Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery/Vol. 14 /No.4 /Serial No. 37/ Winter 2025

Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery

Shahrekord University

Research Paper

Comparing the effects of different conservation and conventional tillage methods on rice yield and water consumption indices

Naeim Loveimi[1*], Ahmad Sharifi-Malvajerdi[2] and Ali Mokhtaran[1]

[1.] Agricultural and horticultural Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran.

[2.] Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Iran.

Article History

Submited: 2025/11/22

Revised: 2025/12/01

Accepted: 2025/12/19

Published online: 2025/12/21

Keywords:
Rice, Conventional Tillage, Conservation Tillage, Water Productivity, Applied Water

***Corresponding author email:**
n1584m@yahoo.com

ORCID:
0000-0000-0000-0000

Abstract

conservation tillage has attracted considerable attention due to its role in preventing erosion, maintaining soil organic matter, preserving soil moisture, and reducing water loss. This study aimed to compare different conservation tillage methods under periodical irrigation conditions with a conventional tillage method under continuous irrigation conditions (control treatment) for rice cultivation over two years (2020–2021). The experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications at the Shavoor Station of the Khuzestan Agricultural Research Center. The treatments included four conservation tillage methods: no-till, chisel with disc, chisel packer, once disc, under periodical irrigation conditions, and conventional method: (control treatment: moldboard plow with twice disc under continuous irrigation conditions). The results of agronomic traits showed that there was no significant difference between different tillage-irrigation methods in terms of yield and agronomic traits, except for thousand-grain weight. Comparison of means showed that, no-till, chisel with disc, chisel packer, once disc, under periodical irrigation conditions, had 3137, 2900, 2892, and 2940 kg.ha-1 respectively, and control treatment had 3509 kg.ha-1 in yield. In terms of seed weight, the four conservation tillage methods under periodical irrigation conditions were at the same level and between 19.3 and 19.6 grams, but the control treatment achieved the highest amount with 20.6 grams. Also, the results showed that there was a significant difference among different tillage-irrigation methods in terms of applied water and water productivity. Comparison of the means showed that the control treatment with 41084 and no-tillage- periodical irrigation with 22753 m3.ha-1 had the highest and lowest applied water, respectively. Also, in terms of water productivity, the no-tillage periodical irrigation with 0.128 and control treatment with 0.084 kg.m-3 obtained the highest and lowest values, respectively.

How to cite this paper:
Loveimi, N., Sharifi-Malvajerdi, A., and Mokhtaran, A. (2025). Comparing the effects of different conservation and conventional tillage methods on rice yield and water consumption indices. *Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery.* 37: 95-112. https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.14810.746 (In Persian)

Authors retain the copyright and full publishing rights.Published by Shahrekord University. This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

https://dx.doi.org/ 10.22034/jrmam.2026.14810.746

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Conservation tillage is one of the important foundations of sustainable agriculture. The transition from conventional tillage to conservation tillage is underway in many developing countries. The advantages of conservation tillage compared to conventional tillage, depending on different conditions, can include reduced energy consumption, reduced water and wind erosion, less labor required, increased soil organic matter, and reduced operation time and increased operational efficiency. Also, a more important issue is reducing water consumption and increasing its productivity in agriculture, in which conservation tillage can play a role. Drought and climate change have made water issues a top priority in all fields, so conservation tillage on the one hand, and water-reduction patterns on the other, are being developed, taking into account the advantages of each. Therefore, in order to protect the soil and increase its productivity in reduced-tillage or no-tillage systems and also to reduce water consumption in periodical irrigation methods, considering recent droughts and climate change conditions, such a study was conducted. This study aimed to compare different conservation tillage methods under periodical irrigation and control conditions (conventional tillage-continuous irrigation method used by most farmers).

Material and Methods

This study aimed to compare different conservation tillage methods under periodical irrigation conditions, and the conventional tillage method under continuous irrigation conditions (control treatment) of rice, for two years (2020-2021) in a randomized complete block design with three replications, at the Shavoor Station of the Khuzestan Agricultural Research Center. The treatments included four conservation tillage methods: no-till, chisel with disc, chisel packer, once disc, under periodical irrigation conditions, and conventional method: (Control treatment: moldboard plow with twice disc under continuous irrigation conditions). The measured indicators included yield and yield components, including seed germination percentage, plant height, number of clusters per square meter, number of grains per cluster, harvest index, thousand grain weight, and biological yield. Also, economic indicators such as costs and incomes and two important indicators of irrigation water, including applied water and water productivity, were measured and evaluated. After completing the measurements and performing analysis of variance (ANOVA) using MSTATC software, comparison of the means of the indicators was performed using Duncan's multiple range test.

Results and Discussion

The combined analysis of variance indicated no significant differences among the tillage–irrigation methods between different tillage-irrigation methods in terms of yield and agronomic traits, except for thousand-grain weight. Also, the interaction effect of these methods with year did not have a significant difference in yield or any of the traits. Comparison of means showed that among different tillage- irrigation methods, no-till, chisel with disc, chisel packer, once disc, under periodical irrigation conditions, had 3137, 2900, 2892, and 2940 $kg.ha^{-1}$ respectively, and control treatment (moldboard plow with twice disc under continuous irrigation conditions) had 3509 $kg.ha^{-1}$ in yield. In terms of seed weight, the four conservation tillage methods under periodical irrigation conditions were at the same level and between 19.3 and 19.6 grams, but the conventional tillage method under continuous irrigation conditions achieved the highest amount, with about 5 percent more and with 20.6 grams. In terms of biological yield, the control was relatively higher than the other methods with 11026 $kg.ha^{-1}$, and the lowest biological yield with 9936 $kg.ha^{-1}$ belonged to the chisel packer- periodical irrigation. Also, the results showed that there was a significant difference among different tillage-irrigation methods in terms of applied water and water productivity, but no

significant difference was observed in the interaction between tillage-irrigation methods and year in these two indices. Comparison of the means showed that the control treatment (moldboard plow with twice disc under continuous irrigation conditions) with 41084 and no-tillage- periodical irrigation with 22753 $m^3.ha^{-1}$ had the highest and lowest applied water, respectively. Also, in terms of water productivity, the no-tillage periodical irrigation with 0.128 and control treatment with 0.084 $kg.m^{-3}$ obtained the highest and lowest values, respectively. In terms of cost, the control treatment had the highest cost, and the no-till-periodical irrigation method had the lowest cost with a rate of 0.91 compared to the control. Also, the net income assessment showed that all conservation tillage-periodical irrigation methods were less than the control, and among these methods, the no-till-periodical irrigation method had the highest net income with a rate of 0.89 compared to the control.

Conclusions

Based on the results of this study, in terms of crop yield, there is no significant difference between the different tillage-irrigation methods (four conservation tillage-periodical irrigation methods and conventional tillage-continuous irrigation method) in rice cultivation in Khuzestan Province, with the control treatment (conventional tillage with continuous irrigation) producing the highest yield, and the chisel packer-periodical irrigation obtained the lowest yield. In terms of applied water and water productivity, there is a significant difference between different tillage-irrigation methods in rice cultivation in Khuzestan Province, and the control (conventional tillage-continuous irrigation) achieved the highest applied water and lowest water productivity, while the no-till-periodical irrigation method achieved the lowest applied water and highest water productivity. Comparison between conservation tillage - periodical irrigation methods indicates better results of the no-tillage method in terms of higher yield, lower applied water, and higher water productivity than other reduced tillage methods. Therefore, for the development of rice cultivation in Khuzestan Province, considering its lower applied water and higher water productivity, conservation tillage methods such as no-tillage, under periodical irrigation, are recommended.

Acknowledgements

We would like to thank the Agricultural Research, Education and Extension Organization for its support in conducting this research.

Author Contributions

First Author: Conducting research in field conditions, collecting data, analyzing data, and writing a research report.
Second Author: Selecting treatments, determining the research implementation method, and consulting on research implementation.
Third Author: Consulting on how to measure water consumption indicators and monitor data collection and analysis of this data.

Data Availability Statement

Information and results are presented in the text of the article. Further details and required data will be provided upon request.

Ethical Considerations

The authors have observed ethical principles in conducting and publishing this scientific work, and this is confirmed by all of them. Also, in this study, artificial intelligence was not used in any of the research and writing of the article.

Conflict of Interest

The authors declare that there are no known competing financial interests or personal relationships that may have influenced the work reported in this article.

Funding Statement

This work was supported by the Agricultural Research, Education and Extension Organization under project number 0-14-14-011-990173.

نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی
دانشگاه شهرکرد

مقاله پژوهشی

مقایسه تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر عملکرد برنج و شاخص‌های مصرف آب

نعیم لویمی[۱]*، احمد شریفی مالواجردی[۲]، علی مختاران[۱]

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۲. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/ ۰۱

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸

انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

واژه‌های کلیدی:

برنج، خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی حفاظتی، بهره‌وری آب

میزان مصرف آب

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**

n1584m@yahoo.com

ORCID: ۰۰۰۰-۰۰۰۰-۰۰۰۰-۰۰۰۰

چکیده

خاک‌ورزی حفاظتی با توجه به نقش آن در جلوگیری از فرسایش و حفظ قابلیت مواد آلی خاک، و هم‌چنین نقش آن در حفظ رطوبت و جلوگیری از هدر رفت آب، مورد توجه محققان قرار گرفته است. این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی برنج همراه با آبیاری متناوب، و روش خاک‌ورزی مرسوم همراه با آبیاری دائم (شاهد)، به‌مدت دو سال (۱۴۰۰-۱۳۹۹) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در ایستگاه شاوور مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان اجرا گردید. تیمارها شامل چهار روش خاک‌ورزی حفاظتی، در شرایط آبیاری متناوب، و نیز روش مرسوم (شاهد: گاوآهن-برگردان‌دار همراه با دو بار دیسک در شرایط آبیاری دائم) بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی نشان داد که بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری از نظر عملکرد و نیز صفات زراعی به جز وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مقایسه میانگین-های عملکرد نشان داد روش‌های بی‌خاک‌ورزی، چیزل همراه با دیسک، چیزل‌پکر، و یک بار دیسک، در شرایط آبیاری متناوب، به‌ترتیب ۳۱۳۷، ۲۹۰۰، ۲۸۹۲ و ۲۹۴۰، و شاهد (خاک‌ورزی مرسوم در شرایط آبیاری دائم) ۳۵۰۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آوردند. هم‌چنین نتایج نشان داد که بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری از نظر مصرف و نیز بهره‌وری آب اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شاهد با ۴۱۰۸۴ متر مکعب در هکتار، بیش‌ترین میزان مصرف آب، و با ۰/۰۸۴ کیلوگرم در متر مکعب،کم‌ترین میزان بهره‌وری آب را به خود اختصاص داشت، و در مقابل، بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب با ۲۲۷۵۳ متر مکعب در هکتار، کم‌ترین آب مصرفی، و با ۰/۱۲۸ کیلوگرم در متر مکعب، بیش‌ترین مقدار بهره‌وری آب را به‌دست آورد.

نحوه استناد به این مقاله:

لویمی، ن.، شریفی مالواجردی، ا.، و مختاران، ع. (۱۴۰۴). مقایسه تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر عملکرد برنج و شاخص‌های مصرف آب، *نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی*، ۳۷: ۱۱۲-۹۵. شناسه دیجیتال: https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.14810.746

مقدمه

برنج غذای اصلی نیمی از جمعیت جهان است در حالی که ۱۱ درصد از زمین‌های زراعی دنیا را تشکیل می‌دهد. انتظار می‌رود که تولید غلات در دنیا از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ برای پاسخگویی به رشد تقاضای غذای مردم تا ۵۰ درصد افزایش پیدا کند (Alexandratos & Bruinsma, 2012). در این بین، کمبود آب در تولید برنج در آسیا که دارای ۱۸ میلیون هکتار اراضی آبی برنج است، بسیار جدی است. بنابراین به کارگیری فناوری ماشینی در تولید برنج هم‌زمان با کاهش مصرف آب و حفظ قابلیت عملکرد باید توسعه یابد (Xu *et al*., 2019). هم‌چنین برنج یکی از محصولات مهم کشاورزی و از مهم‌ترین اقلام غذایی مردم نیز در ایران است. سطح زیرکشت برنج در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ برابر با ۸۵۴۸۷۴ هکتار در کل کشور بوده است و استان خوزستان با ۱۷۹۰۸۷ هکتار سومین استان از نظر سطح زیرکشت بعد از استان مازندران با ۲۶۹۹۶۳ هکتار و گیلان با ۲۲۰۰۱۲ هکتار است (Ahmadi *et al*., 2021).

روش مرسوم زراعت برنج در کشور، کشت برنج به صورت نشاء پس از آماده‌سازی زمین به روش گلخرابی[1] است. روش دیگری که هنوز چندان به‌ویژه در مناطق برنج‌خیز مرسوم نشده است، خشکه‌کاری (آبیاری متناوب) برنج یعنی کاشت مستقیم بذر خشک (جوانه‌زده نشده) در خاک خشک (کشت همانند گندم)، و آبیاری متناوب آن با توجه به شرایط خاک است. از طرفی مصرف آب در روش مرسوم تولید برنج زیاد است. مصرف آب در محصول برنج به روش سنتی بسیار زیاد است و خشکه‌کاری برنج می‌تواند مصرف آب آن را کاهش دهد (Xu *et al*., 2019). با توجه به لزوم کاهش مصرف آب، روش خشکه‌کاری (آبیاری متناوب) در سال‌های اخیر مورد توجه محققان و هم‌چنین کشاورزان در برخی استان‌های مهم برنج‌خیز کشور با سرآغاز آن در استان خوزستان شده است. با وجود مزایای ذکر شده برای خشکه‌کاری، محققین مشکلاتی را نیز برای این روش کاشت بر شمرده‌اند. رویش شدید علف‌های هرز مهم‌ترین محدودیت برای خشکه‌کاری برنج است (Rao *et al*., 2007). عملکرد برنج به علت استقرار ضعیف بوته‌ها و رقابت بالای علف‌های هرز اغلب کم‌تر از نشاکاری است (Singh *et al*., 2005).

خاک‌ورزی حفاظتی یکی از پایه‌های مهم کشاورزی پایدار است. خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم می‌تواند در شرایط مختلف مزایایی مانند کاهش مصرف انرژی، کاهش فرسایش آبی و بادی، نیاز به نیروی کار کم‌تر و افزایش مواد آلی خاک را به دنبال داشته باشد (Liang *et al*., 2025; Ding *et al*., 2025). عملیات خاک‌ورزی نامناسب، تشدید اکسیداسیون مواد آلی با شخم متناوب، از بین بردن بقایای گیاهی و خشک شدن متوالی خاک از دلایل کاهش مواد آلی خاک هستند (Toth *et al*., 2025).

Dehghan & Almassi, (2005)، با ارزیابی روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی برای کشت مستقیم برنج در منطقه شاوور نشان دادند که روش خاک‌ورزی با روتیواتور به عمق ۵ سانتی‌متر به دلیل کاهش معنی‌دار در مصرف سوخت، انرژی، زمان مورد نیاز و هزینه خاک‌ورزی، نسبت به روش مرسوم مناسب‌تر است. تعداد خوشه در متر مربع بیش از سایر اجزا تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی قرار گرفت اما عملکرد به عنوان مهم‌ترین جزء تعیین کننده، اختلاف معنی‌داری نداشت. Gilani & Loveimi, (2021)، روش‌های خاک‌ورزی-کاشت برنج با ماشین خاک‌ورز-کاشت نواری، دوبار دیسک و کاشت با خطی‌کار، و کاشت مستقیم با ماشین بی‌خاک‌ورزی را با هم مقایسه نمودند. ایشان گزارش نمودند که روش‌های مذکور از نظر عملکرد اختلاف معنی‌داری نداشتند و به‌طور نسبی روش استفاده از ماشین خاک‌ورز-کاشت نواری بیش‌ترین عملکرد را داشت. Vitali *et al*., (2024)، با مقایسه روش‌های مختلف خاک‌ورزی برای کاشت برنج در منطقه معتدل شمال‌غربی ایتالیا نتیجه گرفتند که با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار از نظر عملکرد بین حداقل خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم، حداقل خاک‌ورزی جایگزین مناسبی برای خاک‌ورزی مرسوم برای بهبود پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی کشت برنج در منطقه معتدل ایتالیا است. عملکرد برنج در این تحقیق بین ۸ تا ۱۰ تن در هکتار بوده و با توجه به نزدیک بودن عملکرد بی‌خاک‌ورزی نسبت به سایر روش‌ها، تحلیل شده که بی-خاک‌ورزی ممکن است برای مناطق با قابلیت عملکرد کم‌تر مناسب باشد.

Mahajan *et al*., (2013)، گزارش دادند که با حذف آب مورد نیاز برای خزانه‌گیری و رشد آن، کندن نشاها، گل خرابی کردن مزرعه، نشاکاری دستی و حذف آب مورد نیاز برای ۱۵ روز اول بعد از انتقال نشاها و نیز اعمال آبیاری متناوب در خشکه‌کاری برنج، مصرف آب حدود ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. Absalan, (2022)، طی تحقیق جامع که به ارزیابی اختصاصی میزان مصرف آب در مزارع استان خوزستان یافته بود، مصرف

1 - Puddling

آب برنج در روش سنتی (آبیاری دائم) را با توجه به بافت خاک، عرض و طول کرت‌ها و نیز روش مدیریت آبیاری بین ۴۶ تا ۷۶ هزار متر مکعب در هکتار گزارش دادند. (Gilani *et al*., 2019)، در پژوهش خود در ارزیابی راندمان مصرف آب ارقام برنج در استان خوزستان میزان مصرف آب آبیاری در روش خشکه‌کاری (آبیاری متناوب) را بین ۲۲ تا ۲۹ هزار متر مکعب در هکتار گزارش کردند.

روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به روش مرسوم به دلیل کاهش هزینه‌های سوخت و نیروی کار، بازده اقتصادی بیش‌تری دارند و صرفه‌جویی در هزینه‌ها در روش‌های خاک-ورزی حفاظتی نسبت به روش مرسوم تا ۲۵ درصد گزارش شده است (Sharma *et al*., 2025). در مقایسه ۲۰ ساله، هزینه‌های عملیاتی در خاک‌ورزی حفاظتی ۹/۸ درصد کم‌تر از خاک‌ورزی مرسوم بود، در حالی که درآمد ناخالص ۲/۳ درصد افزایش یافت (Madarasz *et al*., 2025).

با توجه به خشکسالی‌های اخیر و شرایط تغییر اقلیم، و با لحاظ این که تحقیقات مشخصی در مورد ارزیابی روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر میزان مصرف و بهره‌وری آب، در شرایط خشکه‌کاری برنج، در کشور انجام نگرفته است، این تحقیق جهت بررسی تأثیر سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی در کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن در روش خشکه-کاری (آبیاری متناوب)، صورت گرفت. این پژوهش به‌طور مشخص با هدف مقایسه عملکرد، شاخص‌های مصرف آب و ارزیابی اقتصادی روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط آبیاری متناوب (خشکه‌کاری) و شاهد منطقه (روش خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم که توسط اکثر زارعین به کار می‌رود)، اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور ارزیابی روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط آبیاری متناوب، و شاهد منطقه (روش خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم) به مدت دو سال متوالی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در ایستگاه شاوور مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان برای کشت برنج روی بقایای گندم فصل قبل اجرا گردید. این پروژه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. این پروژه شامل پنج تیمار از جمله چهار روش خاک‌ورزی حفاظتی و روش خاک‌ورزی مرسوم (شکل ۱) به شرح ذیل بود:

۱. بی‌خاک‌ورزی (کاشت مستقیم) (T1)
۲. کم‌خاک‌ورزی (چیزل+دیسک) (T2)
۳. کم‌خاک‌ورزی (چیزل پکر) (T3)
۴. کم‌خاک‌ورزی (یک بار دیسک) (T4)
۵. خاک‌ورزی مرسوم (گاوآهن‌برگردان‌دار+دو بار دیسک) (T5)

در این پروژه برای انجام عملیات بی‌خاک‌ورزی (T1) از دستگاه کاشت مستقیم گاسپاردو استفاده گردید. هم‌چنین در تیمارهای دیگر (T2 تا T5)، برای کاشت بذر برنج از خطی‌کار همدانی استفاده شد.

روش آبیاری برای تیمارهای بی‌خاک‌ورزی، چیزل همراه با دیسک، چیزل پکر و یک بار دیسک (T1 تا T4) به صورت آبیاری متناوب (خشکه‌کاری) و برای خاک‌ورزی مرسوم (T5) به صورت آبیاری دائم (شاهد منطقه) بود. در روش خشکه-کاری، بعد از انجام کشت در خاک خشک و با بذر خشک (جوانه‌زده نشده)، در هر بار آبیاری به اندازه‌ای آب وارد کرت می‌شود که ارتفاع آب آبیاری به ۵ سانتی‌متر برسد و سپس ورود آب به کرت قطع می‌شود. در این روش، آبیاری متناوب اعمال می‌شود و تصمیم‌گیری برای زمان انجام آبیاری بعدی به صورت تجربی و مشاهده‌ای و با شروع ظهور ترک‌های ریز در خاک (حد مجاز تخلیه رطوبت خاک تا ظرفیت مزرعه‌ای ۸۰ درصد) است.

بافت خاک زمین آزمایش سیلت‌کلی بود. رقم مورد استفاده، رقم چمپا با میزان بذر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. تمام تیمارها در شرایط کشت مستقیم (غیرنشایی) صورت گرفت. عملیات پادلینگ در منطقه مرسوم نیست و اختصاص به نشاکاری دارد که با توجه به کشت مستقیم، در هیچ‌یک از تیمارها انجام نگردید. زمان کاشت در سال اول اجرای پروژه در تاریخ ۲۸ خرداد ۱۳۹۹ و در سال دوم به دلیل عدم تأمین آب و مسائل خشکسالی، کشت با تأخیر و در تاریخ ۲۵ تیر ۱۴۰۰ صورت گرفت.

الف- بی‌خاک‌ورزی (کاشت مستقیم)

ب- کم‌خاک‌ورزی (چیزل + دیسک)

ج- کم‌خاک‌ورزی (چیزل پکر)

د- کم‌خاک‌ورزی (یک بار دیسک)

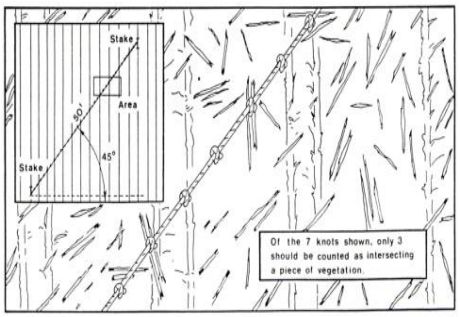
ه- خاک‌ورزی مرسوم (گاوآهن‌برگردان‌دار+ دو بار دیسک)

شکل ۱- تیمارهای مورد مقایسه در این پروژه تحقیقاتی

قبل از اعمال تیمارها و نیز پس از اتمام عملیات خاک‌ورزی و کاشت تیمارها، برای تعیین مقدار بقایای برجای ملنده از محصول قبل (گندم)، از روش برش عرضی- خطی استفاده شد. براساس منابع (Shelton & Jasa, 2009) در این روش یک طناب یا یک متر نواری ۳۰ متری که در فواصل ۳۰ سانتی‌متری علامت‌گذاری شده باشند، با زاویه ۴۵ درجه نسبت به ردیف‌ها و یا خطوط کاشت روی زمین کشیده و عبور داده شد (شکل ۲). با شمارش تعداد علامت‌هایی که بقایای محصول را قطع می‌کنند، درصد بقایای گیاهی به دست می‌آید. بقایای ایستاده در این حالت شمارش نمی‌شود. این کار ۳ مرتبه تکرار شد و میانگین تکرارها برابر میزان بقایای گیاهی به درصد است.

میزان بقایا، براساس روش برش عرضی-خطی (شکل ۲)، در قبل از اعمال تیمارها ۸۰ درصد بود و بعد از اجرای آن در تیمارهای مختلف به ترتیب ۷۵، ۲۲، ۳۴، ۳۲ و ۵ درصد برای تیمارهای بی‌خاک‌ورزی، چیزل همراه با دیسک، چیزل پکر، یک بار دیسک و روش مرسوم بود.

با لحاظ حاشیه‌های مزرعه، عرض کل زمین آزمایش ۳۵ متر و طول آن ۴۰ متر در نظر گرفته شد (۱۴۰۰ متر مربع). ابعاد هر کرت آزمایشی در هر تکرار ۱۰×۶ متر و فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین تکرارها ۳ متر در نظر گرفته شد. شاخص‌های مورد اندازه‌گیری شامل عملکرد و اجزا عملکرد محصول شامل درصد سبز شدن بذرها، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه در خوشه، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و عملکرد زیستی بودند. هم‌چنین دو شاخص مهم آب آبیاری شامل مقدار مصرف آب و بهره‌وری آن اندازه‌گیری و ارزیابی شدند. بعد از نهایی شدن اندازه‌گیری‌ها و تجزیه واریانس داده‌ها براساس قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در محیط برنامه نرم‌افزار MSTATC، مقایسه میانگین شاخص‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.



الف

ب

شکل ۲- اندازه‌گیری بقایا براساس روش برش عرضی-خطی(الف) شماتیک تئوری اندازه‌گیری بقایا و (ب) اندازه‌گیری بقایا در مزرعه

شاخص‌های عملکرد و اجزا عملکرد محصول

درصد سبز شدن بذرها

در هر کرت آزمایشی ۱۰ تا ۱۵ روز پس از کاشت و با نادیده گرفتن نیم متر از هر طرف کرت به عنوان حاشیه، تعداد ۵ نقطه تصادفی با انداختن کادر ۵۰×۵۰ سانتی‌متر معین شد و تعداد بذرهای سبز شده (بوته‌های روییده) در محدوده کادرها شمارش و میانگین تعداد بوته سبز شده در متر مربع تعیین شد. درصد سبز شدن بذرها نیز با استفاده از **Error! Reference source not found.**۱ (Devkota *et al*., 2023) به دست آمد.

$$PE=\frac{n}{N}\times 100 \qquad (۱)$$

در اینجا: PE درصد سبز شدن بذرها، n: تعداد کل بذهای سبز شده در واحد سطح، N: تعداد کل بذرهایی است که به صورت اسمی در واحد سطح کشت شده و بر اساس قوه نامیه می‌بایست سبز شوند.

ارتفاع بوته

در هر کرت آزمایشی، در زمان برداشت و با نادیده گرفتن یک متر از هر طرف کرت به عنوان حاشیه، از میان بوته‌های موجود در آن کرت تعداد ۲۰ خوشه اصلی را به‌طور تصادفی معین کرده، و ارتفاع آنها را اندازه‌گیری، و میانگین آنها به عنوان ارتفاع بوته در هر کرت در نظر گرفته شد.

تعداد خوشه در واحد سطح و شاخص برداشت

در هر کرت آزمایشی با نادیده گرفتن نیم متر از هر طرف کرت به عنوان حاشیه، تعداد ۵ نقطه تصادفی با انداختن کادر ۵۰×۵۰ سانتی‌متر تعیین گردید و تمام بوته‌های موجود در کادر به همراه خوشه‌ها به صورت کف‌بر برداشت، و تعداد خوشه آنها شمارش و ثبت شد. هم‌چنین نمونه‌ها برای مدت ۴۸ ساعت در آون با درجه حرارت ۵۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا کاملاً خشک شود. سپس دانه‌های شلتوک و نیز دانه‌های شلتوک همراه با اندام‌های رویشی خشک شده را توزین کرده و شاخص برداشت از رابطه ۲ (Wahid *et al*., 2022) محاسبه گردید.

$$HI = \frac{Y_p}{D_m} \times 100 \qquad (۲)$$

در اینجا: HI: شاخص برداشت (درصد)، Yp: وزن دانه‌های شلتوک برداشت شده در واحد سطح (گرم)، Dm: وزن کل ماده خشک برداشت شده در واحد سطح (گرم) است.

وزن هزار دانه

برای این منظور، تعداد ۱۰۰۰ دانه از دانه‌های شلتوک جدا شده برای تعیین شاخص برداشت، شمارش و توزین گردید. هم‌چنین مقدار ۱۰۰ گرم دانه به دقت توزین و برای تعیین درصد رطوبت به آزمایشگاه ارسال شد. پس از تعیین درصد رطوبت بر مبنای وزن خشک، وزن هزار دانه با رطوبت ۱۴٪ و با استفاده از رابطه ۳ (Karki *et al*., 2018) تعیین شد.

$$Y_{ws} = \frac{y_f \times (100 - VL)}{100 - W_s} \qquad (۳)$$

در اینجا: Yws: وزن هزار دانه با رطوبت استاندارد (گرم)، yf: وزن هزار دانه با رطوبت مزرعه (گرم)، VL: درصد رطوبت دانه در مزرعه، Ws: درصد رطوبت استاندارد است.

تعداد دانه در خوشه

با استفاده از وزن دانه‌های شلتوک جدا شده از خوشه‌های بریده شده برای شاخص برداشت و وزن هزاردانه، تعداد دانه در واحد سطح محاسبه، و با تقسیم تعداد دانه بر تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه به دست آمد.

عملکرد شلتوک

برای تعیین عملکرد شلتوک در واحد سطح، با رسیدن محصول و زمان برداشت، ابتدا ۱/۵ متر از حواشی کرت حذف و سپس برداشت در مساحت ۱۰ متر مربع از درون کرت انجام شد. خوشه‌های برداشت شده توسط خرمن‌کوب شالی، کوبیده، و شلتوک‌ها جدا و توزین شدند. برای تعیین رطوبت شلتوک، بلافاصله بعد از جداسازی شلتوک‌ها از خوشه‌ها، آنها را کاملاً مخلوط کرده و از آنها نمونه‌گیری کرده و نمونه برای تعیین درصد رطوبت به آزمایشگاه ارسال شد. عملکرد شلتوک با رطوبت مزرعه با استفاده از رابطه ۳ به عملکرد شلتوک در واحد سطح با رطوبت ۱۴٪ تبدیل شد.

مقدار و بهره‌وری مصرف آب

محاسبه آب مصرف شده با توجه به زمان اتمام آبیاری و با در نظر گرفتن دبی ورودی آب هر کرت براساس رابطه ۴ (Lateef *et al*., 2024) صورت گرفت. برای محاسبه زمان اتمام آبیاری هر کرت از کرنومتر استفاده گردید. هم‌چنین محاسبه دبی براساس نصب WSC فلوم در ورودی آب هر کرت انجام شد (شکل ۳). برای این منظور برای هر کرت، پس از نصب فلوم، تراز نمودن آن و آب‌بندی اطراف آن، اشل فلوم در حللت ثبات جریان، اندازه‌گیری شده و اندازه‌گیری دبی با توجه تیپ فلوم، تیپ چهار، براساس رابطه ۵ (Vanani & Ostad-Ali-Askari, 2022) انجام گردید.

$$V = Q * T \qquad (۴)$$

در این اینجا:V : مصرف آب (متر مکعب)، Q: دبی (متر مکعب در ثانیه) و T: زمان (ثانیه) است.

شکل ۳- اندازه‌گیری میزان مصرف آب در کرت‌های آزمایشی بوسیله wsc فلوم

$$Q = 0/0294\ H^{2/102} \qquad (۵)$$

در این اینجا: Q : دبی بر حسب لیتر در ثانیه، H: اندازه اشل فلوم بر حسب سانتی‌متر است.

محاسبه آب مصرفی براساس مجموع مصرف آب در کل فصل برای هر کرت آزمایشی صورت گرفت. هم‌چنین مقدار

آب مصرف شده در واحد سطح با تقسیم مجموع مقدار آب مصرف شده برای هر کرت در طول فصل رشد بر مساحت کرت (متر مربع) به دست آمد و با یک تناسب، مقدار مصرف آب در هر هکتار محاسبه شد. هم‌چنین شاخص بهره‌وری آب براساس رابطه ۶ (Mubarak *et al*., 2025) از تقسیم عملکرد محصول در هر کرت به مقدار آب مصرف شده در آن کرت محاسبه گردید.

$$\mathrm{Wp} = \frac{Y}{V} \qquad (۶)$$

در اینجا: Wp: میزان بهره‌وری آب (کیلوگرم در مترمکعب)، Y: عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) و V: حجم آب مصرفی (متر مکعب بر هکتار) است.

ارزیابی اقتصادی

در این پژوهش برای ارزیابی و مقایسه اقتصادی روش‌های گوناگون خاک‌ورزی-آبیاری، از روش بودجه‌بندی جزئی[1] استفاده شد. روش بودجه‌بندی جزئی در مواردی به‌کار می‌رود که تغییرات کوچکی در سامانه تولید ایجاد می‌شود و با تعیین اثر این تغییرات بر هزینه‌ها و درآمدها، در مورد جایگزینی آنها تصمیم‌گیری می‌شود (Kelton *et al*., 2025). در این روش پس از مرتب کردن روش‌های مورد بررسی، از نظر تغییر درآمد خالص، تیمارها یک به یک مقایسه می‌شوند تا بهترین روش از نظر سود خالص نهایی مشخص گردد. در این تحقیق نیز تحلیل و مقایسه درآمد خالص هر یک از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به شاهد انجام شد. این ارزیابی از دیدگاه منافع کشاورزان بر مبنای قیمت واقعی نهاده‌ها شامل نهاده‌های مصرفی، نیروی انسانی، تراکتور و ادوات، و نیز اجاره زمین و آب‌بهاء و نیز درآمد حاصل از فروش محصول انجام گردید. هم‌چنین با توجه به تغییرات قیمت و تورم، برای درک بهتر، نسبت درآمد به هزینه در هر یک از روش‌های خاک‌ورزی-آبیاری مقایسه شدند.

نتایج و بحث

صفات زراعی

نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که بین سال‌ها، از نظر عملکرد، عملکرد زیستی، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در متر مربع و وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به عبارتی دو سال اجرای آزمایش فقط از نظر درصد سبز شدن، دانه در خوشه و شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). این نتایج نشان داد بین روش‌های خاک‌ورزی-آبیاری از نظر عملکرد و نیز صفات زراعی به جز وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری مشاهد نشد. هم‌چنین اثر متقابل این روش‌ها با سال، در عملکرد و هیچ یک از صفات زراعی دارای اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که از نظر عملکرد سال اول با میزان ۴۰۷۱ و سال دوم با میزان ۲۰۸۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر را داشتند. هم‌چنین بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری به‌طور نسبی شاهد (خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم) با ۳۵۰۹ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین، و چیزل پکر-آبیاری متناوب با ۲۸۹۲ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد را به دست آوردند، این در حالی است که بین چهار روش خاک‌ورزی حفاظتی-آبیاری متناوب به‌طور نسبی بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب با کسب عملکرد ۳۱۳۷ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد را داشت (شکل ۴).

از نظر عملکرد زیستی نیز شاهد با ۱۱۰۲۶ کیلوگرم در هکتار بیش‌تر از سایر روش‌ها بود و کم‌ترین عملکرد زیستی با ۹۹۳۶ کیلوگرم در هکتار به چیزل‌پکر-آبیاری متناوب تعلق داشت. هم‌چنین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط آبیاری متناوب در یک سطح و بین ۱۹/۳ تا ۱۹/۶ گرم بودند، ولی شاهد با کسب ۲۰/۶ گرم بیش‌ترین مقدار را کسب کرد (جدول ۲). شاهد در همه صفات زراعی به جز درصد سبز شدن، بیش‌ترین مقادیر را داشت. اما بین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر در صفات زراعی به روش‌های مختلف تعلق داشت و هیچ‌یک از روش‌ها برتری در تمام صفات را به دست نیاورد. هم‌چنین اختلاف در مقادیر صفات زراعی بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری چشم‌گیر نبود و این صفات در یک سطح قرار گرفتند (جدول ۲).

معنی‌دار شدن عملکرد و اکثر صفات زراعی در اثر سال بیشتر با تأخیر حدود یک ماهه کاشت در سال دوم به دلایل محدودیت تأمین آب ایستگاه تحقیقاتی شاوور در آن سال مرتبط است، به‌طوری که سال دوم با محدودیت کوتاه بودن فصل کشت روبرو شد و لذا توسعه گیاه و رسیدگی کامل آن در این سال با مشکل روبرو گردید. در نتیجه این مسئله، سال دوم با اختلاف زیاد عملکرد کم‌تری را نسبت به سال اول به

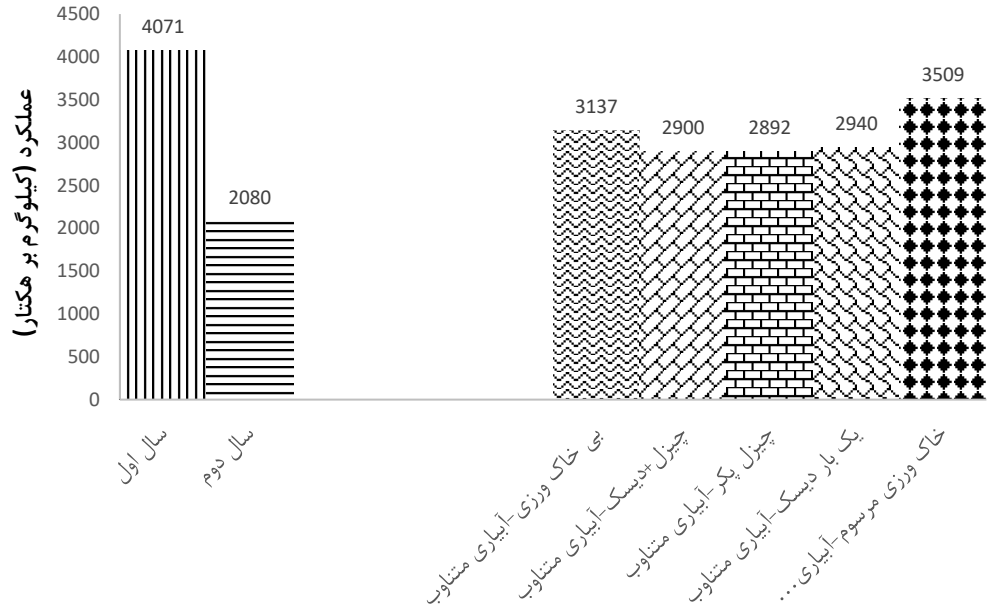
1 - Partial budgeting

خود اختصاص داد. کشاورزان منطقه، کشت برنج را از دهم خرداد تا ابتدای تیر ماه انجام می‌دهند. منابع تحقیقاتی (Limochi *et al*., 2013) دیرترین زمان کاشت توصیه شده را تا دهه اول تیر ماه ذکر کرده‌اند.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی با ارائه میانگین مربعات

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد شلتوک	عملکرد زیستی	درصد سبز شدن	ارتفاع بوته	تعداد خوشه در متر مربع	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت
سال(Y)	۱	۲۹۷۲۲۶۴۴*	۱۱۱۷۴۷۰۰۰*	۱۶۸	۲۰۶۴۳**	۴۸۱۶۰**	۴۱۱	۱۲۶**	۴۷۶
خطای(a)	۴	۲۰۰۰۹۰۳	۱۵۸۶۲۹۸۶	۴۲	۴۲۱	۱۰۷	۷۴۳	۱/۶	۱۴۹
خاک‌ورزی-آبیاری (T)	۴	۴۱۱۴۵۳	۱۰۷۵۱۶۶	۲/۵	۸۲	۴۶۶	۵۹	۱/۵**	۱۱
سال در خاک‌ورزی-آبیاری(YT)	۴	۴۲۷۰۴	۹۲۸۳۳	۹/۲	۲/۹	۴۱۳	۶/۷	۰/۲۳	۱۲
خطای(b)	۱۶	۲۰۰۱۶۷	۱۲۱۸۹۵	۶/۲	۷۱	۴۸۴	۱۰۴	۰/۱۹	۱۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۵	۱۰/۶	۳/۳	۸/۴	۱۰/۴	۱۴/۳	۲/۲	۱۳/۲

* و ** به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۴- میزان عملکرد در سال‌ها و روش‌های مختلف خاک‌ورزی

در واقع روند تغییر عملکرد برنج از اولین زمان ممکن کاشت در منطقه تا تاریخ مشخصی، افزایشی است، اما بعد از آن زمان، کاهش عملکرد به‌صورت خطی گزارش شده است (Linscombe *et al*., 2004).

عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی از نظر عملکرد نشان از عدم تأثیرپذیری برنج از عملیات خاک‌ورزی دارد. تحلیل این است که برنج به دلیل مرطوب بودن زمین آن در طول فصل نسبت به سایر محصولات به تخلخل خاک کم‌تری برای توسعه ریشه نیاز دارد. نتایج سایر تحقیقات در منطقه نیز همگی دال بر این موضوع است. عدم متأثر بودن عملکرد برنج از روش خاک‌ورزی در بسیاری از تحقیقات چندین ساله در داخل کشور (Gilani, 2008; Gilani & Loveimi, 2021) و در خارج (Li *et al*., 2024; Guo *et al*., 2021; Ren *et al*., 2021)، در شرایط متفاوت کشت هم‌چون وجود مالچ، آبیاری دائم و نیز در شرایط آبیاری متناوب برنج همچون شرایط خشکه‌کاری اذعان شده است. هم‌چنین عدم معنی‌دار شدن اثر متقابل سال و روش خاک‌ورزی، با وجود تاریخ کاشت متفاوت در دو

سال مورد آزمایش، باز دلالت بر قوت نتایج مربوط به مستقل بودن عملکرد از روش خاک‌ورزی در کشت برنج دارد.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات زراعی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح ۵٪*

عامل	عملکرد زیستی (kg)	درصد سبز شدن (٪)	ارتفاع بوته (cm)	تعداد خوشه در متر مربع ($n.m^{-1}$)	تعداد دانه در خوشه ($n.m^{-1}$)	وزن هزار دانه (g)	شاخص برداشت (٪)
سال:							
سال اول (Y_1)	۱۲۲۹۳a	۷۸/۲a	۱۲۷/۲a	۲۵۰/۸a	۷۴/۸a	۲۱/۷a	۳۳/۲a
سال دوم (Y_2)	۸۴۳۳b	۷۳/۴a	۷۴/۷b	۱۷۰/۷b	۶۷/۴a	۱۷/۶b	۲۵/۲a
خاک‌ورزی-آبیاری:							
بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب(T_1)	۱۰۴۸۰a	۷۶/۳a	۱۰۱/۵a	۲۱۱/۱a	۷۱/۹a	۱۹/۵b	۲۹/۴a
چیزل+دیسک-آبیاری متناوب(T_2)	۱۰۰۹۰a	۷۵/۸a	۱۰۰/۸a	۲۰۹/۳a	۶۷/۵a	۱۹/۳b	۲۸/۶a
چیزل‌پکر-آبیاری متناوب(T_3)	۹۹۳۶a	۷۶/۵a	۹۶/۱a	۲۰۳/۶a	۶۹/۵a	۱۹/۶b	۲۸/۵a
یک بار دیسک-آبیاری متناوب(T_4)	۱۰۲۸۳a	۷۴/۸a	۹۹/۹a	۲۰۴/۳a	۷۰/۸a	۱۹/۴b	۲۷/۹a
خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم(T_5)	۱۱۰۲۶a	۷۵/۶a	۱۰۶/۴a	۲۲۵/۵a	۷۵/۹a	۲۰/۶a	۳۱/۵a

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد احتمال، تفاوت معنی‌داری ندارند

پارامترهای آب

آب مصرفی

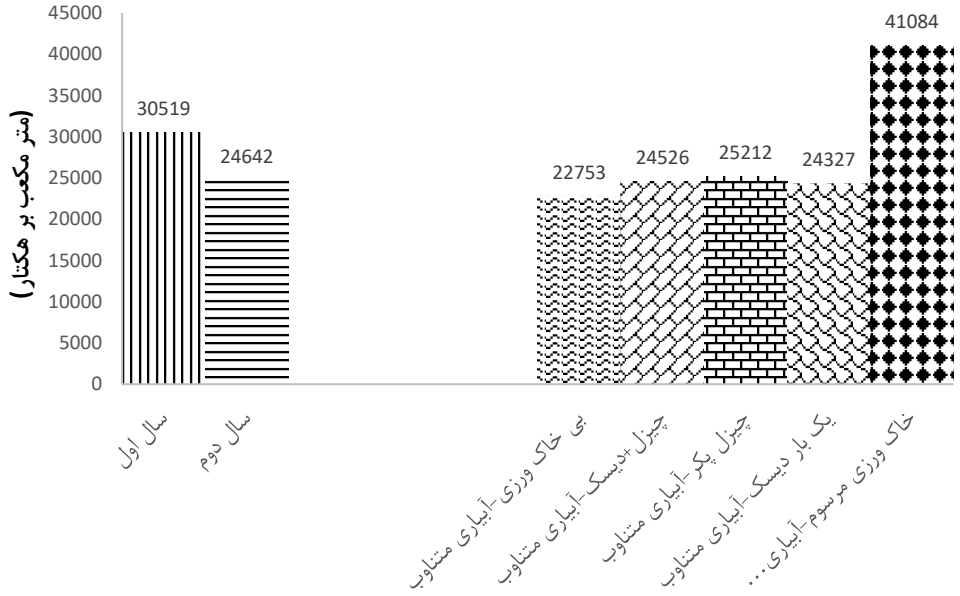
نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که بین سال و نیز بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری از نظر مصرف آب اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود داشت، ولی در اثر متقابل این دو عامل اختلاف معنی‌داری در این صفت مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان مصرف آب سال اول ۳۰۵۱۹ و سال دوم ۲۴۶۴۲ متر مکعب در هکتار بود، و نیز بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری، شاهد (خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم) با میزان ۴۱۰۸۴ و بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب با میزان ۲۲۷۵۳ متر مکعب در هکتار به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین آب مصرفی را داشتند (شکل ۵). سایر روش‌ها از نظر آب مصرفی بیش‌تر نزدیک به روش بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب بودند، به‌طوری که چیزل همراه با دیسک (T_2)، چیزل پکر (T_3) و یک بار دیسک (T_4) در شرایط آبیاری متناوب به‌ترتیب ۲۴۵۲۶، ۲۵۲۱۲ و ۲۴۳۲۷ متر مکعب در هکتار آب مصرف کردند (شکل ۵).

معنی‌دار شدن آب مصرفی در اثر سال متأثر از تأخیر حدود یک ماهه کاشت در سال دوم است، به‌طوری که سال دوم در اثر کوتاه شدن فصل کشت، میزان آب مصرفی کم‌تری به خود اختصاص داد. هم‌چنین تفاوت معنی‌دار روش‌های مختلف خاک‌ورزی از نظر مصرف آب، به ماهیت آبیاری در روش‌های مذکور بستگی دارد، به‌طوری که در شاهد، روش آبیاری، غرقاب دائم بوده در حالی که در سایر روش‌ها غرقاب متناوب یا به عبارتی روش خشکه‌کاری، روش آبیاری است. لذا میزان آب مورد نیاز بیش‌تر برای شاهد (T_5) به دلیل روش آبیاری غرقابی دائم قابل انتظار بود. این مسئله باعث گردید که تفاوت میزان آب مصرفی این تیمار با سایر تیمارها نزدیک دو برابر باشد.

جدول۳- تجزیه واریانس مرکب شاخص‌های مصرف آب با ارائه میانگین مربعات

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		آب مصرفی	بهره‌وری آب
سال(Y)	۱	۲۵۹۰۶۱۰۹۸**	۰/۰۲۱*
خطای(a)	۴	۵۶۵۳۹۳	۰/۰۰۳
خاک‌ورزی-آبیاری(T)	۴	۱۳۸۷۰۳۶۷۲۱**	۰/۰۰۲**
سال در خاک‌ورزی-آبیاری(YT)	۴	۵۱۳۱۰۵۲	۰/۰۰۰۱
خطای(b)	۱۶	۱۰۹۰۹۶۶۵	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۲/۹	۱۴/۳

* و ** به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



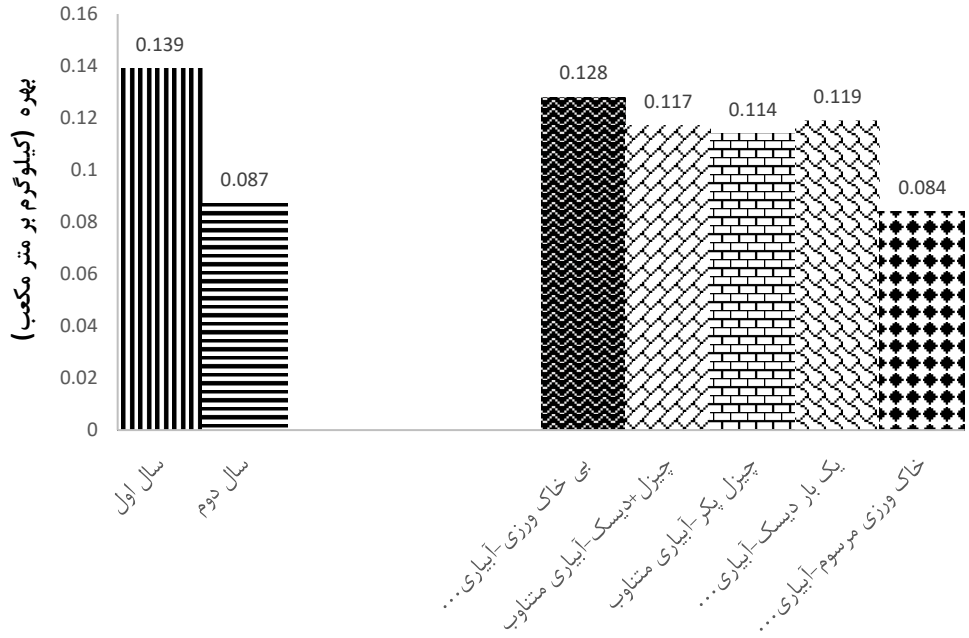
شکل ۵- میزان مصرف آب در سال‌ها و روش‌های مختلف خاک‌ورزی

تمام منابع بر کاهش آب مصرفی در روش خشکه‌کاری (آبیاری متناوب) تأکید می‌کنند. میزان مصرف آب در روش آبیاری دائم کشت برنج در استان خوزستان ۷۶-۴۶ هزار مترمکعب در هکتار گزارش شده است (Absalan, 2022)، اما در مقابل، این عدد برای روش خشکه‌کاری ۲۹-۲۲ هزار مترمکعب در هکتار است (Gilani *et al*., 2019). مقایسه چهار روش آبیاری متناوب (خشکه‌کاری) با یکدیگر نشان می‌دهد که تفاوت حداکثر ۱۲ درصدی از نظر مصرف آب با یکدیگر دارند. در این زمینه باید به دو مسئله عمق خاک‌ورزی و در نتیجه تمایل بیش‌تر به نفوذ آب در عمق بیش‌تر، و نیز وجود مالچ بقایا و تأثیر آن در حفظ رطوبت و عدم زود خشک شدن زمین اشاره کرد. لذا روش بی‌خاک‌ورزی (T_1) به دلیل اعمال نکردن خاک‌ورزی، و نیز داشتن بیش‌ترین بقایا روی سطح، کم‌ترین میزان آب مصرفی را داشت. هم‌چنین بین سه روش دیگر، با توجه به عمق خاک‌ورزی یکسان (حدود ۱۵ سانتی‌متر) و نیز میزان بقایای سطحی نزدیک به هم، در مقادیر مصارف آب تفاوت کمی وجود داشت.

بهره‌وری آب

نتایج تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که بین سال و نیز بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری از نظر بهره‌وری آب اختلاف معنی‌داری به ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ وجود داشت ولی در اثر متقابل این دو عامل اختلاف معنی‌داری در این صفت مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بهره‌وری آب سال اول به میزان ۰/۱۳۹ و سال دوم به میزان ۰/۰۸۷ کیلوگرم در متر مکعب بود. هم‌چنین بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری، روش بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب با میزان ۰/۱۲۸ و شاهد (خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم) با میزان ۰/۰۸۴ کیلوگرم در متر مکعب به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری آب را داشتند (شکل ۶). سایر

روش‌ها از نظر بهره‌وری آب بینابین دو روش بی‌خاک‌ورزی و مرسوم بودند، به‌طوری که بهره‌وری آب چیزل همراه با دیسک (T_2)، چیزل‌پکر (T_3) و یک بار دیسک (T_4)، در شرایط آبیاری متناوب، به‌ترتیب ۰/۱۱۷، ۰/۱۱۴ و ۰/۱۱۹ کیلوگرم در متر مکعب بود (شکل ۶).



شکل ۶- میزان بهره‌وری آب در سال‌ها و روش‌های مختلف خاک‌ورزی

به‌طور کلی شاخص بهره‌وری آب با میزان عملکرد رابطه مستقیم، و با میزان مصرف آب رابطه عکس دارد. معنی‌دار شدن بهره‌وری آب در اثر سال بیش‌تر متأثر از تأخیر حدود یک ماهه کاشت در سال دوم بوده، به‌طوری که همان‌طور که ذکر شد، سال دوم در اثر کوتاه شدن فصل کشت، میزان آب مصرفی کم‌تری به خود اختصاص داد، و این تأخیر به قدری بود که اثر کاهشی آن روی عملکرد، بیش‌تر بود. لذا با توجه به روند بیش‌تر کاهش عملکرد نسبت به کاهش مصرف آب در سال دوم، میزان بهره‌وری آب در آن سال نسبت به سال اول کم‌تر گردید. هم‌چنین تفاوت معنی‌دار بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری از نظر بهره‌وری آب، به ماهیت آبیاری در روش‌های مذکور بستگی دارد، به‌طوری که در شاهد، روش آبیاری، آبیاری دائم بوده در حالی که در سایر روش‌ها، روش آبیاری متناوب (خشکه‌کاری)، روش آبیاری است.

برتر بودن روش‌های آبیاری متناوب بر روش آبیاری دائم از نظر بهره‌وری آب، این نتیجه را به‌طور روشن بیان می‌نماید که کارایی آبیاری با استفاده از روش مرسوم آبیاری پایین بوده و با به کارگیری روش خشکه‌کاری می‌توان به‌طور مشخص در افزایش بهره‌وری آب سهیم بود. البته عدم وجود اختلاف معنی‌دار در اثر متقابل سال و روش خاک‌ورزی در این صفت، نشان از عدم تأثیر نتایج از شرایط سال می‌دهد، به‌طوری که با وجود این که دو سال آزمایش از نظر زمان کاشت و میزان آب مصرفی تفاوت داشتند، ولی باز روش‌های آبیاری متناوب از نظر بهره‌وری آب بر آبیاری دائم برتر بودند.

هم‌چنین بیش‌تر بودن شاخص بهره‌وری آب در روش بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب، در مقایسه با سایر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی-آبیاری متناوب، می‌تولند با میزان بقلیای سطحی و توانایی آنها در جلوگیری از تبخیر و حفظ رطوبت مرتبط باشد (Liebhard *et al*., 2022). به‌عبارتی روش بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب هم در میزان مصرف آب، کم‌ترین مقدار را داشته و هم عملکرد بیش‌تری را کسب نموده است و لذا کسب رتبه اول در شاخص بهره‌وری آب توسط این روش در بین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی-آبیاری متناوب منطقی است.

ارزیابی اقتصادی

ارزیابی اقتصادی نشان داد که همه روش‌های خاک‌ورزی-آبیاری مورد تحقیق، اقتصادی بوده و نسبت درآمد ناخالص به هزینه بیش از یک است. از نظر هزینه، روش شاهد بیش‌ترین

مقدار هزینه را به خود اختصاص داد، در حالی‌که تیمار بی‌خاک‌ورزی–آبیاری متناوب با میزان ۰/۹۱ نسبت به شاهد، کم‌ترین هزینه را داشت. هم‌چنین براساس ارزیابی درآمد خالص، همه روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی–آبیاری متناوب درآمدی کم‌تر از شاهد داشتند و بین این روش‌ها، روش بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب با میزان ۰/۸۹ نسبت به شاهد، بیش‌ترین درآمد خالص را کسب کرد (جدول ۴).

پایین بودن هزینه در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی-آبیاری متناوب نسبت به شاهد با توجه کم شدن عملیات ماشینی قابل انتظار بود و هم‌چنین روش بی‌خاک‌وری-آبیاری متناوب به‌دلیل عدم استفاده از وسیله خاک‌ورزی، کم‌ترین هزینه را کسب نمود. از نظر درآمد خالص، روش شاهد با توجه به کسب بیش‌ترین عملکرد، در رتبه اول قرار گرفت و روش بی‌خاک‌وری-آبیاری متناوب با توجه به کسب بیش‌ترین عملکرد نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و نیز کسب کم‌ترین هزینه نسبت به آنها، بعد از روش شاهد، بیش‌ترین درآمد خالص را کسب نمود.

نکته مهم که در بررسی هزینه‌ها و در نتیجه درآمد خالص باید مورد توجه قرار گیرد، روش محاسبه هزینه آب‌بهاء است. متاسفانه براساس عرف منطقه و نیز قانون شرکت‌های دولتی توزیع آب آبیاری، اساس محاسبه اجرت آب کشاورزی بر مبنای سطح است و میزان آب‌بهاء هر هکتار بین آبیاری متناوب و آبیاری دائم تفاوتی ندارد. لذا در صورتی که روش محاسبه اجرت آب آبیاری به شکل حجمی تغییر یابد، انتظار می‌رود که روش‌هایی که آب مصرفی کم‌تر دارند، با کاهش هزینه آنها، اقتصادی‌تر شوند و در این تحقیق نیز روش‌های خاک‌وری-آبیاری متناوب به‌دلیل کم بودن مصرف آب آنها نسبت به روش شاهد، از هزینه کم‌تر و درآمد خالص بیش‌تر بهره ببرند.

جدول ۴- ارزیابی اقتصادی روش‌های خاک‌ورزی-آبیاری

عنوان	بی‌خاک-ورزی-آبیاری متناوب	چیزل+دیسک-آبیاری متناوب	چیزل‌پکر-آبیاری متناوب	یک بار دیسک-آبیاری متناوب	خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم (شاهد)
هزینه نسبت به شاهد	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۲	۱
نسبت درآمد ناخالص به هزینه	۲/۶۵	۲/۴۳	۲/۴۵	۲/۵۱	۲/۷۳
درآمد خالص نسبت به شاهد	۰/۸۹	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۹	۱

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، از نظر عملکرد محصول، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری (چهار روش خاک‌ورزی حفاظتی-آبیاری متناوب و روش خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم) در کشت برنج در استان خوزستان وجود ندارد و به‌طور نسبی شاهد (خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم) بیش‌ترین، و چیزل‌پکر-آبیاری متناوب کم‌ترین عملکرد را به دست آوردند. از نظر میزان مصرف آب و نیز بهره‌وری آب، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی-آبیاری در کشت برنج در استان خوزستان وجود دارد و شاهد (خاک‌ورزی مرسوم-آبیاری دائم) بیش‌ترین مصرف و کم‌ترین بهره‌وری آب را کسب کرد، و در مقابل، روش بی‌خاک‌ورزی-آبیاری متناوب، کم‌ترین مصرف و بیش‌ترین بهره‌وری آب را به‌دست آورد.

مقایسه بین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی-آبیاری متناوب دال بر نتایج بهتر روش بی‌خاک‌ورزی در عملکرد بیش‌تر، مصرف کم‌تر آب و نیز میزان بهره‌وری آب بیش‌تر نسبت به روش‌های کم‌خاک‌ورزی دارد. بنابراین برای توسعه کشت برنج در استان خوزستان و با لحاظ مصرف آب کم‌تر و بهره‌وری بیش‌تر آن، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی هم‌چون کم‌خاک‌ورزی و در صورت وجود دستگاه کاشت مستقیم، روش بی‌خاک‌ورزی، در شرایط آبیاری متناوب (خشکه‌کاری) توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی که در انجام این پژوهش حمایت کرده است، تشکر و قدردانی می‌شود.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

- نویسنده اول: اجرای پژوهش در شرایط مزرعه، داده‌برداری، تجزیه داده‌ها و نوشتن گزارش پژوهشی
- نویسنده دوم: انتخاب تیمارها، تعیین روش اجرای پژوهش و مشاوره در اجرای پژوهش
- نویسنده سوم: مشاوره در چگونگی اندازه‌گیری شاخص‌های مصرف آب و نظارت بر داده‌برداری و تجزیه این داده‌ها

دسترسی به داده‌ها

اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. جزئیات بیشتر و داده‌های مورد نیاز در صورت درخواست، در اختیار قرار خواهند گرفت.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها است. همچنین در این پژوهش از هوش مصنوعی در هیچ از یک از موارد تحقیق و نوشتن مقاله استفاده نشده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ گونه منافع مالی رقابتی یا روابط شخصی شناخته‌شده‌ای که ممکن است بر کار گزارش‌شده در این مقاله تأثیر گذاشته باشد، وجود ندارد.

حمایت مالی

این کار با حمایت مالی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با شماره پروژه ۰-۱۴-۱۴-۰۱۱-۹۹۰۱۷۳ انجام شده است.

منابع

Absalan, Sh. (2022). Evaluation of deficit or excess of water allocation in farms irrigation networks in khuzestan province. Final report of project. Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian).

Ahmadi, H., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Mohamadnia, Sh., Afandiaripor, A., & Abastaghani, R. (2021). Agricultural Statistics for the 2019-2020 Crop Year (Volume 1: Crop Production). Ministry of Agriculture. Deputy for Planning and Economics. Information and Communication Technology Center. (in Farsi).

Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. https://doi.org/10.22004/ag.econ.288998

Dehghan, A., & Almassi, M. (2005). The effect of different tillage methods on energy consumption indices, yield and yield components of rice cultivars using dry seeding method in Shavour area of Khuzestan. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Shahid Chamran University. (In Persian).

Devkota, P., Yadav, S. P., Bhattarai, S., & Bhujel, S. (2023). Effect of Seed Priming on Germination, Seedling Emergence and Development of Spring Rice Var. Hardinath-1. *SAARC Journal of Agriculture*, *21*(2), 81-93. https://doi.org/10.3329/sja.v21i2.62917

Ding, W., Sun, L., Qi, Z., Li, S., Filipović, V., Wu, X., & He, H. (2025). Conservation tillage enhances both organic and inorganic carbon in dryland: Insights from a 20-year field experiment and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *393*, 109845. https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109845

Gilani, A. (2008). The effect of minimum tillage methods with wheat stubble mulch on yield and yield components of three rice cultivars under dry seeding condition in Khuzestan. Final report of the research project. Rice Research Institute of Iran. (In Persian).

Gilani, A., Absalan, Sh,.Jalali, S., & Behbehani, L. (2019). The effect of sprinkler irrigation on grain yield, yield components and water use efficiency of rice cultivars under drill-seed cultivation in Khuzestan. Journal of Irrigation Science and Engineering. 42(2): 63-73. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25885952.1398.42.2.5.0

Gilani, A., & Loveimi, L. (2021). Evaluation of different tillage-planting methods and different seed rates under dry seeding of rice. Agricultural Mechanization & Systems Research. 22(77): 85-100. (In Persian). https://doi.org/10.22092/amsr.2021.341744.1341

Guo, L., Zhang, L., Liu, L., Sheng, F., Cao, C., & Li, C. (2021). Effects of long-term no tillage and straw return on greenhouse gas emissions and crop yields from a rice-wheat system in central China. Agriculture, Ecosystems & Environment. 322: 107650. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107650

Karki, S., Poudel, N. S., Bhusal, G., Simkhada, S., Regmi, B. R., Adhikari, B., & Poudel, S. (2018). Growth parameter and yield attributes of rice (Oryza sativa) as influenced by different combination of nitrogen sources. *World J. Agric. Res*, *6*(2), 58-64. https://doi.org/10.12691/wjar-6-2-4

Kelton, J. A., Flanders, W. A., Ball, E. P., Bagnall, D. K., & Honeycutt, C. W. (2025). Partial Budgets Quantify Economic Outcomes of Soil Health Management for Farmers. *The Journal of Extension*, *63*(3), 11.

153-255. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)93004-1

Ren, Y., Cheng, S., Pan, S., Tian, H., Duan, M., Wang, S., & Tang, X. (2021). Effect Of conservation tillage practices on aroma, yield and quality of mechanical-transplanting fragrant rice. *Journal of Plant Interactions*, *16*(1), 522-532. https://doi.org/10.1080/17429145.2021.1999511

Sharma, R., Rallapalli, S., & Magner, J. (2025). Optimizing water-efficient agriculture: evaluating the sustainability of soil management and irrigation synergies using fuzzy extent analysis. *Scientific reports*, *15*(1), 29382. https://doi.org/10.1038/s41598-025-15426-6

Shelton, D. P., & Jasa, P. J. (2009). Estimating percent residue cover by using the line-transect method. University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Ariculture and Natural resources.

Singh, Y., Singh, G., Johnson, D., & Mortimer, M. (2005). Changing from transplanted rice to direct seeding in the rice–wheat cropping system in India. In: Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century. Tsukuba. Japan: Proceedings of the World Rice Research Conference. 4–7 November 2004. PP: 198–201.

Toth, M., Davies, J., Quinton, J., Davies, J., Stumpp, C., Klik, A., ... & Strohmeier, S. (2025). Long-term effects of tillage practices and future climate scenarios on topsoil organic carbon stocks in Lower Austria–A modelling and long-term experiment study. *International Soil and Water Conservation Research*, *13*(2), 486-499. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.02.011

Vanani, H. R., & Ostad-Ali-Askari, K. (2022). Correct path to use flumes in water resources management. Appl Water Sci. 12, 187. https://doi.org/10.1007/s13201-022-01702-7

Vitali, A., Moretti, B., Lerda, C., Said-Pullicino, D., Celi, L., Romani, M., ... & Vidotto, F. (2024). Conservation tillage in temperate rice cropping systems: Crop production and soil fertility. *Field Crops Research*, *308*, 109276. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109276

Wahid, M. A., Irshad, M., Irshad, S., Khan, S., Hasnain, Z., Ibrar, D., ... & Cheema, M. A. (2022). Nitrogenous fertilizer coated with zinc improves the productivity and grain quality of rice grown under anaerobic conditions. Frontiers in Plant Science, *13*, 914653. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.914653

Xu, L., Li, X., Wang, X., Xiong, D., & Wang, F. (2019). Comparing the Grain Yields of Direct-Seeded and Transplanted Rice: A Meta-Analysis. Agronomy. 9(11): 767. http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9110767

Lateef, N. S., Ghani, E. T. A., Alnedawi, I. S., & Alshamary, W. F. (2024). Effects of Binary Irrigation and Humic Acid on Maize Yield in Saline Conditions. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, *19*(5), 1725-1732. https://doi.org/10.18280/ijdne.190526

Li, M., Li, C., Liu, M., Xiong, T., Wu, X., & Tang, Y. (2024). Balancing grain yield and environmental performance by optimizing planting patterns of rice-wheat cropping systems. *Science of The Total Environment*, *906*, 167813. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167813

Liang, K., Zhang, X., McCarty, G. W., Zhao, K., & Gao, F. (2025). From basin to gulf: Conservation tillage improves soil health but exacerbates hypoxia. *npj Sustainable Agriculture*, *3*(1), 47. https://doi.org/10.1038/s44264-025-00090-0

Liebhard, G., Klik, A., Neugschwandtner, R. W., & Nolz, R. (2022). Effects of tillage systems on soil water distribution, crop development, and evaporation and transpiration rates of soybean. *Agricultural Water Management*, *269*, 107719. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107719

Limochi, K., Siadat, A., & Gilani, A. (2013). The effect of different planting dates on growth indexes and yield of rice cultivars at northern Khozestan. Journal of Crop Production Research. 6(2): 167-184. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1392.6.2.10.8

Linscombe, S.D., Jordan, D.L., Burns, A.B. & Viator, R.P. (2004). Rice Response to Planting date differs at two locations in Louisiana. Plant manage. 86: 41-53.

Madarasz, B., Járási, É. Z., Jakab, G., Szalai, Z., & Ladányi, M. (2025). Economic comparison of conventional and conservation tillage in a long-term experiment: Is it worth shifting?. *International Soil and Water Conservation Research*, *13*(3), 501-510. https://doi:10.1016/j.iswcr.2025.02.012

Mahajan, G., Chauhan, B. S., & Gill, M. S. (2013). Dry-seeded rice culture in Punjab State of India: Lessons learned from farmers. Field Crops Research. 144: 89–99. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.01.008

Mubarak, T., Jehangir, I. A., Hussain, A., Dar, E. A., Shah, Z. A., Lone, A. H., ... & Salem, A. (2025). Yield and water productivity of rice as influenced by crop establishment and irrigation methods under temperate environment. *Scientific Reports*, *15*(1), 29494. https://doi.org/10.1038/s41598-025-09584-w

Rao, A. N., Johnson, D. E., Sivaprasad, B., Ladha, J. K., & Mortimer, A. M. (2007). Weed management in direct-seeded rice. Advances in Agronomy. 93: