



Economic-environmental study of the symbiosis pattern of rice with fish and duck in Guilan province

Shiva Ghaznavi¹ , Saeed Yazdani² , Hamed Rafiei³ , Iraj Saleh⁴ , Ashkan Nabavi Pelesarai⁵

1. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: shivaghaznavi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: syazdani@ut.ac.ir
3. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hamedrafiei@ut.ac.ir
4. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: isaleh@ut.ac.ir
5. DTU-Technical University of Denmark, E-mail: ashnab@dtu.dk

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 25 January 2025 Received in revised form: 26 April 2025 Accepted: 2 August 2025 Published online: Autumn 2025 Keywords: <i>Combined crops, Economic and environmental, Fish and duck, Rice.</i>	Rice, as a strategic commodity, constitutes a major share of Iran's national food basket. Integrated farming systems—such as rice–fish and rice–fish–duck—are considered innovative approaches to sustainable agriculture, reducing dependence on chemical inputs through biological interactions. The objective of this study was to comparatively evaluate the economic profitability and environmental impacts of these systems versus rice monoculture. Conducted during the 2022–2023 crop year across six counties in Guilan Province, the research collected data from 361 questionnaires, using convenience sampling for monoculture farmers and a complete census for integrated farming practitioners. Findings indicated the overall superiority of integrated systems. Economically, they provide continuous income streams throughout the year, supporting rural households, while monoculture income remains seasonal. Environmentally, Life Cycle Assessment (LCA) showed that diesel fuel consumption was the main contributor to ecological footprints; however, the rice–fish–duck system, benefiting from ducks' natural aeration, consumed less diesel than the rice–fish system, thus offering greater environmental advantages. Overall, the rice–fish–duck system is recommended as a model that simultaneously enhances economic and environmental sustainability in Guilan's paddy fields. Its successful implementation requires integrated policymaking, support for low-consumption technologies (e.g., solar-powered aerators), and targeted extension programs.

Cite this article: Ghaznavi, Sh., Yazdani, S., Rafiei, H., Iraj, S. & Nabavi Pelesarai, A. (2025). Economic-environmental study of the symbiosis pattern of rice with fish and duck in Guilan province. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 56-2 (3), 213-228. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2026.405179.669397>



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2026.405179.669397>

Extended Abstract Objective

Rice is one of the oldest cultivated crops and serves as the staple food for more than half of the world's population. It is among the most important agricultural products globally and is cultivated across vast regions

of the world. In Iran, rice is the second most consumed agricultural product after wheat and is regarded as a strategic crop within the agricultural sector. Currently, Guilan and Mazandaran provinces are the main rice-producing regions in the country, accounting for approximately 80–82% of domestic rice production. Rice also constitutes a major component of the diet, particularly in northern provinces.

Biological control has emerged as an effective approach to reduce the use of chemical fertilizers and pesticides in rice cultivation. Integrated rice–fish and rice–fish–duck farming systems represent important forms of biological control practiced worldwide. The primary objective of this study is to evaluate the economic and environmental performance of these integrated (dual) cropping systems. To this end, the economic profitability and environmental impacts of three cultivation systems—monoculture rice, rice–fish, and rice–fish–duck—were assessed using data collected from 361 questionnaires completed in six cities of Guilan Province, namely Astaneh Ashrafieh, Rasht, Somesara, Lahijan, Fuman, and Rezvanshahr.

Materials and Methods

Both documentary and field methods were employed to collect the required data, with questionnaires serving as the main research instrument. This study is classified as applied research in terms of purpose and survey research in terms of data collection. The primary data were gathered during the 2022–2023 cropping seasons through the distribution and completion of questionnaires. Production costs and revenues per hectare were analyzed, and the share of each production input in total costs was determined. Additionally, net income, productivity index, and benefit–cost ratio were calculated. Environmental impacts were evaluated using the Life Cycle Assessment (LCA) approach.

Results

The results of the economic analysis indicate that integrated cultivation systems outperform monoculture rice farming across all economic indicators. These systems play a significant economic role in improving the livelihoods of rural households and offer long-term economic benefits. In contrast, monoculture rice farming provides only short-term gains and lacks substantial long-term advantages.

Environmental assessment results revealed that diesel fuel input is a critical factor influencing the environmental performance of integrated cropping systems and should therefore receive particular attention in environmental policy-making. Moreover, the rice–fish–duck system consumed less diesel fuel compared to the rice–fish system, mainly due to the presence of ducks in the field, which reduces the need for mechanical operations. Consequently, the rice–fish–duck system demonstrated superior environmental performance.

Conclusion

In conclusion, rice–fish–duck co-cultivation represents an efficient and multifunctional use of paddy fields, enabling farmers to simultaneously produce three products within the same land unit. When implemented according to proper technical and managerial principles, this system can significantly enhance farmers' production and income while reducing environmental pollution and improving overall environmental sustainability.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

This work is based upon research funded by the Iran National Science Foundation (INSF) under project No. 4044603.

Ethical considerations

This study was derived from a research project (Grant No. 4044603) scientifically approved by the Iran National Science Foundation (INSF). The research protocol was reviewed and approved as part of the INSFs grant evaluation process. All materials and methods were performed in accordance with the instructions and regulations and this research has been approved by a committee at the Iran National Science Foundation (INSF), Iran. The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



بررسی اقتصادی-زیست محیطی الگوی هم زیستی کشت توام برنج با ماهی و اردک در استان گیلان

شیوا غزنوی^۱ | سعید یزدانی^۲ | حامد رفیعی^۳ | ایرج صالح^۴ | اشکان نبوی پله سرائی^۵

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: shivaghaznavi@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: syazdani@ut.ac.ir

۳. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hamedrafiee@ut.ac.ir

۴. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: isaleh@ut.ac.ir

۵. دانشگاه فنی-DTU دانمارک. رایانامه: ashnab@dtu.dk

چکیده

اطلاعات مقاله

برنج به عنوان یک کالای استراتژیک، سهم عمده‌ای در سبد غذایی ایران ایفا می‌کند. نظام‌های کشت تلفیقی، مانند برنج-ماهی و برنج-اردک، رویکردی نوین در کشاورزی پایدار به شمار می‌روند که با بهره‌گیری از کنش‌های زیستی، وابستگی به نهاده‌های شیمیایی را کاهش می‌دهند. هدف این پژوهش، ارزیابی مقایسه‌ای سودآوری اقتصادی و پیامدهای زیستمحیطی این دو نظام تلفیقی در مقابل کشت تک‌محصولی برنج است. این مطالعه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در شش شهرستان استان گیلان (آستانه اشرفیه، رشت، صومعه‌سرا، لاهیجان، فومن و رضوانشهر) اجرا شد. داده‌ها از طریق تکمیل ۳۶۱ پرسشنامه گردآوری شدند که برای کشت تک‌محصولی از روش نمونه‌گیری در دسترس و برای کشت‌های تلفیقی از روش سرشماری کامل بهره‌برداری شد. یافته‌ها حاکی از برتری مطلق نظام‌های تلفیقی بود. از نظر اقتصادی، این نظام‌ها با ایجاد جریان درآمدی مستمر در طول سال، نقش اقتصادی ممتازی برای خانوارهای روستایی ایفا می‌کنند؛ درحالی‌که درآمد کشت تک‌محصولی برنج ماهیتی فصلی و مقطعی دارد. از منظر زیستمحیطی، ارزیابی چرخه زندگی نشان داد که مصرف سوخت دیزل، عامل کلیدی در تشدید ردپای بوم‌شناختی این نظام‌هاست. با این حال، نظام برنج-ماهی-اردک به لطف نقش اردک در هوادهی طبیعی، مصرف سوخت دیزل کم‌تری نسبت به نظام برنج-ماهی داشت و از مزیت زیستمحیطی برجسته‌تری برخوردار بود. در مجموع، نظام کشت تلفیقی برنج-ماهی-اردک، به عنوان الگویی که هم‌زمان پایداری اقتصادی و زیستمحیطی را ارتقا می‌بخشد، برای توسعه در شالیزارهای استان گیلان توصیه می‌شود. اجرای موفقیت‌آمیز این الگو مستلزم سیاست‌گذاری یکپارچه، حمایت از فناوری‌های کم‌مصرف (مانند هوادهای خورشیدی) و برنامه‌ریزی ترویجی هدفمند است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱

تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

اقتصادی و زیست محیطی؛ برنج؛ ماهی و اردک؛ کشت های توام.

استناد: غزنوی، شیوا؛ یزدانی، سعید؛ رفیعی، حامد؛ صالح، ایرج و نبوی پله سرائی (۱۴۰۴). بررسی اقتصادی-زیست محیطی الگوی هم زیستی کشت توام برنج با ماهی و اردک در استان گیلان. *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۲-۵۶ (۳)، ۲۲۸-۲۱۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2026.405179.669397>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2026.405179.669397>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

برنج از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است و غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان به شمار می‌رود. همچنین، این محصول به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی دنیا در بخش‌های وسیعی از جهان کشت می‌شود (Limouchi & Siadat, 2021). برنج پس از گندم، پرمصرف‌ترین محصول زراعی کشور محسوب شده و از تولیدات راهبردی بخش کشاورزی است (aliakbar baghestany et al, 2020). در حال حاضر استان‌های گیلان و مازندران مهم‌ترین مناطق کشت برنج در ایران هستند که ۸۰ الی ۸۲ درصد از تولید برنج در داخل کشور را به عهده دارند (Agricultural Jihad Organization of Gilan Province, 2022). امروزه استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی به دلیل تولید فشرده کشاورزی منجر به مشکلات زیست‌محیطی شدید از جمله آلودگی محیطی، افزایش اسیدی شدن خاک و کاهش بهره‌وری خاک شده است (Hou et al, 2023). علف‌های هرز، مهم‌ترین عامل خسارت‌زا در تولید برنج هستند که در صورت عدم کنترل، خسارت آنها در کشت نشایی به حدود ۷۰ درصد می‌رسد (Yaghoubi, 2015). این مسئله به این دلیل است که علف‌های هرز از بخشی از منابع ضروری برای رشد برنج استفاده می‌کنند. مدیریت علف‌های هرز در شالیزارها هزینه قابل توجهی دارد و دوره وجین در آن کوتاه است و به نیروی کار زیادی نیازمند است که این موضوع چالش‌های بیشتری ایجاد می‌کند (Zhou et al, 2019). امروزه تمام شالیزارهای کشور، حداقل از یک علف‌کش و حدود نیمی از آن‌ها از دو یا چند علف‌کش استفاده می‌کنند (Abadian et al, 2022). اگرچه در سال‌های اخیر، بر مصرف سموم در مزارع برنج نظارت بیشتری صورت گرفته است اما همچنان نگرانی از آن برای مصرف کنندگان وجود دارد (Asadpour et al, 2021). از آنجایی که نیاز مبرمی به آسیب کمتر کشاورزی به تنوع زیستی وجود دارد، اقدامات حفاظتی در عرصه‌های کشاورزی باید در چارچوبی مبتنی بر تنوع زیستی جهانی مورد بازنگری قرار گیرند (Wanger et al, 2020).

کنترل بیولوژیک علف‌های هرز روشی است که ضمن رعایت اصول اکولوژیکی می‌تواند با به‌کارگیری دشمنان طبیعی و عوامل بیماری‌زای علف هرز، تراکم آن‌ها را در زیر سطح خسارت اقتصادی نگه دارد. یکی از روش‌های کنترل بیولوژیک کشت‌های تلفیقی است. نظام‌های کشاورزی تلفیقی و کشت توأم، فرصتی برای کاهش برخی از مشکلات مربوط به مصرف کودهای شیمیایی ارائه می‌دهد. این نظام‌ها بر اصول کشاورزی بوم‌شناختی استوارند که هدف آن افزایش پایداری و بهره‌وری کشاورزی در عین حفظ محیط زیست است (Low et al, 2023). امروزه در کشاورزی پایدار و مدرن، سیستم تولید باید بر اساس استراتژی مدیریت منابع برای دستیابی به تولید پایدار و اقتصادی برنامه‌ریزی شود، ضمن آنکه حفاظت از منابع و تضمین کیفیت محیط زیست نیز مدنظر باشد. حفاظت از تنوع زیستی و اکوسیستم‌ها وظیفه‌ای مهم و کلیدی در حفاظت از طبیعت است و با تثبیت شرایط کشاورزی پایدار می‌توان به حفظ اکوسیستم‌ها کمک کرد (Ivanič Porhajašová & Babošová, 2022). به همین دلیل امروزه کشت توأم از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این روش نقش ممتاز فرهنگی و اقتصادی برای خانوارهای روستایی دارد. نظام کشت توأم، بهره‌وری بومی و اقتصادی را ارتقاء می‌بخشد و همچنین با استفاده از اشتراکات تغذیه‌ای بین اجزای نظام تولید و مدیریت مشترک، منابع آب و خاک را حفظ کرده و بهره‌برداری بهینه‌ای را ممکن می‌سازد. درحالی که تمرکز بر روی تک‌کشتی ممکن است سود مقطعی داشته باشد، اما در بلندمدت سود موثر و قابل توجهی ندارد (Bakhshzad Mahmoudi, 1997).

کشت توأم برنج-ماهی و برنج-اردک از جمله این نظام‌هاست. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اقتصادی-زیست‌محیطی الگوی هم‌زیستی کشت توأم برنج با ماهی و اردک در استان گیلان است. کشت توأم کشاورزی و آبی‌پروری به عنوان راه‌حلی پایدار و مبتنی بر طبیعت برای تولید مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است (M. Liu et al, 2019; Lu & Li, 2006). این نظام تولیدی، تولید برنج و ماهی یا اردک را در یک مزرعه قرار می‌دهد که نه تنها از هم‌زیستی متقابل بین برنج و ماهی یا اردک برای دستیابی به اهداف کشاورزی زیست‌محیطی استفاده می‌کند، بلکه می‌تواند به‌طور مداوم محصولات غذایی و آبی تولید کند (Yuan et al, 2022). اردک در مزارع برنج با ارائه سازوکاری موفق، نظام زراعی را به سوی پایداری

در تولید و حفاظت از محیط زیست هدایت کرده و به عنوان ابزاری قدرتمند در مدیریت تلفیقی عمل می کند (Shouhui et al., 2023; Hossain et al., 2002; Lu et al., 2005; Kouchaki et al., 2023). در نهایت، اکوسیستم های کشاورزی پایدار باید از نظر بیولوژیکی و زیست محیطی متعادل، از نظر فنی قابل مدیریت، از نظر اقتصادی کارآمد و از نظر اجتماعی قابل قبول باشند و هدف باید دستیابی به توازن بین نیازهای زیست محیطی و کارایی اقتصادی باشد (Ivanič Porhajašová & Babošová, 2022).

در این میان، از میان پژوهش های انجام شده در این زمینه می توان به موارد زیر اشاره کرد. نتایج مطالعه Ghanaei-Pashaki et al. (2022) با عنوان «تأثیر کشت توأم برنج با اردک بر روند تغییرات معیارهای رشدی، فتوسنتز و بهره وری آب» نشان داد که به طور کلی اردک با کنترل مناسب علف های هرز در مزرعه که ناشی از تحرک و فعالیت منقار آن (و در نتیجه گل آلود کردن آب) است و همچنین با اضافه کردن فضولات به شالیزار، موجب افزایش رشد و نمو و بهبود شرایط رقابتی برنج شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد برنج می شود. (Haqdoost Manjili et al., 2015) آثار اقتصادی-اجتماعی توسعه کشت توأم برنج و ماهی در استان گیلان را بررسی کردند و دریافتند که مهم ترین پیامدهای آن ایجاد تعادل در رژیم غذایی به دلیل تأمین پروتئین ماهی، کاهش مصرف کود و سم نسبت به تک کشتی، صرفه جویی در منابع آب و کاهش نیاز به نیروی کارگری برای وجین مزرعه است. (Ren et al., 2023) نیز نظام کشت تلفیقی برنج و ماهی را در چین بررسی کردند. نتایج اصلی پژوهش نشان داد که این نظام باعث افزایش حاصل خیزی خاک شالیزاری می شود. (Gao et al., 2023) نیز دریافتند که سیستم کشت توأم برنج و اردک، علاوه بر سود اقتصادی بالاتر، ردپای کربن به ازای هر واحد سود اقتصادی را نیز کاهش می دهد. مطالعات (Yan et al., 2023) در رابطه با کشت های توأم نشان داد که عملکرد و کیفیت برنج، درآمد کشاورزان و منافع زیست محیطی در این نوع کشت بهبود می یابد. با توجه به مطالب بیان شده و با بررسی مطالعات انجام شده درباره کشت توأم برنج و ماهی-اردک، انجام تحقیقی در ایران می تواند گام مهمی در راستای کنترل آلودگی ها، حفاظت از محیط زیست و افزایش کارایی اقتصادی باشد و از این نظر، مطالعه حاضر ضروری به نظر می رسد. همچنین در ایران مطالعه ای یافت نشد که به صورت همزمان به مقایسه سه نظام کشت «تک کشتی برنج»، «کشت توأم برنج-ماهی» و «کشت توأم برنج-ماهی-اردک» از هر دو منظر اقتصادی و زیست محیطی پرداخته باشد؛ بنابراین این تحقیق از این جنبه دارای نوآوری است. لازم به ذکر است که پرسش اصلی این پژوهش آن است که این سه نظام کشت از منظر اقتصادی و زیست محیطی چه تفاوت هایی با یکدیگر دارند.

روش شناسی پژوهش

در این پژوهش، با هدف بررسی سودآوری اقتصادی نظام های مختلف کشت، ابتدا درآمد ناخالص هر نظام با در نظر گرفتن کلیه منابع درآمدی مرتبط محاسبه می شود. برای کشت تک محصولی برنج، این درآمد شامل عواید حاصل از فروش برنج سالم، برنج نیمه دانه، پوسته برنج و کاه و کلش است. در نظام های کشت توأم (برنج-ماهی و برنج-ماهی-اردک)، درآمد حاصل از فروش ماهی و اردک نیز به این مجموعه افزوده می شود. این رویکرد جامع، امکان مقایسه دقیق تر ظرفیت درآمدزایی هر الگوی کشت را با در نظرگیری تمامی محصولات اصلی و فرعی فراهم می سازد.

$$GV_i = Y_i * P_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

برای بررسی دقیق سودآوری اقتصادی برنج در سه نظام کشت (تک کشتی، توأم با ماهی و توأم با ماهی-اردک)، لازم است هزینه های تولید و درآمد حاصل از فروش محصول در سطح یک هکتار به طور مجزا تحلیل شود. در این راستا، هزینه کل تولید به دو بخش هزینه های ثابت (مانند اجاره زمین، بیمه و استهلاک ماشین آلات که در کوتاه مدت با تغییر سطح تولید ثابت می ماند) و هزینه های متغیر (شامل خرید نهاده هایی مانند بذر، کود، سم، نیروی کار، سوخت و آب که با حجم تولید تغییر می کنند) تفکیک می شود (Kupahi, 2006). پس از احتساب هزینه ها، درآمد خالص از طریق رابطه های زیر محاسبه

می‌شود تا امکان مقایسه سودآوری واقعی هر نظام فراهم آید. همچنین، سهم هر یک از عوامل تولید از کل هزینه‌ها نیز مشخص خواهد شد تا ساختار هزینه‌ای هر الگوی کشت به وضوح نمایان شود.

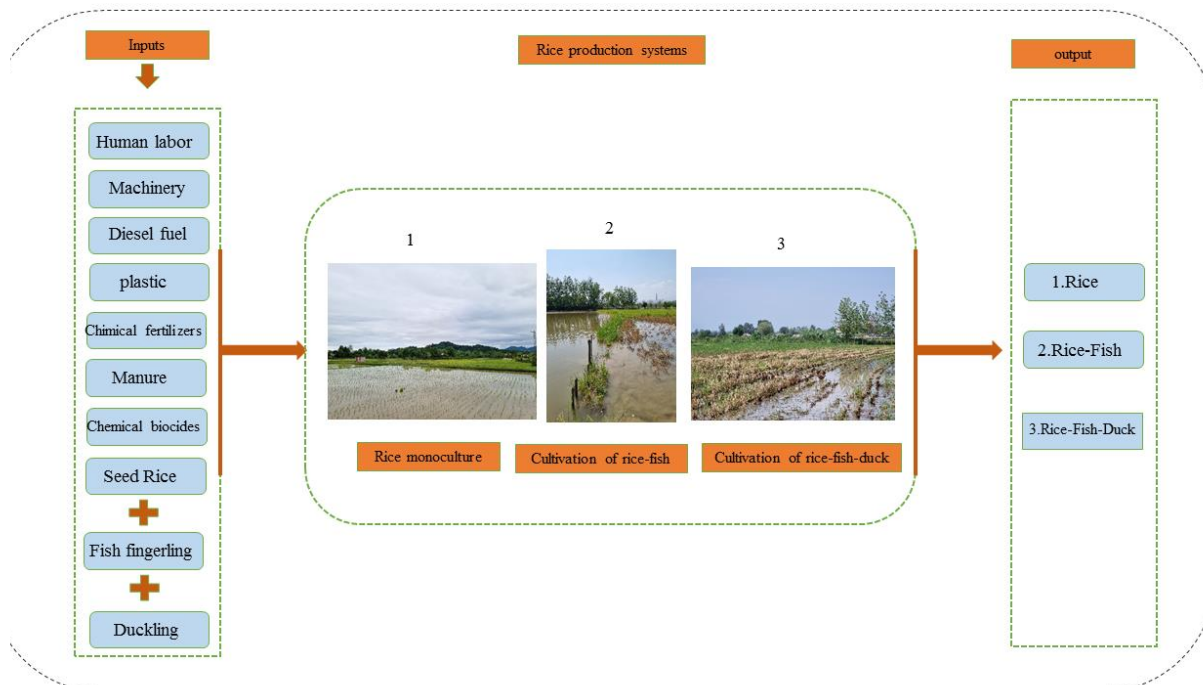
$$NI = \text{Total production value} - \text{Total cost of production} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$F = \frac{\text{Total of production (kg)}}{ha} \quad (\text{رابطه ۳})$$

نسبت فایده به هزینه (BC) عبارت است از نسبت ارزش ناخالص محصول بر هزینه کل تولید می‌باشد. که با توجه به رابطه ۴ محاسبه می‌شود (Kuswardhani et al, 2013).

$$BC_i = \frac{GV_i}{TC_i} \quad (\text{رابطه ۴})$$

پس از ارزیابی اقتصادی، اثرات زیست محیطی سه نظام کشت با به کارگیری روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA) و مطابق با استاندارد ISO 14040 کمی سازی می‌شود (Kaab et al., 2019; Mostashari-Rad et al., 2020). در این روش، کلیه تأثیرات محیطی مرتبط با تولید برنج، از مرحله ورود نهاده‌ها به مزرعه تا خروج محصول اصلی (با تعیین «دروازه مزرعه» به عنوان مرز سیستم) ارزیابی خواهد شد (Khoshnevisan et al., 2013). برای انجام این ارزیابی از رویکرد ReCiPe 2016 استفاده شده که تأثیرات را در سه دسته نهایی سلامت انسان (با واحد DALY)، اکوسیستم‌ها (با واحد species.yr) و منابع (با واحد USD 2013) اندازه گیری می‌کند (Mostashari-Rad et al., 2020). این معیارهای نهایی از طریق تلفیق ۱۷ شاخص میانی محاسبه و در نهایت، با بی‌بعدسازی و وزن دهی به آن‌ها، شاخص ترکیبی «آسیب وزن دهی شده کل» به عنوان نماینده کمی نتایج LCA استخراج می‌شود. کلیه محاسبات با نرم افزار SimaPro نسخه ۸,۰,۳ انجام و خروجی‌ها با نرم افزارهای مجموعه آفیس مستندسازی می‌شود.



شکل ۱. مرز سامانه مورد مطالعه در سه سیستم کشت برنج در استان گیلان

Figure 1. System boundary of the studied system in three rice cultivation systems in Guilan Province

در این پژوهش که از نوع کاربردی-پیمایشی است، داده‌های مورد نیاز از طریق روش‌های اسنادی و میدانی و با ابزار پرسشنامه در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ گردآوری شد. فرآیند نمونه‌گیری به‌صورت خوشه‌ای و در استان گیلان انجام شد. ابتدا شش شهرستان دارای بیشترین سطح کشت توأم (آستانه‌اشرفیه، رشت، صومعه‌سرا، لاهیجان، فومن و رضوانشهر) انتخاب شدند. در این شهرستان‌ها، کلیه ۷۰ مزرعه دارای کشت توأم (۴۵ مزرعه برنج-ماهی و ۲۵ مزرعه برنج-ماهی-اردک) به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، با استفاده از فرمول کوکران و به روش نمونه‌گیری در دسترس، تعداد ۲۹۱ پرسشنامه از مزارع تک‌کشتی برنج در همین شهرستان‌ها تکمیل شد.

یافته‌های پژوهش

جدول شماره (۱) مقایسه سطح تحصیلات افراد در سه سیستم کشت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد افراد دارای مدرک دیپلم و بالاتر در نظام‌های کشت توأم در مقایسه با تک‌کشتی بیشتر است. جدول شماره (۲) آمار توصیفی متغیرهای سن و سطح زیر کشت را برای هر سه نظام کشت ارائه می‌دهد. نتایج این جدول حاکی از آن است که میانگین سنی کشاورزان در نظام‌های تک‌کشتی برنج، کشت توأم برنج-ماهی و کشت توأم برنج-ماهی-اردک به ترتیب ۴۷، ۴۰ و ۴۲ سال است. دامنه سنی در کشت تک‌محصولی برنج بین ۲۵ تا ۷۱ سال، در سیستم برنج-ماهی بین ۳۳ تا ۵۹ سال و در سیستم برنج-ماهی-اردک بین ۳۵ تا ۵۸ سال متغیر است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین سنی در نظام‌های کشت توأم پایین‌تر از کشت تک‌محصولی است.

جدول ۱. مقایسه تحصیلات در سه سیستم کشت مورد مطالعه

Table 1. Comparison of education levels across the three studied cultivation systems

درصد Percentage	فراوانی Frequency	تحصیلات Education level	نوع سیستم کشت Cultivation system
66.32	193	زیر دیپلم Below diploma	تک کشتی برنج Monoculture rice
28.16	82	دیپلم Diploma	
5.5	16	تحصیلات دانشگاهی Higher education	
100	291	جمع Total	
48.89	22	زیر دیپلم Below diploma	کشت توأم برنج-ماهی Rice-fish co-cultivation
42.22	19	دیپلم Diploma	
8.89	4	تحصیلات دانشگاهی Higher education	
100	45	جمع Total	
48	12	زیر دیپلم Below diploma	کشت توأم برنج-ماهی-اردک Rice-fish-duck co-cultivation
44	11	دیپلم Diploma	
8	2	تحصیلات دانشگاهی Higher education	
100	25	جمع Total	

ماخذ: یافته‌های تحقیق

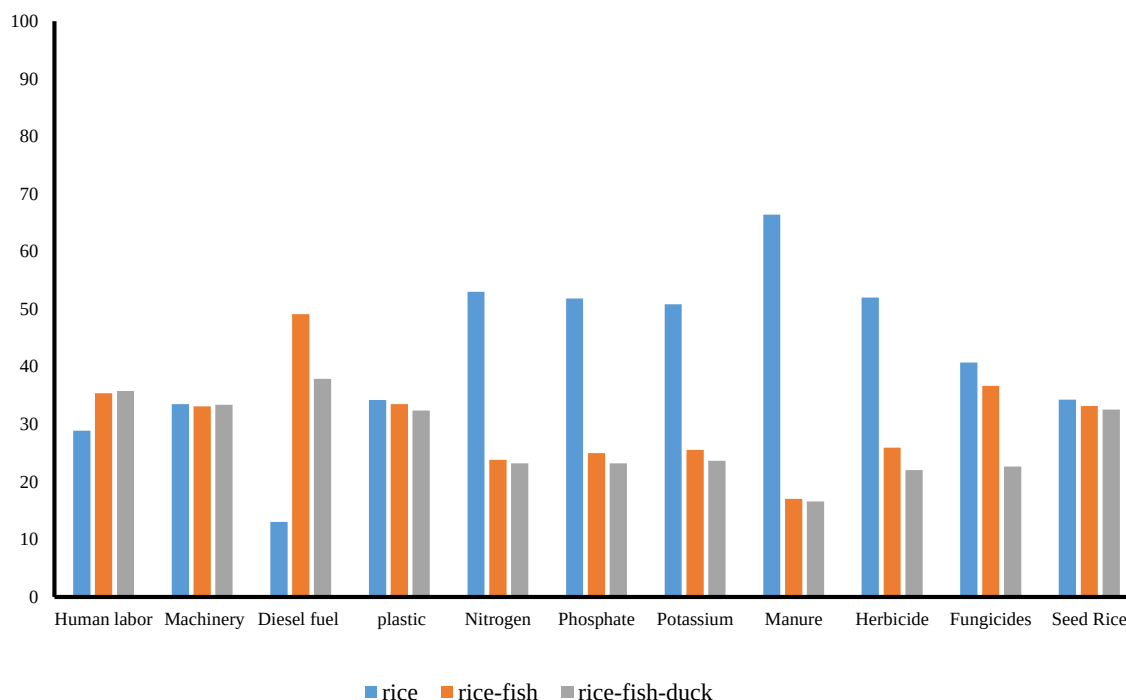
جدول ۲. متغیر سن و سطح زیر کشت در سه سیستم کشت مورد مطالعه

Table 2. Age and cultivated area variables across the three studied cultivation systems

نوع سیستم کشت Cultivation system	متغیر Variable	میانگین Mean	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	انحراف معیار Standard deviation	ضریب تغییرات Coefficient of variation
تک کشتی برنج Monoculture rice	سن (تعداد سال) Age (years)	47	25	71	۹,۸۲	0.2
	سطح زیر کشت (هکتار) Cultivated	0.8	0.25	2	0.3	0.4
کشت توأم برنج-ماهی Rice-fish co-cultivation	سن (تعداد سال) Age (years)	40	33	59	7.8	0.16
	سطح زیر کشت (هکتار) Cultivated	1	0.5	2	0.45	0.41
کشت توأم برنج-ماهی-اردک Rice-fish-duck co-cultivation	سن (تعداد سال) Age (years)	42	35	58	6.72	0.14
	سطح زیر کشت (هکتار) Cultivated	0.9	0.5	1.5	0.29	0.3

ماخذ: یافته های تحقیق

نمودار شماره (۱) میزان مصرف نهاده‌های مشترک در سه نظام کشت را مقایسه کرده و روند کلی کاهشی مصرف را از تک کشتی به سمت کشت‌های توأم نشان می‌دهد. بیشترین کاهش در مصرف مربوط به کود دامی است که در نظام‌های برنج-ماهی و برنج-ماهی-اردک به ترتیب ۴۹/۳۶ و ۴۹/۸۲ درصد کمتر از تک کشتی است. پس از آن، کود نیتروژن (با کاهش ۲۹/۱۶ و ۲۹/۷۹ درصد) و علف کش‌ها (با کاهش ۲۶/۰۳ و ۲۹/۹۲ درصد) بیشترین صرفه‌جویی را در این دو نظام کشت توأم داشته‌اند. قابل توجه است که درصد کاهش مصرف در اغلب نهاده‌ها در سیستم برنج-ماهی-اردک اندکی بیشتر از نظام کشت برنج-ماهی است. در مقابل، تنها دو نهاده نیروی کار و سوخت دیزلی در هر دو نظام توأم افزایش مصرف نشان می‌دهند، به‌طوری‌که نیروی کار در نظام‌های برنج-ماهی و برنج-ماهی-اردک به ترتیب ۶/۵۲ و ۶/۹۰ درصد، و سوخت دیزلی ۳۶/۰۹ و ۲۴/۸۶ درصد افزایش داشته است. نکته مهم، کمتر بودن افزایش مصرف سوخت دیزلی در نظام برنج-ماهی-اردک است که احتمالاً ناشی از نقش هوادهی طبیعی اردک‌ها و کاهش نیاز به هوادهی مکانیکی برای ماهی‌هاست. در مجموع، اختلاف قابل توجه در کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و دامی در نظام‌های توأم به‌ویژه در الگوی برنج-ماهی-اردک بر مزیت زیستمحیطی این نظام‌ها تأکید دارد.



نمودار ۱. درصد استفاده از نهاده ها در هر سه سیستم کشت

Figure 1. Percentage of input use across the three cultivation systems

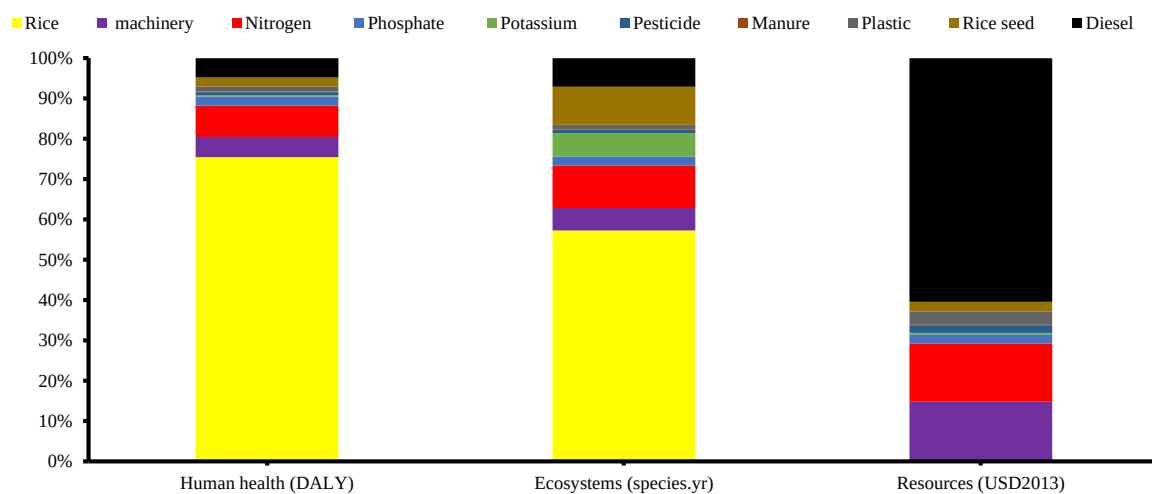
بررسی شاخص‌های اقتصادی در سطح یک هکتار (جدول ۳) نشان می‌دهد که نظام‌های کشت توأم از نظر درآمد و سودآوری بر نظام تک‌کشتی برتری چشمگیری دارند. درآمد کل در کشت تک‌محصولی حدود ۲ میلیارد ریال بود که با افزوده شدن پرورش ماهی به حدود ۱۰/۳ میلیارد ریال و با اضافه شدن پرورش اردک به حدود ۱۲/۳ میلیارد ریال افزایش یافت؛ به عبارتی، درآمد در نظام‌های توأم ۳۴ تا ۴۲ درصد بیشتر از تک‌کشتی بود. اگرچه کل هزینه تولید در این نظام‌ها به دلیل هزینه‌های مربوط به آبی‌پروری حدود ۲۵ درصد افزایش یافت، اما درآمد خالص (سود) رشد به‌مراتب بالاتری را تجربه کرد. سود در نظام برنج-ماهی به حدود ۸/۵ میلیارد ریال (افزایش ۳۶ درصدی) و در نظام برنج-ماهی-اردک به حدود ۱۰/۵ میلیارد ریال (افزایش ۴۵ درصدی) رسید. همچنین، عملکرد شلتوک در نظام‌های توأم حدود ۵ درصد بهبود یافت. مهم‌ترین شاخص ترکیبی، نسبت فایده به هزینه، در کشت تک‌محصولی ۲/۹، در نظام برنج-ماهی ۵/۸ و در نظام برنج-ماهی-اردک ۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده افزایش ۱۹ تا ۲۵ درصدی کارایی اقتصادی در نظام‌های توأم است. به‌طور خلاصه، علیرغم افزایش هزینه‌ها، کشت توأم، به‌ویژه الگوی برنج-ماهی-اردک با ایجاد ارزش افزوده بالا، بهبود عملکرد و افزایش چشمگیر سودآوری، از توجیه اقتصادی مطلوبی برخوردار است.

جدول ۳. معیارهای اقتصادی مورد بررسی برای هر سه سیستم کشت
Table 3. Economic indicators examined for the three cultivation systems

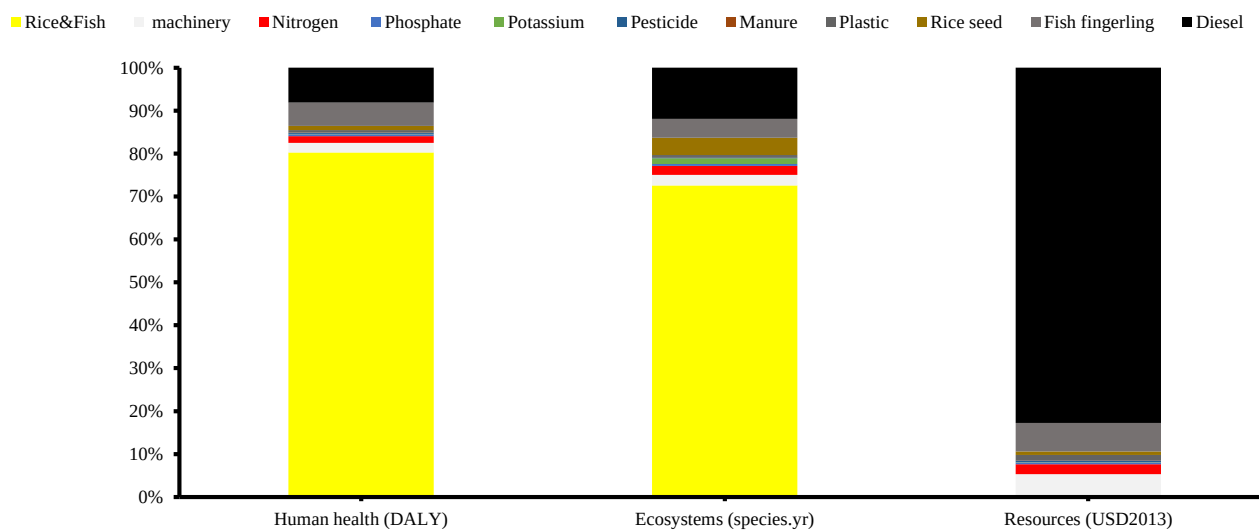
معیارهای مورد بررسی	تک کشتی برنج Monoculture rice	کشت توام برنج-ماهی Rice-fish	کشت توام برنج-ماهی-اردک Rice-fish-duck				
Economic indicators	برنج Rice	ماهی Fish	برنج Rice	ماهی Fish	اردک Duck	کل Total	
درآمد کل (ریال) Gross income (IRR)	1,990,681,010	7,937,037,040	2,405,082,970	10,254,218,150	727,600,000	12,302,682,970	
مجموع هزینه ثابت (ریال) Total fixed cost (IRR)	35,004,180	88,467,930	0	339,034,590	0	269,744,760	
مجموع هزینه متغیر (ریال) Total variable cost (IRR)	676,022,270	606,720,930	578,619,730	1,425,327,220	209,730,480	1,550,992,300	
کل هزینه تولید (ریال) (TC) Total production cost (TC) (IRR)	711,026,450	695,188,850	578,619,730	1,764,361,810	209,730,480	1,820,737,070	
درآمد خالص (ریال) (NI) Net income (NI) (IRR)	1,279,654,560	6,867,864,070	1,826,463,240	8,489,856,330	517,869,520	10,481,945,900	
عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) Yield (kg ha ⁻¹)	3,544	4,112			4,176		
نسبت فایده به هزینه (B/C) Benefit-cost ratio (B/C)	2.86	5.83			6.97		

ماخذ: یافته های تحقیق

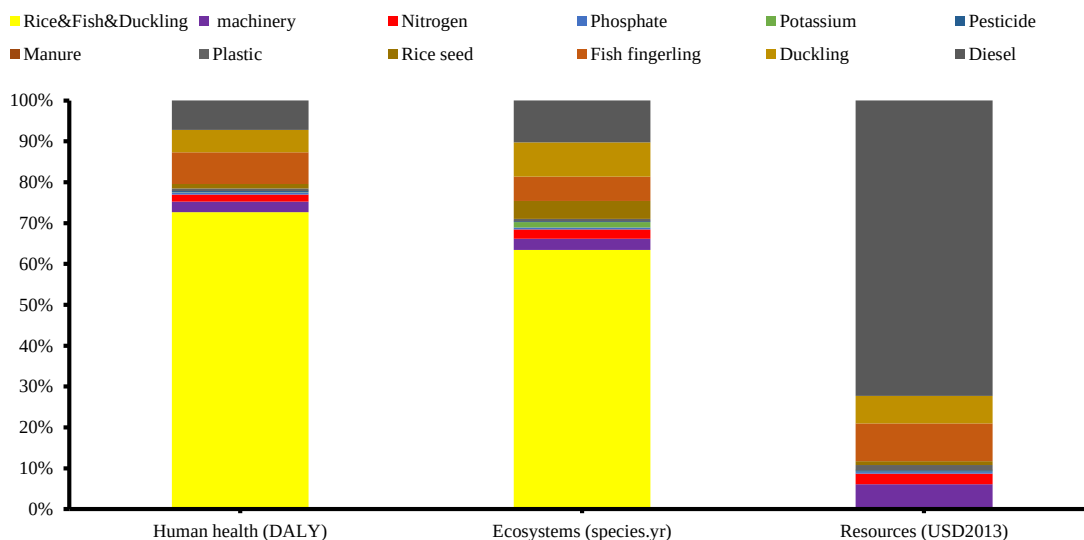
نتایج ارزیابی چرخه زیست در بخش معیارهای نهایی نشان داد که در هر سه نظام کشت، انتشارات مستقیم (احتمالاً ناشی از فعالیت های مزرعه ای مانند کشت و نشر گازها) بیشترین سهم را در تأثیر بر سلامت انسان و اکوسیستم دارد. پس از آن، کود نیتروژن، ماشین آلات و سوخت دیزل به ترتیب در رده های بعدی آثار مخرب قرار گرفتند. در معیار منابع، سوخت دیزلی با سهمی غالب (بین ۵۰ تا بیش از ۸۰ درصد در نظام های مختلف) به عنوان اصلی ترین عامل تخریب شناسایی شد و پس از آن، ماشین آلات، کود نیتروژن و مواد پلاستیکی بیشترین اثر را داشتند. این الگوی تأثیرگذاری در هر سه نظام کشت، تک کشتی، برنج-ماهی و برنج-ماهی-اردک مشابه بود، که نشان دهنده وابستگی شدید تمامی این نظام ها به نهاده های مبتنی بر سوخت فسیلی و نهاده های شیمیایی است.



نمودار ۲. معیار نهایی خسارت در سه بخش سلامت انسان، اکوسیستم و منابع برای سیستم تک کشتی برنج
 Figure 2. Final damage indicator in the three areas of human health, ecosystem, and resources for the

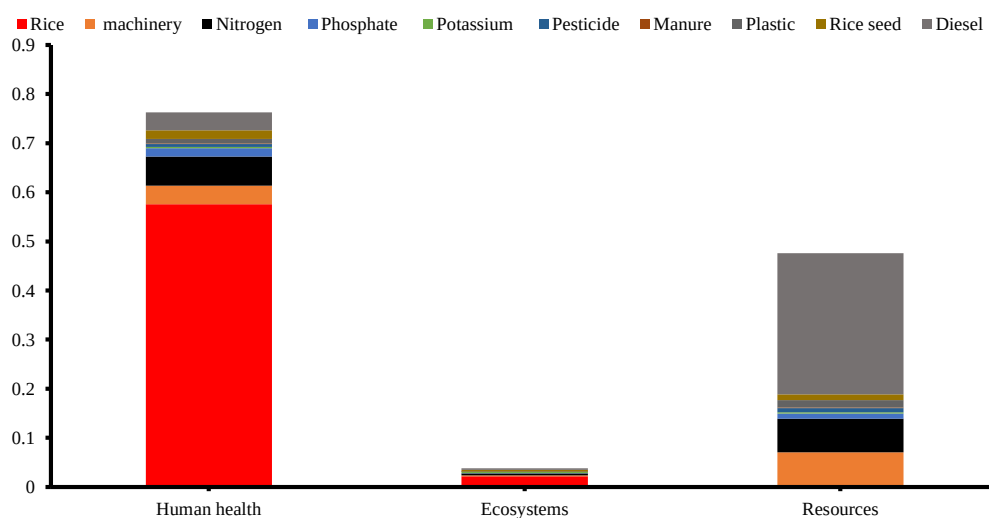


نمودار ۳. معیار نهایی خسارت در سه بخش سلامت انسان، اکوسیستم و منابع برای سیستم کشت توأم برنج-ماهی
 Figure 3. Final damage indicator in the three areas of human health, ecosystem, and resources for the rice-fish integrated cultivation system

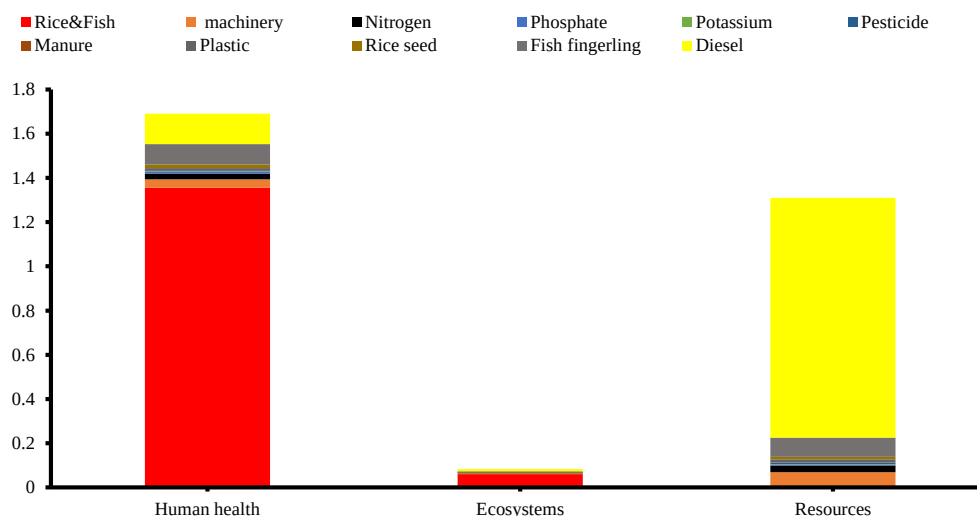


نمودار ۴. معیار نهایی خسارت در سه بخش سلامت انسان، اکوسیستم و منابع برای سیستم کشت توأم برنج-ماهی-اردک
Figure 4. Final damage indicator in the three areas of human health, ecosystem, and resources for the rice-fish-duck integrated cultivation system

نتایج نهایی ارزیابی چرخه زندگی پس از نرمال سازی و وزن دهی، امکان مقایسه یکپارچه سه معیار سلامت انسان، اکوسیستم و منابع را فراهم کرد. این نتایج نشان داد که در هر سه نظام کشت، بیشترین آسیب کلی به ترتیب متوجه سلامت انسان، سپس منابع و پس از آن اکوسیستم است. نکته قابل توجه آن که، با تغییر نظام کشت از تک کشتی برنج به برنج-ماهی و سپس به برنج-ماهی-اردک، درصد تخریب مرتبط با دو معیار سلامت انسان و اکوسیستم به طور پیوسته کاهش می یابد؛ به طوری که نظام برنج-ماهی-اردک کمترین آسیب را به این دو معیار وارد می کند. در مقابل، روند تأثیر بر معیار منابع معکوس است و با حرکت به سمت کشت های توأم افزایش می یابد. همان طور که در بخش قبل اشاره شد، این افزایش عمدتاً ناشی از مصرف سوخت دیزلی در این نظام هاست. بنابراین، لازم است این نقطه ضعف خاص در سیاست گذاری ها و ارائه راهکارهای عملی برای بهبود پایداری نظام های توأم مورد توجه ویژه قرار گیرد.

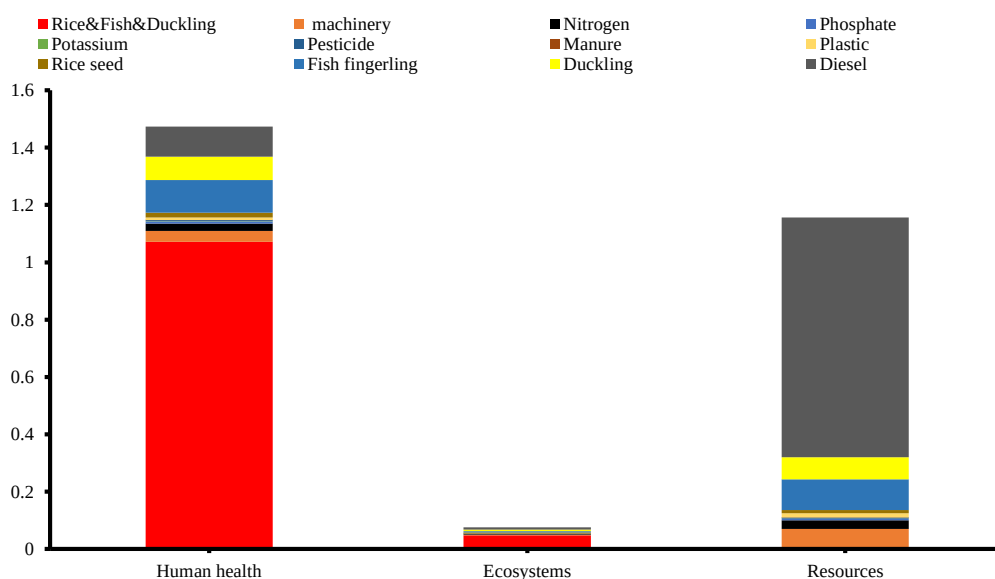


نمودار ۵. معیارهای نهایی نرمال سازی شده در سه بخش سلامت انسان، اکوسیستم و منابع برای سیستم تک کشتی برنج
Figure 5. Normalized final indicators in the three areas of human health, ecosystem, and resources for the monoculture rice system



نمودار ۶. معیارهای نهایی نرمال سازی شده در سه بخش سلامت انسان، اکوسیستم و منابع برای سیستم کشت توأم برنج-ماهی

Figure 6. Normalized final indicators in the three areas of human health, ecosystem, and resources for the rice–fish integrated cultivation system



نمودار ۷. معیارهای نهایی نرمال سازی شده در سه بخش سلامت انسان، اکوسیستم و منابع برای سیستم کشت توأم برنج-ماهی-اردک

Figure 7. Normalized final indicators in the three areas of human health, ecosystem, and resources for the rice–fish–duck integrated cultivation system

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که نظام‌های کشت توأم برنج-ماهی و برنج-ماهی-اردک نسبت به کشت تک‌محصولی برنج، از برتری اقتصادی و زیست‌محیطی چشمگیری برخوردارند. از نظر اقتصادی، درآمد خالص به ترتیب ۳۵/۶۰ و ۴۵/۴۴ درصد افزایش یافته و نسبت فایده به هزینه نیز رشد قابل توجهی (۱۸/۷۵ و ۲۵ درصد) داشته است. این نظام‌ها با ایجاد چرخه درآمدی مستمر در طول سال (برنج در تابستان، ماهی در پاییز و اردک در زمستان)، وابستگی معیشت کشاورز را به یک فصل کاهش داده و پایداری اقتصادی خانوارهای روستایی را افزایش می‌دهند. یافته‌های اقتصادی این پژوهش با نتایج مطالعات

Haqdoost Manjili et al. (2022) و Saeidzadeh & Garousi. (2014) Mansour Ghanaei-Pashaki et al. (2022) al. (2015) همسو است که بر قابلیت این نظام‌ها در ایجاد نظامی پایدار با تکیه بر منابع درون‌مزرعه‌ای تأکید دارند. همچنین هم‌خوانی با یافته‌های (Goda et al. (2024); Yang et al. (2023); Guo et al. (2020) مؤید مزیت اقتصادی کشت‌های توأم است.

از منظر زیست‌محیطی، ارزیابی چرخه زندگی نشان داد که با گذر از کشت تک‌محصولی به سمت نظام‌های توأم، تأثیرات منفی بر سلامت انسان و اکوسیستم به‌طور پیوسته کاهش می‌یابد. این امر عمدتاً ناشی از کاهش قابل توجه مصرف نهاده‌های شیمیایی و دامی است. هرچند تأثیر بر معیار منابع به دلیل افزایش مصرف سوخت دیزلی (برای هوادهای استخرهای ماهی) افزایش می‌یابد، اما حضور اردک در نظام برنج-ماهی-اردک با کمک به هوادهای طبیعی، این افزایش را تعدیل می‌نماید. این یافته با نتایج Shouhui et al. (2006) و Hossain et al. (2002) مطابقت دارد که اردک را به‌عنوان ابزاری مؤثر در مدیریت تلفیقی و هدایت نظام به سوی پایداری زیستی معرفی می‌کنند. همچنین، هم‌سویی با مطالعات Kouchaki et al. (2023) Lu et al. (2005) و Ren et al. (2023) Gao et al. (2023) بر مزیت زیستمحیطی کشت‌های توأم صحنه می‌گذارد.

باتوجه به مزایای اقتصادی و زیستمحیطی اثبات‌شده‌ی کشت توأم برنج-ماهی-اردک در این مطالعه و هم‌سویی نتایج با پژوهش‌های معتبر داخلی و بین‌المللی، ضروری است برنامه‌ریزی منسجمی برای گسترش این نظام در استان گیلان صورت پذیرد. در گام نخست، پیشنهاد می‌شود با اولویت‌بندی این نظام در سیاست‌های توسعه‌ی پایدار روستایی و کشاورزی استان، تسهیلات ویژه‌ای برای جلب مشارکت کشاورزان و نوسازی زیرساخت‌های مرتبط در نظر گرفته شود. از آنجا که یکی از چالش‌های اصلی شناسایی‌شده، افزایش مصرف سوخت دیزلی ناشی از نیاز به هوادهای است، حمایت فنی و مالی از تولید داخلی هوادهای خورشیدی و تشویق به کارگیری آن‌ها، نه تنها وابستگی به سوخت فسیلی را کاهش می‌دهد، بلکه نقطه‌ی ضعف زیستمحیطی این نظام را نیز مرتفع خواهد ساخت. در کنار این راهکار فنی، طراحی و اجرای برنامه‌های آموزشی-ترویجی برای انتقال دانش فنی مدیریت یکپارچه‌ی این نظام به کشاورزان محلی، پذیرش و کارایی آن را افزایش می‌دهد. برای تضمین پایداری بلندمدت و تعمیم‌پذیری نتایج، تکمیل چرخه‌ی پژوهش از طریق انجام مطالعات مشابه در دیگر مناطق شالیزاری کشور و نیز پایش مستمر عملکرد و آثار زیستمحیطی این نظام در مقیاس گسترده‌تر ضروری است. در نهایت، تبدیل این ظرفیت به واقعیت ملموس توسعه‌ای، مستلزم عزم جدی و همکاری نهادهای سیاست‌گذار، پژوهشی، مالی و جوامع محلی است تا استان گیلان با تکیه بر مزیت نسبی خود، به قطب پایدار کشت توأم تبدیل شده و از این رهگذر، گامی مؤثر در جهت توسعه‌ی متوازن روستایی، ایجاد اشتغال پایدار و حفظ محیط‌زیست برداشته شود.

REFERENCES

- Abadian, H., Yaghoubi, B., & Pouramir, F. (2022). Evaluation of herbicide efficacy of Bazageran M60 (Bentazone + MCPA, SL 46%) in paddy weed control. *Plant Production and Genetics*, 3(2), 247-260. <https://doi.org/10.34785/J020.2022.008>. (inPersian)
- Asadpour, H., Nazemnejad, M., & Alipour Nakhi, A. (2021). Economic and Social Evaluation of Low-Input Rice Cultivation Development in Mazandaran Province of Iran. *Village and Development*, 24(1), 21-52. <https://doi.org/10.30490/RVT.2020.341288.1185>
- Baghestany, A., rahimi, R., & sherafatmand, H. (2020). Estimation of Demand Function for Rice An application of the threshold regression model. *Agricultural Economics Research*, 12(45), 91-101. (inPersian)
- Bakhshzad Mahmoudi, A. (1997). Fish and rice cultivation. Islamic Azad University, Lahijan Branch.
- Gao, H., Dai, L., Xu, Q., Gao, P., & Dou, Z. (2023). Transforming agrifood systems in a win-win for health and environment: evidence from organic rice-duck coculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(2), 968-975. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12282>
- Goda, A., Aboseif, A., Mohammedy, E., Taha, M., Mansour, A., Ramadan, E., Aboushabana, N.,

- Zaher, M., Ibáñez Otazua, N., & Ashour, M. (2024). Earthen pond-based floating beds for rice-fish co-culture as a novel concept for climate adaptation, water efficiency improvement, nitrogen and phosphorus management. *Aquaculture*. Volume 579. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740215>.
- Guo, H., Qi, M., Hu, Z., & Liu, Q. (2020). Optimization of the rice-fish coculture in Qingtian, China: 1. Effects of rice spacing on the growth of the paddy fish and the chemical composition of both rice and fish. *Aquaculture*. Volume 522. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735106>.
- Haqdoost Manjili, S., Khara, H., Al-Hiari, M. S., & Noorhosseini, S. A. (2015). Social-economic effects of the development of rice and fish cultivation in Gilan province. *Aquaculture Development (Life Sciences)*, 4, 11–20. (in Persian)
- Hossain, S.T., Ahmed, G.J.U., Islam, M.R., & Mahabub, A.A. (2002). Role of ducks in controlling weeds and insects in integrated rice-duck farming. *Bangladesh Journal Environment Sciences* 6(2): 424-427.
- Hou, Q., NI, Y., Huang, S., Zuo, T., Wang, J., & NI, W. (2023). Effects of substituting chemical fertilizers with manure on rice yield and soil labile nitrogen in paddy fields of China: A meta-analysis. *Pedosphere*, 33(1), 172–184. <https://doi.org/10.1016/J.PEDSPH.2022.09.003>
- Ivanič Porhajašová, J., & Babošová, M. (2022). Impact of arable farming management on the biodiversity of Carabidae (Coleoptera). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(9), 103371. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103371>
- Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K. wing. (2019). Use of optimization techniques for energy use efficiency and environmental life cycle assessment modification in sugarcane production. *Energy*, 181, 1298–1320. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2019.06.002>
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52, 333–338. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.01.028>
- Kouchaki-Penchah, M., Alizadeh, M., & Karbalaee Aghamolki, M. (2023). Measuring eco-efficiency of rice cropping systems in Iran: An integrated economic and environmental approach. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Volume 57. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103281>.
- Kupahi, M. (2006). Principles of agricultural economics. *Tehran University Press*. (in Persian)
- Kuswardhani N., Soni P., Shivakoti GP .(2013). Comparative energy input–output and financial analyses of greenhouse and open field vegetables production in West Java, Indonesia. *Energy* 53:83–92. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.02.032>
- Liu, M., Liu, W., Yang, L., Jiao, W., He, S., & Min, Q. (2019). A dynamic eco-compensation standard for Hani Rice Terraces System in southwest China. *Ecosystem Services*, 36, 100897. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2019.100897>.
- Limouchi, K., Siadat, A. (2021). Investigating the Effect of Different Planting Methods and Different Levels of Hormone Distribution on Vascular Tissue of Flag Leaf in Rice Genotypes under Salinity Stress in Northern Khuzestan. *jcb*. 13(40), 192-206. doi:10.52547/jcb.13.40.192. URL: <http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-1164-fa.html>.
- Low, G., Dalhaus, T., & Meuwissen, M. P. M. (2023). Mixed farming and agroforestry systems: A systematic review on value chain implications. *Agricultural Systems*, 206, 103606. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103606>
- Lu JX, Zhang JE & Huang ZX. (2005). An auxiliary control method of rice- duck farming system leaf roller. *The Rope Scraping of Rice Tail*, 3: 39-46.
- Lu, J., & Li, X. (2006). Review of rice–fish-farming systems in China — One of the Globally Important Ingenious Agricultural Heritage Systems (GIAHS). *Aquaculture*, 260(1–4), 106–113. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2006.05.059>
- Mansour Ghanaei-Pashaki, K., Mohsen abadi, G. R., Bigluei, M. H., Farhangi, M. B., & Mokhtassi-

- Bidgoli, A. (2022). Effect of rice-duck co-cultivation on the trend of changes in growth indices, photosynthesis and irrigation and precipitation water productivity in different cultivation systems. *JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION*, 32(1), 149-174. doi: 10.22034/saps.2021.44833.2646. (inPersian)
- Mostashari-Rad, F., Ghasemi-Mobtaker, H., Taki, M., Ghahderijani, M., Saber, Z., Chau, K. W., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Data supporting midpoint-weighting life cycle assessment and energy forms of cumulative exergy demand for horticultural crops. *Data in Brief*, 33, 106490. <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2020.106490>
- Ren, L., Liu, P., Xu, F., Gong, Y., Zhai, X., Zhou, M., Wang, J., & Wang, Z. (2023). Rice–fish coculture system enhances paddy soil fertility, bacterial network stability and keystone taxa diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 348, 108399. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108399>
- Saeid zadeh, F., & Garousi, S. (2014). Comparison of the Yield and Yield Components of Direct Seeded Rice (*Oryza Sativa* L.) Along with Fish Culture in Astara, Iran. *Journal of Crop Ecophysiology*, 8(29(1)), 97-110. (inPersian)
- Shouhui, W., Sheng, Q., & Bo, M. (2006). Influence of long-term rice-duck farming systems on the composition and diversity old weed communities in paddy fields. *Acta Phytoecologica Science* 30(1): 9-16.
- Wanger, T. C., DeClerck, F., Garibaldi, L. A., Ghazoul, J., Kleijn, D., Klein, A.-M., Kremen, C., Mooney, H., Perfecto, I., Powell, L. L., Settele, J., Solé, M., Tscharntke, T., & Weisser, W. (2020). Integrating agroecological production in a robust post-2020 Global Biodiversity Framework. *Nature Ecology & Evolution*, 4(9), 1150–1152. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1262-y>
- Yaghoubi, B. (2015). Chemical Control of Pondweed (*Potamogeton nodosus*) and Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Paddy. *Iranian Journal of Weed Science*, 11(2), 195–207. https://ijws.areeo.ac.ir/article_20269_en.html. (inPersian)
- Yan, J., Yu, J., Huang, W., Pan, X., Li, Y., Li, S., Tao, Y., Zhang, K., & Zhang, X. (2023). Initial Studies on the Effect of the Rice–Duck–Crayfish Ecological Co-Culture System on Physical, Chemical, and Microbiological Properties of Soils: A Field Case Study in Chaohu Lake Basin, Southeast China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2006. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032006>
- Yang, X., Deng, X., & Zhang, A. (2023). Does conservation tillage adoption improve farmers' agricultural income? A case study of the rice and fish co-cultivation system in Jiangnan Plain, China. *Journal of Rural Studies*. Volume 103. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103108>.
- Yuan, Y., Xu, G., Shen, N., Nie, Z., Li, H., Zhang, L., Gong, Y., He, Y., Ma, X., Zhang, H., Zhu, J., Duan, J., & Xu, P. (2022). Valuation of Ecosystem Services for the Sustainable Development of Hani Terraces: A Rice–Fish–Duck Integrated Farming Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8549. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148549>
- Zhou, X., LU, Y., LIAO, Y., ZHU, Q., CHENG, H., NIE, X., CAO, W., & NIE, J. (2019). Substitution of chemical fertilizer by Chinese milk vetch improves the sustainability of yield and accumulation of soil organic carbon in a double-rice cropping system. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(10), 2381–2392. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62096-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62096-9).