

دانشگاه گیلان

دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

سال سوم / شماره چهارم / ۱۳۹۲ (۲۶۷-۲۷۹)

ارزیابی ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم دوروم بر اساس شاخص‌های تحمل خشکی

نسیم خاکسار^{۱*}، عزت اله فرشادفر^۲ و رضا محمدی^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه،
۳- استادیار معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، ایستگاه سرارود کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۸)

چکیده

به منظور بررسی شاخص‌های تحمل خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گندم دوروم، ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم به همراه ۳ شاهد، ارقام زردک و ساجی (شاهد‌های گندم دوروم) و رقم سرداری (شاهد گندم نان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در سال ۱۳۸۹-۱۳۹۰ در معاونت مؤسسه تحقیقاتی-کشاورزی دیم کشور (سرارود) مورد آزمایش قرار گرفتند. بر مبنای عملکرد دیم و آبیاری تکمیلی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی از قبیل میانگین بهره‌وری، شاخص تحمل، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل تنش، شاخص عملکرد و شاخص پایداری عملکرد محاسبه شدند. ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۴، ۸، ۲۱ (ساجی) و ۱۸ دارای بالاترین مقدار شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک و تحمل به تنش بودند. در حالی که ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۲۲ (زردک)، ۱۶ و ۱۹ با کمترین مقدار شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل دارای حساسیت به خشکی کمتری بودند. تجزیه بای پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۲۱، ۸ و ۱۸ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک و تحمل به تنش قرار گرفتند و به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی شدند. جمع بندی نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که از بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۲۱ و ۱۸ ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بودند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص‌های تحمل خشکی، عملکرد دانه، گندم دوروم

مقدمه

یکی از منابع شناخته شده تأمین انرژی و پروتئین در جهان گندم دوروم یا گندم ماکارونی (*Triticum turgidum* L. subsp. *Durum* Desf) می‌باشد. گندم دوروم در ۱۰ درصد نواحی گندم خیز دنیا کشت می‌شود. بیش از ۱۱ میلیون هکتار از گندم دوروم کشت شده در نواحی مدیترانه ای تحت شرایط بارندگی و درجه حرارت تغییرات غیر قابل پیش بینی و بزرگی را در تمام سال‌ها نشان دادند (Nachitet et al., 1998). گندم دوروم با ۱۳/۳ میلیون هکتار سطح زیر کشت دارای میزان تولید جهانی ۳۱/۹ میلیون تن و متوسط عملکرد جهانی ۲/۳۸ تن در هکتار در سال ۲۰۰۹ می‌باشد (USDA, 2009). گندم دوروم نسبت به گندم معمولی (گندم نان) و سایر گندم‌ها به شرایط نامساعد آب و هوایی خصوصاً خشکی مقاوم‌تر است و با شرایط آب و هوایی نیمه خشک سازگارتر است (Srivastava, 1984). اگر چه همه تنش‌های زنده و غیر زنده از عوامل مهم کاهش تولید محسوب می‌شوند اما خشکی مهم‌ترین عامل غیر زنده ای است که بر عملکرد گندم تأثیر دارد (Arauset al., 2002). دسترسی به آب در بسیاری از نقاط جهان محدود است و فرآیند خشکی بیشتر از هر عامل محیطی دیگر شایع‌ترین تنش محیطی است که در هر زمانی از چرخه زراعی محیط‌های دیم می‌تواند اتفاق بیفتد (Rajaram et al., 1996). به نظر می‌رسد عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تحت شرایط تنش خشکی و شرایط مطلوب نقطه شروعی در شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب برای شرایط دیم غیر قابل پیش بینی باشد. این توافق وجود دارد که پتانسیل عملکرد بالا تحت تنش ملایم سودمند است در حالی که ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد کم و تحمل خشکی بالا احتمالاً هنگامی که تنش شدید است سودمند می‌باشند (Voltas et al., 1999; Panthuwan et al., 2002).

تا کنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها ابداع شده و مورد استفاده به‌نژادگران قرار گرفته و شاخص‌های مختلفی برای تشریح رفتار یک ژنوتیپ معین تحت شرایط تنش و غیر تنش پیشنهاد شده است. شاخص انتخاب مناسب نیز شاخصی است که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز کند (Fernandez, 1992). شاخص حساسیت به تنش

(SSI=Stress Susceptibility Index). توسط فیشر و مور (Fisher and Maure, 1978) پیشنهاد شد و اظهار داشتند که مقدار SSI کمتر از یک نشان دهنده مقاومت ژنوتیپ به خشکی است. بر اساس این شاخص هر چه مقدار عملکرد در شرایط تنش به عملکرد در شرایط بدون تنش نزدیک‌تر باشد حساسیت رقم به خشکی کمتر است. ژنوتیپ‌هایی که توسط این شاخص گزینش می‌شوند عملکرد بالقوه کمی دارند اما در شرایط تنش عملکرد آن‌ها زیاد است. این شاخص فقط می‌تواند گیاهان با عملکرد بالا در محیط تنش را انتخاب کند و ژنوتیپ‌های انتخابی تظاهر خوبی در محیط بدون تنش نخواهند داشت و این ایرادی بود که بر آن وارد شده است. شاخص تحمل (TOL=Tolerance) و شاخص بهره‌وری متوسط (MP=Mean Productivity) که به ترتیب معادل اختلاف عملکرد محیط تنش و بدون تنش و میانگین عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش هستند توسط روسیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها در برابر تنش ابداع و مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر بالای شاخص تحمل نشان دهنده حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است. شاخص بهره‌وری متوسط نیز به صورت متوسط جمع جبری عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش تعریف می‌شود. فرناندز شاخص تحمل تنش (STI=Stress Tolerance Index) را به عنوان معیاری برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی پیشنهاد نمود (Fernandez, 1992). مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده تحمل زیاد تنش و عملکرد بالقوه بالا است. وی در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط تنش و بدون تنش واکنش گیاهان را به چهار گروه تقسیم نمود: الف) ژنوتیپ‌های گروه A که در هر دو محیط دارای عملکرد بالایی هستند. ب) ژنوتیپ‌های گروه B که عملکرد بالایی در محیط بدون تنش دارند. ج) ژنوتیپ‌های گروه C که عملکرد خوبی در محیط تنش دارند. د) ژنوتیپ‌های گروه D که عملکرد پایینی در هر دو محیط دارند. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP=Genomic Mean Productivity) توسط فرناندز (Fernandez, 1992) برای ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی پیشنهاد شد. این شاخص در مقایسه با بهره‌وری متوسط در تفکیک

ارزیابی تحمل خشکی مورد بررسی قرار داده و دریافتند که شاخص های حساسیت به تنش، میانگین هندسی بهره‌وری و تحمل تنش مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ارقام مقاوم در هر دو شرایط تنش و بدون تنش هستند. یاهوییان و همکاران (Yahoueian *et al.*, 2006) نیز شاخص های میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص تحمل به خشکی را به عنوان شاخص های برتر معرفی کردند. در مطالعه ای که توسط محمدی و همکاران بر روی ژنوتیپ‌های گندم دوروم انجام گرفت مشخص گردید که شاخص های تحمل تنش، بهره‌وری متوسط و میانگین هندسی بهره‌وری قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش هنگامی که تنش متوسط است، هستند و شاخص بهره‌وری متوسط به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط تنش متوسط شناسایی شد (Mohammadi *et al.*, 2010). طالبی و همکاران (Talebi *et al.*, 2009) نیز با مطالعه روی لاین‌های گندم دوروم به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری، بهره‌وری متوسط و شاخص تحمل خشکی شاخص های مطلوبی برای شناسایی لاین های گندم تحت شرایط تنش و بدون تنش هستند. بر اساس یافته‌های فالاحی و همکاران (Falahi *et al.*, 2011) در ارزیابی تحمل تنش خشکی لاین های گندم دوروم مشخص گردید که مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین ها در شرایط تنش و بدون تنش شاخص های بهره‌وری متوسط، تحمل به خشکی، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک هستند. در مطالعه سی و سه مرده و همکاران ارقامی با YSI بالاتر حداقل عملکرد را در شرایط بدون تنش و بالاترین عملکرد را در شرایط تنش نشان دادند (Siosehmardeh *et al.*, 2006).

اصولاً مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد گیاهان کمبود آب می‌باشد. بیشتر اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه خشک واقع شده‌اند و بنابراین تعیین ژنوتیپ‌هایی که تحت شرایط کم آبی قادر به ارائه عملکرد نسبتاً قابل قبولی باشند، امری ضروری است (Matsuo, 1998; Islami *et al.*, 2004). در ایران هر ساله ۲۰۰-۳۰۰ هزار هکتار به کاشت گندم دوروم اختصاص دارد که حدود ۷۰ درصد آن به صورت دیم است و اکثر مناطق کاشت گندم دوروم در مناطق نیمه گرمسیر و معتدل کشور واقع شده

ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. همچنین فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص دیگری را به نام میانگین هارمونیک (HAM=Harmonic Mean) ارائه داد که برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص پایداری عملکرد (YSI=Yield Stability Index) توسط بوسلاما و شاپاک (Bousslama and Schapaugh, 1984) به عنوان شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی پیشنهاد شد. این شاخص عملکرد در شرایط تنش یک رقم را وابسته به عملکرد غیر تنش آن ارزیابی می‌کند بنابراین ارقامی با شاخص پایداری عملکرد بالاتر انتظار می‌رود که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالاتری داشته باشند. شاخص عملکرد (YI=Yield index) ارقام را فقط بر اساس عملکرد تنش رتبه بندی می‌کند بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد (Siosehmardeh *et al.*, 2006). عزیزینیا و همکاران (Azizinia *et al.*, 2005) با بررسی ارقام مصنوعی و بومی گندم در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که شاخص های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی و شاخص تحمل خشکی به عنوان بهترین شاخص‌های مقاومت به خشکی برای انتخاب ارقام متحمل و دارای عملکرد بالا می‌باشد. خضری عفاوی و همکاران (Khezri *et al.*, 2010) به منظور بررسی تعدادی از ارقام بومی و تجاری گندم دوروم از نظر برخی صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و مورفولوژیک مرتبط با مقاومت به خشکی تحت شرایط تنش آبی و نرمال نشان دادند که شاخص های میانگین هارمونیک، بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی و شاخص تحمل خشکی همبستگی مثبت و بسیار بالایی با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارند و به عنوان بهترین شاخص‌ها شناسایی شدند. مقدسی و همکاران (Moghadasi *et al.*, 2009) به منظور ارزیابی عملکرد دانه و برخی صفات مورفولوژیک لاین های گندم دوروم نشان دادند که شاخص های تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری و بهره‌وری متوسط همبستگی بالایی با عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش دارند بنابراین می‌توان از این شاخص‌ها برای گزینش لاین های متحمل به خشکی استفاده نمود. حطیم و همکاران (Hatim *et al.*, 2008) ارقام و لاین های مختلف گندم نان را برای

موسسه تحقیقات دیم از رقم شاهد سرداری نیز برای اصلاح گندم دوروم استفاده می‌شود. گندم نان رقم سرداری از ارقامی است که سابقه اصلاحی بسیار قدیمی داشته و از بین توده های بومی غرب کشور انتخاب و معرفی شده است و مهم‌ترین رقم گندم نان مورد کشت در مناطق سردسیر دیم کشور است (Sadeghzadeh, Ahari, 2006).

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (سرارود) واقع در کرمانشاه با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۷ دقیقه، ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا، میزان بارندگی متوسط سالیانه ۴۳۵ میلی متر و بافت خاک لومی-رسی در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ اجرا شد. شرایط آب و هوایی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (سرارود) در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ در جدول ۲ آمده است. مطابق آمار هواشناسی سال ۱۳۸۹-۱۳۹۰ متوسط بالاترین دمای مطلق ۳۲/۸ درجه سانتی‌گراد در خرداد ماه و متوسط پایین‌ترین دمای مطلق در بهمن ماه برابر ۳/۱- درجه سانتی‌گراد است. افزایش دما در اواخر فصل (اواخر اردیبهشت تا تیر ماه) در این منطقه که معمولاً با قطع بارندگی همراه است زراعت دیم را با تنش خشکی مواجه می‌سازد. همچنین به منظور فراهم آوردن شرایط لازم برای اعمال تنش خشکی در کشت دیم از هیچ گونه آبیاری استفاده نگردید و کشت تنها با اتکا به باران‌های فصل پاییز انجام شد. بنابراین در شرایط دیم چون مرحله گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک گیاه با تنش‌های انتهایی مصادف است پس گیاه با افت عملکرد مواجه می‌شود. در کشت آبی در مرحله تنش انتهایی گیاه که مصادف با مرحله گلدهی (ظهور سنبله) تا رسیدن فیزیولوژیک است اقدام به دو مرحله آبیاری تکمیلی و هر مرحله به میزان ۲۵ میلی‌متر به روش آبیاری بارانی گردید. بنابراین در شرایط آبیاری تکمیلی افت عملکرد گیاه با آبیاری در مرحله گلدهی و رسیدگی جبران می‌شود و گیاه با تنش‌های انتهایی مواجه نمی‌شود.

کاشت بذر در اوایل آبان سال ۱۳۸۹ به صورت دستی انجام شد و هر واحد آزمایشی شامل ۶ ردیف کشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و طول ۶ متر در شرایط دیم و طول ۳ متر در شرایط آبیاری تکمیلی با تراکم کاشت ۴۰۰

است (Ministry of Jihad-E-Agriculture, 1997). بنابراین با توجه به این که بیشترین سطح زیر کشت گندم دوروم در نواحی دیم می‌باشد می‌توان هدف از این پژوهش را ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم از نظر تحمل خشکی، انتخاب مناسب‌ترین شاخص های تحمل خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی عنوان کرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی شاخص های تحمل تنش و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شرایط تنش خشکی در گندم دوروم، از ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم، ۲ رقم گندم دوروم به عنوان شاهد (زردک و ساجی) و یک رقم شاهد گندم نان (سرداری) استفاده شد. ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم دوروم مورد بررسی در این تحقیق در واقع جزئی از مواد اصلاحی هستند که در برنامه های اصلاحی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (سرارود) برای شرایط دیم تحت بررسی بوده و برای این تحقیق انتخاب شدند. رقم زردک از ارقام بومی در مناطق معتدل سرد ایران (استان کرمانشاه) است و مقاومت نسبی به زنگ دارد این در حالی است که عملکرد کمتری از رقم سرداری داشته بنابراین در سطح بسیار محدود بعضاً کشت می‌شود. رقم ساجی در سال ۱۳۸۸ توسط معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم معرفی گردید. این رقم مناسب کشت در مناطق معتدل سرد و معتدل گرم برای شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بوده و از نظر عملکرد دانه دارای اختلاف چشمگیری با ارقام زردک و سرداری می‌باشد. این رقم به دلیل داشتن پتانسیل تولید بیشتر، کیفیت خوب، تحمل به تنش خشکی، مقاومت به خوابیدگی و مقاومت در مقابل بیماری‌ها (زنگ و سیاهک) برای معرفی و کاشت در شرایط آبیاری تکمیلی و مناطق پرباران اقلیم‌های مناطق سرد و معتدل گرم دیم انتخاب گردید (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). معرفی گندم‌های دوروم برتر و معرفی آن به کشاورزان مستلزم پذیرش آن توسط آنان بوده و با توجه به اینکه کشاورزان گندم‌های معرفی شده را با گندم نان رقم سرداری مقایسه می‌کنند و در مناطق معتدل سرد مثل کرمانشاه گندم نان رقم سرداری پرمحصول تر از بقیه ارقام است، می‌بایست گندم‌های دوروم نسبت به گندم سرداری برتری داشته باشد لذا در برنامه های به نژادی

جدول ۱- ویژگی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 1. The characteristic of studied genotypes

شماره ژنوتیپ	کد/ نام	منشأ	شماره ژنوتیپ	کد/ نام	منشأ
Genotype No.	Code/Name	Origin*	Genotype No.	Code/Name	Origin*
1	ADYT106-1-1D	DARSI	13	ADYT206-18-1D	DARSI
2	ADYT106-4-1D	DARSI	14	ADYT206-20-1D	DARSI
3	ADYT106-15-1D	DARSI	15	ADYT306-4-1D	DARSI
4	ADYT106-18-1D	DARSI	16	ADYT306-5-1D	DARSI
5	ADYT106-20-1D	DARSI	17	ADYT306-9-1D	DARSI
6	ADYT206-1-1D	DARSI	18	ADYT306-10-1D	DARSI
7	ADYT206-4-1D	DARSI	19	ADYT306-13-1D	DARSI
8	ADYT206-3-1D	DARSI	20	ADYT306-14-1D	DARSI
9	ADYT206-5-1D	DARSI	21	Saji	DARSI
10	ADYT206-9-1D	DARSI	22	Zardak	DARSI
11	ADYT206-11-1D	DARSI	23	Sardari	DARSI
12	ADYT206-15-1D	DARSI	-	-	-

*DARSI= Dryland Agricultural Research Sub-Institute

جدول ۲- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم (ساررود) در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹

Table 2. Meteorological details in Dray land Agricultural Research Sub-Institute (Sararood) for 2010-2011 cropping season

ماه	Month	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)	دمای مطلق (درجه سانتی‌گراد) Absolute temperature (C ⁰)		متوسط دما (درجه سانتی‌گراد) Mean temperature	تعداد روز یخبندان No. freezing days	رطوبت نسبی (%) Relative moisture (%)	تبخیر (میلی متر) Evaporation (mm)
			مینیمم Min	ماکزیمم Max				
مهر	October	0.8	4	34.2	19.9	0	37	204
آبان	November	23.8	0	28.6	13.4	0	46.5	110.5
آذر	December	24.1	-4	21	8.2	21	47	0
دی	January	45.5	-6	13.4	3.8	16	68.5	0
بهمن	February	69.4	-10	13.6	2.1	22	69.3	0
اسفند	March	35.3	-7	23.2	7.2	15	53	0
فروردین	April	50.7	-2.4	25.8	11.4	3	48.6	93.4
اردیبهشت	May	92.5	3.4	29	15.7	0	59.3	117
خرداد	June	0.4	5.2	39	22.5	0	26.3	335.5

تحت کنترل بوده و شرایط غیر یکنواختی خاک با توجه به مدیریت صحیح ایستگاه‌ها کمتر اتفاق می‌افتد بنابراین آزمون خاک هر چند سال یک‌بار انجام می‌گیرد و در سال ۱۳۸۹-۱۳۹۰ که این بررسی صورت گرفت آزمون خاک انجام نشده است.

از نرم افزار MSTAT-C برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪) و برای تحلیل همبستگی بین شاخص‌های محاسبه شده و عملکرد دیم و آبیاری تکمیلی، رسم نمودار سه بعدی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای پلات از نرم افزار SPSS استفاده شد. برای مطالعه روابط بین شاخص‌ها از ترسیم گرافیکی بای پلات استفاده شد. بای

بوته در متر مربع بود. دلیل کمتر بودن طول خطوط کاشت در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم، محدودیت منابع از جمله ماده آزمایشی، وجود سیستم آبیاری محدود و تعداد زیاد آزمایشات در ایستگاه تحقیقاتی بوده و این در حالی است که مبنای مقایسه برای عملکرد در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، یک متر مربع بود.

بذور قبل از کاشت با قارچ کش مانکوزب به میزان دو در هزار ضد عفونی شدند. با توجه به نتایج آزمون خاک مزرعه، فرمول کودی N₃₀P₃₀ که در آن منبع نیتروژن، اوره و منبع فسفات، سوپر فسفات تریپل بود، استفاده شد. از آنجایی که شرایط ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی

تکمیلی (Y_P) شاخص‌های کمی تحمل خشکی بر اساس روابط ذیل محاسبه شدند:

$$SSI = \frac{1-(Y_S-Y_P)}{1-(\bar{Y}_S-\bar{Y}_P)} \quad (\text{Fisher and Maure, 1978}) \quad (1)$$

$$TOL = Y_P - Y_S \quad (\text{Rosielle and Hamblin, 1981}) \quad (2)$$

$$MP = \frac{Y_S+Y_P}{2} \quad (\text{Rosielle and Hamblin, 1981}) \quad (3)$$

$$STI = \frac{Y_S \times Y_P}{(\bar{Y}_P)^2} \quad (\text{Fernandez, 1992}) \quad (4)$$

$$GMP = \sqrt{Y_S \times Y_P} \quad (\text{Fernandez, 1992}) \quad (5)$$

$$HAM = \frac{2(Y_P \times Y_S)}{Y_P + Y_S} \quad (\text{Fernandez, 1992}) \quad (6)$$

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P} \quad (\text{Bouslama and Schapaugh, 1984}) \quad (7)$$

$$YI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_S} \quad (\text{Gavuzzi et al., 1997}) \quad (8)$$

تحمل و حساسیت به تنش کوچک‌تر باشند تحمل خشکی ژنوتیپ‌ها بیشتر است لذا بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۲۲ (زردک)، ۱۶ و ۹ انتخاب شدند. بنابراین رقم زردک علیرغم داشتن متوسط عملکرد پایین در شرایط آبیاری تکمیلی با این شاخص‌ها به عنوان یکی از ژنوتیپ‌های متحمل خشکی معرفی گردید. روسیل و هامبلین پیشنهاد نمودند که هر چه شاخص تحمل کوچک‌تر باشد حساسیت به خشکی ژنوتیپ کمتر و مطلوب‌تر است (Rosielle and Hamblin, 1981). بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری و میانگین هندسی بهره‌وری ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۸، ۱۸، ۲۱ (ساجی) و ۴ و بر اساس شاخص میانگین هارمونیک ژنوتیپ‌های ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۸، ۲۱ (ساجی)، ۱، ۲ و ۱۸ بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. بنابراین رقم ساجی با داشتن عملکرد نسبتاً بالا در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و اختلاف چشمگیر از نظر عملکرد دانه با ارقام زردک و سرداری با این شاخص‌ها به عنوان یکی از ژنوتیپ‌های متحمل خشکی معرفی گردید.

بر اساس روش‌های بکار رفته در این بررسی هر گاه ژنوتیپی دارای شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک بیشتری بوده و از مقادیر تحمل و حساسیت به تنش کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار باشد تحمل بهتری نسبت به شرایط تنش خواهد داشت. با توجه به

پلات ابزار مفیدی برای تجزیه اطلاعات و ارزیابی ساختار ماتریس دو طرفه است (Gabriel, 1971). با استفاده از عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم (Y_S) و آبیاری

در این روابط، Y_P ، Y_S ، \bar{Y}_P و \bar{Y}_S به ترتیب عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی، عملکرد در شرایط دیم، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری تکمیلی و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم می‌باشد.

نتایج و بحث

ویژگی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس برای عملکرد دانه (جدول ۳)، اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در هر دو شرایط محیطی دیم و آبیاری تکمیلی وجود داشت. نتایج حاصل از برآورد شاخص‌های مختلف تحمل به تنش در جدول ۴ آمده است. بیشترین متوسط عملکرد دانه در شرایط دیم متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱، ۲۱ (ساجی) و ۸ به ترتیب با مقادیر ۲۷۳/۴ گرم در متر مربع، ۲۳۸/۶ گرم در متر مربع، ۲۳۴/۴ گرم در متر مربع می‌باشد و در مقایسه میانگین در کلاس a و b قرار دارند. ژنوتیپ شماره ۶ نیز با ۱۳۲/۶۵ گرم در متر مربع کمترین متوسط عملکرد دانه را داشت و در کلاس j قرار دارد. در شرایط آبیاری تکمیلی بیشترین متوسط عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ شماره ۲ با ۷۴۸/۴ گرم در متر مربع (کلاس a) و کمترین متوسط عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ شماره ۲۲ (زردک) با ۲۳۴/۳ گرم در متر مربع (کلاس g) بود. با توجه به این که هر چه شاخص‌های

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه
Table 3. Analysis of variance of grain yield under rainfed and supplemental irrigation conditions for studied genotypes

S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی df.	میانگین مربعات Ms	
			عملکرد آبیاری تکمیلی Y _p	عملکرد دیم Y _s
Replication	تکرار	2	19339.78	2538.57
Genotype	ژنوتیپ	22	39147.75**	3878.02**
Error	خطا	44	4593.32	366.92
C.V.%	ضریب تغییرات	-	16.12	9.77

** : Significant at 1% probability level.

** : معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

شاخص عملکرد همبستگی مثبت و معنی دار با عملکرد دانه در شرایط دیم داشت. این شاخص ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس عملکرد در شرایط دیم رتبه بندی کرد و نتوانست ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط را شناسایی کند. شاخص پایداری عملکرد نیز دارای همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد در شرایط دیم و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی بود. بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط دیم و با عملکرد ضعیف در شرایط آبیاری تکمیلی را انتخاب می‌کند. این شاخص قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی نبود. این مطالب با نتایج سی و سه مرده و همکاران (Siosehmardeh *et al.*, 2006) و گراوندی و همکاران (Garavandi *et al.*, 2010) مطابقت دارد. در شرایط دیم همبستگی شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل با عملکرد دانه منفی بود. از آنجا که ژنوتیپ‌هایی با مقادیر کوچک‌تر شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته می‌شوند انتخاب بر اساس این شاخص باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در محیط دیم دارد، ولی عملکرد آن‌ها در محیط آبیاری تکمیلی کم است (Falahi *et al.*, 2011).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از داده های حاصل از ۲۳ ژنوتیپ و شاخص های مقاوم به خشکی، سهم مؤلفه‌ها و سهم تجمعی آن‌ها محاسبه شد. ۹۹/۲۴ درصد کل تغییرات داده‌ها توسط دو مؤلفه اصلی اول (PC1, PC2) بیان شد، لذا بر اساس دو مؤلفه اول بای پلات ترسیم شد (شکل ۱). در این بررسی اولین مؤلفه اصلی ۶۴/۹ درصد و مؤلفه دوم ۳۳/۶ درصد از تغییرات

جدول ۴ مشخص شد که ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۴، ۸، ۲۱ (ساجی) و ۱۸ از نظر شاخص های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده و از نظر این شاخص‌ها جزء ژنوتیپ‌های متحمل محسوب می‌شوند. از آنجایی که انتخاب بر اساس شاخص های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک نتایج مشابهی داشت و در تمام حالات ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۴، ۸، ۲۱ (ساجی) و ۱۸ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند، به منظور حصول اطمینان از بقاء عملکرد در شرایط تنش از بین ژنوتیپ‌های انتخاب شده آن‌هایی که بیشترین مقادیر عملکرد در شرایط دیم را داشتند انتخاب شدند. بر این اساس از بین ژنوتیپ‌های موجود ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۴، ۲۱ (ساجی) و ۱۸ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب شدند. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود شاخص های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک دارای همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بودند. بنابراین شاخص های مذکور بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر هستند. نتایج مذکور با نتایج سی و سه مرده (Sio-SehMardeh *et al.*, 2006) در بررسی گندم، فلاحی و همکاران (Falahi *et al.*, 2011) در بررسی گندم دوروم، زینالی خانقاه و همکاران (Zeinaly Khanghah *et al.*, 2004) در بررسی سویا، چوگان و همکاران (Choukan *et al.*, 2006) در بررسی ذرت دانه ای و گنجعلی و همکاران (Ganjali *et al.*, 2009) در بررسی نخود مطابقت دارد.

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و مقادیر شاخص‌های تحمل خشکی برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه
 Table 4. Mean of grain yield under rainfed and supplemental irrigation conditions and values of drought tolerance indices for studied genotypes

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دیم Y _s (g/m ²)	عملکرد آبیاری تکمیلی Y _p (g/m ²)	میانگین بهروری MP (g/m ²)	میانگین بهروری GMP (g/m ²)	میانگین هارمونیک HAM (g/m ²)	تول TOL (g/m ²)	تول به تنش (STI)	شاخص تحمل به تنش (SSI)	شاخص حساسیت به تنش (YI)	شاخص عملکرد (YSI)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص عملکرد (YSI)
1	238.6b	444.63bcde	341.62	325.71	310.55	206.03	0.58	0.89	1.22	0.53	1.22	0.53
2	193.17cdefg	748.35a	470.76	380.2	307.07	555.18	0.79	2.38	0.98	0.25	0.98	0.25
3	179.2defgh	365efg	272.1	255.74	240.38	185.8	0.36	0.8	0.91	0.49	0.91	0.49
4	273.4a	442.2bcde	357.8	347.7	337.89	168.8	0.66	0.73	1.39	0.61	1.39	0.61
5	150.23hij	333.14efg	333.5	278.63	232.79	366.53	0.42	1.57	0.77	0.29	0.77	0.29
6	132.65j	372.57def	252.61	222.3	195.64	239.92	0.27	1.03	0.68	0.35	0.68	0.35
7	215.37bcd	357.27efg	286.32	277.38	268.74	141.9	0.42	0.61	1.1	0.6	1.1	0.6
8	234.4b	551.7b	393.05	359.6	329.01	317.3	0.7	1.36	1.2	0.42	1.2	0.42
9	197.25cdef	497.5bcd	347.38	313.26	282.5	300.25	0.53	1.29	1.01	0.39	1.01	0.39
10	156.75ghij	525.33bc	341.04	286.95	241.45	368.58	0.45	1.58	0.8	0.29	0.8	0.29
11	213.77bcd	350.43efg	282.1	273.69	265.55	136.67	0.41	0.59	1.09	0.61	1.09	0.61
12	173.85efghi	261.05fg	217.45	213.03	208.71	82.2	0.25	0.38	0.89	0.66	0.89	0.66
13	222.65bc	351.73efg	287.19	279.84	272.69	129.08	0.43	0.56	1.14	0.63	1.14	0.63
14	184.5defgh	401.83cde	293.17	272.28	252.89	217.33	0.4	0.94	0.94	0.45	0.94	0.45
15	161.35fghij	452.671bcde	307.01	270.25	237.9	219.32	0.4	1.25	0.82	0.35	0.82	0.35
16	228.45bc	327efg	277.73	273.31	268.98	98.55	0.41	0.43	1.16	0.69	1.16	0.69
17	223.5bc	432.17bcde	327.66	310.54	294.32	209.02	0.53	0.9	1.14	0.51	1.14	0.51
18	206.33bcde	560.55b	383.44	340.08	301.64	354.22	0.63	1.52	1.05	0.36	1.05	0.36
19	206.83bcde	332.07efg	269.45	262.07	254.9	125.23	0.37	0.54	1.05	0.62	1.05	0.62
20	182.25defgh	458.1bcde	320.18	294.08	260.76	275.85	0.45	1.19	0.93	0.39	0.93	0.39
21	235.05b	531.5bc	383.28	353.45	325.95	296.45	0.68	1.27	1.2	0.44	1.2	0.44
22	141.7ij	234.3g	188	182.2	176.6	92.6	0.18	0.4	0.72	0.6	0.72	0.6
23	159.7ghij	341.5efg	250.6	233.53	217.63	181.6	0.3	0.78	0.81	0.46	0.81	0.46

Means in each column, followed by the similar letters are not significant at the 5% probability level using DMRT. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری با هم ندارند.

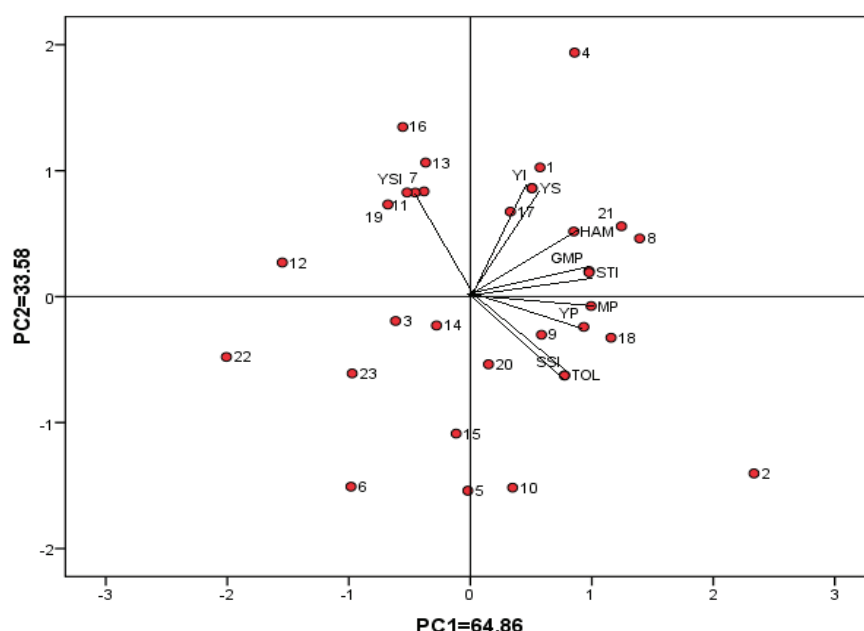
جدول ۵- تجزیه همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی با عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد مطالعه

Table 5. Correlation analysis between drought tolerance indices and grain yield under rainfed and supplemental irrigation conditions for studied durum wheat genotypes

	عملکرد دیم (Ys)	عملکرد آبیاری تکمیلی (Yp)	میانگین بهره‌وری (MP)	میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)	میانگین هارمونیک (HAM)	تحمل (TOL)	شاخص تحمل به تنش (STI)	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)
عملکرد دیم (Ys)	1	0.262 ^{ns}	0.44*	0.672**	0.878**	-0.147 ^{ns}	0.659**	-0.145 ^{ns}	1**	0.444*
عملکرد آبیاری تکمیلی (Yp)		1	0.935**	0.853**	0.661**	0.865**	0.865**	0.865**	0.261 ^{ns}	-0.662**

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

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

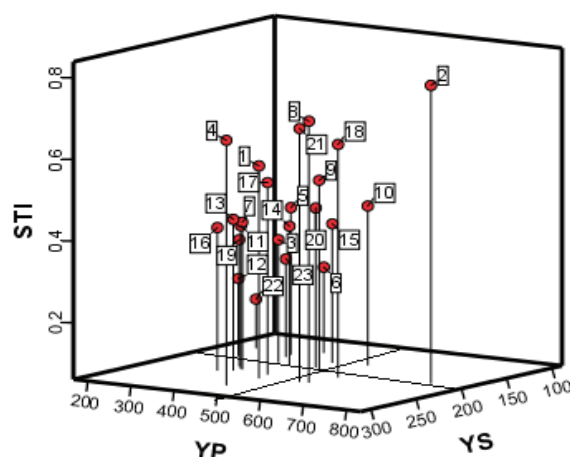


شکل ۱- ترسیم گرافیکی بای پلات شاخص‌های تحمل خشکی و ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس دو مؤلفه اول.

Figure 1. Biplot of drought tolerance indices and durum wheat genotypes based on first two components.

بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک) قرار گرفتند. ژنوتیپ شماره ۱۸ به بردار مربوط به عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی تمایل داشت و این بیانگر این است که مقادیر بالا برای شاخص تحمل خشکی در این ژنوتیپ بیشتر به علت عملکرد بالای آن در شرایط آبیاری تکمیلی بوده است. ژنوتیپ‌های شماره ۹ و ۲۰ نیز در مجاورت شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل قرار گرفتند. بنابراین این ژنوتیپ‌ها حساس به خشکی بوده و دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های آبی هستند. زاویه حاده بین شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک دلالت

کل داده‌ها را توجیه کرد. از آنجایی که مؤلفه اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، از این جهت دو مؤلفه را می‌توان به صورت دو محور عمود بر هم نمایش داد و ژنوتیپ‌ها را بر اساس این دو مؤلفه در سطح بای پلات مشخص نمود. در بای پلات ترسیم شده بر مبنای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها در درون گروه‌هایی قرار گرفته که با میانگین عملکرد و تحمل به تنش آن‌ها مرتبط هستند. نمودار بای پلات (شکل ۱) نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۲۱ (ساجی) و ۱۸ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم مقاومت به خشکی (تحمل به تنش، میانگین



شکل ۲- گزینش ژنوتیپ‌های تحمل کننده تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI).
Figure 2. Selection of drought tolerant genotypes using stress tolerance index (STI).

عملکرد بالا در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و داشتن تحمل به تنش بالا در گروه A فرناندز (Fernandez, 1992) قرار گرفته و متحمل به خشکی بودند. استفاده از نمودار سه بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها توسط گنجعلی و همکاران (Ganjali *et al.*, 2009) در نخود، سلیمانی فرد و همکاران (Soleymanifard *et al.*, 2010) و زبرجدی و همکاران (Zebarjadi *et al.*, 2013) در گندم دوروم گزارش شده است. جمع بندی نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد با توجه به نتایج حاصل از همبستگی عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی با شاخص‌های تحمل به تنش، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات، مناسب‌ترین شاخص برای غربال کردن ژنوتیپ‌های گندم دوروم و تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک هستند که بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۱۸، ۲۱ (ساجی) و ۸ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی می‌شوند.

بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها است. همچنین این شاخص‌ها دارای همبستگی مثبت با عملکرد در هر دو محیط دیم و آبیاری تکمیلی بودند. وجود همبستگی بالا بین دو شاخص حساسیت به تنش و تحمل با یکدیگر و نیز همبستگی منفی و بالای این شاخص‌ها با عملکرد در شرایط دیم و همبستگی مثبت و بالای آن‌ها با عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی در نمودار بای پلات مشهود بود. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم در گندم دوروم توسط محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2010)، سلیمانی فرد و همکاران (Soleymanifard *et al.*, 2010) و خضری عفاوی (Khezri Afravi *et al.*, 2010) مورد تایید قرار گرفته است.

با استفاده از مقادیر شاخص‌هایی که همبستگی بالایی با عملکرد در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی داشتند نمودار سه بعدی رسم شد (شکل ۲). در این نمودار شاخص تحمل به تنش در مقابل عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی نشان داده شده است؛ لذا ژنوتیپ‌های شماره ۱۸، ۲۱ (ساجی) و ۸ به عنوان ژنوتیپ‌هایی با

References

- Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P. and Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereal should we breed for? *Annals of Botany* 89: 925-940.
- Azizinia, Sh., Bihamta, M., Zali, A., Yazdi-Samadi, B. and Ahmadi, A. 2005. Evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic genotypes of bread wheat under water stressed and non-stressed conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 36: 281-295. (In Persian).

- Bousslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984.** Stress tolerance in soybean. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science** 24: 933-937.
- Choukan, R., Taherkhani, T., Ghanndha, M. R. and Khodarahmi, M. 2006.** Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. **Iranian Journal of Agricultural Sciences** 8 (1): 79-89. (In Persian).
- Falahi, H. A., Alat Jafarbai, J. and Sayedi, F. 2011.** Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. **Seed and Plant Improvement Journal** 27-1 (1): 15-22. (In Persian).
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of Crop Symposium, 13-18 Aug., Taiwan, pp: 257-270.
- Fisher, R. A. and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research** 29: 897-912.
- Gabriel, K. R. 1971.** The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. **Biometrika** 58: 453-467.
- Ganjali, A., Bagheri, A. and Porsa, H. 2009.** Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. **Iranian Journal of Field Crop Research** 7 (1): 183-194. (In Persian).
- Garavandi, M., Farshadfar, E. A. and Kahrizi, D. 2010.** Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. **Seed and Plant Improvement Journal** 26-1 (2): 223-252. (In Persian).
- Hatim, M., Majidian, M. and Babaie, T. 2008.** Evaluation of drought tolerance in bread wheat cultivars and inbred lines using drought tolerance indices. **Archive of SID**. 1: 25-39. (In Persian).
- Islami, M., Arzani, A. and Meybodi, A. M. 2004.** Evaluation of agronomic traits and inheritance ability their in tolerance to salty durum wheat genotypes in without stress field conditions. **Journal of Agricultural Sciences** 27 (2): 101-112.
- Khezri Afravi, M., Hoseinzadeh, E. A., Mohammadi, V. A. and Ahmadi, E. 2010.** Evaluation of drought resistance in local durum wheat cultivars in Iran under drought stress and natural irrigation conditions. **Iranian Journal of Agricultural Sciences** 41 (4): 741-753. (In Persian).
- Matsuo, R. R. 1998.** Durum wheat: its unique pasta-making properties. P 169-178, In: Bushuk, W. and Rasper, V. F. (Eds.), Wheat production, properties and quality. Chapman and Hall.
- Ministry of Jihad-E-Agriculture. 1997.** Cereal in statistics mirror. Statistics and information office, ministry of Jihad-E-Agriculture. Tehran, Iran. (In Persian).
- Moghadasi, L., Rashidi, V. and Razban, A. 2009.** Effect of drought stress on grain yield and some morphological traits in durum wheat inbred lines. **Journal of Science and Technology in Agricultural Sciences of Islamic Azad University-Tabriz Branch** 12: 41-53. (In Persian).
- Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D. and Amri, A. 2010.** Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. **International Journal of Plant Production** 4 (1): 11-24.
- Mohammadi, R. 2010.** Saji, a new durum wheat cultivar adapted to rainfed and supplementary irrigation conditions of moderate cold and moderate warm areas of Iran. **Seed and Plant Improvement Journal** 26-1 (4): 561-564. (In Persian).
- Nachit, M. M., Baum, M., Poreciddu, E., Monneveux, P. and Picard, E. 1998.** SEWANA (South Eroupe, West Asia and North Africa) Durum Research Network. Proceeding of the SEWANA Durum Network Workshop, 20-23 March 1995. ICARDA, Aleppo, Syria. Vii + 354 p.
- Panthuwan, G., Fukai, S., Cooper, M., Rajatasereekul, S. and Otoole, J. C. 2002.** Yield respond of rice (*Oryza sativa* L.) genotype to different types of drought under rainfed lowlands. Part I. Grain yield and yield components. **Field Crops Research** 73: 153-168.
- Rajaram, S., Varughese, G., Abballa, O., Pferiffer, W. H. and Van Ginkel, M. 1996.** Accomplishments and challenges in wheat and triticale breeding at CIMMYT. **Plant Breeding** 63 (2): 131-139.
- Rosielle, A. A. and Iambling, J. I. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science** 21: 943-946.
- Sadeghzadeh Ahari, D. 2006.** Evaluation for tolerance to drought stress in promising dryland durum wheat genotypes. **Iranian Journal of Agricultural Sciences** 8 (1): 30-45. (In Persian).

- Siosehmardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006.** Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research** 98: 222-229.
- Soleymanifard, A., Fasihi, KH., Nasrirad, H. and Naseri, R. 2010.** Evaluation of stress tolerance indices in durum wheat genotypes. **Journal of Plant Production** 17 (2): 39-58. (In Persian).
- Srivastava, J. P. 1984.** Durum wheat: its world status and potential in the middle east and north Africa. **Rachis** 3: 1-8.
- Talebi, R., Fayaz, F. and Mohammadnaji, A. 2009.** Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology** 35: 64-74.
- USDA. 2009.** Office of global analysis. Global durum area. Production and yield. USDA.
- Voltas, J., Romagosa, I., Lafarga, A., Armesto, A. P., Sombrero, A. and Araus, J. L. 1999.** Genotype by environment interaction for grain yield and carbon isotope discrimination of barley in Mediterranean Spain. **Australian Journal of Agricultural Research** 50: 1263-1271.
- Yahoueian, S. H., Ghannadha, M. R., Babaie, H. R. and Habibi, D. 2006.** Evaluation of soybean genotypes in drought stress conditions. **Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding** 2: 57-72. (In Persian).
- Zebarjadi, A. R., Tavakoli Shadpei, S., Etmnan, A. R. and Mohammadi, R. 2013.** Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotype using drought tolerance indices. **Seed and Plant Improvement Journal** 29-1 (1): 1-12. (In Persian).
- Zeinaly Khanghah, H., Izanloo, A., Hoseinzadeh, A. H. and Majnoon Hoseini, N. 2004.** Determination of the suitable drought resistance indices in commercial soybean varieties. **Iranian Journal of Agricultural Sciences** 35 (4): 875-885. (In Persian).

Evaluation of durum wheat advanced genotypes based on drought tolerance indices

Nasim Khaksar^{1*}, Ezatollah Farshadfar² and Reza Mohammadi³

1 and 2. Ph. D. Student and Prof., respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah 3. Assist. Prof., Dryland Agricultural Research Sub-Institute, Sararood Station, Kermanshah

(Received: May 29, 2013- Accepted: December 9, 2013)

Abstract

To investigate drought tolerance indices and identify drought tolerant genotypes in durum wheat, 20 advanced durum wheat genotypes along with three checks, Zardak and Saji (durum wheat checks) and Sardari (bread wheat check) were assessed in a randomized complete block design with 3 replications under two rainfed and supplemental irrigation conditions in the Dryland Agricultural Research Sub-Institute (Sararood, Kermanshah, Iran) in 2010-11 cropping season. Drought tolerance indices i.e. mean productivity (MP), tolerance index (TOL), genomic mean productivity (GMP), harmonic mean (HAM), stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), yield index (YI) and yield stability index (YSI) were calculated on the basis of grain yield in the both stress and non-stress conditions. The genotypes No. 2, 4, 8, 21 (Saji) and 18 with the highest values of MP, GMP, HAM and STI were found to be tolerant genotypes, while the genotypes 12, 21 (Zardak), 16 and 19 with the lowest values of TOL and SSI had the least susceptibility to drought stress. Biplot analysis indicated that the genotypes No. 8, 21 (Saji) and 18 were characterized by the indices of MP, GMP, HAM and STI as drought tolerant genotypes. The results of this research showed that in all of the genotypes, genotypes No. 8, 21 and 18 were tolerant genotypes.

Keywords: Drought stress, Drought tolerance indices, Durum wheat, Grain yield

*Corresponding author: nkhaksar1358@yahoo.com