Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter, 2025, p. 287-300

Plant Production and Genetics

https://doi.org/10.22034/plant.2026.146730.1218

The Effect of drip irrigation tape spacing and irrigation water depth on wheat yield and water productivity in Sanandaj county

Parya Rahmati [1], Parviz Fathi*[1], Mohammad Hossein Sadri[2], Farzad Hossein Panahi[3]

1. Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Department of Soil and Water Research, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran
3. Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

*Corresponding Author Email: p.fathi@uok.ac.ir

Received: 29-08-2026 **revised:** 11-10-2026 **Accepted**: 24-10-2026

Abstract

Introduction: Water scarcity is the most critical constraint for agricultural sustainability in arid and semi-arid regions like Iran. Wheat (*Triticum aestivum* L.), as a strategic crop is dominate cultivated crop in Sanandaj county and requires efficient water management strategies to maximize yield while minimizing water consumption. Traditional irrigation methods for this crop in Sanandaj county suffer from low efficiency. Drip- tape irrigation system (T-Tape), have shown high potential for improving water productivity. The design of such systems, specifically drip-tapes spacing and the irrigation water depth for crops such as wheat plays a pivotal role in economic feasibility and agronomic performance. Despite its importance, there is limited knowledge regarding the optimal combination of drip-tape spacing and irrigation depth for wheat cultivation in Sanadaj County. This study aims to evaluate the interactive effects of different irrigation water depths and drip - tape spacing on the biological and straw yield, water productivity and economic efficiency of wheat in Sanandaj county.

Materials and Methods: This field experiment was conducted during the 2017–2018 cropping season at the Agricultural Research Station of Griezeh, Sanandaj, Iran (with geographical coordinates of 35°16' N, 47°1' E, and elevation of 1405 m A.S.L.). The region is characterized by a semi-arid climate with an average annual precipitation of 492 mm. The experiment was laid out as a split-plot design based on Randomized Complete Blocks with three replications. The treatments included two main factors of drip- tape Spacing (equal to 20 (D_1), 40 (D_2), 60 (D_3), and 80 (D_4) cm) and Irrigation Water Depth (equal to 60 (I_1), 80 (I_2), 100 (I_3), and 120 (I_4) % of the wheat water requirement). Soil properties and water quality parameters were measured prior to the experiment, confirming suitability for drip irrigation. At the end of the growing season, agronomical traits including grain and straw yield were measured. Furthermore, an economic analysis was performed based on benefit to cost ratio index to identify the most economically feasible configuration of the irrigation system.

Results: The results indicated that both drip-tape spacing and irrigation water depth significantly affected the grain yield and water productivity of wheat crop. The highest straw yields were observed in the treatment with the highest water application (equal to 120 % wheat water requirement) and the closest drip-tape spacing (equal to 20 cm). Conversely, the highest grain yield was recorded in the treatment with irrigation water depth equal to 100 % of wheat water requirement and the drip-tape spacing of 60 cm. Although, the irrigation water treatment of I_4 (equal to 120% wheat water requirement) maximized biomass, it observed that over-irrigation Stimulated vegetative growth more than reproductive growth, which is not necessarily favorable for increasing of wheat grain yield. Increasing the drip-tapes spacing from 20 cm to 80 cm significantly reduced yields due to the decrease in the wetted soil volume available for roots. Statistical analysis of the benefit to cost ratio indicated that the highest value achieved in treatment I_2D_2 (with irrigation water depth of 80 % the crop water requirement and drip-tape spacing of 40 cm). Application of this treatment resulted in a 20 % water saving in irrigation water use.

Conclusion: Based on the integration of crop yield and economic indicators, an irrigation water depth equal to 80% of the wheat water requirement and a drip-tape spacing of 40 cm are recommended for wheat production under drip-tape irrigation in Sanandaj County. This combination, while achieving a desirable crop yield and maximum economic net revenue, results in a 20% saving in irrigation water consumption and a considerable increase in water productivity.

Keywords: Micro Irrigation, Wheat yield, Water Deficit

Citation: Rahmati, P., Fathi, P., Sadri, M. H., & Hossein Panahi, F. (2026). The Effect of drip irrigation tape spacing and irrigation water depth on wheat yield and water productivity in Sanandaj county. *Plant Production and Genetics*, *7*(2), 287-300. https://doi.org/10.22034/plant.2026.146730.1218

Copyrights:
Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

جلد ۷، شماره۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۵، صفحات ۳۰۰-۲۸۷

تولید و ژنتیک گیاهی

https://doi.org/10.22034/plant.2026.146730.1218

اثر فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای و عمق آب آبیاری بر بهره‌وری آب و عملکرد گندم در شهرستان سنندج

پریا رحمتی[۱]، پرویز فتحی[*۱]، محمدحسین سدری[۲]، فرزاد حسین پناهی قروچای[۳]

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

[*]ایمیل نویسنده مسئول: p.fathi@uok.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۶/۰۷ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۵/۰۷/۱۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۸/۰۲

چکیده

مقدمه: کمبود آب مهم‌ترین محدودیت کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. گندم به‌عنوان محصولی استراتژیک در سنندج کشت می‌شود و نیازمند مدیریت کارآمد آب برای دستیابی به عملکرد مطلوب با حداقل مصرف آب است. روش‌های سنتی آبیاری در این منطقه راندمان پایینی دارند، در حالی که آبیاری قطره‌ای نواری پتانسیل بالایی برای افزایش بهره‌وری آب دارد. طراحی بهینه این سیستم، به‌ویژه تعیین فاصله نوارها و عمق آب آبیاری، نقش تعیین‌کننده‌ای در توجیه اقتصادی و عملکرد گندم دارد؛ اما اطلاعات محدودی در این زمینه برای سنندج وجود دارد. بنابراین، این پژوهش اثرات متقابل فواصل مختلف نوارهای آبیاری و عمق‌های متفاوت آب آبیاری را بر عملکرد زیستی، کاه و کلش، بهره‌وری آب و کارایی اقتصادی گندم در سنندج بررسی کرد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۷–۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه، سنندج، ایران (با مختصات جغرافیایی ۱۶′۳۵° شمالی و ۱′۴۷° شرقی و ارتفاع ۱۴۰۵ متر از سطح دریا) انجام شد. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه ۴۹۲ میلی‌متر است. آزمایش‌های این تحقیق به‌صورت طرح کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو عامل اصلی فاصله نوارهای آبیاری ۲۰ سانتی‌متر (D1)، ۴۰ سانتی‌متر (D2)، ۶۰ سانتی‌متر (D3) و ۸۰ (D4) و عمق آب آبیاری (معادل ۶۰ درصد (I1)، ۸۰ درصد (I2)، ۱۰۰ درصد (I3) و ۱۲۰ درصد (I4) نیاز آبی گندم) بود. پیش از اجرای آزمایش، ویژگی‌های خاک و پارامترهای کیفیت آب اندازه‌گیری شد که نتایج، مناسب بودن شرایط برای استفاده از آبیاری قطره‌ای را تأیید کرد. در پایان فصل رشد، صفات زراعی از جمله عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش اندازه‌گیری شدند. همچنین، به‌منظور تعیین اقتصادی‌ترین آرایش سیستم آبیاری، تحلیل اقتصادی مبتنی بر شاخص نسبت درآمد به هزینه انجام گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد که هر دو عامل فاصله نوارهای آبیاری و عمق آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب گندم داشتند. بیشترین عملکرد کاه و کلش در تیمار دارای بیشترین مقدار آب مصرفی(۱۲۰ درصد نیاز آبی گندم) و کمترین فاصله نوار آبیاری (۲۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. درمقابل، بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار با عمق آبیاری معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گندم و فاصله نوارهای آبیاری برابر ۶۰ سانتی‌متر بود. اگرچه تیمار عمق آب آبیاری I_4 (معادل با ۱۲۰ درصد نیاز آبی گندم) موجب حداکثر شدن عملکرد زیست‌توده شد اما مشاهده گردید که آبیاری بیش از نیاز، رشد رویشی را بیش از رشد زایشی تحریک می‌کند و این امر لزوماً باعث افزایش عملکرد دانه نمی‌گردد. افزایش فاصله بین نوارهای آبیاری از ۲۰ به ۸۰ سانتی‌متر، به‌دلیل کاهش حجم خاک خیس‌شده در دسترس ریشه‌ها، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد شد. تحلیل آماری شاخص نسبت درآمد به هزینه نشان داد که بیشترین نسبت درآمد به هزینه در تیمار I_2D_2 (عمق آب آبیاری معادل با ۸۰ درصد نیازآبی و فاصله نوارهای آبیاری برابر ۴۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد، اعمال تیمار مذکور منجر به صرفه‌جویی ۲۰ درصدی در مصرف آب آبیاری می‌گردد.

نتیجه‌گیری: بر اساس تلفیق شاخص‌های عملکرد محصول و اقتصادی، برای تولید گندم تحت آبیاری قطره‌ای نواری در شهرستان سنندج، عمق آب آبیاری معادل ۸۰ درصد نیاز آبی و فاصله نوار ۴۰ سانتی‌متر پیشنهاد می‌شود. این ترکیب ضمن دستیابی به عملکرد مطلوب و حداکثر سود اقتصادی، ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش قابل‌توجه بهره‌وری آب را به همراه دارد.

کلید واژگان: آبیاری میکرو، عملکرد گندم، کم‌آبیاری

منبع: رحمتی، پ.، فتحی، پ.، سدری، م. ح. و حسین پناهی قروچای، ف. (۱۴۰۵). اثر فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای و عمق آب آبیاری بر بهره‌وری آب و عملکرد گندم در شهرستان سنندج، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۷(۲)، ۳۰۰-۲۸۷. https://doi.org/10.22034/plant.2026.146730.1218

CC BY

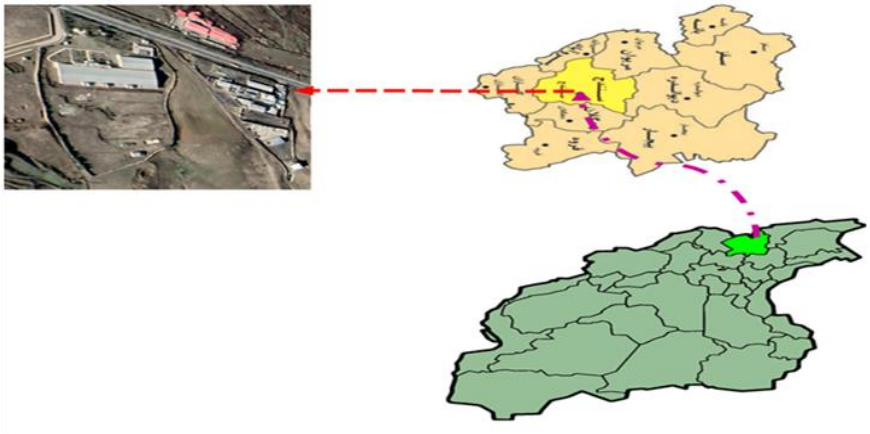
مقدمه

تغییر اقلیم با کاهش مقدار بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق محصولات زراعی و باغی، باعث تشدید بحران آب در اکثر نقاط جهان، علی‌الخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران گردیده است. لذا بکارگیری راه‌کارهای فنی و مدیریتی موثر ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در جهت مصرف آب آبیاری کمتر و تولید محصول بیشتر می‌باشد (Torknezhad *et al.*, 2006). استفاده از سیستم‌های آبیاری کارا و اعمال سناریوی‌های مدیریتی موثر نظیر کم‌آبیاری، باعث صرفه جویی در مصرف آب و بهبود مدیریت آب در مزرعه می‌گردد (Mohammadi *et al.*, 2018). سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به‌دلیل آنکه فقط آب را در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند و از آبیاری نواحی فاقد گیاه خودداری می‌گردد، می‌تواند کمک موثری در جهت حل مشکل کمبود آب در بخش کشاورزی باشد. غلات، علی الخصوص گندم به‌دلیل نقش پر اهمیت و استراتژیک در الگوی غذایی بیشتر مردم جهان و ایران، تنها یک کالای اقتصادی نیست، بلکه این محصول، دارای تاثیرات سیاسی و راهبردی نیز می‌باشد. تولید به‌میزان کافی و به‌موقع این محصول، منجر به ایجاد سطح بالایی از امنیت غذایی گردیده و در نتیجه آن رفاه اجتماعی طبقات متوسط و ضعیف جامعه، به‌شدت متأثر از این محصول است (Ghalibaf *et al.*, 2016). این در حالی است که روش رایج برای آبیاری محصول گندم، عمدتاً از انواع سیستم‌های آبیاری سطحی می‌باشد که نسبت به روش‌های نوین آبیاری، بازده آبیاری کمتر و حجم آب مصرفی بیشتری دارد. سیستم‌های آبیاری قطره‌ای- نواری به‌عنوان ابزاری کارآمد برای تأمین آب، کود، آفتکش‌ها، کاهش رواناب سطحی و نفوذ عمقی آب ، دارای درجه بالای از یکنواختی پخش بوده درنتیجه به‌صورت فزاینده‌ای مورد استقبال کشاورزان در مناطق مختلف دنیا قرارگرفته است (Clinton *et al.*, 2000؛Camp *et al.*, 2000). اما این روش آبیاری قانون‌مندی خاص خود را داشته که در صورت عدم شناخت و به‌کارگیری آن‌ها توأم با موفقیت چندانی نخواهد بود به‌همین دلیل تدوین برنامه‌ای برای تعیین طراحی بهینه و مدیریت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای-نواری در هر منطقه امری مهم و لازم می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که کاربرد سیستم نوین آبیاری قطره‌ای – نواری برای آبیاری زمین‌های کشاورزی، باعث کاهش حداقل ۳۰ درصدی مصرف آب و افزایش حداقل ۴۰ درصدی بهره‌وری آب آبیاری در محصولات کشاورزی می‌گردد (Akhavan, 2015). همچنین در این روش آبیاری، به‌دلیل اعمال مقدار کم و دور آبیاری کوتاه توسط کشاورزان، ظرفیت پتانسیلی بالایی در بهبود راندمان آبیاری دارا است. استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای-نواری در زراعت گندم، به‌دلیل تراکم بالای آن در واحد سطح، نسبت به سایر محصولات دارای هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالاتری می‌باشد. این امر یکی از مشکلات مربوط به اجرا و توسعه این سیستم در مزارع گندم است. هزینه‌های اولیه اجرای این سیستم عمدتاً تحت تأثیر فاصله مابین نوار های آبیاری می‌باشد. هرچه فاصله نوارها از هم افزایش یابد طول نوارهای آبیاری مورداستفاده نیز کمتر و لذا هزینه اجرا سیستم کاهش می‌یابد (Akhavan, 2015). نکته اساسی در طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری این است که فاصله نوارهای آبیاری طوری درنظر گرفته‌شود که باعث مرطوب بودن مداوم و پیوسته منطقه توسعه ریشه محصول گردد (Du *et al.*, 2008)، در این حالت تامین مناسب و به‌موقع آب و مواد مغذی برای ریشه گیاه اتفاق می‌افتد. لذا رشد و عملکرد محصول ارتباط نزدیکی با فاصله مابین نوارهای‌آبیاری قطره‌ای دارد (Wang *et al.*, 2013 و Payero *et al.*,2008). بنابراین بررسی اثرات متقابل عمق آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای بر عملکرد دانه گندم به درک بهتر توزیع مناسب آب در خاک اطرف ریشه و به تبع آن افزایش قابل توجه مقدار بهره‌وری محصول گندم می‌گردد (Wang *et al.*, 2022 و Chen *et al.*, 2015). خصوصیات خاک، نوع گیاه و مقدار بارندگی در طول فصل رشد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فاصله مابین نوارهای آبیاری می‌باشد (Lamm, 2002). اگرچه از روش آبیاری قطره‌ای – نواری در برخی از مناطق کشور و توسط برخی زارعین پیشرو در برخی زراعت‌های ردیفی استفاده می‌شود اما متاسفانه دانش زیادی در خصوص فاصله مناسب نوارهای آبیاری در زمین-های با بافت خاک مختلف و محصولات زراعی متفاوت جهت استفاده کارشناسان و کشاورزان وجود ندارد. لذا ضرورت دارد با انجام تحقیقات کاربردی، فاصله بهینه نوارهای آبیاری برای خاک‌ها و محصولات کشاورزی متفاوت تعیین گردد. این موضوع در زراعت گندم به علت تراکم بیشتر بوته‌ها نسبت به سایر محصولات زراعی ردیفی، از حساسیت بیشتری برخوردار است. Chen و همکاران (۲۰۱۵) اثر فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای و مقدار آب آبیاری بر عملکرد

و بهره‌وری آب محصول گندم در کشور چین را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که با کاهش فاصله بین نوارهای آبیاری و عمق آب آبیاری، مقدار تبخیر و تعرق گیاه و عملکرد محصول افزایش می‌یابد. Lv و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی اثر فاصله نوارهای آبیاری بر عملکرد دانه گیاه گندم بهاره در سطوح مختلف آب آبیاری تحت سیستم آبیاری قطره‌ای - نواری را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار بهره‌وری آب محصول گندم بهاره در تیمارهای با فاصله نوار آبیاری برابر پنج و شش برابر فاصله خطوط کشت، بیشتر از تیمار با فاصله نوار آبیاری معادل چهار برابر فاصله خط کشت بود. Yang و همکاران (۲۰۲۳) طی تحقیقی در منطقه شمال غربی چین، به مقایسه استفاده از سیستم‌های آبیاری نواری و آبیاری قطره‌ای برای کشت گندم پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که آبیاری قطره‌ای در مقایسه با آبیاری نواری تأثیرات معنی‌داری بر شرایط بیوفیزیکی زمین‌های کشاورزی و واکنش‌های فیزیولوژیکی محصولات دارد. نتایج همچنین نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری نسبت به سایر سیستم‌ها، عملکرد دانه و بهره‌وری آب محصول گندم را به‌ترتیب به‌میزان ۱۰/۳ و ۱۵/۶ درصد بهبود بخشید. Wang و همکاران (۲۰۱۳) طی تحقیقی، اثر نوع سیستم آبیاری و سطوح آب آبیاری بر رشد و عملکرد گندم زمستانه در شمال کشور چین را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد عملکرد و بهره‌وری آب محصول تحت سیستم آبیاری قطره‌ای به‌طور قابل توجهی بیشتر از سیستم آبیاری سطحی بود. همچنین تحقیقات Kharrou و همکارن (۲۰۱۱) نشان دادند که سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری در مقایسه با روش آبیاری سطحی، مقدار بهره‌وری آب محصول گندم زمستانه را تا ۲۴ درصد افزایش داد. امروزه به‌دلیل وقوع تغییرات اقلیمی و افزایش خشکسالی‌ها، استفاده از سیستم کارای آبیاری قطره‌ای-نواری به‌عنوان یک راهکار حیاتی برای کاهش مصرف آب در کشت گندم اهمیت دو چندان یافته است. سیستم آبیاری غالب محصولات متراکم در استان کردستان از نوع آبیاری سطحی و بارانی کلاسیک ثابت با آب پاش متحرک با راندمان آبیاری سیستم و بهروری آب محصول کم است (Anonymous. 2015). تحقیقات نشان داده‌است که مقدار عملکرد و بهره‌وری آب محصول تحت تاثیر نوع سیستم آبیاری و عمق آب آبیاری است (Brar *at al., 2012*) لذا انجام تحقیقات علمی و سیستماتیک در زمینه تاثیر استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری بر عملکرد و بهره‌وری آب محصولات کشاورزی متراکم مانند گندم مورد توجه محققان آب قرار گرفته‌است (Patel & Rank, 2020). هدف از تحقیق حاضر نیز استفاده از روش آبیاری قطره‌ای – نواری توام با اعمال کم آبیاری، به‌عنوان یکی از سناریوهای موثر در استفاده بهینه از منابع محدود آب، بر عملکرد و بهره‌وری محصول گندم آبی در شهرستان سنندج بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۷–۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، واقع در ۱۵ کیلومتری جنوب شهر سنندج اجرا گردید. ایستگاه تحقیقاتی مذکور در مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و یک دقیقه طول شرقی، و ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۱۴۰۵ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت محل انجام پژوهش در کشور و استان کردستان نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی محل انجام تحقیق

میانگین بارندگی بلندمدت در این ایستگاه برابر با ۴۹۲ میلی‌متر گزارش شد. همچنین متوسط بلندمدت سرعت باد در مزرعه دو متر بر ثانیه و دمای حداقل و حداکثر مطلق به‌ترتیب برابر ۳۱- و ۴۲ درجه سانتی‌گراد بود (Anonymous, 2018). مقادیر برخی پارامترهای هواشناسی در مزرعه برای سال زراعی اجرای تحقیق حاضر در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات اقلیمی محل انجام تحقیق

ماه	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)	بارندگی (mm)
فروردین	۲۰/۵	۵/۲	۶۰
اردیبهشت	۲۶/۲	۸/۸	۳۱
خرداد	۳۳/۴	۱۲/۹	۲
تیر	۳۷/۴	۱۷/۶	۱
مرداد	۳۷/۱	۱۶/۵	۰
شهریور	۳۲/۳	۱۰/۵	۱
مهر	۲۴/۵	۶/۳	۳۲
آبان	۱۵/۳	۱/۷	۵۹
آذر	۹/۱	-۲/۳	۴۸
دی	۶/۶	-۴/۷	۵۰
بهمن	۸/۸	-۳/۳	۵۵
اسفند	۱۴/۲	۰/۷	۶۵

منبع آب مورد استفاده برای آبیاری محصول، یک حلقه چاه عمیق بود. در این تحقیق برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب اندازه‌گیری گردید. مقادیر پارامترهای کیفیت آب در جدول ۲ نمایش داده‌شده است. مشاهده جدول ۲ بیانگر این مطلب است که آب مورد استفاده، بر اساس دستورالعمل طبقه‌بندی کیفیت آب برای سامانه‌های آبیاری تحت فشار (Rogers *et al.*, 2003) دارای پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان کم و فاقد محدودیت قابل ملاحظه از نظر تأثیر بر عملکرد محصول و خاک است. بدین ترتیب، کیفیت آب آبیاری از نظر شاخص‌های شیمیایی و فیزیکی برای استفاده در سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری مناسب ارزیابی گردید.

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری

پارامتر کیفی	واحد	مقادیر اندازه‌گیری شده	تفسیر
EC	ds/m	۰/۴۹۱	خوب
SAR اصلاح‌شده	-	۰/۸۹۵	خوب
Na^+	meq/lit	۰/۶۳	خوب
Cl^-	meq/lit	۰/۷	خوب
NO_3	meq/lit	۵/۵	خوب
CO_3	meq/lit	۰	خوب
HCO_3	meq/lit	۴/۳۵	خوب
SO_4	meq/lit	۰/۰۸	خوب
Ca	meq/lit	۳/۲	خوب
Mg	meq/lit	۱/۵	خوب
T.D.S	meq/lit	۳۱۴/۲۴	خوب
PH	-	۷/۳	خوب
سختی کل	meq/lit	۴	خوب
کلاس آب			C_2S_1

در این تحقیق همچنین به‌صورت زیگزاگی از دو عمق خاک ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ خاک مزرعه نمونه‌برداری و برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۳). مقدار درصد رطوبت حجمی خاک مزرعه در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به‌ترتیب برابر با ۳۲ و ۱۴ درصد اندازه‌گیری گردید. همچنین وزن مخصوص ظاهری خاک نیز برابر با ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمد. مشاهده جدول ۳ نشان می‌دهد که بافت خاک در لایه ۳۰-۰ از نوع لومی رسی است . این بافت دارای سرعت نفوذ و ظرفیت نگهداری آب در خاک مناسبی است. اما بافت لایه ۶۰-۳۰ از نوع لومی می‌باشد که لایه‌ای با سرعت نفوذ کم و ظرفیت نگهداری آب بالامی‌باشد. به‌دلیل وجود این لایه، بایستی آبیاری با حجم کم و دفعات بیشتر (مثل آبیاری قطره‌ای) انجام شود تا از ماندابی شدن خاک و ایجاد مشکل زهکشی جلوگیری شود.

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای تحقیق

عمق (cm)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت (-)	EC (dc/m)	pH (-)	O.C (%)	Sp (%)	T.N.V (%)	P (ppm)	K (ppm)
۳۰-۰	۳۷/۷۲	۳۶/۷۲	۲۵/۵۶	لومی رسی	۰/۸۲۴	۷/۷۸	۱/۱۸	۴۷/۴۳	۱/۲	۸	۲۹۵/۷۴
۶۰-۳۰	۱۹/۵۶	۳۳/۴۴	۴۷	لومی	۰/۷	۱۰	۱/۲۵	۴۶/۲	۱	۱۰	۲۶۵

آزمایش‌های این تحقیق در قالب طرح آزمایشی کرت‌های خردشده بر پایه طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی فوق‌الذکر اجرا گردید. فاکتور اصلی طرح شامل چهار سطح آبیاری I_1 ، I_2، I_3، I_4 (به‌ترتیب معادل ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گندم آبی) و فاکتور فرعی نیز شامل چهار فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای D_1، D_2، D_3 و D_4 (به‌ترتیب معادل ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. ابعاد کرت‌های اصلی و فرعی به‌ترتیب ۵×۱۱ و ۵×۲ متر بود. در هر کرت، ۱۱ ردیف گندم رقم سیروان با فاصله ۱۷/۵ سانتی‌متر، عمق کاشت ۵ سانتی‌متری و تراکم ۴۰۰ بذر در هر مترمربع، در تاریخ ۱۳۹۶/۸/۱۵ و با استفاده از دستگاه بذرپاش کشت گردید. به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای ناشی از نفوذ آب از تیمارهای مجاور، فاصله بین کرت‌های اصلی و فرعی به‌ترتیب ۲ و ۱ متر در نظر گرفته‌شد. کودهای شیمیایی موردنیاز بر مبنای نتایج آزمون خاک، شامل کودهای فسفری(سوپر فسفات تریپل) ، پتاسیمی (از نوع سولفات پتاسیم) و نیتروژنی (از نوع اوره) به‌ترتیب برابر ۵۵، ۷۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. عملیات کوددهی در چهار مرحله در طول فصل رشد انجام شد. در مرحله اول ، همزمان با کشت بذر گندم، کودهای پایه شامل سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم، و یک‌چهارم کود اوره، به روش جایگذاری و توسط بذرکار انجام شد. در مراحل دوم تا چهارم مابقی کود اوره در سه نوبت و با مقادیر یکسان در مراحل پنجه‌زنی، شروع خوشه‌دهی و ۲۰ روز پس از شروع خوشه‌دهی به‌صورت سرک اعمال گردید. در این تحقیق برای تعیین عمق آب آبیاری از روش بیلان رطوبت خاک(Kar *et al.*, 2007) استفاده گردید (معادله ۱).

(۱)

$$Ig = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i)(D_r)}{\eta}$$

که در آن Ig = عمق آبیاری برحسب بر حسب میلی‌متر، θ_{FC}: درصد رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_i: درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری، D_r: عمق موثر ریشه برحسب میلی‌متر و η: راندمان آبیاری بر حسب درصد است. در این تحقیق راندمان آبیاری برابر ۹۰ درصد درنظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری درصد رطوبت حجمی خاک از دستگاه TRIME نصب شده در مرکز کرت شاهد (کرت با عمق آب آبیاری معادل با ٪۱۰۰ نیاز آبی محصول گندم و فاصله نوارهای آبیاری برابر ۴۰ سانتی‌متر) استفاده گردید. همچنین دور آبیاری برابر با هفت روز در نظر گرفته شد. با اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از آبیاری (θ_i) و استفاده از معادله (۱) و ضرب آن در مساحت هر کرت، مقدار حجم آب موردنیاز آبیاری هر کرت محاسبه و با استفاده از یک دستگاه کنتور حجمی به هر کرت اضافه گردید. مقدار بهره‌وری آب محصول گندم از معادله (۲) محاسبه گردید (Kirda, 2002).

(۲)

$$wp = \frac{Y}{p_e + I_e}$$

که در آن؛ wp: بهره‌وری آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب،

Y: عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار، p_e: بارش مؤثر برحسب مترمکعب در هکتار و I_e: عمق آب آبیاری مؤثر فصل رشد گندم بر حسب مترمکعب در هکتار می‌باشد. در تحقیق حاضر برای محاسبه مقدار بارندگی مؤثر با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا محاسبه گردید. در این تحقیق از شاخص نسبت درآمد به هزینه برای ارزیابی اقتصادی تیمارهای مختلف تحقیق بهره گرفته شد. برای این منظور هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری شامل لوله‌ها، نوارهای آبیاری، شیرها و اتصالات و واحد کنترل مرکزی با در نظر گرفتن عمر مفید تجهیزات برابر نه سال و نرخ بهره بانکی ۱۸ درصد، به‌صورت هزینه یکنواخت سالانه محاسبه گردید (جدول ۴). مقادیر هزینه‌های سالیانه مربوط به نهاده‌های کشاورزی در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت در جدول ۵ قید گردیده‌است. درآمد سالیانه حاصل از فروش محصول شامل دانه، کاه و کلش گندم در هر هکتار محاسبه شد. قیمت دانه گندم بر اساس نرخ خرید تضمینی اعلام‌شده توسط دولت و قیمت کاه و کلش بر اساس استعلام از کشاورزان محلی و اداره جهاد کشاورزی شهرستان سنندج (برای سال زراعی۱۳۹۶-۱۳۹۷) در جدول ۶ ارائه گردیده است. در این تحقیق قیمت هر مترمکعب آب آبیاری با توجه به تعرفه خدمات تحویل آب از منابع آب زیرزمینی و بر اساس بخشنامه وزارت نیرو استخراج و در تحلیل اقتصادی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۶).

جدول ۴ – هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم‌های آبیاری قطره‌ای-نواری با فاصله نوارهای آبیاری مختلف

فاصله نوارهای آبیاری (سانتی‌متر)	قیمت فعلی (میلیون ریال)	قیمت یکنواخت سالیانه (میلیون ریال)
۲۰	۷۶/۵	۱۸/۷
۴۰	۵۶	۱۳/۹۴
۶۰	۴۹/۲	۱۲/۳۵
۸۰	۴۵/۷۳	۱۱/۵۵

جدول۵- هزینه‌های سالیانه مربوط به نهاده‌های کشاورزی

عنوان هزینه	واحد	قیمت واحد (میلیون ریال)	میزان مصرف در هکتار	هزینه سالیانه (میلیون ریال)
بذر	کیلوگرم	۰/۰۱۷	۲۲۰	۳/۷
کود شیمیایی اوره	کیلوگرم	۰/۰۰۸	۳۵۰	۲/۸
سولفات پتاسیم	کیلوگرم	۰/۰۱۵	۵۰	۰/۸
سوپر فسفات تریپل	کیلوگرم	۰/۰۱۱	۵۰	۰/۶
کارگر	نفر روز	۰/۶	۱۰	۶
قارچ‌کش و علف‌کش و سم‌پاش	-	-	-	۰/۹
تهیه بستر کاشت	-	-	-	۳
کشت بذر	-	-	-	۰/۴
برداشت	-	-	-	۲/۸
مجموع هزینه سالیانه در هکتار برای کاشت، داشت و برداشت محصول گندم				۲۱

جدول ۶ - قیمت واحد نهاده‌های اصلی مورد استفاده در تحقیق

نهاده	واحد	قیمت (میلیون ریال)
آب	مترمکعب	۰/۰۰۱۵۳۴
گندم	کیلوگرم	۰/۰۱۳۵
کاه و کلش	کیلوگرم	۰/۰۰۰۲

نتایج و بحث

مقادیر عمق آب آبیاری در طول فصل رشد و عملکرد دانه محصول گندم تحت تیمارهای مختلف آب آبیاری در جدول ۵ ارائه شده است. مشاهده جدول ۷ نشان می‌دهد که تیمار عمق آب آبیاری I_3 (تیمار با عمق آب آبیاری معادل با ۱۰۰ درصد نیاز آبی محصول گندم)، منجر به حصول بیشترین عملکرد دانه گندم به‌میزان ۵۶۸۸ کیلوگرم بر هکتار شده است. در مقابل، تیمار I_1 (تیمار با عمق آب آبیاری معادل با ۶۰ درصد نیازآبی گندم) با کمترین مقدار آب آبیاری (معادل ۱۲۲۰ مترمکعب در هکتار) کمترین مقدار عملکرد دانه گندم را بدست داده است. بر اساس داده‌های جدول فوق، افزایش عمق آب آبیاری تا یک حد مشخص منجر به افزایش عملکرد محصول گندم شده است، اما پس از آن، با وجود افزایش بیشتر آب آبیاری، عملکرد محصول کاهش یافته است. این روند نشان‌دهنده وجود یک نقطه بهینه در میزان عمق آبیاری برای دستیابی به بیشترین بهره‌وری زمین برای محصول گندم است. با افزایش بیشتر عمق آب آبیاری، تلفات آب آبیاری افزایش و به تبع آن عملکرد دانه کاهش می‌یابد.

جدول۷ - حجم آب آبیاری و میانگین عملکرد محصول گندم در تیمارهای مختلف آب آبیاری

تیمار عمق آب آبیاری	عمق آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	عملکرد گندم (کیلوگرم در هکتار)
I_1	۱۲۱۹	۴۹۴۹
I_2	۱۶۲۶	۵۴۶۰
I_3	۲۰۳۳	۵۶۸۸
I_4	۲۴۳۹	۵۳۳۸

I_1 الی I_4 به‌ترتیب تیمارهای با عمق آب آبیاری معادل با ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیازآبی گندم

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تحقیق بر عملکرد دانه گندم، بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد کاه و کلش در جدول ۸ ارائه شده است. مشاهده جدول مذکور بیانگر این مطلب است که اثر سطوح آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای در سطح آماری پنج درصد و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب آبیاری در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر سطوح آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای بر بهره‌وری آب آبیاری در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج حاصل از تحقیق همسو با تحقیقات Wan و همکاران (۲۰۲۲) بود.

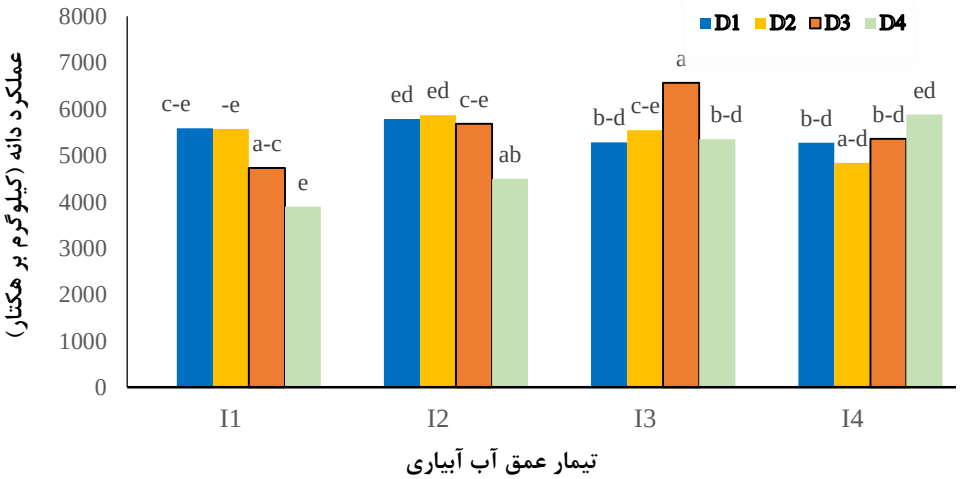
جدول ۸- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای عمق آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری بر عملکرد دانه، بهره‌وری آب و عملکرد کاه و کلش

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد دانه	بهره‌وری آب آبیاری	عملکرد کلش
تکرار	۲	۲۳۵۳۵۸/۳۳۳^{ns}	۰/۱۰۴^{ns}	۲۸۵۲^{ns}
عمق آب آبیاری (A)	۳	۱۱۴۸۸۸۳/۳۳۳**	۷/۵۹۴*	۱۰۰۵۶۴۹۰^{ns}
خطای A	۶	۷۴۶۵۶۶/۶۶۷	۰/۲۰۱	۱۴۰۳۷۴
فاصله نوارهای آبیاری (B)	۳	۱۱۲۴۱۹۴/۴۴۴**	۰/۶۵۱*	۸۳۰۶۴۴۶**
اثر متقابل (A × B)	۹	۱۲۳۵۳۲۵ /۹۲۶*	۰/۴۹۶*	۱۳۷۲۵۲۴**
خطای B	۶	۱۸۶۳۳۶ /۱۱۱	۰/۰۴۴	۶۹۰۹۶

^{ns}، *، ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح آماری پنج و یک درصد

عملکرد دانه

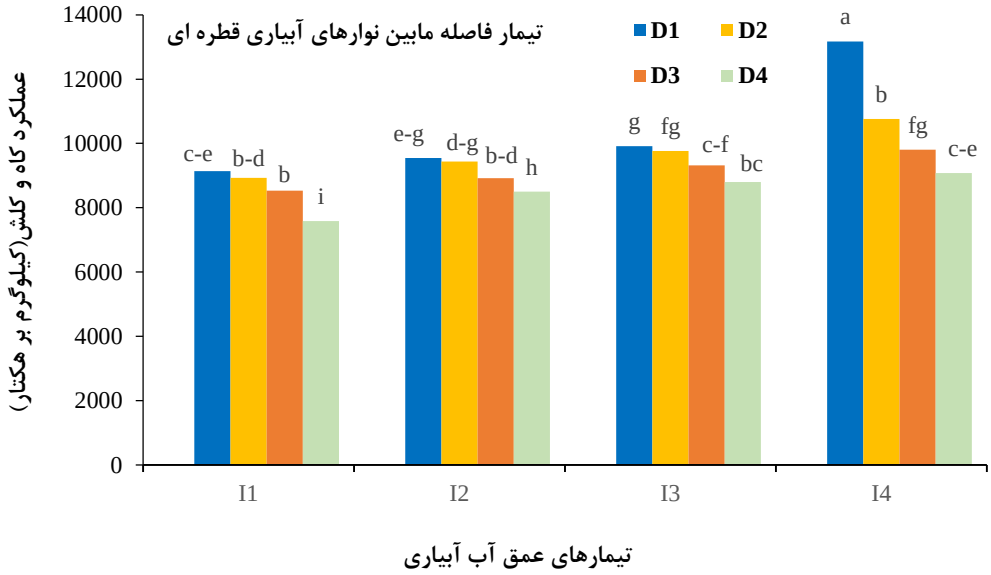
نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای عمق آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای بر عملکرد دانه محصول گندم به‌صورت شکل ۲ نمایش داده شده است. مشاهده شکل مذکور بیانگر این مطلب است که مقدار میانگین عملکرد بر هکتار دانه گندم در تیمار با عمق آب آبیاری I_3 (معادل با ۱۰۰ درصد نیازآبی گندم) و فاصله نوارهای آبیاری D_3 (برابر ۶۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری با مقادیر میانگین عملکرد بر هکتار دانه گندم در سایر تیمارها دارد. اعمال آب آبیاری کامل (معادل با ۱۰۰ درصدنیاز آبی گندم) و فاصله نوارهای آبیاری برابر ۶۰ سانتی‌متر باعث شده است تا رطوبت خاک در تمامی نقاط محدوده توسعه ریشه در حد مطلوب باشد بطوریکه گیاه بدون هیچگونه تنش آبی، حداکثر تبخیروتعرق خود را انجام و به تبع آن حداکثر عملکرد دانه بر هکتار (بهره‌وری زمین) را تولید نماید. لذا در شرایط عدم محدودیت آب، اعمال تیمار فوق منجر به حداکثرسازی بهره‌وری زمین در اراضی با خاک‌های مشابه با مزرعه مورد مطالعه در شهرستان سنندج می‌گردد. Samoy-Pascual و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیق خود اشاره نمودند که با بهینه‌سازی فاصله نوارهای آبیاری و عمق آب آبیاری، می‌توان شرایط لازم برای حداکثرسازی عملکرد بر هکتار محصول را ایجاد نمود.



شکل۲- نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل تیمارها بر عملکرد دانه گندم (I_1 الی I_4 به‌ترتیب تیمارهای با عمق آب آبیاری معادل با ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیازآبی گندم، D_1 الی D_4 به‌ترتیب تیمارهای با فاصله نوارهای آبیاری برابر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر)

عملکرد کاه و کلش

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف عمق آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای بر عملکردکاه و کلش گندم به‌صورت شکل ۳ نمایش داده‌شده‌است. مشاهده شکل مذکور بیانگر این مطلب است که مقدار میانگین عملکرد کاه و کلش در تیمار با عمق آب آبیاری I_4 (معادل با ۱۲۰ درصد نیازآبی گندم) و فاصله نوارهای آبیاری D_1 (برابر ۲۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری با مقادیر میانگین عملکرد کاه و کلش گندم در سایر تیمارها دارد. همچنین مشاهده می‌گردد که بیشترین میزان عملکرد کاه و کلش در تیمار عمق آب آبیاری معادل با ۱۲۰ درصد نیاز آبی و فاصله نوارهای‌آبیاری قطره‌ای برابر ۲۰ سانتی‌متر حاصل گردید. همچنین کمترین میزان عملکرد کاه و کلش در تیمار عمق آب آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی و فاصله نوارهای آبیاری برابر ۸۰ سانتی‌متر بدست آمد. مشاهده شکل ۵ نشان می‌دهد که در تیمار بیش‌آبیاری (I_4) رشد رویشی بیشتر از رشد زایشی محصول است. Saeedi و همکاران (۲۰۱۸) نیز در تحقیق خود بیان نمودند که تیمارهای بیش‌آبیاری باعث می‌شود که رشد رویشی محصول بیشتر از رشد زایشی آن تحریک شود. این نتیجه با یافته‌های دیگر محققین تطابق دارد (Zhang *et al*., 2022; Rahimian, 2013).



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل عمق‌های مختلف آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری بر عملکرد کاه و کلش گندم

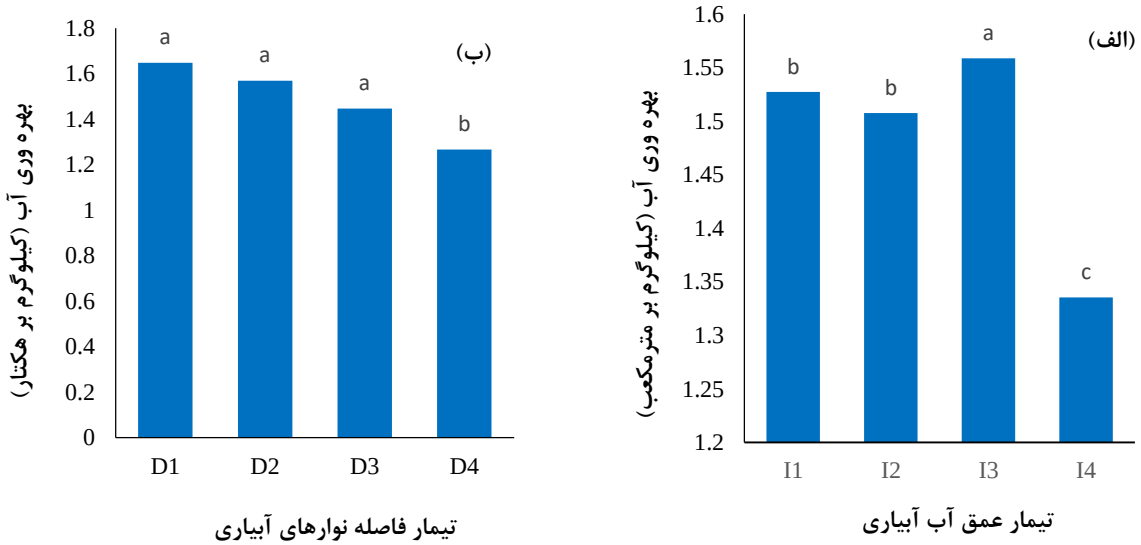
(I_1 الی I_4 به‌ترتیب تیمارهای با عمق آب آبیاری معادل با ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیازآبی گندم، D_1 الی D_4 به‌ترتیب تیمارهای با فاصله نوارهای آبیاری برابر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر)

بهروری آب گندم

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای عمق آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای بر بهره‌وری آب محصول گندم به‌ترتیب در شکل‌های ۶ (الف) و (ب) ارائه شده است. مشاهده شکل ۶ (الف) نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری مابین مقادیر میانگین بهره‌وری آب محصول گندم در تیمار عمق آب آبیاری I_3 (معادل با ۱۰۰ درصد نیازآبی) و سایر تیمارها وجود دارد اما مقدار میانگین بهره‌وری آب در تیمار آب آبیاری I_1 (معادل با 60 درصد نیازآبی گندم) با تیمار عمق آب آبیاری I_2 (معادل با ۸۰ رصد نیازآبی) اختلاف معنی‌داری ندارد. همچنین شکل ۶ (الف) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بهره‌وری آب محصول گندم در تیمار I_3 (معادل با ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به‌دست آمد.

مشاهده شکل ۶ (ب) بیانگر این مطلب است که تفاوت معنی‌داری مابین مقادیر بهره‌وری آب محصول گندم در تیمارهای D_1 ،D_2 و D_3 (به‌ترتیب با فاصله نوارهای آبیاری برابر ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری) وجود ندارد، نظر به اینکه هرچه فاصله نوارهای آبیاری بیشتر باشد، هزینه احداث و

بهره‌برداری سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری کاهش می‌یابد لذا فاصله بهینه نوارهای آبیاری برابر ۶۰ سانتی‌متر برای کاربرد در مزارع شهرستان سنندج توصیه می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهند که با افزایش عمق آب آبیاری تا ۱۲۰ درصد نیاز آبی (تیمار I_4)، باعث افزایش غیرضروری رطوبت خاک می‌شود و تأثیر مثبتی بر عملکرد محصول ایجاد نمی‌کند (Kang *et al.*, 2002). همچنین این کار باعث کاهش بهروری آب نیز می‌گردد. این نتایج هم‌سو با یافته سایر محققین می‌باشد (Dar *et al.*, 2017). نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که کم‌آبیاری، منجر به بهبود بهروری آب محصول می‌گردد (Chen *et al.*, 2015 و Camp *et al.*, 2000). لازم به ذکر است که در سیستم آبیاری قطره‌ای نواری، آب به‌تدریج، مستقیماً، به موقع و به‌میزان موردنیاز در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد. بنابراین به‌دلیل کاهش تلفات آب آبیاری ناشی از نفوذ عمقی و تبخیر از سطح خاک، مقدار بهروری آب محصول نسبت به سایر روش‌های آبیاری بیشتر می‌گردد (Kaushal, 2020 & Bajpai و Fukai & Mitchell, 2022).



شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر عمق آب آبیاری (الف) و فاصله نوارهای آبیاری (ب) بر بهروری آب محصول گندم

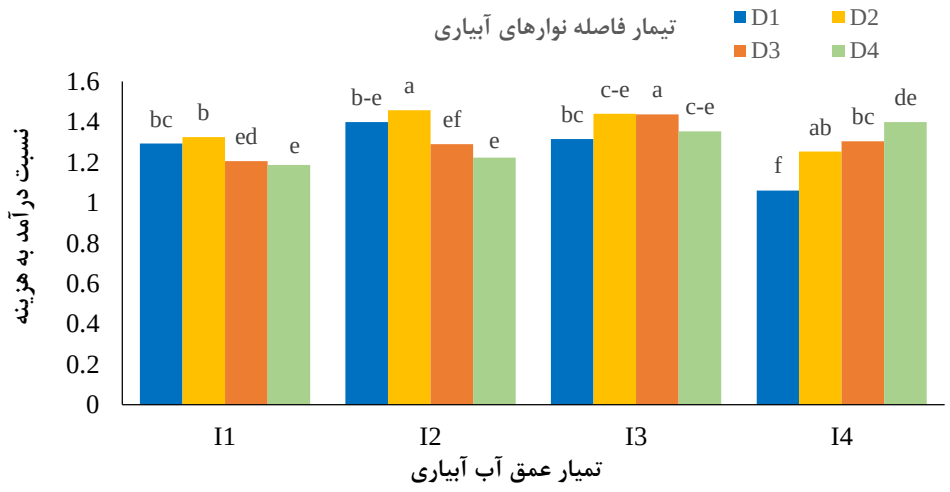
ارزیابی اقتصادی

در جدول ۹- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس مربوط به تأثیر عمق آب آبیاری و فاصله بین نوارهای آبیاری و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر نسبت درآمد به هزینه نمایش داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر تیمارهای آب آبیاری و فاصله بین نوارهای آبیاری از هم، در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۹- تجزیه واریانس اثر اعماق مختلف آب آبیاری و فاصله لترالها در آبیاری قطره‌ای بر منفعت بر هزینه با عملکرد گندم

منبع تغییرات	درجه آزادی	نسبت درآمد به هزینه
تکرار	۲	۰/۰۱۴
عمق آب آبیاری(A)	۳	۰/۰۸۶**
خطای A	۶	۰/۰۴
فاصله مابین نوارهای آبیاری(B)	۳	۰/۰۷۱**
اثرات متقابل(A × B)	۹	۰/۰۷۰**
خطای B	۶	۰/۰۰۹

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل عمق آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری بر نسبت درآمد به هزینه محصول گندم به صورت شکل ۸ نمایش داده‌شده است. مشاهده شکل ۸ بیانگر این واقعیت است که بیشترین نسبت درآمد به هزینه در تیمار I_2D_2 (عمق آب آبیاری معادل با ۸۰ درصد نیازآبی و فاصله نوارهای آبیاری برابر ۴۰ سانتی‌متر) به دست آمد، اعمال تیمار مذکور منجر به صرفه‌جویی ۲۰ درصدی در مصرف آب آبیاری می‌گردد. این نتیجه بیانگر این مطلب است که تنها با اعمال کم‌آبیاری می‌توان حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب (ناشی از حداکثرسازی نسبت درآمد به هزینه) را بدست آورد. لذا در شرایط محدودیت آب و عدم محدودیت زمین، اعمال عمق آب آبیاری معادل ۸۰ درصد نیاز آبی محصول گندم و فاصله نوارهای آبیاری برابر ۴۰ سانتی‌متر برای اراضی محدوده شهرستان سنندج توصیه می‌گردد. مشاهده شکل ۸ همچنین نشان می‌دهد که اگر محدودیت آب وجود نداشته باشد، اعمال عمق آب آبیاری کامل(تیمار عمق آب آبیاری I_3) و فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای برابر ۶۰ سانتی‌متر، منجربه حداکثرسازی بهره‌وری‌وری اقتصادی زمین می‌گردد. بنابراین در مزارع با محدودیت زمین و عدم محدودیت آب توصیه می‌شود که برای حداکثرسازی بهره‌وری اقتصادی زمین محصول گندم در اراضی واقع در شهرستان سنندج، از سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری فاصله نوارهای آبیاری برابر ۶۰ سانتی‌متر استفاده گردد. استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای -نواری باعث کاهش سطح خاک مرطوب و به‌تبع آن کاهش میزان رشد علف‌های هرز و لذا باعث افزایش مقدار تعرق و عملکرد محصول می‌گردد (Chen *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2023).



شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل عمق آب آبیاری و فاصله نوارهای آبیاری بر نسبت درآمد به هزینه محصول گندم

(I_1 الی I_4 به‌ترتیب تیمارهای با عمق آب آبیاری معادل با ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیازآبی گندم، D_1 الی D_4 به‌ترتیب تیمارهای با فاصله نوارهای آبیاری برابر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر)

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که مقدار بهینه فاصله مابین نوارهای آبیاری قطره‌ای جهت کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای - نواری در شهرستان سنندج بستگی به نوع سناریوی مدیریت آب اعمال شده در مزرعه دارد. در شرایط محدودیت منابع آب، اعمال سناریوی کم‌آبیاری با عمق آب آبیاری معادل با ۸۰ درصد نیاز آبی و فاصله نوارهای آبیاری برابر۴۰ سانتی‌متری توصیه می‌گردد. اما در شرایط عدم محدودیت آب، اعمال عمق آب آبیاری معادل با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بکارگیری فاصله نوارهای آبیاری برابر ۶۰ سانتی‌متر منجر به حصول بیشترین بهره‌وری اقتصادی زمین(سود در هکتار) می‌شود.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

طرح آزمایشی این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه، وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، انجام شد. بدین‌وسیله از مسئولان و همکاران این ایستگاه به‌دلیل فراهم کردن امکانات و نهاده‌های مورد نیاز پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Akhavan, K. (2015). Application of drip-tape irrigation systems in wheat production. Ministry of Agriculture Jihad, *Technical Publication*, *83*, 22. (In Persian). https://www.agrilib.ir/book_2635.html

Ali, A., Xia, C., Jia, C., & Faisal, M. (2020). Investment profitability and economic efficiency of the drip irrigation system: Evidence from Egypt. *Irrigation and Drainage*, *69*(5), 1033-1050. https://doi.org/10.1002/ird.2511

Alizadeh, A. (2008). Water, soil, and Plant Relationships. 7th ed. Astan Quds Razavi Publications (Beh Nashr), 808 pp (In Persian).

Anonymous. (2015). *Water Resources Profile of Kurdistan Province*. Kurdistan Regional Water Company, Kurdistan, Iran. (In Persian).

Anonymous. (2018). Statistical yearbook of kurdistan Province. Publications of the Kurdistan Provincial Governorate, Kurdistan, Iran. (In Persian).

Bajpai, A., & Kaushal, A. (2020). Soil moisture distribution under trickle irrigation: A review. *Water Supply*, *20*(3), 761-772. https://doi.org/10.2166/ws.2020.005

Brar, S. K., Mahal, S. S., Brar, A. S., Vashist, K. K., Sharma, N., & Buttar, G. S. (2012). Transplanting time and seedling age affect water productivity, rice yield and quality in north-west India. *Agricultural water management*, *115*, 217-222. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.09.001

Camp, C.R., Lamm, F.R., Evans, R.G., & Phene, C.J. (2000). November. Subsurface drip irrigation–Past, present and future. In Proc. Fourth Decennial Nat'l Irrigation Symp., Nov: 14-16. https://www.researchgate.net/publication/284686528_Subsurface_drip_irrigation_Past_present_and_future

Chen, R., Cheng, W., Cui, J., Liao, J., Fan, H., Zheng, Z., & Ma, F. (2015). Lateral spacing in drip-irrigated wheat: the effects on soil moisture, yield, and water use efficiency. *Field Crops Research*, *179*, 52-62. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.021

Dar, E. A., Brar, A. S., & Singh, K. B. (2017). Water use and productivity of drip-irrigated wheat under variable climatic and soil moisture regimes in North-West, India. Agriculture, *Ecosystems & Environment*, *248*, 9-19. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.019

Du, T., Kang, S., Zhang, J., Li, F., & Yan, B. (2008). Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agricultural water management*, *95*(6), 659-668. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.017

Fukai, S., & Mitchell, J. 2022. Factors determining water use efficiency in aerobic rice. *Crop and Environment*, *1*(1), 24-40. https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.03.008

Ghalibaf, M. B., Pishgahifard, Z., Afzali, R., & Hosseini, S. M. 2016. Geopolitical Analysis on Strategic Products of Food in Iran, (Case Study: Wheat). *Human Geography Research Quarterly*, *48*(1), 53-67 (In Persian). https://jhgr.ut.ac.ir/article_51495.html

Javidfar, F., & Ahmadi, M. R. 2000. Methods for Evaluating and Improving Drought Resistance in Species of the Genus Brassica. 1st ed. Agricultural Education, affiliated with the Office of Educational Technology Services, Ministry of Agriculture Jihad, Karaj, Iran, 140 pp (In Persian). https://press.areeo.ac.ir/?_action=search&retp=&restp=46

Kang, S., Zhang, L., Liang, Y., Hu, X., Cai, H., & Gu, B. (2002). Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. *Agricultural water management*, *55*(3), 203-216. https://doi.org/10.1016/s0378-3774(01)00180-9

Kar, G., Kumar, A. and Martha, M. (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural water management*, *87*(1), 73-82. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.06.002

Kharrou, M.H., Er-Raki, S., Chehbouni, A., Duchemin, B., Simonneaux, V., LePage, M., Ouzine, L. and Jarlan, L. (2011). Water use efficiency and yield of winter wheat under different irrigation regimes in a semi-arid region. *Agricultural Sciences in China*, *2*(03), 273-282. https://doi.org/10.4236/as.2011.23036

Kirda, C. (2002). Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Deficit Irrigation Practices, *Water Reports*, *22*(102). https://www.fao.org/4/y3655e/y3655e02.htm

Lv, Z., Diao, M., Li, W., Cai, J., Zhou, Q., Wang, X., Dai, T., Cao, W., & Jiang, D. (2019). Impacts of lateral spacing on the spatial variations in water use and grain yield of spring wheat plants within different rows in the drip irrigation system. *Agricultural Water Management*, *212*, 252-261. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.015

Mohammadi, H., Haghighatjou, P., & Sargazi, A. (2018). The role of deficit irrigation in compromising environmental – economical goals of cropping pattern in Fars province. *Journal of Environmental Science and Technology*, *19*(4 (75), 163-177. (In Persian). https://sid.ir/paper/87466/en

Patel, R. J., & Rank, H. D. (2020). Water use efficiency of wheat under different irrigation regimes using high discharge drip irrigation system. *Agricultural Engineering Today*, *44*(2), 19-31. https://doi.org/10.52151/aet2020442.1518

Payero, J. O., Tarkalson, D. D., Irmak, S., Davison, D., & Petersen, J. L. (2008). Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural water management*, *95*(8), 895-908. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.015

Rahimian, M. (2013). Effect of drip-tape spacing on wheat yield and water use efficiency under drip irrigation. *National Conference on Passive Defense in the Agricultural Sector*, Elm Gostaran Pishro Iranian Cooperative Company, Qeshm Island, Iran (In Persian). https://www.symposia.ir/NCPDA01

Rogers, D. H., Lamm, F. R., & Alam, M. (2003). Subsurface drip irrigation (SDI) components: Minimum requirements. K-State Research and Extension, MF-2576, 550-554. https://cotton.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/27/legacy-files/Irrigation/SDIComponents.pdf

Saidi, M., Fathi, P., & Kouchakzadeh, M. (2019). Impact of irrigation water depth and lateral placement depth of subsurface drip irrigation system on yield and some morphological traits of winter wheat in Sanandaj. *Plant Production and Genetics*, *1*(1), 33-44. (In Persian). https://jwr.uok.ac.ir/article_61014.html

Samoy-Pascual, K., Lampayan, R. M., Remocal, A. T., Orge, R. F., Tokida, T., & Mizoguchi, M. (2022). Optimizing the lateral dripline spacing of drip-irrigated aerobic rice to increase water productivity and profitability under the water-limited condition. *Field Crops Research*, *287*, 108669 . https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108669

Torknejad, A., Aghaei Sarbarzeh, M., Jafari, H., Shirvani, A., Roeintan, R., Adel Nemati, A., & Shahbazi, K. (2006). Technical and economic evaluation of drip irrigation for wheat and comparison with surface irrigation. *Pajouhesh va Sazandegi*, *72*(2), 36–45. (In Persian). https://www.sid.ir/fileserver/jf/5601385zm7205.pdf

Wan, W., Li, L., Jing, J., Diao, M., Lv, Z., Li, W., ... & Jiang, D. (2022). Narrowing row space improves productivity and profit of enlarged lateral space drip irrigated spring wheat system in Xinjiang, China. *Field Crops Research*, *280*, 108474. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108474

Wang, J., Gong, S., Xu, D., Yu, Y., & Zhao, Y. (2013). Impact of drip and level-basin irrigation on growth and yield of winter wheat in the North China Plain. *Irrigation science*, *31*(5), 1025-1037. https://doi.org/10.1007/s00271-012-0384-7

Yang, D., Li, S., Wu, M., Yang, H., Zhang, W., Chen, J., & Zhang, Y. (2023). Drip irrigation improves spring wheat water productivity by reducing leaf area while increasing yield. *European Journal of Agronomy*, *143*, 126710. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126710

Zhang, G., Shen, D., Ming, B., Xie, R., Hou, P., Xue, J., & Li, S. (2022). Optimizing Planting Density to Increase Maize Yield and Water Use Efficiency and Economic Return in the Arid Region of Northwest China. *Agriculture*, *12*(9), 132. https://doi.org/10.3390/agriculture12091322