Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Investigating the performance and water productivity of wheat cultivars in different sowing dates and irrigation conditions (a case study in Gorgan Plain)

Farasat Sajadi[1], Hossein Sharifan[*2], Habiballah Soughi[3], Mohammad Abdolhosseini[4]

1. Ph.D. Student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: f.sajadi@gau.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: h_sharifan@gau.ac.ir
3. Associate Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. E-mail: hab3asog@gmail.com
4. Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: abdolhosseini@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 01.12.2023
Revised: 04.08.2023
Accepted: 04.12.2023

Keywords:
Early-maturing cultivar, Golestan province, Supplemental irrigation, Water deficit

ABSTRACT

Background and Objectives: Planting the proper cultivar in the most optimal sowing date is very decisive in the management of environmental resources, including water resources, and leads to maximum water productivity of and energy efficiency for increasing performance. Therefore, this research was conducted with the aim of determining the most appropriate sowing date and water productivity for commercial cultivar of bread wheat under supplemental irrigation and water deficit conditions in the climatic conditions of Gorgan, Iran.

Materials and Methods: This experiment was carried out as split-split plots based on randomized complete block design (RCBD) with four replications, during the 2021-2022 cropping season. In this experiment, two moisture conditions (supplemental irrigation and water deficit conditions) were placed in main plots, seven sowing dates (from 1 November to 31 December, 10-day intervals) were placed in subplots and four bread wheat genotypes (including Arman, Araz, Taktaz and N-93-9) were placed as sub-subplots.

Results: The analysis of variance for grain yield and water productivity showed that the effect of moisture conditions was significant at the 0.05 level and the effects of sowing date and cultivar were significant at the 0.01 level. The results of mean comparisons showed that the grain yield in water deficit conditions (5288 kg ha^{-1}) was significantly lower than the supplemental irrigation conditions (5715 kg ha^{-1}). Water deficit conditions caused a significant increase in water productivity (17.3 kg ha^{-1} mm^{-1}) compared to supplemental irrigation conditions (16.1 kg ha^{-1} mm^{-1}). The highest grain yield was obtained on the second (11 November, 6340 kg ha^{-1}) and third (21 November, 6165 kg ha^{-1}) sowing dates. Also. The highest water productivity was related to the second and third sowing dates (18.6 kg ha^{-1} mm^{-1}). The results of mean comparisons for cultivars showed that in Taktaz (as an early-maturing cultivar) grain yield (5872 kg ha^{-1}) and water productivity (17.8 kg ha^{-1} mm^{-1}) were significantly greater than other genotypes.

Conclusion: The results of this research showed that water deficit conditions caused a significant decrease in grain yield and a significant increase in water productivity. The highest grain yield and water productivity were obtained on the second and third planting dates. Also, grain yield and water productivity in Taktaz cultivar were significantly greater than other genotypes. In general, it can be said that the planting of Taktaz cutlivar in the second and third sowing dates (11 and 21 November) has resulted in achieving the maximum performance and water productivity in both supplemental irrigation and water deficit conditions.

Cite this article: Sajadi, Farasat, Sharifan, Hossein, Soughi, Habiballah, Abdolhosseini, Mohammad. 2023. Investigating the performance and water productivity of wheat cultivars in different sowing dates and irrigation conditions (a case study in Gorgan Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (1), 91-110.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2023.20969.3609
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

بررسی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ارقام گندم در تاریخ کاشت‌ها و شرایط آبیاری مختلف (مطالعه موردی در دشت گرگان)

فراست سجادی[۱]، حسین شریفان*[۲]، حبیب‌اله سوقی[۳]، محمد عبدالحسینی[٤]

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: f.sajadi@gau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: h_sharifan@gau.ac.ir

۳. دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. رایانامه: hab3asog@gmail.com

٤. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: abdolhosseini@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۱/۱۰/۲۲
تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۱/۲۳

واژه‌های کلیدی:
استان گلستان،
آبیاری تکمیلی،
رقم زودرس،
کم‌آبی

چکیده

سابقه و هدف: کاشت رقم مناسب در بهینه‌ترین تاریخ کاشت در مدیریت منابع محیطی از جمله منابع آب بسیار تعیین‌کننده است و می‌تواند منجر به حداکثر بهره‌وری مصرف آب و انرژی در راستای افزایش عملکرد شود. بنابراین این پژوهش با هدف تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت و محاسبه بهره‌وری مصرف آب ارقام تجاری گندم نان تحت شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی در شرایط آب و هوایی گرگان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال زراعی ۱٤۰۱-۱٤۰۰ به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. در این آزمایش دو شرایط رطوبتی (شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی) در کرت‌های اصلی، هفت تاریخ کاشت (از ۱۰ آبان تا ۱۰ دی ماه به فواصل ۱۰ روزه) در کرت‌های فرعی و چهار ژنوتیپ گندم نان (شامل ارقام آرمان، آراز، تکتاز و لاین N-93-9) به عنوان کرت‌های فرعیِ فرعی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب نشان داد که اثر شرایط رطوبتی در سطح احتمال پنج درصد و اثرات تاریخ کاشت و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که عملکرد دانه در شرایط کم‌آبی (۵۲۸۸ کیلوگرم در هکتار) به طور معنی‌داری کم‌تر از شرایط آبیاری تکمیلی (۵۷۱۵ کیلوگرم در

هکتار) بود. تیمار کم‌آبی باعث افزایش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب (۱۷/۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) نسبت به شرایط آبیاری تکمیلی (۱۶/۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) شد. بیش‌ترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌های دوم (۲۰ آبان، ۶۳۴۰ کیلوگرم در هکتار) و سوم (۳۰ آبان، ۶۱۶۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب نیز مربوط به تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (۲۰ و ۳۰ آبان، ۱۸/۶ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) بود. نتایج مقایسه میانگین برای ارقام نشان داد که رقم تکتاز (به‌عنوان یک رقم زودرس) به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه (۵۸۷۲ کیلوگرم در هکتار) و بهره‌وری مصرف آب (۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) بیش‌تری نسبت سایر ژنوتیپ‌ها داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و افزایش بهره‌وری مصرف آب شد. بیش‌ترین عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در تاریخ کاشت‌های دوم و سوم به‌دست آمد. هم‌چنین عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در رقم تکتاز به‌طور معنی‌داری بیش‌تری نسبت سایر ژنوتیپ‌ها بود. به‌طورکلی می‌توان گفت کاشت رقم تکتاز در تاریخ کاشت‌های دوم و سوم موجب دستیابی به حداکثر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی شده است.

استناد: سجادی، فراست، شریفان، حسین، سوقی، حبیب‌اله، عبدالحسینی، محمد (۱۴۰۲). بررسی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ارقام گندم در تاریخ کاشت‌ها و شرایط آبیاری مختلف (مطالعه موردی در دشت گرگان). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۰ (۱)، ۱۱۰-۹۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20969.3609

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین محصولات کشاورزی جهان است که با بیش از ۲۱۹ میلیون هکتار بیش‌ترین سطح زیرکشت را در سراسر جهان به خود اختصاص داده است و درمجموع تولیدی در حدود ۷٦۰ میلیون تن دارا است (۱). در ایران نیز گندم ازنظر تولید و سطح زیرکشت مهم‌ترین محصول کشاورزی است و افزایش محصول آن روزبه‌روز موردتوجه قرارگرفته است و ازنظر اقتصادی و امنیت غذایی مردم از اهمیت بسیاری برخوردار است (۲). استان گلستان یکی از قطب‌های تولیدکننده گندم در کشور است به‌طوری‌که براساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۹-۹۸ حدود ۳٥٦ هزار هکتار اراضی استان گلستان زیرکشت گندم رفته است (رتبه هشتم در کشور) که در آن بیش از ۱/۲۸ میلیون تن گندم برداشت شده است که از این نظر استان گلستان پس از استان‌های خوزستان و فارس در رتبه سوم کشور قرار گرفته است (۳).

تنش‌های محیطی مختلف ازجمله خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده باروری گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان ازجمله ایران محسوب می‌شود که تولید موفق گندم را در این مناطق به مخاطره می‌اندازد. از طرفی تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های تحقیقاتی متخصصین علوم گیاهی است. افزایش گازهای گلخانه‌ای و اثرات دی‌اکسیدکربن باعث تغییر دما و الگوی بارندگی تغییر در مراحل فنولوژی گیاهان و درنتیجه کاهش عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی ازجمله گندم شده است (٤، ٥). توانایی کنترل طول دوره مراحل فنولوژی برای سازگاری با شرایط محیطی خاص بسیار مهم است (٦). در بسیاری از مناطق جهان ازجمله ایران وقوع تنش‌های گرما و خشکی انتهای فصل عامل اصلی کاهش عملکرد گندم بوده است (۷). گلدهی و دوره پر شدن دانه حساس‌ترین مراحل رشد گندم به تنش‌های محیطی انتهای فصل هستند؛ به‌طوری‌که وقوع تنش در مراحل مذکور باعث عدم باروری مناسب و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه می‌شود. بنابراین توانایی گیاه برای تطبیق مراحل حساس نموی با شرایط عدم تنش در طی فصل رشد می‌تواند سبب فرار گیاه از تنش‌های محیطی مانند خشکی و گرمای انتهای فصل شود (۸). تعیین تاریخ کاشت مناسب برای استفاده از شرایط بهینه ابزاری مهم در به حداقل رساندن عوارض تنش‌های محیطی است (۹). کشت‌های تأخیری ازیک‌طرف باعث برخورد مرحله سبز شدن و توسعه برگ‌ها با سرمای زمستان و کندی رشد گیاه می‌شود و از طرف دیگر مراحل حساس دوره گلدهی و پر شدن دانه با تنش گرم و خشکی انتهای فصل مواجه شده و سبب کاهش شدید ماده خشک کل و دوره رویشی و زایشی می‌گردد. کشت زودهنگام نیز باعث می‌شود گیاه در طول دوره رویشی، درجه روز رشد بیش‌ازحدی دریافت کند و درنتیجه گیاه دچار خوابیدگی شود و از این طریق بر عملکرد دانه تأثیر منفی می‌گذارد (۱۰). در مطالعات مختلفی که در استان گلستان انجام شده است به تفاوت عملکرد ارقام مختلف گندم نان تحت تاریخ‌های مختلف کاشت در اثر تفاوت در شرایط رویشی و زایشی گندم تأکید شده است (۱۱، ۱۲).

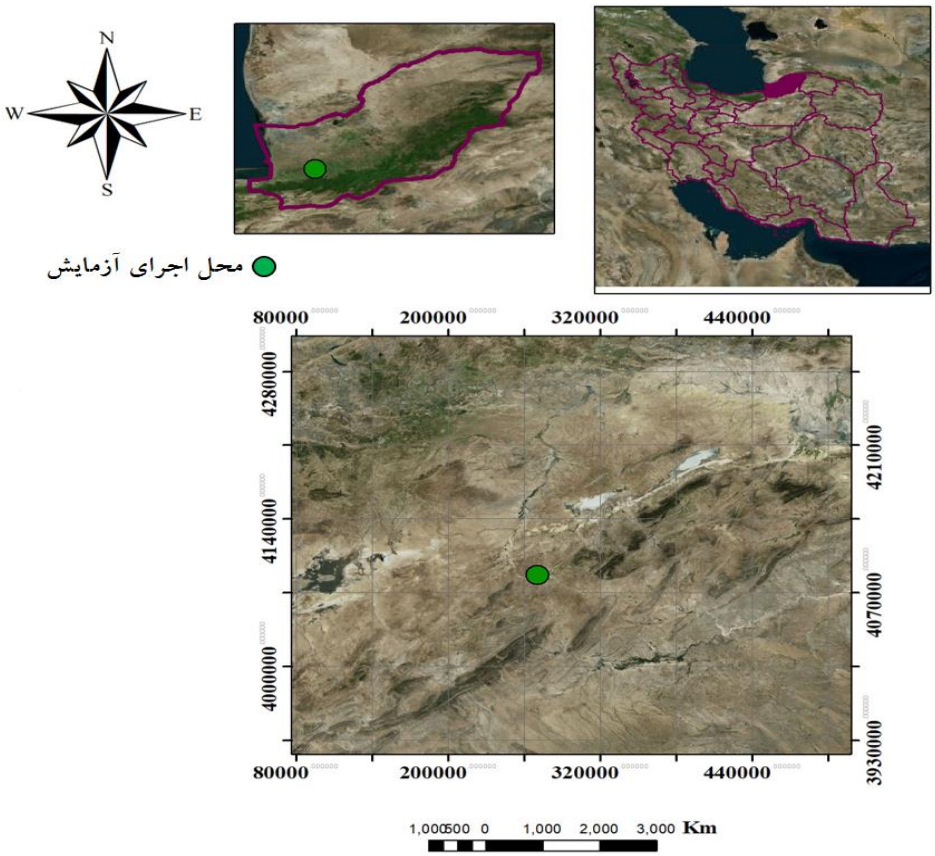
در ایران کم‌آبی و خشکی همواره یکی از مهم‌ترین مشکلات بخش کشاورزی بوده است بنابراین بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد گیاهان زراعی از اهمیت خاصی برخوردار است. امروزه بهبود

بهره‌وری مصرف آب (WP) و تولید محصول بیش‌تر در ازای واحد آب مصرفی، از مهم‌ترین اهداف کشاورزی حتی در شرایط کم‌آبی و تنش خشکی است (۱۳). بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینه آب آبیاری است که به عنوان شاخصی متقن و علمی برای سنجش مصرف بهینه آب و تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود و به عنوان یک جزء مهم در عملکرد و تحمل گیاهان زراعی به خشکی در نظر گرفته می‌شود (۱۳). بر این اساس، استدلال می‌شود که کار بهره‌وری مصرف آب در کشت دیم، با افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی، افزایش می‌یابد. در شرایط کم‌آبی و خشکی بهره‌وری مصرف آب افزایش پیدا می‌کند، اما افزایش بهره‌وری مصرف آب در شرایط کم‌آبی و خشکی با افزایش تولید همراه نیست و میان این دو همبستگی منفی وجود دارد چرا که افزایش بهره‌وری مصرف آب ناشی از کاهش تعرق است و از افزایش تولید ناشی نمی‌شود (۱٤). افزایش بهره‌وری مصرف تحت تیمارهای کم‌آبی در گندم در مطالعات مختلفی که روی گندم انجام شده مورد تاکید قرار گرفته است (۱۵، ۱٦، ۱۷، ۱۸).

کاشت رقم مناسب در بهینه‌ترین تاریخ کاشت جهت استفاده از حداکثری از شرایط اقلیمی (از جمله منابع آب) نقشی بسیار تعیین‌کننده در افزایش بهره‌وری مصرف آب، کارایی مصرف انرژی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه دارند. در همین راستا این مطالعه با هدف تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت و محاسبه بهره‌وری مصرف آب ارقام تجاری گندم نان تحت شرایط تحت شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی در شرایط آب و هوایی شهرستان گرگان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱٤۰۱-۱٤۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان (عراقی محله) واقع در پنج کیلومتری شمال گرگان با عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ٥٤ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲٥ دقیقه شرقی به اجرا در آمد (شکل ۱). آمار هواشناسی محل آزمایش شامل مجموع طول روز، بارش، مجموع ساعات آفتابی، میانگین رطوبت نسبی و میانگین و حداکثر دما در طی دو سال زراعی ۱٤۰۱-۱٤۰۰ به تفکیک ماه‌های آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. این اطلاعات مربوط به ایستگاه هواشناسی فرودگاه گرگان است که در یک کیلومتری محل آزمایش قرار دارد. در با توجه به آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی فرودگاه گرگان، میانگین سالانه درجه حرارت هوا (درجه سلسیوس)، درصد رطوبت نسبی و مجموع میزان بارندگی (میلی‌متر) به ترتیب ۱۸/۱، ۷۲/٤ و ٤۸٤/۷ می‌باشد.



شکل ۱- محل اجرای آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان.

Figure 1. Location of the field experiment in Gorgan.

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان[#].

Table 1. Meteorological statistics of Gorgan agricultural research station during two years of the experiment.

میانگین حداکثر دما (°C)	میانگین دما (°C)	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	بارش (میلی‌متر)	مجموع ساعات آفتابی (ساعت)	مجموع طول روز (ساعت)	ماه
Mean maximum temperature (°C)	Mean temperature (°C)	Mean relative humidity (%)	Precipitation (mm)	Accumulated actual sunshine (hour)	Accumulated day length (hour)	Month
18.2	12.5	71	41.7	176.8	314.42	آبان Oct23-Nov21
18.9	12	72	18.6	173.7	293.04	آذر Nov22-Dec21
15.2	8.8	72	61	161.3	293.30	دی Dec22-Jan20
14.6	8.1	73	101.2	193.3	315.20	بهمن Jan21-Feb19
16.9	11.8	80	59.2	117	335.87	اسفند Feb20-Mar20
20.9	14.4	76	24	154.9	395.30	فروردین Mar21-Apr20
24.1	18.9	76	42.6	139.9	429.39	اردیبهشت Apr21-May21
33.8	25.7	61	1.2	323.3	451.28	خرداد May22-Jun21

[#]آمار هواشناسی از ایستگاه فرودگاه در یک کیلومتری ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان گرفته شد.

[#]Meteorological information obtained from Gorgan airport station located one kilometer from Gorgan agricultural research station

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. در این آزمایش دو شرایط رطوبتی (شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی) در کرت‌های اصلی، هفت تاریخ کاشت (۱۰ آبان، ۲۰ آبان، ۳۰ آبان، ۱۰ آذر، ۲۰ آذر، ۳۰ آذر و ۱۰ دی‌ماه) در کرت‌های فرعی و چهار ژنوتیپ گندم نان (شامل ارقام آرمان، آراز، تکتاز و لاین N-93-9) به عنوان کرت‌های فرعیِ فرعی قرار گرفتند (شکل ۲). مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش جدیدترین ارقام گندم اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور هستند که توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر معرفی شده یا کاندید معرفی هستند.

مساحت هر کرت ۷/۲ مترمربع (عرض ۱/۲ متر و طول ٦ متر) و کاشت با استفاده از ماشین کاشت آزمایشات غلات وینتراشتایگر (اتریش) بر روی پشته انجام شد که روی هر پشته سه ردیف کاشت شد. میزان بذر در همه کرت‌ها بر اساس تراکم ۳۵۰ دانه در مترمربع بر مبنای وزن هزاردانه ارقام محاسبه گردید (۱۲). بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (جدول ۲) حاصلخیزی خاک مورد تحلیل قرار گرفت و میزان مصرف کودهای شیمیایی بر مبنای آن تعیین شدند. که تمامی کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم و تمامی کود فسفاته از منبع سوپر فسفات تریپل به صورت پایه و کود نیتروژن از منبع اوره در دو نوبت پایه و سرک به زمین داده شد. کنترل شیمیایی علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ با اختلاط علفکش‌های گرانستار به نسبت ۲۰ گرم در هکتار و تاپیک یک لیتر در هکتار انجام شد. این کار به وسیله سمپاش پشتی موتوری در مرحله پنجه‌دهی صورت پذیرفت. در طول دوره رشد نسبت به اعمال توصیه‌های فنی زراعی به‌طور یکسان برای همه ترکیب‌های تیماری اقدام شد.

در شرایط مطلوب رطوبتی با توجه به نیاز آبی گیاه در ۱۷ فروردین ۱۴۰۱ یکبار اقدام به آبیاری تکمیلی به میزان ٤٠ میلی‌متر به روش جویچه‌ای شد در حالی که در تیمار کم‌آبی، آبیاری صورت نگرفت و گیاهان تنها از آب بارندگی بهره بردند. در این مقطع تاریخ کاشت‌های اول و دوم در مرحله اوایل پر شدن دانه، تاریخ کاشت سوم در مرحله گلدهی، تاریخ کاشت‌های چهارم و پنجم در مرحله ظهور سنبله و تاریخ کاشت‌های ششم و هفتم در مرحله آبستنی بودند. مقدار آب استفاده شده توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. در طول دوره آزمایش از کاشت تا برداشت مراحل فنولوژی مانند تاریخ‌های سبز شدن، ظهور سنبله، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک برای هر رقم یادداشت شده و در پایان سال زراعی و پس از رسیدن محصول، برداشت با استفاده از کمباین آزمایشی انجام شده و عملکرد دانه و اجزای عملکرد هر کرت تعیین شد. مقادیر بهره‌وری آب (مجموع بارندگی و آبیاری) در تیمارهای مختلف بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد.

$$WP = \frac{Y}{I+R} \qquad (۱)$$

در این رابطه، WP بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر)، Y عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، I مقدار آبیاری و R مقدار بارندگی برحسب میلی‌متر هستند. میزان بارندگی از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ کاشت‌های اول تا هفتم به ترتیب ۳۲۹، ۳۱۷، ۳۰۸، ۳۰۸، ۲۹۱، ۲۸۹ و ۲۸۹ میلی‌متر بوده است.

به منظور انجام تجزیه و تحلیل آماری پس از تأیید فرضیات تجزیه واریانس، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد) انجام شد. تجزیه همبستگی به شکل گرافیکی نیز با استفاده از نرم‌افزار R 4.1.2 انجام شد.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 2. Physical and chemical characteristics of soil of experimental site.

Depth (cm) عمق		ویژگی‌های خاک	Soil characteristic
15-30	0-15		
7.30	7.20	اسیدیته	pH
1.27	1.35	درصد کاتیون‌های قابل تبادل	Ec (dSm^{-1})
1.10	1.50	درصد کربن آلی	Organic carbon (%)
0.11	0.15	درصد نیتروژن	Total nitrogen (%)
4.80	8.60	فسفر قابل دسترس	Available phosphor (ppm)
220	333	پتاسیم قابل دسترس	Available potassium (ppm)
1.41	1.44	وزن مخصوص ظاهری	Bulk density ($g\ cm^{-3}$)
		بافت خاک	Soil texture
30	28	درصد رس	Clay (%)
52	54	درصد سیلت	Silt (%)
18	18	درصد شن	Sand (%)
		محتوای آب خاک	Water content
52.2	49.9	نقطه اشباع (درصد حجمی)	Saturation point (%) (θm)
27.0	27.7	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	Field capacity (%) (θm)
12.3	13.1	نقطه پژمردگی دائم (درصد حجمی)	Wilting point (%) (θm)

شکل ۲- چهار رقم کشت شده گندم نان در هفت تاریخ کاشت مختلف.

Figure 2. Four cultivars of bread wheat planted in seven different sowing dates.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزاردانه و بهره‌وری مصرف آب در جدول ۳ و مقایسه میانگین اثرات ساده شرایط رطوبتی، تاریخ کاشت و رقم در جدول ٤ ارائه شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه، صفات زراعی و بهره‌وری مصرف آب در ارقام گندم نان در تاریخ کاشت‌های مختلف تحت دو شرایط رطوبتی.

Table 3. Variance analysis (MS) of grain yield, agronomic traits and water productivity for bread wheat cultivars in different planting dates under two moisture conditions.

بهره‌وری مصرف آب	وزن هزاردانه	تعداد سنبله در مترمربع	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	درجه آزادی	منبع تغییر
Water productivity	1000-Kernel weight	spike per m^{-2}	Biological yield	Grain yield	df	S.O.V
5.32 ^{ns}	17.3 ^{ns}	17667 ^{ns}	1193933 ^{ns}	479805 ^{ns}	3	بلوک Block
86.45 *	83.2 ^{ns}	114695 **	82564143 **	10212516 *	1	شرایط رطوبتی Moisture Conditions (MC)
8.18	14.2	4313	508094	841463	3	خطای ۱ Error1
74.93 **	124.0 **	13978 **	92872463 **	15803737 **	6	تاریخ کاشت Sowing Date (SD)
0.69 ^{ns}	24.1 ^{ns}	5502 ^{ns}	1080386 ^{ns}	10899 ^{ns}	6	شرایط رطوبتی×تاریخ کاشت MC×SD
6.61	22.8 ^{ns}	3334	1857061	614974	36	خطای ۲ Error2
44.17 **	586.5 **	2064 ^{ns}	2599272 ^{ns}	4734077 **	3	رقم Cultivar (C)
1.35 ^{ns}	3.9 ^{ns}	5320 ^{ns}	263578 ^{ns}	224645 ^{ns}	3	شرایط رطوبتی×رقم MC×C
1.68 ^{ns}	15.4 ^{ns}	1512 ^{ns}	1288269 ^{ns}	153953 ^{ns}	18	تاریخ کاشت×رقم SD×C
0.54 ^{ns}	19.9 ^{ns}	2151 ^{ns}	395413 ^{ns}	49949 ^{ns}	18	شرایط رطوبتی×تاریخ کاشت×رقم MC×SD×C
3.02	13.6	2248	1525435	308124	126	خطای ۳ Error3
10.39	9.30	17.92	8.06	10.09		ضریب تغییرات (٪) CV (%)

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری است

*, ** and ^{ns} Significant at the 5% and 1% probability levels and not-significant, respectively

بررسی تجزیه واریانس نتایج عملکرد دانه (جدول ۳) نشان داد که اثر شرایط رطوبتی در سطح احتمال پنج درصد و اثرات تاریخ کاشت و رقم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده است؛ در حالی‌که هیچ‌یک از اثرات متقابل معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داده است که عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی (۵۷۱۵ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط کم‌آبی (۵۲۸۸ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ٤). به‌عبارت دیگر شرایط کم‌آبی باعث کاهش ۸ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ٤). کاهش عملکرد دانه در شرایط کم‌آبی در مطالعات مختلف برحسب نوع تیمارهای آبیاری، شرایط اقلیمی و رقم گندم مورد مطالعه متفاوت بوده است (١٦، ١٩، ٢٠). بر اساس گزارش رحیمیان و همکاران (٢٠١٤) کم‌آبی باعث کاهش عملکرد به میزان ٥/٤ و ١١/٩ درصد در تیمارهای مختلف کم‌آبیاری شده است (٢١). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌های دوم (٢٠ آبان، ٦٣٤٠ کیلوگرم در هکتار) و سوم (٣٠ آبان، ٦١٦٥ کیلوگرم در هکتار) و اول (١٠ آبان، ٦٠٥١ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند ولی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تاریخ کاشت‌های چهارم تا هفتم بود (جدول ٤).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات رژیم آبیاری، تاریخ کاشت و رقم بر صفات زراعی و بهره‌وری مصرف آب چهار رقم گندم نان.

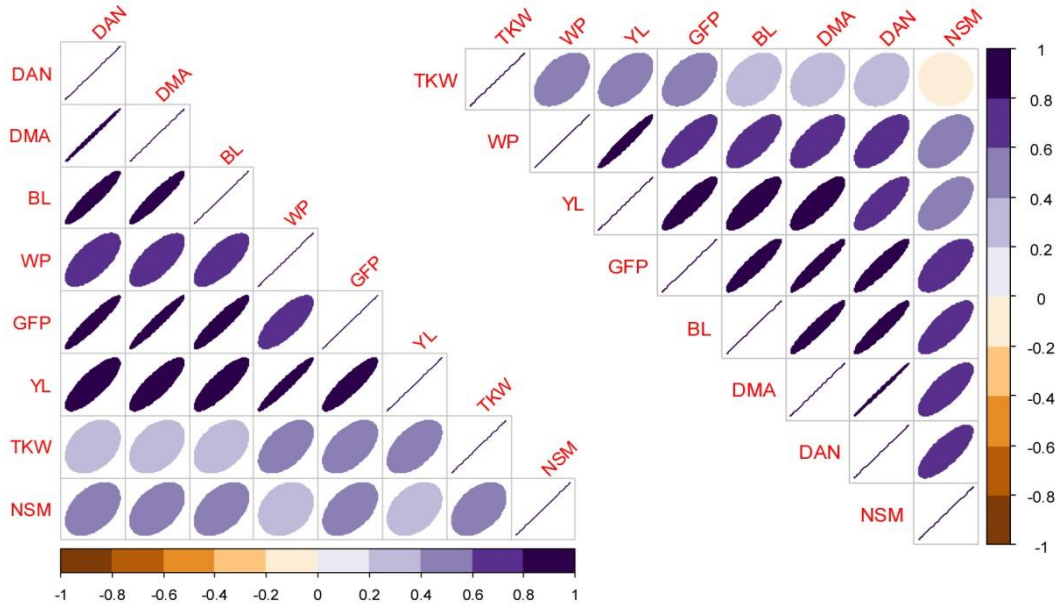
Table 4. Mean comparison for effects of irrigation regime, sowing date and cultivar on agronomic traits and water productivity in four bread wheat cultivars.

بهره‌وری مصرف آب ($kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$)	وزن هزاردانه (g)	تعداد سنبله در مترمربع	عملکرد بیولوژیک ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)	
Water productivity ($kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$)	1000-Kernel weight (g)	spike per m^{-2}	Biological yield ($kg\ ha^{-1}$)	Grain yield ($kg\ ha^{-1}$)	
				رژیم آبیاری Irrigation regime	
16.1^{b}	40.2^{a}	287.2^{a}	15923^{a}	5715^{a}	تکمیلی Supplemental
17.3^{a}	39.0^{a}	241.9^{b}	14709^{b}	5288^{b}	کم‌آبی Water deficit
				تاریخ کاشت Sowing Date §	
17.2^{b}	43.2^{a}	292.8^{a}	17134^{a}	6051^{a}	اول (SD1)
18.6^{a}	40.0^{bc}	275.7^{ab}	16848^{a}	6340^{a}	دوم (SD2)
18.6^{a}	41.1^{ab}	278.6^{ab}	16472^{a}	6165^{a}	سوم (SD3)
16.5^{bc}	38.8^{bc}	274.0^{ab}	15655^{b}	5475^{b}	چهارم (SD4)
16.2^{bc}	38.1^{c}	251.0^{bc}	14723^{c}	5096^{bc}	پنجم (SD5)
15.4^{cd}	37.9^{c}	243.1^{c}	13866^{d}	4819^{cd}	ششم (SD6)
14.6^{d}	38.2^{c}	236.8^{c}	12513^{e}	4560^{d}	هفتم (SD7)
				رقم Cultivar	
16.7^{b}	43.2^{a}	262.1^{a}	15606^{a}	5501^{b}	آراز Araz
16.6^{b}	38.3^{c}	262.7^{a}	15267^{a}	5470^{b}	آرمان Arman
15.7^{c}	35.8^{d}	256.5^{a}	15304^{a}	5162^{c}	N-93-9
17.8^{a}	41.1^{b}	268.9^{a}	15087^{a}	5872^{a}	تکتاز Taktaz

برای هر عامل میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک داشته باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ٥٪ با هم تفاوت معنی‌دار ندارند. § تاریخ کاشت اول (١٠ آبان)، تاریخ کاشت دوم (٢٠ آبان)، تاریخ کاشت سوم (٣٠ آبان)، تاریخ کاشت چهارم (١٠ آذر)، تاریخ کاشت پنجم (٢٠ آذر)، تاریخ کاشت ششم (٣٠ آذر) و تاریخ کاشت هفتم (١٠ دی)

Means, in each column for each factor, followed by at least one letter in common are not significant different at the 5% probability level-using Duncan's multiple range test. §: SD1 (01 November), SD2 (11 November), SD3 (21 November), SD4 (1 December), SD5 (11 December), SD6 (21 December) and SD7 (31 December)

علت اصلی کاهش عملکرد دانه کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه به‌دلیل وجود درجه حرارت‌های بالا در تاریخ کاشت‌های تأخیری است که به علت رابطه مستقیم با دماهای بالاتر است (٤، ١٢). در تأیید این موضوع نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و طول مراحل فنولوژی (گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) و طول دوره پرشدن دانه گندم در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی وجود داشت (شکل ۳). هم‌چنین تنظیم تاریخ کاشت برای به حداقل رساندن اثرات تنش خشکی و گرمای انتهای فصل عامل بسیار مؤثر در حفظ عملکرد است (۲۲). کنترل فنولوژی گیاه از طریق تاریخ کاشت به منظور فراهم کردن شرایط بهینه در دوره پر شدن دانه و تقسیم‌بندی مواد پرورده بسیار دارای اهمیت است (۱۲). نتایج نشان داد طول دوره پر شدن دانه در ارقام مختلف گندم در هر تاریخ کاشت نسبت به تاریخ کاشت بعدی به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که دو ماه تفاوت بین در تاریخ کاشت اول و هفتم منجر به کاهش طول دوره پر شدن دانه به میزان ۱۱/۵ روز شد (جدول ۵). کاهش عملکرد در تاریخ کاشت اول نسبت به تاریخ کاشت‌های دوم و سوم ناشی از خوابیدگی در این تاریخ کاشت بود البته این کاهش عملکرد از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ٤).



شکل ۳- همبستگی بین صفات در شرایط آبیاری تکمیلی (راست) و کم‌آبی (چپ). وزن هزاردانه (TKW)، بهره‌وری مصرف آب (WP)، عملکرد دانه (YL)، طول دوره پرشدن دانه (GFP)، عملکرد بیولوژیک (BL)، روز تا گلدهی (DAN)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DMA)، تعداد سنبله در مترمربع (NSM).

Figure 3. Correlation coefficients between the traits under supplemental irrigation (right) and water deficit (left) conditions. Thousand kernel weight (TKW), Water productivity (WP), Grain yield (YL), Grain filling period (GFP), Biological yield (BL), Days to anthesis (DAN), Dat to physiological maturity (DMA), Number of spike per square meters (NSM).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری، تاریخ کاشت و رقم بر مراحل فنولوژی و طول دوره پرشدن دانه چهار رقم گندم نان.

Table 5. Mean comparison for effects of irrigation regime, sowing date and cultivar on phonologic stages and grain filling period in four bread wheat cultivars.

رژیم آبیاری	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	طول دوره پرشدن دانه (روز)
Irrigation regime	Day to Anthesis	Day to maturity	Grain filling period (day)
تکمیلی Supplemental	132.5[a]	175.2[a]	42.7[a]
کم‌آبی Water deficit	132.2[a]	171.5[b]	39.3[b]
تاریخ کاشت[§]			
[§]Sowing Date			
اول (SD1)	148.9[a]	195.3[a]	46.4[a]
دوم (SD2)	144.9[b]	189.6[b]	44.7[b]
سوم (SD3)	139.7[c]	182.4[c]	42.7[c]
چهارم (SD4)	133.4[d]	175.1[d]	41.6[d]
پنجم (SD5)	130.1[e]	169.9[e]	39.8[e]
ششم (SD6)	119.7[f]	156.6[f]	36.9[f]
هفتم (SD7)	109.7[g]	144.6[g]	34.9[g]
رقم			
آراز Araz	131.4[c]	172.9[b]	41.6[a]
آرمان Arman	136.8[a]	177.8[a]	40.9[b]
N-93-9	132.6[b]	172.6[b]	40.0[c]
تکتاز Taktaz	128.5[d]	170.0[c]	41.5[a]

برای هر عامل میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک داشته باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ با هم تفاوت معنی‌دار ندارند. § تاریخ کاشت اول (۱۰ آبان)، تاریخ کاشت دوم (۲۰ آبان)، تاریخ کاشت سوم (۳۰ آبان)، تاریخ کاشت چهارم (۱۰ آذر)، تاریخ کاشت پنجم (۲۰ آذر)، تاریخ کاشت ششم (۳۰ آذر) و تاریخ کاشت هفتم (۱۰ دی)

Means, in each column for each factor, followed by at least one letter in common are not significant different at the 5% probability level-using Duncan's multiple range test. §: SD1 (01 November), SD2 (11 November), SD3 (21 November), SD4 (1 December), SD5 (11 December), SD6 (21 December) and SD7 (31 December)

نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه ارقام نشان داد عملکرد رقم تکتاز (۵۸۷۲ کیلوگرم در هکتار) به طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. اختلاف عملکرد ارقام آراز و آرمان از نظر آماری معنی‌دار نبود (به ترتیب ۵۵۰۱ و ۵۴۷۰ کیلوگرم در هکتار) در حالی‌که عملکرد آن‌ها به طور معنی‌داری بیش‌تر از لاین N-93-9 بود (جدول ٤). از آن‌جایی‌که رقم تکتاز زودرس‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۵)، گلدهی در آن در دماهای ملایم‌تری اتفاق افتاده بنابراین بیش‌تر بودن پنجه‌های بارور و افزایش تعداد سنبله در مترمربع دور از ذهن نبود. هم‌چنین رقم تکتاز به همراه رقم آراز به‌طور قابل‌توجهی بیش‌ترین وزن هزاردانه و طول دوره پر شدن دانه را داشتند (جدول‌های ٤ و ۵). در مطالعه سوقی و همکاران (۲۰۲۱) در شرایط اقلیمی مشابه عملکرد رقم زودرس کلاته به طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر ارقام بوده است (۱۲). عیدی‌زاده و همکاران (۲۰۱٦) با بررسی سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد ارقام مختلف گندم در شرایط اقلیمی اهواز گزارش دادند که رقم چمران بیش‌ترین عملکرد را نسبت به سایر ارقام داشت (۱۹).

بررسی نتایج عملکرد بیولوژیک جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات شرایط رطوبتی و تاریخ

کاشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند در حالی که بین ارقام مختلف اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد بیولوژیک در شرایط تیمار کم‌آبی (۱۴۷۰۹ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری کم‌تر از شرایط آبیاری تکمیلی (۱۵۹۲۳ کیلوگرم در هکتار) از بود (جدول ٤). با توجه به این‌که تیمار کم‌آبی باعث کاهش تعداد سنبله در مترمربع (جدول ٤) و کاهش طول دوره رشد تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پر شدن دانه (جدول ۵) شده بود این رخداد دور از انتظار نبود. جعفری و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی در شرایط اقلیمی استان کردستان نشان دادند که آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه باعث افزایش وزن خشک بوته شده است (۲۳).

نتایج مقایسه میانگین‌های تاریخ کاشت‌های مختلف نشان داد که میزان عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب تاریخ کاشت‌ها کاهش یافت به‌طوری‌که عملکرد بیولوژیک سه تاریخ کاشت ابتدایی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تاریخ کاشت‌های چهارم تا هفتم بود (جدول ٤). در شرایط طبیعی (عادی) که احتمال وقوع تنش‌های زیستی و غیرزیستی وجود ندارد و گیاه دچار خوابیدگی نمی‌شود، مراحل فنولوژی طولانی‌تر، از جمله تعداد روزهای بیش‌تر تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک باعث تولید عملکرد بیش‌تری می‌شوند (۲٤). دماهای بالا روی عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و برخی اجزای عملکرد اثر منفی می‌گذارد (۷، ۸). عملکرد بیولوژیک ارتباط مستقیمی با طول دوره رشد دارد و درجه حرارت مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در توسعه و رشد گیاهان در طول فصل رشد است (۲۵) به همین دلیل میزان عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب تاریخ کاشت‌ها کاهش یافت (جدول ٤). نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد بیولوژیک و طول مراحل فنولوژی (گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) و طول دوره پرشدن دانه گندم در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی مشاهده شد (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین مراحل فنولوژی نشان داد که با تأخیر در کاشت، طول مراحل فنولوژی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در مراحل گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین طول دوره فنولوژیک مربوط به تاریخ کاشت اول و تاریخ کاشت هفتم بود. دو ماه تفاوت بین در تاریخ کاشت اول و هفتم منجر به کاهش دوره‌های فنولوژیکی گیاه در مراحل مختلف شد به‌طوری‌که رسیدن به مراحل گلدهی ۳۹/۲ روز و رسیدگی فیزیولوژیک ۵۰/۷ روز کاهش یافت و در نتیجه منجر به کاهش طول دوره پر شدن دانه به میزان ۱۱/۵ روز شد (جدول ۵).

نتایج تعداد سنبله بارور در مترمربع در جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات شرایط رطوبتی و تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند و اختلاف معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تعداد سنبله در مترمربع در شرایط کم‌آبی (۲٤۱/۹) به‌طور معنی‌داری کم‌تر از شرایط آبیاری تکمیلی (۲۸۷/۲) بود (جدول ٤). به این علت که در زمان وقوع قطع آبیاری تاریخ کاشت‌های چهارم و پنجم در مرحله ظهور سنبله و تاریخ کاشت‌های ششم و هفتم در مرحله آبستنی بودند و در این مراحل امکان عدم تلقیح و باروری در گندم به علت وقوع تنش خشکی وجود دارد (۸).

نتایج مقایسه میانگین‌های تاریخ کاشت‌های مختلف نشان داد که تعداد تعداد سنبله در مترمربع به‌ترتیب تاریخ کاشت‌ها کاهش یافت به‌طوری‌که تاریخ کاشت‌های انتهایی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از تاریخ کاشت‌های ابتدایی بود (جدول ٤). تعداد سنبله در مترمربع یکی از اجزای عملکرد است که در

عملکرد نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. درنتیجه، انتظار می‌رود هرچه تعداد سنبله بارور در واحد سطح افزایش یابد، بر میزان عملکرد نیز افزوده شود. علت کاهش کاهش تعداد سنبله بارور در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام، کاهش طول دوره پر شدن دانه در نتیجه افزایش حداقل، حداکثر و میانگین دما گزارش شده است (۱۲). کاهش طول مرحله طویل شدن ساقه در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام نیز از عوامل دیگری است که در ارتباط با کاهش تعداد سنبله بارور گزارش شده است (۲٦).

نتایج وزن هزاردانه تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تاریخ کاشت و رقم بر صفت وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد آبیاری تکمیلی باعث افزایش ۱/۲ گرم در وزن هزاردانه ارقام گندم مورد مطالعه در مقایسه با شرایط کم‌آبی شد هر چند این اختلاف از نظرآماری معنی‌دار نبود (جدول ٤). این افزایش وزن هزاردانه ناشی از افزایش طول دوره پر شدن دانه (۳/٤ روز) در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به کم‌آبی بوده است (جدول ۵). افزایش وزن هزاردانه گندم در شرایط آبیاری تکمیلی توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (۱۷، ۲۷). هم‌چنین وزن هزاردانه تاریخ کاشت‌های ابتدایی بیش‌تر از تاریخ کاشت‌های انتهایی بود (جدول ٤). به‌دلیل فاصله زمانی کوتاه‌تر از مرحله گلدهی تا رسیدن و برخورد طول این دوره در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام با دمای بالا باعث شده تا طول دوره پر شدن دانه کاهش و سرعت پر شدن دانه افزایش یابد و به‌دنبال آن دانه‌ها چروکیده شوند و در نهایت وزن هزاردانه در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام نسبت به زود هنگام کاهش یابد. مشخص شده است که دمای محیط در دوره پر شدن دانه نقش بسیار مهمی در تعیین وزن تک‌دانه دارد و دمای بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باعث افت شدیدی در این جزء از عملکرد دانه می‌شود (۲۸). کاهش وزن هزاردانه در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام به‌علت گرم بودن و خشکی هوا و کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه در سایر پژوهش‌های مرتبط با گندم گزارش شده است (۹، ۱۱).

مقایسه میانگین‌های ارقام مورد مطالعه نشان داد که ارقام از نظر وزن هزاردانه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری داشتند به طوری که بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط به رقم آراز و تکتاز بود (به ترتیب ٤۳/۲ و ٤۱/۱ گرم) از طرفی رقم آرمان و لاین N-93-9 کم‌ترین مقادیر وزن هزاردانه (به ترتیب ۳۸/۳ و ۳۵/۸ گرم) را داشتند (جدول ٤). وزن هزاردانه ارقام یک ویژگی ژنتیکی است که البته تحت‌تأثیر محیط نیز قرار می‌گیرد. طول دوره پر شدن دانه بیش‌تر باعث افزایش وزن هزاردانه می‌شود (۲۹) به همین دلیل ارقام آراز و تکتاز با طول دوره پر شدن دانه طولانی‌تر، وزن هزاردانه بیش‌تری نیز داشتند (جدول ۵). بر اساس مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) افزایش طول دوره فتوسنتز، نرخ فتوسنتزی گیاه و تجمع کربوهیدرات‌های محلول در بافت‌های رویشی مهم‌ترین نقش را در افزایش وزن هزاردانه گندم ایفا می‌کند. تنوع بین ارقام مختلف ناشی از تنوع در توانایی در فتوسنتزی و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ارقام است (۳۰، ۳۱). بنابراین ارقامی که شاخص برگ بیش‌تری دارند وزن هزاردانه بیش‌تری نیز دارند (۳۲).

نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری مصرف آب نشان داد که اثر شرایط رطوبتی در سطح احتمال پنج درصد و اثرات تاریخ کاشت و رقم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند در حالی‌که هیچ‌یک از اثرات متقابل معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شرایط کم‌آبی باعث افزایش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب (۱۷/۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) نسبت به شرایط آبیاری

تکمیلی (۱۶/۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) شد (جدول ٤) در واقع آب کم‌تری برای تولید هر کیلوگرم محصول گندم استفاده شده است. رجبی و همکاران (۲۰۲۱) اثر کم‌آبیاری بر عملکرد گندم در دشت بردسیر کرمان را بررسی و گزارش کردند که حداکثر تولید در تیمار آبیاری کامل به‌دست می‌آید و در حالت محدویت آب با کاهش ۱۵ درصدی مصرف آب حداکثر بهره‌وری مصرف آب حاصل شده است (۱٦). دلقندی و همکاران (۲۰۱٤) در شرایط محیطی اهواز افزایش بهره‌وری مصرف آب را در تیمارهای کم‌آبیاری گزارش کردند (۱۵). وارگا و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش کارایی مصرف آب را در گندم در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند (۱۸). در مطالعه دیگری که در شرایط اقلیمی گرگان انجام شده است کیانی و نوری‌نیا (۲۰۱٤) با مطالعه شش رقم گندم در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی گزارش کرده‌اند که آبیاری تکمیلی اثربخشی لازم در افزایش بهره‌وری آب را ندارد و در شرایط استان گلستان بهتر است آبیاری گندم تنها در دوره بحرانی کمبود آب صورت گیرد و مقدار آب صرفه‌جویی شده برای مناطق کم‌آب و یا برای کشت تابستانه اختصاص یابد (۳۳).

بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (۲۰ و ۳۰ آبان، ۱۸/٦ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند ولی به طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تاریخ کاشت‌ها بود به‌طوری‌که تاریخ کاشت‌های انتهایی کم‌ترین مقادیر بهره‌وری مصرف آب را به خود اختصاص دادند (جدول ٤). با توجه به این‌که تاریخ کاشت‌های دوم و سوم بیش‌ترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ٤) افزایش بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در آن‌ها قابل انتظار بود. تجزیه همبستگی نشان داد که همبستگی قوی بین بهره‌وری مصرف آب با صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، طول مراحل فنولوژی (گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) و طول دوره پرشدن دانه گندم در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی وجود داشت (شکل ۳).

بهره‌وری مصرف آب رقم تکتاز (۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) به طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. اختلاف بهره‌وری مصرف آب ارقام آراز و آرمان از نظر آماری معنی‌دار نبود (به‌ترتیب ۱٦/۷ و ۱٦/٦ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) در حالی‌که بهره‌وری مصرف آب آن‌ها به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از لاین N-93-9 بود (جدول ٤). رحیمی و همکاران (۲۰۱۹) سه رقم گندم کاسکوژن، سایونز و آذر ۲ در شرایط کم‌آبیاری مورد مطالعه قرار دادند و بیش‌ترین افزایش در کارایی مصرف آب را در رقم مقاوم به خشکی آذر ۲ گزارش کردند (۱٦). در مطالعه دیگری که در شرایط اقلیمی مشهد، پنج لاین گندم در سه تیمار آبیاری موردمطالعه قرار گرفتند و بیش‌ترین کارایی مصرف آب تحت شرایط کم‌آبیاری در لاین C-79-6 گزارش شده است (۳٤).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی (۵۷۱۵ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط کم‌آبی (۵۲۸۸ کیلوگرم در هکتار) بود به‌عبارت‌دیگر شرایط کم‌آبی باعث کاهش ۸ درصدی عملکرد دانه شد. به‌طور مشابهی عملکرد بیولوژیک، تعداد سنبله در مترمربع کاهش طول دوره رشد تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پر شدن دانه در شرایط تیمار کم‌آبی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از شرایط آبیاری تکمیلی بود. هم‌چنین تیمار کم‌آبی باعث افزایش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب (۱۷/۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) نسبت به شرایط آبیاری تکمیلی (۱٦/۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) شد. بیش‌ترین عملکرد دانه در

تاریخ کاشت‌های دوم (۲۰ آبان، ٦٣٤٠ کیلوگرم در هکتار) و سوم (۳۰ آبان، ٦١٦٥ کیلوگرم در هکتار) و اول (۱۰ آبان، ٦٠٥١ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند ولی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تاریخ کاشت‌های چهارم تا هفتم بود. سه تاریخ کاشت مذکور ازنظر عملکرد بیولوژیک، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزاردانه و طول دوره پر شدن نسبت به تاریخ کاشت‌های انتهایی برتری داشتند. بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب مربوط به تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (۲۰ و ۳۰ آبان، ١٨/٦ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) بود که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تاریخ کاشت‌ها بود. نتایج مقایسه میانگین ارقام نشان داد که رقم تکتاز زودرس‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و عملکرد دانه (۵۸۷۲ کیلوگرم در هکتار) و بهره‌وری مصرف آب (۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) آن به طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. به طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان گفت کاشت رقم تکتاز در تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (۲۰ و ۳۰ آبان) موجب دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌آبی شده است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از کارشناسان ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان (عراقی‌محله) که همکاری صمیمانه‌ای در اجرای این پژوهش داشتند تشکر و قدردانی نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مربوط به رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد که با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است: نویسنده اول: داده‌برداری، آنالیز داده‌ها، تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده دوم: نظارت بر اجرای تحقیق، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، نویسنده سوم: مشارکت در انتخاب طرح و روش تحقیق، راهبری آنالیزهای آماری وبازبینی مقاله، نویسنده چهارم: مشارکت در آنالیزهای آماری و بازبینی مقاله.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش در قالب گرنت دانشجویی نویسنده اول این مطالعه بوده است. هم‌چنین از امکانات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان استفاده شده است.

منابع

1.FAO (Food and Agriculture Organization), 2022: Available http://www.fao.org/ faostat/en/#home. Last accessed 2 May 2022.

2.Ghahremaninejad, F., Hoseini, E., and Jalali, S. 2021. The cultivation and domestication of wheat and barley in Iran, brief review of a long history. The Botanical Review. 87: 1. 1-22.

3.Ahmadi, K., Abadzadeh, H., Hatami, F., Mohammadnia Afrozi, S., Esfandiyaripour, E., and Abbastaghani, R. 2021. Agricultural Statistics in Crop Season 2019-2020. Publications Ministry of Jihad-e-Agriculture. Tehran, Iran. 124p. (In Persian)

4.Asseng, S., Martre, P., Maiorano, A., Rötter, R.P., O'Leary, G.J., Fitzgerald, G.J., Girousse, C., Motzo, R., Giunta, F., Babar, M.A., and Reynolds, M.P. 2019. Climate change impact and adaptation for wheat protein. Global change biology,. 25: 1. 155-173.

5.Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C., Kheshgi, H., Kobayashi, S., and Kriegler, E. 2018. Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, V. Masson-Delmotte et al., Eds.(Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2018). 616p.

6.Hyles, J., Bloomfield, M.T., Hunt, J.R., Trethowan, R.M., and Trevaskis, B. 2020. Phenology and related traits for wheat adaptation. Heredity. 125: 6. 417-430.

7.Cohen, I., Zandalinas, S.I., Huck, C., Fritschi, F.B., and Mittler, R. 2021. Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. Physiologia Plantarum. 171: 1. 66-76.

8.Farooq, M., Hussain, M., and Siddique, K.H. 2014. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. Critical reviews in plant sciences. 33: 4. 331-349.

9.Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M., and Andarzian, B. 2015. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 14: 2. 189-199.

10.Gupta, M., Sharma, C., Sharma, R., Gupta, V., and Khushu, M. 2017. Effect of sowing time on productivity and thermal utilization of mustard (*Brassica juncea*) under sub-tropical irrigated conditions of Jammu. Journal of Agrometeorology. 19: 2. 137-141.

11.Kalateh-Arabi, M., Sheikh, F., Soqi, H., and Hivehchie, J. 2011. Effects of sowing date on grain yield and its components of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Gorgan in Iran. Seed and Plant Producion. 27: 285-296. (In Persian)

12.Soughi, H., Khodarahmi, M., Bagherikia, S., and Nazari, M. 2020. Response of Grain Yield of New Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars to Sowing Date Based on Agro-Climatic Indices Under Gorgan Environmental Conditions', Seed and Plant Journal. 36: 1. 1-31. (In Persian)

13.Abbasi, F., Abbasi, N., and Tavakoli, A. 2017. Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. Journal of Water and Sustainable Development. 4: 1. 141-144. (In Persian)

14.Abbasi, F. 2022. 'Estimation of Potential and Gap of Water Productivity in Wheat Production in Iran', Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 23: 86. 87-110.

15.Delghandi, M., Andarzian, B., Broomandnasab, S., Massah Bovani, A., and Javaheri, E. 2014. Valuation of DSSAT 4.5-CSM-CERES-Wheat to Simulate Growth and Development, Yield and Phenology Stages of Wheat under Water Deficit Condition (Case Study: Ahvaz Region). Journal of Water and Soil. 28: 1. 82-91. (In Persian)

16. Rahimi, Z., Hosseinpanahi, F., and Siosemardeh, A. 2019. Evaluation of yield, radiation and water use efficiency of drought resistant and susceptible wheat cultivars under different irrigation levels. Journal of Wheat Research. 2: 1. 19-34. (In Persian)
17. Rajabi, M., Jalal Kamali, N., and Naghizade, M. 2021. The Effect of Deficit Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Wheat: a Case Study of Bardsir Plain. 15: 3. 701-709. (In Persian)
18. Varga, B., Vida, G., Varga-László, E., Bencze, S., and Veisz, O. 2015. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Science. 201: 1. 1-9.
19. Eidizadeh, K., Ebrahimpour, F., and Ebrahimi, M.A. 2016. Effect of different irrigation regimes on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Ramin climate. Environmental Stresses in Crop Sciences, 9: 1. 29-36. (In Persian)
20. Man, J., Shi, Y., Yu, Z., and Zhang, Y. 2016. Root growth, soil water variation, and grain yield response of winter wheat to supplemental irrigation. Plant Production Science. 19: 2. 193-205.
21. Rahimiyan, M., and Ghodsi, M. 2014. Effect of Elimination of Irrigation in Terminal Stages of Growth on Yield and Water Use Efficiency of Five Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes in Mashhad. Journal of Water Research in Agriculture. 28: 1. 25-38. (In Persian)
22. Wang, X., Vignjevic, M., Liu, F., Jacobsen, S., Jiang, D., and Wollenweber, B. 2015. Drought priming at vegetative growth stages improves tolerance to drought and heat stresses occurring during grain filling in spring wheat. Plant Growth Regulation. 75: 3. 677-687.
23. Jafari, H., Heidari G.H., and Khalesro S. H. 2019. Effects of Supplemental Irrigation and biofertilizers on Yield and Yield Components of Dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 29: 2. 173-187. (In Persian)
24. Camargo, A.V., Mott, R., Gardner, K.A., Mackay, I.J., Corke, F., Doonan, J.H., Kim, J.T., and Bentley, A.R. 2016. Determining phenological patterns associated with the onset of senescence in a wheat MAGIC mapping population. Frontiers in Plant Science. 7: 1540.
25. Liu, B., Liu, L., Asseng, S., Zou, X., Li, J., Cao, W., and Zhu, Y. 2016. Modelling the effects of heat stress on post-heading durations in wheat: A comparison of temperature response routines. Agricultural and Forest Meteorology. 222: 45-58.
26. Zhu, Y., Chu, J., Dai, X., and He, M.. 2019. Delayed sowing increases grain number by enhancing spike competition capacity for assimilates in winter wheat. European Journal of Agronomy, 104: 49-62.
27. Kamali, M.I., and Shahabian, M. 2021. Effects of supplemental irrigation and nitrogen fertilization on yield and qualitative characteristics of wheat in Mazandaran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 14: 6. 2217-2233. (In Persian)
28. Ullah, A., Nadeem, F., Nawaz, A., Siddique, K.H., and Farooq, M. 2022. Heat stress effects on the reproductive physiology and yield of wheat. Journal of Agronomy and Crop Science, 208: 1. 1-17.
29. Li, S., Wang, L., Meng, Y., Hao, Y., Xu, H., Hao, M., Lan, S., Zhang, Y., Lv, L., Zhang, K., and Peng, X. 2021. Dissection of genetic basis underpinning kernel weight-related traits in common wheat. Plants. 10: 4. 713.
30. Zhang, C., Zheng, B., and He, Y. 2022. Improving grain yield via promotion of kernel weight in high yielding winter wheat genotypes. Biology. 11: 1. 42.
31. Sanchez-Bragado, R., Vicente, R.N., Molero, G., Serret, M.D., Maydup, M., and Araus, J.L. 2020. New avenues for increasing yield and stability in C3 cereals: Exploring ear photosynthesis. Current Opinion in Plant Biology. 56: 223-234.

32. Zhang, M., Gao, Y., Zhang, Y., Fischer, T., Zhao, Z., Zhou, X., Wang, Z., and Wang, E. 2020. The contribution of spike photosynthesis to wheat yield needs to be considered in process-based crop models. Field Crops Research. 257: 107931.
33. Kiani, A., and Nourinia, A. 2014. An investigation of Rainfall and Supplementary Irrigation Productivity in some Wheat Cultivars. Journal of Water and Soil Conservation. 21: 5. 155-173. (In Persian)
34. Saadati, Z., Delbari, M., Amiri, E., Panahi, M., Rahimian, M.H., and Ghodsi, M. 2016. Assessment of CERES-Wheat model in simulation of varieties of wheat yield under different irrigation treatments. Journal of Water and Soil Resources Conservation. 5: 3. 73-85. (In Persian)