Journal of Agroecology
Homepage: http:// agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 739-753

Environmental Sustainability Assessment of Two Crop Ecosystems with Ecological Footprint Analysis Approach (Case Study: Dez Catchment)

Nasim Zadehdabagh[1], Seyed Massoud Monavari[2]*, Nargess Kargari[3], Lobat Taghavi[2] and Saeid Pirasteh[4]

1- Ph.D. Candidate, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Environmental Science, Takestan branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
4- Professor, Department of Surveying and Geoinformatics, Faculty of Geosciences and Environmental Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China.
(*- Corresponding author Email: sm.monavari.94@gmail.com)

Received: 26-12-2021
Revised: 21-02-2022
Accepted: 12-03-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Zadehdabagh, N., Monavari, S.M., Kargari, N., Taghavi, L., & Pirasteh, S. (2024). Environmental sustainability assessment of two crop ecosystems with ecological footprint analysis approach (Case study: Dez catchment). *Journal of Agroecology*, *15*(4), 739-753. (in Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/jag.v1i1.51328

Introduction

Wheat and maize are important and strategic crops in Iran. These crops are widely grown in the Dez catchment area. Therefore, due to climate change, recent droughts, water bankruptcy in the country, low water consumption efficiency in agriculture, and the excessive consumption of input, which pose a serious threat to agriculture and food security, it is necessary to achieve a correct understanding of the sustainable production of crops in the region. Improper use of chemical fertilizers, pesticides, fossil fuels, and machinery causes irreversible environmental damage. To reduce these adverse environmental effects, the idea of sustainable agriculture and the transformation of agriculture from high-input to low-input consumption are very important. The footprint index determines the pressure on nature caused by man or other man-made systems. The carbon uptake criterion is used to assess the ecological footprint. Ecological footprint estimates the amount of productive land needed to compensate for the environmental impacts of a particular activity by calculating resource consumption and carbon dioxide production. According to studies, each hectare of land can absorb 1.8 tons of carbon. The carbon uptake criterion is used to assess the ecological footprint.

Materials and Methods

The method of the present study has a practical approach because it is in line with achieving sustainable agricultural development. This research was carried out in the cropping year of 2019-2020 at the Dez catchment. To determine agriculture's environmental sustainability, we used the modified ecological footprint method presented by Kissinger and Gottlieb (2012) and Guzman et al. (2013). In this study, the ecological footprint was determined based on a place-oriented approach by obtaining the inputs' energy consumption and the amount of crop and land energy. All the variables were collected in the form of a questionnaire and through interviews with

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/jag.v1i1.51328

400 wheat and maize farmers in the study area. Equivalent factors were also selected from similar studies. An independent samples t-test was performed between the two crops to determine whether there were differences in the evaluation of EF.

Results and Discussion

The results of evaluating the ecological footprint method of wheat and maize cultivation in the study area at the level of one hectare were 3.50 and 4.66 global hectares, respectively. The results of the ecological footprint assessment for wheat and maize showed that both cropping systems are in an unsustainable state in terms of the environment. These systems produce 1.7 tons and 2.86 tons of excess carbon to produce wheat and maize, respectively, which are more than the ecological capacity of one hectare to absorb environmental pollution. For both wheat and maize crops, nitrate fertilizer at 40.85% and 49.36%, diesel fuel at 18.57% and 17.60%, and water consumption at 14.57% and 16.31%, respectively, had the greatest impact on environmental instability in the study area. The mean comparison of the ecological footprint between the two crops showed no significant difference between wheat and maize. The high ecological footprint of traditional agriculture was consistent with previous studies (Naderi Mahdei et al., 2015; Kissinger and Gottlieb, 2012; Bevec et al., 2011). Also, the important role of nitrate fertilizer and fossil fuels in increasing environmental hazards and ecological unsustainability was consistent with Fallahpour et al., (2012). It should be noted that no study was found to contradict the current study's findings.

Conclusion

Both wheat and maize cropping systems were not environmentally sustainable, and the total consumption inputs for both crops, chemical fertilizers, especially nitrate fertilizer and diesel fuel, have had the greatest impact on environmental instability in the study area. As a final result, the ecosystem of irrigated wheat production is more desirable than grain maize in terms of environmental sustainability; therefore, the production of both crops, especially maize, must be done with the highest accuracy and consider environmental considerations in the region.

Keywords: Cereals, Energy, Global hectare, Input, Sustainable agriculture

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http:// agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۷۵۳-۷۳۹

ارزیابی پایداری زیست‌محیطی دو بوم‌نظام زراعی با رویکرد تحلیل ردپای بوم‌شناختی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دز)

نسیم زاده‌دباغ[۱]، سید مسعود منوری[۲*]، نرگس کارگری[۳]، لعبت تقوی[۲] و سعید پیراسته[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

چکیده

دستیابی به پایداری کشاورزی برای نسل فعلی و آینده حیاتی است. اندازه‌گیری ردپای اکولوژیک به‌عنوان ابزار مناسبی در راستای دستیابی به اصول پایداری، در بوم‌نظام‌های مختلف ضرورت دارد. این مطالعه با هدف تعیین سطح پایداری اکولوژیکی دو نظام تولید گندم‌آبی (*Triticum*) و ذرت‌دانه‌ای (*Zea mays*) با استفاده از ارزیابی ردپای اکولوژیکی در سطح حوضه آبریز دز در استان خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۹- ۱۳۹۸ انجام گردید. به این منظور، تعداد ۴۰۰ پرسشنامه بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی ساده برای کشاورزان تکمیل شد. ارزیابی ردپای اکولوژیک بر اساس مصرف انرژی نهاده‌ها برای کشت گندم و ذرت در منطقه مطالعاتی در سطح یک هکتار به‌ترتیب ۳/۵۰ و ۴/۶۶ هکتار جهانی به‌دست آمد، این نتایج نشان داد، هر دو کشت از نظر زیست‌محیطی در وضعیت ناپایداری قرار دارند و علی‌رغم اینکه بین ردپای اکولوژیکی دو محصول زراعی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، ولی در این مطالعه کشت گندم از ناپایداری زیست‌محیطی کمتری برخودار است. همچنین هر دو کشت بیش از ظرفیت اکولوژیکی یک هکتار زمین مولد بهره‌برداری می‌شوند، به‌طوری‌که زمین مورد نیاز برای جبران اثرات زیست‌محیطی این دو کشت کافی نیست. از کل نهاده‌های مصرفی؛ کود شیمیایی نیترات (بیش از ۴۰ درصد)، سوخت گازوئیل (بیش از ۱۷ درصد) و آب (بیش از ۱۴ درصد) بیشترین تأثیر را بر ناپایداری زیست‌محیطی در منطقه مطالعاتی داشته است. در نتیجه، مصرف بالای نهاده‌ها به‌ویژه مصرف کودهای شیمیایی و سوخت گازوئیل باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی در منطقه شده است. بنابراین، ردپای اکولوژیکی زراعت به‌طرز چشمگیری در سیستم‌های کشاورزی منطقه مطالعاتی افزایش یافته و نگران‌کننده است.

واژه‌های کلیدی: انرژی، غلات، کشاورزی پایدار، نهاده، هکتار جهانی

۱- دانشجوی دکتری گروه محیط‌زیست (ارزیابی و آمایش سرزمین)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
۳- استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، ایران.
۴- استاد گروه نقشه‌برداری و ژئوانفورماتیک، دانشکده علوم زمین و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه جیائوتنگ جنوب غربی، چنگدو، چین.
(*- نویسنده مسئول:
(Email: sm.monavari.94@gmail.com

DOI: 10.22067/agry.2022.74317.1085

مقدمه

امروزه فشاری که رشد جمعیت بر منابع محدود وارد می‌کند یک چالش بزرگ برای امنیت غذایی و کیفیت بالای زندگی نسل آینده است (Amini et al., 2020). افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضای تولید مواد غذایی، مصرف انرژی و توسعه اقتصادی می‌شود (Sarkodie et al., 2019). انرژی یک نیروی محرکه مهم برای توسعه هر بخش است به‌ویژه برای بخش کشاورزی که هم مصرف‌کننده و هم تولیدکننده انرژی است. در واقع، کشاورزی، بخش کلیدی اقتصادی کشورهای در حال توسعه است (Silalertruksa & Gheewala, 2018). کشاورزی ارتباط تنگاتنگی با محیطزیست دارد، به‌طوری‌که چالش اصلی برای بخش کشاورزی؛ ضمن کاهش اثرات زیست‌محیطی و حفظ منابع طبیعی برای آیندگان، تغذیه جمعیت رو به رشد جهان است (Streimikis & Balezentis, 2020). لذا، کشاورزی پایدار با ترکیب مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی می‌تواند کمک حیاتی برای کاهش فقر و تضمین امنیت غذایی باشد (Talukder et al., 2020).

در ایران زراعت‌های آبی رکن اساسی کشاورزی را تشکیل می‌دهند. تقریباً ۹۸ درصد محصولات غذایی تولید شده در ایران از اراضی آبی به‌دست می‌آیند. به‌طوری‌که عمده‌ترین محصولات زراعی و شاخص منطقه گندم و ذرت می‌باشند (Pilevar et al., 2020). در فرآیند تولید این محصولات؛ استفاده بی‌رویه از نهاده‌هایی مانند کود و سموم شیمیایی، سوخت‌های فسیلی و ماشین آلات صدمات جبران ناپذیری به محیطزیست وارد می‌نمایند. ایران به‌عنوان کشوری که در ناحیه گرم و خشک واقع شده است، با مشکلات متعددی از جمله شرایط بحران آب، مصرف بی‌رویه آب و نهاده‌های کشاورزی و شیوه‌های ناکارآمد مدیریت کشاورزی سنتی مواجه است؛ برای کاهش این اثرات نامطلوب محیطی؛ اندیشه کشاورزی پایدار و تبدیل کشاورزی از مصرف پرنهاده به کم نهاده و در نتیجه استفاده از روش‌هایی برای افزایش پایداری سیستم‌های کشاورزی برای سیاره زمین از اهمیت بالایی برخوردار است (Sarkar et al., 2020).

در سال‌های اخیر روش‌های نوینی در زمینه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در جامعه علمی جهان مطرح شده است که یکی از پرطرفدارترین و نوین‌ترین این روش‌ها، روش ردپای اکولوژیکی است که به بررسی اثرات زیست‌محیطی در بخش‌های مختلف می‌پردازد (Ress & Wackernagel, 1999). این روش در جستجوی برقراری ارتباط بین منابع طبیعی و تقاضای ما از آن برای تأمین کالا، خدمات و اراضی است؛ از این‌رو، ابزار مناسبی برای اندازه‌گیری پیشرفت جوامع به‌سوی پایداری است (Tarazkar et al., 2019). ردپای اکولوژیک به‌عنوان یک شاخص توسعه پایدار ابزاری جهت ارزیابی اثرات سیستم‌های مختلف تولید کشاورزی است که میزان فشار وارده بر طبیعت که عامل آن انسان و یا سایر سیستم‌های انسان ساخت است را مشخص می‌سازد (Agostinho & Pereira, 2013). در واقع، ردپای اکولوژیکی میزان زمین مولد مورد نیاز برای جبران اثرات زیست‌محیطی ناشی از یک فعالیت خاص را به‌واسطه محاسبه میزان مصرف منابع و تولید دی اکسید کربن، برآورد می‌کند (Fang et al., 2014). بر اساس مطالعات انجام شده، هر هکتار زمین توانایی جذب ۱/۸ تن کربن را دارد، در واقع معیار جذب کربن به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی ردپای اکولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، برای ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر حسب کربن، از شاخص انرژی استفاده می‌گردد و برای تعیین شاخص انرژی، فاکتورهای معادل ساز ویژه‌ای وجود دارند که با استفاده از آن‌ها میزان انرژی حاصل از تأثیر هر یک از متغیرهای اثرگذار بر محیطزیست، بر حسب متوسط هکتار جهانی (gha[1]) برآورد می‌گردد (Naderi Mahdei et al., 2015).

با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیک تحقیقات مختلفی در ارتباط با ارزیابی پایداری محصولات و سیستم‌های کشاورزی انجام شده است از جمله: نادری مهدئی و همکاران (Naderi Mahdei et al., 2015) طی مطالعه‌ای از تحلیل ردپای اکولوژیکی جهت مقایسه ارزیابی پایداری زیست‌محیطی سیستم‌های متداول با سیستم‌های خاکورزی حفاظتی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که هر دو سیستم زراعی ناپایدار بودند، با این حال ثابت شد که سیستم‌های حفاظتی با محیطزیست بیشتر سازگار بوده و پایدارتر هستند. کیسینگر و گوتلیب (Kissinger & Gottlieb, 2012) طی پژوهشی، نقش تجزیه و تحلیل ردپای اکولوژیکی را به‌عنوان یک شاخص پایداری به‌طور گسترده مورد تأیید قرار دادند، این محققین طی مطالعه‌ای، سه رویکرد را در مورد ردپا تحلیل کردند و آن‌ها چنین استدلال نمودند که ادغام همه رویکردها می‌تواند شاخص بهتر و جامع‌تری از پایداری ایجاد کند که قادر خواهد بود، مدیریت تأمین منابع پایدار را پشتیبانی کند.

1- Global hectares

رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2019) طی مطالعه‌ای به تحلیل ردپای اکولوژیکی کشت سیب زمینی (*Solanum tuberusum*) و خیار (*Cucumis sativus*) در دهستان سفالگران شهرستان بهار پرداختند. برای ارزیابی پایداری، با در نظر گرفتن مصرف انرژی، از شاخص‌های ارزیابی زیست‌محیطی بر اساس مصرف بذر، آب، سوخت، نیروی انسانی، کود، سموم، تولید محصولات سیب زمینی و خیار استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که بر اساس رویکرد ردپا، هر دو کشت در وضعیت ناپایدار قرار دارند و تفاوت معنی‌داری بین نمره کل ردپای اکولوژیکی در کشت سیب زمینی (۴/۰۳ هکتار جهانی) و کشت خیار (۳/۲۳ هکتار جهانی) وجود دارد، به‌طوری‌که کشت خیار از ناپایداری زیست‌محیطی کمتری برخودار است.

محصولات زراعی شاخص منطقه مطالعاتی با توجه به آمار و داده‌های سازمان جهاد کشاورزی و همچنین نظر متخصصین این حوزه؛ گندم و ذرت می‌باشند. که بنا به نوع مطالعه صرفاً دو محصول زراعی گندم آبی و ذرت دانه‌ای مدنظر این مطالعه می‌باشند. نهایتاً نتایج این مطالعه منجر به برنامه‌ریزی و تصمیمات مدیریتی می‌شود که با به کارگیری آن‌ها می‌توان آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را به حداقل ممکن رساند. هدف از این مطالعه، ارزیابی پایداری دو محصول استراتژیک گندم آبی و ذرت دانه‌ای با استفاده از رویکرد تحلیل ردپای اکولوژیکی در سطح حوضه آبریز دز در استان خوزستان به‌عنوان یکی از قطب‌های اصلی تولید محصولات زراعی در ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی بخشی از حوضه آبریز دز در محدوده اراضی پایین‌دست سد مخزنی دز تا انتهای حوضه در محل بندقیر (محل اتصال رودخانه دز به رودخانه کارون) در استان خوزستان می‌باشد که بین "۷ '۹ °۴۸ تا "۴۲ '۵۶ °۴۸ طول شرقی و "۱۳ '۳۹ °۳۲ تا "۴۲ '۳۵ °۳۱ عرض شمالی واقع شده است. مساحت این محدوده ۵۰۸۵/۲۶ کیلومترمربع می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه دز به‌عنوان یک حوضه درجه سه، زیر مجموعه‌ای از حوضه کارون بزرگ محسوب می‌شود و در تقسیم‌بندی بزرگ‌تر در زیر مجموعه حوضه خلیج فارس و دریای عمان قرار می‌گیرد (Ahmadi et al., 2017).

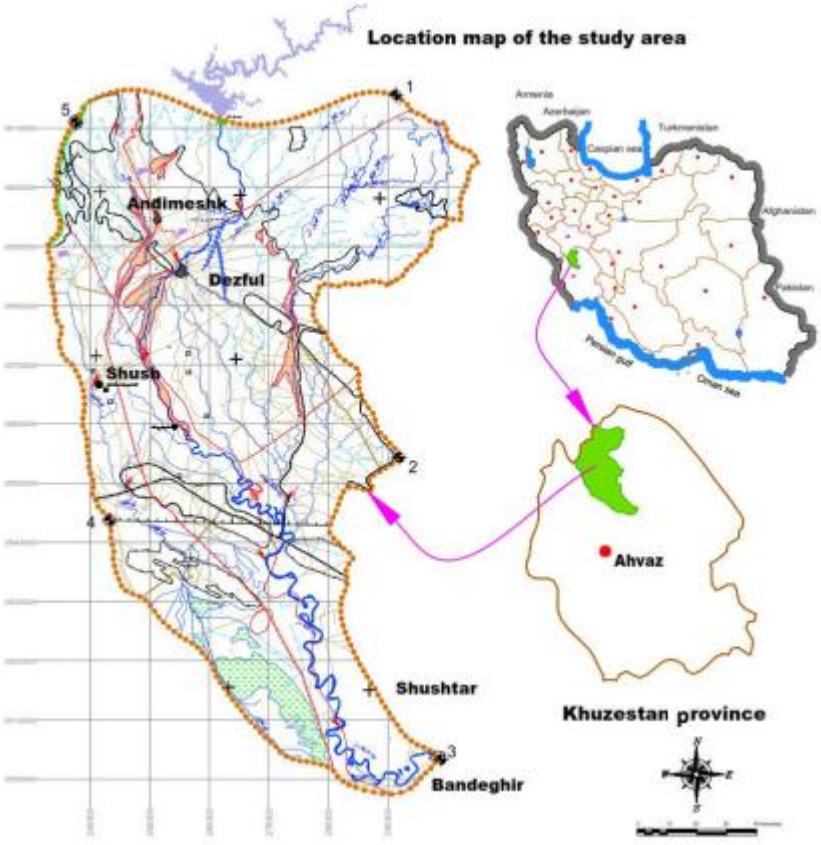
اقلیم خشک و نیمه خشک بیشترین سطح منطقه مطالعاتی را تشکیل می‌دهد. متوسط میزان بارندگی سالانه ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد. کیفیت اراضی منطقه از نظر کشاورزی در حد مطلوب می‌باشد، غالب خاک منطقه از نوع رسی می‌باشد. متوسط شیب در منطقه مورد مطالعه ۴/۶ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد، اراضی منطقه هموار می‌باشند. عمده محصولات کشاورزی منطقه شامل: جو (*Hordeum vulgare*)، کلزا (*Brassica napus*)، سبزیجات، یونجه (*Medicago sativa*)، مرکبات (*Citrus sinensis*)، نیشکر (*Saccharum officinarum*)، برنج (*Oryza sativa*) با غالبیت گندم و ذرت می‌باشند. این منطقه از نظر کاربری کشاورزی اهمیت بسیاری دارد و از مهم‌ترین قطب‌های تولید کشاورزی در ایران محسوب می‌شود. شکل ۱، موقعیت منطقه مطالعاتی را در استان خوزستان و کشور ایران نشان می‌دهد.

جامعه آماری

کلیه کشاورزان بهره‌بردار از شبکه آبیاری دز در بخش‌های شمالی استان خوزستان شامل شهرستان‌های دزفول، اندیمشک و شوش و حاشیه شوشتر می‌باشند که از سیستم کشت مرسوم یا سنتی، در شرایط تناوب کشت ذرت دانه‌ای و گندم آبی؛ استفاده می‌کنند. حجم نمونه بر پایه فرمول کوکران با سطح خطای ۰/۰۵ با توجه به نامشخص بودن جامعه آماری، تعداد ۳۸۴ نمونه برآورد شد که برای اطمینان بیشتر ۴۰۰ نفر (کشاورز گندم‌کار و ذرت‌کار) به‌عنوان حجم نمونه در این مطالعه انتخاب شدند و در نهایت، بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی ساده، مصاحبه با ۴۰۰ نفر کشاورز منتخب در منطقه مطالعاتی توسط پرسشنامه صورت پذیرفت که اعتبار آن توسط هیئت متخصصان مرکز تحقیقات صفی‌آباد شهرستان دزفول تأیید گردید. همچنین از روش آلفای کرونباخ برای تعیین پایایی پرسشنامه استفاده شد که عدد آلفا، ۰/۸۴ برآورد گردید که نشان می‌دهد، سطح پایایی پرسشنامه خوب و قابل قبول می‌باشد.

روش کار

روش پژوهش حاضر از این جهت که در راستای دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی است، از رویکرد کاربردی برخوردار است. این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۹– ۱۳۹۸ در بخشی از حوضه آبریز دز انجام شد.



شکل ۱- نمای کلی موقعیت منطقه مطالعاتی
Fig. 1- General view and location of the study area

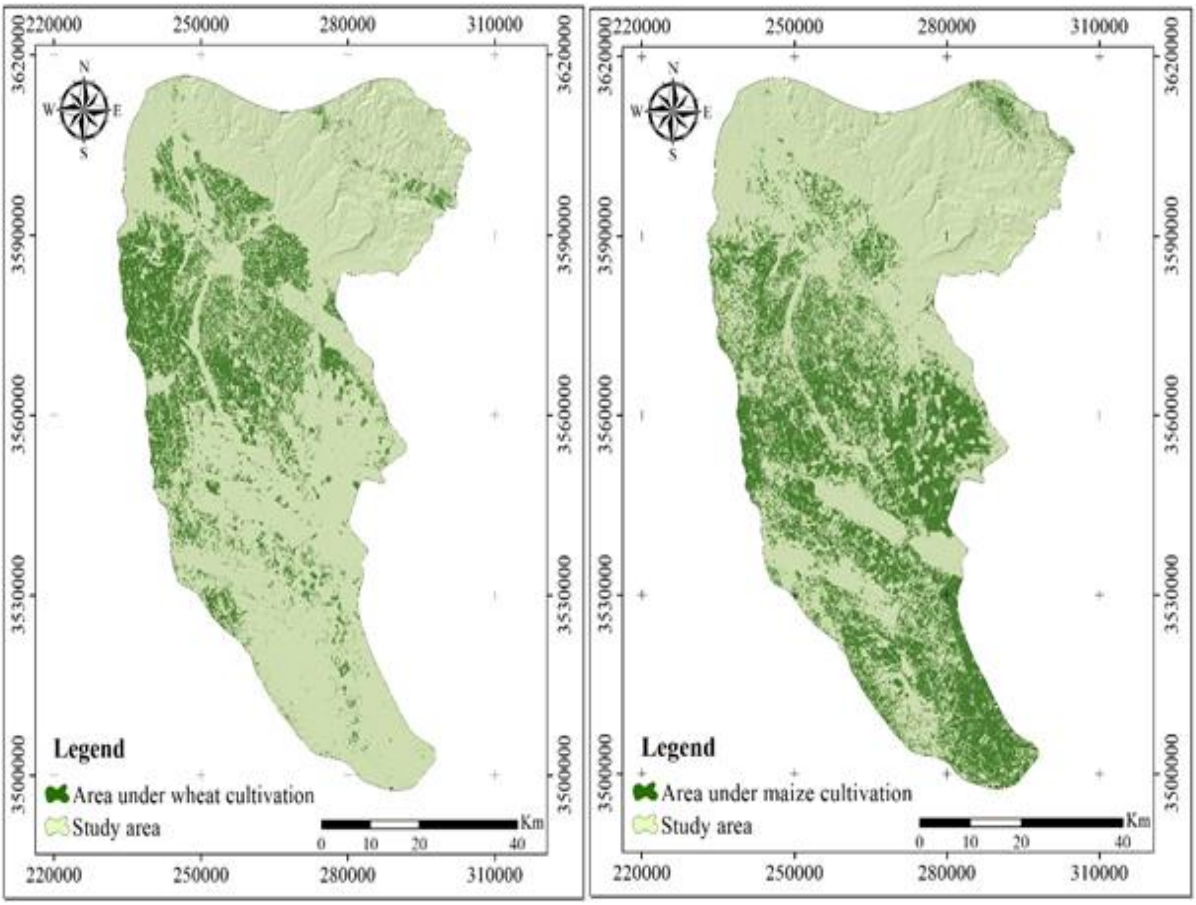
در این مطالعه، جهت تعیین شاخص‌های پایداری بر اساس مؤسسات معتبر بین‌المللی شاخص ردپای اکولوژیک محصولات کشاورزی انتخاب گردید که این شاخص ابزار مناسبی برای اندازه‌گیری پیشرفت جوامع به‌سوی پایداری است.

همچنین جهت تهیه نقشه سطح زیر کشت محصول زراعی گندم آبی و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به تاریخ ۲۰۲۱/۰۴/۱۳ و ۲۰۲۰/۹/۱۷ سنجنده OLI[1] ماهواره Landsat ۸ استفاده گردید. علت انتخاب این تصاویر در زمان‌های مذکور؛ در دسترس بودن تصاویر مناسب و همچنین در نظر گرفتن دوره رشد و قابل شناسایی بودن محصول مورد نظر می‌باشد. بنابراین، با توجه به شکل ۲ برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای مساحت کل سطح زیر کشت گندم آبی ۱۰۳۳۷۱/۱۲ هکتار و ذرت دانه‌ای ۱۲۷۷۸۵/۳۸ هکتار در منطقه مطالعاتی به‌دست آمد. داده‌های مربوط به فرآیندهای تولید درون مزارع مانند عملیات زراعی و آبیاری و غیره برای هر دو محصول شاخص منطقه توسط پرسشنامه در سطح کشاورزان نمونه، جمع‌آوری گردید.

روش ردپای اکولوژیک

روش ردپای اکولوژیکی جهت ارزیابی پایداری زیست‌محیطی کشاورزی توسط Kissinger & Gottlieb (2012) و Solís-Guzmán et al (2013) ارائه شده است، در این مطالعه، ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر اساس رویکرد مکان‌محور؛ بر مبنای مصرف انرژی نهاده‌ها، میزان محصول و میزان زمین انرژی، برای مقایسه پایداری دو محصول زراعی مذکور در منطقه مطالعاتی به‌صورت زیر انجام پذیرفت:

1- Operational Land Imager



شکل ۲- نقشه مساحت سطح زیر کشت گندم آبی (سمت راست) و ذرت دانه‌ای (سمت چپ) برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای

Fig. 2- Map of the area under cultivation of irrigated wheat (right) and grain maize (left) taken from satellite images

ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر مبنای مصرف انرژی نهاده‌ها

ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر مبنای مصرف انرژی نهاده‌ها بر اساس معادله‌های ۱، ۲ و ۳ انجام گرفت (Naderi Mahdei et al., 2015).

$$EF_t = \sum_{i=1}^{n} EF_i = \left[\frac{E_i \times T}{C_o}\right] \quad \text{معادله (۱)}$$

$$Ei = F_i \times EQF \times 1000 \quad \text{معادله (۲)}$$

$$T = \left[\frac{P_c}{E_c \times O_c \times K}\right] \quad \text{معادله (۳)}$$

که در این مدل، EF_t: شاخص ردپای اکولوژیکی بر حسب هکتار جهانی، E_i: انرژی فاکتور i بر حسب کیلوژول (Kj)، F_i: انرژی فاکتور i ام، T: عدد ثابت، C_o: توانایی یک هکتار زمین در جذب کربن بر حسب تن (۱/۸ تن)، EQF: فاکتور معادل ساز فاکتور ام برای تبدیل زمین مولد به هکتار جهانی، E_c: توانایی تولید انرژی توسط هر گرم زغال سنگ (۲۰ کیلوژول)، p_c: درصد کربن موجود در زغال سنگ (۰/۸۵ درصد) بر حسب گرم، O_c: درصد زغال سنگ بازدهی شده توسط گیاهان معادل (۰/۳۱۴ درصد) برحسب گرم و K: ضریب ثابت برای تبدیل گرم به تن (۱،۰۰۰،۰۰۰) می‌باشند (Naderi Mahdei et al., 2015).

ارزیابی ردپا بر اساس میزان محصول

ردپای اکولوژیکی در این روش بر اساس محصول به‌دست آمده اعم از گندم و ذرت و کاه و کلش برآورد گردید (Bahrami, 2015).

$$EP_t = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{(P_i)(PP \times PC)}{C_o}\right) \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، EP_t: ردپای اکولوژیکی محصول بر حسب هکتار جهانی، P_i: میزان محصول (گندم، ذرت، کاه و کلش) بر حسب تن، pp: درصد زغال سنگ بازدهی شده توسط گیاهان معادل (۰/۳۱۴

درصد) بر حسب گرم، PC: درصد کربن موجود در زغال سنگ (۰/۸۵ درصد) بر حسب گرم و C_o: توانایی یک هکتار زمین در جذب کربن بر حسب تن (۱/۸ تن) می‌باشند (Bahrami, 2015).

ارزیابی ردپا بر اساس میزان زمین انرژی

روش میزان زمین انرژی از برآورد انرژی‌های ورودی و خروجی بر حسب گیگاژول به‌دست آمد (Bahrami, 2015).

در این مطالعه، تمام متغیرهای مورد نظر در قالب پرسشنامه و از طریق مصاحبه با کشاورزان گندم‌کار و ذرت‌کار در منطقه مطالعاتی جمع‌آوری شد، معادل‌های انرژی نیز از مطالعاتی که بیشترین شباهت را با شرایط این مطالعه داشتند، انتخاب شدند. همچنین برای تحلیل آماری داده‌ها جهت مقایسه میانگین ارزیابی ردپای اکولوژیک میان دو محصول زراعی مورد نظر از آزمون تی مستقل[1]، در نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارزیابی ردپای اکولوژیک بر حسب مصرف انرژی نهاده‌ها

کشت گندم آبی

یافته‌ها نشان داد که ردپای اکولوژیک کشت گندم آبی در منطقه مطالعاتی بر اساس مصرف نهاده‌ها در سطح یک هکتار معادل ۳/۵۰ هکتار جهانی طبق معادله ۵ به‌دست آمد (Bahrami, 2015).

معادله (۵)

$$EF = \sum_{i=1}^{12} EF_i = \left[\frac{46535.87\ MJ * 1000 * \left[\frac{0.85}{20 * 0.314 * 1000000}\right]}{1.8_{ton}}\right] = 3.50\ gha$$

کشت ذرت دانه‌ای

ردپای اکولوژیک برای کشت ذرت دانه‌ای نیز ۴/۶۶ هکتار جهانی طبق معادله ۶ به‌دست آمد (Bahrami, 2015).

معادله (۶)

$$EF = \sum_{i=1}^{12} EF_i = \left[\frac{61899.72\ MJ * 1000 * \left[\frac{0.85}{20 * 0.314 * 1000000}\right]}{1.8_{ton}}\right] = 4.66\ gha$$

شکل‌های ۳ و ۴ نمودارهای درصد انرژی مصرفی نهاده‌ها را به ترتیب برای کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای نشان می‌دهند. همچنین جدول ۱ به‌طورکلی نهاده‌ها، فاکتورهای معادل ساز، میزان انرژی مصرفی نهاده‌ها و برآورد ردپای اکولوژیک را در سطح یک هکتار برای هر دو محصول در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. شایان ذکر است در جدول مذکور ردپای اکولوژیکی با علامت اختصاری EF[2] و واحد انرژی که در این مطالعه مگاژول است با علامت MJ[3] نشان داده شده است.

ارزیابی ردپای اکولوژیک بر حسب میزان محصول

کشت گندم آبی

یافته‌ها نشان داد که ارزیابی ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان محصول، با توجه به مقدار کربن موجود در زغال سنگ و درصد بازدهی زغال سنگ توسط گیاهان، مجموعاً معادل ۱/۱۱ متوسط هکتار جهانی در منطقه مطالعاتی به‌دست آمد (Bahrami, 2015).

معادله (۷)

$$EP_{wheat} = \left[\frac{4.65*0.314*0.85}{1.8_{ton}}\right] = 0.69\ gha$$

معادله (۸)

$$EP_{Straw} = \left[\frac{2.84*0.314*0.85}{1.8_{ton}}\right] = 0.42\ gha$$

بر اساس معادلات ۷ و ۸، ردپای اکولوژیکی محصول گندم آبی معادل ۰/۶۹ و برای کاه و کلش معادل ۰/۴۲ هکتار جهانی برآورد گردید. در نتیجه، میانگین ردپای به‌دست آمده بر اساس میزان محصول (۱/۱۱) کمتر از میانگین ردپای اکولوژیکی بر اساس مصرف نهاده‌ها می‌باشد که در واقع، اثرات زیست‌محیطی حاصل از کاربرد و مصرف نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی، سوخت گازوئیل و غیره را در سیستم کشت گندم آبی در منطقه مطالعاتی تأیید می‌کند.

کشت ذرت دانه‌ای

ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان محصول برای ذرت دانه‌ای نیز ۱/۱۴ متوسط هکتار جهانی در منطقه مطالعاتی به‌دست آمد.

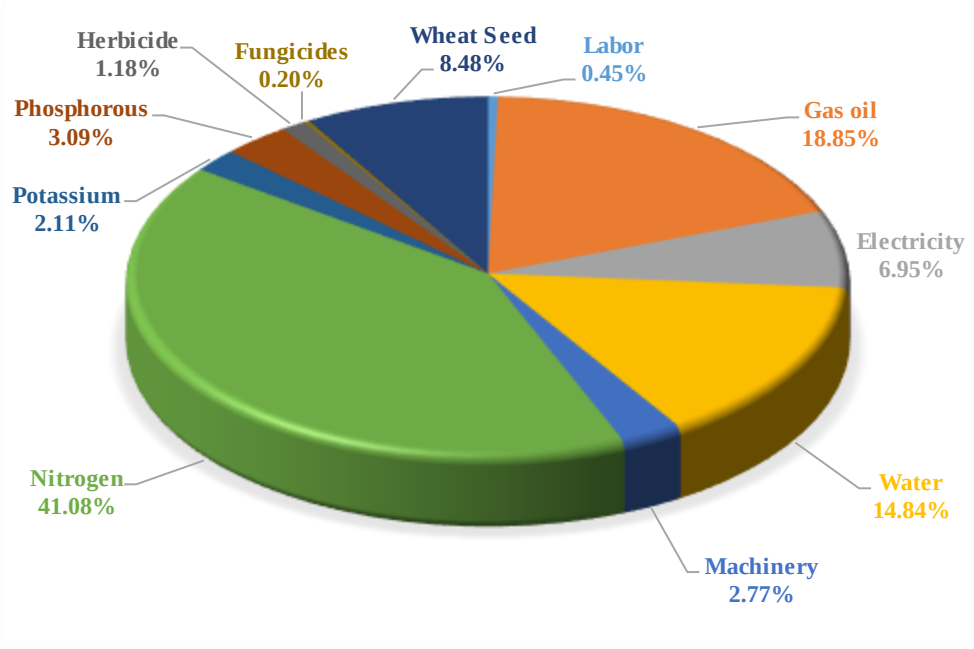
معادله (۹)

$$EP_{maize} = \left[\frac{7.68*0.314*0.85}{1.8_{ton}}\right] = 1.14\ gha$$

1- Independent Samples t-test

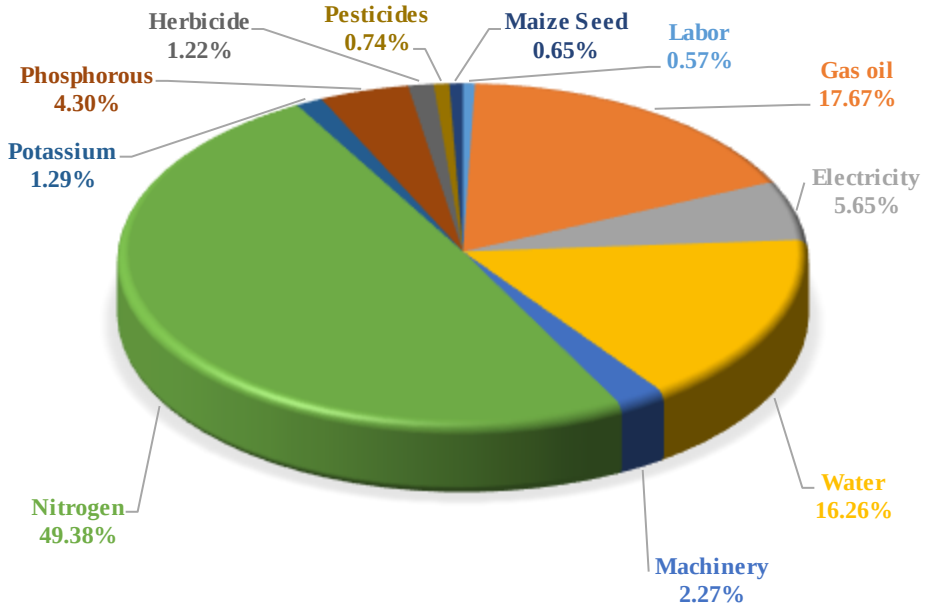
2 - Ecological footprint

3- Mega Joule



شکل ۳- نمودار درصد انرژی مصرفی نهاده‌ها برای تولید گندم آبی

Fig. 3- Graph of the percentage of energy consumption of inputs for the production of irrigated wheat



شکل ٤- نمودار درصد انرژی مصرفی نهاده‌ها برای تولید ذرت دانه‌ای

Fig. 4- Graph of the percentage of energy consumption of inputs for the production of grain maize

بر اساس معادله ۹، ردپای اکولوژیکی محصول ذرت دانه‌ای معادل ۱/۱۴ هکتار جهانی است. در سیستم کشت ذرت دانه‌ای نیز، میانگین ردپای به‌دست آمده بر اساس میزان محصول کمتر از میانگین ردپای اکولوژیکی بر اساس مصرف نهاده‌ها بود. مطابق

اطلاعات به‌دست آمده از کشاورزان نمونه منطقه مطالعاتی، در کشت ذرت دانه‌ای با توجه به اینکه کاه و کلش تولیدی فاقد ارزش اقتصادی برای کشاورزان است، بنابراین از محاسبه آن صرف‌نظر شده است.

جدول ۲، خروجی‌ها، ضریب تبدیل، میزان انرژی مصرفی خروجی‌ها و برآورد ردپای اکولوژیک را در سطح یک هکتار برای هر دو محصول در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

جدول ۲- ردپای اکولوژیک خروجی‌ها برای کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Table 2- The ecological footprint of outputs irrigated wheat and grain maize

متغیرها Items (unit)	ضریب تبدیل Equivalent factor (MJ.unit^{-1})	مراجع Refrences	گندم Wheat		ذرت Maize	
			انرژی Energy (MJ)	ردپا EF (gha)	انرژی Energy (MJ)	ردپا EF (gha)
دانه گندم Wheat grain (kg)	14.7	تیپی و همکاران (Tipi et al.,2009)	68355	0.69	-	-
دانه ذرت Maize grain (kg)	14.7	کنکچی و همکاران (Canakci et al., 2005)	-	-	112896	1.14
کاه و کلش گندم Wheat straw (kg)	9.25	طباطبایی و همکاران (Tabatabaeefar et al., 2009)	26270	0.42	-	-
		جمع Total	94625	1.11	112896	1.14

ارزیابی ردپای اکولوژیک بر حسب میزان زمین انرژی

کشت گندم آبی

یافته‌ها نشان داد که ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان زمین انرژی معادل ۱/۴۱ هکتار جهانی برآورد گردید. از بین فاکتورهای مصرفی، ردپای کود شیمیایی نیترات و سپس سوخت گازوئیل بیشترین میزان آلودگی زیست‌محیطی را به خود اختصاص دادند. این روش بر این اساس است که هر هکتار جنگل (زمین انرژی) توانایی جذب ۱۰۰ گیگاژول انرژی را در خود دارد و چنانچه انرژی مصرفی بیش از این مقدار باشد، از لحاظ زیست‌محیطی، آلودگی محسوب می‌شود. بنابراین، در سیستم کشت گندم آبی در منطقه مطالعاتی حدود ۰/۴ بیشتر از توانایی جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی توسط یک هکتار زمین انرژی از زمین بهره‌برداری شده است که در واقع، این روش نیز ناپایداری اکولوژیکی کشاورزی را در منطقه مطالعاتی برای کشت گندم آبی مورد تأیید قرار می‌دهد.

کشت ذرت دانه‌ای

ردپای اکولوژیکی بر اساس میزان زمین انرژی برای کشت ذرت دانه‌ای معادل ۱/۷۴ هکتار جهانی برآورد گردید. مشابه گندم آبی برای این محصول نیز از بین فاکتورهای مصرفی، ردپای کود نیترات و سپس سوخت گازوئیل بیشترین میزان آلودگی زیست‌محیطی را به خود اختصاص دادند. در سیستم کشت ذرت دانه‌ای نیز حدود ۰/۷ بیشتر از توانایی جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی توسط یک هکتار زمین انرژی از زمین بهره‌برداری شده است که در واقع، این روش نیز ناپایداری اکولوژیکی کشاورزی را در منطقه مطالعاتی برای کشت ذرت دانه‌ای نیز مورد تأیید قرار می‌دهد.

مقایسه ردپای اکولوژیک کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

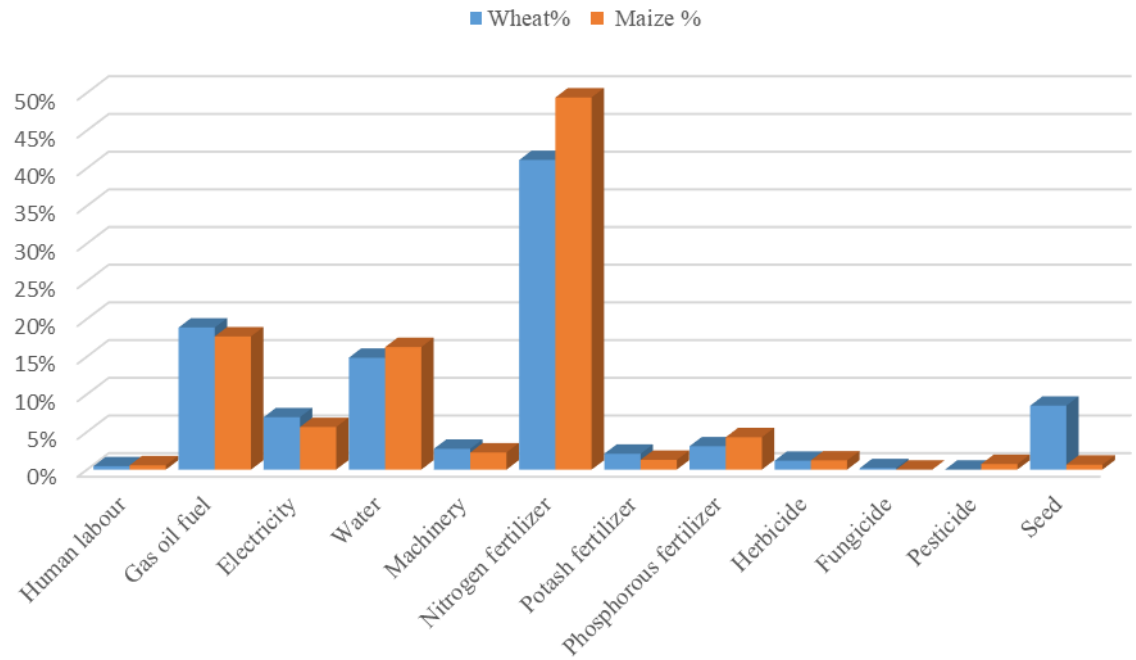
نتایج ارزیابی ردپای اکولوژیک نشان داد که هر دو نظام کشت گندم و ذرت در منطقه از نظر زیست‌محیطی در وضعیت ناپایداری قرار دارند. علی‌رغم اینکه بین ردپای اکولوژیکی در کشت گندم و ذرت به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود ندارد (جدول ۳)، ولی در این مطالعه کشت گندم از ناپایداری زیست‌محیطی کمتری برخودار است. در واقع، کشت ذرت به‌دلیل مصرف بیشتر نهاده‌ها ناپایداری و آلودگی زیست‌محیطی بیشتری در مقایسه با کشت گندم دارد. همچنین زمین مورد نیاز برای جبران اثرات زیست‌محیطی این دو کشت زراعی کافی نیست. به بیان دیگر، این سیستم‌ها برای تولید گندم و ذرت به‌ترتیب مقدار ۱/۷ تن و ۲/۸۶ تن کربن اضافه تولید می‌کنند که بیش از ظرفیت اکولوژیکی یک هکتار

زمین انرژی برای جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد. برای هر دو محصول گندم و ذرت نیز به‌ترتیب کود نیترات با ۴۰/۸۵ درصد و ۴۹/۳۶ درصد در رتبه اول و سپس سوخت گازوئیل با ۱۸/۵۷ درصد و ۱۷/۶۰ درصد در رتبه دوم و آب مصرفی با ۱۴/۵۷ درصد و ۱۶/۳۱ درصد در رتبه سوم، بیشترین تأثیر را بر ناپایداری زیست‌محیطی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند، که به‌علت مصرف بالای نهاده‌ها به‌ویژه مصرف کودهای شیمیایی و سوخت گازوئیل در سیستم‌های کشاورزی و در نتیجه افزایش شوری و اسیدیته خاک، هم توان اکولوژیکی اراضی کشاورزی کاهش پیدا کرده و هم آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی باعث شده است که ردپای اکولوژیکی زراعت به‌طرز چشمگیری در منطقه مطالعاتی افزایش یابد و نگران‌کننده باشد.

جدول ۳- آزمون تی مستقل برای مقایسه میانگین ارزیابی ردپای اکولوژیک میان کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Table 3- Independent t-test to compare the mean ecological footprint assessment between irrigated wheat and grain maize

آزمون نمونه‌های مستقل Independent samples test						
		آزمون لوین برای برابری واریانس‌ها Levene's test for equality of variances		آزمون تی برای برابری میانگین‌ها T-test for equality of means		
		توزیع آماری اف F	سطح معنی‌داری Sig.	تی t	درجه آزادی d.f	سطح معنی‌داری (دو طرفه) Sig. (2-tailed)
ردپای اکولوژیک Ecological Footprint	فرض برابری واریانس Equal variances assumed	0.446	0.510	-0.255	26	0.801
	فرض نابرابری واریانس Equal variances not assumed			-0.255	21.632	0.801



شکل ۵- نمودار مقایسه درصد انرژی نهاده‌ها در کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Fig. 5- Comparison chart of energy consumption percentage of inputs for production of irrigated wheat and grain maize

جدول ۱- ردپای اکولوژیک نهاده‌ها برای کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Table 1-The ecological footprint of inputs irrigated wheat and grain maize

متغیرها Items (unit)	ضریب تبدیل Equivalent factor ($MJ.unit^{-1}$)	مراجع Refrences	گندم Wheat			ذرت Maize		
			انرژی Energy (MJ)	ردپا EF (gha)	درصد از کل (Percent of total)	انرژی Energy (MJ)	ردپا EF (gha)	درصد از کل (Percent of total)
نیروی انسانی Labour (hour)	1.96	اوزکان و همکاران (Ozkan et al., 2004)	211.68	0.01	0.28	351.58	0.03	0.64
آب Water (m^3)	1.02	کنکچی و آکینچی (Canakci & Akinci, 2006)	6906	0.51	14.57	10060.50	0.76	16.31
بذر گندم Wheat seed (kg)	15.7	تیپی و همکاران (Tipi et al., 2009)	3945.88	0.29	8.28	-	-	-
بذر ذرت Maize seed (kg)	15.11	کنکچی و همکاران (Canakci et al., 2005)	-	-	-	405.85	0.03	0.64
سوخت گازوئیل Gas oil fuel (liter)	38	کلسس و همکاران (Kaltsas et al., 2007)	8771.54	0.65	18.57	10932.98	0.82	17.60
برق Electricity (kw.h)	12.1	کلسس و همکاران (Kaltsas et al., 2007)	3233.12	0.24	6.85	3497.02	0.26	5.58
ماشین‌آلات Machinery (hour)	62.7	ستین و واردر (Cetin & Vardar, 2008)	1289.11	0.09	2.57	1405.10	0.11	2.36
کود نیترات Nitrogen fertilizer (kg)	60.6	اکواز و همکاران (Akcoaz et al., 2009)	19118.08	1.43	40.85	30559.97	2.30	49.36
کود فسفات Phosphorous fertilizer (kg)	11.1	اکواز و همکاران (Akcoaz et al., 2009)	1436.22	0.10	2.85	2659.78	0.20	4.29
کود فسفر Potash fertilizer (kg)	6.7	اکواز و همکاران (Akcoaz et al., 2009)	983.69	0.07	2	797.90	0.06	1.29
علف‌کش Herbicide (kg of active ingredient)	278	سیلیواکز و همکاران (Tzilivakis et al., 2005)	547.66	0.04	1.14	753.38	0.06	1.29
قارچ‌کش Fungicide (kg of active ingredient)	99	استراپسا و همکاران (Straptsa et al., 2006)	95.04	0.08	2.28	-	-	-
آفت‌کش Pesticide (kg of active ingredient)	237	راتکی و همکاران (Rathke et al., 2006)	-	-	-	459.78	0.03	0.64
	جمع Total		46538.02	3.50	100	61883.84	4.66	100

شکل ۴ نمودار مقایسه درصد انرژی نهاده‌ها را در گندم آبی و ذرت دانه‌ای نشان می‌دهد. بنابراین، نتایج این بخش از مطالعه در خصوص ردپای بالای اکولوژیکی زراعت به‌شیوه سنتی با مطالعات انجام شده پیشین از جمله نادری مهدئی و همکاران (Naderi Mahdei et al., 2015) و کیسینجر و گوتلیب (Kissinger & Gottlieb, 2012) و بووک و همکاران (Bevec et al., 2011) و همچنین در مورد نقش مهم فاکتورهای کود نیترات و سوخت فسیلی در افزایش مخاطرات زیست‌محیطی و ناپایداری اکولوژیکی با مطالعه فلاح‌پور و همکاران (Fallahpour et al., 2012) و فیض‌بخش و همکاران (Feyzbakhsh et al., 2013) مطابقت دارد و نتایج این قبیل مطالعات نیز مؤید نتایج مطالعه حاضر می‌باشند. لازم به ذکر است که در تعارض با یافته‌های این پژوهش مطالعه‌ای یافت نشد.

نتیجه‌گیری

محصولات زراعی مانند گندم و ذرت به‌طور فزاینده‌ای در اراضی حوضه آبریز دز کشت می‌شوند، در واقع، این دو محصول هنوز در برنامه‌های دولت و الگوهای کشت کشاورزان مهم هستند. از این‌رو، رسیدن به درک صحیحی از تولید پایدار محصولات زراعی در این منطقه با توجه به تغییر اقلیم، خشکسالی‌های اخیر، ورشکستگی آب در کشور و در نهایت، به‌دلیل مصرف بی‌رویه نهاده‌ها ضروری است. از سویی، ایران همانند سایر کشورهای در حال توسعه به‌ویژه در خاورمیانه، یکی از کشورهای دارای تنش آبی بالا است، بنابراین تمام این عوامل تهدیدی جدی برای کشاورزی و امنیت غذایی می‌باشند. ارزیابی پایداری زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین ابزار در فرآیند برنامه‌ریزی توسعه پایدار بوده و لذا، توجه به آن در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. در سال‌های اخیر نیز شاخص علمی ردپای اکولوژیکی به‌طور گسترده در سراسر جهان برای اندازه گیری تأثیر انسان بر طبیعت، تعیین پایداری نظام‌های تولیدی و رسیدن به کشاورزی پایدار استفاده شده است. مطالعه حاضر با هدف تعیین پایداری اکولوژیکی دو محصول استراتژیک منطقه یعنی گندم آبی و ذرت دانه‌ای در سطح حوضه آبریز دز در استان خوزستان، تلاش نمود تا از طریق ارزیابی ردپای اکولوژیکی نشان دهد که کشت کدام محصول در منطقه به شرایط پایدار و کارآمد و مطلوب محیطی نزدیک‌تر است. نتایج ارزیابی هر دو نظام کشت بسیار نزدیک به هم بود، به‌طوری‌که هر دو نظام زراعی گندم و ذرت از نظر زیست‌محیطی پایدار نبوده و از کل نهاده‌های مصرفی برای هر دو محصول گندم و ذرت نیز به‌ترتیب، کود نیترات با ۴۰/۸۵ درصد و ۴۹/۳۶ درصد در رتبه اول و سپس سوخت گازوئیل با ۱۸/۵۷ درصد و ۱۷/۶۰ درصد در رتبه دوم و آب مصرفی با ۱۴/۵۷ درصد و ۱۶/۳۱ درصد در رتبه سوم بیشترین تأثیر را بر ناپایداری زیست‌محیطی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند. همچنین در این مطالعه، سیستم‌های کشت گندم و ذرت به ترتیب مقدار ۱/۷ تن و ۲/۸۶ تن کربن اضافه تولید می‌کنند که بیش از ظرفیت اکولوژیکی یک هکتار زمین انرژی می‌باشد. بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که در این مطالعه کشت ذرت در مقایسه با گندم به‌دلیل مصرف بیشتر نهاده‌ها ناپایداری و اثرات زیست‌محیطی بیشتری دارد و در واقع، کشت ذرت به مقادیر بیشتری از زمین کشاورزی نیز نیاز دارد. یافته‌ها نشان داد که برای هر دو کشت مصرف بی‌رویه کود نیترات و گازوئیل باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی در منطقه مطالعاتی شده است. از این‌رو، وضعیت سیستم‌های فعلی تولید محصولات کشاورزی در ایران نگران‌کننده و ناکارآمد است. علت ناکارآمدی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به فقدان برنامه توسعه یکپارچه کشاورزی و عدم هماهنگی بخش‌ها و سازمان‌های مرتبط، غلبه نگرش‌های سیاسی و اقتصادی در برنامه‌های توسعه کشاورزی بر نگرش پایداری، ضعف تکنولوژی، استفاده از روش‌های نادرست آبیاری و بالتبع راندمان پایین آبیاری، عدم ارزش‌گذاری واقعی آب در بخش کشاورزی و باور غلط کشاورزان مبنی بر مصرف بی‌رویه نهاده‌ها جهت افزایش میزان محصول مرتبط دانست. بنابراین، با توجه به وابستگی بالای نظام‌های تولید به نهاده‌های مصرفی در این مطالعه به‌منظور بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها و افزایش پایداری محیطی؛ آموزش زارعین در خصوص مصرف به اندازه کودها و سموم شیمیایی، جایگزینی کودهای معدنی به‌جای کودهای شیمیایی، حمایت مالی از زارعین توسط دولت جهت نوسازی ماشین‌آلات کشاورزی فرسوده و الکتروپمپ‌های مناسب با شرایط مزارع و جایگزین نمودن پمپ‌های برقی، ترویج استفاده از سوخت سبز جهت جایگزینی سوخت‌های فسیلی برای اهداف حمل و نقل، بهینه‌سازی قیمت‌گذاری آب همراه با آبیاری نوین توصیه می‌گردد. به‌عنوان نتیجه نهایی، مشخص گردید که بوم‌نظام تولید گندم آبی از لحاظ پایداری محیطی از بوم نظام تولید ذرت دانه‌ای مطلوب‌

تـر است. در واقع، تولید گندم در منطقه نظام برتر برای دسـتیابی بـه پایداری زیست‌محیطی نسبت به تولید ذرت است. بنابراین، با توجه به ردپای برجسته و قابل توجه هر دو محصول زراعی، تولید هر دو کشت بـه‌ویـژه ذرت بایـد بـا بـالاترین دقـت و در نظـر گـرفتن ملاحظـات زیست‌محیطی در منطقه انجام گیرد.

References

1. Agostinho, F., & Pereira, L., (2013). Support area as an indicator of environmental load: Comparison between embodied energy, ecological footprint, and emergy accounting methods. *Ecological Indicators, 24*, 494-503. DOI:10.1016/j.ecolind.2012.08.006
2. Ahmadi, F., Radmanesh, F., Parham, G.A., & Mirabbasi Najafabadi, R., (2017). Application of Archimedean joint functions in flood frequency analysis (Case study: Dez catchment). *Iranian Soil and Water Research (Iranian Agricultural Sciences)*, *48*(3), 477-489. (In Persian with English Summary). DOI:10.22059/ijswr.2017.217805.667551
3. Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., & Kizilay, H., (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *7*(2), 475-480.
4. Amini, S., Rohani, A., Aghkhani, M.H., Abbaspour-Fard, M.H., & Asgharipour, M.R., (2020). Sustainability assessment of rice production systems in Mazandaran province, Iran with emergy analysis and fuzzy logic. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 40*, 100744. https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100744
5. Bahrami, A., (2015). Environmental impact assessment of agricultural farming systems in Hamedan province: using ecological footprint analysis. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University of Hamedan, Iran. (In Persian with English Summary)
6. Bavec, M., Narodoslawsky, M., Bavec, F., & Turinek, M., (2011). Ecological impact of wheat and spelt production under industrial and alternative farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, *27*(3), 242-250. DOI:10.1017/S1742170511000354
7. Canakci, M., & Akinci, I., (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy, 31*(8-9), 1243-1256. https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.021
8. Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A., (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region, Turkey. *Energy Conversion and Management*, *46*(4), 655-666. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008
9. Cetin, B., & Vardar, A., (2008). An economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey. *Renewable Energy, 33*(3), 428-433. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.008
10. Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Behbahani, A.G., & Bannayan, M., (2012). The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Environment, Development and Sustainability*, *14*(6), 979-992. DOI:10.1007/s10668-012-9367-3
11. Fang, K., Heijungs, R., & de Snoo, G.R., (2014). Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family. *Ecological Indicators, 36*, 508-518. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.017
12. Feyzbakhsh, M.T., & Soltani, A., (2013). Energy flow and global warming potential of corn farm (Gorgan city). *Journal of Crop Production (EJCP)*, *6*(3), 89-107. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.2008739.1392.6.3.6.6
13. Solís-Guzmán, J., Marrero, M., & Ramírez-de-Arellano, A., (2013). Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicators, 25*, 239-249. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.008
14. Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D., & Kalburtji, K.L., (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *122*(2), 243-251. DOI:10.1016/j.agee.2007.01.017
15. Kissinger, M., & Gottlieb, D., (2012). From global to place oriented hectares—The case of Israel's wheat ecological footprint and its implications for sustainable resource supply. *Ecological Indicators, 16*, 51-57. DOI:10.1016/j.ecolind.2011.03.012

16. Naderi Mahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., & Sheklabadi, M., (2015). Assessment of agricultural farming systems sustainability in Hamedan province using ecological footprint analysis (Case study: irrigated wheat). *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST), 17*, 1409-1420.
17. Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C., (2004). Energyinput–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy, 29*(1), 39-51. https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-6
18. Pilevar, A.R., Matinfar, H.R., Sohrabi, A., & Sarmadian, F., (2020). Integrated fuzzy, AHP, and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. *Ecological Indicators, 110*, 105887. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105887
19. Rathke, G.W., & Diepenbrock, W., (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy, 24*(1), 35-44. DOI:10.1016/j.eja.2005.04.003
20. Rees, W.E., & Wackernagel, M., (1999). Monetary analysis: Turning a blind eye on sustainability. *Ecological Economics, 29*(1), 47-52.
21. Rezaei, P., Naderi Mahdei, K., Karimi, S., & Shanazi, K., (2019). Environmental sustainability assessment of farming system using ecological footprint analysis (Case study: potato and cucumber cultivation in Sofalgaran district of Bahar county). *Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 29*(2). (In Persian with English Summary)
22. Sarkar, D., Kar, S.K., Chattopadhyay, A., Rakshit, A., Tripathi, V.K., Dubey, P.K., & Abhilash, P.C., (2020). Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. *Ecological Indicators, 115*, 106412. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106412
23. Sarkodie, S.A., Strezov, V., Weldekidan, H., Asamoah, E.F., Owusu, P.A., & Doyi, I.N.Y., (2019). Environmental sustainability assessment using dynamic autoregressive-distributed lag simulations-nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food, and economic growth. *Science of the Total Environment, 668*, 318-332. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.432
24. Silalertruksa, T., & Gheewala, S.H., (2018). Land-water-energy nexus of sugarcane production in Thailand. *Journal of Cleaner Production, 182*, 521-528. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618303913
25. Strapatsa, A.V., Nanos, G.D., & Tsatsarelis, C.A., (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 116*(3-4), 176-180. DOI:10.1016/j.agee.2006.02.003
26. Streimikis, J., & Baležentis, T., (2020). Agricultural sustainability assessment framework integrating sustainable development goals and interlinked priorities of environmental, climate, and agriculture policies. *Sustainable Development, 28*(6), 1702-1712. https://doi.org/10.1002/sd.2118
27. Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Varnamkhasti, M.G., Rahimizadeh, R., & Karimi, M., (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy, 34*(1), 41-45. DOI:10.1016/j.energy.2008.09.023
28. Talukder, B., Blay-Palmer, A., & Hipel, K.W., (2020). Towards complexity of agricultural sustainability assessment: Main issues and concerns. *Environmental and Sustainability Indicators, 6*, 100038. https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100038
29. Tarazkar, M.H., Dehbidi, N., & Shokoohi, Z., (2019). Estimating the ecological footprint of agricultural production in D-8 Islamic countries. *Journal of Environmental Sciences, 16*(4), 17-32. (In Persian with English Summary)
30. Tipi, T., Cetin, B., & Vardar, A., (2009). An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment, 7*(2), 352-356.
31. Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., & Jaggard, K., (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems, 85*(2), 101. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015