دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
سال هشتم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۷

ارزیابی تحمل به کم آبی هیبریدهای ذرت (*Zea mays*) با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی

محسن فرشادفر[1*]، هوشمند صفری[2]، هومن شیروانی[3]، مصطفی امجدیان[4]، هوشنگ رحمتی[4]

۱- دانشیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور
۲- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه
۳- مدرس گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور
۴- مربی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور
* مسئول مکاتبات: پست الکترونیک: m.farshadfar@pnu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۵ مردادماه ۱۳۹۷؛ تاریخ پذیرش: ۳۰آبان ماه ۱۳۹۷)

چکیده

به‌منظور بررسی تحمل خشکی هیبریدهای ذرت، آزمایشی در به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز کرمانشاه در سال ۱۳۹۲ انجام گرفت. فاکتور اصلی شامل تنش خشکی (شرایط تنش و شرایط نرمال) و فاکتور فرعی شامل نه هیبرید ذرت بود. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهندهٔ واکنش متفاوت هیبریدهای موردمطالعه برای عملکرد دانه و امکان انتخاب هیبریدها بر اساس عملکرد است. مقایسه مقادیر عددی و رتبه هر هیبرید بر اساس شاخص‌های تحمل خشکی مبتنی بر عملکرد دانه نشان داد که هیبریدهای شماره یک، سه، هفت و هشت به‌عنوان هیبریدهای متحمل خشکی شناسایی گردیدند. نتایج همبستگی میان شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که شاخص‌های STI، MP، GMP، HAR، SSPI، K1STI، K2STI و YI دارای همبستگی مثبت معنی دار با Yp و Ys بوده و برای انتخاب هیبریدهای با عملکرد بالا در هر دو شرایط مناسب هستند. ترسیم بای پلات گابریل بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت. بر اساس این تجزیه دو مؤلفه اول حدود ۹۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. نتایج نشان داد که هیبریدهای موردمطالعه در دو ناحیه پتانسیل عملکرد بالا و ناحیه پتانسیل عملکرد ضعیف قرار گرفتند، به‌طوری‌که هیبریدهای شماره یک، سه، هفت و هشت با قرارگرفتن در مجاورت بردارهای تحمل به تنش خشکی به‌عنوان هیبریدهای برتر شناسایی شدند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های برتر هیبریدهای مورد مطالعه را در دو گروه کلی تفکیک کرد که این نتایج با نتایج حاصل از ترسیم بای‌پلات گابریل مطابقت کامل نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، تجزیه خوشه‌ای، بای‌پلات، عملکرد

مقدمه

خشکسالی و تنش ناشی از آن‌یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را در جهان با محدودیت روبه‌رو ساخته است. در کشاورزی، خشکی به وضعیتی اطلاق می‌شود که میزان و توزیع بارندگی طی فصل رشد به‌اندازه‌ای کم باشد که موجب کاهش عملکرد گیاه زراعی شود (۲۳). در ایران، تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی مطرح است (۱). اهمیت اقتصادی غلات در شرایط خشک، ایجاب می‌کند که هرگونه راهکاری برای بهینه‌سازی سیستم تولید این محصول در کشور مورد ارزیابی و کاربرد قرارگیرد (۲). ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که اهمیت زیادی در تغذیه انسان، تأمین علوفه دام، تغذیه طیور و صنعت دارد. و ازلحاظ مقدار کل تولید پس از گندم و برنج به‌عنوان سومین محصول غله‌ای جهان مطرح است (۱). کمبود رطوبت یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد ذرت به شمار می‌رود. تنش خشکی از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، مورفولوژی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد ذرت تأثیر می‌گذارد. شدت خسارت خشکی بر عملکرد بسته به طول مدت تنش و مرحله‌ی رشد متفاوت است (۲۲). در ذرت اعمال تنش می‌تواند عملکرد دانه را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهد. در ایران، به علت کمبود منابع آب و درنتیجه بروز تنش برای گیاه، عملکرد به‌شدت کاهش می‌یابد. درک تأثیر تنش خشکی و رژیم‌های آبی بر عملکرد دانه، گامی مؤثر در توسعه ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار است (۱۵،۱۹). در شرایط اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک، دوره پرشدن دانه در غلات عمدتاً با خشکی و گرما مواجه می‌شود. تمرکز تحقیقات در این مناطق بر اساس به‌گزینی ارقام زودرس با خصوصیات مرفولوژی و فیزیولوژیک مناسب جهت گریز از شرایط خشکی پایان فصل است (۸). خشکی آخر فصل اساساً سبب کاهش ماده خشک و عملکرد دانه می‌گردد. در چنین شرایطی به دلیل اینکه فتوسنتز کاهش می‌یابد، استفاده از مواد پروردهٔ ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی اهمیت پیدا می‌کند (۳). روش‌های متعددی برای بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های حساس و غیر حساس در محیط‌های تنش و بدون تنش ارائه‌شده است. به‌عنوان‌مثال انجام آزمایش‌های مقایسه عملکرد در دو شرایط محیطی متضاد، یعنی در شرایط تنش و شرایط بدون تنش از آن جمله‌اند. گزینش ژنوتیپ‌هایی که به هر دو شرایط محیطی سازگارند، هدف اصلی این‌گونه آزمایش‌هاست (۱۲،۲۱). این تحقیق به‌منظور ارزیابی تحمل خشکی هیبریدهای ذرت با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی در نه هیبرید ذرت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در بهار سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز کرمانشاه به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول (عامل اصلی) تنش خشکی در دو سطح (تنش و عدم تنش) که در کرت‌های بزرگ‌تر قرار گرفتند و عامل فرعی اثر نه هیبرید ذرت (جدول ۱) که در کرت‌های کوچک‌تر قرار گرفتند.

برای اجرای این طرح، زمین موردنظر در پاییز شخم زده شد و در بهار دو بار به‌صورت عمود بر هم دیسک خورده و در انتها توسط ماله تسطیح انجام گرفت. از خاک مزرعه به روش زیگزاگ و ا استفاده از مته و استوانه‌های مخصوص برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه قبل از شروع آزمایش و اعمال تیمارها نمونه‌گیری به عمل آمد. با توجه به نتایج آزمون خاک، کودهای فسفات آمونیوم به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، اوره به مقدار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شدند.

جدول ۱- اسامی هیبریدهای موردمطالعه

شماره	هیبرید	شماره	هیبرید
۱	S.C.704	۶	T.W.647
۲	S.C.604	۷	AS71
۳	T.W.666	۸	AS73
۴	S.C.540	۹	مبین کرج
۵	S.C.677		

کودهای فسفر و پتاس به همراه نیمی از کود نیتروژن قبل از کاشت به زمین داده شد و بقیه کود نیتروژن *به‌صورت* سرک بعد از مرحله‌ی تنش رویشی مورداستفاده قرار گرفت. کاشت در نخستین روزهای اردیبهشت‌ماه در کرت‌هایی به عرض سه متر (چهار ردیف به فاصله ۷۵ سانتی‌متر) و طول چهار متر، با دست انجام گرفت و در هر کپه سه عدد بذر کاشته و بلافاصله آبیاری انجام شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۷ سانتی‌متر تنظیم گردید. در مرحله چهار برگی، بوته‌های اضافی حذف و فقط یک بوته در هر کپه نگهداری شد. در کرت اصلی (شرایط آبیاری نرمال)، آبیاری بر اساس نیاز ظاهری گیاه به‌طور متوسط هر ۷ روز یک‌بار انجام شد. در کرت فرعی تنش آبی از ابتدای مرحله‌ی رشد سریع گیاه (۶ برگی) به مدت ۲۱ روز متوقف گردید و بعدازاین مرحله آبیاری به‌صورت نرمال انجام گرفت. در انتهای فصل رشد با قطع آبیاری و مشاهده رسیدگی فیزیولوژیکی، بوته‌های ابتدا و انتهای هر کرت (به طول ۰/۵ متر از هر طرف) حذف، و پس از توزین بلال و جدا نمودن دانه از چوب بلال، عملکرد دانه از طریق معادله یک به‌دست‌آمده (البته جهت تأیید صحت کار پس از جدا نمودن دانه‌ها از چوب بلال نسبت به توزین کل دانه جداشده از بلال نیز اقدام شد.)

معادله ۱ (وزن چوب‌بلال- وزن بلال)= عملکرد دانه

پس از برآورد عملکرد دانه، میانگین هر کرت بر اساس رطوبت ۱۴٪ از معادله دو محاسبه شد:

معادله ۲ (۱۴-۱۰۰) / (درصد رطوبت دانه-۱۰۰) وزن دانه با رطوبت موجود = عملکرد دانه با رطوبت ۱۴٪

شاخص‌های تحمل خشکی شامل: شاخص حساسیت به تنش (SSI)[1] (۱۲)، شاخص تحمل (TOL)[2] (۲۱)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)[3] (۲۱)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)[4] (۱۲)، شاخص میانگین هارمونیک (HAM)[5] (۱۳)، شاخص تحمل به تنش (STI)[6] (۱۲)، شاخص تحمل تنش تغییریافته (K_i)[7] (۱۰)، شاخص عملکرد (YI)[8] (۱۶)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)[9] (۸)، شاخص تحمل تنش غیر زیستی (ATI)[10] (۱۸)، شاخص تولید در

1-Stress Susceptibility Index.
2-Tolerance.
3-Mean productivity.
4-Geometric Mean Productivity.
5-Harmonic Mean.
6-Stress Tolerance Index.
7- Modified stress tolerance index.
8-Yield Index.
9-Yield Stability Index.
10- Abiotic Tolerance Index.

شرایط تنش و غیر تنش (SNPI)[1] (۱۸)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)[2] (۱۸)، با توجه به فرمول‌های مربوط به هر شاخص با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد، ضرایب همبستگی بین کلیه صفات موردانداز‌ه‌گیری و شاخص تحمل خشکی، به همراه سطح معنی‌دار شدن آن‌ها و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. همچنین با استفاده از نرم‌افزار Minitab سهم هر عامل در تغییرات کل، مقادیر ویژه و بردارهای ویژه برای هر عامل تعیین شد و بر اساس دو مؤلفه اول بای پلات رسم گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس هیبریدها برای عملکرد دانه در جدول دو درج شده است. بین هیبریدها از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت که این امر نشان‌دهنده واکنش متفاوت هیبریدهای مورد بررسی است. اثر تنش خشکی نیز بر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد. اما اثر متقابل هیبرید در تنش خشکی معنی‌دار نبود.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به عملکرد دانه برای هیبریدهای مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (گرم/مترمربع)
تکرار	۲	۳۸۴۶۹/۶۷**
شرایط تنش خشکی	۱	۶۹۴۸۵۷/۴۱**
خطای اصلی	۲	۵۲۹/۴۹
هیبرید	۸	۹۹۰۲۵/۲۲**
هیبرید × تنش خشکی	۸	۱۳۶۳/۰۳ns
خطای فرعی	۳۲	۲۶۴۹۰/۰۸
درصد ضریب تغییرات		۶/۱۵

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

برای تعیین هیبریدهای متحمل خشکی بر اساس شاخص‌های محاسبه‌شده، ابتدا رتبه هر هیبرید محاسبه و هیبریدها بر اساس مقادیر عددی و رتبه هر شاخص باهم مقایسه شدند (بهترین هیبرید بر اساس شاخص رتبه یک و ضعیف‌ترین هیبرید رتبه نه داده شد). درنهایت با توجه به درجه میانگین و انحراف معیار درجات تمام شاخص‌های تحمل خشکی مطلوب‌ترین هیبریدها شناسایی شدند (جدول ۴). نتایج حاصل از مقادیر عددی شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی در جدول (۳) آمده است. بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و فاقد تنش خشکی مربوط به هیبرید شماره یک بود. کمترین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و فاقد تنش خشکی نیز به هیبرید شماره دو تعلق داشت. به‌عبارت‌دیگر هرچقدر عملکرد دانه در هر دو شرایط بیشتر باشد می‌توان عنوان نمود که آن هیبرید مقاوم‌تر است. با توجه به بالا بودن شاخص STI هیبریدهای یک، سه و هشت به‌عنوان هیبریدهایی با پتانسیل عملکرد بالا شناسایی شدند. با توجه به شاخص‌های HAR و GMP هیبریدهای شماره یک، سه و هشت انتخاب شدند. علاوه بر این، ازنظر شاخص SSI هیبریدهای شماره دو و

1- Stress Non-stress Production Index.
2- Stress Susceptibility Percentage Index.

یک از مقادیر کمتری برخوردار بودند و به‌عنوان هیبریدهای متحمل به خشکی انتخاب شدند. هیبریدهای شماره دو، پنج و شش از نظر شاخص TOL کمترین مقادیر را داشتند.

هیبریدهایی با مقادیر کم برای شاخص TOL اختلاف عملکرد کمتری در شرایط تنش خشکی و فاقد تنش خشکی داشتند و هیبریدهای با مقادیر زیاد SSI عملکرد پایین‌تری در محیط تنش به دلیل حساسیت این ژنوتیپ‌ها به تنش، داشتند. انتخاب بر اساس شاخص TOL باعث انتخاب هیبریدهایی می‌شود که در محیط بدون تنش خشکی عملکرد و میانگین بهره‌وری پایینی دارند (۱۲،۲۲)، لذا این شاخص، به‌تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های گروه A محسوب شود. انتخاب بر اساس شاخص SSI نیز باعث انتخاب هیبریدهایی می‌شود که متحمل به تنش هستند ولی پتانسیل عملکردشان پایین است (۱۲)، لذا این شاخص نیز قادر به تشخیص هیبرید-هایی که در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند نیست. سی‌وسه مرده و همکاران (۲۴) با ارزیابی 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.

شاخص‌های K1STI و K2STI نیز قادر به شناسایی هیبریدهای مطلوب بودند. بر اساس این دو شاخص هیبریدهای شماره یک، سه و هشت انتخاب و به‌عنوان هیبریدهای مطلوب و متحمل به خشکی نسبت به دیگر هیبریدهای موردمطالعه معرفی شدند. ازنظر شاخص‌های YI، YSIو SNPI هیبرید شماره یک به‌عنوان متحمل‌ترین هیبرید نسبت به خشکی شناسایی شد. بااین‌وجود، شاخص ATI هیبرید شماره دو را به‌عنوان هیبرید متحمل و هیبرید شماره یک را به‌عنوان هیبرید حساس به تنش خشکی شناسایی کرد (جدول ۴). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در اکثر مطالعات انجام‌شده در گیاهان زراعی مختلف مشخص‌شده است که هیبریدهایی نسبت به شرایط خشکی مقاوم‌تر هستند که ازنظر شاخص‌های GMP، MP، K1STI، K2STI، HAR، YI، YSI، SNPI و STI دارای بیشترین مقادیر و ازنظر شاخص‌های SSI، TOL، ATI و SSPI دارای کمترین مقادیر باشند (۲۲،۱۶،۱۳،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۷). به‌طورکلی نتایج حاصل از این مقایسه مقادیر رتبه‌ای، مجموع رتبه و انحراف از میانگین رتبه شاخص‌های محاسبه‌شده برای هر هیبرید نشان داد که هیبریدهای شماره ۱، ۳ و ۸ دارای تحمل تنش خشکی بیشتری نسبت به سایر هیبریدهای موردمطالعه هستند. با توجه به اینکه تحمل خشکی صفتی پیچیده بوده و عوامل مختلفی در آن دخالت دارند، لذا گزینش هیبریدهای متحمل برمبنای هرکدام از شاخص‌ها و یا عملکرد به‌تنهایی مشکل است و حتی گاهی نتایج ضدونقیضی به دنبال دارد.

جدول ۳- مقادیر عددی شاخص‌های تحمل خشکی موردمطالعه در هیبریدهای ذرت

هیبرید	Ys	Yp	SSI	TOL	MP	GMP	HAR	STI	K1	K2	YI	YSI	ATI	SNPI	SSPI
۱	۸۸۸/۳۶	۱۱۲۴/۵	۰/۹۹۹۹۹	۲۳۶/۱۴	۱۰۰۶/۴۳	۹۹۹/۴۸	۹۹۲/۵۷	۱/۱۴	۱/۶۴	۱/۶۴	۱/۲۰	۰/۸۲	۱۸۶۴۵۳/۱۶	۱۹۶۳/۰۳	۱۲/۶۱
۲	۶۱۹/۳	۷۸۳/۹۲	۰/۹۹۹۹۷	۱۶۴/۶۲	۷۰۱/۶۱	۶۹۶/۷۶	۶۹۱/۹۵	۰/۵۵	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۸۳	۰/۷۹	۹۰۶۱۳/۹۳	۱۳۶۸/۴۸	۸/۷۹
۳	۸۰۶/۹	۱۰۲۱/۴	۱/۲۳	۲۱۴/۵	۹۱۴/۱۵	۹۰۷/۸۳	۹۰۱/۵۶	۰/۹۴	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۰۹	۰/۶۸	۱۵۳۸۳۷/۰۸	۱۷۸۳/۱۰	۱۱/۴۶
۴	۶۸۵/۸	۸۶۸/۱	۱/۰۶	۱۸۲/۳۰	۷۷۶/۹۵	۷۷۱/۵۸	۷۶۶/۲۵	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۹۲	۰/۶۹	۱۱۱۱۲۱/۰۳	۱۵۱۵/۴۲	۹/۷۴
۵	۶۷۱/۶۶	۸۵۰/۲	۱/۰۰	۱۷۸/۵۴	۷۶۰/۹۳	۷۵۵/۶۷	۷۵۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۹۰	۰/۷۸	۱۰۶۵۸۵/۱۷	۱۴۸۴/۱۷	۹/۵۴
۶	۶۴۳/۸۵	۸۱۵	۰/۹۸	۱۷۱/۱۵	۷۲۹/۴۲	۷۲۴/۳۸	۷۱۹/۳۸	۰/۵۹	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۸۷	۰/۶۹	۹۷۹۴۳/۱۴	۱۴۲۲/۷۲	۹/۱۴
۷	۷۹۸/۰۴	۱۰۱۰/۲	۱/۱۰	۲۱۲/۱۶	۹۰۴/۱۲	۸۹۷/۸۷	۸۹۱/۶۷	۰/۹۲	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۷	۰/۶۷	۱۵۰۴۸۹/۲۵	۱۷۶۳/۳۹	۱۱/۳۳
۸	۸۵۳/۳۶	۱۰۸۰/۲	۰/۹۷	۲۲۶/۸۴	۹۶۶/۷۸	۹۶۰/۱۰	۹۵۳/۴۷	۱/۰۵	۱/۴۰	۱/۴۰	۱/۱۵	۰/۷۶	۱۷۲۰۵۳/۶۳	۱۸۸۵/۶۸	۱۲/۱۲
۹	۶۸۴/۹۱	۸۶۶/۹۸	۱/۱۰	۱۸۲/۰۷	۷۷۵/۹۴	۷۷۰/۵۸	۷۶۵/۲۶	۰/۶۷	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۹۰	۰/۶۸	۱۱۰۸۳۷/۲۲	۱۵۱۳/۴۴	۹/۷۳

جدول ۴- رتبه، میانگین رتبه و انحراف معیار شاخص‌های تحمل خشکی موردمطالعه در هیبریدهای ذرت

هیبرید	Ys	Yp	SSI	TOL	MP	GMP	HAR	STI	K1	K2	YI	YSI	ATI	SNPI	SSPI	میانگین رتبه	انحراف معیار	جمع رتبه
۱	۱	۱	۱	۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹	۱	۹	۲/۶۰	۳/۳۱	۵/۹۱
۲	۹	۹	۲	۱	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۲	۱	۹	۱	۶/۴۷	۳/۷۱	۱۰/۱۹
۳	۳	۳	۸	۷	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۸	۷	۳	۷	۴/۴۷	۲/۱۶	۶/۶۳
۴	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۰	۵
۵	۷	۷	۳	۳	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۳	۳	۷	۳	۵/۶۷	۳/۸۰	۷/۶۲
۶	۸	۸	۶	۲	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۶	۲	۸	۲	۶/۵۳	۵/۹۸	۸/۹۸
۷	۴	۴	۹	۶	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۹	۶	۴	۶	۵/۰۷	۳/۲۰	۶/۸۶
۸	۲	۲	۴	۸	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۴	۸	۲	۸	۳/۴۷	۵/۹۸	۵/۹۱
۹	۶	۶	۷	۴	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۷	۴	۶	۴	۵/۷۳	۰/۹۲	۶/۶۹

ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی

به‌منظور تعیین بهترین شاخص(ها)، همبستگی بین عملکرد دانه هیبریدها در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) با شاخص‌های تحمل خشکی محاسبه گردید. 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، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، چراکه این شاخص‌ها قادر به شناسایی هیبریدهایی با عملکرد بالا در هردو محیط (ژنوتیپ‌های گروه A) می‌باشند. ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HAR، STI، K1STI، K2STI، YI و SSPI دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش بودند که این امر نشان می‌دهد که این شاخص‌ها قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A می‌باشند (۱۲). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج دیگر محققین مطابقت دارد (۱۷،۱۸). در ضمن بین هفت شاخص مذکور همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز وجود داشت که این امر نشان‌دهنده آن است که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان جایگزینی برای یکدیگر جهت ارزیابی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی استفاده کرد. در نتیجه می‌توان بیان کرد که شاخص‌های مذکور، بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر می‌باشند. محققین مختلف با بررسی ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی مختلف در شرایط تنش و فاقد تنش، شاخص‌های تحمل به خشکی مانند STI، MP، GMP، MSTI و SSPI را جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل خشکی مناسب دانستند. همچنین نشان دادند که ژنوتیپ‌هایی با STI بالا معمولاً تفاوت زیادی در محصول در دو شرایط مختلف دارند. آن‌ها به‌طورکلی گزارش نمودند، که قدرت تمایز ژنوتیپ‌ها بر اساس سه شاخص GMP وMP و STI برابر است (۱۸،۱۷،۹،۶). همبستگی شاخص TOL با عملکرد دانه در شرایط تنش غیر معنی‌دار و با عملکرد در شرایط فاقد تنش مثبت و معنی‌دار بود. بااین‌وجود، شاخص SSI با عملکرد دانه در هر دو محیط تنش و فاقد تنش خشکی همبستگی مثبت ولی غیر معنی‌دار داشت. بنابراین به نظر می‌رسد این شاخص‌ها، به‌عنوان معیارهای مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر مورداستفاده واقع نشوند. اظهارشده که شاخص‌های SSI و TOL فقط شکل‌پذیری ژنوتیپ‌های موردمطالعه را ارزیابی می‌کنند درحالی‌که یک ژنوتیپ ممکن است در هر دو محیط بالاترین مقدار را داشته باشد ولی در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر SSI و TOL بالاتری داشته باشد. از طرف دیگر شاخصی مانند STI

وراثت متوسطی داشته و معمولاً قادر است ژنوتیپ‌های پر محصول را در هر دو محیط شناسایی نماید (۲۲). بنابراین اگرچه در اکثر مطالعات انجام‌گرفته نتایج مشابهی از توانایی چنین شاخص‌هایی به‌منظور تمایز ژنوتیپ‌های گروه A فرناندز گزارش می‌شود ولی باید توجه نمود که شرایط محیطی و زمینه ژنتیکی گیاه نیز ممکن است پاسخ‌های متفاوتی را در هر شرایط نشان دهد. در این مطالعه شاخص‌های SNPI و ATI اگرچه با اکثر شاخص‌های تحمل خشکی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند بااین‌وجود، شاخص ATI تنها با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و شاخص SNPI تنها با عملکرد دانه در شرایط فاقد تنش خشکی همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان دادند. بنابراین با توجه به نظریه‌های ارائه‌شده این دو شاخص قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A نخواهند بود (۱۲).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس داده‌های حاصل از شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی محاسبه شد (جدول ۶). دو مؤلفه اول حدود ۹۸ درصد کل تغییرات داده‌ها را بیان نمودند، لذا ترسیم دوبعدی بر اساس دو مؤلفه اول انجام شد (شکل ۱). مؤلفه اول ۸۶/۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد. در مؤلفه دوم تنها ۱۱/۱ 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، هیبریدهایی انتخاب می‌شوند که دارای MP، GMP، STI و YI بالا، TOL و SSI پایین بوده و دارای عملکرد در شرایط تنش خشکی بالاتری خواهند بود. این نتایج با گزارش سایر محققان مطابقت داشت (۶).

از ترسیم گرافیکی بای‌پلات به منظور بررسی روابط بین شاخص‌های تحمل به خشکی استفاده شد، چون بای‌پلات ابزار مفیدی برای تجزیه اطلاعات و ارزیابی ساختار یک ماتریس دوطرفه است که به کمک آن می‌توان روابط بیشتر از سه متغیر را به‌صورت یکجا بررسی کرد (۱۴). بر اساس بای‌پلات ترسیم‌شده (شکل یک) برمبنای دو مؤلفه اول هیبریدها گروه‌بندی شدند به‌طوری‌که این گروه‌بندی مرتبط با میانگین عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی هیبریدها بود. همان‌گونه که در شکل یک ملاحظه می‌شود هیبریدهای شماره سه، هفت، هشت و یک که در ناحیه پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل خشکی و هیبریدهای شماره پنج، شش دو، چهار و نه در ناحیه حساسیت به تنش خشکی و عملکرد پایین در مجاورت شاخص‌های مهم حساسیت به خشکی SSI قرارگرفته‌اند و این عکس‌العمل‌های متفاوت نشانگر پاسخ متفاوت هیبریدها نسبت به شرایط تنش خشکی است.

تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های برتر

دندروگرام حاصل از این تجزیه در شکل دو آمده است. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود با توجه به شاخص‌های یادشده هیبریدها در دو گروه جداگانه قرار گرفتند. هیبریدهای شماره چهار، نه، پنج، دو و شش در یک گروه قرار گرفتند، این گروه ازنظر شاخص‌های ذکرشده در حد پایینی قرار دارند و دارای Y_S پایینی بودند، پس این هیبریدها حساس به خشکی می‌باشند. هیبریدهای شماره سه، هفت، یک و هشت نیز در یک گروه قرارگرفته که دارای Y_P و Y_S بالا و همچنین مقادیر بالایی از شاخص‌های مهم تحمل خشکی هستند. بنابراین این هیبریدها متحمل خشکی هستند. به‌طورکلی نتایج حاصل از گروه‌بندی هیبریدها با استفاده از این تجزیه با نتایج به‌دست‌آمده از ترسیم بای‌پلات گابریل (شکل یک) مطابقت نشان داد.

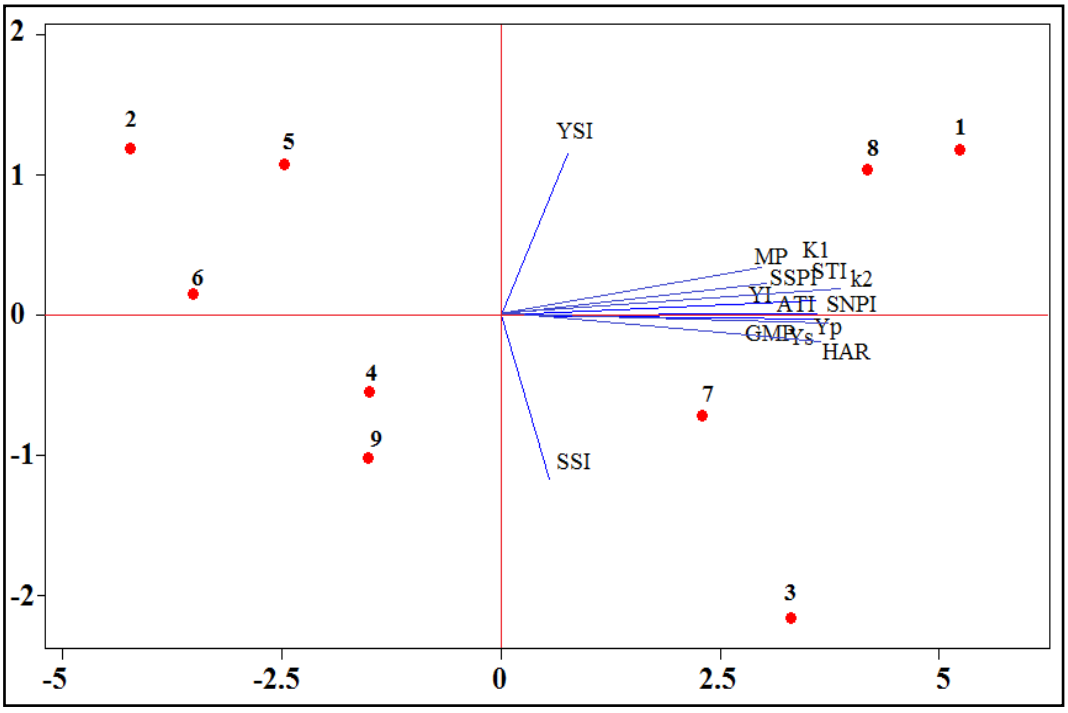
جدول۵- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی در هیبریدهای ذرت موردمطالعه

	Yp	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	HAR	STI	K1	k2	YI	YSI	ATI	SNPI	SSPI
Ys	۰/۸۲۹**														
SSI	۰/۲۰۷	۰/۳۱۹													
TOL	۰/۶۸۴*	۰/۴۸۹	۰/۲۰۷												
MP	۰/۷۸۶**	۰/۷۸۴**	۰/۳۰۷	۰/۴۷۸**											
GMP	۰/۸۲۳**	۰/۸۹۷*	۰/۷۸	۰/۳۹۸**	۰/۵۶۱**										
HAR	۰/۹۷۱**	۰/۸۷۶*	۰/۶۷۸**	۰/۹۹۹**	۰/۴۹۸**	۰/۶۵۴**									
STI	۰/۹۹۹*	۰/۹۹۹**	۰/۱۷۹	۰/۷۸۹**	۰/۸۹۹**	۰/۷۳۲*	۰/۳۶۷*								
K1	۰/۷۹۲**	۰/۵۹۲**	۰/۱۱۱	۰/۹۹۲**	۰/۹۷۸**	۰/۹۹۱**	۰/۷۸۹**	۰/۹۹۷**							
k2	۰/۷۴۲**	۰/۴۶۹*	۰/۳۶۸	۰/۹۲۹**	۰/۹۷۸*	۰/۹۸۳**	۰/۹۹۲**	۰/۹۹۷**	۰/۹۹۰**						
YI	۰/۸۹۱**	۰/۷۸۸**	۰/۲۷۸	۰/۹۹۸**	۰/۹۵۴**	۰/۹۸۱**	۰/۳۵۶**	۰/۴۶۸**	۰/۸۰۹**	۰/۹۲۹**					
YSI	-۰/۱۹۴	-۰/۲۳۴	۰/۹۳۵**	-۰/۳۵۴	-۰/۱۳۴	-۰/۳۵۴	-۰/۳۳۴	-۰/۳۱۱	-۰/۲۵۶	-۰/۸۵۹	-۰/۴۱۶				
ATI	۰/۹۹۹	۰/۲۳۹*	۰/۱۷۸	۰/۹۹۹**	۰/۹۶۵**	۰/۶۹۸**	۰/۹۹۹**	۱**	۰/۹۹۷**	۰/۹۹۷**	۰/۹۹**	-۰/۳۱۱			
SNPI	۰/۲۶۵*	۰/۶۸۱	۰/۸۹۹**	۰/۳۳۵**	۰/۹۵۶**	۰/۹۹۹*	۰/۹۲۴*	۰/۹۹۹**	۰/۸۹۶*	۰/۸۹۷**	۰/۳۶۱*	-۰/۳۰۹	۰/۸۷۱**		
SSPI	۰/۹۶۸**	۰/۹۴۸**	۰/۶۵۳**	۰/۹۰۴**	۰/۹۸۶**	۰/۹۵۱**	۰/۸۷۷**	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۰*	۰/۸۹۷**	۰/۹۳۱**	-۰/۲۱	۰/۱۴۷	۰/۶۶۱*	

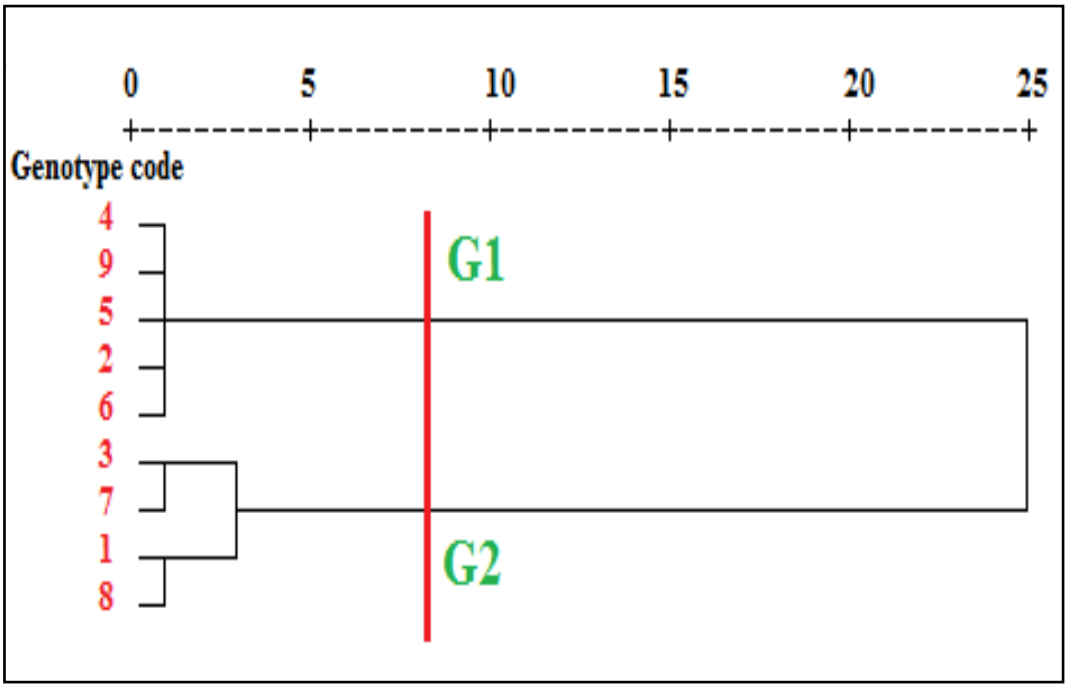
* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۶- مقادیر ویژه، سهم تجمعی و بردارهای ویژه شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و فاقد تنش خشکی

شاخص	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
Yp	۰/۲۷۷	-۰/۰۱۸
Ys	۰/۲۷۷	-۰/۰۱۹
SSI	۰/۰۴۳	-۰/۷۰۸
TOL	۰/۲۷۷	-۰/۰۲۹
MP	۰/۲۷۷	-۰/۰۱۹
GMP	۰/۲۷۷	-۰/۰۲۴
HAR	۰/۲۷۷	-۰/۰۲۹
STI	۰/۲۷۷	۰/۰۰۷
K1	۰/۲۷۶	۰/۰۶۰
K2	۰/۲۷۶	۰/۰۶۰
YI	۰/۲۷۷	-۰/۰۲۹
YSI	۰/۰۵۹	۰/۶۹۹
ATI	۰/۲۷۷	۰/۰۰۷
SNPI	۰/۲۷۷	-۰/۰۱۹
SSPI	۰/۲۷۷	-۰/۰۳۰
مقادیر ویژه	۱۳/۰۴۲	۱/۶۵۱
سهم تجمعی (٪)	۸۶/۹	۱۱/۱



شکل ۱- ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش خشکی



شکل ۲- گروه‌بندی هیبریدهای ذرت موردمطالعه بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و فاقد تنش (Yp) و شاخص‌های HAR، GMP، MP، STI، K1، و SSPI

نتیجه‌گیری نهایی

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته می شود و به‌عنوان یک تنش چندبعدی گیاهان را در سطوح مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهندهٔ واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های موردمطالعه برای عملکرد دانه و امکان انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد است. مقایسه مقادیر عددی و رتبه هر ژنوتیپ بر اساس شاخص‌های تحمل خشکی نشان داد که بر اساس شاخص‌های تحمل خشکی مبتنی بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شماره یک، سه، هفت و هشت به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل خشکی و سایر ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناسایی گردیدند. ترسیم بای پلات گابریل بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت. دو مؤلفه اول حدود ۹۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. بنابراین ترسیم بای پلات بر اساس دو مؤلفه اول صورت گرفت. و نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های موردمطالعه در دو ناحیه پتانسیل عملکرد بالا و ناحیه پتانسیل عملکرد ضعیف قرار گرفتند، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های شماره یک، سه، هفت و هشت با قرارگرفتن در مجاورت بردارهای تحمل به تنش خشکی به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های برتر ژنوتیپ‌های موردمطالعه را در دو گروه کلی تفکیک کرد که این نتایج با نتایج حاصل از ترسیم بای‌پلات گابریل و ترسیم سه بعدی مطابقت کامل نشان داد.

منابع

۱- امام، ی.، ۱۳۹۰، زراعت غلات چاپ چهارم، انتشارات یال، ۱۹۰ صفحه

۲- آقایی‌سربرزه، م.، روستائی، م.، ر. محمدی، ر.، حق‌پرست، ر. و رجبی، ر.، ۱۳۸۸. شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گندم نان. مجلهٔ الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۲(۱): ۱-۲۳.

۳- روحی، ا. و طهماسبی سروستانی، ز.، ۱۳۸۵. بررسی میزان انباشت ماده خشک و توزیع مجدد آن در ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف گندم دیم در شرایط آبیاری تکمیلی. مجله علمی کشاورزی. ۲۹(۲): ۵۵-۶۳.

۴- گلباشی، م.، شعاع‌حسینی، م.، خاوری خراسانی، س.، فارسی، و. و ضرابی، م. ۱۳۸۸. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیک هیبریدهای سینگل کراس و تری وی کراس ذرت دانه‌ای. چکیده مقالات همایش ملی اصلاح الگوی مصرف در کشاورزی و منابع طبیعی. صفحه ۲۲۵.

۵- نورمحمدی، ق.، سیادت، س .ع. و کاشانی، ع. ۱۳۸۰. زراعت غلات .جلد اول. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۴۴۶ صفحه.

۶- نورمند موید، ف.، رستمی، م ع. و قنادها، م ر.، ۱۳۸۰. بررسی صفات مرفو فیزیولوژیکی گندم نان در رابطه آن‌ها با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش خشکی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۳۲ (۴) ۹۲-۸۱.

7- Bouslama, H. 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.

8- Ehdaie, B., Waines, J. G. and Hall, A. E. 1998. Differential responses of landrace and improved spring wheat genotypes to stress. Crop Science. 28: 838-842.

9- Farshadfar, E. and Elyasi, P. 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticumaestivum* L.) landraces. European Journal of Experimental Biology. 3(2): 577-584.

10- **Farshadfar, E. and Sutka, J. 2003**. Locating QTLs controlling adaptation in wheat using AMMI model. Cereal Research Communication. 31: 249-256.

11- **Farshadfar, E., Pour Siahbidi, M. M. and Pour Aboughadareh, A. R. 2012**. Repeatability of drought tolerance indices in bread wheat genotypes. International Journal of Agriculture and Crop science. (4)13: 891-903.

12- **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. Chapter 25, pp: 257-270.

13- **Fischer, R. and Maurer, R. 1987**. Drought resistant in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research. 29: 895-97.

14- **Gabriel, K. R. 1971**. Thebiplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. Biometrika. 58: 453-467.

15- **Garcia Del Moral, L.F., Rharrabti, Y., Villegas, D. and Royo, D. 2003**. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: An antigenic approach. Agronomy. 95: 266-274.

16- **Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciaroli, G. L. and Borghi, B. 1997.** Evalution of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science. 77: 523-531.

17- **Golabadi, M., Arzani, A. and Mirmohammadi Maibody, S. A. M. 2006**. Assessment Drought Tolerance in segregating populations in Durum wheat, African Journal of Agricultural Research. 5(1): 162-171.

18- **Moosavi, S. S., YazdiSamadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A.A., Dashti, H. and Pourshahbazi, A. 2008**. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert. 12: 165-178.

19- **Nelson, B. 2002**. Stressand the common corn plant. Summary of presentation at Indiana crop conference internet. www.king corn.com.

20- **Ramirez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. 1998**. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica. 99: 127-136.

21- **Rosielle, A. A. and Hamblin, I. 1981**. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 21: 43-46.

22- **Setter, T. L., Flannigan, B. and Melkonian, J. 2001**. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize. Crop Science. 41: 1530–1540.

23- **Siani, H. S. and Aspinall, A. 1981**. Effects of water deficit on sporogensis in wheat. Annals of Botany. 43: 623-633.

24- **Sio-se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006**. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research. 98: 222-229.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 8, No. 2, Autumn & Winter 2018

Study of drought stress of hybrid corns (*Zea mays*) using drought tolerance indices

Mohsen Farshadfar[1*], Hooshmand Safari[2], Hooman Shirvani[3], Mostafa Amjadian[4], Hoshang Rahmati[4]

1- Associate Prof., Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran
2- Agriculture and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, I.R. Iran
3- Instructor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran
4- Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran
Corresponding Author; Email: m.farshadfar@pnu.ac.ir

(Received: 6 August 2018; Accepted: 21 November 2018)

Abstract

In order to investigate drought tolerance of maize hybrids, a split plot experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in the research field of Payame Noor University (PNU) of Kermanshah in 2013. The main factor included drought stress (stress and normal condition) and sub factor including nine corn hybrids. The results of analysis of variance indicate the different reaction of the hybrids studied for grain yield and the ability to select hybrids based on yield. Comparison of numerical values and rank of each hybrid based on grain yield based on grain tolerance index showed that hybrids number one, three, seven and eight were identified as drought tolerant hybrids.Results of correlation analysis showed that MP, GMP, STI, HAR, K1, K2, SSPI and YI had positive and significant correlations with Yp and Ys. They are suitable for choosing high yield hybrids in both conditions. Gabriel's bi-plot drawing was performed based on the analysis of the main components. Based on this breakdown, the first two components justify about 98 percent of the variance. The results showed that the studied hybrids were located in two groups of high yield potential and weak potential, so that hybrids number one, three, seven and eight were placed in the vicinity of drought stress tolerance vectors as superior hybrids. The cluster analysis, based on the superior indices of the studied hybrids grouped the hybrids into two clusters that are similar to the Gabriel bi-plot.

Key words: Drought tolerance, Cluster analysis, Bi-plot, Yield