



Physiological and Yield Responses of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars to Thermal Stress in a Sequential Cropping System (Summer-Winter) in the Shavor Region, Khuzestan

Mohammad Ali Molaee¹, Seyed Keyvan Marashi^{1*}, Abdolali Gilani², Shahram Lak¹ and Mojtaba Alavi Fazel³

1- Department of Agronomy, Ahv. C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2- Department of seed and plant Improvement Research, Khuzestan Agricultural and Natural Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

3- Department of Agronomy, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

(*- Corresponding author's Email: marashi_47@iau.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 11-03-2026

Revised: 26-05-2026

Accepted: 10-06-2026

Available Online: 22-06-2026

Molaee, M. A., Marashi, S. K., Gilani, A., Lak, S., & Alavi Fazel, M. (2026). Physiological and yield responses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to thermal stress in a sequential cropping system (summer-winter) in the Shavor region, Khuzestan. *Journal of Agroecology*, 18(2), 213-228. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.98135.1271>

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is a strategic crop for Iran's food security, but in tropical regions like Khuzestan, terminal heat stress severely limits its production. A sequential double-cropping system (summer-winter) has been proposed to maximize land use efficiency. In this system, the first crop is sown in late summer (September-October), and the second crop is sown immediately after harvest in winter (January-February). The summer crop faces high soil temperature at germination but benefits from rapid early growth, while the winter crop encounters cold stress at early stages followed by terminal heat stress during grain filling. Therefore, the success of this system depends on selecting suitable cultivars and optimal sowing dates to manage temperature stresses in both cycles.

Materials and Methods

This research was conducted over two cropping years (2022-2023 and 2023-2024) as a Randomized Complete Block Design with a split-plot arrangement. The main factor included four sowing dates (September 11, September 21, October 1, and October 11), and the sub-factor included four wheat cultivars (Mehregan, Chamran-2, Ayeeneh, and Sarang). Winter cropping was performed immediately after the summer harvest on four corresponding sowing dates: January 15, January 20, January 30, and February 4. Physiological indices including leaf area index (LAI), total dry weight (TDW), crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR),



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.98135.1271>

and leaf area duration (LAD) were measured, and grain yield was determined for both cropping cycles. Data from both years were combined and subjected to analysis of variance, and mean comparisons were performed using an appropriate statistical test.

Results and Discussion

The results showed that sowing date, cultivar, and their interaction significantly affected all physiological traits and grain yield. The highest total dry weight (795 g m^{-2}) and crop growth rate ($15.74 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) were observed in the sowing date October 1/January 30 with the Chamran-2 cultivar. The highest net assimilation rate ($16.18 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) was also obtained in the same treatment. This superiority can be attributed to the favorable synchronization of the rapid growth phase with moderate temperatures in autumn and early spring, as well as the longer growth duration (135 days) and better heat tolerance of the Chamran-2 cultivar. However, the Mehregan cultivar sown on October 11/February 4 showed a different performance pattern. Despite having moderate or even low values in some physiological indices such as CGR and NAR, it exhibited the highest leaf area index (4.30), the highest leaf area duration (24.55 days), and consequently the highest mean grain yield (1408 kg ha^{-1}) compared to other treatments. The superiority of Mehregan can be explained by its high leaf area duration, which reflects sustained photosynthetic activity over a longer period, and its specific adaptation to water-limited and saline conditions, enabling it to maintain green leaf area even under late sowing dates. In contrast, Chamran-2 and Sarang cultivars, despite their superiority in instantaneous physiological indices (CGR and NAR) at specific sowing dates (especially October 1/January 30), showed lower final yields. This was primarily due to their significantly reduced leaf area index (3.96-3.98) and leaf area duration (17.75-19.75 days), indicating greater susceptibility to terminal heat stress and accelerated leaf senescence during the reproductive stages.

Conclusion

Overall, the success of the sequential cropping system in tropical regions depends on selecting tolerant cultivars and optimal sowing dates. Leaf area index and leaf area duration play a more critical role in final yield compared to other physiological indices. The Mehregan cultivar, sown on October 11/February 4, is recommended for this system. Furthermore, these results can serve as a practical guideline for farmers and agricultural managers in Khuzestan and similar warm regions to improve land-use efficiency and achieve sustainable wheat production through double-cropping systems.

Keywords: Crop growth rate, Crop management, Leaf area index, Sowing date

مقاله پژوهشی

جلد ۱۸، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ص ۲۲۸-۲۱۳

پاسخ فیزیولوژیکی و عملکرد ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) نان به تنش دمایی در یک نظام کشت متوالی (تابستانه-زمستانه) در منطقه شاوور-خوزستان

محمد علی مولایی^۱، سیدکیوان مرعشی^{۱*}، عبدالعلی گیلانی^۲، شهرام لک^۱ و مجتبی علوی فاضل^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

چکیده

گندم (*Triticum aestivum* L.) نقش کلیدی در تأمین امنیت غذایی ایران دارد، اما در مناطق گرمسیری مانند خوزستان، تنش گرمایی انتهایی فصل، تولید آن را با محدودیت جدی مواجه ساخته است. سیستم کشت متوالی (تابستانه-زمستانه) می‌تواند راهکاری برای بهره‌برداری حداکثری از زمین باشد، اما موفقیت آن به انتخاب رقم مناسب و تاریخ کاشت بهینه وابسته است. این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش کرت‌های خردشده با دو عامل تاریخ کاشت (کاشت تابستانه) شامل ۲۰ شهریور، ۳۰ شهریور، ۹ مهر و ۱۹ مهر در کرت‌های اصلی و چهار رقم مهرگان، چمران ۲، آینه و سارنگ در کرت‌های فرعی اجرا گردید. کشت زمستانه بلافاصله پس از برداشت کشت تابستانه در چهار تاریخ کاشت ۲۵ دی، ۳۰ دی، ۱۰ بهمن و ۱۵ بهمن (به ترتیب متناظر با تاریخ‌های کاشت تابستانه ۲۰ و ۳۰ شهریور، ۹ و ۱۹ مهر) انجام شد. نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر تمامی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه معنی‌دار بود. بیشترین ماده خشک کل (۷۹۵ گرم بر مترمربع) و سرعت رشد محصول (۱۵/۷۴ گرم بر مترمربع در روز) در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن و رقم چمران ۲ مشاهده شد. بالاترین سرعت جذب خالص (۱۶/۱۸ گرم بر مترمربع در روز) نیز در همین تیمار حاصل گردید. با این حال، رقم مهرگان در تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن با دارا بودن بالاترین شاخص سطح برگ (۴/۳۰)، دوام سطح برگ (۲۴/۵۵ روز) و میانگین عملکرد دانه (۱۴۰۸ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر تیمارها برتری داشت. ارقام چمران ۲ و سارنگ علی‌رغم برتری در برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی لحظه‌ای، به دلیل کاهش شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ، عملکرد نهایی پایین‌تری نشان دادند. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که موفقیت سیستم کشت متوالی در مناطق گرمسیری به انتخاب رقم متحمل و تاریخ کاشت بهینه وابسته است. شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ در مقایسه با سایر شاخص‌های فیزیولوژیکی، نقش کلیدی‌تری در عملکرد نهایی دارند. رقم مهرگان در تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن برای این سیستم قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، مدیریت کشت

مقدمه

در مناطق گرمسیری، افزایش تولید از طریق روش‌های متعارف با محدودیت‌های جدی، به‌ویژه تنش گرمایی انتهایی فصل، روبه‌رو است. در این راستا، کشت متوالی گندم به‌عنوان یک راهکار مدیریتی فشرده برای بهره‌برداری حداکثری از زمین و منابع آبی محدود مورد توجه قرار گرفته است. در این سیستم، کشت اول در انتهای تابستان (شهریور-مهر) و کشت دوم بلافاصله پس از برداشت کشت اول در فصل زمستان انجام می‌شود. با این حال، موفقیت اقتصادی و عملیاتی این سیستم کاملاً وابسته به عملکرد دانه آن در مقایسه با سیستم

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان محصولی استراتژیک، نقشی محوری در تأمین امنیت غذایی ایران ایفا می‌کند. با این حال،

۱- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- بخش اصلاح و تهیه نهال بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۳- گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: marashi_47@iau.ac.ir)

تک‌کشتی مرسوم است، زیرا هر یک از چرخه‌های کشت با چالش‌های اقلیمی متفاوتی روبه‌رو هستند. در کشت تابستانه، اگرچه دمای بالای خاک در زمان جوانه‌زنی و استقرار گیاه ممکن است چالشی اولیه ایجاد کند، اما شرایط گرم اولیه می‌تواند منجر به سرعت رشد اولیه بیشتر و رسیدن زودتر گیاه به مراحل زایشی شود، به شرطی که گیاه از اوج گرمای تابستان عبور کرده باشد (Hatfield & Prueger, 2015). این امر ممکن است پنجره زمانی مناسبی برای کشت دوم فراهم آورد. اما چالش اصلی در کشت زمستانه متعاقب آن نهفته است. در این چرخه، گیاه در مراحل ابتدایی رشد با دمای پایین مواجه می‌شود که می‌تواند رشد را کند نماید و متعاقباً با افزایش سریع دما و تنش گرمایی در مراحل بحرانی پر شدن دانه روبه‌رو می‌گردد (Asseng et al., 2015).

پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر تنش‌های دمایی بر شاخص‌های رشد و عملکرد گندم پرداخته‌اند. در این راستا، بیان شده است که تنش گرمایی انتهایی فصل باعث کاهش شدید دوام سطح برگ و سرعت جذب خالص شده و در نتیجه عملکرد گندم را در خوزستان کاهش می‌دهد (Asseng et al., 2015). همچنین گزارش شده است که ارقام دارای پایداری بیشتر در شاخص‌های رشدی تحت شرایط تنش، عملکرد بهتری دارند (Fischer, 2011). در مطالعه‌ای بر اثر تاریخ‌های کاشت غیرمتعارف، بیان شد که تغییرات قابل توجهی در الگوی تجمع ماده خشک و تخصیص آن در ژنوتیپ‌های گندم بهاره مشاهده می‌شود (Slafer & Rawson, 1994). همچنین بیان شده است که افزایش دما در مرحله پس از گرده‌افشانی، مدت زمان پر شدن دانه را کاهش و سرعت کاهش سطح برگ سبز را افزایش می‌دهد (Liu et al., 2016). محققین تأکید کرده‌اند که تنش سرما در ابتدای فصل رشد می‌تواند باعث کاهش تعداد پنجه و در نهایت کاهش عملکرد گندم شود (Thakur et al., 2010). همچنین بیان شده است که در شرایط آب و هوایی گرم، کاشت زود هنگام در مناطق گرمسیر می‌تواند سرعت رشد محصول را به دلیل قرارگیری مرحله گلدهی در دوره اوج دما کاهش دهد (Hatfield & Prueger, 2015). محققین به کاهش شاخص سطح برگ در تاریخ‌های کاشت دیر هنگام به دلیل تنش گرمایی و کوتاه شدن دوره رشد رویشی اشاره نموده‌اند (Liu et al., 2021).

در خصوص سیستم‌های کشت فشرده، در مطالعه‌ای بر روی کشت متوالی ذرت-گندم در دشت شمال چین، مدیریت تاریخ کاشت

را برای جلوگیری از تداخل تنش‌های دمایی در هر دو فصل، کلید موفقیت سیستم عنوان کردند (Li, 2026). در مطالعه دیگری بر روی سیستم‌های کشت فشرده نشان داده شد که شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد، پیش‌بینی‌کننده‌های مهمی برای عملکرد نهایی هستند (Hamzei & Zarei, 2024). در زمینه واکنش ارقام به تنش‌های دمایی، تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت و رقم بر دوام سطح برگ گزارش شده است (Rahmati et al., 2023). محققین دریافتند که ارقام متحمل به گرما، توانایی حفظ سرعت جذب خالص بالاتری را در شرایط تنش انتهایی فصل دارند (Fischer, 2011). رادفورد (Radford, 1967) و آسنگ و همکاران (Asseng et al., 2015) نیز نشان دادند که ارقام مختلف گندم از نظر کارایی فتوسنتزی واکنش متفاوتی به تاریخ کاشت نشان می‌دهند. فاروگ و همکاران (Farooq et al., 2014) تأکید کردند که انتخاب رقم مناسب برای هر تاریخ کاشت خاص، یک راهکار مدیریتی کلیدی برای افزایش تجمع ماده خشک و نهایتاً عملکرد است. در مطالعه دیگری در بررسی اثر تاریخ کاشت و رقم بر شاخص‌های رشد و عملکرد گندم، بیان شد که ارقام دیررس در تاریخ‌های کاشت مناسب، ماده خشک بیشتری نسبت به ارقام زودرس انباشت می‌کنند (Slafer & Rawson, 1994).

این پژوهش با هدف امکان‌سنجی کشت متوالی (تابستانه-زمستانه) ارقام گندم نان در منطقه شاوور-خوزستان و پاسخ به این پرسش طراحی شد که آیا عملکرد کل (مجموع دو کشت) می‌تواند از طریق انتخاب هم‌زمان رقم متحمل و تاریخ کاشت بهینه، به سطح قابل قبول اقتصادی برسد؟ فرضیه اصلی آن است که پایداری و دوام سطح برگ در مواجهه با تنش گرمایی انتهایی فصل، عاملی کلیدی‌تر در مقایسه با شاخص‌های فیزیولوژیک مانند سرعت رشد محصول و سرعت فتوسنتز خالص در تعیین موفقیت این سیستم می‌باشد. برای آزمون این فرضیه، شاخص‌های رشدی نظیر شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، سرعت رشد محصول، سرعت فتوسنتز خالص، دوام سطح برگ و عملکرد دانه در هر دو چرخه کشت تابستانه و زمستانه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه کشاورزی شاوور، وابسته به مرکز تحقیقات،

آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، به اجرا درآمد. این ایستگاه در فاصله حدود ۷۰ کیلومتری شمال شهر اهواز واقع شده و براساس طبقه‌بندی اقلیمی، منطقه‌ای گرم و خشک محسوب می‌شود (Climate Data, 2015). پیش از اجرای کشت، به‌منظور ارزیابی وضعیت حاصلخیزی و ویژگی‌های فیزیکی خاک، از لایه سطحی (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری) نمونه‌برداری انجام و نمونه مرکب تهیه شد. نتایج تجزیه شیمیایی این خاک در جدول ۱ خلاصه شده است. داده‌های میانگین بلندمدت دمای هوا و بارندگی این منطقه در

جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس، متوسط دمای سالانه بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالانه حدود ۲۲۰ میلی‌متر می‌باشد که عمدتاً در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد. ماه‌های خرداد تا شهریور تقریباً فاقد بارش مؤثر بوده و دما در تیر و مرداد به اوج خود (متجاوز از ۴۲ درجه سانتی‌گراد) می‌رسد. داده‌های واقعی دما و بارش دو سال آزمایش، انطباق کلی با این روند بلندمدت داشت، باین‌حال سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳ از نظر بارش پاییزه کمی مطلوب‌تر بود.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Some physical and chemical characteristics of the experimental farm soil

بافت Texture	پتاسیم قابل جذب (mg Available potassium kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (mg Available phosphorus kg ⁻¹)	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن Total nitrogen (%)	pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)
لومی رسی Clay loam	218.00	10.40	0.76	0.04	7.83	3.91

جدول ۲- میانگین بلندمدت (۲۰ ساله) دمای ماهانه و بارندگی در منطقه شاور

Table 2- Long-term (20-years) monthly average temperature and rainfall in the Shavor region

ماه Month	میانگین دمای ماهانه Mean monthly temperature (°C)	میانگین بارندگی ماهانه Mean monthly rainfall (mm)
مهر. Oct.	30.00	5.00
آبان. Nov.	24.00	25.00
آذر. Dec.	18.00	40.00
دی. Jan.	14.00	50.00
بهمن. Feb.	16.00	45.00
اسفند. Mar.	20.00	30.00
فروردین. Apr.	25.00	20.00
اردیبهشت. May.	32.00	10.00
خرداد. Jun.	37.00	0.00
تیر. Jul.	41.00	0.00
مرداد. Aug.	42.00	0.00
شهریور. Sep.	38.00	0.00

این پژوهش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش کرت‌های خردشده و در سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی، تاریخ کاشت در چهار سطح شامل: ۲۰ شهریور، ۳۰ شهریور، ۹ مهر و ۱۹ مهر بود. عامل فرعی، رقم گندم در چهار سطح شامل: ارقام مهرگان، چمران ۲، آینه و سارنگ در نظر گرفته شد. کشت زمستانه بلافاصله پس از برداشت کشت تابستانه در چهار تاریخ کاشت ۲۵ دی، ۳۰ دی،

۱۰ بهمن و ۱۵ بهمن (به ترتیب متناظر با تاریخ‌های کاشت تابستانه ۲۰ و ۳۰ شهریور، ۹ و ۱۹ مهر) انجام شد. هر کرت آزمایشی مساحتی معادل ۱۲ مترمربع (۳×۴ متر) داشت. مشخصات چهار رقم گندم مورد استفاده شامل مهرگان، چمران ۲، آینه و سارنگ در جدول (۳) خلاصه شده است (Javahari., 2011).

جدول ۳- مشخصات ارقام گندم مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Characteristics of wheat cultivars used in the experiment

رقم Cultivar	منشأ Origin	دوره رشد Growth duration (days)	ویژگی‌های مهم Important characteristics
سارنگ Sarang	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر Seed and Plant Improvement Institute	130	پایداری نسبتاً خوب عملکرد در شرایط گرم و خشک جنوب کشور Relatively stable yield under the hot and dry conditions of the country's south
چمران ۲ Chamran-2	مرکز تحقیقات خوزستان و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر Khuzestan Research Center and Seed and Plant Improvement Institute	135	مقاومت به ورس (خوابیدگی)، تحمل به تنش گرمایی و خشکی انتهای فصل Resistance to lodging, and tolerance to heat stress and late-season drought
آینه Ayeeneh	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر Seed and Plant Improvement Institute	125	سازگاری عمومی بالا، کیفیت نانواپی مطلوب برای مناطق گرمسیر، عملکرد پایدار در اراضی آبی استان‌های خوزستان، فارس، لرستان، کرمان، خراسان رضوی و کرمانشاه High general adaptability, desirable baking quality for tropical regions, and stable yield in irrigated lands across the provinces of Khuzestan, Fars, Lorestan, Kerman, Razavi Khorasan, and Kermanshah
مهرگان Mehregan	مرکز تحقیقات کرمانشاه Kermanshah Research Center	125	توسعه‌یافته برای شرایط محدودیت آب و شوری خاک Developed for water-limited conditions and soil salinity

جهت تعیین عملکرد دانه در زمان رسیدگی کامل و هنگامی که رطوبت دانه به حدود ۱۰-۱۲ درصد رسید، از سطح مفید هر کرت (با حذف اثر حاشیه) معادل دو مترمربع محصول برداشت شد. پس از خرم‌ن کوبی و جدا کردن کاه و کلش، دانه‌ها توزین و عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع محاسبه گردید. برای تعیین شاخص سطح برگ در مرحله ظهور کامل سنبله، از هر کرت ۱۰ بوته نمونه‌برداری شد. سطح برگ با استفاده از روش ترسیمی (ترسیم برگ‌های نمونه روی کاغذ A4 و محاسبه نسبت سطح به وزن کاغذ) محاسبه گردید. در نهایت، شاخص سطح برگ از تقسیم سطح برگ کل بر سطح زمین اشغال‌شده تعیین گردید (Koocheki & Sarmadnia, 2013). برای تعیین وزن خشک کل گیاه^۱، نمونه‌برداری در دو مرحله رشدی ابتدای ساقه رفتن (کد ۳۰ در مقیاس زادوکس) و مرحله ظهور کامل سنبله (کد ۵۹ در مقیاس زادوکس) انجام شد. در هر مرحله، از هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب گردید. بوته‌ها از ناحیه طوقه قطع شد و کلیه اندام‌های هوایی (شامل برگ، ساقه و سنبله) جدا گردید. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم تعیین گردید (Koocheki & Sarmadnia, 2013). سرعت رشد محصول^۲، سرعت جذب خالص

آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن برگرداندار در عمق ۲۵-۳۰ سانتی‌متری و دو نوبت دیسک سبک در ۱۵ مرداد ماه (حدود یک ماه قبل از اولین تاریخ کاشت) انجام شد. قبل از کاشت، کودهای فسفره و پتاسه به‌صورت کامل و کود نیتروژنه به‌مقدار یک سوم، به‌عنوان کود پایه در خاک مخلوط گردید. مصرف کودهای شیمیایی براساس نتایج آزمون خاک و توصیه متداول برای کشت گندم در منطقه انجام شد. مقادیر مصرف نیتروژن معادل ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره که به‌صورت تقسیط در دو نوبت (۵۰ درصد به‌عنوان کود پایه قبل از کاشت و ۵۰ درصد به‌عنوان کود سرک در مرحله آغاز ساقه‌دهی) مصرف گردید. مقدار مصرف فسفر معادل ۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل که تماماً به‌عنوان کود پایه قبل از کاشت به خاک اضافه شد. مقدار مصرف پتاسیم معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع پتاسیم سولفات که تماماً به‌عنوان کود پایه قبل از کاشت مصرف گردید. کاشت به‌روش دستی و با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع انجام شد (Jafari et al., 2021). آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و آبیاری‌های بعدی براساس نیاز آبی و عرف منطقه به‌روش کرتی انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز عمدتاً از طریق وجین دستی صورت پذیرفت. در طول فصل رشد، هیچ‌گونه آلودگی آفت یا بیماری مهمی مشاهده نشد و لذا نیازی به عملیات سم‌پاشی ویژه نبود.

1 - Total dry weight, TDW

2 - Crop growth rate, CGR

تاریخ کاشت و رقم بر ماده خشک کل با نتایج پژوهش‌های متعددی همسو است. گزارش شده است که تأخیر در کاشت گندم به دلیل مواجهه با تنش گرمایی انتهایی فصل، منجر به کاهش معنی‌دار ماده خشک کل می‌شود (Asseng et al., 2015). همچنین مشاهده شده است که ارقام دیررس در تاریخ‌های کاشت مناسب، ماده خشک بیشتری نسبت به ارقام زودرس انباشت می‌کنند (Slafer & Rawson, 1994). در مطالعه‌ای دیگر بر روی گندم نان نشان داده شد که اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر تجمع ماده خشک معنی‌دار بود (Fischer, 2011). بیان شده است که تاریخ کاشت بهینه با هماهنگی مراحل رشد با شرایط محیطی مطلوب، حداکثر جذب منابع و تولید ماده خشک را ممکن می‌سازد (Sadras & Calderini, 2015). فاروق و همکاران (Farooq et al., 2014) نیز گزارش کرده‌اند که انتخاب رقم مناسب برای هر تاریخ کاشت خاص، یک راهکار مدیریتی کلیدی برای افزایش تجمع ماده خشک و نهایتاً عملکرد است.

شاخص سطح برگ (LAI): در این تحقیق اثر تاریخ کاشت در سطح یک درصد، اثر رقم در کشت تابستانه در سطح پنج درصد و در کشت زمستانه در سطح یک درصد و اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم به‌جز در کشت تابستانه بر شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در میانگین دو کشت، بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن رقم مهرگان (۴/۳۰) بود. کمترین شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن ارقام مهرگان (۳/۹۶) و چمران ۲ (۳/۹۸) مشاهده شد (جدول ۵). رقم مهرگان که برای شرایط تنش‌آبی و شوری توسعه یافته، احتمالاً با داشتن سیستم ریشه‌ای کارآمدتر و حفظ تعادل آبی بهتر، توانسته است در تاریخ کاشت دیرتر (۱۹ مهر و ۱۵ بهمن) نیز سطح برگ نسبتاً بالایی را حفظ کند (Farooq et al., 2014). بر خلاف انتظار، کاهش شدید شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن مشاهده شد که می‌تواند ناشی از همزمانی مراحل حساس رشد (گلدهی و پر شدن دانه) با اوج تنش‌های دمایی در این تاریخ کاشت باشد. در حالی که در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۵ بهمن، کشت تابستانه به طور قابل توجهی از گرمای تابستان فرار کرده و دوره رشد رویشی طولانی‌تری در دمای مطلوب پاییز داشته است. همچنین رقم مهرگان که برای شرایط تنش انتخاب شده، در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن (شرایط ملایم‌تر) واکنش ضعیف‌تری نشان داده، اما در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۵ بهمن (شرایط تنش‌زاتر) مکانیسم‌های تحمل خود را فعال کرده و سطح برگ بالاتری حفظ نموده است (Fischer, 2011).

دوام سطح برگ^۲ با استفاده از معادله‌های ۱ تا ۳ بین دو مرحله رشدی شامل ابتدای ساقه رفتن زمان T_1 و ظهور کامل سنبله‌ها زمان T_2 محاسبه گردید (Hunt, Koocheki & Sarmadnia, 2013; 1978).

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{CGR} = (W_2 - W_1) / [A \times (T_2 - T_1)]$$

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{NAR} = \text{CGR} / \text{LAI}$$

$$\text{معادله (۳)} \quad \text{LAD} = [(\text{LAI}_1 + \text{LAI}_2) / 2] \times (T_2 - T_1)$$

که در آن، W_2 و W_1 : به ترتیب وزن خشک کل گیاه (گرم در متر مربع) در مراحل T_1 و T_2 ; A : مساحت نمونه برداری (متر مربع)، T_1 و T_2 : زمان نمونه برداری (روز)، LAI_1 و LAI_2 : شاخص سطح برگ در مراحل T_1 و T_2 : میانگین شاخص سطح برگ در بازه زمانی مورد نظر می‌باشد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها در دو سال زراعی متوالی (۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳)، تجزیه واریانس مرکب برای کشت تابستانه، زمستانه و همچنین برای میانگین دو کشت تابستانه-زمستانه انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) انجام گردید. کلیه تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

ماده خشک کل (TDW): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تاریخ کاشت، اثر اصلی رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم بر ماده خشک کل در هر دو کشت تابستانه و زمستانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در میانگین دو کشت، ترکیب رقم چمران ۲ در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن با مقدار ۷۹۵/۱۳ گرم بر مترمربع بیشترین ماده خشک کل را تولید کرد (جدول ۵). کمترین مقدار نیز در میانگین دو کشت مربوط به رقم آینه در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور/۲۵ دی با مقدار ۵۳۹/۱۵ گرم بر مترمربع مشاهده شد. برتری ترکیب رقم چمران ۲ با تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن در تجمع ماده خشک (۷۹۵/۱۳ گرم بر مترمربع) به دلیل هماهنگی دوره رشد رویشی و زایشی این رقم با شرایط دمایی مطلوب (عدم تداخل با اوج گرمای تابستان در کشت اول و فرار از سرمای شدید زمستان در کشت دوم) می‌باشد. در مقابل، ماده خشک ضعیف رقم آینه در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور و ۲۵ دی ناشی از قرارگیری مراحل رشد رویشی در کشت زمستانه در معرض سرمای بهمن و اسفند و همچنین تداخل مراحل رشد رویشی در کشت تابستانه با اوج گرمای شهریور می‌باشد. یافته‌های حاضر مبنی بر تأثیر معنی‌دار

1 - Net assimation rate, NAR

2 - Leaf area duration, LAD

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب اثر تاریخ کاشت متوالی و رقم بر ماده خشک کل (TDW)، شاخص سطح برگ (LAI) و سرعت رشد محصول (CGR) گندم
Table 4- Combined analysis of variance for the effect of sequential sowing date and cultivar on total dry weight (TDW), leaf area index (LAI) and crop growth rate (LAI) of wheat

منابع تغییرات S.O. V	درجه آزادی df	ماده خشک کل Total dry weight (TDW)			شاخص سطح برگ Leaf area index (LAI)			سرعت رشد محصول Crop growth rate (CGR)		
		تابستانه Summer	زمستانه Winter	میانگین Mean	تابستانه Summer	زمستانه Winter	میانگین Mean	تابستانه Summer	زمستانه Winter	میانگین Mean
Year (Y) ^{ال}	1	20760.99 ns	2655.2 ns	2141.749 ns	0.003 ns	0.002 ns	0.0024 ns	8.95 ns	0.63 ns	1.21 ns
Replication (بلوک)	4	55077.92**	43810.98**	40775.97**	0.248**	0.214**	0.231**	12.15**	13.19**	9.63**
Sowing date (T) ^{تاریخ کاشت}	3	83013.84**	56450.53**	62374.576**	0.175**	0.15**	0.163**	32.75**	22.26**	24.69**
Y × T	3	41.18 ns	24.9 ns	163.230 ns	0.004819 ns	0.004 ns	0.004496 ns	0.07 ns	0.01 ns	0.05 ns
Main plot error اصلی	12	6596.0	4870.26	5720.5395	0.0055	0.01	0.0052	2.41	1.78	2.09
Cultivar (V) ^{رقم}	3	56019.65**	34143.31**	44132.354**	0.04742*	0.03**	0.03549**	22.25**	13.82**	17.68**
Y × V	3	19.34 ns	12.011 ns	4.51605 ns	0.01928*	0.001 ns	0.006582 ns	0.07 ns	0.052 ns	0.06 ns
T × V	9	26545.79**	16568.01**	22520.695**	0.0263 ns	0.04**	0.0316**	10.99**	6.91**	9.33**
Y × T × V	9	10.05 ns	17.91 ns	188.858557 ns	0.01165*	0.001 ns	0.00314 ns	0.04 ns	0.02 ns	0.097 ns
Sub plot error فرعی	48	2625.82	1782.57	2145.7149	0.005	0.004	0.0044	1.01	0.7	0.83
CV (%)		7.46	10.29	7.32	5.98	8.73	7.82	7.5	10.38	7.38

** و *: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد. ns: غیر معنی دار.
** and *: significant at 1% and 5% levels, respectively; ns: non-significant.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر ماده خشک کل، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول گندم
Table 5- Mean comparison of the interaction effect of sowing date and cultivar on total dry weight, leaf area index and crop growth rate of wheat

تاریخ کاشت Sowing date	رقم Cultivar	ماده خشک کل			شاخص سطح برگ			سرعت رشد محصول		
		Total dry weight (TDW) (g m ⁻²)			Leaf area index (LAI)			Crop growth rate (CGR) (g m ⁻² . day ⁻¹)		
		تابستانه	زمستانه	میانگین	تابستانه	زمستانه	میانگین	تابستانه	زمستانه	میانگین
۲۰ شهریور و ۲۵ دی September 11 and January 15	آینه Chamran-2	867.32 a*	490.89 f	539.15 d	4.12 f	4.20 bc	4.26 ab	11.43 e	9.56 e	10.50 d
	سارنگ Mehregan	795.20 b	503.60 ef	546.28 d	4.01 g	4.15 cde	4.20 bc	11.46 e	9.81 de	10.64 d
۳۰ شهریور و ۳۰ دی September 21 and January 20	آینه Chamran-2	760.08 bc	541.62 def	594.67 d	4.11 f	4.25 ab	4.26 ab	12.59 de	10.53 de	11.56 cd
	سارنگ Mehregan	756.09 bc	503.10 ef	560.77 d	3.99 g	4.07 fg	4.11 cd	11.47 e	9.80 de	10.92 d
۹ مهر و ۱۰ بهمن October 1 and January 30	آینه Chamran-2	754.87 bc	624.74 b	685.57 bc	4.25 abc	4.16 cd	4.21 b	14.54 bc	12.17 b	13.36 bc
	سارنگ Mehregan	746.41 bc	646.47 b	700.67 bc	4.23 bcde	4.14 cdef	4.18 bc	14.83 bc	12.71 b	13.77 bc
۱۹ مهر و ۱۵ بهمن October 11 and February 4	آینه Chamran-2	709.09 cd	632.86 b	694.47 bc	4.26 b	4.18 bcd	4.22 ab	14.73 bc	12.33 b	13.53 bc
	سارنگ Mehregan	657.85 de	560.65 cd	593.86 d	4.15 cef	4.07 efg	4.11 cd	12.75 de	10.89 cd	11.53 cd
	آینه Chamran-2	589.64 e	550.06 def	603.95 d	4.15 ef	4.05 g	4.09 d	12.38 de	10.70 de	11.74 cd
	سارنگ Mehregan	588.95 e	722.94 a	795.13 a	4.11 f	3.94 h	3.98 e	12.54 de	14.32 a	15.74 a
	آینه Chamran-2	588.90 e	656.70 b	725.95 b	4.29 ab	4.04 g	4.08 d	14.80 bc	12.79 b	14.13 b
	سارنگ Mehregan	587.41 e	504.08 ef	546.86 d	4.29 ab	3.92 h	3.96 e	13.81 cd	9.82 de	10.65 d
	آینه Chamran-2	656.62 de	535.70 def	585.91 d	4.33 a	4.08 efg	4.11 cd	12.79 de	10.43 de	11.41 cd
	سارنگ Mehregan	647.73 de	555.04 de	599.59 d	4.24 abcd	4.03 g	4.07 d	17.17 a	10.81 d	11.67 cd
	آینه Chamran-2	644.15 de	635.67 b	697.87 bc	4.28 ab	4.10 defg	4.19 bc	15.47 b	12.38 b	13.59 bc
	سارنگ Mehregan	636.12 e	607.25 bc	658.17 c	4.15 cef	4.30 a	4.30 a	12.48 de	11.83 bc	12.82 c

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشابه اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن، ۵٪).
* In each column, means with the same letter are not significantly different (Duncan's test, 5%).

نتایج تحقیق حاضر مبنی بر کاهش شاخص سطح برگ با تأخیر در کاشت، با گزارش‌های متعددی مطابقت دارد که کاهش این شاخص را در تاریخ‌های کاشت دیر هنگام به دلیل تنش گرمایی و کوتاه شدن دوره رشد رویشی ذکر کردند (Asseng et al., 2015). نشان داده شده است که تنش گرمایی ناشی از کاشت دیر هنگام، باعث تسریع پیری برگ و کاهش سطح سبز مؤثر می‌شود (Liu et al., 2016). تأکید شده است که انتخاب رقم با پتانسیل رشد برگ بالاتر و مقاومت به تنش، می‌تواند اثرات منفی تاریخ کاشت نامناسب بر شاخص سطح برگ را کاهش دهد (Thakur et al., 2010).

سرعت رشد محصول (CGR): اثر اصلی تاریخ کاشت، اثر اصلی رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت $\times$ رقم بر سرعت رشد محصول در هر دو کشت تابستانه و زمستانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). در میانگین دو کشت، بیشترین سرعت رشد محصول مربوط به تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن با رقم چمران ۲ (۱۵/۷۴ گرم بر مترمربع در روز) و پس از آن رقم سارنگ در همان تاریخ (۱۴/۱۳ گرم بر مترمربع در روز) بود. کمترین سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور و ۲۵ دی با ارقام آینه (۱۰/۵۰)، مهرگان (۱۰/۹۲) و چمران ۲ (۱۰/۶۴) مشاهده شد. رقم مهرگان نیز در تاریخ‌های کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن کمترین سرعت رشد را داشت (جدول ۵). تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن ظاهراً بهترین هماهنگی را بین مرحله رشد سریع گیاه با شرایط محیطی (دمای معتدل پاییز و اوایل بهار) فراهم کرده است. رقم چمران ۲ با دوره رشد طولانی‌تر (۱۳۵ روز) و تحمل گرمایی، از این پنجره مطلوب بهینه‌ترین استفاده را برده است. در مقابل، سرعت رشد پایین در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور و ۲۵ دی می‌تواند به دلیل پایین بودن دما در ابتدای دوره رشد (زمستان برای کشت دوم) و در نتیجه کندی فرآیندهای فیزیولوژیک باشد. همچنین در تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن، اگرچه شاخص سطح برگ بالایی ثبت شد، اما سرعت رشد محصول پایین‌تر از ۹ مهر و ۱۰ بهمن بود که نشان‌دهنده کاهش کارایی فتوسنتز در واحد سطح برگ در این تیمار می‌باشد. نتایج این مطالعه از این نظر که سرعت رشد محصول تحت تأثیر شدید تعامل تاریخ کاشت و رقم قرار دارد، با یافته‌های متعددی همخوانی دارد. گزارش شده است که تنش گرمایی ناشی از کاشت زود هنگام در

مناطق گرمسیر می‌تواند سرعت رشد محصول را کاهش دهد (Asseng et al., 2015). همچنین نشان داده شده است که توزیع مطلوب دما در طول مرحله رشد رویشی سریع، کلید دستیابی به سرعت رشد محصول بالا است (Hatfield & Prueger, 2015). تأکید شده است که انتخاب رقم مناسب برای هر تاریخ کاشت خاص، یک راهکار مدیریتی کلیدی برای افزایش سرعت رشد و نهایتاً عملکرد است (Fischer, 2011). مطالعات نشان می‌دهد که تاریخ کاشت میانی (اوایل مهر در مناطق گرم) اغلب بالاترین سرعت رشد را برای گندم فراهم می‌کند (Slafer & Rawson, 1994).

سرعت جذب خالص (NAR): اثر تاریخ کاشت، اثر رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت $\times$ رقم بر سرعت جذب خالص در هر دو کشت تابستانه و زمستانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۶). در میانگین دو کشت، بیشترین سرعت جذب خالص مربوط به تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن ارقام چمران ۲ (۱۶/۱۸ گرم بر مترمربع در روز) و سارنگ (۱۳/۱۷ گرم بر مترمربع در روز) بود. کمترین سرعت جذب خالص در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور/۲۵ دی ارقام آینه (۸/۵۴)، چمران ۲ (۸/۸۸) و سارنگ (۹/۰۰) مشاهده شد (جدول ۷). سرعت جذب خالص به کارایی فتوسنتز خالص در واحد سطح برگ اشاره دارد. مقادیر بالاتر سرعت جذب خالص در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن و برای ارقام چمران ۲ و سارنگ، نشان‌دهنده کارایی فتوسنتزی بالاتر این تیمارها در تبدیل انرژی به ماده خشک است. این امر می‌تواند ناشی از هماهنگی مناسب مرحله رشد سریع گیاه با شرایط دمایی معتدل پاییز و اوایل بهار در این تاریخ کاشت و همچنین پایداری بیشتر دستگاه فتوسنتزی این ارقام تحت شرایط منطقه باشد. در مقابل، پایین بودن سرعت جذب خالص در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور و ۲۵ دی احتمالاً به دلیل قرارگیری مرحله رشد رویشی در دمای پایین زمستان (برای کشت زمستانه) و در نتیجه کاهش نرخ فتوسنتز می‌باشد. نکته قابل توجه اینکه در تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن، اگرچه شاخص سطح برگ بالایی ثبت شد، اما سرعت جذب خالص در کشت تابستانه برای رقم چمران ۲ بسیار بالا (۱۷/۰۶) و در کشت زمستانه پایین‌تر بود که نشان‌دهنده تأثیر منفی تنش گرمایی اواخر بهار بر کارایی فتوسنتز در این تیمار می‌باشد.

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب اثر تاریخ کاشت متوالی و رقم بر سرعت جذب خالص (NAR)، دوام سطح برگ (LAD) و عملکرد دانه گندم
Table 6- Combined analysis of variance for the effect of sequential sowing date and cultivar on net assimilation rate (NAR), leaf area duration (LAD) and grain yield of wheat

منابع تغییرات S.O. V	درجه آزادی df	سرعت جذب خالص			دوام سطح برگ			عملکرد دانه		
		Net assimilation rate (NAR)			Leaf area duration (LAD)			Grain yield		
		تابستانه	زمستانه	میانگین	تابستانه	زمستانه	میانگین	تابستانه	زمستانه	میانگین
		Summer	Winter	Mean	Summer	Winter	Mean	Summer	Winter	Mean
سال (Y)	1	6.83 ns	1.14 ns	0.6 ns	0.87 ns	0.75 ns	0.81 ns	304099.98 ns	2497.16 ns	90427.78 ns
تکرار (Replication)	4	23.38**	1.45**	8.42**	84.06**	73.25**	78.56**	192019.87**	227782.62**	60503.93**
تاریخ کاشت (T)	3	68.11**	51.82**	57.67**	58.05**	50.53**	54.301**	399379.1**	139386.72**	18158.53*
خطای کرت اصلی (Y × T)	3	0.47 ns	0.34 ns	0.36 ns	1.61 ns	1.4 ns	1.51 ns	6736.31 ns	3909.17 ns	1344.88 ns
خطای کرت فرعی اصلی (Main plot error)	12	1.71	1.65	1.56	1.85	2.09	1.74	11780.2	5741.11	29730.5
رقم (Cultivar (V)	3	18.29**	15.52**	16.67**	10.79**	12.03**	11.39**	109781.36**	24709.99**	33988.93**
تکرار × رقم (Y × V)	3	0.1 ns	0.104 ns	0.1 ns	0.23 ns	0.183 ns	0.2 ns	1390.787 ns	580.025 ns	779.76 ns
تاریخ × رقم (T × V)	9	10.81**	8.01**	9.76**	16.81**	14.6**	15.65**	6806.55 ns	40592.25**	10126.56 ns
خطای کرت فرعی (Y × T × V)	9	0.12 ns	0.07 ns	0.12 ns	0.27 ns	0.23 ns	0.25 ns	5256.51 ns	641.56 ns	3902.77 ns
خطای کرت فرعی (Sub plot error)	48	1.12	0.84	0.98	1.71	1.73	1.74	4888.83	3687.07	2433.85
CV (%)		9.22	8.81	9.07	6.05	8.5	6.31	4.76	9.72	3.9

** و *: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد. ns: غیر معنی دار.
** and *: significant at 1% and 5% levels, respectively; ns: non-significant.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر سرعت جذب خالص، دوام سطح برگ و عملکرد دانه گندم
Table 7- Mean comparison of the interaction effect of sowing date and cultivar on net assimilation rate, leaf area duration and grain yield of wheat

تاریخ کاشت Sowing date	رقم Cultivar	سرعت جذب خالص			دوام سطح برگ			عملکرد دانه		
		Net assimilation rate (TDW) (g m ⁻² . day ⁻¹)			Leaf area duration (LAD) (days)			Grain yield (kg. ha ⁻¹)		
		تابستانه	زمستانه	میانگین	تابستانه	زمستانه	میانگین	تابستانه	زمستانه	میانگین
۲۰ شهریور و ۲۵ دی September 11 and January 15	آینه Ayeeneh	9.05 h*	8.04 h	8.54 i	23.42 bc	21.99 bc	22.70 bc	1326.84 gh	1148.42 bc	1237.64 cd
	چمران-۲ Chamran-2	9.25 h	8.52 gh	8.88 hi	22.55 cde	21.01 cdef	21.78 cde	1312.09 h	1107.57 cde	1209.83 d
	سارنگ Sarang	9.52 gh	8.48 gh	9.00 ghi	24.40 ab	22.91 ab	23.65 ab	1403.04 efgh	1196.48 ab	1299.76 bc
۳۰ شهریور و ۳۰ دی September 21 and January 20	مه‌رگان Mehregan	10.08 efgh	9.32 efgh	9.94 efgh	20.94 efgh	19.44 fgh	20.23 efgh	1423.79 def	1024.97 fg	1226.15 d
	آینه Ayeeneh	11.74 cd	10.47 cde	11.10 cde	22.82 bcd	21.44 bcde	22.13 bcd	1341.11 fgh	1118.49 cd	1229.80 d
	چمران-۲ Chamran-2	12.12 cd	11.19 c	11.65 cd	22.23 cdef	20.71 cdefg	21.47 cdef	1356.01 fgh	1091.59 cdef	1223.80 d
۹ مهر و ۱۰ بهمن October 1 and January 30	سارنگ Sarang	11.83 cd	10.54 cd	11.19 cde	23.05 bcd	21.63 bcd	22.34 bcd	1391.01 efgh	1130.41 bcd	1260.72 cd
	مه‌رگان Mehregan	11.24 def	10.23 cdef	10.49 def	20.94 efgh	19.59 fgh	20.23 efgh	1500.37 cd	1031.99 efgh	1264.42 cd
	آینه Ayeeneh	10.72 defg	10.30 cdef	10.95 cde	21.06 efgh	19.29 fgh	19.93 fg	1593.76 b	1008.57 g	1301.17 bc
۱۹ مهر و ۱۵ بهمن October 11 and February 4	چمران-۲ Chamran-2	11.29 de	15.31 a	16.18 a	20.14 g	17.13 i	17.75 h	1631.10 b	902.33 h	1266.72 cd
	سارنگ Sarang	12.73 c	12.34 b	13.17 b	21.52 defg	19.13 gh	19.75 fg	1602.85 b	999.11 g	1300.99 bc
	مه‌رگان Mehregan	9.91 fgh	10.68 cd	11.14 cde	25.42 a	16.81 i	17.42 h	1787.97 a	885.67 h	1336.82 b
	آینه Ayeeneh	11.60 cd	9.62 defg	10.17 efgh	20.56 fg	19.77 efgh	20.42 efgh	1450.60 de	1033.13 efgh	1241.87 cd
	چمران-۲ Chamran-2	17.06 a	10.44 cde	10.86 cde	18.37 h	18.78 h	19.46 g	1417.92 defg	989.24 g	1203.58 d
	سارنگ Sarang	13.99 b	11.35 bc	12.04 bc	20.38 g	20.20 defgh	20.86 defg	1412.57 defg	1055.66 defg	1234.12 cd
	مه‌رگان Mehregan	11.60 cd	9.13 fgh	9.52 fghi	18.03 h	23.68 a	24.55 a	1567.78 bc	1248.41 a	1408.10 a

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشابه اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن، ۵٪).
* In each column, means with the same letter are not significantly different (Duncan's test, 5%).

تعیین عملکرد نهایی است و مدیریت تاریخ کاشت ابزاری برای بهینه‌سازی آن محسوب می‌شود (Richards et al., 2014). در مدل‌سازی رشد گیاه نشان دادند که افزایش دوام سطح برگ اغلب تأثیر مستقیم‌تری بر عملکرد نهایی نسبت به افزایش لحظه‌ای سرعت فتوسنتز دارد (Sinclair & Muchow, 2013).

عملکرد دانه: اثر اصلی تاریخ کاشت در کشت تابستانه در سطح یک درصد و در کشت زمستانه در سطح یک درصد، اثر اصلی رقم در هر دو کشت در سطح یک درصد و اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم فقط در کشت زمستانه در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). در میانگین دو کشت، بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم مهرگان در تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن (۱۴۰۸ کیلوگرم در هکتار) بود. پس از آن، رقم مهرگان در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن (۱۳۳۷ کیلوگرم در هکتار) و رقم سارنگ در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن (۱۳۰۱ کیلوگرم در هکتار) قرار گرفتند. کمترین عملکرد نیز مربوط به رقم چمران ۲ در تاریخ‌های کاشت ۲۰ شهریور و ۲۵ دی (۱۲۱۰ کیلوگرم در هکتار) و ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن (۱۲۰۴ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۷). عملکرد دانه نهایی، حاصل تعامل پیچیده تمام شاخص‌های رشدی مورد بررسی است. رقم مهرگان با وجود داشتن مقادیر متوسط یا حتی پایین برخی شاخص‌های فیزیولوژیک (مانند سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص)، اما با داشتن دوام سطح برگ بسیار بالا (۲۴/۵۵ روز) و شاخص سطح برگ (۴/۳۰) در ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن، موفق به تولید بیشترین عملکرد دانه شده است. این یافته بر اهمیت "دوام" و "پایداری" در شرایط تنش انتهایی فصل در مناطق گرم و خشک تأکید دارد. عملکرد نسبتاً پایین رقم چمران ۲ علی‌رغم برتری در برخی شاخص‌های فیزیولوژیک (مانند سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن، می‌تواند ناشی از کاهش شدید دوام سطح برگ (۱۷/۷۵) روز در ۹ مهر و ۱۰ بهمن) و شاخص سطح برگ (۳/۹۸) و احتمالاً تأثیر تنش گرمایی بر فرآیندهای زایشی مانند گرده‌افشانی و پُر شدن دانه باشد. رقم سارنگ نیز با وجود عملکرد قابل قبول در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن (۱۳۰۱ کیلوگرم در هکتار)، نتوانست به سطح عملکرد رقم مهرگان در تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن دست یابد. مطابق با نتایج این تحقیق، گزارش شده است که در مناطق گرمسیر، ارقام متحمل به خشکی و گرما (مانند مهرگان) در تاریخ‌های کاشت دیرتر

مطابق با یافته‌های تحقیق حاضر، گزارش شده است که ارقام مختلف گندم از نظر کارایی فتوسنتزی واکنش متفاوتی به تاریخ کاشت نشان می‌دهند (Acevedo, 2002). تأکید شده است که سرعت جذب خالص بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی مانند دما و نور در مقایسه با عوامل ژنتیکی می‌باشد (Hatfield & Prueger, 2015). همچنین نشان داده شده است که تنش گرمایی می‌تواند به شدت سرعت جذب خالص را با تأثیر بر آنزیم‌های کلیدی فتوسنتز کاهش دهد (Asseng et al., 2015). دریافتند که ارقام متحمل به گرما، توانایی حفظ سرعت جذب خالص بالاتری را در شرایط تنش انتهایی فصل دارند (Wahid et al., 2007).

دوام سطح برگ (LAD): اثر اصلی تاریخ کاشت، اثر اصلی رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم بر دوام سطح برگ در هر دو کشت تابستانه و زمستانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). در میانگین دو کشت، بیشترین دوام سطح برگ مربوط به رقم مهرگان در تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن (۲۴/۵۵ روز) بود. دومین دوام سطح برگ مربوط به رقم سارنگ در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور و ۲۵ دی (۲۳/۶۵ روز) بود. کمترین دوام سطح برگ نیز مربوط به رقم چمران ۲ در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن (۱۷/۷۵ روز) مشاهده شد (جدول ۷). دوام سطح برگ شاخصی از طول دوره فعالیت فتوسنتزی کل گیاه است. رقم مهرگان که برای شرایط دشوار (تنش آبی و شوری) انتخاب شده، توانسته است در تاریخ کاشت دیرتر (۹ مهر و ۱۵ بهمن) سطح برگ خود را برای مدت طولانی‌تری حفظ کند که می‌تواند یک مکانیزم تحمل برای جبران دوره رشد کوتاه‌تر در شرایط تنش باشد. رقم سارنگ نیز در تاریخ کاشت اولیه (۲۰ شهریور و ۲۵ دی) با فراهم آمدن یک دوره رشد طولانی و بدون تنش شدید، بیشترین دوام سطح برگ را نشان داد. کاهش شدید دوام سطح برگ در رقم چمران ۲ در تاریخ کاشت ۹ مهر و ۱۰ بهمن ممکن است نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این رقم به همزمانی مراحل حساس رشد با اوج تنش‌های دمایی در این تاریخ خاص و تسریع در پیری برگ‌ها باشد (Reynolds et al., 2012). نتایج این پژوهش مبنی بر تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت و رقم بر دوام سطح برگ با گزارش‌های متعددی هماهنگی دارد که کاهش دوام سطح برگ را با تأخیر در کاشت و افزایش تنش گرمایی مرتبط دانستند (Prasad et al., 2011). اعلام کردند که دوام سطح برگ یک شاخص کلیدی در

اغلب عملکرد پایدارتری دارند (Bahalkeh et al., 2021). یوسف و همکاران (Yusuf et al., 2019) نشان دادند که اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم بر عملکرد دانه بسیار معنی‌دار است و نمی‌توان یک توصیه کلی برای تاریخ کاشت ارائه داد. کاوا و همکاران (Kawa et al., 2021) تأکید کردند که در شرایط تغییر اقلیم و افزایش دما، انتخاب ارقام با پایداری عملکرد در تاریخ‌های کاشت مختلف یک اولویت است. رن و همکاران (Ren et al., 2019) نیز دریافتند که در فلات لس‌چین، تاریخ کاشت دیر هنگام‌تر برای ارقام خاصی منجر به استفاده کارآمدتر از آب ذخیره شده زمستانه و عملکرد بالاتر شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اجرای سیستم کشت متوالی گندم (تابستانه-زمستانه) در شرایط گرم و خشک امکان‌پذیر است، اما موفقیت و بهره‌وری آن به‌طور حیاتی وابسته به مدیریت هم‌زمان دو عامل ژنتیکی و زراعی، یعنی انتخاب رقم مناسب و تعیین تاریخ کاشت بهینه، برای کاهش اثرات تنش‌های دمایی است. نتایج به‌وضوح تمایز بین پتانسیل شاخص‌های فیزیولوژیک و پایداری عملکرد نهایی را آشکار کرد. اگرچه ارقامی مانند چمران ۲ و سارنگ

در برخی تاریخ‌های کاشت، شاخص‌های فیزیولوژیک با نرخ بالا (مانند سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص) را نشان دادند، اما به دلیل کاهش دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ و احتمالاً آسیب‌پذیری بیشتر در مراحل زایشی حساس، نتوانستند این مزیت را به برتری در عملکرد کل تبدیل کنند. در مقابل، رقم مهرگان که برای شرایط تنش‌آبی و شوری اصلاح شده است، با وجود مقادیر متوسط در برخی شاخص‌های رشدی، به‌ویژه با حفظ دوام سطح برگ بسیار بالا، موفق شد در تاریخ کاشت نسبتاً دیر (۱۹ مهر) به بیشترین عملکرد کل دست یابد. این یافته بر اهمیت کلیدی "پایداری و تحمل" در مواجهه با تنش گرمایی انتهایی فصل و نقش محوری دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ به‌عنوان شاخصی تعیین‌کننده در این شرایط تأکید می‌کند. به‌طور کلی، برای دستیابی به عملکرد اقتصادی و پایدار در سیستم کشت در مناطق گرمسیری مشابه شاوور-خوزستان، اولویت باید بر انتخاب ارقام متحمل و سازگار باشد که قادر به حفظ سطح سبز و فعالیت فتوسنتزی در طول دوره رشد، به‌ویژه در برابر دماهای پایان فصل هستند. در این میان، رقم مهرگان در تاریخ کاشت ۱۹ مهر و ۱۵ بهمن می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب معرفی شود.

References

1. Acevedo, E., Silva, P., & Silva, H. (2002). Wheat growth and physiology. *FAO Plant Production and Protection Series*, 30, 39-70.
2. 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., Aggarwal, P. K., Anothai, 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., Rezaei, E. E., Ruane, A. C., Semenov, M. A., Shcherbak, I., Stöckle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Wolf, J., Zhao, Z., & Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5(2), 143-147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
3. Climate Data. (2015). *Climate: Khuzestan*. <https://en.climate-data.org/asia/iran/khuzestan-2094/>
4. Bahalkeh, G., Biabani, A., Sabouri, H., & Fallahi, H. (2021). Effect of sowing date on grain yield and yield components of wheat cultivars under dryland condition. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(4), 574-583. <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2021.12.003>
5. FAO. (2022). *Wheat production in arid and semi-arid regions: Cultivar selection and management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/wheat-production>
6. Farooq, M., Hussain, M., & Siddique, K. H. M. (2014). Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 331-349. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>
7. Fischer, R. A. (2011). Wheat physiology: A review of recent developments. *Crop and Pasture Science*, 62(2), 95-114. <https://doi.org/10.1071/CP10344>
8. Hamzei, J., & Zarei, M. (2024). Evaluation of growth indices, yield performance and advantages in intercropping of wheat, soybean and corn. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 34(3), 1-18. (In Persian).

<https://doi.org/10.22034/saps.2023.54328.2953>

9. Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4-10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
10. Hunt, R. (1978). *Plant growth analysis*. CABI Databases, 67pp. U.K.
11. Jafari, A., Rahnema, A., & Lorzadeh, S. (2021). Evaluation effective traits on crop production of bread wheat under warm and dry climate condition (Khuzestan province, southwest of Iran). *Journal of Crop Nutrition Science*, 7(4), 46-58. (In Persian). <https://oicpress.com/jcns/article/view/5959>
12. Javahari, M. (2022). Identification and introduction of new bread wheat cultivars to replace old cultivars in warm regions of Kerman province. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 4 (1): 87-95. (In Persian).
13. Kawa, A.A., Amin, S.M., & Abdullah, R.A. (2021). Late sowing date influence on wheat and triticale crop yields as a drought management tool. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(5), 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.04.002>
14. Koocheki, A., & Sarmadnia, G. H. (2013). *Physiology of Crop Plants* (F. P. Gardner, R. B. Pearce, & R. L. Mitchell, Authors). Jihad Daneshgahi Press, Mashhad Branch, 400 pp. (In Persian).
15. Li, L., Guan, X., Wen, P., & Wang, T. (2026). Advancement and challenges of wheat-maize double cropping system in China. *Crop and Environment*, 5(3), 100131. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2026.100131>
16. Liu, B., Asseng, S., Müller, C., Ewert, F., Elliott, J., Lobell, D. B., Martre, P., Ruane, A. C., Wallach, D., Jones, J. W., Rosenzweig, C., Aggarwal, P. K., Alderman, P. D., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Cammarano, D., Challinor, A., Deryng, D., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Folberth, C., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L. A., Izaurralde, R. C., Jabloun, M., Jones, C. D., Kersebaum, K. C., Kimball, B. A., Koehler, A.-K., Kumar, S. N., Nendel, C., O'Leary, G. J., Olesen, J. E., Ottman, M. J., Palosuo, T., Prasad, P. V. V., Priesack, E., Pugh, T. A. M., Reynolds, M., Rezaei, E. E., Rötter, R. P., Schmid, E., Semenov, M. A., Shcherbak, I., Stehfest, E., Stöckle, C. O., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P., Waha, K., Wall, G. W., Wang, E., White, J. W., Wolf, J., Zhao, Z., & Zhu, Y. (2016). Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods. *Nature Climate Change*, 6(12), 1130-1136. <https://doi.org/10.1038/nclimate3115>
17. Prasad, P. V. V., Pisipati, S. R., Momčilović, I., & Ristic, Z. (2011). Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(6), 430-441. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00477.x>
18. Radford, P. J. (1967). Growth analysis formulae – their use and abuse. *Crop Science*, 7(3), 171-175. <https://doi.org/10.2135/cropsci1967.0011183X000700030001x>
19. Rahmati, H., & Nakhzari Moghadam, A. (2023). Evaluation of agronomic and physiological characteristics of durum wheat cultivars under rainfed and supplementary irrigation conditions. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 2(4), 446-467. (In Persian). <https://doi.org/10.22126/cbb.2024.10445.1068>
20. Ren, A., Sun, M., Wang, P., Xue, L., Lei, M., Xue, J., & Yang, Z. (2019). Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1), 33-42. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61980-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61980-X)
21. Reynolds, M. P., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A. J., Snape, J. W., & Angus, W. J. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant, Cell & Environment*, 35(10), 1799-1823. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02588.x>
22. Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Watt, M., Condon, A. G., Spielmeyer, W., & Dolferus, R. (2014). Breeding for improved water productivity in temperate cereals: Phenotyping, quantitative trait loci, markers and the selection environment. *Functional Plant Biology*, 41(2), 135-148. <https://doi.org/10.1071/FP09219>
23. Sadras, V. O., & Calderini, D. F. (2015). *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy* (2nd ed.). Academic Press. 564 pages
24. Sinclair, T. R., & Muchow, R. C. (2013). Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, 65, 215-265. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60914-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60914-1)
25. Slafer, G. A., & Rawson, H. M. (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologists and modellers. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21(4), 393-426. <https://doi.org/10.1071/PP9940393>

26. Thakur, P., Kumar, S., Malik, J. A., Berger, J. D., & Nayyar, H. (2010). Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67(3), 429-443. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.09.004>
27. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>
28. Yusuf, M., Kumar, S., Dhaka, A., Singh, B., & Bhuker, A. (2019). Effect of sowing dates and varieties on yield and quality performance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Science Digest - A Research Journal*, 39(4): 306-310. <https://doi.org/10.18805/ag.D-4977>