

Original article

The effect of wheat seed priming treatments on physiological characteristics, yield and radiation use efficiency under rainfed conditions

Firouzeh Sharifi Kalyani¹, Adel Siosemardeh^{2*}, Farzad Hosseinpanahi³, Saied Jalali-Honarmand⁴, Muhammad Farooq⁵

1. PhD. Graduate of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

4. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

5. Professor, Department of Plant Sciences, Agricultural and Marine Sciences, Sultan Qaboos University, Al-Khoud, Oman

Received 28 January 2025; Revised: 18 March 2025; Accepted 23 March 2025

Extended abstract

Introduction

Approximately 40% of agricultural land is located in dryland regions, and dryland agriculture plays a key role in providing food worldwide. Enhancing the productivity of dryland agricultural systems is a significant challenge for ensuring food security, particularly in light of reduced rainfall attributed to climate change. Given the rising population and the limitations on expanding arable land, the main way to increase crop productivity is through effective management techniques. Among various strategies to improve plant yield is seed priming, which is a cost-effective, efficient, and practical method that carries minimal risk. Vitaspirin is utilized as a therapeutic agent to alleviate stress in livestock and poultry. This study aimed to explore the impact of seed priming with Vitaspirin and other substances on various aspects of dryland wheat.

Materials and methods

The study was conducted utilizing a randomized complete block design in three cropping seasons: 2017-18, 2018-19, and 2019-20. Wheat seeds were primed in solutions of urea (2%), zinc sulfate (0.6 %), potassium chloride (1%), calcium chloride (1.4 %), vitaspirin (0.1 %) and cytokinin (0.005 %). Seeds soaked in water (hydropriming) and unprimed seed were used as controls. During the seed priming process, 4.5 kg of Azar 2 seeds were aerated for 10 h at 16-18 °C using 22.5 liters of each solution (ratio 1:5). The seeds underwent dried in air prior to their planting in the field.

Results and discussion

In this experiment, seed priming with calcium chloride and urea resulted in the highest grain yield during the 2018–2019 cropping season. Seed priming with calcium chloride during the 2018–2019 cropping season had the maximum chlorophyll and proline concentration in the leaves. Also, the concentration of carbohydrates in leaves was significantly increased by hydropriming, seed priming with Vitaspirin, urea, and calcium chloride. In this study, plant height and stem internodes (extrusion length, peduncle length, penultimate length) were simultaneously increased by seed priming with Vitaspirin,

* Corresponding author: Adel Siosemardeh; E-Mail: a33@uok.ac.ir



urea, calcium chloride, and hydropriming. Seed priming with calcium chloride and urea in the 2018–2019 cropping season significantly boosted LAI_{max} and CGR_{max} and decreased the time needed to reach LAI_{max} and CGR_{max} . In the 2018–2019 cropping season, seed priming with zinc sulfate had the maximum dry matter and RUE. Seed priming with zinc sulfate during the 2018–2019 cropping season emerged as one of the most effective treatments for enhancing grain yield in this study. Seed priming with urea in the 2018–2019 cropping season came in second place in terms of RUE and grain yield. Results showed that urea priming emerged as a superior treatment, enhancing not only grain yield but also yielding a more favorable benefit-to-cost ratio. The easy accessibility and relatively non-toxic nature of urea make it a promising treatment for on-farm adaptation, offering a practical option for farmers.

Conclusion

Primed seeds emerge more quickly and become established in the field. As a result of the 2019–2020 crop season's lower rainfall, seedlings derived from primed seeds experienced subject to reduced available moisture earlier than seedlings derived from non-primed seeds. This led to the death of the seedling, a reduction in the number of tillers and spikes, and finally a drop in grain yield. This showed how important the initial growing conditions were for the effectiveness of priming treatments. In general, in the 2018–2019 cropping season, when the amount of rainfall was higher compared to the other two cropping seasons, the effect of seed priming on improving grain yield was also higher. It can be argued that, under rainfed conditions, seed priming enhances grain yield primarily during growing seasons with higher rainfall. Consequently, the effectiveness of seed priming in boosting grain yield diminishes as rainfall decreases, a finding that warrants further and more rigorous investigation.

Keywords: Calcium chloride, Chlorophyll, Humidity reduction, Leaf area index, Peduncle length

تأثیر تیمارهای پرایم بذر گندم بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف نور در شرایط دیم

فیروزه شریفی کالیانی^۱، عادل سی و سه مرده^{۲*}، فرزاد حسین پناهی^۳، سعید جلالی هنرمند^۴، محمد فاروق^۵

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۴. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۵. استاد، گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی و علوم دریایی، دانشگاه سلطان قابوس، الخود، عمان

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	ویتاسپرین، به‌عنوان یک دارو ضد استرس برای دام و طیور استفاده می‌شود. در این مطالعه، هدف ما بررسی تأثیر تیمارهای مختلف پرایم بذر بر جنبه‌های مختلف گندم دیم بود. این مطالعه با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه فصل زراعی (۹۹-۱۳۹۶) انجام شد. دانه‌های گندم با استفاده از اوره (۲ درصد)، سولفات روی (۰/۶ درصد)، کلرید پتاسیم (۱ درصد)، کلرید کلسیم (۱/۴ درصد)، ویتاسپرین (۰/۱ درصد)، سیتوکینین (۰/۰۰۵ درصد) و خیساندن در آب (هیدرو پرایم) پرایم شدند. همچنین دانه‌های پرایم نشده به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ پرایم بذر با کلرید کلسیم و اوره با افزایش غلظت کلروفیل، پروکلین و کربوهیدرات‌ها در برگ، طول میان‌گره‌های ساقه، حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر سرعت رشد محصول و کارایی مصرف نور، بیش‌ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در همه سطوح تیمار پرایم بذر، عملکرد دانه در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ بیش‌ترین و در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ کم‌ترین میزان را داشت که این امر احتمالاً به دلیل کاهش دما در پاییز و زمستان و همچنین کاهش میزان و پراکنش نامناسب بارش در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر بود. در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، نهال‌هایی که از دانه‌های پرایم شده حاصل شدند در مقایسه با نهال‌های حاصل از بذور شاهد، سریع‌تر در معرض کاهش رطوبت در دسترس بذور جهت ادامه روند رشد قرار گرفتند که این امر در نهایت منجر به مرگ نهال، کاهش تعداد سنبله و کاهش عملکرد دانه شد. این امر بر اهمیت شرایط رشد اولیه در کارایی تیمار پرایم بذر تأکید کرد. همچنین یافته‌ها نشان داد که پرایم بذور با اوره از نظر نسبت سود به هزینه، در مقایسه با سایر ترکیبات تیمار موفق‌تری بود؛ بنابراین به دلیل دسترسی راحت و غیرسمی بودن نسبی اوره، این تیمار جهت پرایم بذر و استفاده در مزرعه به کشاورزان توصیه می‌گردد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۳	
تاریخ انتشار:	
پائیز ۱۴۰۵	
۴۶۳-۴۴۵: (۳) ۱۹	

مقدمه

اساسی دارند و گندم ۲۲ درصد از سطح زیر کشت غلات را به خود اختصاص داده است (Pavia et al., 2019). یکی از چالش‌های عمده در زمینه تولید محصول، استقرار مناسب گیاهچه است (Chivas et al., 1998). پرایم بذر به‌عنوان یک تیمار پیش از کاشت بذر با ایجاد شرایط فیزیولوژیکی مناسب، جوانه‌زنی موثرتر بذر را تسهیل می‌کند (Farooq et al., 2019). در فرآیند پرایم بذر، به دانه‌ها اجازه داده می‌شود

تقریباً ۴۰ درصد از زمین‌های کشاورزی در مناطق دیم واقع شده‌اند و در سراسر جهان کشاورزی دیم نقش کلیدی در تأمین غذا ایفا می‌کند (Ding et al., 2021). با توجه به کاهش بارندگی ناشی از تغییرات اقلیمی، افزایش بهره‌وری سیستم‌های کشاورزی دیم چالش مهمی برای تضمین امنیت غذایی محسوب می‌شود (Ding et al., 2021). غلات به‌عنوان یک منبع غذایی حیاتی در سرتاسر جهان، نقش

تأثیر مثبت پرایم بذر با ویتاسپرین بر بهبود عملکرد دانه گندم دیم ثابت شده است (Sharifi Kalyani et al., 2023a). این در حالی است که در این مطالعه، فرض ما بر این بوده است که پرایم بذر می‌تواند اثرات مفیدی بر استقرار بهتر و سریع‌تر گیاهچه در مزرعه داشته و از طریق بهبود خصوصیات فیزیولوژیک، طول میان‌گره‌های ساقه، شاخص‌های رشد و کارایی استفاده از نور، عملکرد دانه گندم را بهبود بخشد.

مواد و روش‌ها

محل آزمایش

این آزمایش در سه فصل زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام شد. مختصات جغرافیایی مزرعه، ۳۵/۱۸ درجه شمالی و ۴۷/۱۸ درجه شرقی است. مزرعه در ۳۵ کیلومتری شرق شهر سنندج قرار دارد و در ارتفاع ۱۸۶۶ متری از سطح دریا واقع شده است. آب و هوای این منطقه مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک است و میانگین بارندگی سالانه ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین شکل ۱ میزان بارندگی و میانگین دمای ثبت شده در سه فصل زراعی مورد بررسی را نشان می‌دهد.

که رطوبت را به اندازه‌ای که برای شروع جوانه‌زنی لازم است جذب کنند اما از رشد ریشه‌چه جلوگیری می‌شود (Farooq et al., 2020). در واقع پرایم بذر یک رویکرد متداول برای کوتاه کردن فاصله بین کاشت بذر و سبز شدن گیاهچه و یکنواختی در سبز شدن توده گیاهی در مزرعه است (Choudhary et al., 2021). نتایج آزمایش سینگهال و همکاران (Singhal et al., 2019) نشان داد که بذرهای هیدروپرایم شده به مدت ۱۲ ساعت در مقایسه با بذور شاهد استقرار سریع‌تری در مزرعه داشتند و از پنجه‌زنی و عملکرد دانه بیش‌تری برخوردار بودند. در پژوهش حسیان و همکاران (Hussian et al., 2013) نیز پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم به مدت ۱۲ ساعت، استقرار گیاهچه، سرعت رشد محصول، تعداد پنجه بارور، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه را افزایش داد. همچنین گزارش شده است که پرایم بذر با عناصر ریز مغذی، به ویژه آهن و روی، منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در گندم می‌گردد (Reis et al., 2018). همچنین پرایم بذر باعث بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی مانند سطح برگ و غلظت کلروفیل در گیاه می‌شود (Farooq et al., 2021).

در آزمایش حاضر، اثر ویتاسپرین (دارو برای کاهش استرس در دام و طیور) بر جنبه‌های مختلف گندم دیم بررسی شده است. در هر گرم از ویتاسپرین ۲۰۰ میلی‌گرم اسید اسکوربیک و ۲۵۰ میلی‌گرم اسید سالیسیلیک وجود دارد.

جدول ۱. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری.

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the test site at a 0-30 cm depth.

سال	کربن آلی	سیلت	شن	رس	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
Year	Organic carbon	Silt	Sand	Clay	N	P	K
			%			mg kg ⁻¹	
میانگین سه فصل زراعی (۹۹-۱۳۹۶)	0.81	36.62	12.77	50.61	0.08	10.63	341
Average of three cropping seasons (2017-2020)							

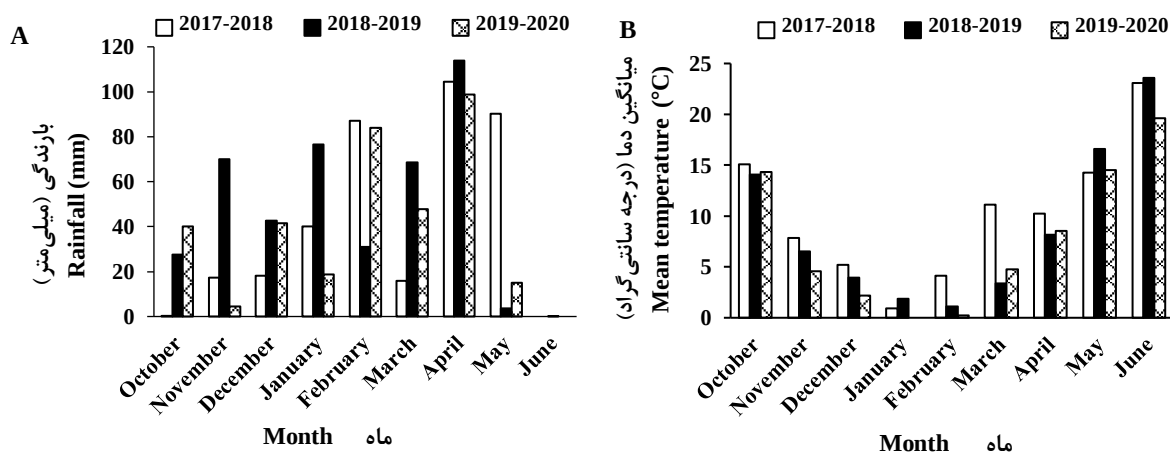
کامل تصادفی با استفاده از تیمار پرایم بذر در سه تکرار بر روی بذور گندم دیم رقم آذر ۲ انجام شد. رقم آذر ۲ از تلاقی دو رقم اینیا و سرداری (سفید) به‌دست آمده است و نسبت به ورس، خشکی، ریزش دانه و سرما مقاوم است (Keshavarz et al., 2016). همچنین رقم آذر ۲ در مقایسه با رقم سرداری زودرس‌تر بوده و عملکرد آن نیز بالاتر می‌باشد (Keshavarz et al., 2016). بذور مورد استفاده در این آزمایش از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان

طرح آزمایشی و تیمارها

آماده‌سازی بستر کشت شامل استفاده از گاواهن برای شخم خاک مزرعه و به‌دنبال آن شکستن کلوخه با استفاده از دیسک و تسطیح خاک بود که در هر سه فصل زراعی در فصل پاییز انجام شد. قبل از کاشت و بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل به خاک اضافه شد. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های

۰/۰۵ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، خیساندن در آب (هیدروپرایم) و شاهد (عدم کاربرد تیمار پرایم) بود. طی فرآیند پرایم بذر، ۴/۵ کیلوگرم بذر آذر ۲ به مدت ۱۰ ساعت در دمای ۱۸-۱۶ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ۲۲/۵ لیتر از هر یک از محلول‌های ذکر شده (نسبت ۱ به ۵) تحت هوادهی قرار گرفت (Harris, 2006). بذرهای قبل از کاشت در مزرعه در هوای آزاد خشک شدند.

تهیه شد. سطوح تیماری شامل پرایم بذر با اوره با غلظت ۲ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، سولفات روی با غلظت ۰/۶ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، کلرید پتاسیم با غلظت ۱ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، کلرید کلسیم با غلظت ۱/۴ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، ویتاسپرین با غلظت ۰/۱ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، سیتوکینین با غلظت



شکل ۱. تغییرات بارندگی و میانگین دما در فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷، ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹.

Fig. 1. Changes of rainfall and mean temperature in 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons.

نمونه‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده و با استفاده از نیتروژن مایع منجمد شدند، در ادامه نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و تا شروع آزمایش در یخچال با دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

محاسبه شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و کارایی مصرف نور

به منظور محاسبه شاخص سطح برگ (LAI)^۱ و سرعت رشد محصول (CGR)^۲، وزن خشک و سطح برگ در مراحل مختلف رشد از جمله ساقه‌دهی (کد ۳۱ زادوکس)، آبستنی (کد ۴۹ زادوکس)، سنبله‌دهی (کد ۵۹ زادوکس)، شیری شدن دانه (کد ۷۹ زادوکس)، خمیری شدن دانه (کد ۸۷ زادوکس) و رسیدگی کامل (کد ۹۳ زادوکس) اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل LTD ساخت کمپانی DELTA-T انگلستان اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه کارایی مصرف نور (RUE)^۳ در ابتدا مقدار تابش روزانه محل آزمایش ارزیابی شد (Hosseinpanahi et al.,

هر واحد آزمایشی شامل ۱۹ ردیف به فاصله ۱۵ سانتی‌متر و طول ۶ متر بود. بذرهای تراکم ۳۵۰ بذر در متر مربع کاشته شدند. در هر سه فصل زراعی، در اوایل فروردین ماه علف‌های هرز پهن برگ به روش وجین دستی کنترل شدند. تاریخ‌های کاشت گندم ۱۳ آبان ۱۳۹۶، ۴ آبان ۱۳۹۷ و ۳۰ مهر ۱۳۹۸ بود. همچنین در سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ برداشت گندم به ترتیب در ۲۱ تیر، ۱۸ تیر و ۹ تیر صورت گرفت.

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیک

در مرحله سنبله‌دهی (کد ۵۹ زادوکس)، از برگ‌های پرچم به منظور تعیین میزان غلظت کلروفیل در برگ با استفاده از روش لیچتندالر و همکاران (Lichtenthaler et al., 2001)، غلظت کربوهیدرات‌های محلول با استفاده از روش یم و ویلیس (Yemm and Willis, 1954)، غلظت پروتئین‌های محلول در برگ با استفاده از روش برادفورد (Bradford, 1976) و غلظت پرولین در برگ با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) نمونه‌برداری شد. سپس

³. Radiation Use Efficiency

¹. Leaf Area Index

². Crop Growth Rate

سرعت رشد محصول (CGR) با محاسبه میزان ماده خشک تولید شده در هر مترمربع در هر روز (معادله ۴) مشخص شد (Parsons and Hunt, 1981).

$$CGR = \frac{1}{GA} \times \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad [۴]$$

در معادله (۴)، GA: مساحت نمونه‌برداری شده (m^2)، W_1 و W_2 : وزن ماده خشک به ترتیب در زمان‌های t_1 و t_2 می‌باشند.

اندازه‌گیری طول میان‌گره‌های ساقه

طول اکستراژن، طول پدانکل و طول پنالتی‌میت به ترتیب بیانگر فاصله انتهایی سنبله تا برگ پرچم، فاصله انتهایی سنبله تا اولین گره ساقه و فاصله گره اول تا گره دوم در ساقه بودند.

محاسبه عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی

برای ارزیابی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی، در مرحله رسیدگی کامل (کد ۹۳ زادوکس)، 1×1 متر از هر واحد آزمایشی برداشت شد.

تحلیل اقتصادی

تحلیل اقتصادی به‌عنوان نسبت سود خالص به هزینه کل محاسبه شد. میزان اوره، سولفات روی، کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم، ویتاسپرین و سیتوکینین در این مطالعه به ترتیب ۱۶/۸، ۵/۰۴، ۸/۴، ۱۱/۷۶، ۰/۸۴ و ۰/۴۲ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین هزینه ترکیبات نام‌برده در هکتار به ترتیب ۲/۵، ۶، ۱۱، ۴۰، ۷ و ۹ دلار آمریکا در هکتار بود. هزینه‌های مربوط به تولید شامل اجاره زمین، تهیه بذر، آماده‌سازی بستر بذر، کاشت، مدیریت علف‌های هرز، آبیاری، استفاده از کود و برداشت بود. سود خالص با کسر کل هزینه‌ها از سود مرتبط با هر تیمار تعیین شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

از آزمون بارتلت برای ارزیابی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در سه فصل زراعی (۹۹-۱۳۹۶) استفاده شد (جدول ۲) و به دلیل همگن بودن واریانس‌های خطای آزمایشی در فصول زراعی مختلف، داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب آنالیز

(2010). تشعشعات جذب شده روزانه (با استفاده از معادله ۱)، به دنبال تعدیل مقادیر تابش روزانه بر اساس تعداد ساعات آفتابی به‌دست‌آمده از داده‌های ایستگاه هواشناسی محاسبه شد (Tsubo et al., 2005).

$$PARabs = PARo \times (1-p) \times (1 - \exp(-Kc \times LAIc)) \quad [۱]$$

در معادله (۱)، PARabs: تشعشع جذب شده توسط تاج پوشش ($MJ m^{-2}$)، PARo: تشعشع در بالای تاج پوشش ($MJ m^{-2}$)، p: ضریب انعکاس گندم (Hosseinpanahi et al., 2011)، Kc: ضریب خاموشی گندم (Spitters, 1990) و LAIc: شاخص سطح برگ گندم بود.

شاخص سطح برگ روزانه نیز با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد (Hosseinpanahi et al., 2010).

$$LAI = \frac{a + b \times 4 \times \exp(-(x - c)/d)}{(1 + \exp(-(x - c)/d))^2} \quad [۲]$$

در معادله (۲)، عرض از مبدا، حداکثر شاخص سطح برگ، روز رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، زمان شروع مرحله رشد خطی و روزهای پس از سبز شدن به ترتیب با متغیرهای a، b، c، d و x نشان داده شده است.

تابش جذب شده در هر مرحله، از تابش ورودی شبیه‌سازی شده $\times$ درصد تابش جذب شده به دست آمد. مقدار کل تشعشع جذب شده به‌صورت تجمعی از طریق حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده نسبت به زمان محاسبه شد (Hosseinpanahi et al., 2011).

برآورد ماده خشک تجمعی روزانه در طول فصل رشد با استفاده از معادله ۳ صورت گرفت:

$$TDM = \frac{a}{(1 + \exp(-b \times (x - c)))} \quad [۳]$$

در معادله (۳)، TDM: تجمع ماده خشک ($g m^{-2}$)، a: حداکثر تجمع ماده خشک ($g m^{-2}$)، b: سرعت رشد نسبی ($g g^{-1} day^{-1}$)، c: زمانی که تجمع ماده خشک وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان بر حسب روز پس از سبز شدن است (Eskandari et al., 2015).

برای محاسبه کارایی مصرف نور ($g MJ^{-1}$)، شیب خط رگرسیون بین ماده خشک ($g m^{-2}$) و مقدار تشعشع فعال تجمعی ($MJ m^{-2}$) محاسبه شد (Hosseinpanahi et al., 2011).

فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸ بیشترین و در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹ کمترین میزان را داشتند. میزان بارندگی در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹ نسبت به فصلهای زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ به ترتیب ۶ و ۱۹ درصد کاهش یافت (شکل ۱A). در واقع این چنین می توان اظهار داشت که کاهش میزان بارندگی منجر به کاهش عملکرد دانه شده است. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایشهای شریفی کالیانی و همکاران (Sharifi Kalyani et al., 2023a; Sharifi Kalyani et al., 2023b) مطابقت داشت. در این آزمایش، بالاترین میزان عملکرد دانه در پرایم بذر با کلرید کلسیم و اوره در فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸ مشاهده شد (شکل ۲A).

شدند. همچنین مقایسات میانگین با استفاده از روش LSD^۱ در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای محاسبه ضرایب همبستگی از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر پرایم بذر بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم دیم نتایج تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثرات متقابل سال × تیمار پرایم بر میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی دار بود (جدول ۳). در همه سطوح تیمار پرایم بذر، عملکرد دانه (شکل ۲A) و عملکرد بیولوژیکی (شکل ۲B) در

جدول ۲. نتایج آزمون بارتلت برای ارزیابی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در فصلهای زراعی ۱۳۹۶-۹۷، ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹.

Table 2. Results of bartlett's test for assessing the homogeneity of variance of experimental errors in 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons.

Traits	صفات	Chi-Square	Pr>Chi Sq
Biological yield	عملکرد بیولوژیک	10.1625	0.0062
yield Grain	عملکرد دانه	47.6030	<0.0001
chlorophyll	کلروفیل	0.4935	0.7814
Soluble protein	پروتئین محلول	12.1779	0.0023
Soluble proline	پروлін محلول	0.4130	0.8134
Soluble carbohydrates	کربوهیدراتهای محلول	0.1657	0.9205
Plant height	ارتفاع گیاه	3.3689	0.1855
Extrusion length	طول اکستراژن	1.0178	0.6012
Peduncle length	طول پدانکل	0.8687	0.6477
Penultimate length	طول پنالتی میت	1.1536	0.5617
Maximum leaf area index	شاخص سطح برگ بیشینه	15.1050	0.0005
Day of maximum leaf area index	روز شاخص سطح برگ بیشینه	5.5225	0.0632
Maximum crop growth rate	سرعت رشد محصول بیشینه	0.2584	0.8788
Day of maximum crop growth rate	روز سرعت رشد محصول بیشینه	8.0337	0.0180
Radiation use efficiency	کارایی مصرف نور	2.0303	0.3623

پرایم بذر با کلرید کلسیم (۱/۲۵- مگاپاسکال) به مدت ۱۲ ساعت به طور قابل توجهی طول سنبله، تعداد سنبله در سنبله و عملکرد دانه را بهبود بخشیده است. یونهای کلسیم به عنوان یک پیام رسان ثانویه در گیاه عمل کرده و پیام تنش را منتقل می کنند (Hussian et al., 2013). افزایش کلسیم

در مطالعه حسیان و همکاران (Hussian et al., 2013)، پرایم بذر با کلرید کلسیم با غلظت ۱/۲ درصد به مدت ۱۲ ساعت باعث بهبود قابل توجه سطح برگ، سرعت رشد محصول، طول سنبله و عملکرد دانه در گندم شد. همچنین نواز و همکاران (Nawaz et al., 2016) گزارش کردند که

¹. Least Significant Difference

با نهال‌های حاصل از بذور شاهد، سریع‌تر در معرض کاهش رطوبت در دسترس جهت ادامه روند رشد قرار گرفتند که این امر در نهایت منجر به مرگ نهال، کاهش تعداد سنبله و کاهش عملکرد دانه شد (شکل ۲A). این امر بر اهمیت شرایط رشد اولیه در کارایی تیمار پرایم بذور تأکید کرد (Sharifi Kalyani et al., 2023a). بر اساس یافته‌های این مطالعه، اثر بخشی تیمار پرایم بذور در کشاورزی دیم وابسته به میزان بارندگی است. با کاهش میزان بارندگی اثرات مثبت پرایم بذور بر عملکرد دانه گندم کاهش می‌یابد و حتی ممکن است که اثر منفی نیز بگذارد (Sharifi Kalyani et al., 2023a).

تأثیر پرایم بذور بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن بود که غلظت کلروفیل و پرولین در برگ تحت تأثیر اثرات متقابل سال $\times$ تیمار پرایم قرار گرفت (جدول ۳). حداکثر غلظت کلروفیل (شکل ۲C) و پرولین (شکل ۲D) در پرایم بذور با کلرید کلسیم در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ مشاهده شد. همچنین بالاترین میزان عملکرد دانه در پرایم بذور با کلرید کلسیم در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌دست آمد (شکل ۲A). زهرا و همکاران (Zahra et al., 2020) گزارش کردند که پرایم بذور گندم با کلرید کلسیم (۱/۲۵- مگاپاسکال) و همچنین هیدروپرایم بذور به مدت ۲۴ ساعت به‌طور قابل توجهی محتوای کلروفیل در برگ گندم را بهبود بخشید. همچنین نتایج آزمایش خان و همکاران (Khan et al., 2021) نشان داد که پرایم بذور گندم با کلرید کلسیم (۵۰ میلی‌مولار) به مدت ۱۲ ساعت تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل در برگ داشت. در مطالعه‌ی تبسم و همکاران (Tabassum et al., 2018) نیز یافته‌ها بیانگر آن بود که هیدروپرایم و پرایم بذور گندم با کلرید کلسیم (۱/۵ درصد) به مدت ۱۲ ساعت باعث افزایش تولید و تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین در برگ شد.

در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷، عملکرد دانه همبستگی مثبتی با غلظت کلروفیل و پرولین در برگ داشت اما این همبستگی در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ منفی بود (جدول ۵). در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، غلظت کلروفیل (شکل ۲C) و پرولین (شکل ۲D) در برگ گیاهان رشد یافته از بذور پرایم شده در مقایسه با گیاهان شاهد بیش‌تر بود اما بیش‌ترین عملکرد دانه در گیاهان شاهد به‌دست آمد (شکل ۲A). عملکرد دانه بالا در گیاهان شاهد احتمالاً به این دلیل بود که تعداد سنبله بالاتری در مقایسه با گیاهان حاصل از

سیتوزولی در شرایط تنش، مسیرهای سیگنال‌دهی را فعال می‌کند که باعث واکنش سلولی مناسب به موقعیت‌های تنش‌زا می‌گردد (Yari et al., 2011). در این آزمایش، پرایم بذور با ویتاسپرین به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه را در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ افزایش داد (شکل ۲A). اثرات مثبت ویتاسپرین بر عملکرد دانه احتمالاً به دلیل وجود اسید سالیسیلیک و اسید اسکوربیک در فرمولاسیون آن است، زیرا پرایم بذور با اسید سالیسیلیک در گندم از طریق افزایش سرعت و طول پر شدن دانه باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Rajabi Khamseh et al., 2013). همچنین جاتانا و همکاران (Jatana et al., 2020) نشان دادند که تیمار بذور با اسید سالیسیلیک با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۱۲ ساعت به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه گندم را افزایش داده است. این بهبود به افزایش تعداد پنجه، شاخص سطح برگ و وزن هزار دانه نسبت داده شد. از طرف دیگر، اسید اسکوربیک با تغییر در چرخه سلولی، تقویت تقسیم سلولی و انبساط و توسعه طولی دیواره سلولی منجر به افزایش رشد، بهبود کارایی فتوسنتزی و افزایش عملکرد در گیاه می‌شود (Hassan et al., 2021). خان و همکاران (Khan et al., 2011) دریافتند که پرایم بذور گندم با اسید اسکوربیک (۲۰ پی‌پی‌ام)، اسید سالیسیلیک (۲۰ پی‌پی‌ام) و اسید جیبرلیک (۲۰ پی‌پی‌ام) به مدت ۴۸ ساعت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد، در حالی که اسید اسکوربیک مطلوب‌ترین اثر را بر روی جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و عملکرد دانه دارد. پرایم بذور اثرات مثبتی بر بهبود عملکرد دانه در دو فصل زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ داشت و این اثرات مثبت در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ قوی‌تر از سال ۹۷-۱۳۹۶ بود. در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، عملکرد دانه در همه سطوح تیمار پرایم بذور به‌طور قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۲A). کاهش میزان بارندگی در مقایسه با دو فصل زراعی ماقبل، نوسان در توزیع و پراکنش بارندگی (شکل ۱A) و دمای پایین پاییز و زمستان (شکل ۱B) احتمالاً دلایل اثرات منفی تیمار پرایم بذور بر عملکرد دانه در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بوده است. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش شریفی کالیانی و همکاران (Sharifi Kalyani et al., 2023a) مطابقت داشت. بذورهای پرایم شده سریع‌تر و یکنواخت‌تر جوانه می‌زنند و تاج پوشش با سرعت بیش‌تری بسته می‌شود (Farooq et al., 2006). بنابراین در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، نهال‌هایی که از دانه‌های پرایم شده حاصل شدند در مقایسه

بذور پرایم شده داشتند (Sharifi Kalyani et al., 2023a). شاهد در مزرعه مستقر و در معرض کاهش رطوبت در دسترس جهت ادامه روند رشد قرار می‌گیرند کاهش می‌یابد (Sharifi Kalyani et al., 2023a). گیاه گندم دیم، تعداد سنبله در گیاهان رشد یافته از بذور پرایم شده به دلیل اینکه زودتر از گیاهان رشد یافته از بذور

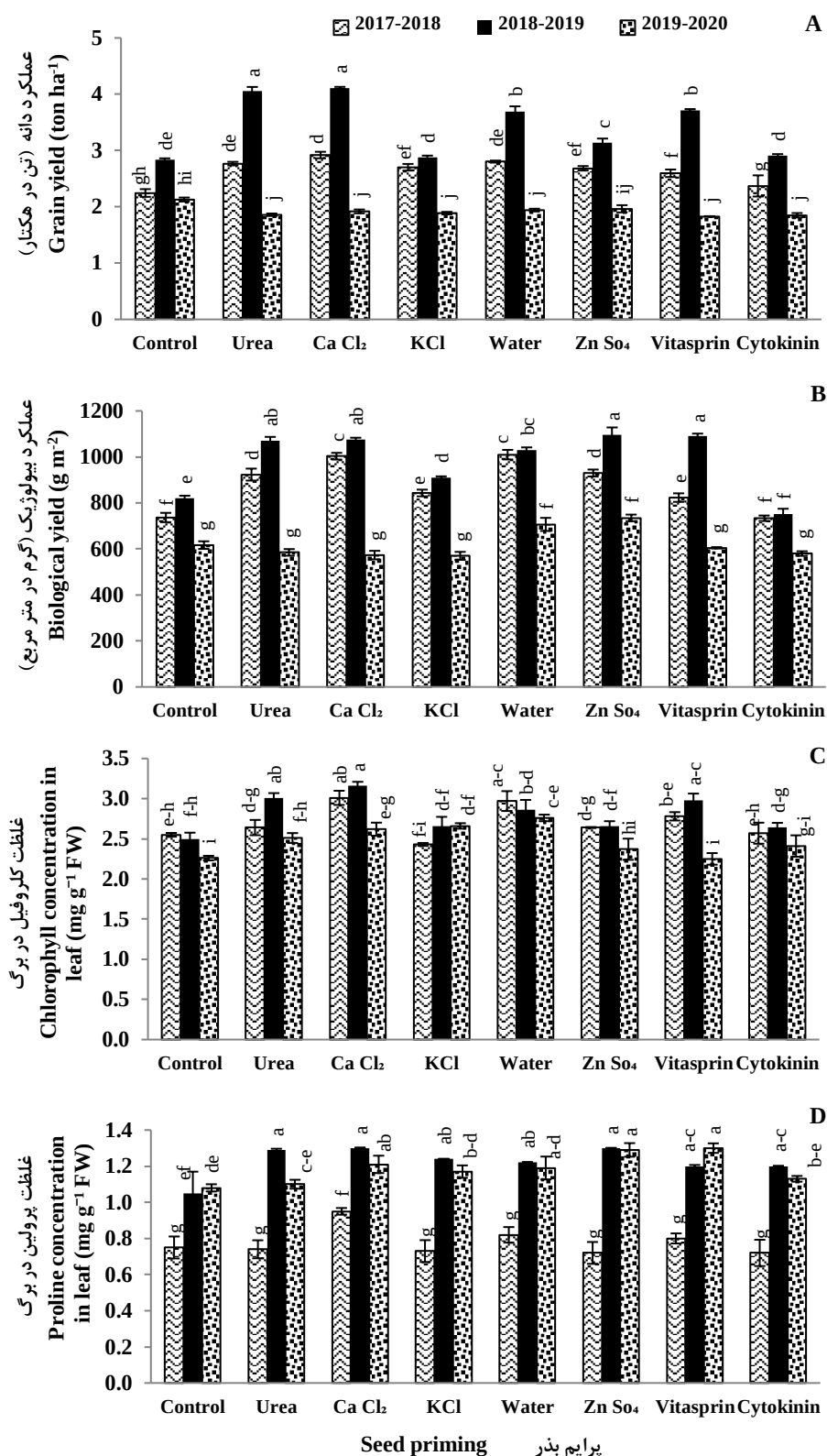
جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب اثر تیمار پرایم بذر بر صفات اندازه گیری شده گندم دیم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷، ۱۳۹۷-۹۸ و ۹۹-۱۳۹۸.

Table 3. Combined analysis of variance of effect seed priming treatment on measured traits of dry land wheat in a randomized complete block design in 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons.

Traits	صفات	Mean Squares					ضریب تغییرات CV (%)
		سال	بلوک (سال)	پرایم بذر	پرایم بذر × سال	خطا	
df	درجه آزادی	Year	Block (year)	Seed priming	Year*Seed priming	Error	-
		2	6	7	14	42	
Biological yield	عملکرد بیولوژیک	816710.76**	1846.87	68695.03*	16861.55**	790.12	3.40
Grain yield	عملکرد دانه	133935.84**	133.11	4697.78 ^{ns}	2890.60**	105.46	3.86
Chlorophyll	کلروفیل	0.67*	0.08	0.25*	0.06**	0.01	4.01
Soluble protein	پروتئین محلول	28.38*	4.49	0.23 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.27	6.35
Soluble proline	پروлін محلول	1.437**	0.020	0.031 ^{ns}	0.013**	0.003	5.807
Soluble carbohydrates	کربوهیدرات‌های محلول	331.59**	17.09	11.45*	4.07 ^{ns}	5.55	4.16
Plant height	ارتفاع گیاه	601.00**	3.49	10.15**	1.40 ^{ns}	2.94	2.17
Extrusion length	طول اکستراژن	9.72**	0.61	3.79**	0.53 ^{ns}	0.55	4.02
Peduncle length	طول پدانکل	57.30**	1.77	5.17**	0.89 ^{ns}	0.73	2.35
Penultimate length	طول پنالتی‌میت	2.86 ^{ns}	0.57	4.82**	0.44 ^{ns}	0.51	3.88
Maximum leaf area index	شاخص سطح برگ بیشینه	2.98**	0.09	0.80*	0.20**	0.07	6.75
Day of maximum leaf area index	روز شاخص سطح برگ بیشینه	522.26**	1.97	37.48*	10.35**	0.87	0.45
Maximum crop growth rate	سرعت رشد محصول بیشینه	54.38**	4.93	19.86**	4.23*	2.03	8.80
Day of maximum crop growth rate	روز سرعت رشد محصول بیشینه	1397.09**	7.90	60.93*	16.11**	5.74	1.19
Radiation use efficiency	کارایی مصرف نور	2.47**	0.02	0.21**	0.05**	0.01	8.72

**, * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار هستند.

**, *, and ^{ns}, indicate a significant difference at 1%, 5% probability level and no significant difference, respectively.



شکل ۲. تأثیر پرایم بذریه با ترکیبات مختلف بر عملکرد دانه (A)، عملکرد بیولوژیکی (B)، غلظت کلروفیل در برگ (C) و غلظت پرولین در برگ (D) گندم دیم (رقم آذر ۲). ستون‌های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین (n=3) هستند.

Fig. 2. Effect of seed priming with different compounds on grain yield (A), biological yield (B), chlorophyll concentration (C), and proline concentration (D) of dryland wheat (Azar 2 cultivar). Columns with the same letter have no significant difference by LSD method and at the 5% probability level; vertical bars represent the standard error of the mean (n = 3).

(جدول ۳). در این آزمایش، ارتفاع بوته، طول اکستراژن، طول پدانکل و طول پنالتی-میت در فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸ در مقایسه با فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۸-۹۹ بیش‌تر بود (جدول ۴)، احتمالاً این امر به این دلیل بود که در فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸، میزان بارندگی در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر بالاتر بود (شکل ۱A). در شرایط کاهش رطوبت در دسترس گیاه، کاهش تولید هورمون‌هایی مانند اکسین و سیتوکینین، بر رشد سلولی، تقسیم سلولی و ارتفاع بوته گندم تأثیر می‌گذارد (Kurepa and Smalle, 2022). همچنین در این شرایط، افت آماس سلولی باعث می‌شود که سلول‌ها کم‌تر منبسط شوند و این امر در نهایت منجر به کاهش سطح برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک گیاه می‌گردد (Pourghasemian et al., 2020). کاهش رطوبت در دسترس گیاه در مطالعه انجام شده توسط سینگهال و همکاران (Singhal et al., 2021) نیز منجر به کاهش طول میان‌گره‌های ساقه و ارتفاع بوته‌های گندم شد.

در این آزمایش پرایم بذر گندم با ویتاسپرین، اوره، کلرید کلسیم و هیدروپرایم، باعث افزایش طول میان‌گره‌های ساقه و ارتفاع بوته شد (جدول ۴). پرایم بذر به دلیل اثرات مثبتی که بر تقویت سیستم ریشه‌ای در گیاه دارد به گیاهان کمک می‌کند تا آب و مواد مغذی بیش‌تری جذب کنند و ارتفاع خود را افزایش دهند (Singhal et al., 2021). در آزمایش تبسم و همکاران (Tabassum et al., 2018)، پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم (۱/۵ درصد) و هیدروپرایم به مدت ۱۲ ساعت، ارتفاع بوته، طول میان‌گره‌های ساقه و سطح برگ را در شرایط کاهش رطوبت در دسترس گیاه افزایش داد. حسین و همکاران (Hussain et al., 2018) نیز گزارش کردند که پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم (۱/۲۵- مگاپاسکال) به مدت ۲۴ ساعت به طور قابل توجهی ارتفاع بوته‌های گندم را افزایش داد. پدانکل به عنوان یک اندام حیاتی برای تأمین کربن مورد نیاز برای پر شدن دانه در گندم عمل می‌کند و مطالعات متعددی همبستگی مثبت بین طول پدانکل و عملکرد دانه را نشان داده‌اند (Tabassum et al., 2018). اهمیت طول پدانکل در تعیین میزان عملکرد دانه از تجمع قابل توجه کربوهیدرات‌ها در آن ناشی می‌شود که متعاقباً این ذخایر به دانه‌ها منتقل می‌شوند. انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن نیاز به انرژی دارد، بنابراین گیاه از نزدیکی منبع و مخزن سود می‌برد. از آنجایی که پدانکل نسبت به سایر

محتوی پروتئین محلول در برگ تحت تأثیر اثرات سال قرار گرفت (جدول ۳). در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹، بالاترین میزان محتوی پروتئین محلول در برگ مشاهده شد (جدول ۴) که این امر احتمالاً ناشی از کاهش میزان بارندگی در این فصل زراعی است (شکل ۱A). در این آزمایش، غلظت کربوهیدرات در برگ نیز تحت تأثیر اثرات سال و اثرات تیمار پرایم بذر قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین میزان غلظت کربوهیدرات‌ها در برگ در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹ که در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر از میزان بارندگی کم‌تری برخوردار بود به دست آمد (جدول ۴). گونه‌های فعال اکسیژن در نتیجه تنش ثانویه ناشی از کاهش رطوبت در دسترس گیاه جهت ادامه روند رشد ایجاد می‌شوند. در این شرایط، گیاه از تنظیم اسمزی از طریق تجمع ترکیباتی مانند پروتئین و کربوهیدرات‌ها به عنوان یکی از مکانیسم‌های خود برای مبارزه با آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن استفاده می‌کند. در واقع تنظیم اسمزی نقش مهمی در حفظ جذب آب در شرایط پتانسیل آب کم، افزایش مقاومت به تنش و افزایش عملکرد در شرایط تنش دارد (Saha et al., 2022). کاهش رشد و هیدرولیز نشاسته نیز از دلایل افزایش تجمع کربوهیدرات‌ها در شرایط کاهش رطوبت در دسترس گیاه جهت ادامه روند رشد می‌باشد (Zandalinas et al., 2018). نتایج حاصل از این آزمایش حاکی از آن بود که پرایم بذر با آب (تیمار هیدروپرایم)، ویتاسپرین، اوره و کلرید کلسیم به طور قابل توجهی غلظت کربوهیدرات‌ها در برگ را افزایش داده است (جدول ۴). پرایم بذر با ترکیبات نام‌برده در فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ اثرات مثبتی بر غلظت کلروفیل در برگ (شکل ۲C) و عملکرد دانه (شکل ۲A) نیز داشتند. در واقع می‌توان چنین اظهار داشت که احتمالاً افزایش غلظت کلروفیل منجر به افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، افزایش تولید کربوهیدرات و در نهایت افزایش عملکرد دانه شده است. در آزمایش‌های مختلفی اثرات مثبت پرایم بذر بر غلظت کربوهیدرات‌های محلول در برگ گزارش شده است (Farooq et al., 2020; Ali et al., 2021).

تأثیر پرایم بذر بر ارتفاع بوته و طول میان‌گره‌های ساقه
نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول اکستراژن تحت تأثیر اثرات سال و اثرات تیمار پرایم قرار گرفتند (جدول ۳). این در حالی بود که طول پنالتی-میت تنها تحت تأثیر اثرات تیمار پرایم قرار گرفت

میان‌گره‌ها به سنبله و دانه‌ها نزدیک‌تر است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Wardlaw and Willenbrink, 1994). یافته‌های حاصل از این آزمایش بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته و طول میان‌گره‌های ساقه با عملکرد دانه در فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ بود؛ اما این همبستگی در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹ منفی بود (جدول ۵) زیرا در این فصل زراعی، گیاهان شاهد بیش‌ترین

عملکرد دانه (شکل ۲A) و کم‌ترین ارتفاع بوته و طول میان‌گره‌های ساقه (جدول ۴) را داشتند. از آنجایی که پرایم بذر منجر به استقرار سریع‌تر گیاه در مزرعه می‌گردد؛ بنابراین گیاهان حاصل از بذر پرایم شده در مقایسه با گیاهان شاهد، زودتر در معرض کاهش رطوبت در دسترس گیاه قرار گرفته و این امر تعداد پنجه‌ها، تعداد سنبله‌ها و در نهایت عملکرد دانه را کاهش داده است (Sharifi Kalyani et al., 2023a).

جدول ۴. تأثیر سال و تیمار پرایم بذر با ترکیبات مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده در گندم دیم (رقم آذر ۲) در فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷، ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹.

Table 4. Effect of year and seed priming treatment with different compounds on measured traits in dryland wheat (Azar 2 cultivar) in the 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons

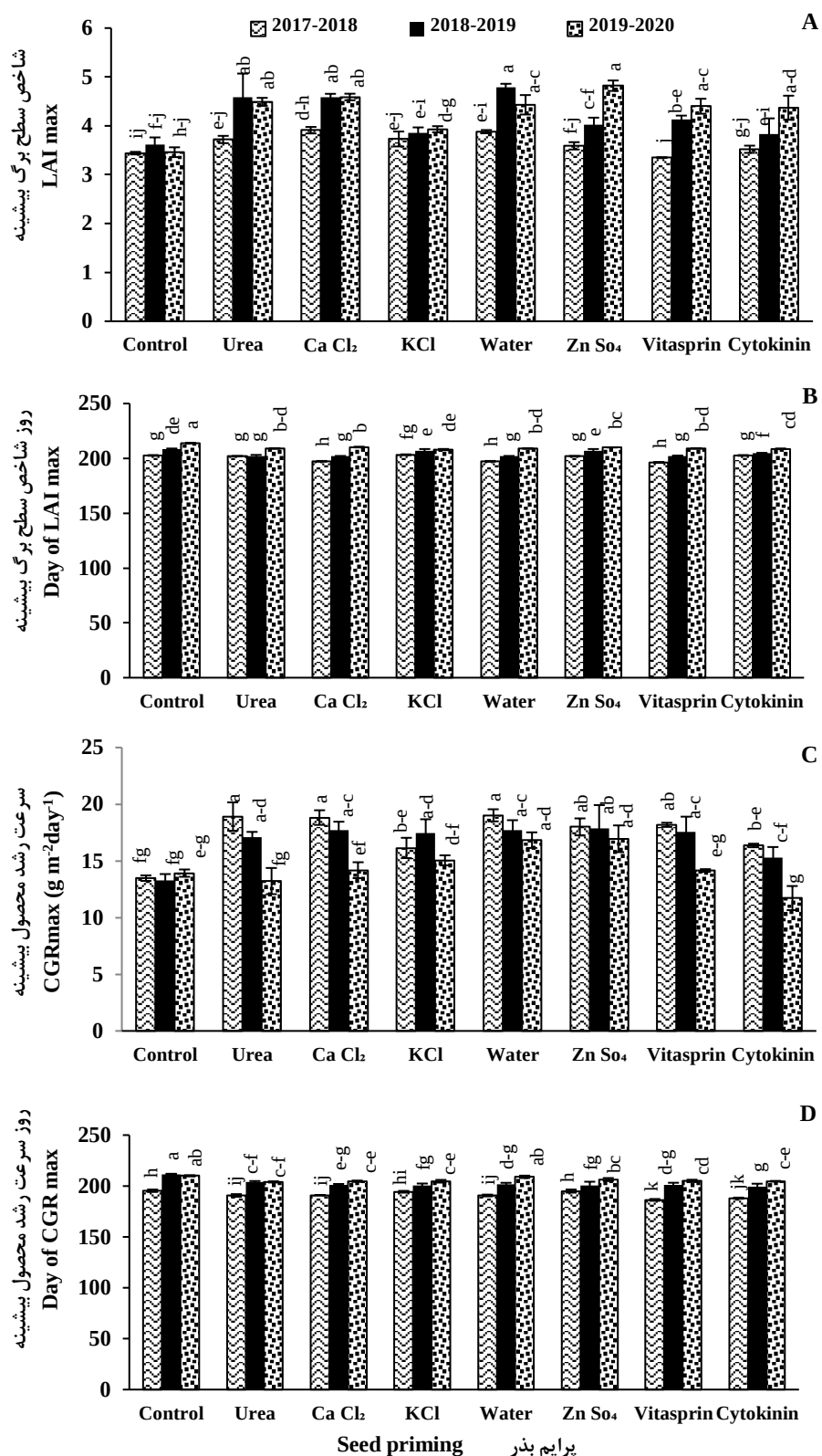
Year	سال	پروتئین محلول	کربوهیدرات محلول	ارتفاع گیاه	طول اکستراژن	طول پدانکل	طول پنالتی‌میت
		در برگ Soluble protein in leaf	در برگ Soluble carbohydrate in leaf	Plant height	Extrusion length	Peduncle length	Penultimate length
		mg g ⁻¹ FW		cm			
2017-2018	۱۳۹۶-۹۷	8.14 ^{ab}	56.05 ^b	77.10 ^b	18.10 ^b	35.92 ^b	18.38 ^a
2018-2019	۱۳۹۷-۹۸	7.32 ^b	53.09 ^c	84.38 ^a	19.14 ^a	38.09 ^a	18.94 ^a
2019-2020	۱۳۹۸-۹۹	9.47 ^a	60.48 ^a	74.79 ^c	17.99 ^b	35.10 ^b	18.31 ^a
Seed priming	پرایم بذر						
Control	شاهد	8.02 ^a	54.34 ^b	76.98 ^d	17.05 ^c	35.48 ^{bc}	17.09 ^c
Urea	اوره	8.41 ^a	57.48 ^a	79.07 ^{ab}	18.29 ^{ab}	36.95 ^a	18.58 ^{ab}
Ca Cl ₂	کلرید کلسیم	8.21 ^a	56.62 ^a	79.36 ^{ab}	18.96 ^a	36.83 ^a	19.21 ^a
KCl	کلرید پتاسیم	8.41 ^a	56.17 ^{ab}	78.59 ^{bc}	18.14 ^b	35.66 ^{bc}	18.18 ^b
Water	آب	8.26 ^a	57.88 ^a	78.98 ^{ab}	18.85 ^{ab}	37.00 ^a	19.18 ^a
Zn SO ₄	سولفات روی	8.53 ^a	55.99 ^{ab}	79.76 ^{ab}	18.74 ^{ab}	36.44 ^{ab}	19.02 ^a
Vitaspirin	ویتاسپیرین	8.23 ^a	57.49 ^a	79.91 ^a	19.02 ^a	37.25 ^a	19.00 ^a
Cytokinin	سیتوکینین	8.41 ^a	56.36 ^{ab}	77.40 ^{cd}	18.21 ^b	35.36 ^c	18.09 ^b

مقادیر درون یک گروه در یک ستون با حرف یکسان فاقد اختلاف معنی‌دار به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Values within a group in a column bearing followed by the same letter are not significantly different by LSD's test and at the 5% probability level.

تأثیر پرایم بذر بر برخی شاخص‌های رشد در گندم دیم بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، میزان LAI_{max}، روز رسیدن به LAI_{max}، میزان CGR_{max} و روز رسیدن به CGR_{max} تحت تأثیر اثرات متقابل سال × تیمار پرایم بذر قرار گرفتند (جدول ۳). در این آزمایش، بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در پرایم بذر با کلرید کلسیم و اوره در فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸ حاصل شد (شکل ۲A). همچنین، پرایم بذر با کلرید کلسیم و اوره در این فصل زراعی به‌صورت معنی‌داری LAI_{max} (شکل ۳A) و CGR_{max} (شکل ۳C) را افزایش و

زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} (شکل ۳B) و CGR_{max} (شکل ۳D) را کاهش دادند. اثرات مثبت پرایم بذر بر سرعت رشد محصول احتمالاً ناشی از تسریع رشد برگ در ابتدای فصل رشد و افزایش سطح برگ در گیاه همزمان با جذب بیش‌تر تابش خورشید است که منجر به افزایش تولید روزانه ماده خشک می‌شود (Munsif et al., 2022). در آزمایشی که توسط حسین و همکاران (Hussain et al., 2018) انجام شد نتایج حاکی از آن بود که اسموپرایم بذر گندم با کلرید کلسیم



شکل ۳. تأثیر تیمار پرایم بذر بر شاخص سطح برگ بیشینه (A)، روز شاخص سطح برگ بیشینه (B)، سرعت رشد محصول بیشینه (C) و روز سرعت رشد محصول بیشینه (D) گندم دیم (رقم آذر ۲). ستون‌های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین (n=3) هستند.

Fig. 3. Effect of seed priming treatment on LAI_{max} (A), day of LAI_{max} (B), CGR_{max} (C), and day of CGR_{max} (D) of dryland wheat (Azar 2 cultivar). Columns with the same letter have no significant difference by LSD method and at the 5% probability level; vertical bars represent the standard error of the mean (n = 3)

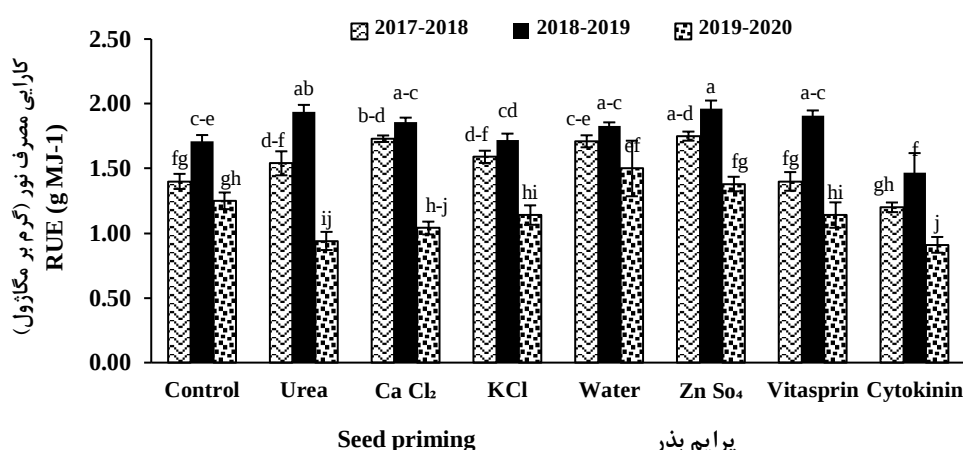
LAI_{max} (شکل ۳A) و CGR_{max} (شکل ۳C) و کاهش زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} (شکل ۳B) و CGR_{max} (شکل ۳D) نتوانست این کاهش عملکرد دانه را که دلیل اصلی آن کاهش تعداد سنبله بود جبران کند.

اثر پرایم بذر بر میزان کارایی مصرف نور (RUE) در گندم دیم

میزان RUE تحت تأثیر اثرات متقابل سال $\times$ تیمار پرایم بذر قرار گرفت (جدول ۳). حداکثر میزان RUE در فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸ در گیاهان رشد یافته از بذور پرایم شده با سولفات روی به دست آمد (شکل ۴) زیرا این گیاهان بیشترین میزان ماده خشک تولیدی را داشتند (شکل ۲B). پرایم بذر با سولفات روی یکی از مؤثرترین تیمارها برای افزایش عملکرد دانه در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ نیز بود (شکل ۲A). گیاهان رشد یافته از بذور پرایم شده با اوره در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷، از نظر میزان RUE (شکل ۴) و عملکرد دانه (شکل ۲A) در جایگاه دوم قرار داشتند. همبستگی مثبت عملکرد دانه و کارایی مصرف نور در آزمایش‌های مختلفی گزارش شده است (Ullah et al., 2019; Sharifi Kalyani et al., 2023b). در این آزمایش نیز میزان عملکرد دانه در هر سه فصل زراعی با میزان RUE همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). در همه سطوح تیمار پرایم بذر و همچنین در گیاهان شاهد، بیشترین میزان RUE در فصل

(۱/۲۵- مگاپاسکال) به مدت ۲۴ ساعت منجر به افزایش عملکرد دانه از طریق استقرار سریع و یکنواخت گیاهچه، افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول شد. در آزمایش سینگهال و همکاران (Singhal et al., 2021)، پرایم بذر با افزایش سطح برگ و تعداد برگ منجر به افزایش سطح فتوسنتزکننده و افزایش تولید ماده خشک و عملکرد دانه در گندم شد.

در آزمایش حاضر، در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ عملکرد دانه همبستگی مثبت با LAI_{max} و CGR_{max} و همبستگی منفی با زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} و CGR_{max} داشت، این درحالی بود که در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، همبستگی منفی بین عملکرد دانه با LAI_{max} و همبستگی مثبت بین عملکرد دانه با زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} و CGR_{max} مشاهده شد (جدول ۵). در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، عملکرد دانه در سطوح مختلف تیمار پرایم بذر به‌طور قابل توجهی کمتر از شاهد (شکل ۲A) بود. در واقع، گیاهان رشد یافته از دانه‌های پرایم شده گندم زودتر در مزرعه مستقر شدند و با توجه به کاهش بارندگی در طول فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، این گیاهان سریع‌تر از گیاهان شاهد در معرض کاهش رطوبت در دسترس گیاه قرار گرفتند و به دلیل اثرات منفی آن مانند کاهش تعداد پنجه و تعداد سنبله، عملکرد دانه در این فصل زراعی کاهش یافت (Sharifi Kalyani et al., 2023a) و اثرات مثبت پرایم بر افزایش



شکل ۴. اثر تیمار پرایم بذر با ترکیبات مختلف بر کارایی مصرف نور گندم دیم (رقم آذر ۲). ستون‌های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ($n=3$)

Fig. 4. Effect of seed priming treatments with different compound on radiation use efficiency (RUE) of dryland wheat (Azar 2 cultivar). Columns with the same letter have no significant difference by LSD method and at the 5% probability level; vertical bars represent the standard error of the mean ($n=3$).

زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و کم‌ترین میزان RUE در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ مشاهده شد (شکل ۴). کاهش میزان RUE در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹ به دلیل کاهش قابل توجه تولید ماده خشک بود (شکل ۲B)، که این امر احتمالاً ناشی از کاهش بارندگی در این فصل زراعی است (شکل ۱A). هاتفیلد و پروگر (Hatfield and Prueger, 2015) نیز بیان کردند که دمای پایین، تنش کمبود رطوبت و تنش کمبود مواد مغذی با کاهش تولید ماده خشک، میزان RUE را کاهش می‌دهند. در واقع کاهش رطوبت در دسترس گیاه، به دلیل اثرات منفی که بر جذب عناصر غذایی از خاک و تولید مواد فتوسنتزی دارد میزان تجمع ماده خشک و کارایی مصرف نور را در گیاه کاهش می‌دهد (Ullah et al., 2019).

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه با عملکرد دانه

Table 5. Correlation coefficients between studied traits and grain yield

Traits	صفات	عملکرد دانه Grain yield		
		۱۳۹۶-۹۷ 2017-2018	۱۳۹۷-۹۸ 2018-2019	۱۳۹۸-۹۹ 2019-2020
chlorophyll concentration in leaf	غلظت کلروفیل در برگ	0.508*	0.827**	-0.050 ^{ns}
Soluble protein in leaf	پروتئین محلول در برگ	0.006 ^{ns}	-0.022 ^{ns}	-0.221 ^{ns}
Soluble proline in leaf	پروлін محلول در برگ	0.454*	0.448*	-0.264 ^{ns}
Soluble carbohydrates in leaf	کربوهیدرات‌های محلول در برگ	0.402 ^{ns}	0.293 ^{ns}	-0.440*
Plant height	ارتفاع گیاه	0.540**	0.427*	-0.387 ^{ns}
Extrusion length	طول اکستراژن	0.552**	0.574**	-0.306 ^{ns}
Peduncle length	طول پدانکل	0.320 ^{ns}	0.550**	-0.276 ^{ns}
Penultimate length	طول پنالتی میت	0.668**	0.615**	-0.333 ^{ns}
Maximum leaf area index	شاخص سطح برگ بیشینه	0.616**	0.641**	-0.423*
Day of maximum leaf area index	روز شاخص سطح برگ بیشینه	-0.447*	-0.810**	0.778**
Maximum crop growth rate	سرعت رشد محصول بیشینه	0.729**	0.409*	0.211 ^{ns}
Day of maximum crop growth rate	روز سرعت رشد محصول بیشینه	-0.053 ^{ns}	-0.175 ^{ns}	0.736**
Radiation use efficiency	کارایی مصرف نور	0.654**	0.558**	0.444*

تحلیل اقتصادی

میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در همه سطوح تیمار پرایم بذر، در فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸ بیش‌ترین میزان عملکرد دانه و در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹ کم‌ترین میزان عملکرد دانه به دست آمد که این امر احتمالاً به دلیل کاهش دما در پاییز و زمستان و همچنین کاهش میزان و پراکنش نامناسب بارش در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹ در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر بوده است. در فصل زراعی ۱۳۹۸-۹۹، نهال‌هایی که از دانه‌های پرایم شده حاصل شدند در مقایسه با نهال‌های حاصل از بذور شاهد، سریع‌تر در معرض کاهش رطوبت در دسترس بذور جهت ادامه روند رشد قرار گرفتند که این امر در نهایت منجر به مرگ نهال، کاهش تعداد سنبله و کاهش عملکرد دانه شد. این امر بر اهمیت شرایط رشد اولیه در کارایی تیمار پرایم بذر تأکید کرد. در واقع در فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸ که میزان بارندگی بیش‌تری در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر وجود داشت، تأثیر تیمار پرایم بذر بر بهبود عملکرد دانه در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر بیش‌تر بود،

در این آزمایش، پرایم بذر گندم با اوره به عنوان تیمار برتر ظاهر شد، زیرا نه تنها این تیمار اثرات قابل توجهی بر افزایش عملکرد دانه داشت، از نظر نسبت سود به هزینه نیز رتبه اول را به خود اختصاص داد (جدول ۶). دسترسی آسان و ماهیت نسبتاً غیرسمی اوره می‌تواند باعث کاربرد گسترده آن در مزرعه شود، بنابراین استفاده از این تیمار پرایم بذر به کشاورزان پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم و اوره در فصل زراعی ۱۳۹۷-۹۸ با افزایش غلظت کلروفیل، محتوای پرولین برگ، غلظت کربوهیدرات‌های برگ، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، طول میان‌گره‌های ساقه، LAI_{max} ، CGR_{max} و RUE همچنین کاهش زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} و CGR_{max} ، رتبه اول از نظر

را به‌طور مؤثرتری افزایش می‌دهد و با کاهش میزان بارندگی، تیمار پرایم بذر ممکن است اثر منفی بر عملکرد دانه داشته باشد، که البته این نتایج نیازمند بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر در آینده است.

اما در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ که کم‌ترین میزان بارندگی وجود داشت، پرایم بذر اثرات منفی بر عملکرد دانه گذاشت. به‌طور کلی می‌توان این چنین اظهار داشت که در شرایط دیم، کارایی تیمار پرایم بذر وابسته به میزان بارندگی است و در فصول زراعی با بارندگی بیش‌تر، پرایم کردن بذر عملکرد دانه

جدول ۶. اثر تیمار پرایم بذر با ترکیبات مختلف بر درآمد خالص و نسبت سود به هزینه در گندم دیم (میانگین فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷، ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹).

Table 6. Effect of seed priming treatment with different compound on net income and benefit-cost ratio in dryland wheat (mean of 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons).

Seed priming treatments	تیمارهای پرایم بذر	هزینه کل Total expenditure	درآمد ناخالص Gross income	درآمد خالص Net income	نسبت سود به هزینه Benefit- cost ratio
----- دلار آمریکا در هکتار (US\$ ha ⁻¹) -----					
Control	شاهد	270	528	258	1.96
Urea	اوره	283	635	352	2.24
Ca Cl ₂	کلرید کلسیم	320	655	335	2.05
KCl	کلرید پتاسیم	291	545	254	1.87
Water	آب	280	618	338	2.21
Zn SO ₄	سولفات روی	286	554	268	2.07
Vitaspirin	ویتاسپیرین	287	596	309	2.08
Cytokinin	سیتوکینین	289	521	232	1.80

منابع

- Ali, L.G., Nulit, R., Ibrahim, M.H., Yien, C.Y.S., 2021. Efficacy of KNO₃, SiO₂ and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*), under drought. Scientific Reports. 11(1), 3864. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83434-3>
- Bates, L.S., Waldren, R.P.A., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
- Bradford, M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72 (2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Chivas, W., Harris, D., Chiduza, C., Nyamudeza, P., Mashigaidze, AB., 1998. Agronomic practices, major crops and farmers' perceptions of the importance of good stand establishment in Musikavanhu Communal Area, Zimbabwe. Journal of Applied Science in Southern Africa. 4, 108-126.
- <https://www.researchgate.net/publication/269565859>
- Choudhary, S.K., Kumar, V., Singhal, R.K., Bose, B., Chauhan, J., Alamri, S., Sabagh, A. E., 2021. Seed priming with Mg (NO₃)₂ and ZnSO₄ salts triggers the germination and growth attributes synergistically in wheat varieties. Agronomy. 11(11), 2110. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112110>
- Ding, D., Wang, N., Zhang, X., 2021. Quantifying the interaction of water and radiation use efficiency under plastic film mulch in winter wheat. Science of the Total Environment. 794, 148704-148717. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148704>
- Eskandari B., Ezzati S., Mandani F., 2015. Evaluation of light absorption and use efficiency of soybean (*Glycine max* L.) in competition with redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). Iran Journal of Weed Research. 7 (1), 35-48. [In Persian]. https://journals.iau.ir/article_525384.html

- Farooq, M., Almamari, S., Rehman, A., 2021. Morphological, physiological, and biochemical aspects of zinc seed priming-induced drought tolerance in faba bean. *Scientia Horticulturae*. 281, 109894–109901. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109894>
- Farooq, M., Barsa, S., Wahid, A., 2006. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry, and yield. *Plant Growth Regulation*. 49, 285–294. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9138-y>
- Farooq, M., Hussain, M., Habib, M., 2020. Influence of seed priming techniques on grain yield and economic returns of bread wheat planted at different spacings. *Crop and Pasture Science*. 71, 725–738. <https://doi.org/10.1071/CP20065>
- Farooq, M., Usman, M., Nadeem, F., Rehman, H., Wahid, A., Basra, S.M.A., Siddique, K.H.M., 2019. Seed priming in field crops-potential benefits, adoption and challenges. *Crop and Pasture Science*. 70, 731–771. <https://doi.org/10.1071/CP18604>
- Harris, D., 2006. Development and testing of “On-Farm” seed priming. *Advances in Agronomy*. 90, 129–178. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)90004-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)90004-2)
- Hassan, A., Amjad, S.F., Saleem, M.H., Yasmin, H., Imran, M., Riaz, M., Alyemeni, M.N., 2021. Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morpho-physio-biochemical attributes, ions uptake, osmo-protectants and stress response genes expression. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28(8), 4276–4290. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.045>
- 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>
- Hossein Panahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Ghorbani, R., 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato (*Solanum tuberosum* L.)/corn (*Zea mays* L.) intercropping. *Journal of Agroecology*. 2(1), 45–54. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/JAG.V2I1.7598>
- Hossein Panahi, F., Pouramir, F., Koocheki, A., 2011. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in replacement series intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agroecology*. 3(1), 106–120. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/JAG.V3I1.9976>
- Hussain, M., Farooq, M., Sattar, A., Ijaz, M., Sher, A., Ul-Allah, S., 2018. Mitigating the adverse effects of drought stress through seed priming and seed quality on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 55, 313–319. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/18.5833>
- Hussain, I., Ahmad, R., Farooq, M., Wahid, A., 2013. Seed priming improves the performance of poor quality wheat seed. *International Journal of Agriculture & Biology*. 15, 1343–1348.
- Jatana, B.S., Ram, H., Gupta, N., 2020. Application of seed and foliar priming strategies to improve the growth and productivity of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*. 48(3), 383–390. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00036-x>
- Keshavarz, A., Esfandiyaripour, E.M., Tavazo, M., Ahmadifar, M., Khanchi, M., 2016. Wheat Seed Multiplication and Supplying Program. Agricultural Extension and Education Publications, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. [In Persian].
- Khan, A., Shafi, M., Bakht, J., Anwar, S., Khan, M. O., 2021. Effect of salinity (NaCl) and seed priming (CaCl₂) on biochemical parameters and biological yield of wheat. *Pakistan Journal of Botany*. 53 (3), 779–789. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-3\(12\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(12))
- Khan, MB., Gurchani, M. A., Hussain, M., 2011. Wheat seed enhancement by vitamin and hormonal priming. *Pakistan Journal of Botany*. 43, 1495–1499.
- Kurepa, J., Smalle, J. A., 2022. Auxin/cytokinin antagonistic control of the shoot/root growth ratio and its relevance for adaptation to drought and nutrient deficiency stresses. *International Journal of Molecular Sciences*. 23(4), 1933. <https://doi.org/10.3390/ijms23041933>
- Lichtenthaler, H.K., Buschmann, C., 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 1(1), F4–3. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>

- Munsif, F., Shah, T., Arif, M., Jehangir, M., Afridi, M.Z., Ahmad, I., Alansi, S., 2022. Combined effect of salicylic acid and potassium mitigates drought stress through the modulation of physio-biochemical attributes and key antioxidants in wheat. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 29(6), 103294. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103294>
- Nawaz, A., Farooq, M., Ahmad, R., Basra, S.M.A., Lal, R., 2016. Seed priming improves stand establishment and productivity of no till wheat grown after direct seeded aerobic and transplanted flooded rice. *European Journal of Agronomy*. 76, 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.012>
- Parsons, I.T., Hunt, R., 1981. Plant growth analysis: a program for the fitting of lengthy series of data by the method of B-splines. *Annals of Botany*. 48(3), 341-352. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086132>
- Pavia, I., Roque, J., Rocha, L., Ferreira, H., Castro, C., Carvalho, A., Correia, C., 2019. Zinc priming and foliar application enhances photoprotection mechanisms in drought-stressed wheat plants during anthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*. 140, 27-42. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.028>
- Pourghasemian, N., Moradi, R., Naghizadeh, M., Landberg, T., 2020. Mitigating drought stress in sesame by foliar application of salicylic acid, beeswax waste and licorice extract. *Agricultural Water Management*. 231, 105997. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105997>
- Rajabi Khamseh, S.R., Sekari, F., Saba, J., Zangani, E., 2013. Effects of priming with salicylic acid on grain growth of three wheat cultivars under rainfed conditions. *International Journal of Plant Production*. 4 (8), 2061-2068. <https://doi.org/10.5555/20133272681>
- Reis, S., Pavia, I., Carvalho, A., 2018. Seed priming with iron and zinc in bread wheat: effects in germination, mitosis and grain yield. *Protoplasma*. 255, 1179-1194. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1222-4>
- Saha, D., Choyal, P., Mishra, U., Dey, P., Bose, B., Gupta, N., Mehta, B., Kumar, P., Pandey, S., Chauhan, J., Singhal, R., 2022. Drought stress responses and inducing tolerance by seed priming approach in plants. *Plant Stress*. 4(1), 100066-100080. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100066>
- Samota, M.K., Sasi, M., Singh, A., 2017. Impact of seed priming on proline content and antioxidant enzymes to mitigate drought stress in rice genotype. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(5), 2459-2466. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.275>
- Sharifi Kalyani, F., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., Jalali Honarmand, S., 2023a. The effect of seed priming treatments and foliar application of vitaspirin and urea on wheat grain yield under dryland conditions. *Cereal Research Communications*. 51(3), 761-771. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00318-6>
- Sharifi Kalyani, F., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., Jalali-Honarmand, S., 2023b. Effect of nutrients foliar application on physiological traits, morphological traits, radiation use efficiency, and grain yield of dryland wheat. *Gesunde Pflanzen*. 75(6), 2757-2771. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00892-7>
- Singhal, R.K., Kumar, V., Bose, B., 2019. Improving the yield and yield attributes in wheat crop using seed priming under drought stress. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 8(2), 214-220.
- Singhal, R., Pandey, S., Bose, B., 2021. Seed priming with $Mg(NO_3)_2$ and $ZnSO_4$ salts triggers physio-biochemical and antioxidant defense to induce water stress adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Stress*. 2, 100037-100049. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100037>
- Spitters, C.J.T., 1989. Crop growth models: their usefulness and limitations. In: *Proceedings of the VI Symposium on the Timing of Field Production of Vegetables*, Wageningen, The Netherlands, 368 p.
- Tabassum, T., Farooq, M., Ahmad, R., Zohaib, A., Wahid, A., Shahid, M., 2018. Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 24, 845-856. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0547-y>
- Tsubo, M., Walker, S., Ogindo, H.O., 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions: I. Model development. *Field Crops Research*. 93(1), 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.002>

- Ullah, H., Santiago-Arenas, R., Ferdous, Z., Attia, A., Datta, A., 2019. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. *Advances in Agronomy*. 156, 109-157. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.002>
- Wardlaw, I.F., Willenbrink, J., 1994. Carbohydrate storage and mobilisation by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation to sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. *Functional Plant Biology*. 21(3), 255-271. <https://doi.org/10.1071/PP9940255>
- Yari, L., Khazaei, F., Sadeghi, H., Sheidaei, S., 2011. Effect of seed priming on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural and Biological Science*. 6, 1-5.
- Yemm, E.W., Willis, A., 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*. 57(3), 508. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7174.1999.tb00969.x>
- Zahra, N., Wahid, A., Shaukat, K., Rasheed, T., 2020. Role of seed priming and foliar spray of calcium in improving flag leaf growth, grain filling and yield characteristics in wheat (*Triticum aestivum*)- A field appraisal. *International Journal of Agriculture and Biology*. 24, 1591-1600. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1599>
- Zandalinas, I., Mittler, R., Balfagon, D., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A., 2018. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia Plantarum*. 162(1), 2-12. <https://doi.org/10.1111/ppl.12540>