دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی عملکرد دانه، صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به خشکی در تعدادی از ارقام گندم نان

علی افتخاری[۱]، امین باقی زاده[۲]، روح اله عبدشاهی[۳] و محمدمهدی یعقوبی[۲]

۱- استادیار علوم کشاورزی دانشگاه پیام نور، (نویسنده مسوول: ali.eftekhari@pnu.ac.ir)
۲- دانشیارگروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
۳- دانشیارگروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
تاریخ ارسال: ۹۷/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۲۱
صفحه: ۱۱ تا ۲۱

چکیده

به‌منظور مطالعه تنوع ژنتیکی و بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و تعدادی از صفات زراعی در گندم نان و ۱۳ شاخص تحمل و حساسیت به خشکی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بر روی نه رقم گندم نان در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در دو شرایط نرمال و تنش خشکی (قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی) انجام شد. ارقام و شرایط محیطی دارای اثر معنی‌دار بر روی عملکرد دانه و سایر صفات زراعی و شاخص‌های تحمل بود. کاهش معنی‌داری برای صفات عملکرد دانه، مساحت برگ پرچم و وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی مشاهده شد. تحلیل همبستگی عملکرد بین دو محیط و شاخص‌های تحمل به خشکی و بای‌پلات ترسیمی نشان داد که شاخص‌های STS،YI، HARM، STI، MP و GMP مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌های گندم نان در هر دو شرایط نرمال رطوبتی و تنش خشکی بودند. با توجه به این نتایج ارقام مهدوی، کویر و روشن به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی مشاهده شدند، در نتیجه از این ارقام می‌توان در برنامه‌های زراعی و اصلاحی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، گندم نان، تنش خشکی، عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل

مقدمه

جمعیت جهان در حال افزایش است و اهمیت تولید مواد غذایی برای رشد جمعیت بستگی به تولیدات کشاورزی دارد. گندم دومین محصول زراعی از گروه غلات است که حدود ۲۸ درصد از انرژی موجود در رژیم غذایی بخش بسیار زیادی از مناطق جهان را تامین می‌کند. تولید گندم در اثر تنش‌های محیطی از جمله خشکی محدود می‌شود و در نتیجه مشکلات فراوانی را در تغذیه جامعه بشری بوجود می‌آورد. بنابراین مطالعه در زمینه پاسخ محصولات زراعی به تنش‌های محیطی افزایش یافته است و یکی از اهداف اصلی اصلاح نباتات کاهش این خسارت‌ها و افزایش تولید مواد غذایی است (۲۵).

نتایج مطالعات مختلف به‌منظور بررسی اثرات تنش خشکی، میانگین خسارتی معادل ۱۷ تا ۷۰ درصد در تولید دانه گندم را برآورد کرده‌اند (۳۳). در مطالعه دیگر بر روی ارقام گندم دوروم کاهش ۶۱/۴ درصدی بر روی عملکرد دانه در اثر تنش خشکی گزارش شده است (۲۴). تنوع ژنتیکی گسترده‌ای برای صفاتی مثل بیوماس، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط محیطی متفاوت گزارش شده است (۲). در پژوهشی مشخص شد برخی صفات مثل تعداد پنجه بارور در گیاه، وزن هزار دانه، طول پدانکل، طول ریشک، ارتفاع گیاه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، تحمل گندم به تنش خشکی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۴). رشد و پاسخ عملکرد واریته‌های گندم به تنش خشکی در مرحله سنبله‌دهی نیز مطالعه شده است و تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها برای اکثر صفات مطالعه‌شده از قبیل محتوای آب نسبی، ارتفاع گیاه، عملکرد و اجزاء عملکرد، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و شاخص‌های تحمل به خشکی مشاهده شد (۲۲). عملکرد نسبی یک ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی ممکن است انعکاسی از ظاهر آن ژنوتیپ باشد بنابراین بطور گسترده از شاخص‌هایی بر اساس عمکرد نسبی ژنوتیپ در شرایط تنش و نرمال برای گزینش استفاده شده است در نتیجه شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به خشکی براساس روابط ریاضی بین شرایط تنش و نرمال برای سنجش میزان تحمل یک ژنوتیپ و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل مورد استفاده قرار گرفته است (۴۲). گزینش بر اساس ترکیبی از شاخص‌ها ممکن است معیار مفیدتری برای اصلاح مقاومت به خشکی گندم باشد ولی مطالعه ضرایب همبستگی هم در یافتن درجه پیوستگی خطی بین دو به دوی شاخص‌ها مفید است. از طرف دیگر روشی مانند بای‌پلات بهتر از ضرایب همبستگی می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در هر دو محیط باشد (۱۲).

بر اساس مطالعه‌ای بر روی ژنوتیپ‌های گندم نان شاخص STI[۱] به‌عنوان یک شاخص موثر در گزینش ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش معرفی گردید (۳۵). در مطالعه‌ای دیگر میزان تحمل به خشکی ۱۵۱ ژنوتیپ گندم نان در خانواده F_3 و F_4 حاصل از تلاقی دو والد مقاوم و حساس Oste-Gata و Massara-1 مورد ارزیابی قرار گرفت و شاخص‌های TOL[۲]، SSI[۳]، MP[۴]، STI و GMP[۵] را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی و ژنوتیپ‌ها را بر اساس مقادیر این شاخص‌ها و تجزیه مولفه‌های اصلی گروه‌بندی نمودند (۱۶).

در مطالعه تحمل به تنش خشکی در گندم دوروم، شاخص‌های GMP، MP و STI برای تعیین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و نرمال مناسب تشخیص

1- Stress Tolerance Index
2- Tolerance Index
3- Stress Susceptibility Index
4- Mean Productivity
5- Golden Index

داده شدند (۴۴). در مطالعه‌ای دیگر به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در ۴۰ رقم گندم نان از شاخص‌های GOL[1]، ß[2]، YSI[3]، YI[4]، DRI[5]، SSPI[6] و HARM[7] و روش تجزیه به عامل‌ها استفاده شد و رقم مهدوی به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ به خشکی معرفی گردید و شاخص جدید تحمل به تنش STS[8] معرفی شد که نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از تجزیه عاملی همبستگی بالایی داشت (۱). به‌منظور بررسی تعدادی از ارقام بومی و تجاری گندم از نظر برخی صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و مورفولوژیک مرتبط با مقاومت به خشکی در شرایط تنش آبی و نرمال مشخص شد که شاخص‌های میانگین هارمونیک، بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی و شاخص تحمل به خشکی همبستگی مثبت و بسیار بالایی با عملکرد در هر دو شرایط تنش و نرمال دارند و به‌عنوان بهترین شاخص‌ها شناسایی شدند (۲۳). بر اساس دیگر یافته‌های ارزیابی تحمل به تنش خشکی در لاین‌های گندم، مشخص شد که شاخص‌های بهره‌وری متوسط، تحمل به خشکی، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک جزء بهترین شاخص‌ها برای غربال‌کردن در شرایط تنش و نرمال محسوب می‌گردند (۱۰).

با توجه به کاهش نزولات جوی در کشور و قرارگرفتن در اقلیم گرم و خشک و محدودیت منابع آب از سوی دیگر و همچنین رقابت سایر محصولات کشاورزی برای آب، معرفی ارقام گندم متحمل به خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

با توجه به این حقیقت که گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی یکی از اهداف اصلی متخصصان اصلاح نباتات است، این مطالعه به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی برای عملکرد دانه و برخی صفات زراعی مرتبط با آن در ارقام مورد مطالعه گندم نان، فهم ارتباط بین صفات مختلف و عملکرد دانه و پاسخ آن‌ها به شرایط تنش خشکی و شناسایی ارقام متحمل به خشکی بر اساس شاخص‌های مختلف جهت تشکیل جمعیت‌های در حال تفرق با استفاده از شاخص‌های مقاومت و معرفی بهترین شاخص‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان (با طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۱۷۵۳/۸ متر ارتفاع از سطح دریا و میانگین تبخیر، تعرق و درجه دمای سالانه به‌ترتیب ۱۵۴/۱ میلی‌متر و ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. اقلیم منطقه دارای تابستان‌های خشک بوده و بارندگی تقریبا از اواخر فروردین تا اواسط آبان وجود ندارد. در این آزمایش نه رقم گندم به نام‌های مهدوی، قدس، آذر۲، شیراز، روشن، کویر، کل‌حیدری، شاه‌پسند و اکسکلیبر تهیه‌شده از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج بررسی شد. این ارقام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو قطعه زمین زراعی در شرایط نرمال رطوبتی و تنش خشکی بطور جداگانه در سال ۱۳۹۲ کشت شدند. هر رقم در ۲ ردیف به طول ۲ متر و با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم با فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر کاشته شد. مزرعه دارای بافت خاک لومی رسی سیلتی از سطح خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با ۰/۶۲ درصد ماده آلی و اسیدیته ۷/۷۸ بود. بذور با تراکم ۲۳۰ بذر در مترمربع کشت شدند. عملیات زراعی از قبیل کوددهی، وجین و سمپاشی بطور یکنواخت و مشابه برای تمامی تکرارها انجام شد. ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (P_2O_5) قبل از کاشت و ۴۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در زمان پنجه‌زنی به مزرعه اضافه شد. به‌منظور ایجاد تنش خشکی با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، آبیاری از مرحله ساقه‌دهی قطع شد، در حالی‌که آبیاری در قطعه نرمال با توجه به دور آبیاری معمول منطقه هر ۸ روز تا زمان رسیدگی کامل انجام شد. در محل اجرای آزمایش بعد از تیمار تنش رطوبتی بارندگی موثری رخ نداد. در طی اعمال تنش علائم لوله‌ای‌شدن و پژمردگی برگ‌ها مشهود بود. در طول دوره رشد صفات زراعی شامل طول ساقه، تعداد روز تا رسیدگی، طول سنبله، طول پدانکل، وزن هزار دانه، مساحت برگ پرچم و عملکرد دانه در هر دو قطعه آزمایش اندازه‌گیری شدند. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ از علف‌کش 2,4-D به‌میزان ۱/۵ لیتر در هکتار ماده تجاری در مرحله پنجه‌زنی استفاده شد، همچنین وجین دستی در بهار طی دو مرحله انجام شد. برداشت نهایی در زمان رسیدگی کامل، پس از حذف اثر حاشیه انجام شد در ضمن محصول هر یک از کرت‌ها به‌طور جداگانه برداشت و عملکرد دانه به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. همچنین با کمک شاخص‌های تحمل، واکنش ارقام به تنش خشکی بررسی شد که این شاخص‌ها عبارت بودند از:

$TOL = Yp - Ys$ (۳۶) :(۱)

$GOL = (Yp+Ys)/(Yp-Ys)$ (۱۸) :(۲)

$GMP = (Ys \times Yp)^{0.5}$ (۱۲) :(۳)

$MP = (Ys+Yp)/2$ (۳۶) :(۴)

$SSI = \frac{1-(Y_S/Y_P)}{SI}$ $\quad SI = 1-(\frac{\bar{Y_S}}{\bar{Y_P}})$ (۱۴) :(۵)

$\beta\ (y/x) = SP(xy)/SSx$ (۱۳) :(۶)

$STI = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(\bar{Y_P})^2}$ (۱۲) :(۷)

$YSI = Ys/Yp$ (۸) :(۸)

$YI = Ys / \bar{Y}S$ (۲۷) :(۹)

$SSPI = (Yp - Ys / 2\bar{Y_p}) \times 100$ (۳۱) :(۱۰)

$HARM = \frac{2(Y_P \times Y_S)}{Y_P + Y_S}$ (۲۶) :(۱۱)

$DRI = Ys - \hat{Ys} / SE$ (۷) :(۱۲)

$STS = MP + STI + GMP + YI + DRI + YSI - SSI - TOL - \beta(1)$:(۱۳)

1- Golden Index 2- linear regression coefficient 3- Yield Stability Index 4- Yield Index
5- Drought Resistance Index 6- Stress Susceptibility Percentage Index 7- Harmonic Index 8- Stress Tolerance Score

برای محاسبه شاخص STS داده‌های خام استفاده نمی‌شوند بلکه تمام شاخص‌ها در معادله مذکور باید ابتدا توسط فرمول زیر استاندارد شوند:

$$Zij = (Xij - \overline{X}i)/Si$$

Zij: نمره استاندارد ژنوتیپ j در شاخص i و Xij: داده خام ژنوتیپ j در شاخص i و Si انحراف معیار شاخص i است. بعد از استاندارد سازی شاخص‌ها، STS بر اساس رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود. در تمام فرمول‌های فوق Yp: عملکرد رقم در محیط نرمال، $\overline{Y}p$: متوسط عملکرد ارقام در محیط نرمال، Ys: عملکرد رقم در محیط تنش و $\overline{Y}s$: متوسط عملکرد ارقام در محیط تنش است. پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا فرض نرمال‌بودن توزیع خطاهای آزمایشی و داده‌ها تست شد همچنین با استفاده از آزمون بارتلت یکنواخت‌بودن واریانس خطاهای آزمایشی در درون ارقام بررسی شد سپس محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی، تجزیه واریانس ساده و مرکب صفات زراعی، مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد و همبستگی ساده بین صفات زراعی و شاخص‌های مطالعه‌شده با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.02) انجام شد. در ضمن تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس ضرایب همبستگی انجام شد و در آخر نمودار بای‌پلات بر اساس دو مولفه اصلی با استفاده از نرم‌افزار Stat graphics ترسیم شد. جهت گروه‌بندی ارقام مورد مطالعه از تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward بر اساس صفات مورد ارزیابی از نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۱)، ارقام دارای تفاوت معنی‌داری برای تمامی صفات در سطح یک درصد و به‌جز صفت مساحت برگ پرچم در سطح پنج درصد بودند. اثر محیط نیز برای تمامی صفات به‌جز طول پدانکل در سطح یک درصد معنی‌دار است که نشان‌دهنده اثر تنش خشکی بر صفات مطالعه شده است. برهمکنش محیط در رقم برای تمامی صفات معنی‌دار نیست که این مطلب بدین معنی می‌باشد که ارقام برای صفات مطالعه‌شده دارای واکنش یکسان در محیط‌های متفاوت می‌باشند که با نتایج دیگر گزارش‌ها مطابقت دارد (۱۶،۳).

درصد تغییرات صفات نسبت به تنش خشکی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به درصد تغییرات محاسبه‌شده بیشترین تغییر در صفات عملکرد دانه، مساحت برگ پرچم، و وزن هزار دانه به‌ترتیب با مقادیر ۳۶/۱۶، ۲۰/۹۲ و ۱۵/۸۸ درصد کاهش در محیط تنش نسبت به نرمال مشاهده شد لذا نتیجه‌گیری می‌شود شدت تنش با توجه به تغییرات عملکرد که در بین صفات بیشترین است، متوسط (۰/۳۶) بوده است. این نکته قابل ذکر است که این شاخص فقط برای اندازه‌گیری شدت تنش خشکی برای آزمایش محاسبه می‌شود و برای سنجش شدت تنش برای ژنوتیپ‌ها کاربردی نیست (۱۴). این نتیجه در تطابق با یافته‌های سایر محققان است که نشان دادند تنش خشکی باعث کاهش در اغلب صفات زراعی از جمله عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله می‌شود (۳۹).

با توجه به این که اثر متقابل رقم در محیط برای تمامی صفات معنی‌دار نیست (جدول ۱)، بنابراین مقایسات میانگین بر اساس آزمون دانکن برای متوسط صفات در دو شرایط نرمال و تنش خشکی (تجزیه مرکب) انجام شد (جدول ۳). بر این اساس ارقام روشن و شاهپسند برای صفات طول ساقه و تعداد روز تا رسیدگی، رقم کل حیدری برای صفات طول سنبله، طول پدانکل و وزن هزار دانه و ارقام شاهپسند و مهدوی برای صفات مساحت برگ پرچم و عملکرد دانه دارای بیشترین مقدار بودند. همچنین رقم قدس برای صفت طول ساقه، رقم اکسکلیبر برای صفات تعداد روز تا رسیدگی، طول سنبله، طول پدانکل، وزن هزار دانه، رقم مهدوی برای صفت مساحت برگ پرچم و رقم شاهپسند برای صفت عملکرد دانه کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند.

با توجه به جدول ۴ صفت عملکرد دانه در شرایط تنش با طول ساقه و در شرایط نرمال با طول سنبله همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. در شرایط نرمال مساحت برگ پرچم با طول سنبله و تعداد روز تا رسیدگی در سطح احتمال پنج درصد و تعداد روز تا رسیدگی با طول سنبله و طول پدانکل در سطح احتمال یک درصد و با طول ساقه در سطح پنج دارای درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار بودند، همچنین طول ساقه با طول سنبله و طول پدانکل در سطح یک درصد همبستگی معنی‌داری دیده شد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی طول ساقه با طول سنبله و طول پدانکل در سطح یک درصد و با تعداد روز تا رسیدگی و مساحت برگ پرچم در سطح پنج درصد دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود. بین تعداد روز تا رسیدگی با طول پدانکل در سطح یک درصد و با طول سنبله در سطح پنج درصد دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار دیده شد (جدول ۴).

به‌منظور ارزیابی تحمل به خشکی ارقام در دو شرایط تنش و نرمال، شاخص‌های مختلف شامل GOL، TOL، GMP، MP، SSI، β، STI، YSI، YI، SSPI، HARM، DRI، STS محاسبه شد. بر اساس جدول ۵، تجزیه واریانس ارقام برای شاخص‌های تحمل به خشکی STS، HARM، STI، SSI، GMP در سطح احتمال یک درصد و برای سایر شاخص‌های محاسبه‌شده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شده بود، بنابراین امکان ارزیابی تحمل به خشکی ارقام وجود دارد. در شرایط نرمال ارقام روشن، مهدوی، کویر بالاترین و ارقام شاهپسند و شیراز پایین‌ترین عملکرد دانه را به‌ترتیب به خود اختصاص دادند. در شرایط تنش ارقام مهدوی و کویر بالاترین و ارقام شاهپسند و شیراز پایین‌ترین عملکرد دانه را به‌ترتیب دارا بودند (جدول ۶). بنابراین ارقام مهدوی و کویر بهترین وضعیت و ارقام شاهپسند و شیراز بدترین وضعیت را در دو شرایط داشتند. بالا یا پایین‌بودن پتانسیل عملکرد در این ارقام را می‌توان با متغیربودن اجزاء عملکرد در آنها و همچنین واکنش متفاوت نسبت به شرایط محیطی مرتبط دانست.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفات

Table 1. Combined ANOVA of traits

منبع تغییر	درجه آزادی	طول ساقه(سانتی‌متر)	تعداد روز تا رسیدگی(روز)	طول سنبله (سانتی‌متر)	طول پدانکل (سانتی‌متر)	وزن هزار دانه(گرم)	مساحت برگ پرچم (سانتی‌متر مربع)	عملکرد دانه(کیلوگرم در هکتار)
محیط	۱	۴۰۱/۶**	۳۰/۹**	۱۲/۵**	۴۳/۷*	۱۴۱/۶**	۳۳/۳**	۱۴۱/۹**
(محیط) بلوک	۴	۵۵/۴*	۲/۷^{ns}	:۴/۲**	۱۲/۷^{ns}	۲/۸*	۱۵/۶*	۱۳۶/۳**
رقم	۴۴	۲۰۹/۳**	۱۵/۸**	۶/۹**	۸۲/۳**	۴/۴**	۱۴/۷۵*	۱۱۳/۶**
رقم × محیط	۴۴	۲۰/۲^{ns}	۳/۵^{ns}	۰/۶۶^{ns}	۱۳/۶^{ns}	۰/۸۶^{ns}	۱۷/۱^{ns}	۳۱/۶^{ns}
خطا	۱۷۶	۱۹/۹۸	۲/۵۴	۱/۲۷	۶/۳	۱/۰۹	۵/۷	۳۰/۳
ضریب تغییرات(درصد)		۹/۹۳	۳/۸۷	۸/۳۹	۱۸/۲۹	۲۳/۱	۲۰/۶	۲۲/۵

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

جدول ۲- میانگین و درصد تغییرات صفات

Table 2. The mean and variation of traits

صفت	میانگین شرایط نرمال رطوبتی	میانگین شرایط تنش خشکی	درصد تغییرات
طول ساقه (سانتی متر)	۹۴/۵	۸۹/۱	۵/۷۸
تعداد روز تا رسیدگی (روز)	۱۹۱/۲	۱۸۲/۶	۴/۵۱
طول سنبله (سانتی متر)	۱۰/۳	۱۰/۱	۲/۳۶
طول پدانکل (سانتی متر)	۳۸/۹	۳۵/۸	۷/۷۸
وزنه زاردانه (گرم)	۵۶/۷	۴۸/۹	۱۵/۸۸
مساحت برگ پرچم (سانتی متر مربع)	۲۱/۴	۱۶/۹	۲۰/۹۲
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	۶۵۸/۳	۴۲۰/۲	۳۶/۱۶

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ارقام گندم با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن

Table 3.Duncan mean comparison of studied traits between wheat cultivars

رقم	طول ساقه (سانتی‌متر)	تعداد روز تا رسیدگی (روز)	طول سنبله (سانتی‌متر)	طول پدانکل (سانتی‌متر)	وزن هزاردانه (گرم)	مساحت برگ پرچم (سانتی‌متر مربع)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
مهدوی	۸۷/۴^{c}	۱۹۰/۶^{ab}	۱۰/۴^{ab}	۳۵^{bc}	۵۵/۸^{bc}	۱۵/۷^{c}	۵۱۹/۱^{a}
آذر ۲	۹۴/۳^{abc}	۱۹۱/۳ ^{ab}	۸/۴^{cd}	۴۳/۶^{ab}	۴۶/۸^{cd}	۱۷/۷^{bc}	۴۴۶/۲ ^{abc}
روشن	۱۱۱/۱^{a}	۱۹۰/۳^{ab}	۹/۹^{bc}	۴۱ ^{ab}	۵۴/۴^{bc}	۲۲/۴^{bc}	۵۰۲/۵ ^{ab}
قدس	۸۷/۳^{c}	۱۹۲/۳^{a}	۱۱^{ab}	۳۷/۶^{ab}	۶۰/۱^{ab}	۲۴^{ab}	۲۶۹/۳^{bc}
کویر	۹۰/۷^{bc}	۱۹۲^{a}	۱۱^{ab}	۳۷/۵^{ab}	۶۱/۱^{ab}	۲۴^{ab}	۶۰۷/۳^{a}
اکسکلیبر	۶۶/۷^{d}	۱۸۴/۳^{b}	۷/۴^{d}	۲۸/۸^{c}	۴۲/۸^{d}	۲۱/۴^{bc}	۴۳۹/۵^{abc}
کل‌حیدری	۱۰۶^{abc}	۱۹۰/۶^{ab}	۱۲^{a}	۴۴^{a}	۶۶/۷^{a}	۱۷/۶^{bc}	۴۷۹/۷^{abc}
شیراز	۹۸/۳^{abc}	۱۹۴^{a}	۱۱/۱^{ab}	۳۹/۴^{ab}	۵۹/۷^{ab}	۲۰/۱^{bc}	۲۶۴^{bc}
شاهپسند	۱۰۹/۱^{ab}	۱۹۶^{a}	۱۱/۵^{ab}	۴۲/۸^{ab}	۶۲/۸^{ab}	۳۰/۲^{a}	۲۵۴/۲^{c}

حروف مختلف نشانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۴- ضرایب همبستگی صفات در ارقام گندم نان

Table 4.The correlation coefficients of traits between wheat cultivars

	صفت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شرایط نرمال رطوبتی	۱	۱	۰/۳۵*	۰/۶**	۰/۶۸**	۰/۱۳^{ns}	۰/۴۱*	۰/۴۱*
	۲	۰/۳۹*	۱	۰/۴۶*	۰/۵۱**	۰/۱۳^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۲۱^{ns}
	۳	۰/۵**	۰/۴۹**	۱	۰/۲۶^{ns}	۰/۵^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۰/۳^{ns}
	۴	۰/۸۲**	۰/۵۳**	۰/۳۳^{ns}	۱	−۰/۰۴^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۰/۰۲^{ns}
	۵	۰/۲۴^{ns}	−۰/۱۳^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۱	−۰/۱۵^{ns}	۰/۱۶^{ns}
	۶	۰/۱۶^{ns}	۰/۴*	۰/۴۷*	۰/۰۵^{ns}	−۰/۰۸^{ns}	۱	۰/۳۲^{ns}
	۷	۰/۱۳^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۴۶*	−۰/۰۵^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۱

۱- طول ساقه، ۲- تعداد روز تا رسیدگی، ۳- طول سنبله، ۴- طول پدانکل، ۵- وزن هزار دانه، ۶- مساحت برگ پرچم، ۷- عملکرد دانه

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به خشکی درارقام گندم نان

Table 5. The ANOVA of drought tolerance indices between wheat cultivars

منبع تغییر	بلوک	رقم	خطا
TOL	۸۲۰۸۸**	۴۶۹۶۲*	۱۹۰۲۶
GOL	۱۰۰۴**	۶۴۰*	۲۴۰
GMP	۹۸۹۷۳**	۴۲۶۳۳**	۱۰۱۴۸
MP	۹۹۹۳۷**	۳۳۳۲۷*	۱۱۱۴۲
SSI	۰/۸۳**	۰/۳۵**	۰/۱۵
β	۳/۹**	۲/۸*	۰/۸
STI	۰/۹**	۰/۳**	۰/۰۸
YSI	۹۹۰**	۶۱۰*	۳۸۰
YI	۶۵۲۵**	۳۱۴۶*	۹۷۹
SSPI	۵۲۹**	۳۰۲*	۱۲۳
HARM	۱۳۹۵۷۷**	۴۹۹۸۰**	۱۲۳۸۵
DRI	۱/۷*	۱/۶*	۰/۶۷
STS	۱۱۰**	۷۵**	۲۶/۷
درجه آزادی	۲	۴۴	۸۸

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

جدول ۶- شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام گندم نان

Table 6. Drought tolerance indices between wheat cultivars

رقم	β	SSI	MP	GMP	GOL	TOL	Ys	Yp
مهدوی	۰/۵۶	۰/۹	۶۴۶/۷	۶۳۳/۹	۵/۰۶	۲۵۵/۱	۵۱۹/۱	۷۷۴/۳
آذر ۲	۰/۹۲	۰/۸۲	۵۴۳/۳	۵۳۴/۵	۵/۵۹	۱۹۴/۱	۴۴۶/۲	۶۴۰/۳
روشن	۰/۸۳	۱/۰۲	۶۵۳	۶۳۵/۴	۴/۳۳	۳۰۱	۵۰۲/۵	۸۰۳/۵
کویر	۱/۰۴	۰/۵۲	۶۷۹/۱	۶۷۵/۲	۹/۴۶	۱۴۳/۴	۶۰۷/۳	۷۵۰/۸
قدس	۱/۲۶	۱/۵۶	۴۴۹/۶	۴۱۱/۸	۲/۴۹	۳۶۰/۶	۲۶۹/۳	۶۳۰
اکسکلیبر	۰/۷۱	۰/۷۷	۵۲۶/۴	۵۱۹/۱	۶/۰۵	۱۷۳/۷	۴۳۹/۵	۶۱۳/۳
کل‌حیدری	۱/۱۷	۰/۵۹	۵۴۶/۷	۵۴۲/۶	۸/۱۵	۱۳۴	۴۷۹/۷	۶۱۳/۸
شیراز	۱/۱۲	۱/۴۴	۴۱۳/۱	۳۸۵/۲	۲/۷۷	۲۹۸/۳	۲۶۴	۵۶۲/۳
شاهپسند	۱/۲۹	۱/۴۳	۳۹۵/۵	۳۶۹/۳	۲/۷۹	۲۸۲/۵	۲۵۴/۲	۵۳۶/۸

رقم	STS	DRI	HARM	SSPI	YI	YSI	STI
مهدوی	۷/۷۹	۱/۱۵	۶۲۱/۵	۰/۲	۱/۳۱	۰/۶۷	۱/۰۶
آذر ۲	۳/۷	۰/۴۹	۵۲۵/۹	۰/۱۵	۱/۱۲	۰/۷	۰/۷۳
روشن	۶/۳۷	۰/۱۷	۶۱۸/۳	۰/۲۴	۱/۲۷	۰/۶۵	۱
کویر	۷/۵۶	۰/۸۵	۶۷۱/۴	۰/۱۱	۱/۵۳	۰/۸۲	۱/۱۷
قدس	-۹/۰۳	-۰/۰۹	۳۷۷/۳	۰/۲۸	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۴۳
اکسکلیبر	۵/۱۱	۰/۷۵	۵۱۲	۰/۱۳	۱/۱۱	۰/۷۴	۰/۶۹
کل‌حیدری	۴/۰۹	۰/۰۳	۵۳۸/۵	۰/۱	۱/۲۱	۰/۸۱	۰/۷۵
شیراز	-۹/۰۷	-۰/۰۹	۳۵۹/۳	۰/۲۳	۰/۶۶	۰/۴۷	۰/۳۸
شاهپسند	-۱۰/۵۲	-۰/۳۴	۳۴۵	۰/۲۲	۰/۶۴	۰/۴۸	۰/۳۵

با توجه به نتایج جدول ۶ بر اساس شاخص‌های TOL، GOL، YSI و SSPI، ارقام کویر و کل‌حیدری متحمل و ارقام قدس، شیراز، شاهپسند حساس به خشکی مشاهده شدند. بر اساس شاخص‌های GMP، MP، HARM و YI ارقام کویر ، روشن و مهدوی متحمل و ارقام شاهپسند و شیراز حساس به خشکی هستند، که با نتایج دیگر پژوهشگران مبنی‌بر پاسخ یکسان این شاخص‌ها مطابقت دارد (۴۲،۵). بر اساس شاخص SSI، ارقام کویر، کل‌حیدری و اکسکلیبر متحمل و ارقام قدس، شاهپسند و شیراز حساس، بر اساس شاخص β ارقام مهدوی، اکسکلیبر و روشن متحمل و ارقام شاهپسند، قدس و کل‌حیدری حساس می‌باشند. براساس شاخص STI ارقام کویر و مهدوی متحمل و شاهپسند و شیراز حساس و بر اساس شاخص‌های DRI و STS ارقام مهدوی، کویر و اکسکلیبر متحمل و شاهپسند، شیراز و قدس حساس شناخته شدند. با توجه به اینکه کاربرد هر یک از شاخص‌ها نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهد، برای کارایی بیشتر در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم، باید ژنوتیپ‌ها بر اساس دو یا چند شاخص غیرهمراستا ارزیابی و گزینش کرد (۳۲)، در نتیجه شاخص STS بطور همزمان از شاخص‌های دیگر استفاده می‌کند. در مجموع ارقام مهدوی، کویر و روشن جزء متحمل‌ترین ارقام به خشکی و ارقام شاهپسند، شیراز جزء حساس‌ترین ارقام به خشکی و سایر ارقام در سطح متوسط تشخیص داده شدند.

با توجه به جدول ۷، همبستگی بالا و معنی‌داری بین عملکرد در شرایط تنش و نرمال وجود دارد، که نشان‌دهنده اهمیت پتانسیل عملکرد برای برتری ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی است. بنابراین گزینش غیرمستقیم برای شرایط تنش خشکی بر اساس شرایط نرمال و عدم‌تنش می‌تواند موثر باشد، که این نتیجه با تحقیقات اکثر پژوهشگران مطابقت دارد (۲۹،۹،۱۱،۱۷)، اگرچه با برخی گزارش‌ها در تضاد است (۴۰،۳۸). شاخص‌های STS، HARM، YI، STI، MP و GMP دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در هر دو شرایط تنش و نرمال نشان دادند (جدول ۶)، که با نتایج سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (۳۰،۱۰،۱۵،۲۱،۲۸). عموما شاخص‌هایی که در شرایط تنش شدید و ملایم همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشته باشند، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب می‌گردند، زیرا این شاخص‌ها قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و نرمال هستند (۱۲). شاخص YIهمبستگی بسیار بالایی (یک) با عملکرد در شرایط تنش داشت در حالیکه شاخص MP، بالاترین همبستگی (۰/۹۲) را با عملکرد در شرایط نرمال نشان داد. شاخص‌های GOL و YSI همبستگی مثبت معنی‌دار و شاخص‌های SSPI، SSI و TOL همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش داشتند. بنابراین افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی با کاهش حساسیت به تنش همراه بود که با گزارش‌های برخی محققین مطابقت دارد (۴۴،۶). شاخص STS همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص‌های YI، HARM، GMP، MP و STI نشان داد. در گزارش‌های جداگانه نشان داده شده است که تولید ارقام با عملکرد بالا در دو شرایط تنش و نرمال بوسیله شاخص‌های STI، MP، YI و GMP امکان‌پذیر خواهد بود (۳۴،۱۹،۲۰). همبستگی شاخص YSI با SSI صد در صد منفی و بسیار معنی‌دار شد. در واقع ارقامی که بر اساس YSI به‌عنوان رقم متحمل انتخاب می‌شود، ثبات عملکرد بالاتری داشته و حداقل کاهش عملکرد را نشان می‌دهند (۴۳،۷).

تجزیه بای‌پلات برای تشریح نسبت بین عملکرد دانه و شاخص‌های مقاومت و به‌عبارت‌دیگر برای بررسی همزمان متغیرها و جایگاه ارقام گندم در ارتباط با آنها استفاده شد. ارتباط بین شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در بای‌پلات با دو مولفه در شکل یک نشان داده شده است. مولفه‌های اول و دوم در مجموع ۹۵ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کنند (جدول ۸). در فضای بای‌پلات، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آن‌ها به تنش خشکی است . جدول ۸ نشان می‌دهد که مولفه اول درصد بالایی (۸۱ درصد) از تغییرات را توجیه می‌نماید. این مولفه همبستگی مثبت و نسبتا بالایی را با عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی و شاخص‌های مرتبط با عملکرد GMP، MP، STI، HARM،YI و STS دارد و بنابراین، این مولفه به‌عنوان مولفه پتانسیل عملکرد نام‌گذاری می‌شود و قادر است ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساس جدا کند. ژنوتیپ های انتخاب‌شده بر اساس این مولفه دارای SSI و TOL پایین هستند. دومین مولفه ۱۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و با عملکرد در شرایط تنش همبستگی منفی و با شاخص‌های TOL، SSI و SSPI همبستگی مثبت و بالایی داشت. بنابراین این مولفه را می‌توان مولفه حساسیت به تنش خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش نام‌گذاری کرد. در یک تحقیق با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی، دو مولفه اصلی شناسایی شدند که مولفه اول ۷۰ درصد از تغییرات کل را تبیین کرد و با Yp، Ys، MP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و مولفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نامیده شد. مولفه دوم حدود ۲۸ درصد از تغییرات کل را تبیین کرد و با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی معنی‌دار نشان داد و آن را شاخص تحمل به تنش نام‌گذاری کردند. آنها همچنین عنوان کردند که گزینش ژنوتیپ‌هایی که همبستگی بالایی با مولفه اول و همبستگی پایینی با مولفه دوم دارند، شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای هر دو محیط می‌باشد (۱۷،۷). بطور کلی می‌توان این نوع از توزیع لاین‌ها در فضای بای‌پلات را مرتبط با وجود تنوع ژنتیکی لاین‌ها نسبت به خشکی دانست. در این تحقیق همچنین نمودار بای‌پلات که زاویه بین شاخص‌های انتخابی را نشان می‌دهد دلالت بر وجود همبستگی بالا بین شاخص‌های STS، STI، YI، MP، DRI، GMP و HARM با یکدیگر و عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی و شاخص‌های TOL، SSPI، β و SSI با یکدیگر دارد که با نتایج همبستگی شاخص‌ها هم‌خوانی دارد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین بر اساس روش ترسیمی بای‌پلات گزارش شده است (۶،۱۱،۲۳،۳۲،۴۰، ۴۴). با توجه به رابطه بین مولفه‌ها و شاخص‌های بررسی‌شده، ژنوتیپ‌های مهدوی، کویر ،روشن و آذر ۲ که در ناحیه پایین و سمت راست از نمودار قرار گرفتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدارتر در تنش خشکی و ژنوتیپ‌های قدس، شیراز و شاهپسند که در ناحیه بالا و سمت چپ نمودار قرار گرفتند به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس‌تر به تنش خشکی شناسایی شدند. با توجه به متفاوت‌بودن منشا ژنوتیپ‌ها، این ژنوتیپ‌ها احتمالا از آلل‌های متنوعی برای تحمل به خشکی برخوردار هستند و لازم است وجود تنوع آللی و یا مکانیسم‌های گوناگون مقاومت در این ژنوتیپ‌ها در تحقیقات آینده بررسی شود.

نمودار فنوگرام گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف گندم با تجزیه خوشه‌ای با روش وارد در شکل ۲ نمایش داده شده است. ارقام گندم بر اساس عملکرد در دو شرایط رطوبتی و شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای گروه‌بندی شدند. بر این اساس ارقام به سه گروه جداگانه تقسیم شدند. در این شکل ارقام مهدوی، کویر و روشن در کلاستر اول قرار گرفتند، این ارقام دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط محیطی (تنش و نرمال) بودند. این ارقام در بای پلات ترسیمی در مجاورت بردارهای MP، GMP، STI، HARM و STS قرار گرفتند و بالاترین مقدار این شاخص‌ها را به خود اختصاص دادند. در نتیجه این ارقام

به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحل به تنش با عملکرد پایدار و بالا تعیین شدند. کلاستر سوم شامل ارقام قدس، شیراز و شاهپسند بود و بر خلاف گروه اول شامل ارقام حساس به تنش است. این گروه از مقادیر پایین شاخص‌های GMP، MP و STI و عملکرد دانه در هر دو شرایط برخوردار بود. سایر ارقام در کلاستر دوم قرار گرفتند که دارای عملکرد بالا و مقادیر بالایی از شاخص‌های فوق بودند ولی نسبت به ارقام موجود در کلاستر اول مقاومت کمتری به تنش خشکی داشتند. در این گروه ژنوتیپ‌های آذر۲، اکسکلیبر و کل‌حیدری قرار گرفتند. بنابراین این ارقام به‌عنوان ارقام نیمه‌متحمل به خشکی تعیین شدند. لذا با توجه به فاصله ژنتیکی ارقام حساس و متحمل می‌توان از این ارقام در برنامه‌های اصلاحی و در دورگ‌گیری بین این ارقام استفاده کرد. این روش گروه‌بندی در گندم بر مبنای شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM توسط سایر پژوهشگران نیز استفاده شده است (۴۱).

در این مطالعه تنوع ژنتیکی برای عملکرد دانه و سایر صفات زراعی در دو شرایط نرمال و تنش خشکی مشاهده شد. نتایج نشان داد که محیط به‌صورت معنی‌داری عملکرد دانه و سایر صفات زراعی را تحت تاثیر قرار داده است. کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه، مساحت برگ پرچم، و وزن هزار دانه در نتیجه تنش خشکی مشاهده شد. نتایج بدست‌آمده از این تحقیق این موضوع را که عملکرد دانه و صفاتی همچون مساحت برگ پرچم و وزن هزار دانه می‌تواند برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرند را تقویت می‌کند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین و شاخص‌های تحمل به خشکی، بای‌پلات ترسیمی و نتایج تجزیه خوشه‌ای، ارقام مهدوی، کویرو روشن متحل به خشکی و ارقام شاهپسند و شیراز به‌عنوان ارقام حساس به خشکی معرفی شدند. بنابراین می‌توان از ارقام مهدوی، کویر و روشن برای سایر برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد. در مجموع با توجه به همبستگی بالا و معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش و نرمال با شاخص‌های تحمل به تنش و نتایج حاصله از روش ترسیمی بای‌پلات، شاخص‌های GMP، YI، MP، STI، HARM و STS به‌عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب شدند چرا که قادرند ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی را از سایر ژنوتیپ‌ها غربال کنند. در بین این شاخص‌ها، شاخص STS مناسب‌ترین شاخص برای این منظور شناخته شد.

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی درارقام گندم نان

Table 7. The correlation coefficients of drought tolerance indices between wheat cultivars

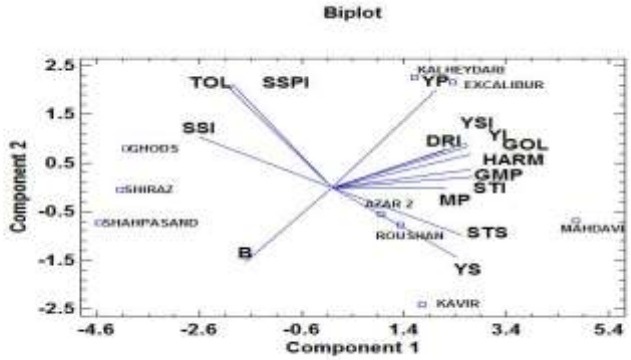
	STS	DRI	HARM	SSPI	YI	YSI	STI	β	SSI	MP	GMP	GOL	TOL	Ys
Yp	۰/۷۳*	۰/۴۲ns	۰/۸۶**	-۰/۰۶ns	۰/۷۸**	۰/۴۵ns	۰/۹**	-۰/۴۸ns	۰/۴۵ns	۰/۹۲**	۰/۸۹**	۰/۳۶ns	-۰/۰۶ns	۰/۷۸*
Ys	۰/۹۶**	۰/۴۱ns	۰/۹۸**	-۰/۶۷*	۱**	۰/۹**	۰/۹۶**	-۰/۳ns	-۰/۹**	۰/۹۶**	۰/۹۷**	۰/۸۴**	-۰/۶۷*	۱
TOL	-۰/۶۷ns	-۰/۱۶ns	-۰/۵۵ns	۱	-۰/۶۷*	-۰/۹۱**	-۰/۴۷ns	-۰/۰۸ns	۰/۹۱**	-۰/۴۳ns	-۰/۵ns	۰/۹۱*	۱	
GOL	-۰/۷۸*	۰/۱۲ns	۰/۷۵*	-۰/۹۱**	۰/۸۴**	۰/۹۵**	۰/۷*	۰/۰۸ns	۰/۹۵**	۰/۶۷*	۰/۷۲*	۱		
GMP	۰/۹۴**	۰/۴۵ns	۰/۹۹**	-۰/۵ns	۰/۹۷**	۰/۸**	۰/۹۹**	-۰/۳۹ns	-۰/۸**	۰/۹۹**	۱			
MP	۰/۹۱**	۰/۴۴ns	۰/۹۹**	-۰/۴۳ns	۰/۹۶**	۰/۷۵*	۰/۹۹**	-۰/۴ns	-۰/۷۵*	۱				
SSI	-۰/۹**	-۰/۳۵ns	-۰/۸۳**	۰/۹۱**	-۰/۹**	-۱**	-۰/۷۷*	۰/۱۷ns	۱					
β	-۰/۴۹ns	-۰/۹۳**	-۰/۳۸ns	-۰/۰۸ns	-۰/۲ns	-۰/۱۷ns	-۰/۳۵ns	۱						
STI	۰/۹۱**	۰/۴۱ns	۰/۹۹**	-۰/۴۷ns	۰/۹۶**	۰/۷۷*	۱							
YSI	۰/۹*	۰/۳۵ns	۰/۸۳*	-۰/۹۱**	۰/۹**	۱								
YI	۰/۹۶**	۰/۴۱ns	۰/۹۸**	-۰/۶۷*	۱									
SSPI	-۰/۶۷*	-۰/۱۶ns	-۰/۵۵ns	۱										
HARM	۰/۹۵**	۰/۴۵ns	۱											
DRI	۰/۶۱ns	۱												
STS	۱													

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار درسطح احتمال یک درصد و پنج درصد

جدول ۸- مقادیر ویژه شاخص‌های تحمل در تجزیه به مولفه‌های اصلی

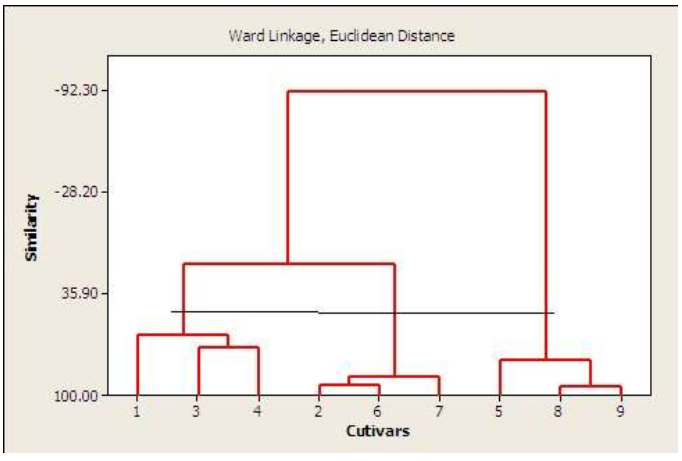
Table 8. The eigen value of drought tolerance indices in principle component analysis

مولفه	PCA1	PCA2
مقدار ویژه	۱۱/۲۹	۲/۲۶
سهم تجمعی	۰/۸۱	۰/۹۵
YP	۰/۴۱	۰/۲۲
YS	۰/۳۹	-۰/۲۴
TOL	-۰/۲۱	۰/۴۳
GOL	۰/۳۵	-۰/۳
GMP	۰/۳۸	۰/۱۷
MP	۰/۳۶	-۰/۰۰۵
SSI	-۰/۲۷	۰/۴۲
β	-۰/۱۸	-۰/۳۳
STI	۰/۴۸	۰/۱۹
YSI	۰/۲۶	-۰/۲
YI	۰/۳۹	۰/۰۴
SSPI	-۰/۲۱	۰/۴۵
HARM	۰/۴۸	۰/۱۴
DRI	۰/۲۳	۰/۱۶
STS	۰/۴۹	۰/۰۷



شکل ۱- نمایش گرافیکی مولفه‌های اصلی اول و دوم برای ارقام گندم و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

Figure 1. The biplot of two principles in bread wheats and drought tolerance indices



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای ارقام گندم با استفاده از روش ward (۱- مهدوی، ۲- آذر۲، ۳- کویر، ۴- روشن، ۵- قدس، ۶- اکسکلیبر، ۷- کل حیدری، ۸- شیراز و ۹- شاه‌پسند)

Figure 2.The cluster analysis of bread wheat cultivars according to ward method (1. Mahdavi, 2. Azar2, 3. Kavir, 4. Roushan, 5. Ghods, 6. Excaliber, 7. Kalheydari, 8. Shiraz and 9. Shahpasand).

منابع

1. Abdoshahi, R., A. Safarian, M. Nazari, S.H. Pourseyedi and G.H. Mohammadi-Negad. 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat using different multivariate methods. Archives of Agronomy and Soil Science, 59: 685-704.
2. Ahmadi, A., M. Jodi, A. Tavakoli and M. Ranjbar. 2009. Investigation of yield and its related morphological traits responses in wheat genotypes under drought stress and irrigation conditions. Journal of Crop Production and Processing, 12: 155-165.
3. Akcura, M. and S. Ceri. 2011. Evaluation of drought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environmental conditions. Zemdirbyste Agriculture Journal, 98(2): 157-166.
4. Aminzadeh, G.R. 2010. Evaluation of yield stability of wheat advanced genotypes in Ardabil, Iran. Research Journal of Environmental Sciences, 4(5): 478-482.
5. Anwar, J., G.M. Subhani, M. Hussain, J. Ahmad, M. Hussain and M. Munir. 2011. Drought tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes. Pakistan Journal of Botany, 43(3): 1527-1530.
6. Askar, M., A.Yazdansepas and A. Amini. 2010. Evaluation of winter and facultative bread wheat genotypes under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. Seed and Plant Improvement Journal, 26(1): 313-329.
7. Boshagh, B., H. Astraki and P. Pezashkipour. 2018. Evaluation of Faba Bean Genotypes using Drought Tolerance Indices and Multivariate Statistical Methods. Journal of Crop Breeding, 10(27): 1-9 (In Persian).
8. Bouslama M., W.T. Jr. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
9. Dadbakhsh, A. and A. Yazdan-Sepas. 2011. Evaluation of drought tolerance indices for screening bread wheat genotypes in end-season drought stress conditions. Advance Environmental Biology, 5(6):1040-1045.
10. Fallahi, H.A., J. Alte-Jafarbai and F. Seyedi. 2011. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal, 27(1): 15-22.
11. Farshadfar, E., 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.
12. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceeding of the International Symposium on adaptation of vegetable and other food crops in temperature and water stress. Taiwan, pp: 257-270.
13. Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. Australian Journal of Agricultural Research, 14: 742-754.
14. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain responses. Australian Journal of Crop Science, 29: 897-912.
15. Garavandi, M., E. Farshadfar and D. Kahrizi. 2010. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. Seed and Plant Improvement Journal, 26(1): 233-252.
16. Gholamin, R., M. Zaeifizadeh, M. Khayatnezhad, S. Jamaati-e-Somarin and R. Zabihi-e-Mahmoodabad .2010. Study of drought tolerance in durum wheat genotypes. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 9(5): 465-469.
17. Gholinezhad, E. and R. Darvishzadeh. 2018. Investigation the Drought Tolerance of Sesame (*Sesamium indicum* L.) Local Landraces Based on Drought Stress Tolerance Indices in Different Levels of Irrigation and Mycorrhizae. Journal of Crop Breeding, 10(26): 185-194 (In Persian).
18. Golbashi, M., M. Ebrahimi, S. Khavari Khorasani and M. H.Saboor. 2011. Investigation of drought tolerance indices in new corn (*Zea maize* L.) hybrids. Iranian Journal of Field Crops Research, 9(1): 103-113.
19. Ilker, E., F. Tartar Aykut-Tonk and M. Tosun. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. Turkish Journalof Field Crop, 16(1): 59-63.
20. Jafari, A., F. Paknejad and M. Jami-Al-Ahmadi. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. International Journal of Plant Production, 3(4): 33-38.
21. Karimizadeh, R. and M. Mohammadi. 2011. Association of canopy temperature depression with yield of durum wheat genotypes under supplemental irrigation and rainfed conditions. Australian Journal of Crop Science, 5: 138-146.
22. Khakwani, A.A., M.D. Dennett, M. Munir and M. Abid. 2012. Growth and yield response of wheat varieties to water stress at booting and anthesis stages of development. Pakistan Journal of Botany, 44(3): 879-886.
23. Khezri Afravi, M., E.A. Hoseinzadeh, V.A. Mohammadi and E. Ahmadi. 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.

24. Kilic, H. and T. Yagbasanlar. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38(1): 164-170.
25. Krishania, S., P. Dwivedi and K. Agarwal. 2013. Strategies of adaptation and injury exhibited by plants under a variety of external conditions: a short review. Comunicata Scientiae, 4(2): 103-110.
26. Kristin, A.S., R.R. Serna, F.I. Perez, B.C. Enriquez, J.A.A. Gallegos and P.R. Vallego. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.
27. Lin, C.S., M. Binns and L.P. Lefkovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Science, 26: 894-900.
28. Majidi, M.M., V. Tavakoli, A. Mirlohi and M.R. Sabzalian. 2011. Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus Bieb*): A possible source of drought tolerance for arid environment. Australian Journal of Agricultural Research, 5: 1055-1066.
29. Mohammadi, R., D. Sadeghzadeh, M. Armion and A. Amri. 2011. Evaluation of durum wheat experimental lines under different climate and water regime strategies. Crop and Pasture Science, 62:137-151.
30. Mollasadeghi, V., M. Valizadeh, R. Shahryari and A. Imani. 2011. Evaluation of end drought tolerance of 12 wheat genotypes by stress indices. World Applied Science Journal, 13(3): 545-551.
31. 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.
32. Nouri, A., A. Etminan, A.D. Jaime, T. Da-Silva and R. Mohammadi. 2011. Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* var. Durum Desf.). Australian Journal of Crop Science, 5(1): 8-16.
33. Nouri-Ganbalani, A., G. Nouri-Ganbalani and D. Hassanpanah. 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, 7: 228-234.
34. Pireivatlou, A.S., B.D. Masjedlou and R.T. Aliyev. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. African Journal of Agricultural Research, 5: 2829-2836.
35. Ranjbar, G.H. and M.J. Rousta. 2010. The most effective stability index for selection of wheat genotypes in saline condition. Soil Research Journal, 24(3): 283-290.
36. Rosielle, A.A., J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.
37. Salehi, M. and S.A. Mosavat. 2008. Selection criteria of wheat genotypes under salt stress in Golestan province. Electronic Journal of Crop Production, 1(4): 19-33.
38. Sio-Se-Mardeha. A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research, 98: 222-229.
39. Sokoto, M.B. and A. Singh. 2013. Yield and yield components of bread wheat as influenced by water stress, sowing date and cultivar in Sokoto, Sudan Savannah, Nigeria. American Journal of Plant Sciences, 4: 122-130.
40. Soleymanifard, A., K.H. Fasihi, H. Nasirirad and R. Naseri. 2010. Evolution of stress tolerance indices in durum wheat genotypes. Journal of Plant Production, 17: 39-58.
41. Spiertz, J.H.J., R.J. Harmer, H. XU, C. Primo-Martinc, C. Don and P.E.l. Vander Putten. 2006. Heat stress in wheat effects on grain weight and quality within genotypes. Europian Journalof Agriculture, 29: 89-95.
42. Talebi, R., F. Fayaz and A.M. Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat. General and Applied Plant Physiology, 35(1-2): 64-74.
43. Yarnia, M., N. Arabifard, F. Rahmizadeh Khoei and P. Zandi. 2011. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivars. African Journal of Biotechnology, 10: 10914-10922.
44. Zebarjadi, A.R., S. Tavakoli Shadpey, A.R. Etminan and R. Mohammadi. 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotype using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal, 29-1: 1-12.

Evaluation of Grain Yield, Agronomical Traits and Drought Tolerance Indices in Some Bread Wheat Cultivars

Ali Eftekhari[1], Amin Baghizadeh[2], Rooholah Abdoshahi[3] and Mohammad Mahdi Yaghoubi[2]

1- Assistant professor, Department of Agricultural sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran
3- Associate Professor, Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran
Received: June 22, 2018 Accepted: May 11, 2019

Abstract

In order to study genetic variation and effect of drought stress on grain yield, some agronomical traits and 13 drought tolerance indices, an experiment was conducted on nine cultivars at Shahid Bahonar University of Kerman research field. The experimental layout was conducted in a randomized complete block design with three replications under two complementary irrigation and dryland conditions. Results indicated that cultivars and environment treatments significantly affect the yield and the most of the other evaluated traits. Significant reduction was found in grain yield, flag leaf area and seed weight as a result of the drought. According to the results of drought indices ~~and~~ cultivars distribution in biplot, STS, YI, HARM, STI, MP and GMP are the most suitable indices. According to these results, Mahdavi, Kavir and Roushan are tolerant drought cultivars. Therefore, these cultivars can be introduced as a right candidate for the next breeding programs.

Keywords: Biplot, Bread Wheat, Drought Stress, Grain Yield, Tolerance Indices