



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.95720.1119>

Environmental Assessment of Crops for Lentil (*Lens culinaris*)-Based Rotations: Identifying the Most Sustainable Options

Hamdollah Eskandari^{1*}, Seyed Nader Mosavian¹

Received: 30 September 2025

Revised: 11 November 2025

Accepted: 29 November 2025

Available Online: 29

November 2025

Cite this article:

Eskandari, H., & Mosavian, S. N. (2025). Environmental assessment of crops for lentil (*Lens culinaris*)-based rotations: Identifying the most sustainable options. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(1), 349-359. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.95720.1119>

Introduction

Lentil (*Lens culinaris*), as one of the oldest cultivated legumes in the world, holds a special position in ensuring food security and maintaining the sustainability of agricultural systems, particularly under dry and semi-arid conditions. The reduction of biodiversity in continuous monocrop systems have numerous negative effects on production factors, including soil, water, and the overall agro-ecosystem. Therefore, adopting appropriate crop rotations is essential to reduce the disadvantages of continuous cropping to achieve sustainable production. Lentil, due to its ability to biologically fix atmospheric nitrogen, not only requires less nitrogen fertilizer but also improves soil fertility for subsequent crops. However, the placement of lentil in a suitable crop rotation is equally important for lentil itself, since preceding crops influence weed populations, disease incidence, residual soil moisture, and soil structure, all of which affect lentil growth and productivity. Intensive farming and monocropping systems have imposed significant environmental costs with direct impacts on the health of natural ecosystems. This highlights the importance of considering environmental aspects in crop production. In other words, crop production systems should aim to maintain optimal yields while minimizing environmental burdens. Based on previous studies, crops such as wheat, rapeseed, rye, maize, potato, and barley have been suggested as potential candidates for inclusion in lentil-based rotations. However, these recommendations have mainly focused on their effects on grain yield, while the possible environmental impacts of growing these crops have not been considered. Accordingly, the present study was conducted to compare the environmental impacts of the proposed rotation crops with lentil and to identify those with the lowest negative impacts on the environment. The aim is to design sustainable lentil crop rotation programs that ensure desirable grain yields while minimizing the environmental footprint of this important food crop.

Materials and Methods

To compare the environmental impacts of seven alternative crop rotations with lentil (including wheat, barley, rye, maize, rapeseed, potato, and chickpea), SimaPro software (version 9.5) was employed. Each crop was defined as an independent process within the software environment, and data related to inputs, yields, and transportation were extracted from the Ecoinvent database using the allocation approach. This database is recognized as the most comprehensive global reference for life cycle assessment studies, providing global average values that enable comparability of results with international studies. Moreover, it saves time and costs while providing access to data that are otherwise very difficult to measure in the field. For environmental impact assessment, the ReCiPe 2016 Endpoint (v1.08) method was applied. This method aggregates a wide range of impacts into three endpoint categories: human health, ecosystem quality, and resource consumption. Such aggregation facilitates easier interpretation of results and decision-making while offering a comprehensive and integrated view of environmental performance. To quantitatively compare the impacts of each rotation option, the data were processed using the relative normalization method. In this method, the impact value of each crop within a category is expressed as a percentage relative to the highest value in that category. This provides a clear visual way to identify alternatives with the highest and lowest environmental impacts. Finally, an inventory of emissions and the impact values of each crop across the three categories was compiled, forming the basis for selecting the most sustainable lentil rotation option.

Results and Discussion

Except for the effect of rye on water consumption in dryland ecosystems (which was negative), the impacts of other crops (as well as the other categories for rye) were positive. The negative value associated with rye cultivation indicates an

1- Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

* Corresponding Author: eskandari@pnu.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

overall favorable effect of this crop in terms of water use, as it avoids higher water consumption compared with other cropping options in the domains of water use and dryland ecosystems. According to the results, rye and barley caused the greatest environmental damage in terms of human health, while rapeseed and potato had the lowest impacts and were therefore the most favorable crops in this respect. The difference between rye and potato and rapeseed in the human health category was 48% and 65%, respectively. In addition, rye, rapeseed, and barley exerted the most negative environmental impacts on ecosystems, whereas potato had the lowest impact in this category. The findings of the present study demonstrated that all the examined crops had their greatest environmental impacts on human health, as this category accounted for the largest share of environmental effects across all crops. Following human health, the ecosystem category was the second most affected, while the impacts on the resources category were negligible. Therefore, it can be concluded that in assessing the environmental impacts of rye, barley, rapeseed, potato, maize, and wheat in rotation with lentil, particular attention should be given to their effects on human health.

Conclusions

The greatest environmental impact of the crops proposed for rotation with lentil was observed in the human health category, while their impacts related to resource consumption were minimal. Among the studied crops, rye and barley imposed the highest burdens on human health, whereas rapeseed and potato had the lowest impacts. Therefore, to reduce the environmental load in lentil-based crop rotations, it is recommended to avoid including rye and barley as much as possible, and instead to incorporate rapeseed and potato. Accordingly, a four-year environmentally sustainable rotation plan can be suggested as rapeseed–lentil–potato–lentil.

Keywords: Ecosystem; Environmental resources; Human health; Life cycle assessment; Sustainable production



بررسی اثر زیست‌محیطی برخی گیاهان توصیه‌شده برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس (*Lens culinaris*) به‌منظور انتخاب سازگارترین گیاه

حمداله اسکندری^{۱*}، سید نادر موسویان^۱!

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸

چکیده

انتخاب گیاهان در تناوب زراعی با عدس (*Lens culinaris*)، تاکنون عمدتاً براساس معیارهای زراعی به‌ویژه عملکرد صورت گرفته و اثرات زیست‌محیطی متفاوت این گیاهان به‌عنوان یک معیار کلیدی در طراحی تناوب نادیده مانده است. این پژوهش به مقایسه آثار زیست‌محیطی شش گزینه تناوبی با عدس شامل چاودار (*Secale cereal*)، جو (*Hordeum vulgare*)، کلزا (*Brassica napus*)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)، ذرت (*Zea mays*) و گندم (*Triticum aestivum*) پرداخت تا پایدارترین گزینه از منظر زیست‌محیطی معرفی گردد. اثر شش گیاه معرفی‌شده بر طبقات سلامت انسان، بوم‌نظام‌ها و منابع محیطی با استفاده از تکنیک ارزیابی چرخه حیات و کاربرد نرم‌افزار سیمپرو (Vt 9.5) مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که بیشترین خسارت زیست‌محیطی (از نظر هر سه طبقه سلامت انسان، منابع محیطی و بوم‌نظام‌ها) از طرف چاودار و جو ایجاد شد. اگرچه مقادیر عددی منفی در شاخص بوم‌نظام‌های خشکی-مصرف آب، نشان‌دهنده عملکرد مطلوب چاودار در کاهش فشار بر مصرف آب بود، اما در نهایت و با ادغام تمامی شاخص‌ها، این گیاه در مقایسه با سایر گزینه‌ها، بیشترین مجموع آسیب زیست‌محیطی را به همراه داشت. کمترین خسارت زیست‌محیطی از نظر سلامت انسان به سیب‌زمینی و کلزا اختصاص داشت، به‌طوری‌که اثر چاودار بر سلامت انسان به‌ترتیب ۴۸ و ۶۵ درصد بیشتر از سیب‌زمینی و کلزا به دست آمد. تمامی گیاهان مورد بررسی، بیشترین اثر زیست‌محیطی را بر سلامت انسان داشتند. اثر همه گیاهان بررسی‌شده بر مصرف منابع محیطی، ناچیز بود. به‌طور کلی، با در نظر گرفتن هر سه طبقه خسارت (سلامت انسان، بوم‌نظام‌ها و منابع محیطی) چاودار و جو نامناسب‌ترین گیاه برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس هستند و کمترین خسارت زیست‌محیطی به کلزا و سپس سیب‌زمینی اختصاص داشت. بر این اساس، می‌توان گیاهان زراعی کلزا و سیب‌زمینی را برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس پیشنهاد نمود تا در راستای نیل به کشاورزی پایدار، علاوه بر تولید مطلوب عدس، سلامت زیست‌محیطی نیز حفظ شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، بوم‌نظام، تولید پایدار، سلامت انسان، منابع محیطی

مقدمه

اکولوژیک، حبوبات به‌دلیل توانایی در تثبیت نیتروژن مولکولی هوا، به عناصری کلیدی در کشاورزی پایدار تبدیل شده‌اند. کشت حبوبات نیاز به کودهای نیتروژنه شیمیایی را به‌طور چشمگیری کاهش و پایداری سیستم‌های زراعی را افزایش می‌دهد. به‌علاوه، با افزودن نیتروژن به خاک، حاصلخیزی را برای کشت محصولات بعدی در تناوب زراعی بهبود می‌بخشد (Stagnari et al., 2023).

عدس (*Lens culinaris*) به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین حبوبات کشت‌شده در جهان، جایگاه ویژه‌ای در تأمین امنیت غذایی و پایداری سیستم‌های زراعی، به‌ویژه در شرایط خشک و نیمه‌خشک دارد. از منظر تغذیه‌ای، دانه عدس منبعی غنی و مقرون‌به‌صرفه از پروتئین (۳۰-۲۵ درصد)، فیبر غذایی، ریزمغذی‌ها (مانند آهن، روی، فولات و

حبوبات یکی از مهم‌ترین خانواده‌های گیاهی در تأمین امنیت غذایی جهانی هستند، چرا که در تغذیه انسان و دام نقش مهمی ایفا می‌کنند (Kazemi et al., 2025). از دیدگاه تغذیه‌ای، دانه‌های حبوبات منبع غنی از پروتئین، فیبر غذایی، ویتامین‌های گروه B، مواد معدنی مانند آهن، روی و فولات و همچنین ترکیبات زیست‌فعال با خواص آنتی‌اکسیدانی هستند (Mudryj et al., 2022). جایگزینی نسبی پروتئین گیاهی حبوبات به‌جای پروتئین حیوانی، نه‌تنها می‌تواند در کاهش خطر بیماری‌ها از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی مؤثر باشد، بلکه از جنبه زیست‌محیطی نیز با انتشار کربن و مصرف آب بسیار کمتری همراه است (Foyer et al., 2023). از منظر زراعی و

(al., 2019). در پژوهشی دیگر مشاهده شد که چاودار (*Secale cereale*) به دلیل تولید زیست توده بالا و ترکیبات آللوپاتیک، برای سرکوب علف‌های هرز یک گیاه مطلوب به شمار می‌رود و می‌تواند مزرعه عدس را تمیزتر نگه دارد (Farooq et al., 2021). در عین حال، همین ترکیبات آللوپاتیک ممکن است در صورت مدیریت نادرست بقایا، جوانه‌زنی عدس را در سال بعد کاهش دهند (Jabran et al., 2015). کلزا (*Brassica napus*) نیز مانند غلات، میزبان مشترک بیماری‌های عدس نیست. این گیاه به عنوان یک محصول پاییزه، مدیریت علف‌های هرز را بهبود می‌بخشد و زمان کافی برای تجزیه بقایای خود و آزادسازی مواد مغذی قبل از کشت عدس بهاره فراهم می‌کند. به همین دلیل برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس پیشنهاد شده است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2021). با وجود این، بقایای چوبی و پر حجم کلزا در شرایط سرد ممکن است به کندی تجزیه شده و به طور موقت سبب تثبیت نیتروژن خاک گردند (Angadi et al., 2016). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که عملیات خاکورزی و کوددهی سنگین در مزرعه سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) باعث ایجاد بستر خاکی با حاصلخیزی بالا و عاری از علف هرز می‌شود و همچنین عدس می‌تواند پس از برداشت سیب زمینی، از نیتروژن باقی مانده در خاک بهره‌مند شود (Sharma & Singh, 2022). اما برداشت زود هنگام و ترافیک سنگین ماشین‌آلات در مزارع سیب زمینی ممکن است به تخریب ساختار خاک و افزایش فرسایش منجر شود (Coelho et al., 2019). پژوهشی دیگر نیز نشان داد، در صورتی که بقایای ذرت (*Zea mays*) به خوبی مدیریت شود، ذرت نیز می‌تواند گیاه مناسبی برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس معرفی شود (Bahrani & Heidari, 2020). با این حال، بقایای حجیم و نسبت کربن به نیتروژن بالای ذرت ممکن است معدنی شدن نیتروژن را برای عدس با تأخیر مواجه سازد (Kirkegaard et al., 2014). کشاورزی فشرده و سیستم‌های تولید تک کشتی، هزینه‌های زیست محیطی قابل توجه و اثرات مستقیمی بر سلامت بوم‌نظام‌های طبیعی دارند. این موضوع، بر اهمیت توجه به ملاحظات زیست محیطی در تولید گیاهان زراعی افزوده است. به عبارت دیگر، باید تلاش شود که در تولید گیاهان زراعی، ضمن حفظ عملکرد مطلوب، بار زیست محیطی نیز به حداقل برسد. در این بین، ارزیابی چرخه حیات، یک روش مفید برای ارزیابی اثرات زیست محیطی در فرآیند تولید محصولات زراعی است که در یک رویکرد جامع، مراحل مختلف تولید محصولات زراعی را از نظر بار محیط زیستی بررسی می‌کند. در یک پژوهش، با بررسی اثرات زیست محیطی هفت گیاه در تناوب زراعی با سیب زمینی گزارش شد که بهترین تناوب زراعی برای کاهش بار زیست محیطی، قرارگیری کشت یونجه و ذرت در تناوب با سیب زمینی است (Kazemi & Eskandari, 2025). در

سلنیوم) و ترکیبات زیست فعال نظیر پلی فنول‌ها است (Bhardwaj et al., 2022). به علاوه، کیفیت بالای پروتئین عدس به دلیل دارا بودن اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین، که در غلات محدود است، آن را به مکملی ایده آل برای ایجاد تعادل اسیدهای آمینه در رژیم‌های غذایی مبتنی بر غلات تبدیل کرده است (Joshi-Saha & Reddy, 2022). عدس، همانند سایر حبوبات، توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن اتمسفر را دارد. این ویژگی، نه تنها نیاز این گیاه به کودهای نیتروژنه را کاهش می‌دهد، بلکه از طریق نگه داشتن بقایای غنی از نیتروژن در خاک، حاصلخیزی خاک را برای محصول بعدی در تناوب زراعی افزایش می‌دهد (Kumar et al., 2021). کشت عدس به دلیل دوره رشد نسبتاً کوتاه و نیاز آبی کم، به ویژه در تناوب با غلات پاییزه مانند گندم و جو، به مدیریت بهینه رطوبت خاک، مهار علف‌های هرز پهن برگ و شکستن چرخه آفات و بیماری‌ها کمک شایانی می‌کند. این امر منجر به افزایش عملکرد و پایداری کل سیستم زراعی می‌گردد (Sinha et al., 2023).

کاهش تنوع زیستی در سیستم‌های زراعی تک کشتی، اثرات منفی زیادی بر عوامل تولید شامل خاک، آب و بوم‌نظام تولید دارد (Telles et al., 2025). به همین دلیل، برای اطمینان از عملکرد مطلوب، تناوب زراعی مناسب برای کاهش معایب تک کشتی و پایداری تولید ضروری است. در این بین، اگرچه عدس به دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن هوا، نه تنها به کود نیتروژنه کمتری نیاز دارد، بلکه می‌تواند حاصلخیزی خاک را برای محصول بعدی بهبود بخشد، اما قرار گرفتن عدس در تناوب زراعی مناسب، برای خود آن نیز از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که گیاهان قبلی بر روی جمعیت علف‌های هرز، بیماری‌ها، رطوبت باقی مانده خاک و ساختمان خاک تأثیر می‌گذارند و بدین طریق بر رشد و تولید عدس اثر دارند (Al-Musawi et al., 2025). در پژوهش‌ها، گیاهان مختلفی برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس توصیه شده‌اند. در یک مطالعه نتیجه گرفته شد که گندم (*Triticum aestivum*) به دلیل نداشتن بیماری‌های مشترک با عدس و همچنین تأثیر بقایای آن در حفظ رطوبت خاک، گیاه مناسبی برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس است (Yau & Nimah, 2021). با این حال، در تناوب‌های متوالی گندم-عدس، خطر فشردگی خاک و کاهش نیتروژن معدنی به علت برداشت‌های مکرر گزارش شده است (Gan et al., 2015). جو (*Hordeum vulgare*) نیز به دلیل دوره رشد کوتاه‌تر و نیاز آبی کمتر، یک گیاه قبلی ایده آل به ویژه در شرایط دیم است، چرا که کشت جو فرصت کافی جهت ذخیره رطوبت برای کشت بهاره عدس فراهم می‌کند (Lisson & Kirkegaard, 2020). اما در برخی شرایط خشک، رقابت شدید جو برای رطوبت ممکن است منجر به کاهش رطوبت قابل دسترس در عمق خاک برای عدس شود (Angus et

۹.۵) بهره گرفته شد. انتخاب این نرم‌افزار مبتنی بر دارا بودن پایگاه‌های داده معتبر (نظیر Ecoinvent)، شفافیت الگوریتم‌های محاسباتی و انطباق با استانداردهای ایزو بود. هر یک از این گیاهان به‌عنوان یک فرآیند مستقل در محیط نرم‌افزار تعریف شد. کلیه داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی چرخه حیات این محصولات، از جمله مقادیر دقیق نهاده‌ها (نظیر بذر، کودهای شیمیایی نیتروژنه، فسفات و پتاسه، و سموم دفع آفات)، مصرف سوخت ماشین‌آلات در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، و عملکرد محصول، به‌طور کامل از پایگاه داده Ecoinvent Ver 3.9 با مدل سیستم cut-off استخراج گردید. این پایگاه داده به‌عنوان جامع‌ترین مرجع جهانی برای مطالعات ارزیابی چرخه حیات شناخته می‌شود که با ارائه مقادیر میانگین جهانی، امکان مقایسه‌پذیری نتایج با مطالعات بین‌المللی را فراهم می‌آورد. این رویکرد به‌طور خاص با هدف انجام یک ارزیابی پایه‌ای و سیستماتیک در سطح کلان اتخاذ گردید تا یک چارچوب مقایسه‌ای یکنواخت و عاری از تأثیر تغییرپذیری‌های شدید محلی فراهم شود. استفاده از این مجموعه داده‌های یکنواخت و استاندارد، یک پایه مقایسه‌ای عادلانه برای تمام گزینه‌های تناوبی فراهم کرده و از تأثیر تغییرپذیری‌های منطقه‌ای خاص جلوگیری می‌نماید. به‌علاوه، با صرفه‌جویی در زمان و هزینه، دسترسی به داده‌هایی که اندازه‌گیری میدانی آن‌ها بسیار دشوار است را فراهم می‌آورد.

روش ارزیابی آثار

برای تحلیل آثار زیست‌محیطی از روش ReCiPe 2016 Endpoint (Ver 1.08) با استفاده از مجموعه وزن‌دهی پیش‌فرض استفاده شد. این روش، طیف وسیعی از آثار را در سه معیار نهایی شامل سلامت انسان، کیفیت بوم‌نظام و مصرف منابع خلاصه می‌کند. این خلاصه‌سازی، تفسیر نتایج و تصمیم‌گیری را آسان‌تر می‌کند و یک نمای کلی و یکپارچه از عملکرد زیست‌محیطی را ارائه می‌دهد. شاخص سلامت انسان، اثرات بالقوه‌ای را که سیستم بر سلامتی و رفاه انسان می‌گذارد، به‌صورت کمی نشان می‌دهد. این اثرات، به‌طور عمده از طریق آلودگی هوا، ذرات معلق، آلودگی آب و خاک (مواد شیمیایی سمی) و تغییرات آب‌وهوایی به انسان منتقل می‌شوند. واحد اندازه‌گیری شاخص سلامت انسان معمولاً سال تعدیل‌شده عمر بر اثر ناتوانی^۱ است که حاصل جمع سال‌های ازدست‌رفته عمر به‌دلیل مرگ زودرس و سال‌های زندگی توأم با ناتوانی است. یک عدد بزرگ‌تر (مثبت) به‌معنای آسیب بیشتر به سلامت انسان (مرگ زودرس و

مطالعه دیگری مشاهده شد که در تولید ذرت، بیشترین اثر زیست‌محیطی در ایجاد سمیت برای بوم‌نظام‌های آبی است و در بروز این سمیت، مصرف کودهای شیمیایی نقش مهمی دارد (Hossein et al., 2024).

در پژوهش‌های مختلف، گیاهان گندم، کلزا، چاودار، ذرت، سیب‌زمینی و جو برای قرار گرفتن در تناوب زراعی با عدس پیشنهاد شده‌اند. با این حال، قرارگیری این گیاهان در تناوب زراعی با عدس تنها با در نظر گرفتن اثر آن‌ها بر عملکرد دانه مورد توجه قرار گرفته، ولی اثرات احتمالی زیست‌محیطی که کشت این گیاهان می‌تواند به دنبال داشته باشد، در نظر گرفته نشده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با این هدف اجرا گردید تا گیاهان پیشنهادشده برای قرار گرفتن در تناوب زراعی با عدس از نظر اثرات زیست‌محیطی مورد مقایسه قرار بگیرند و گیاهانی که دارای کمترین اثرات منفی بر محیط زیست هستند جهت طرح‌ریزی برنامه تناوب زراعی عدس معرفی شوند تا ضمن حفظ عملکرد دانه مطلوب در عدس، بار زیست‌محیطی نظام تولید این گیاه غذایی مهم نیز به حداقل برسد.

مواد و روش‌ها

چارچوب روش‌شناختی

در این پژوهش، استانداردهای بین‌المللی ایزو 14040 و 14044 برای ارزیابی چرخه حیات به کار گرفته شد. این چارچوب، امکان بررسی جامع آثار زیست‌محیطی را از مرحله استخراج منابع تا تولید نهایی (رویکرد گهواره تا گور) فراهم می‌کند و از نگرش تک‌بعدی به ارزیابی‌های زیست‌محیطی جلوگیری می‌نماید. محوریت این روش، مقایسه سیستماتیک گزینه‌های مختلف براساس یک واحد عملکردی^۱ مشترک به نام mpt است که مخفف مواد، محصول و حمل‌ونقل^۲ است. این واحد، کلیه جریان‌های ورودی (شامل مواد اولیه و نهاده‌های کشاورزی)، خروجی اصلی (محصول) و عملیات حمل‌ونقل مرتبط در چرخه عمر هر محصول را در برمی‌گیرد و به‌عنوان پایه‌ای برای محاسبه تمامی شاخص‌های زیست‌محیطی به کار می‌رود. استفاده از این واحد جامع، تضمین می‌کند که مقایسه‌ها بر مبنای یک معیار یکپارچه و قابل اطمینان انجام شده است (Guinee et al., 2011).

مدل‌سازی و نرم‌افزار

برای مقایسه آثار زیست‌محیطی هفت گزینه تناوبی با عدس (شامل گندم، جو، چاودار، ذرت، کلزا و سیب‌زمینی) از نرم‌افزار سیمپرو (نسخه

1- Functional unit

2- mpt= material, product, transport

3- DALY = Disability Adjusted Life Year

نرمال شده در هر سه معیار سلامت انسان، بوم‌نظام‌ها و مصرف منابع انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

اثر گیاهان زراعی پیشنهادشده برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس شامل، گندم، جو، کلزا، ذرت، سیب‌زمینی و چاودار بر عوامل مرتبط با سلامت انسان، بوم‌نظام و منابع در **جدول ۱** ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، به‌جز در مورد اثر چاودار بر مصرف آب در بوم‌نظام‌های خشکی (که مقدار آن منفی بود)، اثر سایر گیاهان (و همین‌طور اثر چاودار بر سایر طبقات) مثبت به دست آمد (**جدول ۱**). براساس استاندارد ISO14044 و روش‌های محاسباتی پذیرفته‌شده، گاهی در ارزیابی چرخه حیات، مقادیر منفی مشاهده می‌شود. این پدیده نشان‌دهنده شرایطی است که خروجی‌های یک سیستم (مانند گنجاندن یک محصول خاص در تناوب کشت) به اجتناب از پیامدهای منفی زیست‌محیطی در مقیاس کلان منجر می‌گردد. به عبارت دقیق‌تر، هنگامی که یک سیستم با بار محیطی کمتر، جایگزین سیستمی با بار محیطی بالاتر می‌شود (مثلاً کشت یک گونه کم‌نیاز به جای یک گونه پرنیاز)، اثرات زیست‌محیطی مربوط به نهاده‌ها یا فرآیندهایی که حذف شده‌اند، از کل بار محاسبه‌شده کسر می‌گردد. این عمل کسر شدن در نتایج نهایی به شکل یک عدد منفی ظاهر می‌شود که بیانگر تأثیر مثبت و مفید آن سیستم در آن دسته‌بندی خاص است (Laurent et al., 2020). در پژوهش حاضر، عدد منفی مرتبط با کشت چاودار ($-1.29E-10$) حاکی از اثر کلی مطلوب این گیاه در حوزه مصرف آب است که به‌دلیل پرهیز از مصرف منابع آبی در مقایسه با گزینه‌های دیگر کشت در حیطه‌های مصرف آب و بوم‌نظام‌های خشکی پدید می‌آید. به عبارت دیگر، جایگزینی چاودار در تناوب زراعی به‌جای محصولات پرنیاز از نظر آبی، منجر به کاهش قابل توجهی در برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی شده و در نتیجه یک اثر خالص مثبت در این دسته ایجاد می‌کند (Nouri et al., 2022).

بیماری‌های بیشتر) می‌باشد. بنابراین مقادیر کمتر مطلوب‌تر هستند (Huijbregts et al., 2017). شاخص بوم‌نظام‌ها نیز اثرات سیستم بر سلامت و تنوع سیستم‌های زیست‌محیطی خشکی و آبی را اندازه می‌گیرد. مهم‌ترین سازوکارهای اثرگذاری شامل اسیدی شدن خاک و آب، اوتریفیکاسیون (پرغذایی) که منجر به تکثیر جلبک‌های مضر و مرگ آبزیان می‌شود و برای گیاهان و جانوران نیز سمی است. واحد این شاخص، گونه در سال^۱ است که نشان‌دهنده از دست رفتن تنوع زیستی در یک بازه زمانی است. یک عدد بزرگ‌تر (مثبت) به‌معنای تخریب بیشتر تنوع زیستی می‌باشد. بنابراین مقادیر کمتر مطلوب‌تر هستند (Fantke et al., 2023). شاخص منابع نیز بر مصرف و تخلیه منابع طبیعی، به‌ویژه منابع فسیلی و معدنی تمرکز دارد. این دسته، کمبود آینده منابع را به‌دلیل استخراج و مصرف آن‌ها در چرخه تولید اندازه‌گیری می‌کند. واحد این شاخص معمولاً دلار آمریکا^۲ است. یک عدد بزرگ‌تر (مثبت) به‌معنای مصرف بی‌پروا تر منابع و ایجاد هزینه بیشتر برای آیندگان است. بنابراین مقادیر کمتر مطلوب‌تر هستند (Berger et al., 2020).

پردازش داده‌ها و تحلیل نتایج

به‌منظور مقایسه کمی آثار هر یک از گزینه‌های تناوبی، داده‌ها با استفاده از روش نرمال‌سازی درون دسته‌ای مورد پردازش قرار گرفتند. در این روش، مقدار اثر هر گیاه در هر یک از سه معیار نهایی (سلامت انسان، بوم‌نظام‌ها و منابع) به‌طور جداگانه محاسبه و سپس به‌صورت درصدی نسبت به بیشترین مقدار مشاهده‌شده در آن معیار خاص بیان می‌شود. این رویکرد، امکان شناسایی گزینه‌هایی با بیشترین و کمترین اثرات زیست‌محیطی در هر دسته را به‌صورت دیداری فراهم می‌آورد. در نهایت، سیاهه انتشار و آثار هر یک از گیاهان در سه معیار مذکور تهیه گردید تا بر مبنای آن پلیدارترین گزینه تناوبی برای عدس معرفی شود. لازم به ذکر است که در این مطالعه، به‌منظور حفظ عینیت و پرهیز از اعمال ترجیحات ذهنی، از مرحله وزن‌دهی صرف نظر شد. بنابراین مقایسه نهایی گزینه‌ها براساس بررسی همزمان نتایج

جدول ۱- اثر گیاهان زراعی بررسی‌شده بر طبقات مختلف سلامت زیست‌محیطی

Table 1- The impact of crop species on different category of environmental health

طبقه تاثیر Impact category	واحد Unit	گندم Wheat	جو Barley	کلزا Rapeseed	ذرت Maize	سیب‌زمینی Potato	چاودار Rye
گرمایش جهانی، سلامت انسان Global warming, human health	سال تعدیل‌شده عمر DALY	4.02E-6	5.42E-6	6.89E-6	5.6E-6	3.4E-6	6.28E-6
گرمایش جهانی، بوم‌نظام‌های خشکی Global warming, terrestrial ecosystems	گونه در سال Species. yr	8.04E-9	1.08E-8	1.38E-8	1.12E-8	6.8E-9	1.26E-8
گرمایش جهانی، بوم‌نظام‌های آب شیرین Global warming, freshwater ecosystems	گونه در سال Species. yr	2.19E-13	2.96E-13	3.76E-13	3.05E-13	1.86E-13	3.42E-13
تخریب لایه اوزون Stratospheric ozone depletion	سال تعدیل‌شده عمر DALY	2.04E-8	2.09E-8	4.82E-8	1.17E-8	6.6E-9	2.86E-8
تابش یونیزه‌کننده Ionizing radiation	سال تعدیل‌شده عمر DALY	8.77E-10	6.62E-10	3.93E-10	4.38E-10	4.14E-10	9.48E-10
تشکیل اوزون، سلامت انسان Ozone formation, human health	سال تعدیل‌شده عمر DALY	1.61E-9	1.97E-9	8.66E-10	1.48E-9	1.41E-9	2.22E-9
تشکیل ذرات ریز معلق Fine particulate matter formation	سال تعدیل‌شده عمر DALY	6.64E-7	8.07E-7	1.56E-6	8.3E-7	6.36E-7	8.66E-7
تشکیل اوزون، بوم‌نظام‌های خاکی Ozone formation, terrestrial ecosystems	گونه در سال Species. yr	2.32E-10	2.84E-10	1.25E-10	2.13E-10	2.04E-10	3.21E-10
اسیدی شدن بوم‌نظام‌های خشکی Terrestrial acidification	گونه در سال Species. yr	1.03E-9	1.03E-9	3.99E-9	1.04E-9	1.02E-9	1.1E-9
غنی‌سازی بوم‌نظام‌های آب شیرین Freshwater eutrophication	گونه در سال Species. yr	1.11E-10	1.3E-10	1.87E-10	1.65E-10	1.55E-10	1.9E-10
غنی‌سازی بوم‌نظام‌های دریایی Marine eutrophication	گونه در سال Species. yr	5.56E-12	4.43E-12	1.12E-11	1.4E-12	1.57E-12	7.44E-12
سمی‌سازی بوم‌نظام‌های خشکی Terrestrial ecotoxicity	گونه در سال Species. yr	1.66E-11	2E-11	4.33E-12	1.38E-11	2.66E-11	2.63E-11
سمی‌سازی بوم‌نظام‌های آب شیرین Freshwater ecotoxicity	گونه در سال Species. yr	7.78E-12	1.02E-11	8.03E-12	9.71E-12	1.91E-11	1.38E-11
سمی‌سازی بوم‌نظام‌های دریایی Marine ecotoxicity	گونه در سال Species. yr	1.2E-8	1.51E-8	3.86E-9	1.01E-8	1.02E-8	1.99E-8
سرطان‌زایی در انسان Human carcinogenic toxicity	سال تعدیل‌شده عمر DALY	2.83E-6	4.54E-6	1.12E-8	4.16E-6	2.86E-6	4.8E-6
سمیت غیرسرطانی در انسان Human non-carcinogenic toxicity	سال تعدیل‌شده عمر DALY	2.19E-5	2.71E-5	9.36E-6	1.77E-5	1.86E-5	3.74E-5
کاربری اراضی Land use	گونه در سال Species. yr	1.19E-8	1.62E-8	2.58E-8	6.3E-9	4.02E-9	2.31E-8
کاهش منابع معدنی Mineral resource scarcity	دلار آمریکا USD	0.000626	0.000787	0.000178	0.000441	0.000511	0.001
کاهش منابع فسیلی Fossil resource scarcity	دلار آمریکا USD	0.0304	0.04	0.0431	0.0309	0.0293	0.0468
مصرف آب، سلامت انسان Water consumption, Human health	سال تعدیل‌شده عمر DALY	7.78E-9	1.67E-7	1.39E-9	3.17E-8	3.89E-8	1.58E-7
مصرف آب، بوم‌نظام خشکی Water consumption, terrestrial ecosystem	گونه در سال Species. yr	7.34E-11	1.15E-9	8.62E-12	5.62E-10	2.35E-10	-1.29E-10
مصرف آب، بوم‌نظام آبی Water consumption, aquatic ecosystem	گونه در سال Species. yr	5.53E-15	3.02E-13	3.88E-16	4.98E-13	1.16E-13	8.63E-14

روش تحلیل آثار زیست‌محیطی: ReCiPe 2016 Endpoint (E) v1.03/Characterization

Comparing processes; Method: ReCiPe 2016 Endpoint (E) v1.03/Characterization

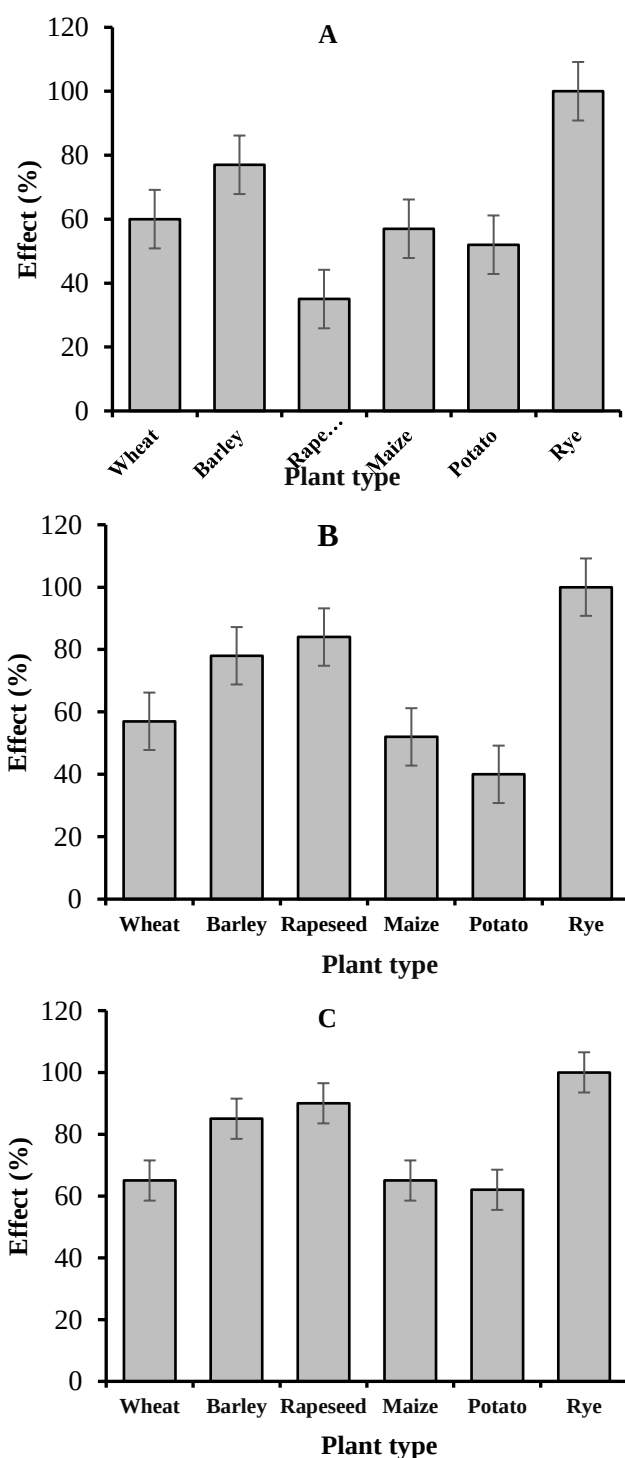
بودند. بعد از سلامت انسان، گیاهان بررسی شده بیشترین اثر زیست‌محیطی را بر بوم‌نظام‌ها داشتند. اثر همه گیاهان بر طبقه منابع ناچیز بود (شکل ۲). در این مورد، اثر گیاهان مورد بررسی سلامت انسان به ترتیب حدود ۷ و ۶۴ برابر اثر آن‌ها بر سلامت بوم‌نظام و مصرف منابع بود. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود که جهت بررسی اثرات زیست‌محیطی چاودار، جو، کلزا، سیب‌زمینی، ذرت و گندم برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس به اثر آن‌ها بر سلامت انسان توجه بیشتری شود. در ارزیابی اثر گیاهان در تناوب زراعی با سیب‌زمینی نتایج مشابهی به دست آمد، به‌طوری‌که سیب‌زمینی به‌عنوان یک گیاه با اثرات زیست‌محیطی پایین گزارش شد (Kazemi & Eskandari, 2025). بر این اساس می‌توان اظهار داشت که چاودار و جو بیشترین اثرات منفی را محیط‌زیست داشتند و به همین دلیل برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس قابل توصیه نمی‌باشد. از طرف دیگر، کلزا و سیب‌زمینی با داشتن کمترین اثرات زیست‌محیطی، گیاهان مناسبی برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس می‌باشد.

نتیجه‌گیری

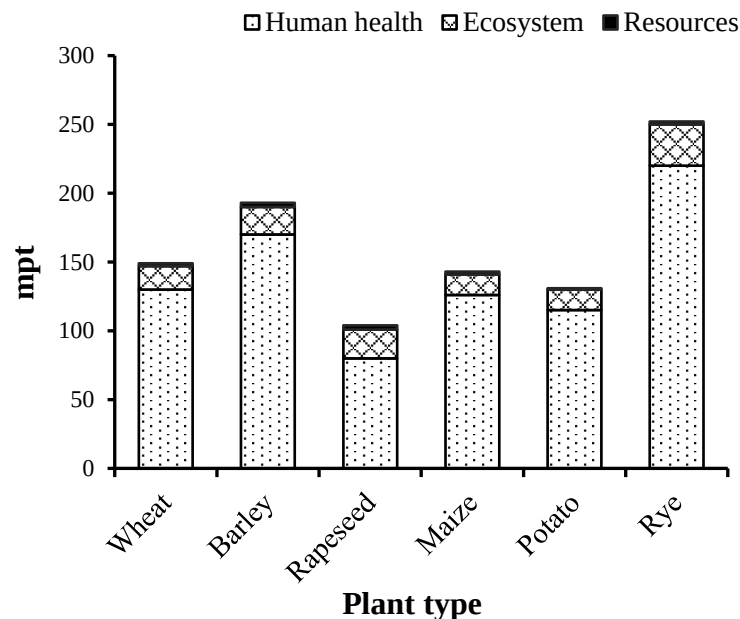
بیشترین اثر زیست‌محیطی گیاهان پیشنهاد شده برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس، بر سلامت انسان بود. گیاهان بررسی شده اثر زیست‌محیطی ناچیزی بر مصرف منابع داشتند. بیشترین اثرات زیست‌محیطی بر طبقه سلامت انسان به چاودار و سپس جو تعلق داشت، درحالی‌که کلزا و سیب‌زمینی از این نظر دارای کمترین اثرات زیست‌محیطی بودند. بر این اساس، برای کاهش بار زیست‌محیطی در برنامه تناوب زراعی عدس، توصیه می‌شود که تا حد امکان چاودار و جو در برنامه تناوب زراعی قرار نگیرند و از گیاهان کلزا و سیب‌زمینی استفاده شود. بر این اساس، یک برنامه تناوبی چهارساله براساس ملاحظات زیست‌محیطی می‌تواند به‌صورت کلزا، عدس، سیب‌زمینی، عدس پیشنهاد شود. با این حال، محدودیت این مطالعه، استفاده از داده‌های میانگین جهانی به‌جای داده‌های میدانی خاص یک منطقه است. اگرچه این روش برای ارائه راهکارهای عملیاتی در یک اقلیم یا نظام زراعی خاص (مانند شرایط نیمه‌خشک ایران)، انجام مطالعات بعدی با تمرکز بر داده‌های بومی و محلی پیشنهاد می‌گردد.

نتایج درصد تأثیر نوع گیاه پیشنهاد شده برای تناوب زراعی با عدس بر سلامت انسان، بوم‌نظام و منابع در شکل ۱ ارائه شده است. اختلاف چاودار با سیب‌زمینی و کلزا از نظر طبقه سلامت انسان به ترتیب ۴۸ و ۶۵ درصد بود. همچنین، چاودار، کلزا و جو بیشترین اثرات منفی محیط‌زیستی را از نظر تأثیر بر طبقه بوم‌نظام داشتند و کمترین اثر در این طبقه به سیب‌زمینی تعلق داشت. (شکل ۱). از نظر مصرف منابع، چاودار بیشترین تأثیر منفی زیست‌محیطی را داشت، به‌طوری‌که ۴۸ درصد بیشتر از سیب‌زمینی (به‌عنوان گیاهی با کمترین اثر زیست‌محیطی بر منابع) بود (شکل ۱). به نظر می‌رسد که این نتایج با میزان تولید در واحد سطح گیاهان مرتبط باشد، به‌طوری‌که چاودار در مقایسه با محصولاتی مانند سیب‌زمینی و کلزا، عملکرد زیستی کمتری در هر هکتار دارد، اما برای عملیات کشاورزی مشابهی مانند شخم زدن، کاشت، کوددهی و برداشت به مقدار بیشتری نهاده (زمین، سوخت، آب و کود) نیازمند است. این امر منجر به تخصیص آثار زیست‌محیطی (مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون) برای تولید محصول نهایی می‌شود و در نتیجه، ردپای زیست‌محیطی بالاتری برای هر واحد تولید ایجاد می‌کند. در مقابل، سیب‌زمینی با داشتن بازده بسیار بالای زیست‌توده در هر هکتار، آثار زیست‌محیطی را بر روی حجم عظیمی از محصول توزیع می‌کند و از کارایی بالایی برخوردار است. عملکرد مطلوب کلزا می‌تواند به دلیل نقش مهم آن به‌عنوان یک گیاه شکننده در تناوب زراعی باشد که باعث مهار طبیعی علف‌های هرز و آفات می‌شود و در نتیجه نیاز به مصرف علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها را کاهش می‌دهد. این یافته‌ها با نتایج برخی مطالعات (Nemecek et al., 2022) هماهنگی دارد که در تجزیه و تحلیل آثار زیست‌محیطی محصولات کشاورزی سوئیس نشان دادند که محصولات با بازدهی بالا مانند سیب‌زمینی و محصولاتی که در تناوب به بهبود سلامت خاک و کاهش نهاده‌ها کمک می‌کنند (مانند کلزا) به‌طور کلی عملکرد زیست‌محیطی بهتری دارند.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تمامی گیاهان بررسی شده، بیشترین اثر زیست‌محیطی را بر سلامت انسان داشتند، چرا که بیشترین سهم اثر زیست‌محیطی در تمامی گیاهان مورد بررسی به طبقه سلامت انسان تعلق داشت (شکل ۲). از این نظر، کلزا و سیب‌زمینی بهترین گیاهان (دارای کمترین اثرات زیست‌محیطی)



شکل ۱- درصد تأثیر نوع گیاه پیشنهادشده برای تناوب زراعی با عدس بر سلامت انسان (A)، بوم‌نظام (B) و منابع (C)
 Figure 1- The percentage effect of proposed plants for the crop rotation with lentil on human health (A), ecosystems (B) and resources (C)



شکل ۲- توزیع اثر گیاهان بررسی شده بر سلامت انسان، بوم‌نظام و منابع

Figure 2: The distribution of the impact of plants on resources, ecosystems and human health

روش تحلیل آثار زیست‌محیطی: ReCiPe 2016 Endpoint (E) v1.03/Single score

Comparing processes; Method: ReCiPe 2016 Endpoint (E) v1.03/Single score

References

- Al-Musawi, Z. K., Al-Kaabi, M. A., & Al-Ani, M. M. (2025). Utilizing different crop rotation systems for agricultural sustainability. *Agronomy*, 15(8), 1966. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081966>
- Angadi, S. V., McDonald, C. L., Entz, M. H., & Kutcher, H. R. (2016). Canola rotation effects on subsequent crop productivity in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(2), 183–196.
- Angus, J. F., van Herwaarden, A. F., & Kirkegaard, J. A. (2019). The impact of preceding crops on grain yield and nitrogen use efficiency of wheat. *Agricultural Systems*, 176, 102659.
- Bahrani, A., & Heidari, M. (2020). Productivity and biological nitrogen fixation of lentil as influenced by previous crop residues and nitrogen fertilizer. *Journal of Plant Nutrition*, 43, 2337-2350.
- Berger, M., Sonderegger, T., Alvarenga, R., Bach, V., Cimprich, A., Dewulf, J., & Young, S. B. (2020). Mineral resources in life cycle impact assessment: Part II – recommendations on application-dependent use of existing methods and on future method development needs. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(4), 798-813. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01737-5>
- Bhardwaj, J., Yadav, S. S., Rizvi, A. H., & Ansari, M. A. (2022). Nutritional and phytochemical composition of lentil (*Lens culinaris*): A review. *Legume Science*, 4(4), e147.
- Coelho, B., Madramootoo, C. A., & Leclerc, M. (2019). Soil structure degradation under potato production in humid climates. *Soil and Tillage Research*, 194, 104338.
- Fantke, P., Aurisano, N., Bare, J., Backhaus, T., Bulle, C., Chapman, P. M., & Jolliet, O. (2023). Toward harmonizing ecotoxicity characterization in life cycle impact assessment. *Environmental Science & Technology*, 57(26), 9710-9721. <https://doi.org/10.1002/etc.4261>
- Foyer, C. H., Nguyen, H. T., Siddique, K. H. M., Varshney, R. K., & Wilson, L. T. (2023). Pulses, sustainability, and health: A comprehensive review. *Global Food Security*, 36, 100664.
- Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z. A., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2021). Allelopathic effects of rye cover crop on weeds and productivity of subsequent lentil crop. *Crop Protection*, 14, 1-8.
- Gan, Y., Stulen, I., Miwa, T., & van Keulen, H. (2015). Effects of cropping sequence and nitrogen fertilizer on soil nitrogen dynamics and productivity in lentil-based systems. *Field Crops Research*, 183, 96-106.
- Guinee, J. B., Heijungs, R., & De Koning, A. (2011). Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Springer, Netherlands.

- Hossein, H. Y., Aizpanah, A., Namdari, M., & Shirkhani, H. (2024). Environmental life cycle assessment of corn production in tropical regions. *Scientific Reports*, 14, 20036. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70923-4>
- Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138-147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., & Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
- Joshi-Saha, A., & Reddy, K. S. (2022). Lentil: A candidate crop for sustainable agriculture and nutritional security. In A. Kumar (Ed.). *Pulse Improvement: Physiological, Molecular and Functional Perspectives*. pp. 1-22. Springer.
- Kazemi, K., & Eskandari, H. (2025). Scheduling a crop rotation program for potato based on some environmental considerations. *Plant Production Technology*, 17, 29-36. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.30250.2145>
- Kazemi, K., Mosavian, S. N., & Eskandari, H. (2025). Effect of planting date and fertilizer resources on grain yield and quality of cowpea (*Vigna unguiculata*) under water deficit conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, (In press). (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.95353.1116>
- Kirkegaard, J. A., Christen, O., Krupinsky, J. M., & Layzell, D. B. (2014). Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research*, 164, 107-122. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.02.010>
- Kumar, S., Rajendran, K., Kumar, J., Hamwieh, A., & Baum, M. (2021). Current knowledge in lentil genomics and its application for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 12, 689439. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00078>
- Laurent, A., Weidema, B. P., Bare, J., Liao, X., Ma, F., & Sovacool, B. K. (2020). Methodological review and detailed guidance for the life cycle interpretation phase. *Journal of Industrial Ecology*, 24(5), 986-1013. <https://doi.org/10.1111/jiec.13012>
- Lisson, S. N., & Kirkegaard, J. A. (2020). Optimizing crop rotations for lentil production in water-limited environments: The role of preceding barley. *Field Crops Research*, 256, 107782. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107782>
- Mudryj, A. N., Yu, N., & Aukema, H. M. (2022). The role of pulses in human nutrition: A review. *Journal of Functional Foods*, 98, 105269.
- Nemecek, T., Hayer, F., Bonnini, E., Carrouée, B., Schneider, A., & Vivier, C. (2022). Designing eco-friendly crop rotations using life cycle assessment and multi-objective optimization. *Science of The Total Environment*, 834, 155258. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.005>
- Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M., & Hoekstra, A. Y. (2022). Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of The Total Environment*, 803, 149986.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., & Tajbakhsh, M. (2021). Improving lentil productivity by optimizing sowing time and crop rotation in semi-arid environments. *Journal of Cleaner Production*, 283, 127562.
- Sharma, S., & Singh, P. (2022). Effect of preceding crops and nitrogen fertilization on the productivity of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Legume Research*, 45, 789-884.
- Sinha, R., Khanda, C. M., Kumar, S., & Singh, A. K. (2023). Lentil-based cropping systems for enhancing resource use efficiency and system productivity in semi-arid regions: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(1), 15.
- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., & Pisante, M. (2023). The contribution of legumes to sustainable agricultural systems. *Advances in Agronomy*, 181, 1-74.
- Telles, T. S., Higashi, G. E., Volsi, B., Bordin, I., & Moreira, A. (2025). Diversified crop rotations enhance yield stability but require strategic grain storage for profitability in southern Brazil. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22, 102123. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102123>
- Yau, S. K., & Nimah, M. (2021). The effect of preceding crops on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in a semi-arid Mediterranean environment. *Journal of Agricultural Science*, 159, 214-223.