ارزیابی مبتنی بر شاخص‌های تحمل کم‌آبیاری در هیبریدهای جدید ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) با منشأ سیمیت

شراره فارغی[۱]، قدرت‌الله سعیدی[۲*] و آقافخر میرلوحی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۸)

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آبی، اصلاح ارقام با تحمل بالا به کم‌آبیاری در جهت مصرف بهینه آب در کشت ذرت می‌تواند بسیار مؤثر باشد. به‌منظور شناسایی هیبریدهای سینگل‌کراس جدید متحمل به کم‌آبیاری، ۵۲ هیبرید سینگل‌کراس حاصل تلاقی ۱۳ لاین با منشأ سیمیت با تسترهای A679، K166B، K18 و MO17، به‌همراه هیبریدهای ۷۰۴ و ۷۰۵ به‌عنوان شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو رژیم آبیاری نرمال و آبیاری بر اساس ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه ارزیابی شدند. بر اساس عملکرد دانه (Kg/ha) در دو محیط رطوبتی، شاخص‌های مقاومت به خشکی محاسبه شدند. نتایج تجزیه واریانس تنوع معنی‌داری بین هیبریدها برای عملکرد دانه در دو محیط و شاخص‌های مورد مطالعه نشان داد. عملکرد دانه هیبریدها در محیط با آبیاری معمول تغییراتی بین ۸/۷ تا ۱۵/۲ و در محیط کم‌آبیاری بین ۴/۹ تا ۱۲ تن در هکتار نشان داد. کاهش عملکرد دانه در اثر شرایط کم‌آبیاری بین ۰/۶۷ تا ۸/۵۰ درصد متغیر بود. تجزیه خوشه‌ای، هیبریدها را در سه گروه قرار داد. هیبریدهای ۵۱، ۱۸، ۴۵، ۴۸، ۲۱، ۲۷، ۲۳، ۱۹، ۲۰، ۲۸، ۳۸، ۱۴و۲۶ از لحاظ تحمل به کم‌آبیاری و عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی، نسبت به دیگر هیبریدها و دو رقم شاهد برتر بودند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد هیبریدهای ۴۸، ۴۵، ۱۸ و ۵۱ با توجه به پتانسیل عملکردی بالا، برای شرایط آبیاری نرمال قابل معرفی هستند. هیبریدهای ۱۹، ۲۳، ۲۷، ۲۵ و ۲۱ و مخصوصاً هیبرید ۱۹ از لحاظ عملکرد دانه در دو محیط رطوبتی و شاخص‌های تحمل به‌خشکی برتر بودند و این گروه برای شرایط با آبیاری کمتر مناسب‌تر هستند.

واژه‌های کلیدی: ذرت دانه‌ای، عملکرد دانه، خشکی، شاخص‌های تحمل

۱و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: gsaeidi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

ذرت از جمله غلات مهم و با ارزش مناطق گرمسیر و معتدل جهان است و بیشترین پتانسیل تولید را در بین غلات دارد، به‌طوری که از لحاظ سطح زیر کشت و میزان تولید پس از گندم و برنج سومین محصول مهم جهان است (۱۲). این گیاه به‌دلیل قدرت سازگاری بالا با شرایط اقلیمی گوناگون به‌سرعت در دنیا گسترش یافته، به‌طوری که بعد از گندم و برنج بیشترین سطح کشت را به‌خود اختصاص داده است. در حال حاضر ۱۳۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا زیر کشت ذرت قرار دارند (۳۱). امروزه ذرت علاوه بر تأمین علوفه دام، در تغذیه طیور نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است و ارزش غذایی آن بیشتر از سایر غلات است. حدود ۲۵-۲۰ درصد تولید ذرت برای تغذیه انسان بوده و ۶۰ تا ۷۵ درصد آن به مصرف دام می‌رسد و حدود ۵ درصد از تولید جهانی ذرت نیز برای فراورده‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۱).

بهره‌برداری مداوم از منابع ژنتیکی ذرت موجود در مناطق معتدل و محدود شدن تعداد لاین‌های مناسب مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی برای تولید هیبریدهای تجاری، منجر به کاهش تنوع ژرم‌پلاسم ذرت شده است. لذا در این مناطق، توسعه پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم یکی از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی ذرت است (۳۵ و ۳۷). از سوی دیگر، با محدود شدن پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم‌های مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی ذرت در مناطق معتدله، توجه و گرایش شدیدی به استفاده از ژرم‌پلاسم‌های خارجی به‌ویژه ژرم‌پلاسم‌های مناطق حاره‌ای به‌وجود آمده و در اکثر برنامه‌های تحقیقاتی در مناطق معتدله، استفاده از این ژرم‌پلاسم‌ها و شناسایی منابع ژنتیکی مناسب مدنظر است. از طرفی شرایط اقلیمی حاکم بر هر یک از این مناطق به‌ویژه طول روز و میانگین دمای روزانه می‌تواند باعث عدم سازگاری و اختلال در رشد و نمو این ژرم‌پلاسم‌ها شود و باعث افزایش فاصله ژنتیکی بین آنها به‌ویژه در مورد ژرم‌پلاسم‌های حاره‌ای و معتدله شده است. بنابراین تنوع ژنتیکی موجود در ژرم‌پلاسم‌های حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای و چگونگی بهره‌گیری از این تنوع در برنامه‌های اصلاحی از یک طرف و عدم سازگاری آنها با شرایط اقلیمی مناطق معتدله از طرف دیگر، موضوع مورد توجه به‌نژادگران ذرت در مناطق معتدله است (۱۵). به‌همین دلیل یکی از مشکلات عمده تولید ذرت در ایران، محدود بودن تعداد ارقام هیبرید اصلاح شده تجاری است و از طرفی تولید ارقام جدید به داشتن آگاهی از زمینه ژنتیکی لاین‌های والدینی و هیبریدهای حاصل از آنها نیاز دارد (۷).

رشد و تولید گیاهان، به‌طور گسترده‌ای تحت تأثیر آسیب‌های محیطی شامل تنش‌های متنوع زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرد (۲۵). مفهوم تنش در گیاه عبارت است از تأثیر منفی و شدید تعدادی از عوامل زنده یا غیرزنده موجود در محیط روی مکانیسم‌های مقابلهٔ طبیعی گیاه، که می‌تواند منجر به اختلال در روند تولید ماده خشک و کاهش عملکرد شود (۵). از جمله تنش‌های مهم محیطی تنش خشکی است. خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته شده است (۲). استفاده از عملکرد اقتصادی و شاخص‌های تحمل که بر اساس عملکرد ارقام در هر دو محیط تنش و بدون تنش تنظیم شده‌اند، مهم‌ترین استراتژی به‌منظور گزینش ارقام متحمل نسبت به تنش خشکی است. هر چند در زمینه بهبود ژنتیکی تحمل به خشکی، ممکن است صفات ویژه دیگری که باعث افزایش کارایی استفاده از آب و یا شاخص برداشت می‌شوند، نیز استفاده شوند (۲۸).

تحمل به خشکی توانایی گیاه زراعی برای رشد مطلوب در نواحی دارای کمبود آب است، ولی در بهترین و کامل‌ترین تعریف که توسط بلوم (۹) ارائه شده است، تحمل به خشکی شامل برخی واکنش‌های گیاه به کمبود آب بوده، که ممکن است در شرایط کاهش تبخیر و تعرق حقیقی نسبت به تبخیر و تعرق بالقوه (حتی در وضعیت آبیاری تکمیلی)، در گیاه دیده شود و منجر به افزایش مقاومت گیاه در جهت تولید مناسب به خشکی شود.

با استفاده از شاخص‌های تحمل و یا حساسیت به خشکی

جدول ۱. اسامی لاین‌های خالص و تسترهای ذرت مورد استفاده در آزمایش

والدین	نام لاین‌ها و تسترها/ شجره	منشأ
لاین ۱	4-CHTSEY,2002/1389/9=1390/13=1391/10	CIMMYT germplasm
لاین ۲	4-CHTSEY,2002/1389/19=1390/21=1991/70	CIMMYT germplasm
لاین ۳	7-CHTSEY,2002/1389/33=1390/33=1391/61	CIMMYT germplasm
لاین ۴	7-CHTSEY,2002/1389/35=1390/37=1391/64	CIMMYT germplasm
لاین ۵	K18 ×2-CHTHIY, 2002/1389/59=1390/73=1391/43	k18 × Cimmyt originated line
لاین ۶	K18 × 2-CHTHIY, 2002/1389/61=1390/77=1391/46	k18 × Cimmyt originated line
لاین ۷	XT03	unknown China -source
لاین ۸	4-CHTSEY, 2002/1390/5=1391/6	CIMMYT germplasm
لاین ۹	4-CHTSEY, 2002/1390/9=1391/8	CIMMYT germplasm
لاین ۱۰	7-CHTSEY, 2002/1390/41=1391/22	CIMMYT germplasm
لاین ۱۱	20-CHTSEY,2002/1390/45=1391/25	CIMMYT germplasm
لاین ۱۲	20-CHTSEY,2002/1390/53=1391/31	CIMMYT germplasm
لاین ۱۳	MO17 × 6-CHTHEY, 2002/1390/69=1391/40	MO17 × Cimmyt originated line
تستر۱	K166B	CL. 187–2 × C103
تستر۲	A679	MO17 changes
تستر۳	K18	A B73 back-cross derived line[(A662 × B73)(3)]
تستر۴	MO17	CIMMYT germplasm

می‌توان ارقام را از نظر عکس‌العمل آنها به خشکی دسته‌بندی کرد. پژوهشگران مختلف، معیارهای متعددی را برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و بر اساس عملکرد آنها در شرایط تنش و بدون تنش پیشنهاد کرده‌اند (۳۸) که در تحقیقات متعددی از این شاخص‌ها، به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در ذرت استفاده شده است (۱۸، ۲۰، ۲۶ و ۳۰). با توجه به مطالب بیان شده هدف از تحقیق حاضر بررسی تحمل به تنش کم‌آبیاری هیبریدهای سینگل کراس ذرت حاصل از تلاقی لاین‌های استخراج شده از ژرم‌پلاسم سیمیت با اینبرد لاین‌های تجاری مناطق معتدل بود تا بتوان هیبریدهای متحمل‌تر به تنش کم‌آبیاری را برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی ذرت معرفی کرد.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی

بذرهای مواد ژنتیکی مورد استفاده در این پژوهش از بخش ذرت و گیاهان علوفه‌ای مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد و اسامی آنها که شامل لاین‌های خالص و تسترها است، در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. تعداد ۵۲ هیبرید سینگل کراس حاصل از تلاقی تعداد ۱۳ لاین خالص از ژرم‌پلاسم سیمیت با هر کدام از تسترهای MO17، K18، K166B و A679 که لاین‌هایی از مناطق معتدله هستند به‌همراه دو رقم شاهد هیبرید ۷۰۴ و ۷۰۵ مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۲).

این پژوهش به‌مدت دو سال در ایستگاه تحقیقاتی مرکز

جدول ۲. فهرست هیبریدهای مورد بررسی ذرت دانه‌ای

هیبرید	ترکیب	هیبرید	ترکیب
۱	4-CHTSEY,2002/1389/9=1390/13 × MO17	۲۸	XT03 ×K166B
۲	4-CHTSEY,2002/1389/19=1390/21 × MO17	۲۹	4-CHTSEY, 2002/1390/5 × MO17
۳	7-CHTSEY,2002/1389/33=1390/33 × MO17	۳۰	4-CHTSEY, 2002/1390/9 × MO17
۴	7-CHTSEY,2002/1389/35=1390/37 × MO17	۳۱	7-CHTSEY, 2002/1390/41 × MO17
۵	K18 / 2-CHTHIY, 2002/1389/59=1390/73 × MO17	۳۲	20-CHTSEY,2002/1390/45 × MO17
۶	K18 / 2-CHTHIY, 2002/1389/61=1390/77 × MO17	۳۳	20-CHTSEY,2002/1390/53 × MO17
۷	XT03 × MO17	۳۴	MO17 / 6-CHTHEY, 2002/1390/69 × MO17
۸	4-CHTSEY,2002/1389/9=1390/13 × K18	۳۵	4-CHTSEY, 2002/1390/5 × K18
۹	4-CHTSEY,2002/1389/19=1390/21 × K18	۳۶	4-CHTSEY, 2002/1390/9 × K18
۱۰	7-CHTSEY,2002/1389/33=1390/33 × K18	۳۷	7-CHTSEY, 2002/1390/41 × K18
۱۱	7-CHTSEY,2002/1389/35=1390/37 × K18	۳۸	20-CHTSEY,2002/1390/45 × K18
۱۲	K18 / 2-CHTHIY, 2002/1389/59=1390/73 × K18	۳۹	20-CHTSEY,2002/1390/53 × K18
۱۳	K18 / 2-CHTHIY, 2002/1389/61=1390/77 × K18	۴۰	MO17 / 6-CHTHEY, 2002/1390/6 × K18
۱۴	XT03 × K18	۴۱	4-CHTSEY, 2002/1390/5 × A679
۱۵	4-CHTSEY,2002/1389/9=1390/13 × A679	۴۲	4-CHTSEY, 2002/1390/9 × A679
۱۶	4-CHTSEY,2002/1389/19=1390/21 × A679	۴۳	7-CHTSEY, 2002/1390/41 × A679
۱۷	7-CHTSEY,2002/1389/33=1390/33 × A679	۴۴	20-CHTSEY,2002/1390/45 × A679
۱۸	7-CHTSEY,2002/1389/35=1390/37 × A679	۴۵	20-CHTSEY,2002/1390/53 × A679
۱۹	K18 / 2-CHTHIY, 2002/1389/59=1390/73 × A679	۴۶	MO17 / 6-CHTHEY, 2002/1390/69 × A679
۲۰	K18 / 2-CHTHIY, 2002/1389/61=1390/77 ×A679	۴۷	4-CHTSEY, 2002/1390/5 × K166B
۲۱	XT03 × A679	۴۸	4-CHTSEY, 2002/1390/9 × K166B
۲۲	4-CHTSEY,2002/1389/9=1390/13 × K166B	۴۹	7-CHTSEY, 2002/1390/41× K166B
۲۳	4-CHTSEY,2002/1389/19=1390/21 × K166B	۵۰	20-CHTSEY,2002/1390/45 × K166B
۲۴	7-CHTSEY,2002/1389/33=1390/33 × K166B	۵۱	20-CHTSEY,2002/1390/53 × K166B
۲۵	7-CHTSEY,2002/1389/35=1390/37 × K166B	۵۲	MO17 / 6-CHTHEY, 2002/1390/69 × K166B
۲۶	K18 / 2-CHTHIY, 2002/1389/59=1390/73 ×K166B	۵۳	هیبرید ۷۰۴ (شاهد)
۲۷	K18/2-CHTHIY,2002/1389/61=1390/77×K166B K166B	۵۴	هیبرید ۷۰۵ (شاهد)

تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه واقع در اسلام‌آباد غرب (۶۳ کیلومتری غرب کرمانشاه) با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۴۶ متر از سطح دریا انجام

جدول ۳. داده‌های هواشناسی محل کشت (اسلام‌آباد غرب) در طول دوره آزمایش در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

ماه	کمینه دما (سانتی‌گراد)		بیشینه دما (سانتی‌گراد)		میانگین دما (سانتی‌گراد)		رطوبت نسبی (درصد)		میزان بارندگی (میلی‌متر)	
	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
اردیبهشت	۷/۷	۸/۲	۲۱/۴	۲۲/۶	۱۴/۱	۱۴/۴	۶۰/۷	۵۶/۵	۴/۲	۵/۲
خرداد	۱۰/۴	۱۰/۶	۳۰/۷	۳۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۶	۳۹/۵	۳۹/۱	۰/۵	۰/۲
تیر	۱۵/۷	۱۵/۴	۴۱/۲	۴۰/۹	۲۶/۴	۲۶/۱	۲۳/۷	۲۴/۸	۰	۰
مرداد	۱۴/۶	۱۵/۹	۳۵/۴	۳۶/۲	۲۴/۵	۲۶/۱	۲۷/۸	۲۸/۱	۰	۰
شهریور	۱۲/۶	۱۳/۰	۳۳/۷	۳۴/۲	۲۲/۷	۲۳/۶	۲۶/۲۱	۲۸/۱	۰	۰

گرفت. بافت خاک منطقه آزمایش از نوع سیلتی- رسی و میانگین بارندگی سالیانه محل اجرای آزمایش ۵۳۸ میلی‌متر، در طی انجام آزمایش بیشترین میزان دمای منطقه ۴۱/۲ درجه سانتی‌گراد و دمای کمینه آن ۷/۷ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۳) و بر اساس مدل آمبرژه، منطقه دارای اقلیم معتدل است.

در این مطالعه، ۵۲ هیبرید حاصل از تلاقی‌ها به‌همراه دو رقم شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ و در هر سال در دو رژیم رطوبتی جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفتند و دو رژیم آبیاری شامل آبیاری به‌صورت نرمال و آبیاری بر اساس ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه (شرایط کم‌آبیاری) انجام شد.

هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط کشت و هر خط شامل ۳۶ کپه به فاصله ۱۸ سانتی‌متر بود که با احتساب ۷۵ سانتی‌متر فاصله خطوط کشت و احتساب یک بوته در هر کپه، تراکم کشت حدود ۷۴ هزار بوته در هکتار منظور شد. در هر کپه برای اطمینان از سبز شدن و داشتن حداقل یک گیاه، ۳ بذر کشت شد و سپس در مرحله ۵-۴ برگی فقط یک بوته در هر کپه نگهداری شد و بقیه بوته‌ها حذف شدند. به‌منظور حذف اثر حاشیه‌ای، تنها دانه‌های بوته‌ها از دو خط میانی برداشت شد.

قبل از اجرای آزمایش چند نمونه خاک از محل اجرای آزمایش تهیه و نسبت به اندازه‌گیری عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف (برای تعیین نیاز کودی خاک برای تولید ذرت در منطقه) آنها اقدام شد. کل کود فسفاته مورد نیاز و نیمی از کود اوره در زمان کاشت و نیمی دیگر از اوره در زمان ۷ برگه شدن ذرت به‌صورت سرک مصرف شد (۳۴).

نیاز آبی گیاه بر اساس معادله فائو- پنمن- مانتیس با استفاده از نرم‌افزار اُپتی وات (Optiwat) و نت وات (Netwat) در دوره‌های ده روزه با توجه به آمار هواشناسی منطقه محاسبه شد. دوره آبیاری رایج در منطقه کرمانشاه ده روز یک‌بار بوده و انتخاب این دور آبیاری بر اساس روش رایج کشاورزان است. نرم‌افزار اُپتی وات بر پایه داده‌های هواشناسی درازمدت و برای مراحل مختلف فنولوژیک و با استفاده از روش فائو- پنمن- مانتیث میزان نیاز آبی روزانه گیاهان را در شرایط آب و هوایی اقلیم‌های مختلف ایران محاسبه کرده و می‌توان از آن به‌عنوان مرجعی در تعیین نیازهای آبی گیاهان استفاده کرد. اما برای دقت بیشتر در محاسبه نیاز آبی از نرم‌افزار نت وات استفاده شد. این نرم‌افزار بر اساس ورودی داده‌های هواشناسی ده روز یک بار و فرمول فائو- پنمن- مانتیث نیاز آبی گیاه را محاسبه می‌کند. این معادله توسط کارشناسان فائو برای محاسبه نیاز آبی گیاهان زراعی معرفی شده است (۳). درنهایت حجم آب آبیاری بر اساس متر مکعب نیز طبق فرمول زیر تعیین شد:

حجم آب آبیاری= مساحت کرت (m^2) × نیاز آبی روزانه (mm/day) × دور آبیاری (۱۰ روز)

کنترل ورود میزان آب مورد استفاده نیز به وسیله کنتور و لوله‌های پلاستیکی انجام شد. نیاز خالص آبی ذرت بر اساس داده‌های دوساله و بر اساس خروجی فرمول پنمن مانتیث فائو برای ایستگاه اسلام‌آباد غرب ۷۵۰۰ متر مکعب در هکتار به

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه در شرایط رطوبتی نرمال و کم‌آبیاری، شاخص‌های تحمل و شاخص‌های حساسیت به تنش بر اساس داده‌های دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه و شاخص‌ها								
		YP	YS	SSI	TOL	STI	MP	GMP	YI	YSI
سال	۱	۱۸/۱۱**	۱۷/۳۶**	۳/۲۷**	۷۹/۰۱**	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۴۳^{ns}	۰/۳۰**	۰/۴۸**
تکرار (سال)	۴	۳۷/۱۷	۱/۲۱	۰/۶۱	۲۹/۰۵	۰/۱۲	۱۱/۷۶	۸/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۹
ژنوتیپ	۵۳	۱۴/۹۹**	۱۹/۳۸**	۰/۸۰**	۱۹/۲۲**	۰/۲۳**	۱۲/۴۳**	۱۴/۰۰**	۰/۳۳**	۰/۱۲**
سال × ژنوتیپ	۵۳	۲/۵۶^{ns}	۰/۸۵^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۳/۸۸^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۷۸^{ns}	۰/۷۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}
خطا	۲۱۲	۲/۳۲	۱/۱۲	۰/۱۲	۳/۲۳	۰/۰۱	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۰۲

ns و **به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد
YP: عملکرد دانه در محیط نرمال، YS: عملکرد دانه درمحیط تنش کم‌آبیاری، STI: شاخص تحمل به تنش، TOL: تحمل، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، MP: میانگین بهره‌وری، SSI: حساسیت به تنش، YI: شاخص عملکرد و YSI: شاخص پایداری است.

دست آمد و در این آزمایش با توجه به اینکه راندمان آبیاری ۹۰ درصد بود، نیاز خالص ۸۲۵۰ متر مکعب محاسبه شد. با توجه به اینکه تقریباً ۱۰ دور آبیاری تا زمان بلوغ فیزیوژیکی انجام می‌شود در تیمار آبیاری نرمال هر دور آبیاری معادل ۸۲۵ مترمکعب در هکتار درنظر گرفته شده و در تیمار تنش خشکی حجم کل آب مصرفی معادل ۵۳۶۲ مترمکعب در هکتار و برای هر دور آبیاری ۵۳۶/۲ مترمکعب در هکتار اعمال شد.

اندازه‌گیری عملکرد و محاسبه شاخص‌ها

پس از بلوغ فیزیولوژیک و رسیدن رطوبت به کمتر از ۲۰ درصد، حدود ۸ مترمربع از هر کرت آزمایشی (دو خط میانی هر کرت) برداشت شده و عملکرد دانه و درصد رطوبت آن اندازه‌گیری سپس با توجه به مساحت برداشت شده عملکرد برحسب تن در هکتار برای هر کرت آزمایشی محاسبه شد.

با استفاده از عملکرد دانه در محیط نرمال (YP) و محیط تنش کم‌آبیاری (YS)، شاخص‌های تحمل به تنش $TOL = Y_P - Y_S$ (۱۳)، تحمل $STI = (Y_p \times Y_S)/(\overline{Y}_p)^2$ (۳۳)، میانگین هندسی بهره‌وری $GMP = \sqrt{Y_S \times Y_P}$ (۱۳)، میانگین بهره‌وری $MP = (Y_S + Y_P)/2$ (۳۳)، حساسیت به تنش $SSI = [1 - (Y_S)/(Y_P)]/[1 - (\overline{Y}_S)/(\overline{Y}_P)]$ (۱۴)، شاخص عملکرد $YI = Y_S/\overline{Y}_S$ (۱۶) و شاخص پایداری عملکرد $YSI = Y_S/Y_P$ (۱۰) برای ۵۴ ژنوتیپ مورد بررسی محاسبه شد. درنهایت با استفاده از نرم‌افزارهای $SPSS_{18}$، $SYSTAT_{13}$ و $Microsoft\ Office_{2013}$ در محیط Excel تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها (با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد)، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تهیهٔ نمودارهای مربوط انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب در دو سال آزمایش نشان داد (جدول ۴) که بین هیبریدها برای تمام شاخص‌ها و عملکرد دانه در هر دو رژیم آبیاری تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت، که نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی متفاوت ژنوتیپ‌ها برای تولید عملکرد دانه در هر دو شرایط رطوبتی و همچنین تحمل نسبی متفاوت آنها به تنش رطوبتی است. اثر متقابل سال × ژنوتیپ برای تمام شاخص‌های مورد بررسی معنی‌دار نشد و درنتیجه واکنش ژنوتیپ‌ها از لحاظ بروز این خصوصیات به تغییر شرایط اقلیمی سال‌های مورد ارزیابی، یکنواخت بوده و روند متفاوتی را نشان نداده‌اند. با توجه به اینکه کشت ذرت در تمام مناطق کشور به صورت آبی است، ایجاد ارقامی که در شرایط کم‌آبیاری قادر به تولید محصول مطلوب و با صرفه اقتصادی باشند، بسیار حائز اهمیت است. وجود تنوع ژنتیکی از لحاظ

عملکرد دانه و تحمل به کم‌آبیاری در بین هیبریدهای مورد بررسی بیانگر تفاوت ژنتیکی زیاد بین اینبرد لاین‌های والدینی انتخاب شده از ژرم‌پلاسم سیمیت و تسترهای انتخابی داخلی بوده است و استفاده از ژرم‌پلاسم حاضر در برنامه‌های اصلاحی ذرت در کشور بسیار مفید خواهد بود. وجود تنوع معنی‌دار برای تحمل به خشکی در بین هیبریدهای سینگل کراس ذرت در تحقیقات مختلفی گزارش شده است (۱، ۴، ۸، ۱۹، ۲۹ و ۳۶).

نتایج نشان داد (جدول ۵) که بیشترین عملکرد دانه در شرایط رطوبتی نرمال به هیبرید شماره ۴۸ اختصاص داشت، که با رقم شاهد ۷۰۵ اختلاف معنی‌داری نشان نداد، ولی با رقم شاهد ۷۰۴ دارای اختلاف معنی‌دار بود. بعد از این هیبرید، هیبریدهای ۵، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۷، ۴۵، ۴۶، ۳ و ۵۱ بدون داشتن اختلاف معنی‌دار، عملکرد بیشتری نسبت به رقم شاهد ۷۰۵ داشتند. هیبرید شماره ۲۹ دارای کمترین عملکرد دانه به میزان ۸/۷ تن در هکتار بود، که با رقم شاهد ۷۰۵ اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین دو هیبرید شاهد ۷۰۵ با میانگین عملکرد ۱۳/۶۳ تن در هکتار و ۷۰۴ با میانگین عملکرد ۱۰/۲۲ تن در هکتار دارای اختلاف معنی‌داری برای عملکرد دانه در شرایط نرمال بودند. بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط نرمال رطوبتی به هیبرید ۴۸ با میانگین ۱۵/۱۸ تن در هکتار اختصاص داشت، که این عملکرد برای ذرت دانه‌ای در شرایط آبیاری نرمال با مطالعات قبلی انجام شده مطابقت دارد (۱۱)، ولی متوسط عملکرد دانه هیبریدها در شرایط نرمال ۱۲/۳۸ تن در هکتار بود که این مقدار در مطالعات رضایی‌استخروئیه و همکاران (۳۲) نیز گزارش شده است.

در شرایط تنش کم‌آبیاری نیز هیبرید شماره ۱۹ بیشترین عملکرد دانه (۱۲ تن در هکتار) را داشت که با رقم شاهد ۷۰۵ دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود، بعد از آن هیبریدهای ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۸، ۳۹، ۴۵، ۴۸ و ۵۱ به‌طور معنی‌دار عملکردی بیشتری نسبت به رقم ۷۰۵ در شرایط تنش کم‌آبیاری داشتند. لازم به توضیح است که برخی از هیبریدها نیز عملکرد دانه بیشتری نسبت به رقم شاهد ۷۰۵ تحت شرایط کم‌آبیاری داشتند، ولی اختلاف آنها با این رقم معنی‌دار نبود (جدول ۵). رقم شاهد ۷۰۵ با میانگین عملکرد ۶/۵۵ تن در هکتار با رقم شاهد ۷۰۴ با میانگین عملکرد ۵/۱۳ تن در هکتار در شرایط تنش کم‌آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۵). کمترین عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبیاری به هیبرید ۳۱ با میانگین ۴/۹۵ تن در هکتار اختصاص داشت که با رقم شاهد ۷۰۴ اختلاف معنی‌دار نشان نداد. در شرایط تنش کم‌آبیاری و با کاهش ۳۵ درصد میزان آب مصرفی، متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به ۷/۶۲ تن در هکتار رسید و به‌طور متوسط ۳۸/۴۵ درصد کاهش مشاهده شد که این کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم‌آبیاری با نتایج لک و همکاران (۲۳) و لابل و همکاران (۲۴) مطابقت داشت. در هر حال در بین هیبریدها، مقدار کاهش عملکرد دانه در محیط تنش نسبت به محیط نرمال متفاوت بود، که گویای واکنش متفاوت هیبریدها به شرایط کم‌آبیاری است و این مهم در وجود تفاوت معنی‌دار بین هیبریدها برای شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به‌خصوص شاخص تحمل (TOL) با توجه به تجزیه واریانس تجلی کرده است. گلباشی و همکاران (۱۷)، جعفری و همکاران (۱۹) و کومار و همکاران (۲۱ و ۲۲) نیز نشان دادند که هیبریدهای ذرت پتانسیل ژنتیکی متفاوتی را برای کاهش عملکرد دانه در اثر شرایط تنش آبی داشته‌اند.

بر اساس شاخص حساسیت به تنش مشاهده شد که دو رقم شاهد ۷۰۴ و ۷۰۵ با مقادیر SSI به‌ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۳۵ در دسته ژنوتیپ‌های با حساسیت بالا در شرایط کم‌آبیاری قرار داشتند. هیبریدهای ۵، ۴۱، ۴۳، ۴۶، ۴۷ و ۵۲ بیشترین حساسیت را به تنش نشان دادند و بقیه هیبریدها حساسیت کمتری به تنش نسبت به دو رقم شاهد داشتند (جدول ۵).

بر اساس شاخص تحمل نیز دو رقم هیبرید شاهد ۷۰۴ و ۷۰۵ اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی هیبریدهای ۱، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۶، ۲۸، ۲۹ و ۳۸ با داشتن کمترین مقدار

جدول ۵. میانگین‌های عملکرد دانه در شرایط معمول آبیاری، شرایط تنش رطوبتی و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ۵۴ هیبرید ذرت ارزیابی شده در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

شماره هیبرید	Yp (تن در هکتار)	Ys (تن در هکتار)	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI
۱	۱۰/۵۸	۷/۳۵	۰/۷۹	۳/۱۷	۸/۹۵	۸/۷۸	۰/۵۱	۰/۹۷	۰/۷۰
۲	۱۲/۳۳	۶/۸۵	۱/۱۶	۵/۱۷	۹/۵۸	۹/۱۹	۰/۵۵	۰/۹۰	۰/۵۶
۳	۱۴/۲۲	۷/۲۷	۱/۲۶	۷/۰۰	۱۰/۷۷	۱۰/۰۸	۰/۶۷	۰/۹۶	۰/۵۲
۴	۱۲/۱۸	۶/۶۵	۱/۱۸	۵/۵۰	۹/۴۵	۹/۰۰	۰/۵۳	۰/۸۷	۰/۵۵
۵	۱۴/۶۰	۶/۷۷	۱/۳۸	۷/۸۳	۱۰/۶۸	۹/۹۰	۰/۶۴	۰/۸۹	۰/۴۷
۶	۱۱/۹۸	۷/۲۲	۱/۰۳	۴/۶۷	۹/۵۷	۹/۲۹	۰/۵۶	۰/۹۵	۰/۶۰
۷	۱۱/۸۰	۶/۴۷	۱/۱۲	۵/۳۳	۹/۱۲	۸/۶۷	۰/۵۰	۰/۸۵	۰/۵۷
۸	۱۰/۷۳	۷/۵۵	۰/۷۲	۳/۰۰	۹/۱۵	۸/۹۸	۰/۵۳	۰/۹۹	۰/۷۲
۹	۱۲/۵۸	۷/۷۸	۰/۹۹	۴/۶۷	۱۰/۱۸	۹/۸۷	۰/۶۴	۱/۰۲	۰/۶۲
۱۰	۱۲/۲۲	۷/۶۵	۰/۹۶	۴/۶۷	۹/۹۲	۹/۶۰	۰/۶۱	۱/۰۰	۰/۶۳
۱۱	۱۱/۴۳	۸/۴۲	۰/۶۱	۳/۰۰	۹/۹۲	۹/۷۵	۰/۶۳	۱/۱۰	۰/۷۷
۱۲	۱۰/۸۳	۸/۳۷	۰/۶۰	۲/۳۳	۹/۶۰	۹/۵۰	۰/۶۰	۱/۱۰	۰/۷۷
۱۳	۱۲/۲۲	۶/۷۸	۱/۱۲	۵/۳۳	۹/۵۰	۹/۰۴	۰/۵۴	۰/۸۹	۰/۵۷
۱۴	۱۱/۷۰	۹/۹۲	۰/۳۱	۱/۸۳	۱۰/۸۰	۱۰/۷۱	۰/۷۶	۱/۳۰	۰/۸۸
۱۵	۱۲/۶۰	۸/۲۵	۰/۸۷	۴/۱۷	۱۰/۴۲	۱۰/۱۳	۰/۶۸	۱/۰۸	۰/۶۷
۱۶	۱۱/۶۳	۶/۷۷	۱/۰۷	۴/۸۳	۹/۲۰	۸/۸۷	۰/۵۲	۰/۸۹	۰/۵۹
۱۷	۱۱/۶۲	۷/۷۲	۰/۸۱	۳/۸۳	۹/۶۸	۹/۳۷	۰/۵۷	۱/۰۱	۰/۶۹
۱۸	۱۴/۷۵	۸/۹۵	۱/۰۲	۵/۶۷	۱۱/۸۲	۱۱/۴۷	۰/۸۶	۱/۱۷	۰/۶۱
۱۹	۱۴/۵۰	۱۲/۰۰	۰/۴۴	۲/۵۰	۱۳/۲۵	۱۳/۱۸	۱/۱۳	۱/۵۷	۰/۸۳
۲۰	۱۲/۷۸	۱۰/۵۸	۰/۴۶	۲/۱۷	۱۱/۷۰	۱۱/۶۲	۰/۹۰	۱/۳۹	۰/۸۲
۲۱	۱۴/۹۳	۹/۹۸	۰/۸۵	۵/۰۰	۱۲/۴۵	۱۲/۲۰	۰/۹۷	۱/۳۱	۰/۶۷
۲۲	۱۱/۲۳	۹/۰۲	۰/۴۴	۲/۳۳	۱۰/۱۲	۹/۹۸	۰/۶۶	۱/۱۸	۰/۸۳
۲۳	۱۴/۷۲	۱۰/۹۳	۰/۶۷	۳/۸۳	۱۲/۸۵	۱۲/۶۶	۱/۰۵	۱/۴۳	۰/۷۴
۲۴	۱۳/۸۵	۷/۷۵	۱/۱۳	۶/۱۷	۱۰/۷۸	۱۰/۳۳	۰/۷۰	۱/۰۲	۰/۵۷
۲۵	۱۵/۱۷	۱۰/۰۰	۰/۸۸	۵/۱۷	۱۲/۶۰	۱۲/۲۹	۰/۹۹	۱/۳۱	۰/۶۶
۲۶	۱۱/۱۵	۹/۶۰	۰/۳۲	۱/۶۷	۱۰/۳۵	۱۰/۳۰	۰/۷۰	۱/۲۶	۰/۸۸
۲۷	۱۴/۷۸	۱۰/۸۷	۰/۶۹	۳/۸۳	۱۲/۸۳	۱۲/۶۶	۱/۰۵	۱/۴۳	۰/۷۳
۲۸	۱۱/۴۵	۱۰/۷۲	۰/۰۱	۰/۶۷	۱۱/۱۰	۱۰/۹۸	۰/۷۹	۱/۴۱	۱/۰۰
۲۹	۸/۷۰	۷/۶۳	۰/۲۷	۱/۰۰	۸/۱۵	۸/۰۹	۰/۴۴	۱/۰۰	۰/۹۰
۳۰	۱۲/۳۸	۸/۸۵	۰/۷۲	۳/۵۰	۱۰/۶۰	۱۰/۴۱	۰/۷۲	۱/۱۶	۰/۷۲
۳۱	۹/۹۲	۴/۹۵	۱/۲۳	۵/۰۰	۷/۴۳	۶/۹۵	۰/۳۲	۰/۶۵	۰/۵۳
۳۲	۱۱/۰۷	۵/۴۳	۱/۲۴	۵/۶۷	۸/۲۷	۷/۶۹	۰/۴۰	۰/۷۱	۰/۵۲
۳۳	۱۲/۷۸	۷/۵۵	۱/۰۴	۵/۳۳	۱۰/۱۷	۹/۷۸	۰/۶۳	۰/۹۹	۰/۶۰
۳۴	۹/۴۲	۵/۲۵	۱/۰۵	۴/۱۷	۷/۳۳	۶/۹۸	۰/۳۲	۰/۶۹	۰/۶۰
۳۵	۱۰/۱۲	۵/۱۰	۱/۲۵	۵/۰۰	۷/۶۰	۷/۱۰	۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۵۲
۳۶	۱۱/۶۳	۵/۷۸	۱/۰۹	۶/۰۰	۸/۷۰	۸/۰۶	۰/۴۴	۰/۷۶	۰/۵۸
۳۷	۱۱/۹۳	۶/۷۸	۱/۱۰	۵/۳۳	۹/۳۵	۸/۹۴	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۵۸

ادامه جدول ۵.

شماره هیبرید	Yp (تن در هکتار)	Ys (تن در هکتار)	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI
۳۸	۱۱/۶۰	۱۰/۵۰	۰/۰۲	۱/۰۰	۱۱/۰۳	۱۰/۹۲	۰/۸۰	۱/۳۸	۰/۹۹
۳۹	۱۳/۲۲	۷/۸۳	۱/۰۴	۵/۳۳	۱۰/۵۲	۱۰/۱۴	۰/۶۷	۱/۰۳	۰/۶۰
۴۰	۱۲/۹۵	۶/۶۰	۱/۲۶	۶/۳۳	۹/۷۵	۹/۲۰	۰/۵۶	۰/۸۶	۰/۵۱
۴۱	۱۱/۲۲	۵/۲۲	۱/۳۶	۶/۰۰	۸/۲۰	۷/۶۱	۰/۳۸	۰/۶۸	۰/۴۸
۴۲	۱۳/۰۳	۷/۲۰	۱/۱۷	۵/۸۳	۱۰/۱۰	۹/۶۵	۰/۶۱	۰/۹۴	۰/۵۵
۴۳	۱۲/۷۷	۴/۹۷	۱/۵۸	۷/۸۳	۸/۸۷	۷/۸۸	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۳۹
۴۴	۱۱/۶۰	۶/۶۵	۱/۰۹	۵/۱۷	۹/۱۳	۸/۷۸	۰/۵۱	۰/۸۸	۰/۵۸
۴۵	۱۴/۹۰	۸/۸۸	۱/۰۴	۶/۱۷	۱۱/۸۸	۱۱/۴۶	۰/۸۶	۱/۱۷	۰/۶۰
۴۶	۱۴/۷۳	۶/۰۵	۱/۵۱	۸/۵۰	۱۰/۳۸	۹/۴۰	۰/۵۸	۰/۸۰	۰/۴۲
۴۷	۱۱/۹۸	۵/۷۵	۱/۳۶	۶/۳۳	۸/۸۳	۸/۲۷	۰/۴۵	۰/۷۵	۰/۴۸
۴۸	۱۵/۱۸	۸/۷۵	۱/۱۰	۶/۵۰	۱۱/۹۷	۱۱/۵۲	۰/۸۷	۱/۱۵	۰/۵۸
۴۹	۱۱/۶۷	۶/۲۲	۱/۲۲	۵/۳۳	۸/۹۵	۸/۵۰	۰/۴۸	۰/۸۲	۰/۵۳
۵۰	۱۱/۳۸	۵/۸۵	۱/۲۶	۵/۵۰	۸/۶۰	۸/۱۴	۰/۴۳	۰/۷۶	۰/۵۲
۵۱	۱۴/۰۸	۸/۶۲	۱/۰۱	۵/۳۳	۱۱/۳۳	۱۱/۰۰	۰/۷۹	۱/۱۳	۰/۶۱
۵۲	۱۲/۱۷	۵/۲۰	۱/۴۶	۶/۸۳	۸/۷۰	۷/۹۳	۰/۴۱	۰/۶۸	۰/۴۴
۵۳ (رقم ۷۰۴)	۱۰/۲۲	۵/۱۳	۱/۲۹	۵/۳۳	۷/۷۰	۷/۲۲	۰/۳۴	۰/۶۷	۰/۵۰
۵۴ (رقم ۷۰۵)	۱۳/۶۳	۶/۵۵	۱/۳۵	۷/۰۰	۱۰/۱۰	۹/۴۴	۰/۵۸	۰/۸۶	۰/۴۸
LSD(α=۰/۰۵)	۱/۷۵	۱/۱۷	۰/۴۰	۲/۰۸	۱/۰۹	۱/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۵

شاخص TOL دارای تحمل به تنش بیشتری بودند و از لحاظ این شاخص با هر دو رقم شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد نشان دادند. هیبریدهای ۵، ۴۳ و ۴۶ بیشترین مقدار شاخص تحمل را به‌خود اختصاص دادند و با دارا بودن کمترین تحمل با رقم شاهد ۷۰۵ در یک گروه قرار گرفتند و کم‌تحمل‌ترین هیبریدها بر اساس این شاخص بودند.

برای سه شاخص میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و تحمل به خشکی روند یکسانی در بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد، به‌طوری که بر اساس این سه شاخص، رقم ۷۰۵ دارای تحمل به تنش کم‌آبیاری بیشتر و معنی‌داری نسبت به رقم ۷۰۴ بود (جدول ۵). از طرف دیگر هیبریدهای ۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۸، ۴۵، ۴۸ و ۵۱ بر اساس سه شاخص، تحمل بیشتری را نسبت به کم‌آبیاری نشان دادند و با ارقام شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند ولی هیبریدهای ۳۱، ۳۴ و ۳۵ با کمترین تحمل به کم‌آبیاری شناخته شدند، که با رقم شاهد ۷۰۴ اختلاف معنی‌دار برای هر سه شاخص نداشتند، اما اختلاف آنها با رقم شاهد ۷۰۵ معنی‌دار بود.

بر اساس شاخص YI نیز مشاهده شد که رقم شاهد ۷۰۵ به‌طور معنی‌داری تحمل بیشتری نسبت به رقم شاهد ۷۰۴ داشت. در بین هیبریدهای تولید شده نیز ۳۸ هیبرید تحمل بیشتری بر اساس این شاخص نسبت به کم‌آبیاری داشتند که در بین آنها هیبریدهای ۱۹، ۲۳ و ۲۷ بیشترین تحمل را نشان دادند و از این لحاظ با رقم شاهد ۷۰۵ دارای اختلاف معنی‌دار بودند. در مقابل نیز بر اساس این شاخص، هیبریدهای ۳۱، ۳۵ و ۴۳ با کمترین تحمل به کم‌آبیاری ضعیف‌ترین هیبریدها در محیط کم‌آبیاری بودند و از لحاظ این شاخص با رقم شاهد ۷۰۴ اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۵).

برای شاخص پایداری عملکرد نیز مشاهده شد که دو رقم شاهد ۷۰۵ و ۷۰۴ دارای میزان پایداری عملکرد دانه به‌نسبت ضعیفی بودند که با همدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال، تنش کم‌آبیاری و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در ۵۴ هیبرید ذرت

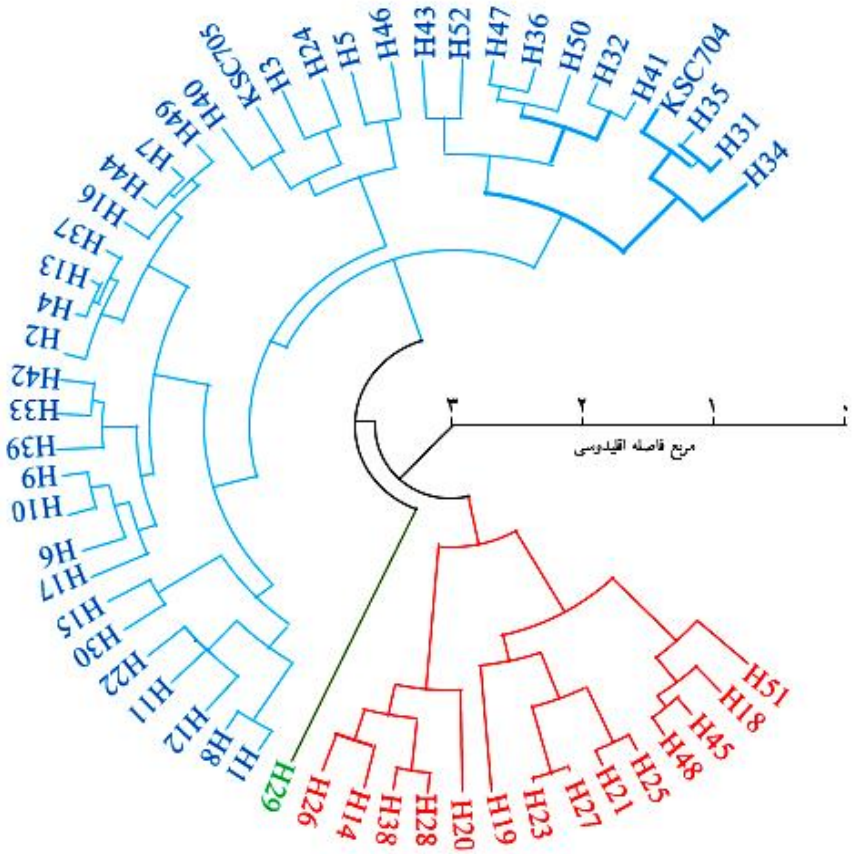
شاخص	Yp	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI
Ys	۰/۴۵**								
SSI	۰/۱۲	-۰/۸۳**							
TOL	۰/۴۴**	-۰/۵۹**	۰/۹۲**						
MP	۰/۸۳**	۰/۸۷**	-۰/۴۵**	-۰/۱۳					
GMP	۰/۷۵**	۰/۹۳**	-۰/۵۶**	-۰/۲۶	۰/۹۹**				
STI	۰/۷۴**	۰/۹۳**	-۰/۵۶**	-۰/۲۶	۰/۹۹**	۱/۰۰**			
YI	۰/۴۵**	۰/۹۹**	-۰/۸۳**	-۰/۵۹**	۰/۸۷**	۰/۹۳**	۰/۹۳**		
YSI	-۰/۱۲	۰/۸۳**	-۱/۰۰**	-۰/۹۳**	۰/۴۵**	۰/۵۶**	۰/۵۵**	۰/۸۳**	

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

هیبریدهای ۱، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰ و ۳۸ بیشترین پایداری عملکرد را دارا بودند و به‌طور معنی‌داری با هر دو رقم شاهد اختلاف نشان دادند، همچنین هیبریدهای ۵، ۴۱، ۴۳، ۴۶، ۴۷ و ۵۲ کمترین پایداری عملکرد را داشتند و با دو رقم شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند. لذا مقایسه میانگین‌ها نشان داد که برای هر شاخص تحمل و یا حساسیت به تنش کم‌آبیاری و همچنین عملکرد دانه، بعضی از هیبریدها دارای اختلاف معنی‌دار با دو رقم هیبرید شاهد بودند و نسبت به آنها برتری نشان دادند، که از جمله آنها می‌توان به هیبریدهای ۴۸، ۲۵، ۲۱، ۴۵، ۲۷، ۱۸، ۲۳، ۱۹، ۲۰، ۵۱، ۱۴، ۳۸، ۲۸، ۱۱، ۲۳، ۴۱ و ۱۲ اشاره کرد.

با توجه به اینکه شاخصی دارای مطلوبیت بیشتر به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌ها برای تحمل به خشکی است که با عملکرد دانه در هردو محیط آبیاری نرمال و تنش همبستگی بالایی داشته باشد (۶)، بنابراین همبستگی بین شاخص‌های مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۶). نتایج همبستگی نشان داد که شاخص‌های تحمل، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، تحمل به خشکی و شاخص عملکرد دارای همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو محیط آبیاری بودند، لذا این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌های مناسب در گزینش ژنوتیپ‌های برتر می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. وجود همبستگی اکثر شاخص‌های تحمل و یا حساسیت به تنش با عملکرد دانه در دو محیط، بیانگر مناسب بودن این شاخص‌ها در گزینش ارقام هیبرید متحمل به کم‌آبیاری است، ولی دو شاخص SSI و YSI شاخص‌های مناسبی برای این منظور نبودند (۶ و ۲۷). در هر حال سه شاخص GMP، MP و STI به‌دلیل داشتن همبستگی بالا با همدیگر برای ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبیاری هیبریدها مناسب‌تر بودند.

به‌منظور گروه‌بندی هیبریدها بر اساس شاخص‌هایی که با هر دو محیط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری همبستگی بیشتری داشتند و همچنین عملکرد دانه در دو رژیم آبیاری، تجزیهٔ خوشه‌ای با روش UPGMA و بر اساس مربع فاصله اقلیدوسی انجام شد، که نمودار خوشه‌ای در شکل ۱ ارائه شده است. چنان که ملاحظه می‌شود، ژنوتیپ‌ها در سه گروه قرار گرفتند. گروه اول شامل هیبریدهای ۵۱، ۱۸، ۴۵، ۴۸، ۲۱، ۲۷، ۲۳، ۱۹، ۲۰، ۲۸، ۳۸، ۱۴ و ۲۶ بود که از لحاظ شاخص‌هایی دارای همبستگی بالا با عملکرد دانه و همچنین از لحاظ پتانسیل عملکرد دانه در دو محیط، برتر بودند. در ضمن اکثر ژنوتیپ‌های این گروه با دو رقم شاهد از لحاظ عملکرد دانه در



شکل ۱. نمودار تجزیه خوشه‌ای با روش UPGMA و بر اساس مربع فاصله اقلیدوسی برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس شاخص‌هایی که دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه در دو محیط بودند.

محیط تنش کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری داشتند. هیبرید شماره ۲۹ به‌تنهایی در گروه دوم قرار گرفت و این هیبرید جزء ژنوتیپ‌های ضعیف بود. دیگر هیبریدها و دو رقم شاهد در گروه سوم قرار گرفتند که از لحاظ خصوصیات مورد بررسی متوسط تا ضعیف بودند. بنابراین از ۵۲ هیبرید مورد بررسی، ۱۴ هیبرید برتری قابل توجهی نسبت به دو رقم هیبرید شاهد داشتند و در یک گروه قرار گرفتند، بنابراین حدود ۳۰ درصد از هیبریدها به‌عنوان هیبریدهای برتر شناخته شدند. وجود ۳۰ درصد هیبرید به‌نسبت متحمل به کم‌آبیاری در بین ژنوتیپ‌ها بیانگر این مطلب است که ژرم‌پلاسم جدید مورد بررسی برای اصلاح ارقام ذرت متحمل به کم‌آبیاری سودمند هستند، به‌خصوص اینکه بیشتر هیبریدها نسبت به دو رقم شاهد برتری نشان دادند.

برای هیبریدهای برتر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس تمام شاخص‌های مورد بررسی انجام شد که نتایج در جدول ۷ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود دو مؤلفه اول در مجموع ۹۹/۶۱ درصد از واریانس کل را توجیه کردند و در مؤلفه اول تمام شاخص‌ها به استثناء YS و YI دارای نقش بیشتری بودند. بنابراین مؤلفه اول به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد دانه در شرایط نرمال درنظر گرفته شد که شاخص‌های GMP، MP، TOL و SSI نقش افزایشی و شاخص YSI نقش کاهشی برای این مؤلفه دارند. در مؤلفه دوم نیز عملکرد دانه در محیط تنش کم‌آبیاری به‌همراه شاخص‌های YI، STI، GMP و MP بیشترین نقش را داشتند. بنابراین مؤلفه دوم به‌عنوان مؤلفه افزایش عملکرد دانه در محیط کم‌آبیاری و افزایش شاخص‌های YI، STI، GMP و MP منظور شد.

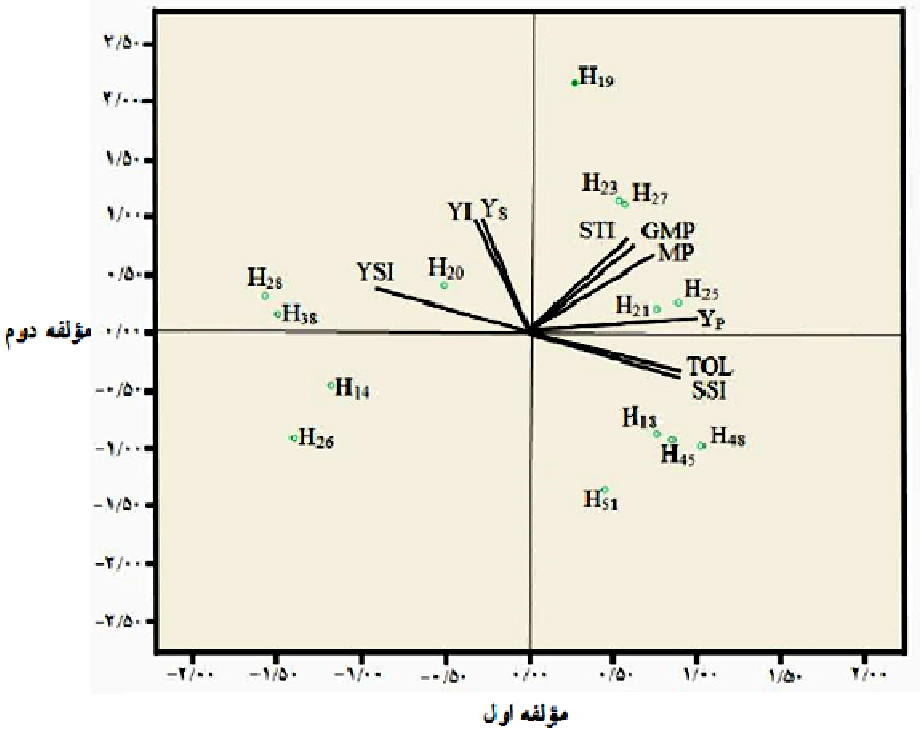
جدول ۷. مقادیر مؤلفه، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های مورد بررسی در هیبریدهای برتر از لحاظ عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال، تنش کم‌آبیاری و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی

شاخص‌ها	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
YSI	-۰/۹۲۶*	۰/۳۶۶
YI	-۰/۲۹۰	۰/۹۵۶
STI	۰/۶۰۰	۰/۷۹۹
GMP	۰/۶۳۵	۰/۷۷۲
MP	۰/۷۴۱	۰/۶۷۰
TOL	۰/۹۲۱	-۰/۳۸۲
SSI	۰/۹۲۲	-۰/۳۷۵
Ys	-۰/۲۸۴	۰/۹۵۸
Yp	۰/۹۹۰	۰/۱۲۲
مقادیر ویژه	۵/۰۱	۳/۹۵
درصد از واریانس	۵۵/۷۱	۴۳/۹۰
واریانس تجمعی	۵۵/۷۱	۹۹/۶۱

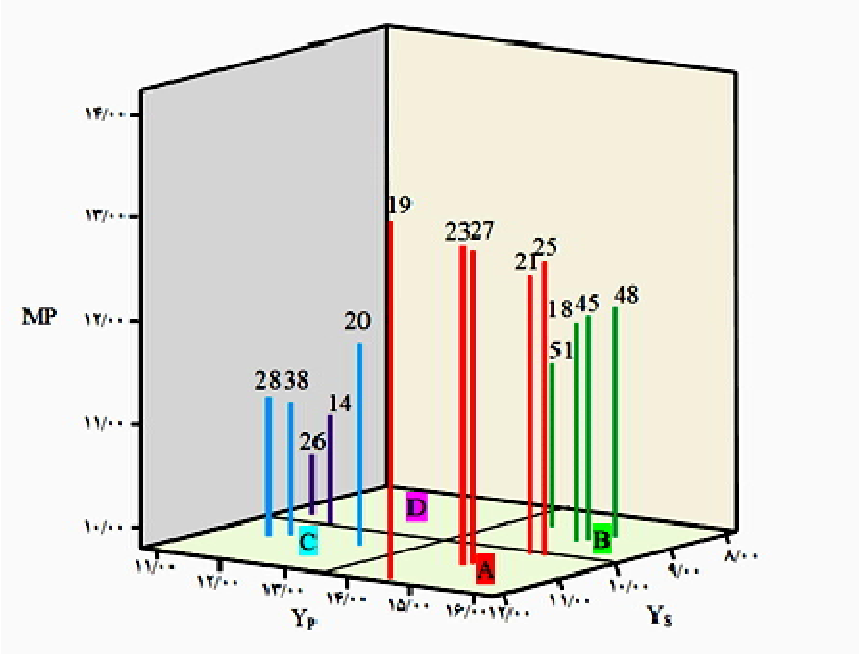
* مقادیر مؤلفه‌هایی که زیر آنها خط کشیده شده است داری بیشترین سهم در مؤلفه هستند.

در شکل ۲ نمودار بای پلات دو مؤلفه اول حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ارائه شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود هیبریدهای ۱۹، ۲۳، ۲۷، ۲۵ و ۲۱ دارای بیشترین مقدار شاخص‌های GMP، MP و STI بودند و این ۵ هیبرید برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی ذرت به‌منظور تولید ارقام هیبرید با تولید مطلوب در شرایط کم‌آبیاری قابل توجه هستند. هیبریدهای ۴۸، ۴۵، ۱۸ و ۵۱ دارای عملکرد دانه مناسب و بهتری در شرایط نرمال بودند، اما در شرایط تنش کم‌آبیاری عملکرد بالایی نداشتند و در حد متوسط به بالا بودند. به‌عبارتی این هیبریدها حساسیت بالایی به تنش کم‌آبیاری نشان دادند و مقادیر بیشتری از شاخص‌های SSI و TOL را داشتند. هیبریدهای ۲۰، ۲۸ و ۳۸ در شرایط تنش رطوبتی عملکرد دانه مطلوبی داشتند، اما در شرایط نرمال پتانسیل تولید عملکرد بالایی نشان ندادند. درنهایت بین هیبریدهای برتر، دو هیبرید ۱۴ و ۲۶ با توجه به نمودار بای پلات ضعیف‌تر بودند. همچنین در شکل ۳ نمودار سه بعدی عملکرد دانه در دو محیط رطوبتی به‌همراه شاخص میانگین بهره‌وری برای هیبریدهای برتر ارائه شده است. بر اساس این نمودار هیبریدهای ۱۹، ۲۳، ۲۷، ۲۵ و ۲۱ در منطقه A گروه‌بندی فرناندز (۱۳) قرار داشتند. این هیبریدها دارای عملکرد دانه مطلوب در هر دو محیط رطوبتی بودند، که دارای میانگین تولید (MP) بیشتری نیز نسبت به بقیهٔ هیبریدها بودند. متوسط کاهش عملکرد این هیبریدهای برتر ۲۷/۳۳ درصد در اثر کم‌آبیاری بود که در بین آنها هیبرید شماره ۱۹ با متوسط کاهش عملکرد ۱۷/۲۴ درصد برتری بسیار بالایی نسبت به دیگر هیبریدهای این گروه داشت.

هیبریدهای ۴۸، ۴۵، ۱۸ و ۵۱ در منطقهٔ B نمودار قرار داشته و فقط در محیط بدون تنش عملکرد دانه خوبی داشتند و میزان MP این هیبریدها متوسط بود. هرچند این گروه بر اساس شاخص‌ها در رده دوم قرار داشتند، ولی دارای پتانسیل عملکرد بالا در محیط رطوبتی معمول بودند و در بین آنها هیبرید ۴۸ پتانسل عملکرد بسیار بهتری برای شرایط معمول آبیاری داشت.



شکل ۲. نمودار بای پلات دو مؤلفه اول حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی هیبریدهای برتر بر اساس شاخص‌های مورد بررسی



شکل ۳. نمودار سه بعدی عملکرد در دو محیط به همراه شاخص میانگین بهره‌وری برای ژنوتیپ‌های برتر

هیبریدهای ۲۰، ۲۸ و ۳۸ با قرار گفتن در منطقهٔ C گروه‌بندی فرناندز (۱۳) نشان دادند که در شرایط تنش عملکرد دانه مطلوبی دارند، اما در شرایط نرمال رطوبتی عملکرد دانه کمتر از میانگین داشتند. درنهایت هیبریدهای ۱۴ و ۲۶ در منطقهٔ D

نمودار قرار گرفتند و بیانگر عملکرد ضعیف این دو هیبرید نسبت به متوسط عملکرد دانه هیبریدهای برتر در دو محیط نرمال و تنش کم‌آبیاری بود.

نتیجه‌گیری

پتانسیل ژنتیکی بالایی در بین اینبرد لاین‌های سیمیت در تلاقی با تسترهای دخلی به‌منظور تولید هیبریدهای سینگل کراس وجود داشت و باعث شد که برای عملکرد در شرایط آبیاری معمولی تنوع بالایی مشاهده شود. همچنین هیبریدهای حاصل در شرایط کم‌آبیاری نیز واکنش مناسبی داشتند و این امید به‌وجود آمد که در بین هیبریدهای تولید شده ارقام جدیدی با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط آبیاری معمولی و همچنین عملکرد قابل قبول در شرایط کم‌آبیاری تولید کرد. بر این اساس هیبریدهای ۴۸، ۴۵، ۱۸ و ۵۱ به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش در تولید رقم سینگل‌کراس ذرت در شرایط آبیاری نرمال قابل معرفی بودند و هیبریدهای ۲۵، ۲۷، ۲۳، ۱۹ و ۲۱ هیبریدهای برتر بر اساس عملکرد در دو محیط و شاخص‌های مقاومت به خشکی بودند. این گروه، به‌خصوص هیبرید شماره ۱۹ ژنوتیپ‌های امیدبخش به‌منظور تولید ارقام سینگل‌کراس برای شرایط منطقه مورد مطالعه در تولید ذرت با آبیاری کمتر هستند.

منابع مورد استفاده

1. Alipour, M., G. Ranjbar, S. Khavari Khorasani and N. Babaeian Jelodar. 2014. Evaluation of drought tolerance in maize hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Crop Breeding* 6(14): 41-53. (In Farsi).
2. Alizadeh, A. 2002. Soil, Water, Plant Relationship. Imam Reza University, Mashhad. (In Farsi).
3. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. j. Smith. 1998. Crop evapotranspiration- guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper No. 56, FAO, Italy.
4. Asadi, R. and R. Asadi. 2013. The effects of deficit irrigation on corn grain using drip irrigation system on yield, yield components and water use efficiency. *Journal of Water Research in Agriculture* 26(2): 197-210. (In Farsi).
5. Asadpoor, S., H. Madani, K. Kalarestaghi and A. Mohammadi. 2007. Effects of drought stress on yield and yield components of four durum wheat genotypes. *New Finding in Agriculture* 1(2): 93-102. (In Farsi).
6. Azizi, F. and A. Mahrokh. 2013. Evaluation of drought tolerance indices in different sweet corn hybrid. *Agricultural Crop Management(Journal of Agricultur)* 15(1): 1-13. (In Farsi).
7. Barati, A., K. Safikhani, Gh. Nematzadeh, Gh. A. Kianoosh and R. Choukan. 2005 .General and specific combining abilities of five maize inbred lines for different traits in diallel crosses. *Pajouhesh and Sazandegi* 62: 9-17. (In Farsi).
8. Biglouei, M. H., A. Kafi Ghasemi, M. Javaher Dashti and M. Esfahani. 2013. Effect of irrigation regimes on yield and quality of forage maize (KSC 704) in Rasht region in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences* 15(3): 196-206. (In Farsi).
9. Blum, A. 2011. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer, New York Dordrecht Heidelberg, London.
10. Bouslama , M. and W. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
11. Choukan, R., A. Estakhr, A. Afarinesh, Gh. R. Afsharmanesh, M. R. Shiri, A. Mosavat and Sh. Fareghi. 2015. Combining ability of tropical maize lines derived from CIMMYT germplasm in crossing with temperate lines. *Iranian Journal of Crop Sciences* 16(4): 334-345. (In Farsi).
12. Databases, G. 2009. USDA, ARS, National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network (GRIN)[Online Database], National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland.
13. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, AVRDC Publication, Tainan, Taiwan.
14. Fischer, R. and R. Maurer .1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Pasture Science* 29: 897-912.
15. Francis, C. A. 1972. Photoperiod sensitivity and adaptation in maize. In Proceeding of the 27th Annual Corn and Sorghum Research Conference, Wilkinson, D.(ed.), 12-14 Dec. Chicago.
16. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. Campanile, G. 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.
17. Golbashy, M., M. Ebrahimi, S. Khavari Khorasani and R. Choukan. 2010. Evaluation of drought tolerance of some corn (*Zea mays* L.) hybrids in Iran. *African Journal of Agricultural Research* 5(19): 2714-2719.
18. Jafari, A., F. Paknejad and M. Jami AL-Ahmadi. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production* 3(4): 33-38.
19. Jafari, A., R. Choukan, F. Paknejad and A. Pourmaidani. 2007. Study of selection indices for drought tolerance in some of grain maize hybrids. *Iranian Journal of Crop Sciences* 9(3): 200-212. (In Farsi).
20. Khodarahmpour, Z., R. Choukan, M. R. Bihamta and E. Majidi Hervan. 2011. Determination of the best heat stress tolerance indices in maize (*Zea mays* L.) inbred lines and hybrids under Khuzestan province conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13(1): 111-121.
21. Kumar, B., S. Kumar Guleria, S. M. Khanorkar, R. B. Khanorkar, J. Patel, V. Kumar, C. M. Parihar, S. L. Jat, V. Singh, K. R. Yatish, A. Yatish, J. C. Sekhar, P. Bhati, H. Kaur, M. Kumar, A. K. Singh, E. Varghese and O. P. Yadav. 2016. Selection indices to identify maize (*Zea mays* L.) hybrids adapted under drought-stress and drought-free conditions in a tropical climate. *Crop and Pasture Science* 67: 1087-1095.
22. Kumar, R., J. Kaul, R. B. Dubey, A. Singode, G. K. Chikkappa, A. Manivannan and M. K. Debnath. 2015. Assessment of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) Based on different indices. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics* 47(3): 291-298.
23. Lak, S., A. Naderi, S. A. Syadat, A. Ainehband and G. Normohamadi. 2008. Effects of water deficit on yield and nitrogen efficiency of corn hybrids grown at different levels of nitrogen and plant 704. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 4(2): 153-170. (In Farsi).
24. Lobell, D. B., M. J. Roberts, W. Schlenker, N. Braun, B. B. Little, R. M. Rejesus and G. L. Hammer. 2014. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the U.S. Midwest. *Science* 344: 516-519.
25. Mahajan, S. and N. Tuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444(2): 139-158.
26. Mehrabi, P., H. Homayoun and M. S. Daliri. 2011. Study of drought tolerance of corn genotypes using STI index. *Middle-East Journal of Scientific Research* 9(1): 68-70.
27. Mi, N., F. Cai, Y. Zhang , R. Ji, S. Zhang and Y. Wang. 2018. Differential responses of maize yield to drought at vegetative and reproductive stages. *Plant, Soil and Environment* 64(4): 260-298.
28. Moaveni, P., D. Habibi and B. Abaszadeh. 2010. Effect of drought stress on yield and yield components of four wheat cultivarsin Shahr-e-Gods. *Agronomy and Plant Breeding* 5(1): 69-85. (In Farsi).
29. Naderi, N., M. Z. Ahmadi, R. Fazl Oula, A. Shahnazari and S. Khavari Khorasani. 2015. Evaluating the effect of different methods of deficit irrigation on yield, yield components and irrigation water productivity of forage Maize. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 9(3): 522-530. (In Farsi).
30. Naghavi, M. R., A. P. Aboughadareh and M. Khalili. 2013. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. *Notulae Scientia Biologicae* 5(3): 388-393.
31. Normohamadi, Gh., A. Siadat and A. Kashani. 1997. Agronomy (Cereal). Shahid Chamran University Publisher, Ahwaz. (In Farsi).
32. Rezaei Estakhroeih, A., A. Hooshmand, S. Bromand Nasab and M. J. Khanjani. 2013. Effect of deficit irrigation and partial rootzone drying on yield, yield components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) KSC 704. *Journal of Water and Soil* (*Agricultural Sciences and Technology*) 26(6): 1514-1521. (In Farsi).
33. Rossielli, A. and A. Hamblin. 1981. Theorical aspects of selection for stress and non-stress environment. *Crop Science* 21: 1441-1446.
34. Shirkhani, A., S. Nasrolahzadeh and S. Zehtab Salmasi. 2019. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on yield and seed quality of corn under normal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sci*ences 12(3): 781-791 .(In Farsi).
35. Simic, D., T. Presterl, G. Seitz and H. H. Geiger. 2003. Comparing methods for integrating exotic germplasm into European forage maize breeding programs. *Crop Science* 43(1): 1952-1959.
36. Soltani, M., F. Azizi. and M. Chaichi. 2013. Evaluating new forage maize hybrids, based on drought tolerance indicatores in low-irrigating regimes. *Arid Biome Scientific and Research Journal* 3(2): 51-61. (In Farsi).
37. Tallury, S. and M. Goodman. 1999. Experimental evaluation of the potential of tropical germplasm for temperate maize improvement. *Theoretical and Applied Genetics* 98(1): 54-61.
38. Yaghotipoor, A. 2016. Association mapping of drought resistance indices and stability parameters in bread wheat. Ph.D. Dissertation, Razi University, Kermanshah, Iran. (In Farsi).

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 11, No. 1, Spring 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Water Deficit Tolerance Indices in New Hybrids of Maize (*Zea mays* L.) with SIMMYT Origin

Sh. Fareghi[1], Gh. Saeidi[2*] and A. Mirlohi[2]

(Received: February 13-2019; Accepted: November 09-2019)

Abstract

Regarding the insufficient water resources, developing of cultivars with high tolerance to water deficit can be very effective to optimize water consumption. To identify maize hybrids with higher tolerance to water deficit, 52 single cross hybrids were field evaluated according to a randomized complete block design with three replications in each irrigation regime. The hybrids were produced through crossing of 13 inbred lines from CIMMYT germplasms with four testers of A679, K166B, K18 and MO17. Two check hybrid varieties (KSC704 and KSC705) were included for comparison. Two irrigation regimes including a normal and a deficit irrigation based on 65% water requirement of plants were applied during two growing seasons of 2014 and 2015 at the Research Station of the Agriculture and Natural Resources of Kermanshah Province. The drought tolerance and sensitive indices were calculated based on grain yield (t/ha) of hybrids at two irrigation regimes. The results of analysis of variance showed significant differences among the hybrids for grain yield and all the indices. The seed yield of hybrids in normal irrigation condition varied from 8.7 to 15.2 t/ha. This range was 4.9 to 10 t/ha in deficit irrigation condition. The cluster analysis classified the hybrids in three distinctive groups. It was recognized that hybrids number 51, 18, 45, 48, 21, 27, 23, 19, 20, 28, 38, 14 and 26 were superior than the others in terms of water deficit tolerance and grain yield. The PCA analysis showed that hybrids number 48, 45, 18 and 51 with high yield potential can be introduced as more promising ones for maize production in normal irrigation condition. However, hybrids 19, 23, 27, 25, 21, and particularly 9 were recognized more suitable for maize production in water deficit condition.

Keywords: maize, seed yield, drought, tolerance indices

1. Ph.D. Student, and Professors, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: gsaeidi@cc.iut.ac.ir