



ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب در هیبریدهای ذرت

جمیله سیدزوار^۱، مجید نوروزی^{۲*} و سعید اهری‌زاد^۳

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش ۱۴ هیبرید ذرت به سطوح مختلف تنش کمبود آب از نظر شاخص‌های تحمل به تنش، در سال زراعی ۱۳۸۹ آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سطوح مختلف آبیاری (شاهد، تنش ملایم و تنش شدید) و کرت‌های فرعی دربرگیرنده هیبریدهای مورد ارزیابی بود. پنج شاخص تحمل به تنش برای صفت عملکرد دانه محاسبه شدند. در شرایط تنش ملایم کمبود آب از نظر شاخص‌های تحمل (TOL) و حساسیت به تنش کمبود آب (SSI)، هیبریدهای SC702، SC500 و K3647×K18 و در شرایط تنش شدید از نظر همین شاخص‌ها، هیبرید SC500 به‌عنوان متحمل‌ترین هیبریدها شناخته شدند. از نظر شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) و میانگین حسابی عملکرد (MP) در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید کمبود آب، هیبریدهای K166×K18، SC500، K3647×K18 و SC400 بیشترین تحمل را به تنش کمبود آب نشان دادند. شاخص‌های GMP و STI که دارای بیشترین همبستگی مثبت با عملکرد در شرایط تنش و با یکدیگر بودند به عنوان شاخص‌های مناسب‌تری برای انتخاب هیبریدها معرفی شدند. تجزیه کلاستر بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه هیبریدها را در شرایط تنش ملایم در دو گروه و در شرایط تنش شدید کمبود آب در سه گروه قرار داد. پس از رسم نمودار بای‌پلات در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس دو مؤلفه اصلی حاصله، هیبرید SC500 به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش کمبود آب و همچنین عملکرد بالا در شرایط نرمال شناسایی شد و هیبریدهای SC700 و SC704 که در منطقه D واقع شدند به علت پایین بودن عملکرد در هر دو محیط واجد تنش و فاقد تنش است، به عنوان ارقام حساس به کمبود آب شناسایی شدند.

واژگان کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه کلاستر، ذرت، شاخص تحمل، عملکرد دانه.

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استادیار گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (* نگارنده‌ی مسئول) Norouzi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۱

۳- دانشیار گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲۰

مقدمه

به بیش از ۴۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک برسد (Panda *et al.*, 2004). در آزمایشی دیگر با اعمال کم آبیاری در طی دوره رشد ذرت به این نتیجه رسیدند که کمبود شدید آب باعث کاهش ماده خشک گیاه می‌شود (Pandey *et al.*, 2000). چاکیر (Cakir, 2004) گزارش کرد که تنش رطوبتی در طول مراحل مختلف رشد ذرت عملکرد آن را در درجات مختلف کاهش می‌دهد که شدت کاهش عملکرد نه تنها به شدت تنش بلکه به مرحله رشدی گیاه نیز وابسته است. اسبوران و همکاران (Osborne *et al.*, 2000) نشان دادند که تنش رطوبتی در مراحل رویشی، گلدهی و پر شدن دانه گیاه ذرت، عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ۲۵، ۵۰ و ۲۱ درصد کاهش می‌دهد. ضریب گیاهی (K_C) نسبت تبخیر-تعرق گیاه (ET_C) به تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) است. معمولاً چمن یا یونجه به عنوان گیاه مرجع در نظر گرفته می‌شود. ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشدی متفاوت است و متاثر از شرایط اقلیمی، روش آبیاری و دور آبیاری است (Allen *et al.*, 1998). ET_C ذرت در سیستم آبیاری بارانی در مناطق نیمه خشک در ترکیه (Cakir, 2004) و در سیستم آبیاری قطره‌ای در جنوب غرب ترکیه (Yazar *et al.*, 2002) مطالعه و مشخص شده که مقدار آن در آبیاری قطره‌ای بیشتر از آبیاری بارانی است. توسعه برگ از جمله حساس‌ترین فرآیندهایی است که به وسیله کمبود آب تحت تاثیر قرار می‌گیرد. مطالعات نشان می‌دهد که کمبود آب سبب کوچک‌تر شدن سلول‌ها و کاهش تعداد سلول‌های تولیدی به وسیله مریستم‌ها می‌شود (Tardieu *et al.*, 2000). همچنین تنش کمبود آب، سطح ویژه برگ (SLA) و نسبت سطح برگ (LAI) لوبیا چشم بلبلی را به طور متوسط در حدود ۲۰-۵ درصد و سطح برگ و تعداد برگ‌ها را ۴۰-۵۰ درصد

کمبود منابع آب شیرین از یک طرف و افزایش جمعیت از طرف دیگر نیاز به استفاده مؤثرتر از آب برای افزایش عملکرد را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (Debaeke *et al.*, 2004). در تعریفی جامع از نقطه نظر کشاورزی، کمبود آب عبارت از ناکافی بودن آب قابل دسترس شامل بارش نزولات، ظرفیت ذخیره رطوبت خاک، مقدار و پراکندگی آن در طی دوره رشد گیاهان زراعی است که باعث محدود شدن پتانسیل ژنتیکی عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Martinez *et al.*, 2007). امروزه ذرت به صورت مستقیم به عنوان ماده غذایی برای میلیون‌ها نفر و از طرفی به صورت غیرمستقیم به عنوان یک محصول علوفه‌ای، یکی از اجزای ضروری امنیت غذایی در جهان محسوب می‌شود. تنش آبی به دلیل مواجه شدن ذرت با درجه حرارت و محیط‌های گرمسیری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد می‌شود (Campos *et al.*, 2004). تنش کمبود آب از طریق بسته شدن روزنه‌ها و نرسیدن دی‌اکسیدکربن به کلروپلاست باعث کاهش فتوسنتز می‌گردد (Hopkins and Huner, 2004). در بیانی دیگر تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز خالص شده و در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Gonzalez *et al.*, 2010). میزان آب مورد نیاز ذرت بسته به شرایط محیطی و غذایی بین ۶ الی ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار است (Golbashy *et al.*, 2010). رضا وردی‌نژاد و همکاران (Rezaverdinejad *et al.*, 2006) با اعمال تیمارهای کم آبیاری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای در کرج گزارش کردند که تنش رطوبتی در مراحل رشد رویشی و گلدهی به ترتیب باعث کاهش ۲۸ و ۲۹ درصدی عملکرد نسبت به تیمار آبیاری متداول گردید. محققین در آزمایشی دریافتند که در هیچ مرحله‌ای از رشد ذرت، نباید تخلیه رطوبت خاک

بر تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف توصیه شده است (Ashofteh beiragi *et al.*, 2011). نوری‌اظهر و احسان‌زاده (Nouri azhar and Ehsanzedeh, 2007) با بررسی تغییرات شاخص‌های رشد پنج هیبرید ذرت در دو رژیم مختلف آبیاری گزارش کردند که کم‌آبی اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ دارد. آنها همچنین گزارش کردند که همبستگی مثبت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک وجود دارد.

کلارک و همکاران (Clark *et al.*, 1992) عنوان کردند ارزیابی عملکرد ارقام در شرایط تنش و شرایط مطلوب به عنوان یک نقطه شروع در شناسایی ارقام مقاوم به کمبود آب می‌باشد. از آنجا که در ایران بخش کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد از منابع آب، عمده‌ترین مصرف کننده آب به‌شمار می‌آید، هر گونه صرفه‌جویی در این بخش کمک مؤثری به صرفه‌جویی در منابع آب تلقی می‌شود (Tadayyoun and Emam, 2009). همچنین، با توجه به شرایط اقلیمی ایران و کاهش نزولات آسمانی و همچنین کمبود آب در دسترس گیاهان در اکثر زمین‌های زراعی، لزوم شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به کمبود آب بیش از پیش محسوس‌تر می‌گردد. لذا، باید توجه داشت بخش مهمی از توسعه کشاورزی و افزایش تولید، مرهون کشت ارقام پرمحصول اصلاح شده در بسیاری از محصولات زراعی و باغی است که غالباً ساختار ژنتیکی مشابه دارند (van de Wouw *et al.*, 2010). همچنین، به عقیده سینکی و همکاران (Sinaki *et al.*, 2007)، برای اغلب مناطق زراعی ایران که نوسانات مقدار و توزیع بارندگی آنها زیاد است، باید ارقامی را انتخاب کرد که بتوانند در سال‌های کم باران با تحمل کمبود آب، عملکرد مقرون به صرفه و پایداری تولید کنند و در شرایط مساعد رطوبتی نیز بتوانند حداکثر استفاده را از

کاهش می‌دهد (Anyia and Herzog, 2004). در گزارشی بیان شد که تولید ماده خشک گیاه ارتباط قوی با سطح برگ و سرعت فتوسنتز برگ دارد و برای رسیدن به سرعت بالاتر تولید ماده خشک لازم است که سرعت فتوسنتز با حفظ سطح برگ در سرتاسر فصل رشد بالا نگه داشته شود. از طرفی حفظ سطح برگ بیشتر در طول دوره‌های تنش بسیار مهم است، از این جهت که کربن بیشتری جهت فتوسنتز جذب می‌شود (Porwanto, 2003). به عبارت دیگر شاخص انتخاب مناسب باید بتواند ژنوتیپ‌های برتر در هر دو محیط را از ژنوتیپ‌های برتر در یک محیط متمایز کند (Golabadi *et al.*, 2006). شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف زیست محیطی و برای تعیین قدرت و استعداد آنها در شرایط مواجهه با تنش ارائه شده‌اند که بر اساس یک رابطه ریاضی بین تنش و شرایط مطلوب پیشنهاد شده است (Moghaddam and Hadizadeh, 2002). به‌منظور تعیین این که ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کمبود آب، چه واکنشی از خود نشان می‌دهند، فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه تقسیم‌بندی کرد: گروه A: ژنوتیپ‌هایی که برتری مشابهی در هر دو محیط واجد تنش و فاقد تنش دارند. گروه B: ژنوتیپ‌هایی که تنها در محیط فاقد تنش عملکرد مطلوبی دارند. گروه C: ژنوتیپ‌هایی که تنها در محیط واجد تنش عملکرد نسبی بالاتری دارند. گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط واجد تنش و فاقد تنش عملکرد پایینی دارند. به نظر فرناندز (Fernandez, 1992)، مناسب‌ترین معیار گزینش شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد.

برای شناسایی ارقام سازگار به محیط‌های پر تنش ضمن ارزیابی عملکرد گیاه استفاده از صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک مرتبط با عملکرد و مؤثر

در این آزمایش سطوح مختلف تنش به عنوان کرت‌های اصلی و هیبریدها به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. اسامی هیبریدهای مورد ارزیابی عبارتند از:

SC700, SC704, KSC705, SC706, SC702, DC370, K166×K18, SC604, SC647, SC670, K48×K19, SC500, K3647×K18 و SC400

به منظور شناسایی و ارزیابی هیبریدها از نظر میزان تحمل و حساسیت آنها به تنش کمبود آب، از شاخص‌های حساسیت به تنش کمبود آب (SSI^2)، تحمل به تنش (STI^3)، میانگین حسابی عملکرد (MP^4)، میانگین هندسی عملکرد (GMP^5) و تحمل (TOL^6) به کمک روابط زیر استفاده گردیدند:

$$SSI = \frac{(1 - \frac{Y_S}{Y_P})}{SI} \quad \text{و} \quad SI = 1 - (\frac{Y_S}{Y_P})$$

$$TOL = Y_P - Y_S$$

$$MP = \frac{Y_S + Y_P}{2}$$

$$STI = (\frac{Y_P}{Y_P}) (\frac{Y_S}{Y_S}) (\frac{Y_S}{Y_P}) = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(Y_P)^2}$$

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

در آنها Y_P و Y_S به ترتیب میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تنش‌زا و عادی می‌باشد. همچنین، Y_S عملکرد ارقام در شرایط تنش و Y_P عملکرد ارقام در شرایط نرمال است (Rosille and Fernandez, 1992; Hambilin, 1981).

عملیات تهیه زمین شامل شخم نیمه عمیق، دیسک، تسطیح، دندانه و ایجاد فارو در قطعه مورد

رطوبت ذخیره شده در خاک ببرند. به منظور پایداری و افزایش تولید جهانی ذرت همگام با افزایش جمعیت جهانی، توسعه واریته‌های متحمل به خشکی از موضوعات مهم تلقی می‌شود (Campos et al., 2004). بنابراین، این تحقیق به منظور ارزیابی و شناسایی هیبریدهای متحمل به تنش کمبود آب ذرت در سطوح مختلف تنش، از نظر شاخص‌های تحمل به تنش انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی واکنش چهارده هیبرید ذرت دانه‌ای به شرایط مختلف تنش رطوبتی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز (خلعت‌پوشان)، به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. محل مورد نظر دارای ۱۳۶۱ متر ارتفاع از سطح دریا و در مختصات ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی قرار گرفته است. بر پایه اطلاعات هواشناسی، اقلیم این منطقه از نوع سرد و خشک کوهستانی است. بافت خاک محل مورد نظر شنی لومی بوده و در زمره خاک‌های سبک محسوب می‌شود و pH خاک منطقه در محدوده ۷/۸ و حداکثر هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC^1) معادل ۱/۴۲ میلی-موس بر سانتی‌متر می‌باشد. غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک مورد آزمایش به ترتیب ۳۰۰، ۶۰۹ و ۲۲۵ در واحد میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. میانگین نزولات سالیانه در دراز مدت ۲۱۸/۴۵ میلی‌متر گزارش شده است. متوسط دمای حداکثر سالانه ۱۸/۳ درجه سلسیوس و متوسط دمای حداقل سالانه نیز ۷/۳ درجه سلسیوس می‌باشد.

۲-Stress susceptibility index

۳-Stress tolerance index

۴-Mean productivity

۵-Geometrical mean productivity

۶-Tolerance index

۱-Electrical conduction

پس از رسیدن به مقدار مورد نظر برای هر تیمار (۵۰، ۷۰ و ۱۲۰ میلی‌متر)، زمان آبیاری را نشان می‌داد. سطوح آبیاری شامل میزان‌های مختلف آب آبیاری شامل نیاز آبی کامل محاسبه شده گیاه ذرت بود که توسط نمونه‌برداری تصادفی از سه قسمت مختلف هر کرت و تعیین درصد وزنی رطوبت خاک حدود ۲۴ ساعت قبل از آبیاری محاسبه گردید. مقدار این پارامتر در طول دوره رشد و اعمال تنش تقریباً معادل ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر بود. برای تعیین ضریب گیاهی از معادله زیر استفاده شد:

$$K_C = \frac{ETC}{ETO}$$

که در آن ETC و ETO به ترتیب تبخیر-تعرق گیاه و تبخیر-تعرق مرجع هستند (Allen et al., 2011). مقدار ضریب گیاهی در دوره رشد بر اساس جدول ۱ محاسبه گردید. با توجه به این‌که هیبریدهای مورد ارزیابی دارای طول دوره رشدی متفاوتی بودند بنابراین شروع اعمال تنش در هر هیبرید در مرحله پرشدن دانه هر هیبرید به‌طور جداگانه اعمال گردید. برای انجام محاسبات آماری از نرم‌افزارهای Minitab V.16 و Excel 2010 استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت عملکرد دانه برای ۱۴ هیبرید مورد بررسی در جدول ۲ درج شده است. تنش کمبود آب اعمال شده باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت گردید و هیبریدهای ذرت مورد مطالعه در متوسط شرایط، اختلافات معنی‌دار مشاهده شد. اثر متقابل ژنوتیپ در تنش کمبود آب برای این صفت معنی‌دار نشد.

بر اساس نتایج حاصل از مقایسات میانگین عملکرد دانه، در شرایط فاقد تنش کمبود آب، گیاهان از بیشترین ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد برگ

آزمایش به‌طور یکسان انجام گرفت. هر کرت فرعی دارای ۴ خط کاشت به طول ۵ متر و به عرض ۰/۷۵ متر بود. همچنین، برای کنترل هر چه بیشتر عامل آبیاری، در بین کرت‌های اصلی همجوار پشته‌ای به عرض ۱ متر به صورت نکاشت منظور شد. برای جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای، دو خط کناری و بوته‌های ابتدا و انتهای هر خط به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد.

عملیات کاشت به‌صورت دستی و با قرار دادن ۳ بذر در هر کپه انجام شد. به این ترتیب که پس از تهیه نقشه کاشت، بذر در داغاب پشته‌ها، در عمق ۵ سانتی‌متر و در فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر قرار گرفتند. بعد از رویش بذر، در مرحله ۳ تا ۴ برگی، عمل تنک صورت گرفت تا نهایتاً یک بوته در هر کپه باقی بماند. به منظور رفع نیاز غذایی ذرت، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سرک اوره همزمان با یک وعده آبیاری در مرحله ۷ تا ۹ برگی استفاده شد. مبارزه با علف‌های هرز در چندین مرحله در طول فصل کشت و به صورت وجین دستی صورت گرفت. در دوران رشد رویشی، آبیاری هر ۷ روز یک‌بار انجام گردید. در مورد تیمارهای تحت تنش، فاصله زمان آبیاری در شروع مرحله پر شدن دانه‌ها (پس از تکمیل گرده افشانی) افزایش پیدا کرد. تنش کمبود آب در سه سطح، تیمار شاهد (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه ذرت)، تیمار تنش با آبیاری دوره‌ای حدود ۱۰ روز یک‌بار (۷۰ میلی‌متر تبخیر) و تیمار آبیاری دوره‌ای حدود ۱۵ روز یک‌بار (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) اجرا شد که پس از تکمیل گرده‌افشانی (شروع مرحله پر شدن دانه) تیمارهای آبیاری شروع و تا پایان رشد ادامه یافت. آبیاری در تیمار بدون تنش، معادل نیاز آبی گیاه انجام شد. هر دور آبیاری بعد از 5 ± 5 ، 5 ± 7 و 5 ± 12 میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A انجام گرفت. میزان تبخیر تجمعی روزانه از تشتک،

و اندازه دانه ممکن است به علت کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرمی تولید شده در مرحله پر شدن دانه باشد و بیشترین اثر تنش رطوبتی روی وزن دانه در مدت پر شدن دانه می‌باشد و تنش‌هایی که بعد از کاکل‌دهی به‌وقوع می‌پیوندند باعث کوچک شدن دانه‌ها می‌شود. همچنین، دلیل این امر را می‌توان به عدم نمو دانه پس از گرده‌افشانی و باروری دانست. نتایج این تحقیق با نتایج گزارش شده توسط برخی محققین مطابقت دارد (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2010; Kalamian *et al.*, 2005).

مقادیر مربوط به شاخص‌های تحمل به تنش از نظر عملکرد دانه در شرایط تنش ملایم و شدید نسبت به شاهد در جدول ۳ و ۴ درج شده است. از نظر شاخص TOL در شرایط تنش ملایم کمبود آب، هیبریدهای SC702، SC500 و K3647×K18 متحمل‌ترین و هیبریدهای SC706 و K48×K19 به‌عنوان حساس‌ترین هیبریدها شناخته شدند (جدول ۳). بر اساس همین شاخص در شرایط تنش شدید کمبود آب، هیبریدهای SC702 و SC500 متحمل‌ترین و SC706 و K48×K19 حساس‌ترین ارقام شناخته شدند (جدول ۴). مقادیر بالای TOL، نشان‌دهنده حساسیت به تنش می‌باشد، بنابراین مقادیر پایین TOL مطلوب می‌باشد. کمتر بودن شاخص تحمل (TOL) لزوماً به معنای بالا بودن متوسط عملکرد رقم در شرایط تنش محیطی نیست، زیرا عملکرد یک رقم معین ممکن است تحت شرایط آبیاری نسبت به شرایط محدودیت آبی تفاوت چندانی نداشته باشد و این امر می‌تواند منجر به گزینش این رقم به‌عنوان یک رقم متحمل به کمبود آب معرفی شود. بنابراین، غالباً گزینش بر اساس این شاخص منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های گروه C می‌گردد (Moghaddam and Hadizadeh, 2002).

در بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و وزن سیصد دانه برخوردار بودند، بنابراین عملکرد بیشتری را نیز تولید نمودند و با افزایش شدت تنش میزان عملکرد دانه و اجزای آن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱). تنش کمبود آب، عملکرد را به واسطه کاهش یک یا چند از اجزای عملکرد، کاهش می‌دهد و بیشترین عملکرد زمانی به دست می‌آید که شرایط محیطی از جمله رطوبت قابل دسترس در تمامی مراحل رشد گیاه در حد مطلوب باشد (Karam *et al.*, 2005).

در مطالعه حاضر هیبریدهای مورد ارزیابی از نظر صفات مختلفی همچون ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد ردیف در بلال و عملکرد دانه در واحد بوته تحت تاثیر تنش کمبود آب کاهش پیدا کردند. اما به‌طور کلی، در مورد هیبرید SC500 رشد بیشتر، عملکرد بیشتر و در شرایط تنش، کاهش کمتری در عملکرد مشاهده شد (شکل ۲).

بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته تنش خشکی در مراحل مختلف به‌ویژه در زمان پر شدن دانه سبب کاهش عملکرد می‌شود و همچنین کاهش فتوسنتز و از طرف دیگر کاهش انتقال مواد پرورده به اجزای گیاه، سبب کاهش ماده خشک هر بوته می‌گردد (Emam *et al.*, 2011). پین‌هیرو و همکاران (Pinheiro *et al.*, 2004) بیان نمودند که بررسی اثرات تنش کمبود آب بر عملکرد دانه، به‌عنوان حاصل نهایی رشد و نمو، می‌تواند بیانگر عکس‌العمل کلی گیاه به تنش کمبود آب باشد. کاهش عملکرد در مرحله زایشی به‌واسطه کاهش دوره پر شدن دانه‌ها، کوچک شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها می‌باشد. کاهش عملکرد در تیمار تنش شدید (آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) را می‌توان به علت کاهش تعداد دانه و وزن ۳۰۰ دانه دانست. دلیل کاهش تعداد

قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B نمی‌باشد (Fernandez, 1992).

STI بر اساس GMP تحت شرایط تنش و بدون تنش برآورد می‌شود. مبنای ریاضی این شاخص طوری طراحی شده است که در صورت اختلاف زیاد بین دو مقدار عملکرد تنش و بدون تنش که میانگین‌گیری می‌شود میانگین هندسی GMP به سمت عدد کوچک‌تر متمایل می‌شود. از این رو در انتخاب هیبریدهای متحمل به تنش کارایی زیادی دارد. بنابراین، همبستگی رتبه‌ای بین STI و GMP برابر با یک می‌باشد. مقادیر بالای این شاخص، بیانگر تحمل تنش و عملکرد بالقوه بیشتر است. مقادیر شدت تنش نیز در برآورد STI شرکت می‌کند. بنابراین، انتظار می‌رود این شاخص توانایی تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A را از گروه B و C داشته باشد. این شاخص جهت گزینش ارقام مطلوب ذرت تحت شرایط تنش‌زا و فاقد تنش مفیدتر از سایر شاخص‌ها عمل می‌کند (Moghaddam and Hadizadeh, 2002). هر چه مقدار شاخص GMP بیشتر باشد، رقم یا ژنوتیپ مورد بررسی مقاومت بیشتری نسبت به شرایط تنش خواهد داشت. این شاخص در تشخیص گیاهانی که عملکرد بالاتری در شرایط واجد تنش و عادی دارند، مؤثر است. میانگین حسابی در مواقعی که اختلافات نسبتاً زیادی بین Y_p و Y_s باشد، دارای اریبی به سمت بالا خواهد بود. بنابراین، میانگین هندسی عملکرد شاخص بهتری در تمایز گروه A از سایر گروه‌ها می‌باشد (Fernandez, 1992).

به‌طور کلی، برای بهبود عملکرد ذرت و پایداری عملکرد در محیط‌های تحت تنش، لازم است که از شاخص‌هایی استفاده شود که قادر به شناسایی هیبریدهایی با بازده بالای ذرت در انواع محیط‌های تنش‌زا باشد.

بر اساس شاخص SSI در شرایط تنش ملایم کمبود آب، هیبریدهای SC702، SC500 و K3647×K18 متحمل‌ترین و هیبریدهای SC700، SC704، SC706 و K48×K19 حساس‌ترین هیبریدها شناسایی شدند. در شرایط تنش شدید بر اساس همین شاخص، هیبریدهای SC500 و K3647×K18 متحمل‌تر و هیبریدهای SC700، SC704 و SC706 حساس‌تر از بقیه هیبریدها بودند. مقادیر پایین‌تر SSI بیانگر تحمل بیشتر به تنش کمبود آب می‌باشد. به عبارتی هرچه مقدار Y_s به Y_p نزدیک‌تر باشد، مقاومت آن ژنوتیپ به کمبود آب بیشتر است و لذا SSI آن ژنوتیپ کوچک‌تر است. شاخص حساسیت کوچک‌تر از یک واحد نشان‌دهنده مقاومت بیشتر آن رقم به کمبود آب است (Fernandez, 1992). شاخص SSI دارای محدودیت‌هایی در بررسی سازگاری ژنوتیپ‌ها به شرایط خشک می‌باشد، زیرا این شاخص بر مبنای به حداقل رساندن کاهش عملکرد در محیط‌های تنش‌زا در مقایسه با محیط‌های عادی می‌باشد. بنابراین، SSI قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل خشکی و ژنوتیپ‌هایی که پاسخ ضعیفی به شرایط مطلوب نشان می‌دهند، نمی‌باشد (Clark et al., 1992).

بر اساس شاخص‌های MP، GMP و STI تحت هر دو شرایط تنش ملایم و شدید کمبود آب K166×K18، SC500، K3647×K18 و SC400 بیشترین و هیبریدهای SC704، KSC705، SC702 و SC647 کمترین میزان تحمل را از خود نشان دادند. گزینش بر اساس این شاخص‌ها، منجر به افزایش میانگین عملکرد در هر دو محیط تنش‌زا و عادی خواهد شد. در اکثر آزمایش‌های عملکرد، همبستگی MP با Y_p و Y_s مثبت بوده است. بنابراین، گزینش بر اساس MP، متوسط عملکرد را در هر دو محیط با شرایط دشوار و عادی افزایش می‌دهد (گروه B)، اما

به تنش کمبود آب در ذرت و سایر گیاهان زراعی مناسب است (Fernandez, 1992).

به کار بردن شاخص SSI در ارزیابی ژنوتیپ‌ها به تنش کمبود آب، باعث می‌شود مقدار SSI از سالی به سال دیگر دچار تغییر شود و این امر ممکن است سبب تغییر در الگوی رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها گردد (Clark *et al.*, 1992). پیشنهاد شده است که گزینش برای تحمل به تنش کمبود آب می‌تواند برای مقادیر بالای GMP، MP و STI در شرایط تنش و عادی انجام بگیرد (Golabadi *et al.*, 2006). مشاهده شده است که شاخص تحمل به تنش (STI)، به‌منظور گزینش هیبریدهای مطلوب ذرت تحت شرایط استرس و عادی، مفیدتر از سایر شاخص‌ها عمل می‌کند. گزینش بر اساس شاخص GMP و STI، باعث گزینش هیبریدهای ذرت با عملکرد بالا در هر دو شرایط تحت تنش و عادی می‌گردد (Moghaddam and Hadizadeh, 2002). صادق‌زاده‌اوری (-Sadegh Zadeh Ahari, 2006) و خلیل‌زاده و کربلایی خیابوی (Khalil Zadeh and Karbalai Khiyavi, 2002) بهترین شاخص برای گزینش ارقام مقاوم را شاخص تحمل به تنش معرفی کردند. در این تحقیق نیز شاخص STI و MP و GMP باعث گزینش بهتر هیبریدها شد. ابرشهر و همکاران (Abarshahr *et al.*, 2011) نیز همانند تحقیق حاضر این سه شاخص را به عنوان شاخص‌های مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر گزارش کردند.

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های تحمل (TOL)، حساسیت به تنش (SSI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) از تجزیه خوشه‌ای و روش Ward استفاده شد. برای تعیین بهترین محل برش از تجزیه تابع تشخیص در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر برای

همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب تحت شرایط تنش شدید و تنش ملایم در هیبریدهای ذرت برای صفت عملکرد دانه در جدول ۵ و ۶ آمده است. مشاهده شد که عملکرد در شرایط شاهد همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با GMP، MP و STI دارد. بین شاخص‌های GMP، MP و STI در کلیه شرایط همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد که با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های محققین دیگر مطابقت دارد (Golabadi *et al.*, 2006; Golparvar, *et al.*, 2004). شاخص‌های TOL و SSI در شرایط تنش ملایم و شدید کمبود آب همبستگی معنی‌داری با عملکرد نداشتند.

به‌طور کلی، شاخص‌هایی که در محیط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشد به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شده و نیاز به شاخص انتخاب مناسب را برآورده می‌سازند. چرا که این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند (Ober *et al.*, 2005). در این مطالعه همبستگی شاخص‌های SSI و TOL با عملکرد در شرایط نرمال کم بود و شاخص SSI همبستگی معنی‌دار و منفی با عملکرد در شرایط تنش شدید بودند. شاخص‌های GMP، MP و STI به ترتیب دارای بیشترین همبستگی مثبت با عملکرد در شرایط تنش بودند ضمن اینکه این شاخص‌ها دارای همبستگی بالایی با یکدیگر بودند. نتایج این آزمایش با نتایج به‌دست آمده توسط محققین دیگر مطابقت داشت (Fernandez, 1992; Golabadi *et al.*, 2006). به‌طور کلی، شاخص‌های GMP و STI شاخص‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود آب و دارای پتانسیل عملکرد بالاتر در شرایط غیرتنش هستند. شاخص SSI نیز در تشخیص ژنوتیپ‌هایی با حساسیت کمتر

واجد تنش و فاقد تنش عملکرد پایینی داشتند. در مقابل هیبریدهای SC702 و SC647 در منطقه C واقع شدند که نشان‌دهنده این مطلب بود که فقط در محیط‌های مطلوب و فاقد تنش عملکرد مناسب داشتند. فرناندز (Fernandez, 1992) و STI و GMP را به‌عنوان معیارهای گزینشی برتر معرفی کرد. شیری (Shiri, 2000) و مقدم و هادی‌زاده (Moghaddam and Hadizadeh, 2000) نیز نتایج مشابهی را در پژوهش‌های خود گزارش کردند که با نتایج به‌دست آمده با این پژوهش مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

به‌کارگیری روش‌های مناسب به‌زراعی و استفاده از ارقام مقاوم به تنش کمبود آب در مناطق تنش‌خیز، امکان استفاده بهینه و بهبود مدیریتی مناطق نیمه‌خشک را فراهم می‌کند و به سطح زیر کشت و بازدهی این مناطق می‌افزاید. با توجه به نیاز روزافزون کشور برای تامین علوفه دام‌ها و تغذیه انسان و همچنین بروز خشکسالی‌های مکرر، شناسایی هیبریدهای جدید ذرت که در شرایط محدودیت آب، بتوانند عملکرد قابل قبولی تولید کنند از اهمیت شایان توجهی برخوردار می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش هیبریدهای SC500 و K3647×K18 توسط شاخص‌های مختلف به‌عنوان هیبریدهای متحمل به تنش کمبود آب شناسایی شدند. همچنین، بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، هیبرید SC500 به‌عنوان رقم متحمل به کمبود آب و پرمحصول در شرایط عادی و هیبریدهای SC700 و SC704 به‌عنوان ارقام حساس به کمبود آب شناسایی شدند.

اساس شاخص‌های مورد مطالعه در سطح ملایم تنش کمبود آب، هیبریدهای ذرت را در دو گروه قرار داد. به‌طوری‌که هیبریدهای SC700، SC704، KSC705، SC647 و SC702 در گروه اول و هیبریدهای SC500، K3647×K18، DC370، K166×K18، SC670، SC400 و K48×K19 در گروه دوم جای گرفتند (شکل ۳). همچنین دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر در سطح شدید تنش کمبود آب هیبریدها را در ۳ گروه مجزا طبقه‌بندی کرد (شکل ۴). در گروه اول هیبریدهای SC700، SC704، KSC705، SC702 و SC647، در گروه دوم هیبریدهای SC706، K48×K19، SC670، SC604 و DC370 و در گروه سوم هیبریدهای K166×K18، K3647×K18 و SC500 قرار داشتند.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفت عملکرد با استفاده از شاخص‌های تحمل به کمبود آب در شرایط تنش ملایم انجام شد که بر اساس آن ۹۸/۴ درصد از تغییرات توسط دو مؤلفه اصلی اول قابل تفسیر بود که از این مقدار سهم مؤلفه اول ۶۴/۸ درصد و سهم مؤلفه دوم ۳۳/۵ درصد بود و حذف سایر مؤلفه‌ها تاثیر بسیار ناچیزی در میان تغییرات داشت. در شرایط تنش شدید نیز ۹۸/۳ درصد از تغییرات توسط دو مؤلفه اول توجیه شد که سهم مؤلفه اول ۶۵/۳ درصد و سهم مؤلفه دوم ۳۳ درصد از تغییرات بود. بای‌پلات‌های ترسیمی بر اساس دو مؤلفه اصلی اول که بیشترین سهم تغییرات را در هر دو شرایط توجیه نمودند (شکل ۵ و شکل ۶)، مشاهده شد که هیبریدهای K3647×K18، SC500 و K166×K18 در منطقه A بای‌پلات قرار گرفت و دارای عملکرد قابل قبولی در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید بودند. هیبرید SC500 واکنش بهتری نسبت به دو هیبرید دیگر داشت. هیبریدهای SC700 و SC704 در منطقه D بای‌پلات قرار گرفتند که در هر دو محیط

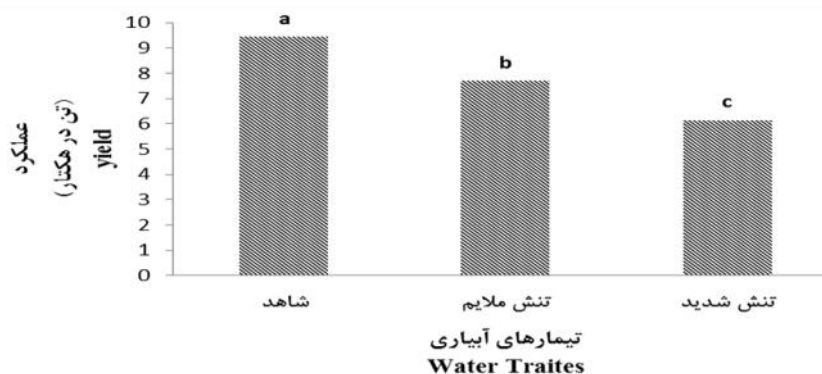
جدول ۱- میزان تبخیر و تعرق گیاهی، مرجع و ضریب گیاهی در طی فصل رشد
Table 1- ETC, ETO and KC amount during of growth season

مراحل رشد Growth phase	طول دوره (روز) Growth Period (days)	تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر) (Etc)	تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر) (ETO)	ضریب گیاهی KC
اولیه primary	20	86	186	0.46
توسعه extensive	30	278	299	0.92
میانی Middle	30	290	259	1.11
نهایی Final	10	46	69	0.66

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در شرایط تنش کمبود آب
Table 2- Analysis of variance for grain yield of maize hybrids under water deficit stress

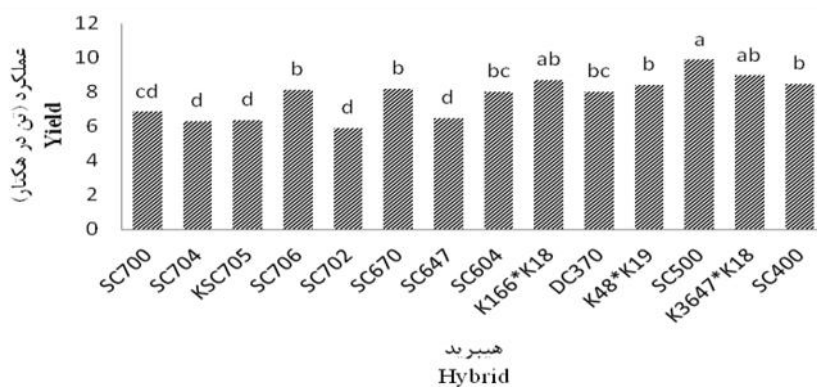
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain Yield
تکرار Repeat	3	6405.96*
تنش Stress	2	60390.16**
اشتباه ۱ Error 1	6	717.688
هیبرید Hybrid	13	6720.58**
هیبرید×تنش Hybrid×Stress	26	673.18 ^{ns}
اشتباه ۲ Error 2	117	797.15
ضریب تغییرات (%) CV(%)		18.196

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ است.
 ns, **, *: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively



شکل ۱- میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در سطوح مختلف آبیاری

Fig. 1- Means of grain yield of Maize hybrids under different irrigation levels



شکل ۲- عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در متوسط سطوح تنش کمبود آب

Fig. 2- The grain yield of maize hybrids in average of different water deficit levels

جدول ۳- شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب در هیبریدهای ذرت بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش ملایم

Table 3- Drought tolerance indices for yield of maize genotypes in mild stress condition

Genotype	TOL	SSI	STI	MP	GMP	Y _P (Ton/Ha)	Y _S (Ton/Ha)
SC700	2.68	0.64	1.61	7.56	7.68	9.02	6.34
SC704	2.34	0.55	1.54	6.98	7.08	8.25	5.91
KSC705	1.62	0.56	1.11	7.06	7.11	7.92	6.3
SC706	3.5	0.93	1.72	9.1	9.27	11.02	7.52
SC702	0.15	0.46	0.12	6.42	6.43	6.5	6.35
SC670	2.53	0.92	1.32	9.06	9.15	10.41	7.88
SC647	1.05	0.56	0.75	7.09	7.11	7.63	6.58
SC604	1.52	0.89	0.85	8.92	8.95	9.71	8.19
K166×K18	0.94	1	0.51	9.45	9.46	9.93	8.99
DC370	1.91	0.89	1.04	8.92	8.98	9.93	8.02
K48×K19	3.52	0.98	1.7	9.32	9.48	11.24	7.72
SC500	0.27	1.21	0.14	10.37	10.38	10.51	10.24
K3647×K18	0.37	1.04	0.2	9.64	9.65	9.83	9.46
SC400	1.99	0.93	1.06	9.12	9.18	10.17	8.18

جدول ۴- شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب در هیبریدهای ذرت بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش شدید

Table 4- Drought tolerance indices for yield of maize genotypes in severe stress condition

Genotype	TOL	SSI	STI	MP	GMP	Y _P (Ton/Ha)	Y _S (Ton/Ha)
SC700	3.86	0.52	1.23	6.82	7.09	9.02	5.16
SC704	3.46	0.44	1.2	6.29	6.52	8.25	4.79
KSC705	3.07	0.43	1.11	6.2	6.39	7.92	4.85
SC706	5.18	0.72	1.35	8.02	8.43	11.02	5.84
SC702	1.69	0.35	0.75	5.59	5.66	6.5	4.81
SC670	4.15	0.73	1.15	8.07	8.34	10.41	6.26
SC647	2.41	0.45	0.91	6.31	6.43	7.63	5.22
SC604	3.59	0.67	1.06	7.71	7.92	9.71	6.12
K166×K18	2.72	0.8	0.79	8.46	8.57	9.93	7.21
DC370	3.88	0.68	1.12	7.75	7.99	9.93	6.05
K48×K19	5	0.79	1.28	8.37	8.74	11.24	6.24
SC500	1.64	1.05	0.45	9.66	9.69	10.51	8.87
K3647×K18	2.26	0.84	0.66	8.63	8.7	9.83	7.57
SC400	3.07	0.81	0.87	8.5	8.64	10.17	7.1

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش در شرایط تنش ملایم کمبود آب

Table 5- Correlation coefficients between drought tolerance indices under mild stress condition

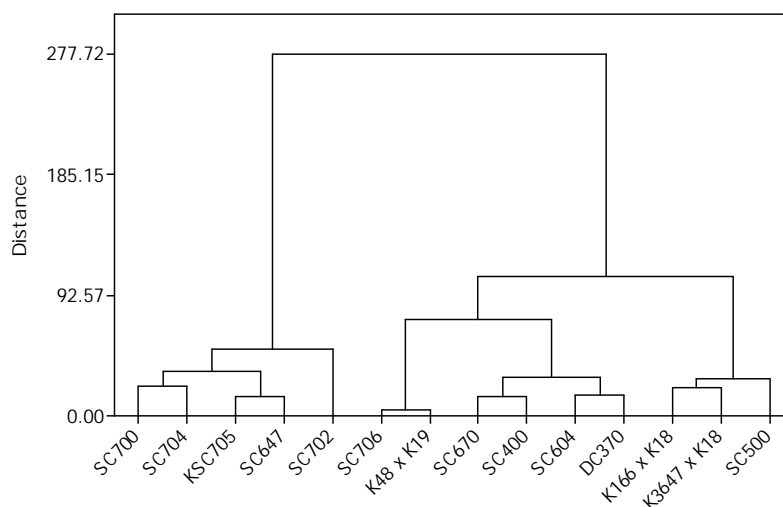
	Y _S	Y _P	STI	GMP	SSI	MP
TOL	-0.347 ^{ns}	0.475 ^{ns}	0.025 ^{ns}	0.039 ^{ns}	0.873 ^{**}	0.084 ^{ns}
MP	0.905 ^{**}	0.717 [*]	0.916 ^{**}	0.899 ^{**}	-0.185 ^{ns}	1
SSI	-0.496 ^{ns}	0.315 ^{ns}	-0.169 ^{ns}	-0.129 ^{ns}	1	
GMP	0.923 ^{**}	0.898 ^{**}	0.898 ^{**}	1		
STI	0.837 ^{**}	0.879 ^{**}	1			
Y _P	0.660 [*]	1				

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ است.
ns, **, *: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش در شرایط تنش شدید کمبود آب

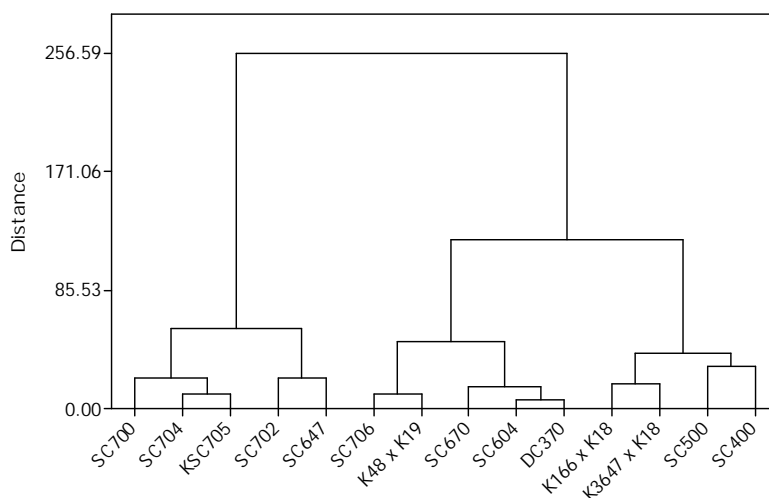
Table 6- Correlation coefficients between drought tolerance indices under severe stress condition

	Y _S	Y _P	STI	GMP	SSI	MP
TOL	-0.277 ^{ns}	0.551 ^{ns}	0.032 ^{ns}	0.090 ^{ns}	**0.805	0.183 ^{ns}
MP	**0.894	*0.721	**0.908	**0.895	-0.236 ^{ns}	1
SSI	-0.643 [*]	0.158 ^{ns}	-0.380 ^{ns}	-0.325 ^{ns}	1	
GMP	**0.832	**0.880	**0.897	1		
STI	*0.751	**0.851	1			
Y _P	*0.649	1				



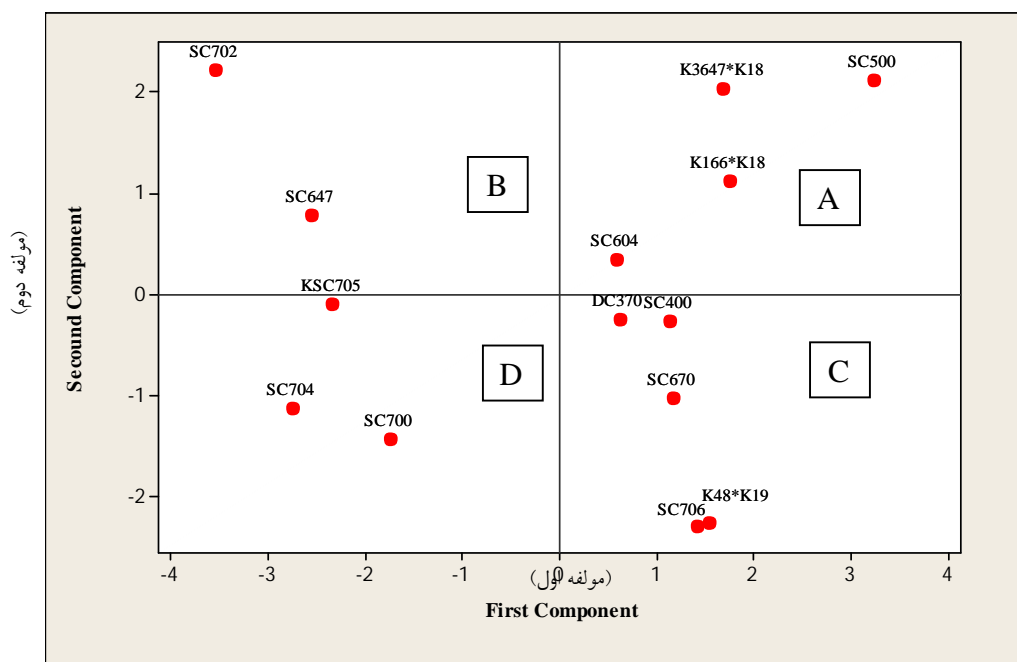
شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر هیبریدهای ذرت بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب در شرایط تنش ملایم کمبود آب

Figure 3- Cluster analysis based on all studied drought tolerance indices under mild stress condition



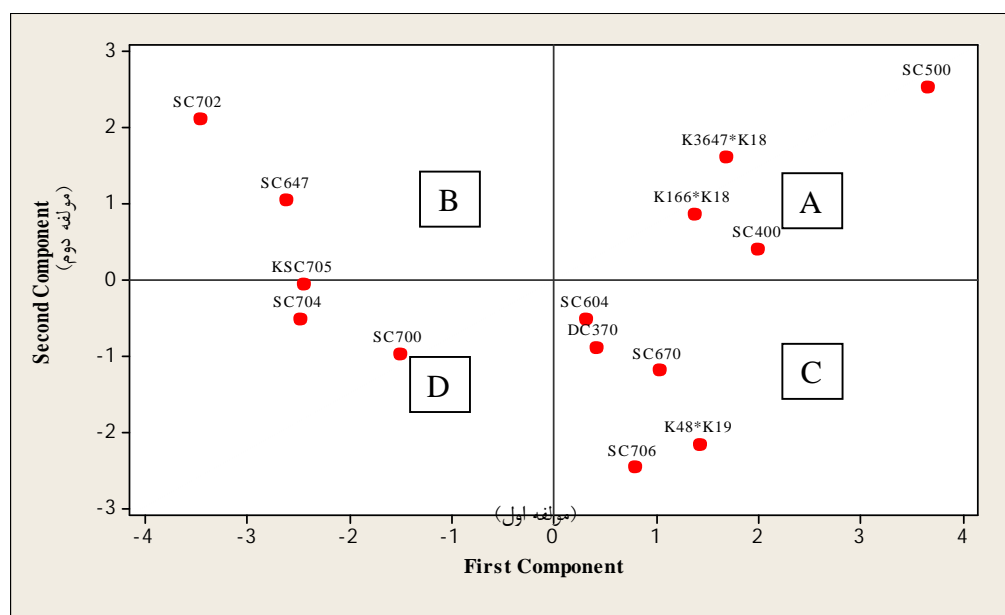
شکل ۴- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر هیبریدهای ذرت بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب در شرایط تنش شدید کمبود آب

Figure 4- Cluster analysis based on all studied drought tolerance indices under severe stress condition



شکل ۵- نمودار بای پلات برای شناسایی هیبریدهای متحمل در شرایط تنش ملایم کمبود آب

Figure 5- Biplot graph to identify of the tolerant hybrids under mild stress condition



شکل ۶- تجزیه بای پلات برای شناسایی هیبریدهای متحمل در شرایط تنش شدید

Figure 6- Biplot analysis to identify of the tolerant hybrids under severe stress condition

References

منابع مورد استفاده

- Abarshahr, M., B. Rabiei, and H. Samizadeh-Lahigi. 2011. Assessing genetic diversity of rice varieties under drought stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*. 3:114-123.
- Allen, R.G. 1996. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 122: 97-106.
- Anyia, A.O., and H. Herzog. 2004. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European Journal of Agronomy*. 20: 339-327.
- Ashofteh beiragi, M., M. Ebrahimi, Kh. Mostafavi, M. Golbashy, and S. Khavari Khorasani. 2011. A Study of morphological basis of corn (*Zea mays* L.) yield under drought stress condition using correlation and path coefficient analysis. *Journal of Cereals and Oilseeds*. 2(2): 32-37.
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89:1-16.
- Campos, H., M. Cooper, J.E. Habben, G.O. Edmeades, and J.R. Schussler. 2004. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field Crops Research*. 90: 19-34.
- 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.
- Debaeke, P., and A. Aboudrare. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environment. *European Journal of Agronomy*. 21: 433-446.
- Emam, Y. 2011. Cereal production. Shiraz University Press. Fourth edition. 190 pp. (In Persian).
- Fernandez G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the Symposium. Taiwan, 13-16 Aug. pp. 257-270.
- Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi, and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77: 523-531.
- 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*. 5: 162-171.
- Golbashy, M., M. Ebrahimi, S. Khavari Khorasani, and R. Choucan. 2010. Evaluation of drought tolerance of some corn (*Zea mays* L.) hybrids in Iran. *African Journal of Agricultural Research*. 5(19):2714-2719.
- Golparvar, A.R., A. Majidi Heravan, and A. Ghasemi Pir Bloti. 2004. Genetic improvement of yield potential and drought resistance in wheat genotypes (*T. aestivum*). *Journal of Dryness and Drought Agricultural Extension*. 3: 23-13.

- Gonzalez, A., V. Bermejo, and B.S. Gimeno. 2010. Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. *Journal of Agricultural Science*. 148: 319–328.
- Hopkins, W.G., and N.P. Huner. 2004. Introduction to plant physiology (3^{ed}). John Wiley & Sons. Inc. New York. 560 p.
- Kalamian, S., A.M. Modares Sanavi, and A. Sepehri. 2005. Effect of water deficit at vegetative and reproductive growth stage in leafy and commercial hybrids of maize. *Agricultural Research (Water, Soil and Plant)*. 5: 38-53. (In Persian).
- Karam, F., R. Masaad, T. Sfeir, O. Mounzer, and Y. Roupael. 2005. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. *Agricultural and Water Management*. 75(3): 226–244.
- Khalil Zadeh, G.H.R., and H. Karbalai Khiyav. 2002. Effects of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. 7th Congress of Agronomy and Plant Breeding of Iran. Agricultural Education Publishing. P: 563-564.
- Martinez J.P., H. Silva, J.F. Ledent, and M. Pinto. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*. 26: 30-38.
- Micheal, A.M., and T.P. Ojha. 1987. Principles of agricultural engineering. Jain Brothers Publisher, New Delhi. 2:320.
- Moghaddam A., and M.H. Hadizadeh. 2002. Response of corn hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerant indices. *Iranian Journal of Seed Seedling*. 18: 255–272. (In Persian).
- Nabati, J., and B. Rezvani Moghaddam. 2006. Effect of different irrigation interval on quantitative and qualitative attributes of millet, sorghum and forage corn. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 37(1): 21-29. (In Persian).
- Nouri azhar, J., and P. Ehsanzedeh. 2007. Study of relationship of some growth indices and yield of five corn hybrids at two irrigation regim in Esfahan region. *Journal of Science and Technology*. 41:261-272.
- Ober E.S., S. Setter, L. Tim, M.Y. James, J.F. Thompson, and P.S. Shapiro. 1991. Influence of water deficit on maize endosperm development. *Plant Physiology*. 97: 154-164.
- 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.
- Panda P.K., S.K. Behera, and P.S. Kashyap. 2004. Effective management of irrigation water for maize under stressed condition. *Agricultural Water Management*. 66(3): 181-203.
- Pandey, R.K., J.W. Maranville, and M.M. Chetima. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth. *Agricultural Water Management*. 46(1): 15–27.

- Pinheiro, C., J.A. Passarinhoa, and C.P. Ricardo. 2004. Effect of drought and rewatering on the metabolism of *Lupinus albus* organs. *Journal of Plant Physiology*. 161: 1203-1210
- Pirasteh-Anosheh, H., R. Moradi, A. Saed, and Y. Emam. 2010. Investigation of drought stress in different stages on yield and yield components of four maize hybrids. 1st International Conference on Water Recourses, Iran. P. 61. (In Persian).
- Porwanto, E. 2003. Photosynthesis activity of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress. *Agronomy and Crop Science*. 5(1): 1-18.
- Rezaverdinejad, V., T. Sohrabi, and A.M. Liaghat. 2006. Study of deficit irrigation effect on corn forage yield at its growth stage. 1th National Congress of Irrigation and Drainage Nets. Ahvaz.
- Richard R.A., A.G. Condon, and G.J. Rebetzke. 2002. Traits to improve yield in dry environment In: M.P. Reynolds., J.I. Ortiz- Monasterit, and A. McNab. (eds). Application of Physiology in Wheat Breeding. pp.88-100.
- Rosille, A.A., and J. Hambilin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 21: 43-46.
- Sadegh-Zadeh Ahari, D. 2006. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes promising. *Crop Science*. 8(1): 30-44.
- Shiri, M.R. 2000. The investigation of yield and yield component in wheat variety under water stress. M.Sc Thesis. Islamic Azad University, Ardabil Branch. 143 pp.
- Sinaki, J.M., E. Majidi Heravan, A.H. Shirani Rad, G. Noormohamadi, and G. Zarei. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2(4): 417-424.
- Tadayyoun, M.R., and Y. Emam. 2009. Cultural management under drought stress. National Drought Seminar, Issues and Mitigation, 13-15 May, College of Agriculture, Shiraz University. PP.156-171. (In Persian).
- Tardieu, F., M. Reymond, P. Hamard, C. Granier, and B. Muller. 2000. Spatial distributions of expansion rate, cell division rate and cell size in maize leaves: a synthesis of the effects of soil water status, evaporative demand and temperature. *Journal of Experimental Botany*. 51:1505-1514.
- van de Wouw, M., T. Van Hintum, C. Kik, R. Van Treuren, and B. Visser. 2010. Genetic diversity trends in twentieth century crop cultivars: a meta-analysis. *Theoretical and Applied Genetics*. 120: 1241-1252.
- Yazar, A., S. Sezen, and B. Gencel. 2002. Drip irrigation of corn in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Irrigation and Drainage*. 51:293-300.

Evaluating Tolerance Indices of some New Maize Hybrids Imposed to Drought Stress

Seyedzavar, J.,¹ M. Norouzi^{2*}, and S. Aharizad³

Received: January 2015, Accepted: 11 November 2015

Abstract

In order to investigate drought tolerance indices of 14 maize hybrids to different levels of water deficit, a split-plot experiment was conducted in complete randomized block design with four replications at the Agricultural Research Station, University of Tabriz. The main plots consisted of three levels of irrigation regimes (control, mild and severe water deficit) and sub-plots of 14 corn hybrids. Drought tolerance indices were calculated for the grain yields produced. Under mild drought condition, hybrids like SC702, SC500 and K3647×K18 were tolerant based on tolerance index (TOL) and stress susceptibility index (SSI) indices while hybrid SC 500 was the most tolerance one. Based on stress tolerance index (STI), mean productivity (MP) and geometric mean productivity (GMP) indices under both mild and severe stress conditions hybrids K166×K18, SC500 K3647×K18 and SC400 were found to be the most tolerant to water deficit than others. The STI and GMP indices that had highest positive correlation with grain yield under both of these stress conditions. Thus these two indices were determined as the best indices for selection of tolerant hybrids. Cluster analysis based on these two indices classified hybrids into two groups under mild stress and in three groups under severe stress conditions. Biplot graphs for two main components based on principle components analysis (PCM) displayed that SC500 to be a tolerant maize hybrid in both mild and severe drought stress conditions with high yield performance. Also, hybrids SC700 and SC704 were low yielders under both control and stress conditions and thus were identified to be as sensitive hybrids.

Key words: Cluster analysis, Drought tolerance indices, Grain yield, Principal component, Maize.

1- Former M.Sc. Student in Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of urmia, Urmia, Iran.

2- Assistant Prof., Dept. of Plant Breeding & Biotechnology, Faculty of agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Associate Prof., Dept. of Plant Breeding & Biotechnology, Faculty of agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

* *Corresponding Author: Norouzi@tabrizu.ac.ir*