مقاله پژوهشی

تأثیر تنش خشکی انتهای فصل بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و ارزش غذایی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در شهر کرمان

صفیه پذیره، علی‌اکبر مقصودی مود*، عنایت‌اله توحیدی‌نژاد و مهدی مهیجی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۱/۱۰، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۳/۲۴)

چکیده

در عمده مناطق تحت کشت گندم در جهان تنش خشکی در طول مراحل زایشی منجر به کاهش قابل توجه عملکرد دانه آن می‌گردد. لذا با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور و جمعیت پیش‌رو شناسایی ارقام متحمل به خشکی و صفات مرتبط با آن ضرورت دارد. بر همین اساس پژوهشی به‌صورت طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۹۶-۹۵ انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل ۲۸ رقم گندم نان بود که در دو محیط متفاوت (شرایط نرمال و تنش خشکی) کشت گردید. بای پلات‌های GGE یکی از دقیق و کارآمدترین مدل‌های چند متغیره هستند که نوع ژنوتیپ× صفت (G×T) این بای پلات به روابط بین صفات در ژنوتیپ‌ها می‌پردازد. بردارهای موجود در بای پلات نشان دادند که ارتباط مثبت و قوی بین صفات فیزیولوژیک از جمله غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب با عملکرد در هر دو شرایط آبیاری نرمال و خشکی انتهای فصل وجود داشت. در شرایط تنش غلظت عناصر با عملکرد دارای همبستگی منفی بودند اما این درحالی بود که با آبیاری نرمال تنها عناصر میکرو دارای همبستگی منفی بود. با توجه به نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های روشن، پیشگام، زاگرس، امید و باران به عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها برای بعضی صفات یا همه صفات در شرایط تنش خشکی معرفی‌شدند. از طرف دیگر ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها با شاخص‌های تحمل نیز نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه بوده و برهمین اساس الوند و امید به ترتیب به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و حساس شناسایی شدند. با توجه به نتایج حاضر، بای پلات GT و شاخص‌های تحمل (MP، GMP و STI) می‌توانند روش مناسبی برای ارزیابی برتری صفات و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل باشند. همچنین رنگدانه‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر می‌توانند معیار مناسبی جهت بهبود عملکرد دانه به ویژه در شرایط تنش باشند.

کلمات کلیدی: تنش، شاخص تحمل، عملکرد دانه، کلروفیل

مقدمه

تولید جهانی محصولات زراعی جهت تأمین تقاضا تا سال ۲۰۵۰ نیازمند افزایش ۷۰ درصدی است (Mohammadi, 2020). گندم به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی سرشار از مواد معدنی، پروتئین‌ها و ویتامین‌هاست (Curtis and Halford, 2014; Geravandi *et al.*, 2011) که تولید جهانی آن ۷۶۰/۹۲۴ میلیون تن گزارش شده است (FAO, 2020). تولید گندم نان بطور جدی تحت تأثیر تغییرات اقلیم

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Maghsoudi.aa@uk.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

جهانی و الگوی بارندگی است (Sayyah *et al.*, 2015). با کاهش بارندگی، تبخیر و تعرق و دمای هوا بالا رفته و در نتیجه نیاز آبی گندم نیز افزایش می‌یابد (ممتازی، ۱۳۹۰). متوسط عملکرد گندم در جهان ۳/۴۷ تن در هکتار بوده اما ایران دارای میانگین ۱/۹۷ تن است (FAO, 2020). عامل اصلی کاهش رشد و عملکرد گندم در ایران تنش خشکی است به گونه‌ای که گزارش شده است کمبود آب می‌تواند عملکرد دانه گندم را از ۱۷ تا ۷۰ درصد کاهش دهد (Nouri-Ghanbalani *et al.*, 2009). بنابراین یک راه مناسب برای جلوگیری از کاهش عملکرد در نواحی خشک و نیمه‌خشک، توسعه واریته‌های متحمل به خشکی است (Bogale *et al.*, 2011). اگر چه خشکی بر رشد گندم در تمام مراحل رشدی تأثیر می‌گذارد اما مراحل زایشی و پرشدن دانه حساس‌ترین مراحل هستند (Pradhan *et al.*, 2012). خشکی انتهای فصل در گندم در اقلیم‌های مدیترانه‌ای معمول است و باعث کاهش نامطلوب عملکرد دانه می‌شود (Loss and Siddique, 1994; Araus *et al.*, 2002; Turner, 2004). طی یک آزمایش بر روی سه رقم گندم دوروم نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش عملکرد دانه کاهش یافت اما شدت کاهش عملکرد دانه در رقم حساس بیشتر بود (Bresta *et al.*, 2011). نتایج یک آزمایش دیگر نشان داد که تنش کم آبی عملکرد ژنوتیپ‌ها را بطور معنی‌داری کاهش داد (Farshidfar *et al.*, 2012a). خشکی همچنین در پژوهش دیگری عملکرد گندم را نسبت به آبیاری نرمال کاهش داده است (Habus-Jercic *et al.*, 2018).

کلروفیل یکی از رنگدانه‌های اساسی گیاهان است که کاهش در غلظت آن منجربه کلروز، کاهش رشد و عملکرد می‌گردد. بر همین اساس Passarkli (۲۰۱۰) بیان داشت که دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. در پژوهشی محتوای رنگدانه فتوسنتزی گندم تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت اما ژنوتیپ‌های متحمل دارای مقادیر بالاتر کلروفیل و درصد کاهش کمتری بودند (Ahmed *et al.*, 2020). مطالعات بسیاری کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی را نشان داده‌اند (Farshadfar and Amini, 2015; Seher *et al.*, 2015). با این وجود، ژنوتیپ‌های متحمل مقادیر بیشتری از رنگدانه‌های فتوسنتزی را حفظ کردند (Zhang *et al.*, 2016). محتوای آب نسبی (RWC) بالا به عنوان یک شاخص مهم وضعیت آبی گیاه معرفی شده است که تحت تنش کم آبی میزان آن در برگ کاهش می‌یابد. در طی یک بررسی بر روی ژنوتیپ‌های گندم محققان اظهار نمودند که محتوای آب نسبی در ژنوتیپ‌های متحمل بالاتر بود (Farshadfar *et al.*, 2012a). در آزمایش دیگری تأثیر تنش خشکی ملایم و شدید بر RWC گیاهچه‌های گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که RWC در زمان آبیاری نرمال بالاتر بود و با شدت تنش خشکی میزان آن کم شد به‌طوری‌که کمترین میزان در تنش شدید مشاهده گردید اما تنش ملایم تنها منجر به کاهش ۵/۱۳ درصدی آن در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال گردید (Hu *et al.*, 2015).

غنی‌سازی مواد غذایی از جمله راهکارهای مهم در کشورهای پیشرفته جهت مقابله با کمبود عناصر کم مصرف است اما چنین راهبردی در کشورهای در حال توسعه به دلایل متعدد کمتر امکان‌پذیر است (Frossard *et al.*, 2000). از این رو شناسایی ژنوتیپ‌هایی که بتوانند حداکثر غلظت عناصر کم مصرف به خصوص در شرایط تنش خشکی را تجمع دهند، ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات نشان داده است که در برخی گیاهان تنش خشکی منجر به کاهش تجمع مواد معدنی در بذور توسعه‌یافته شده است. در لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris*) غلظت آهن و روی تحت تنش خشکی کاهش یافته است (Ghanbari *et al.*, 2013). مقدار آهن در بذر ارقام مختلف گندم نیز متفاوت گزارش شده است (Liu *et al.*, 2014). طی گزارشی توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور میانگین غلظت آهن و روی در دانه‌های گندم ایران به ترتیب ۳۲/۷۶ و ۲۶/۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد که از مقایسه این غلظت‌ها با مقدار مطلوب آن‌ها در دانه گندم مشخص شد که غلظت عناصر مذکور در دانه کافی نبوده و کمبود رطوبت یکی از دلایل کمبود این عناصر ذکر شده است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

(شهبازی و همکاران، ۱۳۹۹).

روش GGE بای پلات یک مدل چندمتغیره است که با استفاده از گراف‌های مختلف قدرت اعتبار نتایج را افزایش داده و تفسیر آن را آسان می‌کند (خدارحمی و همکاران، ۱۴۰۰). تصاویر چند ضلعی بای پلات ژنوتیپ در صفت (GT) بیانگر این است که کدام ژنوتیپ‌ها دارای بیشترین مقدار برای هر صفت هستند (Farshadfar, 2010b). فرشادفر و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از روش فوق ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا را در گندم دوروم تحت شرایط تنش خشکی گزینش نمودند و اظهار نمودند که این روش روابط بین صفات و ارقام را به خوبی مشخص می‌کند.

چندین شاخص برای غربالگری ارقام متحمل به تنش پیشنهاد شده است که این شاخص‌ها به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. شاخص‌های حساسیت (TOL و SSI) که تمایل به تمایز ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به تنش دارند و یک رابطه منفی با عملکرد نشان می‌دهند. دسته دوم شاخص‌های تحمل شامل MP، GMP و STI هستند که تمایل به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با تحمل بالاتر به تنش و عملکرد متوسط بالا دارند و دارای رابطه مثبتی با عملکرد خواهند بود. گزارش شده است که مقادیر بالاتر شاخص تحمل نشان‌دهنده تغییرات بیشتر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش است و حساسیت ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش را ارزیابی می‌کنند (Shirinzadeh *et al.*, 2010). با توجه به مشاهدات Abdolshahi و همکاران (۲۰۱۳) ارتباط معنی‌داری بین شاخص‌های تحمل با عملکرد گندم وجود داشت. براساس نتایج ملک‌شاهی و همکاران (۱۳۸۸) شاخص‌های STI، MP و GMP در تفکیک ارقام مقاوم به خشکی دارای اثر مشابه و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های یکسان در ارتباط با تنش بودند.

بررسی پژوهش‌های مختلف برروی ژنوتیپ‌های گندم نشان داده است که تنوع بسیار زیادی در ارتباط با پاسخ گندم به فرایندهای فیزیولوژیک مشاهده شده است که با کاربرد این تنوع می‌توان برنامه‌های اصلاحی را بهبود بخشید. از این رو با توجه به اهمیت تغذیه‌ای گندم پژوهش حاضر با هدف شناسایی ژنوتیپ‌ها و صفات مرتبط با تحمل به خشکی در گندم تحت تأثیر تنش خشکی انتهای فصل انجام شد.

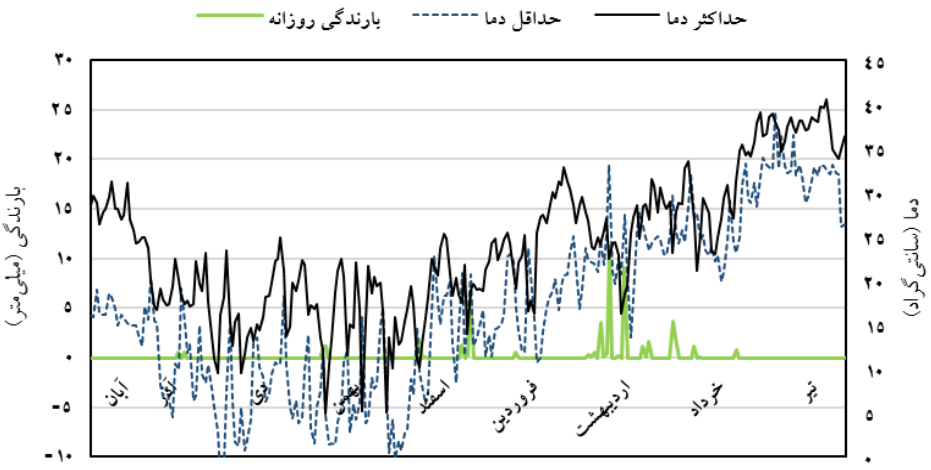
مواد و روش‌ها

این پژوهش جهت شناسایی ارقام متحمل به خشکی انتهای فصل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی (طول جغرافیایی ´۲۹ °۳۰، عرض جغرافیایی ´۶ °۵۷ و میانگین بارش ۱۰ ساله ۱۲۲/۷ میلی‌متر)، دانشگاه شهید باهنر کرمان ایران اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۲۸ رقم گندم نان افلاک، ارگ، الوند، آذر۲، بم، باران، چمران۲، اروم، گاسپارد، قدس، هما، کرج۲، خارچیا، مهدوی، میهن، نوید، امید، پیشگام، پیشتاز، روشن، سبلان، صدرا، سیروان، سیوند، سایونز، زاگرس، زرین و تکاب بود که در دو محیط متفاوت (شرایط نرمال و تنش خشکی) در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. ارقام مورد بررسی براساس میزان تحمل به خشکی و تاریخچه کاشت آنها در شهر کرمان انتخاب و سپس مواد گیاهی مورد نیاز از مؤسسه تحقیقات نهال و بذر کرج، ایران تأمین شد.

نوع خاک مورد کاشت لوم شنی با ماده آلی ۰/۶۵ درصد و pH ۸/۷، نیتروژن کل ۰/۵ درصد، فسفر قابل جذب ۴۵/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل جذب ۳۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی ایران تهیه و تغییرات حداقل و حداکثر دمای روزانه و میزان بارش در طی فصل رشد در شکل ۱ نمایش داده شده است. تنش در ماه‌های اردیبهشت و خرداد اعمال شده است. همچنین کل نزولات جوی طی دوره رشد گیاه ۸۰ میلی‌متر ثبت شده است.

بذور گندم با تراکم ۲۶ گرم در متر مربع در عمق ۵-۳ سانتی‌متر در اواسط آبان کشت شدند. هر پلات آزمایشی شامل ۸ ردیف ۱/۵ متری با فواصل ۳۰ سانتی‌متر بود. جهت جلوگیری از خسارت پرندگان در مرحله جوانه‌زنی، بر روی پشته‌ها توری و پلاستیک پهن کرده و بلافاصله پس از سبز شدن جمع‌آوری شدند. آبیاری مزرعه براساس عرف منطقه تقریبا هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. در زمان پنجه‌دهی ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره استفاده گردید. وجین علف‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]



شکل ۱- حداقل و حداکثر دما و بارش روزانه در طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شهر کرمان

هرز به صورت دستی و در اوایل بهار صورت گرفت. تیمار خشکی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی مزرعه با قطع آبیاری تا زمان رسیدن دانه‌ها اعمال شد. جهت کاهش آسیب پرندگان در مرحله خمیری شدن، پلات‌ها با توری‌های نازک پوشیده شدند. اندازگیری شاخص کلروفیل از پنج برگ (از سه نقطه نوک، وسط و ته برگ) در هر پلات با استفاده از دستگاه SPAD502 مدل Minolta-Japan انجام شد. پس از حذف اثر حاشیه‌ای بوته‌ها به صورت دستی برداشت و پس از خرمن‌کوبی نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت 10^{-3} توزین و عملکرد بر حسب تن در هکتار ثبت شد.

برای محاسبه محتوای آب نسبی از روش Stocker (۱۹۲۹) و کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدهای برگ پرچم نیز از روش Sukran و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد. بدین منظور برگ‌های پرچم بلافاصله پس از جداسازی از بوته در فویل آلومینیومی قرار گرفته و پس از منجمد شدن در نیتروژن مایع به یخچال ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد. جهت استخراج رنگدانه‌ها از اتانول ۹۶ درصد استفاده شد. غلظت کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل SP 3000- Plus در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۸ و ۶۶۴ نانومتر قرائت و در نهایت برای تعیین میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقدار کلروفیل کل، میزان جذب حاصل از اسپکتروفوتومتر در معادله‌های ذیل قرار داده شد.

معادله (۱)

$$Chla = 13.36 \times A664 - 5.19 \times A648$$

معادله (۲)

$$Chb = 27.43 \times A648 - 8.12 \times A664$$

معادله (۳)

$$C(x+c) = (1000 \times A470 - 2.13Ca - 97.64 \times Cb)/209$$

معادله (۴)

$$Total\ pigments = Chla + Chlb + Carotenoid$$

به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی دانه گندم، دانه‌ها پس از شستشو در آون (دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و پس از پودر شدن توزین شدند. یک گرم از دانه‌های پودر شده را برداشته و با استفاده از نیتریک اسید و در بلوک‌های هضم در نهایت عصاره‌گیری انجام و اندازه‌گیری عناصر آهن و روی به روش Waling (۱۹۸۹) با دستگاه جذب اتمی و غلظت کلسیم با استفاده از تیتراسیون و پتاسیم دانه با دستگاه فلیم‌فتومتر (UK- Jenway) تعیین شدند. غلظت عناصر در نمونه بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک محاسبه و گزارش شد.

معادلات زیر جهت محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی MP (شاخص میانگین حسابی بهره‌وری)، GMP (شاخص میانگین هندسی بهره‌وری)، TOL (شاخص تحمل)، STI (شاخص تحمل به تنش)، SSI (شدت تنش) و YSI (شاخص

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

پایداری عملکرد) بکار برده شدند که Ys و Yp به ترتیب عملکرد دانه هر ژنوتیپ در دو محیط تنش و نرمال هستند. $\bar{Y}s$و $\bar{Y}p$ نیز بعنوان میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها به ترتیب در شرایط تنش و نرمال در نظر گرفته شدند.

معادله (۵) $$MP = (Yp + Ys)/2$$

معادله (۶) $$GMP = \sqrt{Yp \times Ys}$$

معادله (۷) $$TOL = Yp - Ys$$

معادله (۸) $$STI = \frac{Yp + Ys}{(\bar{Y}p)^2}$$

معادله (۹) $$SI = 1 - \frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}, SSI = (1 - \frac{Ys}{Yp})/SI$$

معادله (۱۰) $$YSI = \frac{Ys}{Yp}$$

تجزیه و تحلیل گرافیکی با نرم‌افزار GGE biplot و تجزیه واریانس، شاخص‌های تحمل به تنش و همبستگی پیرسون این تحقیق با نرم‌افزار SAS 9.01 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و میزان غلظت عناصر میکرو و ماکرو در دانه گندم بطور معنی‌داری در سطح یک درصد تحت تأثیر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۱ و ۲). براساس نتایج حاصل مجموع دو مؤلفه اصلی اول و دوم در آبیاری نرمال و تنش کم آبی به ترتیب ۵۶/۳ و ۶۲/۵ درصد از تغییرات را توجه کردند. پیچیدگی ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ممکن است منجر به عدم توجیه اکثر تغییرات گردد اما این موضوع به معنای نامعتبر بودن بای پلات نمی‌باشد (Yan and Tinker, 2006). رسم بای‌پلات ژنوتیپ در صفات به شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌هایی که دارای بالاترین میزان برای یک یا چند صفت هستند کمک می‌کند (Yan and Rejcam, 2002). در این نوع بای‌پلات ژنوتیپ‌ها در رئوس اضلاع یا در داخل چندضلعی قرار می‌گیرند و ژنوتیپ‌هایی که دارای بیشترین فاصله از مبداء بای‌پلات باشند به عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها برای بعضی صفات یا همه صفات معرفی می‌گردند. بر همین اساس در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های پیشتاز، روشن، الوند، زاگرس، باران و امید (شکل ۲a) و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های روشن، پیشگام، قدس، زاگرس، امید، گاسپارد و باران (شکل ۳a) در رئوس چندضلعی قرار گرفته‌اند. تصویربرداری چند ضلعی یکی از بهترین راه‌های تجسم و تشخیص روابط بین ژنوتیپ‌ها و صفات است (Yan and Tinker, 2006). در شرایط کشت نرمال صفت کلروفیل a/b در بخش ژنوتیپ الوند قرار گرفت که نشان‌دهنده این است که این ژنوتیپ بیشترین مقدار را برای این صفات دارا است. صفات عملکرد دانه، محتوای آب نسبی، اسپد، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل وکارتنوئید در بخش ژنوتیپ روشن قرار گرفتند. بیشترین مقادیر صفات غلظت روی، پتاسیم و کلسیم به ژنوتیپ امید و غلظت آهن به باران اختصاص یافت (شکل ۲a). نتایج در ارتباط با پای‌پلات ژنوتیپ در صفت در شرایط تنش خشکی نیز نشان داد که صفات عملکرد دانه، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، شاخص کلروفیل و محتوای آب نسبی در بخشی قرار گرفتند که ژنوتیپ روشن در رأس آن است و این بدان معنی است که ژنوتیپ روشن بهترین ژنوتیپ از نظر صفات مذکور می‌باشد. بیشترین غلظت عناصر روی و آهن متعلق به ژنوتیپ گاسپارد و از نظر کلروفیل a/b، غلظت کلسیم و پتاسیم دانه ژنوتیپ باران برتر بود (شکل ۳a).

براساس روش بای پلات GT برتری ارقام از نظر صفات مختلف مشخص گردید. رقم روشن در اغلب صفات از جمله غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی و عملکرد دانه در رأس چندضلعی و دارای بیشترین مقدار در هر دو شرایط رشدی بود. گیاهان تحت شرایط تنش خشکی، RWC را کاهش می‌دهند اما برخی ژنوتیپ‌ها ممکن است توانایی جذب آب بیشتری از خاک یا توانایی بستن روزنه‌ها جهت کاهش هدررفت آب تحت تنش خشکی را داشته باشند (Tatar and Gevrek, 2008). لذا تفاوت RWC در بین ژنوتیپ‌ها ممکن است به دلیل پتانسیل ژنتیکی متنوع برای جذب آب از ریزوسفر و افزایش عمق ریشه‌ها برای استفاده از عمق‌های پایین خاک برای دست‌یابی به رطوبت باشد (Mamnabi *et al.*, 2020). همچنین تحقیقات نشان داده است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد و غلظت عناصر در دانه ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد دانه (تن/ هکتار)	پتاسیم	کلسیم	آهن	روی
			(میلی‌گرم/ کیلوگرم)			
محیط	۱	۳۴/۹**	۱۲۶۱۴۱۶۰۴**	۱۴۳۰۰۲۲**	۱۴۳۸۸**	۱۵۳۱۳**
بلوک × محیط	۴	۰/۴۶۶	۴۴۶۹۵۳	۱۰۲۳۵	۷۴/۰	۴۱/۸
ژنوتیپ	۲۷	۰/۹۰۷**	۳۱۸۳۱۷۷**	۲۵۵۳۶**	۱۳۴**	۲۰۱**
محیط × ژنوتیپ	۲۷	۰/۵۸۳**	۱۱۰۳۲۱۸**	۱۳۸۰۰**	۱۰۵**	۸۷/۱**
خطا	۱۰۸	۰/۱۰۳	۳۴۰۳۴	۴۰۷	۲/۸۲	۲/۰۱
ضریب تغییرات	-	۸/۳۲	۴/۰۲	۴/۵۵	۴/۷۰	۵/۰۴

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی در برگ ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		محتوای آب نسبی	شاخص کلروفیل	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئیدها	کلروفیل a/b	کلروفیل کل
محیط	۱	۳۶۳۴**	۱۷۳۱*	۰/۰۵۴ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۱۴ns	۰/۰۴۸ns	۰/۰۶۰ns
بلوک × محیط	۴	۵۰/۹	۹۶/۸	۰/۱۶۷	۰/۰۸۶	۰/۰۱۸	۰/۰۳۴	۰/۴۷۸
ژنوتیپ	۲۷	۱۲/۷**	۲۴/۸**	۰/۲۶۸**	۰/۰۵۷*	۰/۰۳۲*	۰/۳۶۱**	۰/۴۴۷**
محیط × ژنوتیپ	۲۷	۷/۳۱*	۳۵/۱**	۰/۲۴۷**	۰/۰۶۳*	۰/۰۳۱*	۰/۲۸۲**	۰/۴۵۰**
خطا	۱۰۸	۴/۰۸	۱۰/۲	۰/۱۲۲	۰/۱۹۰	۰/۰۱۷	۰/۱۳۸	۰/۲۲۵
ضریب تغییرات	-	۲/۲۷	۷/۴۵	۲۱/۰	۱۹/۹	۲۶/۰	۲۰/۸	۱۸/۱

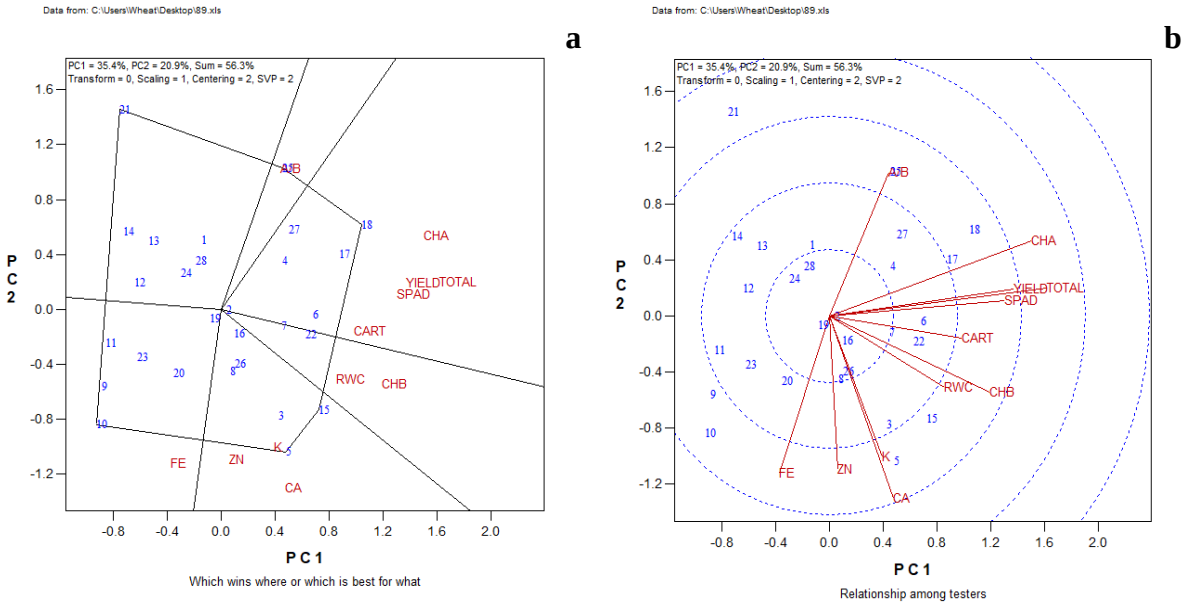
ns، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد

که در شرایط تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش می‌یابد و حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ پرچم در گندم یکی از خصوصیات برتر است (Kalaji *et al.*, 2016; Anjum *et al.*, 2011). لذا ژنوتیپ‌هایی که توانایی حفظ بهتر رنگدانه‌های فتوسنتزی در هر دو شرایط را دارا باشند می‌توانند عملکرد بهتری داشته باشند. این موضوع که مبنی بر ارتباط تنش خشکی و غلظت کلروفیل‌ها است توسط محققان زیادی گزارش شده است (Keyvan, 2010; Faisal *et al.*, 2017; Ahmed *et al.*, 2019).

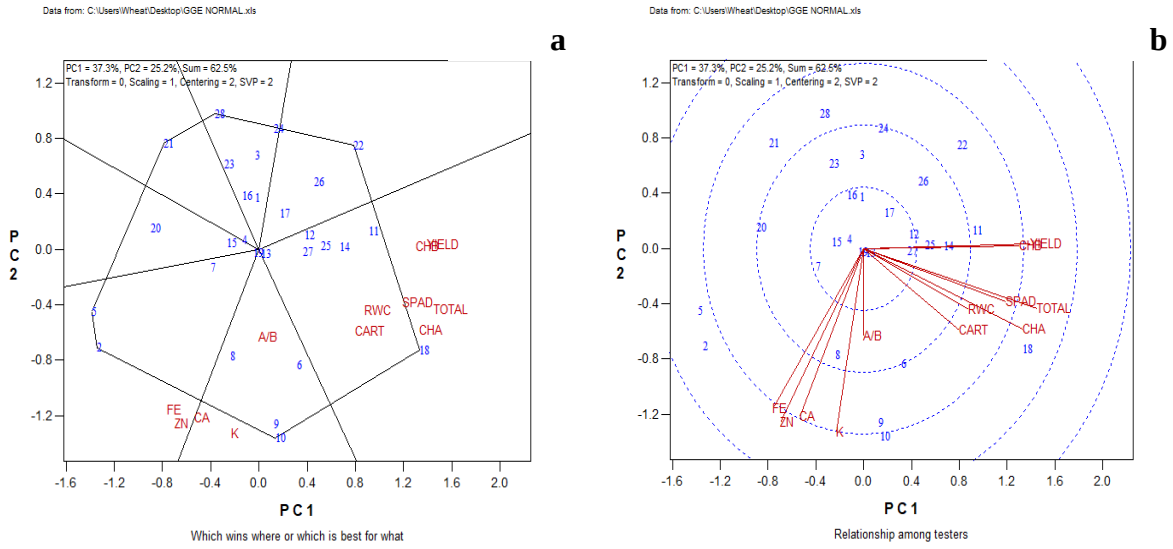
در ارتباط با غلظت عناصر غذایی نیز ژنوتیپ باران در هر دو شرایط دارای برتری بود. ژنوتیپ‌های امید و گاسپارد نیز به ترتیب در شرایط نرمال و تنش انتهای فصل دارای بالاترین مقدار روی بودند. پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌های گندم نان از نظر غلظت عناصر در دو محیط تنش و نرمال بیانگر تنوع ژنتیکی بالا بین ژنوتیپ‌ها برای این صفات است و امکان انتخاب برای صفات مذکور را فراهم می‌کند. چرا که مطالعات بسیاری وجود تنوع ژنتیکی برای غلظت عناصر معدنی در بین ارقام گندم را گزارش کرده‌اند (Bechere *et al.*, 2002; Williams *et al.*, 2008). همان گونه که وجود تنوع ژنتیکی بالا برای مقادیر آهن و روی در تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های گندم مشاهده شده است (Monasterio and Graham, 2000). از طرف دیگر کمبود آب می‌تواند غلظت عناصر غذایی را در گیاهان تحت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]



شکل ۲- تصویربرداری چندضلعی (a) و نمودار (b) بای‌پلات ژنوتیپ در صفت گندم نان در شرایط شاهد



شکل ۳- تصویربرداری چندضلعی (a) و نمودار (b) بای‌پلات ژنوتیپ در صفت گندم نان در شرایط تنش خشکی

زرین (۱)، گاسپارد (۲)، میهن (۳)، سایسون (۴)، امید (۵)، نوید (۶)، اروم (۷)، خارچیا (۸)، تکاب (۹)، باران (۱۰)، آذر۲ (۱۱)، سبلان (۱۲)، صدرا (۱۳)، هما (۱۴)، پیشتاز (۱۵)، سیروان (۱۶)، سیوند (۱۷)، روشن (۱۸)، ارگ (۱۹)، افلاک (۲۰)، زاگرس (۲۱)، پیشگام (۲۲)، چمران۲ (۲۳)، بم (۲۴)، الوند (۲۵)، مهدوی (۲۶)، کرج۲ (۲۷) و قدس (۲۸).

تأثیر قرار دهد و این موضوع به نوع عنصر، رقم و اندام گیاه بستگی دارد (Huang, 2001). همان گونه که بیان شد ژنوتیپ باران در شرایط نرمال از نظر آهن و در شرایط تنش از لحاظ کلسیم و پتاسیم دارای مقادیر بیشتری بود لذا با توجه به این موضوع می‌توان اظهار نمود که احتمالاً ژنوتیپ مذکور قابلیت حفظ بیشتر این عناصر در زمان تنش را دارد چرا که دو عنصر کلسیم و پتاسیم در زمان تنش منجر به افزایش تحمل آن به شرایط نامساعد محیطی می‌شوند. مشابه با تحقیق حاضر در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

ارزیابی پایداری عملکرد گندم تحت تنش گرما ارقامی که در رأس چندضلعی قرار گرفتند به عنوان ارقام برتر معرفی شدند (Bishwas *et al.*, 2021). روش GGE بای پلات در ارزیابی در سایر گیاهان از جمله ارقام سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench)، ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و گندم دوروم (*Triticum durum* L.) نیز مورد استفاده قرار گرفته و قادر به شناسایی ارقام برتر بوده است (Enyew *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2016؛ فرشادفر و همکاران، ۱۳۹۹).

نمودار ژنوتیپ در صفت از طریق خطوطی به نام بردارها با مبداء بای‌پلات مرتبط هستند (شکل ۳). این بای پلات به همبستگی بین صفات می‌پردازد که این موضوع منجر به شناسایی صفاتی می‌شود که با صفات هدف دارای پیوستگی هستند (فرشادفر و همکاران، ۱۳۹۹). تفسیر این بای‌پلات به گونه‌ای است که کسینوس زاویه بین بردارهای دو صفت، برآوردی از ضریب همبستگی بین آنها را فراهم می‌کند. هر چه کسینوس زاویه بین دو صفت کمتر از ۹۰ درجه در بای‌پلات باشد ارتباط مثبت و قوی‌تری وجود دارد. زاویه ۹۰ درجه بین دو صفت نشانگر عدم ارتباط بین دو صفت بوده و زاویه بالاتر از ۹۰ درجه بیانگر وجود ارتباط منفی است (Yan *et al.*, 2000). براساس نمودار ۲b در شرایط شاهد بین صفت عملکرد دانه با کلیه صفات بجز غلظت عناصر میکرو ارتباط مثبت (زاویه کمتر از ۹۰ درجه) وجود دارد. در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه با غلظت عناصر ارتباط منفی داشت اما عملکرد با سایر پارامترها دارای ارتباط مثبت و قوی بود (شکل ۳b).

عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی دارای همبستگی بسیار قوی با غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب بود. در همین راستا براساس نتایج پژوهشی، چندضلعی‌های بای پلات همبستگی بین محتوای آب نسبی و محتوای کلروفیل با عملکرد دانه گندم را نشان دادند و این دو صفت را به عنوان ملاک گزینشی در نظر گرفتند (فرشادفر و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین ارتباط مثبت و قوی بین عملکرد دانه و محتوای کلروفیل برگ ارقام گندم طی رسم چند ضلعی بای پلات GGE تحت شرایط تنش خشکی مشاهده گردید (عسکری گلستانی و همکاران، ۱۳۹۷).

براساس گزارش دیگری توسط قلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) طی تنش شوری همبستگی بین عملکرد دانه گندم با محتوای کلروفیل برگ پرچم مثبت بود. از این رو به نظر می‌رسد انتخاب ژنوتیپ‌های با محتوای کلروفیل برگ بیشتر می‌تواند منجر به گزینش ارقام با عملکرد بالا شود. کلروفیل رنگدانه اصلی کلروپلاست سلول‌های برگی است که با جذب انرژی فوتون‌های نوری، واکنش‌های نوری فتوسنتز را به جریان می‌اندازد (Banks, 2018). با توجه به همبستگی مشاهده شده در تصاویر بای پلات هر چقدر که غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی بالاتر باشد، میزان فتوسنتز و در نتیجه عملکرد نیز افزایش می‌یابد. محتوای نسبی آب برگ شاخصی است که بیانگر میزان آب موجود در اندام‌های گیاهی یا شادابی آن بوده و قابلیت یک گیاه در حفظ آب تحت شرایط تنش را مشخص می‌کند. بنابراین هر چقدر این مقدار بالاتر باشد توانایی حفظ آب (عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶) و متعاقباً عملکرد نیز بالاتر خواهد بود. از این رو با توجه به ارتباط مثبت محتوای نسبی آب با عملکرد دانه گندم می‌توان گفت که این پارامتر می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش عملکرد گیاهان بخصوص در زمان تنش داشته باشد چرا که زاویه بین این صفت با عملکرد در شرایط تنش خشکی کمتر بوده است.

جذب عناصر توسط گیاه به عوامل متعددی از جمله فراهم بودن عناصر در خاک و شرایط گیاه بستگی دارد. همبستگی مثبت و قوی بین عملکرد دانه با غلظت پتاسیم و کلسیم دانه در شرایط غیرتنش نشان می دهد که ضمن در دسترس بودن عناصر در خاک، گیاه نیز شرایط مطلوب جذب را داشته است. این در حالی است که این همبستگی در شرایط تنش منفی بود. بدین معنی که با افزایش عملکرد گیاه، غلظت این عناصر در دانه کاهش یافتند. جذب عناصر توسط گیاه به فراهم بودن آن عنصر در محیط ریشه بستگی دارد. حرکت پتاسیم و کلسیم به سمت ریشه توسط جریان توده‌ای و پخشیدگی که به رطوبت خاک وابسته هستند، انجام می‌شود. کاهش فراهمی عناصر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

غذایی در گیاه تحت تنش خشکی می‌تواند ناشی از اختلال در جذب عناصر غذایی و مکانیسم‌های تخلیه و کاهش جریان انتقال باشد (Tadayyon *et al.*, 2018). از این رو به نظر می‌رسد که کمبود رطوبت در خاک در شرایط تنش یکی از عوامل اصلی این برهمکنش منفی باشد. کلسیم از جمله عناصری ذکر شده است که کمترین تجمع را در دانه‌های گندم تحت شرایط تنش خشکی دارد. یکی از دلایل دیگر کاهش کلسیم به وسیله ریشه‌های گندم رسوب کلسیم به صورت ترکیبات مختلف باشد (Halvin *et al.*, 2005).

نتایج همچنین نشان داد که بین غلظت آهن و روی دانه در هر دو شرایط محیطی با عملکرد دانه همبستگی منفی وجود دارد. یکی از عوامل اصلی در فعالیت عناصر کم مصرف در محلول خاک، pH خاک است. با توجه به آهکی بودن خاک‌های ایران، فعالیت عناصر کم مصرف در محلول خاک پایین است. به‌طوری‌که طبق گزارش Lindsay (۱۹۷۹) به ازای هر واحد افزایش در pH خاک فعالیت یون آهن ۱۰۰۰ برابر کاهش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد پایین بودن تحرک عناصر کم مصرف در خاک یکی از عوامل اصلی این همبستگی منفی باشد. اگر چه پایین بودن غلظت قابل جذب این عناصر و کمتر مصرف کردن این عناصر نیز می‌تواند از جمله دلایل دیگر باشد اما یکی از فاکتورهای مهم محیطی در دسترسی به روی میزان رطوبت خاک ذکر شده است (Marschner, 1993).

با توجه به این همبستگی‌ها مشخص شده است که تنش خشکی منجر به کاهش جذب عناصر می‌شود چرا که زاویه بین عناصر میکرو و عملکرد دانه بیشتر از آن در حالت کشت نرمال بود. کمبود آب میزان جذب و انتقال عناصر غذایی از ریشه به بخش هوایی را کاهش می‌دهد، زیرا میزان پخشیدگی عناصر غذایی از خاک به سطح ریشه را کم می‌کند و به انتقال فعال و تراوایی غشاء آسیب می‌رساند. کاهش رطوبت خاک همچنین سبب کاهش میزان انتشار عناصر غذایی در خاک به سطوح جذبی ریشه می‌شود (Huang, 2001).

شاخص‌های تحمل به تنش: میزان شدت تنش وارده (SI) ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ۰/۲۱ بدست آمد. براساس شاخص TOL، ژنوتیپ‌های هما، آذر۲ و سبلان با کمترین مقدار شاخص TOL به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و ژنوتیپ امید با بیشترین مقدار این شاخص به‌عنوان ژنوتیپ حساس به تنش شناسایی شدند. همچنین براساس شاخص SSI، ژنوتیپ‌های هما و آذر۲ با کمترین مقدار به عنوان ژنوتیپ متحمل و ژنوتیپ‌های امید، قدس و گاسپارد به عنوان حساس‌ترین‌ها انتخاب شدند (جدول ۳). ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بالاتر شاخص TOL و SSI هستند دارای عملکرد بالا در شرایط نرمال اما عملکرد پایین در شرایط تنش هستند و بنابراین به عنوان رقم حساس در نظر گرفته می‌شوند. این ژنوتیپ‌ها اگر چه عملکرد بالایی تولید می‌کنند اما برای کاشت در طیف وسیعی از مناطق به دلیل کاهش زیاد عملکرد دانه مناسب نیستند.

TOL دارای یک همبستگی مثبت و معنی‌دار با Yp و همبستگی منفی و معنی‌دار با Ys بود (جدول ۳). در پژوهش وثوقی‌راد و همکاران (۱۴۰۰) نیز این همبستگی مشاهده گردید. بنابراین گزینش براساس آن برای افزایش عملکرد در محیط تنش نیز نتیجه بخش است. در یک پژوهش گزارش شد که گزینش براساس مقادیر کمتر TOL که بیانگر حداقل کاهش عملکرد تحت شرایط تنش است، ممکن است باعث از دست رفتن ژنوتیپ‌های مطلوب شود (Taherian *et al.*, 2017). همچنین گزارش شده است که SSI بین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و ژنوتیپ‌هایی که از پتانسیل عملکرد کم برخوردار هستند تمایزی قائل نیست (Clarke *et al.*, 1992). بنابراین این شاخص قادر به شناسایی ارقام با تحمل بالا در هر دو شرایط محیطی و یا ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش دارای عملکرد بالا و در شرایط نرمال عملکرد کمی دارند نمی‌باشند، لذا کارایی این دو شاخص محدود است.

ژنوتیپ‌هایی با YSI بالا دارای عملکرد بالا تحت شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش دارند (Mohammadi, 2020). در همین راستا ژنوتیپ‌های هما و امید از بیشترین و کمترین مقدار این شاخص برخوردار بودند (جدول ۳). در پژوهشی ارقام گندم با YSI بالاتر حداقل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

جدول ۳- شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گندم نان در دو شرایط شاهد و تنش خشکی

رقم	عملکرد (نرمال)	عملکرد (تنش)	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YSI
زرین	۴/۶۵	۳/۴۳	۱/۲۱	۱/۲۲	۴/۰۴	۳/۹۹	۰/۸۱۴	۰/۷۳۸
گاسپارد	۴/۱۳	۲/۶۲	۱/۶۸	۱/۵۱	۳/۳۸	۳/۲۹	۰/۵۵۲	۰/۶۳۵
میهن	۴/۳۹	۳/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۴	۳/۸۲	۳/۷۷	۰/۷۲۶	۰/۷۴۰
سایسون	۵/۰۳	۳/۳۹	۱/۵۰	۱/۶۴	۴/۲۱	۴/۱۳	۰/۸۷۰	۰/۶۷۴
امید	۴/۰۲	۲/۱۰	۲/۲۰	۱/۹۲	۳/۰۶	۲/۹۰	۰/۴۲۹	۰/۵۲۲
نوید	۴/۶۰	۳/۵۷	۱/۰۳	۱/۰۳	۴/۰۹	۴/۰۵	۰/۸۳۶	۰/۷۷۶
اروم	۵/۱۰	۳/۵۴	۱/۴۱	۱/۵۶	۴/۳۲	۴/۲۴	۰/۹۱۹	۰/۶۹۳
خالجیا	۴/۱۸	۳/۱۰	۱/۱۹	۱/۰۸	۳/۶۴	۳/۵۹	۰/۶۵۹	۰/۷۴۱
تکاب	۳/۸۸	۳/۶۷	۰/۲۴۶	۰/۲۰۷	۳/۷۸	۳/۷۷	۰/۷۲۶	۰/۹۴۷
باران	۴/۰۱	۳/۶۲	۰/۴۴۶	۰/۳۸۷	۳/۸۱	۳/۸۰	۰/۷۳۹	۰/۹۰۳
آذر۲	۴/۰۰	۳/۸۱	۰/۲۱۶	۰/۱۸۷	۳/۹۰	۳/۸۹	۰/۷۷۴	۰/۹۵۳
سبلان	۴/۰۱	۳/۸۱	۰/۲۳۱	۰/۲۰۰	۳/۹۱	۳/۹۰	۰/۷۷۷	۰/۹۵۰
صدرا	۴/۰۰	۳/۱۷	۰/۹۵۸	۰/۸۳۰	۳/۵۹	۳/۵۶	۰/۶۴۶	۰/۷۹۳
هما	۳/۹۱	۳/۸۹	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳	۳/۹۰	۳/۹۰	۰/۷۷۵	۰/۹۹۷
پیشتاز	۵/۳۰	۳/۷۲	۱/۳۷	۱/۵۷	۴/۵۱	۴/۴۴	۱/۰۰	۰/۷۰۳
سیروان	۴/۹۷	۳/۵۷	۱/۲۹	۱/۳۹	۴/۲۷	۴/۲۱	۰/۹۰۴	۰/۷۱۹
سیوند	۵/۱۸	۳/۴۳	۱/۵۵	۱/۷۵	۴/۳۰	۴/۲۱	۰/۹۰۴	۰/۶۶۳
روشن	۵/۲۹	۴/۰۳	۱/۱۰	۱/۲۶	۴/۶۶	۴/۶۱	۱/۰۸	۰/۷۶۲
ارگ	۴/۵۷	۳/۵۳	۱/۰۴	۱/۰۴	۴/۰۵	۴/۰۱	۰/۸۲۱	۰/۷۷۳
افلاک	۳/۸۸	۳/۵۳	۰/۸۵۲	۰/۷۱۷	۳/۵۳	۳/۵۰	۰/۶۲۶	۰/۸۱۵
زاگرس	۳/۹۷	۲/۹۵	۱/۱۸	۱/۰۲	۳/۴۷	۳/۴۲	۰/۵۹۸	۰/۷۴۴
پیشگام	۴/۹۳	۳/۹۴	۰/۹۲۴	۰/۹۸۷	۴/۴۴	۴/۴۰	۰/۹۹۰	۰/۸۰۰
چمران ۲	۳/۹۰	۳/۱۳	۰/۹۰۸	۰/۷۶۷	۳/۵۲	۳/۴۹	۰/۶۲۲	۰/۸۰۳
بم	۴/۰۳	۳/۶۵	۰/۴۳۵	۰/۳۸۰	۳/۸۴	۳/۸۳	۰/۷۵۰	۰/۹۰۶
الوند	۴/۶۱	۴/۲۶	۰/۳۵۰	۰/۳۵۰	۴/۴۴	۴/۴۳	۰/۹۵۵	۰/۹۲۴
مهدوی	۴/۵۸	۴/۰۹	۰/۴۹۱	۰/۴۸۷	۴/۳۴	۴/۳۳	۰/۹۵۵	۰/۸۹۴
کرج ۲	۴/۳۷	۳/۸۶	۰/۵۴۲	۰/۵۱۳	۴/۱۰	۳/۷۲	۰/۸۶۰	۰/۸۸۳
قدس	۴/۵۶	۲/۸۶	۱/۷۲	۱/۷۰	۳/۶۱	۳/۶۱	۰/۶۶۴	۰/۶۲۷

عملکرد را در شرایط غیرتنش و بالاترین عملکرد را در شرایط تنش داشتند (Mardeh *et al.*, 2006). همچنین در این پژوهش YSI در دو شرایط آبیاری نرمال و خشکی به ترتیب دارای همبستگی منفی و مثبت با عملکرد دانه بودند.

برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مقادیر بالاتر GMP، MP و STI مورد نظر است. بر همین اساس ژنوتیپ الوند متحمل‌ترین ژنوتیپ انتخاب شد و ژنوتیپ امید به عنوان حساس‌ترین ژتویپ معرفی گردید (جدول ۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

گزارش شده است که در بین ۴۲ ژنوتیپ گندم نان تحت شرایط تنش، سبلان دارای حداکثر عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و نرمال بود و لذا از نظر شاخص‌های مذکور نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود (Shahryari *et al*., 2008). بر طبق نتایج انتخاب براساس این شاخص‌ها سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط می‌شود که این خصوصیت توسط سایر محققین نیز برای این سه شاخص گزارش شده است (Jafari *et al*., 2012; Ilker *et al*., 2011).

براساس نظریه Fernandez (۱۹۹۲) بهترین شاخص آن‌هایی هستند که همبستگی بالایی با عملکرد دارند، زیرا قادر به جدا کردن ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط هستند. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی نشان داد که بیشترین همبستگی عملکرد با MP، GMP و STI بود که می‌توان در میان شاخص‌ها آن‌ها را به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی در نظر گرفت. در بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی ۴۵ رقم گندم نان مشاهده شد که MP، GMP و STI دارای بالاترین همبستگی با عملکرد در زمان بدون تنش و تنش بودند (Abdolshahi *et al*., 2013). همچنین نتایج تحقیقات دیگر بر روی گندم و سایر گیاهان نشان دادند که این سه شاخص به عنوان شاخص‌های مناسب جهت ارزیابی ارقام متحمل به خشکی معرفی شدند (Reynolds *et al*., 2007; Anwaar *et al*., 2020) و مشابه با تحقیق حاضر GMP در شرایط تنش همبستگی بالاتری با عملکرد داشته است (Lao *et al*., 2021).

نتیجه‌گیری

بطورکلی با توجه به نتایج حاصله ارتباط مثبتی بین عناصر ماکرو در شرایط ابیاری نرمال و بین غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی، شاخص کلروفیل و محتوای آب نسبی با عملکرد در هر دو شرایط محیطی مشاهده گردید. این موضوع حاکی از تأثیر بسیار زیاد غلظت کلروفیل و سایر رنگدانه‌ها در افزایش عملکرد گیاه بخصوص در زمان تنش است. همچنین همبستگی منفی عناصر در شرایط تنش نشان‌دهنده عدم جذب مناسب آنها است. ژنوتیپ روشن از نظر رنگدانه‌ها در هر دو شرایط و ژنوتیپ باران از لحاظ غلظت عناصر دارای برتری بودند. لذا با توجه به بای پلات ژنوتیپ در صفت می‌توان ارزیابی نمود که کدام ژنوتیپ‌ها از نظر هر کدام از صفات برتر هستند. برتری برخی از ژنوتیپ‌ها در ارتباط با غلظت عناصر می‌تواند مربوط به خصوصیت ژنتیکی آن ژنوتیپ باشد. اما برتری یک ژنوتیپ در شرایط تنش احتمالاً با توانایی بهتر آن ژنوتیپ در جذب و تجمع عناصر مرتبط است. همچنین با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های تحمل به تنش (MP، GMP و STI) با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش می‌توان اظهار نمود که این شاخص و همچنین بای پلات G×T از روش‌های مناسبی برای غربالگری هستند. از طرف دیگر از نظر شاخص تحمل به ترتیب الوند و امید به عنوان ارقام مقاوم و حساس به تنش معرفی شدند. اما این در حالی است که در بای پلات مشخص شد که رقم امید در شرایط تنش ازنظر برخی صفات از جمله عناصر دانه مناسب بود. همچنین رقم روشن در هر دو شرایط دارای برتری از نظر عملکرد و سایر صفات بودند. لذا با توجه به نتایج حاضر کاربرد ارقام با غلظت کلروفیل بالاتر و توانایی بیشتر جذب عناصر ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

خدارحمی، م.، سوقی، ح.، جعفربای، ج.، خاوری‌نژاد، م. ص. و خانزاده، ح. (۱۴۰۰) بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم نان با استفاده از روش GGE بای پلات در اقلیم ساحل خزر. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی ۴۰: ۹۰-۸۳.

شهبازی، ک.، سادات هاشمی نسب زواره، ک.، یگانه، م.، زارع، ع. ا.، بازرگان، ک.، اسفندیاری پور، ا.، سهرابی، س.، خورسندی، ه.، نوربخش، ر.، مارزی، م.، بهشتی، م.، بهالوهوره، ن.، خزاری، ن. و نقی‌پور، ف. (۱۳۹۹) بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) و برخی از عناصر غذایی در گندم، آرد و نان تولیدی کشور. مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

فرشادفر، ع.، یاقوتی‌پور، جمشیدی‌نژاد، س.، باوند پوری، ف. و فرشادفر، م. (۱۳۹۹) ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum durum* L.) براساس ویژگی‌های فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی با استفاده از روش GGE بای پلات. نشریه علوم زراعی ایران ۲: ۱۳۹-۱۲۵.

قلی‌زاده، ا.، دهقانی، ح. و دوراک، ج. (۱۳۹۳) ارتباط بین محتوای کلروفیل برگ و عملکرد دانه تحت شرایط تنش شوری در گندم نان. علوم گیاهان زراعی ایران ۴: ۶۳۸-۶۲۵.

عباس‌زاده، ب.، شریفی عاشورآبادی، ا. و فرج اللهی. (۱۳۸۶) تأثیر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، گرگان.

عسکری گلستانی، ع. ر.، رمضانپور، س. س.، برزویی، ا.، سلطان‌لو، ح. و نواب‌پور، س. (۱۳۹۷) ارزیابی تحمل به شوری نسل پنجم لاین‌های گندم نان، با استفاده از برخی شاخص‌های تحمل به تنش. نشریه تولید گیاهان زراعی ۲: ۴۹-۳۵.

ملک‌شاهی، ف.، دهقانی، ح. و علیزاده، ب. (۱۳۸۸) مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی در برخی ارقام پاییزه کلزا (*Brassica napus* L.). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۸: ۸۹-۷۷.

ممتازی، ف. (۱۳۹۰) واکنش ارقام مختلف گندم به تنش خشکی بعد از گلدهی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۳: ۱۷-۱.

وثوقی‌راد، م.، جامی معینی، م.، طاهریان، م. و آرمین، م. (۱۴۰۰) گزینش ژنوتیپ‌های برتر متحمل خشکی گندم دوروم با استفاده از روش مبتنی بر تحلیل گرافیکی. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی ۳۷: ۱۷۰-۱۵۹.

Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S. and Mohamadi-Nejad, G. (2013) Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Archives of Agronomy and Soil Science 5*:* 685-704.

Ahmed, H. G. M. D., Li, M. J., Khan, S. H. and Kashif, M. (2019) Early selection of bread wheat genotypes using morphological and photosynthetic attributes conferring drought tolerance. Journal of Integrative Agriculture 11*:* 2483-2491.

Ahmed, H. G. M. D., Zeng, Y., Yang, X., Anwaar, H. A., Mansha, M. Z., Hanif, C. M. S. and Alghanem, S. M. S. (2020) Conferring drought-tolerant wheat genotypes through morpho-physiological and chlorophyll indices at seedling stage. Saudi Journal of Biological Sciences 27: 2116-2123.

Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. (2011) Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 9: 2026-2032.

Anwaar, H. A., Perveen, R., Mansha, M. Z., Abid, M., Sarwar, Z. M., Aatif, H. M. and Khan, K. A. (2020) Assessment of grain yield indices in response to drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). Saudi Journal of Biological Sciences 7: 1818-1823.

Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P. and Royo, C. (2002) Plant breeding and drought in C_3 cereals: What should we breed for? Annals of Botany 7: 925-940.

Banks, J. M. (2018) Chlorophyll fluorescence as a tool to identify drought stress in Acer genotypes. Environmental and Experimental Botany 155: 118-127.

Bechere, E., Pena-Bautista, R. J. and Mitiku, D. (2002) Glutenin composition, quality characteristics, and agronomic attributes of durum wheat cultivars released in Ethiopia. African Crop Science Society 2: 173-182.

Bishwas, K. C., Poudel, M. R. and Regmi, D. (2021) AMMI and GGE biplot analysis of yield of different elite wheat line under terminal heat stress and irrigated environments. Heliyon 6: e7206.

Bogale, A., Tesfaye, K. and Geleto, T. (2011) Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of *Ethiopian durum* wheat genotypes under water deficit condition. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 2: 22-36.

Bresta, P., Nikolopoulos, D., Economou, G., Vahamidis, P., Lyra, D., Karamanos, A. and Karabourniotis, G. (2011) Modification of water entry (xylem vessels) and water exit (stomata) orchestrates long term drought acclimation of wheat leaves. Plant and Soil 1-2: 179-193.

Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N., Wang, Y. and Horst, W. J. (2010) Biofortification and localization of zinc in wheat grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry 16: 9092-9102.

Clarke, J. M., DePauw, R. M. and Townley-Smith, T. F. (1992) Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science 3: 723-728.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

Curtis, T. and Halford, N. G. (2014) Food security: The challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety. Annals of Applied Biology 3: 354-372.
Enyew, M., Feyissa, T., Geleta, M., Tesfaye, K., Hammenhag, C. and Carlsson, A. S. (2021) Genotype by environment interaction, correlation, AMMI, GGE biplot and cluster analysis for grain yield and other agronomic traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Plos One 10: e0258211.
FAO. (2020) Food and Agriculture Organization. https://www.fao.org/faostat/.
Farshadfar, E., Jalali, S. and Saeidi, M. (2012a) Introduction of a new selection index for improvement of drought tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). European Journal of Experimental Biology 24: 1181-1187.
Farshadfar, E., Jamshidi, B. and Aghaee, M. (2012b) Biplot analysis of drought tolerance indicators in bread wheat landraces of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5: 226-233.
Farshadfar, E. and Amiri, R. (2015) Genetic analysis of physiological indicators of drought tolerance in bread wheat using diallel technique. Genetika 1: 107-118.
Faisal, S. U. M. M. I. Y. A., Mujtaba, S. M., Khan, M. A. and Mahboob, W. A. J. I. D. (2017) Morpho-physiological assessment of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought stress tolerance at seedling stage. Pakistan Journal of Botany 2: 445-452.
Fernandez, G. C. (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan.
Frossard, E., Bucher, M., Machler, F., Mozafar, A. and Hurrell, R. (2000) Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. Journal of the Science of Food and Agriculture 7: 861-879.
Geravandi, M., Farshadfar, E. and Kahrizi, D. (2011) Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. Russian Journal of Plant Physiology 1: 69-75.
Ghanbari, A. A., Shakiba, M. R., Toorchi, M. and Choukan, R. (2013) Nitrogen changes in the leaves and accumulation of some minerals in the seeds of red, white and chitti beans (*Phaseolus vulgaris*) under water deficit conditions. Australian Journal of Crop Science 5: 706-712.
Habus-Jercic, I., Baric, M., Keresa, S., Bosnjak-Mihovilovic, A., Poljak, M. and Lazarevic, B. (2018) Effect of terminal drought on yield and some physiological traits of winter wheat. Genetika 2: 747-753.
Halvin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. and Nelson, W. L. (2005) Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Pretice Hall, New Jersey.
Huang, B. (2001) Nutrient accumulation and associated root characteristics in response to drought stress in tall fescue cultivars. HortScience 1: 148-152.
Hu, M., Shi, Z., Xu, P., Li, H. and Zhang, Z. (2015) Wheat acclimate to water deficit by modifying carbohydrates metabolism, water use efficiency, and growth. Brazilian Journal of Botany 3: 505-515.
Ilker, E., Tatar, O., Tonk, F. A. and Tosun, M. (2011) Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. Turkish Journal of Field Crops 1: 59-63.
Jafari, A., Paknejad, F. A. R. Z. A. D. and Jami Al-Ahmadi, M. (2012) Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. International Journal of Plant Production 4: 33-38.
Kalaji, H. M., Jajoo, A., Oukarroum, A., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I. A. and Ladle, R. J. (2016) Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. Acta Physiologiae Plantarum 4: 1-11.
Keyvan, S. (2010) The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant Sciences 3: 1051-1060.
Lao, Y., Dong, Y., Shi, Y., Wang, Y., Xu, S., Xue, J. and Zhang, X. (2021) Evaluation of drought tolerance in maize inbred lines selected from the Shaan A group and Shaan B group. Agriculture 1: 1-11.
Liu, H., Wang, Z. H., Li, F., Li, K., Yang, N., Yang, Y. and Qiu, W. (2014) Grain iron and zinc concentrations of wheat and their relationships to yield in major wheat production areas in China. Field Crops Research 156: 151-160.
Lindsay, W. L. (1979) Chemical Equilibria in Soils. New York.
Loss, S. P. and Siddique, K. H. M. (1994) Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. Advances in Agronomy 52: 229-276.
Mamnabi, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, K. and Raei, Y. (2020) Improving yield-related physiological characteristics of spring rapeseed by integrated fertilizer management under water deficit conditions. Saudi Journal of Biological Sciences 3: 797-804.
Mardeh, A. S. S., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. (2006) Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research 2-3: 222-229.
Marschner, H. (1993) Zinc in Soils and Plants. Springer, Dordrecht.
Mohammadi, R. (2020) The use of a combination scoring index to improve durum productivity under drought stress. Experimental Agriculture 56: 161-170.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

Monasterio, I. and Graham, R. D. (2000) Breeding for trace minerals in wheat. Food and Nutrition Bulletin 4: 392-396.
Nouri-Ganbalani, A., Nouri-Ganbalani, G. and Hassanpanah, D. (2009) Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil, Iran. Journal of Food, Agriculture and Environment 4: 228-234.
Passarkli, M. (2010) Handbook of plant and crop stress. 3rd Ed. CRC Press.
Pradhan, G. P., Prasad, P. V., Fritz, A. K., Kirkham, M. B. and Gill, B. S. (2012) Effects of drought and high temperature stress on synthetic hexaploid wheat. Functional Plant Biology 3: 190-198.
Reynolds, M. P., Pierre, C. S., Saad, A. S., Vargas, M. and Condon, A. G. (2007) Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. Crop Science 47: S-172.
Sayyah, S. S., Ghobadi, M., Mansoorifar, S. and Zebarjadi, A. R. (2015) The yield of wheat genotypes associated with yield components under irrigated and drought stress after anthesis. Archives of Agronomy and Soil Science 61: 1743-1755.
Seher, M., Shabbir, G., Rasheed, A., Kazi, A. G., Mahmood, T. and Mujeeb-Kazi, A. (2015) Performance of diverse wheat genetic stocks under moisture stress condition. Pakistan Journal of Botany 1: 21-26.
Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A. and Hassanpanah, D. (2008) Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS 10: 1330-1335.
Shirinzadeh, A., Zarghami, R., Azghandi, A. V., Shiri, M. R. and Mirabdulbaghi, M. (2010) Evaluation of drought tolerance in mid and late mature corn hybrids using stress tolerance indices. Asian Journal of Plant Sciences 2: 67-73.
Stocker, O. (1929) Das Wasserdefizit von Gefässpflanzen in verschiedenen Klimazonen. Zeitschrift fur wissenschaftliche Biologie. Abteilung E: Planta 382-387.
Sukran, D. E. R. E., Gunes, T. and Sivaci, R. (1998) Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Turkish Journal of Botany 1: 13-18.
Taherian, M., Rasoulnia, A., Bihamta, M. R., Peyghambari, A. and Alizadeh, H. (2017) Evaluation of stress tolerance indices in Iranian barley genotypes under salinity and drought conditions. Agricultural Communications 3: 7-17.
Tadayyon, A., Nikneshan, P. and Pessarakli, M. (2018) Effects of drought stress on concentration of macro-and micro-nutrients in Castor (*Ricinus communis* L.) plant. Journal of Plant Nutrition 3: 304-310.
Tatar, O. and Gevrek, M. N. (2008) Lipid peroxidation and water content of wheat. Asian Journal Plant Science 7: 409-412.
Turner, N. C. (2004) Sustainable production of crops and pastures under drought in a Mediterranean environment. Annals of Applied Biology 2: 139-147.
Williams, R. M., O'Brien, L., Eagles, H. A., Solah, V. A. and Jayasena, V. (2008) The influences of genotype, environment, and genotype× environment interaction on wheat quality. Australian Journal of Agricultural Research 2: 95-111.
Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. and Szlavnics, Z. (2000) Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science 3: 597-605.
Yan, W. and Rajcan, I. (2002) Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science 42: 11-20.
Yan, W. and Tinker, N. A. (2006) Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Science 3: 623-645.
Zhang, P. P., Song, H. and Ke, X. W. (2016) GGE biplot analysis of yield stability and test location representativeness in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. Journal of Integrative Agriculture 15: 1218-1227.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]

Effect of terminal drought stress on photosynthetic pigments and nutritional value of bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Kerman

Safiyeh Pazireh, Ali Akbar Maghsoudi Moud*, Enayatollah Tohidi Nejad, Mehdi Mohayeji

Department of agronomy and plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(Received: 30/03/2022, Accepted: 14/06/2022)

Abstract

In most of the wheat cultivated areas in the world, drought stress during the reproductive stages leads to a significant reduction in grain yield. Therefore, considering the arid and semi-arid climate of this country and the increased population ahead, it is necessary to identify cultivars tolerant to drought and related traits. On this basis, the present study was conducted as a randomized complete block design with three replications in the research farm of the Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman in 2016-2017 cropping year. Experimental treatments included 28 bread wheat cultivars which were cultivated in two different environments (normal conditions and drought stress). GGE bipolates are one of the most accurate and efficient multivariate models. The GT type of this biplot deals with the relationships between traits in genotypes. Based on the results, the vectors in biplot showed that there was a strong and positive correlation between physiological traits such as chlorophyll pigments concentration, carotenoids, chlorophyll index, and relative water content with yield in both normal irrigation and terminal drought conditions. Under stress conditions, the concentration of elements had a negative correlation with yield, but this was with normal irrigation, whereas only microelements had a negative correlation. According to the biplot diagram, Roshan, Pishgam, Zagros, Omid, and Baran genotypes were introduced as the best genotypes for some or all of the traits under drought stress. On the other hand, evaluation of tolerance of genotypes with tolerance indices also showed that MP, GMP and STI indices had a positive and significant correlation with grain yield and therefore Alvand and Omid were identified as tolerant and sensitive genotypes, respectively. According to the present results, G×T biplot and tolerance indices (MP, GMP, and STI) can be a good way to evaluate the superiority of traits and identify tolerant genotypes, and by this way, superior genotypes with high production capacity and desirable traits can be used in drought tolerance breeding programs. Also, photosynthetic pigments and element concentrations can be a good criterion for improving grain yield, especially under stress conditions.

Keywords: Chlorophyll, Grin yield, Stress, Tolerance index

Corresponding author, Email: Maghsoudi.aa@uk.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0]