات (P_2O_5) به فسفر (P)مقدار ۰/٤۳ است. میزان انتشار مستقیم ناشی از استفاده از سوخت دیزل با [۳۲] محاسبه شد. با توجه به [۲۹] فرض بر این است که اجزای فعال موجود در حشره‌کش های در خاک آزاد می شوند. پس از تعیین میزان انتشار در هوا، آب و خاک و هم‌چنین ورودی و خروجی، قسمت دوم تحقیق، فهرست موجودی، به پایان می رسد. مرز سیستم شامل حمل سیب از باغ به سردخانه است. متوسط فاصله‌ی بین باغ ها و سردخانه‌ها تقریباً ۳۰۰ کیلومتر بوده و سیب ها اغلب با کامیون های ٤ تنی حمل می شوند. اطلاعات جمع آوری شده در این مرحله به عنوان ورودی ارزیابی تأثیر چرخه زیست LCIA استفاده می شود که در آن از نرم افزار برای تخمین تأثیرات زیست‌محیطی استفاده می شود.

۲-٤-۳- ارزیابی تأثیر چرخه زیست LCIA و تفسیر خروجی‌های ارزیابی چرخه‌ی زیست در میوه‌ی سیب

در این فرآیند، انتشارات مربوط به باغات، حمل و نقل به سردخانه و ذخیره سازی سیب به عنوان ورودی به نرم‌افزار Simapro V.8.03.14 وارد شد ارزیابی تأثیرات بسته به روش CML2 خط پایه ۲۰۰۰V2.05 برای مدل سازی انجام گردید. پیامدهای زیست محیطی با استفاده از این روش و با استفاده از ۱۰ مقوله تأثیر شامل پتانسیل اسیدی شدن (ACP[9])، کاهش غیر زنده (AD[10])، پتانسیل گرم شدن کره زمین (GWP[11])، پتانسیل اوتروفیکاسیون (EUP[12])، کاهش لایه

[9] - Acidification Potential
[10] - Abiotic Depletion
[11] - Global Warming Potential
[12] - Eutrophication Potential

ازون (OD[13])، مسمومیت با آب در یا (MAET[14])، پتانسیل مسمومیت انسانی (HTP[15])، مسمومیت با آب شیرین و تازه دریا (FAET[16])، اکسیداسیون فتوشیمیایی (PhO[17])، پتانسیل مسمومیت زیست محیطی زمینی (TEP[18]) هستند [۳۳]. در ارزیابی تأثیر چرخه‌ی زیست LCIA، داده های فهرست موجودی در ضرایب تبدیل ضرب می شود تا بسته به [۳۰] شاخص های زیست‌محیطی ایجاد شوند:

$$ICI_i = \sum_J R_J \times CF_{ij} \quad (11)$$

که در آن ICI_i نمره تأثیر برای دسته‌ی i به ازای واحد عملکردی FU، R_J کاربرد ورودی j به ازای واحد عملکردی FU و CF_{ij} عامل مشخصه ورودی j در تأثیر دسته‌ی i است. رویکردهای مختلفی برای مقایسه عوامل محیطی وجود دارد. شاخص (عادی) با مقدار مرجع؛ هر شاخص به یک شماره مرجع عددی تقسیم می‌شود که به بخشی از اطلاعات اختصاص می یابد. نرمال سازی نامی است که به این فرآیند داده می شود. وقتی واحدهای محیطی نرمال می شوند، تأثیر واحدهای مختلف برای دسته های اثر گذار از بین می رود و اجازه می دهد نتایج اثر دسته های مختلف مقایسه شود. بسته به رویکرد مدل سازی CML2 از نرم افزار Simapro برای استخراج ضرایب نرمال استفاده می‌شود [۲۷و۳٤]. تفسیر نتایج، مرحله آخر در رویکرد ارزیابی چرخه‌ی زیست LCA است. تمام نتایج در این مرحله بررسی و تفسیر می شوند و راه حل های احتمالی ارائه می شوند.

۲-۵- بررسی منابع

گوئینی و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی برای بررسی استحکام، یک مطالعه‌ی موردی بر روی الکتریسیته موجود در بقایای چوب انجام دادند تا تاثیرات راه حل ها و انتخاب های مختلف را روی چرخه‌ی زیست LCA نشان می دهند. مطالعه‌ی مورد نظر با تولید پلت‌های چوبی (بقایای صنایع چوب) همراه بود که در یک نیروگاه زغال سنگ تولید می‌شدند. واحد عملکردی ۱ کیلووات ساعت برق است. سه گزینه برای مکان‌های فرآیند چند منظوره‌ای، دو گزینه برای بود و نبود بیوژنیک CO_2 و چهار گزینه برای روش تخصیص داده شدند. آن‌ها نتیجه گرفتند که برای این مورد فرضی چندین روش وجود دارد که با استانداردها و دستورالعمل های ارزیابی LCA فعلی سیستم های انرژی زیستی به اندازه کافی ثابت نشده‌اند [۳۵].

چروبینی و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای بر روی ارزیابی چرخه‌ی زیست[19] LCA چهار شیوه‌ی استراتژیکی تمرکز نمودند. دفن زباله بدون به‌کارگیری از احتراق بیوگاز، دفن زباله با به‌کارگیری از احتراق بیوگاز به‌منظور تولید برق، دستگاه مرتب سازی که ضایعات ارگانیک را از ضایعات غیرارگانیک جدا می‌کند. این ایده‌ها بر مقدار و ترکیب زباله‌ی شهری شهرداری *روم*(ایتالیا) و تحت دیدگاه‌های مختلف از جمله انتشارات جهانی و محلی، تقاضای کلی مواد، نیازهای کلی انرژی و اثرات اکولوژیکی ارزیابی می شوند . نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که برای اغلب شهرهای بزرگ اروپا، سیستم‌های دفن زباله به عنوان یکی از بدترین گزینه‌های مدیریت پسماند است که به‌دلیل نادیده گرفتن بازیافت انرژی است. علاوه بر آن، بازیافت زباله در بهترین حالت قادر است تا ۱۵٪ میزان برق مصرفی شهر *روم* را

[13] - Ozone Layer Depletion
[14] - Marine Aquatic Ecotoxicity
[15] - Human Toxicity Potential
[16] - Fresh Water Aquatic Ecotoxicity
[17] - Photochemical Oxidation
[18] - Terrestrial Ecotoxicity Potential
[19]- Life Cycle Assessment

تأمین کند. چرخه‌ی زیست LCA از استراتژی های مختلف دفع زباله با بهره گیری از روش چند مقایسه ای استفاده می کند [۳۶].

کولت و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی چرخه‌ی زیست LCA تولید بیوگاز از جلبک‌های کلرلا را بررسی کردند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که اثرات ایجاد شده توسط تولید متان ارتباط قوی با مصرف برق دارد. پیشرفت در فرآیند را می توان بااستفاده از کاهش دادن هزینه ها و یا با استفاده از بهبود کارایی بی هوازی فرآیند تحت شرایط کنترل شده به دست آورد. تولید این انرژی‌زیستی با تولید سایر سوخت‌های زیستی به‌شدت رقابت می کند [۳۷].

تقوی فر و مردانی (۲۰۱۵) در تحقیقی تلاش کردند تا مصرف انرژی برای تولید محصول گندم را با استفاده از رویکرد چرخه‌ی زیست LCA تجزیه و تحلیل کنند. این ارزیابی از لحاظ انرژی‌های ورودی و خروجی، حاصل‌خیزی، استفاده‌ی بهینه از انرژی، انرژی مخصوص، بهره‌وری انرژی و انرژی خالص انجام شد. هم‌چنین، این تحقیق سهم‌های مختلف انرژی‌های مستقیم و غیر مستقیم، منابع انرژی‌های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر را هم در برگرفت. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها برخی شاخص‌های اقتصادی مانند ارزش کلی تولید، حاصل‌خیزی و بهره‌وری را ثبت کرد.میزان ارزش کلی تولید معادل ۹۶۷.۷۳ دلار بر هکتار برای منطقه‌ی مورد بررسی به‌دست آمد، در حالی که میزان بهره‌وری ۳.۲۲ کیلوگرم بر هکتار حاصل شد [۳۸].

چاوو و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی بر روی سه جریان مطالعات چرخه‌ی زیست که به‌طور مکرر برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی ساخت و ساز ساختمان انجام می‌شود، تمرکز کردند. سه جریان مورد مطالعه، ارزیابی چرخه‌ی زیست LCA، ارزیابی چرخه‌ی زیست انرژی[20] LCEA و ارزیابی چرخه‌ی زیست انتشارات کربن[21] $LCCO_2A$ هستند که این سه جریان انرژی در تصمیم‌گیری و قانون‌گذاری دخیل و مهم هستند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که این سه جریان در برابر اهداف ارزیابی، روش‌ها و یافته‌های خودشان مقایسه شدند. اگرچه این سه جریان در ارزیابی اهداف، نتایج مشابهی دارند اما تاثیرات زیست محیطی در چرخه‌ی ساختمان آن‌ها تفاوت هایی را نشان می دهند. به‌طور کلی، تمرکز اصلی ارزیابی و روش های مورد استفاده، مشخص کرده است که نتایج کاملاً سازگاری را می توان از سه جریان به‌دست آورد [۳۹].

آرتز و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی تلاش کردند تا مشتقات حاصل از CO_2 مانند سوخت‌های فسیلی و کاربردهای آن در زمینه‌ی داروسازی را مطابق آخرین پیشرفت‌های علمی از طریق رویکرد چرخه‌ی زیست LCA بررسی و مطالعه کنند. آن‌ها سعی کردند تا عامل پتانسیل را برای کاهش ردپای اثرات زیست‌محیطی ارزیابی کنند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که می توان به جای شیمی مبتنی بر CO_2 از شیمی سبز استفاده کرد [۴۰].

محسنی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی جریان انرژی و اثرات زیست‌محیطی سیستم تولید انگور را از طریق رویکرد چرخه‌ی زیست LCA را مطالعه کردند. برای دستیابی به این هدف، ترکیبی از ارزیابی چرخه‌ی زیست (LCA) و تجزیه و تحلیل پوششی داده ها (DEA) انجام می شود. در این مطالعه ۵۸ تاکستان در شهرستان اراک، ایران مورد بررسی قرار گرفتند. انرژی ورودی و خروجی به ترتیب ۳۳۲۶۴.۴۷ مگاژول بر هکتار و ۲۱۱۷۱۵.۸۰ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. نتایج نشان می دهد که ۲۲/۴۱٪ از تاکستان‌های مورد مطالعه به طور کارآمدی کار می کنند. بهینه سازی با استفاده از روش بازگشت به مقیاس ثابت (CRS[22]) صرفه جویی به میزان ۳۶۲۸.۱۸ مگاژول بر هکتار (۱۰٪/۹۰) را در مصرف

[20]- Life Cycle Energy Assessment
[21]- Life Cycle Carbon Emissions Assessment
[22] - Constant Returns to Scale

انرژی نشان می‌دهد. نشان داد که ترکیب دو روش چرخه‌ی زیست LCA و تحلیل پوششی داده ها[۲۳] DEA می تواند کشاورزان را متقاعد کند تا مصرف انرژی ورودی را کاهش دهند که این امر موجب کارآیی بهتر عملیاتی، کاهش هزینه‌ها و کاهش اثرات زیست‌محیطی در فرآیند تولید انگور می شود [٤١].

خانعلی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی سعی کردند تا مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید آب سیب را از باغ تا بسته بندی در کارخانه را در استان آذربایجان غربی از طریق تجزیه و تحلیل رویکردهای مبتنی بر چرخه‌ی زیست LCA بررسی کنند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که میزان مصرف انرژی مخصوص[۲٤] (SE) تولید آب سیب ۲۸/۳۳ مگاژول به ازای هر بطری بود. به طور جزیی‌تر سوخت دیزل، گاز طبیعی و بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات بیش‌ترین سهم را در زمینه‌ی مصرف انرژی برای تولید آب سیب داشتند. طبق نتایج حاصل از رویکرد LCA، چرخه‌ی زیست مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به منابع مصرفی در تولید آب سیب، ۱/۸۳ $kg\ CO_{2\ eq}$ است که عمدتا به‌خاطر سوخت دیزل و گاز طبیعی است [٤٢].

همچنین نادری و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی سعی کردند تا وضعیت مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست-محیطی را از طریق LCA[25] برای تولید محصول سیب و انبارداری آن را در فصل برداشت شناسایی کنند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که سوخت دیزلی و کود با سهم ۹۷٪ از بین کل آلاینده‌ها به عنوان نقاط حساس و مهم زیست‌محیطی در باغات سیب شناسایی شدند [٤٣].

۳- نتایج و بحث

۳-۱-تجزیه و تحلیل انرژی تولید سیب

میانگین انرژی ورودی و خروجی برای سه باغ با اندازه‌های مختلف بررسی شد. متوسط انرژی ورودی برای تولید سیب ۱۱٦٥۰٥ مگاژول بر هکتار است، در حالی که میانگین انرژی خروجی ۸۳،۸۸۳ مگاژول بر هکتار است. در طول آزمایش، مقدار انرژی مصرف شده در هر تن سیب بسیار بیش‌تر از آزمایشات قبلی بود [٤٤و٤٥]. این موضوع می‌تواند به دلیل مصرف زیاد گازوئیل در باغ‌های سیب مورد بررسی باشد. بنزین با احتساب ٥٦٪ کل انرژی دریافتی به عنوان بزرگ‌ترین ورودی مصرف شده را تشکیل می دهد و میزان سهم سوخت دیزل ۹۸٪ است. این موضوع به دلیل استفاده‌ی تولید کنندگان سیب در منطقه‌ی مورد مطالعه از پمپ های دیزلی ناکارآمد و منسوخ است. با استفاده از پمپ های کارآمد تر، سیستم های آبیاری جدید مانند آبیاری تحت فشار و پمپ های آبیاری الکتریکی، به جای پمپ های دیزلی، ممکن است به عنوان راه حل هایی برای کاهش مصرف سوخت در نظر گرفته شوند. طبق این مقاله، سوخت دیزل ۲۲٪ در تولید سیب در استان تهران [٤٤] و ١٦٪ در استان ارومیه [٤٥] سهم داشته است. سی کهاگیاس

[23]- Data Envelopment Analysis
[24]- Specific Energy
[25]- Life Cycle Assessment

و همکاران (۲۰۱۵) تجزیه و تحلیل انرژی را در مورد تولید سیب در یونان انجام دادند که در آن آب آبیاری و سوخت فسیلی به ترتیب با ۳۹۸۴۷ مگاژول بر هکتار و 38175 مگاژول بر هکتار، به عنوان بخش‌های قابل توجه انرژی ورودی شناسایی کردند. همان‌طور که در این مقاله گزارش شده است، در مرحله تولید سیب، سوخت مصرفی فسیلی بیش‌ترین سهم را در کل انرژی مصرفی داشته است [۴۸، ۴۷و ۴۹]. سموم دفع آفات و حمل و نقل از ورودی های بعدی با بیش‌ترین مصرف در منطقه تحقیقاتی هستند که به ترتیب ۱۲٪ و ۱۱٪ کل انرژی مصرفی را تشکیل می دهند. در مورد سموم دفع آفات، مصرف زیاد می تواند مربوط به عملیات سم‌پاشی سنتی با دقت کم و هم‌چنین نادیده گرفتن توصیه های متخصصین در مورد آفات و بیماری های شایع در منطقه‌ی مورد مطالعه و هم‌چنین زمان و تعداد دفعات نامناسب پاشش باشد. استفاده از الگوهای مناسب برای انتخاب روش‌های سمپاشی می تواند جایگزین خوبی برای کاهش بی رویه‌ی استفاده از سموم دفع آفات باشد. کل سموم دفع آفات مورد استفاده برای تولید سیب در یونان ۷۳۰۰ مگاژول بر هکتار [٤٦] و در آذربایجان غربی ۱۰۱۳۰ مگاژول بر هکتار [۵۰] بود.

میانگین عملکردی در منطقه‌ی مورد مطالعه ۳٤۹۵۱ کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد، در حالی که عملکرد متوسط ۲۰۷۷٤ کیلوگرم بر هکتار برای استان تهران گزارش شد [٤٤]. این مقایسه نشان می دهد که عملکرد تولید سیب در استان آذربایجان غربی بهتر از استان تهران است.

با توجه به نتایج یک مقایسه میانگین که با استفاده از روش دانکن انجام شد، تفاوت معنی داری در کل انرژی ورودی بین باغ‌های کوچک و متوسط وجود ندارد. اما، تفاوت قابل توجهی در کل انرژی ورودی بین باغ های بزرگ (بزرگ‌تر از ۱/۵ هکتار) و باغ های کوچک و متوسط وجود دارد. از نظر مقایسه میانگین بین ورودی ها، بیش‌ترین تفاوت در نیروی انسانی و آب آبیاری مشاهده شد. ماشین آلات سم‌پاشی، کود پاش‌های چرخشی و کولتیواتورها در باغ های بزرگ استفاده نمی شوند. پخش دستی کود و حشره کش ها و هم‌چنین عدم دقت آفت‌کش ها باعث می شود که باغ های بزرگ نسبت به باغ های متوسط و کوچک انرژی بیش‌تری مصرف می کنند.

برای تولید سیب در شهر ارومیه، شاخص نسبت انرژی (ER) مقدار ۱۰/٤۱ بدست آمد [٤۵]. در کشور یونان مقدار این شاخص برابر با ۰/۹ [٤٦]، در استان تهران مقدار این شاخص ۱/۱٦ [٤٤] است، همان‌طورکه واضح است، نتایج حاصل دارای تفاوت زیادی هستند. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعات قبلی تفاوت معنی‌داری دارد. ارومیه منبع این اطلاعات بود. می‌توان باغ های شهر سمیرم استان اصفهان را به باغات پر محصول شهر ارومیه تشابه داد.

شاخص بهره‌وری انرژی (EP) مقدار ۰/۳۲ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد، به این معنی که ۰/۳۲ کیلوگرم سیب به ازای مصرف هر MJ انرژی تولید می‌شود. هم‌چنین، شاخص انرژی مخصوص (SE) مقدار ۳/۳۳ مگاژول بر کیلوگرم بود که نشان می‌دهد ۳/۳۳ مگاژول انرژی برای تولید ۱ کیلوگرم سیب مورد نیاز است.

نتایج مقایسه‌ی میانگین شاخص‌های انرژی بین باغ هایی با سه اندازه‌ی مختلف، تفاوت قابل توجهی بین باغ های بزرگ و متوسط و کوچک نشان داد، اما تفاوت معنی‌داری بین باغ های متوسط و کوچک وجود نداشت. برای باغ‌های کوچک، متوسط و بزرگ، شاخص نسبت انرژی (ER) به ترتیب ۰/٦٤، ۰/۷۲ و ۱/۱۰ محاسبه شد. همان طور که مشاهده می شود، شاخص نسبت انرژی (ER) برای باغ های بزرگ بیش‌تر از میانگین شاخص نسبت انرژی (ER) منطقه‌ی مورد مطالعه است. در نتیجه، برای تقویت شاخص نسبت انرژی (ER) در تولید سیب در باغ ها، باید باغ های کوچک باهم ادغام شوند. برای افزایش بهره وری انرژی و در نتیجه سیستم های تولید مواد غذا یی تمیزتر، مدیریت کارآمد منابع انرژی مانند کودهای آلی، زمان، مقدار آب و استفاده از روش های نوین آبیاری توصیه می شود. علاوه بر این،

پیشرفت سوخت‌های زیستی و هم‌چنین راه اندازی و تولید موتورهای چندگانه سوز به میزان قابل توجهی در کاهش آلودگی کمک می کند.

۳-۲- تجزیه و تحلیل انرژی در انبارداری سیب

بر اساس یافته‌ها، متوسط انرژی ورودی در انبارداری سیب به ازای هر ۱ تن ۱۵۷۲۷ مگاژول محاسبه شد. با استفاده از معادل های انرژی جعبه سیب، برق و گاز طبیعی که به ترتیب ۱۵۸/۲ مگاژول بر کیلوگرم، ۱۱/۹۳ مگاژول بر کیلووات و ٤٩/٥ مگاژول بر متر مکعب است [۲۲]، جعبه سیب با انرژی ورودی ۷۹۱۰ مگاژول بر تن، به عنوان بیش‌ترین مصرف کننده انرژی در مقایسه با سایر ورودی ها شناخته شد (٥٠٪ کل انرژی ورودی). برای نگهداری ۱ تن سیب در سردخانه، از ۱۰۰ جعبه ۱۰ کیلویی استفاده می شود که با توجه به وزن هر جعبه، وزن کلی جعبه‌ها ۵۰ کیلوگرم حاصل می شود. با در نظر گرفتن انرژی لازم برای تولید جعبه ۱ کیلویی (۱۵۸ مگاژول)، این انرژی ورودی به عنوان یک عامل قابل توجه در مصرف انرژی در فرآیند پس از برداشت سیب شناخته شد. استفاده از جعبه‌های سبک‌تر با افزایش مقاومت، روشی برای به حداقل رساندن مصرف انرژی این ورودی است.

با ورودی انرژی ۷۲۵۰ مگاژول بر تن، برق پس از جعبه (٤٦٪ کل انرژی ورودی) دومین ورودی مهم بود. سیستم های خنک کننده و روشنایی هر دو از برق استفاده می کنند. سیستم های سردخانه‌ای باید با توجه به اهمیت این ورودی، برای استفاده‌ی بهینه از انرژی تولید شوند. در نتیجه، استفاده از سوخت های زیستی تجدید پذیر ممکن است مصرف برق را به طور قابل توجهی کاهش دهد، بنابراین انرژی و جنبه های زیست محیطی انبارداری سیب را بهبود می‌بخشد.

۳-۳- شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید سیب

شاخص های زیست‌محیطی در تولید سیب محاسبه شدند. پتانسیل گرم شدن کره‌ی زمین (GWP) یکی از مهم‌ترین تأثیرات زیست‌محیطی است. در این مطالعه، پتانسیل گرم شدن کره‌ی زمین (GWP) به ازای هر واحد عملکردی (FU) 3008/53 kg $CO_{2\,eq}$ محاسبه شد. این شاخص به میزان ۹۵۷ kg $CO_{2\,eq}$ در چین، ٦١٢ kg $CO_{2\,eq}$ در ایتالیا [١٦] و kg ٦٤١ $CO_{2\,eq}$ در کانادا [٥١] منتشر شده اند که همگی کم‌تر از پتانسیل گرم شدن کره‌ی زمین (GWP) محاسبه شده در این مطالعه است. این موضوع به دلیل استفاده گسترده از سوخت دیزل در پمپ های انتقال آب است. در گروه تأثیر پتانسیل گرم شدن کره‌ی زمین (GWP)، مصرف سوخت دیزل ٩٦٪ از کل انتشار را تشکیل می دهد که منجر به انتشار آلاینده هایی مانند N_2O، CO_2 و NO_X می‌شود.

سوخت دیزل، به عنوان کانون زیست‌محیطی، بیش‌ترین میزان انتشار مستقیم را دارد و ۸۳٪ شاخص پتانسیل اسیدی (ACP)، ٩٩٪ شاخص پتانسیل اوتروفیکاسیون (EUP)، ٩٥٪ شاخص مسمومیت با آب شیرین و تازه دریا (FAET) و ٩٥٪ شاخص پتانسیل مسمومیت زیست محیطی زمینی (TEP) را تشکیل می دهد. در مطالعه‌ای که توسط وازکوز و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد، آمونیوم (NH_4^+) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) ناشی از استفاده‌ی کود نیترات در باغ های انگور به عنوان متغیرهای کلیدی برای شاخص پتانسیل اسیدی (ACP) و انتشار ناشی از مهم‌ترین عناصر در شاخص پتانسیل اوتروفیکاسیون (EUP) که کود فسفات و پتاس بودند، شناسایی شدند [٥٢]. سهم انتشارات تولید شده توسط

سوخت دیزل در پالایشگاه ها ۳۵٪ و ۵۵٪ از کل انتشارات بود. بر اساس مطالعه‌ای که در کانادا انجام شده است، در دسته بندی‌های کاهش لایه ازون (OD) و کاهش غیر زنده (AD)، سهم انتشار غیر مستقیم سوخت دیزل در کل انتشار و در شاخص‌های پتانسیل گرم شدن کره‌ی زمین (GWP) و پتانسیل اسیدی (ACP) به ترتیب ٤٠٪ و ٢٠٪ ثبت شده است [۵۳]. برای شاخص های اکسیداسیون فتوشیمیایی (PhO)، مسمومیت با آب دریا (MAET) و کاهش غیر زنده (AD)، انتشار غیر مستقیم کود به ترتیب ۷۵٪، ۵۵٪ و ۳۸٪ شده است. Fenvalerate و Abamectin حشره‌کش هایی بودند که در منطقه‌ی تحقیقاتی به کار گرفته شدند و سهم آن‌ها در شاخص های کاهش غیر زنده (AD)، پتانسیل مسمومیت انسانی (HTP) و مسمومیت با آب دریا (MAET) کم‌تر از ۱۰٪ بود.

۳-٤- تجزیه و تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی در فرآیندهای پس از برداشت سیب

عملیات پس از برداشت در این مطالعه شامل حمل و نقل سیب، درجه بندی و نگهداری در سردخانه است. شاخص پتانسیل گرم شدن کره‌ی زمین (GWP) این مرحله ۱/۱ $kg\ CO_{2\,eq}$ محاسبه شد. در همه شاخص ها به جز شاخص کاهش لایه ازون (OD)، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای از تولید انرژی در گیاهان و جعبه بیش‌ترین تأثیرات زیست-محیطی را مطرح کرد. در شاخص های مسمومیت با آب دریا (MAET)، پتانسیل مسمومیت انسانی (HTP)، مسمومیت با آب شیرین و تازه دریا (FAET)، پتانسیل اسیدی (ACP) و اکسیداسیون فتوشیمیایی (PhO) در تولید برق را به ترتیب ۸٤٪، ۸۲٪، ۷۷٪، ۷۳٪ و ۷۲٪ از کل انتشارات را تشکیل می دهند. جعبه‌ی سیب هم‌چنین به عنوان مورد قابل توجه در شاخص‌های پتانسیل اوتروفیکاسیون (EUP)، پتانسیل گرم شدن کره‌ی زمین (GWP)، پتانسیل مسمومیت زیست محیطی زمینی (TEP)، کاهش غیر زنده (AD) به ترتیب با سهم ۸۵٪، ٤٧٪، ٤٧٪ و ٤٤٪ شناخته شدند. با توجه به شرایط آب و هوایی استان آذربایجان غربی، پتانسیل زیادی برای راه اندازی و به‌کارگیری فناوری‌های جدید تولید انرژی وجود دارد. در نتیجه می توان از پنل های خورشیدی برای تأمین برق مورد نیاز سردخانه‌ها استفاده کرد.

۳-۵- برآورد ضریب نرمال سازی از مرحله‌ی تولید سیب در باغ تا مرحله‌ی انبارداری سیب در سردخانه

نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های پتانسیل اوتروفیکاسیون (EUP) و مسمومیت با آب شیرین و تازه دریا (FAET) به ترتیب با مقادیر 473×10^{-9} و 137×10^{-9} بالاترین سطح آلودگی را در مرحله‌ی تولید سیب در باغ را داشتند. در حالی که شاخص های مسمومیت با آب دریا (MAET) و پتانسیل اسیدی (ACP) به ترتیب با مقادیر 0.0802×10^{-9} و 0.0121×10^{-9} بالاترین سطح آلودگی را در مرحله‌ی پس از برداشت داشتند.

همانطور که انتظار می رفت، مصرف سوخت دیزل و کود دامی با سهم ۹۷٪ به عنوان کانون های زیست‌محیطی در باغ های سیب شناسایی شدند. به عنوان یک نتیجه گیری، نتایج مطابق با نتا یج به دست آمده توسط [٥٤] در تولید انگور در استان کهگیلویه و بویراحمد است. کود براساس شاخص های اکسیداسیون فتوشیمیایی (PhO) با مقدار ٦٨٪، مسمومیت با آب دریا (MAET) با مقدار ٥٢٪، کاهش غیر زنده (AD) با مقدار ٥٠٪، مسمومیت با آب شیرین و تازه دریا (FAET) با مقدار ٤٣٪ و پتانسیل مسمومیت انسانی (HTP) با مقدار ٤٢٪ به عنوان کانون محیط زیستی شناخته شد. آن‌ها هم‌چنین نشان دادند که انتشار مستقیم ورودی ها، به ویژه کود دامی، می تواند بیش‌ترین هزینه های زیست محیطی را بر اساس شاخص های پتانسیل گرم شدن کره‌ی زمین (GWP)، پتانسیل اوتروفیکاسیون (EUP) و پتانسیل مسمومیت زیست محیطی زمینی (TEP) را با مقادیر ٩٤٪، ٨٥٪ و ٥٥٪ تحمیل کند. این نگرانی های زیست‌محیطی برخی از آلاینده ها مانند نیترات، فسفر، NH_3 و N_2O ممکن است عواقب منفی داشته باشد.

٤- نتیجه گیری

هدف از این مطالعه بررسی جریان انرژی و پیامدهای زیست‌محیطی سیب از باغ‌های شهر ارومیه به سردخانه-های استان آذربایجان غربی بود. برای عملیات باغی و پس از برداشت، کل انرژی ورودی به ترتیب ١١٦٥٠٥ مگاژول بر هکتار و ١٥٧٢٦٧ مگاژول بر تن محاسبه شد. یافته ها اهمیت ادغام باغات کوچک به منظور بهبود شاخص نسبت انرژی (ER) را نشان داد. استفاده از کود و سموم دفع آفات ناکارآمد و نادرست بر محیط تأثیر منفی می گذارد. برخی از معیارها را می توان برای کاهش عواقب زیست محیطی، مانند استفاده‌ی دقیق از محصولات شیمیایی، آزمایش خاک

و گیاه برای تعیین نیاز کود و چرخش محصول برای محدود کردن چرخه های نیتروژن را توصیه کرد. علاوه بر این، استفاده از سیستم های فعلی سم‌پاشی می تواند استفاده از زیست‌کش‌ها را کاهش دهد. با توجه به اهمیت سوخت دیزل در تولید سیب و این واقعیت که برای آبیاری از مقدار قابل توجهی گازوئیل استفاده می کنند، انجام مطالعات کاربردی در مورد روش های آبیاری (آبیاری معمولی و نیمه مکانیزه و تحت فشار) برای تعیین بهترین روش از نظر مصرف انرژی و عواقب زیست‌محیطی می تواند مفید باشد. برخی از موارد مانند افزایش نیروی انسانی، تأخیر در انجام عملیات و در منطقه‌ی مورد مطالعه، استفاده بی‌رویه از کود وجود دارد. در نتیجه، سازمان هایی که خدمات مکانیزاسیون ارائه می دهند، می‌توانند از اتمام برنامه ها طبق برنامه زمانی اطمینان حاصل کنند. بنابراین، می توان تلفات تولید را کاهش و عملکرد را افزایش داد. هم‌چنین ممکن است از پنل های خورشیدی برای تأمین برق ضروری سردخانه‌ها استفاده شود که سازگار با محیط زیست است .

فهرست منابع

[1] Rafiee, et al., 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, 35, 3301–3306.

[2] Taki, et al., 2018a. Solar thermal simulation and applications in greenhouse. *Inf. Process. Agric*., 5, 83–113.

[3] Khoshnevisan, et al., 2013. Prognostication of environmental indices in potato production using artificial neural networks. *J. Clean. Prod*., 52, 402–409.

[4] Kaab, et al., 2019a. Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production. Sci. *Total Environ*., 664, 1005–1019.

[5] Tzilivakis, et al., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (Beta vulgaris) production in the UK. *Agric. Syst*., 85, 101–119.

[6] Taki, et al., 2018a. Solar thermal simulation and applications in greenhouse. *Inf. Process. Agric*., 5, 83–113.

[7] Mostashari-Rad, et al., 2019. Energy optimization and greenhouse gas emissions mitigation for agricultural and horticultural systems in Northern Iran. *Energy*, 186, 115845.

[8] Ferrari, et al., 2018. Effects of grape quality on the environmental profile of an Italian vineyard for Lambrusco red wine production. *J. Clean. Prod.,* 172, 3760–3769.

[9] Taki, M. and Yildizhan, H. (2018). Evaluation the sustainable energy applications for fruit and vegetable productions processes; case study: Greenhouse cucumber production. *J. Clean. Prod.,* 199, 164–172.

[10] Naderi, et al., (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*, *6*, 100034.

[11] Yepsen, et al., 2018. Life cycle assessment of conventional and organic apple production systems in China. *J. Clean. Prod*., 201, 156–168.

[12] Taki, et al., 2018b. Assessment of energy consumption and modeling of output energy for wheat production by neural network (MLP and RBF) and Gaussian process regression (GPR) models. *J. Clean. Prod.,* 172, 3028–3041.

[13] Taghavifar, H. and Mardani, A. (2016). Prognaostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emission analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using Artificial Neural Network. *J. Clean. Prod*., 87, 1–9.

[14] C. Kehagias, et al., 2015. Energy equilibrium and Carbon dioxide, Methane, and Nitrous oxide-emissions in organic, integrated and conventional apple orchards related to Natura 2000 site. *J. Clean. Prod*., 91, 89–95.

[15] Khanali, et al., 2020. Energy flow modeling and life cycle assessment of apple juice production: Recommendations for renewable energies implementation and climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, *246*, 118997.

[16] Longo, et al., 2016. Life Cycle Assessment of organic and conventional apple supply chains in the North of Italy. *J. Clean. Prod*., 56, 1–10.

[17] Zhu, et al., 2018. Life cycle assessment of conventional and organic apple production systems in China. *J. Clean. Prod.,* 201, 156–168.

[18] Ardente, et al., 2006. POEMS: a case study of an Italian wine-producing firm. *Environmental management*, *38*(3), 350-364.

[19] Ghasemi-Mobtaker, et al., 2020. Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran. *Energy*, 193, 116768.

[20] Yepsen, R., 1994. Apples. W.W. Norton & Co, New York, ISBN 0-393-03690-1, 1994.

[21] Elzebroek, A.T.G. and Wind, K. (2008). *Guide to Cultivated* Plants. CAB International, Wallingford, ISBN 1-84593-356-7, p. 27.

[22] Kitani, O., 1999. *Energy and Biomass Engineering*, CIGR Handbook of Agricultural Engineering. ASAE Publications, St Joseph, MI, p. 351.

[23] Khoshnevisan, et al., 2013. Prognostication of environmental indices in potato production using artificial neural networks. *J. Clean. Prod*. 52, 402–409.

[24] Hosseini-Fashami, et al., 2019. Energy-Life cycle assessment on applying solar technologies for greenhouse strawberry production. Renew. Sustain. *Energy* Rev. 116, 109411.

[25] Rebitzer, et al., 2004. Life cycle assessment: Part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environ. Int.* 30, 701–720.

[26] Shabanzadeh-Khoshrody, et al., 2016. Analytical investigation of the effects of dam construction on the productivity and efficiency of farmers. *J. Clean. Prod.* 135, 549–557.

[27] Mousavi-Avval, et al., 2017. Combined application of life cycle assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system for modeling energy and environmental emissions of oilseed production. Renew. Sustain. *Energy* Rev. 78, 807–820.

[28] Nabavi-Pelesaraei, et al., 2019. Life Cycle Assessment (LCA) approach to evaluate different waste management opportunities. In: Book: *Advances in Waste-To-Energy Technologies*, pp. 195–216.

[29] IPCC, 2006. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Tokyo, Japan.

[30] Brentrup, et al., 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. Eur. *J. Agron*. 20, 247–264.

[31] Brasseur, G. and Granier, C. (1992). Mount Pinatubo aerosols, chlorofluorocarbons, and ozone depletion. *Science* 257, 1239–1242.

[32] Nemecek, T. and Kagi, T., (2007). Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Ecoinvent report No. 15. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

[33] Anonymous, 2003. PR_e Consultants. SimaPro 5 Database Manual.

[34] Mostashari-Rad, et al., 2019. Energy optimization and greenhouse gas emissions mitigation for agricultural and horticultural systems in Northern Iran. *Energy* 186, 115845.

[35] Guinée, J. B., Heijungs, R., & Van Der Voet, E. (2009). A greenhouse gas indicator for bioenergy: some theoretical issues with practical implications. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *14*(4), 328-339.

[36]. Cherubini, et al., 2009. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, *34*(12), 2116-2123.

[37]. Collet, et al., 2011. Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production. *Bioresource technology*, *102*(1), 207-214.

[38]. Taghavifar, H. and Mardani, A. (2015). Energy consumption analysis of wheat production in West Azarbayjan utilizing life cycle assessment (LCA). *Renewable Energy*, *74*, 208-213.

[39]. Chau, et al., 2015. A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. *Applied energy*, *143*, 395-413.

[40]. Artz, et al., 2018. Sustainable conversion of carbon dioxide: an integrated review of catalysis and life cycle assessment. *Chemical reviews*, *118*(2), 434-504.

[41]. Mohseni, et al., 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.

[42]. Khanali, et al., 2020. Energy flow modeling and life cycle assessment of apple juice production: Recommendations for renewable energies implementation and climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, *246*, 118997.

[43]. Naderi, et al., 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*, *6*, 100034.

[44] Rafiee, et al., 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy* 35, 3301–3306.

[45] Taghavifar, H., Mardani, A., 2016. Prognaostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emission analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using Artificial Neural Network. J. Clean. Prod. 87, 1–9.

[46] C. Kehagias, M., et al., 2015. Energy equilibrium and Carbon dioxide, Methane, and Nitrous oxide-emissions in organic, integrated and conventional apple orchards related to Natura 2000 site. *J. Clean. Prod.* 91, 89–95.

[47] Strapatsa, et al., 2006. Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agric. Ecosyst. Environ*. 116, 176–180.

[48] Akdemir, et al., 2012. An analysis of energy use and input costs for apple production in Turkey. J. Food Agric. *Environ*. 10 (2), 473–479.

[49] Blanke, M. and Burdick, B. (2005). Food (miles) for thought-energy balance for locally-grown versus imported apple fruit (3 pp). *Environ. Sci. Pollut. Res*. 12, 125–127.

[50] Khanali, et al., 2020. Energy Flow Modeling and Life Cycle Assessment of Apple Juice Production: *Recommendations for Renewable Energies Implementation and Climate Change Mitigation*.

[51] Keyes, et al., 2015. Evaluating the environmental impacts of conventional and organic apple production in Nova Scotia, Canada, through life cycle assessment. *J. Clean. Prod*. 104, 40–51.

[52] Vazquez-Rowe, et al., 2012. Joint life cycle assessment and data envelopment analysis of grape production for vinification in the Rías Baixas appellation (NW Spain). *J. Clean. Prod.* 27, 92–102.

[53] Keyes, et al., 2015. Evaluating the environmental impacts of conventional and organic apple production in Nova Scotia, Canada, through life cycle assessment. *J. Clean. Prod*. 104, 40–51.

[54] Elhami, et al., 2019. Energy and environmental indices through life cycle assessment of raisin production: a case study (Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Iran). Renew. *Energy* 141, 507–515.

Investigation of energy consumption in apple production based on LCA life cycle in West Azerbaijan province

Hakim Alipour Journey*, Aref Mardani and Arash Mohebbi

1. Biosystems Engineering Department, Urmia University, West Azarbaijan, Iran
2. Biosystems Engineering Department, Urmia University, West Azarbaijan, Iran
3. Biosystems Engineering Department, Urmia University, West Azarbaijan, Iran

Abstract

Energy and environmental indicators testing is a common method for estimating sustainable production in various agricultural sectors. Considering the area under apple cultivation in Urmia city located in West Azerbaijan province, the purpose of this study is to investigate the situation of energy consumption and emission of environmental pollutants through the development of the life cycle for apple production and storage in the production season. It was collected through questionnaires and interviews with apple growers. Based on the results, the average total energy requirement and yield of the apple orchard were 116505 MJ / ha and 34951 kg / ha, respectively. For post-harvest operations, the average total input energy was estimated at 15,727 megajoules per ton. In the apple orchard, the share of fuel, pesticides, and transportation in the total input energy was 58%, 12%, and 11%, respectively, while in the post-harvest sector, the share of the apple box and electricity in the energy input was 50% and 46%, respectively. Evaluation of energy indices showed that the ratio of energy was 0.72 kg / mJ, energy efficiency was 0.3 kg / mJ, specific energy was 3.33 mJ / kg and added net energy was -3,621 MJ / ha. Based on the results obtained from the evaluation of the environmental effects of apples, the highest rate of normal pollution in the apple orchard is related to eutrophication and the effect of freshwater water poisoning with values of 473×10^{-9} and 137×10^{-9}, respectively. While in post harvest operations, water toxicity and acidification effect with values of 0.0802×10^{-9} and 0.0121×10^{-9} had the highest values. According to the results, diesel fuel and fertilizer with a share of 97% of the total emissions produced are recognized as important environmental points in the apple orchard.

Key words: Life cycle assessment, Energy indices, Environmental indices, Apple, West Azarbaijan

*Corresponding author
E-mail: a.mardani@urmia.ac.ir