دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

هوشنگ رحمتی[1]، علی نخزری مقدم[2]، علی راحمی کاریزکی[3] و زینب اورسجی[4]

۱- دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه گنبدکاووس، ایران، (نویسنده مسوول: Hoshang.rahmati@yahoo.com)
۲، ۳ و ۴- استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران
تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۸
صفحه: ۱۷۴ تا ۱۸۳

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته می‌شود و به‌عنوان یک تنش چند بعدی گیاهان را در سطوح مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌منظور بررسی تحمل به خشکی ۱۰ ژنوتیپ گندم دوروم، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط تنش و بدون تنش با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی شهرستان کوهدشت انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای عملکرد دانه و امکان انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس هر کدام از صفات بود. مقایسه مقادیر عددی و رتبه هر ژنوتیپ بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که براساس شاخص‌های تحمل به خشکی مبتنی بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ۱ (Omrab3)، ۲ (Hana) و ۳ (Aria(stork)) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و سایر ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناسایی گردیدند. نتایج ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HAM، STI، دارای همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال ۱٪ با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش بودند در ضمن بین شاخص‌های مذکور همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز وجود داشت پس می‌توان این گونه بیان کرد که شاخص‌های مذکور، بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر می‌باشند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که، دو مؤلفه اول حدود ۹۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. بر اساس نمودار بای پلات به روش گابریل ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در دو ناحیه پتانسیل عملکرد بالا و ناحیه پتانسیل عملکرد پایین قرار گرفتند به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های ۱ (Omrab3)، ۲ (Hana) و ۳ (Aria(stork)) با قرارگیری در مجاورت بردارهای تحمل به تنش خشکی به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های برتر، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را در سه گروه کلی تفکیک کرد که این نتایج با نتایج حاصل از ترسیم بای‌پلات گابریل مطابقت کامل نشان داد.

واژه‌های کلیدی: گندم ، بای پلات، تنش

مقدمه

گندم دوروم با نام علمی *Triticum turgidum* var. durum از گروه گندم‌های تتراپلوئید و دارای ۲۸ کروموزوم است و یکی از مهم ترین غلات دنیا است که در مناطق نیمه خشک جهان کشت می‌شود. این گندم در مقایسه با گندم نان سازگاری بهتری نسبت به شرایط اقلیمی نیمه خشک از خود نشان می‌دهد (۲۲،۱۶،۹).

با توجه به وسعت مناطق کشاورزی دیم غرب کشور و سایر نقاط ایران، گندم دوروم با متحمل بودن به تنش‌های رطوبتی متعدد فصلی و سازگاری زیاد می‌تواند گزینه مناسبی برای کشت دیم باشد. معرفی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بیشتر و متحمل به کم‌آبی یکی از ضرورت‌های توسعه کشت گندم دوروم جهت ایجاد رغبت بیشتر در کشاورزان دیم‌کار برای رو آوردن به این محصول ارزشمند است. واکنش گیاهان به تنش خشکی به‌صورت‌های مختلف از جمله پاسخ‌های آگروفیزیولوژیک کوتاه مدت بروز پیدا می‌کند که مطالعه این واکنش‌ها در گیاهان زراعی ازجمله گندم در شرایط بدون تنش و تنش می‌تواند به شناسایی سازوکارهای مؤثر در سازگاری به تنش خشکی کمک نماید (۱).

با افزایش قیمت نان در ایران و همچنین قیمت پروتئین حیوانی، میزان سرانه موجود نیز به هم خواهد خورد و گرایش به مصرف جایگزین ارزان‌تر با ارزش غذایی بیشتر اجتناب‌ناپذیر است. محصولات گندم دوروم به‌صورت ماکارونی و سایر محصولات در سال ۱۳۸۶ حدود ۲۲ میلیون دلار ارزآوری داشته است که این میزان قابل افزایش است (۳). این گندم با وجود مزیت‌های متعددی که در تهیه محصولات خمیری یا پاستا[1] شامل ماکارونی[2]، اسپاگتی و ورمیشل (از آرد سمولینای[3] گندم دوروم)، داشته، ارزش افزوده صادراتی نیز دارد و همچنین با وجود ژن‌های مقاومت به برخی بیماری‌های شایع غلات از قبیل زنگ‌ها و سیاهک‌ها، توانایی ژنتیکی بالایی دارد که متاسفانه در ایران جایگاه قابل‌توجهی نداشته است (۱۴، ۱۵ و ۲۸). مهم‌ترین موانع در ارتباط با افزایش کشت گندم دوروم، عملکرد پایین‌تر آن و خاصیت نانوایی کم آن نسبت به گندم نان است (۲۶). بی همتا و همکاران (۵) در تحقیقی بر روی ۱۰۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام دادند گزارش نمودند که اختلاف ژنوتیپ‌ها از لحاظ تمام صفات در هر دو شرایط آزمایش بسیار معنی‌دار بوده و تنوع ژنتیکی زیادی بین صفات وجود دارد. با توجه به شاخص‌های MP، GMP و STI ژنوتیپ‌های ۷۸(۳۷۲۹)،۳۴ (۲۱۷۹)، ۷۱(۴۲۲۸)، ۲۱ (۴۳۸۵) و ۴۵ (۳۵۰۵) دارای برترین پاسخ از لحاظ تحمل به خشکی بودند. براساس تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هر دو شرایط در چهار گروه قرار گرفتند.

1- Pasta 2- Macaroni 3- Semolina

علی و السادک (۲) از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به منظور ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در گندم نان تحت شرایط تنش و بدون تنش استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که دو مؤلفه اول بیش از ۹۸ درصد از کل تغییرات مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی را به خود اختصاص داده‌اند.

لذا هدف از تحقیق فوق بررسی تحمل خشکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس شاخص‌های تحمل خشکی جهت گزینش در سایر برنامه‌های اصلاحی و یا معرفی برترین ژنوتیپ‌ها به سازمان‌های تحقیقاتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بذور ۱۰ ژنوتیپ گندم دوروم که از معاونت مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان تهیه گردیدند، برای ارزیابی در مزرعه تحقیقاتی شهرستان کوهدشت با ارتفاع ۱۱۹۵متر از سطح دریا و موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶۰دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصات ژنوتیپ‌های مورد بررسی در جدول ۱ آمده است. جهت سهولت ارجاع، ژنوتیپ‌ها به‌صورت G1 تا G10 به‌صورت اختصاری نام‌گذاری شده‌اند.

طرح آزمایشی مورد استفاده بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به‌صورت تنش و عدم تنش بود. هر کرت دارای شش خط کاشت به طول ۳ متر و فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر (به ابعاد ۳×۱/۲ متر) بود. ابتدا در زمین محل آزمایش شخم به عمق ۲۵ سانتی‌متر انجام گرفت. مطابق آزمایشات خاکشناسی، نیاز زمین کودهای پیش‌کاشتی شامل فسفات آمونیوم (۱۵۰کیلوگرم در هکتار)، سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۷۰ کیلوگرم در هکتار) با خاک مخلوط گردید. بعد از تسطیح و آماده‌سازی بستر بذر، کشت در تاریخ ۱۰ آذر ماه انجام شد. در اسفند ماه و در مرحله پنجه‌زنی، مقدار ۴۰ گرم کود اوره ۴۶ درصد در هر کرت به‌صورت سرک استفاده شد. مبارزه با علف هرز به‌صورت مکانیکی انجام گرفت. به‌دلیل بارش کافی تا اوایل بهار آبیاری انجام نشد اما از هفته اول بهار تا انتهای فصل رشد پنج نوبت آبیاری انجام شد. در هنگام رسیدگی فیزیولوژیک، بوته‌های واقع در یک ردیف میانی با حذف بوته‌های دو انتهای ردیف (حاشیه) برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. تعداد خوشه‌های فاقد دانه (غیر بارور) و دارای دانه (بارور) شمارش گردید. ابتدا بوته‌ها خشک و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتالی دقیق توزین گردیدند و سپس با خرمن‌کوب، بذور از بوته‌ها جدا و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های تحمل به خشکی شامل عملکرد در شرایط فاقد تنش (YP)، عملکرد در شرایط تنش (YS)،

شاخص حساسیت به تنش[1] (SSI) (۱۱)

$$SSI=1-(\bar{Y}s/\bar{Y}p)$$

شاخص تحمل[2] (TOL) (۳۰)

$$TOL= Yp-Ys$$

شاخص بهره‌وری متوسط[3] (MP) (۲۷)

$$MP=(Ys+ Yp)/2$$

میانگین هندسی بهره‌وری[4] (GMP) (۱۰)

$$GMP=\sqrt{(Ys)(Y_p)}$$

شاخص میانگین هارمونیک[5] (HAM) (۱۹)

$$HAM=2(Yp\times Ys)/(Yp+Ys)$$

شاخص تحمل به تنش[6] (STI) (۱۰)

$$STI=(Yp)\times(Ys)/(\bar{Y}p)^2$$

شاخص عملکرد[7] (YI) (۱۳) شاخص عملکرد از تقسیم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش بر میانگین عملکرد کلیهٔ ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش بدست می‌آید و شاخص پایداری عملکرد[8] (YSI) (۶) این شاخص از تقسیم عملکرد یک ژنوتیپ خاص در شرایط تنش بر عملکرد همان ژنوتیپ در شرایط بدون تنش محاسبه می‌گردد.

با توجه به فرمول‌های مربوط به هر شاخص، شاخص‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه گردید. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. همچنین تجزیه همبستگی و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 محاسبه گردید. برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مطلوب بر اساس تمام شاخص‌ها، ابتدا رتبه هر ژنوتیپ محاسبه و ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر عددی و رتبه هر شاخص با هم مقایسه شدند. درنهایت، با توجه به درجه میانگین و انحراف معیار درجات تمام شاخص‌های تحمل به خشکی، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. با استفاده از نرم‌افزار Minitab سهم هر عامل در تغییرات کل، مقادیر ویژه و بردارهای ویژه برای هر عامل تعیین گردید و بر اساس دو مؤلفه اول بای پلات رسم گردید. از ترسیم گرافیکی بای‌پلات به‌منظور بررسی روابط بین شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد چرا که بای‌پلات ابزار مفیدی برای تجزیه اطلاعات و ارزیابی ساختار یک ماتریس دو طرفه است که به کمک آن می‌توان روابط بیشتر از سه متغیر را به‌صورت یکجا بررسی کرد (۱۳).

1- Stress Susceptibility Index
2- Tolerance
3- Mean productivity
4- Geometric Mean Productivity
5- Harmonic Mean
6- Stress Tolerance Index
7- Yield Index
8- Yield Stability Index

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد آزمایش

Table 1.Characteristics of the tested genotypes

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شجرنامه	منشا
G1	Omrab3	Omrab3	ICARDA
G2	Hana	Hana	CIMMYT
G3	Aria	MEXICALI 75	ICARDA
G4	Saji	MRB11//SNIPE/MAGH/3/RUFOM-7	ICARDA
G5	Behrang	ZHONG ZUO/2*GREEN-3	CIMMYT
G6	Shabrang	Dw-81-18	CIMMYT
G7	Maragheh1	15/A/Maragheh	ICARDA
G8	Maragheh2	18/A/maragheh	ICARDA
G9	Dw-73-13	SHWA/MALD/Aaz	ICARDA
G10	Dehdast	Dehdast	IRAN

نتایج و بحث

تجزیه واریانس ژنوتیپ‌ها برای عملکرد دانه به‌صورت مرکب در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ درج شده است. بین ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط هم در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود که این امر نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی به شرایط محیطی می‌باشد و نشان می‌دهد که می‌توان بر اساس تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی اقدام به گزینش ژنوتیپ‌های متحملی که در این شرایط آب و هوایی پاسخ مناسبی داشته‌اند نمود.

بنابراین چنین استنباط می‌شود که سطح تنوع ژنتیکی موجود در ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه در حد مطلوبی می‌باشد. همچنین این نتایج می تواند نقطه عطف مهمی برای برنامه‌های اصلاحی و حفاظت ژرم پلاسم ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم باشد. به‌طوری که در آینده می‌توان با برنامه‌های اصلاحی مناسب در جهت افزایش عملکرد، کیفیت و سازگاری این گیاه در کشور گام‌های اساسی برداشت. بی‌همتا و همکاران (۵) در تحقیقی که بر روی ۱۰۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام دادند اختلاف معنی‌داری را در بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تمام صفات در هر دو شرایط آزمایش مشاهده، و تنوع ژنتیکی زیادی را بین صفات و عملکرد گزارش نمودند.

نتایج حاصل از مقادیر عددی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۳ آمده است. بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش و فاقد تنش مربوط به ژنوتیپ ۱ (Omrab3)بود. کمترین عملکرد دانه در شرایط تنش و فاقد تنش نیز به ژنوتیپ‌های ۷ (15/A/Maragheh) و ۸ (18/A/maragheh) تعلق داشت. هر چقدر عملکرد دانه در هر دو شرایط بیشتر باشد می‌توان عنوان نمود که آن رقم متحمل‌تر است. بخشایشی و همکاران (۴) در ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی، برای ۱۳ ژنوتیپ گندم اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط آبی و غیر معنی‌داری از نظر عملکرد در شرایط دیم گزارش نمودند و بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین گزارش کردند که بیشترین میانگین عملکرد در شرایط آبی و دیم به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۴ (Seafallah) و ۱۲ (Alvand) میباشد. آنها همچنین بیان داشتند که بیشترین میزان شاخص تحمل (TOL)، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هارمونیک (HAM)، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) متعلق به ارقام شماره ۴ (RAN)، ۶ (F1-1S-1) و ۱ (AZAR-2) بود.

جدول ۲- میانگین مربعات عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد بررسی

Table 2. Mean squares of grain yield in the durum wheat genotypes studied

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)
محیط	۱	۱۳۰۴۲۱**
خطا	۴	۶۰/۰۱
ژنوتیپ	۹	۷۱۸۸**
ژنوتیپ × محیط	۹	۴۲۲۶**
خطا	۳۶	۳۱۳/۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۳۴

ns، *و **: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقادیر عددی شاخص‌های تحمل به خشکی مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم
Table 3. Numerical values of drought tolerance indices studied in durum wheat genotypes

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HAM	SSI	STI	YI	YSI
۱	۲۷۷/۷	۱۰۶/۳	۱۷۱/۵	۱۹۲/۰	۱۷۱/۸	۱۵۳/۷	۱/۲۶	۱/۰۲۱	۱/۳۸۴	۰/۳۸۳
۲	۲۲۴/۳	۹۰/۷۸	۱۳۳/۵	۱۵۷/۵	۱۴۲/۷	۱۲۹/۲	۱/۰۸۶	۰/۷۰۴	۱/۱۸۲	۰/۴۰۵
۳	۱۹۲/۳	۹۳/۰۹	۹۹/۲۴	۱۴۲/۷	۱۳۳/۸	۱۲۵/۵	۰/۹۴۱	۰/۶۱۹	۱/۲۱۲	۰/۴۸۴
۴	۱۴۲/۰	۸۵/۰۳	۵۶/۹۵	۱۱۳/۵	۱۰۹/۹	۱۰۶/۴	۰/۷۳۲	۰/۴۱۷	۱/۱۰۷	۰/۵۹۹
۵	۲۱۱/۳	۵۶/۸۶	۱۵۴/۴	۱۳۴/۰	۱۰۹/۶	۸۹/۶	۱/۳۳۳	۰/۴۱۵	۰/۷۴۰	۰/۲۶۹
۶	۱۸۶/۷	۶۱/۰۴	۱۲۵/۷	۱۲۳/۹	۱۰۶/۸	۹۲/۰	۱/۲۲۷	۰/۳۹۴	۰/۷۹۵	۰/۳۲۷
۷	۸۵/۰۵	۶۰/۸۳	۲۴/۲۲	۷۲/۹۴	۷۱/۹۳	۷۰/۹۳	۰/۵۱۹	۰/۱۷۹	۰/۷۹۲	۰/۷۱۵
۸	۱۴۹/۸	۵۳/۴۹	۹۶/۳۱	۱۰۱/۷	۸۹/۵۲	۷۸/۸۳	۱/۱۷۳	۰/۲۷۷	۰/۶۹۶	۰/۳۵۷
۹	۱۱۳/۱	۷۶/۴۷	۳۶/۵۹	۹۴/۷۷	۹۲/۹۹	۹۱/۲۴	۰/۵۹۰	۰/۲۹۹	۰/۹۹۶	۰/۶۷۶
۱۰	۱۱۸/۴	۸۴/۲۵	۳۴/۱۵	۱۰۱/۳	۹۹/۸۸	۹۸/۴۵	۰/۵۲۶	۰/۳۴۵	۱/۰۹۷	۰/۷۱۲

ژنوتیپ‌های شماره ۱ (Omrab3)، ۲ (Hana) **و** ۳ (Aria(stork)) از نظر شاخص های STI، HAM و GMP دارای بالاترین مقادیر در میان تمام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند بنابراین، این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا شناسایی شدند (جدول ۳). علاوه بر این، از نظر شاخص SSI، ژنوتیپ‌های ۷ (15/A/Maragheh)، ۹ (Dw-73-13) و ۱۰(Dehdast(cheek)) از مقادیر کمتر برخوردار بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتخاب شدند. ژنوتیپ‌های ۷ (15/A/Maragheh)، ۹ (Dw-73-13) و ۱۰(Dehdast(cheek))از نظر شاخص TOL از کمترین مقادیر برخوردار بودند. ژنوتیپ‌هایی با مقادیر کم برای شاخص TOL اختلاف عملکرد کمتری در شرایط تنش و فاقد تنش داشتند و ارقام با مقادیر زیاد SSI عملکرد پایین‌تری در محیط تنش به‌دلیل حساسیت این ژنوتیپ‌ها به تنش داشتند. انتخاب بر اساس شاخص TOL باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در محیط بدون تنش عملکرد و میانگین بهره‌وری پایینی دارند (۲۶،۹) لذا، این شاخص به‌تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا محسوب شود. انتخاب بر اساس

شاخص SSI نیز باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که متحمل به تنش هستند ولی پتانسیل عملکردشان در محیط دیم پایین است (۱۰) لذا، این شاخص نیز قادر به تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند نیست. سی‌وسه مرده و همکاران (۳۰) با بررسی یازده ژنوتیپ گندم نان گزارش کردند که در شرایط تنش ملایم شاخص‌های STI، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش مناسب هستند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در اکثر مطالعات انجام شده بر روی گندم، ژنوتیپ‌هایی نسبت به شرایط خشکی متحمل‌تر هستند که از نظر شاخص‌های GMP، MP، HAM، YI، YSI و STI دارای بیشترین مقادیر و از نظر شاخص‌های SSI و TOL دارای کمترین مقادیر باشند (۸،۷). به‌طورکلی نتایج حاصل از این مقایسه مقادیر رتبه‌ای، مجموع رتبه و انحراف از میانگین رتبه شاخص‌های محاسبه‌شده برای هر ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ژنوتیپ‌های ۱ (Omrab3(Hana)۳) و ۳ (Aria(stork)) (جدول ۴) دارای تحمل تنش بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه هستند (جدول ۴).

همبستگی شاخص‌ها

با توجه به اینکه تحمل خشکی صفتی پیچیده بوده و عوامل مختلفی در آن دخالت دارند، لذا گزینش ژنوتیپ‌های متحمل بر مبنای هر کدام از شاخص‌ها و یا عملکرد به تنهایی مشکل است و حتی گاهی نتایج ضد و نقیضی به دنبال دارد. بنابراین به منظور تعیین بهترین شاخص‌ها، همبستگی بین عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) با شاخص‌های تحمل خشکی محاسبه و در جدول ۵ درج شده است.

شاخص‌هایی که در دو محیط تنش خشکی و فاقد تنش خشکی دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه بوده و از طرفی بر اساس نوع همبستگی باعث افزایش عملکرد در هر دو محیط شود، به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، چرا که این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هردو محیط می‌باشند. ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HAM، STI، دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش بودند. که این امر نشان می‌دهد که این شاخص‌ها قادر به تفکیک ژنوتیپ‌ها می‌باشند. در ضمن بین شاخص‌های مذکور همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز وجود داشت که این امر نشان دهنده آن است که می‌توان آنها را به عنوان جایگزینی برای یکدیگر جهت ارزیابی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی استفاده کرد. پس می‌توان این گونه بیان کرد که شاخص‌های مذکور، بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر می‌باشند.

شاخص‌های TOL و SSI با یکدیگر همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان دادند. همبستگی شاخص TOL با عملکرد دانه

در شرایط تنش مثبت و غیرمعنی‌دار و با عملکرد در شرایط فاقد تنش مثبت و معنی‌دار بود. شاخص SSI نیز با عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی منفی و غیرمعنی‌دار و با عملکرد در شرایط فاقد تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. بنابراین به نظر می‌رسد این شاخص‌ها، به عنوان معیارهای مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر مورد استفاده واقع نشوند.

کامرانی و همکاران (۱۸) به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، ۳۰ ژنوتیپ گندم را در دو شرایط دیم و آبی بررسی نمودند و ژنوتیپ‌های ۳ (Alamoot)، ۵(Alvand)، ۹ (F-Gy54) و ۱۳(Charger) را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های ۷(Gaspard)، ۱۲(Charger)، ۱۶ (Spn) و ۲۸ ("Ald"s) را به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس معرفی کردند. آنها همچنین بر اساس نتایج همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در محیط تنش و نرمال، شاخص های MP، GMP، Harm و STI را به دلیل همبستگی بالایی که با عملکرد در هر دو محیط داشتند، به عنوان شاخص‌هایی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا در هر دو محیط معرفی نمودند.

جدول ۴- رتبه، میانگین رتبه و انحراف معیار شاخص‌های تحمل به خشکی مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 4. Rank, mean rank and standard deviationof drought tolerance indices studied in durum wheat genotypes

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HAM	SSI	STI	YI	YSI	مجموع	میانگین	انحراف معیار
۱	۱	۱	۱۰	۱	۱	۱	۷	۱	۱	۷	۳۷	۳/۷	۳/۵۹
۲	۲	۳	۸	۲	۲	۲	۶	۲	۳	۶	۴۰	۴	۲/۲۶
۳	۴	۲	۶	۳	۳	۳	۵	۳	۲	۵	۳۷	۳/۷	۱/۴۱
۴	۷	۴	۴	۶	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴۲	۴/۲	۰/۶۳
۵	۳	۹	۹	۴	۵	۸	۱۰	۵	۹	۱۰	۷۹	۷/۹	۲/۳۳
۶	۵	۱	۷	۵	۶	۶	۹	۶	۷	۹	۷۱	۷/۱	۱/۴۴
۷	۱۰	۸	۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱	۱۰	۸	۱	۶۰	۶	۴/۳۷
۸	۶	۱۰	۵	۷	۹	۹	۸	۹	۱۰	۸	۸۳	۸/۳	۱/۴۹
۹	۹	۶	۳	۹	۸	۷	۳	۸	۶	۳	۵۶	۵/۶	۲/۴۱
۱۰	۸	۵	۲	۸	۷	۵	۲	۷	۵	۲	۴۵	۴/۵	۲/۳۶

جدول ۵- همبستگی شاخص‌های تحمل خشکی

Table 5. Correlation of drought tolerance indices

	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HAM	SSI	STI	YI
Yp	۱/۰۰								
Ys	۰/۴۷	۱/۰۰							
TOL	۰/۹۵**	۰/۱۸	۱/۰۰						
MP	۰/۹۷**	۰/۶۵**	۰/۸۶**	۱/۰۰					
GMP	۰/۹۰**	۰/۷۹**	۰/۷۳**	۰/۹۷**	۱/۰۰				
HAM	۰/۷۸**	۰/۹۰**	۰/۵۷	۰/۹۰**	۰/۹۷**	۱/۰۰			
SSI	۰/۷۷**	-۰/۱۶	۰/۹۱**	۰/۶۱**	۰/۴۶	۰/۲۶	۱/۰۰		
STI	۰/۸۹**	۰/۷۹**	۰/۷۲**	۰/۹۶**	۰/۹۹**	۰/۹۶**	۰/۴۲	۱/۰۰	
YI	۰/۴۷	۱**	۰/۱۸	۰/۶۵**	۰/۷۹**	۰/۹۰**	-۰/۱۶	۰/۷۹**	۱/۰۰
YSI	-۰/۷۷**	۰/۱۶	-۰/۹۱**	-۰/۶۱**	-۰/۴۶	-۰/۲۶	-۱/۰۰	-۰/۴۲	۰/۱۶

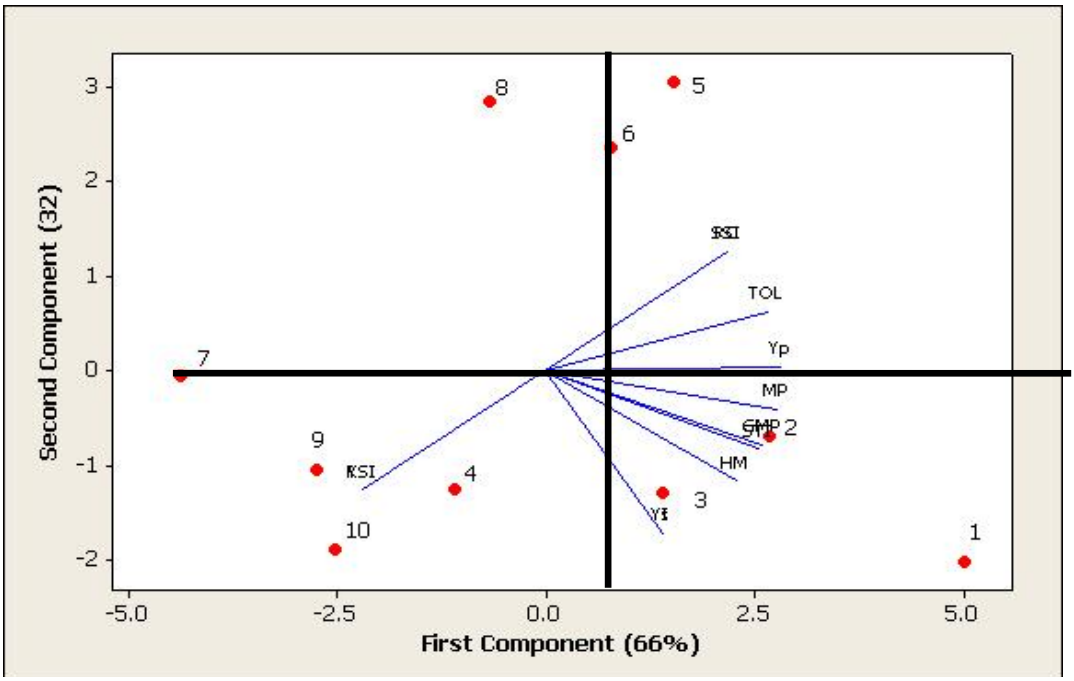
* و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس داده‌های حاصل از شاخص‌های تحمل بـه خشـکی و عملکـرد دانـه در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه شد (جـدول ۶). دو مؤلفـه اول حدود ۹۹ درصد کل تغییرات داده‌ها را بیـان نمودنـد لـذا، ترسیم دو بعدی بر اساس دو مؤلفه اول انجام شد (شکل ۱).

جدول ۶- مقادیر ویژه، سهم تجمعی و بردارهای ویژه شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و فاقد تنش خشکی
Table 6. Eigen values, cumulative contribution and eigenvectors of drought resistance and grain yield indices under drought stress and non-drought conditions

شاخص	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
Yp	۰/۹۹۶	۰/۲۵
MP	۰/۹۷۶	۰/۲۰۸
TOL	۰/۹۴۱	-۰/۳۱۵
GMP	۰/۹۱۸	۰/۳۹۶
STI	۰/۹۰۰	۰/۴۱۹
HAM	۰/۸۰۸	۰/۵۸۶
SSI	۰/۷۷۱	-۰/۶۳۳
YSI	-۰/۷۷۱	۰/۶۳۳
YI	۰/۴۹۲	۰/۸۶۷
Ys	۰/۴۹۲	۰/۸۶۷
درصد واریانس	۶۶/۶۵	۳۲/۷۱
درصد واریانس تجمعی	۶۶/۶۵	۹۹/۳۷



شکل ۱- ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی
Figure1. Bi plot drawing based on the first two components using drought tolerance indices

مؤلفه اول به‌دلیل داشتن ضرایب بالا و مثبت برای تمام شاخص‌های تحمل به خشکی به جز YS و YI، پایداری عملکرد که شاخص‌های حساسیت می‌باشند، مولفه تحمل تنش خشکی نامیده شد. این مؤلفه ۶۶/۶۵ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد. در مؤلفه دوم با توجه به بالا و مثبت بودن ضرایب YS و YI و عملکرد پایین در شرایط تنش بدون تنش و همچنین پایین بودن ضرایب شاخص‌های برتر، حساس به تنش خشکی و پتانسیل عملکرد در شرایط دیم نامیده شد. مؤلفه دوم تنها ۳۲/۲۵ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمود. با توجه به اینکه مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP، STI و YI و مقادیر پایین TOL و SSI مطلوب هستند بنابراین، اگر از میزان مؤلفه دوم کاسته شود، ارقامی انتخاب می‌شوند که دارای MP، GMP، STI و YI بالا TOL و SSI پایین بوده و عملکرد در شرایط تنش بالاتری خواهند بود. این نتایج با گزارش نورمند مؤید و همکاران (۲۲) مطابقت داشت. کامرانی و همکاران (۱۸) آزمایشی با ۳۶ ژنوتیپ گندم نان تهیه شده از سیمیت در دو شرایط دیم (تنش خشکی) و آبیاری تکمیلی انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی وجود داشت. برای

شناسائی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، از شاخص‌های تحمل (TOL)، حساسیت به تنش (SSI)، میانگین بهره وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) استفاده شد. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار سه بعدی، ژنوتیپ‌های شماره (TILILA)۲۲، (MUNAL)۳۴، (THELIN)۳۳ و (KACHU)۱۵ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های شماره (WHEAR)۷، (LAKHISH)۱۷، (PBW)۱۴ و (KS) ۱ به عنوان حساس به تنش خشکی شناخته شدند.

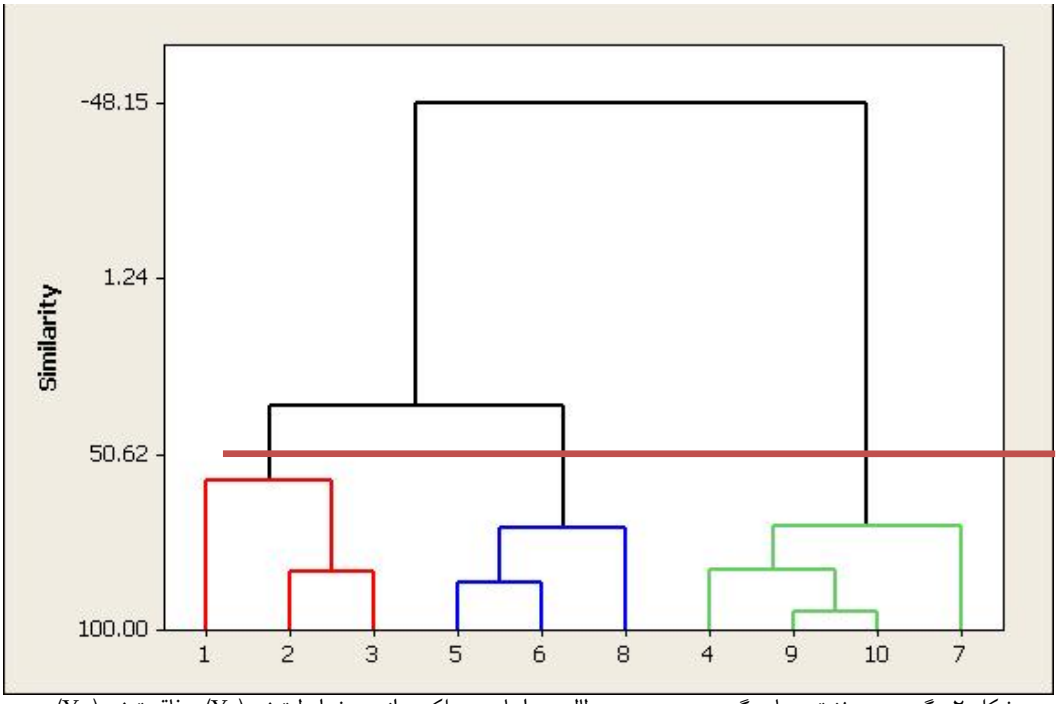
بر اساس نتایج حاصل از ترسیم نمودار بای‌پلات بر مبنای دو مؤلفه اول ژنوتیپ‌ها گروه‌بندی شدند به‌طوری‌که این گروه‌بندی مرتبط با میانگین عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها بود و این ژنوتیپ‌ها در ناحیه یک قرار داشتند. همان‌گونه که در شکل۲ ملاحظه می‌گردد ژنوتیپ‌های شماره ۱ (Omrab3)، ۲ (Hana) و ۳ (Aria(stork)) در ناحیه پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های MP، GMP، HAM، STI و YI هستند و ژنوتیپ‌های شماره ۵ (Dw-79-15)، ۶ (Dw-81-18) و ۸ (18/A/maragheh) در ناحیه چهار مجاورت شاخص‌های SSI و TOL، حساسیت به تنش خشکی و عملکرد پایین در مجاورت شاخص‌های مهم حساسیت به خشکی قرار گرفته‌اند و این عکس‌العمل‌های متفاوت نشانگر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش خشکی است. نقوی و همکاران (۲۳) به منظور ارزیابی ارقام گندم بهاره از نظر تحمل تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش گزارش کردند، متحمل‌ترین ارقام کویر، نیک‌نژاد، مغان ۳، دریا و مرودشت در آزمایش تنش بعد از آبستنی و ارقام کویر، نیک‌نژاد، دریا و مغان ۳ در آزمایش تنش قبل از آبستنی شناخته شدند. در حالی که حساس‌ترین آن‌ها ارقام بهار، سیوند، پارس و بم در تنش بعد از آبستنی و بهار و پیشتاز در تنش قبل از آبستنی تشخیص داده شدند. نمودار چند متغیره بای پلات نیز نشان داد که ارقام مذکور در مجاورت بردارهای مربوط به بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، STI و HAM قرار دارند. توزیع و پراکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در فضای بای پلات وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها و واکنش متفاوت آنها را نسبت به تنش خشکی نشان می‌دهد.

تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

دندروگرام حاصل از این تجزیه در شکل ۳ آمده است. با توجه به شاخص‌های یاد شده، ژنوتیپ‌ها در ۳ گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های ۱ (Omrab3)، ۲ (Hana) و ۳ (Aria(stork)) در یک گروه قرار گرفتند. این گروه ازنظر شاخص‌های میانگین بهره وری (MP)، میانگین هندسی بهره وری (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) در حد بالایی قرار دارند و دارای Y_S بالایی بودند. پس این ژنوتیپ‌ها متحمل به خشکی می‌باشند. ژنوتیپ‌های ۵ (Dw-79-15)، ۶ (Dw-81-18) و ۸ (18/A/maragheh) نیز در یک گروه قرار گرفته که دارای Y_P و Y_S پایین و همچنین مقادیر پایین شاخص‌های تحمل (TOL)، حساسیت به تنش (SSI)، به خشکی هستند. گروه سوم نیز ژنوتیپ‌های حد واسط که شامل ژنوتیپ‌های (۴ (Saji(cheek))، ۷(15/A/Maragheh)، ۹ (Dw-73-13) و ۱۰ (Dehdast(cheek))) بودند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها حساس به خشکی هستند. به‌طورکلی، نتایج حاصل از گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از این تجزیه با نتایج به‌دست‌آمده از ترسیم بای‌پلات گابریل مطابقت نشان داد.

کامرانی و همکاران (۱۸) با انجام تجزیه خوشه‌ای با روش وارد ۳۰ ژنوتیپ گندم را به ۵ گروه تقسیم نمودند و ژنوتیپ‌های متحمل و حساس را از هم جدا کردند. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی، ژنوتیپ‌های ۳ (Alamoot)، ۵(Alvand و ۹ (F-Gy54) مناسب برای هر دو محیط شناخته شدند. بی همتا و همکاران (۴) در تحقیقی بر روی ۱۰۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام دادند گزارش نمودند که اختلاف ژنوتیپ‌ها از لحاظ تمام صفات در هر دو شرایط آزمایش بسیار معنی‌دار بوده و تنوع ژنتیکی زیادی بین صفات وجود دارد. با توجه به شاخص‌های MP، GMP و STI ژنوتیپ‌های ۷۸(۳۷۲۹)،۳۴ (۲۱۷۹)، ۷۱(۴۲۲۸)، ۲۱ (۴۳۸۵) و ۴۵ (۳۵۰۵) دارای برترین پاسخ از لحاظ تحمل به خشکی بودند. براساس تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هر دو شرایط در چهار گروه قرار گرفتند.

کامرانی و همکاران (۱۹) با انجام تجزیه خوشه ای به روش وارد بر پایه شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی ژنوتیپ‌های مورد بررسی را در چهار گروه قرار داد.



شکل ۲- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد مطالعه بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و فاقد تنش (Yp) و شاخص‌های تحمل به خشکی

Figure 2. Grouping of durum wheat genotypes studied based on grain yield under stress (Ys) and non-stress conditions (Yp) and drought resistance indices

به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌دار وجود داشت که این امر نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی به شرایط محیطی می‌باشد. به‌طورکلی نتایج حاصل از مقایسه‌ی مقادیر رتبه‌ای، مجموع رتبه و انحراف از میانگین رتبه شاخص‌های محاسبه‌شده برای هر ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۱ (Omrab3)، ۲ (Hana) و ۳ ((Aria(stork) دارای تحمل به تنش بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند.

با توجه به نتایج حاصل از ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه، شاخص‌های MP، GMP، HAM، STI، مناسب‌ترین شاخص‌ها شناخته شدند که می‌توانند به عنوان معیارهای مناسبی جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر مورد استفاده واقع شوند.

بر اساس نتایج تجزیه به مولفه های اصلی، ژنوتیپ‌های شماره ۱ (Omrab3)، ۲ (Hana) و ۳ ((Aria(stork) در ناحیه پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی بودند و ژنوتیپ‌های شماره ژنوتیپ‌های ۵ (Dw-79-15)، ۶ (Dw-81-18) و ۸ (18/A/maragheh) در ناحیه حساسیت به تنش خشکی و عملکرد پایین در مجاورت شاخص‌های مهم حساسیت به خشکی قرار گرفته‌اند که بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های ۱ (Omrab3)، ۲ (Hana) و ۳ ((Aria(stork) نیز در یک گروه قرار گرفتند. این گروه از نظر شاخص‌های ذکر شده در حد بالایی قرار دارند و دارای Y_S بالایی بودند. پس این ژنوتیپ‌ها متحمل به خشکی می‌باشند. که می‌توان از این ژنوتیپ‌ها در تحقیقات بعدی به منظور والد جهت برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

منابع

1. Aghaee-Sarbarzeh M., R. Rajabi, R. Haghparast and R. Mohammadi. 2009. Evaluation of Proline Content, Cell Membrane Damage, and Drought Tolerance in Durum Wheat (Triticum turgidum var. durum) Genotypes under Controlled Conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 25(3): 345-352. doi: 10.22092/sppj.2017.110382
2. Ali, M.B. and A.N. El-Sadek. 2016. Evaluation of drought tolerance indices for wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated and rainfed conditions. Communications in Biometry and Crop Science, 11: 77-89.
3. Amini, M. 2010. Overview of Macaroni Production in the World and Iran. Semolina, 1: 48-1.
4. Bakhshaeshi Gheshlagh, M. and M. Shekarchi. 2016. Evaluation of bread wheat genotypes using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 7(16) :49-59URL: http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-500-fa.html (In Persian).

5. Bihamta, M., M. Shirkavand, J. Hasanpour and A. Afzalifar. 2018. Evaluation of Durum Wheat Genotypes under Normal Irrigation and Drought Stress Conditions. Journal of Crop Breeding, 9(24): 119-136.URL: http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-944-fa.html (In Persian).
6. Bouslama, M. and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
7. Farshadfar, E. and P. Elyasi. 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. European Journal of Experimental Biology, 2(3): 577-584.
8. Farshadfar, E., M.M. Pour Siahbidi and Pour A.R. Aboughadareh. 2012. Repeatability of drought tolerance indices in bread wheat genotypes. International Journal of Agriculture and Crop Science, 4(13): 891-903.
9. Fayaz, N. and A. Arzani. 2011. Moisture stress tolerance in reproductive growth stage in triticale (X Triticosecale Wittmack) cultivars under field conditions. Journal of Crop Breeding, 1(1): 1-12.
10. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo. C.G. (Ed). Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress, publication, Taina, Taiwan. 13-16 Aug. Chapter, 25: 257-270.
11. Fischer, R. and R. Maurer. 1987. Drought resistant in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research, 29(5): 895-97.
12. for yield in stress and non-stress environment. Crop Science, 21(6): 43-46.
13. Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. Biometrika, 58(3): 453-467.
14. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciaroli and B. Borghi. 1997. Evalution of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science, 77(4): 523-531.
15. Golabadi, M. and A. Arzani. 2002. Evaluation of Grain Quality Traits, Glutenin Subunits and Their Relationship in Durum Wheat. JWSS, 6(3):189-203URL: http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-224-fa.html
16. Golabadi, M. and A. Arzani. 2003. Study of Genetic Variation and Factor Analysis of Agronomic Traits in Durum Wheat. JWSS, 7(1) :115-127URL: http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-388-fa.html
17. Haji Mohammad Ali Jahromi, M., M. Khodarahmi, A.R. Mohammadi, A. Mohammadi and R. Sadegh Gol Moghadam. 2010. Phenotypic flexibility analysis of promising durum wheat genotypes in dry and hot climates in southern Iran. Journal of Agronomy, 6(3): 61-70 (In Persian).
18. Kamrani, M., A. Farzi Shiri and M. Evaluation. 2017. of Drought Tolerance in Some Wheat Genotypes using Drought Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding, 9(23) :9-17URL: http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-869-fa.html
19. Kamrani, M., A. Mehraban, M. Shiri. 2018. Identification of Drought Tolerant Genotypes in Dryland Wheat using Drought Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding, 10(28): 13-26 URL: http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-891-fa.html
20. Kristin, A.S., R.R .Senra, F.I.. Perez, B.C. Enriquez, J.A.A. Gallegos, P. R. Vallego, N. Wassimi and J.D. Kelley. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.
21. Moosavi, S.S., B. Yazdi Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert, 12: 165-178.
22. Naghavi, M.R., M. Moghaddam, M. Torchi and M.R. Shakiba. 2016. Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. Journal of Crop Breeding. . Journal of Crop Breeding, 8(17): 207-192URL: http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-611-fa.html
23. Naghdipoor, A., M. Khodarahmi, A. Porshahbazi and M. Ismailzade. 2011. Factor analysis for grain yield and other traits of durum wheat. Journal of Agronomy, 7(1): 89-96 (In Persian).
24. Nourmand Maid, F., M.A. Rostami, M.R. Confectioners. 2001. Investigation of Morphophysiological Traits of Bread Wheat and Their Relationship with Yield in Stress and Non-Drought Conditions. Iranian Agricultural Science, 32(4): 794-785.
25. Omid Bakhsh FARD, M., M. Naghavi, M. Mardi, M. Bihamta, M. Kazemi and S. Pirseyedi. 2009. A Study of Genetic Diversity in Durum Wheat (Triticum turgidum) using Microsatellite Markers. Iranian Journal of Field Crop Science, 40(2).
26. Ramirez-Vallejo, P. and J.D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica, 99(2): 127-136.
27. Rao, V.S. 2008. Mapping and validation of a major QTL for yellow pigment content on 7AL in durum wheat (Triticum turgidum L. ssp. durum) Mol Breeding 21: 485-496
28. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-stress Environments. Crop Sciences, 21: 943-946.
29. Sadeghzadeh Ahari, D. 2007. Evaluation of Drought Tolerance of Promising Durum Wheat Genotypes. Journal of Crop Sciences, 8(1): 45-30.URL:http://agrobreedjournal.ir/article-1-302-fa.html
30. Sio-se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research, 98(2-3): 222-229.

Evaluation of Drought Tolerance in Durum Wheat Genotypes using Drought Tolerance Indices

Hoshang Rahmati[1], Ali Nakhzari Moghadam[2], Ali Rahemi Karizaki[3] and Zeynab Evarsaji[4]

1- Ph.D. Student of Agrotechnology, University of Gonbad-Kavous
(Corresponding author: Hoshang.rahmati@yahoo.com)
2, 3 and 4- Assistant Professors of Plant Production Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
Received: November 16, 2019 Accepted: January 28, 2020

Abstract

Drought is one of the most important factors limiting the growth and production of crops in most parts of the world and Iran and affects as a multidimensional stress on plants at different levels. In order to study drought tolerance of 10 durum wheat genotypes, an experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in stress field in Kouhdasht city. Results of analysis of variance showed that the response of the studied genotypes was different for grain yield and the possibility of selection of genotypes based on each of the traits. Comparison of numerical values and rank of each genotype according to drought tolerance indices showed that based on drought tolerance indices according to seed yield of genotypes 1 (Omrab3), 2 (Hana) and 3 (Aria (stork) as drought tolerant and genotypes, Other genotypes were identified as susceptible genotypes. The results of correlation coefficients between indices showed that MP, GMP, HAM, STI indices had positive and significant correlation at 1% probability level with grain yield in stress and non-stress conditions. There were some, so it can be said that these indices are the best indices for identifying superior genotypes. Principal component analysis results showed that the first two components accounted for about 99% of the data variation. According to Gabriel's biplot chart, the studied genotypes were classified into two high yield potential and low yield potential areas, with genotypes 1 (Omrab3), 2 (Hana) and 3 (Aria (stork) being adjacent to vectors. Drought tolerance was identified as superior genotypes. Cluster analysis based on superior indices separated the studied genotypes into three general groups, which were in good agreement with the results of Gabriel biplot plotting.

Keywords: Wheat, Bipot, Stress