

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## **The Comprehensive Environmental Impact Analysis of Greenhouse and Open-Field Cucumber Cultivation Using Life Cycle Assessment in Hamedan-Bahar Plain: A Practical Comparison**

Soltanian<sup>1</sup>, Sh. and Shadidi<sup>2\*</sup>, B.

<sup>1</sup> and <sup>2</sup> Master's Degree and Assistant Professor, Respectively, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

\*: Corresponding Author                      Email: b.shadidi@basu.ac.ir

Received: 2025/11/28

Accepted: 2025/12/29

### **Introduction**

The production of fresh vegetables like cucumbers, especially in regions with climatic constraints during certain seasons, plays a crucial role in food security, nutritional health, and the agricultural economy. In Iran and many temperate or cold climate areas, the use of greenhouse systems has been increasing as a method for off-season production with high yield. However, productivity should not be the sole criterion for selecting a cultivation method, as energy, water, fertilizer, plastic, and other inputs in greenhouses can lead to significant environmental impacts if not managed properly. Therefore, a comprehensive environmental assessment of the cucumber production chain, from input supply to harvesting and packaging, is essential for sustainable production decision-making.

### **Material and Methods**

This study investigates the environmental impacts of cucumber cultivation using two agricultural systems: greenhouse and open-field, through a Life Cycle Assessment (LCA) approach. The research was conducted in the Hamedan-Bahar plain, utilizing local field data. The study area spans 2,459 square kilometers, with approximately 32,100 hectares dedicated to irrigated agriculture. Data were gathered through surveys and interviews with local farmers, and relevant literature was reviewed to support the research. LCA methodology was employed to model the environmental effects of cucumber production from raw material extraction to waste management, using the SIMAPRO software. The impacts of various inputs, such as chemical fertilizers, energy, pesticides, and fuel consumption, were calculated, and the environmental effects were assessed based on global warming potential (GWP), ozone depletion, and other environmental indicators.

### **Results and Discussion**

The results of the study revealed significant differences in the resource consumption and environmental impacts between the greenhouse and open-field cucumber cultivation systems. Specifically, greenhouse cultivation exhibited higher consumption of inputs such as electricity (1072.2 kWh per ton in greenhouses vs. 320 kWh in open fields) and diesel fuel (1.63 liters per ton in greenhouses vs. 2.9 liters in open fields). Additionally, nitrogen fertilizer use in greenhouses was higher (6 kg per ton in greenhouses vs. 3 kg in open fields), as well as manure consumption (900 kg per ton in greenhouses vs. 154 kg in open fields). From an environmental perspective, greenhouse cultivation showed a significantly higher impact in various categories. For example, the global warming potential (GWP) for one ton of cucumbers was 111 grams of CO<sub>2</sub> equivalent in greenhouses, compared to only 95.1 grams of CO<sub>2</sub> equivalent in open-field cultivation. Greenhouses also exhibited higher contributions to ozone layer depletion and other environmental indicators. The findings indicate that while greenhouse cultivation provides better control over environmental conditions and higher yields, it leads to greater environmental burdens due to higher energy and chemical inputs. In contrast, open-field cultivation, though less efficient in terms of yield, results in lower environmental impacts, particularly in terms of energy consumption and fertilizer use. The study emphasizes the importance of renewable energy sources, such as solar energy, to reduce the environmental footprint of greenhouse systems and suggests improving resource efficiency in both cultivation methods to achieve sustainable agricultural practices.

**Conclusions**

The study concludes that greenhouse cucumber cultivation, while more productive, has higher environmental impacts compared to open-field cultivation. This difference is primarily due to the increased consumption of energy, fertilizers, and other inputs in the greenhouse system. Specifically, greenhouse cultivation showed significantly higher consumption of electricity, nitrogen fertilizers, and manure, which contributed to greater environmental impacts such as global warming potential and ozone depletion. However, open-field cultivation, although requiring fewer inputs, results in lower environmental impacts but offers lower yields. The study emphasizes the need for optimizing energy consumption and reducing chemical inputs in greenhouse systems to mitigate their environmental footprint. The adoption of renewable energy sources, such as solar power, is recommended to make greenhouse farming more sustainable. Furthermore, a balanced approach combining both greenhouse and open-field cultivation, along with the use of clean energy technologies, is essential for achieving sustainable agricultural practices in the region.

**Keywords:** Sustainable agriculture, Chemical fertilizers, Environmental impacts, Ozone depletion

**Citations:** Soltanian, Sh. and Shadidi, B. (2026). The Comprehensive Environmental Impact Analysis of Greenhouse and Open-Field Cucumber Cultivation Using Life Cycle Assessment in Hamedan-Bahar Plain: A Practical Comparison, *Plant Production Technology*, 25(2), 127-139. <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.31973.2177>  
© 2025 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

## تحلیل جامع اثرات زیست‌محیطی کشت خیار گلخانه‌ای و روباز با استفاده از ارزیابی چرخه

زندگی در دشت همدان - بهار: یک مقایسه عملی

## The Comprehensive Environmental Impact Analysis of Greenhouse and Open-Field Cucumber Cultivation Using Life Cycle Assessment in Hamedan-Bahar Plain: A Practical Comparison

شهرام سلطانیان<sup>۱</sup> و بهداد شدیدی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

(مقاله پژوهشی)

## چکیده

این مطالعه به مقایسه اثرات زیست‌محیطی تولید خیار در دو سیستم کشاورزی گلخانه‌ای و روباز با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) پرداخته است. پژوهش در دشت همدان-بهار انجام شده و با استفاده از داده‌های میدانی محلی، اثرات زیست‌محیطی هر دو سیستم تولید خیار ارزیابی گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که کشت گلخانه‌ای نسبت به کشت روباز مصرف بیشتری از نهاده‌ها و انرژی دارد. به‌طور خاص، مصرف برق در کشت گلخانه‌ای به میزان ۱۰۷۲/۲ کیلووات ساعت در هر تن محصول نسبت به ۳۲۰ کیلووات ساعت در کشت روباز و مصرف سوخت دیزل در کشت گلخانه‌ای ۵/۰۸ لیتر در هر تن محصول نسبت به ۲/۹ لیتر در کشت روباز بیشتر است. همچنین مصرف کود نیتروژن در کشت گلخانه‌ای ۶ کیلوگرم در هر تن محصول نسبت به ۳ کیلوگرم در کشت روباز و مصرف کود دامی در کشت گلخانه‌ای ۹۰۰ کیلوگرم در هر تن محصول نسبت به ۱۵۴ کیلوگرم در کشت روباز بیشتر است. از منظر اثرات زیست‌محیطی، کشت گلخانه‌ای نسبت به کشت روباز تأثیرات بیشتری در زمینه‌های مختلف دارد. به‌طور خاص، شاخص گرم شدن برای یک تن خیار در کشت گلخانه‌ای ۱۱۱ گرم CO<sub>2</sub> معادل نسبت به ۹۵/۱ گرم CO<sub>2</sub> معادل در کشت روباز بوده است. نتایج نشان داد که مصرف بیشتر نهاده‌ها در کشت گلخانه‌ای، از جمله مصرف بالاتر کود نیتروژن و انرژی، باعث افزایش اثرات منفی زیست‌محیطی مانند گرمایش جهانی و تخریب لایه اوزون می‌شود. این مطالعه بر اهمیت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی در گلخانه‌ها تأکید دارد تا مصرف انرژی و اثرات منفی زیست‌محیطی کاهش یابد. همچنین، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و بهینه‌سازی استفاده از منابع می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک کند. در نهایت، این تحقیق نشان می‌دهد که کشت روباز با مصرف کمتر نهاده‌ها، تأثیرات زیست‌محیطی کمتری دارد، ولی بازدهی آن در مقایسه با کشت گلخانه‌ای پایین‌تر است. بنابراین، برای دستیابی به کشاورزی پایدار، ترکیب بهینه‌ای از سیستم‌های کشت مختلف با استفاده از فناوری‌های جدید و منابع انرژی پاک پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، کودهای شیمیایی، اثرات زیست‌محیطی، تخریب لایه اوزون

ارجاع به مقاله: سلطانیان، ش. و شدیدی، ب. (۱۴۰۴). تحلیل جامع اثرات زیست‌محیطی کشت خیار گلخانه‌ای و روباز با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی در

دشت همدان - بهار: یک مقایسه عملی، *مجله فناوری تولیدات گیاهی*، ۲۵(۲)، ۱۲۷-۱۳۹. <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.31973.2177/>

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

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: ۲۴۷۶-۶۳۲۱

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱

۱ و ۲. به ترتیب کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

Email: b.shadidi@basu.ac.ir

\*: نویسنده مسئول

## ۱. مقدمه

تأمین سبزیجات تازه مانند خیار، به‌ویژه در فصولی که شرایط اقلیمی اجازه کشت روباز نمی‌دهد، نقش مهمی در امنیت غذایی، سلامت تغذیه‌ای و اقتصاد کشاورزی منطقه دارد. در ایران و بسیاری از مناطق با اقلیم معتدل یا سرد، استفاده از سیستم‌های گلخانه‌ای به‌عنوان روشی برای تولید خارج از فصل و با بازده بالا رو به افزایش است. با این حال، بهره‌وری صرفاً نباید تنها معیار برای انتخاب روش کشت باشد، زیرا مصرف انرژی، آب، کود، پلاستیک و دیگر نهاده‌ها در گلخانه می‌تواند منجر به آثار زیست محیطی قابل توجهی شود که اگر مدیریت نشود، مزیت تولید خارج از فصل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، ارزیابی جامع زیست محیطی زنجیره تولید خیار، از تأمین نهاده تا برداشت و بسته‌بندی ضروری است تا توان تصمیم‌گیری برای تولید پایدار فراهم شود (Fathelrahman et al., 2025).

ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان خیار در جهان است و طبق گزارش‌های آماری، سالانه بیش از ۱/۶ تا حدود ۱/۸ میلیون تن خیار در کل کشور تولید می‌شود. کشت گلخانه‌ای به دلیل کنترل بهتر شرایط محیطی و کاهش استفاده از منابع طبیعی، می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای افزایش بهره‌وری در کشاورزی پایدار مطرح شود، اما در عین حال ممکن است منجر به مصرف بیشتر انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای گردد. در مقابل، کشت باز، اگرچه ممکن است مصرف منابع انرژی را کاهش دهد، اما می‌تواند موجب افزایش استفاده از نهاده‌هایی مانند سموم و کودهای شیمیایی شود که تأثیرات منفی زیست محیطی دارند (Zarei et al., 2017).

کشاورزی پایدار به معنای استفاده بهینه از منابع طبیعی و کاهش آسیب‌های زیست محیطی است که در نتیجه آن، نه تنها امنیت غذایی تأمین می‌شود، بلکه اثرات منفی بر روی محیط زیست نیز کاهش می‌یابد. در این راستا، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی می‌تواند گامی مهم در راستای ایجاد کشاورزی پایدار باشد (Naman and Kaundal, 2025). سیستم LCA (Life Cycle Assessment) به‌عنوان یک چارچوب تحلیلی استاندارد، این امکان را فراهم می‌کند که تمام مراحل تولید، از تهیه نهاده‌ها تا دورریزی پلاستیک یا پسماند، به‌صورت یکپارچه در

نظر گرفته شود و نقاط بحرانی محیط‌زیستی شناسایی شوند. چنین تحلیلی به‌ویژه زمانی اهمیت می‌یابد که بخواهیم دو روش کشت (گلخانه‌ای و روباز) را با هم مقایسه کرده و تصمیم‌گیری درباره روش مناسب برای یک منطقه مشخص را مبتنی بر داده و پایداری زیست محیطی انجام دهیم (Wang et al., 2018).

در دهه‌های اخیر، بررسی‌های متعددی در زمینه ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید محصولات کشاورزی با استفاده از روش Life Cycle Assessment (LCA) انجام شده است. به‌عنوان نمونه، در یک مطالعه جدید بررسی شد که کشت سبزیجات، از جمله خیار و گوجه‌فرنگی، در سیستم‌های هیدروپونیک بسته، نسبت به سیستم‌های باز در مناطق خشک، ۸-۱۱ درصد اثرات زیست محیطی کمتری داشت. این یافته بر امکان کاهش فشار بر روی منابع طبیعی و بهبود کارایی تولید در شرایط کنترل شده تأکید کرد (Fathelrahman et al., 2025). مطالعه‌ای دیگر روی تولید کاهو در سیستم‌های کشاورزی عمودی (Vertical farming) انجام شد؛ با این که این سیستم‌ها مصرف انرژی نسبتاً بالایی به‌ویژه به دلیل نور مصنوعی و تهویه داشتند اما در برخی شاخص‌ها مانند مصرف آب و کارایی زمین عملکرد بهتری ظاهر شدند. این کار نشان داد که حتی در سیستم‌های پیشرفته و تکنولوژیک نیز امکان کاهش اثرات زیست محیطی وجود دارد، مشروط بر آن که سناریوی استفاده از انرژی بهینه و مناسب انتخاب شود (Cavallo et al., 2025). در یک پژوهش مقایسه‌ای بر روی تولید در گلخانه معمولی و ارگانیک برای محصولات سبزی، اگرچه موضوع اصلی آن گوجه‌فرنگی بود، متدولوژی مشابهی به کار گرفته شد که می‌تواند برای محصولات سبزی دیگر نیز قابل تعمیم باشد. نتایج این بررسی نشان دادند که سیستم‌های ارگانیک گلخانه‌ای می‌توانند تأثیر زیست محیطی قابل توجهی کمتر نسبت به سیستم‌های متداول داشته باشند؛ این امر بر اهمیت انتخاب روش تولید در کاهش اثرات محیطی تأکید کرد (Martin et al., 2024). مطالعات پیشین LCA بر خیار گلخانه‌ای در ایران و جهان نشان داده‌اند که گلخانه علی‌رغم مزایایی مانند تولید خارج از فصل و عملکرد بالا، می‌تواند بار زیست محیطی قابل توجهی ایجاد کند. برای مثال، پژوهش در استان آذربایجان شرقی با استفاده از LCA نشان داد که تولید

## ۲-۱. محدوده مکانی پژوهش

این تحقیق در دشت همدان - بهار، که مساحتی معادل ۲/۴۵۹ کیلومترمربع دارد، انجام شد. از این مساحت، حدود ۳۲/۱۰۰ هکتار به کشاورزی آبی اختصاص دارد و مابقی به کشاورزی دیم اختصاص یافته است. این منطقه به‌عنوان یکی از مناطق عمده تولید محصول خیار در استان همدان شناخته می‌شود (Partelow et al., 2024).

## ۲-۲. توضیحات سیستم کشاورزی

**کشت گلخانه‌ای:** در این سیستم، خیار در یک محیط کنترل شده (گلخانه) کشت می‌شود، جایی که دما، رطوبت و آبیاری تحت نظر قرار دارد (Farvardin et al., 2024). برای جمع‌آوری داده‌ها در این سیستم، ویژگی‌های گلخانه‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها ثبت و مورد تحلیل قرار گرفت.

**کشت در مزرعه باز:** در این سیستم، خیار در فضای باز کشت می‌شود و تحت تأثیر شرایط محیطی طبیعی قرار دارد (Guan et al., 2019). داده‌ها برای این سیستم نیز از طریق نظرسنجی‌ها و مصاحبه‌های میدانی با کشاورزان جمع‌آوری شد.

## ۲-۳. روش جمع‌آوری اطلاعات

**پرسش‌نامه:** برای جمع‌آوری اطلاعات دقیق از کشاورزان و مزرعه‌داران در مورد نحوه کشت، استفاده از نهاده‌ها و دیگر خصوصیات سیستم‌های کشاورزی، پرسش‌نامه‌هایی طراحی و توزیع شد.

**مصاحبه:** مصاحبه‌هایی با کشاورزان به منظور درک دقیق‌تر چالش‌ها و روش‌های اجرایی در کشت هر دو سیستم انجام گرفت.

**مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای:** بررسی مستندات و مقالات علمی مرتبط با ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کشت خیار و دیگر محصولات کشاورزی به‌منظور تکمیل داده‌ها و نتایج تحقیقاتی انجام شد.

**استفاده از پایگاه داده‌ها:** در برخی موارد، اطلاعات مربوط به تولید مواد و مصرف انرژی از پایگاه داده‌ها مانند اکواینونت (Ecoinvent) استخراج گردید.

خیار گلخانه‌ای با استفاده از نهاده‌ها، مصرف انرژی و انتشار آلودگی قابل‌توجه همراه است (ابراهیمی و ضرغامی، ۱۳۹۶). از سوی دیگر، دیدگاه مقایسه‌ای بین کشت گلخانه‌ای و روباز نیز در ادبیات مطرح شده است. در مطالعه‌ای اخیر در چین برای تولید خیار روباز و گلخانه‌ای، نتایج نشان داد که تولید گلخانه‌ای در هر هکتار گازهای گلخانه‌ای بیشتری نسبت به کشت روباز منتشر می‌کند؛ عمده منابع این انتشارها کود شیمیایی (به ویژه نیتروژن) و فیلم‌های پلاستیکی گلخانه است (Chu et al., 2025).

علاوه بر آن، تحلیل تازه‌ای در ۲۰۲۳ در استان تهران نشان داده است که مصرف انرژی در سبزیجات شامل خیار گلخانه‌ای، قابل ملاحظه است و آثار زیست‌محیطی این تولیدات نسبت به برخی محصولات دیگر متفاوت است (Fathi et al., 2019). با این حال، هیچ‌یک از این مطالعات به‌طور خاص به مقایسه هم‌زمان کشت خیار گلخانه‌ای و روباز در منطقه‌ای با شرایط مشابه دشت همدان-بهار با توجه به ویژگی‌های اقلیم، زمین، آب و شیوه مدیریت بومی نپرداخته‌اند. هدف از این پژوهش آن است که با استفاده از روش LCA و داده‌های میدانی محلی برای دشت همدان - بهار، اثرات زیست‌محیطی تولید خیار را در دو سیستم گلخانه‌ای و روباز مقایسه نماید. نوآوری این مطالعه در دو جنبه است: اول، به‌کارگیری LCA در شرایط اقلیمی و مدیریتی خاص منطقه و دوم، مقایسه مستقیم و عملی دو روش کشت بر اساس داده‌های واقعی، که می‌تواند مبنایی برای سیاست‌گذاری کشاورزی پایدار و تصمیم‌گیری کشاورزان منطقه باشد. در نهایت، این مطالعه بر اهمیت بازنگری در الگوهای مصرف نهاده‌ها و به‌کارگیری سیاست‌های حمایتی در راستای کشاورزی پایدار تأکید دارد.

## ۲. مواد و روش‌ها

در این بخش، به بررسی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کشت خیار به دو صورت گلخانه‌ای و کشت روباز با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات پرداخته شده است. این تحقیق به‌منظور شناسایی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید خیار در دو سیستم کشاورزی مذکور در دشت همدان - بهار انجام شده است.

## ۴-۲. روش ارزیابی چرخه حیات

**مراحل LCA:** ارزیابی چرخه حیات به‌عنوان روشی جامع برای شبیه‌سازی اثرات زیست‌محیطی در تمامی مراحل تولید خیار از استخراج منابع اولیه تا مدیریت پس از مصرف و دفع پسماندها استفاده شد.

**تحلیل موجودی چرخه حیات:** داده‌های مربوط به ورودی‌ها (نهادها، سوخت‌ها، انرژی‌ها) و خروجی‌ها (انتشارات  $CO_2$ ،  $NO_x$  و دیگر آلودگی‌ها) از سیستم‌های کشاورزی جمع‌آوری و در نرم‌افزار SIMAPRO مدل‌سازی شد.

**ارزیابی اثرات زیست‌محیطی:** شاخص‌های زیست‌محیطی مختلف مانند پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)، اکسیداسیون ازن، اسیدification و دیگر شاخص‌ها برای هر دو سیستم کشاورزی محاسبه گردید.

## ۲-۵. نرم‌افزارهای مورد استفاده

**سیماپرو (SIMAPRO):** برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های چرخه حیات از نرم‌افزار SIMAPRO استفاده شد. این ابزار به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در بسیاری از کشورهای جهان به‌کار می‌رود.

**داده‌های ورودی:** از پایگاه داده‌های موجود در این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی اثرات ناشی از مصرف انرژی، استفاده از کودهای شیمیایی، سوخت‌های فسیلی و ماشین‌آلات کشاورزی بهره برده شد.

## ۲-۶. تعریف هدف و محدوده مطالعه

محدوده این تحقیق شامل فرآیندهای کشاورزی از مرحله آماده‌سازی زمین تا برداشت محصول می‌باشد. در این تحقیق، اثرات زیست‌محیطی تنها در داخل محدوده مزرعه و گلخانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و مراحل بعدی همچون حمل و نقل محصول به خارج از مزرعه در نظر گرفته نشد.

## ۲-۷. ورودی‌ها و خروجی‌ها

**ورودی‌ها:** ورودی‌ها شامل کودهای شیمیایی (کود نیتروژن، فسفات، پتاس)، ماشین‌آلات کشاورزی (تراکتور و ادوات

کشاورزی)، سوخت‌ها (سوخت دیزل و انرژی الکتریکی) و مواد اولیه مصرفی برای گلخانه‌ها و مزارع روباز هستند. **خروجی‌ها:** خروجی‌ها شامل تولید گازهای گلخانه‌ای ( $CO_2$ ، متان، نیتروژن اکسید)، آلودگی‌های آبریزان، و اثرات دیگر زیست‌محیطی مرتبط با کشاورزی می‌باشند.

## ۲-۸. بررسی اثرات زیست‌محیطی

تحلیل اثرات زیست‌محیطی براساس معیارهای مختلف مانند گرم شدن کره زمین و تخریب لایه اوزون انجام شد. این بررسی‌ها به‌منظور شناسایی نقاط بحرانی در فرآیندهای تولید و ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف منابع و کاهش اثرات زیست‌محیطی صورت گرفت. در این تحقیق، مرز سیستم ارزیابی چرخه حیات (LCA) شامل مراحل تولید خیار از آماده‌سازی زمین تا برداشت محصول بود. به عبارت دیگر، تنها اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهادها و تولید محصول در داخل مزرعه و گلخانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. با این حال، برای تکمیل تحلیل موجودی چرخه حیات (LCI) و شبیه‌سازی اثرات زیست‌محیطی فرآیندهای غیرمستقیم، داده‌هایی از پایگاه داده‌های موجود مانند اکواینونت (Ecoinvent) و پایگاه داده مواد غذایی DK (LCI Food DK) وارد شده‌اند. این موارد شامل:

۱. پلاستیک گلخانه: که به‌عنوان ورودی در سیستم‌های گلخانه‌ای وارد شده است.
۲. تولید کود: که اطلاعات آن از دیتابیس‌های موجود در نرم‌افزار سیماپرو استخراج شده است.
۳. تولید برق و سوخت: که از پایگاه داده‌های مربوطه برای ارزیابی اثرات ناشی از مصرف انرژی استفاده شده است.
۴. مدیریت پسماند فیلم پلاستیکی: که از طریق داده‌های موجود در پایگاه داده‌ها شبیه‌سازی شده است.
۵. نشت نیتروژن ( $NO_3$  leaching): که اطلاعات آن از دیتابیس‌های LCI وارد شده است.

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

Inputs	Open field	Greenhouse
Diesel fuel (L)	2.9	5.08
Electricity (kWh)	320	1072.2
Pesticides (kg)	0.25	0.44
N-based fertilizers (kg)	3	6
K-based fertilizers (kg)	2.5	8
P-based fertilizers (kg)	2.2	6
Farmyard manure (kg)	154	900
Natural gas (m <sup>3</sup> )	-	21.5
Plastic (kg)	0.01	0.78

اکواینوت و ال سی ای فود دی کی (LCA Food DK) استخراج شد. پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه، از نرم‌افزار SIMAPRO برای تحلیل آن‌ها استفاده گردید. داده‌های اولیه مرتبط با خیار در سیستم‌های کشت روباز و گلخانه‌ای در جدول ۱ ارائه شده است.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. مقایسه مصرف نهاده‌ها در کشت روباز و گلخانه‌ای

در این تحقیق، نهاده‌های مختلف مصرفی در دو نوع کشت خیار (روباز و گلخانه‌ای) بررسی شد. این نهاده‌ها شامل کودهای شیمیایی، سموم، سوخت، انرژی، نیروی انسانی، ماشین‌آلات و دیگر منابع مصرفی هستند. جدول ۲، نهاده‌های ورودی در کشت روباز و گلخانه‌ای را نشان می‌دهد. بررسی این داده‌ها حاکی از تفاوت‌های چشمگیر در مصرف برخی نهاده‌ها بین دو نوع کشت است. برای مقایسه این نتایج با سایر پژوهش‌ها، در یک مطالعه مشابه، مصرف انرژی و کود در سیستم‌های گلخانه‌ای برای تولید محصولات دیگر مانند گوجه‌فرنگی و کاهو نیز به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از کشت روباز گزارش شده است (Karami et al., 2020). این یافته‌ها نشان‌دهنده الگوی مشابهی در مصرف نهاده‌ها در کشت‌های گلخانه‌ای است که علاوه بر خیار، در دیگر محصولات نیز مشاهده می‌شود. به‌طور خاص، در پژوهشی بر روی کشت گوجه‌فرنگی در گلخانه‌ها، مصرف انرژی برای تأمین گرمایش و نور مصنوعی در گلخانه‌ها بیش از ۲ برابر بیشتر از کشت فضای باز بود (De et al., 2017). همچنین، در تحقیق دیگری روی کشت گلخانه‌ای کاهو، استفاده از کودهای نیتروژن در گلخانه‌ها حدود ۱/۵ برابر بیشتر از کشت روباز گزارش شد (Fathelrahman et al., 2025). این مقایسه‌ها به‌طور کلی تأکید

این فرایندها از آنجا که جزو ورودی‌های غیرمستقیم هستند، از پایگاه‌های داده معتبر برای تکمیل تحلیل استفاده گردیدند تا تحلیل دقیق‌تری از اثرات زیست‌محیطی کلیه مراحل چرخه زندگی محصول به دست آید.

#### ۲-۹. حجم و روش نمونه‌گیری

حجم نمونه به‌صورت تصادفی از میان کشاورزان انتخاب شد تا داده‌ها نمایانگر وضعیت واقعی دو سیستم کشاورزی در منطقه باشد. روش‌های آماری برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه نتایج در دو سیستم کشاورزی به‌کار گرفته شد. در این تحقیق، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون‌های آماری مقایسه‌ای استفاده شد. برای مقایسه تفاوت‌ها میان دو سیستم کشاورزی (گلخانه‌ای و روباز)، از آزمون t-Student برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید. این آزمون برای ارزیابی اختلافات معنی‌دار در مصرف نهاده‌ها و اثرات زیست‌محیطی مانند میزان استفاده از کودهای شیمیایی، سوخت و انرژی در دو سیستم کشاورزی به‌کار گرفته شد.

#### ۲-۱۰. موجودی چرخه حیات

تحلیل فهرست چرخه حیات شامل بررسی دقیق تمام ورودی‌های محیطی (مواد و انرژی) و خروجی‌ها (انتشار گازها، آب و خاک) در هر مرحله از چرخه عمر محصول است (Falsafi et al., 2025). برای تکمیل این فهرست، از دو مجموعه داده مختلف استفاده شد. داده‌های مربوط به سیستم پیش‌زمینه از طریق پرسش‌نامه‌های چهره به چهره و با استفاده از روش‌های واقعی مزرعه جمع‌آوری گردید. همچنین، اطلاعات مرتبط با سیستم پس‌زمینه، مانند تولید کودها، آفت‌کش‌ها، برق، حمل‌ونقل و سایر موارد، از پایگاه داده‌های

سلطانیان و شدیدی: تحلیل جامع اثرات زیست محیطی کشت خیار...

بر تأثیرات بالاتر مصرف نهاده‌ها در سیستم‌های گلخانه‌ای در مقایسه با سیستم‌های روباز دارند و نتایج مشابهی را در محصولات مختلف تأیید می‌کنند.

Table 2: Inputs in open field and greenhouse cultivation per ton of cucumber

Inputs	Units	Open field	Greenhouse
Nitrogen fertilizer	kg	3	6
Potash fertilizer	kg	2.5	8
Phosphorus fertilizer	kg	2.2	6
Pesticide	kg	0.25	0.44
Herbicide	kg	0.3	0.45
Fungicide	kg	0.2	0.35
Manpower	kg	26.18	23.8
Pump	H	0.015	0.015
Machinery	kg	0.35	4
Manure	kg	154	900
Amino acid fertilizer	kg	1	0.7
Sulfur fertilizer	kg	25	8.2
Electricity	kWh	320	1072.2
Diesel fuel	L	2.9	1.63

می‌تواند تأثیرات منفی بیشتری بر محیط زیست داشته باشد.

### ۲-۳. بررسی پارامترهای زیست محیطی

در این بخش، اثرات زیست محیطی ناشی از کشت خیار در دو نوع کشت روباز و کشت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که هر دو نوع کشت تأثیرات قابل توجهی بر محیط زیست دارند، اما اثرات در کشت گلخانه‌ای به دلیل مصرف بیشتر نهاده‌ها و انرژی، بیشتر است.

در ادامه به بررسی این اثرات زیست محیطی پرداخته می‌شود.

کشت روباز، که به شرایط محیطی باز وابسته است، از نظر مصرف سوخت دیزل و کودهای شیمیایی دارای تأثیرات محیطی چشمگیری است. در این روش، مصرف سوخت دیزل بیشترین سهم را در اثرات زیست محیطی دارد. جدول ۳، شاخص‌های زیست محیطی در کشت روباز و گلخانه‌ای را نشان می‌دهد.

بر اساس داده‌های جدول ۲، می‌توان نتیجه گرفت که کشت گلخانه‌ای به طور کلی مصرف بیشتری از نهاده‌ها به‌ویژه کودهای شیمیایی و انرژی (برق) دارد. به‌طور خاص، مصرف کود نیتروژن در کشت گلخانه‌ای دو برابر بیشتر از کشت روباز است و همچنین مصرف برق در کشت گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی بیشتر است. از طرف دیگر، مصرف کود دامی در کشت گلخانه‌ای به طرز چشمگیری بیشتر از کشت روباز است که نشان‌دهنده نیاز به منابع بیشتر برای حفظ شرایط مطلوب رشد در محیط کنترل شده گلخانه‌ای است.

مصرف بیشتر نهاده‌ها در کشت گلخانه‌ای نشان‌دهنده اثرات محیطی بالقوه بیشتر در این روش است. اگرچه کشت گلخانه‌ای مزایای زیادی مانند کنترل بهتر شرایط محیطی و افزایش عملکرد دارد، اما نیاز بیشتر به انرژی و نهاده‌های شیمیایی می‌تواند منجر به افزایش آلودگی محیط زیست شود. همچنین مصرف بیشتر کود نیتروژن در کشت گلخانه‌ای

Table 3: Comparison of impact categories of the production of one ton of cucumber in open field and greenhouse cultivation

Impact categories	Units	Open field	Greenhouse
Carcinogens	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> cl eq	0.259	1.07
Non-carcinogens	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> cl eq	0.413	0.836
Respiratory inorganics	PM2.5 eq	0.019	0.0313
Ionizing radiation	C-14 eq	245.39	338.6
Ozone layer depletion	CFC-11 eq	4.18e-6	7.4e-6
Respiratory organics	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	0.0094	0.0172
Aquatic ecotoxicity	TEG water	2278.71	4263.16
Terrestrial ecotoxicity	TEG soil	439.6	595.54
Terrestrial acid/nutri	SO <sub>2</sub> eq	0.351	0.566
Land occupation	Org.arable	0.734	0.762
Aquatic acidification	SO <sub>2</sub> eq	0.143	0.245
Aquatic eutrophication	PO <sub>4</sub> P-lim	0.00325	0.00463
Global warming	CO <sub>2</sub> eq	95.1	111
Non-renewable energy	Primary	605.5	1316.7
Mineral extraction	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> cl eq	0.626	0.795

تخریب لایه ازن می‌شود. درحالی‌که در کشت روباز، مصرف نهاده‌ها و اثرات زیست‌محیطی نسبت به گلخانه‌ای به مراتب کمتر است. این تفاوت عمدتاً به دلیل نیاز به انرژی بیشتر و مصرف کودهای شیمیایی در گلخانه‌ها است.

با توجه به نتایج جدول‌ها، کشت گلخانه‌ای به‌رغم بهره‌وری بالاتر، تأثیرات زیست‌محیطی بیشتری دارد. مصرف بیشتر کودهای شیمیایی، سوخت دیزل و انرژی در گلخانه‌ها باعث ایجاد آلودگی بیشتر در محیط زیست می‌شود. به ویژه، تأثیرات مربوط به سمیت زیست‌محیطی آبزیان و گرمایش جهانی در کشت گلخانه‌ای به‌وضوح بیشتر از کشت روباز است. این نتایج تأکید می‌کند که در کشت گلخانه‌ای، برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، باید انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی استفاده شود و مصرف کودهای نیتروژنی کاهش یابد.

در مقابل، کشت روباز با مصرف کمتر نهاده‌ها، تأثیرات زیست‌محیطی کمتری دارد، اما بازده محصول کمتری نسبت به گلخانه‌ای ارائه می‌دهد. این امر نشان می‌دهد که در حالی که کشت گلخانه‌ای ممکن است بازده بیشتری به همراه داشته باشد، اثرات زیست‌محیطی آن بیشتر است و باید برای بهبود آن به‌دنبال راهکارهایی مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش مصرف نهاده‌ها بود.

در این بخش، به بررسی چند پارامتر کلیدی زیست‌محیطی که بر اثرات تولید خیار در کشت گلخانه‌ای و روباز تأثیرگذارند، پرداخته می‌شود. این پارامترها شامل سمیت

در کشت روباز، سمیت زیست‌محیطی آبزیان بیشترین سهم را در تأثیرات زیست‌محیطی دارد که ناشی از استفاده بیشتر از آفت‌کش‌ها و سوخت دیزل در این روش می‌باشد. این پارامتر نشان‌دهنده تهدیدات ناشی از آلودگی آب‌های سطحی است. این یافته‌ها تأکید می‌کند که مصرف بیش از حد سوخت دیزل برای عملیات کشاورزی در کشت روباز، به‌ویژه در مناطق وسیع، می‌تواند بر آلودگی محیط زیست و کاهش کیفیت آب تأثیرگذار باشد.

کشت گلخانه‌ای به‌دلیل کنترل دقیق‌تر شرایط محیطی و نیاز به منابع بیشتر مانند کودها و انرژی، تأثیرات بیشتری بر محیط زیست دارد. در کشت گلخانه‌ای، سمیت زیست‌محیطی آبزیان و گرمایش جهانی بیشترین تأثیرات زیست‌محیطی را نشان می‌دهند. این امر عمدتاً به‌دلیل استفاده بیشتر از کودهای نیتروژن، سوخت دیزل و برق برای تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها است. مصرف بالای انرژی در این روش باعث افزایش آلاینده‌های گلخانه‌ای مانند CO<sub>2</sub> می‌شود. این نتایج با مطالعات مشابه در زمینه کشاورزی گلخانه‌ای همخوانی دارد، که نشان می‌دهد گلخانه‌ها، با وجود بهره‌وری بالاتر، نیاز به نهاده‌های بیشتری دارند که این خود موجب افزایش اثرات منفی زیست‌محیطی می‌شود.

با توجه به جدول ۳، به‌وضوح مشاهده می‌شود که کشت گلخانه‌ای نسبت به کشت روباز تأثیرات زیست‌محیطی بیشتری دارد. مصرف بالاتر کود نیتروژن و سوخت دیزل در گلخانه‌ها موجب افزایش اثرات زیست‌محیطی مانند گرمایش جهانی و

سلطانیان و شدیدی: تحلیل جامع اثرات زیست محیطی کشت خیار...

زیست محیطی آبیان، تخریب لایه اوزون، اوتریفیکاسیون آبیان، اسیدی شدن آب، و اثرات گرمایش جهانی هستند.

### ۳-۲-۱. سمیت زیست محیطی آبیان

طبق شکل های ۱ و ۲، در کشت روباز بیشترین سهم این شاخص مربوط به سوخت دیزل و در کشت گلخانه ای بیشترین سهم متعلق به کود نیتروژن بود. این نشان می دهد که انتشار آلاینده های سمی به آب و خاک، از طریق سوخت و کود، در هر دو سیستم وجود دارد، اما ماهیت و منبع غالب متفاوت است. یافته این پژوهش با کلیت ادبیات در این زمینه همخوانی دارد؛ به عنوان مثال، در بررسی های LCA برای محصولات گلخانه ای و روباز، اغلب کود و سوخت (بوژه سوخت فسیلی) به عنوان نقاط بحرانی در شاخص هایی مانند سمیت آبیان شناسایی شده اند (Mousavi et al., 2018). به ویژه، پژوهشی روی گوجه فرنگی نشان داده است که در کشت گلخانه ای به دلیل مصرف بالاتر کود و انرژی، سمیت آب بیشتر است (Karami et al., 2020).

### ۳-۲-۲. تخریب لایه اوزون

بر اساس محاسبات، تخریب لایه اوزون (برای یک تن خیار) در کشت روباز  $4.18E-06$  میلی گرم CFC-11 eq و در کشت گلخانه ای  $7.48E-06$  میلی گرم CFC-11 eq بود. سهم اصلی در کشت روباز مربوط به سوخت دیزل و در کشت گلخانه ای مربوط به آمینواسید است (شکل های ۱ و ۲). این نتایج نیز با مطالعات مشابه مطابقت دارد؛ برای مثال، در پژوهشی روی تولید گوجه فرنگی در منطقه مدیترانه مشاهده شد که سوخت دیزل سهم عمده در شاخص تخریب لایه اوزون داشت (De et al., 2017).

این همسو بودن نشان دهنده این است که حتی در میان محصولات مختلف (خیار، گوجه) و شرایط متفاوت (گلخانه و روباز) سوخت فسیلی و نه لزوماً کود یا سیستم گلخانه، می تواند تأثیر اصلی بر لایه اوزون داشته باشد. بنابراین، در پیشنهاد های مدیریتی می توان به جای صرفاً کاهش کود، روی سوخت پاک تر (یا ماشین آلات با کارایی بالاتر) یا جایگزینی انرژی متمرکز شد (Rahmani et al., 2019).

### ۳-۲-۳. اوتریفیکاسیون آبیان

پتانسیل اوتریفیکاسیون (بر مبنای معادل  $PO_4$ ) برای کشت روباز  $0.00325$  گرم و برای کشت گلخانه ای  $0.00663$  گرم گزارش شده است (جدول ۳). در هر دو سیستم، مطابق شکل های ۱ و ۲ سهم عمده این شاخص مربوط به مصرف سوخت دیزل است. این روند کمابیش با برخی نتایج در ادبیات مطابقت دارد؛ برای مثال، مطالعات LCA اخیر نشان داده اند که در بسیاری از محصولات گلخانه ای و روباز، کود (به خصوص نیتروژن) و سوخت فسیلی نقش مهمی در آلودگی آب و اوتریفیکاسیون دارند (Zhang et al., 2016). با این حال، نسبت بالاتر شاخص در گلخانه (نسبت به روباز) در این پژوهش تأکید می کند که شاید مدیریت زهکشی، کوددهی، یا آبیاری در گلخانه باید بازبینی شود، چون گلخانه ها به کوددهی و انرژی بیشتری نیاز دارند (Roush et al., 2020).

### ۳-۲-۴. گرمایش جهانی (تغییر اقلیم)

مطابق جدول ۳، شاخص گرم شدن جهانی برای یک تن محصول خیار برابر با  $95/1$  گرم  $CO_2$ -eq در کشت روباز و  $111$  گرم  $CO_2$ -eq در کشت گلخانه ای است. بیشترین سهم در کشت روباز به قارچ کش ها و در کشت گلخانه ای، تأثیرات زیست محیطی بیشتر از مصرف انرژی و کود نیتروژن ناشی می شود و آمینواسید تأثیر قابل توجهی ندارد (شکل های ۱ و ۲). تأثیر بسیار بالاتر گلخانه بر گرمایش جهانی به دلیل مصرف انرژی و نهاده های شیمیایی بیشتر با یافته های چند پژوهش دیگر همخوانی دارد. برای مثال، در مطالعه ای روی گیاهان زراعی چین، تولید گلخانه ای سبزیجات منجر به گاهی زیاد شدن انتشار گازهای گلخانه ای شد، به ویژه وقتی کود نیتروژن و انرژی برق زیاد مصرف شود (De et al., 2017). این نکته تأکید می کند که مصرف بالای انرژی و کود می تواند باعث کاهش مزایای تولید پایدار محصولات گلخانه ای شود، لذا استفاده از انرژی های تجدیدپذیر (مثل انرژی خورشیدی) یا کاهش مصرف انرژی، می تواند کمک شایانی به کاهش اثرات گرمایش جهانی داشته باشد.

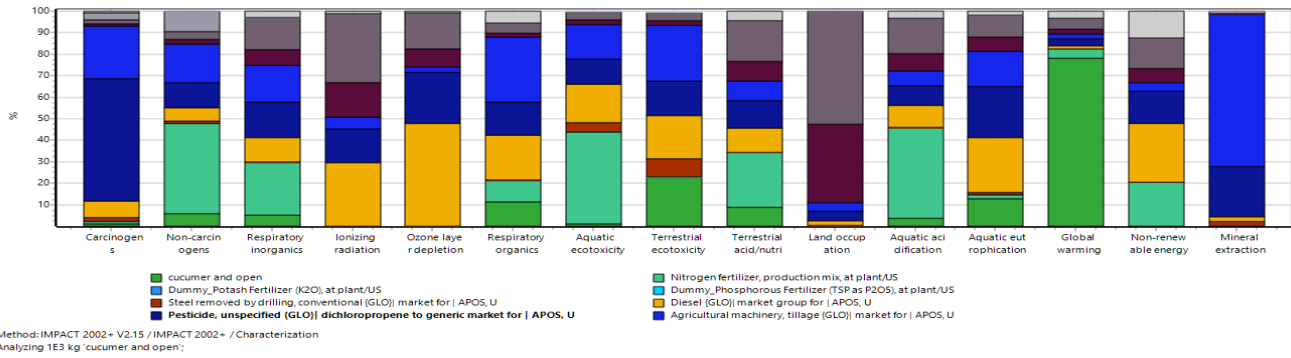


Fig. 1: The role of inputs in the amount of impact categories in open field cultivation

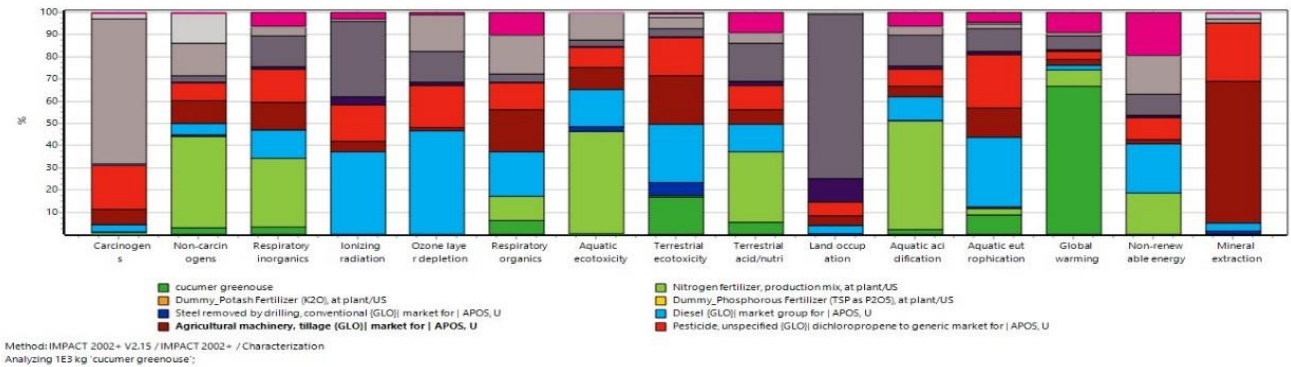


Fig. 2: The role of inputs in the amount of impact categories in greenhouse cultivation

زیست محیطی زمینی، اسید زمینی، تصرف زمین، اسیدی شدن آب، اوتریفیکاسیون آبزیان، گرم شدن کره زمین، انرژی های تجدیدناپذیر و استخراج مواد معدنی تنفس درکشت گلخانه ای بیشتر از کشت روباز می باشد.

باتوجه به شکل ۳، مشخص گردید که در همگی شاخص های زیست محیطی مواد سرطانزا، غیرسرطانزا، مواد معدنی تنفسی، اشعه آنالیز کننده، تخریب لایه اوزون، مواد آلی تنفسی، سمیت زیست محیطی آبزیان، سمیت

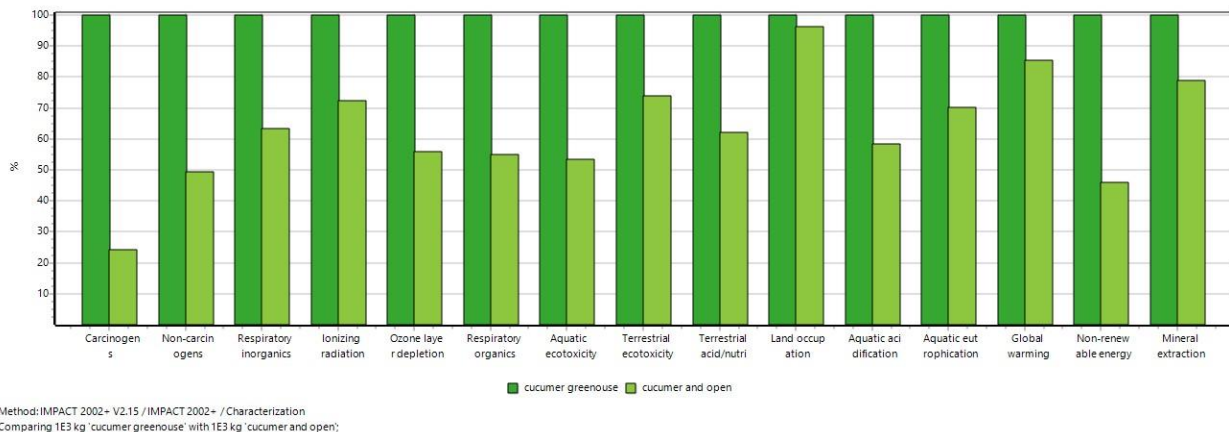


Fig. 3: Comparing impact categories of open field and greenhouse cultivation in tomato production

بالای انرژی و کودهای شیمیایی، تأثیرات منفی زیست محیطی قابل توجهی دارد؛ بنابراین، توقف کشت گلخانه ای به طور کامل به دلیل نیاز به تأمین امنیت غذایی و رشد اقتصادی ممکن نیست. نتایج این تحقیق نشان می دهد که کشت گلخانه ای

#### ۴. نتیجه گیری

استفاده از کشت گلخانه ای در شرایط امروزی به دلیل مزایای متعددی همچون افزایش بهره وری و تولید خارج از فصل، گریزناپذیر است. با این حال، کشت گلخانه ای به دلیل مصرف

علی‌رغم بهره‌وری بالاتر، تأثیرات زیست‌محیطی بیشتری نسبت به کشت روباز دارد. این تفاوت عمدتاً به دلیل مصرف بیشتر نهاده‌ها و انرژی در سیستم گلخانه‌ای است. کشت گلخانه‌ای به‌طور قابل‌توجهی مصرف بیشتری از منابع انرژی، کودهای شیمیایی و پلاستیک دارد، که این موارد باعث افزایش اثرات منفی زیست‌محیطی آن می‌شود. در این تحقیق، به‌منظور کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی کشت گلخانه‌ای، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی پیشنهاد شده است. با این حال، در این مطالعه از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌طور عملی استفاده نشده است و این پیشنهادات به‌عنوان راهکارهای آتی برای بهبود پایداری گلخانه‌ها مطرح گردیده است. بر اساس داده‌ها، مصرف برق در کشت گلخانه‌ای به میزان  $1072/2$  کیلووات ساعت در هر تن محصول است که تقریباً  $3/3$  برابر بیشتر از کشت روباز است که مصرف برق آن  $320$  کیلووات ساعت در هر تن محصول است. این افزایش در مصرف انرژی، به‌ویژه در زمینه گرمایش و تهویه گلخانه‌ها، تأثیرات زیست‌محیطی قابل‌توجهی از جمله افزایش گازهای گلخانه‌ای ( $CO_2$ ) و آلاینده‌های دیگر را به همراه دارد. در زمینه مصرف کود، نتایج نشان داد که مصرف کود نیتروژن در کشت گلخانه‌ای  $6$  کیلوگرم در هر تن محصول است که دو برابر بیشتر از کشت روباز با مصرف  $3$  کیلوگرم در هر تن محصول است. همین‌طور مصرف کود دامی در کشت گلخانه‌ای به میزان  $900$  کیلوگرم در هر تن محصول است که بیش از  $5$  برابر بیشتر از مصرف کود دامی در کشت روباز ( $154$  کیلوگرم در هر تن محصول) می‌باشد. این افزایش مصرف کود در کشت گلخانه‌ای، علاوه بر نیاز به انرژی بیشتر، منجر به افزایش آلودگی‌های محیطی، به‌ویژه در زمینه‌های تغییرات اقلیمی و تخریب لایه اوزون می‌شود. از منظر اثرات زیست‌محیطی، شاخص‌های گرمایش جهانی و تخریب لایه اوزون در کشت گلخانه‌ای به میزان قابل‌توجهی بیشتر از کشت روباز است. به‌طور خاص، پتانسیل گرم شدن جهانی (**Global Warming Potential**) برای یک تن محصول خیار در کشت گلخانه‌ای  $111$  گرم  $CO_2$  معادل است، که

نسبت به  $95/1$  گرم  $CO_2$  معادل در کشت روباز است. این نتایج تأکید می‌کنند که برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی در کشت گلخانه‌ای، باید به بهینه‌سازی مصرف انرژی توجه ویژه‌ای شود. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و به‌کارگیری تکنیک‌های نوین در مدیریت انرژی می‌تواند به کاهش قابل‌توجه اثرات زیست‌محیطی کمک کند. همچنین، کاهش مصرف کودهای شیمیایی، به‌ویژه کودهای نیتروژنی، می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش آلودگی‌های محیطی داشته باشد. در مقابل، کشت روباز با مصرف کمتر نهاده‌ها و انرژی، تأثیرات زیست‌محیطی کمتری دارد، اما بازده آن در مقایسه با گلخانه‌ای پایین‌تر است. مصرف سوخت دیزل در کشت روباز بیشترین سهم را در اثرات زیست‌محیطی دارد و می‌تواند منجر به آلودگی هوا و کاهش کیفیت آب‌های سطحی شود. به‌ویژه، آلودگی‌های ناشی از سوخت دیزل در این روش می‌تواند به تخریب منابع آبی و تهدیدات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی آب‌های سطحی منجر شود. در نهایت، این تحقیق بر لزوم استفاده از فناوری‌های جدید و منابع انرژی پاک در کشاورزی تأکید دارد. برای دستیابی به کشاورزی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی، بهینه‌سازی مصرف منابع و نهاده‌ها و همچنین استفاده از سیستم‌های کشت متنوع و تطبیق‌پذیر با شرایط اقلیمی مختلف ضروری است. کشت گلخانه‌ای می‌تواند به‌عنوان یک راهکار پایدار در کشاورزی در نظر گرفته شود، به شرط آنکه از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شده و مصرف نهاده‌ها بهینه گردد. بنابراین، تحقیقات آینده می‌تواند به بررسی پیاده‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در گلخانه‌ها و ارزیابی اثرات آن بر کاهش اثرات زیست‌محیطی این سیستم‌ها اختصاص یابد. در کنار آن، بهبود روش‌های کشت روباز با کاهش مصرف نهاده‌ها و افزایش بازده محصول می‌تواند راهگشای دستیابی به اهداف پایداری در کشاورزی باشد. این تحقیق همچنین به سیاست‌گذاران کشاورزی و کشاورزان پیشنهاد می‌دهد که به منظور حفظ منابع طبیعی و کاهش اثرات زیست‌محیطی، از ترکیب روش‌های کشاورزی مختلف استفاده کنند و از تکنولوژی‌های جدید بهره‌برداری نمایند.

- Cavallo, A. C., Parkes, M., Teixeira, R. F. M. and Righi, S. (2025). Life Cycle Assessment of Land Use Trade-Offs in Indoor Vertical Farming. *Applied Sciences*, 15(15), 8429. <https://doi.org/10.3390/app15158429>.
- Chu, X., Huang, H., Liu, Q., and Zhang, J. (2025). Comparative Life Cycle Assessment of open-field and greenhouse cucumber production. *Sustainability*, 11(5), 1124-1135.
- De, M., Singh, R., Chandra, S. and Kumar, A. (2017). Environmental Impact of Greenhouse and Open-field Production: A Comparative Life Cycle Assessment. *Journal of Agricultural Science*, 26(3), 123-134.
- Ebrahimi Sarindizaj, E. and 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).
- Falsafi, A., Togiani, A., Colley, A., Varis, J. and Horttanainen, M. (2025). Life cycle assessment in circular design process: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 521, 146188.
- Farvardin, M., Taki, M., Gorjian, S., Shabani, E. and Sosa-Savedra, J. C. (2024). Assessing the Physical and Environmental Aspects of Greenhouse Cultivation: A Comprehensive Review of Conventional and Hydroponic Methods. *Sustainability*, 16(3), 1273.
- Fathelrahman, E. et al. (2025). Life cycle assessment of open and closed hydroponic systems for vegetable tomato and cucumber production in arid lands. *Journal of Cleaner Production*.
- Fathi, M., Rahmani, F., Mohammadi, F. and Hassani, S. (2019). Greenhouse gas emissions in agricultural production. *Environmental Science and Technology*, 43(3), 44-52.
- Guan, W., Maynard, E. T., Aly, B., Zakes, J. and Egel, D. S. (2019). Parthenocarpic cucumber cultivar evaluation in high-tunnel production. *HortTechnology*, 29(5), 634-642.
- Karami, M., Zarei, M. J., Akhlaghi, M. and Mohammadi, F. (2020). Environmental footprint of greenhouse tomato production. *Science of the Total Environment*, 707, 135464.
- Martin, M., et al. (2024). Environmental life cycle assessment of greenhouse tomato production: conventional vs organic systems. *Scientific Reports*.
- Mousavi, Z. et al. (2018). Life cycle assessment of agricultural practices. *Sustainable Agriculture*, 34(6), 1287-1302.
- Naman, Y. and Kaundal, M. (2025). Renewable energy integration in agriculture, food security and allied sectors. *Journal of Scientific Research and Reports*, 31(7), 1083-1098.
- Partelow, S., Dehghani, M., and Nabavi, S. (2024). Indicator assessment of groundwater resource sustainability in Hamedan-Bahar plain. *Environmental Science and Technology*, 58(3), 213-221.
- Rahmani, M., et al. (2019). Sustainable practices in greenhouse farming: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 39(4), 215-229.
- Roush, M. et al. (2020). Energy use and emission profiles in agricultural greenhouse operations. *Environmental Management*, 72(3), 481-495.
- Wang, F., Zhang, L., Xu, X., Li, X. and Yang, T. (2018). Environmental impacts of greenhouse and conventional cucumber cultivation in China. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 33(6), 636-647.
- Zarei, M. et al. (2017). Impact of pesticides and fertilizers in open-field vs. greenhouse production systems. *Agricultural Environmental Research*, 5(2), 93-102.
- Zarei, M. J., Kazemi, N. and 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*. DOI:10.1016/j.jssas.2017.07.001
- Zhang, Y. et al. (2016). Effects of fertilizer use on global warming potential in greenhouses. *Agricultural Systems*, 148, 55-63.