



Journal of Agricultural Mechanization

Online ISSN: 2717-4107
Journal homepage: <https://jam.tabrizu.ac.ir/?lang=en>



Original Article

Economic evaluation of tillage systems on wheat grain yield under different water stress levels

Shokoofeh Sarikhani Khorami^{*1}, Ebrahim Zare², Seyed Abdolreza Kazemeini³

1- Department of Seed and Plant Improvement Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.

2- Department of Agricultural Economy, Social, Extension Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.

3- Department of Plant Production and Genetics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

ARTICLE INFO

Keywords:

TOPSIS,
Tillage systems,
Cutting irrigation,
Wheat,
Economy study

Received:
March 3, 2025

Revised:
April 22, 2025

Accepted:
April 28, 2025

* Corresponding author:

sh.sarikhani@areeo.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Conservation agriculture has positive effects such as reduced production costs, reduced water and input consumption, and positive environmental impacts, but its acceptance by farmers depends on their belief in the positive effects of this innovation and its alignment with their needs. This belief will be reinforced by increasing the economic efficiency of this system on farms. Benefits and costs of the adoption of conservation practices have been evaluated by a number of researchers.

Materials and Methods

The field experiment was designed as split plot arrangement in randomized complete block design with three replications with wheat- soybean rotation and conducted during 2017-2020 growing seasons at Zarghan research station of Fars province, Iran. Experimental treatments included; three tillage practices (conventional tillage (CT), reduced tillage (RT), and no-tillage (NT)), which were assigned to main plots and water stress levels included irrigation cutting at pollination, milky and seed dough developmental stages along with full irrigation in subplots. Profitability indexes (Income, Gross margin, Benefit-cost ratio, Sale return percent), and technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) methods were used to select the best treatment. The difference between treatments income and cost compared to control treatment has been calculated and compared by profitability indexes. The differences in the treatment's benefits are due to the different wheat grain yields. In TOPSIS method, characteristics including water cost, weed control cost, production cost, grain yield and gross margin were considered to prioritize treatment(s), according to researchers' views. Selected criteria were ranked based on mean of scores that allocated by researchers. The first step was decision matrix in which the rows and columns describe criteria and alternatives. Frequently, criteria were not the same in importance for decision makers. Therefore, weighted criteria should be considered by Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Decision matrix contained a combination of data in various scales. Therefore, the normalized decision matrix by transformed various attributes dimensions to non-dimensional attributes. The second step was to multiply each column of the matrix by corresponding criterion's weight. The third and fourth steps were to identify ideal and negative ideal solutions and to calculate separation measures for each from them. The last step was to calculate relative closeness to the ideal solution and alternatives were appropriately ranked.

How to cite:

Sarikhani Khorami, SH. Zare, E. Kazemeini, AR. (2025). *Economic evaluation of tillage systems on wheat grain yield under different water stress levels*. Journal of Agricultural Mechanization, 10 (2):27-35. <https://doi.org/10.22034/jam.2025.66206.1321>.



This is an open-access article under the CC BY NC license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)



Results and Discussion

- 1- Results of profitability indexes showed that conventional tillage system was the first preference of treatments followed by reduced, and no-tillage systems, respectively.
- 2- Non-shared production costs under no-tillage system were higher than reduced (12.5 %) and conventional (10.2 %) tillage systems, because of increasing irrigation, weed control, and fertilizer costs.
- 3- In the conventional and reduced tillage systems, full irrigation treatment had the highest gross margin that followed by cutting irrigation at seed dough developmental stage. Also, cutting irrigation at seed dough developmental stage under no tillage system had high gross margin by 113000 Rials per hectare.
- 4- The pair wise comparison indicated that the effective criteria to prioritize the best treatments were gross margin (0.250).
- 5- Based on relative closeness to the ideal criteria, the first and second preference of treatments were irrigation cutting at seed dough developmental stage (0.84) and full irrigation (0.80) under CT, respectively, which followed by irrigation cutting at seed dough developmental stage (0.78) and full irrigation under RT (0.75) systems during three years.
- 6- The highest wheat grain yield was obtained in full irrigation under CT and RT systems which were not significantly different from cutting irrigation at seed dough developmental stage under conventional, reduced, and no-tillage systems. The irrigation can be stopped at the end of grain filling without significant reduction in wheat grain yield under water limitation.
- 7- The highest gross margin was achieved in conventional tillage system; therefore, this system had a priority for farmers. The majority of farmers not pay the actual irrigation water cost. If the water price is included in economic evaluation, the production costs will be reduced under conservation tillage comparison to conventional tillage systems.
- 8- Application of TOPSIS method for decision making in agricultural experiments provides accurate and reasonable decisions.

Conclusion

Profitability indexes and multi-criteria-decision making methods were used for ranking treatments according to difference between treatments income and cost, the relative closeness to ideal criteria and maximum distance from negative ideal criteria. Results showed prioritizing the best treatments (water stress under tillage systems) were cutting irrigation, at seed dough developmental stage under CT and RT systems. Therefore, under water limited condition, stopping irrigation at the end of grain filling dose not significantly reduce wheat grain yield.

Acknowledgment

The authors would like to express their deep gratitude to Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center and Department of Plant Production and Genetics, School of Agriculture, Shiraz University for all support including finance, academics, and facilities for this research work. We are also very grateful to Dr. Hormoz Asadi, who collaborated and shared ideas to preparing the article.



ارزیابی اقتصادی اثر سامانه‌های خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گندم تحت سطوح مختلف تنش رطوبتی

شکوفه ساریخانی خرمی^{۱*}، ابراهیم زارع^۲، سید عبدالرضا کاظمینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

- ۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
- ۲- بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
- ۳- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

* نویسنده مسئول: E-mail: sh.sarikhani@areeo.ac.ir

چکیده

خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ منابع آب و خاک دارای اهمیت است. اما پذیرش این سامانه‌ها توسط کشاورزان منوط به افزایش بازده اقتصادی آنها است. بر این اساس، این پروژه با هدف ارزیابی اثر اقتصادی سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم تحت سطوح مختلف تنش رطوبتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های خرد شده در سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرکان فارس اجرا شد. در این پژوهش، فاکتور اصلی شامل خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی و فاکتور فرعی شامل تنش رطوبتی به صورت قطع آبیاری در مراحل گرده افشانی، شیری شدن و خمیری شدن دلنه گندم و آبیاری کلمل به عنوان شاهد بود. جهت انتخاب بهترین تیمار از نظر فنی و اقتصادی از شاخص‌های سودآوری (درآمد ناخالص، بازده برنامه‌ای، نسبت فایده به هزینه و درصد بازده فروش محصول) و روش تاپسیس استفاده شد. نتایج ارزیابی اقتصادی نشان داد که سامانه خاک‌ورزی مرسوم به دلیل عملکرد دانه گندم بالاتر و هزینه تولید کم‌تر نسبت به سامانه بی‌خاک‌ورزی اولویت دارد. در اولویت‌بندی تیمارها بر اساس معیارهای چندگانه، تیمارهای قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه و آبیاری کامل در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم و قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه در سامانه کم‌خاک‌ورزی بازده برنامه‌ای، درصد بازده فروش و نسبت فلیده به هزینه بالاتری داشتند. با توجه به این که عملکرد دلنه گندم در تیمار تنش آبی در مرحله خمیری شدن دانه با آبیاری کامل در سامانه مرسوم و کم‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری نداشت، می‌توان در شرایط محدودیت آب، آبیاری را در مرحله انتهای پرشدن دانه قطع نمود. به دلیل بالاتر بودن شاخص‌های سودآوری سامانه خاک‌ورزی مرسوم، این سامانه برای کشاورزان اولویت دارد. چنانچه قیمت سایه‌ای آب آبیاری در محاسبه‌ها وارد شود، مقدار کاهش هزینه تولید ناشی از آن، یکی از نتایج مطلوب سامانه خاک‌ورزی حفاظتی خواهد بود.

کلمات کلیدی: تاپسیس، سامانه‌های خاک‌ورزی، قطع آبیاری، گندم، بررسی اقتصادی.

۱- مقدمه

کشاورزی حفاظتی اثرات مثبتی مانند کاهش هزینه تولید، کاهش مصرف آب و نهاده‌ها و اثرات مثبت زیست‌محیطی دارد (Bhan & Behera, 2014)، ولی پذیرش آن توسط کشاورزان منوط به باور آنان به آثار مثبت این نوآوری و هم‌سویی آنها با نیازهایشان است. این باور از طریق افزایش بازده اقتصادی این سامانه در مزارع تقویت خواهد شد. هزینه‌ها و منافع سامانه‌های حفاظتی به روش بودجه‌بندی جزئی توسط تعدادی از پژوهش‌گران ارزیابی شده است. نتایج ارزیابی اقتصادی سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم، حفاظتی و بی‌خاک‌ورزی نشان داد که کشت مستقیم و خاک‌ورزی حفاظتی (گاواهن چیزل با تیغه‌های پنجه-غازی و غلتک) نسبت به روش مرسوم (گاواهن برگردان‌دار و سیکلوتیلر) از نظر اقتصادی و عملکرد گندم برتری داشتند. در سال خشک تیمار بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با سایر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی حدود ۹۲ درصد عملکرد بیشتری داشت (Seyedan & Heidari, 2022). ارزیابی سامانه‌های بی‌خاک‌ورزی با حفظ بقایا، بی‌خاک‌ورزی با حذف بقایا و خاک‌ورزی مرسوم در کشت ذرت نشان داد که بالاترین منفعت خالص متعلق به تیمار بی‌خاک‌ورزی با حفظ بقایا و کمترین مربوط به خاک‌ورزی مرسوم بود. درآمد خالص تیمار بی‌خاک‌ورزی با حفظ بقایا حتی در شرایطی که قیمت محصول ذرت ۲۰ درصد کاهش و قیمت علف‌کش ۲۰ درصد افزایش داشت، نسبت به تیمار مرسوم بالاتر بود (Debele et al., 2017). بازده برنامه‌ای گندم در سامانه کم‌خاک‌ورزی به دلیل کاهش هزینه‌های سوخت و استهلاک نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بالاترین میزان بود. با این حال درآمد خالص در سامانه بی‌خاک‌ورزی به دلیل افزایش هزینه‌های ثابت مرتبط با تجهیزات به طور قابل توجهی کاهش یافت (Khakbazan, & Hamilton, 2012). نتایج بررسی چهار ساله سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی و کود نیتروژن بر عملکرد گندم نشان داد که تیمار بی‌خاک‌ورزی با مصرف ۴۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص جهت افزایش بهره‌وری تولید سالم و با کیفیت، به عنوان اقتصادی‌ترین تیمار از نظر مالی و محیط زیستی برای مناطق سردسیر دیم قابل توصیه است (Khorsandy et al., 2020).

مطالعات اقتصادی فوق برای حداکثر کردن سود و تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین تیمار (ها)، با در نظر گرفتن یک معیار متمرکز بودند. درحالی‌که کشاورزان معمولاً علاوه بر سود به معیارهای دیگری نیز توجه می‌کنند، در شرایطی که در انتخاب تیمار برتر معیارهای چندگانه مدنظر باشند، شرایط برای مدیریت دقیق تصمیم‌گیری پیچیده است (Antucheviciene et al., 2010). مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌های تحقیق در عملیات است که برای انتخاب یک گزینه مناسب از بین چند گزینه بر اساس شاخص‌های کمی و کیفی بکار می‌رود. در مدل‌های تصمیم‌گیری

چند شاخصه، محقق می‌تواند به طور هم‌زمان چندین صفت را در نظر گرفته و با توجه به اهمیت هر یک از آنها گزینه برتر را انتخاب کند. این روش به‌ویژه در شرایطی که صفات اندازه‌گیری شده ناسازگار باشند، در انتخاب تصمیم بهینه کمک زیادی به تصمیم‌گیران می‌کند. روش تاپسیس (TOPSIS) (1)، اثرات تیمارها بر درآمد و سایر فاکتورهای مهم را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد تا روش انتخاب شده بیشترین مطلوبیت را نسبت به همه فاکتورهای مورد بررسی و ضریب اهمیت آنها داشته باشد. نتایج کاربرد این مدل می‌تواند برای بهبود روش‌های مدیریتی تولید گندم در سامانه‌های کشاورزی حفاظتی بین کشاورزان استفاده شود (Biswas et al., 2024). استفاده از روش تاپسیس برای ارزیابی روش‌های مختلف خاک‌ورزی توسط گروهی از پژوهشگران انجام شده است. مطالعه کنگ و همکاران (Cong et al., 2024) نشان داد که روش بی‌خاک‌ورزی با حفظ ۵۰ درصد بقایا برترین تیمار بود. این روش بالاترین مقدار کارایی مصرف آب، دسترسی به عناصر غذایی، کنترل فرسایش بادی، فتوسنتز و عملکرد ذرت را نسبت به روش بی‌خاک‌ورزی با حفظ همه بقایا و خاک‌ورزی مرسوم داشت. میرزازاده و همکاران (Mirzazadeh et al., 2020)، نیز دریافتند که سامانه بی‌خاک‌ورزی با نزدیکی نسبی ۰/۹۸ به راه حل ایده‌آل به عنوان بهترین روش می‌تواند جایگزین مناسبی برای خاک‌ورزی مرسوم در تولید پایدار محصول گندم باشد. درحالی‌که کمیلی و همکاران (Komeili et al., 2016) و شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2021) گزارش کردند که سود به هزینه و بهره‌وری سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی بیشترین مقدار بود. بنابراین این تیمار، گزینه مناسب برای کاشت گندم معرفی شد. در پژوهشی چهار ساله توسط ساریخانی و همکاران (Sarikhani Khorami et al., 2019)، شاخص‌های عملکرد دانه، هزینه مبارزه با علف‌هرز، جرم مخصوص ظاهری خاک، تعداد دفعات آبیاری، هزینه تولید و درآمد ناخالص به عنوان معیارهای انتخاب بودند. نتایج نشان داد که در سامانه خاک‌ورزی مرسوم به دلیل بیشتر بودن عملکرد ژنوتیپ‌های گندم و با توجه به بالا بودن ضریب اهمیت این صفت در تصمیم‌گیری کشاورزان، این سامانه در همه ژنوتیپ‌ها از اولویت بالاتری برخوردار بود. البته به دلیل مصرف کمتر آب در سامانه بی‌خاک‌ورزی، این روش در اولویت دوم قرار گرفت. با توجه به این‌که بازده اقتصادی سامانه‌های حفاظتی در پذیرش و توسعه کشاورزان دارای اهمیت است و افزایش بهره‌وری مصرف آب یکی از اهداف اجرای سامانه‌های حفاظتی است، پژوهش حاضر برای ارزیابی اقتصادی سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم تحت سطوح مختلف تنش رطوبتی اجرا شد تا اولویت‌بندی تیمارها، بر اساس اثر هم‌زمان درآمد و سایر فاکتورهای مهم در انتخاب کشاورزان با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره انجام شد.

¹ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

۲- مواد و روش‌ها

این پروژه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های خرد شده در سه تکرار با فاکتور اصلی شامل سه سطح خاک-ورزی و فاکتور فرعی با چهار سطح تنش رطوبتی در کرت‌هایی به ابعاد ۶×۲۵ متر، در سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان با توالی گندم-سویا اجرا شد. خاک‌ورزی مرسوم شامل استفاده از تیغه‌های برگردان‌دار در عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر خاک، دو بار دیسک و سپس لولر؛ کم‌خاک‌ورزی شامل استفاده از خاک‌ورز مرکب مجهز به تیغه‌های قلمی، دیسک و غلتک است که بخشی از بقایای گیاهی را به عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متری خاک می‌برد. در روش بی‌خاک-ورزی، قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نمی‌شود و با یک بار حرکت کودکار-بذرکار کشت مستقیم بوکان در مزرعه، کشت در بقایای محصول سال زراعی قبل به صورت مسطح، به انجام می‌رسد. به منظور مدیریت بقایای گیاهی در تمام کرت‌های آزمایش، بقایای اضافی گندم در نوار پشت کمباین جمع‌آوری گردید تا حدود ۳۰ درصد سطح خاک با بقایای گیاهی پوشیده شود. برای رسیدن به مقدار مشابهی از پوشش خاک به هنگام کاشت سویا ۱۰ سانتی‌متر بقایای ایستاده پس از برداشت و برگ‌های ریزش یافته قبل از برداشت نگهداری شدند. سطوح مختلف تنش آبی شامل قطع آبیاری در مراحل گرده افشانی، شیرشیدن و خمیری‌شدن دانه گندم براساس کد زیداکس (GS61, GS71, GS83) و آبیاری کامل بر اساس نیاز گیاه به عنوان شاهد بود. آبیاری به روش نوار تیپ بود. تمام کودهای فسفاته و پتاسه مصرفی برای هر کرت آزمایشی قبل از کاشت و هم‌زمان با آماده‌سازی زمین و نیتروژن مورد نیاز در سه نوبت (هم‌زمان با کاشت، مرحله پنجه‌زنی و گلدهی) استفاده شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن-برگ و باریک‌برگ گندم به ترتیب با علف‌کش تو-فور-دی و توتال در مراحل رشد توصیه شده اعمال شد. برای انتخاب بهترین تیمار از نظر اقتصادی از شاخص‌های سودآوری (درآمد ناخالص، بازده برنامه‌ای، نسبت فایده به هزینه و درصد بازده فروش محصول) استفاده شد. درآمد ناخالص تیمارها حاصل ضرب قیمت محصول در میزان عملکرد می‌باشد. بازده برنامه‌ای از تفاضل ارزش ناخالص و هزینه‌های متغیر تولید (هزینه‌های غیرمشترک) به دست آمد. نسبت فایده به هزینه از تقسیم ارزش ناخالص بر هزینه‌ها حاصل می‌شود. درصد بازده فروش محصول، بیانگر آن است که یک ریال فروش محصول، چند درصد سود یا بازده دارد. (Asadi et al., 2021).

$$GM = TR - TVC \quad (۱)$$

$$TR = Py * yield \quad (۲)$$

$$BCR = TR / TVC \quad (۳)$$

$$SRP_e = \left(\frac{GM}{TR} \right) \times 100 \quad (۴)$$

در این رابطه‌ها:

yield: عملکرد دانه گندم در هکتار به کیلوگرم

TR: ارزش ناخالص تولید محصول در هکتار به میلیون ریال

Py: قیمت فروش هر کیلو محصول به ریال

TVC: هزینه‌های متغیر تولیدی به میلیون ریال در هکتار (هزینه‌های غیرمشترک)

GM: بازده برنامه‌ای به میلیون ریال در هکتار

BCR: نسبت فایده به هزینه

SRP: درصد بازده فروش محصول

برای ارزیابی هم‌زمان اثر درآمد و سایر فاکتورهای مهم در انتخاب کشاورزان و برای الویت‌بندی تیمارها از روش تاپسیس استفاده شد. این روش یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۱ است که برای انتخاب یک گزینه مناسب از بین M گزینه بر اساس N شاخص کمی و کیفی به کار می‌رود. در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، محقق می‌تواند به‌طور هم‌زمان چندین صفت را در نظر گرفته و با توجه به اهمیت هر یک از آنها، گزینه‌ها را الویت‌بندی کرده و گزینه یا الویت برتر را انتخاب کند. این روش به‌ویژه در شرایطی که صفات اندازه‌گیری شده ناسازگار باشند، در انتخاب تصمیم بهینه به تصمیم‌گیران کمک زیادی می‌کند. معیارهای مورد نظر در این پژوهش عملکرد دانه، مقدار آب مصرفی، هزینه تولید، هزینه مبارزه با علف‌های هرز، بازده برنامه‌ای و بهره‌وری آب آبیاری بودند.

در روش تاپسیس گام اول، تشکیل ماتریس اولیه تصمیم‌گیری است که در آن سطرها و ستون‌ها به ترتیب نشان‌دهنده تیمارها و معیارهای مورد نظر آزمایش بودند. هر عنصر از این ماتریس نشان‌دهنده مقدار یک تیمار در یک معیار مشخص است. به‌طور معمول ضریب اهمیت معیارها برای تصمیم‌گیرندگان یکسان نیستند، بنابراین لازم است با استفاده از یکی از روش‌های مرسوم، وزن هر معیار در تصمیم‌گیری مشخص شود. در این تحقیق از روش مرسوم در تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۲ برای تعیین وزن معیارها استفاده شد. از آنجا که ماتریس تصمیم‌گیری شامل ترکیبی از داده‌ها با مقیاس‌های مختلف است، باید ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده ایجاد شود تا امکان مقایسه بین معیارها را فراهم کند. در این پژوهش جهت یکنواخت کردن داده‌ها و حذف اثرات مقیاس‌های اندازه‌گیری از روش یکنواخت کردن برداری با استفاده از روش بی‌مقیاس کردن اقلیدسی استفاده شد (رابطه ۵).

$$h_{ij} = \frac{r_{ji}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ji})^2}} \quad (۵)$$

$$i=1, \dots, n$$

$$j=1, \dots, m$$

در نتیجه ماتریس بی‌مقیاس ND که مولفه‌های آن h_{ij} می‌باشند، تشکیل شد.

²Analytic Hierarchy Process

¹ Multi Criteria Decision Making

نتایج محاسبه درآمد ناخالص تیمارها نشان داد که در بین سطوح مختلف تنش رطوبتی، تیمار آبیاری کامل بالاترین میانگین سه ساله درآمد ناخالص را داشت که اختلاف آن با تیمار قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه اندک بود (جدول ۱). در بین سامانه های خاک ورزی، میانگین درآمد ناخالص سامانه خاک ورزی مرسوم بیش تر از سامانه های حفاظتی (کم خاک ورزی و بی خاک ورزی) بود (جدول ۱). بالا بودن میانگین درآمد ناخالص در سامانه خاک ورزی مرسوم به دلیل بیش تر بودن عملکرد دانه گندم در این سامانه است (جدول ۱). بالاتر بودن عملکرد دانه گندم در سامانه مرسوم نسبت به سامانه بی خاک توسط پژوهشگران دیگر (Shahzad et al., ۲۰۱۴; Gholami et al., ۲۰۱۴) هم گزارش شده است.

جدول ۱- میانگین سه ساله عملکرد دانه و درآمد ناخالص در سامانه های خاک ورزی و سطوح مختلف تنش رطوبتی

Table 1. Three year mean comparison of grain yield and income under tillage systems and different water stress levels

درآمد ناخالص (هزار ریال/ هکتار) Income (1000 R ha ⁻¹)	عملکرد دانه (کیلوگرم/هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	تیمار Treatment
تنش رطوبتی Water stress		
237250	3650	آبیاری کامل Full irrigation
172250	2650	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination
193050	2970	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky
235300	3620	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough
سامانه خاک ورزی Tillage system		
236600	3640	مرسوم Conventional tillage
203450	3130	کم خاک ورزی Reduced tillage
188500	2900	بی خاک ورزی No tillage

مجموع هزینه تولید موارد غیرمشترک، بر حسب قیمت سال سوم اجرای پژوهش (۱۳۹۹-۱۴۰۰) تحت سامانه های خاک ورزی و در سطوح مختلف تنش رطوبتی محاسبه گردید (جدول ۲).

گام دوم: ماتریس بی مقیاس وزین (ماتریس V) که با فرض یکنواخت بودن مجموعه Wi، از حاصل ضرب دو ماتریس زیر بدست آمد (رابطه ۶).

$$V = W_{m \times m} \times N_D \quad (6)$$

گام سوم: تعیین جواب ایده آل مثبت $V_i(\max)$ و جواب ایده آل منفی $V_i(\min)$ (رابطه های ۷ و ۸).

$$I = \{i=1,2,\dots,n \text{ الزامات به معیارهای مطلوب}\}$$

$$I' = \{i=1,2,\dots,m \text{ الزامات به معیارهای نامطلوب}\}$$

شناسایی بزرگترین و کوچکترین مقدار هر ستون و ایجاد دو مجموعه از این مقادیر در تمام ردیفها به ترتیب به نامهای ایده آل های مثبت و منفی بودند (Srdjevic et al., 2004).

ایده آل مثبت:

$$V_i(\max) = \{(\max V_{ji} | i \in I) \text{ and } (\min V_{ji} | i \in I')\} \quad (7)$$

$$= \{V^+_1, V^+_2, \dots, V^+_n\}$$

ایده آل منفی:

$$V_i(\min) = \{(\min V_{ji} | i \in I) \text{ and } (\max V_{ji} | i \in I')\} \quad (8)$$

$$= \{V^-_1, V^-_2, \dots, V^-_n\}$$

$$(j=1, 2, 3, \dots, m)$$

$$(i=1, 2, 3, \dots, n)$$

گام چهارم: فاصله هر تیمار از جواب ایده آل مثبت و منفی با استفاده از روش اقلیدسی تعیین شد (رابطه های ۹ و ۱۰) (Fisher, 2008).

$$S_j(\max) = \sqrt{\sum_{i=1}^m [V_{ji} - V_i(\max)]^2} \quad (9)$$

$$S_j(\min) = \sqrt{\sum_{i=1}^m [V_{ji} - V_i(\min)]^2} \quad (10)$$

گام پنجم: میزان نزدیکی نسبی هر تیمار به جواب ایده آل نهایی و رتبه بندی آنها محاسبه شد (رابطه ۱۱).

$$C_i = \frac{S_j(\min)}{S_j(\min) + S_j(\max)} \quad (11)$$

مقدار نزدیکی نسبی به ایده آل همواره بین صفر و یک است. هر چه C_i بزرگتر باشد، تیمار Z_i دارای اولویت بیشتری برای انتخاب است. تیمارهای مختلف آزمایش اولویت بندی و برترین تیمار بر اساس مجموعه ای از معیارها مشخص شد. گزینه برتر کمترین فاصله از راه حل ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه حل ایده آل منفی داشت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- انتخاب برترین تیمار با استفاده از شاخص های سودآوری

گردید. البته در مزارع کشاورزان مبارزه مکانیکی به ندرت انجام می شود و در صورت تراکم بالای علف هرز در مزرعه، میزان مصرف علف کش ها افزایش می یابد.

وجود بقایای گیاهی بر سطح خاک در سامانه های حفاظتی موجب انعکاس بیشتر نور خورشید و کاهش دمای سطحی خاک (Wang et al., 2006) و کاهش سرعت تجزیه بقایای گیاهی می شود. تجمع بقایای گیاهی از یک سو میزان تلفات تصعید کود سرک اوره را بیشتر و مصرف آن را در این سامانه ها افزایش میدهد (Huang et al., 2022) و از سوی دیگر، سرعت حرکت آب در سامانه های حفاظتی را کندتر می کند که منجر به مصرف بیشتر آب و افزایش هزینه آبیاری نسبت به سامانه مرسوم شده است. چنانچه مقدار آب آبیاری سامانه های مختلف بر اساس رطوبت موجود در خاک و رسیدن به ظرفیت مزرعه ای باشد، میزان مصرف آب در سامانه های حفاظتی کمتر خواهد بود. هزینه آبیاری در تیمارهای قطع آبیاری در مراحل گرده افشانی، شیرشیر شدن و خمیری شدن دانه، نسبت به آبیاری کامل به ترتیب ۴۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۱۵۰۰ هزار ریال در هکتار کمتر بود (جدول ۲). سایر هزینه های تولید که در این جدول ارائه نشده است، برای هر سه سامانه خاک ورزی یکسان بودند.

نتایج محاسبه درآمد ناخالص سطوح مختلف تنش رطوبتی در سامانه های خاک ورزی نشان داد که میانگین درآمد ناخالص در سطوح مختلف تنش رطوبتی در سامانه خاک ورزی مرسوم بیش تر از سامانه های کم خاک ورزی و بی خاک ورزی بود (جدول ۳).

تیمار آبیاری کامل در سامانه خاک ورزی مرسوم دارای بالاترین میانگین درآمد ناخالص (۲۶۳ میلیون در هکتار)، بازده فروش (۶۴/۳ درصد) و نسبت فایده به هزینه (۲/۸) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه بازده برنامه های این تیمارها نشان داد که در سامانه خاک ورزی مرسوم، تیمار آبیاری کامل بالاترین بازده برنامه ای (۱۶۹ میلیون ریال در هکتار) را داشت و بعد از آن تیمار قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه (۱۶۷ میلیون ریال در هکتار) قرار گرفت (جدول ۳). افزایش عملکرد دانه گندم در تیمار آبیاری کامل تحت سامانه های مرسوم موجب بالاتر بودن میانگین درآمد ناخالص در این سامانه است (جدول ۱). این نتایج با یافته های (Zarei et al., 2015) که عملکرد گندم را در سامانه های خاک ورزی رایج، کاهش یافته و بدون خاک ورزی تحت تنش آبی (آبیاری معمولی، قطع آبیاری از مراحل ساقه رفتن، ظهور سنبله و پر شدن دانه) بررسی کردند، مطابقت دارد. ایشان دریافتند که بیشترین عملکرد دانه متعلق به سامانه خاک ورزی رایج و آبیاری معمولی بود (Zarei et al., 2015). در سامانه کم خاک ورزی، آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه نسبت به سایر تیمارها بازده برنامه ای بالاتری به ترتیب ۱۴۸ و ۱۴۲ میلیون ریال در هکتار داشتند (جدول ۳). در سامانه بی خاک ورزی، تیمار قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه بیشترین درآمد ناخالص (۲۱۴/۵ میلیون ریال در هکتار)، بازده برنامه ای (۱۱۳ میلیون ریال در هکتار)، بازده

جدول ۲- میانگین هزینه های غیرمستترک (هزار ریال / هکتار) در

سامانه های خاک ورزی در تیمار آبیاری کامل

Table 2. Mean of non-shared costs (1000 R ha⁻¹) under tillage systems in full irrigation treatment

سامانه خاک ورزی	مرسوم	کم خاک- ورزی	بی خاک- ورزی
Tillage system	Conventional tillage	Reduced tillage	No tillage
تهیه زمین و کاشت Land preparation and planting	19000	11500	8500
مصرف کود سرک Dressed fertilizer consumption	2690	2690	3130
کنترل علف های هرز Weed control	2690	14200	24370
آبیاری Irrigation	13700	58850	62750
جمع آوری بقایای گیاهی Remove residues	55600	4500	4500
جمع کل Total	93680	91740	103250

به دلیل مصرف یکسان نهاده ها در سطوح مختلف تنش رطوبتی، هزینه تولید در این تیمارها به هم نزدیک بود. در حالی که هزینه تولید موارد غیرمستترک در سامانه بی خاک ورزی (۱۰۳۲۵۰ هزار ریال در هکتار) در مقایسه با دو سامانه کم خاک ورزی (۹۱۷۴۰ هزار ریال در هکتار) و خاک ورزی مرسوم (۹۳۶۸۰ هزار ریال در هکتار) به ترتیب ۱۲/۵ و ۱۰/۲ درصد بالاتر بود (جدول ۲). هزینه های تهیه زمین و کاشت در سامانه بی خاک ورزی نسبت به سامانه های خاک ورزی مرسوم و کم خاک ورزی کمتر و هزینه های آبیاری، مبارزه با علف های هرز و مصرف کود در مرحله سرک بیشتر بود (جدول ۲). هزینه جمع آوری بقایای گیاهی در سامانه مرسوم نسبت به سامانه های حفاظتی بیشتر بود (جدول ۲). به نظر میرسد حجم بیشتر بقایای گیاهی ناشی از بالابودن مقدار شاخص برداشت در سامانه خاک ورزی مرسوم نسبت به سامانه بی خاک ورزی منجر به افزایش هزینه جمع آوری بقایای گیاهی در این سامانه شده است (Sarikhani Khorami et al., 2022).

بالابودن هزینه کنترل علف های هرز در سامانه های حفاظتی (کم-خاک ورزی و بی خاک ورزی) می تواند به دلیل تراکم بالاتر علف های هرز در این سامانه ها باشد که منجر به فراوانی بذر علف های هرز در لایه ای بالایی خاک (Shahzad et al., 2016; Carter & Ivany, 2006) و تغییر فلور علف های هرز از گونه های یک ساله علفی قابل کنترل به گونه های سخت چندساله شده است (Mashingaidze et al., 2012) که کنترل علف های هرز در این سامانه ها را دشوار (Chauhan et al., 2012) و مصرف علف کش ها را افزایش داده است. در سامانه بی خاک-ورزی مبارزه مکانیکی (کارگر) با علف های هرز به ویژه چندساله ها انجام شد که منجر به افزایش هزینه کنترل علف های هرز در این سامانه

نشان داد که بازده برنامه‌ای در سامانه خاک‌ورزی مرسوم (۱۴۵ میلیون ریال در هکتار) از سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی (۱۱۴ میلیون ریال در هکتار) و بی‌خاک‌ورزی (۸۸ میلیون ریال در هکتار) بیش‌تر بود. بر اساس نتایج حاصل از بازده برنامه‌ای، اولویت‌بندی تیمارهای آزمایش صورت گرفت.

فروش (۵۲/۶ درصد) و نسبت فایده به هزینه (۲/۱۱) را دارا بود (جدول ۳).

برای ارزیابی بهتر نتایج، میانگین بازده برنامه‌ای سطوح مختلف تنش رطوبتی در سامانه‌های خاک‌ورزی نیز محاسبه گردید. داده‌ها

جدول ۳- میانگین سه ساله عملکرد دانه گندم، شاخص‌های سودآوری و اولویت‌بندی تیمارها تحت سامانه‌های خاک‌ورزی در سطوح مختلف تنش

رطوبتی

Table 3. Three year mean comparison of grain yield, profitability indexes, and treatment preference under tillage systems and different water stress levels

اولویت تیمار Treatment preference	نسبت فایده به هزینه Benefit-Cost Ratio	بازده فروش (درصد) Sale return (%)	بازده برنامه‌ای (هزار ریال/هکتار) Gross margin (1000 R ha ⁻¹)	درآمد ناخالص (هزار ریال/هکتار) Income (1000 R ha ⁻¹)	عملکرد دانه (کیلوگرم/هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	معیار Criteria
						سامانه خاک‌ورزی Tillage system
						تنش رطوبتی Water stress
1	2.80	64.3	168920	262600	4040	آبیاری کامل Full irrigation
6	2.31	56.7	116870	206050	3170	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination
5	2.40	58.4	127070	217750	3350	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky
2	2.81	64.5	167170	259350	3990	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough
3	2.61	61.7	148110	239850	3690	آبیاری کامل Full irrigation
11	1.82	45.0	71360	158600	2440	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination
9	2.10	51.6	94560	183300	2820	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky
4	2.52	61.2	142460	232700	3580	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough
8	2/03	50.7	106050	209300	3220	آبیاری کامل Full irrigation
12	1.54	35.1	53350	152100	2340	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination
10	1.78	43.9	78500	178750	2750	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky
7	2.11	52.6	112750	214500	3300	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough

جدول ماتریس اولیه داده‌ها بر اساس نمرات صفات هفت‌گانه (عملکرد دانه، بازده برنامه‌ای، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، هزینه آبیاری، هزینه تولید، هزینه کنترل علف‌های هرز و بهره‌وری آبیاری)، در سامانه‌های خاک‌ورزی تشکیل شد (جدول ۴).

۳-۲- انتخاب برترین تیمار با استفاده از روش

تاپسیس

جدول ۴- ماتریس اولیه داده‌های صفات در سامانه‌های خاک‌ورزی و ضریب اهمیت آن‌ها

Table 4. Primary matrix of criteria for tillage systems and their weight

نوع صفت Type	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative
معیارها	عملکرد دانه (کیلوگرم/هکتار)	بازده برنامه‌ای (هزار ریال/هکتار)	تعداد روز تا رسیدگی	هزینه آبیاری (هزار ریال/هکتار)	هزینه تولید (هزار ریال/هکتار)	هزینه کنترل علف‌های هرز (هزار ریال/هکتار)	بهره‌وری آبیاری (کیلوگرم/متر-مکعب)
Criteria	Grain yield (kg ha ⁻¹)	Gross margin (1000R ha ⁻¹)	Day to maturity	Irrigation cost (1000R ha ⁻¹)	Production cost (1000R ha ⁻¹)	Weed control cost (1000R ha ⁻¹)	Irrigation efficiency (kg m ⁻³)
سامانه خاک‌ورزی Tillage system							
مرسوم Conventional tillage	3638	140200	182	56590	96240	13700	0.58
کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	3133	114120	183	57450	89490	14200	0.59
بی‌خاک‌ورزی No tillage	2903	87660	184	57170	101000	24370	0.58
ضریب وزنی Weight Cof.	0.180	0.250	0.200	0.080	0.080	0.080	0.160

جدول ۵- فاصله تیمارها با گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی و تعیین

اولویت آن‌ها

Table 5. Treatments distance from the ideal and negative ideal solutions and determining their priority

اولویت تیمار	میزان	فاصله	فاصله	اولویت تیمار
سامانه خاک-ورزی	نسبی به ایده‌آل مثبت	ایده‌آل منفی	گزینه با ایده‌آل مثبت	گزینه با ایده‌آل مثبت
Tillage system	Relative closeness to ideal solution	distance from negative ideal solution	Distance from ideal solution	Tillage system
مرسوم Conventional tillage	0.95	0.075	0.004	1
کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	0.54	0.043	0.036	2
بی‌خاک‌ورزی No tillage	0.01	0.0100	0.075	3

اولویت‌بندی تیمارها نشان داد که براساس مجموعه صفات هفت-گانه، اولویت اول متعلق به تیمار قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه تحت سامانه خاک‌ورزی مرسوم است (جدول ۷). اولویت دوم و چهارم به‌ترتیب مربوط به تیمار آبیاری کامل در سامانه خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی و الویت سوم، متعلق به تیمار قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه تحت سامانه کم‌خاک‌ورزی است. درحالی که بیش‌ترین عملکرد و بازده برنامه‌ای مربوط به تیمار آبیاری کامل در سامانه خاک‌ورزی مرسوم است (جدول ۶).

محاسبات انجام و اولویت‌بندی سامانه‌های خاک‌ورزی بر مبنای صفات مذکور صورت گرفت. جهت انتخاب تیمار برتر بر اساس این صفات و برای تعیین وزن یا ضریب اهمیت صفات از ماتریس مقایسات زوجی و طیف ساعتی در روش AHP استفاده شد (جدول ۴). با ضرب بردار وزن صفات در ماتریس بی‌مقیاس، ماتریس بی‌مقیاس موزون شده برای صفات و تیمارها محاسبه و با استفاده از آن، نمره ایده‌آل‌های مثبت و منفی هر صفت به‌دست آمد. پس از تعیین نمره ایده‌آل‌های مثبت و منفی، فاصله هر تیمار با برآیند ایده‌آل‌های مثبت و منفی صفات مختلف محاسبه شد. در پایان میزان نزدیکی نسبی تیمارها به ایده‌آل مثبت مشخص و الویت تیمارها تعیین شد (جدول ۵).

جدول ماتریس اولیه داده‌ها بر اساس نمره صفات هفت‌گانه اثر هم‌زمان تنش رطوبتی و سامانه خاک‌ورزی (۱۲ تیمار) تشکیل شد (جدول ۶). واحد اندازه‌گیری صفات و ضریب اهمیت صفات در تصمیم‌گیری کشاورزان برای انتخاب تیمار برتر همان اعداد ارائه شده در جدول چهار بود. پس از تعیین نمره ایده‌آل‌های مثبت و منفی، فاصله هر تیمار با برآیند ایده‌آل‌های مثبت و منفی از صفات به‌دست آمد. سپس میزان نزدیکی نسبی تیمارها به جواب ایده‌آل مثبت محاسبه و الویت‌بندی تیمارها انجام شد (جدول ۷).

جدول ۶- ماتریس اولیه داده‌های صفات در سامانه‌های خاک‌ورزی و سطوح مختلف تنش رطوبتی

Table 6. Primary matrix of criteria for tillage systems and water stress levels

نوع صفت	مثبت	مثبت	منفی	منفی	منفی	منفی	مثبت
Type	Positive	Positive	Negative	Negative	Negative	Negative	Positive
معیار	عملکرد دانه	بازده برنامه‌ای	تعداد روز	هزینه آبیاری	هزینه تولید	هزینه کنترل	بهره‌وری
Criteria	(کیلوگرم/هکتار)	(هزار ریال/هکتار)	تا رسیدگی	(هزار ریال/هکتار)	(هزار ریال/هکتار)	(هزار ریال/هکتار)	آبیاری
	Grain yield (kg ha ⁻¹)	Gross margin (1000R ha ⁻¹)	Days to maturity	Irrigation cost (1000R ha ⁻¹)	Production cost (1000R ha ⁻¹)	Weed control cost (1000R ha ⁻¹)	Irrigation efficiency (kg m ⁻³)
سامانه خاک‌ورزی	تنش رطوبتی						
Tillage system	Water stress						
مرسوم Conventional tillage	آبیاری کامل Full irrigation	4040	168920	184	66540	93680	0.56
	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	3170	116870	179	49590	89180	0.59
	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky	3350	127070	181	53000	90680	0.55
	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough	3390	167170	184	57220	92180	0.61
	آبیاری کامل Full irrigation	3690	148110	185	67370	91740	0.62
کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	2440	71360	179	50230	87240	0.54
	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky	2820	94560	182	54040	88740	0.60
	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough	3580	142460	184	58160	90240	0.66
	آبیاری کامل Full irrigation	3220	106050	186	67400	103250	0.54
بی‌خاک‌ورزی No tillage	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	2340	53350	181	49750	98750	0.46
	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky	2750	78500	184	53710	100250	0.52
	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough	3300	1122750	185	57790	101750	0.59
	آبیاری کامل Full irrigation						

جدول ۷- فاصله تیمارها با گزینه‌های ایده‌آل و تعیین اولویت تیمارها

Table 7. Treatments distance from the ideal and negative ideal solutions and determining their priority

اولویت تیمار Treatment preference	میزان نزدیکی نسبی به ایده‌آل مثبت Relative closeness to ideal solution	فاصله گزینه با ایده‌آل منفی Distance from negative ideal solution	فاصله گزینه با ایده‌آل مثبت Distance from ideal solution	تنش رطوبتی Water stress	سامانه خاک‌ورزی Tillage system
2	0.80	0.074	0.019	آبیاری کامل Full irrigation	مرسوم Conventional tillage
6	0.56	0.045	0.035	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	
5	0.63	0.050	0.029	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky	
1	0.84	0.071	0.014	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough	
4	0.75	0.064	0.021	آبیاری کامل Full irrigation	کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage
10	0.29	0.025	0.063	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	
9	0.42	0.034	0.047	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky	
3	0.78	0.062	0.017	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough	
8	0.24	0.036	0.045	آبیاری کامل Full irrigation	بی‌خاک‌ورزی No tillage
12	0.19	0.018	0.076	قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	
11	0.27	0.022	0.059	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Irrigation cutting at seed milky	
7	0.53	0.042	0.038	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Irrigation cutting at seed dough	

پرشیدن دانه گندم با تغییر سامانه خاک‌ورزی از حالت رایج به کاهش- یافته، عملکرد دانه بیشتر، مصرف آب و هزینه خاک‌ورزی کمتر بود. با توجه به این‌که در پژوهش حاضر عملکرد دانه گندم در تیمار اعمال تنش آبی در مرحله خمیری شدن دانه با تیمار آبیاری کامل اختلاف معنی‌دار نداشت، می‌توان در شرایط محدودیت آب، بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد، آبیاری را در مرحله انتهای پرشدن دانه قطع نمود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمارهای قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه و آبیاری کامل در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم و قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه در سامانه کم- خاک‌ورزی بازده برنامه‌ای، درصد بازده فروش و نسبت فایده به هزینه بالاتری داشتند. با توجه به بازده اقتصادی بالاتر سامانه خاک‌ورزی مرسوم، این سامانه برای کشاورزان از اولویت برخوردار است. در تصمیم‌گیری کشاورزان برای انتخاب سامانه زراعی، توجه کمتری به

ارزیابی اقتصادی سامانه‌های خاک‌ورزی طی سه سال آزمایش (۱۳۹۶-۹۹) نشان داد که سامانه خاک‌ورزی مرسوم به دلیل عملکرد دانه گندم بالاتر و هزینه تولید کمتر نسبت به سامانه بی‌خاک‌ورزی اولویت دارد. اگرچه هزینه تولید این سامانه اختلاف ناچیز با سامانه کم‌خاک‌ورزی داشت (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های Cong et al (2024) و Mirzazadeh et al (2020) متفاوت است که بیان کردند روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به روش مرسوم برتر بود. در مراحل اولویت‌بندی تیمارهای آزمایش بر اساس مجموعه‌ای از معیارها، بازده برنامه‌ای در واحد سطح بالاترین ضریب اهمیت را به خود اختصاص داد (جدول ۴). تفاوت عملکرد و بازده برنامه‌ای سطوح مختلف تنش رطوبتی در سامانه‌های خاک‌ورزی نسبتاً زیاد بود (جدول ۶). نتایج نشان داد که تیمارهای قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه و آبیاری کامل در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم و قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه در سامانه کم‌خاک‌ورزی بازده برنامه‌ای بالاتری داشتند. نتایج مشابهی توسط Zarei et al (2015) گزارش شد. نتایج نشان داد که در تیمار قطع آبیاری در مراحل رشدی ظهور سنبله و

- Debele, T., Du Preez, C.C., & Ceronio, G.M. (2017). *Economic evaluation of tillage systems and nitrogen fertilization for maize production in western Ethiopia*. International Journal of Research in Agricultural Sciences, 4(4), 2348 – 3997.
- Ghaghazardi, H. R., Jahansouz, M. R., Ahmadi, A., & Gorji, M. (2016). *Effects of tillage management on productivity of wheat and chickpea under cold, rainfed conditions in western Iran*. Soil and Tillage Research, 162, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.010>.
- Gholami, A., Asgari, H.R., & Zeinali, E. (2014). *Effect of different tillage systems on soil physical properties and yield of wheat (Case study: Agricultural lands of Hakim Abad village, Chenaran township, Khorasan Razavi province)*. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2(5), 1539-1522. Available online at <http://www.ijabbr.com>.
- Huang, D., Chen, X., Zhang, S., Zhang, Y., Gao, Y., Zhang, Y., & Liang, A. (2022). *No-Tillage Improvement of Nitrogen Absorption and Utilization in a Chinese Mollisol Using 15N-Tracing Method*. Atmosphere, 13(4), 530. <https://doi.org/10.3390/atmos13040530>.
- Jat, H. S., Singh, G., Singh, R., Choudhary, M., Jat, M. L., Gathala, M. K., & Sharma, D. K. (2015). *Management influence on maize-wheat system performance, water productivity and soil biology*. Soil Use Management, 1-10. <https://doi.org/10.1111/sum.12208>.
- Khakbazan, M., & Hamilton, C. (2012). *Economic evaluation of tillage management practices at the watershed scale in southern Manitoba*. Soil and Tillage Research, 118, 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.009>.
- Khorsandy, H., Ferdosi, R., & Abdulahi, A. (2020). *Technical and economic evaluation of different tillage and nitrogen levels in dryland wheat*. Iranian Dryland Agronomy Journal, 9(1), 91-109. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijad.2020.341276.288>.
- Komeili, H.R., Rezvani Moghaddam, P., Ghodsi, M., Nassiri Mahallati, M., & Jalal Kamali, M. R. (2016). *Effect of different tillage methods and the rate of crop residues on yield, yield components and economic efficiency of wheat*. Cereal Research, 6(3), 323-337. <https://doi.org/10.1001.1.22520163.1395.6.3.5.7>.
- Mashingaidze, N., Madakadze, C., Twomlow, S., Nyamangara, J., & Hove, L. (2012). *Crop yield and weed growth under conservation agriculture in semi-arid Zimbabwe*. Soil and Tillage Research. 124: 102-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.05.008>.
- Mirzazadeh, A., Pourdarbani, R., & Fekri, S. (2020). *Selection of the most appropriate tillage system based on TOPSIS model with emphasizes on impact of different tillage systems on yield*. Emirates Journal for Engineering Research, 25(3), 6-30. Available at: <https://scholarworks.uaeu.ac.ae/ejer/vol25/iss3/5>.
- Saaty, R. W. (1987). *The analytic hierarchy process- what it is and how it is used?* Mathematical Modelling, 9(3), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).
- Sarikhani Khorami, S., Kazemeini, S. A., Zare, E., & Bahrani, M. J. (2019). *Evaluation of wheat genotypes under tillage practices: application of technique for order preference by similarity to ideal solution method*. Iran Agricultural
- حفظ منابع آب و خاک که از مهم ترین مزیت های سامانه های خاک ورزی حفاظتی است، می شود. با توجه به این که کشاورزان هزینه واقعی آب آبیاری را پرداخت نمی کنند، سهم هزینه آب در بین سایر هزینه های تولید پایین است. با توجه به ارزش بالای آب به عنوان یک منبع کمیاب، چنانچه قیمت سایه ای این نهاده در محاسبات وارد شوند، مقدار کاهش هزینه تولید، به عنوان یکی از نتایج مطلوب سامانه خاک ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک ورزی مرسوم افزایش خواهد یافت.
- ## سپاسگزاری
- از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس و بخش زراعت و ژنتیک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز برای حمایت مالی، علمی و تهیه امکانات از این پژوهش قدردانی می شود. همچنین نگارندگان از جناب آقای دکتر هرمز اسدی که در تدوین این نوشتار همکاری و همفکری داشتند، صمیمانه سپاسگزارند.
- ## منابع
- Antucheviciene, J., Zavadskas, E. K., & Zakarevicius, A. (2010). *Multiple criteria construction management decisions considering relations between criteria*. Technological and Economic Development of Economy, 16, 109-125. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.07>.
- Asadi, H., Mahmoodi, M & Zare, SH. (2022). *Determining profitability and economic productivity of agricultural water in crop production*, Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 15(6), 1404-1411. <https://doi.org/10.1001.1.20087942.1400.15.6.14.4>.
- Bhan, S., & Behera, U. K. (2014). *Conservation agriculture in India – Problems, prospects and policy issues*. International Soil and Water Conservation Research, 2(4), 1-12. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30053-8](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30053-8).
- Biswas, T., Majumder, A., Dey, S., Mandal, A., Ray, S., Kapoor, P., Emam, W., Kanthal, S., Ishizaka, A., & Matuka, A. (2024). *Evaluation of management practices in rice-wheat cropping system using multicriteria decision-making methods in conservation agriculture*. Scientific Reports. 14, 8600. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58022-w>.
- Carter M. R., & Ivany, J. A. (2006). *Weed seed bank composition under three long-term tillage regimes on a fine sandy loam in Atlantic Canada*. Soil and Tillage Research, 90, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.08.002>.
- Chauhan, B.S., Singh, R.G., & Mahajan, G. (2012). *Ecology and management of weeds under conservation agriculture: a review*. Crop Protection. 38:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.010>.
- Cong, Z., Gu, J., Li, C., & Li, F. (2024). *Enhancing soil conditions and maize yield efficiency through rational conservation tillage in Aeolian semi-arid regions: A TOPSIS analysis*. Water, 16, 2228. <https://doi.org/10.3390/w16162228>.

- Research, 38(2), 55-64.
<https://doi.org/10.22099/IAR.2019.5457>.
- Sarikhani khorami, Sh., Kazemini, S. A., Afzalnia, S., & Gathala, M. K. (2018). *Changes in soil properties and productivity under different tillage practices and wheat genotypes: A short-term study in Iran*. Sustainability, 10(9), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su10093273>.
- Sarikhani Khorami, Sh., Kazemini, S.A., Eslami, A., Yassei, M., Amini, A.A., Zare, I., Khademhamzeh, H.R., Afzalnia, S., Alijani, Kh., Qaedsharaf, F., & Mino, M.J. (2022). *Quantitative comparison of conventional and conservation cropping systems under normal irrigation and drought stress conditions*. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Frost number 62761. 83 pages. [In Persian].
- Seyedan, S. M., & Heidari, A. (2022). *Economic evaluation of using different tillage methods and crop rotation in rain-fed wheat cultivation*. Journal of Agricultural Machinery, 12(3), 367-377. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/jam.2021.68182.1008>.
- Shahzad, M., Farooq, M., & Hussain, M. (2016 b) *Weed spectrum in different wheat-based cropping systems under conservation and conventional tillage practices in Punjab, Pakistan*. Soil and Tillage Research. 163:71-79.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.012>.
- Shahzad, M., Farooq, M., Jabran, K., Yasir, T.A., & Hussain, M. (2016 a). *Influence of various tillage practices on soil physical properties and wheat performance in different wheat-based cropping systems*. International Journal of Agriculture and Biology, 18, 821-829.
<https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0178>.
- Sharifi, M., Soodmand-Moghaddam, Sh., Izadi, M., & Abbaszadeh., R. (2021). *Analysis of economic and energy indicators in different methods of protective tillage in wheat cultivar (Case Study: Dasht-e Naz Sari Agro-Industrial Company)*. Journal of Agroecology, 13(2), 195-210. <https://doi.org/10.22067/JAG.V13I2.81534>.
- Srdjevic, B., Medeiros, Y., & Faria, A. (2004). *An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios*. Water Resource Management, 18 (1), 35-54.
<https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000015348.88832.52>.
- Wang, X. B., Cai, D. X., Hoogmoed, W. B., Oenema, O., & Perdok, U. D. (2007). *Developments in conservation tillage in rainfed regions of North China*. Soil and Tillage Research. 93:239-250.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2006.05.005>.
- Zarei, M., Kazemini, S. A., & Bahrani, M. J. (2015). *The effect of tillage systems and water stress on wheat growth and yield*. Iranian Journal of Field Crops Research. 12(4): 793-804. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.25621>.