University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 12, No. 4, Winter 2023 (349-366)
doi: 10.22124/CR.2023.24668.1771
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Effect of planting date and nitrogen and zinc fertilizers on phenological traits, and grain yield and quality of bread wheat in Ahvaz climatic conditions

Hamdollah Eskandari[1], Seyed Nader Mosavian[2*] and Kamyar Kazemi[3]

1. Associate Professor, Department of Agriculture, Payam-e- Noor University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Departmrnt of Agriculture, Payam-e- Noor University, Tehran, Iran (*Corresponding author: mosaviyan@pnu.ac.ir)
3. Assistant Professor, Departmrnt of Agriculture, Payam-e- Noor University, Tehran, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

There is a considerable gap between the grain yield of bread wheat and its production potential in Khuzestan province, but it seems that the yield of wheat can be increased with proper direction of environmental effects through suitable agronomical management. In this regard, planting date and nutrient application are very important. However, the application of little or much nitrogen reduces the grain yield under high temperature conditions, and in addition, using too much nitrogen can cause environmental pollution. Therefore, it is necessary to accurately determine the optimal level of nitrogen for different planting dates. The objective of the current experiment was to study the effect of planting date and application of nitrogen and zinc fertilizers on growth and yield of wheat.

Materials and methods

To investigate the effect of planting dates and the application of nitrogen and zinc fertilizers on growth and yield of wheat (cv. Chamran), an experiment was conducted in experimental field of Khuzestan Agricultural University, Khuzestan province, Iran, during 2018-19 growing season. The experiment was carried out as split-split plots in randomized complete plot design with four replications. Planting date at three levels (Nov. 22, Dec. 11, and Dec. 31) were considered as main plots, nitrogen at four levels (0, 75, 150, and 225 kg.ha^{-1}) as sub-plots, and zinc at three levels (0, 10, and 20 kg.ha^{-1}) as sub-sub-plots. The evaluated traits were including grain weight, number of grains per unit area, number of days from planting to pollination, number of days from pollination to maturity, grain yield, grain protein percentage, grain zinc content, grain protein accumulation rate, grain filling rate and grain filling period.

Research findings

The results of analysis of variance showed that three-way interaction of planting date × nitrogen × zinc was significant on all studied traits at 1% probability level, except for number of grains per unit area which was only affected by nitrogen levels. The highest wheat grain yield (7486 kg.ha^{-1}) was belonged to the first planting date (Nov 22) along with the second level of nitrogen (75 kg.ha^{-1}) and zinc (10 kg.ha^{-1}). The delay in planting led to a decrease in grain yield, so that planting on Dec. 11 and Dec. 31 caused a decrease of about 23 and 40 percent in wheat grain yield, respectively. The application of chemical fertilizers at delayed planting date led to a certain extent to compensate for the decrease in grain yield, so that the application of 75, 150 and 225 kg.ha^{-1} of nitrogen on the planting date of Dec. 11 increased grain yield of wheat by 44%, 52% and 55%, respectively. With the delay of planting from Nov. 22 to Dec. 31, grain filling rate and grain protein percentage increased by 19% and 25%, respectively, but the grain filling period (28%), grain weight (20%), protein accumulation rate (27%), protein yield (50%) and grain zinc content (3%) decreased. The highest grain filling rate (1.37

mg.day^{-1}) and the highest grain protein content (12.7%) of wheat were obtained on the planting date of Dec. 31 along with 150 kg.ha^{-1} N and 10 kg.ha^{-1} Zn. Also, the highest grain filling period (46.1 days) was observed on the first planting date (Nov. 22), but there was no significant difference among different levels of nitrogen and zinc in this regard.

Conclusion

In total, the results of the current experiments showed that to avoid exposure of wheat to high temperatures during the grain filling period in the studied region, it is better to do planting on earlier date (Nov. 22). In delayed planting dates, using 150 kg.ha^{-1} N and 10 kg.ha^{-1} Zn can relatively compensate for the negative effects of high temperature after anthesis. The delay in planting, increased the grain protein content due to the acceleration of the grain filling period, however, it decreased total protein yield, which shows that the protein yield (kg.ha^{-1}) is more dependent on the grain yield.

Key words: Grain filling period, Grain production, Grain protein, Grain zinc conten.

Received: October 2, 2022 Accepted: December 20, 2022

Cite this article:

Eskandari, H., Mosavian, S.N. and Kazemi, K. 2023. Effect of planting date and nitrogen and zinc fertilizers on phenological traits, and grain yield and quality of bread wheat in Ahvaz climatic conditions. *Cereal Research*, 12(4), pp. 349-366.

تحقیقات غلات
دوره دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱ (۳۶۶-۳۴۹)
doi: 10.22124/CR.2023.24668.1771
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

اثر تاریخ کاشت و کودهای نیتروژن و روی بر صفات فنولوژیک، عملکرد و کیفیت دانه گندم در شرایط اقلیمی اهواز

حمداله اسکندری[۱]، سیدنادر موسویان[۲*] و کامیار کاظمی[۳]

۱- دانشیار، گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- استادیار، گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (*نویسنده مسئول: mosaviyan@pnu.ac.ir)
۳- استادیار، گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده جامع

مقدمه: عملکرد گندم آبی در استان خوزستان با پتانسیل تولید آن فاصله دارد، اما به‌نظر می‌رسد که با مدیریت‌های به‌زراعی صحیح می‌توان اثرات محیطی را به‌گونه‌ای جهت‌دهی کرد و عملکرد گندم را افزایش داد. در این زمینه، مدیریت تاریخ کاشت و عناصر غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است. با این‌حال، استفاده کم و یا بیش از حد از نیتروژن باعث کاهش عملکرد دانه در شرایط دمای بالا می‌شود و علاوه بر این، استفاده زیاد از نیتروژن می‌تواند سبب آلودگی زیست‌محیطی شود. به این ترتیب، تعیین دقیق سطح مطلوب نیتروژن برای تاریخ‌های کاشت متفاوت ضروری است. هدف از اجرای این آزمایش، مطالعه اثر تاریخ کاشت و کاربرد کودهای نیتروژن و روی بر رشد و عملکرد گندم بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر تاریخ‌های کاشت و کاربرد کودهای نیتروژن و روی بر رشد و تولید دانه گندم (رقم چمران)، آزمایشی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی خوزستان اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تاریخ کاشت در سه سطح (اول آذر، ۲۰ آذر و ۱۰ دی) در کرت‌های اصلی، نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی و روی در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی فرعی قرار گرفتند. صفات ارزیابی شده شامل وزن دانه، تعداد دانه در واحد سطح، تعداد روز از کاشت تا گرده‌افشانی، تعداد روز از گرده‌افشانی تا رسیدگی، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه، میزان روی دانه، سرعت تجمع پروتئین دانه، سرعت پر شدن دانه و طول دوره پرشدن دانه بود.

یافته‌های تحقیق: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سه جانبه تاریخ کاشت×نیتروژن×روی بر تمامی صفات مورد مطالعه، به‌جز تعداد دانه در واحد سطح که فقط تحت تاثیر سطوح نیتروژن قرار گرفت، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد دانه گندم (۷۴۸۶ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تاریخ کاشت اول آذرماه و سطح دوم نیتروژن (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و روی (۱۰ کیلوگرم در هکتار) بود. کاشت در ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌ترتیب باعث کاهش حدود ۲۳ و ۴۰ درصدی عملکرد دانه گندم شد. مصرف کودهای شیمیایی در تاریخ کاشت تاخیری تا حدودی سبب جبران کاهش عملکرد دانه شد، به‌طوری که مصرف ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، به‌ترتیب موجب افزایش ۴۴، ۵۲ و ۵۵ درصدی عملکرد دانه گندم شد. با تاخیر کشت از اول آذر به ۱۰ دی، سرعت پر شدن دانه و درصد پروتئین دانه به‌ترتیب ۱۹ درصد و ۲۵ درصد افزایش یافت، ولی مدت پر شدن دانه (۲۸ درصد)، وزن دانه (۲۰ درصد)، سرعت تجمع پروتئین (۲۷

درصد)، عملکرد پروتئین (۵۰ درصد) و محتوای روی دانه (۳ درصد) کاهش یافت. بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه (۱/۳۷ میلی‌گرم در روز) و بالاترین محتوای پروتئین دانه (۱۲/۷ درصد) گندم در تاریخ کاشت ۱۰ دی و با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۰ کیلوگرم روی به‌دست آمد. همچنین، بیش‌ترین طول دوره پرشدن دانه گندم (۴۶/۱ روز) در تاریخ کاشت اول (اول آذرماه) مشاهده شد، اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف نیتروژن و روی در این زمینه وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که برای جلوگیری از مواجهه گندم با دماهای بالا طی دوره پر شدن دانه در منطقه مورد مطالعه، بهتر است کشت در اول آذرماه انجام شود. در کشت‌های تاخیری، استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱۰ کیلوگرم در هکتار روی می‌تواند تا حدودی اثرات منفی دمای بالا را جبران کند. تأخیر در کاشت به‌دلیل تسریع دوره پر شدن دانه موجب افزایش محتوای پروتئین دانه شد، اما عملکرد کل پروتئین را کاهش داد که نشان می‌دهد عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) بیش‌تر به عملکرد دانه وابسته است.

کلمات کلیدی: تولید دانه، پروتئین دانه، روی دانه، طول دوره پر شدن دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

نحوه استناد به این مقاله:

اسکندری، حمداله، موسویان، سید نادر و کاظمی، کامیار. ۱۴۰۱. اثر تاریخ کاشت، کودهای نیتروژن و روی بر طول دوره رشد، پر شدن دانه و عملکرد دانه گندم در شرایط اقلیمی اهواز. *تحقیقات غلات*، ۱۲(۴): ۳۶۶-۳۴۹.

مقدمه

گندم، یک محصول زراعی راهبردی است که حدود ۵۰ درصد از تجارت جهانی دانه‌ای را به‌خود اختصاص داده است و ۸۵ درصد از نیاز جمعیت جهانی به کالری را تامین می‌کند (Poudel and Poudel, 2020). بر اساس آخرین آمار، استان خوزستان با تولید حدود ۱/۵ میلیون تن، بیش‌ترین تولید گندم آبی را در بین استان‌های کشور دارد که این به معنی اختصاص بیش‌ترین سهم (۱۷/۶۴ درصد) از کل تولید گندم آبی کشور است . با این‌حال، از نظر عملکرد، متوسط عملکرد گندم آبی در استان خوزستان ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است که آن را در رتبه ۲۵ کشور قرار می‌دهد (اصفهان با میانگین عملکرد حدود ۵۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در رتبه اول قرار دارد) (Ministry of Agriculture-Jahad, 2021). این آمار نشان می‌دهد که عملکرد گندم آبی در استان خوزستان با پتانسیل تولید آن فاصله دارد. بنابراین، با مدیریت‌های به‌زراعی باید اثرات محیطی را به‌گونه‌ای جهت‌دهی کرد تا عملکرد گندم افزایش یابد. در این زمینه، مدیریت تاریخ کاشت و عناصر غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است.

عملکرد گیاهان زراعی، از جمله گندم، تحت تاثیر سه عامل ژنتیک، اقلیم و مدیریت‌های به‌زراعی قرار می‌گیرد. در بین عواملی که با مدیریت به‌زراعی مرتبط هستند، تاریخ کاشت از نوسان بیش‌تری برخوردار است، چرا که حتی در اقلیم‌های مشابه نیز نوسانات آب و هوایی زیاد است (Naderi, 2014). در واقع، تاریخ کاشت‌های مختلف باعث می‌شود که دوره‌های رشدی گندم، به‌ویژه دوره پر شدن دانه، با شرایط آب و هوایی متفاوت مواجه شود. گزارش شده است که در شرایط اقلیمی گرگان، تأخیر در کاشت باعث کوتاه شدن طول دوره نمو گندم می‌شود، چرا که گیاه زودتر با روزهای بلند مواجه شده و این امر باعث می‌شود قبل از اینکه اندام‌های رویشی به حداکثر کارکرد خود از نظر تولید مواد پرورده برسند، بوته‌ها وارد مرحله رشد زایشی شده و در ادامه، دانه‌ها با کمبود منابع فتوسنتزی روبرو شوند (Kalateh Arabi *et al*., 2011)، که در نهایت وزن دانه‌ها و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. گزارش شده است که تأخیر در کاشت در شرایط اقلیمی نیشابور، گندم را طی دوره پر شدن دانه با دماهای بالا مواجه می‌کند و به‌دلیل کاهش پر شدن دانه‌ها، منجر به کاهش ۴۸ درصدی عملکرد دانه شد (Baygi *et al*., 2017). در ذرت نیز مشاهده شد که تأخیر در کاشت در شرایط اقلیمی افغانستان، باعث مواجه شدن دوره پر شدن دانه با دماهای نامطلوب آخر فصل شده و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه را دچار افت می‌کند که نتیجه آن، کاهش حدود ۱۰ درصدی عملکرد دانه بود (Rabbani and Safdary, 2021). در ارقام زودرس گندم در شرایط اقلیمی خوزستان نیز گزارش شد که تأخیر در کاشت اثر کاهشی بر عملکرد دانه داشت، به‌طوری که تأخیر ۱۰ روزه منجر به کاهش عملکرد دانه به‌میزان ۸۷ کیلوگرم در هکتار در روز نسبت به تاریخ کاشت بهینه شد (Naderi, 2014). بر اساس یک تحقیق که در شرایط اقلیمی بردسیر استان کرمان انجام گرفت، تاخیر ۲۰ روزه در کاشت گندم باعث کاهش ۲۳ درصدی عملکرد دانه گندم شد (Amiri *et al*., 2010). در مورد اثر تنش گرما در شرایط اقلیمی خوزستان نیز گزارش شده است که کشت‌های خیلی دیر (۱۵ بهمن) باعث شد که به‌ازای هر درجه افزایش دما، حدود ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار از عملکرد دانه گندم کاسته شود که دلیل آن، اثر منفی دمای بالا بر وزن دانه‌ها و طول دوره پر شدن دانه‌ها بود (Moshatati *et al*., 2019).

مصادف شدن دوره پر شدن دانه با دماهای بالا تقریباً در حدود نیمی از زمین‌های زیرکشت دنیا مشاهده می‌شود (Shiferaw *et al*., 2013). نتایج یک پژوهش در شرایط اقلیمی خوزستان نشان داد که چنانچه در طول دوره پر شدن دانه در گندم، دمای هوا به اندازه ۶ درجه سلسیوس افزایش یابد، سرعت پر شدن دانه ۰/۲ میلی‌گرم در روز، مدت پر شدن دانه ۶ روز، وزن هزار دانه ۱۷ گرم و عملکرد دانه ۱۴۸ گرم در متر مربع کاهش می‌یابد (Modhej *et al*., 2007). از طرف دیگر، کمبود نیتروژن در چنین شرایطی، افت عملکرد دانه را تشدید می‌کند (Sadras *et al*., 2016). ضمن اینکه تأمین بیش از حد نیتروژن نیز اثرات منفی دماهای بالا طی دوره پر شدن دانه را افزایش می‌دهد (Elia *et al*., 2018). بر این اساس، مصرف نیتروژن برای کاهش اثرات دماهای بالا در مراحل رشد بعد از گرده‌افشانی، باید با دقت صورت گیرد، چرا که کاربرد کم‌تر یا بیش‌تر از حد نیاز، اثرات منفی بر عملکرد دانه گندم خواهد داشت. نتایج یک مطالعه نشان داد که مصرف بهینه نیتروژن (تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند اثر متقابل دما × عملکرد دانه را خنثی کند (Cossani and Sadras, 2021). در هر حال، گزارشات محققین مختلف نشان داده است که برای گندم دو نوع واکنش به دماهای بالا وجود دارد: اول، دماهای بالایی که برای گندم تنش

گرما محسوب نمی‌شوند، ولی به‌طور غیرمستقیم از طریق تسریع مراحل نموی گیاه، عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. دوم، دماهای بالایی که برای گندم تنش گرما محسوب می‌شوند و عملکرد دانه را به‌طور مستقیم تحت تاثیر قرار می‌دهند و منجر به کاهش عملکرد می‌شوند. این دما برای گندم دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس ذکر شده است (Prasad *et al*., 2017).

روی هم یک عنصر غذایی مهم برای گیاهان است، زیرا در فعال‌سازی آنزیم‌ها نقش مهمی بازی می‌کند. کارآیی مصرف روی وقتی با عناصری مانند نیتروژن مصرف شود، افزایش پیدا می‌کند. در این مورد گزارش شده است که عملکرد دانه گندم با مصرف نیتروژن و روی نسبت به مصرف نیتروژن به‌تنهایی، حدود ۴۰ درصد افزایش پیدا می‌کند و علت این افزایش، بیش‌تر شدن تعداد پنجه‌های بارور و افزایش وزن دانه عنوان شده است (Chowdhury *et al*., 2018). در مطالعه دیگری مشاهده شد که با مصرف نیتروژن (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و روی (۱۰ کیلوگرم در هکتار)، علاوه بر بهبود عملکرد دانه، محتوای روی دانه نیز از ۳۸ به ۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت (Montoya *et al*., 2020). در پژوهش دیگری گزارش شد که مصرف روی بر عملکرد دانه گندم تاثیری ندارد، ولی مصرف نیتروژن عملکرد دانه را ۸۹ درصد افزایش داد. با این‌حال، برهم‌کنش روی و نیتروژن منجر به افزایش محتوای روی دانه شد که می‌تواند در رفع نیازهای انسان به روی کمک کند (Zhang *et al*., 2021). حد بحرانی عنصر روی برای گندم، یک میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (Gholami *et al*., 2011). حد بحرانی فسفر برای گندم نیز ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بیان شده است (Silspour, 2007). به بیان دیگر، اگر غلظت روی و فسفر در خاک، به‌ترتیب کم‌تر از یک و هشت میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باشد، کمبود روی و فسفر برای گندم رخ می‌دهد.

در استان خوزستان برخی از کشت‌های تابستانه، به‌دلیل شرایط بعد از برداشت (مانند مرطوب بودن طولانی مدت زمین بعد از برداشت برنج) و یا طولانی بودن مراحل رشد و برداشت (مانند گوجه‌فرنگی)، باعث تأخیر در کشت گندم زمستانه حتی تا دی‌ماه می‌شوند. به‌همین دلیل، ارزیابی دقیق اثر کشت‌های تأخیری بر روند پر شدن دانه و عملکرد دانه گندم ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرف دیگر، برهم‌کنش سه گانه تاریخ کاشت، نیتروژن و روی بر رشد و عملکرد دانه گندم نان تا کنون به خوبی مورد مطالعه قرار نگرفته است. بر این اساس، در پژوهش حاضر کوشش شده است تا ضمن بررسی اثر تاریخ‌های کاشت متفاوت بر عملکرد کمی و کیفی گندم، اثر کاربرد عناصر غذایی نیتروژن و روی بر کاهش احتمالی اثرات منفی ناشی از تأخیر در کاشت مورد ارزیابی قرار گیرد.

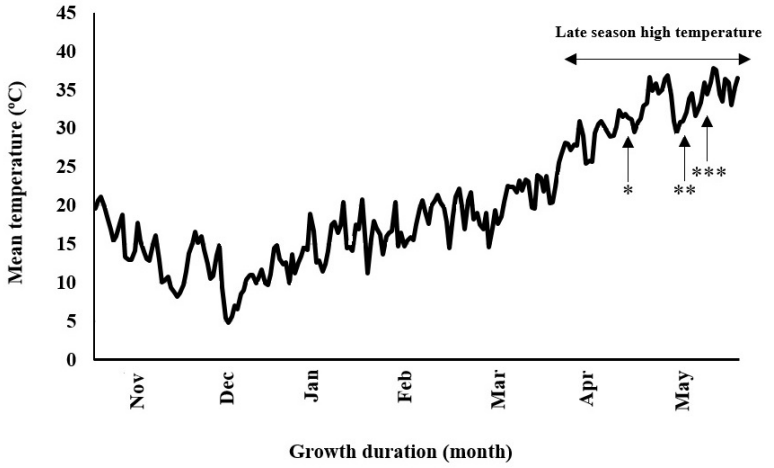
مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در شهرستان ملاثانی با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۳۴ متر از سطح دریا اجرا شد. اقلیم منطقه از نوع گرم و خشک با متوسط بارندگی سالیانه ۲۱۳ میلی‌متر می‌باشد. میانگین دمای محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گندم در شکل ۱ ارایه شده است. بافت خاک مزرعه آزمایشی از نوع لوم رسی شنی، با اسیدیته ۶/۹۹، هدایت الکتریکی ۲/۵۹ میلی‌موس بر سانتی‌متر و با ۱/۱۳۳ درصد مواد آلی بود. میزان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی خاک مزرعه آزمایشی به‌ترتیب ۰/۰۳۳۶ درصد، ۰/۰۵ درصد، ۰/۳۷۸ درصد و ۰/۰۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تاریخ کاشت در سه سطح به‌عنوان عامل اصلی، عنصر نیتروژن در چهار سطح به‌عنوان عامل فرعی، و عنصر روی در سه سطح به‌عنوان عامل فرعی- فرعی در نظر گرفته شدند. تاریخ کاشت شامل اول آذر به‌عنوان کشت در زمان مطلوب، بیستم آذر به‌عنوان کشت دیرهنگام و دهم دی به‌عنوان کشت خیلی دیرهنگام (Lotfali Ayeneh *et al*., 2007)، نیتروژن شامل صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره حاوی ۴۶ درصد نیتروژن، و روی شامل صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی خالص از منبع سولفات روی حاوی ۳۵ درصد روی و ۱۸ درصد گوگرد بود. برای کوددهی، یک‌سوم از میزان نیتروژن تیمارهای آزمایشی به‌صورت پایه و قبل از کاشت مصرف شد. در همین زمان، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم استفاده شد. دو سوم باقی‌مانده نیتروژن به‌صورت سرک شامل یک‌سوم در ابتدای مرحله پنجه‌زنی

(مرحله ۲۱ در مقیاس زیدوکس) و یک‌سوم دیگر نیز در مرحله شروع ساقه‌دهی (مرحله ۳۱ در مقیاس زیدوکس) به بوته‌ها داده شد. مصرف روی مربوط به تیمارهای آزمایشی به‌صورت خاک‌کاربرد به بوته‌ها داده شد. بدین منظور، سولفات روی در آب حل شد (اضافه کردن آب در حدی بود که تنها برای حل شدن سولفات روی کفایت کند) و محلول به‌دست آمده در اواسط مرحله پنجه‌زنی به آب آبیاری ورودی به کرت‌ها اضافه شد. برای جلوگیری از نفوذ آب حاوی سولفات روی به کرت‌های اطراف، از یک محافظ پلاستیکی در دو طرف هر کرت استفاده شد.

زمین محل اجرای آزمایش در پاییز سال قبل زیر کشت گندم بود و در طول تابستان در آیش قرار داشت. برای تهیه زمین، ابتدا آبیاری انجام شد و سپس در مرحله گاورو، با گاوآهن شخم زده شد. مراحل آماده‌سازی بعدی زمین شامل دو دیسک عمود بر هم، ماله‌کشی و مرزبندی بود. هر کرت شامل ۱۰ ردیف کاشت به‌طول دو متر و با فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین بلوک‌ها نیز دو متر در نظر گرفته شد. علف‌های هرز موجود در کرت‌ها در طول دوره رشد به‌صورت وجین دستی کنترل و آبیاری مزرعه نیز با توجه به نیاز گیاه در زمان مناسب انجام شد. رقم گندم مورد استفاده در این آزمایش، رقم چمران بود که از ویژگی‌های آن می‌توان به زودرسی و تحمل به دماهای بالا اشاره کرد. کاشت بذر نیز در عمق ۵-۳ سانتی‌متر با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع انجام شد.



شکل ۱- میانگین دما، زمان وقوع دماهای بالا و زمان برداشت گندم رقم چمران برای زمان‌های مختلف کاشت در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷

Figure 1. Mean temperature, occurring time of late season high temperature, and harvesting time of wheat cv. Chamran for different planting dates in 2018-19. At the time of the occurrence of critical temperature (30°C), wheat was in the developmental stages of grain filling, anthesis, and spike completion on the first, second, and third planting dates, respectively. *, ** and *** indicates harvesting time for first, second, and third planting dates, respectively.

زمان برداشت برای تاریخ‌های کاشت اول آذر، ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌ترتیب ۲۴ فروردین (۱۴۳ روز بعد از کاشت)، ۴ اردیبهشت (۱۳۴ روز بعد از کاشت) و ۱۴ اردیبهشت (۱۲۷ روز بعد از کاشت) بود. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، دو خط کاشت از طرفین هر کرت و همچنین نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت در زمان رسیدگی دانه به‌عنوان حاشیه حذف شد و باقیمانده کرت برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح با رطوبت ۱۴ درصد تعیین شد. برای تعیین وزن هزار دانه، تعداد ۱۰۰۰ دانه از دانه‌های برداشت شده از هر کرت به‌طور تصادفی، انتخاب و وزن آنها بر حسب گرم ثبت شد. تعداد دانه در واحد سطح نیز با شمارش کل دانه‌های تولید شده (حاصل‌ضرب تعداد دانه در سنبله در تعداد سنبله در واحد سطح) تعیین شد. برای بررسی روند رشد دانه و مولفه‌های مربوط به آن یعنی طول دوره پر شدن دانه و سرعت پر شدن دانه، بلافاصله بعد از ظهور سنبله ساقه اصلی، تعداد حدود ۱۰۰ سنبله در هر کرت با نخ رنگی علامت‌گذاری شد. سپس از زمان گرده‌افشانی (زمانی که حداقل ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت به مرحله

گرده‌افشانی رسیده باشند) (Moshatati *et al*., 2019)، با فاصله زمانی هر پنج روز، پنج سنبله علامت‌گذاری شده به‌طور تصادفی برداشت و دانه‌های آن‌ها در آون (دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت) خشک شدند. اولین برداشت به‌عنوان شروع دوره پر شدن دانه (کد ۶۰ در مقیاس زیدوکس) و پایان مرحله خمیری (کد ۸۵ در مقیاس زیدواکس) به‌عنوان پایان مرحله پر شدن دانه در نظرگرفته شد. با تقسیم وزن دانه‌ها به تعداد دانه در واحد سطح، متوسط وزن تک‌دانه به‌دست آمد که از آن برای بررسی رشد دانه استفاده شد. متوسط سرعت پر شدن دانه از تقسیم وزن نهایی دانه به طول دوره پر شدن دانه محاسبه شد (Moshatati *et al*., 2019). برای تعیین میزان پروتئین دانه، میزان نیتروژن دانه با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری و در عدد ۵/۷ ضرب شد (Zhao *et al*., 2008). با حاصل‌ضرب درصد پروتئین دانه در عملکرد دانه در واحد سطح، عملکرد پروتئین دانه محاسبه و برای تعیین سرعت تجمع پروتئین دانه، عملکرد پروتئین دانه بر طول دوره پر شدن دانه تقسیم شد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین بین تیمارها با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانش نشان داد که به‌جز تعداد دانه در متر مربع، برهم‌کنش سه گانه تاریخ کاشت×نیتروژن×روی بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۱). در مورد تعداد دانه در واحد سطح (متر مربع) تنها اثر نیتروژن معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۱).

بیش‌ترین وزن هزار دانه گندم (۵۰/۸گرم) در تاریخ کاشت اول (اول آذر) با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی به‌دست آمد که با وزن هزار دانه به‌دست آمده در همین تاریخ کاشت و مصرف به‌ترتیب ۱۵۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). به‌عبارت دیگر، کاهش مصرف ۱۰ کیلوگرمی روی (مصرف ۱۰ به‌جای ۲۰ کیلوگرم در هکتار)، تاثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه گندم نداشت. تاخیر در کاشت منجر به کاهش وزن هزار دانه گندم شد، به‌طوری که وزن هزار دانه در تاریخ کاشت دوم (۲۰ آذر) و سوم (۱۰ دی) نسبت به تاریخ کاشت اول (اول آذر) به‌ترتیب ۱۲ و ۸ درصد کم‌تر بود. به‌عبارت دیگر، کاشت گندم در ۱۰ دی‌ماه باعث کاهش حدود ۲۰ درصدی وزن هزار دانه گندم نسبت به کاشت در اول آذرماه شد (جدول ۲).

تعداد دانه در واحد سطح (متر مربع) تنها تحت تاثیر سطوح نیتروژن قرار گرفت ($P\leq0.01$) و اثر سایر تیمارها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج نشان داد که عدم مصرف نیتروژن، باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در واحد سطح شد، به‌طوری که استفاده از ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، باعث افزایش ۲۸ درصدی تعداد دانه در واحد سطح شد (شکل ۲). با این‌حال، افزایش مصرف نیتروژن از ۷۵ به ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار، تفاوت معنی‌داری در تعداد دانه در واحد سطح گندم ایجاد نکرد (شکل ۲).

بیش‌ترین عملکرد دانه گندم (۷۴۸۶ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت اول (اول آذرماه) در تیمار دوم نیتروژن و روی به‌دست آمد که با سایر سطوح مصرف نیتروژن و روی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). تاخیر در کاشت منجر به کاهش عملکرد دانه گندم شد، به‌طوری که کاشت در ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌ترتیب باعث کاهش حدود ۲۳ و ۴۰ درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به تاریخ کاشت اول آذر شد (جدول ۲). اگر چه تاخیر در کاشت، عملکرد دانه گندم را کاهش داد، ولی مصرف عناصر غذایی در تاریخ‌های کاشت تاخیری، تا حدودی به جبران کاهش عملکرد دانه منجر شد، به‌طوری که در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، مصرف ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، عملکرد دانه گندم را به‌ترتیب ۴۴، ۵۲ و ۵۵ درصد بهبود بخشید. به‌نظر می‌رسد که اثر نیتروژن در بهبود عملکرد دانه گندم در کشت‌های تاخیری بیش‌تر از روی است، چرا که در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، مصرف ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی به‌ترتیب باعث بهبود عملکرد دانه گندم به‌میزان ۴ و ۸ درصد شد (جدول ۲). با این حال، روی نیز در کاهش اثرات منفی کشت‌های تاخیری نقش مثبت داشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تاریخ کاشت، نیتروژن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، طول دوره رشد و کیفیت دانه گندم

Table 1. Analysis of variance of the effects of planting date, nitrogen and zinc on grain yield and yield components, growth period and grain quality of wheat

Source of variation	df	Mean square†												
		GW	GY	GM	PC	GFR	GFD	DPA	DAM	ZC	PY	PAR	GDD(PA)	GDD(AM)
Replication	3	9.62^{ns}	477306^{ns}	610821304^{ns}	6.46^{ns}	0.012^{ns}	2.63^{ns}	1.38^{ns}	2.89^{ns}	0.028^{ns}	24831^{ns}	17.9^{ns}	87.1^{**}	128^{**}
Planting date (Pd)	2	955^{**}	68724671^{**}	624203230^{ns}	54.5^{**}	0.186^{**}	3508^{**}	1688^{**}	3781^{**}	0.093^{ns}	1419247^{**}	182^{**}	278568^{**}	804671^{**}
Error	6	7.5	1259502	339891878	2.79	0.007	15.6	9.05	13.1	0.024	13484	10.1	0.396	2.53
Nitrogen (N)	3	29.2^{*}	26249190^{**}	115569064^{**}	39.5^{**}	0.162^{**}	11.03^{*}	16.4^{**}	11.6^{*}	1.22^{**}	126257^{**}	66.6^{**}	5469^{**}	3407^{**}
Pd×N	6	35.7^{**}	575451^{ns}	28660952^{ns}	4.39^{ns}	0.106^{**}	9.98^{*}	5.81^{*}	7.99^{ns}	0.030^{ns}	14193^{ns}	8.47^{ns}	1053^{**}	19690^{**}
Error	27	9.35	942921	20435597	2.7	0.010	3.49	1.85	3.92	0.018	15776	11.03	0.118	2.82
Zinc (Z)	2	25.9^{**}	456319^{**}	218666^{ns}	25.8^{**}	0.413^{**}	11.02^{**}	6.69^{**}	21.6^{**}	0.147^{**}	12075^{ns}	6.001^{ns}	326^{**}	9393^{**}
Pd×Z	4	5.62^{ns}	2068697^{*}	1667631^{ns}	4.62^{**}	0.315^{**}	7.38^{**}	11.79^{**}	26.19^{**}	0.035^{**}	33599^{**}	16.7^{*}	1425^{**}	9044^{**}
N×Z	6	8.09^{*}	1941699^{*}	7524958^{ns}	8.06^{**}	0.057^{**}	11.8^{**}	7.50^{**}	13.2^{**}	0.004^{ns}	58977^{**}	29.6^{**}	438^{**}	4527^{**}
Pd×N×Z	12	12.5^{**}	2008442^{**}	9150494^{ns}	3.97^{**}	0.147^{**}	15.6^{**}	6.54^{**}	14.9^{**}	0.025^{**}	54121^{**}	29.4^{**}	645^{**}	5236^{**}
Error	72	3.33	746677	6898769	0.602	0.009	1.33	0.556	1.255	0.009	9330	5.449	0.113	2.82
CV (%)		4.57	17.71	20.97	7.59	8.88	2.86	0.82	2.79	6.10	19.24	19.15	2.4	1.7

$^{ns,\ *}$ and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

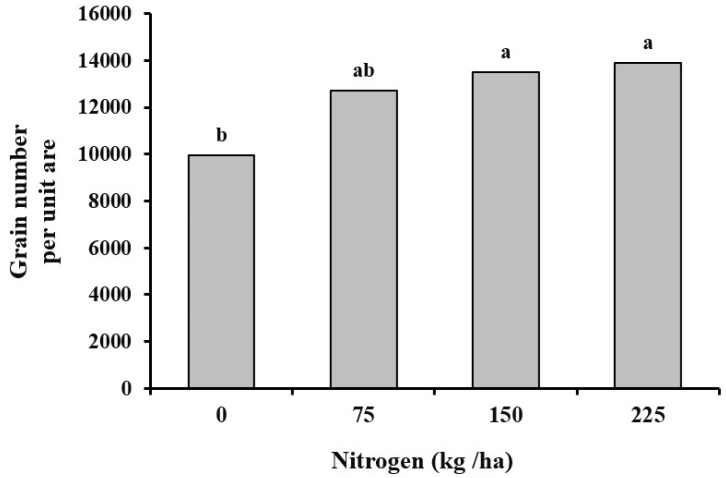
† GW, grain weight; GY, grain yield; GM, grain number per unit area; PC, grain protein content; GFS, grain filling rate; GFL, grain filling duration; DPA, days from planting to anthesis; DAM, days from anthesis to maturation; ZC, grain zinc content; PY, protein yield; PAR, protein accumulation rate; GDD(PA), growth degree day from planting to anthesis; GDD(AM), growth degree day from anthesis to maturation.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت، نیتروژن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد، طول دوره پر شدن و سرعت پر شدن دانه گندم

Table 2. Comparison of mean of the effects of planting date, nitrogen and zinc on grain yield and yield components, grain filling duration, and grain filling rate of wheat

PD†	N	Z	1000-GW (g)	GY (kg.ha^{-1})	DPA (day)	DAM (day)	GDA (PA)	GDD (AM)	GFR (mg.day^{-1})	GFD (day)
PD_1	N_1	Z_1	42.7c-g	4275f-m	92.8ab	51.5a	1493i	1178a	0.900j	51.0a
PD_1	N_1	Z_2	43.3cde	5382c-i	92.8ab	50.0a	1493i	1166d	0.900j	50.0a
PD_1	N_1	Z_3	42.4c-g	4776e-l	92.5ab	49.3a	1489j	1148g	0.900j	49.3ab
PD_1	N_2	Z_1	44.2bcd	5249c-j	94.0ab	49.5a	1533h	1154f	1.03e-j	48.0b
PD_1	N_2	Z_2	45.7bc	7486a	94.0ab	49.5a	1533h	1154f	1.0f-j	49.5ab
PD_1	N_2	Z_3	45.2bc	7082abc	94.0ab	49.5a	1532h	1154f	0.950hij	49.5ab
PD_1	N_3	Z_1	43.4cde	5719a-h	94.0ab	49.5a	1533h	1154f	0.925ij	49.5ab
PD_1	N_3	Z_2	49.4a	6480a-e	94.0ab	50.3a	1533h	1169c	0.975ghij	50.3ab
PD_1	N_3	Z_3	50.8a	7312ab	94.0ab	50.3a	1533h	1169c	1.05e-j	50.25ab
PD_1	N_4	Z_1	42.9cdef	6705ad	94.3ab	50.8a	1535g	1171b	0.900ij	50.75a
PD_1	N_4	Z_2	42.9c-g	5550b-h	94.3ab	50.0a	1535g	1164e	0.925ij	50.0ab
PD_1	N_4	Z_3	42.1c-h	7335ab	94.3ab	50.0a	1535g	1164e	1.0f-j	50.0ab
Mean			44.7	6113	93.8	50.0	1533	1154	0.955	46.1
PD_2	N_1	Z_1	41.1d-i	3820h-m	94.3ab	36.75cde	1573e	964n	1.15c-h	36.75cdef
PD_2	N_1	Z_2	40.2e-k	3014lmn	93.5ab	38.25bc	1563f	975k	1.13c-i	38.3c
PD_2	N_1	Z_3	41.1d-i	3461i-m	94.3ab	36.8cde	1573e	965m	1.20b-f	36.8cdef
PD_2	N_2	Z_1	38.1i-o	4155g-m	94.0ab	37.8bcd	1573e	959o	1.18b-g	37.8cd
PD_2	N_2	Z_2	38.8g-m	5608b-h	93.5ab	37.5bcd	1563f	964n	1.15c-h	37.5cd
PD_2	N_2	Z_3	39.1f-l	5033d-k	94.0ab	39.3b	1574d	992h	1.10d-j	39.3c
PD_2	N_3	Z_1	38.4h-m	5377c-i	94.3ab	37.5bcd	1581c	964n	1.2b-f	37.5cd
PD_2	N_3	Z_2	40.6d-j	5354c-i	93.5ab	37.5bcd	1563f	964n	1.13c-i	37.0de
PD_2	N_3	Z_3	39.5e-l	4947d-l	94.3ab	37.5bcd	1580c	964n	1.13c-i	38.0c
PD_2	N_4	Z_1	38.5h-n	4810d-l	95.0a	39.0bc	1593a	989i	1.13c-i	39.0c
PD_2	N_4	Z_2	36.9j-p	4920d-l	94.8a	37.8bcd	1591b	967l	1.1d-j	37.8cd
PD_2	N_4	Z_3	38.2i-o	6181a-f	93.5ab	39.0bc	1564f	989i	1.08d-j	39.0c
Mean			39.2	4723	94.1	37.9	1753	989	1.12	37.9
PD_3	N_1	Z_1	32.9p	1531n	76.3d	24.8i	1363q	765x	0.575k	24.8h
PD_3	N_1	Z_2	38.1i-o	2004mn	84.5c	33.5fg	1433m	927t	1.28bcd	33.5g
PD_3	N_1	Z_3	38.4h-n	3417jklm	84.0c	35.5def	1423p	982j	1.175b-g	35.5defg
PD_3	N_2	Z_1	34.6nop	4818d-l	84.0c	27.8h	1423p	825w	0.925ij	34.8efg
PD_3	N_2	Z_2	36.9j-p	3149k-n	84.3c	33.5fg	1430n	927t	1.2b-f	33.5g
PD_3	N_2	Z_3	36.4k-p	3898g-m	84.0c	34.5efg	1423p	946p	1.25bcd	34.5fg
PD_3	N_3	Z_1	36.3k-p	4569e-m	84.3c	34.25fg	1430n	941r	0.975ghij	34.0g
PD_3	N_3	Z_2	35.5l-p	3834h-m	85.0c	33.3fg	1445k	919v	1.375a	33.3g
PD_3	N_3	Z_3	34.2op	4606e-m	84.5c	34.75efg	1424o	943q	1.1d-j	34.8efg
PD_3	N_4	Z_1	36.1l-p	4147g-m	84.0c	34.5efg	1423p	947p	1.0f-j	34.5fg
PD_3	N_4	Z_2	34.9m-p	3373j-m	84.5c	33.25fg	1344m	932s	1.23b-e	33.25g
PD_3	N_4	Z_3	36.5k-p	4529f-m	84.8c	33.0g	1441l	925u	1.33bc	33.0g
Mean			35.9	3656	83.7	32.7	1423	915	1.14	33.3

Means followed by similar letter in each columns are not significantly different based on Duncan's multiple range test.
† PD, planting date; PD_1, PD_2, and PD_3, first, second, and third planting dates (Nov. 22, Dec. 11, and Dec. 31), respectively; N_1, N_2, N_3, and N_4, 0.0, 75, 150, and 225 kg.ha^{-1} nitrogen; Z_4, Z_2, and Z_3, 0.0, 10, and 20 kg.ha^{-1} zinc, respectively; 1000-GW, 1000-grain weight; GY, grain yield; DPA, days from planting to anthesis; DAM, days from anthesis to maturation; GFS, grain filling rate; GFD, grain filling duration; GDD(PA), growth degree day from planting to anthesis; GDD(AM), growth degree day from anthesis to maturation.



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در واحد سطح (متر مربع) گندم رقم چمران تحت تاثیر سطوح نیتروژن (کیلوگرم در هکتار). تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشابه، تفاوت معنی‌داری از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Figure 2. Comparison of grain number per unit are (m2) of wheat cv. Chamran affected by nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$). Treatments followed by at least one letter are not significantly ($P\leq0.01$) different based on Duncan's multiple range test.

نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در طول دوره رشد گندم از کاشت تا گرده‌افشانی بین تاریخ‌های کاشت اول و ۲۰ آذر وجود نداشت، اما طول این دوره بیش‌تر از تاریخ کاشت سوم بود. به‌عبارت دیگر، کم‌ترین طول دوره رشد از کاشت تا گرده‌افشانی با کاشت گندم در ۱۰ دی‌ماه به‌دست آمد. اگر چه مصرف عناصر غذایی نیتروژن و روی توانست تاثیر معنی‌داری بر طول دوره رشد تا گرده‌افشانی در تاریخ کاشت سوم داشته باشد، ولی بین سطوح مختلف این عناصر، تفاوت معنی‌داری از نظر تاثیر بر این صفت مشاهده نشد (جدول ۲). بیش‌ترین طول دوره رشد گندم از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی به تاریخ کاشت اول تعلق داشت. مصرف عناصر غذایی روی و نیتروژن، تاثیری بر طول این دوره در تاریخ کاشت اول نداشت. تاخیر در کاشت طول دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی گندم را کاهش داد، به‌طوری که در تاریخ‌های کاشت ۲۰ آذر و ۱۰ دی، طول مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی نسبت به تاریخ کاشت اول آذر به‌ترتیب ۲۴ و ۳۵ درصد کم‌تر بود (جدول ۳). استفاده از عناصر غذایی نیتروژن و روی، تاثیر چندانی بر بهبود طول دوره رشد گندم از گرده‌افشانی تا رسیدگی نداشت و این صفت بیش‌تر تحت تاثیر تاریخ کاشت قرار گرفت (جدول ۲).

نتایج نشان داد که در دوره کاشت تا گرده‌افشانی، بیش‌ترین دمای تجمعی (GDD) در تاریخ کاشت دوم، سطح چهارم نیتروژن (۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) و سطح اول روی (عدم استفاده از روی) و کم‌ترین دمای تجمعی (GDD) در تاریخ کاشت سوم، سطح سوم نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سطح اول روی (عدم استفاده از روی) به‌دست آمد و اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین دمای تجمعی در دوره کاشت تا گرده‌افشانی حدود ۱۱ درصد بود (جدول ۲). بر اساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، بیش‌ترین وکم‌ترین دمای تجمعی طی دوره رشد گرده‌افشانی تا رسیدگی به‌ترتیب به تاریخ کاشت اول و سوم در شرایط عدم مصرف نیتروژن و روی تعلق داشت و میزان دمای تجمعی در دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی در تاریخ کشت سوم در حدود ۳۵ درصد کم‌تر از تاریخ کاشت اول بود (جدول ۲).

بیش‌ترین سرعت تشکیل دانه گندم (میلی‌گرم در دانه در روز) در تیمار تاریخ کاشت سوم (۱۰ دی) و مصرف ۱۵۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که با تاخیر در کاشت، سرعت پر شدن دانه گندم افزایش یافت، به‌طوری که کاشت گندم در تاریخ ۲۰ آذرماه و ۱۰ دی‌ماه به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۷ و ۱۹ درصدی سرعت پر شدن دانه گندم نسبت به تاریخ کاشت

اول آذر شد. به‌نظر می‌رسد که تاریخ کاشت عامل مهم‌تری از نظر تأثیر بر سرعت پر شدن دانه در گندم در مقایسه با عناصر غذایی باشد و مصرف عناصر غذایی اثر کم‌تری در این زمینه داشته باشند، به‌طوری که مصرف نیتروژن فقط در حدود چهار درصد بر سرعت پر شدن دانه گندم موثر بود (جدول ۲).

بیش‌ترین طول دوره رشد دانه مربوط به تاریخ کاشت اول آذر (تاریخ کاشت اول) بود که تفاوت معنی‌داری بین سطوح مصرف کود نیتروژن و روی آن وجود نداشت. تاخیر در کاشت، طول دوره پر شدن دانه را کاهش داد، به‌طوری که تاریخ کاشت ۲۰ آذر و ۱۰ دی نسبت به تاریخ کاشت اول آذر به‌ترتیب ۱۸ و ۲۸ درصد طول دوره پر شدن دانه کم‌تری داشتند (جدول ۲). مصرف عناصر نیتروژن و روی تغییر معنی‌داری در طول دوره پر شدن دانه در تاریخ‌های کاشت دوم (۲۰ آذر) و سوم (۱۰ دی) همانند تاریخ کاشت اول ایجاد نکرد. این موضوع نشان می‌دهد که صفت طول دوره پر شدن دانه در گندم، بیش‌تر از تاریخ کاشت تاثیر می‌پذیرد (جدول ۲).

نتایج نشان داد که کشت گندم در تاریخ کاشت سوم (۱۰ دی) همراه با مصرف ۱۵۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی باعث تولید بیش‌ترین میزان پروتئین دانه (۱۲/۷ درصد) شد (جدول ۳). تاخیر در کاشت، درصد پروتئین دانه گندم را افزایش داد، به‌طوری که درصد پروتئین دانه گندم در تاریخ کاشت‌های اول آذر، ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌ترتیب ۹/۰۶، ۱۰/۰۱ و ۱۱/۳۴ درصد بود. مصرف نیتروژن نیز محتوای پروتئین دانه گندم را افزایش داد، به‌طوری که با مصرف ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، میزان پروتئین دانه گندم از ۸/۹۶ درصد به‌ترتیب به ۹/۳۶، ۱۰/۴۸ و ۱۱/۵۵ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳)، کشت گندم در تاریخ کاشت اول (اول آذر) در سطح دوم نیتروژن و روی باعث تولید بیش‌ترین میزان عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) شد. تاخیر در کاشت عملکرد پروتئین دانه گندم را کاهش داد، به‌طوری که کاشت گندم در ۲۰ آذر و ۱۰ دی باعث شد عملکرد پروتئین از ۶۷۹ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب به ۴۹۱ (کاهش حدود ۲۸ درصدی) و ۳۳۵ (کاهش حدود ۵۰ درصدی) کیلوگرم در هکتار برسد (جدول ۳). مصرف نیتروژن نیز بر عملکرد پروتئین موثر بود، به‌طوری که در کشت‌های تاخیری مصرف نیتروژن توانست تا حدود ۱۶ درصد عملکرد پروتئین را بهبود بخشد، اما مصرف روی تاثیر چندانی بر کاهش اثرات منفی تاخیر در کاشت بر عملکرد پروتئین نداشت (جدول ۳).

بیش‌ترین سرعت تجمع پروتئین (۲۰/۳ کیلوگرم پروتئین در هکتار در روز) در تاریخ کاشت اول آذر و سطوح دوم نیتروژن و روی (به‌ترتیب ۷۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تاریخ‌های کاشت اول آذر (کاربرد ۱۵۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی) و ۲۰ آذر (کاربرد ۷۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی) نداشت. با این‌حال، تاخیر در کاشت سرعت تجمع پروتئین را کاهش داد، به‌طوری که تاریخ کاشت ۲۰ آذر و ۱۰ دی) به‌ترتیب باعث کاهش ۵ و ۲۶ درصدی سرعت تجمع پروتئین در گندم شد (جدول ۳).

نتایج نشان داد که مصرف روی، محتوای روی دانه گندم را افزایش داد، به‌طوری که بیش‌ترین محتوای روی دانه (میلی‌گرم روی در کیلوگرم دانه) در تیمارهای مصرف روی (بدون توجه به تاریخ کاشت) به‌دست آمد، ولی تاخیر در تاریخ کاشت تنها در حدود سه درصد بر محتوای روی دانه موثر بود. کم‌ترین محتوای روی دانه گندم نیز در تیمارهایی مشاهده شد که در آن‌ها عنصر روی مصرف نشده بود (جدول ۳).

بحث

بر اساس نتایج عملکرد دانه در گندم نان رقم چمران، صفتی است که از هر دو جزء عملکرد دانه یعنی وزن و تعداد دانه تاثیر می‌پذیرد و اثر تعداد و وزن دانه بر عملکرد دانه گندم رقم چمران تقریباً مشابه است. این نتیجه با یافته‌های برخی محققین (Moshatati *et al*., 2019) مبنی بر تاثیر بیش‌تر تعداد دانه بر عملکرد دانه گندم مغایرت دارد. علت این تفاوت می‌تواند ناشی از تاریخ کاشت و اثر آن بر وزن دانه (Kalateh Arabi *et al*., 2011) باشد، چرا که تاریخ کاشت در مطالعات این پژوهشگران تاخیر یک ماهه در مقایسه با تحقیق حاضر داشت. در هر حال، می‌توان نتیجه گرفت که هر عاملی که بر وزن و تعداد دانه در واحد سطح موثر باشد، بر عملکرد دانه گندم رقم چمران نیز موثر است. یکی از عوامل مهم در این زمینه، مولفه‌های مرتبط با پر شدن دانه است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت، نیتروژن و روی بر کیفیت دانه گندم

Table 3. Comparison of means of the effects of planting date, nitrogen and zinc on grain quality of wheat

PD	N	Z	PC (%)	PY (kg ha^{-1})	PAR (kg ha^{-1} day^{-1})	ZC (mg kg^{-1})
PD_1	N_1	Z_1	7.1kl	607b-g	11.9b-g	1.122n
PD_1	N_1	Z_2	7.58jkl	712bcd	14.3b-e	1.335i-m
PD_1	N_1	Z_3	10.6c-h	410g-m	8.2fgh	1.235mn
PD_1	N_2	Z_1	7.53jkl	702bcde	14.6bcd	1.455g-l
PD_1	N_2	Z_2	7.45jkl	1004a	20.3a	1.335im
PD_1	N_2	Z_3	10.2d-h	635b-f	12.8b-g	1.465f-k
PD_1	N_3	Z_1	9.35ghi	618b-g	12.48b-g	1.482e-j
PD_1	N_3	Z_2	8.8hij	741bc	14.8bcd	1.563d-h
PD_1	N_3	Z_3	9.25ghi	788b	15.7abc	1.673a-f
PD_1	N_4	Z_1	10.1fghi	681bcde	13.4b-f	1.635b-g
PD_1	N_4	Z_2	10.45c-h	538c-k	10.7c-h	1.743a-d
PD_1	N_4	Z_3	10.3d-h	709bcde	14.8b-e	1.810abc
Mean			9.06	679	13.6	1.61
PD_2	N_1	Z_1	6.6l	578b-i	15.75abc	1.253lmn
PD_2	N_1	Z_2	8.5ijk	350j-n	9.16efgh	1.473f-j
PD_2	N_1	Z_3	11.7a-f	292lmn	7.86gh	1.402h-m
PD_2	N_2	Z_1	9.4ghi	446f-m	11.8b-g	1.402h-m
PD_2	N_2	Z_2	8.9hij	640b-f	16.8ab	1.6d-h
PD_2	N_2	Z_3	10.5c-h	497e-l	12.7b-g	1.483e-j
PD_2	N_3	Z_1	10.4c-h	518d-k	13.9bcde	1.560d-h
PD_2	N_3	Z_2	9.3ghi	592b-h	14.9bcd	1.685a-e
PD_2	N_3	Z_3	10.2efgh	552c-j	14.6bcd	1.572d-h
PD_2	N_4	Z_1	11.8a-f	497e-l	12.8b-g	1.625b-g
PD_2	N_4	Z_2	12.1abc	410g-m	10.8c-h	1.832ab
PD_2	N_4	Z_3	11.9a-e	522d-k	13.4b-f	1.852a
Mean			10.04	491	12.97	1.562
PD_3	N_1	Z_1	10.7b-g	146n	5.83h	1.252j-n
PD_3	N_1	Z_2	8.5ijk	363i-m	10.7c-h	1.393i-m
PD_3	N_1	Z_3	9.35ghi	386h-m	11.0c-g	1.265k-n
PD_3	N_2	Z_1	10.4c-h	465f-m	13.5b-f	1.500e-i
PD_3	N_2	Z_2	10.7b-g	300lmn	8.98e-h	1.673a-f
PD_3	N_2	Z_3	12.2ab	323klmn	9.28e-h	1.620c-g
PD_3	N_3	Z_1	12.35ab	372i-m	10.9c-h	1.653d-h
PD_3	N_3	Z_2	12.7a	303lmn	9.15efgh	1.665a-g
PD_3	N_3	Z_3	12.0abcd	382h-m	11.5c-g	1.692a-e
PD_3	N_4	Z_1	12.4ab	339k-n	9.78d-g	1.455e-j
PD_3	N_4	Z_2	12.2ab	280mn	8.4fgh	1.760a-d
PD_3	N_4	Z_3	12.6a	365i-m	11.0c-g	1.652a-g
Mean			11.34	335	9.96	1.566

Means followed by similar letter in each columns are not significantly different based on Duncan's multiple range test.
† PD, planting date; PD_1, PD_2, and PD_3, first, second, and third planting dates (Nov. 22, Dec. 11, and Dec. 31), respectively; N_1, N_2, N_3, and N_4, 0.0, 75, 150, and 225 kg.ha^{-1} nitrogen; Z_4, Z_2, and Z_3, 0.0, 10, and 20 kg.ha^{-1} zinc, respectively; PC, grain protein content; PY, protein yield; PAR, protein accumulation rate; ZC, grain zinc content.

گزارش شده است که هر چه طول دوره پر شدن دانه بیش‌تر باشد، فرصت بیش‌تری برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه وجود دارد که نتیجه آن سنگین‌تر شدن (افزایش وزن) دانه می‌باشد (Mohammadjanlou *et al*., 2021). بنابراین، اگر عاملی باعث کاهش طول دوره پر شدن دانه شود، به‌طور غیرمستقیم بر وزن دانه و در نهایت بر عملکرد دانه اثر منفی خواهد داشت. به‌نظر می‌رسد که تاخیر در کاشت به‌دلیل مواجه شدن طولانی‌تر گیاه با دماهای زیاد باعث کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود، زیرا گرما با کاهش مواد پرورده‌ای که در اختیار دانه قرار می‌گیرد، اثر منفی بر دوره پر شدن دانه دارد (Mirosavljevic *et al*., 2021). در این پژوهش نیز، کشت‌های تاخیری باعث شد که مدت بیش‌تری از مرحله بعد از گرده‌افشانی گندم در دماهای بالاتر از دمای بحرانی

گندم یعنی دمای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس (Prasad *et al*., 2017) قرار گیرد (شکل ۱) که منجر به کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه، کاهش وزن دانه و در نهایت عملکرد دانه گندم شد. به‌طور کلی، تاخیر ایجاد شده در کشت گندم در تاریخ‌های کاشت ۲۰ آذرماه و ۱۰ دی‌ماه، به‌دلیل مواجه شدن طول دوره پر شدن دانه با دماهای بالا باعث کاهش عملکرد دانه گندم رقم چمران شد که این موضوع با گزارشات سایر محققین (Asseng *et al*., 2015) مبنی بر کاهش ۶ درصدی عملکرد دانه گندم به ازای هر درجه سلسیوس افزایش دمای هوا مطابقت داشت.

یکی از اثرات دماهای بالا در طول دوره بعد از گرده‌افشانی در گندم، تسریع پیری است که طی آن میزان مواد پرورده رسیده به دانه دچار افت شدید می‌شود (Ristic *et al*., 2007). بر این اساس، چنانچه بتوان سرعت پیری را کاهش داد، می‌توان اثرات منفی آن را بر عملکرد دانه نیز کاهش داد. از آنجایی که در ارقام اصلاح شده، سطح متابولیسم نیتروژن بهبود پیدا کرده است (Kitonyo *et al*., 2017)، این ارقام قادر هستند نیتروژن دریافتی را با کارآیی بالا مورد استفاده قرار دهند. از طرف دیگر، گزارش شده است که دما بر فنولوژی گیاهان موثر است، به‌طوری که هر چه میانگین دماهایی که گیاه در آن قرار می‌گیرد بالاتر باشد، گیاه دوره رشد خود را سریع‌تر طی می‌کند (Liu *et al*., 2013). اهمیت این موضوع تا آن جاست که کوتاه‌تر شدن دوره رسیدگی به‌دلیل تاخیر در کاشت و بروز دماهای بالای ناشی از آن، با تسریع در نمو در مراحل قبل از گلدهی نیز مرتبط دانسته شده است (Cossani and Sadras, 2021). این موضوع بر ارتباط بین دما، طی کردن مراحل فنولوژی و عملکرد دانه تاکید دارد (Thistlethwaite *et al*., 2020). نتایج این محققین با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی داشت، به‌طوری که در پژوهش حاضر، کم‌ترین طول دوره رشد از کاشت تا گرده‌افشانی و از گرده‌افشانی تا رسیدگی و نیز کم‌ترین عملکرد دانه گندم با کاشت در سومین تاریخ کاشت (۱۰ دی) به‌دست آمد. در تحقیقی دیگر اعلام شد که نتیجه کاشت‌های تاخیری، کاهش مراحل فنولوژی گندم و به تبع آن کاهش عملکرد دانه است (Ullah *et al*., 2020) که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت داشت.

نتایج نشان داد که یک رابطه معکوس بین طول دوره پر شدن دانه و وزن دانه با درصد پروتئین دانه وجود دارد، به‌طوری که هر چه طول دوره پر شدن دانه بیش‌تر باشد، دانه سنگین‌تر (وزن هزار دانه بیش‌تر) و محتوای پروتئین آن کم‌تر خواهد بود. با این‌حال، به‌نظر می‌رسد که هر چه دانه با سرعت بیش‌تری پر شود، درصد پروتئین آن نیز بیش‌تر است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که دانه‌های سبک‌تر، محتوای پروتئین بیش‌تری دارند و هر عاملی که باعث افزایش وزن دانه شود، به کاهش محتوای پروتئین دانه می‌انجامد. در این مورد دما طی دوره پر شدن دانه از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا در دماهای بالا، میزان تجمع نشاسته در دانه کاهش می‌یابد (Shimoyanagi *et al*., 2021) و به تبع آن محتوای پروتئین دانه بیش‌تر می‌شود. در پژوهش حاضر، از آنجا که کشت‌های تاخیری، طی دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی به‌مدت بیش‌تری در معرض دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس قرار داشتند (شکل ۱)، درصد پروتئین دانه در آن‌ها نیز بالاتر بود (جدول ۳). از آنجا که حدود ۸۰ درصد از پروتئین دانه گندم را گلوتن (پروتئین اصلی مرتبط با کیفیت نانوایی آرد گندم) تشکیل می‌دهد (Schmid *et al*., 2016) شاید بتوان نتیجه گرفت که گندم‌هایی که در کشت‌های تاخیری (به‌ویژه تاریخ کاشت ۱۰ دی) به‌دست می‌آیند از کیفیت نانوایی بالاتری برخوردار هستند، ولی از آنجا که از گندم‌هایی با دانه لاغرتر (دارای وزن هزار دانه کم‌تر) آرد کم‌تری نیز به‌دست می‌آید (Fernie *et al*., 2022)، بر این اساس، برای قضاوت بهتر در مورد برتری گندم‌های تولید شده در تاریخ‌های کاشت تاخیری از نظر خاصیت نانوایی، به تحقیقات بیش‌تری نیاز است.

نیتروژن، به‌عنوان مهم‌ترین عامل محیطی موثر بر محتوای پروتئین دانه گندم معرفی شده است (Abedi *et al*., 2011). در تحقیق حاضر، کاربرد نیتروژن موجب افزایش حدود ۲۹ درصدی محتوای پروتئین دانه (افزایش محتوای پروتئین از ۸/۹۵ درصد به ۱۱/۵۴ درصد به‌ترتیب با مصرف صفر و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن) شد. در تحقیقات مختلف، اثر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر افزایش درصد پروتئین دانه گندم گزارش شده است (Landolfi *et al*., 2021; Rakhimova *et al*., 2021)، و علت آن به افزایش فراهمی نیتروژن برای تولید اسیدهای آمینه نسبت داده شده است (Yang *et al*., 2022). با این‌حال، پاسخ به این سوال که آیا کاربرد کود نیتروژن بر کیفیت پروتئین دانه گندم از طریق تاثیر بر تولید اسیدهای آمینه ضروری نیز موثر است، نیازمند تحقیقات بیش‌تری است. با این‌حال، باید این نکته را مدنظر قرار داد که تولید پروتئین

فقط به درصد پروتئین دانه وابسته نیست، بلکه عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) وابسته به درصد پروتئین دانه و عملکرد دانه در واحد سطح می‌باشد. از آنجا که در این پژوهش، تیمارهایی که بیش‌ترین عملکرد پروتئین را داشتند، دارای کم‌ترین درصد پروتئین دانه بودند (جدول ۳)، می‌توان نتیجه گرفت که در گندم نان رقم چمران، تاثیر عملکرد دانه بر عملکرد پروتئین بیش‌تر از درصد پروتئین دانه است. در شرایطی که درصد پروتئین دانه بیش‌تر بود، پروتئین با سرعت کم‌تری تجمع پیدا کرده است (جدول ۳).

استفاده از عنصر غذایی روی نه تنها توانست تا حدودی باعث بهبود عملکرد دانه در کشت‌های تاخیری شود، بلکه استفاده از روی باعث افزایش میزان پروتئین دانه شد و از این طریق می‌تواند منجر به بهبود کیفیت دانه شود. گزارش شده است که فعالیت‌های آنزیمی دانه در حال تشکیل، با فراهمی روی بیش‌تر می‌شود که منجر به تولید بیش‌تر پروتئین دانه می‌شود (Tao *et al*., 2018). با این‌حال، با توجه به اینکه تاثیر روی بر پروتئین دانه بیش‌تر در افزایش درصد پروتئین‌های غیرگلوتنی (نظیر گلوتامین از طریق افزایش فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز) است (Liu *et al*., 2015)، به‌نظر می‌رسد که ارزش تغذیه‌ای (و نه نانوایی) دانه گندم با مصرف روی بهبود می‌یابد. گزارش شده است که با کاربرد روی، جذب نیتروژن توسط گیاه بهبود می‌یابد (Montoya *et al*., 2020) و این امر می‌تواند بر محتوای نیتروژن و در نتیجه پروتئین دانه گندم موثر باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که تاخیر در کاشت موجب تسریع دوره پر شدن دانه در گندم رقم چمران شد. همچنین، تاخیر در کاشت، درصد پروتئین دانه را افزایش داد، اما منجر به کاهش عملکرد کلی پروتئین شد. این موضوع نشان می‌دهد که عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) بیش از آنکه به درصد پروتئین دانه وابسته باشد، به عملکرد دانه وابسته است. برای جلوگیری از مواجه شدن گندم با دماهای بالا طی دوره پر شدن دانه، بهتر است کشت زودتر (اول آذرماه) انجام شود، اما در کشت‌های تاخیری استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱۰ کیلوگرم در هکتار روی می‌تواند تا حدودی اثرات منفی دمای بالا در مراحل پس از گرده‌افشانی را جبران کند.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Abedi, T., Alemzadeh, A. and Kazemeini, S.A.R. 2011. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. *Australian Journal of Crop Science*, 5(3), pp. 330-336.

Amiri, A., Tohidi Nejad, E., Javaheri, A.M. and Mohammadi Nejad, Q. 2010. Study the effect of planting time, cultivar and azetobacter on wheat yield at Bardsir region. *Journal of Crops Improvement*, 12, pp. 11-19. [In Persian].

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R.P., Lobell, D.B., Cammarano, D., Kimball, B.A., Ottman, M.J., Wall, G.W., White, J.W., Reynolds, M.P., Alderman, P.D., Prasad, P.V.V., Aggarval, P.K., Anotai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A.J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Izaurralde, R.C., Jabloun, M., Jones, C.D., Kersebaum, K.C., Koehler, A.-K., Müller, C., Naresh Kumar, S.,

Nendel, C., O'Leary, G., Olesen, J.E., Palosuo, T., Priesack, E., Eyshi Rezaei, E., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Shcherbak, I., Stöckle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P.J., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Wolf, J., Zhao, Z. and Zhu, Y. 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5(2), pp. 143-147. https://doi.org/10.1038/nclimate2470.

Baygi, Z., Saifzadeh, S., Shirani-Rad, A.H., Valadabad, S.V. and Jafarinejad, A. 2017. Investigating the effects of sowing date on growth indices and yield and yield components of spring wheat cultivars in Neyshabour. *Applied Field Crops Research*, 30(2), pp. 1-18. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/AJ.2018.109088.1113.

Chowdhury, A.P., Biswas, M., Mandal, P., Tithi, B.B. and Kadir, M. 2018. Effect of nitrogen and zinc fertilization levels on growth and yield of late sown wheat. *Scholars Bulletin*, 4, pp. 416-423. https://doi.org/10.21276/sb.2018.4.5.6.

Cossani, C.M. and Sadras, V.O. 2021. Nitrogen and water supply modulate the effect of elevated temperature on wheat yield. *European Journal of Agronomy*, 124, 126227. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126227.

Elia, M., Slafer, G.A. and Savin, R. 2018. Yield and grain weight responses to post-anthesis increases in maximum temperature under field grown wheat as modified by nitrogen supply. *Field Crops Research*, 221, pp. 228–237. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.030.

Fernie, E., Tan, D.K.Y., Liu, S.Y., Ullah, N. and Khoddami, M. 2022. Post anthesis heat influences grain yield, physical and nutritional quality in wheat: A review. *Agriculture*, 12(6), 886. https://doi.org/10.3390/agriculture12060886.

Gholami, A., Jafarinezhad, A.R., Attar, M. and Sayyad, G.A. 2011. Studying the changes in the concentration of iron and zinc elements in wheat cultivated soils in the north of Khuzestan province. Proceedings of the 12th Soil Science Congress of Iran. September 3-5, 2011, Tabriz, Iran. [In Persian].

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 Production*, 27(3), pp. 285-296. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110438.

Kitonyo, O.M., Sadras, V.O., Zhou, Y. and Denton, M.D. 2017. Evaluation of historic Australian wheat varieties reveals increased grain yield and changes in senescence patterns but limited adaptation to tillage systems. *Field Crops Research*, 206, pp. 65-73. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.017.

Landolfi, V., D'Auria, G., Adalgisa Nicilai, M., Chiara Nitride, N., Blandino, M. and Ferranti, P. 2021. The effect of nitrogen fertilization on the expression of protein in wheat and tritordeum varieties using a proteomic approach. *Food Research International*, 148, 110617. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110617.

Liu, L., Hu, C., Olesen, J.E., Ju, Z., Yang, P. and Zhang, Y. 2013. Warming and nitrogen fertilization effects on winter wheat yields in northern China varied between four years. *Field Crops Research*, 151, pp. 56-64. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.07.006.

Liu, H.E., Wang, Q.Y., Rengel, Z. and Zhao, P. 2015. Zinc fertilization alters flour protein composition of winter wheat genotypes varying in gluten content. *Plant, Soil and Environment*, 61(5), pp. 195-200. https://doi.org/10.17221/817/2014-PSE.

Lotfali Ayeneh, G.A., Khajezadeh, Y., Jamsi, G.R., Lovaimi, N., Absalan, S., Javaheri, E., Mousavi-Fazl, H., Dadrezaie, S.T., Lakzadeh, I., Rahnama, A.A., Ghoosheh, M., Shetab Boushehri, S.M., Poorazar, R., Eslahi, M.R., Andarzian, B., Dehghan, E., Afzali, M.J., Dehghani, A. and Shamsi, H. 2007. Guide to planting and harvesting irrigated wheat in Khuzestan province. Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research Center, Ahvaz, Iran. [In Persian].

Ministry of Agriculure-Jahad. 2021. Agriculture Statistics Book. Vol. 1. Crop Plants. Retrieved June 01, 2023. from https://www.maj.ir/page-amar/FA/65/form/pId3352.

Mirosavljević, M., Mikić, S., Zupunski, V., Kondić Spika, A., Trkulja, D., Ottosen, C.-O., Zhou, R. and Abdelhakim, L. 2021. Effects of high temperature during anthesis and grain filling on physiological characteristics of winter wheat cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(5), pp. 1-10. https://doi.org/10.1111/jac.12546.

Modhej, A., Naderi, A. and Siadat, S.A. 2007. Effect of heat stress after anthesis on source limitation of wheat and barley cultivars. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(2), pp. 393-403. [In Persian].

Mohammadjanlou, A.M., Seyed-Sharifi, R. and Khomari, S. 2021. Effects of holding irrigation at reproductive stages and putrescine and biofertilizers application on grain filling period, chlorophyll content and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(2), pp. 153-167. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.67402.1000.

Montoya, M., Vallejo, A., Recio, J., Guardia, G. and Alvarez, J.M. 2020. Zinc–nitrogen interaction effect on wheat biofortification and nutrient use efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 183(2), pp. 169-179. https://doi.org/10.1002/jpln.201900339.

Moshatati, A., Siadat, A., Alami Saeed, K.H. Bakhshandeh, A. and Jalal Kamali, M.R. 2019. The effect of terminal heat stress on grain growth and quantitative and qualitative yield of spring bread wheat in Ahwaz. *Journal of Crop Production and Processing*, 8, pp. 45-57. [In Persian]. https://doi.org/10.29252/jcpp.8.4.45.

Naderi, A. 2014. Analysis the effect of planting date on wheat genotypes grain yield by using regression methods. *Crop Physiology Journal*, 20(5), pp. 5-14. [In Persian]. http://dorl.net/dop/20.1001.1.2008403.1392.5.20.1.2.

Poudel, P.B. and Poudel M.R. 2020. Heat stress effects and tolerance in wheat: A review. *Journal of Biology and Todday's World*, 9(4), 217.

Prasad, P.V.V., Bheemanahalli, R. and Jagadish, S.V.K., 2017. Field crops and the fear of heat stress-Opportunities, challenges and future directions. *Field Crops Research*, 200, pp. 114-121. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.024.

Rabbani, B. and Safdary, A.J. 2021. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of three maize (*Zea mays* L.) genotypes in Takhar climatic conditions of Afghanistan. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(2), pp. 109-120. https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.02.06.

Rakhimova, O.V., Khramoy, V.K., Sikharulidze, D. and Yudina, I.N. 2021. Influence of nitrogen fertilizers on protein productivity of vetch-wheat grain under different water supply conditions. *Caspian Journal of Environmental Science*, 19, pp. 951-956. https://doi.org/10.22124/CJES.2021.5273.

Ristic, Z., Bukovnik, U. and Prasad, P.V. 2007. Correlation between heat stability of thylakoid membranes and loss of chlorophyll in winter wheat under heat stress. *Crop Science*, 47(5), pp. 2067-2073. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.10.0674.

Sadras, V.O., Hayman, P., Rodriguez, D., Monjardino, M., Bielich, M., Unkovich, M., Mudge, B. and Wang, E. 2016. Interactions between water and nitrogen in Australian cropping systems: Physiological, agronomic, economic, breeding and modelling perspectives. *Crop and Pasture Science*, 67(10), pp. 1019-1053. https://doi.org/10.1071/CP16027.

Schmid, M., Wieser, H. and Koehler, P. 2016. Isolation and characterization of high-molecular-weight (HMW) gliadins from wheat flour. *Cereal Chemistry*, 93(6), pp. 536-542. https://doi.org/10.1094/CCHEM-04-16-0078-R.

Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H.-J., Duveiller, E., Reynolds, M. and Muricho, G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5, pp. 291-317. https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y.

Shimoyanagi, R., Abu, M. and Shiotsu, F. 2021. Higher temperatures during grain filling affect grain chalkiness and rice nutrient contents. *Agronomy*, 11(7), 1360. https://doi.org/10.3390/agronomy11071360.

Silspour, M. 2007. Determining the critical limit of phosphorus and potassium in soils under wheat cultivation in Varamin plain. In: Proceedings of the 10th Soil Science Congress of Iran. Agust, 26-28, 2007, Tehran, Iran. [In Persian].

Tao, Z.-Q., Wang, D.-M., Chang, X.-H., Wang, Y.-J., Yang, Y.-S., Zhao, G-C. 2018. Effects of zinc fertilizer and short-term high temperature stress on wheat grain production and wheat flour proteins. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(9), pp. 1979-1990. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61911-2.

Thistlethwaite, R.J., Tan, D.K.Y., Bokshi, A.I., Ullah, S. and Trethowan, R.M. 2020. A phenotyping strategy for evaluating the high-temperature tolerance of wheat. *Field Crops Research*, 255, 107905. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107905.

Ullah, S., Bramley, H., Mahmood, T. and Trethowan, R. 2020. A strategy of ideotype development for heat tolerant wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(2), pp. 229-241. https://doi.org/10.1111/jac.12378.

Yang, T., Zhou, Q., Wang, Q., Wang, X., Cai, J., Huang, M. and Jiang, D. 2022. Effect of nitrogen fertilizer on quality characteristics of wheat with the absence of different individual high-molecular-weight glutenin subunits (HMW-GSs). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2178. https://doi.org/10.3390/ijms23042178.

Zhang, P.-P., Chen, Y.-L., Wang, C.-Y., Ma, G., Lu, J.-J., Liu, J.-B. and Guo, T.C. 2021. Distribution and accumulation of zinc and nitrogen in wheat grain pearling fractions in response to foliar zinc and soil nitrogen applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(12), pp. 3277-3288. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63491-8.

Zhao, H., Dai, T., Jiang, D. and Cao, W. 2008. Effects of high temperature on key enzymes involved in starch and protein formation in grains of two wheat cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(1), pp. 47-54. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00283.x.