

بررسی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی تولید خیار گلخانه‌ای با منابع انرژی خورشیدی و فسیلی

فاطمه حسینی فشمی^۱، علی متولی^{۲*}، اشکان نبوی پله‌سرای^۳ و سید جعفر هاشمی^۴

چکیده

در این مطالعه به بررسی ارزیابی چرخه حیات تولید خیار گلخانه‌ای در شهرستان‌های کرج، هشتگرد، نظرآباد و اشتهارد و به کارگیری سه سامانه تأمین انرژی مرسوم (استفاده از انرژی الکتریسته با منبع سوخت فسیلی و استفاده از گازوییل برای گرمایش گلخانه)، فتوولتاییک و فتوولتاییک - حرارتی پرداخته شد. بدین منظور میزان انرژی مصرفی معادل سوخت و الکتریسیته مورد نیاز محاسبه و برای تأمین آن سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک و فتوولتاییک - حرارتی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS شبیه‌سازی و طراحی شدند. در گام بعد نیز با استفاده از روش IMPACT2002+ به بررسی انتشار آلاینده‌ها در فرآیندهای مختلف تولید خیار پرداخته شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تعداد بیشینه صفحه موردنیاز برای سامانه‌های فتوولتاییک و فتوولتاییک - حرارتی به ترتیب ۱۶۰ و ۱۵۹ عدد به‌منظور کشت یک هکتار خیار گلخانه‌ای است. نتایج ارزیابی چرخه حیات نشان داد که در تمامی رده‌های آسیب، سامانه خورشیدی فتوولتاییک کم‌ترین مقدار انتشار را به خود اختصاص داده است. همچنین نتایج نشان داد که در میزان جمع کل انتشارات، سامانه مرسوم بالاترین میزان انتشار را به خود اختصاص داده و پس از آن سامانه فتوولتاییک-حرارتی وجود دارد. در سه سامانه مرسوم، فتوولتاییک و فتوولتاییک - حرارتی به ترتیب سوخت گازوئیل، صفحه‌های فتوولتاییک و صفحه‌های فتوولتاییک - حرارتی و در موازات با انتشارات درون مزرعه بالاترین سهم را در انتشارات رده‌های آسیب دارا هستند. نتایج نشان داد که بالاترین میزان رده‌های خسارت سلامتی انسان و کیفیت زیست‌بوم به ترتیب به میزان $0/005$ DALY و $9215 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ در فرآیندهای تولید انرژی با استفاده از سامانه فتوولتاییک و در بخش رده‌های خسارت، تغییر اقلیم و منابع به ترتیب به میزان $6629 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ و $145446 \text{ MJ primary}$ با استفاده از سامانه تولید انرژی به روش مرسوم به دست آمدند. نتایج شاخص‌های زیست‌محیطی نشان داد که در بین این سه سامانه، سامانه فتوولتاییک از لحاظ زیست‌محیطی بهترین فرآیند است.

واژه‌های کلیدی: چرخه حیات، انرژی مصرفی، فناوری‌های خورشیدی، گلخانه.

ارجاع: حسینی فشمی، ف. متولی، ع. نبوی پله‌سرای، ا. و هاشمی، س. ج. ۱۴۰۲. بررسی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی تولید خیار گلخانه‌ای با منابع انرژی خورشیدی و فسیلی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۷: ۲۷-۲۸. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14008.606>

۱- فارغ التحصیل کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۴- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

* نویسنده مسئول: a.motevali@sanru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

مقدمه

استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای یکی از روش‌های تولید انواع محصولات کشاورزی در خارج فصل کشت عادی است (Bhatnagar, 2014). کشت گلخانه‌ای با بهره‌گیری از شرایط مطلوب ایجاد شده، سبب افزایش میزان و تنوع تولید محصولات مختلف کشاورزی می‌شود. در عین حال ایجاد این شرایط مطلوب نیازمند انرژی به دو صورت الکتریکی و حرارتی است (Heidari & Omid, 2011). اکثر گلخانه‌ها برای تأمین نیاز انرژی از سوخت‌های فسیلی نظیر گازوئیل و نفت استفاده می‌کنند، که احتراق این نوع سوخت‌ها سبب انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای نظیر اکسیدهای گوگرد و نیتروژن، مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن در هوا می‌گردند (Canakci & Akinci, 2006). مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی (IIES) گزارش داد که بیش‌ترین مصرف انرژی در کشاورزی گلخانه‌ای برای گرمایش است. به طور کلی، هزینه‌های گرمایش در گلخانه‌ها بسیار زیاد است که تقریباً ۸۰-۶۰ درصد از کل هزینه‌های تولید را شامل می‌شود (Paksoy et al., 2010). از این رو به دلیل بارهای گرمایشی زیاد، قیمت نسبتاً بالا، آلاینده‌های مختلف در مصرف سوخت‌های فسیلی، علاقه به منابع انرژی تجدیدپذیر برای گرمایش گلخانه در حال حاضر زیاد است. یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدپذیر قابل استفاده در گلخانه‌ها انرژی خورشیدی است (Esen & Yuksel, 2013). تحقیقات نشان می‌دهد که سامانه‌های فتوولتائیک^۱ و فتوولتائیک-حرارتی^۲ کاربردهای گسترده‌ای در تولید هم‌زمان گرما و الکتریسیته برای سامانه‌های مختلف کشاورزی، خانگی و صنعتی دارند.

در کنار استفاده از انواع مختلف انرژی، امروزه محیط‌زیست یکی از مؤلفه‌های اصلی در سیاست‌های کلان جهانی بوده و بسیاری از مؤلفه‌های دیگر را تحت تأثیر قرار داده است. به همین دلیل مهم‌ترین عامل و پیش‌نیاز بسیاری از فعالیت‌های مربوط به انرژی در سطح کلان، سازگاری با محیط‌زیست است. آلودگی‌های زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین چالش‌های جامعه انسانی در قرن حاضر است (OECD, 2001). آلاینده‌های منتشرشده ناشی از مصرف منابع مختلف انرژی، دوسوم

کل گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته را به خود اختصاص داده است (Taseska et al., 2011). انتشار این گازها خود ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند نابودی جنگل‌ها و احتراق سوخت‌های فسیلی است (Pathak & Wassmann, 2007). سهم بخش زراعی در انتشار این گازها ۱۰ الی ۱۲ درصد کل گازهای منتشرشده است (Pishgar-Komleh et al., 2012). از سوی دیگر، استفاده بیش از حد انرژی در کنار تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی، سبب بروز برخی از مشکلات مربوط به سلامتی انسان نیز شده است. از این رو بررسی انتشار آلاینده‌ها و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آنها در فرآیندهای تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی امری ضروری به نظر می‌رسد (Kouchaki-Penchah et al., 2016).

یکی از روش‌های بررسی آثار زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی، به کارگیری ارزیابی چرخه حیات برای تعیین آثار زیست‌محیطی مرتبط با تولید یک محصول یا یک فرآیند تولیدی از مرحله استخراج منابع اولیه تا دفع نهایی ضایعات ناشی از این فرآیند تولیدی، است (Rebitzer et al., 2004). در این روش، جنبه‌های زیست‌محیطی و پیامدهای بالقوه زیست‌محیطی در سراسر چرخه حیات یک محصول مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (ISO, 2006).

در طول سال‌های اخیر محققین فراوانی فرآیند تولید محصولات زراعی را با رویکرد چرخه حیات مورد تحلیل قرار داده و راهکارهای مناسب را جهت کاهش تأثیرات زیست‌محیطی این فرآیندها ارائه داده‌اند (Ingwersen, 2012; Abeliotis et al., 2013).

در پژوهشی به بررسی آثار زیست‌محیطی تولید توت فرنگی در گلخانه‌های استان البرز با استفاده از فناوری‌های فتوولتائیک و فتوولتائیک-حرارتی پرداخته شد. نتایج نشان داد که استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک می‌تواند آثار زیست‌محیطی کمتری به همراه داشته باشد (Hosseini-Fashami et al., 2019).

بررسی آثار زیست‌محیطی استفاده از برق نیروگاهی (پایه سوخت‌های فسیلی) و فناوری‌های فتوولتائیک در تأمین انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب در زمین‌های کشاورزی استان همدان نشان داد که رده‌های آسیب (سلامتی انسان‌ها، کیفیت زیست‌بوم و منابع) در شرایط استفاده از

1- Photovoltaic (PV)

2- Photovoltaic-thermal (PV/T)

مصرف انرژی در تولید خیار گلخانه‌ای در استان پنجاب پاکستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از کل انرژی مصرفی، حدوداً ۳۵ درصد مربوط به کودهای شیمیایی و ۲۰ درصد مربوط به سوخت گازوئیل بود (Ali *et al.*, 2019).

در مطالعه‌ای به بررسی ارزیابی چرخه حیات تولید خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شهرستان فریدون‌شهر استان اصفهان پرداخته شد. نتایج نشان داد که سوخت و کودهای شیمیایی بالاترین درصد در اکثر شاخص‌های اثر را به خود اختصاص دادند (Khoshnevisan *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای دیگر انرژی و اکسرژی سامانه فتوولتائیک-حرارتی در کشت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه میزان افزایش کارایی در گلخانه با احداث سامانه فتوولتائیک-حرارتی در حدود ۴ درصد افزایش یافته است (Nayak & Tiwari, 2008). همچنین در مطالعه‌ای دیگر به بررسی انرژی مصرفی و اکسرژی در تأمین گرمایش و سرمایش گلخانه با استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک و فتوولتائیک-حرارتی پرداخته شد. نتایج نشان داد که سامانه‌های فتوولتائیک به نسبت فتوولتائیک-حرارتی از کارایی بالاتری برخوردار هستند (Mahdavi *et al.*, 2019). در مطالعه دیگر ارزیابی چرخه حیات راه‌اندازی سامانه‌های فتوولتائیک با رویکرد بررسی گازهای گلخانه‌ای در زمین‌های کشاورزی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌منظور راه‌اندازی سامانه‌های خورشیدی دوستدار محیط‌زیست خواهند بود (Thanarak & Chiramakara, 2019). در پژوهشی دیگر شاخص‌های انرژی و انتشارات آلاینده‌ی به‌کارگیری سامانه‌های هیبرید فتوولتائیک به‌منظور طراحی سامانه‌های آبیاری باغات زیتون ایتالیا مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این مطالعه نشان داد که درصد ذخیره انرژی منابع فسیلی بعد از اعمال سامانه‌های خورشیدی در حدود ۶۷ درصد است (Todde *et al.*, 2019).

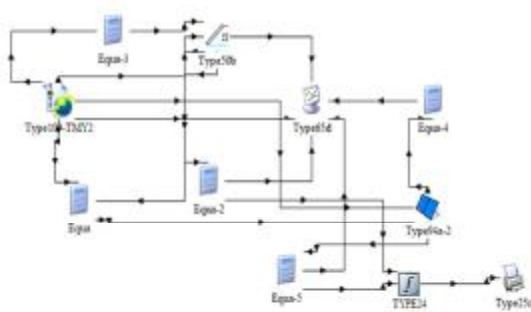
در تمامی مطالعات پیشین صرفاً به بررسی انرژی، آلاینده‌ی و ارائه راهکارهایی در جهت کاهش مصرف تولید محصولات کشاورزی اشاره شده است، حال آن که پژوهش حاضر به بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید خیار گلخانه‌ای با استفاده از انرژی‌های مرسوم (الکتریسته تولیدی در نیروگاه و مصرف سوخت‌های فسیلی برای

فناوری فتوولتائیک پایین‌تر از شرایط استفاده از برق نیروگاهی با منبع تجدیدناپذیر است (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2020).

آثار زیست‌محیطی تولید روغن از تخم آفتابگردان (در فرآیندهای کشاورزی و روغن‌کشی) با استفاده از فناوری‌های مختلف خورشیدی به منظور تأمین انرژی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۸۶٪ از کل انرژی در فرآیند تولید روغن مربوط به بخش کشاورزی بود و از این بین انرژی الکتریسته با سهم ۳۲٪ بالاترین نقش در ایجاد آثار سو زیست‌محیطی داشت. همچنین در ارزیابی استفاده از سامانه‌های خورشیدی، نتایج نشان داد که استفاده از صفحات خورشیدی فتوولتائیک نسبت به صفحات خورشیدی فتوولتائیک-حرارتی و انرژی الکتریکی مرسوم، آلاینده‌ی پایین‌تری تولید کرده و فرامه (scenario) دوست‌دار محیط زیست معرفی شد (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2021).

بررسی شاخص‌های انرژی در تولید توت‌فرنگی گلخانه‌ای نشان داد که نهاده سوخت با سهم ۷۸/۸۱ درصد بیش‌ترین سهم انرژی مصرفی در تولید این محصول را داشته است (Banaeian *et al.*, 2011). همچنین بررسی پارامترهای انرژی در تولید خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در استان یزد نشان داد که در هر دو محصول سوخت گازوئیل، کودهای شیمیایی و الکتریسته، بالاترین سهم در مصرف انرژی را دارا بودند (Heidari & Omid, 2011). در مطالعه‌ای که بر روی تحلیل کارایی انرژی محصول خیار گلخانه‌ای در شهرستان شهرضا استان اصفهان صورت گرفت، نتایج نشان داد که نهاده سوخت با ۴۷ درصد بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داد. همچنین سهم انرژی مصرفی الکتریسته ۱۷/۷ درصد بوده است (Taki *et al.*, 2012). بررسی انرژی مصرفی، اکسرژی و انتشار کربن دی‌اکسید در تولید توت‌فرنگی گلخانه‌ای در کشور ترکیه نشان داد که کودهای شیمیایی، سوخت گازوئیل و الکتریسته به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی معرفی شدند (Yildazan, 2018). در سال ۲۰۱۸ مطالعاتی بر روی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در آلمریای اسپانیا از دو دیدگاه انرژی مصرفی و ردپای کربن صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که بخش‌های غالب مصرف انرژی آن نیز شامل سوخت‌ها (فسیلی و الکتریسته) و کودهای شیمیایی بودند (Neira *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای

شامل صفحه‌های فتوولتاییک و صفحه‌های فتوولتاییک-حرارتی است که به ترتیب در نوع Type94a و نوع Type50b در کتابخانه نرم‌افزار انتخاب شده‌اند. به منظور مدل‌سازی موردنیاز برای یک دوره ۱۰ ساله از منطقه آب‌وهوایی که در آن گلخانه‌ها قرار دارد، از نرم‌افزار 7 Meteonorm استفاده شد. با توجه به نیاز به انرژی، به‌ویژه در فصل‌های سرد، با توجه به تمام نیازهای گرما در گلخانه در سردترین ماه سال، با محاسبه نرم‌افزار TRNSYS، تعداد صفحه‌ها و مدار انرژی بهینه انرژی گلخانه‌ای شبیه‌سازی شده که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- طراحی سامانه‌های خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS شامل Type109-TMY2 اطلاعات آب و هوا، Type50b صفحه فتوولتاییک حرارتی، Type65d مانیتور، Type94a-2 صفحه فتوولتاییک، Type24 محاسبه تجمعی انرژی، Type25c چاپ‌گر و Equa عملگر تبدیل مقیاس

ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه‌ی حیات یک محصول، تمامی مراحل حیات آن را در برمی‌گیرند. در مطالعه ارزیابی چرخه حیات، چهار مرحله وجود دارد (Tong et al., 2015):

۱- تعریف هدف و دامنه، ۲- تجزیه و تحلیل سیاهه، ۳- ارزیابی اثرات، ۴- تفسیر.

در بخش هدف و دامنه، سه سامانه تولید خیار گلخانه‌ای با سامانه تأمین انرژی به صورت مرسوم، فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی در نظر گرفته شد. در بخش تولید مرسوم (شکل ۲-الف)، سامانه از ورود نهاده‌ها و انرژی به گلخانه شروع شده و فعالیت‌های مزرعه‌ای از جمله آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و درنهایت برداشت محصول را شامل می‌شود. در بخش سامانه‌های فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی نیز مرز سامانه مشابه واحد مرسوم بوده (شکل ۲-ب) و انرژی مورد نیاز در این

گرمایش گلخانه) و همچنین استفاده از فناوری خورشیدی (فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی) برای تأمین انرژی می‌پردازد. این پژوهش برای اولین بار کاربرد فناوری‌های خورشیدی با رویکرد دوست‌دار بودن زیست‌محیطی را از دیدگاه ارزیابی چرخه حیات مطرح می‌نماید. با توجه به اینکه به کارگیری سامانه‌های مختلف خورشیدی در گلخانه‌ها تقریباً رویکردی جدید و نوآورانه محسوب می‌شود، لذا این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی استفاده از انرژی فسیلی و تجدیدپذیر برای تولید خیار گلخانه‌ای انجام شده است.

مواد و روش‌ها

جامعه و نمونه آماری

به منظور انجام این پژوهش، داده‌های مربوط به کشت خیار گلخانه‌ای از شهرستان‌های کرج، هشتگرد، نظرآباد و اشتهارد به‌عنوان قطب‌های اصلی کشت گلخانه‌ای در استان البرز جمع‌آوری شد. برای تعیین حجم نمونه، از معادله پیشنهاد شده توسط کوکران (معادله (۱)) استفاده شد (Romero-Gómez et al., 2012):

$$n = \frac{Z^2 pq}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

در معادله بالا N اندازه‌ی جامعه‌ی آماری و برابر ۴۰، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله‌ی اطمینان) و برابر ۰/۱، p و q نسبت برخورداری و عدم برخورداری صفت و برابر ۰/۵، Z مقدار متغیر عادی با سطح اطمینان ۹۵ درصد و برابر ۱/۹۶، که بر این اساس حجم نمونه برای خیار گلخانه‌ای ۲۸ گلخانه‌دار (کشاورز) به دست آمد. به‌منظور همبستگی بیشتر و اینکه نمونه با قابلیت اعتماد بالاتری قدرت تخمین خصوصیات جامعه را در برداشته باشد، تعداد نمونه‌ها ۳۰ کشاورز در نظر گرفته شد.

طراحی سامانه‌های خورشیدی در کشت گلخانه

شبیه‌سازی سامانه گذرا (TRNSYS 18) از دانشگاه ویسکانسین یک برنامه قابل‌اعتماد برای تجزیه‌وتحلیل پویای گذرا از انرژی‌های تجدیدپذیر است (Kalogirou, 2001)، که عمدتاً در مدل‌سازی طرح‌های خورشیدی فعال و غیرفعال استفاده می‌شود. در این مطالعه، در مدارهای شبیه‌سازی شده برای گلخانه‌های مورد مطالعه،

خروجی آلاینده‌های مستقیم از سطح گلخانه‌ها (انتشارات مستقیم شامل سوخت گازوئیل، نیروی انسانی و ...) از روش مورد استفاده در مطالعه Hosseini-Fashami *et al.* (2019) استفاده شد.

ارزیابی اثر چرخه‌ی حیات

در مرحله‌ی ارزیابی اثرات، ورودی‌های منابع طبیعی و انتشارات زیست‌محیطی به سهم آن‌ها در محدوده‌ی بخش‌های اثر مربوط می‌شوند (Khoshnevisan *et al.*, 2013). هدف از ارزیابی اثر چرخه‌ی حیات تفسیر بیشتر داده‌های سیاهه‌ی چرخه‌ی حیات است. در این مرحله، داده‌های سیاهه، در عامل‌های توصیف (ضرایب تبدیل) مربوطه ضرب شده (معادله (۲)) و شاخص‌های مربوط به بخش‌های اثر مختلف به دست می‌آید (Brenttrup *et al.*, 2004).

$$ICI_i = \sum_j R_j \times CF_{i,j} \quad (2)$$

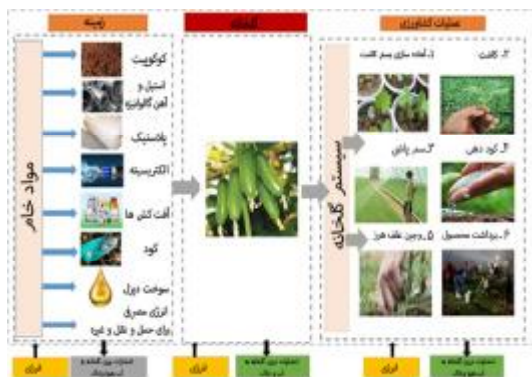
که در آن ICI_i مقدار شاخص برای بخش اثر i به ازای واحد کارکردی (هرکدام از بخش‌های اثر دارای یکای مربوط به خود است)، R_j میزان مصرف منبع j به ازای واحد کارکردی و $CF_{i,j}$ عامل توصیف برای تعیین نقش منبع j در بخش اثر i است.

در این پژوهش، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بر اساس روش IMPACT2002+ انجام شد. با استفاده از این روش، ارتباط بین تحلیل سیاهه چرخه حیات و دسته‌های نقطه میانی (مسمومیت انسان، تأثیرات تنفسی، تابش یونیزه، تخریب لایه اوزون، اکسیداسیون فتوشیمیایی، مسمومیت آبزیان، مسمومیت زمین، مسمومیت آبی، اتروفیکاسیون، اسیدی شدن خاک، اشغال اراضی، توربینی شدن آب، گرمایش جهانی، مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر، استخراج معادن، برداشت آب و مصرف آب) با چهار دسته خسارت (سلامت انسان، کیفیت زیست‌بوم، تغییرات اقلیم و منابع) بررسی می‌شود (Joliet *et al.*, 2003).

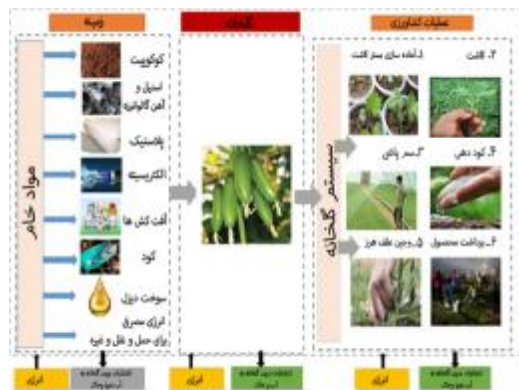
تفسیر چرخه حیات

مرحله تفسیر چرخه حیات در مطالعه حاضر، به شناسایی مسائل مهم مبتنی بر نتایج حاصل از مراحل سیاهه چرخه حیات تولید خیار گلخانه با استفاده از منابع انرژی مرسوم، فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی می‌پردازد.

حالت از فناوری‌های خورشیدی (به جای استفاده از سوخت گازوئیل و الکتروسیته) تأمین می‌گردند. همچنین واحد عملکردی پژوهش حاضر تولید ده تن خیار گلخانه‌ای در نظر گرفته شد.



الف



ب

شکل ۲- مرز سامانه تولید خیار گلخانه‌ای با استفاده از سامانه تأمین انرژی (الف) مرسوم، (ب) فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی

تجزیه و تحلیل سیاهه

این بخش یکی از مهم‌ترین مراحل در بررسی ارزیابی چرخه حیات است. داده‌های ورودی برای هر سه فرآیند مورد نظر جمع‌آوری شد و بر اساس واحد عملکردی مرتب شدند. بنابراین برای دسترسی به برخی از اطلاعات لازم از قبیل فرآیند تولید مواد اولیه و میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در این فرآیندها از پایگاه‌های داده‌ی معتبر که در نرم‌افزار ارزیابی چرخه‌ی حیات SimaPro 8 موجود است، استفاده گردید. یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های داده که در بیش‌تر مطالعات ارزیابی چرخه‌ی حیات مورد استفاده قرار گرفت، پایگاه داده‌ی ecoinvent است. در بخش

نتایج و بحث

در جدول ۱ میزان نهاده‌های مورد استفاده در تولید خیار در هر هکتار از گلخانه‌های استان البرز و میزان عملکرد آن در هر هکتار، آورده شده است.

مدل‌سازی سامانه‌های خورشیدی و خورشیدی حرارتی

در جدول ۲ تعداد صفحه مورد نیاز برای تولید الکتریسیته مورد نیاز برای یک هکتار گلخانه‌ی خیار به تفکیک ماه‌های سال برای هر دو سامانه فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی نشان داده شده است. برای شبیه‌سازی، دمای آب ورودی به سامانه فتوولتاییک-حرارتی در فصول سرد (حداقل دما) با دمای ۵ درجه‌ی سلسیوس و بیشینه‌ی آن در فصل تابستان با دمای ۱۰ درجه‌ی سلسیوس در نظر گرفته شد. حداقل تعداد صفحه در ماه آگوست به دلیل زاویه‌ی تابش خورشید و میزان ساعات آفتابی بیشتر در این فصل برابر با ۱۰۳ عدد و

بیشترین تعداد آن برای ماه دسامبر به دلیل بارش زیادتر و ساعات آفتابی کمتر ۱۶۰ عدد، برای سامانه فتوولتاییک به دست آمد. همچنین در سامانه فتوولتاییک-حرارتی نیز به دلیل ساعات آفتابی بیشتر و بارش کمتر، همچنین زاویه‌ی تابش بیشتر و آب ۱۰ درجه‌ی سلسیوس گذرکننده در زیرسامانه فتوولتاییک - حرارتی که عامل خنک‌کننده‌ی سامانه و افزایش‌دهنده‌ی عملکرد سامانه، تعداد کمینه صفحه‌ها، ۹۹ عدد در ماه آگوست و بیشینه‌ی آن در ماه دسامبر ۱۵۹ عدد محاسبه شد. نتایج پژوهشی که بر روی جهت بهینه برای دریافت تابش انرژی خورشیدی انجام شد، نشان داد که زاویه تابش خورشید و همچنین مدت‌زمان ساعات آفتابی از جمله مهم‌ترین عوامل انرژی خورشیدی دریافتی است، در نتیجه در ماه‌های سرد سال انرژی کمتری از خورشید دریافت می‌شود (Ayali & Movahed, 2016).

جدول ۱- مقایسه‌ی انرژی نهاده‌ها و ستانده در تولید خیار گلخانه‌ای

بخش	واحد	مقدار مصرف (واحد بر هکتار)	ضریب تغییرات (درصد)
الف) نهاده‌ها			
۱- نیروی انسانی	h	۱۶۸۹۲	۷/۳
۲- سوخت گازوئیل	lit	۱۴۴۷۶/۶	۲۱/۴
۳- کودهای شیمیایی	kg		
نیتروژن (N)		۶۸۱/۴	۱۲/۱
فسفر (P ₂ O ₅)		۷۷۰/۴	۱۲/۷
پتاسیم (K ₂ O)		۸۱۶/۲	۱۷/۲
۴- سموم شیمیایی	kg	۳۴/۵	۱۱/۱
۵- الکتریسیته	kWh	۴۰۰۱/۸	۶/۷
۶- بذر خیار	kg	۰/۱	۱۱/۲
ب) ستانده			
خیار گلخانه‌ای	kg	۱۳۳۲۲۷/۴	۱۴/۳

ارزیابی چرخه حیات

نتایج رده‌های آسیب زیست‌محیطی برای سه سامانه تولید مرسوم، فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی در تولید خیار گلخانه‌ای در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بالاترین سطح سلامت انسان و کیفیت زیست‌بوم در فرآیند تولید انرژی با استفاده از سامانه فتوولتاییک مشاهده شد که مقادیر آن به ترتیب ۰/۰۰۵ DALY و ۹۲۱۵ PDF*m²*yr هستند. همچنین در بخش شاخص

تغییر اقلیم سامانه‌ی تولید انرژی به روش مرسوم بیشترین میزان (۶۶۲۹kg CO₂ eq.) و سامانه‌ی فتوولتاییک (۴۰۱۳ kg CO₂ eq.) کمترین میزان را دارا هستند. در بخش منابع سامانه تولیدی مرسوم با MJ primary ۱۴۵۴۴۶ و پس‌از آن سامانه تولیدی فتوولتاییک-حرارتی با MJ primary ۵۵۲۶۲ به ترتیب بیشترین میزان این شاخص را دارا بودند. در واقع در دو رده تغییر اقلیم و منابع سامانه‌ی تولیدی مرسوم و

است (Khoshnevisan *et al.*, 2014). همچنین نتایج پژوهش دیگری که بر تولید خیار گلخانه‌ای در استان فارس انجام شده است، نشان داد که میزان گرمایش جهانی در یک هکتار گلخانه $4854 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ است (Zarei *et al.*, 2019).

فتوولتاییک-حرارتی به ترتیب بیشترین و سامانه‌ی فتوولتاییک کمترین انتشارات را به خود اختصاص دادند. شایان ذکر است نتایج پژوهش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کشت خیار در گلخانه‌ها با استفاده از ارزیابی چرخه حیات نشان داد که، میزان گرمایش جهانی به ازای تولید هر تن خیار گلخانه‌ای $244 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$

جدول ۲- تعداد صفحه خورشیدی و میزان انرژی تخمینی قابل تولید به منظور کشت یک هکتار خیار گلخانه‌ای

بخش	دمای آب (°C)	تعداد صفحه		الکتریسیته قابل تولید (kWh)	
		فتوولتاییک-حرارتی	فتوولتاییک	فتوولتاییک	فتوولتاییک-حرارتی
الف) ماه‌های تولید					
۱- ژانویه	۵	۱۴۴	۱۴۳	۶۶۱۵	۶۶۱۷
۲- فوریه	۵	۱۴۶	۱۴۵	۶۵۷۹	۶۶۰۰
۳- مارس	۵	۱۲۴	۱۲۲	۶۵۹۷	۶۶۱۸
۴- آوریل	۷	۱۱۷	۱۱۴	۶۵۷۸	۶۵۴۸
۵- مه	۷	۱۰۷	۱۰۴	۶۵۸۵	۶۶۲۷
۶- ژوئیه	۱۰	۱۰۵	۱۰۱	۶۵۸۵	۶۶۳۸
۷- اوت	۱۰	۱۰۳	۹۹	۶۵۷۸	۶۶۱۵
۸- سپتامبر	۱۰	۱۰۷	۱۰۳	۶۵۷۳	۶۵۷۷
۹- اکتبر	۷	۱۲۵	۱۲۲	۶۵۵۸	۶۶۰۲
۱۰- نوامبر	۷	۱۳۶	۱۳۴	۶۵۸۱	۶۵۳۷
۱۱- دسامبر	۷	۱۶۰	۱۵۹	۶۵۴۹	۶۵۴۸
ب) شاخص‌های آماری					
۱- میانگین	۷/۳	۱۲۵	۱۲۲	۶۵۸۰	۶۵۹۹
۲- انحراف معیار	۱/۹	۱۹	۲۰	۱۷	۲۵
۳- کمینه	۵	۱۰۳	۹۹	۶۵۴۹	۶۵۴۸
۴- بیشینه	۱۰	۱۶۰	۱۵۹	۶۶۱۵	۶۶۲۸

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی چرخه حیات به ازای ده تن تولید خیار گلخانه‌ای در فرآیندهای مختلف

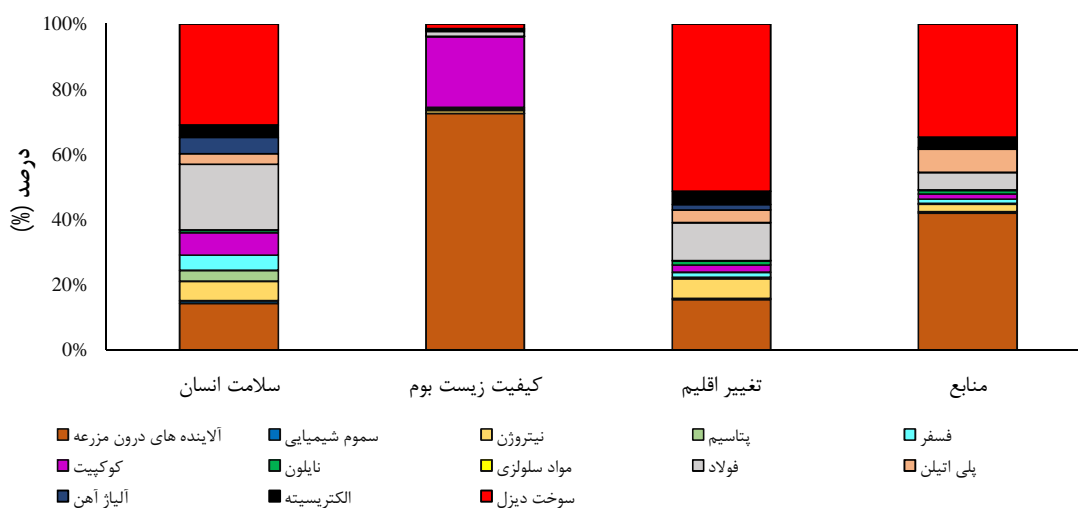
رده‌های آسیب				
سامانه‌های تولیدی	سلامت انسان (DALY)	کیفیت زیست‌بوم ($\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$)	تغییر اقلیم ($\text{kg CO}_2 \text{ eq}$)	منابع (MJ primary)
مرسوم	۰/۰۰۵	۹۲۵۸	۶۶۲۹	۱۴۵۴۴۶
فتوولتاییک	۰/۰۰۴۸	۹۲۱۵	۴۰۱۳	۴۰۰۶۶
فتوولتاییک-حرارتی	۰/۰۰۶۲	۹۴۹۱	۴۵۹۳	۵۵۲۶۲

سامانه‌های فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی به دلیل تأمین برق توسط صفحه‌ها اثرات زیست‌محیطی مربوط به الکتریسیته وجود ندارد. دومین عامل مهم در شاخص سلامت انسان نهاده‌ی فولاد است که در هر سه سامانه‌ی مرسوم، فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی مقدار تقریباً یکسانی داشته است. به این دلیل که عمده تفاوت این سامانه در مصرف سوخت گازوئیل و تأمین انرژی موردنیاز برای گلخانه است و فولاد تنها در ساختار سازه گلخانه

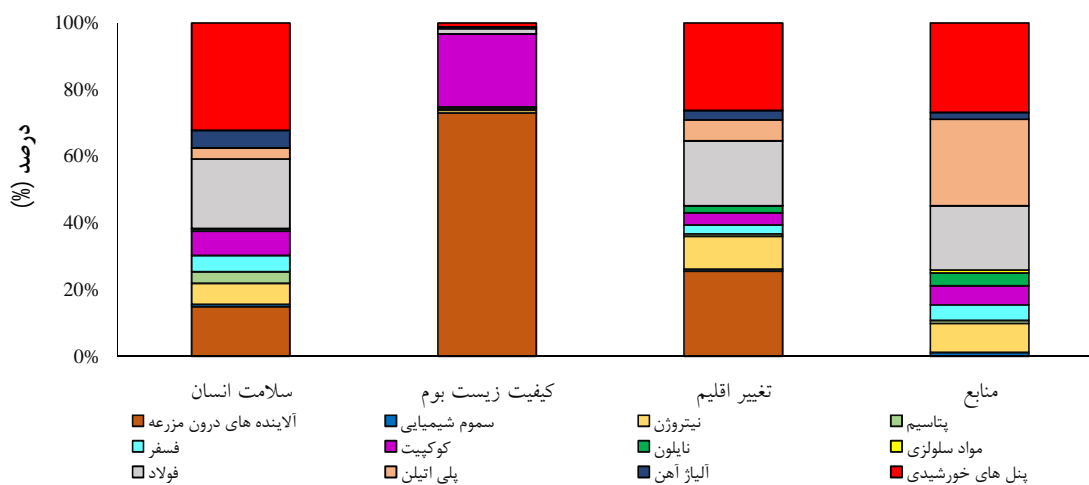
سهم هر یک از نهاده‌های ورودی در ایجاد رده‌های آسیب در سامانه‌های مرسوم، فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی تولید خیار گلخانه‌ای به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج می‌توان دریافت که سوخت گازوئیل بالاترین سهم را در سامانه تولید مرسوم در شاخص سلامت انسان دارد. همچنین در سامانه‌های فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی صفحه‌های مورد استفاده بیشترین سهم را از آن خود کرده‌اند. در

آب تعبیه‌شده در سطح زیر صفحه‌ها و... سهم صفحه‌های فتوولتایک- حرارتی در رده‌ی آسیب منابع بیشتر از سامانه‌ی فتوولتایک است. نتایج مطالعات بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید خیار گلخانه‌ای که در استان فارس که با روش CML2 baseline انجام شد، نشان داد که سوخت گازوئیل و گاز طبیعی در ایجاد اکثر شاخص‌های آلاینده‌ی سهم بیشینه‌ای را داشتند (Zarei et al., 2019). نتایج پژوهش دیگری که بر روی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کشت خیار گلخانه‌ای با استفاده از ارزیابی چرخه‌ی حیات با روش CML2 baseline انجام گرفت، نشان داد که الکتروسیته و گاز طبیعی بیشترین سهم را در اکثر شاخص‌ها به خود اختصاص دادند (Khoshnevisan et al., 2014).

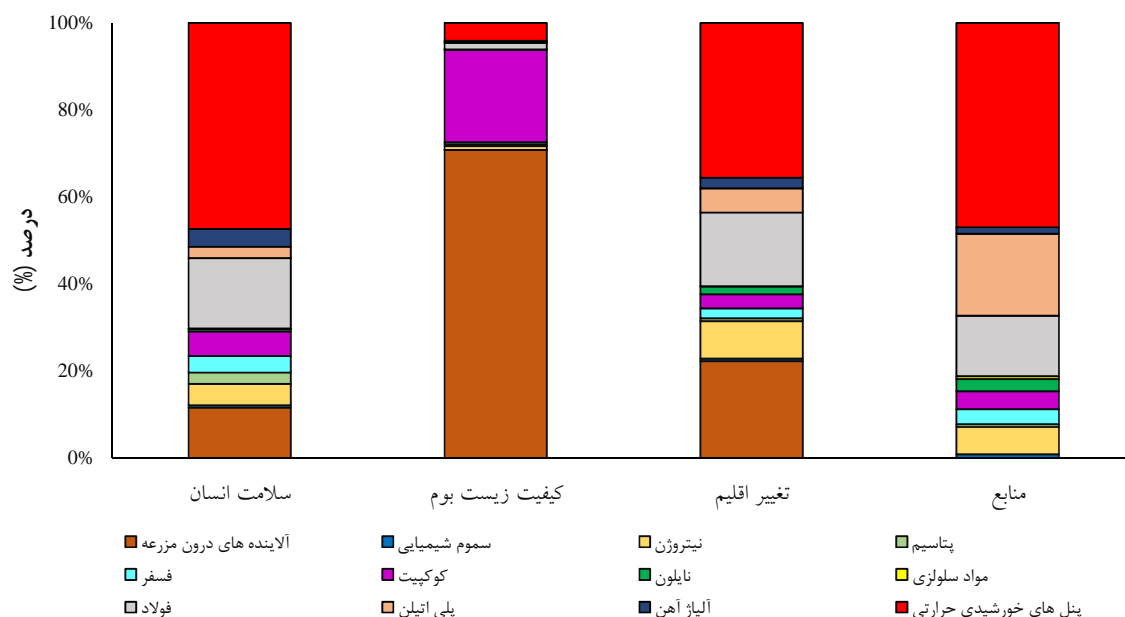
قابل‌توجه بوده است، که از لحاظ ساختاری سازه هر سه گلخانه یکی بوده است. بنابراین در تولید آلاینده‌ی‌های وابسته به فولاد و تفسیر نتایج آن در هر سه سامانه تولید مرسوم، فتوولتایک و فتوولتایک- حرارتی میزان آلاینده‌ی‌های فولاد در شاخص سلامت انسان بوده است. همچنین در رده‌ی آسیب منابع آلاینده‌های درون مزرعه‌ای بیشترین سهم را در سامانه‌ی تولید مرسوم داشته است در صورتی‌که در سامانه تولید فتوولتایک بیشترین سهم مربوط به پلی‌اتیلن و در سامانه تولید فتوولتایک- حرارتی از آن صفحه‌های خورشیدی حرارتی بوده است. در سامانه فتوولتایک- حرارتی به دلیل استفاده از مواد اولیه‌ی بیشتری هم چون عایق پشم‌شیشه برای لوله‌های گذرنده آب و هم‌چنین لوله‌های



شکل ۳- سهم هریک از نهاده‌های ورودی در میزان رده‌های آسیب مربوطه به سامانه مرسوم



شکل ۴- سهم هریک از نهاده‌های ورودی در میزان رده‌های آسیب مربوطه به سامانه فتوولتایک



شکل ۵- سهم هریک از نهاده‌های ورودی در میزان رده‌های آسیب مربوطه به سامانه فتوولتاییک-حرارتی

بیشتر آلاینده‌گی را نسبت به سامانه مرسوم رقم بزند. در این دو رده نیز همانند دو رده قبل سامانه خورشیدی کمترین میزان انتشار را به خود اختصاص داد. در میزان جمع کل انتشارات نیز سامانه مرسوم بالاترین میزان انتشار را به خود اختصاص داد و پس از آن سامانه فتوولتاییک-حرارتی در جایگاه بعدی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سامانه فتوولتاییک دوست‌دارترین فرآیندهای زیست‌محیطی در تولید خیار گلخانه‌ای است. نکته حائز اهمیت در این نتایج آن است که در اکثر مطالعات سامانه فتوولتاییک-حرارتی به‌عنوان سامانه‌ای مناسب و جایگزین برای سامانه‌های خورشیدی مطرح است، زیرا اعتقاد بر این است که بالا رفتن دمای صفحه‌ها باعث کاهش بهره‌وری صفحه‌ها شده و لذا نصب تجهیزات خنک‌کننده می‌تواند سبب افزایش بهره‌وری این صفحه‌ها در سامانه فتوولتاییک-حرارتی باشد. اما در منطقه مورد مطالعه به دلیل اینکه اقلیم معتدل است و دمای میانگین متوسط به‌گونه‌ای افزایش نمی‌یابد که باعث کاهش بازده صفحه‌ها شود لذا سامانه فتوولتاییک - حرارتی چندان بازدهی کل را افزایش نخواهد داد، با وجود اینکه نیاز به راه‌اندازی تجهیزات اضافی نیز وجود دارد که میزان انتشارات مختلف و در نهایت انتشارات کل را افزایش خواهد داد.

مقایسه رده‌های آسیب در به کارگیری سامانه‌های

مختلف تولید انرژی در کشت خیار گلخانه‌ای

با توجه به رده‌های آسیب متفاوت و تفاوت واحدهای رده‌های آسیب، از شاخص وزن داده‌شده کل انتشارات به‌منظور مقایسه فرآیندها استفاده شد. بر همین اساس میزان انتشارات کل هر یک از فرآیندهای مورد بررسی در شکل ۶ آورده شد. بر اساس نتایج، در رده‌های سلامت انسان و کیفیت زیست‌بوم سامانه فتوولتاییک-حرارتی بالاترین مقادیر انتشار را به خود اختصاص داد. نصب تجهیزات اضافی جهت خنک کردن سامانه‌های فتوولتاییک علت اصلی این امر بوده است. همچنین وابستگی کمتر این دو رده به میزان سوخت و الکتریسیته باعث شده تا جایگزینی سامانه‌های خورشیدی چندان در بهبود روند آنان تأثیر معنی‌داری نداشته باشد، لکن بهترین سامانه خورشیدی (سامانه فتوولتاییک) دارای کمترین میزان انتشارات در این دو رده بود. در دو رده تغییر اقلیم و منابع سامانه مرسوم و پس‌از آن سامانه فتوولتاییک - حرارتی بیشترین میزان انتشار را به خود اختصاص داده‌اند. وابستگی شدید این دو رده (تغییر اقلیم و منابع) به میزان سوخت گازوئیل مصرفی و همچنین انتشارات درون مزرعه‌ای ناشی از آن‌ها سبب شد تا حتی نصب تجهیزات خنک‌کننده اضافی در سامانه خورشیدی حرارتی نیز نتواند افزایش

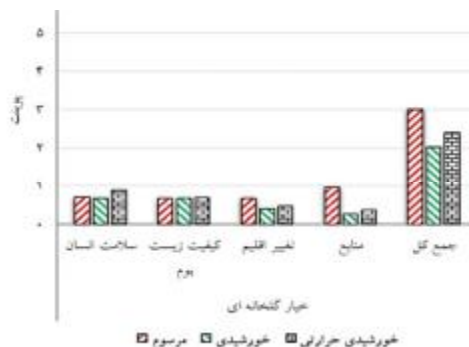
دیگر دارای کمترین مقادیر بوده و دوست‌دارترین فرآیندهای زیست‌محیطی انتخاب شد.

۵- در سه سامانه مرسوم، فتوولتاییک و فتوولتاییک- حرارتی به ترتیب سوخت گازوئیل، صفحه‌های فتوولتاییک و صفحه‌های فتوولتاییک- حرارتی و در موازات با انتشارات درون مزرعه بالاترین سهم را در انتشارات رده‌های آسیب را ایجاد کردند.

۶- با توجه به نتایج به دست آمده و هم‌چنین قیمت سامانه‌های فتوولتاییک، به منظور تعادل آثار زیست‌محیطی و اقتصادی برای تولید محصولات مختلف کشاورزی در گلخانه‌ها پیشنهاد می‌گردد تا گلخانه‌داران منطقه مورد مطالعه بخشی از انرژی مورد نیاز خود را از طریق به کارگیری سامانه‌های فتوولتاییک تأمین نمایند.

منابع

- Abeliotis, K., Detsis, V., & Pappia, C. (2013). Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece. *Journal of Cleaner Production*, 41: 89-96.
- Ali, Q., Yaseen, M. R., & Khan, M. T. I. (2019). Energy budgeting and greenhouse gas emission in cucumber under tunnel farming in Punjab, Pakistan. *Scientia Horticulturae*, 250: 168-173.
- Ayali, H., & Movahed Kh. (2016). Determining the optimal direction of the central courtyard of Qajar houses in Shiraz based on the amount of solar energy received. *Journal of Geography and Development*, 14: 161-182. (In Persian)
- Banaeian, N., Omid, M., & Ahmadi, H. (2011). Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. *Energy Conversion and Management*, 52(2): 1020-1025.
- Bhatnagar, P.R. (2014). Strategies for protected cultivation for small and marginal farmers in India. In *Agriculture: Towards a new paradigm of sustainability*. New Delhi, India: Excellent publishing house.
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (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. *European Journal of Agronomy*, 20(3): 247-264.



شکل ۶- مقایسه شاخص‌های نهایی وزن‌دهی شده زیست‌محیطی در سامانه‌های مرسوم، فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید خیار گلخانه‌ای با دیدگاه استفاده از منابع مختلف انرژی به صورت مرسوم (شامل تأمین انرژی از سوخت فسیلی برای گرمایش گلخانه و استفاده از برق تولیدی از نیروگاه‌ها متداول در کشور) و استفاده از انرژی خورشیدی (شامل استفاده از صفحه‌های فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی) انجام شد و نتایج زیر حاصل شد.

۱- نتایج شبیه‌سازی سامانه‌های فتوولتاییک و فتوولتاییک-حرارتی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS به‌منظور جایگزینی سوخت گازوئیل و الکتروسیته تأمین شونده از منابع فسیلی، نشان داد که برای تأمین انرژی از سامانه فتوولتاییک نیاز به تعداد صفحه بیشتری نسبت به سامانه فتوولتاییک-حرارتی است.

۲- نتایج ارزیابی چرخه حیات در سه سامانه مرسوم، خورشیدی و خورشیدی حرارتی نشان داد، بالاترین مقادیر رده‌های آسیب سلامت انسان و کیفیت زیست‌بوم در فرآیندهای فتوولتاییک-حرارتی به ترتیب با مقادیر DALY ۰/۰۰۶۲ و $9491/31 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ به دست آمد.

۳- بالاترین مقادیر شاخص‌های تغییر اقلیم و منابع در فرآیندهای مرسوم به ترتیب به میزان $145446/11 \text{ MJ primary}$ و $6629/88 \text{ CO}_2 \text{ eq}$ به دست آمد.

۴- مقایسه چهار رده‌ی آسیب نشان داد که به کارگیری سامانه فتوولتاییک نسبت به دو فرآیندهای

- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseinabadi, H., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2016). Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 112: 343-350.
- Mahdavi, S., Sarhaddi, F., & Hedayatizadeh, M. (2019). Energy/exergy based-evaluation of heating/cooling potential of PV/T and earth-air heat exchanger integration into a solar greenhouse. *Applied Thermal Engineering*, 149: 996-1007.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Azadi, H., Van Passele, S., Saber, Z., Hosseini-Fashami, F., Mostashari-Rad, F., Ghasemi-Mobtaker, H. (2021) Prospects of solar systems in production chain of sunflower oil using cold press method with concentrating energy and life cycle assessment. *Energy*, 223: 120117.
- Nayak, S., & Tiwari, G. N. (2008). Energy and exergy analysis of photovoltaic/thermal integrated with a solar greenhouse. *Energy and Buildings*, 40(11): 2015-2021.
- Neira, D. P., Montiel, M. S., Cabeza, M. D., & Reigada, A. (2018). Energy use and carbon footprint of the tomato production in heated multi-tunnel greenhouses in Almeria within an exporting agri-food system context. *Science of the Total Environment*, 628: 1627-1636.
- OECD, (2001). Improving the Environmental Performance of Agriculture: Policy Options and Market Approaches, Paris. Available at: www.oecd.org/agr/env.
- Paksoy, M., Turkmen, O., & Direk M. (2010). Importance of geothermal water using for greenhouse heating in Turkey, *Selc UK Journal of Agriculture and Food Sciences*, 24(2): 50-53.
- Pathak, H., & Wassmann, R. (2007). Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agricultural Systems*, 94(3): 807-825.
- Pishgar-Komleh, S. H., Ghahderijani, M., & Sefeedpari, P. (2012). Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 33: 183-191.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., & Rydberg, T. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Canakci, M., & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analysis of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31: 1243-1256.
- Esen, M., & Yuksel, T. (2013). Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse. *Energy and Buildings*, 65: 340-351.
- Ghasemi-Mobtaker, H., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K., Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Application of photovoltaic system to modify energy use, environmental damages and cumulative exergy demand of two irrigation systems-A case study: Barley production of Iran. *Renewable Energy*, 160: 1316-1334.
- Heidari, M. D., & Omid, M. (2011). Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy*, 36(1): 220-225.
- Hosseini-Fashami, F., Motevali, A., Nabavi-Pelesaraei, A., Hashemi, S.J., & Chau, K. (2019). Energy-Life cycle assessment on applying solar technologies for greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116: 109411.
- Ingwersen, W. W. (2012). Life cycle assessment of fresh pineapple from Costa Rica. *Journal of Cleaner Production*, 35: 152-163.
- ISO, (2006). ISO 14040: Environmental Management -Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines. International Organisation for Standardisation. Geneva, Switzerland.
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003). IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(6): 324.
- Kalogirou, S. A. (2001). Use of TRNSYS for modelling and simulation of a hybrid PV-thermal solar system for Cyprus. *Renewable Energy*, 23(2): 247-260.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., & 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.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52: 333-338.

- Environment International*, 30(5): 701 -720.
- Romero-Gómez, M., Suárez-Rey, E., Antón, A., Castilla, N., & Soriano, T. (2012). Environmental impact of screenhouse and open-field cultivation using a life cycle analysis: the case study of green bean production. *Journal of Cleaner Production*, 28: 63-69.
- Taki, M., Ajabshirchi, Y., Abdi, R. & Akbarpour, O. (2012). Analysis of Energy Efficiency for Greenhouse Cucumber Production Using Data Envelopment Analysis (DEA) Technique; Case Study: Shahreza Township. *Journal of Agricultural Machinery*, 2: 28-37. (In Persian)
- Taseska, V., Markovska, N., Causevski, A., Bosevski, T., & Pop-Jordanov, J. (2011). Greenhouse gases (GHG) emissions reduction in a power system predominantly based on lignite. *Energy*, 36(4): 2266-2270.
- Thanarak, P., & Chiramakara, T. (2019). GHG Emission and cost performance of life cycle energy on agricultural land used for photovoltaic power plant. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2): 156-165.
- Todde, G., Murgia, L., Deligios, P.A., Hogan, R., Carrelo, I., Moreira, M., Pazzona, A., Ledda, L. & Narvarte, L. (2019). Energy and environmental performances of hybrid photovoltaic irrigation systems in Mediterranean intensive and super-intensive olive orchards. *Science of the Total Environment*, 651: 2514-2523.
- Tong, R., Zhai, Y. & Li, X. (2015). An LCA-based health damage evaluation method for coal mine dust. *Veterinary Clinical Pathology: A Case-Based Approach*, 223-230.
- Yildizhan, H. (2018). Energy, exergy utilization and CO₂ emission of strawberry production in greenhouse and open field. *Energy*, 143: 417-423.
- Zarei, M. J., Kazemi, N., & 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.