

## Environmental Impact and Energy Flow Assessment in Greenhouse Primrose Production Using Cumulative Energy Demand and Cumulative Exergy Demand Approach

TAHEREH SALEHPOUR<sup>1</sup>, MAJID KHANALI<sup>1\*</sup>, ALI RAJABIPOUR<sup>1</sup>

1. Department of Agricultural Engineering Machinery, Faculty of Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University

(Received: Feb. 7, 2019- Revised: Sep. 1, 2019- Accepted: Oct. 7, 2019)

### ABSTRACT

The present study analyzed the energy flow of this product by the cumulative energy demand (CED) and cumulative exergy demand (CExD) method by providing a life cycle inventory of greenhouse Primrose production. The required data through interviews and questionnaires were collected from greenhouse owners in Savojbolagh. Based on the results, the total CED and CExD values for one bush of Primrose were calculated as 8.45 and 8.24 MJ<sub>eq.</sub>, respectively. Among the impact categories of the CED method, non-renewable-fossil had the largest share with 8.43 MJ<sub>eq.</sub> that 66% of it was related to direct energy consumption in the greenhouse. Also, 8.20 MJ<sub>eq.</sub> CExD was related to the non-renewable-fossil impact category that direct energy consumption in the greenhouse had the most important role in it. The energy consumption for the production of one bush of Primrose resulted in the emission of 0.20576 kg of carbon dioxide equivalent.

**Keywords:** Environmental impacts, Energy, Cumulative exergy demand, Cumulative energy demand, Ornamental flower.

---

\* Corresponding Author's Email: [khanali@ut.ac.ir](mailto:khanali@ut.ac.ir)

## بررسی اثرات زیست‌محیطی و ارزیابی جریان انرژی در تولید پامچال گلخانه‌ای با رویکرد تقاضای انرژی جمعی و تقاضای اکسرژی جمعی

طاهره صالح پورا<sup>۱</sup>، مجید خانعلی<sup>۱\*</sup>، علی رجبی پورا<sup>۱</sup>

۱. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و

منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۶/۱۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۷/۱۵)

### چکیده

مطالعه حاضر با فراهم آوردن فهرست موجودی چرخه زندگی تولید گل پامچال گلخانه‌ای به تجزیه و تحلیل جریان انرژی تولید این محصول با استفاده از روش تقاضای انرژی و اکسرژی جمعی پرداخته است. داده‌های لازم از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری از گلخانه‌داران در ساوجبلاغ جمع‌آوری شد. بر اساس نتایج، میزان کل شاخص تقاضای انرژی و اکسرژی جمعی برای تولید یک بوته گل پامچال به ترتیب ۸/۴۵ و ۸/۲۴ مگاژول محاسبه شد. در بین گروه‌های اثر روش تقاضای انرژی جمعی، گروه اثر منابع غیرتجدیدپذیر- فسیلی با ۸/۴۳ مگاژول بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده بود که ۶۶ درصد ناشی از مصرف انرژی مستقیم درون گلخانه بوده است. همچنین ۸/۲۰ مگاژول از تقاضای اکسرژی جمعی، ناشی از گروه اثر منابع غیرتجدیدپذیر- فسیلی بود که مصرف انرژی مستقیم درون گلخانه، مهم‌ترین نقش را در آن داشت. مصرف انرژی به‌ازای تولید یک بوته گل پامچال منجر به نشت ۰/۲۰۵۷۶ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید شده است.

**واژه‌های کلیدی:** اثرات زیست‌محیطی، انرژی، تقاضای اکسرژی جمعی، تقاضای انرژی جمعی، گل‌زینتی.

### مقدمه

در دهه‌های اخیر گرایش به سمت استراتژی‌ها و راهبردهای مهم جهت توسعه صادرات، جهش‌های مهم صادراتی را در پی داشته است. اتخاذ برخی از سیاست‌های حمایتی از طرف دولت در زمینه های کشاورزی و صادرات کالاها، به‌جای اقتصاد تک‌محصولی و وابسته به نفت، به‌ویژه پرورش گل‌های زینتی به‌عنوان یک راهبرد در جهت ایجاد فرصت‌های شغلی و کسب درآمدهای ارزی مدنظر قرار گرفته است. همچنین با توجه به اهمیت کاهش وابستگی اقتصاد کشور به درآمدهای ارزی حاصل از صدور نفت خام و جایگاه صادرات کالاهای غیرنفتی، پرورش گل‌های زینتی به‌عنوان یک راه‌کار فرا روی برنامه‌ریزان کشور قرار گرفته است. با توجه به موقعیت طبیعی ایران به‌دلیل تنوع اقلیم، وجود نور و شرایط آب و هوایی مناسب و همچنین نزدیکی به بازار بزرگ مصرف گل (کشورهای حوضه خلیج فارس)، تولید گل‌ها و گیاهان زینتی در اکثر نقاط ایران به‌سرعت در حال گسترش است. از طرفی صنعت پرورش گل‌ها و گیاهان زینتی، قابل رقابت در عرصه‌های جهانی می‌باشند و پتانسیل بالقوه‌ای در کسب درآمد ارزی حاصل از صادرات دارند. همچنین می‌توانند در ترکیب با صادرات سایر کالاهای غیرنفتی نقش بسیار مهمی را در تدوین برنامه اقتصادی

بدون نفت و تنوع بخشی به صادرات کشور داشته باشند. بر این اساس، ایران در سال ۲۰۱۱، بیش از ۸۷۰۰۰ تن در متر گل تازه و ۲۰۰ میلیون گل شاخه بریده را صادر کرده است که نشان از رشد شدید تولید نسبت به ده سال قبل از آن دارد (Mostashar, Nezami et al., 2011; Razaiee, 2012). کشت گل‌ها و گیاهان زینتی در ایران به دو صورت فضای باز و گلخانه‌ای صورت می‌گیرد. اما از آن جا که هدف از کشت گیاهان زینتی عملکرد تزئینی آنها است، این نوع گیاهان برای حفظ کیفیت بیش‌تر در سطح وسیع در گلخانه‌ها کشت می‌شوند (Lazzerini et al., 2014).

از مزایای کشت گلخانه‌ای می‌توان به افزایش کیفیت محصول تولیدی، استفاده کارتر از منابع آب و خاک، عرضه دائمی، اشتغال‌زایی و عملکرد بالاتر اشاره کرد. در مقابل نیاز سرمایه بالاتر، دانش فنی بیش‌تر، مسائل زیست‌محیطی، مصرف انرژی بالا و وابستگی به سوخت‌های فسیلی و منابع عظیم انرژی از معایب این نوع کشت به‌شمار می‌آید (Mehrabi Boshrabadi & Zeinalzadeh, 2006; Taki et al., 2012a). زیرا سامانه تولید گلخانه‌ای به‌دلیل کمبود دانش و اطلاعات در مورد استفاده بهینه از ورودی‌ها مانند: دیزل، گاز طبیعی، آفت‌کش‌های شیمیایی، الکتریسته، بذرها اصلاح شده و غیره سبب تغییرات قابل توجهی

قرار گرفته است و می‌تواند استفاده مفیدتری از منابع انرژی را فراهم کند. تقاضای اکسرژی تجمعی یک ابزار مهم در ارزیابی پایداری تولیدات کشاورزی است. تقاضای اکسرژی تجمعی مقدار کل اکسرژی اولیه تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر است که یک محصول یا خدمات برای تولید به آن نیاز دارند (Bösch et al., 2007).

با توجه به این مطالب مهم، مطالعات مختلفی از منظر تقاضای انرژی تجمعی و تقاضای اکسرژی تجمعی در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، شاخص تقاضای انرژی تجمعی برای سامانه‌های کشت گوجه فرنگی به دو صورت باز و گلخانه‌ای در هفت سناریو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تقاضای انرژی تجمعی سالانه از ۰/۸ به ۱۶۰/۵ مگاژول بر کیلوگرم تغییر می‌کند. همچنین، در همه‌ی موارد، دسته "غیرتجدیدپذیر-فسیلی" دارای بالاترین مقدار مصرف انرژی بود (Ntinis et al., 2017).

در سال ۲۰۱۷ مطالعه‌ای در رابطه با تولید خیار و گوجه فرنگی در دو سامانه فضای باز و گلخانه از بعد چرخه زیست-محیطی و شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی در استان فارس صورت گرفت. بر اساس نتایج، کل شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی برای تولید یک تن خیار و گوجه فرنگی در گلخانه به-ترتیب ۲۱۵۹/۱۹ و ۱۹۳۴/۱۴ مگاژول معادل محاسبه شد. همچنین، میزان شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی یک تن خیار و گوجه فرنگی در فضای باز به‌ترتیب ۲۶۴۹/۵۹ و ۱۲۲۲/۶۹ مگاژول معادل برآورد شد (Zarei et al., 2018).

در سال ۲۰۱۸ در مطالعه‌ای که بر روی روند تولید گوجه فرنگی به روش میدان باز در مرمهره‌ی جنوبی و توکات، و همچنین تولید گلخانه‌ای در آنتالیای ترکیه با استفاده از رویکرد مصرف اکسرژی مورد بررسی قرار گرفت، گزارش گردید که بیش‌ترین مصرف اکسرژی تجمعی در فضای باز ناشی از مصرف آب و در فضای گلخانه‌ای ناشی از الکتریسته مصرفی درون گلخانه‌ها می-باشد (Yildizhan and Taki, 2018). در مطالعه‌ای دیگر تولید گلخانه‌ای خیار جهت تعیین ارزیابی انرژی با استفاده از مفهوم مصرف اکسرژی تجمعی در منطقه گلشن استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که بیش‌ترین مصرف اکسرژی تجمعی مربوط به سوخت دیزل مورد استفاده در سامانه‌های گرمایشی و پمپ‌های دیزلی برای آبیاری بوده است (Taki and Yildizhan, 2018). همچنین در سال ۲۰۱۸ تولید توت‌فرنگی در دو سامانه کشت باز و گلخانه‌ای از منظر انرژی و اکسرژی تجمعی مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد کل مصرف انرژی تجمعی برای تولید هر تن توت‌فرنگی در

در الگوی مصرف انرژی در بخش کشاورزی شده و منجر به وابستگی بیش‌تر به منابع انرژی سوخت‌های فسیلی شده است (Golzar et al., 2018). تولید، توزیع و استفاده از این ورودی‌ها عمدتاً بر مقدار زیادی انرژی غیر قابل تجدید تکیه می‌کند (Ozkan et al., 2004). از آنجایی که مصرف بالای انرژی در بخش کشاورزی سبب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، این موضوع می‌تواند برای نسل‌های آینده به یک چالش بسیار جدی تبدیل شود (Khoshnevisan et al., 2013). بنابراین ارزیابی انرژی در تولیدات کشاورزی بسیار مهم است و در فرآیند تولید، اولین گام برای استفاده بهینه از منابع موجود است (Taki et al., 2012b).

تجزیه و تحلیل انرژی برای مطالعه کارایی نهایی و اثرات زیست‌محیطی محصولات کشاورزی، یک رویکرد مهم در کشاورزی می‌باشد. امروزه با پیش‌رفت صنایع و کشاورزی و افزایش نیاز بشر به بهره‌برداری از منابع انرژی، تلاش برای بهینه-سازی مصرف انرژی به یک هدف اصلی تبدیل گردیده است. آشنایی با مهم‌ترین ابزار این کار می‌تواند در توسعه‌ی آن سودمند واقع شود. به‌همین دلیل، امروزه مفهوم انرژی و اکسرژی از نظر دانشمندان، محققان و مهندسان بسیاری، مورد توجه قرار گرفته است.

استفاده درست از انرژی در همه‌ی بخش‌های مصرف‌کننده از جمله کشاورزی و صنایع گلخانه‌ای می‌تواند سبب تولید پایدار شود. همچنین تولید اقتصادی، کندشدن روند اتمام ذخایر فسیلی و جلوگیری از آلودگی هوا را در پی دارد. تجزیه و تحلیل انرژی برای مطالعه کارایی و اثرات زیست‌محیطی محصولات کشاورزی یک رویکرد مهم در کشاورزی است و می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت تصمیم‌گیری، مدیریت و توسعه این بخش ایفا کند (Taki et al., 2012c).

تقاضای انرژی تجمعی شاخصی است که انرژی اولیه یک محصول یا خدمات را در طول مراحل چرخه زندگی که شامل مصرف انرژی مستقیم و غیرمستقیم (انرژی مرتبط با مصرف مواد) است، را اندازه‌گیری می‌کند. از آنجایی که بسیاری از اثرات زیست‌محیطی با بررسی چرخه زندگی (ارزیابی چرخه زندگی) مرتبط با تقاضای انرژی اولیه هستند، تجزیه و تحلیل تقاضای انرژی تجمعی به‌عنوان یک فرم کوتاه ارزیابی چرخه زندگی دیده می‌شود (Duschl et al., 2003). همچنین، تقاضای انرژی تجمعی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص غربال‌گری مؤثر برای عملکرد محیطی مورد استفاده قرار گیرد (Huijbregts et al., 2010). از طرفی، تجزیه و تحلیل اکسرژی برای تحلیل استفاده از انرژی در یک کشور برای درک بهتر کارایی بهره‌برداری انرژی مورد استفاده

کشت باز و گلخانه‌ای به ترتیب ۶۷۰۳/۰۴۲ و ۴۲۰۰/۸۸۱ مگاژول محاسبه شد. بیشترین میزان مصرف انرژی تجمعی در کشت باز ناشی از کود نیتروژن (۴۸٪) بوده است و به دنبال آن آفت‌کش‌ها در جایگاه دوم قرار داشتند. به عبارت دیگر کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها ۹۱٪ از کل مصرف انرژی تجمعی را به خود اختصاص داده بودند. همچنین میزان مصرف اکسرژی تجمعی در کشت گلخانه‌ای به دلیل استفاده از الکتروسیسته بیش‌تر از کشت باز برآورد شد (Yildizhan, 2018).

همچنین مطالعات مختلفی اثرات زیست محیطی ناشی از تقاضای انرژی را در تولیدات گلخانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. محققان مطالعه‌ای بر روی پرورش گل‌های زینتی به روش ارزیابی چرخه زندگی انجام دادند و دریافتند که سوختی که برای سامانه گرمایش در گلخانه‌ها استفاده می‌شود، بیشترین تأثیر را بر روی پدیده گرمایش جهانی دارد. در حقیقت می‌توان گفت که ۸۰ درصد علت بروز پدیده گرمایش جهانی ناشی از سوخت می‌باشد و مابقی مربوط به استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها است (Russo *et al.*, 2008). محققان همچنین چرخه زندگی چند محصول گلخانه‌ای شامل فلفل، هندوانه و گوجه‌فرنگی را در کشور ایتالیا مورد بررسی قرار دادند. مطالعه آن‌ها شامل مراحل استخراج مواد اولیه، تولید نهاده‌ها، تولید محصول، حمل‌ونقل و بسته‌بندی را در بر می‌گرفت. ارزیابی آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین آلاینده‌گی‌ها به دو عامل نوع بسته‌بندی و ساختار گلخانه‌ها وابسته است. به علاوه گلخانه‌هایی که نیاز به سامانه گرمایش نداشتند دارای اثرات زیست‌محیطی بهتری بوده‌اند (Cellura *et al.*, 2012). محققان در سال ۲۰۱۳ به بررسی کشت گلخانه‌ای گل رز در اتیوپی با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از این بود که داده‌ها به استفاده شدید از کود، سموم دفع آفات و پلاستیک گلخانه‌ای اشاره دارند. تولید و استفاده از این ورودی‌ها نماینده‌های اصلی در همه مقوله‌های تأثیرگذار زیست‌محیطی است. بزرگ‌ترین سهم از تولید کودهای استفاده شده، مربوط به کودهای حاوی نیتروژن است که آن هم بر روی سلامت انسان تأثیرگذار است (Sahle and Potting, 2013). همچنین در مطالعه‌ی دیگری، زارعی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در استان فارس به بررسی تولید خیار و گوجه‌فرنگی در فضای باز و کشت گلخانه‌ای از منظر ارزیابی چرخه زندگی پرداختند و طی آن عنوان کردند که خیار تولید شده در فضای باز به علت عملکرد بیش‌تر، دارای اثرات زیست‌محیطی بیش‌تری نسبت به خیار تولید شده در گلخانه دارد؛ اما در مقابل آن، تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به علت

استفاده از سوخت دیزل و گاز طبیعی مورد نیاز در سامانه‌های گرمایشی در گلخانه‌ها، اثرات زیست‌محیطی بیش‌تری نسبت به گوجه‌فرنگی تولید شده در فضای باز داشت. همچنین، سوخت دیزل و گاز طبیعی در گلخانه‌ها و الکتروسیسته و کود نیتروژن در کشت فضای باز به عنوان مشارکت‌کنندگان اصلی در همه گروه‌های تأثیرگذاری شناخته شده بودند (Zarei *et al.*, 2017). در تحقیقی دیگر اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای را در کانادا مورد بررسی قرار گرفت و طی آن عنوان شد که سوخت مورد استفاده برای گرمایش گلخانه‌ها بین ۵۰ تا ۸۵ درصد به‌عنوان مهم‌ترین آسیب زیست‌محیطی در چرخه زندگی تولید گوجه‌فرنگی است. همچنین فرآیند تولید مقوا برای بسته‌بندی گوجه‌فرنگی، به عنوان دومین عامل تأثیرگذار شناخته شد (Dias *et al.*, 2017).

گل پامچال یکی از گل‌های زیبای بهاری است که جنبه‌ی تزئینی دارد. از آن جایی که زمان کاشت این گیاه از اواخر تابستان شروع شده و در فصل بهار شکوفا می‌شود و همچنین جهت افزایش کیفیت گل‌های تولید شده، این گل‌ها در گلخانه‌ها کشت می‌شوند. به دلیل وجود شرایط مناسب جهت تأسیس واحدهای گلخانه‌ای در شهرستان ساوجبلاغ، تعداد واحدهای گلخانه‌ای در این شهرستان رو به افزایش است. از این رو به دلیل مصرف انرژی جهت کنترل و بهبود شرایط محیطی برای تولید محصول، انرژی بیش‌تری مصرف می‌شود که مطالعه جریان انرژی و اکسرژی، و شناسایی عواملی که منجر به افزایش مصرف انرژی و اکسرژی می‌شوند را ضروری ساخته است. از سوی دیگر مرور منابع مرتبط نشان داد که با وجود گستردگی تحقیقات در زمینه‌ی انرژی و اکسرژی مصرفی محصولات کشاورزی، هیچ مطالعه‌ای در رابطه با انرژی و اکسرژی مصرفی گیاهان زینتی گلخانه‌ای صورت نگرفته است. لذا مطالعه حاضر، ترکیبی از فهرست موجودی چرخه زندگی تولید پامچال گلخانه‌ای با مفهوم انرژی و اکسرژی و بررسی اثر آن با میزان آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها در این شهرستان است که به بررسی انرژی مصرفی و فرصت‌های کاهش مصرف انرژی به منظور بیان راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی از دیدگاه شاخص تقاضای انرژی و اکسرژی تجمعی در تولید پامچال گلخانه‌ای می‌باشد.

## مواد و روش

### جمع آوری داده

این مطالعه در شهرستان ساوجبلاغ استان البرز صورت گرفته

تولید محصول مانند آماده سازی زمین، آبیاری، سوخت، الکتریسیته، برداشت و حمل و نقل ورودی‌های کشاورزی مورد نیاز تا تولید است و انرژی غیر مستقیم شامل بذرها، ماشین‌ها، کود و مواد شیمیایی هستند (Mohammadi et al., 2008).

شاخص تقاضای انرژی تجمعی برای منابع انرژی، به دو دسته تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر تقسیم می‌شود. دسته تجدیدپذیر شامل زیست‌توده، باد، خورشید، زمین گرمایی، آب و دسته تجدیدنپذیر شامل انرژی فسیلی و جنگل‌ها می‌باشد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

ضرایب شاخص تقاضای انرژی تجمعی برای هر یک از نهاده‌ها در جدول ۳ ذکر شده است (ضرایب از نرم‌افزار سیمپرو استخراج شده است).

جدول ۱. میزان نهاده‌های ورودی به گلخانه برای تولید هر بوته گل پامچال در شهرستان ساوجبلاغ.

مقدار مصرف به ازای یک بوته	واحد	نهاده‌ها
۰/۰۸۵۷	h	۱. نیروی کارگری
۰/۱۷۴۸	l	۲. سوخت دیزل
		۳. کودهای شیمیایی
۰/۰۰۰۶	kg	الف) نیتروژن
۰/۰۰۰۲	kg	ب) فسفر
۰/۰۰۰۲	kg	ج) پتاسیم
۰/۰۰۰۲	kg	د) فسفات
۰/۰۰۰۳	kg	و) اوره
۰/۰۲۱۲	kg	۴. کود حیوانی
		۵. سموم
۰/۰۰۰۴	kg	الف) آفت‌کش
۰/۰۰۰۴	kg	ب) قارچ‌کش
۰/۰۴۳	kWh	۶. الکتریسیته
۰/۰۸۶۹	m <sup>3</sup>	۷. گاز
۰/۰۰۹۲۴	kg	۸. پلاستیک
۰/۰۰۰۲۸	m <sup>3</sup>	۹. آب آبیاری

است. شهرستان ساوجبلاغ به دلیل وجود تعداد واحدهای گلخانه- ای متعدد، نقش بسیار مهمی در تولید گیاهان زینتی این استان دارد. بر اساس اعلام رسمی سازمان جهاد کشاورزی استان البرز، سطح زیرکشت گلخانه‌های استان البرز ۳۰۰۰ هکتار است که بخش عمده آن (۷۵٪) مربوط به شهرستان ساوجبلاغ می‌باشد. لازم به ذکر است که قسمت عمده‌ی گلخانه‌های این شهرستان به کشت گل‌های زینتی اختصاص دارد. اطلاعات مورد نیاز برای این مطالعه از گلخانه‌داران و با استفاده از پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری از ۳۰ واحد گلخانه‌ای در سال زراعی ۹۶-۹۷ جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت. میزان نهاده‌های مصرفی در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل بذر مصرفی، کودهای شیمیایی (نیتروژن، اوره، پتاسیم و فسفات)، کود دامی، سموم شیمیایی (علف‌کش، قارچ-کش و حشره‌کش)، سوخت دیزل، گاز طبیعی، نیروی کارگری، آب آبیاری، الکتریسیته، پلی‌اتیلن مصرفی به‌عنوان پوشش سقف گلخانه‌ها و ستانده در حکم عملکرد گل پامچال بر حسب یک بوته گل محاسبه شد. مقدار میانگین هر یک از نهاده‌های مصرفی در جدول ۱ ارائه شده است.

### شاخص تقاضای انرژی تجمعی

تقاضای انرژی تجمعی فرصتی برای ارزیابی و پایداری یک محصول یا یک سرویس بر اساس انرژی است. در حقیقت این موضوع، "مقدار کل انرژی اولیه که برای استخراج، تولید، استفاده و فروش محصول لازم است" را توصیف می‌کند. همچنین، قادر به ارزیابی و مقایسه محصولات و خدمات با توجه به معیارهای انرژی است (Frischknecht et al., 2015). مفهوم تقاضای انرژی تجمعی ممکن است برای ارزیابی مصرف کل انرژی در طول چرخه زندگی تولید یک فرآیند واحد که شامل مصرف انرژی مستقیم و غیر مستقیم (انرژی مرتبط با مصرف مواد) است را مطرح کند. انرژی مستقیم برای انجام وظایف مختلف مربوط به فرآیندهای

جدول ۲. دسته‌بندی عوامل مشخصه شاخص تقاضای انرژی تجمعی (Renewable Energy and Energy Efficiency Organization, 2019).

دسته‌بندی	زیرشاخه	موارد
منابع تجدیدپذیر	زیست‌توده	چوب، محصولات غذایی، زیست‌توده‌های کشاورزی، به‌عنوان مثال کاه
	باد	انرژی باد
	خورشید	انرژی خورشیدی (گرما و برق)
	زمین گرمایی	انرژی زمین گرمایی (کم عمق: ۳۰۰-۱۰۰ میلی‌متر)
منابع تجدیدنپذیر	آب	انرژی برق آبی
	انرژی فسیلی	زغال سنگ، زغال قهوه‌ای، نفت خام، گاز طبیعی، معدن زغال سنگ، زغال سنگ نارس، پیت
	جنگل‌ها	چوب و زیست‌توده از جنگل‌های اولیه

جدول ۳. ضرایب شاخص تقاضای انرژی تجمعی برای هر یک از نهاده‌های مصرفی در تولید گل پامچال.

منبع	منبع غیر تجدیدپذیر، زیست توده (MJ)	منبع تجدیدپذیر، زیست توده (MJ)	منبع تجدیدپذیر، باد، خورشید، زمین گرمایی تجدیدپذیر، آب (MJ)	منبع تجدیدپذیر، فسیلی (MJ)	نهاده
۴/۴۷	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۹/۴۲	۲/۷۴	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۱/۱۵	۱۰ <sup>-۲</sup> × ۱/۷۲	آفت کش (kg)
۴/۳۵ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۹/۲۷	۳/۵۱	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۹/۳۱	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۶/۰۶	کود نیتروژن (kg)
۱/۱۱	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۲/۰۹	۱/۱۶	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۵/۲۹	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۲/۸۵	کود فسفات (kg)
۱/۸۴ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۳/۴۱	۶/۸۱	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۱/۰۴	۵/۹۳	کود پتاسیم (kg)
۳/۵۵ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۷/۱۲	۲/۸۵ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۱/۸۳	۵/۸۳ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	کود اوره (kg)
۹/۳۰ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۱/۲۳	۳/۹۱ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۴/۷۰	۷/۱۶ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	پلی اتیلن (kg)
۷/۴۲	۱/۴۹	۳/۸۱	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۸/۷۶	۱۰ <sup>-۲</sup> × ۲/۰۳	دیازینون (kg)
۳/۳۴	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۶/۹۴	۱/۵۲	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۱/۸۲	۱۰ <sup>-۲</sup> × ۱/۲۹	آترازین (kg)
۱/۹۵ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۳/۶۸	۵/۵۷ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۴/۹۵	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۳/۶۶	کود دامی (kg)
۱/۱۲ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۵/۵۱	۳/۵۲ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۷/۶۸	۱۰ <sup>-۱</sup> × ۱/۳۶	الکتریسته (kWh)
.	.	.	.	۴/۲۴ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	گاز طبیعی (m <sup>3</sup> )
.	.	.	.	۴/۶۵ × ۱۰ <sup>-۱</sup>	دیزل (l)
.	.	.	.	۲	مصرف مستقیم انرژی در گلخانه

### شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی

در حال حاضر مفهوم اکسرژی مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل اکسرژی برای تجزیه و تحلیل استفاده از انرژی در یک کشور برای درک بهتر کارایی بهره‌برداری انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. عبارت اکسرژی برای اولین بار در سال ۱۹۵۶ توسط زوران رنت<sup>۱</sup> با استفاده از دو واژه یونانی *ergon* و *ex* مطرح شد (Rant, 1956) و سپس برای اولین بار توسط ریستاد مورد<sup>۲</sup> استفاده شد (Reistad, 1975). اکسرژی یک مقدار مفید است که از قانون دوم ترمودینامیک استنتاج می‌شود و بخشی از انرژی است که می‌تواند پس از تعادل بین سامانه و محیط اطراف به کار مفید تبدیل شود. همچنین به تجزیه و تحلیل انرژی و سایر سامانه‌ها و فرآیندها کمک می‌کند. از طرفی می‌تواند از مزایای زیست‌محیطی و اقتصاد تکنولوژی‌های انرژی، بهتر از انرژی استفاده کند (Bilgen, 2014). اکسرژی سامانه، بیش‌ترین کار مفید ممکن طی یک فرآیند است که سامانه را به تعادل با چشمه گرمایی می‌رساند. هنگامی که محیط اطراف چشمه است، اکسرژی، پتانسیل سامانه برای ایجاد یک تغییر است. زمانی که این سامانه به تعادل با محیط برسد، اکسرژی، انرژی موجود برای استفاده است و پس از تعادل سامانه و محیط اطراف، مقدار اکسرژی به صفر خواهد رسید. تفاوت بین انرژی و اکسرژی در زیر به اختصار ذکر شده است (Dincer and Rosen, 2007; Wall, 2013). انرژی برطبق قانون اول ترمودینامیک به معنای حرکت یا توانایی حرکت است و وسیله‌ی اندازه‌گیری کمیت می‌باشد. در

مقابل، اکسرژی ترکیبی از قانون اول و دوم ترمودینامیک و بیانگر کار یا توانایی تولید کار است و وسیله‌ی اندازه‌گیری کمیت و کیفیت می‌باشد. همچنین، انرژی تنها به خواص جریان ماده و انرژی سامانه وابسته است درحالی‌که اکسرژی به خواص جریان ماده، انرژی سامانه و شرایط محیط وابسته است. از طرفی، انرژی در اشکال مختلف (پتانسیل، جنبشی، کار و گرما) کمی می‌شود اما اکسرژی در اشکال مختلف انرژی وجود دارد و بر اساس تولید کار کمی می‌شود. در شرایط تعادل با محیط، انرژی کمی غیر صفری دارد، در حالی‌که اکسرژی در شرایطی که سامانه در تعادل با خودش و محیط باشد، کمیت برابر صفر دارد.

شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی، به‌عنوان مجموع اکسرژی تمام منابع مصرف شده در طول مراحل یک محصول و یا فراهم آوردن یک خدمت بیان می‌شود. شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی مشابه شاخص تقاضای انرژی تجمعی می‌باشد، با این تفاوت که تقاضای اکسرژی تجمعی کیفیت منابع انرژی و همچنین منابع غیرانرژی مانند فلزات و مواد معدنی را نیز محاسبه می‌کند (Bösch et al., 2007). شاخص اکسرژی تجمعی به نه زیرگروه منابع فسیلی، جنبشی، خورشیدی، پتانسیل، اولیه، زیست‌توده، آب، فلزات و مواد معدنی تقسیم شده و با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود و به صورت مگاژول معادل (MJ eq.) تعریف می‌شود (Dewulf, 2007). ضرایب شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی برای هر یک از نهاده‌ها در جدول ۴ ذکر شده است (ضرایب از نرم‌افزار سیمپرو استخراج شده است).

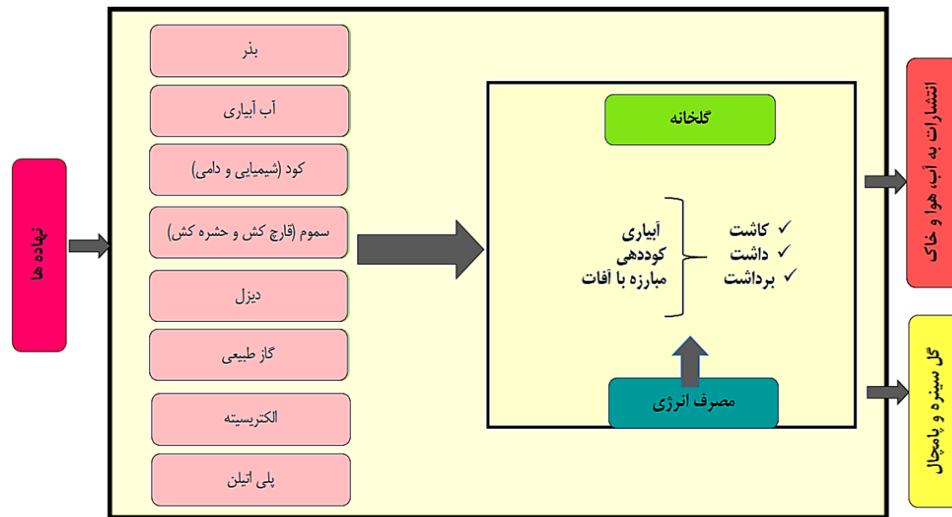
2. Reistad mourd

1. Zoran rant



مطالعه مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه مرزهای سامانه، از کاشت بذر تا گل‌دهی در نظر گرفته شده است (شکل ۱). منابع استفاده شده با توجه به واحد کارکردی و مرز سامانه تعیین شده و در نهایت فهرست موجودی با توجه به اطلاعاتی در مورد ورودی‌ها و خروجی‌های فیزیکی فرآیندهای سامانه تهیه شد.

واحد کارکردی یک توصیف کمی از سامانه خدمات یا محصول فرآیند مورد بررسی می‌باشد (Rebitzer, 2004) که در این مطالعه واحد کارکردی یک بوته گل پامچال در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر، انتخاب مرز سامانه باید با هدف مطالعه مورد نظر سازگار باشد و جزییات واحد فرآیندهای موجود در



شکل ۱. مرز سامانه تولید گل پامچال در گلخانه.

به‌دلیل نبود اطلاعات کافی در رابطه با تولید فرآیندهای بالادستی از اطلاعات موجود در پایگاه داده اکواینونت و یواس ال سی آی موجود در نرم‌افزار سیمپرو استفاده شده است.

برای محاسبه میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی غیر مستقیم (خارج از گلخانه) ناشی از مصرف نهاده‌ها ماده اولیه سازه گلخانه، کودهای شیمیایی و دامی، سوخت دیزل و الکتریسیته تولیدی از نیروگاه‌های گاز طبیعی (Kouchaki-Penchah *et al.*, 2016) از داده‌های موجود در پایگاه داده اکواینونت استفاده شد. استفاده از کودهای شیمیایی و آلی منجر به انتشار تعدادی از گازهای گلخانه‌ای مهم می‌شود که سبب گرم شدن کره زمین، اسیدی شدن، انباشت و سایر عوامل تأثیرگذار می‌گردد (Mousavi-Avval *et al.*, 2017). مقادیر انتشار مستقیم آمونیاک ( $\text{NH}_3$ )، اکسید نیتروژن ( $\text{N}_2\text{O}$ )، و آلاینده‌های  $\text{NO}_x$ ، انتشار کربن دی‌اکسید ( $\text{CO}_2$ )، انتشارات نترات ( $\text{NO}_3^-$ ) و انتشار فسفر ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و آلی با استفاده از روابط استاندارد محاسبه شد (IPCC, 2006). برای برآورد میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌دلیل استفاده از نیروی کار انسانی، ضریب انتشار ( $\text{kg CO}_2\text{eq/man-h}$ ) مورد استفاده قرار گرفت (Nguyen and Hermansen, 2012). برای محاسبه انتشارات حاصل از احتراق سوخت دیزل و همچنین نشر فلزات سنگین موجود در کود به خاک از اطلاعات ارائه شده توسط محققین استفاده شد

به‌طور کلی سه بخش مهم در مرحله تهیه فهرست موجودی چرخه زندگی شامل جمع‌آوری، محاسبه و تخصیص داده‌ها می‌باشد. داده‌های کمی و کیفی که در فهرست موجودی وارد می‌شوند، باید برای هر واحد-فرآیندی که در مرز سامانه وارد شده است، جمع‌آوری شود. داده‌های جمع‌آوری شده، خواه اندازه‌گیری شده باشند، خواه محاسبه یا برآورد شده باشند، برای کمی کردن ورودی‌ها و خروجی‌های یک واحد-فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر داده‌ها از منابع عمومی جمع‌آوری شوند، باید مرجع آن‌ها مشخص شود. برای آن داده‌هایی که ممکن است برای نتیجه‌گیری مطالعه حائز اهمیت باشند، باید به جزییات فرآیند جمع‌آوری داده‌های مرتبط، مدت زمانی که داده‌ها جمع‌آوری می‌شوند و اطلاعات بیشتر درباره شاخص‌های کیفی داده‌ها اشاره شود. اگر این‌گونه داده‌ها، الزامات کیفی داده‌ها را برآورده نمی‌کند، باید بیان شود برای کم کردن خطر سوءتفاهم‌ها (مانند موارد منجر به شمارش مجدد به هنگام صحت‌گذاری یا استفاده مجدد از داده‌های جمع‌آوری شده) شرح هر واحد-فرآیند باید ثبت شود. اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول اطلاعات مرتبط با میزان مصرف نهاده‌ها و گروه دوم اطلاعات مربوط به ساخت و حمل و نقل نهاده‌های مصرفی (فرآیندهای بالا دستی) است که اطلاعات مربوط به مقدار نهاده-های مصرفی از مصاحبه مستقیم با گلخانه‌داران به‌دست آمد. اما



جولوگیری نمود. همچنین جایگزینی تجهیزات فرسوده و مستهلک با تجهیزات جدیدی که میزان سوخت کمتری مصرف می‌کنند، می‌تواند باعث کاهش میزان سوخت و در نتیجه انرژی مصرفی شوند. از طرفی با به‌کارگیری روش‌های متداول بهینه‌سازی مانند تحلیل پوششی داده‌ها و یا الگوریتم ژنتیک می‌توان مصرف سوخت‌ها را بهینه‌سازی نمود. در واقع با استفاده از این روش‌ها می‌توان ضمن شناسایی عملکرد واحدهای ضعیف، راهکارهایی را جهت بهبود عملکرد آنان و کاهش مصرف سوخت ارائه داد. همچنین، افزایش سرمایه‌گذاری و استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، می‌تواند راهکار مؤثر دیگری در کاهش مصرف انرژی تجدید ناپذیر در گلخانه‌های مورد مطالعه باشد. در این منطقه به علت تراکم بالای انرژی خورشیدی، استفاده از گلخانه‌های خورشیدی باید توسعه یابد. در حقیقت با به‌کارگیری صفحه نمایش حرارتی در سقف گلخانه‌ها می‌توان مصرف سوخت‌های فسیلی را برای گرم کردن گلخانه‌ها در فصول سرد سال در این منطقه کاهش داد.

نتایج تحقیقات مشابه نشان می‌دهد در تولید گوجه‌فرنگی به صورت باز و گلخانه‌ای نیز منابع غیر تجدیدپذیر- فسیلی عمده-ترین سهم را در تقاضای انرژی جمعی به خود اختصاص داده‌اند (Ntinis et al., 2017). این مطلب بر استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی جهت سوخت مصرفی در تولیدات و خدمات مختلف تاکید می‌کند.

(Nemecek et al., 2007). نتیجه اصلی این مرحله، ارائه جدولی از فهرست ورودی‌ها (مواد و انرژی) و خروجی‌ها (انتشار به محیط زیست) به‌ازای واحد کارکردی می‌باشد که به‌عنوان ورودی برای مرحله ارزیابی اثر محسوب می‌شود (Guinée, 2002). نتایج جمع-آوری شده در فهرست موجودی براساس روش ایمپکت ۲۰۰۲+ ارزیابی و در نهایت مورد تفسیر قرار گرفت.

## نتایج و بحث

### تعیین انواع انرژی مصرفی براساس تقاضای انرژی جمعی

نتایج تقاضای انرژی جمعی برای گروه‌های اثر مورد بررسی در این مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. بر این اساس میزان کل تقاضای انرژی جمعی برای پنج گروه اثر مورد بررسی برای تولید یک بوته گل پامچال ۸/۴۵ مگاژول برآورد شده است که از این مقدار، منابع غیر تجدیدپذیر- فسیلی بیش‌ترین میزان تقاضای انرژی جمعی (۸/۴۳) را به خود اختصاص داده‌اند که مربوط به مصرف انرژی مستقیم درون گلخانه‌ها، یعنی استفاده از سوخت‌های فسیلی (دیزل و گاز طبیعی) در سامانه‌های گرمایش گلخانه‌ها و پمپ‌های آب می‌باشد. برای کاهش میزان انرژی ناشی از بکارگیری سوخت‌های فسیلی درون گلخانه‌ها، در درجه اول می‌توان با عایق نمودن گلخانه‌ها و همچنین تجهیزات سامانه‌های گرمایشی (بویلر)، تا حد زیادی از هدر رفت و اتلاف انرژی

جدول ۵. مقادیر انواع انرژی براساس روش تقاضای انرژی جمعی در تولید پامچال گلخانه‌ای

گروه اثر	تقاضای انرژی جمعی (مگاژول بر بوته)	اثرگذارترین نهاد
منابع غیر تجدیدپذیر، فسیلی	۸/۴۳	مصرف مستقیم انرژی در گلخانه (دیزل و گاز طبیعی)
منابع غیر تجدیدپذیر، زیست توده	۰/۰۰۰۰۵	کود نیتروژنه
منابع تجدیدپذیر، زیست توده	۰/۰۰۵۱۵	پلی اتیلن
منابع تجدیدپذیر، باد، خورشید، زمین گرمایی	۰/۰۰۶۲۲	آفت کش
منابع تجدیدپذیر، آب	۰/۰۰۹۳۷	پلی اتیلن

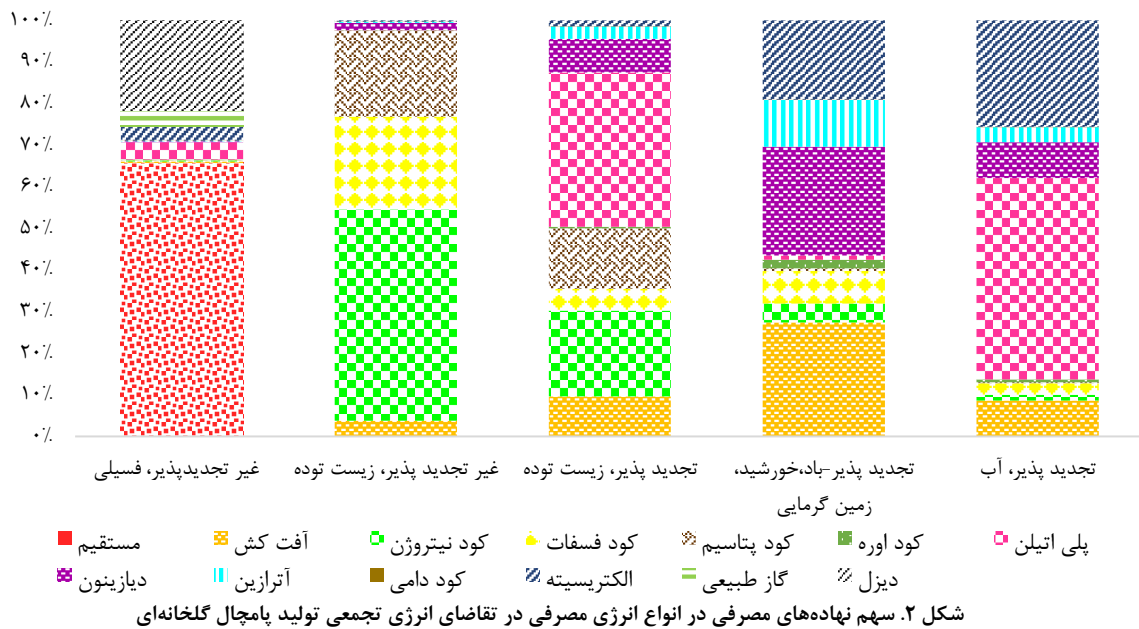
تجهیزات گرمایشی فرسوده و مستهلک) و یا نوع سوخت مصرفی درون گلخانه‌ها را با سوخت پاک‌تری (تجدید پذیر) عوض کرد تا از میزان انرژی مصرفی کاسته شود.

از سوی دیگر پلی اتیلن، دلیل اصلی تقاضای انرژی جمعی در منابع تجدیدپذیر- زیست‌توده و منابع تجدیدپذیر-آب است. هر چند پلی‌اتیلن برای ساخت سازه‌ی گلخانه یک جز اساسی و مهم به‌شمار می‌آید، اما می‌توان از مواد جایگزین مانند ورق‌های دوجداره‌ی پلی‌کربنات برای پوشش سقف استفاده نمود که علاوه بر شفافیت و سبکی نسبت به پلی‌اتیلن، گزینه‌ی بسیار مناسبی جهت جولوگیری از اتلاف انرژی به‌شمار می‌آید. همچنین، این

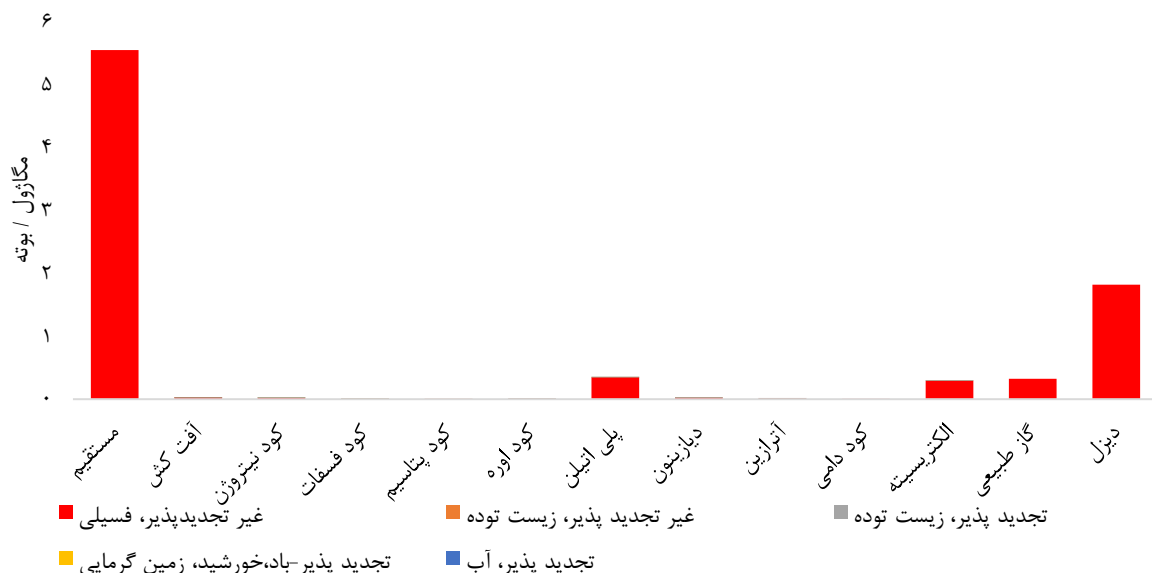
همچنین در شکل ۲، سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در منابع انرژی مورد بررسی نشان داده شده است. براین اساس، در دسته منابع غیر تجدیدپذیر- فسیلی، مصرف انرژی مستقیم در داخل گلخانه‌ها بیش از ۶۰ درصد را به خود اختصاص داده است که در درجه اول ناشی از بکارگیری دیزل و گاز طبیعی مورد استفاده جهت گرمایش گلخانه‌های مورد مطالعه و همچنین پمپاژ آب توسط پمپ‌های دیزلی که در برخی از گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت، بود. لذا جهت کاهش مقدار انرژی غیر تجدیدپذیر- فسیلی، پیشنهاد می‌شود که تا حد امکان از سوخت‌های فسیلی (دیزل و گاز طبیعی) به مقدار بهینه مصرف کرد (عدم استفاده از

در شکل ۳ تقاضای انرژی تجمعی برای هر نهاد مصرفی در تولید گل پامچال گلخانه‌ای نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود تولید مستقیم گل پامچال در داخل گلخانه‌ها به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی (دیزل و گاز طبیعی) در سامانه‌های گرمایش گلخانه‌ها و پمپ‌های آب، بیش‌ترین میزان تقاضای انرژی تجمعی را در بین سایر نهادهای مصرفی به خود اختصاص داده است. این نتیجه لزوم استفاده بهینه از نهادهای مربوطه را در تولید پامچال گلخانه‌ای نشان می‌دهد. همچنین استخراج و تولید دیزل، در رتبه دوم تقاضای انرژی تجمعی قرار دارد.

ورق‌ها از عمر و دوام بالاتری نسبت به پلی‌اتیلن برخوردار هستند و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه‌تر از پلی‌اتیلن می‌باشند. مهم‌ترین نهادهای در منابع غیر تجدیدپذیر-زیست‌توده، کود نیتروژن و فسفات می‌باشد. همچنین در منابع تجدیدپذیر (باد، خورشید، زمین گرمایی)، آفت کش و دیازینون نقش بسیار مهمی را ایفا کردند. لذا می‌توان میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی در شرایط گلخانه‌ای را از طریق آموزش و آگاهی دادن به گلخانه‌داران، مدیریت نمود تا علاوه بر جنبه‌ی انرژی، در جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی نیز موجب پایداری گردد. همچنین می‌توان با استفاده از کنترل بیولوژیکی، از مصرف بیش از اندازه آفت‌کش‌ها در شرایط گلخانه‌ای جلوگیری نمود.



شکل ۲. سهم نهادهای مصرفی در انواع انرژی مصرفی در تقاضای انرژی تجمعی تولید پامچال گلخانه‌ای



شکل ۳. تقاضای انرژی تجمعی برای هر نهاد مصرفی در تولید پامچال گلخانه‌ای براساس منابع انرژی

کارا جهت تامین آب مورد نیاز گلخانه‌های پرورش گل و گیاهان زینتی می‌باشد که سبب پخش یکنواخت ذرات بسیار ریز آب در کل محیط می‌باشند و سبب صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شوند. در آخر، کود فسفات علت اصلی تولید دسته‌ی منابع غیر تجدیدپذیر-مواد معدنی بوده است که جهت جلوگیری از مصرف بیش از اندازه‌ی این نهاده‌ی شیمیایی در گلخانه‌های مورد مطالعه، باید به گلخانه‌داران در زمینه‌ی استفاده‌ی بهینه‌ی کودهای شیمیایی آموزش داد.

تقاضای اکسرژی تجمعی برای هر نهاده مصرفی در تولید گل پامچال در شکل ۵ نشان داده شده است. بر این اساس بیشترین میزان تقاضای اکسرژی تجمعی در بین سایر نهاده‌های مصرفی، متعلق به تولید مستقیم گل پامچال در داخل گلخانه‌ها می‌باشد که علت اصلی آن دیزل و گاز طبیعی در سامانه‌های گرمایش گلخانه‌ها و پمپ‌های آب می‌باشد.

#### تعیین میزان آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی در تولید پامچال در گلخانه

میزان آسیب زیست‌محیطی در هر بخش اثر و به ازای تولید یک بوته گل پامچال گلخانه‌ای در جدول ۷ نشان داده شده است. یکی از مهم‌ترین بخش‌های اثر مورد بررسی در این مطالعه، پتانسیل گرمایش جهانی می‌باشد. در این مطالعه میزان پتانسیل گرمایش جهانی به ازای تولید یک بوته گل پامچال برابر  $۰/۲۰۵۷۶$  کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید برآورد شده است.

سهم نهاده‌های مصرفی بر میزان آسیب‌های زیست‌محیطی در شکل ۶ نشان داده شده است. براساس شکل ۶، تولید، توزیع و انتقال الکتریسیته در روند پس زمینه بیش‌ترین تأثیر را در شاخص‌های مواد سرطان‌زا و تابش یونیزه داشته است. همچنین، تولید تا احتراق سوخت دیزل بیش‌ترین اثر را در شاخص‌های مواد غیرسرطان‌زا، مواد معدنی تنفسی، تأثیرات تنفسی، اسیدی شدن خاک، مسمومیت آبی، گرمایش جهانی و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر داشته است. با توجه به عوارض نامطلوب شاخص‌های ذکر شده باید تا حد امکان از سوخت دیزل به میزان بهینه استفاده کرد (عدم استفاده از تجهیزات گرمایشی مستهلک) و یا نوع سوخت مصرفی گلخانه‌ها را با سوخت پاک‌تری (تجدیدپذیر) عوض کرد تا از اثرات نامطلوب استفاده از سوخت دیزل کاسته شود. همچنین، عمده دلیل انتشار در شاخص تخریب لایه اوزون مربوط به تولید آفت‌کش‌ها، تولید دیازینون و روند تولید الکتریسیته در پس‌زمینه می‌باشد. در شاخص‌های مسمومیت

تعیین انواع انرژی مصرفی براساس تقاضای اکسرژی تجمعی جدول ۶ و شکل ۴ نتایج تقاضای اکسرژی تجمعی را برای گروه-های اثر مورد بررسی در این مطالعه نشان داده است. همان طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، اساس میزان کل تقاضای اکسرژی تجمعی برای تولید یک بوته گل پامچال  $۸/۲۴$  مگاژول برآورد شده است که از این مقدار، بیش‌ترین میزان تقاضای انرژی تجمعی مربوط به منابع غیر تجدیدپذیر-فسیلی می‌باشد که ناشی از به‌کارگیری دیزل و گاز طبیعی جهت گرمایش و پمپاژ آب مورد نیاز برای گیاهان داخل گلخانه می‌باشد.

همچنین از شکل ۴ سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در منابع انرژی مورد بررسی را می‌توان دریافت کرد. بر اساس شکل موجود، در دسته‌ی منابع غیر تجدیدپذیر-فسیلی، مصرف مستقیم انرژی داخل گلخانه‌ها بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده است که همان‌طور که گفته شد به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی جهت سامانه‌های گرمایشی می‌باشد. لذا می‌توان با راهکارهایی همچون عایق بندی گلخانه‌ها، استفاده از روش‌هایی جهت بهینه‌سازی سوخت مصرفی، جایگزینی تجهیزات نو و همچنین جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر از میزان مصرف مستقیم انرژی داخل گلخانه‌ها کاست.

در دسته‌های منابع غیر تجدیدپذیر-فلزات و منابع تجدیدپذیر-جنبشی، الکتریسیته مصرفی که جهت پمپاژ آب مورد نیاز گل‌های داخل گلخانه و سامانه تهویه مورد استفاده قرار می‌گرفت، رتبه نخست تقاضای اکسرژی تجمعی را به خود اختصاص داده بودند. لذا بهبود سامانه‌های آبیاری می‌تواند تا حد زیادی از مصرف انرژی الکتریکی بکاهد. به‌عنوان مثال، سامانه آبیاری قطره‌ای کارآمدترین روش برای کاهش مصرف برق است.

از سوی دیگر کود نیتروژن، دلیل اصلی تقاضای اکسرژی تجمعی در منابع تجدیدپذیر-خورشیدی و منابع غیر تجدیدپذیر-اولیه است. مهم‌ترین نهاده‌ها در منابع تجدیدپذیر-پتانسیل و منابع تجدیدپذیر-زیست‌توده، پلی اتیلن می‌باشد. لذا جهت رسیدن به یک تولید پایدار می‌توان با کاهش پلی اتیلن مصرفی از میزان انرژی در دسته‌های تجدیدپذیر-پتانسیل و تجدیدپذیر-زیست‌توده کاست و سبب صرفه‌جویی و ذخیره‌ی منابع تجدیدپذیر شد.

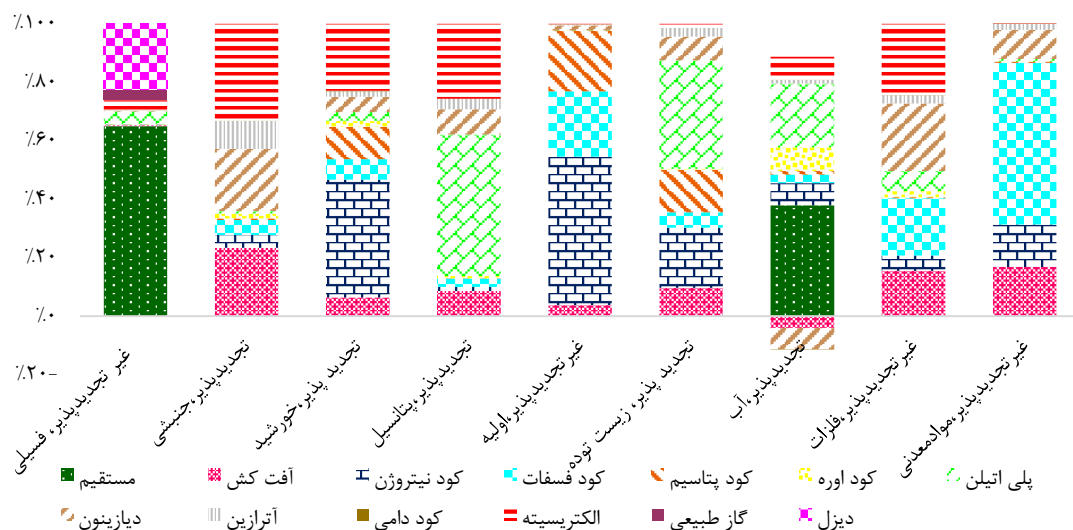
در منابع تجدیدپذیر-آب، آبیاری گیاهان در گلخانه‌ها علت اصلی تقاضای اکسرژی تجمعی بوده است. جهت کاهش مصرف آب و راندمان آبیاری می‌توان از آبیاری قطره‌ای استفاده نمود. همچنین استفاده از سامانه‌های مه‌پاش، یک ابزار بسیار مؤثر و

از تأثیرات انتشارات ناشی از تولید دیازینون و تولید پتاسیم بوده است. همچنین تولید کود نیتروژن و فسفات عامل اصلی ایجاد شاخص اشغال اراضی شناخته شده است.

آبزیان و مسمومیت زمین، انتشارات مستقیم ناشی از مصرف کودها و آفت‌کش‌ها تأثیر به‌سزایی گذاشته‌اند. شاخص‌های استخراج معادن و اختناق دریاچه‌ای به صورت قابل توجهی متأثر

جدول ۶. مقادیر انواع انرژی براساس روش تقاضای اکسرژی تجمعی در تولید پامچال گلخانه‌ای

گروه اثر	تقاضای اکسرژی تجمعی (مگاژول بر بوته)	اثرگذارترین نهاد
منابع غیر تجدیدپذیر-فسیلی	۸/۲۰	مصرف مستقیم انرژی در گلخانه (دیزل و گاز طبیعی)
منابع تجدیدپذیر-جنبشی	۰/۰۰۲۹	الکتریسیته
منابع تجدیدپذیر-خورشیدی	۰/۰۰۰۰۰۶	کود نیتروژن
منابع تجدیدپذیر-پتانسیل	۰/۰۰۰۹۳	پلی اتیلن
منابع غیر تجدیدپذیر-اولیه	۰/۰۰۰۰۰۵	کود نیتروژن
منابع تجدیدپذیر-زیست توده	۰/۰۰۰۵۴	پلی اتیلن
منابع تجدیدپذیر-آب	۰/۰۱۵۲	مصرف مستقیم انرژی در گلخانه (آبیاری)
منابع غیر تجدیدپذیر-فلزات	۰/۰۰۰۰۲۲	الکتریسیته
منابع غیر تجدیدپذیر-مواد معدنی	۰/۰۰۰۲۴	کود فسفات



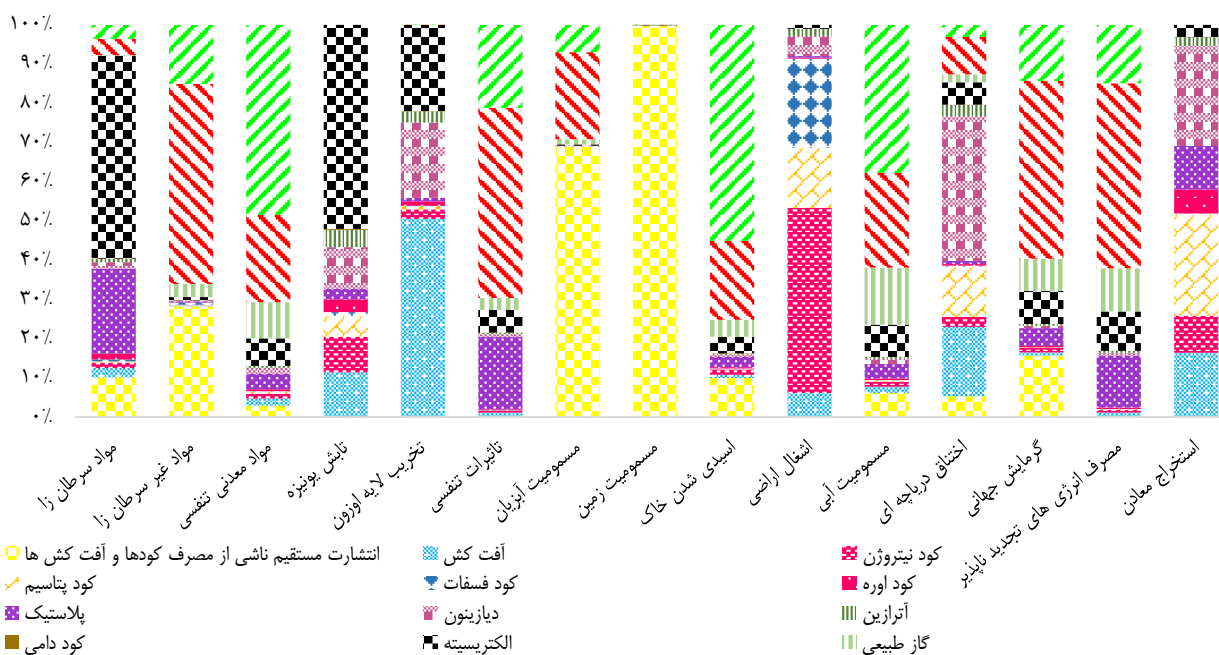
شکل ۴. تقاضای اکسرژی تجمعی برای هر نهاد مصرفی در تولید پامچال گلخانه‌ای براساس منابع انرژی



شکل ۵. تقاضای اکسرژی تجمعی برای هر نهاد مصرفی در تولید پامچال گلخانه‌ای براساس منابع انرژی.

جدول ۷. شاخص‌های ارزیابی چرخه زندگی در تولید گل پامچال

بخش‌های اثر	واحد اندازه گیری	مقدار به ازای یک بوته گل
۱- مواد سرطان‌زا	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq.	۲/۹۱×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۲- مواد غیرسرطان‌زا	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq.	۱/۳۸×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۳- مواد معدنی تنفسی	kg PM2/5 eq.	۱/۴۵×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۴- تابش یونیزه	Bq C-14 eq.	۷/۶۸×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۵- تخریب لایه اوزون	kg CFC-11 eq.	۶/۵۸×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۶- تأثیرات تنفسی	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	۵/۷۸×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۷- مسمومیت آبریزان	kg TEG water	۱/۹۷×۱۰ <sup>-۲</sup>
۸- مسمومیت زمین	kg TEG soil	۴/۱۱×۱۰ <sup>-۱</sup>
۹- اسیدی شدن خاک	kg SO <sub>2</sub> eq.	۵/۳۰×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۱۰- اشغال اراضی	m <sup>2</sup> org/arable	۲/۲۳×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۱۱- مسمومیت آبی	kg SO <sub>2</sub> eq.	۱/۰۹×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۱۲- اختناق دریاچه ای	kg PO <sub>4</sub> P-lim	۸/۳۵×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۱۳- گرمایش جهانی	kg CO <sub>2</sub> eq.	۲/۰۶×۱۰ <sup>-۱۰</sup>
۱۴- مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر	MJ primary	۲/۴۹
۱۵- استخراج معادن	MJ surplus	۶/۰۵×۱۰ <sup>-۱۰</sup>



### نتیجه گیری

آی گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در تولید پامچال گلخانه‌ای تقاضای انرژی و اکسرژی تجمعی به ترتیب برابر ۸/۴۵ و ۸/۲۴ مگاژول بر بوته می‌باشد که سهم منابع غیر تجدیدپذیر-فسیلی از سایر گروه‌های اثر بیش تر است. از طرفی انرژی تجمعی برای هر نهاده مصرفی در تولید پامچال گلخانه‌ای براساس منابع انرژی نشان داد که ۶۶ درصد این مقدار، ناشی از مصرف انرژی مستقیم درون گلخانه و ۲۱ درصد ناشی از استخراج و تولید سوخت دیزل بوده است. همچنین تقاضای اکسرژی

در این تحقیق تقاضای انرژی و اکسرژی تجمعی تولید گل پامچال گلخانه‌ای در شهرستان ساوجبلاغ استان البرز مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز از طریق مصاحبه حضوری و پرسش‌نامه با گلخانه‌داران به دست آمد. پرسش‌نامه‌ها حاوی سوالاتی از قبیل سطح زیرکشت، مقدار دیزل مصرفی، گاز طبیعی، سموم، کودهای شیمیایی و غیره بود. همچنین داده‌های مورد نیاز برای تولید نهاده‌های مورد استفاده از پایگاه داده اکواینونت و یواس ال سی

نیز می‌تواند به‌طور چشم‌گیری از مقدار تقاضای انرژی و اکسرژی مصرفی بکاهد و باید جز برنامه‌های کاربردی صنایع گلخانه‌ای در این منطقه قرار گیرد. همچنین، منابع تجدیدپذیر- آب با ۰/۰۹۳۷ و ۰/۰۱۵۲ مگاژول در جایگاه دوم تقاضای انرژی و اکسرژی تجمعی قرار داشت که ناشی از مصرف آب داخل گلخانه‌ها، جهت رفع نیازهای آبی گیاهان می‌باشد. لذا استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای و یا استفاده از مه‌پاش‌ها می‌تواند تا حد زیادی از میزان مصرف آب و در نتیجه از میزان انرژی و اکسرژی تجمعی بکاهد. در پایان نتایج نشان داد که تولید هر بوته گل پامچال به‌ازای مصرف انرژی در چرخه زندگی خود منجر به نشر ۰/۲۰۵۷۶ کیلوگرم معادل کربن دی-اکسید شده است.

## REFERENCES

- Bligen, S. (2014). The determination of the chemical exergy values of Indonesian biomass and biomass residues. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 8(1), 88-93.
- Bösch, M. E., Hellweg, S., Huijbregts, M. A., & Frischknecht, R. (2007). Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(3), 181.
- Cellura, M., Longo, S., & Mistretta, M. (2012). Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. *Journal of cleaner production*, 28, 56-62.
- Dewulf, J., Bösch, M. E., Meester, B. D., Vorst, G. V. D., Langenhove, H. V., Hellweg, S., & Huijbregts, M. A. (2007). Cumulative exergy extraction from the natural environment (CEENE): a comprehensive life cycle impact assessment method for resource accounting. *Environmental science & technology*, 41(24), 8477-8483.
- Dias, G. M., Ayer, N. W., Khosla, S., Van Acker, R., Young, S. B., Whitney, S., & Hendricks, P. (2017). Life cycle perspectives on the sustainability of Ontario greenhouse tomato production: Benchmarking and improvement opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 140, 831-839.
- Dincer, I., Rosen, M.A. (2007). *Exergy, Energy, Environment and Simulation Development*. Exergy Elsevier: Oxford, UK.
- Duschl, A., Mauch, W., Boermans, T., Fritsche, U., Patyk, A., (2003). *Anwendung und Kommunikation des*
- Frischknecht, R., Wyss, F., Knöpfel, S. B., Lützkendorf, T., & Balouktsi, M. (2015). Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach.
- Frischknecht, R., Wyss, F., Knöpfel, S. B., Lützkendorf, T., & Balouktsi, M. (2015). Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), 957-969.
- Golzar, F., Heeren, N., Hellweg, S., & Roshandel, R. (2018). A novel integrated framework to evaluate greenhouse energy demand and crop yield production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 487-501.
- Guinée, J. B. (2002). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. *The international journal of life cycle assessment*, 7(5), 311-313.
- Huijbregts, M. A., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, H. W., Hungerbuhler, K., & Hendriks, A. J. (2010). Cumulative energy demand as predictor for the environmental burden of commodity production. *Environmental science & technology*, 44(6), 2189-2196.
- ISO, 2006. ISO 14040 International Standard. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework., International Organization for Standardization (ISO), Geneva. Switzerland.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Yousefi, M. (2013). Prediction of environmental indices of Iran wheat production using artificial neural networks. *International Journal of Energy & Environment*, 4(2), 339-348.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseiniabadi, 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.
- Lazzerini, G., Lucchetti, S., & Nicese, F. P. (2014). Analysis of greenhouse gas emissions from ornamental plant production: a nursery level approach. *Urban forestry & urban greening*, 13(3), 517-525.
- Mehrabi Boshra Badi, H., & Zeinalzadeh R, (2006). Examining the policy impact and comparative advantage cucumber and tomato greenhouse products in kerman province. *Journal of Agricultural sciences and natural resources* 14(5).
- Mohammadi A, Tabatabaefar A, Shahin S, Rafiee S, Keyhani A. Energy use and

- agriculture. *Renewable Energy*, 29(1), 39-51.
- Mostashar Nezami, I., Abolghasem Mira, S., & Hossein Nikookar, G. (2011). Explanation of Factors Affecting the Export of Flowers in Iran: A case study in Alborz province. *European Online Journal of Natural and Social Sciences: Proceedings*, 2(3 (s)), pp-3217.
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Sharifi, M., Hosseinpour, S., & Shah, A. (2017). Combined application of Life Cycle Assessment and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for modeling energy and environmental emissions of oilseed production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 807-820.
- Nemecek, T., Kägi, T., & Blaser, S. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. *Final report ecoinvent v2. 0 No, 15*.
- Nguyen, T. L. T., & Hermansen, J. E. (2012). System expansion for handling co-products in LCA of sugar cane bio-energy systems: GHG consequences of using molasses for ethanol production. *Applied energy*, 89(1), 254-261.
- Ntinias, G. K., Neumair, M., Tsadilas, C. D., Meyer, J. (2017). Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions. *Journal of cleaner production*, 142, 36173626.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable energy*, 29(1), 39-51.
- Pellegrini, L. F., & de Oliveira Jr, S. (2007). Exergy analysis of sugarcane bagasse gasification. *Energy*, 32(4), 314-327.
- Rant, Z. (1956). Exergy, a new word for technical available work. *Forsch. Ing. Wis*, 22(1), 36-37.
- Razaeii, M. (2012). Identifying Iran's agricultural products global target markets and their potential international rivals. *Iranian Academy of Executive Studies Journal*, 3(5), 39-48.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.
- Reistad, G. M. (1975). Available energy conversion and utilization in the United States. *Journal of Engineering for Power*, 97(3), 429-434.
- Renewable Energy and Energy Efficiency Organization. (2019). Ministry of Energy of the Islamic Republic of Iran. <http://www.satba.gov.ir/>
- Russo, G., & De Lucia Zeller, B. (2007, October). Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation. In *International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007 801* (pp. 1597-1604).
- Sahle, A., & Potting, J. (2013). Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the total environment*, 443, 163-172.
- Taki, M., & Yildizhan, H. (2018). Evaluation the sustainable energy applications for fruit and vegetable productions processes; case study: Greenhouse cucumber production. *Journal of Cleaner Production*, 199, 164-172.
- Taki, M., Ajabshirchi, Y., Mahmoudi, A. (2012a). Application of Parametric and Non-Parametric Method to Analyzing of Energy Consumption for cucumber Production in Iran. *Modern Applied Science*, 6(1), 75-87.
- Taki, M., Mahmoudi, A., Mobtaker, H. G., & Rahbari, H. (2012b). Energy consumption and modeling of output energy with multilayer feed-forward neural network for corn silage in Iran. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(4), 93-101.
- Taki, M., Ajabshirchi, Y., Mobtaker, H. G., & Abdi, R. (2012c). Energy consumption, input-output relationship and cost analysis for greenhouse productions in Esfahan province of Iran. *American Journal of Experimental Agriculture*, 2(3), 485-501.
- Wall, G. (2013). Exergy, life and sustainable development. *Problemy Ekorożwoju-Problems of Sustainable Development*, 8(1), 27-41.
- Yildizhan, H. (2018). Energy, exergy utilization and CO2 emission of strawberry production in greenhouse and open field. *Energy*, 143, 417-423.
- Yildizhan, H., & Taki, M. (2018). Assessment of tomato production process by cumulative exergy consumption approach in greenhouse and open field conditions: Case study of Turkey. *Energy*, 156, 401-408.
- Zarei, M. J., Kazemi, N., & Marzban, A. (2017). Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.