Journal of Aquaculture Development
Vol. 20, No. 1, 2026, Pages: 81-103
DOI: 10.71901/jad-2026-1-881

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Rice-aquatic animal integrated system: Effective method for sustainable food production

Sajjad Shaker Kouhi[1*], Mohammad Rabiee[1]

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Rice Research Institute, Rasht, Iran

Received: 27 December 2024 **Accepted: 11 February 2025**

Extended Abstract:

Introduction: As the world population grows, demand for food will increase dramatically. Rice and aquatic animals are critical to global food security because provides the staple food for more than half of the world's population. Common practices used to maximize production, while high cost, negatively impact human health and environmental conditions. The rice-aquatic animal integrated system in paddy fields is an effective strategy to enhance resource utilization and develop ecological agriculture. This system combines rice planting and aquatic animal raising in paddy fields, building an integrated agroecosystem with high species diversity for food production and environmental protection. Hence, this study explores the advantages and limitations of rice-aquatic animal integrated systems with focusing on its impact on sustainable food production in the paddy field ecosystem.

Materials and Methods: The present study was a descriptive review conducted in 2025. To conduct this study, the databases of SID, Google Scholar, Springer, ScienceDirect, ProQuest, PubMed, ResearchGate, Scopus and Elsevier were searched from 2000 to 2024 using the keywords rice, aquatic animal, integrated system, co-culture, rice–fish, rice–duck, rice–crayfish and their Persian equivalent.

Results and Discussion: The results indicated that rice plants provide a beneficial environment for aquatic animals, leading to high animal activities in the paddy field. Aquatic animals act as ecological engineers that affect soil conditions, which favor the growth of rice plants. Also, aquatic animals promote nutrient cycling, which enhances nutrient-use efficiency in the co-culture. Overall, rice-aquatic animal integrated system provided many social, economic and ecological benefits such as increase rice yield and quality, increase production of aquatic animals, reduce aquatic animal feed inputs, biological control of pests, diseases and weeds, improve soil fertility and water quality, enhance employment and income for villagers and sustainability of food production in paddy field ecosystem. In addition, the decrease in pesticides and fertilizers in this system could help in environmental conservation and mitigating greenhouse gas emissions (CH_4 and N_2O).

Conclusion: Rice-aquatic animal integrated system provides more benefits than a monoculture system. Integrated system can improve farm production, farm income, and utilization efficiency of land and water resources. However, this system is vulnerable to climatic changes such as drought and floods, which

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

requires proper policy framework to minimize the vulnerability. Furthermore, the adoption of these systems has been constrained by the lack of extension programs, lack of initial funding and insufficient expertise and knowledge. Therefore, a coherent extension program, with support from the government and non-governmental organizations, is needed to achieve the adoption and development of the rice-aquatic animal integrated systems.

Conflict of Interest: There is no conflict of interest between the authors of the article

Acknowledgment: We would like to express our deepest gratitude to all those who helped us in compiling this research.

Keywords: Fish, Food security, Greenhouse gases, integrated system, Rice

* *Corresponding Author: sajjadshaker53@gmail.com*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

نشریه توسعه آبزی‌پروری، سال بیستم، شماره اول، بهار ۱۴۰۵، صفحه های ۱۰۳-۸۱
DOI: 10.71901/jad-2026-1-881

"مقاله پژوهشی"

سیستم تلفیقی برنج و آبزیان: روشی مؤثر برای تولید پایدار غذا

سجاد شاکرکوهی[1*]، محمد ربیعی[1]

۱- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

چکیده

با افزایش جمعیت جهان، تقاضا برای غذا به‌طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. برنج و آبزیان برای امنیت غذایی جهان بسیار مهم هستند زیرا، غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان را تأمین می‌کنند. شیوه‌های متداول مورد استفاده برای افزایش تولید، علاوه بر هزینه بالا، بر سلامت انسان و شرایط محیطی تأثیر منفی می‌گذارند. سیستم تلفیقی برنج و آبزیان در اراضی شالیزاری، یک استراتژی مؤثر برای افزایش بهره‌برداری از منابع و توسعه کشاورزی اکولوژیک است. این مطالعه، مزایا و محدودیت‌های سیستم‌های تلفیقی برنج و آبزیان را با تمرکز بر تأثیر آن بر تولید پایدار غذا در اکوسیستم شالیزار بررسی می‌کند. نتایج نشان داد که سیستم تلفیقی برنج و آبزیان دارای مزایای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی از جمله افزایش عملکرد و کیفیت برنج، افزایش تولید آبزیان، کاهش ورودی کودهای شیمیایی و جیره غذایی آبزیان، کنترل بیولوژیکی آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، بهبود حاصلخیزی خاک و کیفیت آب، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (CH_4 و N_2O)، افزایش اشتغال و درآمد برای روستاییان و پایداری تولید غذا در اکوسیستم شالیزار می‌باشد. با این حال، پذیرش این سیستم‌ها عمدتاً به‌دلیل نبود برنامه‌های ترویجی، کمبود سرمایه اولیه و عدم تخصص و دانش کافی، محدود شده است. بنابراین به‌منظور افزایش پذیرش و توسعه سیستم‌های تلفیقی برنج و آبزیان، یک برنامه ترویجی منسجم همراه با حمایت سازمان‌های دولتی و غیردولتی مورد نیاز است.

کلمات کلیدی: امنیت غذایی، برنج، سیستم تلفیقی، گازهای گلخانه‌ای، ماهی

* عهده‌دار مکاتبات: sajjadshaker53@gmail.com

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت باعث ایجاد مشکلات اساسی از جمله کمبود مواد غذایی، سوء تغذیه، محدودیت منابع آب و زمین برای تولید محصولات کشاورزی و آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود (Krishna Bahadur *et al.,* 2018). پیش‌بینی شده است که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۸/۵ تا ۱۰ میلیارد نفر برسد، تغذیه این جمعیت به شیوه‌ای پایدار به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه با مشکلات زیادی همراه است (Riahi *et al.,* 2017). برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان است که به‌عنوان رژیم غذایی اصلی بیش از نیمی از جمعیت کره‌زمین، نقش کلیدی در امنیت غذایی ایفا می‌کند (Liu *et al.,* 2018). مصرف زیاد آب، هزینه بالای تولید و پایین بودن سطح بهره‌وری اراضی شالیزاری، از جمله مسائل و مشکلات اصلی زراعت تک‌کشتی برنج در کشورهای در حال توسعه به‌شمار می‌روند (Rabiee and Ebrahimi, 2023a). علاوه بر این، دستیابی به حداکثر تولید در سیستم تک‌کشتی برنج، مستلزم کاربرد مقادیر زیادی از نهاده‌های شیمیایی است که اثرات نامطلوبی بر محیط‌زیست از جمله آلودگی آب و خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش جمعیت حشرات مفید و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (Yu *et al.,* 2023). از این‌رو، ارائه راهکارهایی برای تولید پایدار برنج، افزایش بهره‌وری از اراضی شالیزاری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای امری ضروری است. به‌طور مشابه، سیستم‌های متداول آبزی پروری نیز با مسائلی از جمله هزینه بالای احداث کانال‌ها، دریاچه‌ها، قفس‌ها و استخرها، شیوع بیماری، هزینه تأمین غذا، اوتریفیکاسیون[۲] (غنی‌شدن اکوسیستم‌های آبی از مواد مغذی) و اثرات نامطلوب زیست‌محیطی مواجه هستند (Yuan *et al.,* 2019; Li *et al.,* 2022). زراعت برنج به‌دلیل نیاز به شرایط غرقابی و آب فراوان می‌تواند زمینه را برای تکثیر و رشد بسیاری از گونه‌های آبزی فراهم کند (Ji *et al.,* 2023).

کشت هم‌زمان برنج با گونه‌های آبزی یک استراتژی مؤثر برای استفاده مطلوب از منابع آبی و خاکی بوده که ضمن تولید هم‌زمان محصولات مختلف در یک قطعه زمین می‌تواند نقش مهمی در افزایش تنوع زیستی و توسعه کشاورزی اکولوژیک ایفا نماید (Ahmed and Turchini, 2021; Li *et al.,* 2022). در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران با توجه به میانگین کمتر از یک هکتار زمین برای هر کشاورز و به تبع آن درآمد پایین، توسعه سیستم‌های تلفیقی برنج و آبزیان می‌تواند موجب حفظ و پایداری تولید برنج و افزایش بهره‌وری و درآمد کشاورزان گردد (Rabiee and Ebrahimi, 2023b). همچنین، این فعالیت یک منبع غنی پروتئین حیوانی و مواد معدنی بوده که در سلامت و بهداشت خانواده‌های روستایی اهمیت به‌سزایی دارد (Motamed *et al.,* 2017). سابقه سیستم تلفیقی برنج و آبزیان به چین و هند باستان در حدود ۲۰۰۰ سال پیش برمی‌گردد (Wang *et al.,* 2023). از مهم‌ترین سیستم‌های تلفیقی برنج با گونه‌های آبزی می‌توان به برنج-ماهی، برنج-اردک، برنج-ماهی-اردک، برنج-ماهی-آزولا-اردک، برنج-میگو و برنج-خرچنگ اشاره کرد (Sathoria and Roy, 2022). در این سیستم، برنج و آبزیان از منابع محدود آب و زمین

[۲] Eutrophication

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

به‌صورت مکمل استفاده کرده و موجب افزایش بهره‌وری می‌شوند (Yuan et *al.,* 2022). محیط آبی کم‌عمق شالیزار می‌تواند زیستگاه مناسبی را برای رشد آبزیان فراهم کرده و باعث کاهش ورودی جیره غذایی برای آن‌ها شود. از طرف دیگر، گیاه برنج به‌وسیله سایه‌اندازی از آبزیان در برابر نور مستقیم خورشید محافظت می‌کند (Wang *et al.,* 2023). در مقابل، آبزیان می‌توانند به‌عنوان عامل کنترل بیولوژیکی برای آفات، حشرات و علف‌های هرز عمل کرده و در نتیجه نیاز به استفاده از سموم شیمیایی را کاهش دهند. علاوه بر این، مواد مغذی حاصل از فضولات آبزیان می‌تواند توسط گیاه برنج جذب شده و در نتیجه باعث کاهش ورودی کودهای شیمیایی شود (Bashir *et al.,* 2020).

تمرکز بر روی سیستم‌های متداول آبزی پروری برای مدت طولانی می‌تواند از طریق تهاجم و شیوع عوامل بیماری‌زا منجر به کاهش تنوع زیستی شود (Yuan *et al.,* 2019). اجرای این سیستم‌ها در کوتاه مدت دارای سود می‌باشد، اما در درازمدت هیچ سود قابل توجهی ندارد (Keshavarz-Shal and Noorhosseini, 2016). افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه متان و دی‌اکسید کربن، از دیگر اثرات منفی سیستم‌های متداول آبزی پروری می‌باشد (Yuan *et al.,* 2019). در سیستم تک‌کشتی برنج، علف‌های هرز، فیتوپلانکتون‌ها و باکتری‌های فتوسنتزکننده برای کسب منابع غذایی با برنج رقابت می‌کنند. با اجرای سیستم‌های تلفیقی از این موجودات می‌توان در جهت تغذیه آبزیان و افزایش توان رقابت‌پذیری برنج استفاده کرد (Hu *et al.,* 2016). سیستم تلفیقی برنج و آبزیان در نقاط مختلف جهان به‌ویژه در جنوب‌شرقی آسیا که برنج و آبزیان بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهند، اجرا می‌شود (Sathoria and Roy, 2022). با توجه به فرهنگ منطقه و علاقه کشاورزان، گونه‌های مورد استفاده در سیستم تلفیقی ممکن است از مزرعه‌ای به مزرعه دیگر متفاوت باشد. برای مثال در چین، کشت تؤام برنج و ماهی در بسیاری از مزارع رایج است (Zhang *et al.,* 2023). در کشور ایران نیز با توجه به امکانات و استعدادهای بالقوه موجود در اراضی شالیزاری، می‌توان از این اراضی در جهت پرورش آبزیان به‌ویژه ماهی و تولید پروتئین سفید با ارزش اقتصادی بالا استفاده نمود. کشت تؤام برنج و ماهی برای اولین بار در ایران زیر نظر شیلات مازندران در سال ۱۳۶۴ با رهاسازی ۳۰۰۰۰ لارو ماهی کپور در یکی از مزارع روستای پاشاکلای قائم‌شهر انجام گرفت (Haghdoust *et al.,* 2016). علی‌رغم تلاش‌های کارشناسان و مروجان شیلات کشور، پذیرش کشت توأم برنج و ماهی جایگاه واقعی خود را در میان کشاورزان نیافته است.

اگر چه سیستم‌های تلفیقی برنج و آبزیان دارای سابقه طولانی است، اما در مقایسه با تک‌کشتی برنج و سیستم‌های متداول آبزی پروری، در مقیاس بسیار کوچک‌تری اجرا می‌شوند (Ge *et al.,* 2023). به‌عنوان مثال، در هند هر چند مشخص شده که حدود ۲۰ میلیون هکتار از اراضی شالیزاری برای سیستم تلفیقی برنج و ماهی مناسب است، اما در حال حاضر تنها ۰/۲۳ میلیون هکتار از این اراضی به سیستم تلفیقی برنج و ماهی اختصاص دارد (Sathoria and Roy, 2022). نتایج پژوهش‌ها بیانگر آن است که پذیرش و اجرای سیستم تلفیقی از جمله برنج-ماهی در ۵۰ درصد از اراضی شالیزاری جهان می‌تواند تولید سالانه را تا ۲۷

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

درصد افزایش دهد. با این حال، علی‌رغم پتانسیل بالای سیستم‌های تلفیقی، به‌دلیل نبود دانش و تخصص کافی و عدم دسترسی به تسهیلات مالی اولیه، این سیستم‌ها به‌طور گسترده توسط جوامع کشاورزی پذیرفته نشده‌اند (Ahmed and Turchini, 2021). مطالعه حاضر به‌طور سیستماتیک مزایا، محدودیت‌ها و عوامل مؤثر بر سیستم تلفیقی برنج و آبزیان و همچنین نحوه تأثیر این سیستم را بر کیفیت آب، کنترل آفات و علف‌های هرز، عملکرد برنج و آبزیان، انتشار گازهای گلخانه‌ای و به‌طور کلی بر تولید پایدار غذا در اکوسیستم شالیزار، مورد بحث قرار می‌دهد.

عوامل محیطی مؤثر بر سیستم تلفیقی برنج و آبزیان

ارگانیسم‌های موجود در سیستم‌های تلفیقی به شرایط محیطی مطلوبی نیاز دارند تا بتوانند به‌خوبی عمل کرده و چرخه زندگی خود را با بهره‌وری کارآمد کامل کنند. به‌طور کلی، کشت تؤام برنج و آبزیان به محدوده خاصی از سطح آب، pH، نفوذ نور، دمای آب، مواد مغذی، غلظت اکسیژن محلول[۳] در آب و سطوح آمونیاک و دی‌اکسید کربن نیاز دارند (Halwart, 2008). اولین عامل برای مدیریت موفق سیستم‌های تلفیقی، سطح آب است که هم برای کشت برنج و هم برای پرورش آبزیان نقش کلیدی دارد. آب مورد استفاده در این سیستم‌ها شامل آب باران و آب آبیاری می‌باشد و بسته به نوع سیستم تولید، آب آبیاری ممکن است از دریاچه‌ها، رودخانه‌ها یا کانال‌های آب‌شیرین تأمین شود (Liu *et al.,* 2014). غلظت اکسیژن محلول در آب به فعالیت‌های فتوسنتزی گونه‌ها (برنج، جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها) و میزان تنفس ارگانیسم‌ها (برنج، ماهی، میگو، خرچنگ، گیاهان آبزی و جلبک‌ها) وابسته است (Halwart and Gupta, 2004). سطوح بالای آمونیاک و دی‌اکسید کربن برای پرورش آبزیان خطرناک است. در اکوسیستم شالیزار، دی‌اکسید کربن عمدتاً از تنفس موجودات و تجزیه مواد آلی و آمونیاک از طریق کاربرد نیتروژن حاصل می‌شود (Halwart, 2008). شرایط بهینه عوامل محیطی مختلف برای سیستم تلفیقی برنج و آبزیان در جدول ۱ نشان داده شده است.

نقش میکروارگانیسم‌ها در سیستم تلفیقی برنج و آبزیان

میکروارگانیسم‌ها از فعال‌ترین اجزای جوامع خاکی به‌شمار می‌روند و نقش مهمی در حفظ فرآیندهای حیاتی مانند چرخه کربن آلی و کارایی مصرف مواد مغذی دارند (Li *et al.,* 2018). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در سیستم تلفیقی، مازاد جیره غذایی و فضولات آبزیان باعث افزایش محتوای نیتروژن و کربن خاک شده و در نتیجه سلامت و حاصلخیزی خاک را بهبود می‌بخشد (Bashir *et al.,* 2020). در سیستم‌های تلفیقی، نسبت قارچ به باکتری در خاک در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی افزایش یافته و در نهایت این تنوع قارچی به‌طور مثبت بر عملکرد برنج تأثیر می‌گذارد که نشان‌دهنده بهبود کارایی و پایداری این سیستم‌ها است (Li *et al.,* 2022). نتایج بررسی Wu و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که تنوع باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن در سیستم تلفیقی برنج بیشتر از سیستم تک‌کشتی است. محققان مشاهده کردند که سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ به‌طور قابل‌توجهی بر ترکیبات

[۳] Dissolved oxygen

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

و ساختار میکروبی در لایه‌های عمیق‌تر خاک تأثیر می‌گذارد و باعث تسریع چرخه مواد مغذی می‌گردد (Si *et al.,* 2017a). با این حال، استفاده بیش از حد از سیستم‌های تلفیقی ممکن است باعث اختلال در جوامع میکروبی خاک شود. برای مثال، گزارش شده که اجرای سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ برای مدت طولانی منجر به کاهش غنای میکروبی و تنوع خاک، به‌ویژه کاهش فراوانی باکتری‌های مؤثر در چرخه نیتروژن می‌شود (Zhang and Wu, 2021).

اراضی شالیزاری به‌دلیل شرایط غرقابی، جوامع پلانکتونیک متنوعی را در خود جای می‌دهند که به‌عنوان تولیدکنندگان اولیه و ثانویه به نفع آبزیانی مانند ماهی عمل می‌کنند. از طرفی، این جانداران باعث بهبود شاخص‌های کیفی آب نیز می‌شوند (Yu *et al.,* 2020). فیتوپلانکتون‌ها از اجزای مهم اکوسیستم‌های شالیزاری به‌شمار می‌روند که عملکردهای مهمی در چرخه مواد مغذی و تعادل در شالیزارها برعهده دارند. سیستم تلفیقی برنج و آبزیان می‌تواند رشد فیتوپلانکتون‌ها را تقویت کرده و موجب بهبود جوامع آن‌ها گردد (Wang *et al.,* 2020). جلبک‌ها نقش مهمی در انتقال و تبدیل نیتروژن در شالیزار ایفا می‌کنند. علاوه بر این جلبک‌ها با انجام فتوسنتز، سطح اکسیژن و پتانسیل ردوکس آب را افزایش می‌دهند، هیدرولیز اوره را تسریع می‌بخشند و نیاز به استفاده از کود را کاهش می‌دهند (Zhu *et al.,* 2000). Huang و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج و میگو می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی شرایط محیط آبی در شالیزار را تغییر داده و موجب بهبود تنوع جامعه فیتوپلانکتون شود. نتایج بررسی محققان نشان داد که سیستم تلفیقی برنج و میگو در مقایسه با سیستم تک‌کشتی، باعث افزایش جمعیت زئوپلانکتون‌ها و تنوع گونه‌های پلانکتون شد (Li *et al.,* 2019a).

جدول ۱: شرایط بهینه محیطی برای کشت توأم برنج و آبزیان (Bashir *et al.,* 2020)

Table 1: Optimum environmental conditions for the rice-aquatic animal co-culture (Bashir *et al.,* 2020)

Water pH	Water temperature	Water level	Dissolved oxygen	Carbon dioxide
6.5-9	25-35 °C	25-35 (cm)	5-7.5 (ppm)	< 10 (ppm)

مکانیسم‌های بهبود عملکرد در سیستم‌های تلفیقی مختلف

براساس نتایج پژوهش‌های مختلف، عملکرد برنج در سیستم تلفیقی با آبزیان در مقایسه با سیستم تک‌کشتی افزایش می‌یابد. با این حال، میزان افزایش عملکرد در انواع سیستم‌های تلفیقی متفاوت است (Bashir *et al.,* 2020; Guo *et al.,* 2020; Li *et al.,* 2020). به‌طور کلی، بهبود در عملکرد کمی و کیفی برنج در سیستم تلفیقی با آبزیان به دلایل زیر نسبت داده می‌شود. ۱- تحرک آبزیان موجب اختلاط آب و خاک، بهبود نفوذپذیری خاک و آزاد شدن مواد مغذی موجود در خاک می‌شود (Teng *et al.,* 2016; Bashir *et al.,* 2020). ۲- فضولات و باقی‌مانده جیره غذایی آبزیان باعث تحریک رشد میکروارگانیسم‌ها،

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

افزایش محتوای نیتروژن کل، افزایش مواد آلی و بهبود حاصلخیزی خاک می‌گردد (Si *et al.,* 2017b). ۳- حذف علف‌های هرز توسط آبزیان منجر به دسترسی بیشتر برنج به منابع آب، نور و مواد مغذی می‌شود (Trognitz *et al.,* 2016; Wan *et al.,* 2019). ۴- شکار آفات و حشرات توسط آبزیان، بروز بیماری در برنج را کاهش می‌دهد (Wan *et al.,* 2019). میزان رشد و عملکرد برنج در سیستم‌های تلفیقی به اندازه و تحرک آبزیان وابسته است. هر چقدر آبزیان اندازه بزرگ‌تر و تحرک بیشتری داشته باشند (مانند ماهی و اردک)، موجب برهم‌زدن بیشتر سطح خاک، بهبود ساختار خاک، آزاد شدن مواد مغذی موجود در خاک و در نتیجه تسهیل رشد برنج می‌شوند (Zhang, 2013). محققان گزارش کردند که فعالیت آبزیان در سیستم‌های تلفیقی می‌تواند باعث تغییر آناتومیکی ساقه برنج، مقاومت در برابر ورس و نهایتاً بهبود عملکرد محصول شود (Li *et al.,* 2019b). نتایج متاآنالیز تأثیر کشت توأم برنج و آبزیان بر عملکرد برنج نشان داد که آبزیان از طریق افزایش تحرک عناصر غذایی، افزایش مواد آلی خاک، کنترل آفات و کاهش رقابت علف‌های هرز با برنج، باعث افزایش عملکرد برنج می‌شوند (Liu *et al.,* 2022c). گزارش شده که در کشت توأم برنج و آبزیان، افزایش نیتروژن خاک ناشی از فضولات و مازاد جیره غذایی آبزیان موجب افزایش طول دوره مؤثر پرشدن دانه و در نتیجه افزایش عملکرد برنج گردید (Wang *et al.,* 2023). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که کشت توأم برنج و آبزیان به‌طور مؤثری جمعیت علف‌های هرز و تشکیل پنجه‌های ثانویه برنج را کنترل می‌کند، که نهایتاً منجر به خوشه‌دهی بهتر و افزایش عملکرد برنج می‌شود (Xu *et al.,* 2021). محققان گزارش کردند که فعالیت آبزیان در سیستم‌های تلفیقی موجب افزایش قوام ژل، کاهش درصد دانه‌های گچی و میزان آمیلوز و نهایتاً افزایش کیفیت برنج گردید (Quan *et al.,* 2008; Zhao *et al.,* 2021). آبزیان نیز از سیستم‌های تلفیقی سود می‌برند که می‌توان آن را به بهبود محیط رشد توسط گیاه برنج نسبت داد. گیاه برنج با ایجاد سایه می‌تواند باعث کاهش دمای آب و شدت نور خورشید در محیط رشد آبزیان شود (Xie *et al.,* 2011a). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که استفاده از سیستم تلفیقی برنج و آبزیان، باعث افزایش تولید آبزیان تا ۱۶ درصد نسبت به سیستم متداول آبزی‌پروری شد (Cui *et al.,* 2023).

۱- سیستم تلفیقی برنج-ماهی

در بررسی تأثیر کشت توأم برنج و ماهی بر عملکرد و اجزای عملکرد پنج ژنوتیپ برنج گزارش شد که عملکرد برنج در کشت توأم در مقایسه با تک‌کشتی، برتری معنی‌داری داشت. علاوه بر این، نتایج میانگین وزن کل ماهی‌ها بیانگر امکان برداشت ۱۳۰۰ کیلوگرم ماهی در هکتار و در نتیجه افزایش درآمد کشاورزان بود (Saiedzaseh *et al.,* 2010). Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر کشت توأم برنج و ماهی بر وضعیت دسترسی و جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان نتیجه گرفتند که عملکرد دانه برنج در کشت توأم با میانگین ۳/۰۹ تن در هکتار بیشتر از تک‌کشتی برنج با میانگین ۲/۹۴ تن در هکتار بود. در آزمایشی گزارش شد که سیستم تلفیقی برنج و ماهی باعث افزایش اکسیژن محلول در آب و حاصلخیزی خاک و در نتیجه افزایش ۸ تا ۲۵ درصدی عملکرد برنج در مقایسه با تک‌کشتی

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

برنج گردید (Sathoria and Roy, 2022). Wan و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج و ماهی موجب کاهش درصد دانه‌های گچی، میزان آمیلوز و قوام ژل، افزایش میزان پروتئین و در نتیجه بهبود کیفیت دانه برنج شد. محققان در بررسی سیستم تلفیقی برنج و ماهی در بنگلادش گزارش کردند که سیستم تلفیقی ضمن افزایش ۱۵ درصدی عملکرد برنج، موجب افزایش شش درصدی تولید ماهی نیز شد (Rohul-Amin and Salauddin, 2008). نتایج بررسی Yang و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که سیستم تلفیقی برنج و ماهی علاوه بر بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، باعث طولانی شدن طول دوره رشد برنج شد که این امر موجب افزایش بیوماس، طویل شدن ساقه، افزایش قطر ساقه، توسعه ریشه‌ها، افزایش طول میان‌گره‌های پایینی و تعداد میان‌گره‌ها گردید. محققان گزارش کردند که اضافه کردن ماهی دو هفته پس از کشت برنج در شالیزار، از طریق کنترل علف‌های هرز موجب دسترسی بیشتر برنج به مواد مغذی و نهایتاً افزایش عملکرد محصول می‌شود. نتایج آن‌ها نشان داد که علی‌رغم کاهش ۵-۳ درصدی سطح زیرکشت برنج به‌دلیل ایجاد استخر (پناهگاه) ماهی در شالیزار، عملکرد برنج به میزان ۵۲۹ کیلوگرم در هکتار نسبت به تک‌کشتی برنج افزایش یافت (Gurung and Wagle, 2005). در آزمایشی دیگر گزارش شد که سیستم تلفیقی برنج و ماهی باعث افزایش تعداد دانه پر یا بارور در خوشه، وزن تک‌دانه و عملکرد برنج (حدود ۲۰ درصد) گردید (Tsuruta *et al.,* 2011). نتایج بررسی Mishra و همکاران (۲۰۱۴) در کشور هند نشان داد که بیش از ۱۶۰۰ کیلوگرم ماهی در هکتار را می‌توان طی شش ماه از مزارع کشت توأم برنج و ماهی برداشت کرد.

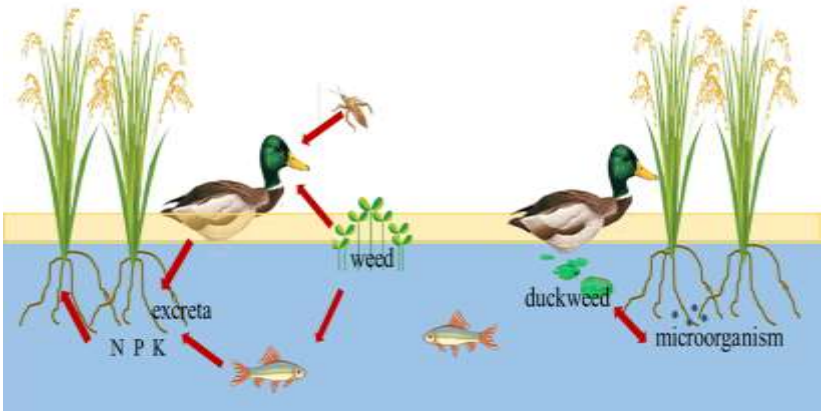
۲- سیستم تلفیقی برنج-ماهی-اردک

در سیستم تلفیقی برنج-ماهی-اردک، فعالیت‌های اردک و ماهی منجر به آزادسازی و در دسترس بودن بیشتر مواد مغذی برای برنج، افزایش تعداد پنجه بارور و تعداد خوشه و در نتیجه افزایش زیست‌توده و عملکرد برنج می‌شود. از طرف دیگر، حضور اردک در این سیستم از طریق تقویت جوامع فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها و فراهم کردن غذای کافی برای ماهی، موجب افزایش نرخ رشد ویژه (SGR^4) و تولید ماهی می‌گردد (Nayak *et al.,* 2020). نتایج بررسی محققان نشان داد که در سیستم تلفیقی برنج-ماهی-اردک، فعالیت ماهی و اردک موجب رشد و توسعه ریشه‌های برنج و متعاقباً جذب بهتر مواد مغذی می‌شود که این امر در بهبود ویژگی‌های زراعی برنج از جمله تعداد خوشه، تعداد دانه پر، عملکرد کاه و دانه، نقش مؤثری دارد (Zhang *et al.,* 2023). شکل ۱ شماتیک هم‌زیستی برنج-ماهی-اردک را در سیستم تلفیقی نشان می‌دهد.

[4] Specific growth rate

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]



شکل ۱: شماتیک هم‌زیستی برنج-ماهی-اردک در سیستم تلفیقی (Liu *et al.,* 2022a)

Figure 1: Schematic of the rice–fish–duck symbiotic in integrated system (Liu *et al.,* 2022a)

۳- سیستم تلفیقی برنج-خرچنگ

سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ (*Eriocheir sinensis*) به یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های کشاورزی در کشورهای آسیای شرقی از جمله چین تبدیل شده است (Song *et al.,* 2019). در این سیستم، برنج محیط مناسب و رژیم غذایی متنوعی را برای خرچنگ فراهم کرده و نیاز به استفاده از نهاده‌های غذایی را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، خرچنگ باعث کاهش فشردگی خاک، افزایش محتوای اکسیژن محلول در آب و افزایش مواد آلی در خاک شده و از طریق کمک به ریشه‌زایی، موجب افزایش عملکرد برنج می‌شود (Zhao *et al.,* 2020; Li *et al.,* 2022). نتایج پژوهشگران نشان داد که سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ در مقایسه با تک‌کشتی برنج موجب افزایش عملکرد برنج و افزایش کارایی مصرف مواد مغذی به‌ترتیب به میزان ۷ و ۸ درصد شد. همچنین، این سیستم باعث کاهش مصرف آب آبیاری به میزان ۳۱ درصد شد و نسبت سود به هزینه را از ۲/۵ به ۳/۸ افزایش داد (Hou *et al.,* 2021). محققان نتیجه گرفتند که سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ موجب افزایش جذب نیتروژن و عملکرد برنج نسبت به تک‌کشتی شد (Liu *et al.,* 2022b). در آزمایشی گزارش گردید که کشت هم‌زمان برنج و خرچنگ موجب افزایش تولید خرچنگ، استفاده کمتر از کود نیتروژن و به تبع آن انتقال کمتر نیتروژن به محیط‌زیست می‌شود (Hu *et al.,* 2020). با این حال، استفاده مکرر و طولانی مدت از سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ می‌تواند موجب کاهش کیفیت خاک و عملکرد برنج شود (Zhang *et al.,* 2021).

اثرات اکولوژیکی و زیست‌محیطی سیستم‌های تلفیقی

فراهمی و کارایی مصرف عناصر

اجرای سیستم‌های تلفیقی از طریق تشکیل زنجیره‌های غذایی بزرگ‌تر و اکوسیستم‌های پیچیده‌تر موجب افزایش ثبات و مقاومت برنج و آبزیان در برابر تغییرات محیطی می‌شود. در این سیستم، برنج و آبزیان از منابع به‌صورت مکمل استفاده می‌کنند، بنابراین هم ورودی کود برای برنج و هم ورودی جیره غذایی آبزیان کاهش می‌یابد (Wang and Cai, 2017). در

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

سیستم‌های تلفیقی، بستر کشت برنج می‌تواند غذای آبزیان را تامین کند. از طرفی، فضولات آبزیان موجب افزایش مواد مغذی خاک شده و عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز را در اختیار برنج قرار می‌دهد (Zu *et al.,* 2022). سیستم تلفیقی برنج و آبزیان می‌تواند باعث تسریع چرخه عناصر غذایی و افزایش کارایی مصرف آن‌ها شود (Ge *et al.,* 2023). تحرک آبزیان در سیستم‌های تلفیقی باعث برهم‌زدن سطح خاک، افزایش خلل و فرج خاک و تحرک بیشتر عناصر غذایی در خاک و در نتیجه افزایش جذب مواد مغذی توسط ریشه‌های برنج می‌شود (Chen *et al.,* 2023). علاوه بر این، فعالیت و تحرک آبزیان هنگام تغذیه باعث افزایش معدنی شدن مواد مغذی آلی شده که در نتیجه آن محتوای نیتروژن و پتاسیم قابل دسترس برای گیاه برنج افزایش می‌یابد (Liu *et al.,* 2022c). Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که سیستم تلفیقی برنج و ماهی موجب افزایش غلظت قابل جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با سیستم تک‌کشتی برنج شد. محققان گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج و ماهی موجب تقویت میکروارگانیسم‌های خاک (باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های تجزیه‌کننده سلولز و نیتروباکترها) و افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل دسترس گردید (Wan *et al.,* 2019). Guo و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده کردند که سیستم تلفیقی برنج و آبزیان باعث افزایش کارایی استفاده از نیتروژن به میزان ۲۵-۱۱ درصد شد. در آزمایشی گزارش شد که سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ در مقایسه با سیستم تک‌کشتی برنج، کارایی مصرف فسفر را ۱۲ درصد افزایش داد (Hou *et al.,* 2021). Gao و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج و اردک از طریق تغییر در pH آب، باعث کاهش تلفات فسفر شد. نتایج بررسی محققان نشان داد که در سیستم‌های تلفیقی، ماهی کپور و خرچنگ به‌ترتیب ۳۴/۸ و ۵۰/۲ درصد از جیره غذایی خود را از منابع موجود در شالیزار به‌دست می‌آورند (Hu *et al.,* 2020; Guo *et al.,* 2022). نتایج Li و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که آشفتگی بیوژنیک[5] ناشی از آبزیان باعث افزایش انتشار و قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه برنج می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ در مقایسه با سیستم تک‌کشتی برنج باعث افزایش کربن آلی و نیتروژن کل خاک گردید (Li *et al.,* 2022).

کیفیت آب

زراعت برنج به‌دلیل استفاده از سموم و کودهای شیمیایی یکی از عوامل آلوده‌کننده آب‌های سطحی و سفره‌های آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود. بنابراین، بهبود کیفیت آب در کشت برنج به‌عنوان یک هدف زیست‌محیطی مهم برای تولید پایدار این محصول محسوب می‌شود (Bashir *et al.,* 2020). در سیستم آبزی پروری، مازاد جیره غذایی مورد استفاده به‌همراه فضولات آبزیان که حاوی مقادیر زیادی مواد مغذی است، به سمت اکوسیستم‌های آبی مجاور مانند دریاچه‌ها و رودخانه‌های پایین دست حرکت کرده و منجر به آلودگی آن‌ها می‌شود (Berg and Tam, 2018). در سیستم تک‌کشتی برنج مقداری از نیتروژن مصرفی توسط گیاه جذب می‌گردد، در حالی‌که باقی‌مانده نیتروژن به‌عنوان یک آلاینده وارد محیط‌زیست می‌شود (Smith and Siciliano, 2015).

---

[5] Bioturbance

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

در مقابل در سیستم تلفیقی برنج و آبزیان، اضافه شدن یک مصرف‌کننده دیگر (گونه‌های آبزی) موجب بهبود کارایی استفاده از نیتروژن شده و در نتیجه نیتروژن کمتری به محیط‌زیست منتقل می‌گردد (Cao *et al.,* 2017). از سوی دیگر، گیاه برنج می‌تواند با ایجاد سایه در فصل گرم تابستان، محیطی آبی مناسبی برای رشد آبزیان فراهم کند. به‌عنوان مثال، نتایج یک آزمایش پنج ساله نشان داد که دمای آب و شدت نور در مزارع کشت تؤام برنج و ماهی به‌ترتیب به‌میزان ۲/۵۶ درجه سانتی‌گراد و ۱۴۵۶ میکرومول بر مترمربع در ثانیه کمتر از سیستم متداول پرورش ماهی بود (Xie *et al.,* 2011a). سیستم تلفیقی برنج و آبزیان می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش آلودگی و اوتریفیکاسیون اکوسیستم‌های آبی مجاور داشته باشد (Yao *et al.,* 2017). گزارش شده که کشت هم‌زمان برنج و آبزیان در مقایسه با سیستم تک‌کشتی می‌تواند استفاده از نهاده‌های شیمیایی را تا ۲۴ درصد کاهش داده و در نتیجه باعث بهبود کیفیت آب شود (Xie *et al.,* 2011b). Chen و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج و آبزیان می‌تواند کارایی استفاده از عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش و نیاز به کاربرد علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها را کاهش دهد و به‌طور قابل‌توجهی باعث بهبود کیفیت آب گردد. محققان گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج و ماهی از پتانسیل بالایی برای بهبود کیفیت آب برخوردار است و منجر به کاهش غلظت مواد مغذی در نمونه‌های آبی به‌میزان ۷۰-۷۹ درصد در مقایسه با سیستم تک‌کشتی می‌شود (Feng *et al.,* 2016). گزارش شد که سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ در مقایسه با سیستم تک‌کشتی، موجب کاهش سطوح نیتروژن و فسفر در آب (به‌دلیل جذب توسط گیاه برنج) و در نتیجه تأثیر مثبت بر کیفیت آب می‌شود (Li *et al.,* 2024).

کنترل علف‌های هرز

فعالیت آبزیان در سیستم تلفیقی می‌تواند به کنترل علف‌های هرز کمک کند. برخی از آبزیان مانند ماهی کپور، همه‌چیز خوارانی هستند که از طریق خوردن علف‌های هرز، باعث کنترل جمعیت آن‌ها می‌شوند (Lv *et al.,* 2011; Xie *et al.,* 2011a). برخی از آبزیان دیگر نیز به‌صورت غیرمستقیم از طریق حرکات مداوم، خاک سطحی را برهم زده و با جلوگیری از جوانه‌زنی علف‌های هرز، زیست‌توده آن‌ها را کاهش می‌دهند (Ji *et al.,* 2023). نتایج بررسی Guo و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که در سیستم‌های تلفیقی برنج-ماهی و برنج-خرچنگ زیست‌توده علف‌های هرز ۶۰ تا ۹۰ درصد در مقایسه با سیستم تک‌کشتی، کاهش یافت. در آزمایشی دیگر کاهش ۳۹ درصدی زیست‌توده علف‌های هرز در سیستم تلفیقی برنج و ماهی گزارش شد (Sinhababu *et al.,* 2013). در سیستم تلفیقی برنج-ماهی-اردک گزارش شد که وجود آبزیان به‌ویژه ماهی کپور، به‌طور قابل توجهی موجب کاهش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز و افزایش راندمان کنترل علف‌های هرز گردید (Nayak *et al.,* 2020). محققان گزارش کردند که در سیستم تلفیقی برنج و اردک، تحرک و فعالیت اردک منجر به گل‌آلود شدن آب و مانع از رسیدن نور کافی به سطح خاک شالیزار می‌شود که به‌طور غیرمستقیم از جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز جلوگیری می‌کند. همچنین، اردک از طریق نوک‌زدن، لگدکردن و خوردن علف‌های هرز و بذور آن‌ها، به‌طور مستقیم

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

موجب کاهش بانک بذر و تراکم علف‌های هرز می‌شود (Li *et al.,* 2012). علاوه بر این، مواد شیمیایی موجود در فضولات اردک ممکن است بازدارنده رشد علف‌های هرز باشد (Long *et al.,* 2013). در پژوهشی گزارش شد که در سیستم تلفیقی برنج و اردک، حرکت و جستجوی اردک برای یافتن غذا منجر به کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در شالیزار می‌شود (Teng *et al.,* 2016). نتایج پژوهشی نشان داد که تعداد ۸۰۰ اردک در هکتار تأثیر معنی‌داری بر کاهش تراکم علف‌های هرز سوروف (*Echinochloa crus-galli*) و بندواش (*Paspalum distichum*) دارد (Mohammadi *et al.,* 2012). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که تأثیر سیستم تلفیقی برنج و اردک بر کنترل سل واش (*Monochoria varginalis*) ۱۰۰ درصد بود، در حالی‌که، بر کنترل تیرکمان آبی (*Sagittaria sagittifolia*) و جگن‌ها (*Carex*) به‌ترتیب ۶۲/۱۷ و ۴۱/۹۷ درصد تأثیر داشت (Yu *et al.,* 2005).

کنترل آفات و بیماری‌ها

بر اساس نتایج پژوهش‌های مختلف، سیستم تلفیقی برنج و آبزیان در مقایسه با سیستم تک‌کشتی باعث بهبود کنترل آفات و بیماری‌های برنج می‌شود (Wan *et al.,* 2019; Ji *et al.,* 2023; Zhang *et al.,* 2023). در سیستم‌های تلفیقی، آبزیان از طریق نوک‌زدن و خوردن برگ‌های بیمار برنج و علف‌های هرز و با بهبود شرایط تهویه و نور، موجب کاهش عوامل بیماری‌زا می‌شوند (Li *et al.,* 2019b). محققان گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج-ماهی-اردک می‌تواند به‌طور قابل توجهی بیماری سوختگی غلاف برنج را کاهش دهد. نتایج آن‌ها نشان داد که بیماری سوختگی غلاف برنج در سیستم تلفیقی در مقایسه با سیستم تک‌کشتی برنج، ۶۰/۳ درصد کمتر بود (Zhang *et al.,* 2023). آبزیان می‌توانند به‌طور مستقیم از حشرات و آفات موجود در سطح آب و قسمت‌های پایینی و میانی بوته‌های برنج تغذیه کنند. همچنین، تحرک آبزیان موجب تکان خوردن بوته‌های برنج و افتادن حشرات و آفات موجود در قسمت بالایی بوته‌ها به داخل آب می‌شود (Yu *et al.,* 2005). محققان گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج و آبزیان می‌تواند به‌طور قابل توجهی جمعیت کرم ساقه‌خوار برنج را کاهش دهد و از طرفی باعث افزایش فرآوانی دشمن طبیعی این آفت (عنکبوت) شود (Ji *et al.,* 2023). نتایج پژوهشی نشان داد که سیستم تلفیقی برنج و ماهی باعث کاهش ۲۶ درصدی کرم ساقه‌خوار برنج نسبت به سیستم تک‌کشتی شد (Xie *et al.,* 2011a). در آزمایشی که به‌مدت چهار سال بر روی سیستم تلفیقی برنج و ماهی انجام گرفت، گزارش شد که جمعیت آفات و حشرات برنج به‌میزان ۲۴ درصد کاهش یافت و از طرفی فراوانی دشمنان طبیعی این آفات به‌میزان ۱۹/۴۸ درصد در مقایسه با سیستم تک‌کشتی افزایش پیدا کرد (Wan *et al.,* 2019).

انتشار گازهای گلخانه‌ای

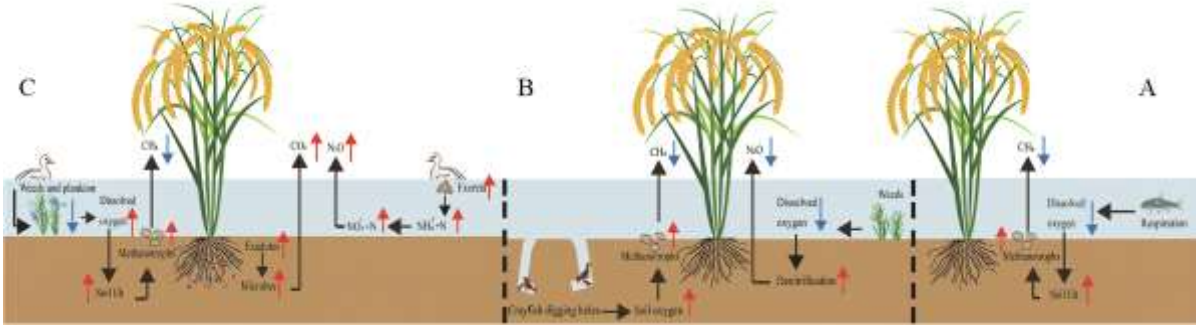
تولید برنج به‌عنوان یکی از منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر متان (CH_4)، دی‌اکسید کربن (CO_2) و اکسید نیتروژن (N_2O) در بخش کشاورزی است (Zhang *et al.,* 2018). محققان گزاش کردند که تحرک گونه‌های آبزی در سیستم‌های تلفیقی از طریق اختلاط آب در سطوح مختلف، موجب افزایش غلظت اکسیژن محلول در آب و تغییر هضم بی‌هوازی

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

به هضم هوازی شده و به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند (Liu *et al.,* 2016a; Wu *et al.,* 2018).

۱- انتشار متان

انتشار گاز متان از مزارع برنج حدود شش درصد از کل انتشار جهانی این گاز را تشکیل می‌دهد (Weller *et al.,* 2016). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان‌دهنده کاهش قابل‌توجه در میزان انتشار CH_4 از اراضی شالیزاری با به‌کارگیری سیستم‌های تلفیقی است (Sheng *et al.,* 2018; Fang *et al.,* 2019; Sun *et al.,* 2021). گونه‌های آبزی به‌ویژه آن‌هایی که از سطوح پایین‌تر آب تغذیه می‌کنند مانند ماهی کپور و خرچنگ، با حرکت خود موجب برهم زدن لایه‌های خاک شده و بر فرآیندهای تولید CH_4 تأثیر می‌گذارند (Bashir *et al.,* 2020). Frei و Becker (۲۰۰۵) کاهش انتشار CH_4 در سیستم تلفیقی برنج و ماهی را به کاهش پتانسیل ردوکس خاک و افزایش فراوانی باکتری‌های اکسیدکننده متان نسبت دادند (شکل ۲-الف). در سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ، ایجاد سوراخ توسط خرچنگ در مزارع برنج باعث افزایش محتوای اکسیژن خاک و فراوانی باکتری‌های اکسیدکننده متان شده و در نتیجه میزان انتشار CH_4 را کاهش می‌یابد (شکل ۲-ب). Sun و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کشت تلفیقی برنج و خرچنگ در مقایسه با سیستم تک‌کشتی، انتشار CH_4 را به‌میزان ۱۹/۶-۱۸/۱درصد و پتانسیل گرمایش جهانی را به‌میزان ۲۲-۱۶/۸درصد کاهش داد. محققان گزارش کردند که در سیستم تلفیقی برنج و اردک، اردک می‌تواند غلظت اکسیژن محلول در آب را از طریق تحرک و جستجو برای علوفه افزایش داده و موجب کاهش انتشار CH_4 شود (Sheng *et al.,* 2018). Wang و همکاران (۲۰۰۶) دلیل اصلی کاهش انتشار CH_4 در کشت توأم برنج و اردک را این‌طور بیان کردند که اردک از طریق تغذیه علف‌های هرز، حشرات و پلانکتون‌ها موجب افزایش غلظت اکسیژن محلول در آب شده، این فرآیندها سپس باعث افزایش پتانسیل ردوکس خاک می‌شوند. همچنین، فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده متان (متانوتروف‌ها) بهبود یافته و در نتیجه اکسیداسیون CH_4 تسهیل می‌گردد (شکل ۲-ج).



شکل ۲: مکانیسم انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم‌های تلفیقی (الف) برنج-ماهی، (ب) برنج-خرچنگ و (ج) برنج-اردک (Ge *et al.,* 2023)

Figure 2: Mechanism of greenhouse gas emissions in integrated systems (A) rice–fish, (B) rice–crayfish and (C) rice–duck (Ge *et al.,* 2023)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

۲- انتشار اکسید نیتروژن

پتانسیل گرمایش جهانی اکسید نیتروژن ۲۹۸ برابر بیشتر از دی‌اکسید کربن است. مزارع برنج تقریباً ۱۱ درصد از سهم انتشار N_2O در جهان را به خود اختصاص می‌دهند (Liu *et al.,* 2016b). Wang (۲۰۱۸) گزارش کرد که در سیستم تلفیقی، گونه‌های آبزی موجب افزایش اکسیژن محلول در آب، کاهش دنیتریفیکاسیون و کاهش انتشار N_2O می‌شوند (شکل ۱-ب). محققان دلایل کاهش انتشار N_2O در سیستم‌های تلفیقی را این‌گونه بیان کردند که رشد برنج می‌تواند به‌طور مستقیم نیتروژن غیرآلی را از آب و خاک جذب کرده و در نتیجه نیتروژن موجود برای تولید و انتشار N_2O را کاهش دهد (Li *et al.,* 2019a). علاوه بر این، برنج مواد جامد معلق در آب را از طریق ساقه‌ها و ریشه‌های خود جذب کرده و آزادشدن نیتروژن از رسوب و مواد جامد معلق را سرکوب می‌کند. همچنین، تکان خوردن بوته‌های برنج بر اثر باد موجب انتشار اکسیژن از سطوح بالاتر آب به سطوح پایین‌تر و بهبود شرایط هوازی در عمق آب شده و در نتیجه تولید N_2O ناشی از دنیتریفیکاسیون کاهش می‌یابد. در پژوهشی گزارش شد که سیستم تلفیقی برنج و خرچنگ انتشار متان را به‌میزان ۲۸/۲-۱۹/۷ درصد کاهش داد (Wang *et al.,* 2019).

مزایای اجتماعی-اقتصادی سیستم‌های تلفیقی

سیستم تلفیقی برنج و آبزیان می‌تواند نقش مؤثری در بهبود وضعیت اجتماعی-اقتصادی کشاورزان ایفا نماید. تولید آبزیان در مزارع برنج به‌عنوان یک محصول مضاعف، باعث بهبود درآمد شالیکاران می‌شود. علاوه بر این، کنترل بیولوژیکی آفات و علف‌های هرز برنج توسط آبزیان و همچنین فضولات آبزیان، به‌طور بالقوه موجب کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و به‌تبع آن کاهش هزینه‌های تولید می‌گردد. از طرفی، قیمت برنج و آبزیان تولید شده در سیستم‌های تلفیقی به‌دلیل ایمنی و امنیت غذایی بیشتر، نسبت به سیستم‌های تک‌کشتی بالاتر است (Feng *et al.,* 2016). محققان گزارش کردند که سیستم تلفیقی برنج و آبزیان، هزینه کاربرد کود و سموم شیمیایی را به‌ترتیب به‌میزان ۷۹ و ۵۰ درصد نسبت به سیستم تک‌کشتی برنج کاهش می‌دهد (Cao *et al.,* 2017). نتایج بررسی Ahmed و همکاران (۲۰۱۴) در بنگلادش نشان داد که درآمد حاصل از سیستم تلفیقی برنج و آبزیان ۵۰ درصد بیشتر از سیستم تک‌کشتی است. محققان دیگر نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (Tong, 2017; Sun *et al.,* 2019; Bashir *et al.,* 2020). نتایج پژوهشی در استان هونان چین نشان داد که مزایای اقتصادی سیستم تلفیقی برنج-ماهی-اردک ۱۶۳/۶ درصد بیشتر از سیستم تک‌کشتی برنج است (Zhang *et al.,* 2023). از مهم‌ترین مزایای اجتماعی سیستم‌های تلفیقی برنج و آبزیان می‌توان به ایجاد توازن در رژیم غذایی به‌دلیل تهیه پروتئین حیوانی، افزایش اشتغال روستاییان، رفت و آمد روستاییان به شهرها، افزایش مشارکت مردم در بخش کشاورزی و برنامه‌های توسعه روستا اشاره کرد (Haghdoust *et al.,* 2016).

محدودیت‌ها و مشکلات

علاوه بر مزایای ذکر شده برای سیستم تلفیقی برنج و آبزیان، اجرای این سیستم به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه با مشکلات و محدودیت‌هایی نیز روبرو است که از آن جمله می‌توان به عدم وجود سرمایه اولیه

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

و تسهیلات کافی به‌خصوص برای کشاورزان دارای زمین‌های کوچک یا حاشیه‌ای، کمبود کارشناسان ترویجی در مناطق روستایی و در نتیجه ارائه خدمات ترویجی ضعیف، نبود تخصص و دانش کافی، عدم وجود حمایت بیمه‌ای، چالش کمبود آب و کیفیت نامناسب آن، تأثیرپذیری بیشتر از خطرات طبیعی مانند سیل و خشکسالی در مقایسه با سیستم تک‌کشتی، عدم حمایت کافی دولت‌ها و نبود بازار فروش مناسب برای کشاورزان روستایی اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

سیستم تلفیقی برنج و آبزیان یک روش کشاورزی اکولوژیکی مختلط است که می‌تواند موجب استفاده بهینه از شالیزار، افزایش تنوع زیستی، افزایش رفاه اجتماعی-اقتصادی کشاورزان و کاهش آلودگی زیست‌محیطی گردد. در این سیستم گیاه برنج با کاهش دمای آب و شدت نور خورشید از طریق سایه‌اندازی، محیط مناسبی را برای رشد آبزیان فراهم کرده و موجب افزایش تولید آن‌ها می‌شود. در مقابل، تحرک و فعالیت آبزیان در سیستم‌های تلفیقی سبب بهبود خلل و فرج و نفوذپذیری خاک و آزاد شدن مواد مغذی موجود در خاک می‌شود. علاوه بر این، مواد مغذی حاصل از فضولات آبزیان می‌تواند توسط گیاه برنج جذب شده و در نتیجه باعث کاهش ورودی کودهای شیمیایی شود. همچنین، آبزیان می‌توانند به‌عنوان عامل کنترل بیولوژیکی برای آفات، حشرات و علف‌های هرز در شالیزار عمل کرده و با افزایش توان رقابت‌پذیری برنج، باعث افزایش عملکرد آن شوند. نتایج نشان داد که سیستم تلفیقی برنج و آبزیان در مقایسه با سیستم‌های متداول باعث افزایش اکسیژن محلول در آب، افزایش فراهمی و کارایی عناصر غذایی نظیر نیتروژن، افزایش مواد آلی در خاک، افزایش کیفیت و قیمت محصولات تولید شده، ارتقای ایمنی غذایی، بهبود اشتغال روستاییان، کاهش مصرف آفت‌کش‌ها، علفکش‌ها و کودهای شیمیایی و در نتیجه کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود. در مجموع، افزایش پذیرش و توسعه سیستم‌های تلفیقی برنج و آبزیان در مزارع شالیزاری نیازمند اقدامات عملی و حمایتی از جمله برنامه‌ریزی‌های آموزشی، برگزاری دوره‌های ترویجی، ایجاد مزارع نمایشی و تخصیص وام و اعتبارات اولیه است. با توجه به افزایش کمی و کیفی تولید در سیستم‌های تلفیقی به نظر می‌رسد که سرمایه‌گذاری و حمایت‌های زیرساختی از این سیستم‌های کشت می‌تواند منجر به پایداری تولید در اکوسیستم شالیزار گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و موسسه تحقیقات برنج کشور کمال تشکر را دارند.

منابع

1. Ahmed, N., Bunting, S.W., Rahman, S. and Garforth, C.J., 2014. Community-based climate change adaptation strategies for integrated prawn–fish–rice farming in Bangladesh to promote social–ecological resilience. *Reviews in Aquaculture, 6*(1), pp.20-35. DOI:10.1111/raq.12022
2. Ahmed, N. and Turchini, G.M., 2021. The evolution of the blue-green revolution of rice-fish cultivation for sustainable food production. *Sustainability Science, 16*, pp.1375-1390. DOI:10.1007/s11625-021-00924-

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

z
3. Bashir, M.A., Liu, J., Geng, Y., Wang, H., Pan, J., Zhang, D., Rehim, A., Aon, M. and Liu, H., 2020. Co-culture of rice and aquatic animals: An integrated system to achieve production and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production, 249*(80), pp.119310. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.119310
4. Berg, H. and Tam, N.T., 2018. Decreased use of pesticides for increased yields of rice and fish-options for sustainable food production in the Mekong Delta. *Science of The Total Environment, 619*, pp.319-327. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.11.062
5. Cao, C.G., Jiang, Y., Wang, J.P., Yuan, P.L. and Chen, S.W., 2017. Dual character of rice-crayfish culture and strategy for its sustainable development. *Chinese Journal of Eco-Agriculture, 25*(9), pp.1245-1253. DOI:10.13930/j.cnki.cjea.170739
6. Chen, J., Gao, G., Zhang, W., Zhao, Z. and Penuelas, J., 2023. The present and future role of rice-animal co-culture systems in meeting sustainable development goals. *Earth and Space Science, 10*(8), pp.2023EA003050. DOI:10.1029/2023EA003050
7. Cui, J., Liu, H., Wang, H., Wu, S., Bashir, M.A., Reis, S., Sun, Q., Xu, J. and Gu. B., 2023. Rice-animal co-culture systems benefit global sustainable intensification. *Earth's Future, 11*(2), pp. 2022EF002984. DOI:10.1029/2022EF002984
8. Ebrahimi, M., Mohammadi Torkashvand, A. and Moez Ardalan, M., 2015. The effect of integrated rice-fish culture on soil nutrients, nutrient uptake and rice yield in paddy fields of Guilan province. *Journal of Aquaculture Development, 9*(3), pp.11-18. [In Persian]
9. Fang, K.K., Yi, X.M., Dai, W., Gao, H. and Cao, L.K., 2019. Effects of integrated Rice-frog farming on Paddy field greenhouse gas emissions. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(11), pp.1930. DOI:10.3390/ijerph16111930
10. Feng, J., Li, F., Zhou, X., Xu, C. and Fang, F., 2016. Nutrient removal ability and economical benefit of a rice-fish co-culture system in aquaculture pond. *Ecological Engineering, 94*, pp.315-319. DOI:10.1016/j.ecoleng.2016.06.002
11. Frei, M. and Becker, K., 2005. Integrated rice-fish culture: coupled production saves resources. *Natural Resources Forum, 29*(2), pp.135-143. DOI:10.1111/j.1477-8947.2005.00122.x
12. Gao, H., Dai, W., Fang, K.K., Yi, X.M., Chen, N., Penttinen, P., Sha, Z.M. and Cao, L.K., 2020. Rice-duck co-culture integrated different fertilizers reduce P losses and pb accumulation in subtropical China. *Chemosphere, 245*, pp.125571. DOI:10.1016/j.chemosphere.2019.125571
13. Ge, L., Sun, Y., Li, Y., Wang, L., Guo, G., Song, L., Wang, C., Wu, G., Zang, X., Cai, X., Li, S. and Li, P., 2023. Ecosystem sustainability of rice and aquatic animal co-culture systems and a synthesis of its underlying mechanisms. *Science of The Total Environment, 880*, pp.163314. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.163314
14. Guo, L., Hu, L., Zhao, L., Shi, X., Ji, Z., Ding, L., Ren, W., Zhang, J., Tang, J. and Chen, X., 2020. Coupling rice with fish for sustainable yields and soil fertility in China. *Rice Science, 27*(3), pp.175-179. DOI:10.1016/j.rsci.2020.04.001
15. Guo, L., Zhao, L.F., Ye, J.L., Ji, Z.J., Tang, J.J., Bai, K.Y., Zheng, S.J., Hu, L.L. and Chen, X., 2022. Using aquatic animals as partners to increase yield and maintain soil nitrogen in the paddy ecosystems. *Elife, 11*, pp.73869. DOI:10.7554/elife.73869
16. Gurung, T.B. and Wagle, S.K., 2005. Revisiting underlying ecological principles of rice-fish integrated farming for environmental, economical

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

and social benefits. Nepal Agriculture Research Council (NARC). Fisheries Research Station. *Journal of Our Nature, 3*, pp.1-12. DOI:10.3126/on.v3i1.328

17. Haghdoust, S., Khara, H., Alahyari, M.S. and Noorhosseini, S.A., 2016. Investigation of socio-economic effects of fish-rice cultivation in Guilan province. *Journal of Aquaculture Development, 9*(4), pp.11-20. [In Persian]
18. Halwart, M. and Gupta, M.V., 2004. Culture of Fish in Rice Fields. Food and Agriculture Organization and the World Fish Center, Rome, 83p.
19. Halwart, M., 2008. Biodiversity, nutrition and livelihoods in aquatic rice-based ecosystems. *Biodiversity, 9*, pp.36-40. DOI:10.1080/14888386.2008.971287
20. Hou, J., Wang, X.L., Xu, Q., Cao, Y.X., Zhang, D.Y. and Zhu, J.Q., 2021. Rice-crayfish systems are not a panacea for sustaining cleaner food production. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(18), pp.22913-22926. DOI:10.1007/s11356-021-12345-7
21. Hu, L., Zhang, J., Ren, W., Guo, L., Cheng, Y., Li, J., Li, K., Zhu, Z., Zhang, J., Luo, S. and Cheng, L., 2016. Can the co-cultivation of rice and fish help sustain rice production. *Scientific Reports, 6*, pp.28728. DOI:10.1038/srep28728
22. Hu, L.L., Guo, L., Zhao, L.F., Shi, X.Y., Ren, W.Z., Zhang, J., Tang, J.J. and Chen, X., 2020. Productivity and the complementary use of nitrogen in the coupled rice-crab system. *Agricultural Systems, 178*, pp.102742. DOI:10.1016/j.agsy.2019.102742
23. Huang, W., Yu, J.W., Li, Y.C., Zhang, X. and Wang, N., 2019. Changes of nitrogen, phosphorus and algae in water under rice-duck-shrimp ecological planting and breeding model. *Bulletin of Soil and Water Conservation, 39*(4), pp.229-235.
24. Ji, Z., Zhao, L.F., Zhang, T., Dai, R.X., Tang, J.J, Hu, L.L. and Chen, X., 2023. Coculturing rice with aquatic animals promotes ecological intensification of paddy ecosystem. *Journal of Plant Ecology, 16*(6), pp.rtad014. DOI:10.1093/jpe/rtad014
25. Keshavarz-Shal, F. and Noorhosseini, S.A., 2016. Prioritize of affecting factors on non-adoption of fish farming in rice fields in Guilan province. *Journal of Aquaculture Development, 9*(4), pp.53-64. [In Persian]
26. Krishna Bahadur, K.c., Dias, G.M., Veeramani, A., Swanton, C.J., Fraser, D., Steinke, D., Lee, E., Wittman, H., Farber, J.M., Dunfield, K., McCann, K., Anand, M., Campbell, M., Rooney, N., Raine, N.E., Van Acker, R., Hanner, R., Pascoal, S., Sharif, S., Benton, T.G. and Fraser, E.D.G., 2018. When too much isn't enough: Does current food production meet global nutritional needs. *PLoS One, 13*(10), pp.0205683. DOI:10.1371/journal.pone.0205683
27. Li, S.S., Wei, S.H., Zuo, R.L., Wei, J.G. and Qiang, S., 2012. Changes in the weed seed bank over 9 consecutive years of rice-duck farming. *Crop Protection, 37*, pp.42-50. DOI:10.1016/j.cropro.2012.03.001
28. Li, P., Xue, Y., Shi, J.L., Pan, A.H., Tang, X.M. and Ming, F., 2018. The response of dominant and rare taxa for fungal diversity within different root environments to the cultivation of Bt and conventional cotton varieties. *Microbiome, 6*(1), pp.184. DOI:10.1186/s40168-018-0570-9
29. Li, F.B., Feng, J.F., Zhou, X.Y., Xu, C.C., Jijakli, M.H., Zhang, W.J. and Fang, F.P., 2019a. Impact of rice-fish/shrimp co-culture on the N2O emission and NH3 volatilization in intensive aquaculture ponds. *Science of The Total Environment, 655*, pp.284-291. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.10.440
30. Li, M.J., Li, R.H., Liu, S.W., Zhang, J.E., Luo, H. and Qiu, Sh., 2019b. Rice-duck co-culture benefits grain 2-acetyl-1-pyrroline accumulation and quality and yield enhancement of fragrant rice.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

The Crop Journal, 7(4), pp.419-430. DOI:10.1016/j.cj.2019.02.002

31. Li, M., Li, R., Zhang, J., Guo, J., Zhang, C., Liu, S., Hei, Z. and Qiu, S., 2020. Integration of mixed-cropping and rice-duck co-culture has advantage on alleviating the nonpoint source pollution from rice (*Oryza sativa* L.) production. *Applied Ecology and Environmental Research, 18*(1), pp.1281-1300. DOI:10.15666/aeer/1801_12811300
32. Li, P., Wu, G.G., Li, Y.J., Hu, C., Ge, L., Zheng, X.Q., Zhang, J.Q., Chen, J., Zhang, H.L., Bai, N.L., Zhang, H.Y., Song, L.L., Sun, Y., Jiang, W., Jia, J.W., Chen, Y.F., Wang, C., Lv, B.B., Wu, W., Pan, A.H., Li, S.X. and Lv, W.G., 2022. Long-term rice-crayfish-turtle co- culture maintains high crop yields by improving soil health and increasing soil microbial community stability. *Geoderma, 413*, pp.115745. DOI:10.1016/j.geoderma.2022.11574
33. Li, T., Zhang, B., Zhu, C.B., Su, J.Q., Li, J.W., Chen, S.W. and Qin, J.H., 2024. Effects of an ex-situ shrimp-rice aquaponic system on the water quality of aquaculture ponds in the Pearl River estuary, China. *Aquaculture, 545*, pp.737179. DOI:10.1016/j.aquaculture.2021.737179
34. Liu, M.C, Xiong, Y., Yuan, Z., Min, Q.W., Sun, Y.H. and Fuller, A.M., 2014. Standards of ecological compensation for traditional eco-agriculture: Taking rice-fish system in Hani terrace as an example. *Journal of Mountain Science, 11*(4), pp.1049-1059. DOI:10.1007/s11629-013-2738-x
35. Liu, S., Hu, Z., Wu, S., Li, S., Li, Z. and Zou, J., 2016a. Methane and Nitrous Oxide Emissions Reduced Following Conversion of Rice Paddies to Inland Crab-Fish Aquaculture in Southeast China. *Environmental Science and Technology, 50*(2), pp.633-642. DOI:10.1021/acs.est.5b04343
36. Liu, W., Hussain, S., Wu, L., Qin, Z., Li, X., Lu, J., Khan, F., Cao, W. and Geng, M., 2016b. Greenhouse gas emissions, soil quality, and crop productivity from a mono-rice cultivation system as influenced by fallow season straw management. *Environmental Science and Pollution Research, 23*(1), pp.315-328. DOI:10.1007/s11356-015-5227-7
37. Liu, J., Liu, H.B., Liu, R., Mostofa, A., Zhai, L.M., Lu, H.M., Wang, H.Y., Zhang, B., Zhang, Y., Zhao, Y. and Ding, X., 2018. Water Quality in Irrigated Paddy Systems. Irrigation in Agroecosystems. Intech Open, London, United Kingdom. 18p. DOI:10.5772/intechopen.77339
38. Liu, C., Wang, Y., Ma, X., Cui, D., Han, B., Xue, D. and Han, L., 2022a. Traditional agricultural management of Kam Sweet Rice (*Oryza sativa* L.) in southeast Guizhou Province, China. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 18*(1), pp.30. DOI:10.1186/s13002-022-00528-6
39. Liu, T.Q., Li, C.F, Tan, W.F., Wang, J., Feng, J., Hu, Q. and Cao, C., 2022b. Rice-crayfish co-culture reduces ammonia volatilization and increases rice nitrogen uptake in central China. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 330*, pp.107869. DOI:10.1016/j.agee.2022.107869
40. Liu, X., Shi, Z., Zhang, J., Sun, D.L. and Wei, H., 2022c. Effects of integrated rice-animals co-culture on paddy soil and water properties and rice yield: a meta-analysis. *Archives of Agronomy and Soil Science, 69*, pp.2187-2201. DOI:10.1080/03650340.2022.214257
41. Long, P., Huang, H., Liao, X., Fu, Z., Zheng, H., Chen, A. and Chen, C., 2013. Mechanism and capacities of reducing ecological cost through rice–duck cultivation. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 93*(12), pp.2881-2891. DOI:10.1002/jsfa.6223
42. Lv, D., Wang, W., Ma, X.Z., Wang, Q., Wang, A., Chen, Z.Z. and Tang, S.Q., 2011. Ecological prevention and control of weeds in rice-crab polycultured field.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K. and Massimo, T., 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change, 42*, pp.153-168. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2016.05.00

51. Rohul-Amin, A. and Salauddin, M., 2008. Effect of inclusion of prawn and mola on water quality and rice production in Prawn-fish-rice culture system. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 8*, pp.15-23.
52. Saiedzaseh, F., Garousi, S.H. and Taghizadeh, R., 2010. Evaluation of the effect of rice-fish culture on yield and yield components of five rice genotypes. *Journal of Research in Crop Sciences, 2*(6), pp.55-66. [In Persian]
53. Sathoria, P. and Roy, B., 2022. Sustainable food production through integrated rice-fish farming in India: a brief review. *Renewable Agriculture and Food Systems, 37*(5), pp.527-535. DOI:10.1017/S1742170522000126
54. Sheng, F., Cao, C.G. and Li, C.F., 2018. Integrated rice-duck farming decreases global warming potential and increases net ecosystem economic budget in Central China. *Environmental Science and Pollution Research, 25*(3), pp.22744-22753. DOI:10.1007/s11356-018-2380-9
55. Si, G.H., Peng, C.L., Yuan, J.F., Xu, X.Y., Zhao, S.J., Xu, D.B. and Wu, J.S., 2017a. Changes in soil microbial community composition and organic carbon fractions in an integrated rice-crayfish farming system in subtropical China. *Scientific Reports, 7*(1), pp.28-56. DOI:10.1038/s41598-017-02984-7
56. Si, G., Peng, C., Xu, X., Xu, D., Yuan, J. and Li, J., 2017b. Effect of integrated rice-crayfish farming system on soil physico-chemical properties in waterlogged paddy soils. *Chinese Journal of Eco-Agriculture, 25*(1), pp.61-68. DOI:10.13930/j.cnki.cjea.160661

Hubei Agricultural Sciences, 50(8), pp.1574-1578.

43. Mishra, A., James, B.K., Mohanty, R.K. and Anand, P.S.B., 2014. Conservation and efficient utilization of rainwater in rainfed shallow lowland paddy fields of eastern India. *Paddy and Water Environment, 12*(1), pp.25-34. DOI:10.1007/s10333-013-0355-5
44. Mohammadi, M. and Pirdashti, H., 2012. Aghajaniye Mazandarani, G., Mosavi Toghani, S., 2012. Evaluation of duck efficiency as a biocontrol agent on weed density and diversity in rice-duck farming (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agroecology*, *4*(4), pp.335-346. DOI:10.22067/jag.v4i4.17817 [In Persian]
45. Motamed, M.K., Abedi Pryjayy, A. and Aminian, B., 2017. The role of extension training courses to acceptance of integrated rice-fish culture in Guilan province. *Journal of Aquaculture Development, 11*(3), pp.95-109. [In Persian]
46. Nayak, P.K., Panda, B.B., Das, S., Rao, K.R., Kumar, U., Kumar, A., Munda, S., Satpathy, B.S. and Nayak, A.K., 2020. Weed control efficiency and productivity in rice-fish-duck integrated farming system. *Indian Journal of Fisheries, 67*(3), pp.62-71. DOI:10.21077/ijf.2020.67.3.94309-0
47. Quan, G.M., Zhang, J.E., Yang, J., Chen, R. and Xu, R.B., 2008. Impacts of integrated rice- duck farming system on rice quality. *Acta Ecologica Sinica, 28*, pp.3475-3483.
48. Rabiee, M. and Ebrahimi, M., 2023a. Multicropping systems in paddy fields of northern provinces. *Rice Field, 5*(1), pp.16-24. [In Persian]
49. Rabiee, M. and Ebrahimi, M., 2023b. Crops cultivation in paddy field ecosystem. Rice Research Institute of Iran. 54p. [In Persian]
50. Riahi, K., Van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Crespo Cuaresma, J., Samir, K.C., Leimback,

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

57. Sinhababu, D.P., Saha, S. and Sahu, P.K., 2013. Performance of different fish species for controlling weeds in rainfed lowland rice field. *Biocontrol Science and Technology, 23*(12), pp.1362-1372. DOI:10.1080/09583157.2013.838622
58. Smith, L.E.D. and Siciliano, G., 2015. A comprehensive review of constraints to improved management of fertilizers in China and mitigation of diffuse water pollution from agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 209*, pp.15-25. DOI:10.1016/j.agee.2015.02.016
59. Song, Q.Y., Mi, W.J. and Wang, B.L., 2019. Characteristics of community structure of phytoplankton in the integrated rice-crayfish symbiosis farming system. *Acta Hydrobiologica Sinica, 43*(2), pp.415-422. DOI:10.7541/2019.051
60. Sun, Z., Guo, Y., Li, C., Cao, C., Yuan, P., Zou, F., Wang, Jinhua, Jia, P. and Wang, J., 2019. Effects of straw returning and feeding on greenhouse gas emissions from integrated rice-crayfish farming in Jianghan Plain, China. *Environmental Science and Pollution Research, 26*(12), pp.11710-11718. DOI:10.1007/s11356-019-04572-w
61. Sun, G., Sun, M., Du, L.S., Zhang, Z., Wang, Z.C., Zhang, G.B., Nie, S.A., Xu, H.Q. and Wang, H., 2021. Ecological rice-cropping systems mitigate global warming-a meta-analysis. *Science of the Total Environment, 789*, pp.147900. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.147900
62. Teng, Q., Hu, X.F., Cheng, C., Luo, Z., Luo, F., Xue, Y., Jiang, Y., Mu, Z., Liu, L. and Yang, M., 2016. Ecological effects of rice-duck integrated farming on soil fertility and weed and pest control. *Journal of Soils and Sediments, 16*(10), pp.2395-2407. DOI:10.1007/s11368-016-1455-9
63. Tong, Y.D., 2017. Rice Intensive Cropping and Balanced Cropping in the Mekong Delta, Vietnam— Economic and Ecological Considerations. *Ecological Economics, 132*, pp.205-212. DOI:10.1016/j.ecolecon.2016.10.013
64. Trognitz, F., Hackl, E., Widhalm, S. and Sessitsch, A., 2016. The role of plant-microbiome interactions in weed establishment and control. *FEMS Microbiology Ecology, 92*(10), pp.1-15. DOI:10.1093/femsec/fiw138
65. Tsuruta, T., Yamaguchi, M., Abe, S.I. and Iguchi. K.I., 2011. Effect of fish in rice-fish culture on the rice yield. *Fisheries Science, 77*(1), pp.95-106. DOI:10.1007/s12562-010-0299-2
66. Wan, N.F., Li, S.X., Li, T., Cavalieri, A., Weiner, J., Zheng, X.Q., Ji, X.Y., Zhang, J.Q., Zhang, H.L., Zhang, H., Bai, N.L., Chen, Y.J., Zhang, H.Y., Tao, X.B., Zhang, H.L., Lv, W.G., Jiang, J.X. and Li, B., 2019. Ecological intensification of rice production through rice-fish co-culture. *Journal of Cleaner Production, 234*, pp.1002-1012. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.06.238
67. Wang, J.P., Cao, C.G., Jin, H., Wang, C.F. and Liu, F.H., 2006. Effects of rice-duck farming on aquatic community in rice fields. *Scientia Agricultura Sinica, 39*(10), pp.2001-2008.
68. Wang, M. and Cai, X.H., 2017. Study on the ecologically efficient breeding and cultivation models of rice-fish cooperative farming. *Scientific Fish Farming, 3*, pp.80-81.
69. Wang, Q.S., 2018. Regulation and mechanism of greenhouse gas emissions of circular agriculture ecosystem of planting and breeding in paddy. *Chinese Journal of Eco-Agriculture, 26*(5), pp.633-642. DOI:10.13930/j.cnki.cjea.171068
70. Wang, A., Ma, X., Xu, J. and Lu, W., 2019. Methane and nitrous oxide emissions in rice-crab culture systems of northeast China. *Aquaculture and Fisheries, 4*(4), pp.134-14. DOI:10.1016/j.aaf.2018.12.006
71. Wang, W., Wu, X., Deng, Z., Yin, C.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

and Xie, Y., 2020. Can integrated rice–duck farming reduce CH4 emissions. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(1), pp.1004-1008. DOI:10.1007/s11356-019-06992-0

72. Wang, C., Shi, X., Qi, Z. Xiao, Y., Zhao, J., Peng, Sh. and Chu, Q., 2023. How does rice-animal co-culture system affect rice yield and greenhouse gas? A meta-analysis. *Plant and Soil, 493*, pp.325-340. DOI:10.1007/s11104-023-06233-x
73. Weller, S., Janz, B., Jörg, L., Kraus, D., Racela, H.S.U., Wassmann, R., Butterbach-Bahl, K. and Kiese, R., 2016. Greenhouse gas emissions and global warming potential of traditional and diversified tropical rice rotation systems. *Global Change Biology, 22*(1), pp.432-448. DOI:10.1111/gcb.13099
74. Wu, S., Hu, Z., Hu, T., Chen, J., Yu, K., Zou, J. and Liu, S., 2018. Annual methane and nitrous oxide emissions from rice paddies and inland fish aquaculture wetlands in southeast China. *Atmospheric Environment, 175*, pp.135-144. DOI:10.1016/j.atmosenv.2017.12.008
75. Wu, B., Chen, J., Huang, L., Zhang, Y., Ting, F. and Jixiang, H., 2021. Dynamics of soil fertility and microbial community response to stocking density in rice-turtle co-culture. *Aquaculture Reports, 20*(371), pp.100765. DOI:10.1016/j.aqrep.2021.100765
76. Xie, J., Hu, L., Tang, J., Wu, X., Li, N., Yuan, Y., Yang, H., Zhang, J., Luo, S. and Chen, X., 2011a. Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish coculture system. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(50), pp.1381-1387. DOI:10.1073/pnas.1111043108
77. Xie, J., Wu, X., Tang, J., Zhang, J., Luo, S. and Chen, X., 2011b. Conservation of Traditional Rice Varieties in a Globally Important Agricultural Heritage System (GIAHS): Rice-Fish Co-Culture. *Agricultural Sciences in China, 10*(5), pp.754-761. DOI:10.1016/S1671-2927(11)60059-X
78. Xu, T., Liu, F.P., Ni, C.Y., Xie, H., Su, T., Liang, J., Li, N. and Tian, W., 2021. Effect of different culture densities on rice yield and quality in co-cultivation of rice and turtle. *Acta Agriculturae Jiangxi, 33*(09), pp.22-26.
79. Yang, Y., Zhang, H.C., Hu, X.J., Dai, Q.G. and Zhang. Y.J., 2006. Characteristics of growth and yield formation of rice in rice-fish farming system. *Agricultural Sciences in China, 5*(2), pp.103-110. DOI:10.1016/S1671-2927(06)60026-6
80. Yao, Y., Zhang, M., Tian, Y., Zhao, Miao, Zhang, B., Zhao, Meng, Zeng, K. and Yin, B., 2017. Duckweed (*Spirodela polyrhiza*) as green manure for increasing yield and reducing nitrogen loss in rice production. *Field Crops Research, 214*, pp.273-282. DOI:10.1016/j.fcr.2017.09.021
81. Yu, S.M., Ouyang, Y.N. and Zhang, Q.Y., 2005. Effects of rice-duck farming system on *Oryza sativa* growth and its yield. *Chin. Journal of Applied Ecology, 16*(7), pp.1252-1256.
82. Yu, J.X., Xiang, X.F., Li, Wei, Y.J., Liu, J.S. and Zhang, T.L., 2020. Community structure of zooplankton and relationship with environmental factors in integrated crayfish-rice-co-culture system. *Biotic Resources, 42*(3), pp.279-286. DOI:10.14188/j.ajsh.2020.03.003
83. Yu, H., Zhang, X., Shen, W., Yao, H., Meng, X., Zeng, J., Zhang, G. and Zamanien, K., 2023. A meta-analysis of ecological functions and economic benefits of co-culture models in paddy fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 341*, pp.108195. DOI:10.1016/j.agee.2022.108195
84. Yuan, J., Xiang, J., Liu, D., Kang, H., He, T., Kim, S., Lin, L., Freeman, C. and Ding, W., 2019. Rapid growth in greenhouse gas emissions from the adoption of industrial-scale aquaculture. *Nature Climate Change, 9*, pp.318-322. DOI:10.1007/s13132-024-

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]

02318-9
85. Yuan, P.L., Wang, J.P., Guo, C., Guo, Z.Y., Guo, Y. and Cao, C.G., 2022. Effects of straw return and feed addition on the envi- ronment and nitrogen use efficiency under different nitrogen application rates in the rice–crayfish system. *Plant and Soil, 475*, pp.411-426. DOI:10.21203/rs.3.rs-1089572/v1
86. Zhang, J.E., 2013. Progresses and perspective on research and practice of rice-duck farming in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture, 21*(1), pp.70-79. DOI:10.3724/SP.J.1011.2013.00070
87. Zhang, J., Hu, L.L., Ren, W.Z., Guo, L., Tang, J.J., Shu, M.A. and Chen, X., 2016. Rice-soft shell turtle coculture effects on yield and its environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 224*, pp.116-122. DOI:10.1016/j.agee.2016.03.045
88. Zhang, T., Liu, H., Luo, J., Wang, H., Zhai, L., Geng, Y., Zhang, Y., Li, J., Lei, Q., Bashir, M.A., Wu, S. and Lindsey, S., 2018. Long-term manure application increased greenhouse gas emissions but had no effect on ammonia volatilization in a Northern China upland field. *Science of The Total Environment, 633*, pp.230-23. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.03.069
89. Zhang, Y. and Wu, X.B., 2021. Research on the impact of the "crayfish-rice cultivation" model on national food security: based on a survey in Qianjiang city, Hubei province. *Hubei Agricultural Sciences, 60*(23), pp.201-204.
90. Zhang, Y., Chen, M., Zhao, Y.Y., Zhang, A.Y., Peng, D.H., Lu, F. and Dai, C.C., 2021. Destruction of the soil microbial ecological environment caused by the over- utilization of the rice-crayfish co-cropping pattern. *Science of The Total Environment, 788*, pp.147794. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.147794
91. Zhang, Y., Guan, C., Li, Z., Luo, J., Ren, B., Chen, C., Xu, Y., Ding, J. and Huang, H., 2023. Review of rice-fish-duck symbiosis system in china—one of the globally important ingenious agricultural heritage systems (GIAHS). *Sustainability, 15*(3), pp.1910. DOI:10.3390/su15031910
92. Zhao, W.N., Liang, H.L., Fu, Y., Liu, Y.B., Yang, C., Zhang, T., Wang, T.Y., Rong, L.Y., Zhang, S., Wu, Z.X. and Sun, W.T., 2020. Effects of different fertilization modes on rice yield and quality under a rice-crab culture system. *PLoS One, 15*(3), pp.0230600. DOI:10.1371/journal.pone.0230600
93. Zhao, Z., Chu, C.B., Zhou, D.P., Wang, Q.F., Wu, S.H., Zheng, X.Q., Song, K. and Lv, W.G., 2021. Soil bacterial community composition in rice-fish integrated farming systems with different planting years. *Scientific Reports, 11*(1), pp.10855. DOI:10.1038/s41598-021-90370-9
94. Zhu, J., Han, Y. and Liu, G., 2000. Nitrogen in percolation water in paddy fields with a rice/wheat rotation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems, 57*(1), pp.75-82. DOI:10.1023/A:1009712404335
95. Zu, X.G., Chen, M., Liu, T., Fan, L.H., Wang, Z.W. and Zu, X.J., 2022. Present situation and prospect of comprehensive planting and culture in Paddy fields in Northeast China. *Asian Agricultural Research, 14*(2), pp.54-56. DOI:10.22004/ag.econ.329839

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-881]