Kharazmi University

Space Economy and Rural Development

Online ISSN: 2588-476x
Homepage: https://khu.ac.ir

Explaining the Efficiency of the Water, Energy, and Food Nexus in Rice Farms of Sari County

Parisa Noori Darzikolaie [1] | Fatemeh Razzaghi Borkhani[2]✉ | Ali Akbar Barati[3] | Taher Azizi Khalkheili[4]

1. Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari. Iran. E-mail: parisanori6677@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari. Iran. E-mail: F.razzaghi@sanru.ac.ir
3. Faculty of Economics and Agricultural Development, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: aabarati@ut.ac.ir
4. Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari. Iran. E-mail: T.azizi@sanru.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 3 June 2024
Received in revised form 17 August 2024
Accepted 20 August 2024
Published online 22 September 2024

Keywords:
Energy security,
Water security,
Food security,
WEF Nexus Efficiency,
Rice Farm.

ABSTRACT

Objective: This study aimed to develop a model to improve the efficiency of the water-energy-food (WEF) nexus in rice farming in Sari County.

Methods: The research was conducted using a quantitative, survey-based approach and falls under the category of applied studies. The statistical population consisted of 25,590 rice farmers in Sari County, with a sample size of 170 farmers, determined using G-Power software. A multi-stage stratified sampling method with proportional allocation was employed. Data collection was conducted through a researcher-made questionnaire, whose face and content validity were confirmed by experts. The reliability of the research tool was assessed using Cronbach's alpha coefficient. Data analysis was performed using Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the efficiency of the WEF nexus.

Results: The findings indicate that the efficiency index of the WEF nexus among the studied rice farms was 0.198, reflecting very poor efficiency in rice production. Specific observations include: 70% of the studied units exhibited unsatisfactory nexus efficiency; Larger-scale farms demonstrated higher nexus efficiency, while smaller farms exhibited lower efficiency levels; There was a positive correlation between the nexus efficiency index and farm size, suggesting that economies of scale positively influence efficiency.

Conclusion: The study highlights significant inefficiencies in the WEF nexus within rice farming in Mazandaran Province, specifically regarding water and energy consumption. Key conclusions include: The amount of rice produced relative to water and energy consumption is low, indicating substantial resource wastage; Optimization of water and energy use is critical to enhancing nexus efficiency without compromising crop production or food security; Tailored strategies are required to address regional differences and align cropping patterns with local climatic and weather conditions.

To improve WEF nexus efficiency, the following recommendations are proposed:

1. Agricultural Zoning: Implement zoning strategies based on regional climate and conditions to optimize cropping patterns.
2. Extension-Education Programs: Develop training initiatives for farmers, focusing on efficient farm management practices.
3. Demonstration Farms: Promote exemplary farms as models for best practices through demonstration sites, model farms, and farmer field schools.

These measures aim to reduce resource wastage and improve sustainability in rice production while ensuring food security in the region.

Cite this article: Noori Darzikolaie, P., Razzaghi Borkhani, F., Barati, A. A., & Azizi Khalkheili, T. (2024). Explaining the Efficiency of the Water, Energy, and Food Nexus in Rice Farms of Sari County. *Space Economy and Rural Development*, 13 (49), 1-22. https://doi.org/10.186/serd.13.49.8

© The Author(s).
Publisher: Kharazmi University.
DOI: https://doi.org/10.186/serd.13.49.8

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The global decline in rice cultivation area, production, and yield, including in Iran, highlights the urgent need for better management and efficient use of agricultural water and energy resources. Ensuring water security, energy security, and food security, as well as addressing the interactions within the water-energy-food (WEF) nexus, are critical for achieving sustainable resource consumption and production. Optimizing the productivity of resources and adopting development policies that enhance the synergy among water, food, and energy systems can simultaneously improve economic, social, and environmental dimensions of agroecological rice production systems.

This study aimed to evaluate the efficiency of the WEF nexus in rice farms in Sari County. A theoretical framework was developed by adapting the general WEF Nexus model to the specific context of rice farming, emphasizing food security and sustainable agriculture. This framework evaluates efficiency across three interconnected subsystems: water, energy, and rice production.

Methods

This applied, cross-sectional survey study employed a researcher-made questionnaire as the primary tool for data collection. The questionnaire was structured into three sections, based on theoretical foundations and expert input, and included variables categorized as inputs and outputs influencing nexus efficiency. The Data Envelopment Analysis (DEA) method was used to assess the efficiency of rice farms based on multiple inputs and outputs. The study population included 25,590 rice farmers in Sari County. Using G-Power software, the sample size was estimated to be 170 farmers, considering 10 independent variables for predicting each dependent variable. A multi-stage stratified sampling method with proportional allocation was used for sample selection. Data were analyzed using SPSS v.26 and Excel v.2019.

Results

The study revealed that the overall efficiency index of the WEF nexus among the rice farms was 0.198, indicating very poor efficiency in rice production processes. Key findings include:

- 70% of farms exhibited unsatisfactory nexus efficiency.
- Smaller-scale farming units displayed lower nexus efficiency compared to larger-scale units, highlighting a positive relationship between farm size and nexus efficiency.

Conclusion

The interdependence of water, energy, and food systems underscores the importance of optimizing resource use to enhance efficiency without compromising food security. To achieve this, the following recommendations are proposed:

1. **Reduce Water and Energy Consumption**: Minimize resource wastage in rice production while maintaining productivity to ensure food security.
2. **Adopt Regional and Climate-Specific Strategies**: Develop cropping patterns and agricultural zoning based on regional climatic and weather conditions across the eastern, western, and central parts of the province.
3. **Leverage the WEF Nexus Framework**: Use this framework to assess governance practices and improve sectoral and regional planning systems, with strong government support.
4. **Promote Modern Technologies**: Encourage widespread adoption of modern and smart technologies in rice farming, with backing from government initiatives.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

5. **Extension-Education Programs**: Train farmers on efficient farm management practices by showcasing exemplary farms through demonstration farms, model sites, and farmer field schools.

By implementing these strategies, stakeholders—including farmers, extension officials, and government bodies—can collectively enhance the efficiency of the WEF nexus in rice production systems, contributing to sustainable agriculture and resource management.

***Keywords*:** Energy security, Water security, Food security, WEF Nexus Efficiency, Rice Farm.

Author Contributions

Conceptualization Parisa Noori Darzikolaie, Fatemeh Razzaghi Borkhani, Ali Akbar Barati and Taher Azizi Khalkheili; methodology, Fatemeh Razzaghi Borkhani, Ali Akbar Barati and Taher Azizi Khalkheili; software, Parisa Noori Darzikolaie; validation, Fatemeh Razzaghi Borkhani, Ali Akbar Barati and Taher Azizi Khalkheili; formal analysis, Parisa Noori Darzikolaie and Fatemeh Razzaghi Borkhani; resources, Parisa Noori; data curation, Parisa Noori; writing—original draft preparation, Parisa Noori and Darzikolaie Fatemeh Razzaghi Borkhani; writing—review and editing, Fatemeh Razzaghi Borkhani, Ali Akbar Barati and Taher Azizi Khalkheili; visualization, Ali Akbar Barati and Taher Azizi Khalkheili; supervision, Fatemeh Razzaghi Borkhani; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

دانشگاه خوارزمی

اقتصاد فضا و توسعه روستایی

شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸-۴۷۶X

Homepage: https://khu.ac.ir

تبیین کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در مزارع برنج شهرستان ساری

پریسا نوری درزیکلایی[۱] | فاطمه رزاقی بورخانی[۲]✉ | علی اکبر براتی[۳] | طاهر عزیزی خالخیلی[۴]

۱. گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: parisanori6677@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: F.razzaghi@sanru.ac.ir

۳. گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: aabarati@ut.ac.ir

۴. گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: T.Azizi@sanru.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
امنیت انرژی،
امنیت آب،
امنیت غذا،
کارایی پیوند WEF،
مزارع برنج.

چکیده

هدف: پژوهش حاضر با هدف تبیین مدل بهبود کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در سطح مزارع برنج شهرستان ساری انجام گرفته‌است.

روش پژوهش: این تحقیق نوعی مطالعه پیمایشی بود که بر اساس رویکرد کمی انجام شد و از نظر هدف در گروه مطالعات کاربردی قرار می‌گیرد. جامعه آماری تحقیق شامل ۲۵۵۹۰ نفر از شالیکاران شهرستان ساری بود. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G-Power معادل ۱۷۰ نفر برآورد شد. نمونه‌گیری به روش طبقه‌ای چندمرحله‌ای با انتساب متناسب انجام شد. ابزار جمع‌آوری داده‌ها پرسشنامه محقق ساخته بود. روایی صوری و محتوایی پرسشنامه توسط متخصصان و پایایی ابزار تحقیق با شاخص آلفای کرونباخ انجام شد. برای تحلیل داده‌ها از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد.

یافته‌ها: یافته‌های این مطالعه نشان داد که به‌طورکلی، شاخص کارایی پیوند در میان واحدهای مورد مطالعه ۰/۱۹۸ است که حاکی از وضعیت بسیار نامناسب کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در فرآیند تولید محصول برنج است. بر اساس این شاخص، وضعیت کارایی پیوند در میان ۷۰ درصد از واحدهای مورد مطالعه در حد بسیار نامناسب بوده است. همچنین واحدهای دارای مقیاس کوچک‌تر از کارایی پیوند پایین‌تری برخوردار هستند. به عبارت دیگر بین شاخص کارایی پیوند با اندازه واحد بهره‌برداری همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که شاخص کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در میان واحدهای مورد مطالعه از وضعیت بسیار نامناسب برخوردار است. این بدان مفهوم است که فرآیند تولید محصول برنج در استان مازندران از نظر مصرف آب و انرژی وضعیت نامطلوبی دارد. به عبارت دیگر میزان تولید محصول در ازای مقدار آب و انرژی مصرفی در حد نامطلوب بود، هدر رفت منابع آب و انرژی در این نظام تولید بالا بوده و نیازمند بهینه‌سازی است. برای بهینه‌سازی مصرف منابع آب و انرژی با هدف بهبود شاخص کارایی پیوند می‌بایست میزان مصرف آب و انرژی کاهش یابد، بدون آنکه به تولید محصول و در نتیجه آن امنیت غذایی آسیبی وارد گردد. در این خصوص توجه به تفاوت‌های منطقه‌ای و الگوی کشت مناسب منطقه در شرق، غرب و مرکز و ضرورت پهنه‌بندی کشاورزی منطقه از نظر نوع اقلیم و شرایط آب و هوایی در استان حائز اهمیت است. در همین خصوص، پیگیری برنامه‌ریزی ترویجی-آموزشی برای بهبود عملیات مدیریت مزرعه با معرفی مزارع نمونه و کارا به سایر افراد از طریق مزارع نمایشی، سایت الگویی و مدرسه مزرعه کشاورز، پیشنهاد می‌شود.

استناد: نوری درزیکلایی، پریسا؛ رزاقی بورخانی، فاطمه؛ براتی، علی اکبر؛ و عزیزی خالخیلی، طاهر (۱۴۰۳). تبیین کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در مزارع برنج شهرستان ساری. *اقتصاد فضا و توسعه روستایی*، ۱۳ (۴۹)، ۱-۲۲. https://doi.org/10.186/serd.13.49.8

ناشر: دانشگاه خوارزمی.

© نویسندگان.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

مقدمه

امنیت غذایی، که به عنوان یکی از تهدیدهای اصلی برای امنیت انسانی توسط برنامه توسعه سازمان ملل[۱] (UNDP) ذکر شده است، با چالش‌هایی از جمله تغییرات آب و هوایی، شهرنشینی، تخریب خاک و کاهش زمین‌های قابل کشت و بهره‌وری کشاورزی مواجه است. افزایش جمعیت جهان و در نتیجه تقاضا برای غذا، آب و انرژی فشار فزاینده‌ای را بر خاک، منابع آبی و اکوسیستم‌ها وارد می‌کند (دل بورگی[۲] و همکاران، ۲۰۲۲). بسیاری از پژوهشگران معتقدند که آب، انرژی و غذا در دنیا دچار چالش شده، این درحالی است که، تقاضا برای این منابع روز به روز در حال افزایش است (مفاخری و همکاران،۱۴۰۰). لذا، مسئله امنیت آب، امنیت انرژی و امنیت غذایی و پیوند بین این سه باید مورد توجه قرار گیرد. رهیافت پیوند یا نکسوس[۳] از مهمترین رهیافت‌ها جهت رسیدن به تعادل پایدار در مصرف و تولید منابع است که با مناسب‌سازی بهره‌وری و بکارگیری از منابع و دوری از تأثیرات نامناسب سیاست های توسعه‌ای تک بخشی در جریان است. رویکرد نکسوس نشان‌دهنده چگونگی ارتباط سه عامل آب، غذا و انرژی است (هانلون[۴] و همکاران، ۲۰۱۳). از سال ۲۰۱۱ پیوند آب، انرژی، غذا[۵] (WEF) به عنوان یک موضوع جهانی شناخته شد (هوف[۶]، ۲۰۱۱). سیستم پیوند WEF با اهداف دوم و ششم و هفتم[۷] برنامه توسعه پایدار سازمان ملل متحد یعنی ریشه‌کنی گرسنگی؛ تأمین آب پاک و برقراری بهداشت؛ و داشتن انرژی مقرون به صرفه و پاک همسو است که برای ساختن آینده‌ای بهتر برای بشریت بسیار مهم است (ژانگ[۸] و همکاران، ۲۰۲۲). پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰، تقاضای جهانی برای منابع آب و غذا و انرژی به ترتیب ۵۵ ، ۶۰ و ۸۰ درصد افزایش یابد (زو[۹] و همکاران، ۲۰۲۱). آب و انرژی عوامل کلیدی تعیین‌کننده تولید کشاورزی و امنیت غذایی هستند (آمباست[۱۰]، ۲۰۱۷). امروزه مسائل آب، چالش چگونگی تولید غذا با همان مقدار زمین، مصرف کمتر آب و منابع محدود انرژی وجود دارد (حق‌جو و همکاران، ۱۴۰۲). شناسایی ابزارهایی برای به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی مرتبط در پیوند غذا، انرژی، آب بسیار مهم است (دل بورگی و همکاران، ۲۰۲۲). برای بررسی وضعیت این سه عنصر در راستای توسعه پایدار، نیاز است اجزاء این پیوند به طور مجزا مورد بررسی قرار گیرد (حق‌جو و همکاران، ۱۴۰۲). مصرف انرژی در کشاورزی شامل مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی است. استفاده مستقیم از انرژی در تولید کشاورزی از عملیات خاک‌ورزی و سایر عملیات مزرعه در کاشت تا برداشت و برداشت آب از منابع آب زیرزمینی و سطحی برای آبیاری مورد نیاز است. مصرف غیرمستقیم انرژی شامل استفاده از سوخت و مواد اولیه (به ویژه گاز طبیعی) در تولید نهاده‌های کشاورزی مانند کودها و آفت‌کش‌ها است (سیککا[۱۱]، ۲۰۲۱). از طرفی، تاثیرات خشکسالی به دلیل تأمین محدود آب سطحی، میزان آبیاری با آب‌های سطحی را کاهش داده است و در نتیجه استخراج آب‌های زیرزمینی بیش از دو برابر شده است که ممکن است برای استفاده پایدار از آب‌های زیرزمینی بحرانی ایجاد کند و مصرف انرژی را تا ۴۷ درصد افزایش دهد (لیو[۱۲] و همکاران، ۲۰۲۲).

ایران سیزدهمین مصرف‌کننده انرژی در جهان بوده، مصرف انرژی در این کشور پنج برابر میانگین جهانی است. مقدار انرژی مصرفی در سیستم‌های کشاورزی به فصول کاشت و برداشت و به شرایط کشاورزی بستگی دارد. تولید و توزیع محصولات

[1] - United Nations Development Programme
[2] - Del Borghi
[3] - NEXUS
[4] - Hanlon
[5] - Water-Energy-Food Nexus
[6] - Hoff
[7] - SDG2; SDG6; SDG7
[8] - Zhang
[9] - Zou
[10] - Ambast
[11] - Sikka
[12] - Liu

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]
[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

کشاورزی و غذایی به شدت به مصرف انرژی وابسته است (مردانی نجف آبادی، عبدشاهی و آهنی[1]، ۲۰۲۲). از طرفی، امنیت آب و غذا در ایران با توجه به تغییرات آب و هوایی، نگرانی‌های زیادی را به وجود آورده است (گودرزی، پیریائی و موسوی، ۱۳۹۹). با کاهش دسترسی به منابع آب، جنبه‌های امنیت انرژی و تخصیص آب در آینده نزدیک اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد (تراپون-پفاف، فینک و لچتن‌بوهمر[2]، ۲۰۱۸). در نتیجه، مدیریت صحیح و استفاده کارآمد از آب کشاورزی برای تضمین ایمنی آب ضروری است. با این وجود، راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی ایران حدود ۳۵ درصد و بسیار پایین می‌باشد (نظری[3] و همکاران، ۲۰۱۸). بخش کشاورزی با مصرف حدود ۷۰ درصد از کل آب در دسترس، مصرف‌کننده اصلی منابع آبی در سراسر جهان، بخصوص در کشورهای در حال توسعه مانند ایران با اقتصاد روستایی وابسته به محصولات کشاورزی می‌باشد. بر همین اساس، بخش کشاورزی که مصرف‌کننده اصلی آب در ایران است، بیشتر تحت تنش آبی قرار دارد (قدرتی[4] و همکاران، ۲۰۲۲). بدین ترتیب، با توجه به پایین بودن بازده اقتصادی مصرف آب در بخش کشاورزی ایران و نامناسب بودن الگوی کشت، دسترسی به آب در اکثر مناطق کشور دچار ناسازگاری است. در نتیجه، وضعیت معیشتی کشاورزان به مرور زمان به دلیل افزایش کم آبی و کاهش بهره‌وری، رو به بدتر شدن است (مدنی، آقا کوچک و میرچی[5]، ۲۰۱۶).

در میان محصولات مختلف کشاورزی، برنج از قدیمی‌ترین محصولات کشت شده در دنیاست و نیمی از جمعیت جهان به برنج به‌عنوان یک غذای اصلی وابسته هستند. بنابراین، جزء مهم‌ترین اقلام غذایی در جهان محسوب می‌شود (اسداله‌پور، ۱۴۰۲). علی رغم دهه‌ها تلاش بین‌المللی پژوهش و توسعه با تمرکز بر افزایش تولید برنج، هنوز شکاف زیادی در عملکرد وجود دارد و کمبود تولیدات محلی باید با واردات جبران شود تا بتواند نیازهای مصرف‌کنندگان را برآورده کند (سنتیلکومار[6]، ۲۰۲۲). مطابق آمار فائو (فائواستیت[7]، ۲۰۲۲)، مسئله تغییر اقلیم در کشور ایران در بخش کشاورزی بخصوص در محصول برنج کاملا آشکار است. سطح اراضی قابل برداشت برنج از سال ۲۰۱۶ تا سال ۲۰۲۲ با ۳۲ درصد کاهش یعنی از ۵۹۶,۰۳۵ هکتار به۴۰۰,۰۰۰ هکتار رسیده است (فائواستیت[8]، ۲۰۲۲). همسو با روند تغییرات سطح زیر کشت برنج کاهش میزان تولید و بهره‌وری و عملکرد تولید برنج اتفاق افتاده است. مقدار عملکرد تولید برنج ایران در سال ۲۰۱۸ حدود ۴۹۲۹ کیلوگرم بر هکتار بوده است و در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ به ترتیب به ۴۷۳۱ کیلوگرم بر هکتار و ۳۷۵۰ کیلوگرم بر هکتار رسیده است (فائواستیت، ۲۰۲۲). مزیت نسبی استان مازندران در کشت برنج به اهمیت تحقیق می‌افزاید. از کل سطح زیرکشت برنج کشور که ۶۳۷۲۴۲ هکتار می‌باشد، استان مازندران با ۲۵۲۵۷۳ هکتار (حدود ۴۰ درصد) از سطح زیرکشت برنج کشور، نقش مهمی در تأمین بخشی از امنیت غذایی مردم ایران دارد. مقدار تولید برنج در سطح کل کشور در سال ۱۴۰۰ بالغ بر ۲۹۴۳۳۷۵ تن بوده که استان مازندران با ۱۲۷۲۹۵۹ تن بالاترین مقدار تولید محصول را به خود نسبت داده است (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۱).

بررسی وضعیت کارایی تولید برنج در شهرستان ساری نشان‌دهنده پایین بودن سطح کارایی تولید در این منطقه است (رنجبر ملکشاه و همکاران، ۱۳۹۸) که بخشی از این عدم کارایی به راندمان پایین مصرف آب بدلیل ناکارامدی روش‌های آبیاری است. درنتیجه افزایش بهره‌وری و استفاده درست از منابع آب موجود برای بهبود کارایی تولید الزامی است (اعلایی بازکیایی و همکاران، ۱۳۹۸). به‌ویژه آنکه روند کاهش میزان بارش‌ها در حال تشدید و میزان تبخیر و تعرق در نتیجه افزایش میزان دما در حال افزایش است. همه این عوامل منجر به کاهش میزان آب در دسترس در آینده خواهد شد که خود به مفهوم تشدید وقوع تغییرات اقلیمی در استان مازندران است (ایران‌نژاد، محمدی و برنا، ۱۳۹۸). به عنوان مثال، مطابق اداره کل آمار آب منطقه‌ای استان مازندران مقدار بارش از مهر تا شهریور سال آبی

[1] - Mardani Najafabadi, Abdeshahi & Ahani

[2] - Terrapon-PFAFF, Fink and Lechtenbohmer

[3] - Nazari

[4] - Ghodrati

[5] Madani, Aghakouchak and Mirchi

[6] - Senthilkumar

[7] - Faostat

[8] - Faostat

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

۱۴۰۱ نسبت به سال گذشته و نسبت به درازمدت به ترتیب ۳۰ و ۳۱ درصد کاهش داشته است. بر اساس همین گزارش، وضعیت تغییرات آبدهی رودخانه‌ها در فصل پاییز نسبت به سال آبی گذشته ۴۷ درصد و نسبت به درازمدت (۵۴ ساله منتهی به سال ۱۴۰۱) ۵۲ درصد کاهش داشته است (شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران، ۱۴۰۱).

بررسی میزان استحصال آب از منابع زیرزمینی توسط پمپ‌های الکتریکی نشان می‌دهد، بدلیل افزایش وابستگی به استحصال آب از منابع زیرزمینی، مصرف انرژی در واحد سطح افزایش یافته که این خود منجر به کاهش کارایی و بهره‌وری مصرف انرژی نیز شده است (علی پور و همکاران، ۱۳۹۳). لذا، به نظر می‌رسد که کارایی پیوند آب، انرژی و غذا که نقش مهمی در سیاست‌های راهبردی مدیریت منابع آب، بهره‌وری آب و بهره‌وری انرژی دارد (منعم، حسینی و دلاور، ۱۳۹۹) در سال‌های اخیر در حال کاهش است. بنابراین، بررسی کارایی پیوند آب و انرژی و غذا یک ضرورت است.

بنا بر همین ضرورت، این مطالعه به‌دنبال ارزیابی وضعیت کارایی پیوند آب، انرژی و غذا است تا بتواند با تحلیل این کارایی به پیاده‌سازی سیاست‌های دولت در تأمین امنیت غذایی و مدیریت بحران آب کمک نماید. نتایج این مطالعه می‌توانند خود تأکیدی بر ضرورت بهبود سازگاری و توانمندسازی کشاورزان در مواجهه با تغییر اقلیم و حفاظت از منابع طبیعی از طریق مدیریت مصرف منابع آب و انرژی برای تولید غذا باشد.

پیشینه پژوهش

۱. پیشینهٔ نظری

رویکرد پیوند آب، انرژی و غذا (WEF) یکپارچگی و وابستگی متقابل در بخش‌های مختلف را به عنوان گامی اساسی برای تضمین امنیت منابع در شرایط جهانی بحران آب و هوا، کمبود منابع، افزایش تقاضا و رقابت برای آب، انرژی و غذا پیشنهاد می‌کند (هوف، ۲۰۱۱؛ مجمع جهانی اقتصاد[1]، ۲۰۱۱؛ فائو، ۲۰۱۴؛ ایرنا[2]، ۲۰۱۵). رقابت در استفاده از آب برای تولید غذا و انرژی، هسته اصلی یک بحث نوظهور در مورد پیوند WEF بوده است، زیرا جمعیت رو به رشد شهری به غذا و انرژی بیشتر و همچنین آب از منابع محدود آب شیرین نیاز دارد که به‌واسطه تغییرات آب و هوایی به‌طور فزاینده‌ای کمیاب خواهد شد (هوف، ۲۰۱۱؛ دی–اودریکو[3] و همکاران، ۲۰۱۸). اهمیت پیوند WEF در طول مجمع جهانی اقتصاد در سال ۲۰۰۸ مشهود بود، زمانی که رهبران برجسته کسب‌وکار در مورد راه‌هایی که امنیت منابع در سرتاسر پیوند WEF و آب و هوا با رشد اقتصادی مرتبط می‌شود، «فراخوانی برای اقدام[4]» صادر کردند (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۱۱). تحقیقات پیوند WEF از رویکرد مدیریت یکپارچه منابع آب[5] (IWRM) پدید آمده است. هدف اصلی این رویکرد رسیدگی به مسائل آب به روشی مقرون به صرفه و پایدار بود. با این حال، IWRM صرفاً بر آب متمرکز شد و نتوانست حمایت بین بخشی لازم را برای حرکت به عنوان یک مفهوم مدیریت یکپارچه فراتر از آب به دست آورد (کای[6] و همکاران، ۲۰۱۸). انتقاد از رویکرد IWRM با ظهور پیشنهادهای اخیر برای پارادایم‌های مدیریت یکپارچه، مانند پیوند WEF تکرار شده است. با توجه به خطر کمبود منابع، مجمع جهانی اقتصاد برای اولین بار مفهوم پیوند را در سال ۲۰۰۸ پیشنهاد کرد (لازارو[7] و همکاران، ۲۰۲۲). مطالعات نوظهور در مورد رویکرد پیوند نشان می‌دهد که درک پیوندهای WEF در زمینه تغییرات آب و هوایی برای جلوگیری از درگیری در آینده و اینکه چگونه ثبات سیاسی و اجتماعی به‌طور قابل توجهی با امنیت غذا–آب–انرژی ارتباط

[1] - World Economic Forum
[2] - IRENA
[3] - D'Odorico
[4] - Call to actio
[5] - Integrated Water Resources Management (IWRM)
[6] - Cai
[7] - Lazaro

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]
[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

دارد، حائز اهمیت است (گین، جیوپونی و بنسون[1]، ۲۰۱۵؛ ابوت[2] و همکاران، ۲۰۱۷؛ زارعی[3]، ۲۰۲۰). بنابراین، مفهوم پیوند با استفاده از جنبه‌های مختلف (IWRM)، کشاورزی پایدار، اقتصاد سبز و توسعه پایدار توسعه یافته است (هوف، ۲۰۱۱). دستور کار تحقیقات پیوند از کنفرانس بن در سال ۲۰۱۱ با عناوین «پیوند آب، انرژی و امنیت غذایی- راه‌حل‌هایی برای اقتصاد سبز» توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است (کایرنز و کرزیوزینسکا[4]، ۲۰۱۶). پیوند WEF در چهار سال اول پس از کنفرانس بن ۲۰۱۱ به شدت بر امنیت منابع متمرکز بود، اما از آن زمان، استفاده از این مفهوم برای پرداختن به وابستگی‌های متقابل و یکپارچگی برای دستیابی به مدیریت پایدار منابع گسترش یافته است (پال- وستل[5]، ۲۰۱۱). این رویداد نقطه عطف، نیاز به درک رویکرد پیوندی برای توسعه سیاست‌ها، استراتژی‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها برای به حداکثر رساندن هم‌افزایی و کاهش داد و ستدها، در نتیجه بهبود حاکمیت در سراسر بخش‌های پیوندی از طریق مشارکت فعال در میان سازمان‌های دولتی، بخش خصوصی، دانشگاه‌ها و جامعه مدنی را برجسته کرد (هوف، ۲۰۱۱). پیوند WEF نشان می‌دهد که حوزه‌های انرژی، آب و غذا به‌طور قابل توجهی بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند و نادیده گرفتن تأثیرات در یک حوزه می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر سایر حوزه‌ها داشته باشد (بازیلیان[6] و همکاران، ۲۰۱۱).

۲. پیشینهٔ تجربی

در سال‌های اخیر، تعدد تحقیقات مختلف در موضوع پیوند آب، انرژی و غذا نشان‌دهنده اهمیت آن است و تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند به عنوان ابزاری برای تحلیل کارایی آن بکار گرفته شود. در ادامه به برخی از مطالعات انجام شده در این حوزه و نتایج آن‌ها اشاره شده است.

نتایج تحقیق قربانی، منعم و واعظ تهرانی (۱۳۹۹) در پژوهشی با موضوع توسعه مدل پیوند آب، انرژی و غذا در سطح شبکه‌های آبیاری بر اساس معیارهای پایداری آب در قزوین نشان دادند که کاهش منابع آب سطحی برای تولید محصول و مطلوبیت آب تأثیر بیشتری نسبت به اثر سیاست افزایش مصرف انرژی و سطح زیر کشت دارد و دلیل این امر علاوه بر اهمیت آب سطحی به عنوان مهم‌ترین نهاده تولید، محدودیت پتانسیل افزایش مصرف انرژی و برداشت آب زیرزمینی و توسعه سطح کشت است.

مفاخری و همکاران (۱۴۰۰) با ارزیابی پایداری پیوند آب، انرژی و غذا در محصولات کشاورزی در سطح شهرستان دهگلان شش سنجه بهره‌وری فیزیکی آب، انرژی، مصرف آب و انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی و مجموعه این سنجه‌ها، یک سنجه پیوند آب، انرژی، غذا برای هر محصول ارائه نمودند. از نظر این مطالعه راهکارها و استراتژی‌های مناسب برای بهبود این پیوند عبارت بود از اصلاح الگوی کشت و مدیریت منابع آب و انرژی.

مردانی نجف‌آبادی، زباری و اوحدی (۱۴۰۰) در پژوهش خود با عنوان تعیین کارایی و حد بهینه استفاده از منابع تولید در راستای توسعه پایدار روستایی، با تأکید بر لزوم پایداری در تمامی سطوح، ارتقای کارایی و مصرف مطلوب نهاده‌ها را امری اجتناب‌ناپذیر دانستند. نتایج نشان داد که مقادیر واقعی مصرف نهاده‌ها توسط برنج‌کاران فاصله زیادی نسبت به مقادیر بهینه برآورد شده دارد و افزایش کارایی و بهبود عملیات پایداری کشاورزی در راستای توسعه پایدار، مستلزم برنامه‌ریزی آموزشی جهت استفاده از تکنولوژی مناسب برای افزایش بهره‌وری عوامل تولید است.

حق‌جو و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهش خود به شاخص‌های رویکرد پیوند امنیت آب، غذا و انرژی در بخش کشاورزی و کاربرد تحلیل محتوا پرداختند. شاخص‌ها در چهار طبقه: دسترسی، موجود بودن، قابلیت استفاده و پایداری دسته‌بندی شدند. شاخص‌ها، ابعاد توسعه پایدار؛ اعم از بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را در بر می‌گیرند و به هم وابسته هستند. لذا، این شاخص‌ها ابزاری جامع برای سنجش رویکرد پیوند آب، غذا و انرژی در راستای توسعه پایدار می‌باشند.

[1] - Gain, Giupponi and Benson
[2] - Abbott
[3] - Zarei
[4] - Cairns and Krzywoszynska
[5] - Pahl-Wostl
[6] - Bazilian

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]
[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

سنتیل‌کومار[1] و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله‌ای با عنوان کمی‌سازی شکاف عملکرد برنج و علل آن در شرق و جنوب آفریقا دریافتند که به منظور تعیین اولویت‌ها برای تحقیق و توسعه با هدف بهبود بهره‌وری برنج، نیاز به کمی کردن شکاف‌های عملکرد برنج یعنی تفاوت بین میانگین عملکرد در مزرعه و بهترین عملکرد کشاورزان وجود دارد. در سراسر محیط‌های کشت برنج دلایل عمده برای تغییر عملکرد مدیریت کاه، دفعات وجین، مدت زمان رشد رقم، پوشش علف‌های هرز، دفعات کاربرد کود معدنی و عالی، تسطیح و سمیت آهن بود. تسطیح اراضی و کنترل آفات به ترتیب باعث افزایش ۰/۷۴ و ۱/۴۴ تن در هکتار شد.

نیرمالا[2] و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان ارزیابی یکپارچه سیستم تشدید برنج در مقابل روش مرسوم نشاکاری برای منافع اقتصادی، بهره‌وری انرژی و پتانسیل کاهش گرمایش جهانی در هند دریافتند که هزینه کشت شالیزارهای برنج به دلیل افزایش هزینه بذر، کود و نیروی کار به‌طور مداوم در حال افزایش است که نیاز به کشت بیشتر اما با آب کمتر و نهاده‌های کمتر وجود دارد. کارایی مصرف انرژی در کشت برنج با استفاده از روش‌های مرسوم توسط شاخص‌های انرژی بر اساس خروجی و منبع ورودی ارزیابی شد. در نتیجه تولید برنج با روش SRI عملکرد دانه، راندمان مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی افزایش خواهد یافت.

لی[3] و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی با عنوان بهینه‌سازی منابع کشاورزی در پیوند آب، انرژی و غذا در چین نشان دادند که بین بازده استفاده از نور، انرژی هیدروالکتریک و انرژی زیست‌توده، رابطه وجود دارد و هماهنگی آن‌ها با افزایش ۲/۶۷ درصدی راندمان مصرف آب آبیاری و افزایش ۴/۹۲ درصدی در بهره‌وری مصرف انرژی، هم‌افزایی سیستم را بین منابع، اقتصاد و محیط‌زیست ۱۲/۲۲درصد افزایش می‌دهد.

یوان و پنگ[4] (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان پیوند غذا–انرژی–انتشار تولید برنج در چین مجموعه‌ای از شاخص‌های مرتبط با انرژی و محیط‌زیست برای به تصویر کشیدن پیوند غذا–انرژی–انتشار سیستم تولید برنج پیشنهاد شد: انرژی خالص، به عنوان تفاوت بین انرژی خروجی و ورودی و تولید انرژی به ازای هر واحد کار کشاورزی در تولید برنج از جمله این شاخص‌ها بودند.

براساس مرور پیشینه، تعدادی متغیر به عنوان برونداد و تعدادی متغیر به عنوان درونداد (به‌عنوان متغیرهای اثرگذار بر کارایی پیوند) شناسایی شدند (جدول ۱).

جدول ۱. متغیرهای برونداد و درونداد برای کارایی پیوند مطابق پیشینه تحقیق

شاخص	متغیرها	نوع متغیر	محققان
مقدار یا ارزش آب مصرفی	حجم آب مصرفی بر حسب مقدار حجم آب مصرفی بر حسب ساعت	ورودی	Park et al (2022); Ghodrati et al (2022); Formiga-Johnsson & Britto (2020); Ngammuangtueng et al.(2019)
	کل هزینه پرداختی آب مصرفی		Wang et al (2022); Park et al (2022); Zhiznin, timohov and Dineva, (2020)
مقدار یا ارزش انرژی مصرفی	مقدار کل انرژی مصرفی	ورودی	Purwanto et al (2021); Skawinska & Zalewska (2022); Ngammuangtueng et al. (2019)
	کل هزینه پرداختی انرژی		Purwanto et al (2021); Jones & Dodds(2017); Zhiznin, timohov and Dineva, (2020) ; Aydin & Azhgaliyeva (2019)
ارزش یا مقدار تولید محصول	تولید شلتوک	خروجی	Ngammuangtueng et al (2019) Nhamo et al (2020)
	هزینه تولید برنج یا غذا		Majdoubi & Ayadi, (2024); Din Omar & Nangia, (2023)
	قیمت فروش محصول		Ngammuangtueng et al (2019)

۳. مدل مفهومی

مرور پیشینه نشان داد که محققان قبلی اغلب بر مطالعه کارایی آب، انرژی و غذا به صورت جداگانه تمرکز داشته‌اند، اما آب، انرژی و غذا ذاتاً سه سیستم به هم پیوسته و تأثیرگذار هستند (ملاجو، پولادی و افشار[5]، ۲۰۲۱). با توجه به پیشینه‌های ارائه شده، مدل

[1] - Senthilkumar

[2] - Nirmala

[3] - Li

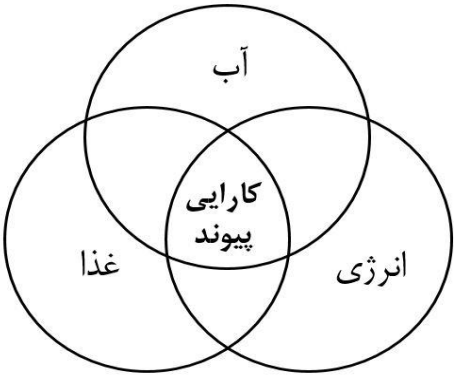
[4] - Yuan & peng

[5] - Molajou, Pouladi & Afshar

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

تحقیق با الهام از چارچوب عمومی WEF Nexus (فائو[1]، ۲۰۱۴) برای حمایت از امنیت غذایی و کشاورزی پایدار، اقتباس شد (شکل ۱). اگر چه پژوهش درباره‌ی پیوند آب، انرژی و غذا در سال‌های اخیر زیاد بوده‌است، اما کمتر به تبیین مدل کارایی پیوند آب، انرژی و غذا توجه شده‌است. در این پژوهش کارایی پیوند به‌طور هم‌افزا در سه زیر سیستم آب، انرژی و تولید (برنج) بررسی شد.

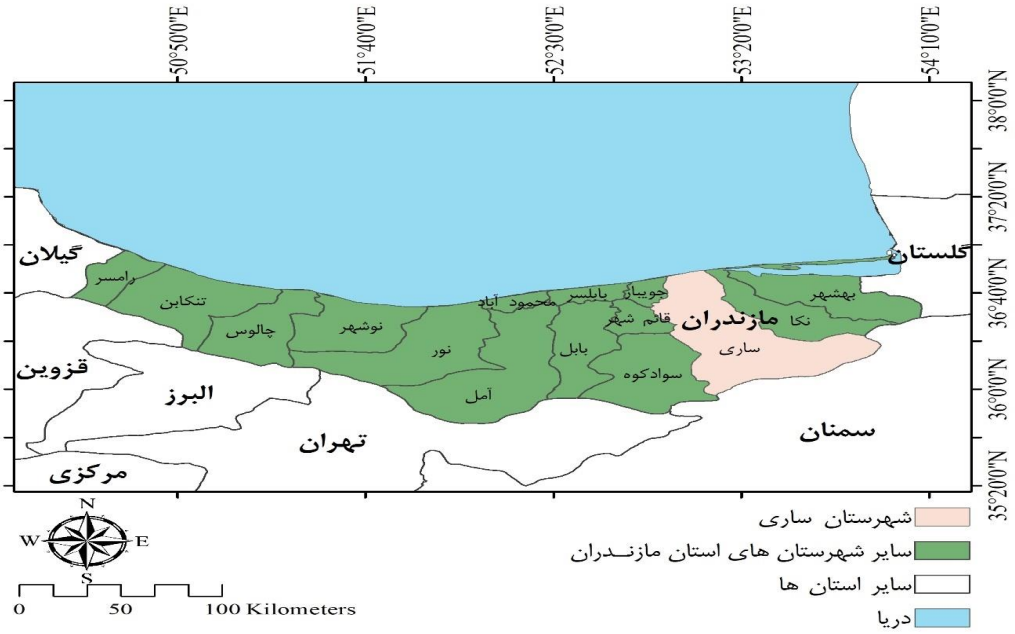


شکل ۱. مدل مفهومی تحقیق

روش‌شناسی پژوهش

۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

استان مازندران با وسعت ۲۳۷۷۱/۱ کیلومتر مربع در شمال ایران در مجاورت سواحل دریای خزر قرار دارد که حد شمالی آن دریا و حد جنوبی آن رشته کوه‌های البرز است. طبق آمار مرکز ایران، مساحت این استان ۲۳۷۵۶/۴ کیلومترمربع است. استان مازندران دارای ۳۰۷۳۹۴۳ نفر جمعیت ، ۲۲ شهرستان، ۵۸ بخش، ۶۳ شهر، ۱۳۳ دهستان و ۳۶۰۳ آبادی می‌باشد. ساری با مساحت ۳۲۲۳/۴ کیلومتر مربع مرکز استان مازندران است. این شهرستان دارای شش بخش (۱) مرکزی، (۲) رودپی شمالی، (۳) رودپی، (۴) چهاردانگه، (۵) دودانگه و (۶) کلیجان‌رستاق می‌باشد (سالنامه آماری،۱۴۰۲).



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه

[1] - FAO

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

۲. داده‌ها و روش کار

این پژوهش بر اساس هدف کاربردی و از نظر شیوه‌ی گردآوری اطلاعات پیمایشی و از نظر زمان مقطعی است. جامعه آماری این پژوهش شامل ۲۵۵۹۰ شالیکار در شهرستان ساری بودند که با استفاده از نرم‌افزار G-Power حجم نمونه‌ی لازم برای رسیدن به قدرت آماری ۸۰ درصدی با حداکثر خطای قابل‌پذیرش ۰/۰۵، اندازه اثر ۰/۱ و با فرض تعداد ۱۰ متغیر مستقل برای پیش‌بینی هر متغیر وابسته، ۱۷۰ نفر برآورد گردید. برای گردآوری داده‌ها از پرسشنامه محقق‌ساخته با روش نمونه‌گیری طبقه‌ای چندمرحله‌ای با انتساب متناسب استفاده شد. برای سنجش و بررسی بخش کارایی پیوند در میان شالیکاران شهرستان ساری پرسشنامه از ۳ بخش بررسی وضعیت اراضی کشاورزی برای تولید، وضعیت منابع آب مصرفی و وضعیت منابع انرژی مصرفی تشکیل شده است: (۱) وضعیت اراضی کشاورزی با سوالاتی از سطح اراضی کشاورزی، سطح زیر کشت برنج، تعداد قطعات، میزان تولید و هزینه تولید و قیمت رقم تولیدی برنج به صورت سوال باز؛ (۲) بخش وضعیت منابع آبی با ۶ سوال شامل حجم آب مصرفی بر حسب مقدار، حجم آب مصرفی بر حسب ساعت در هفته، کل هزینه پرداختی و تعداد ماه‌های نیاز آبیاری به صورت سوال باز؛ و (۳) بخش وضعیت منابع و مصارف انرژی با سؤالات نوع سوخت، مقدار کل مصرف انرژی، هزینه پرداختی برای انرژی و تعداد ماه‌های مصرف انرژی و میزان مصرف انرژی نسبت به سایرین به صورت سؤالات باز طراحی شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از نرم افزار SPSS26 و اکسل استفاده شد. ابتدا با استفاده از مطالعات نظری و نظرات متخصصان و تیم تحقیق از طریق پرسشنامه، تعدادی متغیر به عنوان برونداد و تعدادی متغیر به عنوان درونداد (به‌عنوان متغیرهای اثرگذار بر کارایی پیوند) شناسایی شدند. از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای تعیین کارایی یک مجموعه واحد بر اساس تعدادی ورودی و خروجی و تبیین شاخص کارایی پیوند استفاده شد. وانگ و ژائو[1] (۲۰۱۷) مدل DEA برای بررسی کارایی انرژی و زیست‌محیطی ۳۰ شهر چین از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ استفاده کردند. به‌طور مشابه، پان[2] و همکاران (۲۰۲۰) کارایی مصرف آب در استان شاندونگ را بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ با استفاده از شاخص بهره‌وری و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) انجام دادند. تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر «برنامه‌ریزی خطی» بوده و ابزاری برای اندازه‌گیری و مقایسه کارایی چندین واحد تصمیم‌سازی[3] (DMUs) است. DEA معمولاً برای اندازه‌گیری کارایی استفاده از یک منبع با کل ورودی و خروجی آن استفاده می‌شود و می‌تواند اثربخشی نسبی را اندازه‌گیری کند و کارایی استفاده از یک منبع را رتبه‌بندی کند (پان و همکاران، ۲۰۲۰). این روش بخصوص زمانی که فرآیند تولید از یک ساختار ورودی و خروجی تبعیت می‌کند کاربرد دارد. تحلیل پوششی داده‌ها[4] دارای انواع مختلفی است که اصلی‌ترین آن با نام CCR[5] معروف است که برگرفته از نام چارنز، کوپر و رودز[6] است و وضعیت بازه نسبت به مقیاس را ثابت فرض می‌نماید. کار اصلی در مورد تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) مدل اصلی DEA-CRS (بازده ثابت به مقیاس) است که توسط چارنز، کوپر و رودز (۱۹۷۸) ارائه شده است. که بعداً توسط بانکر[7]، چارنز و کوپر (۱۹۸۴) به مدل بازده به مقیاس متغیر (VRS) گسترش یافت. در این مطالعه از روش CCR برای برآورد کارایی پیوند استفاده شد. تابع کلی برآورد کارایی بر اساس این روش عبارت است از:

$$\theta_j = \frac{\sum_{m=1}^{M} y_m^j u_m^j}{\sum_{n=1}^{N} x_n^j v_n^j}$$

[1] - Wang & Zhao
[2] - Pan
[3] - Decision-Making Units
[4] - Data Envelopment Analysis
[5] - Constant Return to Scale (CRS)
[6] - Charnes, Cooper, Rhodes
[7] - Banker

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]
[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

که در آن Θ_j نمره کارایی مزرعه jام، m تعداد خروجی‌های مدل (در اینجا میزان تولید برنج در واحد سطح)، n تعداد ورودی‌ها (در اینجا دو مورد شامل میزان آب و انرژی مصرفی)، y_m وزن خروجی mام (که در اینجا برابر است با یک)، x_n وزن ورودی nام (که در اینجا برابر فرض شده‌اند) است. نمره کارایی نهایی بر اساس محدودیت رسیدن به حداکثر مقدار یک تعریف شد.

لازم به توضیح است تحلیل پوششی می‌تواند بر اساس رویکرد نهاده‌گرا یا ستانده‌گرا باشد. در رویکرد نهاده‌گرا سعی بر رسیدن به حداکثر کارایی با کاهش مصرف نهاده بوده و در رویکرد ستانده‌گرا سعی بر رسیدن به حداکثر ستانده است که در این مطالعه با توجه به اهمیت کاهش نهاده‌های آب و انرژی از رویکرد نهاده‌گرا استفاده شد. نکته قابل ذکر این است که در این مطالعه منظور از کارایی، کارایی در مصرف نهاده‌ها نبوده بلکه صرفاً به کارایی پیوند آب، انرژی و غذا توجه شده است. این بدان مفهوم است که در این مطالعه تأکید بر میزان مصرف دو نهاده آب و انرژی برای تولید محصول برنج بوده است. در نتیجه در این مطالعه هدف برآورد کارایی در مصرف نهاده برای تولید نیست.

یافته‌های پژوهش

۱. یافته‌های توصیفی

۱-۱. تولید یا غذا (امنیت غذا)

نتایج حاصله از پژوهش در رابطه با سطح اراضی کشاورزی حاکی از آن است که بیشترین فراوانی (۱۳۴نفر) مربوط به مساحت کمتر از یک هکتار می‌باشد. متوسط مساحت شالیزاری در منطقه مورد مطالعه حدود ۱/۲ هکتار است. میانگین کل تولید شلتوک برنج شیرودی توسط شالیکاران ۰/۸۶۴۷ تن است. همچنین، میانگین کل تولید شلتوک برنج طارم توسط شالیکاران ۳/۴ تن و بیشترین فراوانی یعنی ۱۰۶ نفر (۶۲/۴ درصد) دارای تولید کمتر از ۳ تن می‌باشند. بیشتر شالیکاران یعنی ۱۰۷ نفر که ۶۲/۹ درصد از جامعه را تشکیل می‌دهند، برنج طارم خود را با قیمت بیشتر از ۳۰ هزار تومان به فروش رسانده و میانگین قیمت فروش حدود ۲۸۵۰۰ تومان می‌باشد (برآورد قیمت‌ها برای سال ۱۴۰۲ بوده است).

۱-۲. امنیت آبی

با توجه به یافته‌های پژوهش و جدول (۲) از نظر میزان دسترسی به آب برای آبیاری ۵۰/۶ درصد از شالیکاران با کمبود آب مواجه هستند (۲۲/۴ درصد مطالعه اغلب، ۱۱/۲ درصد به ندرت، ۱۰/۶ درصد همواره و ۵/۳ درصد نیز فاقد مشکل کمبود دسترسی به آب بودند). این در حالی است که ۵۵/۳ درصد از شالیکاران با بیشترین فراوانی بین ۵۰ تا ۱۰۰ ساعت در هفته، مزارع برنج خود را برای تأمین آب مورد نیاز محصول آبیاری می‌کنند. از نظر حجم آب مصرفی (برحسب مقدار مترمکعب) نتایج نشان می‌دهد که ۴۶/۵ درصد شالیکاران بین ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار، آب برای شالیزارهای خود استفاده می‌کنند.

جدول ۲. توزیع فراوانی حجم آب مصرفی و آبیاری مزرعه توسط شالیکاران

	مقدار	فراوانی	درصد	درصد تجمعی	سایر آماره‌ها
حجم آب مصرفی بر حسب مترمکعب در هکتار	Missing	۷	۴/۱	–	میانگین: ۶۳۹۲/۰۲ مترمکعب انحراف معیار: ۴۷۹۶/۳۹ مترمکعب کمینه ۵۰۰ بیشینه: ۳۶۰۰۰
	کمتر از ۳۰۰۰ مترمکعب	۳۵	۲۰/۶	۲۱/۵	
	۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ مترمکعب	۷۹	۴۶/۵	۶۹/۹	
	۶۰۰۰ تا ۹۰۰۰ مترمکعب	۲۴	۱۴/۱	۸۴/۷	
	بیشتر از ۹۰۰۰ مترمکعب	۲۵	۱۴/۷	۱۰۰/۰	
آبیاری بر حسب ساعت در هفته	Missing	۳	۱/۸	–	میانگین: ۷۰/۵۳۲۹ ساعت انحراف معیار: ۲۹/۱۱۶۶۷ ساعت کمینه: ۲۰ بیشینه: ۱۶۰
	کمتر از ۵۰ ساعت	۵۸	۳۴/۱	۳۴/۷	
	۵۰ تا ۱۰۰ ساعت	۹۴	۵۵/۳	۹۱/۰	
	بیشتر از ۱۰۰ ساعت	۱۵	۸/۸	۱۰۰/۰	

۱-۳. امنیت انرژی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

میانگین مصرف انرژی در سه بخش انرژی برق، نفت و گازوئیل و بنزین در کشاورزی بررسی شد. بیشترین میزان مصرف انرژی در فعالیت‌های کشاورزی برای عملیات سمپاشی است. مصرف سوخت بالاتر به مکانیزاسیون بالاتر مربوط می‌شود (سونی، سینها و پررت[1]، ۲۰۱۸). بر اساس نتایج، میانگین مصرف برق حدود ۳۳۶۲ کیلو وات، میانگین مصرف نفت و گازوئیل حدود ۶۱۶ لیتر و میانگین مصرف بنزین حدود ۱۰۲ لیتر در هکتار بوده است. میانگین کل هزینه پرداختی برای مصرف برق در طول یک فصل زراعی حدود ۱۰۷۰۰۰ تومان می‌باشد. همچنین، میانگین کل هزینه پرداختی برای مصرف نفت و گازوئیل در طول یک فصل زراعی ۸۹۲۰۰۰ تومان در هر هکتار می‌باشد و میانگین کل هزینه پرداختی برای مصرف بنزین در طول یک فصل زراعی نیز حدود ۳۰۶۱۱۷ تومان می‌باشد (برآورد قیمت‌ها برای سال ۱۴۰۲ بوده است).

۲. یافته‌های استنباطی

۲-۱. تحلیل پوششی کارایی پیوند

همان‌طورکه در بخش روش تحقیق تشریح شد، در این مطالعه برای تحلیل وضعیت کارایی پیوند در هر یک از واحدهای مورد مطالعه از تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد. بر اساس جدول (۳) میانگین شاخص کارایی پیوند در میان واحدهای مورد مطالعه کمتر از ۰/۲ یعنی ۰/۱۹۸ بوده است (از یک) که حاکی از وضعیت بسیار نامناسب کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در فرآیند تولید محصول برنج است. تنها شش واحد از مزارع مورد بررسی دارای کارایی بسیار مناسب بوده‌اند (یعنی کمتر از چهار درصد واحدهای مورد مطالعه) و وضعیت کارایی پیوند در میان ۷۰ درصد از واحدها نیز در حد بسیار نامناسب بوده است.

جدول۳. وضعیت شاخص کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در واحدهای مورد مطالعه

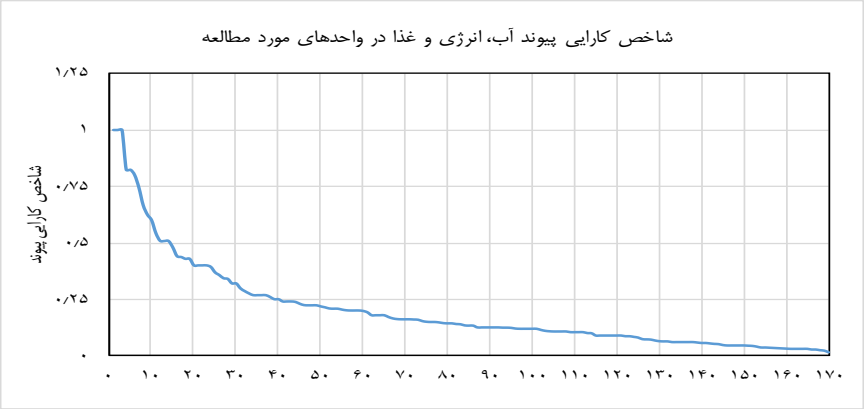
وضعیت کارایی	فراوانی	درصد	درصد تجمعی
بسیار مناسب (بیشتر از دو انحراف معیار فاصله از میانگین)	۶	۳/۵۳	۳/۵۳
مناسب (بیشتر از یک انحراف معیار فاصله از میانگین)	۲	۱/۱۸	۴/۷۱
در حد متوسط (در حد یک انحراف معیار فاصله از میانگین)	۱۸	۱۰/۵۹	۱۵/۲۹
نامناسب (کمتر از یک انحراف معیار فاصله از میانگین)	۲۵	۱۴/۷۱	۳۰/۰۰
بسیار نامناسب (کمتر از دو انحراف معیار فاصله از میانگین)	۱۱۹	۷۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
میانگین شاخص کارایی	۰/۱۹۸		
انحراف از معیار شاخص کارایی	۰/۱۹۵		

شکل (۳)، وضعیت تغییر شاخص کارایی پیوند را در میان واحدهای مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار وضعیت شاخص کارایی با حرکت از سمت واحدهای کارا به ناکارا (از چپ به راست) به سرعت کاهش یافته است. به گونه‌ای که تنها حدود ۱۵ واحد دارای میزان کارایی بیش از ۵۰ درصد نسبت به کاراترین واحد بوده و پس از آن شاخص کارایی به سرعت به کمتر از ۰/۲۵ رسیده است. بر اساس این نمودار تنها حدود ۴۰ واحد از میان واحدهای مورد مطالعه دارای کارایی پیوند بالاتر از ۰/۲۵ بوده اند. این ناهمگونی بین واحدها بر اساس میزان انحراف از معیار شاخص کارایی (۰/۱۹۵) نیز قابل تصور است.

[1] - Soni, Sinha & Perret

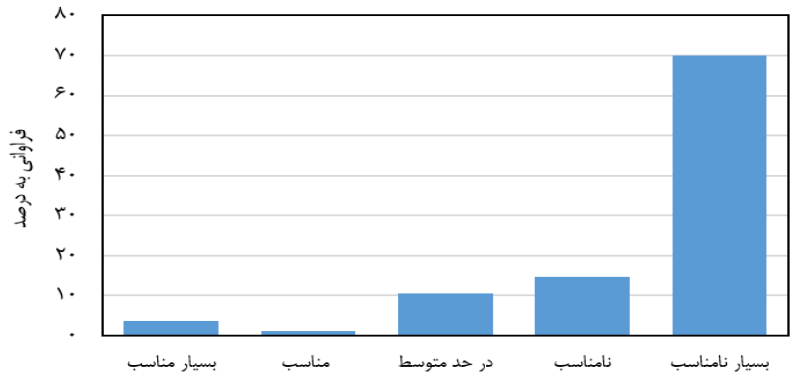
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]



شکل ۳. تغییرات وضعیت شاخص کارایی پیوند در میان واحدهای مورد مطالعه

ناهمگونی در وضعیت شاخص کارایی پیوند در بین واحدهای مورد مطالعه با بررسی نمودار فراوانی واحدها بر حسب پنج گروه اصلی کارایی (شکل ۴) نیز کاملاً مشهود است. به گونه‌ای که فراوانی واحدهای دارای وضعیت کارایی نامناسب بسیار بیشتر از سایر گروه‌های کارایی است.



شکل ٤. فراوانی واحدهای مورد مطالعه بر اساس وضعیت شاخص کارایی پیوند

۲-۲. تحلیل همبستگی بین شاخص کارایی پیوند و اندازه مزرعه

بر اساس یافته‌های این مطالعه (جدول ۴) بین شاخص کارایی پیوند و اندازه واحد بهره‌برداری همبستگی مثبت و قوی وجود دارد. این بدان مفهوم است که واحدهای دارای مقیاس کوچک‌تر، از کارایی پیوند پایین‌تری برخوردار هستند. ضریب همبستگی بین این دو متغیر مثبت و حدود ۰/۷۱۰ است. به عبارت دیگر افزایش سطح واحدهای بهره‌برداری احتمالاً با اطمینان ۹۹ درصد منجر به بهبود وضعیت شاخص کارایی پیوند در مزارع برنج خواهد شد و بالعکس تقطیع اراضی در نهایت وضعیت کارایی مصرف نهاده‌های آب و انرژی را کاهش خواهد داد.

جدول ٤. ضریب همبستگی بین شاخص کارایی پیوند و سطح زیر کشت

متغیرها	مقدارr	Sig.
سطح زیرکشت برنج	۰/۷۱۰**	۰/۰۰۰

** معنی‌داری در سطح احتمال خطای یک درصد

بحث

میانگین شاخص کارایی پیوند در میان واحدهای مورد مطالعه (بر اساس شاخص صفر تا یک) کمتر از ۰/۲ بدست آمده است که حاکی از وضعیت بسیار نامناسب کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در فرآیند تولید محصول برنج است. تنها شش واحد از مزارع مورد بررسی از کارایی بسیار مناسب برخوردار بوده‌اند (یعنی کمتر از چهار درصد واحدهای مورد مطالعه) و وضعیت کارایی پیوند در میان

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]
[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

۷۰ درصد از واحدها نیز در حد بسیار نامناسب بوده است. به علت اهمیت بالای محصول برنج در سبد مصرفی خانوار و امنیت غذایی کشور توجه به جنبه‌های اقتصادی این فعالیت با تأکید بر کارایی پیوند ضروری می‌باشد. در این مطالعه کارایی پیوند بسیار پایین است یعنی تعاملات بین بخش‌های آب، انرژی و غذا پایین است. در نتیجه بهینه‌سازی وضعیت موجود لازم است. به‌طورکلی، هیچ تولید انرژی بدون آب، تأمین آب بدون انرژی و هیچ تولید غذایی بدون این منابع کلیدی وجود ندارد. بنابراین، سیستم‌های WEF کاملاً در هم تنیده و وابسته هستند. تأثیرات روی یک منبع، چه از طرف تقاضا یا عرضه، بر سایر منابع و در نتیجه بر کل زنجیره تولید یا مصرف تأثیر می‌گذارد (لازارو و همکاران، ۲۰۲۲).

همچنین، در مطالعه سون، یان و ژائو[1] (۲۰۲۱) بازده پیوند WEF و راندمان زیرسیستم تولید مواد غذایی در طول دوره مشخص شده در سطح نسبتاً پایینی باقی مانده است و دلیل اصلی راندمان پایین تفاوت‌های منطقه‌ای است. توجه به الگوی کشت مناسب منطقه در شرق، غرب و مرکز متناسب با شرایط آب و هوایی و ضرورت پهنه‌بندی کشاورزی منطقه از نظر نوع اقلیم و شرایط آب و هوایی برای کشت و برداشت زود هنگام یا دیر هنگام و ترویج کشت خشکه‌کاری و کشت ارقام مناسب با مدیریت آب و انرژی نقش مهمی در بهبود کارایی تولید دارد. پذیرش فناوری‌های نوین خاص منطقه و بر اساس مناسب بودن آب و هوا، نوع خاک، در دسترس بودن منابع است (مالاردی[2] و همکاران ۲۰۲۳). مطابق تحقیق با توجه به نقش و اهمیت مصرف انرژی و آب در بخش کشاورزی ترویج و توسعه الگوی بهینه استفاده از انرژی و آب در مزارع برنج در سیستم کشت معمول و نشائی پیشنهاد می‌شود که با کاهش بیشتر ورودی (انرژی و آب) و افزایش خروجی یعنی میزان تولید برنج، کارایی پیوند بهبود یابد.

مطابق پژوهش‌های ژانگ[3] و همکاران (۲۰۲۴) و فاگودیا[4] و همکاران (۲۰۲۳) کارایی پایین در نهاده آب و انرژی توسط بهره برداران بیشتر از ناکارآمدی در میزان تولید می‌باشد. به‌طوری‌که، سطح ورودی نهاده‌ها (آب و انرژی) با ناکارایی بالا باعث شده است که کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در مزارع بسیار نامناسب باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت وضعیت نامناسب کارایی پیوند به سطح پایین کارایی آب و انرژی به عنوان ورودی سیستم مربوط می‌شود. در این راستا با توجه به کشت غرقابی برنج در منطقه، روش مرسوم کشت برنج با آماده‌سازی زمین، خاک‌ورزی، آب‌پاشی، آبیاری مکرر با آب راکد در طول دوره رشد محصول و استفاده بیش از حد یا نامتعادل کود باعث می‌شود که مصرف آب و انرژی بیشتر شود (چوداری[5] و همکاران، ۲۰۱۸؛ ایشفق[6] و همکاران، ۲۰۲۰؛ کومار[7] و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، کاهش مقدار آب مورد نیاز برای کشت برنج با انواع تکنیک‌های صرفه‌جویی در مصرف آب برای استفاده توسط کشاورزان شامل (۱) روش آبیاری جایگزین مرطوب و خشکه‌کاری[8]، (۲) سیستم هوازی برنج[9]، (۳) سیستم فشرده برنج[10] ، (۴) کشت خاک اشباع[11] ، (۵) کشت برنج مستقیم بذر[12]، و (۶) آبیاری قطره‌ای[13] پیشنهاد می‌شود (نلسون[14] و همکاران، ۲۰۱۵).

میزان بکارگیری و پذیرش این روش‌های نوین در سطح مزارع استان مازندران بسیار ناچیز است. بکارگیری سیستم نوین آبیاری و عملیات مناسب نیازمند ارائه مزیت‌های آشکارتر آن به بهره‌برداران می‌باشد. نقش مروجان کشاورزی بایستی با بهبود سازوکارهای

[1] - Sun, Yan & Zhao
[2] - Mallareddy
[3] - Zhang
[4] - Fagodiya
[5] - Choudhary
[6] - Ishfaq
[7] - Kumar
[8] - Alternate Wetting and Drying
[9] - Aerobic rice system
[10] - System of Rice Intensification (SRI)
[11] - Saturated Soil Culture
[12] - Direct Seeded Rice (DSR)
[13] - Drip-Irrigated
[14] - Nelson

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]
[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

مناسب از جمله شفاف نمودن منافع اقتصادی، امنیتی، اجتماعی و زیست‌محیطی حاصل از فناوری، در ادراک کشاورزان از مزایای بکارگیری فناوری برای افزایش سطح تمایل به پذیرش باشد. یکی از راهکارهای لازم استفاده از روش‌های ترویجی مناسب مانند مزارع نمایشی نتیجه‌ای و مدرسه مزرعه کشاورز جهت نشان دادن اثرات واقعی فناوری‌های نوین مانند سیستم خشکه‌کاری و آبیاری هوشمند است. توسعه سیستم خشکه‌کاری برنج برخلاف سیستم متداول نشائی یا غرقابی، صرفه‌جویی بسیار مناسبی را در آب و بهبود کارایی آب دارد. یعنی کشت خشک[1] باعث صرفه‌جویی در حدود ۲۰ درصد آب در ابتدای فصل رشد برنج می‌شود (زامپیری[2] و همکاران، ۲۰۱۹؛ سزاری د ماریا[3] و همکاران، ۲۰۱۷)، توسعه تکنیک‌های آبیاری برای افزایش بهره‌وری آب مانند سیستم‌های آبیاری تحت فشار؛ آبیاری مینی بارانی و قطره‌ای، تکنیک‌های بالقوه برای کارآیی آب هستند که باعث صرفه‌جویی قابل‌توجهی در آب آبیاری می‌شوند (فاگودیا[4] و همکاران، ۲۰۲۳؛ سینگ[5] و همکاران، ۲۰۲۲؛ جات[6] و همکاران، ۲۰۲۹). بنابراین، همگام با تحقیق فاگودیا و همکاران (۲۰۲۳) انتقال به سمت فناوری‌های تولید سازگار با محیط‌زیست با منابع کارآمد با ردپای اکولوژیکی پایین‌تر برای حفاظت زیست‌محیطی مورد نیاز است.

مطابق تحقیق مالاردی و همکاران (۲۰۲۳) اقدامات کشت و مدیریت مزرعه، مانند تیمار بذر، کنترل علف‌های هرز و مدیریت تغذیه به افزایش کارایی مصرف آب در تولید برنج کمک می‌کند. این عملیات اصول GAP و کشاورزی حفاظتی است. بنابراین، همگام با تحقیق کورگیلاس[7] و همکاران (۲۰۲۲) و آیدین و آکتورک[8] (۲۰۱۸) برای بهبود بهره‌وری انرژی و آب و تولید، ترویج و توسعه استاندارد عملیات مناسب کشاورزی در مزارع برنج برای تولید محصول سالم و پایدار پیشنهاد می‌شود. به‌طوری‌که، مطالعات یوهانس[9] و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد تولید محصول سالم و برنج ارگانیک و کم نهاده نقش مهمی در کاهش مصرف آب دارد و حدود ۵۲/۸ درصد در مقایسه با برنج غرقابی معمولی در مصرف آب صرفه‌جویی می‌کند که نشان‌دهنده پتانسیل شیوه‌های کشاورزی ارگانیک برای ترویج استفاده پایدار از آب است. عملیات مدیریت مزرعه مانند تشخیص زمان درست آبیاری برای افزایش راندمان و کارآیی آبیاری مزرعه توسط کشاورز مؤثر است. لذا، همگام با مطالعات مردانی نجف آبادی، میرزایی و اوحدی (۱۳۹۹) استفاده از فناوری‌های نوظهور و هوشمند و نصب کنتور هوشمند بر انواع پمپ‌ها برای تشخیص زمان درست آبیاری و مدیریت منابع آب برای سهولت در آبیاری مزرعه پیشنهاد می‌شود. از طرفی تجهیز مزرعه به سیستم‌های نوین با هزینه بالا همراه است. بنابراین، تسهیل امکان پرداخت هزینه‌های مشارکتی یا تسهیم هزینه خرید تجهیزات آبیاری هوشمند با کمک تعاونی‌ها برای کشاورزان پیشنهاد می‌شود.

مشکلات آب و هوایی و مدیریت آب، قیمت پایین محصول و هزینه تولید بالا (شامل هزینه‌های نیروی کار، انرژی و مواد شیمیایی)، کارایی تولید به‌طور خاص در میان کشاورزان خرده‌مالک پایین است، به دلیل تحت کنترل بودن واسطه‌ها، همراه با نوسانات قیمت برنج در بازار، رقابت شدید برای مدیریت منابع آبی در نتیجه کارایی پیوند کاهش یافته است. مدیریت منابع در تولید برنج باید کارآمدتر باشد یا باید گزینه‌های جایگزین برای کاهش استفاده از منابع و افزایش سود برای کشاورزان بررسی شود و در خصوص تأثیر پیوند آب، انرژی و غذا گزینه‌های جایگزین باید ارزیابی شود (نگاموانگ‌تونگ[10] و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، با توجه به پایین بودن کارایی پیوند در مزارع منطقه مورد مطالعه، بررسی علل ناکارایی آن‌ها و بکارگیری سیاست‌های مناسب در جهت افزایش کارایی کشاورزان ناکارا بسیار مهم می‌باشد. همگام با تحقیق رنجبر ملکشاه و همکاران (۱۳۹۹) با توجه به پایین بودن

[1] - Dry-seeding
[2] - Zampieri
[3] - Cesari de Maria
[4] - Fagodiya
[5] - Singh
[6] - Jat
[7] - Kourgialas
[8] - Aydin & Akturk
[9] - Johannes
[10] - Ngammuangtueng

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]
[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

کارایی، بکارگیری سیاست‌های مناسب در جهت افزایش کارایی کشاورزان، آموزش کشاورزان با هدف افزایش عملکرد و استفاده بهینه از زمین‌های کشاورزی می‌تواند در بهبود کارایی اثرگذار باشد. برنامه‌ریزی آموزشی برای استفاده از تکنولوژی‌های مناسب و پیشرفته برای بالابردن بهره‌وری نهاده‌ها و معرفی مزارع نمونه و کارا به سایر افراد از طریق مزارع نمایشی و سایت الگویی جهت افزایش ادراک و دانش آگاهی کشاورزان در این خصوص ضروری می‌باشد. توجه به بخش اعتبارات خرد و فراهم نمودن شرایط تسهیل‌کننده در ارائه اعتبارات کشاورزی به‌طوری‌که دولت می‌تواند یارانه‌هایی برای مدیریت آبیاری و افزایش دسترسی به برنامه‌های ترویج کشاورزی و یارانه نهاده‌های ارگانیک و بکارگیری استاندارد GAP ارائه دهد. مطابق تحقیق ناندان[1] و همکاران (۲۰۲۱) تولید بیشتر با آب و انرژی کمتر یک اقدام چالش برانگیز خواهد بود. بنابراین، سیستم GAP وکشاورزی حفاظتی (CA) برای حفاظت از منابع آب و انرژی برای تولید پایدار مورد توجه است.

نتایج این مطالعه نشان داد که واحدهای دارای مقیاس کوچک‌تر از کارایی پیوند پایین‌تری برخوردار هستند، این بدان مفهوم است که همزمان با کاهش اندازه مزارع برنج، کارایی این واحدها در استفاده از منابع آب و انرژی کاهش یافته است. اهمیت این موضوع بویژه زمانی بیشتر نمایان می‌شود که بدانیم روند خرد شدن اراضی کشاورزی طی سالیان اخیر و بویژه در منطقه مورد مطالعه به شدت افزایش یافته است. لذا، عدم توجه به این مسئله در آینده به یک بحران جدی تبدیل خواهد شد. در این راستا نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی شالیزاری، استقرار مزارع تعاونی و گروهی و خانوادگی در استان مازندران با توجه به قانون ارث و قطعه قطعه شدن اراضی شالیکاری به عنوان محدودیت در تولید و بهره‌وری باید مورد توجه جدی قرار گیرد. جلوگیری از تغییر کاربری‌ها و تقطیع اراضی کشاورزی یکی از سیاست‌هایی است که برای پرهیز از تشدید بحران‌های آتی باید بیش از پیش مورد توجه جدی قرار گیرد. در همین راستا نگاموانگ‌تونگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز موضوع ضرورت پیش‌گیری از تغییر کاربری اراضی کشت برنج برای کاهش مصرف آب را پیشنهاد نموده‌اند. توسعه کشت تعاونی و برنامه‌ریزی در راستای یکپارچه‌سازی اراضی خرد از جمله موارد دیگری است که در راستای بهبود کارای مصرف آب و انرژی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و مورد تأکید دین عمر و وینای نانگیا[2] (۲۰۲۳) و گیلر، دلون و سیلوا[3] (۲۰۲۱) نیز بوده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بهبود کارایی پیوند WEF برای کاهش مصرف منابع و رونق اقتصادی و تضمین آینده‌ای پایدار مورد توجه است. تفکر پیوند آب و انرژی و غذا برای مدیریت منابع و دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل (SDGs) ضروری است. رویکرد پیوند آب، انرژی و غذا مبتنی بر روابط بین بخش‌ها و ذینفعان مختلف شامل جهاد کشاورزی، محیط‌زیست، آب منطقه‌ای، مدیریت انرژی و کشاورزان است. لذا، بهبود کارایی در این پیوند، بیش از هر چیز مستلزم بهبود نظام حکمرانی و برنامه‌ریزی بخشی و منطقه‌ای با حمایت دولت است. این بدان معنی است که لازم است تلاشی جمعی از سوی همه ذینفعان، از جمله کشاورزان، مسئولان ترویج و بخش دولتی برای ترویج و حمایت از پذیرش گسترده فناوری‌های نوین و هوشمند در مزارع برنج انجام شود. بنابراین، مشارکت هم‌افزای ذینفعان مختلف از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گرفته تا کشاورزان و تشکل‌های مرتبط با کشاورزان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای تأمین امنیت آبی، انرژی و غذایی است. این مطالعه نشان داد که وضعیت کارایی پیوند میان این سه عنصر در میان واحدهای مورد مطالعه برای تولید برنج در شهرستان ساری بسیار نامناسب است. در حال حاضر، سیستم کشت برنج در استان مازندران بیشتر به روش آبیاری غرقابی انجام می‌شود که متکی بر مصرف حجم زیادی از آب است. برای بهینه‌سازی کارایی مزرعه و کارایی تولید می‌بایست میزان مصرف آب و انرژی کاهش یابد بدون آنکه در امنیت غذایی مشکلی ایجاد شود. با توجه به نقش و اهمیت دو نهاده آب و انرژی در بخش کشاورزی، پیشنهاد می‌شود با بهره‌گیری از اقدامات آموزشی و ترویجی نسبت به بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی در مزارع برنج (چه در سیستم کشت معمول و چه در سیستم کشت نشائی) اقدام گردد. در این راستا شناسایی و ترویج

[1] - Nandan

[2] - Din Omar & Vinay Nangia

[3] - Giller, Delaune & Silva

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

کشت ارقام کمتر آب پسند، توصیه سیستم‌های نوین کشت برنج، بهبود عملیات زراعی، ارزیابی مراحل مختلف کاشت برنج از نظر حساسیت به کمبود آب و مدیریت فیزیکی و زراعی مناسب از طریق ترویج سیستم مدیریت تلفیقی محصول[1] (ICM) و بکارگیری فناوری‌های نوظهور[2] و جدید می‌تواند به بهینه‌سازی تولید و بهبود کارایی پیوند کمک نماید.

در نهایت، می‌توان پیشنهادهای این مطالعه برای بهبود کارایی پیوند آب، انرژی و غذا با هدف ارتقاء امنیت آبی، امنیت انرژی و امنیت غذایی را به صورت زیر خلاصه نمود:

- توجه به تفاوت‌های منطقه‌ای و الگوی کشت مناسب منطقه از نظر نوع اقلیم و شرایط آب و هوایی برای کشت و برداشت زودهنگام یا دیرهنگام؛
- ترویج کشت ارقام کم آب‌پسند و راه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب مانند تغییر روش آبیاری، جایگزینی روش خشکه‌کاری با روش‌های سنتی تولید (غرق‌آبی)؛
- اقدامات ترویجی در راستای تغییر نگرش و ادراک کشارزان نسبت به بکارگیری فناوری‌های نوین مانند سیستم خشکه‌کاری و آبیاری؛
- ترویج و توسعه عملیات مناسب کشاورزی که منجر به کاهش مصرف آب و انرژی برای تولید برنج می‌شود؛
- آموزش کشاورزان برای بهبود عملیات مدیریت مزرعه مانند تشخیص زمان درست آبیاری برای افزایش راندمان آبیاری؛
- معرفی مزارع نمونه و کارا به سایر افراد از طریق روش‌های ترویجی مناسب مانند مزارع نمایشی، نتیجه‌ای و مدرسه در مزرعه کشاورز، جهت تغییر ادراک و افزایش سطح دانش و آگاهی کشاورزان؛
- ممانعت از تغییر کاربری و تقطیع اراضی کشاورزی؛
- نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی شالیزاری و ترویج کشت مکانیزه و نیمه مکانیزه برنج؛
- تسهیم هزینه خرید تجهیزات آبیاری هوشمند با کمک تعاونی‌ها برای کشاورزان؛ و
- استقرار مزارع تعاونی و گروهی و خانوادگی با توجه به قانون ارث، جهت پیشگیری از قطعه قطعه شدن اراضی شالیکاری.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله به شرح زیر است:

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله.

نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده سوم و چهارم: استادان مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته توسعه روستایی با عنوان تبیین مدل بهبود کارایی پیوند آب، انرژی و غذا در مزارع برنج با تأکید بر عملیات مناسب کشاورزی (مورد: شهرستان ساری) می‌باشد که بـا حمایت معاونت پژوهش و فناوری

[1] - Integrated Crop Management
[2] - Emerging Technologies

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]
[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شده است. بدین وسیله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

اسداله‌پور، علی. (۱۴۰۲). تدوین مدل مطلوب کسب‌وکار در زنجیره ارزش محصول برنج استان مازندران. *علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران*، ۱۹(۱)، ۲۰۵-۱۹۱. https://doi.org/20.1001.1.20081758.1402.19.1.12.2

اعلایی بازکیایی، پویا؛ کامکار، بهنام؛ امیری، ابراهیم؛ کاظمی، حسین و رضایی، مجتبی. (۱۳۹۸). اثر مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب در برنج (Oryza sativa L). *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۲(۴) ، ۱۷۰-۱۵۷. https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.16513.2231

آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی. (۱۴۰۱). گزارش سطح، تولید و عملکرد محصولات زراعی در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، خرداد ۱۴۰۱.

ایران نژاد، اسماعیل؛ محمدی، حسین و برنا، رضا. (۱۳۹۸). تاثیر تغییر آب و هوا بر نیاز آبی برنج در استان مازندران. *جغرافیای طبیعی*، ۱۲(۴۶)، ۱۴-۱.

حق‌جو، ریحانه؛ چوبچیان، شهلا؛ مرید، سعید و عباسی، عنایت. (۱۴۰۲). شاخص‌های رویکرد پیوند امنیت آب، غذا و انرژی در بخش کشاورزی: کاربرد تحلیل محتوا. *مجلهٔ تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۵۴ (۱)، ۲۹۱- ۲۶۱. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.342410.669145

رنجبرملکشاه، طاهره؛ حسینی یکانی، سید علی؛ کشیری کلایی، فاطمه و عبدی رکنی، خدیجه. (۱۳۹۸). کارایی برنج کاران منطقه گهرباران ساری در شرایط عدم قطعیت. *نشریه: اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۲۷ (۱۰۵)، ۵۸-۳۵. https://doi.org/10.30490/aead.2019.91241

سالنامه آماری. (۱۴۰۲). سالنامه آماری مازندران سال ۱۴۰۱. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، معاونت آمار و اطلاعات. ۱۰۴ صفحه.

شرکت آب منطقه ای استان مازندران. (۱۴۰۱). خلاصه وضعیت بارندگی و منابع آب استان در سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

علی پور، علی؛ ویسی، هادی؛ دریجانی، فاطمه؛ صباحی، حسین و لیاقتی، هومان. (۱۳۹۳). واکاوی وضعیت مصرف انرژی در کشت بوم‌های رایج برنج در استان‌های مازندران و گیلان: مطالعه موردی شهرستان بابلسر و لاهیجان. *کشاورزی بوم شناختی*، ۴ (۲)، ۸-۱.

قربانی، الهام؛ منعم، محمدجواد و واعظ تهرانی، مهسا. (۱۳۹۹). توسعه مدل پیوند آب، انرژی و غذا در سطح شبکه‌های آبیاری بر اساس شاخص‌های کفایت و پایداری آب (مطالعه موردی شبکه آبیاری قزوین). *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۲۱ (۸۰)، ۸۰-۶۱. https://doi.org/10.22092/idser.2020.343189.1432

گودرزی، محمدرضا؛ پیریائی، رضا و موسوی، میر رحیم. (۱۳۹۹). درک پیوند آب، انرژی و غذا و مدیریت برای بهره‌وری از منابع آب موجود. *آب و خاک*، ۳۴ (۲)، ۲۶۸-۲۵۵. https://doi.org/10.22067/jsw.v34i2.78589

مردانی نجف آبادی، مصطفی؛ زباری، یاسمین و اوحدی، نسرین. (۱۴۰۰). تعیین کارایی و حد بهینه استفاده از منابع تولید در راستای توسعه پایدار روستایی مورد: برنج کاران مناطق روستایی گتوند. *فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی*. شماره ۳، ۲۲۶-۲۰۹. https://doi.org/20.1001.1.23222131.1401.11.41.11.8

مردانی نجف آبادی، مصطفی؛ میرزایی، عباس و اوحدی، نسرین. (۱۳۹۹). بررسی کارایی انرژی برنج با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی بازه‌ای (مطالعه موردی: برنج‌کاران استان گلستان). *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*. ۵۱ (۴)، ۶۷۷-۶۶۱. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2020.283259.668772

مفاخری، صلاح؛ ویسی، هادی؛ خوشبخت، کوروس و نظری، محمد رضا. (۱۴۰۰). ارزیابی پایداری پیوند سیستم‌های آب-انرژی-غذا در محصول‌های کشاورزی (مطالعه موردی شهرستان دهگلان). *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۹(۴)، ۳۰۶-۲۷۸ . https://doi.org/10.52547/envs.2021.222630.1078

منعم، محمدجواد؛ دلاور، مجید و حسینی، سید معین. (۱۳۹۹). کاربرد و ارزیابی پیوند آب، غذا و انرژی (نکسوس) در مدیریت شبکه‌های آبیاری مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده رود. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۱)، ۲۵۷-۲۸۵.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

References

Aalaee Bazkiaee, P., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H., & Rezaei, M. (2020). Effect of irrigation management and planting date on yield and productivity of rice (Oryza sativa L.). *Journal of Crop Production*, *12*(4), 157-170. https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.16513.2231. (in Persian)

Abbott, M., Bazilian, M., Egel, D., & Willis, H. H. (2017). Examining the food–energy–water and conflict nexus. *Current Opinion in Chemical Engineering*, *18*, 55-60. https://doi.org/10.1016/j.coche.2017.10.002

Alipour, A., Hadi Veisi, H., Darijani,F., Sabahi ,H.,Liaghati, H. (2015). Assessing energy consumption in conventional rice production systems in Mazandaran and Guilan provinces of Iran: A case study in Babolsar and Lahijan. *Journal of Agroecology*,4(2), 1-8. (in Persian)

Ambast, S.K. (2017). Water, Energy and Food Security Nexus: An Indian Perspective. In Gurung, T.R., (ed). Water-Energy-Food Nexus: A Basis for sustainable development in SAARC Region. Dhaka: SAARC Agriculture Centre.

Asadollahpour, A. (2023). Development of A Desirable Business Model in the Value Chain of Rice Products in Mazandaran Province. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, *19*(1), 191-205. https://doi.org/20.1001.1.20081758.1402.19.1.12.2 (in Persian)

Aydin, U., & Azhgaliyeva, D. (2019). Assessing energy security in the Caspian region: the geopolitical implications to European energy strategy. In *Achieving Energy Security in Asia: Diversification, Integration and Policy Implications* (pp. 257-290). https://doi.org/10.1142/9789811204210_0009

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, *30*(9), 1078-1092. https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078

Barkat, S., & Smith, Z. A. (2017). The Food-Water-Energy Nexus in Modern Rice Cultivation in Bangladesh and Competing Discourses of Rice Research Institutions. *Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices*, 191-205. https://doi.org/10.1002/9781119243175.ch17

Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., & Yumkella, K. K. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy policy*, *39*(12), 7896-7906. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039

Bizikova, L., Roy, D., Swanson, D. A., Venema, H. D., and McCandless, M. (2013). The Water-Energy-Food Security Nexus: Towards a Practical Planning and Decision-Support Framework for Landscape Investment and Risk Management. The International Institute for Sustainable Development. Available online at: https://www.iisd.org/system/files/publications/wef_nexus_2013.pdf

Cairns, R., & Krzywoszynska, A. (2016). Anatomy of a buzzword: The emergence of 'the water-energy-food nexus' in UK natural resource debates. *Environmental Science & Policy*, *64*, 164-170. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016. 07.007

Cesari de Maria, S., Bischetti, G. B., Chiaradia, E. A., Facchi, A., Miniotti, E. F., Rienzner, M., & Gandolfi, C. (2017). The role of water management and environmental factors on field irrigation requirements and water productivity of rice. *Irrigation Science*, *35*, 11-26.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, *2*(6), 429-444. https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8.

Choudhary, K. M., Jat, H. S., Nandal, D. P., Bishnoi, D. K., Sutaliya, J. M., Choudhary, M., & Jat, M. L. (2018). Evaluating alternatives to rice-wheat system in western Indo-Gangetic Plains: crop yields, water productivity and economic profitability. *Field Crops Research*, *218*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.023

Del Borghi, A., Tacchino, V., Moreschi, L., Matarazzo, A., Gallo, M., & Vazquez, D. A. (2022). Environmental assessment of vegetable crops towards the water-energy-food nexus: A combination of precision agriculture and life cycle assessment. *Ecological Indicators*, 140, 109015. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109015

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

D'Odorico, P., Davis, K. F., Rosa, L., Carr, J. A., Chiarelli, D., Dell'Angelo, J., ... & Rulli, M. C. (2018). The global food-energy-water nexus. *Reviews of geophysics*, 56(3), 456-531. https://doi.org/10.1029/2017RG000591

El Majdoubi, G., & El Ayadi, H. (2024). Analyzing the Water, Energy, and Food Security Nexus Index in Morocco. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 109, p. 01009). EDP Sciences, 1-8.

Ermoliev, Y., Zagorodny, A. G., Bogdanov, V. L., Ermolieva, T., Havlik, P., Rovenskaya, E., & Obersteiner, M. (2022). Linking distributed optimization models for food, water, and energy security nexus management. *Sustainability*, 14(3), 1255. https://doi.org/10.3390/su14031255

Fagodiya , R.K., Singh , A., Singh , R., Rani, SArvind , S.K., Kumar Rai, K., Sheoran , P., Chandra ,P., Yadav, R.K., Sharma P.C. Biswas , A.K., Chaudhari . S.K. (2023). The food-energy-water-carbon nexus of the rice-wheat production system in the western Indo-Gangetic Plain of India: An impact of irrigation system, conservational tillage and residue management. *The Science of the Total Environment* 860:160428. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160428

FAO (2014). The Water-Energy-Food Nexus—A New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture. Available online at: http://www.fao.org/3/ bl496e/bl496e.pdf (accessed October 10, 2019).

FAOSTAT. (2022). Production - Crops and livestock products. Available in: https://www.fao.org/faostat/en/#compare.

Flammini, A., Puri, M., Pluschke, L., & Dubois, O. (2014). Walking the nexus talk: assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. *Environment and Natural Resources Management. Working Paper (FAO) eng no. 58*.

Formiga-Johnsson, R. M., & Britto, A. L. (2020). Water security, metropolitan supply and climate change: some considerations concerning the Rio de Janeiro case. *Ambiente & Sociedade*, *23*, e02071. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190207r1vu2020L6TD

Gain, A. K., Giupponi, C., & Benson, D. (2018). The water–energy–food (WEF) security nexus: the policy perspective of Bangladesh. In *Sustainability in the Water Energy Food Nexus* (pp. 183-198). Routledge. https://doi.org/10.1080/02508060.2015.1087616

Ghodrati, S., Kargari, N., Farsad, F., Javid, A. H., & H Kani, A. (2022). Nexus Evaluation of Combined Cycle Power Plants based on Water, Energy, and Carbon. *Environmental Energy and Economic Research*, *6*(2), 1-14. https://doi.org/10.22097/EEER.2021.307212.1223

Ghorbani, E., Monem, M. J., & Vaez Tehrani, M. (2020). Development of Water, Energy and Food Nexus Model in Irrigation Networks Based on Water Adequacy and Stability Indicators (Qazvin Irrigation Network Case Study). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *21*(80), 61-80. https://doi.org/10.22092/idser.2020.343189.1432. (in Persian)

Giller, K. E., Delaune, T., Silva, J. V., Descheemaeker, K., van de Ven, G., Schut, A. G., & van Ittersum, M. K. (2021). The future of farming: Who will produce our food?. *Food Security*, *13*(5), 1073-1099.https://doi.org/10.1007/s12571-021- 01184-6.

Goodarzi, M., Piryaei, R., & Moosavi, M. (2020). Understanding Water-Food-Energy Nexus and their Management for the Utilization of the Existing Water Resources. *Water and Soil*, *34*(2), 255-268. https://doi.org/10.22067/jsw.v34i2.78589. (in Persian)

Goodarzi, M., Piryaei, R., & Moosavi, M. (2020). Understanding Water-Food-Energy Nexus and their Management for the Utilization of the Existing Water Resources. *Water and Soil*, *34*(2), 255-268. https://doi.org/10.22067/jsw.v34i2.78589 (in Persian)

Haghjoo, R., Choobchian, S., Morid, S., & Abbasi, E. (2023). Indicators of water, food and energy security Nexus approach in agriculture: Application of content analysis. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *54*(1), 261-291. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.342410.669145 (in Persian)

Hanlon, P, R, Madel, K, Olson-Sawyer, K, Rabin and J, Rose. (2013). Food, water and energy: know the nexus. GRACE Communications Foundation, Water and Energy Programs, New York.

Hoff, H. (2011). Understanding the nexus: background paper for the Bonn. In *2011 Nexus Conference* (Vol. 51), 1–52.

Hoseini, S. M., & Delavar, M. (2020). Application and Evaluation of Water, Food and Energy (NEXUS) in Irrigation Networks Management Case Study of Zayandehrud Irrigation Network. *Iranian*

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

Journal of Irrigation & Drainage, *14*(1), 275-285. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02967-4.(in Persian)

Irannejad, E, Mohammadi, H, & Barna, R. (2019). "The effect of climate change on the water requirement of rice in Mazandaran province". *Natural Geography*, 12(46), 1-14. (in Persian)

IRENA. (2015). Renewable Energy in the Water, Energy and Food Nexus. Available online at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Water_Energy_Food_Nexus_2015.pdf (accessed July 3, 2020).

Ishfaq, M., Akbar, N., Anjum, S. A., & Anwar-Ijl-Haq, M. (2020). Growth, yield and water productivity of dry direct seeded rice and transplanted aromatic rice under different irrigation management regimes. *Journal of Integrative Agriculture*, *19*(11), 2656-2673. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62876-5

Jat, H. S., Kumar, P., Sutaliya, J. M., Kumar, S., Choudhary, M., Singh, Y., & Jat, M. L. (2019). Conservation agriculture based sustainable intensification of basmati rice-wheat system in North-West India. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(10), 1370-1386. https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1566708

Johannes, H. P., Priadi, C. R., Herdiansyah, H., & Novalia, I. (2020). Water footprint saving through organic rice commodity. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2255, No. 1). AIP Publishing. https://doi.org/10.1063/5.0013601

Jones, O and P, Dodds. (2017). Chapter 2 Definitions of energy security. University College London.

Kumar, A., Nayak, A. K., Hanjagi, P. S., Kumari, K., Vijayakumar, S., Mohanty, S., & Panneerselvam, P. (2021). Submergence stress in rice: Adaptive mechanisms, coping strategies and future research needs. *Environmental and Experimental Botany*, *186*, 104448. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104448

Lazaro, L. L. B., Bellezoni, R. A., Puppim de Oliveira, J. A., Jacobi, P. R., & Giatti, L. L. (2022). Ten years of research on the water-energy-food nexus: An analysis of topics evolution. *Frontiers in Water*, *4*, 859891. https://doi.org/10.3389/frwa.2022.859891.

Lazaro, L. L. B., Giatti, L. L., Bermann, C., Giarolla, A., & Ometto, J. (2021). Policy and governance dynamics in the water-energy-food-land nexus of biofuels: Proposing a qualitative analysis model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111384. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111384

Li, M., Zhao, L., Zhang, C., Liu, Y., & Fu, Q. (2022). Optimization of agricultural resources in water-energy-food nexus in complex environment: A perspective on multienergy coordination. *Energy Conversion and Management*, *258*, 115537. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115537

Liu, Y., Jiang, Y., Xu, C., Lyu, J., & Su, Z. (2022). A quantitative analysis framework for water-food-energy nexus in an agricultural watershed using WEAP-MODFLOW. *Sustainable Production and Consumption*, *31*, 693-706. https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.032

Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. *Iranian studies*, *49*(6), 997-1016. https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286

Mafakheri, S., Veisi, H., Khoshbakht, K., & Nazari, M. R. (2021). Evaluation of water- energy- food nexus in agricultural products of Dehgolan County. *Environmental Sciences*, *19*(4), 287-306. https://doi.org/10.52547/envs.2021.222630.1078. (in Persian)

Mallareddy, M., Thirumalaikumar, R., Balasubramanian, P., Naseeruddin, R., Nithya, N., Mariadoss, A., & Vijayakumar, S. (2023). Maximizing water use efficiency in rice farming: A comprehensive review of innovative irrigation management technologies. *Water*, *15*(10), 1802. https://doi.org/10.3390/w15101802

Mardani Najafabadi M, Zebari Y, Ohadi N. (2022). Determining the efficiency and optimal use of production resources in line with sustainable development: a case study of rice farmers in rural areas of Gotvand. serd 2022; 11 (41) :209-226. https://doi.org/20.1001.1.23222131.1401.11.41.11.8. (in Persian)

Mardani Najafabadi, M., Abdeshahi, A., & Ahani, E. (2023). Determining the eco-efficiency of major crops in selected rigions of Khuzestan province. Journal of Agricultural Economics &

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

Development, 37(3), 271-287. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2023.78856.1158

Mardani Najafabadi, M., mirzaei, A., & ohadi, N. (2020). Investigating the Rice Energy Efficiency Using Interval Fuzzy Data Envelopment Analysis Model (Case Study: Rice Farmers in Golestan Province). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *51*(4), 661-677. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2020.283259.668772. (in Persian)

Molajou, A., Pouladi, P., & Afshar, A. (2021). Incorporating social system into water-food-energy nexus. *Water Resources Management*, *35*, 4561-4580.

Nandan, R., Poonia, S. P., Singh, S. S., Nath, C. P., Kumar, V., Malik, R. K., ... & Hazra, K. K. (2021). Potential of conservation agriculture modules for energy conservation and sustainability of rice-based production systems of Indo-Gangetic Plain region. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(1), 246-261.

Nazari, B., Liaghat, A., Akbari, M. R., & Keshavarz, M. (2018). Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. *Agricultural water management*, *208*, 7-18. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.003

Nelson, A., Wassmann, R., Sander, B. O., & Palao, L. K. (2015). Climate-determined suitability of the water saving technology" alternate wetting and drying" in rice systems: a scalable methodology demonstrated for a province in the Philippines. *PloS one*, *10*(12), e0145268. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145268

Ngammuangtueng, P., Jakrawatana, N., Nilsalab, P., & Gheewala, S. H. (2019). Water, energy and food nexus in rice production in Thailand. *Sustainability*, *11*(20), 5852. https://doi.org/10.3390/su11205852.

Nhamo, L., Ndlela, B., Mpandeli, S., & Mabhaudhi, T. (2020). The water-energy-food nexus as an adaptation strategy for achieving sustainable livelihoods at a local level. *Sustainability*, *12*(20), 8582. https://doi.org/10.3390/su12208582

Nirmala, B., Tuti, M. D., Mahender Kumar, R., Waris, A., Muthuraman, P., Parmar, B., & Vidhan Singh, T. (2021). Integrated assessment of system of rice intensification vs. conventional method of transplanting for economic benefit, energy efficiency and lower global warming potential in India. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 45(5), 745-766. https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1868648

Omar, M. E. D., & Nangia, V. (2023). On-farm water energy food carbon-footprint nexus index for quantitative assessment of integrated resources management for wheat farming in Egypt. *Water-Energy Nexus*, *6*, 122-130. https://doi.org/10.1016/j.wen.2023.09.002

Pahl-Wostl, C. (2017). Pahl-Wostl, C. (2019). Governance of the water-energy-food security nexus: A multi-level coordination challenge. *Environmental Science & Policy*, *92*, 356-367. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.017.

Pan, Z., Wang, Y., Zhou, Y., & Wang, Y. (2020). Analysis of the water use efficiency using super-efficiency data envelopment analysis. *Applied Water Science*, *10*(6), 1-11. https://doi.org/10.1007/s13201-020-01223-1.

Park, S. Y., Kim, J. S., Lee, S., & Lee, J. H. (2022). Appraisal of water security in asia: the pentagonal framework for efficient water resource management. *Applied Sciences*, *12*(16), 8307. https://doi.org/10.3390/app12168307

Purwanto, A., Sušnik, J., Suryadi, F. X., & de Fraiture, C. (2021). Water-energy-food nexus: Critical review, practical applications, and prospects for future research. *Sustainability*, *13*(4), 1919. https://doi.org/10.3390/su13041919

Ranjbar Malekshah, T., Hosseini-Yekani, S. A., Kashiri Kolaei, F., & Abdi Rokni, K. (2019). Investigating the Efficiency of Rice Producers in Sari Goharbaran Accounting for Uncertainty. *Agricultural Economics and Development*, *27*(1), 35-58. https://doi.org/10.30490/aead.2019.91241.(in Persian)

Regional Water Company of Mazandaran Province. (2022). Summary of the state of rainfall and water resources of the province in the water year 2021-2023. (in Persian)

Senthilkumar, K. (2022). Closing rice yield gaps in Africa requires integration of good agricultural practices. *Field Crops Research*. 285, https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108591.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

Senthilkumar, K., Rodenburg, J., Dieng, I., Vandamme, E., Sillo, F. S., Johnson, J. M., & Saito, K. (2020). Quantifying rice yield gaps and their causes in Eastern and Southern Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *206*(4), 478-490. https://doi.org/10.1111/jac.12417

Sikka, A.K. (2021). Conservation Agriculture: Towards Managing the Water-Energy Food Nexus in India. *Journal of Agricultural Physics*, 21(1), 135-144. ISSN 0973-032X.

Singh, R., Singh, A., Sheoran, P., Fagodiya, R. K., Rai, A. K., Chandra, P., & Sharma, P. C. (2022). Energy efficiency and carbon footprints of rice-wheat system under long-term tillage and residue management practices in western Indo-Gangetic Plains in India. *Energy*, *244*, 122655. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122655

Skawińska, E., & Zalewski, R. I. (2022). Combining the water–energy–food and food waste–food loss–food security nexuses to reduce resource waste. *Energies*, *15*(16), 5866. https://doi.org/10.3390/en15165866

Soni, P., Sinha, R., & Perret, S. R. (2018). Energy use and efficiency in selected rice-based cropping systems of the Middle-Indo Gangetic Plains in India. *Energy Reports*, *4*, 554-564. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.09.001

Statistics of the Ministry of Agricultural Jihad. (2021). Report on the level, production and performance of crops in the crop year 2019-2020. Information and Communication Technology Center, June 2022. (in Persian)

Statistical Yearbook. (2023). Statistical Yearbook of Mazandaran for the year 2022. Mazandaran Province Management and Planning Organization, Deputy for Statistics and Information. 104 pages. (in Persian)

Sun, C., Yan, X., & Zhao, L. (2021). Coupling efficiency measurement and spatial correlation characteristic of water–energy–food nexus in China. *Resources, Conservation and Recycling*, *164*, 105151. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105151

Terrapon-Pfaff, J., T, Fink and S, Lechtenbohmer. (2018). the Water-Energy Nexus in Iran. FRIEDRICH EBERT STIFTUNG. 1-21pp. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7247/file/7247_Water_Energy_Nexus.pdf.

Wang, J., & Zhao, T. (2017). Regional energy-environmental performance and investment strategy for China's non-ferrous metals industry: a non-radial DEA based analysis. *Journal of cleaner production*, *163*, 187-201. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.020

World Economic Forum (2011). Water Security: The Water-Food-Energy-Climate Nexus. Available online at: http://islandpress.org/water-security (accessed April 5, 2019).

Yuan, S., & Peng, S. (2022). Food-energy-emission nexus of rice production in China. *Crop and Environment*, *1*(1), 59-67. https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.03.007

Zampieri, M., Ceglar, A., Manfron, G., Toreti, A., Duveiller, G., Romani, M., & Djurdjevic, V. (2019). Adaptation and sustainability of water management for rice agriculture in temperate regions: The Italian case-study. *Land Degradation & Development*, *30*(17), 2033-2047. https://doi.org/10.1002/ldr.3402

Zarei, M. (2020). The water-energy-food nexus: A holistic approach for resource security in Iran, Iraq, and Turkey. *Water-Energy Nexus*, *3*, 81-94. https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.05.004

Zhang, L., Ji, Z., Fu, S., Chiu, Y. H., Shi, Z., Jin, C., & Du, X. (2024). Water-energy-food nexus efficiency and its factor analysis in China: A dynamic series-loop DDF model. *Journal of Cleaner Production*, *436*, 140524. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140524

Zhiznin, S. Z., Timohov, V. M., & Dineva, V. (2020). Energy security: Theoretical interpretations and quantitative evaluation. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(2), 390-400. https://doi.org/10.32479/ijeep.8950.

Zuo,X., Zhao, Sh., Cheng, H., Hu, Y., Wang, Sh., Yue, P., Liu, R., Knapp, A. K., Smith, M.D., Yu, Q & Koerner, S.E. (2021). Functional diversity response to geographic and experimental precipitation gradients varies with plant community type. *Functional Ecology*, 35(9) 2119-2132. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13875.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-02-23]

[DOI: 10.61186/serd.13.49.8]