

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Comparing the Environmental Effects of Tomato Cultivation in Both Greenhouse and Open Fields Using Life Cycle Assessment (LCA) in Nahavand City

Moafi¹, M., Shadidi^{2*}, B., Haji Agha Alizade³, H. and Rezvani⁴, S. M.

1, 2 and 3. MSc Graduate Student, Assistant Professor and Associate Professor, Respectively, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

4. Assistant Professor of Research, Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.

*: Corresponding Author

Email: b.shadidi@basu.ac.ir

Received: 2024/10/28

Accepted: 2024/12/01

Introduction

The agricultural sector is the source of major environmental contamination. Recent studies conducted in the US have shown that the agricultural sector is responsible for 6.4% of greenhouse gas emissions. Because of its closer ties to the environment than other sectors of the economy, as well as because of the extensive use of chemical fertilizers and other chemicals like pesticides, agriculture is regarded as one of the major sources of environmental pollution. The extensive use of chemical pesticides and fertilizers, as well as the absence of suitable and workable techniques for the best possible use of chemical fertilizers, are the main causes of the pollution produced by agricultural activities. It has been determined that the energy consumption and greenhouse gas emissions of the food production system vary greatly between its sectors. Along the production chain, there are good chances to lessen environmental impacts. Food production requires an understanding of energy consumption and emissions of pollutants. However, there aren't many publications comparing and analyzing the life cycle assessment of outdoor and greenhouse tomato growing. The environmental impacts of cultivating tomatoes in two different types of greenhouses and open field cultivation are thus compared using life cycle assessment (LCA) in Nahavand city in accordance with the significance of LCA evaluation in this study.

Material and Methods

In Nahavand City, greenhouses and open-field cultivation were used to gather the data required for tomato output in a single growing season. Information was gathered for this study via questionnaires, interviews, document and library investigations, and database utilization. The life cycle assessment approach was used in this study to analyze the effect categories using consumption inputs, such as diesel fuel, nitrogen, potash, and phosphate fertilizers, as well as animal manures (cow, sheep, and chicken). After sorting and categorizing, the data was entered into the Sima Pro version 9.1 program to assess the environmental effects of tomatoes. The assessments were conducted using the Impact2002 technique, and the results were calculated based on specific units.

Results and Discussion

With a general review of the inputs for the production of tomato products in both open field and greenhouse cultivation, it can be found that in open field cultivation, nitrogen fertilizer has the largest share on 5 environmental indicators, including Global warming, Aquatic acidification, Terrestrial acid/nutri, Aquatic ecotoxicity and non-carcinogenic is one of the most important inputs affecting environmental indicators. To control and reduce the above indicators, it is possible to reduce them by reducing the use of nitrogen fertilizers. In greenhouse cultivation, Nitrogen fertilizer has had the largest share on 3 environmental indicators. After nitrogen fertilizer, diesel fuel is another important input in influencing environmental indicators. In greenhouse cultivation, diesel fuel has the largest share on 4 environmental indicators, including Aquatic eutrophication, Ozone layer depletion, non-renewable energy and Ionizing radiation, and in open cultivation, it has the largest share on 3 ozone layer environmental indicators. By replacing old tractors with new tractors, the emission of NOX and SOX pollutants caused by the combustion of diesel fuel can be reduced and the resulting environmental effects can be reduced. In the other part, the results of the study revealed that the highest amount of environmental destruction was due to fertilizers and the consumption of diesel fuel for the operation of machinery, which caused more destruction.

Conclusions

This research was conducted in order to evaluate the life cycle assessment of tomato production in open field and greenhouse cultivation, using Sima Pro software. The results showed that greenhouse cultivation has more environmental effects compared to open field cultivation. Nitrogen fertilizer and diesel fuel used in the production

Moafi *et al.*, Comparing the Environmental Effects of Tomato...

systems had the greatest impact on the environmental indicators. By replacing old tractors with new tractors, the emission of NO_x and SO_x pollutants caused by the combustion of diesel fuel can be reduced and the resulting environmental effects can be reduced. Also, reducing the use of chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizers and pesticides will improve the environmental effects of tomato production. Improving the environmental performance of tomato production in open field or replacing it with greenhouse production should be considered.

Keywords: Global warming, Sima Pro software, Diesel fuel, Eutrophication index

Citations: Moafi, M., Shadidi, B., Haji Agha Alizade, H. and Rezvani, S. M. (2025). Comparing the Environmental Effects of Tomato Cultivation in Both Greenhouse and Open Fields Using Life Cycle Assessment (LCA) in Nahavand City. *Plant Production Technology*, 24(2), 51-66.

<https://doi.org/10.22084/ppt.2024.30055.2140>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Online ISSN: 2476-5651

Print ISSN: 2476-6321

مقایسه اثرات زیست محیطی کشت گوجه فرنگی به دو صورت گلخانه‌ای و کشت روباز با استفاده از ارزیابی چرخه حیات در شهرستان نهاوند

Comparing the Environmental Effects of Tomato Cultivation in Both Greenhouse and Open Fields Using Life Cycle Assessment (LCA) in Nahavand City

محسن معافی^۱، به داد شدیدی^{۲*}، حسین حاجی آقاعلیزاده^۳ و سیدمعین‌الدین رضوانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

(مقاله پژوهشی)

چکیده

آلودگی‌های زیست محیطی از مهم‌ترین چالش‌های جامعه انسانی در قرن حاضر است. روش ارزیابی چرخه حیات از روش‌های جامع ارزیابی اثرات زیست محیطی می‌باشد. در این پژوهش به ارزیابی اثرات زیست محیطی کشت گوجه فرنگی به دو صورت کشت روباز و گلخانه‌ای در استان همدان شهرستان نهاوند با استفاده از نرم افزار سیما پرو پرداخته شد. نتایج این پژوهش بر اساس یک تن گوجه فرنگی مشخص گردید. اساسی‌ترین عوامل در میزان تولید گوجه فرنگی در دو نوع کشت گلخانه‌ای و روباز در طی یک دوره یک ساله به کارگیری ماشین‌آلات کشاورزی مورد استفاده، کود نیتروژنه و هم‌چنین سوخت دیزل استفاده شده در دو نوع کشت گوجه فرنگی بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش عامل اصلی در شاخص‌های زیست محیطی کود نیتروژنه بود. مقدار شاخص گرمایش جهانی در تولید یک تن گوجه فرنگی روباز ۹۴/۴ کیلوگرم معادل CO₂ و در کشت گلخانه‌ای نیز ۱۰۷ کیلوگرم CO₂ محاسبه شد که بیش‌ترین سهم این فرایند در استفاده بیش‌تر کودهای شیمیایی محاسبه شد. میزان شاخص اوتریفیکاسیون در پژوهش انجام شده در کشت روباز ۰/۰۳۷۸ کیلوگرم و در کشت گلخانه‌ای ۰/۰۵۱۲ کیلوگرم معادل PO₄ برآورد شد، که مصرف آفت‌کش‌ها و سوخت دیزل سهم بیش‌تری در این شاخص داشتند. در شاخص تخریب لایه اوزون برای یک تن گوجه فرنگی روباز $4/52 \times 10^{-6}$ و در کشت گلخانه‌ای $7/39 \times 10^{-6}$ کیلوگرم eq CFC-11 محاسبه شد که در آن استفاده از سوخت دیزل اثر زیاده‌تری بر محیط زیست داشت. با جایگزین کردن تراکتورهای فرسوده با تراکتورهای جدید می‌توان انتشار آلاینده‌های NO_x و SO_x ناشی از احتراق سوخت دیزل را کاهش داده و باعث کاهش اثرات زیست محیطی ناشی آن شد. بهبود عملکرد زیست محیطی تولید گوجه فرنگی به صورت کشت روباز یا جایگزینی آن با تولید بصورت گلخانه‌ای باید در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: گرمایش جهانی، نرم افزار سیما پرو، سوخت دیزل، شاخص اوتریفیکاسیون

ارجاع به مقاله: معافی، م.، شدیدی، ب.، حاجی آقاعلیزاده، ح. و رضوانی، س.م. (۱۴۰۳). مقایسه اثرات زیست محیطی کشت گوجه فرنگی به دو صورت گلخانه‌ای و کشت روباز با استفاده از ارزیابی چرخه حیات در شهرستان نهاوند، *مجله فناوری تولیدات گیاهی*، ۲۴(۲)، ۵۱-۶۶.

<https://doi.org/10.22084/ppt.2024.30055.2140>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License

Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در

سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا چاپی: ۶۳۲۱-۲۴۷۶

شاپا الکترونیکی: ۵۶۵۱-۲۴۷۶

۱، ۲، ۳. به ترتیب کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۴. استادیار، پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

* نویسنده مسئول Email: b.shadidi@basu.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه بخش کشاورزی به منظور پاسخ‌گویی به نیاز روزافزون غذا برای جمعیت روبه‌رشد کره زمین و فراهم کردن مواد غذایی کافی و مناسب به میزان زیادی وابسته به مصرف مواد شیمیایی است و همواره افزایش تولید محصولات کشاورزی مشکلات زیست محیطی متعددی مانند آلودگی منابع آب و خاک بروز آفات و بیماری‌های جدید گیاهی روبرو بوده است (Zubaidi et al., 2013). بر اساس آمارهای موجود، حدود ۹۰ درصد از مصرف آب در کشور به بخش کشاورزی مربوط می‌شود (Ebrahimi and Zarghami, 2018). همچنین، حدود ۲۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای زمین، مربوط به بخش کشاورزی است (Fathi et al., 2019). از بین رفتن کرین در خاک در اثر خاک‌ورزی، استفاده از سوخت‌های فسیلی در زمان عملیات مختلف کشاورزی، استفاده از کودهای دامی، سوزاندن درختان و بقایای گیاهان جنگلی، مصرف کودهای شیمیایی به خصوص کودهای نیتروژنه و مواد شیمیایی مانند آفت‌کش‌ها و سموم دفع آفات و کشت برنج به صورت غرقابی نیز از مهم‌ترین منابع انتشار این گازها به اتمسفر می‌باشد (Vafabakhsh and Mohammadzadeh, 2012). هر فعالیت کشاورزی که میزان منابع باقی‌مانده و آلودگی‌های ناشی از آن، توسط محیط‌زیست قابل جبران باشد، از نظر بوم‌شناسی پایدار خواهد بود. از این رو ارزیابی دقیق اثرهای زیست محیطی، از اقدامات اولیه در ارزیابی پایداری اکولوژیکی یک سیستم تولید می‌باشد (Garrigues et al., 2012). در گزارش‌های اخیر با گسترش آگاهی‌ها در زمینه مسئله گرمایش زمین، نگرانی در زمینه تأثیر انتشار کرین و در زمان حاضر محیط‌زیست از مؤلفه‌های اصلی و سیاست‌های کلان جهانی بوده و بسیاری از مؤلفه‌های دیگر را تحت تأثیر قرار داده است. به همین دلیل مهم‌ترین عامل و پیش‌نیاز بسیاری از فعالیت‌ها در سطح کلان، سازگاری با محیط‌زیست است. آلودگی‌های زیست محیطی از مهم‌ترین چالش‌های جامعه انسانی در قرن حاضر است. روش ارزیابی چرخه حیات از روش‌های جامع ارزیابی اثرات زیست محیطی می‌باشد (Iriarte et al., 2010). ارزیابی چرخه حیات (LCA^۱) ابزاری برای ارزیابی ظرفیت‌های زیست محیطی ناشی

از یک فرایند یا فعالیت یا محصول تولیدی با شناسایی و تعیین مقدار مصرف انرژی و نهاده‌ها و همچنین تأثیرات آن بر محیط زیست است (Prasad et al., 2020). در روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) اثرات زیست محیطی بر روی یک واحد از یک محصول مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این فرایند ارزیابی با جمع‌آوری مواد خام برای تولید محصول آغاز و با برگشت محصول مصرفی به زمین به پایان رسیده و امکان تخمین اثرهای محیط‌زیستی تجمعی ناشی از تمام مراحل چرخه حیات محصول را فراهم می‌آورد (Karegari and Mastouri, 2010).

گوجه‌فرنگی یکی از غذاهای مهم برای انسان است که در بیش‌تر نقاط آن را به دو صورت گلخانه‌ای و روباز کشت می‌کنند. در تمام دنیا سالانه حدود ۱۲/۱۷۷ میلیون تن گوجه‌فرنگی تازه برداشت می‌شود. چین با برداشتی معادل ۵/۵۶ میلیون تن در سال یکی از کشورهای بزرگ کاشت گوجه‌فرنگی در منطقه می‌باشد. هند هم در رده دوم با برداشت برابر ۴/۱۸ میلیون تن گوجه‌فرنگی در کره زمین می‌باشد. ایران نیز در رده هفتم با کاشت ۱۵۹۱۲۳ هکتار و میانگین برداشت حدود ۵۶۰۰۰۰ تن می‌باشد (Fao, 2020).

پژوهش‌های مختلفی در خصوص بررسی اثرات زیست محیطی تولید محصولات کشاورزی با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات توسط محققان در سال‌های گذشته انجام شده است. در مطالعه‌ای (Shahmohamadi et al., 2015) اثرات زیست محیطی کشت سیب‌زمینی به روش ارزیابی چرخه حیات در اراک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که سیستم کشت مکانیزه اثرات تخریبی بیش‌تری بر محیط زیست دارد و برق و کودهای شیمیایی به ترتیب با ۳۶/۲ و ۳۴/۷ درصد بیش‌ترین تخریب محیط‌زیست را دارد و در کشت نیمه مکانیزه کودهای شیمیایی با ۴۶ درصد بیش‌ترین سهم تخریبی را به خود اختصاص دادند.

در پژوهشی چرخه حیات گوجه‌فرنگی در کشور نروژ بررسی شد. نتایج نشان داد گرمایش گلخانه با استفاده از گاز طبیعی و برق بیش‌ترین سهم را در بیش‌تر مقوله‌های تأثیر داشتند. استفاده از پمپ حرارتی الکتریکی و چراغ‌های LED در طول تولید طولانی مدت فصلی و در طول سال نسبت به گاز طبیعی، هر دو آلودگی محیط‌زیست را کاهش دادند (Naseer et al., 2022). (Safari et al., 2023) در پژوهشی،

کودهای مبتنی بر N بیشترین سهم را در همه دسته‌های تاثیر در کشت روباز در مزرعه داشتند.

منبع بخش‌های مهمی از آلودگی‌های زیست‌محیطی، بخش کشاورزی است. باتوجه‌به تحقیقات اخیر در ایالات متحده آمریکا، ۶/۴ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد. کشاورزی از طرفی به دلیل دارا بودن ارتباط نزدیک‌تر با محیط‌زیست در مقایسه با سایر قسمت‌های اقتصاد و از طرفی دیگر به دلیل مصرف زیاد کودهای شیمیایی و سایر مواد شیمیایی مانند سموم دفع آفات و ... از مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده محیط‌زیست تلقی می‌شوند. آلودگی‌های ایجاد شده در فعالیت‌های کشاورزی به علت استفاده زیاد از کودهای شیمیایی، سموم دفع آفات گیاهی و عدم وجود روش‌های مناسب و کاربردی جهت به‌کارگیری بهینه کودهای شیمیایی می‌باشد. تولید مواد غذایی به‌عنوان یک سیستم، با استفاده بسیار متنوع از انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بین بخش‌ها شناسایی شده‌است. فرصت‌های مناسبی برای کاهش بارهای زیست‌محیطی در طول زنجیره تولید وجود دارد. درک چگونگی استفاده از انرژی و انتشار آلاینده‌ها در تولید مواد غذایی ضروری است. ولی گزارش‌های اندکی در مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه ارزیابی چرخه حیات کشت گوجه‌فرنگی در گلخانه و روباز وجود دارد. بنابراین، باتوجه‌به اهمیت ارزیابی LCA در این مطالعه، به مقایسه اثرات زیست‌محیطی کشت گوجه‌فرنگی به دو صورت گلخانه‌ای و کشت باز با استفاده از ارزیابی چرخه حیات LCA در شهرستان نهاوند پرداخته می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. محدوده مکانی پژوهش

نهاوند شهرستانی در استان همدان می‌باشد که بر اساس آخرین آمارها در سال ۱۴۰۱ با جمعیتی به میزان ۱۷۸۷۸۷ نفر و مساحتی در حدود ۱۵۳۵ کیلومتر مربع، بعد از همدان و ملایر سومین شهرستان بزرگ استان همدان است. نهاوند با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و یک دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۶۶۷ متر از سطح دریا در جنوب غربی استان همدان، به فاصله ۴۴۰ کیلومتری جنوب غرب شهر تهران و ۱۰۵ کیلومتری جنوب شهر همدان و در دشت نهاوند واقع شده‌است. این

اثرات زیست محیطی تولید رب باتوجه‌به کل چرخه زندگی گوجه‌فرنگی شامل کشت، فرآوری، بسته‌بندی و حمل‌ونقل با استفاده از روش پایه CML-IA در منطقه کرمانشاه را مورد بررسی قرار دادند. اطلاعات مورد نیاز از طریق مصاحبه، پرسشنامه و پایگاه‌های Ecoinvent، Food DK LCA و IDMAT به‌دست‌آمد. برپایه نتایج، تخریب لایه اوزن و تقلیل منابع آلی کم‌ترین و مسمومیت آب‌های آزاد بیشترین سهم را در بین گروه‌های تأثیرگذار در طی فرآیند تولید یک قوطی رب یک کیلویی داشتند. در فرآیند کشت نیز برق چاه آب و پس از آن کود نیتروژن بیشترین اثر را بر مسمومیت آب‌های آزاد داشتند. مرحله فرآوری در کارخانه کم‌ترین سهم را در بین گروه‌های تأثیرگذار داشت. با توجه‌به نتایج، مرحله کشت از طریق کاهش مصرف برق با بهبود سامانه‌های آبیاری، پتانسیل کافی برای کاهش اثرات زیست محیطی در طول دوره تولید رب گوجه‌فرنگی را دارد. در پژوهش دیگری در کشور فرانسه با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات، اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی با دو سناریو مقایسه گردید. سناریو اول گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای تولید شده در خود کشور فرانسه بود و سناریو دوم گوجه‌فرنگی تولید شده از مزرعه‌ای از کشور مراکش که وارد این کشور شده بود. میزان آب مصرفی در کشور خشک مراکش ۲۸ لیتر به‌ازای هر کیلوگرم محصول تازه تخمین زده شد، درحالی‌که این رقم برای محصول تولید شده در داخل کشور فرانسه تنها ۵/۷ لیتر محاسبه گردید. در مقابل تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در فرانسه از لحاظ میزان مصرف انرژی و شاخص زیست‌محیطی گرمایش جهانی رتبه بالاتری داشت (Payen et al., 2015). (Zarei et al., 2019)، مطالعه به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه و گلخانه‌ای با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات انجام دادند. داده‌های اولیه از ۴۷ گلخانه‌دار و ۲۱۱ کشاورز از مزارع در استان فارس جمع‌آوری شد. نتایج نشان‌داد تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای اثرات زیست‌محیطی بیشتری نسبت به گوجه‌فرنگی تولید شده در مزرعه داشت که عمدتاً به دلیل گاز طبیعی مورد استفاده در سیستم گرمایش در گلخانه و سوخت دیزل بیشتر مورد نیاز بود. سوخت دیزل و گاز طبیعی سهم عمده‌ای در تمام دسته‌های تأثیر در گلخانه و برق داشتند و

۲۰۳۳۵ تن می‌باشد که در این بین گوجه‌فرنگی با سطح زیر کشت ۲۵۷ هکتار و تولید ۱۱۷۶۱ تن و عملکرد ۴۵۷۶۳ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین میزان سطح زیر کشت، تولید و عملکرد را دارد (Azami et al., 2018).

۲-۵. روش جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات لازم برای تولید گوجه‌فرنگی در یک دوره کشت در گلخانه‌ها و هم‌چنین زمین مزارع شهرستان نهاوند گردآوری شد. در این پژوهش به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های مختلفی استفاده شد که در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۲-۶. پرسش‌نامه

برای دستیابی به اطلاعات موردنیاز پرسش‌نامه‌هایی در کشت گلخانه‌ای و مزرعه‌ای طراحی شدند. پرسش‌نامه اول مربوط به مشخصات گلخانه‌دار، موقعیت مکانی، اطلاعات سازه و عملکرد سالانه بود. پرسش‌نامه دوم مربوط به مصرف سوخت سالانه برای گرمایش، مصرف برق، آب، کود و سم سالانه، محل تولید نشاء، تعداد سینی نشاء، بستر کشت، ساعات کارکرد ماشین‌آلات در سال، ساعت کارکرد نیروی انسانی در سال، مشخصات جعبه و کیسه بسته‌بندی محصول، مصرف انرژی برای آبیاری، حجم آب آبیاری و فشار موردنیاز سامانه آبیاری بود.

۲-۷. مصاحبه

در مراحل مختلف تحقیق به‌منظور تکمیل اطلاعات و آمار مربوط به وضعیت گلخانه‌ای و مزرعه‌ای پرورش گوجه‌فرنگی در منطقه مورد مطالعه، سعی شد با کارشناسان امور باغبانی در مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان نهاوند مصاحبه به‌عمل آید و نظرات آن‌ها نیز لحاظ گردد.

۲-۸. مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای

در مراحل و بخش‌های مختلف این پژوهش از آمار و اطلاعات موجود در بایگانی مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان نهاوند و هم‌چنین آمارنامه کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی و غیره نیز استفاده شد.

شهرستان از شمال به شهرستان تویسرکان، از شمال غرب و غرب به استان کرمانشاه، از جنوب و جنوب شرق به استان لرستان و از شرق به شهرستان ملایر محدود می‌گردد. براساس آمار، میانگین سالانه دما در این منطقه در حدود ۱۲/۷+ درجه سانتی‌گراد است. سردترین ماه، دی ماه با میانگین ۰/۵- درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه، تیرماه با میانگین ۲۵/۶+ درجه سانتی‌گراد است.

۲-۲. کشت گلخانه‌ای

در شهرستان نهاوند برای پوشش گلخانه‌ها بیش‌تر از فیلم پلی اتیلن و ورق‌های چند جداره از مواد پلی‌کربنات استفاده می‌شود. آماده‌سازی زمین در گلخانه‌ها برای کاشت نشاء شامل شخم و تسطیح خاک است. تیمارهای اولیه شامل استفاده از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها در داخل گلخانه است. کود دامی و کودهای شیمیایی در آب اضافه‌شده برای غنی‌سازی خاک اعمال می‌شود. چرخه حیات کامل برای گوجه‌فرنگی یک سال کامل است.

۲-۳. کشت روباز

در مزرعه ابتدا، زمین توسط گاواهن‌های قالبی یا دیسکی شخم زده می‌شود و به‌منظور ترکیب کود دامی در خاک تقریباً از دیسک هارو استفاده می‌شود. تمام کودهای مبتنی بر فسفر و پتاسیم و نیمی از کودهای مبتنی بر نیتروژن در مزارع قبل از دیسک پراکنده می‌شوند. گوجه‌فرنگی در اردیبهشت کاشت می‌شود. اوایل دوره کشت در زیر تونل‌های پلاستیکی رشد می‌کند.

۲-۴. کشاورزی نهاوند

مساحت اراضی کشاورزی و منابع طبیعی در شهرستان نهاوند ۹۳۵۸۱ هکتار می‌باشد که حدود ۶۱ درصد از مساحت استان را دربرگرفته است. از این میزان مساحت زمین‌های کشاورزی قابل کشت سالانه و دائمی کل شهرستان ۶۶۳۸۸ هکتار می‌باشد. در این شهرستان سطح زیر کشت محصولات سالانه ۴۵۶۶۸ هکتار می‌باشد که از ۱۷۵۱۵ هکتار دیم و ۲۸۱۵۳ هکتار آبی می‌باشد. سطح زیر کشت محصولات دائمی ۲۰۷۲۰ هکتار است که ۲۰۲۰ هکتار غیر باور و ۱۸۷۰۰ هکتار باور می‌باشد. کل سطح زیر کشت سبزی‌ها ۴۶۳/۵ هکتار و کل تولید آن

۹-۲. استفاده از پایگاه داده‌ها

باتوجه به این‌که ارزیابی چرخه حیات یک محصول، تمام مراحل حیات آن محصول را از استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی ضایعات باقی‌مانده شامل می‌شود، بنابراین برای دسترسی به بعضی از اطلاعات لازم مشابه فرایند تولید و استخراج مواد اولیه و مقدار آلاینده‌گی منتشرشده ناشی از فرایندهای ذکر شده تعدادی از پایگاه‌های داده‌ای معتبر مورد استفاده قرار گرفته که مهم‌ترین آن پایگاه داده اکواینونت^۱ است که در بیش‌تر پروژه‌های ارزیابی چرخه حیات استفاده می‌شود.

۱۰-۲. حجم و روش نمونه‌گیری

به دلیل گسترده بودن جامعه آماری مورد مطالعه در این تحقیق، نمونه‌برداری انجام شد. در این پژوهش از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شده است. آسان‌ترین روش نمونه‌گیری، نمونه‌گیری تصادفی است که نتایج این روش نمونه‌گیری، با رعایت اصول نمونه‌گیری قابل اعتماد و قابل تعمیم به کل جامعه است. دلیل دیگر جهت انتخاب این روش نمونه‌گیری، هماهنگی و تطابق آن با روش اتخاذشده توسط مرکز آمار ایران و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در آمارگیری کشور است (Khoshnevisan et al., 2014). در این روش نمونه‌گیری احتمال انتخاب در هر مرحله برای کلیه واحدهای جامعه یکسان است. برای تعیین حجم نمونه از فرمول آماری پیشنهادشده توسط کوکران^۲ استفاده شد که به صورت زیر می‌باشد:

$$n = N \cdot t^2 \cdot s^2 / (N \cdot d^2 + t^2 \cdot s)$$

که در آن N ، اندازه جامعه آماری یا تعداد کشاورزان تولیدکننده برای هر یک از محصولات مورد مطالعه در منطقه تحقیقاتی، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t -استیودنت به دست می‌آید. s^2 برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است.

۱۱-۲. ارزیابی چرخه حیات

۱-۱۱-۲. ورودی‌های سامانه

در این پژوهش نهاده‌های مصرفی؛ مانند گازوئیل، آب، کود شیمیایی ازته، پتاس و فسفات و کودهای دامی (گاوی، گوسفندی و مرغی) در سطح یک هکتار کشت گوجه‌فرنگی به عنوان ورودی‌های سامانه جهت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به روش ارزیابی چرخه حیات در نظر گرفته شدند.

۲-۱۱-۲. خروجی‌های سامانه

در این پژوهش مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن CO_2 ، اکسید نیتروژن N_2O ، متان CH_4 ، گوگرد دی‌اکسید SO_2 ، آمونیاک NH_4 و NO_x به عنوان خروجی‌های سامانه در نظر گرفته شدند.

۳-۱۱-۲. تعریف هدف و محدوده

در این بخش، هدف تحقیق، مرزهای سیستم و ملاحظات همه روشن می‌شود. تعیین مرزها و تعریف سیستم‌های چرخه حیات خاص مورد مطالعه برای هر مطالعه، سیاهه چرخه حیات یا ارزیابی چرخه حیات ضروری است (Bogoski and McCormick, 1996). در این مطالعه، هدف بررسی اثرات زیست‌محیطی گوجه‌فرنگی به دو صورت کشت گلخانه‌ای و روباز بود. واحد عملکردی به ورودی‌ها و خروجی‌ها متصل است و شرایطی را برای مقایسه فراهم می‌کند. دو واحد عملکردی برای این مطالعه در نظر گرفته شد. یک تن و یک هکتار به عنوان واحد عملکردی گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شد. تولید کل نهاده‌ها (یعنی تولید ماشین‌آلات، کود و آفت‌کش از مواد خام) و فعالیت‌های مزرعه به عنوان مرزهای سیستم در مطالعه حاضر در نظر گرفته شد. مرزهای سیستم در شکل ۱ نشان داده شده است. مرز سیستم شامل تمام مراحل چرخه حیات محصولات از استخراج مواد خام تا دروازه مزرعه بود. حمل و نقل جهت انتقال به عمده‌فروش و فروشگاه، تولید یا استفاده از محافظ‌های گیاهی بیولوژیکی و شیمیایی در محدوده این پژوهش قرار نگرفت.

1. Ecoinvent
2. Cochran

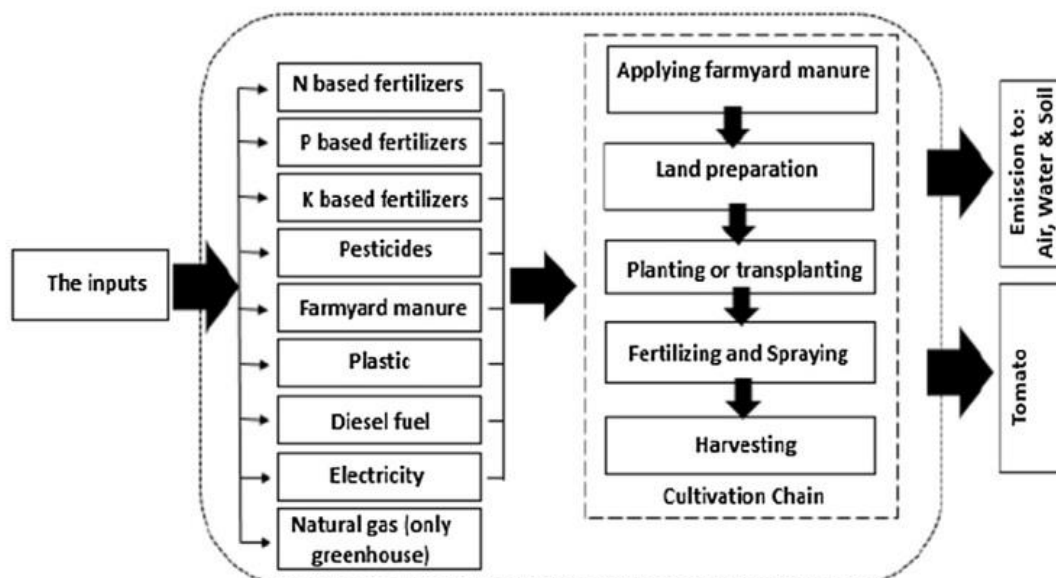


Fig. 1: System boundaries of tomato produced in open field and greenhouse

Table 1: Life cycle inventory data for tomato in both Open field and Greenhouse (per one tonne of produced crop)

| Inputs | Open field | Greenhouse |
|-------------------------------|------------|------------|
| Diesel fuel (L) | 3.14 | 27.46 |
| Electricity (kWh) | 172.93 | 45.69 |
| Pesticides (kg) | 0.27 | 0.12 |
| N-based fertilizers (kg) | 10.57 | 1.52 |
| K-based fertilizers (kg) | 0.88 | 1.21 |
| P-based fertilizers (kg) | 0.88 | 0.53 |
| Farmyard manure (kg) | 825.67 | 236.05 |
| Natural gas (m ³) | - | 46.82 |
| Plastic (kg) | 2.96 | 0.81 |

۲-۱۱-۴. موجودی چرخه حیات

تجزیه و تحلیل فهرست چرخه حیات، شامل تمام جزئیات مربوط به همه ورودی‌های محیطی (مواد و انرژی) و خروجی‌ها (انتشار هوا، آب و خاک) در هر مرحله از چرخه حیات است. برای تکمیل فهرست چرخه حیات از دو مجموعه داده استفاده شد. داده‌ها از سیستم پیش‌زمینه بر اساس شیوه‌های واقعی مزرعه با استفاده از پرسش‌نامه چهره‌به‌چهره جمع‌آوری شد. داده‌های مرتبط با سیستم پس‌زمینه (تولید کودها و آفت‌کش‌ها، برق، حمل و نقل و غیره) از پایگاه داده‌های اکواینوت و ال سی ای فود دی کی^۵ گرفته شد. سپس برای تجزیه و تحلیل داده‌های اولیه از نرم‌افزار SimaPro 8.03.14 استفاده شد. داده‌های اولیه برای گوجه‌فرنگی در هر دو کشت روباز و گلخانه‌ای در جدول ۱ نشان داده شده است.

مواد اولیه، جریان انرژی، حمل و نقل و مفروضات در نظر گرفته شده در مطالعه حاضر به شرح زیر تشریح می‌شوند: کودها بر اساس نتایج بررسی، اوره و نیترات آمونیوم به عنوان کودهای مبتنی بر N، سوپر فسفات منفرد و سوپر فسفات سه‌گانه به عنوان کودهای مبتنی بر P و کلرید پتاسیم و سولفات پتاس به عنوان کودهای پایه K در تولید گوجه‌فرنگی استفاده شدند. پایگاه داده Ecoinvent برای جمع‌آوری داده‌های موجودی تولید کود استفاده شد. انتشار مستقیم N₂O از کاربرد کودهای مبتنی بر N و کود دامی مزرعه بر اساس دستورالعمل‌های پیشنهاد شده توسط (Klein, 2006) به شرح زیر محاسبه شد:

$$N_2O_{Direct} = \frac{44}{28} \times EF \times [(F_{SN} + F_{ON})]$$

که در آن EF ضریب انتشار برای انتشار N₂O ناشی از استفاده از کود N کیلوگرم N₂O به ازای هر کیلوگرم ورودی N، مقدار سالانه کود مصنوعی N است که به خاک

اعمال می‌شود (kg N yr-1) و مقدار سالانه حیوان است. کود دامی، کمپوست و سایر افزودنی‌های نیتروژن آلی به خاک (کیلوگرم N yr-1). در این پژوهش مقدار EF 0.01 در نظر گرفته شد که به این معنی است که یک درصد از کودهای مبتنی بر N به خاک اعمال می‌شود که از طریق فعالیت‌های روی خاک آزاد می‌شود که منجر به کانی سازی مواد آلی در خاک‌های معدنی می‌شود (Klein, 2006). جدول ۲ متوسط غلظت ماده مؤثر در کودهای شیمیایی را نشان می‌دهد.

Table 2: The average concentration of the effective substance in chemical fertilizers

| Fertilizer type | % P ₂ O ₅ | % N | % K ₂ O |
|-----------------------|---------------------------------|------|--------------------|
| Urea | - | 45 | - |
| Triple superphosphate | 45-46 | - | - |
| Potassium sulfate | - | - | 47-50 |
| Cow | 1.22 | 2.95 | 2.3 |
| Sheep | 2.11 | 3.46 | 3.43 |
| Chicken | 1.32 | 3.67 | 5.4 |

جدول ۳ میزان انتشارات را بر مقدار آلاینده کود ازت نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱۱-۲. آفت‌کش‌ها

در منطقه مورد مطالعه از انواع آفت‌کش‌ها با مواد مؤثره مختلف استفاده شد. داده‌های موجودی برای آفت‌کش‌ها از پایگاه داده Ecoinvent گرفته شده است. بر اساس *Khoshnevisan et al., (2014)*، ۳۰ تا ۵۰ درصد از کل آفت‌کش‌ها به هوا منتشر می‌شود. رانش اسپری و تبخیر به عنوان دلایل اصلی انتشار آفت‌کش‌ها در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۴-۱۱-۲. سوخت دیزلی

در نمونه‌های مورد مطالعه سوخت دیزل برای عملیات میدانی و حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گرفت. در این مطالعه از مقادیر پایگاه داده اکواینونت (*Zarei et al., 2019*) برای سوخت دیزل استفاده شد. جدول ۴ عامل‌های انتشار برای تولید انرژی یک مگاژول از سوخت دیزل بر اساس اکواینونت و گاز طبیعی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱۱-۲. برق

از پمپ‌های الکتریکی برای پمپاژ آب در کشت گوجه‌فرنگی استفاده می‌شد. فرض بر این بود که برق توسط گاز طبیعی و برق آبی تولید می‌شود، زیرا بیش از ۹۵ درصد برق تولیدی در ایران از نیروگاه گاز طبیعی و نیروگاه برق آبی است. داده‌های موجودی برای تولید برق از گاز طبیعی (*Faist Emmenegger et al., 2007*) و نیروی آبی در مخزن (*Bolliger and Bauer, 2007*) از پایگاه داده Ecoinvent گرفته شده است.

جدول ۲-۱۱-۲. کود ازت

ضریب انتشار آمونیاک حاصل از مصرف کودهای ازته برابر ۱۷ درصد از مصرف کل نیتروژن مصرف شده در نظر گرفته شده است (*Goebes et al., 2003*). میزان انتشار N₂O-N از کل نیتروژن مصرف شده بر اساس گزارش مجمع بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC) در سال ۲۰۰۶ برابر یک درصد نیتروژن مصرفی به شکل اوره و میزان انتشار NO_x-N برابر ۱۰ درصد میزان انتشار N₂O می‌باشد (*Gasol et al., 2007*).

Table 3: The emission rate of nitrogen fertilizer pollutant

| Emission | Amount (g/MJ) |
|--|---------------|
| Volatile organic compounds | 0.000045 |
| Ammonia (NH ₃) | 0.000405 |
| Unspecified particles | 0.000265 |
| Methane (CH ₄) | 0.000215 |
| Dinitrogen monoxide (N ₂ O) | 0.0031 |
| Nitrogen oxides (NO _x) | 0.00014 |
| Carbon dioxide (CO ₂) | 0.531 |
| Carbon monoxide (CO) | 0.000035 |
| Total nitrogen | 0.00012 |
| Zinc (Zn) | 0.0000005 |

Table 4: Emission factors for 1 MJ energy production from diesel fuel based on Ecoinvent

| Emission | Amount (g/MJ) | Emission | Amount (g/MJ) |
|--|---------------|------------------------------------|---------------|
| Carbon dioxide (CO ₂) | 74.5 | Zinc (Zn) | 2.39E-05 |
| Sulfur dioxide (SO ₂) | 2.4E-02 | Benzo(a)pyrene | 7.16E-07 |
| Methane (CH ₄) | 3.08E-03 | Ammonia (NH ₃) | 4.77E-04 |
| Benzene | 1.74E-04 | Selenium (Se) | 2.39E-07 |
| Cadmium (Cd) | 2.39E-07 | Hydrocarbons | 6.80E-02 |
| Chromium (Cr) | 1.19E-06 | Nitrogen oxides (NO _x) | 1.06 |
| Copper (Cu) | 4.06E-05 | Carbon monoxide (CO) | 1.50E-01 |
| Dinitrogen monoxide (N ₂ O) | 2.86E-03 | Particulates (<2.5 μm) | 1.07E-01 |
| Nickel (Ni) | 1.67E-06 | | |

۱۲-۲. نرم‌افزار سیما پرو

جهت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی گوجه‌فرنگی اطلاعات به دست‌آمده پس از مرتب‌سازی و دسته‌بندی به نرم‌افزار سیما پرو نسخه ۹.۱ وارد گردید و ارزیابی‌ها بر اساس روش Impact2002 صورت پذیرفت و بر اساس یک واحد مشخص خروجی مشخص گردید.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. بررسی نهاده‌ها و پارامترهای گوجه‌فرنگی در کشت

گلخانه‌ای و روباز

در جدول ۵ لیست کاملی از نهاده‌های ورودی جهت محصول گوجه‌فرنگی به دو صورت کشت روباز و گلخانه‌ای برآورد شد. همچنین اثرات شاخص‌های گوناگون زیست‌محیطی برای تولید یک تن محصول مورد بررسی قرار گرفت.

Table 5: Inputs in open field and greenhouse cultivation per ton of tomato

| Inputs | Units | Open field | Greenhouse |
|-----------------------|----------------|------------|------------|
| Nitrogen fertilizer | kg | 5 | 3.5 |
| Potash fertilizer | kg | 5 | 2 |
| Phosphorus fertilizer | kg | 5 | 2 |
| Pesticide | kg | 0.18 | 0.250 |
| Herbicide | kg | 0.60 | 0.250 |
| Fungicide | kg | 0.44 | 0.250 |
| Manpower | kg | 28.22 | 25.2 |
| Pump | H | 0.355 | 0.015 |
| Machinery | kg | 0.3 | 0.5 |
| Manure | kg | 1000 | 166.7 |
| Amino acid fertilizer | kg | 0.600 | 0.500 |
| Sulfur fertilizer | kg | 20 | 6.3 |
| Electricity | kWh | 1021 | 360 |
| Diesel fuel | L | 5.04 | 2.8 |
| Gas | m ³ | - | 4.7 |

۲-۳. تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید

گوجه‌فرنگی کشت روباز و گلخانه‌ای

شاخص سمیت آیزیان، باعث آلودگی آب‌های جاری و همچنین آلودگی خاکی در آب‌های دریایی و شیرین می‌شود که برای انسان و محیط‌زیست بسیار مضر است. در این پژوهش پتانسیل برحسب یک تن انتشار معادل $2/69e^3$ در کشت روباز و $5/91e^3$ در کشت گلخانه‌ای دیکلوبنزن محاسبه گردید (جدول ۶).

علت اصلی تخریب ازون، مواد شیمیایی تولید شده به‌ویژه مبردهای هالوکربن تولیدشده، حلال‌ها، پیش‌رانه‌ها و عوامل دم-کننده کف (کولر و فلوئوروکربن‌ها، هالون‌ها) است که به‌عنوان مواد تخریب‌کننده ازون (ODS) نامیده می‌شوند. کلر و فلور و کربن‌ها مهم‌ترین موادی هستند که دارای خاصیت تخریب لایه ازون را دارند. میزان تخریب لایه ازون برای تولید یک تن گوجه‌فرنگی روباز $4/52e^{-6}$ کیلوگرم معادل CFC-۱۱ و کشت گلخانه‌ای $7/39e^{-6}$ کیلوگرم معادل CFC-۱۱ برای یک دوره کشت می‌باشد (جدول ۶). (Zarei et al., 2019)

سفر به آب‌های سطحی بوده؛ لذا اثر این گروه در فعالیت‌های کشاورزی به‌طور جدا از هم بر اساس ضریب‌های مشخصی برای اکوسیستم‌های آبی و خشکی به‌دست آورده شده‌است (Finnveden and potting, 1999).

اثر اسیدی زمین شامل کلیه مواد سمی تولید شده شامل SO_2 حاصل از مصرف گازوئیل، کودهای ازته و دامی بوده که بر اساس ضریب هر آلاینده در شاخص طبقه‌بندی برای اسیدی زمین معادل $0/389$ کیلوگرم SO_2eq در کشت روباز و معادل $0/54$ کیلوگرم SO_2eq در کشت گلخانه‌ای می‌باشد (جدول ۶). باتوجه به شکل ۲ و جدول ۷ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به کود نیتروژن با $0/104$ کیلوگرم در کشت روباز و با توجه به شکل ۳ و جدول ۸ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به کود نیتروژن با $0/149$ در کشت گلخانه‌ای می‌باشد.

اثر اسیدی شدن آب با کیلوگرم معادل SO_2 نشان داده می‌شود. بالابودن مصرف کودهای نیتروژن‌دار در تولید گوجه‌فرنگی باعث افزایش تبخیر گازهای گلخانه‌ای و به‌تبع آن افزایش سهم آمونیاک شده که این امر باعث افزایش اسیدی شدن آب خواهد داشت. درکل پتانسیل اسیدی شدن برای تولید گوجه‌فرنگی روباز $0/161$ و در کشت گلخانه‌ای $0/226$ کیلوگرم معادل SO_2 در ازای تولید یک تن محصول گوجه‌فرنگی برآورد شده‌است (جدول ۶).

Khoshnevisan et al., (2014)، نیز مقدار $0/37$ گرم معادل PO_4 را برای کشت روباز گوجه‌فرنگی بیان کردند که با نتیجه بدست آمده این تحقیق مطابقت دارد. باتوجه به شکل ۲ و جدول ۷ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به کود نیتروژن با $0/702$ کیلوگرم در کشت روباز و باتوجه به شکل ۳ و جدول ۸ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به آفت‌کش‌ها با $0/186$ کیلوگرم در کشت گلخانه‌ای می‌باشد.

اثر مواد سرطان‌زا برای تولید یک تن محصول گوجه‌فرنگی در طول یک دوره زراعی برای کاشت روباز $0/346 C_2H_4cl eq$ و کشت گلخانه‌ای $1/1 C_2H_4cl eq$ به‌دست آمد (جدول ۶). علت زیاد بودن این امر افزایش تولید بوده که این امر سبب گردیده سرانه مصرف نهاده‌های ورودی در ازای تولید هر تن محصول کاهش داشته باشد. باتوجه به شکل ۲ و جدول ۷ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به آفت‌کش با $0/207$ کیلوگرم در کشت روباز و با توجه به شکل ۳ و جدول ۸

تحقیقی که بر روی کشت گلخانه‌ای و روباز گوجه‌فرنگی در استان شیراز انجام دادند نتیجه گرفتند که میزان تخریب لایه ازون در کشت گلخانه‌ای نسبت به کشت روباز بالاتر است. باتوجه به شکل ۲ و جدول ۷ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به سوخت دیزل با $3/45e^{-6}$ کیلوگرم در کشت روباز و باتوجه به شکل ۳ و جدول ۸ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به سوخت دیزل با $3/45e^{-6}$ کیلوگرم در کشت گلخانه‌ای می‌باشد. در پژوهش‌های پیشین نیز سوخت دیزل بیشترین تاثیر را بر روی شاخص تخریب لایه ازون داشته‌است که با نتیجه این تحقیق مطابقت دارد (Maarefi et al., 2022; Zarei et al., 2019).

میزان مواد آلی تنفسی برای این مطالعه در کشت روباز $0/114$ کیلوگرم $C_2H_4 eq$ و گلخانه‌ای $0/165$ کیلوگرم $C_2H_4 eq$ می‌باشد (جدول ۶). همچنین میزان مواد معدنی تنفسی معادل $0/232$ کیلوگرم $PM_{2.5}eq$ در کشت روباز و معادل $0/305$ کیلوگرم $PM_{2.5}eq$ در کشت گلخانه‌ای می‌باشد (جدول ۶). باتوجه به شکل ۲ و جدول ۷ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به آفت‌کش‌ها با $0/453$ کیلوگرم در کشت روباز و با توجه به شکل ۳ و جدول ۸ بیش‌ترین سهم این شاخص نیز متعلق به کود نیتروژن با $0/0808$ کیلوگرم در کشت گلخانه‌ای می‌باشد.

طبق تحقیق انجام گرفته اوتریفیکاسیون بر مبنای PO_4 بررسی شده و انتشارات دیگر نیز شامل آمونیوم NH_4^+ و اکسیدهای نیتروژن N_2O می‌باشد. مقدار اثر زیست‌محیطی اوتریفیکاسیون برای تولید یک تن گوجه‌فرنگی روباز $0/0378$ کیلوگرم معادل PO_4 و در گلخانه‌ای $0/0512$ کیلوگرم معادل PO_4 محاسبه شد (جدول ۶). (*Khoshnevisan et al., 2014*)، نیز مقدار $0/03$ گرم معادل PO_4 را برای کشت روباز گوجه‌فرنگی بیان کردند که با نتیجه به‌دست آمده این تحقیق مطابقت دارد. باتوجه به شکل ۲ و جدول ۷ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به آفت‌کش‌ها با $0/0108$ کیلوگرم در کشت روباز و باتوجه به شکل ۳ و جدول ۸ بیش‌ترین سهم این شاخص متعلق به سوخت دیزل با $0/0145$ کیلوگرم در کشت گلخانه‌ای می‌باشد. همان‌طور که مشخص شده منبع تشدیدکننده اوتریفیکاسیون در اکوسیستم خشکی، ورود آمونیاک و نیتروژن و برای اکوسیستم آبی ورود انواع نیتروژن و

بوده که بر اساس ضریب هر آلاینده در شاخص طبقه بندی گرمایش جهانی معادل ۹۴/۴ کیلوگرم CO₂ep در کشت روباز و معادل ۱۰۷ کیلوگرم CO₂ep در کشت گلخانه ای می باشد (جدول ۶). (Khoshnevisan et al., 2014)، گزارش دادند که شاخص گرمایش جهانی برای تولید یک تن گوجه فرنگی در گلخانه معادل ۱۲۹/۳۹ کیلوگرم CO₂ep بود. عدد بالاتر به دست آمده برای این شاخص در مطالعه آن ها را می توان به گاز طبیعی بیشتر مورد استفاده برای تولید گرما نسبت داد. همچنین آب بیشتری برای آبیاری و برق در منطقه مورد مطالعه آنها مصرف شد. باتوجه به شکل ۲ و جدول ۷ بیشترین سهم این شاخص متعلق به کود نیتروژن با ۴/۶۶ کیلوگرم در کشت روباز و با توجه به شکل ۳ و جدول ۸ بیشترین سهم این شاخص متعلق به کود آمینو اسید با ۱۰/۹ کیلوگرم در کشت گلخانه ای می باشد.

بیشترین سهم این شاخص متعلق به گاز طبیعی با ۰/۶۳۲ کیلوگرم در کشت گلخانه ای می باشد. اثر انرژی های تجدیدناپذیر شامل کلیه مواد سمی تولید شده شامل primary (اولیه) حاصل از مصرف گازوئیل، کودهای ازته و دامی بوده که بر اساس ضریب هر آلاینده در شاخص طبقه بندی معادل ۶۷۳ کیلوگرم primary در کشت روباز و معادل ۱/۲۷e^۳ کیلوگرم primary در کشت گلخانه ای به دست آمد (جدول ۶). باتوجه به شکل ۲ و جدول ۷ بیشترین سهم این شاخص متعلق به سوخت دیزل با ۱۵۹ کیلوگرم در کشت روباز و با توجه به شکل ۳ و جدول ۸ بیشترین سهم این شاخص نیز متعلق به سوخت دیزل با ۲۸۷/۰۹ کیلوگرم در کشت گلخانه ای می باشد. آلاینده های گروه گرمایش جهانی باتوجه به CO₂ به وجود آمده در نتیجه استفاده از گازوئیل، برق، کودهای ازته و دامی

Table 6: Comparison of impact categories of the production of one ton of tomato in open field and greenhouse cultivation

| Impact categories | Units | Open field | Greenhouse |
|-------------------------|-------------------------------------|------------|------------|
| Carcinogens | C ₂ H ₄ cl eq | 0.346 | 1.1 |
| Non-carcinogens | C ₂ H ₄ cl eq | 0.491 | 0.887 |
| Respiratory inorganics | PM2.5 eq | 0.0232 | 0.0305 |
| Ionizing radiation | C-14 eq | 261 | 341 |
| Ozone layer depletion | CFC-11 eq | 4.52e-6 | 7.39e-6 |
| Respiratory organics | C ₂ H ₄ eq | 0.0114 | 0.0165 |
| Aquatic ecotoxicity | TEG water | 2.69e3 | 5.91e3 |
| Terrestrial ecotoxicity | TEG soil | 513 | 1.36e3 |
| Terrestrial acid/nutri | SO ₂ eq | 0.389 | 0.54 |
| Land occupation | Org.arable | 0.762 | 0.799 |
| Aquatic acidification | SO ₂ eq | 0.161 | 0.226 |
| Aquatic eutrophication | PO ₄ P-lim | 0.00378 | 0.00512 |
| Global warming | CO ₂ eq | 94.4 | 107 |
| Non-renewable energy | Primary | 673 | 1.27e3 |
| Mineral extraction | C ₂ H ₄ cl eq | 0.875 | 0.952 |

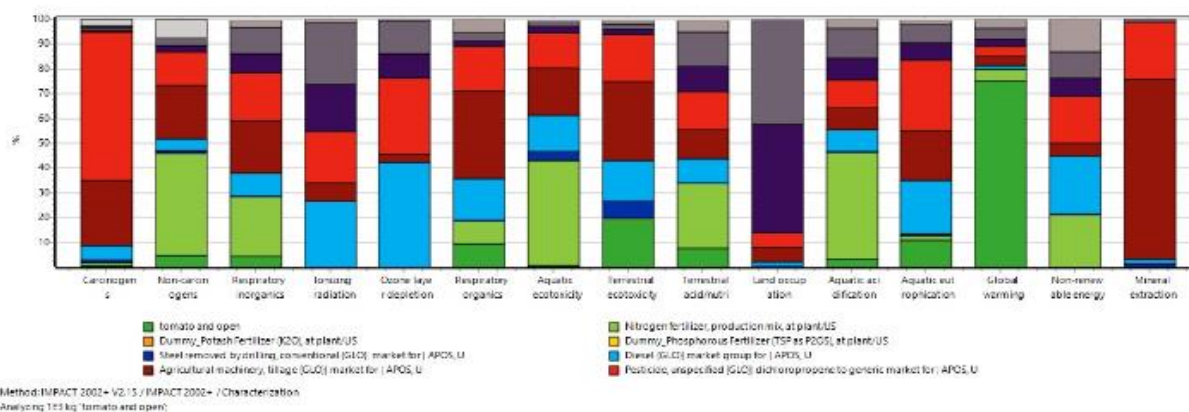
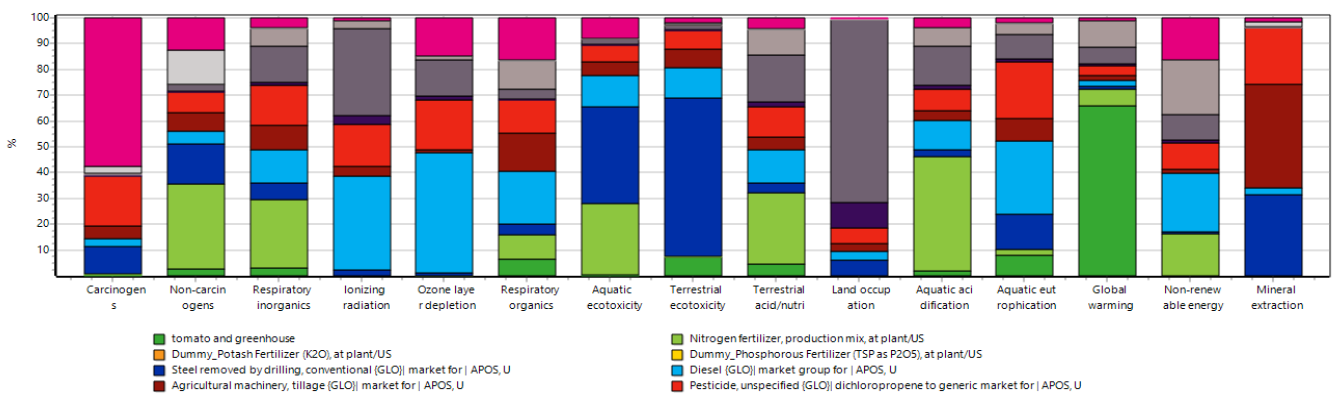


Fig. 2: The role of inputs in the amount of impact categories in open field cultivation

Table 7: The final categories of the impact groups in the production of tomatoes in open field cultivation

| Impact categories | Nitrogen fertilizer | Pump | Diesel fuel | Pesticide | Machinery | Fungicide | Herbicide | Amino acid |
|-------------------------|---------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Carcinogens | 0.0027 | 0.00489 | 0.0194 | 0.207 | 0.0908 | 0.00349 | 0.0036 | 0.00177 |
| Non-carcinogens | 0.201 | 0.00576 | 0.0243 | 0.0667 | 0.105 | 0.0121 | 0.0132 | 0.000594 |
| Respiratory inorganics | 0.00566 | 8.56e-5 | 0.0021 | 0.0453 | 0.0049 | 0.00178 | 0.00244 | 0.000632 |
| Ionizing radiation | *** | 0.143 | 66.23 | 20.38 | 8.82 | 49.2 | 65.2 | 3.17 |
| Ozone layer depletion | 1.05e-9 | 3.15e-9 | 1.92e-6 | 1.39e-6 | 1.48e-7 | 4.44e-7 | 5.89e-7 | 2.86e-8 |
| Respiratory organics | 0.00108 | 2.95e-5 | 0.0019 | 0.00205 | 0.00408 | 0.000244 | 0.000352 | 0.000583 |
| Aquatic ecotoxicity | 1143.06 | 93.8 | 393 | 383 | 515 | 65.9 | 69.5 | 1.36 |
| Terrestrial ecotoxicity | 1.96 | 35.4 | 86.7 | 98.4 | 163 | 12.1 | 12.2 | 1.6 |
| Terrestrial acid/nutri | 0.104 | 0.000895 | 0.0383 | 0.062 | 0.0466 | 0.0398 | 0.0553 | 0.0172 |
| Land occupation | *** | 0.00199 | 0.016 | 0.0447 | 0.0423 | 0.335 | 0.322 | *** |
| Aquatic acidification | 0.0702 | 0.00023 | 0.0145 | 0.0181 | 0.0144 | 0.0145 | 0.0196 | 0.00507 |
| Aquatic eutrophication | 7.35e-5 | 2.95e-5 | 0.000805 | 0.00108 | 0.000765 | 0.000263 | 0.000271 | 6.96e-5 |
| Global warming | 4.66 | 0.0509 | 1.42 | 4.08 | 3.23 | 2.76 | 4 | 3.43 |
| Non-renewable energy | 144 | 0.551 | 159 | 127 | 34.6 | 50.7 | 71.9 | 85.1 |
| Mineral extraction | *** | 0.0126 | 0.0147 | 0.203 | 0.636 | 0.000409 | 0.000546 | 0.000778 |



Method: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Characterization
Analyzing 1E3 kg 'tomato and greenhouse';

Fig. 3: The role of inputs in the amount of impact categories in greenhouse cultivation

Table 8: The final categories of the impact groups in the production of tomatoes in greenhouse cultivation

| Impact categories | Nitrogen fertilizer | Pump | Diesel fuel | Pesticide | Machinery | Fungicide | Herbicide | Amino acid | Natural gas |
|-------------------------|---------------------|---------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Carcinogens | 0.00385 | 0.116 | 0.035 | 0.213 | 0.0545 | 0.000838 | 0.00633 | 0.00561 | 0.632 |
| Non-carcinogens | 0.288 | 0.136 | 0.0437 | 0.0686 | 0.0632 | 0.0029 | 0.0232 | 0.00189 | 0.111 |
| Respiratory inorganics | 0.00808 | 0.0019 | 0.00387 | 0.00466 | 0.00294 | 0.00042 | 0.00429 | 0.00201 | 0.001 |
| Ionizing radiation | *** | 3.40 | 119 | 20.96 | 5.29 | 11.8 | 115 | 10.1 | 2.28 |
| Ozone layer depletion | 1.51e-9 | 7.46e-8 | 3.45e-6 | 1.43e-6 | 8.87e-8 | 1.07e-7 | 1.04e-6 | 9.09e-8 | 1.1e-6 |
| Respiratory organics | 0.00154 | 0.00699 | 0.00341 | 0.00211 | 0.00245 | 5.87e-5 | 0.00062 | 0.00185 | 0.0026 |
| Aquatic ecotoxicity | 1.63e3 | 2.22e3 | 707 | 394 | 309 | 15.8 | 122 | 4.32 | 463.55 |
| Terrestrial ecotoxicity | 2.81 | 837 | 156 | 101 | 97.8 | 2.9 | 21.5 | 5.07 | 28.01 |
| Terrestrial acid/nutri | 0.149 | 0.0212 | 0.0689 | 0.0638 | 0.0279 | 0.00955 | 0.0973 | 0.0545 | 0.021 |
| Land occupation | *** | 0.047 | 0.0288 | 0.046 | 0.0254 | 0.0805 | 0.566 | *** | 0.0035 |

| | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|--------|
| Aquatic acidification | 0.1 | 0.00544 | 0.0261 | 0.186 | 0.00865 | 0.00348 | 0.0345 | 0.0161 | 0.008 |
| Aquatic eutrophication | 0.000105 | 0.0007 | 0.00145 | 0.00111 | 0.000459 | 6.31e-5 | 0.00047 | 0.000221 | 8.8e-5 |
| Global warming | 6.66 | 1.21 | 2.55 | 4.2 | 1.94 | 0.662 | 7.05 | 10.9 | 1.2 |
| Non-renewable energy | 205 | 13 | 287.09 | 130 | 20.8 | 12.2 | 127 | 270 | 204.9 |
| Mineral extraction *** | | 0.298 | 0.0264 | 0.209 | 0.382 | 9.83e-5 | 0.000963 | 0.0027 | 0.013 |

اوتریفیکاسیون، تخریب لایه اوزون، انرژی‌های تجدیدناپذیر و اشعه لاینز کننده و در کشت روباز بیشترین سهم را بر روی سه شاخص زیست محیطی تخریب لایه اوزون، انرژی‌های تجدیدناپذیر و اشعه لاینز کننده دارا بوده است. با جایگزین کردن تراکتورهای فرسوده با تراکتورهای جدید می‌توان انتشار آلاینده‌های NO_x و SO_x ناشی از احتراق سوخت دیزل را کاهش داده و باعث کاهش اثرات زیست محیطی ناشی آن شد. در قسمت دیگر نتایج بررسی اثرات زیستی در واحد سطح مشخص شد که بیشترین میزان تخریب محیط زیست در طول زمان و رشد بوته‌های گوجه فرنگی به کود و سموم و مصرف سوخت دیزل جهت کارکرد ماشین‌آلات بوده که باعث تخریب بیش‌تری گردیده است.

بنابراین، با توجه به شکل ۴ و جدول ۶ اثرات زیست محیطی کشت گلخانه‌ای بیش‌تر از کشت روباز می‌باشد. اساسی‌ترین عوامل در میزان تولید گوجه فرنگی در دو نوع کشت گلخانه‌ای و روباز در طی یک دوره یک‌ساله به‌کارگیری ماشین‌آلات کشاورزی مورد استفاده، کود نیتروژنه و هم‌چنین سوخت دیزل استفاده‌شده در دو نوع کشت گوجه فرنگی بوده است. تحقیقات صورت‌گرفته و نتایج به‌دست‌آمده در این خصوص عامل اصلی در شاخص‌های زیست محیطی کود نیتروژن بود. نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات گذشته مطابقت دارد (Maarefi et al., 2022; Zarei et al. 2019).

با بررسی کلی نهاده‌های ورودی جهت تولید محصول گوجه فرنگی به دو صورت کشت روباز و گلخانه‌ای، می‌توان دریافت که در کشت روباز کود نیتروژن با داشتن بیشترین سهم بر روی پنج شاخص زیست محیطی شامل گرم‌شدن، اسیدی شدن آب، اسیدی زمین، سمیت آب و مواد غیرسرطان‌زا یکی از مهم‌ترین نهاده‌های ورودی تاثیرگذار بر روی شاخص‌های زیست محیطی است. برای کنترل و کاهش شاخص‌های فوق می‌توان با کاهش استفاده از کودهای نیتروژنه به سمت کاهش آن‌ها شد. همانطور که از نتایج پیداست مقدار کود نیتروژنه استفاده‌شده در کشت گلخانه‌ای کمتر از کشت روباز بوده است (جدول ۵) که همین موضوع باعث کاهش اثر کود نیتروژن در کشت گلخانه‌ای نسبت به کشت روباز شده است، به طوری که در کشت گلخانه‌ای کود نیتروژن بیشترین سهم را بر روی سه شاخص زیست محیطی شامل مواد معدنی تنفسی، اسیدی زمین، و مواد غیرسرطان‌زا دارا بوده است. سوخت دیزل پس از کود نیتروژن دیگر نهاده مهم در تاثیرگذاری بر روی شاخص‌های زیست محیطی است. سوخت دیزل در کشت گلخانه‌ای بیشترین سهم را بر روی چهار شاخص زیست محیطی شامل

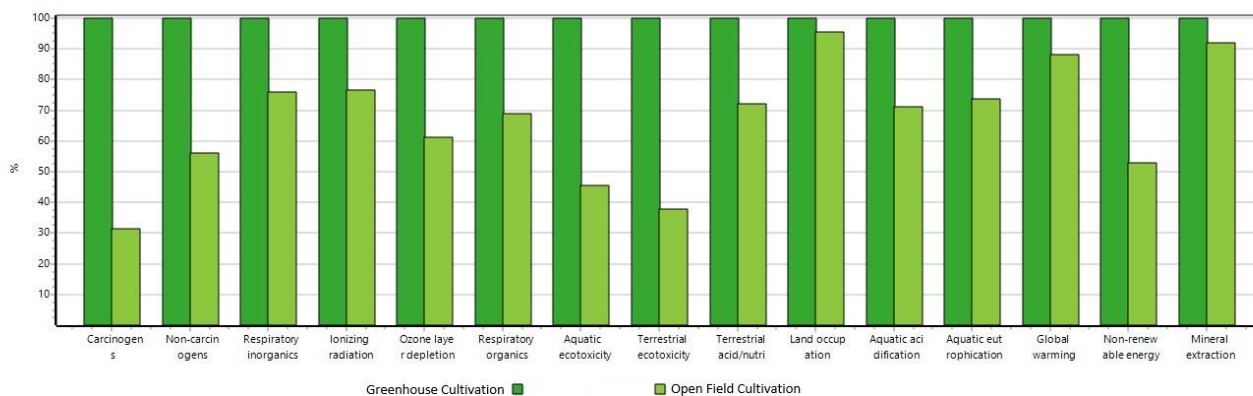


Fig. 4: Comparing impact categories of open field and greenhouse cultivation in tomato production

۴. نتیجه گیری

محیطی ناشی آن شد. با توجه به استفاده بیش از حد نهاده‌ها مانند سوخت‌های فسیلی و انواع کودهای شیمیایی باعث بروز اثرات زیست‌محیطی مخربی شده است که از آن‌ها می‌شود از کاهش تنوع زیستی، گرمایش جهانی زمین، کاهش کیفیت خاک مانند، فشرده‌گی، فرسایش، از بین رفتن مواد آلی خاک، آلودگی‌های خاک، هوا و آب بیان کرد. همچنین کاهش استفاده از کود و سموم شیمیایی به خصوص کود نیتروژن و آفت‌کش‌ها و استفاده از روش‌های نوین جایگزین باعث بهبود و کاهش اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه فرنگی خواهد شد. بهبود عملکرد زیست‌محیطی تولید گوجه فرنگی بصورت کشت روباز یا جایگزینی آن با تولید بصورت گلخانه‌ای باید در نظر گرفته شود.

این پژوهش به منظور ارزیابی چرخه حیات تولید گوجه‌فرنگی به دو صورت کشت روباز و گلخانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار سیما پرو انجام شد. داده‌های اولیه از تعداد ۲۴ گلخانه (۱۸ هکتار)، در کشت روباز ۲۱ هکتار و تعداد ۳۲ کشاورز در شهرستان نهاوند جمع‌آوری گردیده و نتایج بر اساس تولید یک تن گوجه‌فرنگی نشان داد که کشت گلخانه ای اثرات زیست‌محیطی بیشتری در مقایسه با کشت روباز دارد. کود نیتروژن و سوخت دیزل مورد استفاده در سیستم‌های تولید بیشترین تأثیر را بر روی شاخص‌های زیست‌محیطی داشتند. با جایگزین کردن تراکتورهای فرسوده با تراکتورهای جدید می‌توان انتشار آلاینده‌های NO_x و SO_x ناشی از احتراق سوخت دیزل را کاهش داده و باعث کاهش اثرات زیست

۴. منابع

- Aazami, M., Ahadnejad Reveshty, M., & Tohidloo, S. (2018). Zoning Agricultural Development of the Cities in Hamedan Province. *Regional Planning*, 8(29), 53-64. <https://doi.net/dor/20.1001.1.22516735.1397.8.29.5.3>
- Bogoski, M. S. & McCormick, F. (1993). Proteins regulating Ras and its relatives. *Nature*, 366, 643-654. <https://doi.org/10.1038/366643a0>
- Bolliger, R. & Bauer, C. (2007). Wasserkraft. Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report No. 6 ecoinvent data v2. 0. Volume: 6. Swiss Centre for LCI, PSI. Dübendorf and Villigen, CH.
- Ebrahimi Sarindizaj, E. & Zarghami, M. (2018). Comparing effect of restoration policies under climate change by using system dynamics; case study Urmia lake ecosystem, *Iran-Water Resources Research*, 13(4), 184-189. (In Persian)
- Ebrahimi, E. & Ebrahimi, L. (2022). Life cycle assessment (LCA) in crop production, case study: apple and grape. *Environmental Sciences*, 20(1), 251-266. (In Persian) <https://doi.org/10.52547/envs.2021.36828>
- Faist Emmenegger, M., Heck, T., Jungbluth, N. & Tuchschnid, M. (2007). Erdgas. Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz.
- FAO, (2020). Food and Agriculture Organization, Statistics: FAOSTAT Agriculture. <http://faostat3.fao.org>.
- Fathi, R., Kheiralipour, K. & Azizpanah, A. (2019). Assessment of the pattern of energy consumption in dryland rape production and its environmental effects in Ilam province.
- Finnveden, G. & Potting, J. (1999). Eutrophication as an impact category. *Int J LCA*; 4, 311-314. <https://doi.org/10.1007/BF02978518>
- Garrigues, E., Corson, M. S., Angers, D. A., van der Werf, H. M. & Walter, C. (2012). Soil quality in life cycle assessment: towards development of an indicator. *Ecological Indicators*, 18, 434-442. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.014>
- Gasol, C. M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., Solano, M. L. & Rieradevall, J. (2007). Life cycle assessment of a *Brassica carinata* bioenergy cropping system in southern Europe. *Biomass and Bioenergy*, 31(8), 543-555. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.01.026>
- Ghosh, N. (2004). Reducing dependence on chemical fertilizers and its financial implications for farmers in India. *Ecological Economics*, 49(2), 149-162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.03.016>
- Goebes, M. D., Strader, R. & Davidson, C. (2003). An ammonia emission inventory for fertilizer application in the United States. *Atmospheric Environment*, 37(18), 2539-2550. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00129-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00129-8)
- Iriarte, A., Rieradevall, J. & Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 336-345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.11.004>
- ISO (2006) "ISO 14040" Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework.
- Kargari, N. & Mastouri, R. (2011). Effect of nuclear power on CO₂ emission from power plant sector in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 18, 116-122. <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0402-3>

- Khoshnevisan, B., Rafiee, S. & Mousazadeh, H. (2013). Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy*, 50, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.003>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.057>
- Klein, D. (2006). N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. (No Title), 1.
- Maarefi, T., Ebrahimian, H., Dehghanisani, H., Sharifi, M., & Delbaz, R. (2022). Life cycle assessment for major agricultural crops and different irrigation systems around Lake Urmia. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 16(3), 624-638.
- Naseer, M., Persson, T., Hjelkrem, A. G. R., Ruoff, P. & Verheul, M. J. (2022). Life cycle assessment of tomato production for different production strategies in Norway. *Journal of Cleaner Production*, 372, 133659. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133659>
- Nemecek, T., Kägi, T. & Blaser, S. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. *Final Report Ecoinvent*, 2(15), 1-360.
- Payen, S., Basset-Mens, C. & Perret, S. (2015). LCA of local and imported tomato: an energy and water trade-off. *Journal of Cleaner Production*, 87, 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.007>
- Prasad, S., Singh, A., Korres, N. E., Rathore, D., Sevda, S. & Pant, D. (2020). Sustainable utilization of crop residues for energy generation: A life cycle assessment (LCA) perspective. *Bioresource Technology*, 303, 122964. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122964>
- Safari, J., Khoramivafa, M., Ramedani, Z., & Yousefi, M. (2023). Evaluation of Energy Indices and Environmental Impacts of Tomato Agroecosystems and Tomato Paste in Kermanshah Region, using a Life Cycle Approach. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 11(4), 33-48. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763128.1401.11.4.3.1>
- Shahmohammadi, A., Veisi, H., khoshbakht, K., Mahdavi Damghani, A. & Soltani, E. Life cycle assessment of potato production semi-mechanized method in Iran: A case study of Markazi province, *Iranian Biosystem Engineering*, 47(4), 659-666. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.60260>
- Vafabakhsh, J. & Mohammadzadeh, A. (2019). Energy flow and GHG emissions in major field and horticultural crop production systems (Case study: Sharif Abad plain). *Journal of Agroecology*, 11(2), 365-382.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.07.001>
- Zubaidi, T. & Ajili, A. (2013) Effects of agriculture on the environment, *The Second National Conference On Sustainable Agriculture and Natural Resources*, Tehran, 9 pages. <https://civilica.com/doc/309731>.