دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی تحمل به تنش خشکی هیبریدهای ذرت دانه‌ای

محمدرضا شیری[1] و رجب چوکان[2]

۱- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(نویسنده مسوول: mohammadrezashiri52@gmail.com)
۲- استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج،
تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۰

چکیده

اصلاح و بهبود تحمل ذرت به تنش‌های محیطی از جمله مهم‌ترین اهداف اصلاح ذرت است و تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در تولید پایدار ذرت به شمارمی‌رود. به همین منظور شاخص‌های تحمل به خشکی تعداد ۳۸ هیبرید ذرت دانه‌ای، تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه در دو آزمایش جدا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی مغان مورد مقایسه قرار گرفتند. در ارزیابی تحمل و حساسیت هیبریدهای مورد مطالعه به تنش خشکی از شاخص‌های SSI (شاخص حساسیت به تنش)، TOL (شاخص تحمل)، MP (میانگین حسابی محصول‌دهی)، HAR (میانگین هارمونیک محصول‌دهی)، GMP (میانگین هندسی محصول‌دهی) و STI (شاخص تحمل به تنش) استفاده شد. هیبریدهای K3653/2 × 1- 1-1-1-3-1-1-2-1-3-1-1-1 K74/2 و SC704 در هر دو شرایط آبیاری، عملکرد دانه بالاتراز میانگین داشتند. این دو هیبرید با بالاترین مقدار STI، در نمودار بای پلات در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت به خشکی پایین قرار گرفتند. از طرف دیگر لاین پدری اکثر هیبریدهای متحمل به تنش خشکی، لاین K3653/2 بود، بنابراین توصیه می‌شود در برنامه‌های به‌نژادی ذرت در استخراج ارقام متحمل به تنش خشکی از این لاین بیشتر استفاده شود. همچنین نتایج نشان داد، هرچند شاخص‌های GMP،MP و STI نسبت به سایر شاخص‌ها در به گزینی هیبریدهای متحمل با عملکرد بالا موفق‌تر بودند، اما با بکارگیری تجزیه بای پلات می‌توان هیبریدهای متحمل به تنش خشکی را بهتر گزینش نمود.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، ذرت، شاخص‌های مقاومت به خشکی

مقدمه

میانگین بارندگی سالیانه ۲۴۰ میلی‌متر، ایران را در زمره کشورهای خشک جهان قرار داده است. آب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان به خصوص در مناطق خشک است. هر سال خسارت زیادی از طریق خشکی در مناطق کشت ذرت به این گیاه وارد می‌شود (۴). در مناطق گرمسیری عملکرد دانه ذرت به طور متوسط در حدود ۱۷ درصد کاهش می‌یابد، اما بسته به شدت تنش و زمان وقوع آن کاهش عملکرد می‌تواند به ۸۰ درصد هم برسد (۳). عملکرد ذرت تحت تاثیر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهم‌کنش آنها قرار می‌گیرد. اگر چه همه تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده از عوامل تهدیدکننده کاهش تولید ذرت به حساب می‌آیند، اما در حال حاضر تنش کم آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده برای تولید موفق ذرت در ایران و جهان به شمار می‌رود (۲۳). یافتن ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی از عملکرد مطلوبی بر خوردار باشند، به علت معنی‌دار بودن اثر متقابل موجود میان ژنوتیپ و محیط امر پیچیده‌ای به نظر می‌رسد. بدین منظور محققین روش‌های مختلفی را به شرح زیر پیشنهاد کرده‌اند: ۱- گزینش بر اساس عملکرد بالقوه ژنوتیپ‌ها، ۲- گزینش بر اساس معیارهای پایداری، ۳- گزینش بر اساس تلفیقی از عملکرد و صفاتی با عملکرد همبستگی نشان می‌دهند و ۴- استفاده از عملکرد حاصل از هر دو شرایط فاقد و واجد تنش. اثر متقابل ژنوتیپ×محیط با تغییر عملکرد نسبی ژنوتیپ در محیط‌های مختلف، گزینش ژنوتیپ‌های برتر را پیچیده و با اشکال مواجه می‌نماید (۵،۱۱،۲۱). اثر متقابل ژنوتیپ و محیط همبستگی بین اثر ژنوتیپی و فنوتیپی را کاهش داده و پیشرفت گزینش ژنوتیپ‌ها به ویژه در شرایط تنش خشکی را کاهش می‌دهد. ارزیابی عملکرد گیاه، مهم‌ترین شاخص برای شناسایی ارقام سازگار به محیط دارای تنش است (۲۳). انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باعث انتخاب ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا می‌گردد. چون پاسخ به انتخاب در شرایط بدون تنش به دلیل بالا بودن وراثت‌پذیری عملکرد در شرایط بدون تنش، حداکثر است (۱۲). فرناندز (۸) ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به چهار گروه A (عملکرد بالا در هر دو محیط)، گروه B (عملکرد خوب فقط در شرایط بدون تنش)، گروه C (عملکرد خوب فقط در شرایط تنش) و گروه D (عملکرد ضعیف در هر دو محیط)، تقسیم کرد. به نظر فرناندز بهترین معیار آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. زیرا پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های مربوط به این گروه بیشتر است. فیشر و مورر (۹) شاخص حساسیت به تنش (SSI)[1] را به منظور اندازه‌گیری پایداری عملکرد دانه ارائه کردند که تغییرات عملکرد دانه بالقوه و عملکرد دانه واقعی را در محیط‌های متغیر در بر می‌گیرد. روزیل و هامبلین (۱۷)شاخص تحمل (TOL)[2] را به عنوان معیار تعیین اختلاف عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و میانگین حسابی محصول‌دهی (MP)[3] به عنوان تخمین عملکرد متوسط بکار بردند. مقدار بالای شاخص TOL نشان‌دهنده حساسیت بالاتر ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی است. بنابراین برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب، پایین‌تر بودن مقدار TOL یک معیار مناسب محسوب می‌شود. گزینش بر

1-Stress Susceptibility Index 2- Tolerance 3- Mean Productivity

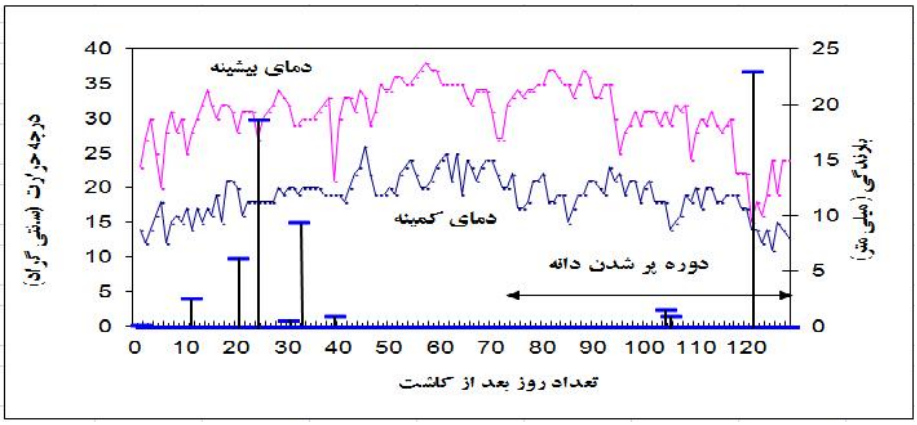
مبنای میانگین محصول‌دهی در شرایط تنش و بدون تنش با مقدار عددی بالاتر برای آن همراه است. شاخص تحمل به تنش (STI)[1]، به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های که در شرایط تنش همانند شرایط بدون تنش عملکرد دانه بالایی دارند و همچنین میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)[2] توسط فرناندز (۸) معرفی شد. نتایج تحقیق‌های قبلی نشان می‌دهد گزینش بر اساس شاخص‌های TOL و SSI سبب هدایت برنامه اصلاح نباتات به سوی انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین می‌شود ولی انتخاب بر اساس میانگین عملکرد (MP) سبب گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا می‌شود (۲۴،۱۹). شاخص‌های TOL و SSI قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از C و شاخص MP قادر تفکیک به گروه A از B نمی‌باشند (۲۴،۱۹،۱۷). در حالی که فرناندز (۸)، در بررسی ۲۱ رقم ماش در دو شرایط تنش شدید و متوسط آبیاری نشان داد که شاخص تحمل به تنش (STI) با قدرت تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها، گزینش را به طرف انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی سوق می‌دهد و هرچه مقدار آن زیادتر باشد نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی و در نتیجه عملکرد بالاست. نتایج مشابه با نتایج فرناندز توسط مقدم و هادی‌زاده (۱۴)، چوکان و همکاران (۴) و علی پور و همکاران (۱) در ذرت یاری و همکاران (۲۵) در آفتابگردان نیز گزارش شده است. در بررسی فرناندز همچنین روابط بین شاخص‌ها بوسیله نمایش بای پلات به تصویر کشیده شد، به طوری که در شدت تنش متوسط مؤلفه اول ۶۹ درصد از تنوع داده‌ها را توصیف کرد و به علت اینکه با شاخص‌های YP، YS، MP، GMP و STI همبستگی مثبت بالایی داشت، به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد نام‌گذاری شد، مؤلفه دوم نیز حدود ۳۰ درصد از کل تنوع بین داده‌ها را توصیف کرد و به جهت اینکه با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی مثبت بالایی داشت، به عنوان مؤلفه تحمل به تنش نامیده شد. در شرایط تنش شدید نیز نتایج مشابهی را گزارش نمود (۸). تنش‌های محطیی غیرزنده نظیر خشکی، میزان تولید و متوسط عملکرد ذرت را در کشور تحت تاثیر شدید قرار می‌دهند. الگوی بارندگی و توزیع آن نیز از سالی به سال دیگر متغیر است، به طوری‌که خشکسالی‌های متوالی در سال‌های اخیر باعث کاهش تولید ذرت در کشور شده است. با توجه به مطالب فوق، بایستی در کنار تحقیقات برای شرایط آبیاری معمولی، تحقیقات در شرایط کم آبی نیز اجرا شود تا رقم مناسب برای این شرایط نیز تولید شوند. این تحقیق نیز به منظور بررسی کارایی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و همچنین شناسایی هیبریدهای ذرت متحمل به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به مدت دو فصل زراعی طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی مغان واقع در شمالی‌ترین نقطه استان اردبیل (بین ۳۹ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۴۵ تا ۵۰ متر از سطح دریای آزاد) اجراء شد. دشت مغان به علت شرایط توپوگرافی خاص، اصولاً آب و هوای مغایر با سایر مناطق آذربایجان و حتی نواحی جنوبی آن دارد. بر اساس آمار آب و هوایی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس آباد، این منطقه جزء اقلیم نیمه بیابانی خفیف بوده، دارای زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم می‌باشد. گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد و سردترین ماه‌های سال دی و بهمن می‌باشند. متوسط بارندگی در فصل پاییز ۷۸/۵، زمستان ۸۲، بهار ۱۰۶/۵ و تابستان ۳۲ میلی‌متر می‌باشد. بیش‌ترین میزان بارندگی طبق آمار هواشناسی پارس آباد از فروردین تا آخر خرداد می‌باشد. طبق آمار ۲۵ ساله پارس آباد متوسط بارندگی ۲۷۱/۲ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالانه ۱۴۸۶/۵ میلی‌متر گزارش شده است. بر اساس این آمار، در ایستگاه پارس آباد بیش‌ترین مقدار تبخیر متعلق به ماه‌های تیر و مرداد و کم‌ترین میزان تبخیر در ماه دی و بهمن می‌باشد. در سال اول اجرای آزمایش (سال۱۳۹۰)، میانگین دمای بیشینه، دمای کمینه، رطوبت نسبی و کل بارندگی به ترتیب برابر با ۲۰/۷ سانتی‌گراد، ۹/۸ سانتی‌گراد، ۷۰/۳ درصد و ۲۱۶/۸ میلی‌متر بود. این اعداد در طول دوره رشد ذرت (از زمان کاشت تا رسیدن فیزیولوژیکی) به ترتیب برابر با ۳۰/۶ سانتی‌گراد، ۱۸/۹ سانتی‌گراد، ۶۳/۹ درصد و ۶۴/۴ میلی‌متر بود. در این سال بیشتر بارندگی، حدود ۷۰ درصد بارندگی در خارج از دوره رشد ذرت و ۳۰ درصد بارندگی در طول دوره رشد ذرت اتفاق افتاده است. از ۳۰ درصد بارندگی اتفاق افتاده در محدوه رشد ذرت، تنها ۱۲ درصد آن در طول دوره پرشدن دانه بوده است (شکل ۱). در سال ۱۳۹۱وضعیت مشابهی با سال ۱۳۹۰ در منطقه مغان مشاهده شد. به دلیل شرایط اقلیمی منطقه، زراعت ذرت به میزان زیادی به آبیاری احتیاج دارد.، دور عرف منطقه‌ی آبیاری بین ۷ تا ۱۰ روز است.

1- Stress Tolerance Index

2- Mean -Geometric Mean Productivity



شکل ۱- مقادیر دمای بیشینه، دمای کمینه و میزان بارندگی (میله‌های عمودی) در طی سال‌های اجرای آزمایش در طول دوره رشد هیبریدهای مورد مطالعه در منطقه مغان

Figure 1. Maximum temperature, minimum temperature and rainfall (vertical bars) during the field evaluation of studied maize hybrids during plant growth at moghan region

به منظور تعیین میزان تحمل هیبریدهای ذرت به تنش خشکی، تعداد ۳۸ هیبرید ذرت دانه‌ای در دو شرایط آبیاری کامل (آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و عرف منطقه) و شرایط قطع آبیاری در دوره پر شدن دانه (آبیاری تا مرحله اتمام گرده افشانی و قطع آبیاری بعد از اتمام گرده افشانی تا آخر دوره رشد) مورد ارزیابی قرار گرفتند. میزان آب ورودی و خروجی به آزمایشات جهت تعیین مقدار آب مصرفی با استفاده از فلوم W.S.C. اندازه‌گیری شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۵ متر بود که در روی هرخط ۲۵ بوته به فاصله ۲۰سانتی‌متر به صورت دستی کاشته شد. با احتساب ۷۵ سانتی‌متر فاصله خطوط کاشت، تراکم کشت در حدود ۷۵۰۰۰ هزار بوته در هکتار بود. جهت اطمینان از سبز شدن تعداد دو بذر در هر کپه کاشته شد. پس از تنک کردن در مرحله ۴-۵ برگی شدن (حدود ۱۸ روز بعد از کاشت) فقط یک بوته در هر کپه نگه‌داری شد. از زمان کاشت تا برداشت کلیه مراقبت‌های زراعی لازم از قبیل آبیاری بر اساس تیمارهای آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز، کوددهی و غیره به عمل آمد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی و در دو نوبت انجام گردید. برای مبارزه با آفات از جمله آگروتیس، پیرائوستا، هلیوتیس، کارادرینا و کنه از سموم توصیه شده توسط کارشناسان آفات استفاده شد. کود مصرفی بر اساس آزمون خاک محل آزمایش انجام گرفت. به طوری که، ۳۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیم و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره قبل از کاشت و ۳۰۰ کیلوگرم اوره نیز به صورت سرک مصرف شد. برداشت فقط از دو خط وسط هر کرت به مساحت ۷/۵متر مربع انجام گردید. تیمارهای آبیاری به صورت زیر اعمال گردید:

آبیاری کامل: در این شرایط نه نوبت آبیاری به مقدار ۱۰۶۶۰ مترمکعب در هکتار در طول دوره رویش بر اساس نیاز آبی گیاه و عرف منطقه در طول دوره رویش گیاه انجام گرفت.

تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه: در این شرایط شش نوبت آبیاری به مقدار ۵۹۵۲ مترمکعب در هکتار از مرحله کاشت تا مرحله گرده افشانی انجام گرفت و سپس به منظور اعمال تنش خشکی، آبیاری از مرحله اتمام مرحله گرده افشانی تا مرحله رسیدگی گیاه قطع گردید.

طول دوره تنش خشکی برای هیبریدهای مختلف با توجه طول دوره شدن آنها متفاوت بود. به طوری که در هیبریدهای مختلف طول دوره تنش خشکی بین ۳۰ تا ۴۷ روز متغیر بود (جدول ۱). درجه سختی محیط با SI (شدت تنش) معین می‌کنند که حداکثر آن برابر با یک است. در این تحقیق شدت تنش برابر ۰/۳۲ بود، که نشان‌دهنده ملایم بودن شدت تنش می‌باشد (جدول ۳).

به منظور برآورد شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی از عملکرد هیبریدها در شرایط آبیاری کامل (YP) و عملکرد هیبریدها در شرایط تنش خشکی در مرحله پرشدن (YS) به شرح زیر استفاده شد:

۱) شاخص حساسیت به تنش خشکی (SSI) (۹):

$$SSI = \left[1 - \left(Y_S / Y_P\right)\right] / SI$$

که در آن $SI = 1 - (\bar{Y}_S / \bar{Y}_P)$ است.

۲) میانگین حسابی محصول‌دهی (MP) (۱۷):

$$MP = (Y_P + Y_S)/2$$

۳) شاخص تحمل (TOL) (۱۷):

$$TOL = Y_P - Y_S$$

۴) شاخص تحمل به تنش (STI) (۸):

$$STI = (Y_P \times Y_S)/(\bar{Y}_P)^2$$

۵) میانگین هندسی محصول دهی (GMP) (۸):

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S}$$

۶) میانگین هارمونیک محصول‌دهی (HAR) (۷):

$$HAR = 2(Y_P \times Y_S)/(Y_P + Y$$

که در روابط ذکر شده $\bar{Y}_P$ و $\bar{Y}_S$ به ترتیب میانگین عملکرد دانه کلیه هیبریدها در شرایط آبیاری و تنش خشکی می‌باشند. بدین ترتیب ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از نرم‌افزارهای آماری MSTAT-C و SPSS به منظور انجام تجزیه واریانس، رسم نمودارها و انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودار بای پلات استفاده شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان داد اثر هیبریدها و ژریم‌های آبیاری و همچنین اثر متقابل هیبرید×شرایط آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). پس از نظر عملکرد دانه بین هیبریدهای مورد مطالعه، تنوع ژنتیکی کافی وجود دارد. لذا با توجه به تنوع موجود می‌توان به هیبرید یا هیبریدهای با عملکرد بالا دسترسی پیدا کرد. مقایسه هیبریدها از لحاظ عملکرد دانه در شرایط کشت آبیاری کامل نشان داد که هیبریدهای شماره ۱ و ۸ به ترتیب با عملکرد دانه ۱۰/۲۶ و ۱۱/۱۹ تن در هکتار بالاترین و هیبریدهای شماره ۳۲ و ۳۷ به ترتیب با ۶/۹۹ و ۶/۷۸ تن در هکتار پایین‌ترین عملکرد دانه را داشتند. در شرایط قطع آب در مرحله پر شدن دانه هیبرید شماره ۳۸ (SC704) با عملکرد ۷/۲۷ تن در هکتار بالاترین و هیبرید شماره ۲۳ با عملکرد ۴/۷۰ تن در هکتار پایین‌ترین عملکرد دانه را تولید نمودند (جدول ۳). نتایج مطالعات شیری (۲۱) نیز حکایت از عملکرد بالای هیبرید SC704 و متحمل بودن آن به تنش‌های آبی داشت. در بررسی مقدم و همکاران (۱۵) نیز SC704M از تحمل به تنش خشکی بالایی برخودار بود.

جدول ۱- شجره و طول دوره پر شدن دانه برای ۳۸ هیبرید مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری کامل (GFD_P) و شرایط تنش خشکی (GFD_S)

Table 1. Pedigree and Grain filling duration in normal irrigation (GFD_P) and Grain filling and drought stress (GFD_S) conditions for thirty-eight maize hybrids studied in this study

شماره	ترکیب‌ها	GFD_P	GFD_S
۱	KLM77008/1-3-3-1-2-2-1 ×K3653/2	۴۱/۰۰	۴۶/۵۰
۲	KLM77012/4-1-1-4-1-2-1×K3653/2	۳۶/۶۷	۴۳/۵۰
۳	KLM77021/4-1-2-1-2-1-2×K3653/2	۳۶/۶۷	۴۲/۸۳
۴	KLM77029/8-1-1-1-2-1-5×K3653/2	۴۱/۳۳	۴۵/۸۳
۵	KLM77029/8-1-1-1-2-2-2×K3653/2	۳۹/۶۷	۴۶/۰۰
۶	KLM76004/3-5-1-2-2-1-1-1×K3653/2	۴۷/۳۳	۴۹/۵۰
۷	KLM76012/1-3-1-1-1-2-1-1×K3653/2	۳۶/۳۳	۴۳/۶۷
۸	K74/2-2-1-3-1-1-1-1×K3653/2	۳۸/۶۷	۴۲/۳۳
۹	K74/2-2-1-4-4-1-1-1×K3653/2	۳۷/۶۷	۴۳/۱۷
۱۰	K74/2-2-1-19-1-1-1-1×K3653/2	۳۴/۶۷	۴۳/۵۰
۱۱	K74/2-2-1-21-2-1-1-1×K3653/2	۴۴/۶۷	۴۹/۵۰
۱۲	K74/2-2-1-21-3-1-1-1×K3653/2	۳۹/۰۰	۴۵/۱۷
۱۳	K74/1×K3653/2	۴۱/۰۰	۴۴/۳۳
۱۴	K3545/7×K3653/2	۳۹/۳۳	۴۳/۸۳
۱۵	K3544/4×K3653/2	۳۶/۶۷	۴۲/۵۰
۱۶	K3640/6×K3653/2	۳۹/۳۳	۴۲/۱۷
۱۷	KLM75010/4-4-1-2-1-1-1×K3653/2	۳۸/۶۷	۴۴/۳۳
۱۸	KLM76010/1-13-1-2-1-1×K3653/2	۴۰/۳۳	۴۶/۱۷
۱۹	KLM77008/1-3-3-1-2-2-1×K3615/1	۴۲/۳۳	۴۴/۳۳
۲۰	KLM77012/4-1-1-4-1-2-1×K3615/1	۳۸/۶۷	۴۳/۳۳
۲۱	KLM77021/4-1-2-1-2-1-2×K3615/1	۳۷/۰۰	۴۱/۳۳
۲۲	KLM77029/8-1-1-1-2-1-5×K3615/1	۳۹/۶۷	۴۲/۸۳
۲۳	KLM77029/8-1-1-1-2-2-2×K3615/1	۳۸/۰۰	۴۲/۳۳
۲۴	KLM76004/3-5-1-2-2-1-1-1×K3615/1	۴۰/۶۷	۴۴/۶۷
۲۵	KLM76012/1-3-1-1-1-2-1-1×K3615/1	۴۱/۰۰	۴۳/۰۰
۲۶	K74/2-2-1-3-1-1-1-1×K3615/1	۳۵/۶۷	۴۰/۱۷
۲۷	K74/2-2-1-4-4-1-1-1×K3615/1	۳۶/۶۷	۴۱/۶۷
۲۸	K74/2-2-1-19-1-1-1-1×K3615/1	۳۸/۶۷	۴۳/۶۷
۲۹	K74/2-2-1-21-2-1-1-1×K3615/1	۳۹/۳۳	۴۳/۰۰
۳۰	K74/2-2-1-21-3-1-1-1×K3615/1	۳۹/۶۷	۴۴/۰۰
۳۱	K74/1×K3615/1	۴۳/۳۳	۴۴/۶۷
۳۲	K3545/7×K3615/1	۳۷/۶۷	۴۱/۸۳
۳۳	K3544/4×K3615/1	۳۸/۳۳	۴۱/۵۰
۳۴	K3640/6×K3615/1	۳۸/۰۰	۴۱/۳۳
۳۵	KLM75010/4-4-1-2-1-1-1× K3615/1	۳۸/۰۰	۴۲/۰۰
۳۶	KLM76010/1-13-1-2-1-1× K3615/1	۴۱/۰۰	۴۵/۰۰
۳۷	SC700	۳۸/۰۰	۴۲/۵۰
۳۸	SC704	۳۶/۶۷	۴۱/۰۰
میانگین	-	۳۹/۱۴	۴۳/۶۶

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب دوساله عملکرد دانه در هیبریدهای مورد مطالعه در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه
Table 2. The two-years combined analysis of variance for grain yield across normal and water deficit conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	تجزیه واریانس مرکب دو ساله	
		شرایط آبیاری کامل	شرایط تنش خشکی
(Y)سال	۱	۴/۲۰۷**	۱۷/۱۱۶*
(a) خطای	۴	۰/۱۱	۱/۸۸۳
(H)هیبرید	۳۷	۵/۹۲۷**	۱/۵۱۴**
Y ×H	۳۷	۰/۵۹۵**	۰/۲۳۲**
(b) خطای	۱۴۸	۰/۳۳۸	۰/۲۳۵
درصد ضریب تغییرات	-	۷/۱۹	۸/۹۲
		تجزیه واریانس مرکب دو ساله دو شرایط	
(Y) سال	۱	۱۹/۱۵**	
(Ir) آبیاری	۱	۷۹۵/۴**	
Y× Ir	۱	۲/۱۸ns	
(a) خطای	۸	۰/۹۹۶	
(H)هیبرید	۳۷	۴/۵۷۶**	
Y ×H	۳۷	۰/۴۲۱ns	
Ir ×H	۳۷	۲/۸۶۵**	
Y × Ir ×H	۳۷	۰/۴۰۶ns	
(b) خطای	۲۹۶	۰/۲۸۷	
درصد ضریب تغییرات	-	۷/۹۲	

ns، * و**: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

میانگین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل ۸/۰۱ تن در هکتار بود در صورتی که در شرایط قطع آب در مرحله پر شدن دانه ۵/۴۴ تن در هکتار بود. این نشان می‌دهد عملکرد دانه در شرایط قطع آب در مرحله پر شدن دانه نسبت به شرایط آبیاری کامل ۳۲/۷ درصد کاهش داشته است. این کاهش معنی‌دار بیشتر تحت تاثیر کاهش وزن هزار دانه بوده است. در مرحله پر شدن دانه به دلیل کمبود رطوبت، فتوسنتز جاری کاهش یافته و همچنین انتقال مواد به دانه به طور کامل انجام نمی‌گیرد، بنابراین دانه‌های تشکیل شده به نحو مطلوبی پر نشده‌اند و این امر موجب پایین آوردن وزن هزار دانه گردیده و در نتیجه کاهش عملکرد دانه را موجب شده است. در همین راستا اویاتار و همکاران نیز (۱۶) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه در ذرت می شود و این کاهش در تنش مرحله پرشدن دانه بیشتر با کاهش وزن هزار دانه در ارتباط می‌باشد تا تعداد دانه. نتایج بررسی های دنمد و شاو (۶) و اوزبورن و همکاران (۱۵) نشان می‌دهد تنش خشکی در مرحله رشد بلال به میزان ۲۱ درصد در عملکرد دانه کاهش ایجاد می‌کند. نتایج فوق با نتایج این قسمت از بررسی حاضر مطابقت داشت. لازم به ذکر است که تحت شرایط تنش، عملکرد هیبریدها تنها شاخص انتخاب نیست، زیرا عملکرد دانه، صفت کمی بوده و توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود. بنابراین انتخاب بر اساس صرفا عملکرد دانه در جهت بهبود تحمل به خشکی ممکن است موثر واقع نشود. از طرف دیگر معنی‌دار بودن اثر متقابل هیبرید × شرایط آبیاری نشان می‌دهد که هیبریدها در محیط‌های مختلف از نظر عملکرد دانه واکنش متفاوتی در دو شرایط از خود نشان داده‌اند. بنابراین انتخاب هیبرید متحمل به خشکی فقط بر اساس عملکرد دانه مناسب نیست، باید علاوه بر عملکرد دانه، پایداری عملکرد دانه در شرایط مختلف نیز مدنظر قرار گیرد. به همین منظور در مطالعه حاضر از شاخص‌های تحمل به خشکی و تجزیه بای پلات جهت انتخاب هیبرید متحمل به خشکی و پایدار استفاده گردید. به منظور برآورد شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی هیبریدها از شاخص‌های پیشنهادی روزیل و هامبلین (۱۸)، فیشر و مورر (۹) و فرناندز (۸) استفاده شد. میزان تحمل و حساسیت هر یک از هیبریدهای مورد مطالعه با استفاده از این شاخص‌ها برآورد و نتایج در جدول ۳ آورده شده است. همان طوری که اشاره شد به نظر فرناندز بهترین معیار آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. زیرا پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های مربوط به این گروه بیشتر است (۸). بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، هیبریدهای شماره ۴، ۵، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۷، ۱۸، ۲۴ و ۳۸ در گروه A، هیبریدهای شماره ۱، ۹، ۱۰، ۲۹، ۳۰، ۳۵ و ۳۶ در گروه B، هیبریدهای ۲، ۷، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۷، ۲۸، ۳۲، ۳۳ و ۳۴ در گروه C و هیبریدهای شماره ۳، ۶، ۱۴، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۳۱ و ۳۷ در گروه D قرار گرفتند. والد پدری اکثر هیبریدهای گروه A و C لاین K3653/2 بود. می‌توان گفت این لاین واجد ژن‌های تحمل به خشکی بوده و توانایی انتقال تحمل به خشکی به هیبریدهای خود را دارا است. بر همین اساس توصیه می‌گردد اصلاح گران ذرت در استخراج هیبریدهای متحمل به خشکی به لاین K3653/2 توجه بیشتری داشته باشند. بر اساس شاخص‌های SSI و TOL هیبریدهای شماره ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۷، ۳۲ و ۳۴ متحمل‌ترین هیبریدها بودند (جدول ۳). چرا که مقادیر پایین‌تر شاخص‌های SSI و TOL نشان‌دهنده تحمل بالای هیبریدها است. این هیبریدها در گروه‌های C و D قرار گرفتند و عملکرد دانه پایین‌تر از میانگین کل هیبریدها در شرایط تنش خشکی در مرحله پر شدن و آبیاری کامل تولید نمودند. بنابراین این دو شاخص گزینش را به سوی ارقام متحمل و کم بازدهی که دارای تغییرات عملکرد کمتر در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش خشکی است، سوق می‌دهد. بهتر است از این شاخص‌ها در حذف ارقام حساس و نه گزینش

ارقام متحمل به تنش استفاده کرد. در این خصوص شیرین‌زاده و همکاران (۲۴)، مقدم و هادی‌زاده (۱۴) و چوکان و همکاران (۴) نتایج مشابهی را در ذرت ارائه کردند. مقادیر بالاتر شاخص‌های MP، HAR و GMP نشان‌دهنده تحمل بالای هیبریدها به تنش خشکی است. بر اساس این شاخص‌ها هیبریدهای شماره ۱، ۴، ۸، ۱۷و ۳۸ به عنوان هیبریدهای متحمل به تنش خشکی شناخته شدند. بر اساس شاخص STI نیز هیبریدهای شماره ۱، ۴، ۸، ۱۷و ۳۸ هیبریدهای متحمل به تنش خشکی شناخته شدند. چرا که مقادیر بالاتر این شاخص نیز نشان‌دهنده تحمل به خشکی بالا است (جدول ۳). این پنج هیبرید عملکرد دانه بالاتر از میانگین در هر دو شرایط مورد بررسی داشتند و در گروه A قرار داشتند. لذا این شاخص‌ها گزینش را به سوی هیبریدهای پر پتانسیل سوق می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت شاخص‌های SSI و TOL در تقسیم‌بندی ارقام به گروه‌های مختلف کاملا ضعیف می‌باشد. این شاخص ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس تحمل و حساسیت آنها به تنش‌های محیطی، بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها گروه‌بندی می‌کند. در حالی که شاخص STI قدرت تفکیک بالائی داشته و ارقام مورد مطالعه را به چهار گروه متفاوت تفکیک کرد. بنابراین شاخص STI بر خلاف شاخص‌های SSI و TOL در گزینش هیبریدها متحمل به خشکی با عملکرد دانه موفق بوده است. شیرین‌زاده و همکاران نیز در سال ۲۰۰۹ دربررسی تحمل به خشکی هیبریدهای ذرت تحت شرایط مختلف تنش رطوبتی به این نتیجه رسیدند شاخص‌های STI، GMP و MP در به گزینی ارقام نسبت به سایر شاخص‌ها موفق‌تر بودند (۲۴). شفازاده و همکاران (۲۰) و صادق‌زاده اهری (۱۸) در بررسی که روی گندم انجام دادند، نتیجه مشابهی گزارش نمودند. سنجری و یزدان سپاس (۱۹) در آزمایشی که روی ژنوتیپ‌ها و لاین‌های گندم انجام داد، مشخص نمودند که شاخص STI و GMP در جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A از سایر شاخص‌ها موفق‌تر بوده است.

نتایج حاصله از شاخص در گزینش هیبریدهای متحمل نشان داد استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی مختلف منجر به انتخاب هیبریدهای متحمل یا حساس به خشکی مشابه نگردید. بنابراین در انتخاب هیبریدهای متحمل به خشکی، بکارگیری شاخصی که به طور هم‌زمان از تلفیق این شاخص‌ها بدست آمده باشد، سودمند خواهد بود. در یک نمودار سه بعدی فقط روابط بین سه متغیر (عملکرد در شرایط تنش، عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص STI) را می‌توان مطالعه کرد (۲۲). برای مطالعه روابط بیش از سه متغیر، یک شکل حاصل از نمایش چند متغیره مانند بای پلات می‌تواند سودمند واقع شود (۱۰). برای بهره‌مندی از سودمندی شکل بای پلات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ماتریس داده‌های مربوط به ۸ شاخص و ۳۸ هیبرید انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۴ آمده است.

نتایج حاصله از تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که اولین مؤلفه اصلی ۷۱/۴۹ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد. این مؤلفه همبستگی مثبت و بالایی با YP، YS، MP، HAR، GMP و STI داشت. با توجه به اینکه میزان بالای این شاخص‌ها مطلوب هستند. بنابراین در صورت بالا بودن میزان مؤلفه اصلی اول، ارقامی انتخاب می‌شوند که دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط و مقادیر بالایی برای شاخص‌های MP، HAR، GMP و STI هستند. بنابراین مؤلفه اول را می‌توان مؤلفه عملکرد بالا و مؤلفه تحمل به خشکی نامید. دومین مؤلفه اصلی ۲۸/۲۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را تبیین کرد و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش (YS) و شاخص‌های MP، HAR، GMP و STI و همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های TOL و SSI داشت (جدول ۴). بنابراین مؤلفه اصلی دوم را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری کرد. این مؤلفه اصلی می‌تواند هیبریدهای با عملکرد پایین در شرایط تنش را شناسایی کند. با توجه به اینکه مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP و STI و مقادیر پایین TOL و SSI مطلوب هستند. بنابراین در شکل بای پلات با انتخاب ناحیه با مولفه اول بالا و مولفه دوم پایین می‌توان هیبریدهای با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی را انتخاب کرد. هیبریدها با توجه میانگین و تحمل به تنش آنها در نواحی مختلف بای پلات ترسیمی (شکل ۲) قرار گرفتند. هیبریدهای ۴، ۷، ۸، ۱۲، ۱۵، ۱۷، ۲۷ و ۳۸ در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی یعنی در ناحیه‌ی با مولفه اصلی اول بالا و مولفه اصلی دو پایین (قسمت بالا و سمت چپ) واقع شدند (شکل ۲). بنابراین این هیبریدها برای شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب تشخیص داده شدند. این هیبرید همچنین با شاخص STI نیز به عنوان هیبرید متحمل به تنش انتخاب شده بودند. بنابراین به جهت پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی بالا بهترین هیبریدها در این بررسی، شناخته شدند.

جدول ۳- برآورد شاخص‌های تحمل به تنش از روی عملکرد دانه شرایط آبیاری کامل (YP) و شرایط تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه (YS) در هیبریدهای ذرت

Table 3. Estimation of drought tolerance indices based on grain yield of maize hybrids under normal irrigation and drought stress conditions

شماره	YP (tha^{-1})	YS (tha^{-1})	MP	HAR	GMP	STI	TOL	SSI
۱	۹/۸۳	۵/۲۱	۷/۵۲	۶/۸۱	۷/۱۶	۰/۷۸	۴/۶۲	۱/۷۰
۲	۸/۰۷	۵/۵۶	۶/۸۲	۶/۵۸	۶/۷۰	۰/۶۹	۲/۵۱	۱/۱۲
۳	۷/۲۰	۴/۷۹	۵/۹۹	۵/۷۵	۵/۸۷	۰/۵۳	۲/۴۱	۱/۲۱
۴	۸/۸۲	۶/۰۰	۷/۴۱	۷/۱۴	۷/۲۷	۰/۸۱	۲/۸۲	۱/۱۵
۵	۸/۶۶	۵/۶۰	۷/۱۳	۶/۸۰	۶/۹۷	۰/۷۴	۳/۰۶	۱/۲۸
۶	۷/۴۵	۵/۲۰	۶/۳۲	۶/۱۲	۶/۲۲	۰/۵۹	۲/۲۵	۱/۰۹
۷	۸/۰۱	۵/۷۴	۶/۸۷	۶/۶۸	۶/۷۸	۰/۷۰	۲/۲۷	۱/۰۲
۸	۱۰/۹۱	۵/۸۷	۸/۳۹	۷/۶۳	۸/۰۰	۰/۹۸	۵/۰۳	۱/۶۷
۹	۸/۶۲	۵/۰۳	۶/۸۲	۶/۳۵	۶/۵۸	۰/۶۶	۳/۵۹	۱/۵۰
۱۰	۹/۱۶	۴/۹۲	۷/۰۴	۶/۴۰	۶/۷۱	۰/۶۹	۴/۲۴	۱/۶۷
۱۱	۸/۵۴	۵/۶۰	۷/۰۷	۶/۷۶	۶/۹۲	۰/۷۳	۲/۹۴	۱/۲۴
۱۲	۸/۴۸	۵/۸۴	۷/۱۶	۶/۹۲	۷/۰۴	۰/۷۶	۲/۶۴	۱/۱۲
۱۳	۷/۶۶	۵/۶۰	۶/۶۳	۶/۴۷	۶/۵۵	۰/۶۶	۲/۰۶	۰/۹۷
۱۴	۷/۵۰	۵/۴۳	۶/۴۶	۶/۳۰	۶/۳۸	۰/۶۲	۲/۰۸	۱/۰۰
۱۵	۸/۰۷	۵/۵۹	۶/۸۳	۶/۶۰	۶/۷۱	۰/۶۹	۲/۴۸	۱/۱۱
۱۶	۷/۰۴	۵/۶۸	۶/۳۶	۶/۲۹	۶/۳۲	۰/۶۱	۱/۳۶	۰/۷۰
۱۷	۸/۹۲	۶/۲۳	۷/۵۸	۷/۳۴	۷/۴۶	۰/۸۵	۲/۶۹	۱/۰۹
۱۸	۸/۷۴	۶/۰۵	۷/۳۹	۷/۱۵	۷/۲۷	۰/۸۱	۲/۶۹	۱/۱۱
۱۹	۷/۲۷	۵/۷۷	۶/۵۲	۶/۴۳	۶/۴۸	۰/۶۴	۱/۵۰	۰/۷۵
۲۰	۶/۷۴	۵/۶۵	۶/۲۰	۶/۱۵	۶/۱۷	۰/۵۸	۱/۰۹	۰/۵۸
۲۱	۶/۷۹	۵/۲۵	۶/۰۲	۵/۹۲	۵/۹۷	۰/۵۵	۱/۵۵	۰/۸۲
۲۲	۵/۹۷	۵/۰۷	۵/۵۲	۵/۴۸	۵/۵۰	۰/۴۶	۰/۸۹	۰/۵۴
۲۳	۷/۱۱	۴/۳۳	۵/۷۲	۵/۳۸	۵/۵۵	۰/۴۷	۲/۷۸	۱/۴۱
۲۴	۸/۲۶	۵/۵۹	۶/۹۲	۶/۶۷	۶/۷۹	۰/۷۱	۲/۶۶	۱/۱۷
۲۵	۷/۶۷	۴/۸۳	۶/۲۵	۵/۹۲	۶/۰۸	۰/۵۷	۲/۸۵	۱/۳۴
۲۶	۷/۶۵	۴/۴۸	۶/۰۶	۵/۶۵	۵/۸۵	۰/۵۲	۳/۱۷	۱/۵۰
۲۷	۷/۷۹	۵/۹۵	۶/۸۷	۶/۷۵	۶/۸۱	۰/۷۱	۱/۸۴	۰/۸۵
۲۸	۷/۵۴	۵/۴۵	۶/۵۰	۶/۳۳	۶/۴۱	۰/۶۳	۲/۰۹	۱/۰۰
۲۹	۹/۱۶	۵/۲۷	۷/۲۱	۶/۶۹	۶/۹۴	۰/۷۴	۳/۸۹	۱/۵۳
۳۰	۹/۰۵	۴/۸۹	۶/۹۷	۶/۳۵	۶/۶۶	۰/۶۸	۴/۱۶	۱/۶۶
۳۱	۷/۲۶	۵/۱۱	۶/۱۹	۶/۰۰	۶/۰۹	۰/۵۷	۲/۱۵	۱/۰۷
۳۲	۷/۶۶	۴/۷۷	۶/۲۱	۵/۸۸	۶/۰۴	۰/۵۶	۲/۸۹	۱/۳۶
۳۳	۷/۸۳	۵/۶۳	۶/۷۳	۶/۵۵	۶/۶۴	۰/۶۸	۲/۲۱	۱/۰۲
۳۴	۷/۲۸	۵/۶۹	۶/۴۸	۶/۳۹	۶/۴۴	۰/۶۳	۱/۵۸	۰/۷۹
۳۵	۸/۶۲	۵/۳۶	۶/۹۹	۶/۶۱	۶/۸۰	۰/۷۱	۳/۲۶	۱/۳۷
۳۶	۹/۱۲	۵/۰۴	۷/۰۸	۶/۴۹	۶/۷۸	۰/۷۰	۴/۰۸	۱/۶۲
۳۷	۶/۹۷	۴/۷۲	۵/۸۵	۵/۶۳	۵/۷۴	۰/۵۰	۲/۲۵	۱/۱۷
۳۸	۹/۶۲	۶/۸۴	۸/۲۳	۷/۹۹	۸/۱۱	۱/۰۱	۲/۷۸	۱/۰۴
میانگین	۸/۰۸	۵/۴۴	۶/۷۶	۶/۴۸	۶/۶۱	۰/۶۸	۲/۷۸	۱/۱۵

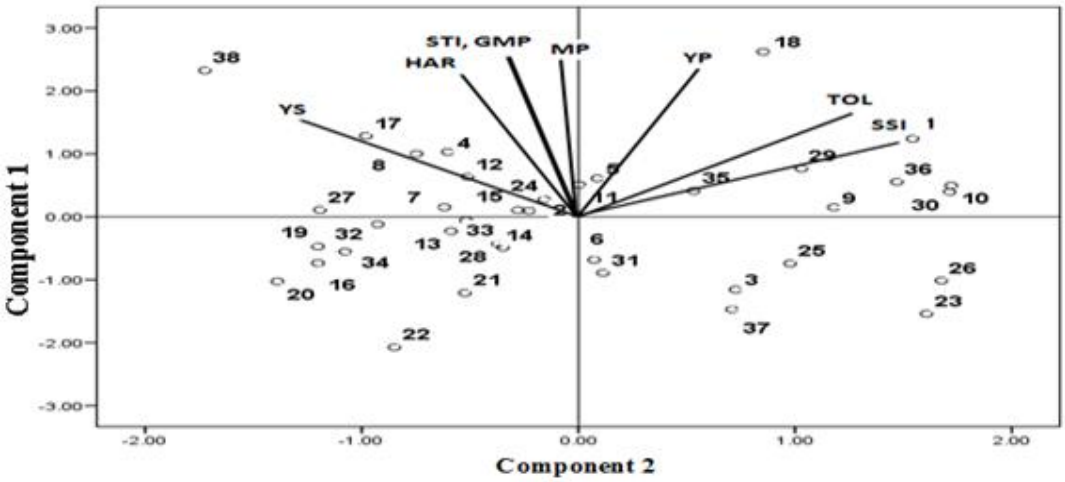
جدول ۴- مقادیر ویژه، سهم تجمعی و بردارهای ویژه شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه در هیبریدهای ذرت

Table 4. Principal component loadings for drought tolerant indices on maize hybrides

مولفه‌ها	درصد سهم تجمعی	YP	YS	MP	HAR	GMP	STI	TOL	SSI
۱	۷۱/۴۹	۰/۹۴۲	۰/۶۲۳	۰/۹۹۸	۰/۹۴۴	۰/۹۸۳	۰/۹۸۱	۰/۶۵۱	۰/۴۵۵
۲	۹۹/۷۵	۰/۳۳۴	-۰/۷۸۲	-۰/۰۴۹	-۰/۳۲۹	-۰/۱۸۵	-۰/۱۸۷	۰/۷۵۷	۰/۸۸۶
۳	۹۹/۹۵	-۰/۰۴۱	۰/۰۲۳	-۰/۰۲۴	۰/۰۳۷	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۱	-۰/۰۵۳	۰/۰۹۴
۴	۱۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	-۰/۰۵۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱
۵	۱۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
۶	۱۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
۷	۱۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
۸	۱۰۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰

هیبریدهای، ۶، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۳۱ و ۳۷ در ناحیه با عملکرد پایین و حساسیت بالا به خشکی (قسمت پایین و سمت راست) قرار گرفته‌اند. به‌طورکلی قرار گرفتن هیبرید مورد مطالعه در ناحیه‌های مختلف نمودار بای پلات حاکی از وجود تنوع ژنتیکی هیبریدها به تنش خشکی دانست. احمدی و همکاران (۲) در بررسی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی با استفاده از روش‌های آماری چند متغییره در ذرت نتایج مشابهی را گزارش نمودند. بر اساس نتایج آنها مولفه‌های اول

و دوم به ترتیب ۶۶/۶ و ۳۳/۴ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه نمودند و به ترتیب با پتانسیل عملکرد دانه بالا و حساسیت به تنش خشکی مرتبط بودند. فرشادفر و همکاران (۷) و گل آبادی و همکاران (۱۳) مشخص نمودند در شکل بای پلات با انتخاب ناحیه ی با مولفه اصلی اول بالا و مولفه اصلی دو پایین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و با انتخاب ناحیه‌ی با مولفه اصلی اول پایین و مولفه اصلی دو بالا ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین انتخاب می‌شوند.



شکل ۲- نمایش بای پلات هیبریدهای بر اساس اولین و دومین مولفه اصلی حاصله از تجزیه به مولفه اصلی روی شاخص تحمل به خشکی
Figure 2. The biplot display of maize hybrids and drought tolerance indices based on the first and second principal components

در نمودار بای پلات کسینوس زاویه بین بردارهای شاخص‌ها بیانگر شدت همبستگی بین آنها است. اگر کسینوس زاویه بین دو بردار صفر باشد همبستگی بین آنها برابر با ۱+ است، در حالی که کسینوس ۹۰ درجه بیانگر همبستگی صفر و کسینوس زاویه ۱۸۰ درجه نشانگر همبستگی ۱- است. نتایج برجسته‌ی که می‌توان از این قسمت تحقیق گرفت عبارتند: (الف) وجود زاویه باز بین بردار YS با بردارهای SSI و TOL نشان می‌دهد عملکرد در شرایط تنش همبستگی منفی و معنی‌دار با این شاخص‌ها دارد. (ب) وجود زاویه نزدیک به ۹۰ درجه بین بردار SSI با بردار شاخص‌های GMP، HAR، MP و STI نشان می‌دهد شاخص SSI با شاخص‌های فوق همبستگی نزدیک به صفر دارد. (ج) زوایه بین بردار Yp و Ys با بردار شاخص‌های GMP، HAR، MP وSTI بسیار تند است که دلالت بر وجود همبستگی بالا بین Yp و Ys با این شاخص‌هاست (شکل ۲). نتایج مشابهی را گل آبادی و همکاران (۱۳) نیز گزارش کردند. از آنجایی که مناسب‌ترین شاخص آن است که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی دارای همبستگی معنی‌دار و هم جهت با عملکرد داشته باشد، بنابراین به نظر می‌رسد برای پیش‌بینی عملکرد در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی شاخص‌های STI، GMP و MP نسبت به شاخص‌های TOL و SSI مؤثرتر باشند.

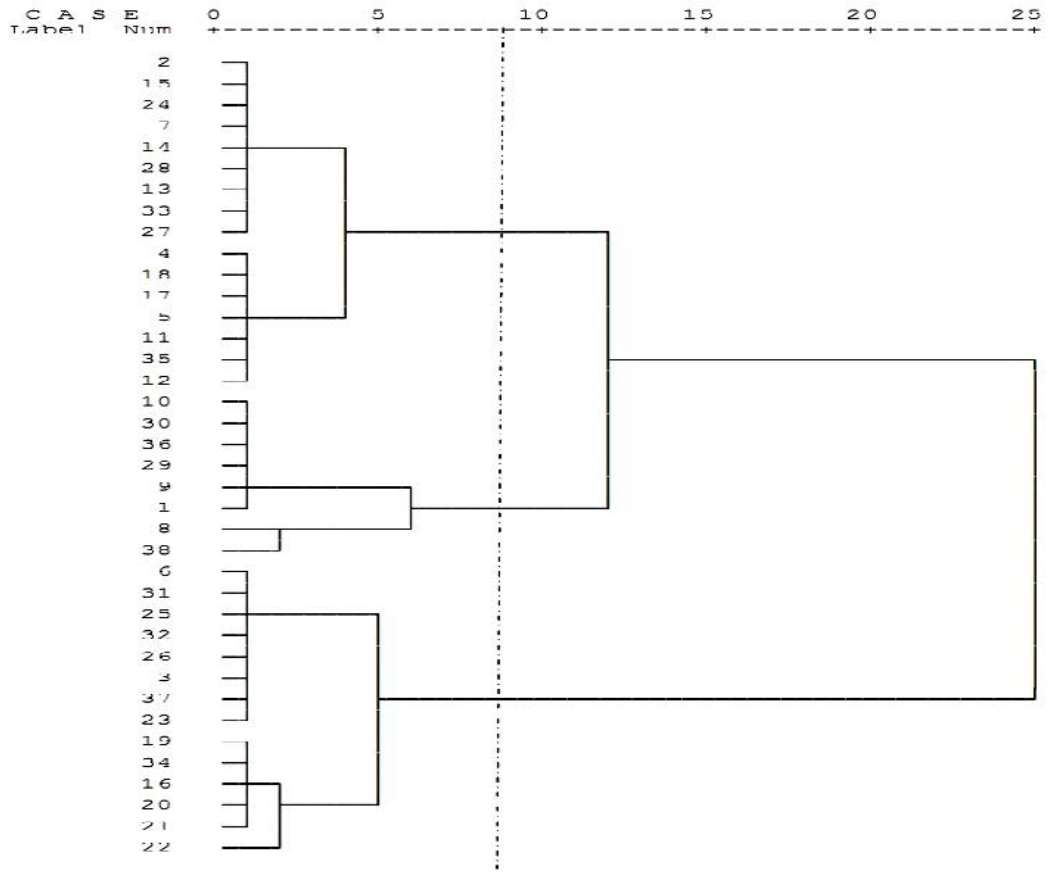
تجزیه کلاستر یکی از متداول‌ترین روش‌های آماری چند متغییره در بررسی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی افراد می‌باشد. برای گروه‌بندی هیبریدهای مورد مطالعه از تجزیه خوشه‌ای بر مبنای روش وارد و ضریب توان دوم فاصله اقلیدسی استفاده شد. دندروگرام حاصل از ۳۸ هیبرید ذرت دانه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در شکل ۳ نشان داده شده است. تعداد خوشه از طریق برش دندروگرام در محلی که بیشترین تمایز را در دندروگرام ایجاد می‌کرد، برابر با ۳ بدست آمد. بر اساس سه خوشه ترکیب خوشه‌ها به شرح زیر بود (شکل ۳):

خوشه اول: این خوشه با ۱۶ هیبرید، قابل انتساب به دو زیر گروه بود (شکل ۳). زیر گروه اول این خوشه را هیبریدهای ۲، ۱۵، ۲۴، ۷، ۱۴، ۲۸، ۱۳، ۳۳، ۲۷ تشکیل دادند که تمام هیبریدها به جز هیبرید شماره ۲۴ در گروه C در معیار فرناندز قرار گرفتند. در زیر گروه دوم هیبریدهای ۴، ۱۸، ۱۷، ۵، ۱۱، ۳۵، ۱۲ قرار گرفتند که تمامی این هیبریدها به جز هیبرید شماره ۳۵ بر اساس گروه‌بندی فرناندز در گروه A قرار داشتند. چون در گروه‌بندی فرناندز هیبریدهای که در گروه A و B قرار می‌گیرند دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش هستند، بنابراین به نظر می‌رسد این خوشه به هیبریدهای که در شرایط آبیاری نرمال عملکرد خوبی داشتند، اهمیت بیشتری داده است.

خوشه دوم: در این خوشه هشت هیبرید قرار داشتند (شکل ۳) که در زیر گروه اول این خوشه، هیبریدهای ۱۰، ۳۰، ۳۶، ۲۹، ۹، ۱ که همه به جز هیبرید شماره ۳۰ متعلق به گروه B گروه‌بندی فرناندز بودند. در زیر گروه دوم هیبریدهای، ۸ و ۳۸ قرار گرفتند که متحمل‌ترین هیبریدها به شرایط تنش بودند.

خوشه سوم: در این خوشه ۱۴ هیبرید جای گرفتند که زیر گروه اول این خوشه با هیبریدهای ۶، ۳۱، ۲۵، ۳۲، ۲۶، ۳، ۳۷، ۲۳، ۱۹، ۳۴، ۱۶، ۲۰، ۲۱ شکل گرفت و در زیر گروه دوم فقط هیبرید شماره ۲۲ جای گرفت (شکل ۳). در گروه‌بندی بر مبنای روش فرناندز هیبریدهای ۶، ۳۱، ۲۵، ۳۲، ۲۶، ۳، ۳۷، ۲۳، ۲۱، ۲۲ در گروه D و هیبریدهای شماره ۱۹، ۳۴، ۱۶، ۲۰ نیز در گروه C بودند. چون در گروه‌بندی فرناندز هیبریدهای که در گروه C و D قرار می‌گیرند دارای عملکرد بالا در شرایط تنش هستند، بنابراین به نظر می‌رسد این خوشه به هیبریدهای که در شرایط تنش خشکی عملکرد خوبی داشتند اهمیت بیشتری داده است. بنابراین به نظر می‌رسد بکارگیری تجزیه‌ی خوشه نیز قابلیت تفکیک ارقام متحمل به تنش مانند تجزیه بای پلات داراست.

به‌طورکلی زمانی که انتخاب هیبریدهای متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخصی مانند تجزیه بای پلات که از تلفیق این شاخص‌های مختلف بدست می‌آید، استفاده شود، نسبت به انتخاب بر اساس شاخص منفرد، سودمند خواهد بود. بر اساس نتایج بای پلات و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، هیبریدهای شماره ۴، ۸، ۱۷ و ۳۸ (SC704) و به ویژه هیبریدهای شماره ۸ (K74/2-2-1-3-1-1-1-1 × K3653/2) و ۳۸ (SC704) هیبریدهای برتر تشخیص داده شدند. بر این اساس توصیه می‌گردد هیبرید K74/2-2-1-3-1-1-1-1 × K3653/2 به عنوان هیبرید متحمل به تنش در برنامه به‌نژادی ذرت بیشتر مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با روش وارد بر اساس شاخص تحمل به خشکی هیبریدهای ذرت دانه‌ای
Figure 3. Dendrogram generated by the WARD method based on drought tolerance indices of maize hybrids

منابع

1. Alipour, M., G.A. Ranjbar, A. Khavari Khorasani and N. Babaeian Jelodar. 2014. Evaluation of drought tolerance in maize hybrids (Zea mays L.). Journal of Crop Breeding, 6: 41-53 (In Persian).
2. Ahmadi, G., H. Zienaly-KhaneGhah and M.A. Rostsmy. 2000. The study of drought tolerance and biplot method in eight corn hybrids. Iranian Journal of Agricultural Science, 31: 513-523(In Persian).
3. Chapman, S.C., J. Crossa, K.E. Basford and P.M. Kroonenberg. 1997. Genotype by environment effects and selection for droght tolerance maize. II. Three-mode pattern analysis. Euphytica, 95: 11-20.
4. Choukan, R., T. Taherkhani, M.R. Ghannadha and M. Khodarahmi. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences, 8: 79-89 (In Persian).
5. Cornelius, P.L. and J. Crossa. 1999. Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multi-environment cultivar trials. Crop Science, 39: 998-1009.
6. Denmead, O.T. and R.H. Shaw. 1990. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agronomy Journal, 52: 272-274.
7. Farshadfar, E., M. Zamani, M. Motallebi and A. Imamjomeh. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Science, 32: 65-77 (In Persian).
8. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. InProceedings of International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Crops in Temperature and Water Stress, 257-270.
9. Fischer, A.T. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: Grain yield responses. Australian Journal Agricultural Research, 29: 897-912.
10. Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. Biometrika, 58: 453-467.
11. Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science, 46: 1488-1500.
12. Gavuzzi, P.R., M. Palumbo, R.G. Campanile, G.L. Ricciarid and B. Borgh. 1997. Evaluation of field and laboratory predictor of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science, 77: 523-531.
13. Golabadi, M., A. Arzani and S.A.M. Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 1: 162-171.
14. Moghaddam, A. and M.H. Hadizadeh. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Plant and Seed Improvement Journal, 18: 255-272 (In Persian).
15. Osborne, S.L., J.S. Schepers, D.D. Francis and M.R. Schlemmer. 2002. Use of spectral radiance to in season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. Crop Science, 42: 165-171.
16. Ouatter, S., R.J. Jones and R.K. Crookston. 1987. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. Crop Science, 27: 726-730.
17. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943.946.
18. Sadeghzade-Ahari, D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences, 8: 30-45(In Persian).
19. Sanjari-Pirevatlou, A. and A. Yazdansepas. 2008.Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under pre- and post-anthesis drought stress conditions. Journal of Agricultural Science and Technology, 10: 109-121.
20. Shafazadeh, M.K., A. Yazdansepas, A. Amini and M.R. Ghannadha. 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. Plant and Seed Improvement Journal, 20: 57-71(In Persian).
21. Shiri, M. 2013. Grain yield stability analysis of maize (*Zea mays* L.) hybrids in different drought stress conditions usingGGE biplot analysis. Crop Breeding Journal, 3: 107-112.
22. Shiri, M., R. Choukan and R.T. Aliyev. 2010. Drought tolerance evaluation of maize hybrids using biplot method. Trends Applied Sciences Research, 5: 129-137.
23. Shiri, M., M. Valizadeh, E. Magjidi A. Sanjari and A. Gharib-Eshghi. 2010.Evaluation of wheat tolerance indices to moisture stress condition. Electronic Journal of Crop Production, 3: 153-171 (In Persian).
24. Shirinzadeh, A., R. Zarghami and M.R. Shiri. 2009. Evaluation of drought tolerance in late and medium maize hybrids- using stress tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences, 10: 416-427 (In Persian).
25. Yari, P., A. Hossein Keshtkar and L. Hojatollah Mazahery. 2016. Evaluation of water stress in spring safflower (carthamus tinctorius l.) cultivars using tolerance indices in hamadan region. Journal of Crop Breeding, 8: 88-96 (In Persian).

Evaluation of Maize Hybrids Tolerance to Drought Stress

Mohamadreza Shiri[1] and Rajab Choukan[2]

1- Assistant Professore, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)
(Corresponding author: Mohammadrezashiri52@gmail.com)
2- Professore, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)
Received: August 13, 2015 Accepted: November 1, 2015

Abstract

Breeding for environmental stress is one of the most important goals in plant breeding. Among stresses, drought stress has high influencing on limitation of maize production. Therefore, in order to find the best drought tolerant hybrids, 38 maize hybrids were planted in two separate experiments: one with optimum irrigation (control) and another with water stress at grain-filling stage in Moghan at two years. RBCD experiment design with three replications was used. Stress Susceptibility Index (SSI), Mean Productivity (MP), Tolerance (TOL), Geometric Mean Productivity (GMP) and Stress Tolerance Index (STI) indices were used to evaluate susceptibility and tolerance of the genotypes. Results showed that, K74/2-2-1-3-1-1-1-1×K3653/2 and SC704 hybrids had higher grain yield than mean in all irrigation conditions. These hybrids had the highest STI and located at part of high yield potential and low sensitivity to drought in the biplot. On the other hand, paternal line of majority of drought stress tolerant hybrids was the line K3653/2. Therefore, it is recommended to use this line in breeding maize to get to the most tolerant hybrid. Also the results showed that despite ofthe MP,GMPandSTI indices were most successful in selecting high yield tolerant hybrids, however using biplot the most tolerant hybrids to drought can be chosen the best.

Keywords: Biplot, Drought Stress Tolerance Indices, Maize