

## Effect of putrescine on yield and some physiological parameters of wheat in response to water deficit stress

Sodابه Jahanbakhsh Godehkahriz<sup>\*1</sup>, Milad Kheiri Sis<sup>2</sup>, Seyede Yalda Raeesi sadati<sup>3</sup>  
1,2,3. Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources,  
University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

(Received: October 23, 2021 - Accepted: February 15, 2022)

### ABSTRACT

Drought stress is one of the most important environmental factors involved in the growth and yield of wheat reduction and causes many damages by disrupting morphological and physiological processes. On the other hand, putrescine as a growth stimulant with antioxidant properties in the plants can inhibit the destructive effects of dehydration stress. For this purpose, a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications was carried out in the greenhouse of the Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili. Factors included water deficit stress (control, 85% and 65% of field capacity), wheat cultivars (Kuhdasht, Zagros, Gonbad and lines 23, 24, 25, 27, 28, 39 and 40) and putrescine (non-application, 0.088 and 0.176 g / L<sup>-1</sup>). Putrescine foliar application was performed in the three-leaf stage of the plant and dehydration stress was applied one day later for one week. Mean comparisons showed that dehydration stress decreased leaf chlorophyll index, F0, Fm, Fv / Fm, stem length and grain yield (grain number and grain weight) in some studied genotypes. The combination of 0.088 g / L<sup>-1</sup> putrescine and drought stress improved the chlorophyll index (28.16%) and the amount of photosystem two (10.54%) compared to the control conditions. Also, the dendrogram obtained from cluster analysis placed the studied genotypes under dehydration stress and putrescine foliar application in three groups. In general, foliar feeding of 0.088 g / L<sup>-1</sup> putrescine is more effective and recommended for the photosynthetic system improvement and tolerance of wheat plant to dehydration stress. Among the studied genotypes, Koohdasht, Zagros and Line 27 were more tolerant to dehydration stress due to putrescine-enhanced photosynthetic system and improved grain yield.

**Keywords:** 1000-seed weight, fluorescence, foliar application, polyamine, wheat.

### تأثیر پوترسین بر عملکرد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک گندم در واکنش به تنش کم آبی

سدا به جهانبخش گده کهریز<sup>\*۱</sup>، میلاد خیری سیس<sup>۲</sup>، سیده یلدا رئیسی ساداتی<sup>۳</sup>

۱ و ۲ و ۳- به ترتیب استاد، دانش آموخته و دانشجو، مهندسی تولید و ژنتیک به نژادی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶)

### چکیده

تنش خشکی یکی از مهم ترین عوامل محیطی دخیل در کاهش رشد و عملکرد گندم است و با اختلال در فرآیندهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک، باعث بروز خسارات فراوانی می شود. از طرف دیگر، پوترسین به عنوان یک محرک رشدی و با خاصیت آنتی اکسیدانی در گیاه، می تواند اثرات مخرب ناشی از تنش کم آبی را مهار کند. به این منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورها شامل تنش کم آبی (شاهد، ۸۵ درصد و ۶۵ درصد ظرفیت زراعی)، ارقام گندم (کوهدهشت، زاگرس، گنبد و لاین های ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۹ و ۴۰) و پوترسین (عدم کاربرد، ۰/۰۸۸ گرم در لیتر و ۰/۱۷۸ گرم در لیتر) بود. محلول پاشی پوترسین در مرحله سه برگی گیاه انجام شد و یک روز بعد، تنش کم آبی به مدت یک هفته اعمال شد. مقایسه میانگین ها نشان داد که تنش کم آبی موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ، F0، Fm، Fv/Fm، طول ساقه و نیز عملکرد دانه (تعداد دانه و وزن دانه) در برخی از ژنوتیپ های مورد مطالعه شد، ترکیب تیماری پوترسین با غلظت ۰/۰۸۸ گرم بر لیتر و تنش خشکی، موجب بهبود شاخص کلروفیل (۲۸/۱۶ درصد) و میزان فتوسیستم دو (۱۰/۵۴ درصد) نسبت به شرایط کنترل شد. همچنین دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای، ژنوتیپ های مورد مطالعه را در شرایط تنش کم آبی و محلول پاشی پوترسین در سه گروه قرار داد. به طور کلی، تغذیه برگی پوترسین با غلظت ۰/۰۸۸ گرم بر لیتر در بهبود سیستم فتوسنتزی و ایجاد تحمل گیاه گندم در برابر تنش کم آبی موثرتر و قابل توصیه می باشد. در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه، کوهدهشت، زاگرس و لاین ۲۷ به دلیل سیستم فتوسنتزی تقویت یافته با پوترسین و به دنبال آن بهبود عملکرد دانه، به تنش کم آبی متحمل تر بودند.

**واژه های کلیدی:** پلی آمین، فلورسانس، گندم، محلول پاشی، وزن هزار دانه.

\* Corresponding author E-mail: jahanbakhsh@uma.ac.ir

## مقدمه

گندم نان به‌عنوان یکی از غلات مهم، تأثیر زیادی بر اقتصاد و امنیت غذایی جهان دارد، به‌طوری‌که امروزه غذای اصلی بیش از ۳۵ درصد از مردم دنیا را تأمین می‌کند و به تنهایی ۲۱ درصد پروتئین روزانه و یک پنجم از کالری مورد نیاز انسان را در جهان فراهم می‌نماید (Beasley *et al.*, 2019). خواستگاه گندم بر اساس سطح پلئویدی، وضعیت بیولوژیکی، مناطق جغرافیایی و صفات مورفو-زراعی، تنوع قابل توجهی دارد. اصلی‌ترین چالش‌های به‌نژادگران و متخصصان ژنتیک برای گندم، بهبود ژنتیکی برای عملکرد دانه بالا، تحمل در برابر تنش‌های خشکی، شوری و گرما، پاسخ به مقادیر بالای کود و غیره است (Mwadingeni *et al.*, 2019; Sallam *et al.*, 2016). عملکرد دانه به‌عنوان مهم‌ترین خصوصیت در واکنش به اجزای آن از جمله تعداد دانه در سنبله، وزن دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و صفات مرتبط با آن‌ها قرار می‌گیرد. اجزای عملکرد گندم به شیوه متفاوتی بسته به نوع رقم و مرحله فنولوژی گیاه که با تنش گرما و خشکی روبرو می‌شود، تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Abid *et al.*, 2016). مطابق پیش‌بینی سازمان فائو، تولید جهانی گندم در سال ۲۰۲۱ میلادی به بالاترین میزان خود یعنی ۷۸۵ میلیون تن خواهد رسید که این میزان تولید، نشان از رشدی ۱/۴ درصدی نسبت به سال ۲۰۲۰ دارد. همچنین بر اساس گزارش سازمان فائو، تولید گندم ایران در سال ۲۰۱۹-۲۰۲۰ میلادی به ۱۶/۸ میلیون تن رسید (FAO, 2020). پدیده خشکی و محدودیت آب، از مشکلات عمده کشاورزی در جهان است و حدود ۷۸ درصد از عرصه کشاورزی جهانی به‌طور دائمی و یا موقتی با خشکی درگیر است (Sadeghzdeh & Ahari, 2017). حدود نیمی از کل اراضی کشاورزی جهان تحت تأثیر این عامل قرار دارد و باعث بروز خسارات فراوانی بر تولیدات کشاورزی از طریق ایجاد اختلال در فرآیندهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک می‌شود (Kamrani *et al.*, 2015). تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی گندم مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، مرحله پرشدن دانه و در نتیجه وزن دانه‌ها و در نهایت بر عملکرد دانه از راه‌های متفاوتی همچون کاهش توان

فتوسنتزی تأثیر منفی می‌گذارد (Abid *et al.*, 2016). عملکرد دانه در گندم تابعی از تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می‌باشد (Abid *et al.*, 2016). تحمل تنش در یک ژنوتیپ، به برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک آن گیاه بستگی دارد. پایداری و ثبات عملکرد و اجزای آن تحت شرایط تنش، همچنان از جمله شاخص‌های اصلی انتخاب برای یافتن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی به‌شمار می‌رود (Shahmoradi & Shahmoradi, 2020). با وجود مطالعات بسیار زیادی که در ارتباط با عملکرد و اجزای عملکرد گندم صورت گرفته است، به نظر می‌رسد که هنوز روابط دقیق بین اجزای عملکرد به‌ویژه در شرایط محدودیت آب به درستی شناسایی نشده است و مقایسه پاسخ ارقام مختلف گندم که یک گیاه راهبردی به‌شمار می‌رود، در این زمینه می‌تواند مفید واقع شود (Gholami *et al.*, 2020). فتوسنتز، تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش فتوسنتز، یک واکنش ابتدایی به کم‌آبی است. افزایش مقاومت روزنه‌ای، سبب کاهش فتوسنتز و در نتیجه اثر روی عملکرد می‌شود. هنگامی که کمبود آب در برگ‌ها تا ۲۰ درصد کاهش یابد، فتوسنتز تا حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. حفظ غلظت کلروفیل برگ و دوام و ثبات فتوسنتز تحت شرایط تنش، از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش است (Abu Muriefah, 2015; Waseem *et al.*, 2011). امروزه تعیین میزان کلروفیل برگ‌ها به‌عنوان یک شاخص رضایت‌بخش در عملکرد گیاه مطرح می‌باشد، زیرا کلروفیل، زیربنای فرآیند فتوسنتز است و همبستگی بالایی میان میزان کلروفیل و سلامتی گیاه وجود دارد (Abbasi *et al.*, 2019). یکی از اثرات تنش خشکی بر فتوسنتز، کاهش میزان کارایی فتوسنتز از طریق افزایش فلورسانس کلروفیل است. اندازه‌گیری مقدار فلورسانس کلروفیل می‌تواند ارزیابی مناسبی از عملکرد کوانتومی و جریان الکترون در فتوسیستم دو را نشان دهد. مولفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل F0

نقش پوترسین در تعدیل اثرات منفی خشکی، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر محلول پاشی پوترسین بر عملکرد و برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ده رقم از گندم تحت تنش کم آبی بود.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی پوترسین بر برخی از خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ارقام مختلف گندم تحت تنش کم آبی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل تنش کم آبی در سه سطح (شاهد، ۸۵ درصد و ۶۵ درصد ظرفیت زراعی)، ده رقم گندم (کوهدشت، زاگرس، گنبد، لاین ۲۳ (N-94-3)، لاین ۲۴ (N-94-4)، لاین ۲۵ (N-94-5)، لاین ۲۷ (N-94-7)، لاین ۲۸ (N-94-8)، لاین ۳۹ (N-94-19) و لاین ۴۰ (N-94-20)) و پوترسین با سه سطح (عدم کاربرد، ۰/۰۸۸ گرم در لیتر و ۰/۱۷۸ گرم در لیتر) بود. بذرهای تهیه شده از مرکز تحقیقات مغان، بعد از ضد عفونی بر روی کاغذ صافی قرار گرفتند و سپس به مدت دو روز در داخل دستگاه ژرمیناتور باقی ماندند. پس از مشاهده بذرهای جوانه زده، هفت بذر از هر ژنوتیپ درون گلدان-های پلاستیکی (ارتفاع ۲۰ سانتی متر و عرض ۱۵ سانتی-متر) با ظرفیت سه کیلوگرم خاک حاوی نسبت مساوی مخلوط خاک، ماسه بادی و کود دامی در عمق یک سانتی متر در هر گلدان کشت شدند. پوترسین در مرحله سه برگی گندم (معادل با کد ۱۳ از مقیاس BBCH) محلول پاشی شد و یک روز پس از محلول پاشی، تنش کم آبی براساس ظرفیت زراعی به مدت یک هفته اعمال شد. آبیاری در سطح شاهد، بر اساس نیاز گیاه از کاشت تا زمان برداشت صورت گرفت. برای دو سطح تنش نیز بعد از تخلیه ۶۵ و ۸۵ درصد رطوبت قابل نگهداری در خاک، کمبود آب تا نقطه ظرفیت زراعی، با توجه به عمق ریشه در هر مرحله از رشد گیاه جبران شد. اندازه-گیری رطوبت گلدان‌ها در سطوح تنش، با استفاده از دستگاه رطوبت سنج خاک (Moisture Probe Meter)

(حداقل فلورسانس برگ سازگار شده با تاریکی)، Fm (حداکثر فلورسانس برگ سازگار شده با تاریکی)، Fv (میزان تغییر فلورسانس یا فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و Fv/Fm (حداکثر کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسنتز دو در شرایط سازگار شده با تاریکی) می‌باشند (Maxwell & Jonson, 2000; Hosseinzadeh *et al.*, 2016). کارایی عملکرد فتوسنتز II به عنوان یک شاخص مهم در سنجش میزان تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش کم آبی معرفی شده است و افزایش این ویژگی در یک گیاه در شرایط تنش کم آبی، نشان دهنده مقاوم بودن آن نسبت به خشکی است (Amiri *et al.*, 2017). واکنش گیاهان به تنش-های محیطی در سطوح فیزیولوژیک و مورفولوژیک متفاوت است و گیاهان برای زنده ماندن، نیازمند سازگار شدن به انواع تنش‌ها می‌باشند؛ بنابراین انتخاب ژنوتیپ برتر به صورت غیرمستقیم و بر اساس اجزای عملکرد یا سایر صفات مرتبط با عملکرد که وراثت پذیری بالایی دارند، انجام می‌گیرد (Gitelson *et al.*, 2003). نتایج مطالعات مختلفی که اثر تنش کم آبی بر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک را بررسی کرده‌اند نشان داده است که تنش کم آبی، اثر بارز و اغلب کاهنده‌ای بر بیشتر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک دارد و منجر به کاهش رشد و عملکرد می‌شود (Anjum *et al.*, 2011; Abdoli *et al.*, 2013). پلی آمین‌ها، پلی کاتیون‌هایی با وزن ملکولی پایین هستند که در هنگام تنش افزایش می‌یابند و پاسخ‌های دفاعی را ایجاد می‌کنند (Liu *et al.*, 2020). پلی آمین‌ها به واسطه ویژگی پلی-کاتیونی خود، مانند ترکیبات آنتی اکسیدانی عمل می‌کنند و سبب برداشت رادیکال‌های آزاد و در نتیجه کاهش خسارت ناشی از تنش می‌شوند (Kandil *et al.*, 2011). اخیراً نقش پوترسین به عنوان گروهی از تنظیم کننده‌های سازگاری (Toumi *et al.*, 2010)، در بهبود عملکرد دانه و افزایش تحمل به تنش خشکی در گندم (Mohseni Mohammadjanlou *et al.*, 2021) و گلرنگ (Farzi-Aminabad *et al.*, 2021) مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت تغذیه‌ای گندم و قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک و نیز

۲۰۱۳) انجام گرفت.

### نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل سه عامل رقم  $\times$  تنش کم‌آبی  $\times$  غلظت پوتریسین بر محتوای کلروفیل، فلورسانس حداقل و حداکثر، عملکرد کوآنتومی و صفات طول ساقه، تعداد سنبله، دانه و دانه در سنبله و وزن دانه و هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱، ۲).

#### شاخص کلروفیل

تحت تنش کم‌آبی، شاخص کلروفیل برگ بجز در ژنوتیپ کوهدشت و لاین‌های ۲۴ و ۲۸، در بقیه ژنوتیپ‌ها روند نزولی داشت (جدول ۳). علاوه بر این، ترکیب تیماری پوتریسین و تنش کم‌آبی، موجب افزایش شاخص کلروفیل در لاین ۲۷ و ژنوتیپ زاگرس شد. از طرفی کاربرد پوتریسین (۰/۰۸۸ گرم در لیتر) در محدودیت شدید آبی نسبت به شرایط بدون تنش، شاخص کلروفیل را به میزان ۳۷/۳۱ درصد افزایش داد. در پژوهش حاضر، بیشترین شاخص کلروفیل برگ با میانگین ۵۵/۷۵، به ژنوتیپ کوهدشت تعلق داشت که نسبت به شرایط کنترل، افزایش ۸/۹۹ درصدی نشان داد و کمترین مقدار شاخص مذکور با میانگین ۴۰/۶۰، در ژنوتیپ زاگرس و لاین ۴۰ مشاهده شد (جدول ۳). کلروفیل برگ، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان-دهنده تنش‌های محیطی بر گیاهان است و مقدار کلروفیل در گیاهان، تحت تنش کاهش می‌یابد و باعث تغییر در نسبت جذب نور و در نتیجه کاهش جذب نور توسط گیاه می‌شود (Mahdinezhad & Shahi, 2019). در پژوهش حاضر، کاهش شاخص کلروفیل ژنوتیپ‌های گنبد، زاگرس، لاین‌های ۲۵، ۳۹ و ۴۰ در شرایط محدودیت آبی، احتمالاً به دلیل افزایش تولید رادیکال-های آزاد اکسیژن، تخریب کلروپلاست، کاهش سنتز رنگیزه‌ها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی است که با افزایش محدودیت آبی، روند تخریب رنگیزه‌های کلروفیل با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد (Davoodi fard *et al.*, 2011; Ahmadvour & Hosseinzadeh, *et al.*, 2017) که با نتایج سایر محققان در رابطه با کاهش شاخص

مدل (12-bit Resolution) MPM-160-B

(AUSTRALIA) صورت گرفت و سپس ۱۴ روز بعد از کاشت، نمونه‌برداری از نمونه‌های شاهد و تحت آزمایش انجام شد.

محتوای کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه اسپاد (SPAD-502) مدل مینولتا- ژاپن (MINOLTA-Japan) و بدون تخریب بافت‌های گیاهی در مرحله سه برگی از سه برگ بالایی گیاه و از میانگین سه نقطه میانی آن، تخمین زده شد (Gholizadeh, 2009).

برای سنجش فلورسانس کلروفیل تحت شرایط گلخانه-ای و پس از اعمال تیمار پوتریسین و تنش کم‌آبی، هر چهار روز یک بار از هر پنج بوته به‌طور تصادفی سه برگ کاملاً توسعه یافته انتهایی گیاه انتخاب شدند و بعد از ۲۰ دقیقه تاریکی توسط گیره‌های مخصوص، ویژگی-های فلورسانس کلروفیل برگ شامل  $F_0$  (فلورسانس حداقل)،  $F_M$  (فلورسانس بیشینه) و  $F_v/F_M$  (میزان عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II) توسط دستگاه فلورومتر کلروفیل (مدل OS-30p، شرکت آپتی‌ساینس، آمریکا) اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016).

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و اجزای عملکرد، گندم‌ها بعد از رسیدگی به‌صورت کامل و کف بر شدن به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور تعیین عملکرد دانه، از هر گلدان پنج بوته به‌صورت تصادفی از سطح خاک برداشت شد و سپس وزن دانه‌های جدا شده از سنبله به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱، اندازه‌گیری شد و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. در زمان رسیدگی، تعداد پنج بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه به‌طور تصادفی در هر گلدان برداشت شد و سپس صفات مختلف از جمله طول ساقه، تعداد سنبله، دانه و دانه در سنبله و وزن دانه و هزار دانه اندازه‌گیری شد و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار رفت.

تجزیه و تحلیل داده‌های آماری حاصل از این آزمایش، با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel (نسخه

کلروفیل در شرایط کم آبی هم سو است ( Narimani *et al.*, 2018; Raesi Sadati *et al.*, 2020).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنش کم آبی و تیمار پوترسین بر محتوای کلروفیل، فلورسانس حداقل و حداکثر و عملکرد کوآنتومی در ارقام گندم

Table 1. Variance analysis of the effects of water deficit stress and putrescin treatment on chlorophyll content, minimum and maximum fluorescences and quantum yield in wheat cultivars

SOV	Means of square (MS)				
	Degree of freedom	Chlorophyll	F <sub>0</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>V/M</sub>
Cultivar	9	332.99**	8453.03**	257087.82**	0.01**
water deficit stress	2	57.04**	415.208 <sup>ns</sup>	17847.013**	0.001 <sup>ns</sup>
Putrescin	2	9.527**	1233.672**	26204.16**	0.0001 <sup>ns</sup>
Putrescin × water deficit stress	4	5.252 <sup>ns</sup>	409.693 <sup>ns</sup>	2685.29 <sup>ns</sup>	0.03**
cultivar× water deficit stress	18	8.325**	323.71*	18277.19**	0.01**
cultivar× Putrescin	18	5.329*	1106.47**	13894.6**	0.02**
cultivar× water deficit stress × Putrescin	36	7.834**	1609.01**	9976.82**	0.02**
Error	180	2.98	182.41	3650.5	0.001
Coefficient of Variation (cv)	-	8.56	19.11	20.04	4.52

ns, \* and \*\*: non significant and significant at 1% and 5%, of probability levels, respectively.

کلروفیل دارای نیتروژن و منیزیم است و کمبود این عناصر، مانع از تشکیل کلروفیل می شود ( Arasteh *et al.*, 2020). از آن جا که پلی آمین ها در ساختار خود دارای نیتروژن هستند، می توانند مقدار کلروفیل را تحت تأثیر قرار دهند.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش کم آبی و تیمار پوترسین بر عملکرد و برخی اجزای آن در ارقام گندم

Table 2. Variance analysis of the effects of water deficit stress and putrescin treatment on yield and some yield components in wheat cultivars

SOV	Means of square (MS)						
	Degree of freedom	Stem length	Number of spikes	Number of seeds	Number of seeds per spike	Grain weight	Weight of one thousand seeds
Cultivar	9	267.131**	31.076**	14293.53**	53.210**	15.949**	463.208**
water deficit stress	2	2053.71**	3.946**	463236.65*	1903.255**	231.87**	542.691**
Putrescin	2	18.946**	4.99**	66.68 <sup>ns</sup>	0.675 <sup>ns</sup>	0.168 <sup>ns</sup>	211.713**
Putrescin × water deficit stress	4	16.105**	4.426 <sup>ns</sup>	2207.417**	9.45**	1.570**	79.814**
cultivar× water deficit stress	18	26.331**	3.680**	9808.503**	42.635**	5.717**	102.859**
cultivar× Putrescin	18	10.09**	6.314**	2205.78**	9.701**	1.455**	133.757**
cultivar× water deficit stress × Putrescin	36	3.728**	4.375**	1636.54**	6.86**	1.367**	66.706**
Error	180	0.203	1.007	292.111	1.678	0.343	22.172
Coefficient of Variation (cv)	-	18.27	11.78	7.50	9.19	8.45	16.32

ns, \* and \*\*: non significant and significant at 1% and 5%, of probability levels, respectively.

پلی آمین در ممانعت از تجزیه کلروفیل باشد. نتایج مشابهی نیز توسط برخی محققان مبنی بر این که کاربرد پوترسین موجب تأخیر در پیری، تحریک بیوسنتز کلروفیل و کاهش از دست دادن کلروفیل می شود، گزارش شده است ( El-Bassioouny *et al.*, 2008; Farzi-Aminabad *et al.*, 2021). همچنین پلی آمین ها، گونه های فعال اکسیژن تولید شده در گیاه را

همچنین پلی آمین ها با نقش حفاظتی که در برابر غشا تیلاکوئید دارند، مانع از دست رفتن و تجزیه کلروفیل می شوند که منجر به گرفتن نور بیشتر برای بهبود سرعت فتوسنتز می شود؛ اگرچه مکانیسم مولکولی آن ها دقیقاً مشخص نیست (Shi *et al.*, 2010). بنابراین افزایش شاخص کلروفیل با کاربرد پوترسین در لاین های ۲۳ و ۳۹ و ژنوتیپ کوهدشت می تواند به دلیل نقش این

می‌رسد که افزایش مقدار فلورسانس حداقل و حداکثر در لاین‌های مذکور، به دلیل افزایش واکنش‌های فتوشیمیایی و شرایط فتوسنتزی مطلوب گیاه که ناشی از حفظ و افزایش کلروفیل برگ‌ها می‌باشد، موجب بهبود وضعیت فلورسانس کلروفیل شود (Chen *et al.*, 2005). افزایش سطوح پوترسین، مقدار (Fo) را در لاین‌های ۲۳، ۲۴، ۲۷، ۴۰ و نیز مقدار (Fm) را در ژنوتیپ‌های کوه‌دشت، زاگرس و لاین‌های ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۴۰ کاهش داد که با نتایج سایر تحقیقات مبنی بر کاهش فلورسانس‌های کلروفیل برگ با کاربرد پوترسین مطابقت دارد (Emadi *et al.*, 2014). هرچه فلورسانس کلروفیل کمتر باشد، ژنوتیپ‌ها مقاومت بیشتری به تنش نشان می‌دهند، زیرا از نور دریافتی خورشید، حداکثر استفاده را می‌نمایند و کمتر آن را بازتاب و هدر می‌دهند (Kalaji & Guo, 2008).

#### عملکرد کوآنتومی (Fv/Fm)

مطابق جدول ۳، عملکرد فتوسیستم II در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری داشت، به طوری که با افزایش سطوح تنش کم‌آبی، مقدار عملکرد کوآنتومی به جز ژنوتیپ‌های کوه‌دشت، زاگرس و گنبد و لاین ۲۸ در سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه افزایش یافت. بیشترین مقدار عملکرد کوآنتومی (۰/۸۸۹) در سطوح بالای تنش کم‌آبی و بدون کاربرد پوترسین، در لاین ۲۷ بود و کمترین آن (۰/۷۱۵) در برهم‌کنش تنش کم‌آبی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی و مصرف ۰/۱۷۶ گرم بر لیتر پوترسین در لاین ۲۸ و ژنوتیپ کوه‌دشت مشاهده شد. محلول‌پاشی ۰/۱۷۶ گرم بر لیتر پوترسین در شرایط محدودیت شدید آبی، عملکرد کوآنتومی را نسبت به عدم مصرف آن، ۲۴/۳۳ درصد افزایش داد (جدول ۳).

Rahbarian *et al.*, (Mohamadian *et al.*, 2018) (2011) دریافتند که با افزایش سطوح خشکی، Fv/Fm کمترین میزان را نسبت به شرایط بدون تنش داشت که علت آن را تخریب مراکز واکنش فتوسیستم II تحت اثر خشکی بیان کردند که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با کاهش عملکرد کوآنتومی تحت تنش کم‌آبی مطابقت داشت.

از طرفی گزارش شده است که پوترسین باعث افزایش

از بین می‌برند و خسارات ناشی از تنش را کاهش می‌دهند که نتایج پژوهش حاضر نیز این امر را اثبات می‌کند (Kandil *et al.*, 2011; Aljazeera, 2017).

#### فلورسانس حداقل (Fo) و فلورسانس حداکثر (Fm)

تحت تنش کم‌آبی، فلورسانس‌های حداقل و حداکثر در ژنوتیپ‌های کوه‌دشت، گنبد، زاگرس و لاین ۲۷ نسبت به شرایط کنترل کاهش یافت؛ البته بین ژنوتیپ‌های گندم، اختلاف معنی‌داری از نظر فلورسانس‌های کلروفیل برگ وجود داشت (جدول ۳). از آن‌جا که در ژنوتیپ گنبد، محلول‌پاشی پوترسین (با غلظت ۰/۰۸۸ گرم در لیتر) در شرایط تنش کم‌آبی ۶۵ درصد ظرفیت زراعی، مقدار فلورسانس حداقل را نسبت به عدم کاربرد پوترسین سه برابر افزایش داد، به نظر می‌رسد که این ترکیب تیماری به‌طور مناسب‌تری از رطوبت خاک استفاده کرده است. همچنین محدودیت شدید آبی، موجب افزایش دو برابری فلورسانس حداکثر نسبت به شرایط کنترل شد (جدول ۳). فلورسانس کلروفیل و شاخص کلروفیل، از جمله صفات فیزیولوژیکی هستند که با فتوسنتز گیاه در ارتباطند (Talebzadeh *et al.*, 2020). در تحقیق حاضر، فلورسانس حداقل و حداکثر برخی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تحت تنش کم‌آبی، کاهش یافتند که با یافته‌های سایر محققین مبنی بر کاهش فلورسانس‌های حداقل و حداکثر تحت تنش خشکی منطبق بود (Narimani *et al.*, 2018). Raeesi Sadati (2020) بیان کردند که تنش کم‌آبی در گندم، موجب افزایش فلورسانس حداقل و حداکثر می‌شود که با یافته‌های پژوهش حاضر در رابطه با افزایش فلورسانس حداقل و فلورسانس حداکثر در لاین‌های ۲۳، ۲۴ و ۲۵ تحت تنش کم‌آبی مطابقت دارد. به نظر افزایش عملکرد کوآنتومی (Fv/Fm) در لاین‌های ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۷، ۳۹ و ۴۰، دلیلی است بر این که تنش بر کارایی فتوسنتز تأثیر دارد (Paknejad *et al.*, 2007). کاهش عملکرد کوآنتومی ژنوتیپ‌های کوه‌دشت، زاگرس، گنبد و لاین ۲۸ در شرایط محدودیت شدید آبی، احتمالاً حاکی از کارایی کمتر فتوسیستم II، یا به دلیل افزایش در میزان فلورسانس حداقل یا کاهش فلورسانس حداکثر و یا هر دو باشد (Afshar

مركز واكنش فعال در گياه خيار شده است (Zhang *et al.*, 2009). کاربرد خارجي پوترسین مي‌تواند اين تغييرات را با تحريك سازمان‌دهي مجدد سيستم فتوسنتزي جبران کند؛ بنابراین پوترسین مي‌تواند عملي براي افزايش مقاومت نسبي در مقابل محدوديت آبي باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی × تیمار پوترسین بر مقدار شاخص کلروفیل، فلورسانس حداقل و حداکثر و عملکرد کوآنتومی ژنوتیپ‌های گندم

Table 3. Means comparison of the interaction effects of low water stress × putrescine treatment on chlorophyll index content, minimum and maximum fluorescences and quantum yield of wheat genotypes

Treatments combination / genotypes	chlorophyll index									LSD 5%
	Control	P <sub>2</sub> × D <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> × D <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> × D <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> × D <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> × D <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> × D <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> × D <sub>3</sub>	P <sub>3</sub> × D <sub>3</sub>	
line 27	45.000 <sup>ab</sup>	45.800 <sup>a</sup>	44.450 <sup>ab</sup>	47.700 <sup>a</sup>	41.950 <sup>b</sup>	45.400 <sup>ab</sup>	44.600 <sup>ab</sup>	46.950 <sup>a</sup>	45.850 <sup>a</sup>	0.505
Kuhdasht	51.150 <sup>cd</sup>	54.717 <sup>ab</sup>	52.414 <sup>bc</sup>	55.200 <sup>a</sup>	51.550 <sup>cd</sup>	54.350 <sup>ab</sup>	54.250 <sup>ab</sup>	55.750 <sup>a</sup>	50.750 <sup>d</sup>	2.046
Zagros	43.500 <sup>ab</sup>	40.600 <sup>c</sup>	42.950 <sup>abc</sup>	40.850 <sup>bc</sup>	43.550 <sup>ab</sup>	43.650 <sup>ab</sup>	42.750 <sup>abc</sup>	43.350 <sup>abc</sup>	44.150 <sup>a</sup>	2.818
line 24	43.700 <sup>bc</sup>	45.300 <sup>ab</sup>	42.100 <sup>c</sup>	44.000 <sup>abc</sup>	45.150 <sup>abc</sup>	43.300 <sup>bc</sup>	46.900 <sup>a</sup>	43.550 <sup>bc</sup>	43.600 <sup>bc</sup>	3.192
Gonbad	47.000 <sup>a</sup>	45.550 <sup>abc</sup>	45.500 <sup>abc</sup>	44.650 <sup>abc</sup>	42.850 <sup>c</sup>	43.850 <sup>bc</sup>	46.000 <sup>ab</sup>	43.300 <sup>bc</sup>	43.300 <sup>bc</sup>	2.719
line 28	48.250 <sup>b</sup>	47.250 <sup>c</sup>	46.050 <sup>d</sup>	50.100 <sup>a</sup>	46.500 <sup>cd</sup>	42.400 <sup>e</sup>	48.250 <sup>b</sup>	47.300 <sup>c</sup>	46.700 <sup>cd</sup>	0.819
line 40	46.650 <sup>a</sup>	41.600 <sup>de</sup>	42.200 <sup>cde</sup>	44.900 <sup>ab</sup>	43.300 <sup>bcd</sup>	40.600 <sup>e</sup>	46.300 <sup>a</sup>	43.400 <sup>bcd</sup>	44.050 <sup>bc</sup>	2.072
line 39	48.450 <sup>ab</sup>	48.450 <sup>ab</sup>	49.650 <sup>a</sup>	48.050 <sup>ab</sup>	45.850 <sup>bc</sup>	47.050 <sup>ab</sup>	48.200 <sup>ab</sup>	46.750 <sup>abc</sup>	44.500 <sup>c</sup>	3.449
line 25	46.550 <sup>a</sup>	46.050 <sup>ab</sup>	45.700 <sup>ab</sup>	45.400 <sup>ab</sup>	43.350 <sup>b</sup>	44.600 <sup>ab</sup>	43.650 <sup>ab</sup>	44.850 <sup>ab</sup>	46.450 <sup>a</sup>	3.001
line 23	53.400 <sup>ab</sup>	51.400 <sup>bc</sup>	54.000 <sup>ab</sup>	55.350 <sup>a</sup>	51.250 <sup>bc</sup>	49.500 <sup>c</sup>	53.350 <sup>ab</sup>	49.950 <sup>c</sup>	50.150 <sup>c</sup>	2.796
Minimum fluorescence										
line 27	185.67 <sup>a</sup>	162.67 <sup>ab</sup>	167.00 <sup>ab</sup>	168.67 <sup>ab</sup>	124.67 <sup>c</sup>	59.00 <sup>d</sup>	67.00 <sup>d</sup>	141.00 <sup>bc</sup>	161.67 <sup>ab</sup>	34.804
Kuhdasht	111.66 <sup>b</sup>	111.71 <sup>b</sup>	70.56 <sup>c</sup>	40.00 <sup>d</sup>	116.66 <sup>ab</sup>	125.66 <sup>a</sup>	111.66 <sup>b</sup>	104.66 <sup>bc</sup>	109.00 <sup>bc</sup>	18.735
Zagros	146.00 <sup>a</sup>	120.00 <sup>b</sup>	154.66 <sup>a</sup>	145.66 <sup>a</sup>	156.00 <sup>a</sup>	157.00 <sup>a</sup>	145.66 <sup>a</sup>	155.66 <sup>a</sup>	144.66 <sup>a</sup>	16.905
line 24	142.66 <sup>bc</sup>	156.66 <sup>a</sup>	135.66 <sup>c</sup>	149.00 <sup>ab</sup>	153.00 <sup>ab</sup>	144.66 <sup>bc</sup>	144.66 <sup>bc</sup>	143.00 <sup>bc</sup>	149.66 <sup>ab</sup>	11.31
Gonbad	174.00 <sup>a</sup>	176.00 <sup>a</sup>	183.67 <sup>a</sup>	145.67 <sup>b</sup>	194.00 <sup>a</sup>	178.00 <sup>a</sup>	171.00 <sup>ab</sup>	171.67 <sup>a</sup>	169.67 <sup>ab</sup>	25.868
line 28	138.00 <sup>cd</sup>	153.00 <sup>ab</sup>	142.00 <sup>bc</sup>	149.00 <sup>ab</sup>	142.66 <sup>abc</sup>	146.00 <sup>abc</sup>	128.00 <sup>d</sup>	140.00 <sup>bc</sup>	144.00 <sup>abc</sup>	10.918
line 40	150.00 <sup>abc</sup>	162.66 <sup>a</sup>	138.66 <sup>cd</sup>	156.66 <sup>ab</sup>	150.66 <sup>abc</sup>	154.00 <sup>abc</sup>	143.66 <sup>bc</sup>	122.00 <sup>d</sup>	126.00 <sup>d</sup>	17.04
line 39	133.67 <sup>abc</sup>	149.67 <sup>a</sup>	151.67 <sup>a</sup>	151.67 <sup>a</sup>	113.67 <sup>c</sup>	130.67 <sup>abc</sup>	116.67 <sup>bc</sup>	145.00 <sup>a</sup>	139.67 <sup>ab</sup>	24.318
line 25	137.66 <sup>abc</sup>	138.66 <sup>ab</sup>	141.00 <sup>ab</sup>	134.66 <sup>abc</sup>	131.66 <sup>bc</sup>	149.00 <sup>a</sup>	142.00 <sup>ab</sup>	143.66 <sup>ab</sup>	123.66 <sup>c</sup>	14.433
line 23	141.66 <sup>ab</sup>	139.00 <sup>ab</sup>	136.66 <sup>ab</sup>	146.66 <sup>a</sup>	152.00 <sup>a</sup>	140.00 <sup>ab</sup>	150.00 <sup>a</sup>	126.00 <sup>b</sup>	153.66 <sup>a</sup>	17.03
Maximum fluorescence										
line 27	861.00 <sup>a</sup>	695.67 <sup>bc</sup>	641.00 <sup>bc</sup>	745.67 <sup>ab</sup>	611.67 <sup>cd</sup>	502.00 <sup>d</sup>	607.67 <sup>cd</sup>	577.67 <sup>cd</sup>	635.00 <sup>bc</sup>	119.57
Kuhdasht	418.66 <sup>ab</sup>	470.01 <sup>a</sup>	412.96 <sup>ab</sup>	273.00 <sup>c</sup>	442.00 <sup>ab</sup>	479.66 <sup>a</sup>	240.66 <sup>d</sup>	420.66 <sup>ab</sup>	386.00 <sup>b</sup>	36.575
Zagros	700.67 <sup>a</sup>	546.00 <sup>b</sup>	697.00 <sup>a</sup>	691.00 <sup>a</sup>	691.67 <sup>a</sup>	705.00 <sup>a</sup>	700.67 <sup>a</sup>	726.67 <sup>a</sup>	686.67 <sup>a</sup>	91.625
line 24	676.00 <sup>b</sup>	750.00 <sup>a</sup>	686.00 <sup>b</sup>	775.00 <sup>a</sup>	761.00 <sup>a</sup>	721.67 <sup>ab</sup>	750.00 <sup>a</sup>	714.67 <sup>ab</sup>	713.00 <sup>ab</sup>	63.971
Gonbad	742.00 <sup>bc</sup>	855.00 <sup>a</sup>	788.67 <sup>ab</sup>	536.67 <sup>d</sup>	793.00 <sup>ab</sup>	726.00 <sup>bc</sup>	638.67 <sup>cd</sup>	706.67 <sup>bc</sup>	663.00 <sup>c</sup>	107.77
line 28	589.67 <sup>b</sup>	630.67 <sup>a</sup>	575.67 <sup>bc</sup>	573.00 <sup>bc</sup>	589.00 <sup>b</sup>	544.67 <sup>cd</sup>	507.67 <sup>d</sup>	565.67 <sup>bc</sup>	506.00 <sup>d</sup>	40.775
line 40	583.67 <sup>bc</sup>	683.00 <sup>a</sup>	573.67 <sup>bc</sup>	539.67 <sup>c</sup>	644.00 <sup>ab</sup>	606.00 <sup>abc</sup>	629.67 <sup>ab</sup>	539.00 <sup>c</sup>	559.00 <sup>bc</sup>	89.425
line 39	498.00 <sup>bc</sup>	653.67 <sup>a</sup>	579.67 <sup>ab</sup>	544.67 <sup>abc</sup>	450.00 <sup>c</sup>	506.67 <sup>bc</sup>	515.67 <sup>bc</sup>	536.00 <sup>abc</sup>	615.67 <sup>ab</sup>	127.58
line 25	582.00 <sup>bc</sup>	592.00 <sup>abc</sup>	548.00 <sup>cd</sup>	584.00 <sup>abc</sup>	557.00 <sup>cd</sup>	623.67 <sup>abc</sup>	662.67 <sup>a</sup>	639.67 <sup>ab</sup>	492.67 <sup>d</sup>	80.612
line 23	569.67 <sup>c</sup>	636.00 <sup>abc</sup>	631.00 <sup>abc</sup>	628.00 <sup>abc</sup>	725.00 <sup>a</sup>	632.67 <sup>abc</sup>	655.00 <sup>abc</sup>	591.67 <sup>bc</sup>	676.00 <sup>ab</sup>	104.46
Quantum yield										
line 27	0.784 <sup>bc</sup>	0.764 <sup>cde</sup>	0.739 <sup>e</sup>	0.773 <sup>cd</sup>	0.807 <sup>b</sup>	0.878 <sup>a</sup>	0.889 <sup>a</sup>	0.755 <sup>cde</sup>	0.745 <sup>de</sup>	0.03
Kuhdasht	0.732 <sup>bc</sup>	0.766 <sup>ab</sup>	0.840 <sup>a</sup>	0.790 <sup>ab</sup>	0.732 <sup>bc</sup>	0.737 <sup>bc</sup>	0.725 <sup>cd</sup>	0.748 <sup>ab</sup>	0.715 <sup>cd</sup>	0.017
Zagros	0.791 <sup>a</sup>	0.779 <sup>bcd</sup>	0.777 <sup>cd</sup>	0.789 <sup>ab</sup>	0.773 <sup>d</sup>	0.776 <sup>cd</sup>	0.791 <sup>a</sup>	0.785 <sup>abc</sup>	0.789 <sup>ab</sup>	0.010
line 24	0.788 <sup>d</sup>	0.791 <sup>bcd</sup>	0.802 <sup>a</sup>	0.807 <sup>a</sup>	0.798 <sup>abc</sup>	0.799 <sup>ab</sup>	0.806 <sup>a</sup>	0.799 <sup>ab</sup>	0.789 <sup>cd</sup>	0.009
Gonbad	0.764 <sup>b</sup>	0.793 <sup>a</sup>	0.767 <sup>b</sup>	0.731 <sup>d</sup>	0.755 <sup>bc</sup>	0.754 <sup>bc</sup>	0.730 <sup>d</sup>	0.757 <sup>bc</sup>	0.744 <sup>cd</sup>	0.016
line 28	0.765 <sup>ab</sup>	0.757 <sup>abc</sup>	0.752 <sup>abc</sup>	0.738 <sup>cd</sup>	0.731 <sup>de</sup>	0.746 <sup>de</sup>	0.746 <sup>bcd</sup>	0.766 <sup>a</sup>	0.715 <sup>e</sup>	0.019
line 40	0.741 <sup>c</sup>	0.761 <sup>ab</sup>	0.757 <sup>bc</sup>	0.709 <sup>d</sup>	0.763 <sup>ab</sup>	0.744 <sup>c</sup>	0.771 <sup>ab</sup>	0.772 <sup>ab</sup>	0.777 <sup>a</sup>	0.015
line 39	0.730 <sup>c</sup>	0.766 <sup>ab</sup>	0.737 <sup>bc</sup>	0.719 <sup>c</sup>	0.747 <sup>abc</sup>	0.742 <sup>abc</sup>	0.773 <sup>a</sup>	0.725 <sup>c</sup>	0.765 <sup>ab</sup>	0.031
line 25	0.762 <sup>bcd</sup>	0.765 <sup>bcd</sup>	0.741 <sup>e</sup>	0.769 <sup>bc</sup>	0.763 <sup>bcd</sup>	0.754 <sup>cde</sup>	0.785 <sup>a</sup>	0.775 <sup>ab</sup>	0.751 <sup>de</sup>	0.014
line 23	0.760 <sup>d</sup>	0.780 <sup>abcd</sup>	0.783 <sup>abc</sup>	0.763 <sup>cd</sup>	0.790 <sup>ab</sup>	0.791 <sup>a</sup>	0.769 <sup>bcd</sup>	0.785 <sup>ab</sup>	0.771 <sup>abcd</sup>	0.021

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> و D<sub>3</sub>: به ترتیب عدم اعمال تنش، تنش خشکی ۶۵ درصد ظرفیت زراعی و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی.

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> و P<sub>3</sub>: به ترتیب عدم کاربرد پوترسین و مصرف ۰/۰۸۸ گرم در لیتر پوترسین و ۰/۱۷۸ گرم در لیتر گرم پوترسین.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> and D<sub>3</sub>: non-stress, drought stress 65% of field capacity and 85% of field capacity, respectively.

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> and P<sub>3</sub>: no putrescine application, 0.088 g/L<sup>-1</sup> and 0.178 g/L<sup>-1</sup> putrescine, respectively.

Means with the same letters in the same column are not significantly different.

## تأثیر برهم‌کنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی پوترسین بر برخی صفات مورفولوژیک ژنوتیپ‌های گندم

### طول ساقه

طول ساقه ژنوتیپ‌های گنبد، زاگرس و لاین ۲۸ در شرایط محدودیت آبی کاهش یافت (جدول ۴). همچنین محدودیت شدید آبی از اثرهای مثبت پوترسین کاست؛ با این حال طول ساقه با کاربرد پوترسین در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری نداشت. حداکثر طول ساقه (۵۴/۱ سانتی‌متر) در شرایط تنش کم‌آبی به لاین‌های ۲۷ و ۴۰ تعلق داشت، در حالی‌که حداقل آن (۳۰/۸ سانتی‌متر) در برهم‌کنش پوترسین و تنش کم‌آبی مشاهده شد (جدول ۴). سطوح تنش کم‌آبی، تأثیر متفاوتی بر طول ساقه ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه داشت، به طوری‌که طول ساقه در لاین‌های ۲۷ و ۴۰ نسبت به ژنوتیپ گنبد، ۷۵/۶۴ درصد افزایش نشان داد. به عبارتی، ژنوتیپ‌هایی که بدین لحاظ تغییرات و خسارات ناخواسته کمتری را تحمل کردند، به لحاظ تحمل به خشکی ارجحیت دارند و پتانسیل بالاتری برای تولید در مناطق خشک و نیمه خشک دارا می‌باشند (Mahdinezhad & Shahi, 2019). در پژوهش حاضر، تنش کم‌آبی (۶۵ درصد ظرفیت زراعی) موجب کاهش طول ساقه در لاین‌های ۲۳، ۲۸، ۴۰ و ژنوتیپ‌های کوه‌دشت و زاگرس شد که با نتایج سایر محققین مبنی بر کاهش ارتفاع گیاه و طول ساقه گندم تحت تنش کم‌آبی مطابقت دارد (Davatgar et al., 2012; Raeesi Sadati et al., 2020).

### تعداد سنبله

محدودیت آبی موجب کاهش تعداد سنبله ژنوتیپ زاگرس و لاین ۲۷ در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، ترکیب تیماری پوترسین (محلول‌پاشی ۰/۰۸۸ گرم در لیتر) و تنش کم‌آبی، تعداد سنبله را در ژنوتیپ‌های زاگرس و کوه‌دشت و لاین‌های ۲۳، ۲۴ و ۴۰ افزایش داد. بیشترین تعداد سنبله (۱۸/۰۰ عدد) در محلول‌پاشی با غلظت ۰/۱۷۶ گرم بر لیتر پوترسین در لاین ۲۵ و کمترین آن (نه عدد) در برهم‌کنش ۰/۱۷۶ گرم بر لیتر

پوترسین و تنش کم‌آبی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی در ژنوتیپ زاگرس مشاهده شد (جدول ۴). پژوهشگران دریافتند که تعداد سنبله هر بوته به‌عنوان یکی از اجزای مهم، عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zaefizadeh et al., 2011). بر اساس نظر محققین، تعداد سنبله و دانه، وزن دانه و ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد (Raeesi Sadati et al., 2020). کاربرد برگی پوترسین با افزایش طول دوره رشد، موجب افزایش سرعت پرشدن دانه و نیز دوره پر شدن موثر دانه شده است که به دنبال آن، تعداد سنبله افزایش یافته است. Saba et al. (2018) گزارش کردند که افزایش طول دوره پر شدن دانه و کاهش ارتفاع بوته و طول سنبله، سبب افزایش صفات تعداد سنبله در بوته، وزن هزار دانه و کاهش تعداد دانه در سنبله می‌شود. کاربرد پوترسین در پژوهش حاضر، تعداد سنبله را در ژنوتیپ زاگرس و لاین‌های ۲۴، ۳۹ و ۴۰ افزایش داد. همچنین تأثیر پوترسین با غلظت ۰/۰۸۸ گرم در لیتر در شرایط محدودیت آبی، بارزتر از غلظت بیشتر این ماده بود.

محققان دریافتند که کاربرد پوترسین در شرایط خشکی در گندم، تعداد و وزن سنبله و عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Gupta et al., 2012) که با نتایج تحقیق حاضر هم‌سو بود.

### تعداد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه

با افزایش سطوح تنش کم‌آبی، تعداد دانه و دانه در سنبله در ژنوتیپ‌های کوه‌دشت، گنبد و لاین ۲۳ به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (جدول ۴). همچنین در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، وزن دانه ژنوتیپ کوه‌دشت و لاین‌های ۲۷، ۲۸ و ۳۹ تحت تنش آبی نسبت به شرایط کنترل کاهش یافت. بیشترین تعداد دانه (۲۶۱/۵۰ عدد) و دانه در سنبله (۱۶/۶۰۰ عدد) و وزن دانه (۶/۱۲۰ گرم) به ترتیب به لاین ۲۵ در تنش کم‌آبی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، لاین ۲۴ در شرایط کنترل و لاین‌های ۲۴ و ۴۰ تحت تنش ۸۵ درصد ظرفیت زراعی تعلق داشت، در حالی‌که کمترین مقدار این صفات در لاین ۲۳ در ترکیب تیماری پوترسین (۰/۱۷۶ گرم در لیتر) با تنش کم‌آبی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شرایط کنترل مشاهده شد (جدول ۴).



جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی × تیمار پوترسین بر برخی صفات مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های گندم

Table 4. Means comparison of the interaction effects of low water stress × putrescin treatment on some morphological traits of wheat genotypes

Treatments combination / genotypes	Stem length (cm)									LSD 5%
	Control	P <sub>2</sub> × D <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> × D <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> × D <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> × D <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> × D <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> × D <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> × D <sub>3</sub>	P <sub>3</sub> × D <sub>3</sub>	
line 27	51.900 <sup>c</sup>	48.400 <sup>d</sup>	47.300 <sup>e</sup>	54.100 <sup>a</sup>	48.000 <sup>d</sup>	43.800 <sup>g</sup>	53.500 <sup>b</sup>	47.900 <sup>d</sup>	44.500 <sup>f</sup>	0.505
Kuhdasht	48.200 <sup>a</sup>	41.935 <sup>b</sup>	38.679 <sup>c</sup>	48.000 <sup>a</sup>	37.700 <sup>cd</sup>	35.300 <sup>d</sup>	48.800 <sup>a</sup>	38.300 <sup>c</sup>	36.100 <sup>cd</sup>	0.359
Zagros	53.800 <sup>a</sup>	46.600 <sup>c</sup>	39.100 <sup>e</sup>	52.300 <sup>b</sup>	41.600 <sup>d</sup>	39.100 <sup>e</sup>	53.700 <sup>a</sup>	42.300 <sup>d</sup>	38.200 <sup>f</sup>	0.899
line 24	51.200 <sup>b</sup>	39.100 <sup>c</sup>	35.200 <sup>f</sup>	51.700 <sup>ab</sup>	38.700 <sup>c</sup>	36.600 <sup>e</sup>	52.100 <sup>a</sup>	37.600 <sup>d</sup>	35.500 <sup>f</sup>	0.729
Gonbad	48.000 <sup>b</sup>	36.100 <sup>d</sup>	36.000 <sup>d</sup>	49.300 <sup>a</sup>	35.700 <sup>d</sup>	32.400 <sup>f</sup>	46.200 <sup>c</sup>	33.700 <sup>e</sup>	30.800 <sup>g</sup>	0.545
line 28	50.300 <sup>a</sup>	41.300 <sup>d</sup>	38.600 <sup>f</sup>	49.000 <sup>b</sup>	38.400 <sup>f</sup>	36.100 <sup>h</sup>	48.300 <sup>c</sup>	39.700 <sup>e</sup>	36.900 <sup>g</sup>	0.567
line 40	52.700 <sup>b</sup>	38.000 <sup>d</sup>	33.800 <sup>f</sup>	50.200 <sup>c</sup>	37.200 <sup>e</sup>	34.100 <sup>f</sup>	54.100 <sup>a</sup>	38.100 <sup>d</sup>	36.600 <sup>e</sup>	0.763
line 39	49.500 <sup>b</sup>	37.200 <sup>d</sup>	34.500 <sup>f</sup>	50.600 <sup>b</sup>	38.500 <sup>c</sup>	33.000 <sup>g</sup>	51.900 <sup>a</sup>	35.900 <sup>e</sup>	32.400 <sup>g</sup>	1.166
line 25	45.100 <sup>c</sup>	37.500 <sup>d</sup>	33.200 <sup>f</sup>	49.200 <sup>b</sup>	35.000 <sup>e</sup>	33.500 <sup>f</sup>	50.400 <sup>a</sup>	37.000 <sup>d</sup>	33.600 <sup>f</sup>	1.041
line 23	47.400 <sup>b</sup>	35.400 <sup>d</sup>	32.000 <sup>f</sup>	46.600 <sup>b</sup>	33.500 <sup>e</sup>	31.300 <sup>f</sup>	50.800 <sup>a</sup>	38.100 <sup>c</sup>	31.900 <sup>f</sup>	1.236
Number of spikes (number)										
line 27	16.666 <sup>a</sup>	14.000 <sup>b</sup>	15.000 <sup>ab</sup>	16.333 <sup>a</sup>	16.333 <sup>a</sup>	15.333 <sup>ab</sup>	16.000 <sup>a</sup>	15.000 <sup>ab</sup>	16.000 <sup>a</sup>	1.750
Kuhdasht	16.333 <sup>ab</sup>	15.784 <sup>b</sup>	15.431 <sup>bc</sup>	17.000 <sup>a</sup>	17.333 <sup>a</sup>	15.666 <sup>bc</sup>	17.000 <sup>a</sup>	17.000 <sup>a</sup>	16.333 <sup>ab</sup>	1.546
Zagros	15.000 <sup>ab</sup>	16.000 <sup>a</sup>	15.333 <sup>ab</sup>	16.000 <sup>a</sup>	16.000 <sup>a</sup>	15.333 <sup>ab</sup>	14.000 <sup>b</sup>	15.333 <sup>ab</sup>	9.000 <sup>c</sup>	1.801
line 24	15.000 <sup>ab</sup>	16.333 <sup>a</sup>	16.333 <sup>a</sup>	14.000 <sup>b</sup>	16.000 <sup>a</sup>	16.000 <sup>a</sup>	16.000 <sup>a</sup>	15.000 <sup>ab</sup>	14.666 <sup>ab</sup>	1.832
Gonbad	14.000 <sup>abc</sup>	12.333 <sup>cd</sup>	10.667 <sup>d</sup>	13.333 <sup>bc</sup>	15.000 <sup>ab</sup>	14.333 <sup>abc</sup>	16.333 <sup>a</sup>	12.333 <sup>cd</sup>	16.000 <sup>a</sup>	2.577
line 28	14.000 <sup>c</sup>	13.333 <sup>cd</sup>	13.000 <sup>d</sup>	16.000 <sup>a</sup>	15.000 <sup>b</sup>	14.000 <sup>c</sup>	15.000 <sup>b</sup>	12.000 <sup>e</sup>	16.000 <sup>a</sup>	0.927
line 40	15.333 <sup>b</sup>	17.333 <sup>a</sup>	16.333 <sup>ab</sup>	16.333 <sup>ab</sup>	17.000 <sup>a</sup>	15.000 <sup>b</sup>	17.000 <sup>a</sup>	17.333 <sup>a</sup>	17.000 <sup>a</sup>	1.549
line 39	15.333 <sup>ab</sup>	16.333 <sup>ab</sup>	15.333 <sup>ab</sup>	16.000 <sup>ab</sup>	13.333 <sup>c</sup>	16.666 <sup>a</sup>	16.333 <sup>ab</sup>	15.000 <sup>b</sup>	15.000 <sup>b</sup>	1.549
line 25	16.333 <sup>abc</sup>	15.000 <sup>bc</sup>	18.000 <sup>a</sup>	16.000 <sup>abc</sup>	14.000 <sup>c</sup>	17.000 <sup>ab</sup>	17.333 <sup>ab</sup>	16.000 <sup>abc</sup>	16.667 <sup>ab</sup>	2.593
line 23	13.000 <sup>cd</sup>	11.333 <sup>e</sup>	14.000 <sup>bc</sup>	12.333 <sup>de</sup>	14.333 <sup>ab</sup>	14.000 <sup>bc</sup>	14.000 <sup>bc</sup>	14.000 <sup>bc</sup>	15.333 <sup>a</sup>	1.092
Number of grain (number)										
line 27	138.33 <sup>ab</sup>	109.67 <sup>bc</sup>	74.00 <sup>cde</sup>	150.50 <sup>a</sup>	48.50 <sup>ef</sup>	92.50 <sup>cd</sup>	151.50 <sup>a</sup>	61.00 <sup>def</sup>	35.00 <sup>f</sup>	35.871
Kuhdasht	122.00 <sup>ab</sup>	114.35 <sup>ab</sup>	61.54 <sup>de</sup>	105.50 <sup>bc</sup>	87.50 <sup>cd</sup>	82.50 <sup>cd</sup>	39.00 <sup>e</sup>	126.50 <sup>a</sup>	100.00 <sup>bc</sup>	14.398
Zagros	145.00 <sup>b</sup>	39.00 <sup>de</sup>	33.00 <sup>de</sup>	219.50 <sup>a</sup>	25.00 <sup>ef</sup>	17.50 <sup>f</sup>	151.50 <sup>b</sup>	58.50 <sup>c</sup>	40.50 <sup>d</sup>	14.049
line 24	249.00 <sup>ab</sup>	104.50 <sup>c</sup>	69.00 <sup>cd</sup>	218.00 <sup>b</sup>	75.00 <sup>c</sup>	35.00 <sup>d</sup>	255.50 <sup>a</sup>	100.00 <sup>c</sup>	90.50 <sup>c</sup>	37.009
Gonbad	173.00 <sup>a</sup>	46.50 <sup>b</sup>	46.00 <sup>b</sup>	146.00 <sup>a</sup>	32.00 <sup>b</sup>	35.00 <sup>b</sup>	158.50 <sup>a</sup>	14.00 <sup>b</sup>	26.50 <sup>b</sup>	33.426
line 28	181.50 <sup>a</sup>	90.50 <sup>bc</sup>	74.50 <sup>cd</sup>	192.50 <sup>a</sup>	90.50 <sup>bc</sup>	59.50 <sup>d</sup>	184.00 <sup>a</sup>	100.00 <sup>b</sup>	70.00 <sup>d</sup>	19.574
line 40	196.50 <sup>b</sup>	37.00 <sup>d</sup>	2.00 <sup>e</sup>	213.50 <sup>b</sup>	70.50 <sup>c</sup>	72.50 <sup>c</sup>	239.50 <sup>a</sup>	39.50 <sup>d</sup>	56.50 <sup>cd</sup>	23.657
line 39	179.00 <sup>b</sup>	76.50 <sup>c</sup>	65.50 <sup>c</sup>	232.00 <sup>a</sup>	73.00 <sup>c</sup>	69.00 <sup>c</sup>	201.50 <sup>ab</sup>	13.50 <sup>d</sup>	47.00 <sup>cd</sup>	41.443
line 25	161.50 <sup>b</sup>	69.50 <sup>c</sup>	7.00 <sup>e</sup>	247.50 <sup>a</sup>	12.00 <sup>e</sup>	16.50 <sup>e</sup>	261.50 <sup>a</sup>	63.50 <sup>cd</sup>	48.50 <sup>d</sup>	15.096
line 23	155.50 <sup>a</sup>	8.00 <sup>cd</sup>	1.50 <sup>cde</sup>	117.00 <sup>b</sup>	3.00 <sup>cde</sup>	9.00 <sup>c</sup>	148.50 <sup>a</sup>	0.50 <sup>de</sup>	0.00 <sup>e</sup>	7.508
Grain.spike <sup>-1</sup>										
line 27	8.400 <sup>ab</sup>	7.700 <sup>ab</sup>	4.800 <sup>cd</sup>	9.100 <sup>a</sup>	2.967 <sup>de</sup>	6.033 <sup>bc</sup>	9.467 <sup>a</sup>	4.167 <sup>cde</sup>	2.133 <sup>e</sup>	2.415
Kuhdasht	7.400 <sup>a</sup>	7.187 <sup>ab</sup>	3.975 <sup>d</sup>	6.200 <sup>bc</sup>	5.033 <sup>cd</sup>	5.366 <sup>cd</sup>	2.300 <sup>e</sup>	7.433 <sup>a</sup>	6.033 <sup>bc</sup>	1.540
Zagros	9.733 <sup>b</sup>	2.400 <sup>de</sup>	2.200 <sup>e</sup>	13.700 <sup>a</sup>	1.566 <sup>e</sup>	1.133 <sup>e</sup>	10.900 <sup>b</sup>	3.833 <sup>cd</sup>	4.400 <sup>c</sup>	1.455
line 24	16.600 <sup>a</sup>	6.333 <sup>b</sup>	4.133 <sup>bc</sup>	16.100 <sup>a</sup>	4.700 <sup>bc</sup>	2.167 <sup>c</sup>	16.133 <sup>a</sup>	6.800 <sup>b</sup>	6.300 <sup>b</sup>	3.398
Gonbad	12.367 <sup>a</sup>	3.867 <sup>bc</sup>	4.933 <sup>b</sup>	11.367 <sup>a</sup>	2.433 <sup>bc</sup>	2.500 <sup>bc</sup>	9.600 <sup>a</sup>	1.300 <sup>c</sup>	1.700 <sup>bc</sup>	3.429
line 28	13.000 <sup>a</sup>	6.700 <sup>c</sup>	5.733 <sup>cd</sup>	12.000 <sup>a</sup>	6.100 <sup>c</sup>	4.266 <sup>c</sup>	12.300 <sup>a</sup>	8.333 <sup>b</sup>	4.400 <sup>de</sup>	1.418
line 40	12.666 <sup>a</sup>	2.066 <sup>d</sup>	0.133 <sup>e</sup>	12.933 <sup>a</sup>	4.133 <sup>bc</sup>	5.066 <sup>b</sup>	14.133 <sup>a</sup>	2.300 <sup>d</sup>	3.300 <sup>cd</sup>	1.660
line 39	11.566 <sup>b</sup>	4.600 <sup>cd</sup>	4.166 <sup>cd</sup>	14.233 <sup>a</sup>	5.400 <sup>c</sup>	4.200 <sup>cd</sup>	12.200 <sup>b</sup>	0.866 <sup>e</sup>	3.133 <sup>d</sup>	1.841
line 25	9.800 <sup>b</sup>	4.900 <sup>c</sup>	4.000 <sup>c</sup>	15.466 <sup>a</sup>	1.000 <sup>e</sup>	0.933 <sup>e</sup>	14.966 <sup>a</sup>	3.966 <sup>cd</sup>	3.000 <sup>d</sup>	1.176
line 23	12.000 <sup>a</sup>	0.700 <sup>d</sup>	0.100 <sup>de</sup>	9.366 <sup>c</sup>	0.200 <sup>de</sup>	0.633 <sup>de</sup>	10.633 <sup>b</sup>	0.033 <sup>e</sup>	0.00 <sup>e</sup>	0.648
Grain weigh (g)										
line 27	5.083 <sup>a</sup>	3.576 <sup>bcd</sup>	2.506 <sup>de</sup>	4.830 <sup>ab</sup>	1.780 <sup>e</sup>	3.430 <sup>cd</sup>	4.760 <sup>abc</sup>	2.420 <sup>de</sup>	1.330 <sup>e</sup>	1.333
Kuhdasht	4.010 <sup>a</sup>	3.848 <sup>ab</sup>	2.193 <sup>de</sup>	3.306 <sup>ab</sup>	2.790 <sup>cd</sup>	2.730 <sup>de</sup>	1.160 <sup>e</sup>	4.013 <sup>a</sup>	2.820 <sup>cd</sup>	0.687
Zagros	3.766 <sup>c</sup>	1.293 <sup>d</sup>	1.120 <sup>de</sup>	5.296 <sup>a</sup>	0.776 <sup>ef</sup>	0.420 <sup>f</sup>	4.316 <sup>b</sup>	1.520 <sup>d</sup>	0.690 <sup>ef</sup>	0.477
line 24	5.400 <sup>a</sup>	3.380 <sup>b</sup>	1.930 <sup>cd</sup>	5.990 <sup>a</sup>	2.700 <sup>bc</sup>	1.090 <sup>d</sup>	6.120 <sup>a</sup>	3.200 <sup>b</sup>	2.810 <sup>b</sup>	0.856
Gonbad	2.040 <sup>b</sup>	0.590 <sup>cd</sup>	0.936 <sup>c</sup>	2.390 <sup>ab</sup>	0.663 <sup>cd</sup>	0.906 <sup>c</sup>	2.613 <sup>a</sup>	0.350 <sup>d</sup>	0.550 <sup>cd</sup>	0.488
line 28	4.613 <sup>a</sup>	2.913 <sup>c</sup>	2.280 <sup>de</sup>	4.900 <sup>a</sup>	2.546 <sup>cde</sup>	1.760 <sup>f</sup>	3.740 <sup>b</sup>	2.726 <sup>cd</sup>	2.080 <sup>ef</sup>	0.489
line 40	4.526 <sup>b</sup>	1.266 <sup>c</sup>	0.070 <sup>d</sup>	4.720 <sup>b</sup>	1.920 <sup>c</sup>	1.976 <sup>c</sup>	6.120 <sup>a</sup>	1.270 <sup>c</sup>	1.460 <sup>c</sup>	0.759
line 39	5.566 <sup>a</sup>	2.033 <sup>c</sup>	1.830 <sup>cd</sup>	4.220 <sup>b</sup>	1.736 <sup>cd</sup>	1.180 <sup>d</sup>	4.496 <sup>b</sup>	0.403 <sup>e</sup>	1.116 <sup>de</sup>	0.745
line 25	3.696 <sup>c</sup>	2.173 <sup>d</sup>	0.250 <sup>f</sup>	5.943 <sup>a</sup>	0.350 <sup>f</sup>	0.610 <sup>f</sup>	5.503 <sup>b</sup>	2.140 <sup>d</sup>	1.620 <sup>e</sup>	0.386
line 23	4.200 <sup>a</sup>	0.310 <sup>e</sup>	0.060 <sup>c</sup>	3.550 <sup>b</sup>	0.096 <sup>c</sup>	0.350 <sup>c</sup>	4.420 <sup>a</sup>	0.020 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.399
1000 Grain weigh (g)										
line 27	36.633 <sup>abc</sup>	33.033 <sup>cd</sup>	37.467 <sup>ab</sup>	31.667 <sup>d</sup>	35.800 <sup>bc</sup>	36.733 <sup>ab</sup>	31.400 <sup>d</sup>	39.533 <sup>a</sup>	38.767 <sup>ab</sup>	3.610
Kuhdasht	32.800 <sup>b</sup>	33.817 <sup>b</sup>	35.514 <sup>a</sup>	31.400 <sup>c</sup>	31.933 <sup>c</sup>	32.966 <sup>b</sup>	29.800 <sup>cd</sup>	31.500 <sup>c</sup>	28.200 <sup>d</sup>	5.496
Zagros	26.100 <sup>bc</sup>	32.600 <sup>a</sup>	32.900 <sup>a</sup>	24.133 <sup>c</sup>	31.100 <sup>ab</sup>	25.800 <sup>bc</sup>	28.500 <sup>abc</sup>	25.800 <sup>bc</sup>	17.300 <sup>d</sup>	6.122
line 24	21.700 <sup>d</sup>	32.333 <sup>b</sup>	27.333 <sup>c</sup>	27.567 <sup>c</sup>	36.000 <sup>a</sup>	32.000 <sup>b</sup>	24.167 <sup>d</sup>	32.367 <sup>b</sup>	31.667 <sup>b</sup>	3.143
Gonbad	11.733 <sup>c</sup>	23.167 <sup>ab</sup>	19.933 <sup>abc</sup>	16.200 <sup>bc</sup>	25.200 <sup>a</sup>	25.933 <sup>a</sup>	16.367 <sup>bc</sup>	27.767 <sup>a</sup>	21.567 <sup>ab</sup>	8.826
line 28	25.300 <sup>c</sup>	32.133 <sup>a</sup>	31.933 <sup>a</sup>	25.467 <sup>c</sup>	28.300 <sup>abc</sup>	30.200 <sup>ab</sup>	20.367 <sup>d</sup>	27.300 <sup>bc</sup>	30.167 <sup>ab</sup>	4.591
line 40	23.033 <sup>bc</sup>	35.967 <sup>a</sup>	17.900 <sup>c</sup>	22.133 <sup>bc</sup>	27.100 <sup>abc</sup>	27.733 <sup>abc</sup>	25.500 <sup>bc</sup>	32.100 <sup>ab</sup>	25.900 <sup>abc</sup>	10.217
line 39	31.133 <sup>a</sup>	26.533 <sup>bc</sup>	30.333 <sup>ab</sup>	19.167 <sup>de</sup>	23.667 <sup>c</sup>	17.100 <sup>e</sup>	22.267 <sup>cd</sup>	30.933 <sup>a</sup>	22.500 <sup>cd</sup>	4.341
line 25	23.000 <sup>d</sup>	31.100 <sup>bc</sup>	34.800 <sup>ab</sup>	24.033 <sup>d</sup>	30.400 <sup>c</sup>	37.800 <sup>a</sup>	21.033 <sup>d</sup>	33.900 <sup>abc</sup>	33.300 <sup>bc</sup>	4.318
line 23	27.133 <sup>ab</sup>	39.500 <sup>a</sup>	41.500 <sup>a</sup>	30.300 <sup>ab</sup>	16.100 <sup>bc</sup>	19.433 <sup>b</sup>	29.800 <sup>ab</sup>	19.500 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	19.373

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> and D<sub>3</sub>: به ترتیب عدم اعمال تنش، تنش خشکی ۶۵ درصد ظرفیت زراعی و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی.P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> and P<sub>3</sub>: به ترتیب عدم کاربرد پوترسین و مصرف ۰/۰۸۸ گرم در لیتر پوترسین و ۰/۱۷۸ گرم در لیتر گرم پوترسین.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> and D<sub>3</sub>: non-stress, drought stress 65% of field capacity and 85% of field capacity, respectively.P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> and P<sub>3</sub>: no putrescin application, 0.088 g/L<sup>-1</sup> and 0.178 g/L<sup>-1</sup> putrescine, respectively.

Means with the same letters in the same column are not significantly different.

۰/۱۷۸ گرم در لیتر پوترسین و تنش کم آبی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی در لاین ۲۳ مشاهده شد (جدول ۴). وزن هزار دانه نشان دهنده وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است و از آن جا که با آغاز گل دهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می نمایند، باید بین وزن هزار دانه با حالت های نرمال با هنگامی که گیاه در حال تنش آبی قرار می گیرد، تفاوت وجود داشته باشد (Rezaei Chianeh *et al.*, 2012). به نظر می رسد که کاهش وزن هزار دانه لاین های ۲۵، ۲۷، ۲۸ و ۳۹ تحت شرایط کم آبی، در نتیجه کاهش فتوسنتز و عدم توزیع مناسب مواد ذخیره ای عوامل کاهش دهنده وزن هزار دانه در شرایط تنش باشد (Hammer *et al.*, 2009). در نتیجه، کم آبی از طریق آسیب رساندن به فرآیند پر شدن دانه می تواند بر میانگین وزن هر دانه تأثیر منفی بگذارد.

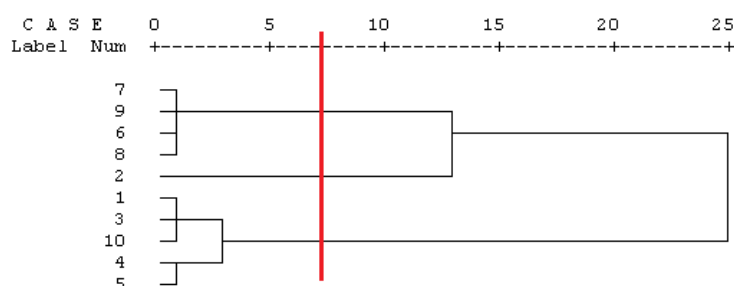
#### تجزیه خوشه ای

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای، ژنوتیپ ها را بر اساس صفات ارزیابی شده به سه گروه در شرایط تنش کم آبی و محلول پاشی با پوترسین تقسیم کرد. همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می شود، در شرایط تنش کم آبی و محلول پاشی پوترسین، لاین های ۲۵، ۲۸، ۳۹ و ۴۰ در گروه اول قرار گرفتند و دارای صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک با میانگین متوسطی بودند. در گروه دوم، ژنوتیپ کوهدشت قرار گرفت که دارای حداقل میانگین مطلوب برای اکثر صفات مورد مطالعه بود و گروه سوم را لاین های ۲۳، ۲۴، ۲۷ و ژنوتیپ های زاگرس و گنبد به خود اختصاص دادند که دارای حداکثر مقادیر مطلوب برای اکثر صفات مورد مطالعه بودند (شکل ۱). Talebzadeh *et al.* (2018) در تجزیه کلاستر ژنوتیپ های گندم بر اساس صفات مرتبط با توزیع مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه، ژنوتیپ ها را در شرایط نرمال به پنج گروه و در شرایط تنش رطوبتی به چهار گروه تقسیم نمودند که با یافته های این پژوهش هم سو بود.

تنش خشکی در مرحله ساقه دهی و ظهور سنبله گندم، باعث کاهش معنی دار تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و در مرحله سنبله دهی تا پر شدن دانه به دلیل کاهش تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد گندم می شود (Abid *et al.*, 2016). محققان گزارش کردند که با افزایش محدودیت آبی، حداکثر وزن دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد دانه کاهش می یابد (Mohseni Mohammadjanlou *et al.*, 2021) که با نتایج این پژوهش مبنی بر کاهش تعداد دانه و دانه در سنبله و وزن دانه به هنگام محدودیت آبی مطابقت دارد. در پژوهش حاضر، کاهش طول ساقه ژنوتیپ های زاگرس و لاین ۲۷ در شرایط محدودیت آبی می تواند تسهیم مواد فتوسنتزی به سنبله در حال رشد را افزایش و در نتیجه تعداد دانه در سنبله را افزایش دهد (Araus *et al.*, 2008). Emadi *et al.* (2013) دریافتند که محلول پاشی برگی پوترسین، باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۸۸/۸ درصد در رقم چمران و ۹۱/۱ درصد در رقم استار و افزایش در اجزای عملکرد، میزان نشاسته و پروتئین دانه نسبت به تیمار شاهد می شود که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با افزایش تعداد و وزن دانه با محلول پاشی پوترسین در شرایط کم آبی مطابقت دارد. هم راستا با نتایج پژوهش حاضر، گزارش های متعددی وجود دارد که کاربرد پوترسین در شرایط تنش خشکی، تأثیر مثبتی بر اجزای عملکرد و عملکرد گیاه دارد و تا حدی موجب تعدیل اثرات مخرب خشکی بر گیاه می شود (Ahmed *et al.*, 2013; Dolat Kurdistani *et al.*, 2017).

#### وزن هزار دانه

با افزایش سطوح تنش کم آبی، وزن هزار دانه در لاین های ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۹ و ژنوتیپ کوهدشت کاهش یافت (جدول ۴)، در حالی که محلول پاشی با پوترسین در شرایط محدودیت آبی، وزن هزار دانه ژنوتیپ های مورد مطالعه را بجز لاین ۲۳، افزایش داد. حداکثر و حداقل وزن هزار دانه به ترتیب در تیمارهای محلول پاشی ۰/۱۷۸ گرم در لیتر پوترسین و برهم کنش محلول پاشی



شکل ۱- نمودار درختی (دندروگرام) ژنوتیپ‌های گندم براساس صفات مورد مطالعه با استفاده از روش Ward تحت شرایط تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی پوترسین

Figure 1. Tree diagram (dendrogram) of wheat genotypes based on studied traits using Ward's method under drought stress conditions and putrescin foliar application

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که در شرایط محدودیت شدید آبی، شاخص کلروفیل، فلورسانس حداکثر، عملکرد کوانتومی، تعداد دانه و دانه در سنبله و وزن دانه و هزار دانه در برخی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه (گنبد و لاین ۲۸) کاهش یافت. کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها از مهم‌ترین اثرات خشکی بر گیاهان است. در پژوهش حاضر، پوترسین در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهی نقش موثری ایفا نمود، به‌طوری‌که محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۰/۰۸۸ گرم در لیتر، موجب افزایش ۳۷/۳۱ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به شرایط کنترل شد و با بهبود سیستم

فتوسنتزی در گیاه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی به‌طور نسبی تعدیل یافت. به‌طور کلی می‌توان چنین استنباط نمود که پوترسین، عامل تغذیه‌ای تأثیرگذار در رشد گندم طی تنش کم‌آبی است و با فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آسیب‌های ایجاد شده در اثر محدودیت آبی را کاهش و به‌طور نسبی عملکرد دانه برخی از ژنوتیپ‌های گندم را افزایش می‌دهد و از این رو باعث افزایش نسبی مقاومت گیاه به خشکی و یا کم‌آبی می‌شود. در پایان، به کشاورزان توصیه می‌شود که پلی‌آمین‌هایی مانند پوترسین را به‌منظور تقویت سیستم فتوسنتزی و بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش کم‌آبی، به‌صورت تغذیه برگ‌گی در مرحله سه برگ‌گی گندم استفاده نمایند.

### REFERENCES

1. Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S. T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R. & Dai, T. (2016). Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 106, 218-227.
2. Abu-Muriefah, S. S. (2015). Effects of silicon on membrane characteristics, photosynthetic pigments, antioxidative ability, and mineral element contents of faba bean (*Vicia faba* L.) plants grown under Cd and Pb stress. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 2(6), 1-17.
3. Abdoli, A., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Mansourifar, S. & Ghobadi, M. E. (2013). Effect of post-anthesis water deficiency on storage capacity and contribution of stem reserves to the growing grains of wheat cultivars. *Plant Knowledge Journal*, 2(3), 99-107. (In Persian)
4. Ahmed, A. H., Darwish, E. S. A. H., Hamoda, S. A. F. & Alobaidy, M. G. (2013). Effect of putrescine and humic acid on growth, yield and chemical composition of cotton plants grown under saline soil conditions. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 13(4), 479-497.
5. Ahmadvour, R. & Hosseinzadeh, S. R. (2017). Change in growth and photosynthetic parameters of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to methanol foliar application and drought stress. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 6(1), 7-12. (In Persian)
6. Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C. & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 2026-2032.
7. Abbasi, N., Cheraghi, J. & Hajinia, S. (2019). Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as

- nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 11(43), 85-104. (In Persian)
8. Amiri, H., Ismaili, A. & Hosseinzadeh, S. R. (2017). Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Karaj). *Compost Science & Utilization*, 25(3), 152-165. (In Persian)
  9. Arasteh, F., Moghaddam, M. & Ghasemi Pirbalouti, A. (2020). The effect of putrescine foliar application on the induction of drought resistance in Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.). *Journal of Cell & Tissue (JCT)*, 11(3), 204-220. (In Persian)
  10. Afshar Mohamadian, M., Omidipour, M. & Jamal Omid, F. (2018). Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(3), 511-525. (In Persian)
  11. Araus, J. L., Slafer, G. A., Royo, C. & Serreat, M. D. (2008). Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Review in Plant Science*, 27, 377-412.
  12. Aljazeera, H. (2017). Effect of polyamines (putrescine) and yeast extract spray on growth, yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) salt stress condition. Master Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture. 25-28.
  13. Beasley, J. T., Bonneau, J. P., Sánchez Palacios, J. T., Moreno Moyano, L. T., Callahan, D. L., Tako, E., Glahn, R. P., Lombi, E. & Johnson, A. A. (2019). Metabolic engineering of bread wheat improves grain iron concentration and bioavailability. *Plant Biotechnology Journal*, 17(8), 1514-1526.
  14. Chen, C., Jackson, G., Neill, K., Wichman, D., Johnson, G. & Johnson, D. (2005). Determining the feasibility of early seeding canola in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 97, 1252-1262.
  15. Davatgar, N., Neishabouri, M. R., Sepaskhah, A. R. & Soltani, A. (2012). Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. *International Journal of Plant Production*, 3, 19-32. (In Persian)
  16. Dolat Kurdistani M., Taghvaei, M. & Borkhori, S. (2017). Evaluation of the effect of putrescine on morphological and physiological indices of Giant Milkweed Seedlings (*Calotropis procera* Ait.) under drought conditions. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 45, 1-13. (In Persian)
  17. Davoodi Fard, M., Habibi, D. & Davoodi Fard, F. (2011). The effect of growth-promoting bacteria and foliar application of amino acids and silicic acid on some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(1), 101-114. (In Persian)
  18. El Bassiouny, H. M. Mostafa, H. A., El-Khawas, S. A., Hassanein, R. A., Khalil, S. I. & Abd El- Monem, A. A. (2008). Physiological responses of wheat plant to foliar treatments with arginine or putrescine. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2, 1390-1403.
  19. Emadi, M. S., Hassibi, P. & Azimi, A. (2013). Effect of foliar application of Putrescine and nutrient elements on grain yield and quality of two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(3), 247-261. (In Persian)
  20. Emadi, M. S., Hassibi, P. & Azimi, A. (2014). Effect of leaf application putrescine and nutrient elements on some physiological characteristics of two bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Ahvaz. *The Plant Production*, 37 (4), 107-118. (In Persian)
  21. Farzi-Aminabad, R., Nasrollah Zadeh, S. & Ghassemi-Golezani, K. (2021). Response of safflower in water deficit and foliar application of putrescine and 24-epibrassinolide. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 1(2), 289-302.
  22. Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), (2020). World food situation, FAO cereal supply and demand brief, 6 December, Available at: <http://www.fao.org>
  23. Gholizadeh, A. (2009). Evaluation of SPAD chlorophyll meter in two different rice growth stages and its temporal variability. *European Journal of Scientific Research*, 4, 591-598. (In Persian)
  24. Gupta, S., Agarwal, V. P. & Gupta, N. K. (2012). Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18(4), 331-336.
  25. Gholami, S., Siosemardeh, A. & Hossein Panahi, F. (2019). Effect of supplemental irrigation on yield, yield components and glycinebetaine content in dryland wheat. *16th National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran*. Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
  26. Gitelson, A. A., Gritz, Y. & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, 160(3), 271-282.
  27. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H. & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54, 87-92. (In

- Persian)
28. Hammer, G., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Pszkievicz, S. & Cooper, M. (2009). Can changes in canopy and root system architecture explain historical maize yield trends in U. S. Corn Belt? *Crop Science*, 49, 299-312.
  29. Kalaji, M. & Guo, P. (2008). "Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs", *Photochemistry Research Progress*, 29, 439-463.
  30. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and biofertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horticulture Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(1), 116-124. (In Persian)
  31. Kamrani, M., Farzi, A. & Ebadi, A. (2015). Evaluation of grain yield performance and tolerance to drought stress in wheat genotypes using drought tolerance indices. *Cereal Research*, 5(3), 231-246.
  32. Kandil, M. M., El-Saad, M. B., Mona, H. M., Afaf, M. H. & Iman, M. E. (2011). Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of *Chrysanthemum indicum* L. plant. *The Journal of American Science*, 7(3), 399-408.
  33. Liu, C., Atanasov, K. E., Arafaty, N., Murillo, E., Tiburcio, A. F., Zeier, J. & Alcázar, R. (2020). Putrescine elicits ROS dependent activation of the salicylic acid pathway in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell & Environment*, 43(11), 2755-2768.
  34. Mohseni Mohammadjanlou, A., Seyed Sharifi, R. & Khomari, S. (2021). Effects of holding irrigation at reproductive stages and putrescine and bio fertilizers application on grain filling period, chlorophyll content and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(2), 153-167. (In Persian)
  35. Maxwell, K. & Jonson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence is a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659-668.
  36. Mwadzingeni, L., Shimelis, H., Dube, E., Laing, M. D. & Tsilo, T. J. (2016). Breeding wheat for drought tolerance: Progress and technologies. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(5), 935-943.
  37. Mahdinezhad, N. & Shahi, H. (2019). The expression effects of drought Stress on growth and physiological characteristics of wild and agronomy wheat genotypes. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 15(5), 63-83.
  38. Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2018). Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10(3), 21-40. (In Persian)
  39. Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H. R., Zahedi, H. & Jami Alahmad, M. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield in some wheat cultivars. *Journal of Biological Sciences*, 7(6), 841-847. (In Persian)
  40. Rezaei Chianeh, A., Zahtab Salmasi, S., Ghasemi Golazani, K. & Delazar, E. (2012). The effects of irrigation on yield and yield components of three landraces fennel. *Agricultural and Sustainable Production*, 4, 57-70. (In Persian)
  41. Raeesi Sadati, S. Y., Jahanbakhsh Godekahriz, S., Ebadi, A. & Sedghi, M. (2020). Effect of zinc nano oxide foliar application to yield and on some physiological traits wheat under drought stress. *Scientific Journal of Crop Physiology*, I.A.U. Ahvaz, 12(46), 45-64. (In Persian)
  42. Sallam, A., Alqudah, A. M., Dawood, M. F., Baenziger, P. S. & Börner, A. (2019). Drought stress tolerance in wheat and barley: Advances in physiology, breeding and genetics research. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(13), 3137.
  43. Sadeghzadeh Ahari, D. (2017). The effect of seed size on agronomic characteristics, grain yield and drought tolerance of chickpea. *Journal of Crops Improvement*, 19(1), 69-85. (In Persian)
  44. Shahmoradi, S. & Shahmoradi, S. G. (2020). Evaluation of traits related to drought tolerance in rye (*Secale cereal*) ecotypes. *16th National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran*. Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
  45. Saba, J., Tavana, S., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F. & Jabbari, F. (2018). Canonical Correlation Analysis to Determine the Best Traits for Indirect Improvement of Wheat Grain Yield under Terminal Drought Stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(5), 1037-1048. (In Persian)
  46. Shi, J., Fu, X. Z., Peng, T., Huang, X. S., Fan, Q. J. & Liu, J. H. (2010). Spermine pretreatment confers dehydration tolerance of citrus in vitro plants via modulation of antioxidative capacity and stomatal response. *Tree Physiology*, 30(7), 914-922.
  47. Toumi, I., Moschou, P. N., Paschalidis, K. A., Bouamama, B., Salem-Fnayou, A. B., Ghorbel, A. W., Mliki, A. & Roubelakis-Angelakis, K. A. (2010). Abscisic acid signals reorientation of polyamine metabolism to

- orchestrate stress responses via the polyamine exodus pathway in grapevine. *Journal of Plant Physiology*, 167(7), 519-525.
48. Talebzadeh, S. J., Hadi, H., Amirnia, R., Tajbakhsh, M. & Rezaei Morad Ali, M. (2018). Evaluating the relationship between distributions of photosynthetic assimilates related traits and grain yield in wheat genotypes under terminal drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 9(24), 10-21. (In Persian)
49. Talebzadeh, S. J., Naghavi, M. R. & Khalili, M., (2020). Evaluation of changes in morphological, physiological and biochemical traits of some canola cultivars under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(2), 15-28. (In Persian)
50. Waseem, M., Ali, A., Tahir, M., Nadeem, M. A., Ayub, M., Tanveer, A., Ahmad, R. & Hussain, M. (2011). Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. *Continental Journal of Agricultural Science*, 5(1), 10-25.
51. Zhang, R. H., Li, J., Guo, S. R. & Tezuka, T. (2009). Effects of exogenous putrescine on gas-exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of NaCl-stressed cucumber seedlings. *Photosynthesis research*, 100(3), 155-162.
52. Zaefizadeh, M., Jamaati-e-Somarin, S., Zabihi-e-Mahmoodabad, R. & Khayatnezhad, M. (2011). Discriminate analyses of the osmotic stress tolerance of different sub-convars of durum wheat during germination. *Advience Environment Biology*, 5(1), 74-81. (In Persian)