دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی ارقام گندم بهاره بر اساس شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی

محمدرضا نقوی[۱]، محمد مقدم[۲]، محمود تورچی[۲] و محمدرضا شکیبا[۲]

۱- استادیار، بخش کشاورزی دانشگاه پیام نور ایران، (نویسنده مسوول: mr_naghavi@ymail.com)
۲- استاد، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۴

چکیده

به منظور ارزیابی ارقام گندم بهاره از نظر تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های مقاومت به تنش، دو آزمایش جداگانه بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال انجام شد. این پژوهش در دو شرایط آبیاری کامل (شاهد) و تنش خشکی اعمال شده قبل و بعد از مرحله آبستنی است که در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا گردید. بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (YP) و تنش (YS)، شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی از قبیل: شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل تنش غیرزیستی (ATI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص مقاومت به تنش خشکی (DI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل تنش تغییریافته (MSTI) (K1STI و K2STI) محاسبه شدند. تحلیل هم‌بستگی عملکرد در محیط تنش و بدون تنش با شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که MP، GMP، STI و HM مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ارقام گندم بهاره در هر دو آزمایش می‌باشند. با توجه به این شاخص‌ها و عملکرد بالا در دو محیط تنش و بدون تنش و با استفاده از نمودارهای سه‌بعدی، 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 مقاومت به خشکی یعنی MP، GMP، STI و HM قرار دارند. هم‌چنین توزیع ارقام در فضای بای پلات وجود تنوع ژنتیکی ارقام نسبت به تنش خشکی را نشان داد. تجزیه خوشه‌ای نیز مؤید نتایج مذکور بود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، گندم، آبستنی، شاخص‌های مقاومت، بای پلات، تجزیه خوشه‌ای

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبه‌رو ساخته و بازده تولید را کاهش می‌دهد. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داده که همراه بودن مراحل رشد و نمو گیاه با تنش خشکی موجب کاهش در اکثر صفات وابسته به عملکرد می‌شود (۲۵). تولید محصولات در مناطق نیمه خشک و در شرایط کمبود رطوبت محدود می‌شود، که این محدودیت با استفاده از کاهش طول مرحله رویشی، کاهش ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ و هم‌چنین عدم جوانه‌زنی و گلدهی به موقع گیاه، باعث کاهش در عملکرد می‌گردد (۳۳،۹). تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها ابداع شده و مورد استفادهٔ به‌نژادگران قرار گرفته است. متخصصین معتقدند برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام متحمل به خشکی باید شاخص‌هایی را که در شناسایی پایداری عملکرد ارقام در شرایط تنش موثرند، شناسایی نموده و آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه، معیارهایی برای انتخاب مورد استفاده قرار داد (۳۱). کلارک و همکاران (۱۱) عنوان کردند ارزیابی عملکرد ارقام در شرایط تنش و شرایط مطلوب یک نقطه شروع در شناسایی ارقام مقاوم به خشکی می‌باشد. هدف اصلی این آزمایشات انتخاب ژنوتیپ‌هایی است که به هر دو شرایط فوق سازگار باشند. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف وتعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه شده است و همواره هدف از آن‌ها تهیه ارقام متحمل به خشکی یا معرفی ارقامی بوده که به طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط یکسان افتعملکرد کمتری داشته باشند (۴۴). فیشر و مورر (۱۸)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)[۱]، روزیل و هامبلین (۳۷)، شاخص تحمل (TOL)[۲] و شاخص بهره‌وری متوسط (MP)[۳]، فرناندز (۱۷)، شاخص تحمل به تنش (STI)[۴] و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)[۵] را برای شناسایی و غربال نمودن ژنوتیپ‌های مقاوم یا حساس ارائه دادند. هم‌چنین برای ارزیابی توانایی تحمل ژنوتیپ‌ها در برابر تنش، شاخص حساسیت به خشکی (DSI) ابداع و مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۷). میانگین هارمونیک (Harm)[۶] نیز از شاخص‌هایی است که در ارزیابی تحمل به تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۴). بعضی محققان به انتخاب ارقام با عملکرد بالا در شرایط مطلوب (۷) و بعضی در شرایط تنش (۱۰) اعتقاد دارند، اما

1- Stress Susceptibility Index
2- Tolerance
3- Mean Productivity
4- Stress Tolerance Index
5- Geometric Mean Productivity
6- Harmonic

گزارش‌های دیگر نشان می‌دهد که انتخاب ارقام با عملکرد دانه بالا تحت هر دو شرایط تنش و غیرتنش در شناسایی ارقام مقاوم مؤثرتر می‌باشد (۴۳،۳۵،۱۸،۱۷،۴۳). بنابراین، ارقامی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد یکسانی هستند و یا تفاوت عملکرد کمی دارند، دارای تحمل نسبی به خشکی هستند. بنابراین، یکی از مسایل مهم در ارزیابی ارقام برای تحمل به خشکی، اندازه‌گیری کمی معیارهای تحمل به خشکی است (۱۱). یکی از اهداف استراتژیک در برنامه‌های به‌نژادی، معرفی یک یا چند ژنوتیپ سازگار برای کشت در یک یا چند منطقه است، در این راستا عکس‌العمل این ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت بررسی می‌شود. به عبارت دیگر هدف اصلی اجرای آزمایشات مقایسه عملکرد در مناطق مختلف و انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط دارای تنش و شرایط عادی می‌باشد (۱۲). در یک پژوهش نحوه عمل ژن، وراثت‌پذیری عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی مطالعه و مشخص شد که از میان شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، تنها دو شاخص پاسخ به خشکی DRI[1] و متوسط بهره‌وری از وراثت‌پذیری خصوصی بالایی برخوردار بودند (۲). GMP و STI در بسیاری از تحقیقات مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شناسایی شده‌اند (۴۵،۲۶،۱۳،۵). هم‌چنین فرناندز (۱۷) بیان کرد شاخص STI قادر است ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد بالا دارند را گزینش نماید.

از طرف دیگر، شاخص‌های پرویزی‌آلمانی (۳۲) در بررسی شاخص‌های مقاومت به خشکی شاخص تحمل خشکی (STI) را شاخصی مناسب برای شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مقاوم معرفی نمود. سمیع‌زاده لاهیجی (۳۸) در تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های حساسیت به خشکی در ارقام نخود سفید براساس هم‌بستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های مقاومت به خشکی نتیجه گرفت که شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص تحمل خشکی (STI) شاخص مناسبی برای برآورد و پایداری عملکرد و دست‌یابی به ارقام با عملکرد بالا می‌باشد. علاوه بر این، کارگر و همکاران (۲۶) توانستند شاخص‌های GMP و STI را از مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شناسایی کنند. سانداری و همکاران (۴۵) و جعفری و همکاران (۲۳) علاوه بر GMP و STI، شاخصMP را نیز شاخص بهتر برای تعیین تحمل به تنش ارقام معرفی کردند. احمدزاده (۱) نیز در شناسایی لاین‌های پرمحصول و متحمل به تنش کمبود آب در ذرت، اظهار داشت که شاخص MP از ویژگی مطلوب بیشتری برخوردار است. افزون بر این، تقیان و ابوالوفا (۴۶) هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار YP و YS با STI، MP وGMP را در گندم گزارش کردند و نتیجه‌گیری کرده که شاخص‌های MP، GMP و STI می‌توانند از مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی و شناسایی ارقام تحت تنش کم‌بود آب در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند. هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی تنوع ژنتیکی ارقام گندم بهاره از نظر مقاومت به خشکی، انتخاب بهترین شاخص‌های مقاومت به خشکی و شناسایی ارقام مقاوم به تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۲۰ رقم گندم بهاره (جدول ۱) که از بخش غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند، برای ارزیابی تحمّل به تنش خشکی مورد استفاده قرار گرفتند. عملیات مزرعه‌ای در درجه سانتی‌گراد است (۲۴). آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و در طی دو سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ و ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد.

ارقام گندم مورد مطالعه، درون لوله‌های پولیکای به طول یک متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر پر شده از خاک زراعی لومی ایستگاه، که در کنار یکدیگر و در زیر خاک قرار گرفته بودند، کشت شدند. بعد از کشت بذور داخل لوله‌ها در مرحله شروع پنجه‌دهی با تنک کردن، تعداد بوته به سه بوته در هر لوله تقلیل داده شد. تنش خشکی قبل و بعد از مرحله آبستنی از طریق قطع آبیاری به مدت دو هفته اعمال شد و برای جلوگیری از بارندگی‌های ناخواسته در طول دوره رشد از پوشش پلاستیکی بالای مساحت مورد آزمایش استفاده گردید. عملکرد دانه در واحد بوته با اندازه‌گیری اجزای عملکرد شامل تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه محاسبه شد. از میانگین عملکرد دانه در طی دو سال برای محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش استفاده شد. سپس شاخص‌های تحمل تنش خشکی شامل شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل تنش غیرزیستی (ATI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص مقاومت به تنش خشکی (DI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل تنش تغییریافته (MSTI) (K1STI و K2STI) از طریق روابط زیر محاسبه شدند (۱۹،۱۸،۱۷،۸):

1- Drought Response Index

$TOL = Yp - Ys$
$MP = (Ys + Yp)/2$
$GMP = \sqrt{Ys \times Yp}$
$STI = (Ys \times Yp)/(\bar{Y}p^2)$
$ATI = ((Yp - Ys)/(\bar{Y}s/\bar{Y}p)) \times \sqrt{Ys \times Yp}$
$SSI = (1 - (Ys/Yp))/(1 - (\bar{Y}s)/(\bar{Y}p))$
$YI = (Ys)/(\bar{Y}s)$
$DI = (Ys \times (Ys/Yp))/\bar{Y}s$
$YSI = Y_s/Y_p$
$HM = 2(Ys \times Yp)/(Ys + Yp)$
ki STI, $K_1STI = Y_p^2/\bar{Y}_p^2$
$K_2STI = Y_s^2/\bar{Y}_s^2$

در این روابط، Yp: عملکرد گیاهان درشرایط بدون تنش، Ys : عملکرد گیاهان در شرایط تنش، $\bar{Y}p$: میانگین عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش و $\bar{Y}s$: میانگین عملکرد ارقام در شرایط تنش می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه مقادیر شاخص‌ها و هم‌بستگی آن‌ها از نرم‌افزار SPSS ورژن ۱۶ استفاده شد و تجزیه به مولفه‌های اصلی، رسم نمودارهای سه بعدی، بای پلات و هم‌چنین تجزیه کلاستر به‌وسیله نرم‌افزار Statgraphics انجام شدند.

جدول ۱- اسامی ارقام گندم بهاره مورد مطالعه

شماره	اسم ارقام	Name of cultivars	شماره	اسم ارقام	Name of cultivars
۱	مهدوی	Mahdavi	۱۱	سیوند	Sivand
۲	پیشتاز	Pishtaz	۱۲	پارس	Pars
۳	بم	Bam	۱۳	بهار	Bahar
۴	سیستان	Sistan	۱۴	بک کراس روشن	BC Roshan
۵	زاگرس	Zagros	۱۵	کویر	Kavir
۶	مرودشت	Marvdasht	۱۶	نیک نژاد	Nik nejhad
۷	سپاهان	Sepahan	۱۷	دریا	Darya
۸	افلاک	Aflak	۱۸	مروارید	Morvarid
۹	آرتا	Arta	۱۹	روشن	Roshan
۱۰	ارگ	Arg	۲۰	مغان۳	Moghan3

نتایج و بحث

بیشترین عملکرد در شرایط شاهد آزمایش تنش خشکی بعد از آبستنی مربوط به ارقام نیک‌نژاد، کویر و مغان۳ بود، در حالی‌که برای این شرایط در تنش قبل از آبستنی ارقام کویر، دریا و مغان۳ بیشترین عملکرد را داشتند، در عین حال، کمترین عملکرد در شرایط شاهد هر دو آزمایش مربوط به ارقام بهار و سپاهان بود. از طرف دیگر در شرایط تنش بعد از آبستنی کویر، دریا و مغان۳ بیشترین و بهار و سیوند کمترین عملکرد را داشتند. در حالی که برای شرایط تنش قبل از آبستنی نیک‌نژاد، کویر و روشن بالاترین و بهار و پیشتاز پایین‌ترین عملکرد دانه را داشتند (جداول ۲ و ۳). در مناطق نیمه خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، پتانسیل عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار تحمل به خشکی محسوب نمی‌شود بلکه پایداری عملکرد، مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و مطلوب معیار مناسب‌تری برای واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی پذیرفته می‌شود (۴۲). ریچارد (۳۶) عقیده داشت که انتخاب ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی سبب تجمع آلل‌های مطلوب شده و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر گزینش می‌شوند.

اولین شاخص، TOL می‌باشد که مقادیر پایین آن نشان‌دهنده تحمل ارقام به تنش می‌باشد. در شرایط تنش خشکی بعد از مرحله آبستنی در بین ارقام مورد مطالعه، سپاهان و بهار کمترین و نیک‌نژاد و مروارید بیشترین مقادیر را داشتند در حالی که در شرایط تنش قبل از مرحله آبستنی دریا و کویر بالاترین و سپاهان و زاگرس پایین‌ترین مقدار را داشتند (جداول ۲ و ۳). از شاخص‌های دیگر، SSI است که بر اساس آن در شرایط تنش بعد از آبستنی ارقام سپاهان و کویر متحمل‌ترین و سیوند و ارگ حساس‌ترین ارقام بودند، در حالی که از نظر این شاخص در تنش قبل از آبستنی ارقام زاگرس و بهار به ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام شناخته شدند (جداول ۲ و ۳). بیان شده است که از آنجایی که پایین بودن درصد تغییرات به عنوان یک فاکتور مقاومت به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیکی دارد تا زراعی، می‌توان نتیجه گرفت انتخاب بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و تحمل به تنش (TOL) باعث گزینش ارقامی با عملکرد به نسبت پایین در محیط عادی و عملکرد پایین در محیط دارای تنش می‌گردد، که چنین ارقامی مطابق با گزارش‌های اشنایدر و همکاران (۴۰) به علت عملکرد پایین، از نظر زراعی نامطلوب می‌باشند. هم‌چنین در مورد شاخص تحمل به تنش TOL مشخص شده که پایین بودن مقدار این شاخص الزاماً به دلیل بالا بودن عملکرد رقم در محیط تنش نمی‌باشد، چرا که ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کمتری همراه باشد، که باعث کوچک شدن شاخص تحمل به تنش شود و در نتیجه این رقم، رقمی متحمل معرفی گردد (۲۹). بر اساس شاخص‌های MP، GMP و STI تحت شرایط

تنش خشکی بعد از مرحله آبستنی کویر، نیک‌نژاد و مغان۳، متحمل‌ترین و بهار، بم و پارس، حساس‌ترین ارقام در نظر گرفته شدند، در حالی‌که در تنش خشکی قبل از آبستنی بر اساس این شاخص‌ها بهار، پیشتاز و بم حساس‌ترین و کویر، نیک‌نژاد و دریا متحمل‌ترین ارقام شناخته شدند. (جداول ۲ و ۳). شاخص تحمل به تنش (STI) ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش، عملکرد بالایی دارند (۱۷). بنابراین طبق نظر فرناندز (۱۷) بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص STI است. چون این شاخص قادر است ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط شاهد و تنش (A) را از گروه ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا فقط در شرایط شاهد (B) و یا گروه دارای عملکرد بالا فقط در شرایط تنش (C) جدا نماید. هم‌چنین، با ارزیابی یازده ژنوتیپ گندم نان گزارش شده است که در شرایط تنش ملایم شاخص‌های MP، STI و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش مناسب هستند (۴۳).

شاخص دیگر ATI می‌باشد که مقادیر بالای این شاخص برای یک رقم نشان دهنده تحمل بیشتر آن رقم به تنش می‌باشد. بر اساس این شاخص تحت شرایط تنش بعد از آبستنی، نیک‌نژاد و مغان۳ متحمل‌ترین و بهار حساس‌ترین ارقام بود (جدول ۲). تحت شرایط تنش قبل از آبستنی از نظر این شاخص کویر متحمل‌ترین و سپاهان، زاگرس و بهار حساس‌ترین ارقام تشخیص داده شدند (جدول ۳). بر اساس شاخص‌های DI و YSI حساس‌ترین رقم در تنش بعد از آبستنی سیوند و متحمل‌ترین ارقام برای شاخص DI، کویر، دریا و سپاهان و برای شاخص YSI سپاهان، کویر و سیستان بودند. از طرف دیگر، بر اساس این شاخص‌ها، برای تنش قبل از آبستنی زاگرس، روشن و مهدوی متحمل‌ترین و بهار حساس‌ترین ارقام بودند (جداول ۲ و ۳). بر اساس سه شاخص YI، HM و K2STI رقم کویر و براساس K1STI ارقام نیک‌نژاد و کویر دارای تحمل بیش‌تر تحت تنش بعد از آبستنی و رقم کویر بودند. در حالی که، بر اساس شاخص‌های YI، HM و K1STI رقم کویر و بر اساس شاخص K2STI ارقام نیک‌نژاد و کویر دارای تحمل بیش‌تر تحت تنش خشکی قبل از آبستنی بودند. در عین حال، بر اساس همین شاخص‌ها رقم بهار تحت تنش بعد از آبستنی حساس‌ترین رقم و تحت تنش قبل از آبستنی نیز بر اساس شاخص‌های YI، HM و K2STI رقم بهار و بر اساس شاخص K1STI دو رقم سپاهان و بهار حساس‌ترین ارقام بودند (جداول ۲ و ۳). گزارش شده است که شاخص پایداری عملکرد (YSI)، عملکرد در شرایط تنش یک رقم را وابسته به عملکرد غیرتنش آن ارزیابی می‌کند و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد، بنابراین انتظار می‌رودکه ارقامی با YSI بالاتر، در هر دو شرایط عملکرد بالاتری داشته باشند (۸). در حالی که در مطالعه سی و سه مرده و همکاران (۴۳) ارقامی با YSI بالاتر حداقل عملکرد را در شرایط غیرتنش و بالاترین عملکرد را در شرایط تنش نشان دادند. هم‌چنین اظهار شده است که شاخص عملکرد (YI) ارقام را فقط بر اساس عملکرد تنش رتبه‌بندی می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد (۴۳).

به طور کلی، برای اکثر شاخص‌های مورد مطالعه در هر دو شرایط تنش قبل و بعد از مرحله آبستنی، می‌توان ارقام کویر و نیک‌نژاد را به عنوان ارقام متحمل انتخاب کرد. حساس‌ترین ارقام نیز از نظر شاخص‌های مورد مطالعه در آزمایش تنش بعد از آبستنی رقم بهار، سیوند، پارس و بم و در آزمایش تنش قبل از آبستنی بهار و پیشتاز می‌باشد.

تاکنون برای شناسایی ارقام متحمل به تنش شاخص‌های متعددی براساس روابط ریاضی بین شرایط تنش و غیرتنش ارائه شده است (۲۲)، ولی به طورکلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارای هم‌بستگی بالایی با عملکرد باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر محیط هستند و می‌توان از آن‌ها برای تخمین پایداری عملکرد استفاده کرد (۶، ۳۰، ۴۳).

ضرایب هم‌بستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه تحت شرایط تنش بعد و قبل از آبستنی در ارقام گندم بهاره به ترتیب در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. مشاهده می‌شود که تحت هر دو شرایط، Y_P هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ با Y_S، TOL، MP، GMP، STI، ATI، YI، HM، K1STI و K2STI داشت. ولی هم‌بستگی آن با شاخص‌های SSI، DI و YSI معنی‌دار نشد. هم‌بستگی Y_S با MP، GMP، STI، ATI، YI، DI، HM، K1STI و K2STI در هر دو شرایط تنش خشکی بعد و قبل از آبستنی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود و در شرایط تنش خشکی قبل از آبستنی علاوه بر این، با YSI نیز هم‌بستگی مثبت و با شاخص SSI هم‌بستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ داشت (جداول ۴ و ۵). با توجه به این نتایج شاخص‌های MP، GMP، STI، ATI، YI، HM، K1STI و K2STI هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری در هر دو آزمایش با عملکرد دانه در شرایط شاهد و تنش داشتند و لذا برای غربال مطلوب‌تر ارقام متحمل گندم، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

افزون بر این هم‌بستگی بین شاخص‌های MP، GMP، STI، ATI، YI، HM، K1STI و K2STI در هر دو آزمایش مثبت و معنی‌دار بود که با توجه به هم‌بستگی آن‌ها با عملکرد دانه در هر دو شرایط بر مطلوبیت استفاده هم‌زمان این شاخص‌ها در گزینش ارقام می‌افزاید. بر اساس این شاخص‌ها متحمل‌ترین رقم کویر و حساس‌ترین آن‌ها رقم بهار می‌باشد. هم‌چنین شاخص TOL با MP، GMP، STI، ATI، SSI، HM و K1STI هم‌بستگی مثبت و با YSI هم‌بستگی منفی و معنی‌داری در هر دو آزمایش داشت.

در حالی که شاخص SSI هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری در دو آزمایش با دو شاخص TOL و ATI داشت و این شاخص در شرایط تنش خشکی بعد از آبستنی هم‌بستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ با YSI و DI داشت و در شرایط تنش قبل از آبستنی علاوه بر این دو شاخص هم‌بستگی آن با شاخص‌های YI و K2STI نیز منفی و معنی‌دار بود (جداول ۴ و ۵). فرناندز (۱۷) با استفاده از نتایج هم‌بستگی بین شاخص‌های TOL، MP، SSI و STI با Y_S و Y_P نتیجه گرفت که STI شاخص خوبی از نظر عملکرد در شرایط عادی و شرایط تنش می‌باشد. قاجارسپانلو و همکاران (۳۴) گزارش نمودند که عملکرد در شرایط تنش و عادی از ضرایب هم‌بستگی بالاتری با شاخص‌های GMP، MP و STI برخوردار است. با توجه به گزارش نعیمی و همکاران (۳۰)، شاخص‌های MP، GMP و STI به واسطه دارا بودن هم‌بستگی مثبت و معنی دار با عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل کلزا به تنش آخر فصل می باشند.

فرشادفر و همکاران (۱۶) روی نخود و خلیل‌زاده و کربلایی خیاوی (۲۷) روی گندم دوروم بر این اعتقادند که مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای هم‌بستگی به نسبت بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد، زیرا هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌ها و عملکرد در هر دو شرایط تنش و غیرتنش، مناسب بودن این شاخص‌ها را برای ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد. در بررسی دیگری که توسط سنجری (۳۹) انجام گرفت هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص‌های MP و TOL و در شرایط واجد تنش با شاخص‌های STI و MP در رابطه با گندم وجود داشت. گلابادی و همکاران (۲۱) نیز روابط Y_P و Y_S را با MP و STI مثبت گزارش کردند. علاوه بر این، جعفری و همکاران (۲۳) نشان دادند که این شاخص‌ها هم‌بستگی بالایی با عملکرد در شرایط عادی و تنش کمبود آب دارند. مالکی و همکاران (۲۸) نیز همین نتایج را در گندم به‌دست آوردند.

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب درارقام گندم بر اساس عملکرد دانه تحت تنش بعد از آبستنی

شاخص‌های تحمل به تنش خشکی															
Cultivars	ارقام	†Yp	Ys	Tol	MP	GMP	STI	ATI	SSI	YI	DI	YSI	HM	K1STI	K2STI
Mahdavi	مهدوی	۱۱/۰۵	۵/۱۱	۵/۹۴	۸/۰۸	۷/۵۱	۰/۵۱	۸۷/۹۴	۱/۰۹	۰/۹۶	۰/۴۴	۰/۴۶	۶/۹۹	۱/۱۰	۰/۹۱
Pishtaz	پیشتاز	۹/۴۶	۵/۳۱	۴/۱۵	۷/۳۸	۷/۰۹	۰/۴۵	۵۷/۹۷	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۵۶	۰/۵۶	۶/۸۰	۰/۸۱	۰/۹۹
Bam	بم	۸/۷۵	۴/۵۷	۴/۱۸	۶/۶۶	۶/۳۲	۰/۳۶	۵۲/۰۳	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۴۵	۰/۵۲	۶/۰۱	۰/۶۹	۰/۷۳
Sistan	سیستان	۸/۸۳	۴/۹۶	۳/۸۷	۶/۹۰	۶/۶۲	۰/۴۰	۵۰/۴۷	۰/۸۹	۰/۹۳	۰/۵۲	۰/۵۶	۶/۳۵	۰/۷۰	۰/۸۶
Zagros	زاگرس	۱۰/۹۱	۵/۲۰	۵/۷۰	۸/۰۵	۷/۵۳	۰/۵۱	۸۴/۶۳	۱/۰۶	۰/۹۷	۰/۴۶	۰/۴۸	۷/۰۴	۱/۰۷	۰/۹۵
Marvdasht	مرودشت	۱۱/۸۶	۶/۰۴	۵/۸۲	۸/۹۵	۸/۴۶	۰/۶۵	۹۷/۰۸	۱/۰۰	۱/۱۳	۰/۵۸	۰/۵۱	۸/۰۰	۱/۲۷	۱/۲۸
Sepahan	سپاهان	۸/۷۴	۵/۴۶	۳/۲۸	۷/۱۰	۶/۹۱	۰/۴۳	۴۴/۶۵	۰/۷۶	۱/۰۲	۰/۶۴	۰/۶۲	۶/۷۲	۰/۶۹	۱/۰۵
Aflak	افلاک	۱۱/۴۴	۵/۴۶	۵/۹۸	۸/۴۵	۷/۹۱	۰/۵۶	۹۳/۱۷	۱/۰۶	۱/۰۲	۰/۴۹	۰/۴۸	۷/۳۹	۱/۱۸	۱/۰۵
Arta	آرتا	۱۰/۷۴	۵/۳۸	۵/۳۷	۸/۰۶	۷/۶۰	۰/۵۲	۸۰/۳۱	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۵۰	۰/۵۰	۷/۱۶	۱/۰۴	۱/۰۱
Arg	ارگ	۱۱/۲۳	۵/۰۴	۶/۱۸	۸/۱۴	۷/۵۲	۰/۵۱	۹۱/۶۷	۱/۱۲	۰/۹۴	۰/۴۲	۰/۴۵	۶/۹۶	۱/۱۴	۰/۸۹
Sivand	سیوند	۹/۹۸	۴/۳۳	۵/۶۴	۷/۱۶	۶/۵۸	۰/۳۹	۷۳/۰۹	۱/۱۵	۰/۸۱	۰/۳۵	۰/۴۳	۶/۰۴	۰/۹۰	۰/۶۶
Pars	پارس	۹/۲۴	۴/۵۲	۴/۷۳	۶/۸۸	۶/۴۶	۰/۳۸	۶۰/۱۹	۱/۰۴	۰/۸۵	۰/۴۱	۰/۴۹	۶/۰۷	۰/۷۷	۰/۷۲
Bahar	بهار	۷/۴۳	۴/۱۱	۳/۳۲	۵/۷۷	۵/۵۳	۰/۲۸	۳۶/۱۴	۰/۹۱	۰/۷۷	۰/۴۳	۰/۵۵	۵/۲۹	۰/۵۰	۰/۵۹
BC Roshan	بک کراس روشن	۱۱/۲۵	۵/۳۰	۵/۹۵	۸/۲۷	۷/۷۲	۰/۵۴	۹۰/۴۹	۱/۰۷	۰/۹۹	۰/۴۷	۰/۴۷	۷/۲۰	۱/۱۴	۰/۹۸
Kavir	کویر	۱۲/۳۰	۶/۹۶	۵/۳۴	۹/۶۳	۹/۲۵	۰/۷۷	۹۷/۴۰	۰/۸۸	۱/۳۰	۰/۷۴	۰/۵۷	۸/۸۹	۱/۳۷	۱/۷۰
Nik nejhad	نیک نژاد	۱۲/۴۶	۶/۱۵	۶/۳۱	۹/۳۱	۸/۷۵	۰/۶۹	۱۰۸/۹۱	۱/۰۳	۱/۱۵	۰/۵۷	۰/۴۹	۸/۲۴	۱/۴۰	۱/۳۳
Darya	دریا	۱۱/۶۳	۶/۳۳	۵/۳۰	۸/۹۸	۸/۵۸	۰/۶۷	۸۹/۵۲	۰/۹۲	۱/۱۹	۰/۶۵	۰/۵۴	۸/۲۰	۱/۲۲	۱/۴۱
Morvarid	مروارید	۱۱/۷۴	۵/۴۲	۶/۳۳	۸/۵۸	۷/۹۸	۰/۵۷	۹۹/۴۳	۱/۰۹	۱/۰۱	۰/۴۷	۰/۴۶	۷/۴۱	۱/۲۵	۱/۰۳
Roshan	روشن	۹/۲۲	۴/۸۵	۴/۳۷	۷/۰۴	۶/۶۹	۰/۴۰	۵۷/۵۹	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۴۸	۰/۵۳	۶/۳۶	۰/۷۷	۰/۸۳
Moghan3	مغان۳	۱۲/۱۲	۶/۳۰	۵/۸۳	۹/۲۱	۸/۷۴	۰/۶۹	۱۰۰/۲۸	۰/۹۸	۱/۱۸	۰/۶۱	۰/۵۲	۸/۲۹	۱/۳۳	۱/۳۹

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب درارقام گندم بر اساس عملکرد دانه تحت تنش قبل از آبستنی

		شاخص‌های تحمل به تنش خشکی													
Cultivars	ارقام	Yp	Ys	Tol	MP	GMP	STI	ATI	SSI	YI	DI	YSI	HM	K1STI	K2STI
Mahdavi	مهدوی	۸/۹۴	۴/۸۰	۴/۱۴	۶/۸۷	۶/۵۵	۰/۴۸	۶۴/۱۲	۰/۸۰	۱/۲۰	۰/۶۴	۰/۵۴	۶/۲۵	۰/۸۹	۱/۴۳
Pishtaz	پیشتاز	۷/۳۷	۲/۷۱	۴/۶۶	۵/۰۴	۴/۴۷	۰/۲۲	۴۹/۳۲	۱/۱۰	۰/۶۸	۰/۲۵	۰/۳۷	۳/۹۶	۰/۶۰	۰/۴۶
Bam	بم	۷/۵۸	۳/۰۱	۴/۵۷	۵/۲۹	۴/۷۸	۰/۲۵	۵۱/۵۹	۱/۰۴	۰/۷۵	۰/۳۰	۰/۴۰	۴/۳۱	۰/۶۴	۰/۵۶
Sistan	سیستان	۷/۷۸	۴/۰۶	۳/۷۲	۵/۹۲	۵/۶۲	۰/۳۵	۴۹/۵۴	۰/۸۳	۱/۰۱	۰/۵۳	۰/۵۲	۵/۳۴	۰/۶۷	۱/۰۲
Zagros	زاگرس	۸/۰۸	۴/۹۰	۳/۱۸	۶/۴۹	۶/۲۹	۰/۴۴	۴۷/۳۸	۰/۶۸	۱/۲۲	۰/۷۴	۰/۶۱	۶/۱۰	۰/۷۲	۱/۴۹
Marvdasht	مرودشت	۱۰/۸۴	۳/۷۹	۷/۰۵	۷/۳۱	۶/۴۱	۰/۴۶	۱۰۶/۸۴	۱/۱۳	۰/۹۴	۰/۳۳	۰/۳۵	۵/۶۱	۱/۳۰	۰/۸۹
Sepahan	سپاهان	۷/۱۷	۳/۶۳	۳/۵۴	۵/۴۰	۵/۱۰	۰/۲۹	۴۲/۶۹	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۴۶	۰/۵۱	۴/۸۲	۰/۵۷	۰/۸۲
Aflak	افلاک	۹/۱۹	۳/۴۷	۵/۷۲	۶/۳۳	۵/۶۵	۰/۳۵	۷۶/۴۳	۱/۰۸	۰/۸۶	۰/۳۳	۰/۳۸	۵/۰۴	۰/۹۴	۰/۷۵
Arta	آرتا	۸/۰۷	۳/۲۱	۴/۸۶	۵/۶۴	۵/۰۹	۰/۲۹	۵۸/۵۷	۱/۰۴	۰/۸۰	۰/۳۲	۰/۴۰	۴/۶۰	۰/۷۲	۰/۶۴
Arg	ارگ	۹/۵۲	۴/۱۸	۵/۳۵	۶/۸۵	۶/۳۱	۰/۴۴	۷۹/۷۸	۰/۹۷	۱/۰۴	۰/۴۶	۰/۴۴	۵/۸۱	۱/۰۱	۱/۰۸
Sivand	سیوند	۸/۶۴	۳/۲۹	۵/۳۵	۵/۹۷	۵/۳۴	۰/۳۲	۶۷/۵۵	۱/۰۷	۰/۸۲	۰/۳۱	۰/۳۸	۴/۷۷	۰/۸۳	۰/۶۷
Pars	پارس	۸/۸۴	۳/۷۲	۵/۱۲	۶/۲۸	۵/۷۳	۰/۳۶	۶۹/۴۰	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۳۹	۰/۴۲	۵/۲۴	۰/۸۷	۰/۸۶
Bahar	بهار	۷/۲۸	۲/۴۴	۴/۸۴	۴/۸۶	۴/۲۱	۰/۲۰	۴۸/۲۸	۱/۱۵	۰/۶۱	۰/۲۰	۰/۳۴	۳/۶۶	۰/۵۹	۰/۳۷
BC Roshan	بک کراس روشن	۹/۴۳	۴/۳۷	۵/۰۶	۶/۹۰	۶/۴۲	۰/۴۶	۷۶/۸۰	۰/۹۳	۱/۰۹	۰/۵۱	۰/۴۶	۵/۹۷	۰/۹۹	۱/۱۹
Kavir	کویر	۱۳/۸۱	۵/۰۷	۸/۷۵	۹/۴۴	۸/۳۶	۰/۷۸	۱۷۳/۰۷	۱/۱۰	۱/۲۶	۰/۴۶	۰/۳۷	۷/۴۱	۲/۱۲	۱/۵۹
Nik nejhad	نیک نژاد	۱۲/۱۴	۵/۱۶	۶/۹۸	۸/۶۵	۷/۹۲	۰/۷۰	۱۳۰/۶۹	۱/۰۰	۱/۲۹	۰/۵۵	۰/۴۳	۷/۲۴	۱/۶۳	۱/۶۶
Darya	دریا	۱۳/۰۸	۴/۷۰	۸/۳۷	۸/۸۹	۷/۸۴	۰/۶۸	۱۵۵/۳۹	۱/۱۱	۱/۱۷	۰/۴۲	۰/۳۶	۶/۹۲	۱/۹۰	۱/۳۷
Morvarid	مروارید	۱۰/۷۸	۴/۳۹	۶/۳۹	۷/۵۸	۶/۸۸	۰/۵۲	۱۰۴/۰۱	۱/۰۳	۱/۰۹	۰/۴۵	۰/۴۱	۶/۲۴	۱/۲۹	۱/۲۰
Roshan	روشن	۹/۰۱	۴/۹۴	۴/۰۸	۶/۹۷	۶/۶۷	۰/۴۹	۶۴/۳۱	۰/۷۸	۱/۲۳	۰/۶۷	۰/۵۵	۶/۳۸	۰/۹۰	۱/۵۱
Moghan3	مغان۳	۱۲/۳۶	۴/۴۲	۷/۹۴	۸/۳۹	۷/۳۹	۰/۶۱	۱۳۸/۸۵	۱/۱۱	۱/۱۰	۰/۳۹	۰/۳۶	۶/۵۱	۱/۶۹	۱/۲۱

†Yp، Ys، Tol، MP، GMP، STI، ATI، SSI، YI، DI، YSI، HM، K1STI و K2STI بترتیب عبارتند از: عملکرد در شرایط بدون تنش، عملکرد در شرایط تنش، شاخص تحمل، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش، شاخص تحمل تنش غیرزیستی، شاخص حساسیت به تنش، شاخص عملکرد، شاخص مقاومت به تنش خشکی، شاخص پایداری عملکرد، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل تنش تغییریافته (MSTI) (K1STI و K2STI) می‌باشند.

جدول ۴- ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب ارقام گندم تحت شرایط تنش بعد از آبستنی

	†Yp	Ys	Tol	MP	GMP	STI	ATI	SSI	YI	DI	YSI	HM	K1STI
Ys	۰/۷۸۴**	۱											
Tol	۰/۸۸۹**	۰/۴۱۳	۱										
MP	۰/۹۷۶**	۰/۹۰۱**	۰/۷۶۸**	۱									
GMP	۰/۹۴۶**	۰/۹۴۳**	۰/۶۹۳**	۰/۹۹۴**	۱								
STI	۰/۹۳۳**	۰/۹۵۱**	۰/۶۶۹**	۰/۹۸۸**	۰/۹۹۷**	۱							
ATI	۰/۹۸۸**	۰/۶۸۸**	۰/۹۴۳**	۰/۹۳۴**	۰/۸۸۹**	۰/۸۷۶**	۱						
SSI	۰/۴۰۶	-۰/۲۴۶	۰/۷۷۶**	۰/۱۹۸	۰/۰۸۹	۰/۰۶۱	۰/۵۲۵*	۱					
YI	۰/۷۸۴**	۱/۰۰۰**	۰/۴۱۳	۰/۹۰۱**	۰/۹۴۳**	۰/۹۵۱**	۰/۶۸۸**	-۰/۲۴۶	۱				
DI	۰/۳۹۲	۰/۸۷۸**	-۰/۰۷۱	۰/۵۸۳**	۰/۶۶۹**	۰/۶۸۸**	۰/۲۵۸	-۰/۶۷۷**	۰/۸۷۸**	۱			
YSI	-۰/۴۰۶	۰/۲۴۶	-۰/۷۷۶**	-۰/۱۹۸	-۰/۰۸۹	-۰/۰۶۱	-۰/۵۲۵*	-۱/۰۰۰**	۰/۲۴۶	۰/۶۷۷**	۱		
HM	۰/۹۰۴**	۰/۹۷۴**	۰/۶۰۹**	۰/۹۷۶**	۰/۹۹۴**	۰/۹۹۵**	۰/۸۳۴**	-۰/۰۲۰	۰/۹۷۴**	۰/۷۴۶**	۰/۰۲۰	۱	
K1STI	۰/۹۹۸**	۰/۷۹۷**	۰/۸۷۶**	۰/۹۷۹**	۰/۹۵۲**	۰/۹۴۳**	۰/۹۸۶**	۰/۳۸۱	۰/۷۹۷**	۰/۴۱۳	-۰/۳۸۱	۰/۹۱۳**	۱
K2STI	۰/۷۶۸**	۰/۹۹۷**	۰/۳۹۲	۰/۸۸۸**	۰/۹۳۳**	۰/۹۴۶**	۰/۶۷۲**	-۰/۲۶۱	۰/۹۹۷**	۰/۸۸۵**	۰/۲۶۱	۰/۹۶۶**	۰/۷۸۵**

†Yp، Ys، Tol، MP، GMP، STI، ATI، SSI، YI، DI، YSI، HM، K1STI و K2STI بترتیب عبارتند از: عملکرد در شرایط بدون تنش، عملکرد در شرایط تنش، شاخص تحمل، میانگین بهره وری، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش، شاخص تحمل تنش غیرزیستی، شاخص حساسیت به تنش، شاخص عملکرد، شاخص مقاومت به تنش خشکی، شاخص پایداری عملکرد، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل تنش تغییریافته (MSTI) (K1STI و K2STI) می‌باشند. در ضمن * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

جدول ۵- ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب ارقام گندم تحت شرایط تنش قبل از آبستنی

	Yp	Ys	Tol	MP	GMP	STI	ATI	SSI	YI	DI	YSI	HM	K1STI
Ys	۰/۶۵۲**	۱											
Tol	۰/۹۲۴**	۰/۳۱۳	۱										
MP	۰/۹۷۲**	۰/۸۱۲**	۰/۸۰۸**	۱									
GMP	۰/۹۱۹**	۰/۸۹۹**	۰/۶۹۸**	۰/۹۸۶**	۱								
STI	۰/۹۳۵**	۰/۸۷۱**	۰/۷۳۳**	۰/۹۹۰**	۰/۹۹۵**	۱							
ATI	۰/۹۹۱**	۰/۵۶۵**	۰/۹۵۷**	۰/۹۳۸**	۰/۸۶۸**	۰/۸۹۵**	۱						
SSI	۰/۳۶۲	-۰/۴۶۴*	۰/۶۸۸**	۰/۱۳۵	-۰/۰۳۱	۰/۰۲۲	۰/۴۵۴*	۱					
YI	۰/۶۵۲**	۱/۰۰۰**	۰/۳۱۳	۰/۸۱۲**	۰/۸۹۹**	۰/۸۷۱**	۰/۵۶۵**	-۰/۴۶۴*	۱				
DI	۰/۱۳۶	۰/۸۳۷**	-۰/۲۵۱	۰/۳۶۴	۰/۵۱۴*	۰/۴۶۷*	۰/۰۳	-۰/۸۶۷**	۰/۸۳۷**	۱			
YSI	-۰/۳۶۲	۰/۴۶۴*	-۰/۶۸۸**	-۰/۱۳۵	۰/۰۳۱	-۰/۰۲۲	-۰/۴۵۴*	-۱/۰۰۰**	۰/۴۶۴*	۰/۸۶۷**	۱		
HM	۰/۸۳۵**	۰/۹۶۱**	۰/۵۶۱*	۰/۹۴۰**	۰/۹۸۴**	۰/۹۷۰**	۰/۷۶۸**	-۰/۲۰۴	۰/۹۶۱**	۰/۶۵۴**	۰/۲۰۴	۱	
K1STI	۰/۹۹۶**	۰/۶۳۳**	۰/۹۲۹**	۰/۹۶۳**	۰/۹۰۶**	۰/۹۲۹**	۰/۹۹۶**	۰/۳۷۷	۰/۶۳۳**	۰/۱۱۶	-۰/۳۷۷	۰/۸۱۸**	۱
K2STI	۰/۶۵۳**	۰/۹۹۵**	۰/۳۱۷	۰/۸۱۱**	۰/۸۹۶**	۰/۸۷۶**	۰/۵۶۹**	-۰/۴۵۲*	۰/۹۹۵**	۰/۸۳۳**	۰/۴۵۲*	۰/۹۵۷**	۰/۶۳۸**

†Yp، Ys، Tol، MP، GMP، STI، ATI، SSI، YI، DI، YSI، HM، K1STI و K2STI بترتیب عبارتند از: عملکرد در شرایط بدون تنش، عملکرد در شرایط تنش، شاخص تحمل، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش، شاخص تحمل تنش غیرزیستی، شاخص حساسیت به تنش، شاخص عملکرد، شاخص مقاومت به تنش خشکی، شاخص پایداری عملکرد، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل تنش تغییریافته (MSTI) (K1STI و K2STI) می‌باشند. در ضمن * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

بعد از آن که بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی که دارای بالاترین هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد انه در هر دو شرایط شاهد و تنش می‌باشند شناسایی شدند، برای تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی قبل و بعد از آبستنی، از نمودار سه‌بعدی استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲). در این نمودار رابطه بین سه متغیر عملکرد در شرایط آبیاری کامل (شاهد)، عملکرد در شرایط تنش خشکی و یکی از شاخص‌های مطلوب تحمل به تنش نشان داده می‌شود. با استفاده از نمودار سه‌بعدی و با توجه به این سه معیار ارقام به چهار گروه A، B، C و D تقسیم شدند. مناسب‌ترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد (۱۷)، بنابراین به منظور بررسی دقیق‌تر پایداری عملکرد ارقام و هم‌چنین دست‌یابی به ارقام دارای عملکرد دانه بیشتر در هر دو شرایط رطوبتی، از نمودار پراکنش سه‌بعدی برای شاخص‌های MP، GMP، STI و HM، که دارای بیشترین هم‌بستگی با عملکرد دانه در هر دو شرایط رطوبتی هر دو آزمایش بودند، استفاده گردید و در آن عملکرد دانه در شرایط رطوبتی معمول روی محورY، عملکرد دانه در شرایط تنش روی محور X و یکی از بهترین شاخص‌ها روی محور Z نمایش داده شدند. برای نشان دادن روابط بین سه متغیر روی نمودار سه بعدی و تفکیک ارقام گروه A از سایرگروه‌های (B، C و D) و هم‌چنین تشخیص سودمندی شاخص مورد نظر که معیاری برای انتخاب ارقام پرمحصول و متحمل‌تر به تنش رطوبتی، سطح X-Y به‌وسیله خطوط متقاطع به چهار گروه A، B، C و D تقسیم گردید. بر طبق شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که ارقام کویر (شماره ۱۵)، نیک‌نژاد (۱۶)، مغان۳ (۲۰) و دریا (۱۷) در هر دو شرایط تنش خشکی قبل و بعد از آبستنی در گروه A (ارقامی که هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش عملکرد بالاتری دارا هستند) قرار گرفتند و این ارقام از لحاظ مقدار شاخص‌های مختلف نیز مقادیر مطلوبی داشتند و این امر سودمندی تفکیک را از راه شاخص‌های مدنظر نشان می‌دهد. از طرف دیگر ارقام بهار (شماره ۱۳)، بم (۳)، سیوند (۱۱)، پیشتاز (۲)، پارس (۱۲) و سپاهان (۷) در هر دو شرایط تنش خشکی در گروه D قرار گرفتند. نمودار سه‌بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها در لوبیا توسط فرنانذر (۱۷)، در نخود توسط فرشادفر و همکاران (۱۶) و در ذرت نیز توسط شیرین‌زاده و همکاران (۴۱) مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است. در یک نمودار سه‌بعدی فقط روابط بین سه متغیر را می‌توان مطالعه کرد. برای مطالعه روابط بین بیش از سه متغیر یک شکل به دست آمده از نمایش چند متغیر همانند بای پلات مفید می‌باشد. تجزیه بای پلات گابریل ابزار مفیدی به منظور بررسی هم زمان کلیه شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، عملکرد دانه در شرایط رطوبتی معمول و تنش خشکی و هم‌چنین بررسی دقیق‌تر تحمل به تنش خشکی ارقام می‌باشد (۲۰). بدین منظور ماتریسی که ردیف‌های آن از ۲۰ رقم گندم بهاره و ستون‌های آن از شاخص‌های تحمل به تنش محاسبه شده تشکیل شده بود، از طریق تجزیه به مولفه های اصلی به ۱۴ مولفه تقسیم شد و در مجموع ۹۹/۷۸ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را در آزمایش تنش خشکی بعد از آبستنی و ۹۹/۶۵ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را در آزمایش تنش خشکی قبل از آبستنی دو مولفه اول توجیه نمودند (جدول ۶). سپس با توجه به مستقل بودن مولفه‌ها و اهمیت دو مولفه اول در تبیین تغییرات کل داده‌ها و هم‌چنین از آنجا که مؤلفه اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، می‌توان تغییرات دو مؤلفه را به صورت عمود بر هم نمایش داد، به گونه ای که ارقام براساس این دو مؤلفه در سطح نمودار با نقاطی مشخص گردند. به عبارت دیگر نمودار بای پلات مربوطه بر اساس این دو مولفه‌ها ترسیم گردید (شکل‌های ۳ و ۴) و در فضای بای پلات به‌دست آمده علاوه بر شاخص‌ها، ارقام نیز بر اساس دو مولفه‌های مذکور و توسط نقاطی مشخص شدند. سهم مؤلفه اول در تبیین تغییرات کل شاخص‌ها در آزمایش تنش خشکی بعد و قبل از آبستنی به ترتیب برابر ۷۲/۴۹ درصد و ۶۸/۰۴ درصد بود (جدول ۶). این مولفه با عملکرد در هر دو شرایط رطوبتی و شاخص‌های MP، GMP، STI، ATI، YI، HM، K1STI و K2STI هم‌بستگی مثبت و هم‌چنین با شاخص‌های SSI، TOL و YSI کمترین هم‌بستگی را منفی نشان داد و در مجموع مولفه اول مولفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی در نظر گرفته شد. با توجه به این که میزان بالای این شاخص‌ها برای ما مطلوب است بنابراین روی بای پلات به‌دست آمده اگر به مقادیر مثبت و بالای این مؤلفه توجه نماییم، می‌توانیم ارقامی را که دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط و از نظر شاخص‌های مذکور مطلوب‌تر باشند را انتخاب کنیم. به عبارت دیگر این مولفه قادر به شناسایی ارقام با پتانسیل عملکرد بالا می‌باشد و مقادیر بیش‌تر مؤلفه آن مطلوب‌تر است. مؤلفه دوم در دو آزمایش تنش خشکی اعمال شده بعد و قبل از آبستنی به‌ترتیب ۲۷/۲۹ درصد و ۳۱/۶۱ درصد از تغییرات کل شاخص‌ها را توجیه نمود (جدول ۶) و در این مؤلفه شاخص‌های SSI و TOL نقش بیش‌تری داشتند، از طرف دیگر این مولفه با شاخص YSI هم‌بستگی منفی و بالایی داشت. هم‌چنین این مولفه با عملکرد در شرایط آبیاری کامل هم‌بستگی مثبت و با عملکرد در شرایط تنش هم‌بستگی منفی داشت. به نظر می‌رسد این مولفه قادر است ارقامی را که

دارای عملکرد بهتری در شرایط رطوبتی معمول هستند را شناسایی کند. بنابراین مولفه مذکور را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش نامید و این مؤلفه می‌تواند ارقام با عملکرد پایین در شرایط تنش و پتانسیل عملکرد مناسب را انتخاب نماید و از آن جا که مقادیر کم شاخص تحمل و حساسیت به تنش برای ما مطلوب است پس اگر در بای‌پلات به دست آمده نواحی با میزان پایین این مؤلفه در نظر گرفته شود، می‌توان ارقام با عملکرد در شرایط تنش و شاخص تحمل و حساسیت به تنش پایین را انتخاب نمود. براساس دو مؤلفه فوق بای‌پلات ترسیم گردید، به طوری که ارتباط ارقام با عملکردهای دانه در شرایط تنش و شاهد و شاخص‌های مورد بحث به خوبی مشهود شد. توزیع ارقام روی بای‌پلات نشان‌دهنده وجود تنوع در پاسخ به تنش خشکی در بین ارقام به ویژه در تنش خشکی قبل از آبستنی بود (شکل‌های ۳ و ۴). با توجه به زوایای خطوط شاخص‌ها در نمایش گرافیکی بای‌پلات در هر دو آزمایش (شکل‌های ۳ و ۴)، ملاحظه می‌شود که هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین Yp با شاخص‌های K1STI و ATI از یک طرف و Ys با شاخص‌های YI و K2STI از طرف دیگر، وجود دارد که نشاندهنده این است که این شاخص‌ها به‌ترتیب برای انتخاب ارقام در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی مفید هستند. در حالی که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM با عملکرد دانه در هر دو شرایط رطوبتی معمول و تنش خشکی هم‌بستگی مثبت نشان دادند و بهترین شاخص‌های مورد مطالعه می‌باشند. بنابراین به کمک بای‌پلات گابریل نیز شاخص‌های مذکور از بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. در ضمن بر طبق نمودار بای‌پلات هم‌بستگی منفی کامل بین دو شاخص YSI و SSI در هر دو آزمایش وجود دارد. با توجه به رابطه مولفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی ارقام کویر (شماره ۱۵)، مغان۳ (۲۰)، نیک‌نژاد (۱۶)، دریا (۱۷) و مرودشت (۶) در آزمایش تنش خشکی بعد از آبستنی بهترین ارقام با پتانسیل عملکرد مطلوب در هر دو شرایط رطوبتی بودند. در حالی که حساس‌ترین ارقام در آزمایش تنش خشکی بعد از آبستنی بهار (شماره ۱۳)، بم (۳)، پارس (۱۲) و سیوند (۱۱) بودند (شکل ۳). از طرف دیگر بر طبق نمودار بای‌پلات، در آزمایش تنش خشکی قبل از آبستنی حساس‌ترین ارقام بهار (شماره ۱۳)، پیشتاز (۲) و بم (۳) بودند و متحمل‌ترین آن‌ها ارقام کویر (شماره ۱۵)، نیک‌نژاد (۱۶)، دریا (۱۷) و مغان۳ (۲۰) در نظر گرفته شدند (شکل ۴). در مجموع در هر دو آزمایش، ارقام کویر (شماره ۱۵)، نیک‌نژاد (۱۶)، دریا (۱۷) و مغان۳ (۲۰) که در ناحیه مطلوب بای‌پلات قرار گرفتند، با توجه به قرارگیری آن‌ها در ناحیه A نمودار سه‌بعدی برای شاخص‌های مطلوب برای گزینش متحمل‌ترین ارقام مورد مطالعه بودند. در حالی که بهار (شماره ۱۳) و بم (۳) در هر دو آزمایش تنش خشکی قبل و بعد از از آبستنی با توجه به نمودارهای بای‌پلات و سه بعدی حساس‌ترین ارقام در نظر گرفته شدند. از میان ارقام متحمل شناسایی شده، کویر به از بهترین رقم با پتانسیل عملکرد بالا در هر دو محیط بدون تنش و تنش معرفی می‌گردد. استفاده از تکنیک تجزیه به مولفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات در گیاهان دیگر از جمله گلرنگ (۳،۴)، نخود (۱۶) و گندم (۲۱) نیز به منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌های تحت شرایط تنش رطوبتی گزارش شده است. هم‌چنین استفاده از تجزیه به مؤلفه های اصلی و نمودار بای پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم در گندم دوروم توسط طالبی و همکاران (۴۷) مورد استفاده قرار گرفته است.

دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر، گروه‌بندی ارقام را بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در دو شرایط تنش بعد و قبل از مرحله آبستنی به‌ترتیب در شکل ۵ و ۶ نشان می‌دهد. زمانی که محل برش، دندروگرام‌ها را به چهار گروه تقسیم کرد تابع تشخیص در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید و بنابراین به عنوان بهترین حالت برش انتخاب شد. در شرایط تنش بعد از آبستنی (شکل ۵) گروه اول شامل ۷ رقم مهدوی، ارگ، افلاک، بک‌کراس روشن، مروارید، زاگرس و آرتا بود. این گروه در مجموع از نظر کلیه شاخص‌های تحمل به تنش عملکرد متوسطی در هر دو شرایط تنش خشکی و شاهد داشتند. گروه دوم شامل ارقام پیشتاز، سیستان و سپاهان بود که با توجه به نتایج به‌دست آمده ارقام نیمه حساس شناخته می‌شوند.

گروه سوم نیز شامل ارقام بم، روشن، پارس، سیوند و بهار بود که از نظر اکثر شاخص‌های مورد مطالعه کمترین امتیاز را داشتند که در مجموع در مقایسه با سایر ارقام مورد مطالعه، ارقام حساس محسوب می‌شوند. گروه چهارم به ارقام مرودشت، مغان۳، نیک‌نژاد، دریا و کویر تعلق داشت که از نظر اغلب شاخص‌ها وضعیت مطلوبتری نسبت به سایر ارقام داشتند، ارقام متحمل به‌شمار می‌آیند.

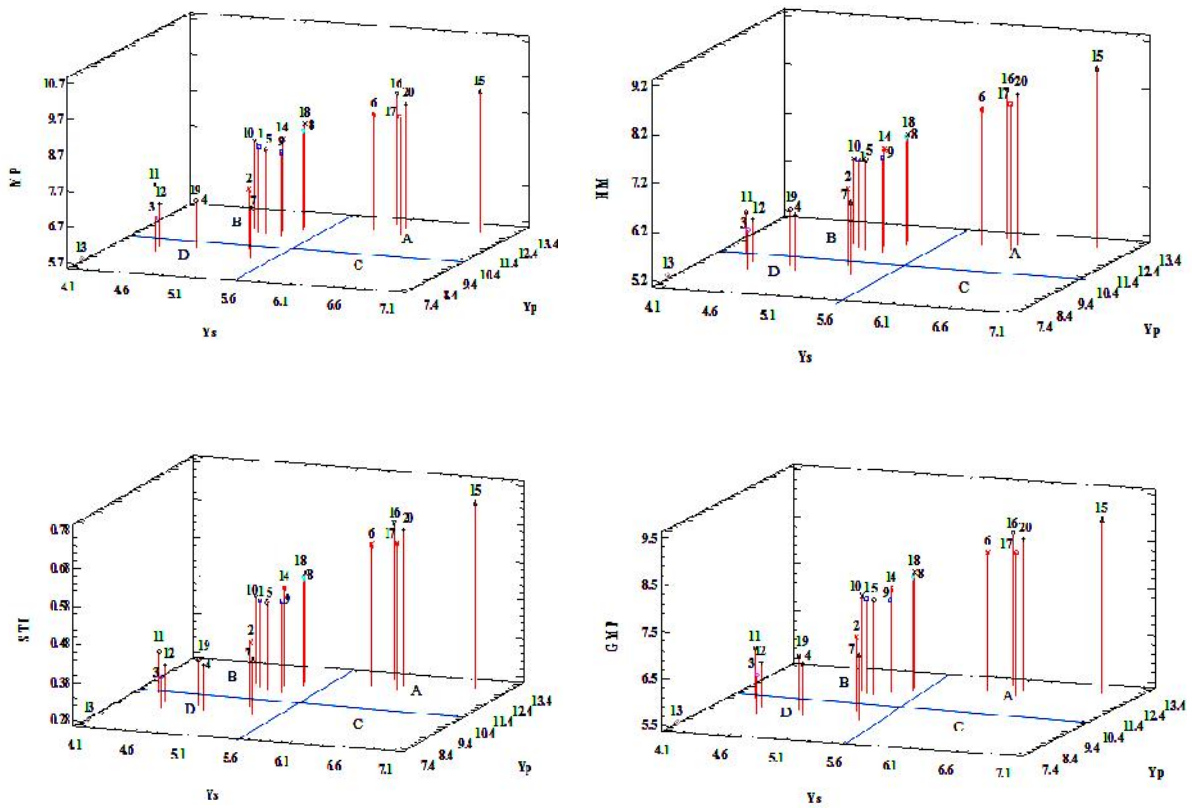
از طرف دیگر در شرایط تنش قبل از آبستنی (شکل ۶) گروه اول شامل ارقام مهدوی، روشن، زاگرس، سیستان و سپاهان بودند که در مجموع با توجه به مقادیر شاخص‌های به‌دست آمده جزء ارقام نیمه حساس محسوب می‌شوند. ارقام پیشتاز، بهار، افلاک، پارس، آرتا، سیوند و بم در گروه دوم جای گرفتند و این گروه تحت تنش خشکی قبل از آبستنی جزء ارقام حساس تلقی می‌شوند. در گروه سوم ارقام ارگ، بک‌کراس روشن، مرودشت و مروارید قرار گرفتند که در مجموع از عملکرد متوسطی در ارتباط با شاخص‌های مورد مطالعه

داشتند. گروه آخر (چهارم) را ارقام دریا، مغان۳، کویر و نیک‌نژاد به خود اختصاص دادند که با توجه به عملکرد مطلوبتر این ارقام نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه، جزء متحمل‌ترین ارقام محسوب می‌شوند. در مجموع بر اساس نتایج حاصله از گروه بندی ارقام مورد بررسی با روش تجزیه خوشه ای و براساس شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی، ارقام در هر دو شرایط تنش قبل و بعد از آبستنی در چهار گروه قرار گرفتند و ارقام کویر، نیک‌نژاد، دریا و مغان ۳ متحمل‌ترین و بهار، سیوند، پارس و بم حساس‌ترین ارقام تحت هر دو شرایط تنش خشکی قبل و بعد از مرحله آبستنی بودند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی از سوی فرشادفر و محمدی (۱۵) در اگرو پیرون (*Agropyron elongatum*) نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

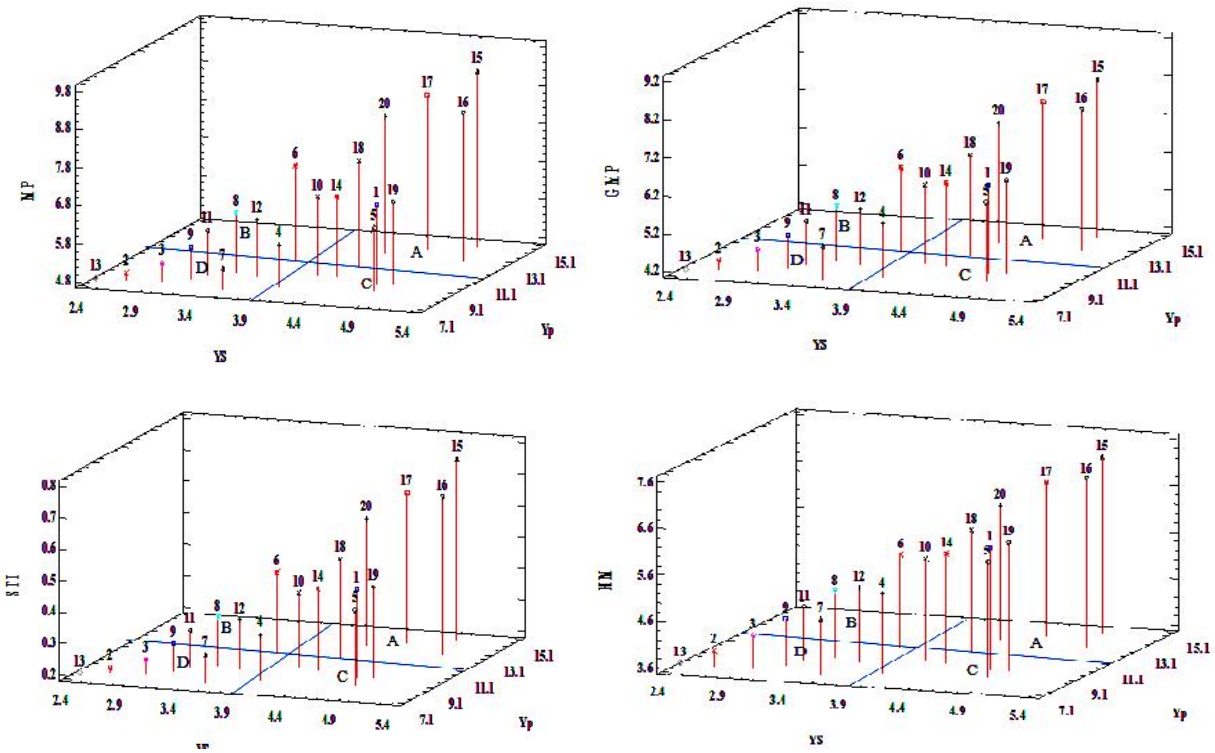
جدول ۶- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه تحت تنش قبل و بعد از آبستنی

مولفه‌های اصلی	واریانس توجیه شده	واریانس تجمعی	†Yp	Ys	Tol	MP	GMP	STI	ATI	SSI	YI	DI	YSI	HM	K1STI	K2STI
شاخص‌های تحمل به تنش خشکی																
تنش خشکی بعد از آبستنی																
مولفه اول	۷۲/۴۹	۷۲/۴۹	۰/۳۷۹	۰/۳۹۳	۰/۰۲۲	۰/۳۱۳	۰/۳۱۴	۰/۳۱۳	۰/۲۸۳	۰/۰۳۵	۰/۲۹۳	۰/۲۰۲	-۰/۰۳۲	۰/۳۱۱	۰/۳۰۲	۰/۲۹۰
مولفه دوم	۲۷/۲۹	۹۹/۷۸	۰/۱۵۳	-۰/۱۸۳	۰/۳۵۹	۰/۰۴۳	-۰/۰۱۳	-۰/۰۳۰	۰/۲۱۹	۰/۵۰۷	-۰/۱۸۵	-۰/۳۱۱	-۰/۵۰۸	-۰/۰۷۰	۰/۱۴۰	-۰/۱۹۲
تنش خشکی قبل از آبستنی																
مولفه اول	۶۸/۰۴	۶۸/۰۴	۰/۲۹۹	۰/۳۹۰	۰/۰۲۸	۰/۳۲۰	۰/۳۲۴	۰/۳۲۳	۰/۲۸۳	۰/۰۰۶	/۲۹۰	۰/۱۶۴	۰/۰۱۹	/۳۱۸	۰/۲۹۵	۰/۲۹۰
مولفه دوم	۳۱/۶۱	۹۹/۶۵	۰/۱۸۴	-۰/۲۱۱	۰/۳۹۷	۰/۰۷۶	-۰/۰۰۳	۰/۰۲۳	۰/۲۲۹	/۴۷۴	۰/۲۱۲	-۰/۳۳۹	۰/۴۷۴	۰/۰۸۶	۰/۱۹۳	-۰/۲۰۸

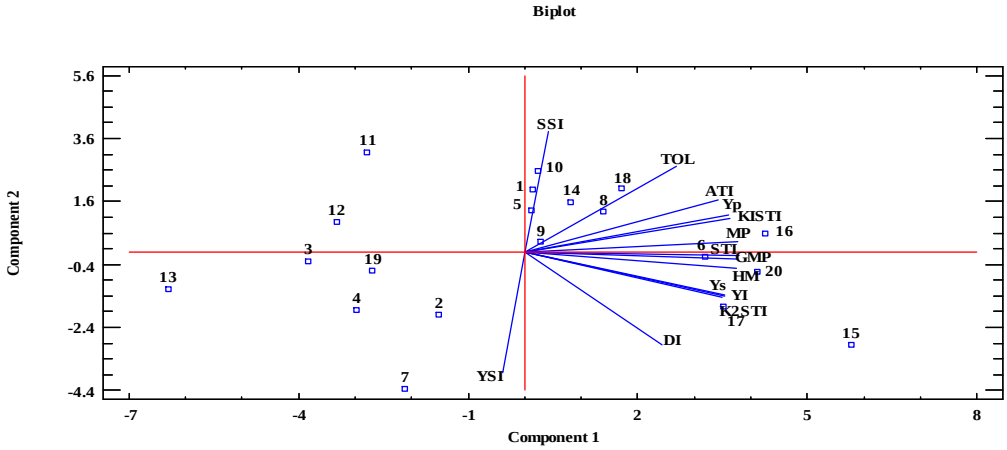
†Yp، Ys، Tol، MP، GMP، STI، ATI، SSI، YI، DI، YSI، HM، K1STI و K2STI بترتیب عبارتند از: عملکرد در شرایط بدون تنش، عملکرد در شرایط تنش، شاخص تحمل، میانگین بهره وری، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش، شاخص تحمل تنش غیرزیستی، شاخص حساسیت به تنش، شاخص عملکرد، شاخص مقاومت به تنش خشکی، شاخص پایداری عملکرد، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل تنش تغییریافته (MSTI) (K1STI و K2STI) می‌باشند.



شکل ۱- نمودار سه بعدی عملکرد دانه (بر حسب گرم در بوته) در شرایط آبیاری کامل (Yp) و عملکرد دانه (بر حسب گرم در بوته) در شرایط تنش خشکی بعد از آبستنی (Ys) با شاخص‌های MP، GMP، STI و HM.

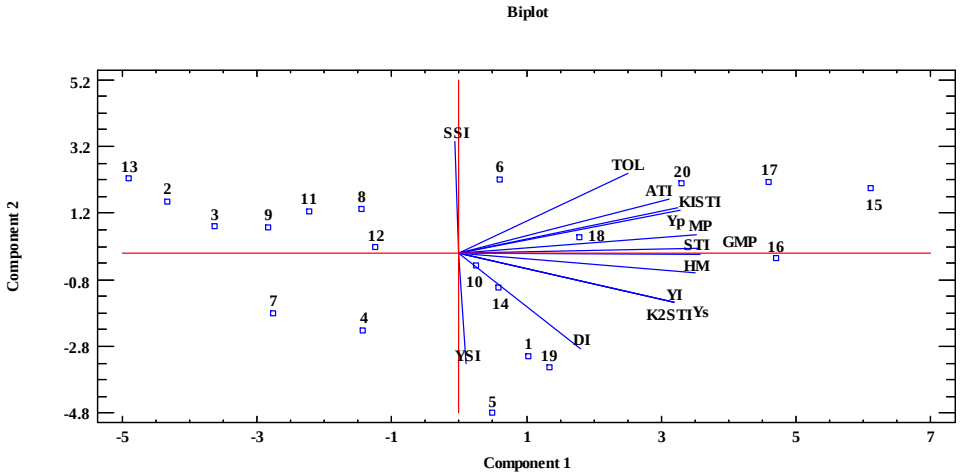


شکل ۲- نمودار سه بعدی عملکرد دانه (بر حسب گرم در بوته) در شرایط آبیاری کامل (Yp) و عملکرد دانه (بر حسب گرم در بوته) در شرایط تنش خشکی قبل از آبستنی (Ys) با شاخص‌های MP، GMP، STI و HM.



شکل ۳- نمودار بای پلات دو مولفه اول تجزیه به مولفه‌های اصلی در آزمایش تنش خشکی بعد از آبستنی که در آن موقعیت شاخص‌ها و ارقام مورد مطالعه مشخص شده است. شماره‌های ۱ تا ۲۰ روی نمودار بای‌پلات به‌ترتیب مربوط به ارقام زیر می‌باشد:

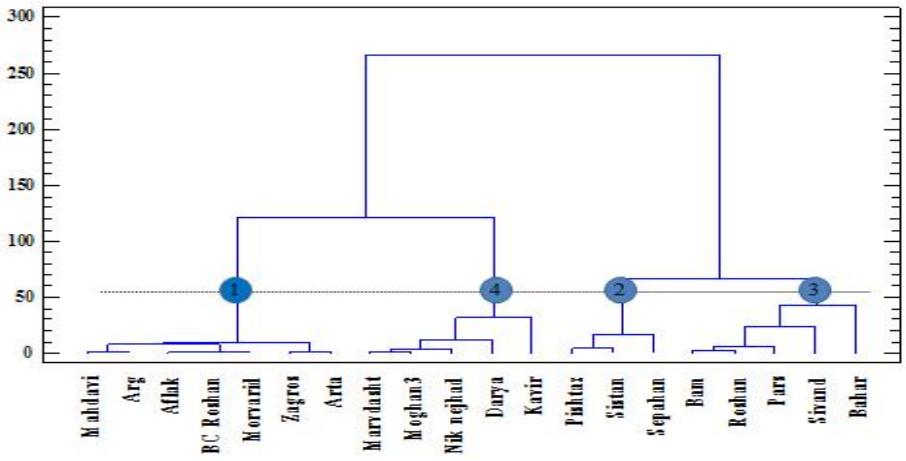
۱- مهدوی	۵- زاگرس	۹- آرتا	۱۳- بهار	۱۷- دریا
۲- پیشتاز	۶- مرودشت	۱۰- ارگ	۱۴- بک کراس روشن	۱۸- مروارید
۳- بم	۷- سپاهان	۱۱- سیوند	۱۵- کویر	۱۹- روشن
۴- سیستان	۸- افلاک	۱۲-پارس	۱۶- نیک نژاد	۲۰- مغان۳



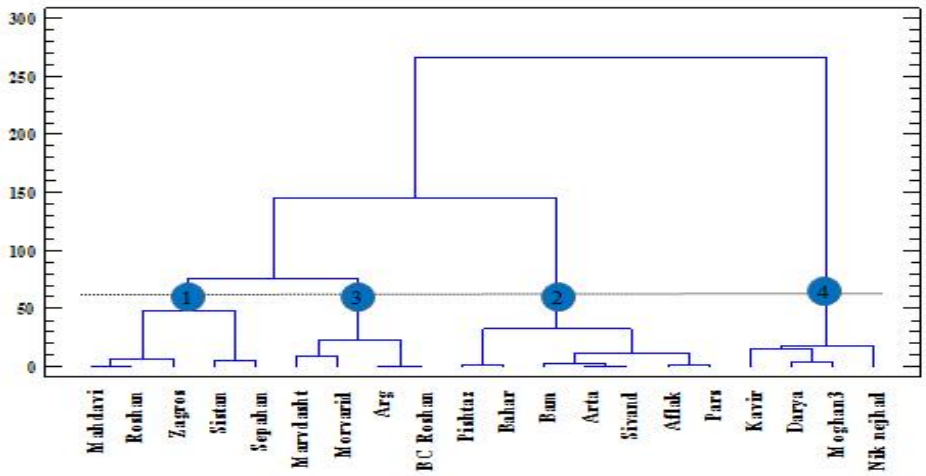
شکل ۴- نمودار بای پلات دو مولفه اول تجزیه به مولفه‌های اصلی در آزمایش تنش خشکی قبل از آبستنی که در آن موقعیت شاخص‌ها و ارقام مورد مطالعه مشخص شده است. شماره‌های ۱ تا ۲۰ روی نمودار بای‌پلات به‌ترتیب مربوط به ارقام زیر می‌باشد:

۱- مهدوی	۵- زاگرس	۹- آرتا	۱۳- بهار	۱۷- دریا
۲- پیشتاز	۶- مرودشت	۱۰- ارگ	۱۴- بک کراس روشن	۱۸- مروارید
۳- بم	۷- سپاهان	۱۱- سیوند	۱۵- کویر	۱۹- روشن
۴- سیستان	۸- افلاک	۱۲-پارس	۱۶- نیک نژاد	۲۰- مغان۳

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی قبل و بعد از آبستنی در ارقام مورد مطالعه باشند و بر اساس این شاخص‌ها، هم‌چنین مقادیر دیگر شاخص‌های مورد مطالعه، نمودارهای سه بعدی، نمودار بای‌پلات و تجزیه کلاستر ارقام کویر، نیک‌نژاد، مغان۳، دریا و مرودشت در شرایط تنش خشکی بعد از آبستنی از متحمل‌ترین ارقام و در شرایط تنش خشکی قبل از آبستنی ارقام کویر، نیک‌نژاد، دریا و مغان۳ متحمل‌تر از سایر ارقام بودند که از بین آن‌ها کویر در هر دو آزمایش متحمل‌ترین رقم شناخته شد. از طرف دیگر در شرایط تنش خشکی بعد از آبستنی ارقام بهار، سیوند، پارس و بم و در آزمایش تنش خشکی قبل از آبستنی ارقام بهار و پیشتاز حساس‌ترین ارقام به شمار می‌آیند که در مجموع بهار حساس‌ترین رقم در هر دو آزمایش محسوب می‌شود. بنابراین در هر دو آزمایش تنش خشکی قبل و بعد از آبستنی متحمل‌ترین و حساس‌ترین رقم به ترتیب کویر و بهار بودند.



شکل ۵- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای کلیه شاخص‌ها به روش Ward برای ارقام گندم در تنش بعد از آبستنی.



شکل ۶- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای کلیه شاخص‌ها به روش Ward برای ارقام گندم در تنش قبل از آبستنی.

منابع

1. Ahmadzadeh, A. 1997. Determination of the best indices of drought tolerance in selected corn lines. MSc Thesis in Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Tehran University, Iran, 238 pp (In Persian).
2. Amiri Oghan, H., M. Moghaddam, R. Ahmadi and S.J. Davari. 2004. Determination of gene action and heritability of drought resistance in canola. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 35: 73-83 (In Persian).
3. Arsalan, B. 2007. Assessing heritability and variance components of yield and some agronomic traits of different safflower cultivars under stress and non-stress irrigation regimes. Asian Journal of Plant Sciences, 6: 554-557.
4. Ashkani, J., H. Paknia and V. Ghotbi. 2007. Genetic evaluation of physiological traits for screening of suitable spring safflower genotype under stress and non-stress irrigation regimes. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10: 2320-2326.
5. Ayzanlv, A.S., A.S. Khanghah and N. Majnoon Hosseini. 2002. Determination of the best drought resistance indices in commercial varieties of soybeans. Abstracts of the Seventh Iranian Crop Science Congress. Seed and Plant Improvement Institute, 55 pp. Karaj, Iran (In Persian).
6. Bansal, K.C. and S.K. Sinha. 1991. Assessment of drought resistance in 20 accessions of Triticum aestivum and related species. I.Total dry matter and grain yield stability. Euphytica, 56: 7-14.
7. Betran, F.J., D. Beck, M. Banziger and G.O. Edmeades. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. Crop Science, 43: 807-817.
8. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
9. Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. Science, 218: 443-448.
10. Ceccarelli, S. and S. Grando. 1991. Selection environment and environmental sensitivity in barley. Euphytica, 57: 157-167.
11. Clark, J.M.R., M. Depauw and T.F. Ownley-Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science, 32: 723-728.
12. Ehdaie, B. and M.R. Shakiba. 1996. Relationship of internode-specific weight and water-soluble carbohydrates in wheat. Cereal Research Communications, 24: 61-67.
13. Farayedy, Y. 2004. Evaluation of drought tolerance in Kabuli chickpea genotypes. Iranian Journal of Agriculture, 6: 27-38 (In Persian).
14. Farshadfar, A. 2000. Selection for drought resistance in bread wheat lines. Sciences and Agricultural industries Journal, 14: 161-171.
15. Farshadfar, E. and R. Mohammadi. 2003. Evaluation of Physiological drought resistance indices in Agropyron using multiple selection criteria. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 34: 646-635 (In Persian).
16. Farshadfar, E., M.R. Zamani, M. Matlabi and E.E. Emam-Jome. 2001. Selection for drought resistance chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 32: 65-77 (In Persian).
17. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, pp: 257-270, 13-16 August, Taiwan,
18. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
19. Fischer, R.A., D. Rees, K.D. Sayre, Z.M. Lu, A.G. Condon and A.L. Saavedra. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Science, 38: 1467-1475.
20. Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. Biometrika, 58: 453-467.

21. Golabadi, M., A. Arzani and S.A.M. Mirmohammadi Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 1: 162-171.
22. Huang, B. 2000. Role of root morphological and physiological characteristics in drought resistance of plants. In: Wilkinson, R.E. (ed.) and Plant-Environment Interactions, 2: 39-64.
23. Jafari, A., R. Choukan, F. Paknejad and A. Pourmaidani. 2007. Study of selection indices for drought tolerance in some of grain mize hybrids. Iranian Journal of Crop Science, 9: 200-212 (In Persian).
24. Jafarzadeh, A.A., R. Kasra'i and M.R. Neishabouri. 1997. Detailed studies of 18 acres of land, soil, Karkaj research station. Iranian Journal of Agricultural Knowledge, 7: 213-187 (In Persian).
25. Jain, M.P., P.V.A. Dixt and R.A. Khan. 1992. Effects of sowing date on wheat varieties under late irrigated condition. Indian Journal of Agricultural Science, 62: 669-672.
26. Kargar, S.M.A., M.R. Ghannadha, R. Bozorgi-Pour, A.A. Atari and H.R. Babaei. 2004. Investigation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under restricted irrigation condition. Iranian Journal of Agricultural Science, 35: 97-111 (In Persian).
27. Khalilzade, G.H. and H. Karbalai-Khiavi. 2002. Investigation of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. In: Proc of the 7th Iranian Congress of Crop Sciences, 563-564 pp. Gilan, Iran (In Persian).
28. Maleki, A., F. Babaei, H. Cheharsooghi, J. Amin and A. Asadi Dizaji. 2008. The study of seed yield stability and drought tolerance indices of bread wheat genotypes under irrigated and non-irrigated conditions. Research Journal of Biological Sciences, 3: 841-844.
29. Moghaddam, A. and M.H. Hadizade. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal, 18: 255-272 (In Persian).
30. Naeemi, M., Gh.A. Akbari, A.H. Shirani Rad, S.A.M. Modares Sanavi, S.A. Sadat Nouri and H. Jabari. 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. Electronic Journal of Crop Production, 3: 83-98 (In Persian).
31. Normand Moayed, F.M., E. Rostam and M.R. Ghanadha. 2001. Assessment of drought resistance indices in bread wheat. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 32: 805-795 (In Persian).
32. Parvizi Almani, M. 1998. Evaluaion of drought tolerance indicesfor important traits in sugar beet. Abstracts of the Fifth Iranian Crop Science Congress. 285 pp. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj (In Persian).
33. Passioura, J.B., A.G. Condon and R.A. Richards. 1993. Water deficits, the development of leaf area and crop productivity. In: Smith J.A.C., H. Griffiths. (eds.). Water deficits plant responses from cell to community. 253-264 pp. BIOS Scientific Publishers limited, Oxford.
34. Qajarspanlv, M., H. Siadat and S.Kh. Mir Latifi. 2000. Effect of limited irrigation at different growth stages on yield and water use efficiency and comparison of several indices of drought tolerance in wheat cultivars. Iranian Journal of Water and Soil, 12: 75-64 (In Persian).
35. Rajaram, S. and M. Van Ginkle. 2001. Mexico, 50 years of international wheat breeding. In: Bonjean, A.P. and W.J. Angus. (eds.), the World Wheat Book: A History of Wheat Breeding. 579-604 pp. Lavoisier Publishing, Paris, France.
36. Richard, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant Growth Regulation, 20: 157-166.
37. Rosielle, A.T. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-949.
38. Samieezadeh Lahychy, H. 1996. Study of phenotypic variation and genotipic of quantitative and qualitative traits and their correlation with the yield in chickpea. M.Sc. thesis, Islamic Azad University of Karaj, Iran. 178 pp (In Persian).
39. Sanjari, A.Gh. 1998. Evaluation of drought tolerance and yield stability of wheat cultivars and lines in semi-arid areas of the country. Abstracts of Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding, 224 ppp Karaj. Iran (In Persian).
40. Schneider, K.A., R. Rosales-Serna, F. Ibarra-Perez, B. Cazares-Enriques, J.A. Acosta-Gallegos, P. Ramirez-Allejo, N. Wassimi and J.D. Kelly. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.
41. Shirinzadeh, A., R. Zarghami, A.V. Azghandi, M.R. Shiri and M. Mirabdulbaghi. 2010. Evaluation of drought tolerance in mid and late mature corn hybrids using tolerance indices. Asian Journal of Plant Sciences, 9: 67-73.
42. Simane, B., P.C. Struik, M. Nachit and J.M. Peacock. 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water limited environments. Euphytica, 71: 211-219.
43. 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: 222-229.
44. Srivastava, J.P., E. Acevedo and S. Varma. 1987. Drought Tolerance in Winter Cereal. 2ed. John Wiley Pub., USA. 678 pp.
45. Sundari, T., S. Tohari and W. Mangoendidjojo. 2005. Yield performance and tolerance of mungbean genotypes to shading. Journal Pertanian, 12: 12-19.
46. Taghian, A.S. and A. Abo-Elwafa. 2003. Multivariate and rapid analysis of drought tolerance in spring wheat. Assiut Journal of Agricultural Science, 34: 1-25.
47. Talebi, R., F. Fayaz and A. Mohammad-Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Physiology, 35: 64-74.

Evaluation of Spring Wheat Cultivars Based on Drought Resistance Indices

Mohammad Reza Naghavi[1], Mohammad Moghaddam[2], Mahmoud Toorchi[2] and Mohammad Reza Shakiba[2]

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.
(Corresponding author: mr_naghavi@ymail.com)
2- Professor, University of Tabriz
Received: April 12, 2014 Accepted: July 26, 2014

Abstract

For evaluation of spring wheat cultivars using drought resistance indices, two separately experiments were done in split plot basis of Random Complete Block Design with four replications. This research was done with complete irrigation (control) and drought stress that start before and after of booting stage in research farm of Agriculture Faculty, University of Tabriz. Basis grain yield in irrigation (Yp) and stress condition (Ys), calculated quantitative resistance indices such as: TOL, MP, GMP, STI, ATI, SSI, YI, DI, YSI, HM and MSTI (K1STI and K2STI). Yield correlation analysis showed that the best resistance indices have positive correlation with grain yield under irrigation and drought stress were MP, GMP, STI and HM for two experiments. According to this resistance indices and high yield in irrigation and drought stress conditions and with using of 3-Dimensional diagrams, Kavir, Niknejhad, Moghan3, Darya and Marvdasht for drought stress after booting stage and Kavir, Niknejhad, Darya and Moghan3 for drought stress before booting stage were the most tolerant cultivars. Whereas, the most sensitive cultivars for drought stress after booting stage were Bahar, Sivand, Pars and Bam and Bahar and Pishtaz were the most sensitive cultivars for drought stress before booting stage. Diagram of multivariate biplot showed that forenamed cultivars were near to vectors of MP, GMP, STI and HM indices. So, distribution of cultivars in biplot-space showed that genetically variation between cultivars. Cluster analysis confirmed those results.

Keywords: Biplot, Booting, Cluster Analysis, Drought Stress, Resistance Indices, Wheat