تحقیقات غلات
دوره هفتم/ شماره اول/بهار ۱۳۹۶ (۱۱۴-۱۰۱)

# گزینش لاین‌های ذرت استخراجی از ژرم‌پلاسم سیمیت از طریق قابلیت ترکیب با تسترهای مناطق معتدله

محمدرضا شیری[1*] و لاله ابراهیمی[2]

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۱۷

**چکیده**

به‌منظور ارزیابی ترکیب‌پذیری لاین‌های استخراجی از منابع ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه حاره‌ای سیمیت در تلاقی با لاین‌های مناطق معتدله و تعیین گروه هتروتیکی آن‌ها، تعداد ۲۸ ترکیب حاصل از تلاقی چهار تستر مناطق معتدله (MO17، K18، A679 و K166B) با هفت لاین استخراجی از ژرم‌پلاسم ذرت سیمیت به همراه دو هیبرید شاهد (SC704 و SC705) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مغان طی دو سال ۹۲-۱۳۹۱ بررسی شدند. نتایج تجزیه لاین×تستر برای برآورد اثر ژن‌ها نشان داد که هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی در کنترل عملکرد دانه و سایر صفات نقش داشتند. تخمین میزان ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها نشان داد که امکان استفاده مستقیم از لاین‌های شماره ۳، ۵ و ۷ در اصلاح عملکرد دانه وجود دارد. بررسی ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها برای عملکرد دانه نیز نشان داد که فقط ترکیب‌پذیری خصوصی تستر MO17 با لاین شماره ۳ مثبت و معنی‌دار بود. به‌منظور شناخت بیش‌تر لاین‌های استخراجی از منابع مختلف سیمیت و انتساب لاین‌های مورد مطالعه به سه گروه هتروتیکی موجود، آماره ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی گروه‌های هتروتیک (HSGCA) برآورد شد. بر این اساس، لاین شماره ۱ واکنش مشابهی با گروه هتروتیک لنکستر شور کراپ، لاین‌های شماره ۳ و ۴ با گروه هتروتیک رید یللو دنت و لاین شماره ۶ با گروه هتروتیک K166B (لاین استخراجی از منابع غیرمعتدله سیمیت در ایران) داشتند و سایر لاین‌ها واکنش مشابهی با گروه‌های هتروتیک تسترهای مورد مطالعه نشان ندادند. این موضوع ضرورت استفاده از تسترهای بیش‌تر و نیز بیش از یک تستر از هر گروه هتروتیک را در شناسایی منابع مناسب از ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی**: آماره HSGCA، ذرت حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای، گروه‌های هتروتیک

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲ – استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
* نویسنده مسئول: mohammadrezashiri52@gmail.com

**مقدمه**

ذرت در بیش از ۱۸۵ میلیون هکتار از اراضی جهان کشت می‌شود و تولید سالانه آن حدود ۱۰۱۸ میلیون تن است (FAO, 2013). این گیاه در محدوده وسیعی از جهان از ۴۲ درجه عرض جنوبی تا ۵۰ درجه عرض شمالی در شرایط اقلیمی بسیار متنوع از نظر دما، طول روز، میزان بارندگی و سایر پارامترهای اقلیمی کاشته می‌شود (Gerpacio and Pingali, 2007). بنابراین یکی از موضوع‌های مورد بحث در مراکز بین‌المللی تقسیم‌بندی محیط‌های سازگار اقلیمی ذرت بر اساس داده‌های مختلف است (Choukan and Moeini, 2005). اصلاح‌گران سیمیت (CIMMYT) اغلب چهار محیط بزرگ اصلی شامل حاره‌ای پست، حاره‌ای مرتفع، نیمه‌حاره‌ای (نواحی با ارتفاع متوسط) و معتدله را برای ذرت تشخیص داده‌اند. در این تقسیم‌بندی، با این‌که به شاخص‌های اقلیم کشاورزی نظیر میانگین دمای حداقل و حداکثر طی فصل رشد، ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی اهمیت بیش‌تری داده شده است، اما به‌طور دقیق از تعاریف جغرافیایی مناطق حاره‌ای، نیمه‌حاره‌ای و معتدله تبعیت نمی‌کند. این تقسیم‌بندی با لحاظ ویژگی‌هایی مانند سازگاری ژرم‌پلاسم‌های سیمیت به هر یک از مناطق و میزان وقوع آفات و بیماری‌های ذرت و غیره در حال تکمیل شدن هست.

از ویژگی‌های عمده مناطق حاره‌ای پست می‌توان به ارتفاع کم‌تر از ۱۰۰۰ متر، طول روز ۱۱ تا ۱۲/۵ ساعت و دمای بالاتر از ۲۴ درجه سلسیوس اشاره کرد. در مناطق حاره‌ای مرتفع، شرایط ارتفاع بیش از ۱۸۰۰ متر (عموماً بالای ۲۰۰۰ متر)، طول روز ۱۱ تا ۱۲/۵ ساعت و دمای محیط کم‌تر از ۱۸ درجه سلسیوس حاکم است و در مناطق نیمه‌حاره‌ای پست نیز اغلب ارتفاع از سطح دریا ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر، طول روز ۱۲/۵ تا ۱۳/۴ ساعت و دما بین ۱۸ تا ۲۴ درجه سلسیوس است. مناطق معتدله ذرت‌خیز جهان از نظر دما و ارتفاع متنوع هستند و طول روز آن‌ها عموماً ۱۳/۴ ساعت می‌باشد (Gerpacio and Pingali, 2007). بر اساس این تقسیم‌بندی، عرض جغرافیایی در مناطق حاره‌ای (پست و مرتفع) تا ۲۴ درجه، نیمه حاره‌ای بین ۲۴ تا ۳۰ و معتدله از ۳۰ درجه بالاتر دارند (Hartkamp *et al.*, 2000). با توجه به قرارگیری ایران در محدوده طول جغرافیایی ۲۵ تا ۴۲ درجه شمالی، مناطق ذرت‌کاری ایران معتدله و نیمه‌حاره‌ای هستند، با این‌حال بیشتر مناطق ذرت‌کاری ایران در مناطق معتدله قرار دارند. به هر حال، یک سیستم جهانی قابل قبول به‌منظور گروه‌بندی مناطق ذرت‌کاری دنیا تا به حال ارایه نشده است. ویژگی‌های اقلیمی حاکم در هر یک از این مناطق به‌ویژه طول روز و میانگین دمای روزانه در طول دوره فصل رشد باعث عدم سازگاری و اختلال در رشد و نمو این ژرم‌پلاسم‌ها در اقلیم دیگر می‌شود، به‌طوری‌که این مسئله باعث جدا ماندن این ژرم‌پلاسم‌ها از یکدیگر و به‌عبارت دیگر فاصله ژنتیکی بین آن‌ها به‌ویژه در مورد ژرم‌پلاسم‌های حاره‌ای و معتدله شده است (Choukan *et al.*, 2015).

یکی از مسایل حائز اهمیت در برنامه‌های به‌نژادی، استفاده از ژرم‌پلاسم‌های دیگر کشورها است. این ژرم‌پلاسم می‌تواند به‌طور مستقیم جهت کشت توسط کشاورزان مورد استفاده قرار گیرد، جهت تولید و استخراج لاین‌های جدید استفاده شود، به‌عنوان یک منبع مناسب جهت اصلاح هیبریدهای موجود به‌کار رود و یا به‌طور مستقیم نیاز داخلی رقم مناسب را تا زمان تهیه هیبرید مناسب داخلی برطرف کند (Choukan *et al.*, 2013).

بهره‌برداری مداوم از منابع ژنتیکی ذرت در مناطق معتدله و محدودشدن تعداد لاین‌های مناسب مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی تولید هیبریدهای تجاری ذرت در مناطق معتدله، موجب کاهش تنوع و پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم ذرت در این مناطق شده است (Simic *et al.*, 2003). امروزه با محدودشدن پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی ذرت مناطق معتدله، توجه و گرایش شدیدی جهت استفاده از ژرم‌پلاسم خارجی به‌ویژه ژرم‌پلاسم مناطق حاره‌ای وجود دارد. ژرم‌پلاسم ذرت سیمیت متنوع‌ترین منبع ژنتیکی در جهان است و کاربرد آن در افزایش پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم معتدله ذرت در حال افزایش است (Nelson and Goodman, 2008; Fan *et al.*, 2008a, b, 2010). لاین‌های اینبرید سیمیت دارای درجه بالایی از تنوع ژنتیکی در مقایسه با لاین‌های مناطق معتدله ذرت هستند (Liu *et al.*, 2003). در مناطق معتدله و حتی در مناطق حاره‌ای، بیشتر برنامه‌های تحقیقاتی در زمینه استفاده از این ژرم‌پلاسم‌ها و شناسایی منابع از این

ژرم‌پلاسم‌ها متمرکز شده است (Simic *et al.*, 2003; Nelson and Goodman, 2008; Fan *et al.*, 2010; Choukan *et al.*, 2015). گوسنارد و همکاران (Gouesnard *et al.*, 1996) تلاقی‌های ذرت حاره‌ای با معتدله را در بهبود عملکرد ذرت اروپا مورد بررسی قرار دادند. عدم سازگاری این ژرم‌پلاسم در مناطق معتدله، مشکلات زیادی را برای استفاده از این مواد جهت افزایش پایه ژنتیکی ذرت‌های مورد استفاده در برنامه‌های اصلاح ذرت در مناطق معتدله ایجاد کرده است. افزایش بیش از اندازه ارتفاع بوته و بلال، سیستم ریشه‌ای ضعیف، کیفیت پایین ساقه و در نتیجه خوابیدگی بوته، تاخیر در ظهور کاکل و بعضاً عدم ظهور آن و در نتیجه عقیمی، از عمده مشکلات کشت ژرم‌پلاسم مناطق حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای در مناطق معتدله است. مشکل اصلی عدم سازگاری ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای در مناطق معتدله، ناشی از طول روز بلند مناطق معتدله است (Choukan *et al.*, 2015). گزارش رود و ماژور (Rood and Major, 1980) و موچو و کاربری (Muchow and Carbery, 1989) نشان داد که گل‌دهی با افزایش طول روز به‌تاخیر می‌افتد. حساسیت به طول روز در اندام‌های مختلف ذرت تفاوت دارد. حساسیت در ظهور کاکل و تاخیر آن بسیار زیادتر از ظهور گرده است و این موجب عدم انطباق زمان ظهور این دو اندام می‌شود (Struik *et al.*, 1986). با توجه به این مشکلات، گزینش برای بهبود سازگاری این ژرم‌پلاسم‌ها در شرایط روزهای بلند مناطق معتدله ضروری است (Goodman, 1985).

هاوبیکر و همکاران (Hawbaker *et al.*, 1997) گزینش برای زودگل‌دهی را به‌منظور سازگاری جمعیت‌های حاصل از تلاقی ژرم‌پلاسم خارجی با ژرم‌پلاسم سازگار پیشنهاد کردند. نسبت مناسب اختلاط ژرم‌پلاسم سازگار برای تشکیل جمعیت پایه و استخراج لاین از نظر تئوریکی توسط دادلی (Dudley, 1984) و کراسا (Crossa, 1989) و از نظر کاربردی توسط گوسنارد و همکاران (Gouesnard *et al.*, 1996) و تالوری و گودمن (Tallury and Goodman, 1999) مورد بررسی قرار گرفته است. تمام این مطالعات نشان داده است که اختلاف در تظاهر بین والد خارجی و والد سازگار اثر بسیار مهمی در تعیین جمعیت مناسب دارد. سمیچ و همکاران (Simic *et al.*, 2003) در مقایسه روش‌های وارد کردن ژرم‌پلاسم خارجی به ژرم‌پلاسم مناطق معتدله، گزارش کردند که انتخاب نوع ژرم‌پلاسم مهم‌تر از روش وارد کردن این مواد به ژرم‌پلاسم سازگار معتدله است. در چین ژرم‌پلاسم ذرت حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای زیادی در برنامه اصلاح ذرت وارد شده و به‌طور وسیعی از نظر سازگاری، ترکیب‌پذیری و پتانسیل ژنتیکی در توسعه پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم برگزیده چین و گروه‌بندی هتروتیکی مورد مطالعه قرار گرفته است (Liu *et al.*, 2003; Fan *et al.*, 2008a, b, 2010; Chen *et al.*, 2011). واسال و همکاران (Vasal *et al.*, 1992) ۹۲ لاین حاره‌ای و ۸۸ نیمه‌حاره‌ای را در تلاقی با چهار تستر در دو محیط (ترکیب حداقل دو سال و منطقه) مورد ارزیابی قرار دادند و دو گروه هتروتیک حاره‌ای و دو گروه هتروتیک نیمه‌حاره‌ای را شناسایی کردند. شلیم‌الدین و همکاران (Shalim-Uddin *et al.*, 2008) به‌منظور تعیین ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی تعدادی از لاین‌های ذرت، تعداد ۱۲ لاین S4 را با سه تستر تلاقی و نشان دادند که پنج لاین در ترکیب با یکی از تسترها بهترین ترکیب‌پذیری خصوصی را دارا بودند.

عدم سابقه کشت طولانی ذرت در کشور از یک طرف و استفاده و بهره‌برداری مداوم از منابع ژنتیکی موجود و محدود شدن برنامه‌های به‌نژادی تولید هیبریدهای تجاری ذرت به تعداد محدود لاین از طرف دیگر، موجب کاهش تنوع و پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم ذرت در کشور شده است. برای افزایش تنوع ژنتیکی، ژرم‌پلاسم‌های ذرت حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای تولیدشده توسط سیمیت به‌صورت هیبریدها، خزانه‌ها و جمعیت‌ها، در گذشته به‌صورت پراکنده دریافت و مورد بررسی قرار گرفته‌اند، ولی امکان بهره‌برداری از این منابع به‌طور دقیق مطالعه نشده است. در همین راستا این آزمایش به‌منظور بررسی امکان استفاده از ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای جهت استخراج لاین‌های جدید و نیز تعیین ترکیب‌پذیری و گروه‌های هتروتیک آن‌ها اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به مدت دو فصل زراعی طی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ 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) اجرا شد. دشت مغان به‌علت شرایط توپوگرافی ویژه، اصولاً آب و هوای متفاوت با سایر مناطق آذربایجان و حتی نواحی جنوبی آن دارد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد، این منطقه جزء اقلیم نیمه‌بیابانی خفیف بوده و دارای زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم است. تیر و مرداد گرم‌ترین ماه‌های سال و دی و بهمن سردترین ماه‌های سال هستند. 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 پارس‌آباد، متوسط بارندگی ۲۷۱/۲ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالانه ۱۴۸۶/۵ میلی‌متر گزارش شده است (Shiri *et al.*, 2010b). این منطقه بر اساس طبقه‌بندی سیمیت مشابه مناطق معتدله دنیا است.

برای استخراج لاین‌های ذرت سازگار از ژرم‌پلاسم سیمیت، منابع ژرم‌پلاسم مورد استفاده در سال ۱۳۸۱ توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در قالب آزمایش‌های بین‌المللی از سیمیت دریافت شد و سپس در محل همان موسسه به‌طور مستقیم و یا پس از تلاقی اولیه با لاین‌های معتدله طی سال‌های بعد (به‌منظور القای سازگاری بیش‌تر به اقلیم معتدله)، از طریق خودگشنی و گزینش اقدام به استخراج لاین‌های سازگار شد. نتیجه این فرایند، شناسایی و استخراج تعداد هفت لاین برتر بود. در مرحله بعد، باید ترکیب‌پذیری این لاین‌ها در تلاقی با منابع موجود و سازگار مناطق معتدله مشخص شوند. بدین‌منظور، چهار لاین MO17، K18، A679 و K166B به‌عنوان تستر با هفت لاین استخراجی از ژرم‌پلاسم ذرت سیمیت بر اساس مدل تلاقی لاین × تستر تلاقی داده شدند و در نتیجه ۲۸ هیبرید به‌دست آمد. لاین‌های MO17 و K18 از گروه لنکستر شور کراپ، لاین A679 از گروه رید یللو دنت و لاین K166B از گروه ذخایر توارثی غیر معتدله سیمیت در شرایط ایران هستند.

۲۸ هیبرید حاصل از تلاقی‌ها به‌همراه دو هیبرید شاهد و پرمحصول (سینگل کراس‌های ۷۰۵ و ۷۰۴) به مدت دو سال در شرایط آب و هوایی منطقه مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی شامل دو خط کاشت به طول ۶/۴۸ متر و به فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود که روی هر خط جهت اطمینان از سبز شدن دو بذر در ۳۶ کپه به فاصله ۱۸سانتی‌متر به‌صورت دستی کاشته شد. پس از تنک‌کردن در مرحله ۵-۴ برگی (حدود ۱۸ روز بعد از کاشت)، فقط یک بوته در هر کپه نگه داشته شد که بر این اساس تراکم کشت در حدود ۷۴ هزار بوته در هکتار بود. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی در دو نوبت انجام شد. سایر مراقبت‌های زراعی لازم از زمان کاشت تا برداشت از قبیل آبیاری و کوددهی نیز مطابق معمول انجام و برای مبارزه با آفات از جمله آگروتیس، پیرائوستا، هلیوتیس و کارادرینا و نیز کنه از سموم توصیه شده توسط کارشناسان آفات استفاده شد. میزان کود مصرفی بر اساس آزمون خاک مزرعه آزمایشی به‌صورت ۳۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیم و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره قبل از کاشت و ۳۰۰ کیلوگرم اوره نیز به‌صورت سرک اعمال شد.

صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عمق دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بودند. به‌منظور تعیین عمق دانه، ابتدا قطر بلال و قطر چوب بلال با کولیس اندازه‌گیری و سپس نصف تفاضل قطر بلال از قطر چوب بلال به‌عنوان عمق دانه (میلی‌متر) در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد روز از زمان سبز شدن تا زمانی که در ۵۰ درصد از بوته‌های دو خط وسط هر کرت، برگ‌های پایین بلال و برگ‌های محافظ بلال، خشک و بقیه برگ‌ها نیز زرد شدند، به‌عنوان تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در نظر گرفته شد. در این زمان علاوه بر علایم بالا، در نوک دانه لایه سیاه نیز تشکیل می‌شود. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، بلال‌های دو خط وسط بعد از حذف بوته‌های حاشیه هر خط برداشت و با ترازوی حساس ۰/۰۰۵ توزین و سپس عملکرد بلال با درصد چوب بلال و رطوبت ۱۴ درصد تصحیح شد و میزان عملکرد دانه (تن در هکتار) مشخص شد.

تجزیه لاین × تستر بر اساس رابطه زیر انجام شد:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + r_k + \varepsilon_{ijk} \qquad (۱)$$

که در آن، $Y_{ijk}$ مقدار صفت برای تلاقی i×j در تکرار k، $\mu$ میانگین جمعیت، $g_i$ اثر ترکیب‌پذیری عمومی لاین i، $g_j$ اثر ترکیب‌پذیری عمومی تستر j، $S_{ij}$ اثر ترکیب‌پذیری

خصوصی تلاقی $i\times j$، $r_k$ اثر تکرار $k$ و $\varepsilon_{ijk}$ مولفه خطای مربوط به تلاقی $ijk$ است.

اثر ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA) (Choukan, 2008) و مقدار آماره ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی گروه‌های هتروتیک یا آماره HSGCA (Heterotic Group's Specific and General Combining Ability) جهت تعیین گروه‌های هتروتیک لاین‌ها با استفاده از فرمول پیشنهادی فان و همکاران (Fan *et al.*, 2009) بر اساس روابط (۲) تا (۴) برآورد شد:

$$GCA = \overline{X}_{oj} - \overline{X}_{oo} \quad (۲)$$

$$SCA = \overline{X}_{ij} - \overline{X}_{oj} - \overline{X}_{io} + \overline{X}_{oo} \quad (۳)$$

$$HSGCA = \overline{X}_{ij} - \overline{X}_{io} = GCA + SCA \quad (۴)$$

در روابط بالا، $\overline{X}_{ij}$ میانگین تلاقی لاین‌های $i$ و $j$، $\overline{X}_{io}$ میانگین تستر $i$ ام، $\overline{X}_{oj}$ میانگین لاین $j$ ام و $\overline{X}_{oo}$ میانگین کل تلاقی‌ها هستند.

جدول ۱- اسامی لاین‌های والدینی ذرت تلاقی داده شده در این تحقیق بر اساس مدل لاین× تستر

Table 1. The name of maize parent lines hybridized in this research based on line×tester model

| شماره No. | کد Code | شجره یا نام لاین‌ها Line name or pedigree |
|---|---|---|
| 1 | L1 | 4-CHTSEY,2002/1389/9=1390/13 |
| 2 | L2 | 4-CHTSEY,2002/1389/19=1390/21 |
| 3 | L3 | 7-CHTSEY,2002/1389/33=1390/33 |
| 4 | L4 | 7-CHTSEY,2002/1389/35=1390/37 |
| 5 | L5 | K18×2-CHTHIY,2002/1389/59=1390/73 |
| 6 | L6 | K18×2-CHTHIY,2002/1389/59=1390/73 |
| 7 | L7 | XT03 |
| 8 | T1 | MO17(tester) |
| 9 | T2 | K18(tester) |
| 10 | T3 | A679(tester) |
| 11 | T4 | K166B(tester) |

تعیین گروه‌های هتروتیک لاین‌های ذرت با آماره HSGCA به‌دلیل استفاده این روش از قسمت اعظم واریانس عملکرد دانه (استفاده توام از واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی) نسبت به روش SCA برتری دارد و در نتیجه قابلیت پیش‌بینی عملکرد دانه تست‌کراس افزایش می‌یابد. برتری این روش در مطالعات قبلی نیز تایید شده است (Akinwale *et al.*, 2014; Richard *et al.*, 2015)، به‌طوری‌که این روش کارایی برنامه‌های اصلاحی را به‌میزان ۱۶/۶ تا ۲۳/۶ درصد افزایش داده است (Fan *et al.*, 2009). برای تجزیه واریانس تلاقی‌ها به اجزای تشکیل دهنده و نیز محاسبه واریانس افزایشی و غیرافزایشی از روش پیشنهادی کمپتورن (Kemptorn, 1957) استفاده شد. آزمون آثار ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها و تسترها نیز با استفاده از آماره t-Student انجام شد (Choukan, 2008).

## نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد که در هر دو سال اثر تلاقی‌ها و نیز اثر هیبریدها (۲۸ تلاقی به همراه دو شاهد که نتایج تجزیه واریانس در این مورد نشان داده نشده است) از نظر صفات عملکرد دانه، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و عمق دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین عملکرد دانه هیبریدها طی دو

سال بررسی نشان داد که هیبرید شماره ۳۰ (شاهد پرمحصول سینگل‌کراس ۷۰۴) با ۱۱/۲۱ تن در هکتار بالاترین عملکرد دانه را تولید کرد و تلاقی‌های شماره ۲۳، ۲۱، ۲۸ و ۱۹ به‌ترتیب با ۱۰/۶۱، ۱۰/۶۰، ۱۰/۵۲ و ۱۰/۴۳ تن در هکتار با هیبرید پرمحصول ۷۰۴ اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند و در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). لاین‌های مادری این تلاقی‌ها، لاین‌های شماره ۲، ۵ و ۷ بودند. این نتایج نشان داد که امکان استفاده از ژرم‌پلاسم مناطق حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای سیمیت در شرایط معتدله ایران وجود دارد.

با توجه به معنی‌دار شدن اثر تلاقی‌ها، شرایط لازم برای انجام تجزیه لاین×تستر و تجزیه اثر تلاقی‌ها به اجزای آن (یعنی اثر لاین، اثر تستر و برهمکنش لاین×تستر) برای صفات مورد مطالعه وجود داشت. تجزیه اثر تلاقی‌ها به اجزای آن بر مبنای تجزیه لاین×تستر برای عملکرد دانه طی دو سال نشان داد که اثر سال برای عملکرد دانه غیرمعنی‌دار، ولی برای سایر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر متقابل سال × تستر نیز معنی‌دار بود، ولی برهمکنش دوجانبه سال×لاین و برهمکنش سه‌جانبه سال×لاین×تستر معنی‌دار نشد. اثر لاین‌ها برای عملکرد دانه و اجزای آن معنی‌دار و اثر تسترها به‌جز عمق دانه برای عملکرد و سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اختلاف معنی‌دار مشاهده شده بین تسترها و لاین‌ها مبین نقش اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه است (Choukan, 2008).

میانگین مربعات برهمکنش لاین×تستر نیز برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده واکنش متفاوت لاین‌ها در ترکیب با تسترهای مختلف احتمالاً از نظر قدرت انتقال صفات می‌باشد (جدول ۲). این نتیجه هم‌چنین حاکی از تنوع بین لاین و تسترها می‌باشد که امکان گزینش لاین‌های مناسب جهت استفاده در برنامه تولید هیبرید را افزایش می‌دهد. علاوه بر آن، معنی‌دار بودن اثر لاین×تستر می‌تواند حاکی از نقش اثر غالبیت و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه باشد (Choukan, 2008). بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفت عملکرد دانه نقش داشتند. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه در نتایج آزمایش‌های محققین دیگری نیز به‌دست آمده است (Choukan, 1999; Esmaili *et al.*, 2005; Iqbal *et al.*, 2007; Shiri *et al.*, 2010a, 2015).

میانگین مربعات لاین‌ها برای صفات تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و عمق دانه معنی‌دار بود. میانگین مربعات تسترها نیز برای صفات تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک معنی‌دار و برای عمق دانه غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). اختلاف معنی‌دار مشاهده شده بین تسترها و لاین‌ها مبین وجود نقش اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات می‌باشد. میانگین مربعات برهمکنش لاین×تستر برای صفات تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عمق دانه معنی‌دار و برای صفت تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). این امر نشان می‌دهد که هر دو اثر افزایشی و غالبیت ژن‌ها در کنترل بیشتر صفات مورد مطالعه دارای اهمیت می‌باشند (Choukan, 2008).

برای تعیین اینکه کدام‌یک از آثار افزایشی یا غیرافزایشی ژن‌ها نقش بیشتر و مهم‌تری در کنترل صفات مورد مطالعه داشتند، از نسبت واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی ($\sigma^2_{GCA}/\sigma^2_{SCA}$) استفاده شد. برآورد نسبت $\sigma^2_{GCA}/\sigma^2_{SCA}$ برای عملکرد دانه و اجزای آن کمتر از یک بود که اهمیت واریانس ژنتیکی غیرافزایشی را در کنترل این صفت نشان داد (جدول ۲). سهم لاین‌ها و تسترها در کنترل واریانس فنوتیپی عملکرد دانه به‌ترتیب ۲۴/۷۶ و ۲۶/۲۶ درصد و در مقابل، سهم برهمکنش لاین×تستر در کنترل واریانس عملکرد دانه قابل توجه و ۴۸/۹۷ درصد بود (جدول ۲). این نتیجه نیز نشان‌دهنده نقش بیش‌تر واریانس ژنتیکی غیرافزایشی نسبت به واریانس واریانس افزایشی در کنترل تنوع عملکرد دانه بود.

جدول ۲- میانگین مربعات تجزیه واریانس لاین × تستر به‌همراه اجزای واریانس ژنتیکی برای عملکرد دانه ذرت در دو سال مورد بررسی

Table 2. Mean squares of the line × tester analysis together with variance components for grain yield in two studied years

| منابع تغییرات Source of variations | | درجه آزادی df | عملکرد دانه Grain yield | ارتفاع بوته Plant height | ارتفاع بلال Ear height | تعداد ردیف دانه No. of row | تعداد دانه در ردیف No. of Kernel per row | وزن هزار دانه 1000-grain weight | عمق دانه Kernel depth | روز تا رسیدگی Days to maturity |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year (Y) | سال | 1 | $1.51^{ns}$ | $20414.7^{**}$ | $784.99^{**}$ | $323.43^{**}$ | $1282.46^{**}$ | $167652.55^{**}$ | $6.764^{**}$ | $1886.72^{**}$ |
| Block/year (B/Y) | بلوک درون سال | 4 | 2.38 | 411.56 | 464.35 | 2.15 | 4.85 | 307.12 | 0.666 | 1.06 |
| Crosses (C) | اثر تلاقی | 27 | $3.57^{**}$ | $430.73^{**}$ | $260.70^{**}$ | $9.08^{**}$ | $34.10^{**}$ | $1266.66^{**}$ | $1.151^{**}$ | $7.67^{**}$ |
| Tester (T) | تستر | 3 | $8.44^{**}$ | $957.67^{**}$ | $779.21^{**}$ | $51.60^{**}$ | $128.63^{**}$ | $1254.90^{*}$ | $0.395^{ns}$ | $35.31^{**}$ |
| Line (L) | لاین | 6 | $3.98^{**}$ | $998.53^{**}$ | $502.00^{**}$ | $8.22^{**}$ | $60.15^{**}$ | $3156.06^{**}$ | $2.971^{**}$ | $7.23^{**}$ |
| L × T | لاین × تستر | 18 | $2.62^{**}$ | $153.64^{*}$ | $93.85^{**}$ | $2.28^{**}$ | $9.66^{**}$ | $638.82^{*}$ | $0.921^{**}$ | $3.21^{ns}$ |
| C × Y | تلاقی × سال | 27 | $1.30^{*}$ | $126.19^{*}$ | $53.55^{ns}$ | $1.28^{**}$ | $8.99^{**}$ | $1238.26^{**}$ | $0.670^{**}$ | $4.55^{*}$ |
| T × Y | تستر × سال | 3 | $4.87^{**}$ | $109.08^{ns}$ | $98.29^{ns}$ | $1.47^{*}$ | $11.91^{*}$ | $1114.00^{*}$ | $0.635^{ns}$ | $4.91^{ns}$ |
| L × Y | لاین × سال | 6 | $0.99^{ns}$ | $235.41^{**}$ | $107.65^{*}$ | $3.38^{**}$ | $8.61^{ns}$ | $2497.80^{**}$ | $1.662^{**}$ | $10.22^{**}$ |
| L × T × Y | لاین × تستر × سال | 18 | $0.81^{ns}$ | $92.64^{ns}$ | $28.06^{ns}$ | $0.55^{ns}$ | $8.64^{**}$ | $839.12^{**}$ | $0.721^{**}$ | $2.60^{ns}$ |
| Error | خطای آزمایش | 108 | 0.70 | 78.73 | 42.50 | 0.50 | 3.98 | 344.49 | 0.319 | 2.44 |
| $(\sigma^2_A)$ | واریانس افزایشی | - | 0.04 | 12.32 | 7.42 | 0.30 | 1.09 | 27.90 | 0.01 | 0.20 |
| $(\sigma^2_D)$ | واریانس غالبیت | - | 0.64 | 24.97 | 17.12 | 0.59 | 1.89 | 98.11 | 0.12 | 0.26 |
| $\sigma^2_{GCA} / \sigma^2_{SCA}$ | | - | 0.03 | 0.25 | 0.22 | 0.25 | 0.29 | 0.14 | 0.04 | 0.39 |
| Line portion | سهم لاین | - | 24.76 | 51.52 | 42.79 | 20.12 | 39.20 | 55.37 | 10.16 | 20.96 |
| Tester portion | سهم تستر | - | 26.27 | 24.70 | 33.21 | 63.14 | 41.91 | 11.01 | 38.17 | 51.17 |
| L×T portion | سهم لاین× تستر | - | 48.97 | 23.78 | 24.00 | 16.74 | 18.89 | 33.62 | 51.67 | 27.87 |

$^{ns}$, $^{*}$ and $^{**}$: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

$^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه تلاقی‌ها به‌همراه دو هیبرید شاهد به روش دانکن

Table 3. The comparision of crosess along with two check hybrids for grain yield by Duncan's method

| شماره No. | تلاقی‌ها* Crosess* | عملکرد دانه ( تن در هکتار) Grain yield (t/ha) | گروه‌بندی Grouping | رتبه تلاقی‌ها Rank of crosses |
|---|---|---|---|---|
| 1 | L1×MO17 | 8.09 | i | 2 |
| 2 | L2×MO17 | 8.357 | f-i | 3 |
| 3 | L3×MO17 | 10.25 | a-e | 23 |
| 4 | L4×MO17 | 8.08 | i | 1 |
| 5 | L5×MO17 | 10.17 | a-e | 21 |
| 6 | L6×MO17 | 8.92 | f-i | 6 |
| 7 | L7×MO17 | 8.53 | f-i | 5 |
| 8 | L1×K18 | 9.22 | e-i | 10 |
| 9 | L2× K18 | 10.16 | a-e | 20 |
| 10 | L3× K18 | 10.24 | a-e | 22 |
| 11 | L4× K18 | 9.947 | b-f | 18 |
| 12 | L5× K18 | 8.923 | f-i | 7 |
| 13 | L6× K18 | 8.445 | f-i | 4 |
| 14 | L7× K18 | 9.753 | b-f | 17 |
| 15 | L1×A679 | 9.425 | c-h | 13 |
| 16 | L2×A679 | 9.283 | d-h | 12 |
| 17 | L3×A679 | 9.095 | e-i | 9 |
| 18 | L4×A679 | 9.073 | e-i | 8 |
| 19 | L5×A679 | 10.43 | a-d | 25 |
| 20 | L6×A679 | 9.43 | c-h | 14 |
| 21 | L7×A679 | 10.6 | abc | 27 |
| 22 | L1×K166B | 9.545 | b-g | 15 |
| 23 | L2×K166B | 10.61 | ab | 28 |
| 24 | L3×K166B | 10.03 | b-f | 19 |
| 25 | L4×K166B | 9.742 | b-f | 16 |
| 26 | L5×K166B | 10.25 | a-e | 24 |
| 27 | L6×K166B | 9.263 | d-h | 11 |
| 28 | L7×K166B | 10.52 | abc | 26 |
| 29 | SC705 | 9.258 | d-h | - |
| 30 | SC704 | 11.21 | a | - |

*: L1 تا L7 لاین‌های مورد مطالعه در این تحقیق هستند و اطلاعات آن‌ها در جدول ۱ ارایه شده است.

*: L1-L7 are the lines studied in this research and their information is presented in Table 1.

نتایج حاصل از این تحقیق با بعضی از گزارش‌ها مطابقت و با برخی دیگر مغایرت داشت، به‌طوری‌که نقش هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل ارتفاع بوته توسط لی‌هو و شانگ‌لو (Lee-Ho and Shung-Lu, 1995) و کوناک و همکاران (Konak *et al.*, 1999)، تعداد دانه در ردیف توسط سینگ و سینگ (Singh and Singh, 1998)، تعداد ردیف دانه در بلال توسط کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 1999)، وزن ۳۰۰ دانه توسط نستارز و همکاران (Nestares *et al.*, 1999)، کوناک و همکاران (Konak *et al.*, 1999) و اقبال و همکاران (Iqbal e*t al.*, 2007) و عملکرد دانه توسط چوکان (Choukan, 1999)، نستارز و همکاران (Nestares *et al.*, 1999) و کوناک و همکاران (Konak *et al.*, 1999) گزارش شده است. اثر بیش‌تر واریانس غیرافزایشی در

کنترل ارتفاع بوته توسط سینگ و سینگ (Singh and Singh, 1998) نیز گزارش شده است، در حالی‌که چوکان (Choukan, 1999) اثر بیش‌تر واریانس افزایشی را در کنترل این صفت گزارش کرد. نقش بیش‌تر آثار غیرافزایشی برای وزن ۳۰۰ دانه در بیش‌تر تحقیقات گزارش شده است، با این‌حال بعضی از مطالعات از جمله اولیسینو و نارانجو (Aulicino and Naranjo, 2001) برای وزن ۳۰۰ دانه نقش آثار افزایشی را مهم‌تر ذکر کردند. این اختلاف در نتایج می‌تواند ناشی از نوع مواد آزمایشی و تفاوت‌های بین مواد ژنتیکی و یا استفاده از روش‌های مختلف برای برآورد عمل ژن باشد. وجود هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی واریانس ژنتیکی نشان‌دهنده لزوم بهره‌گیری از هر دو جزء تثبیت‌پذیر و تثبیت‌ناپذیر واریانس ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی ذرت است.

برآورد GCA لاین‌ها و تسترها به‌منظور شناسایی ترکیب‌شونده برتر انجام و نتایج در جدول ۴ ارایه شده است. تستر K166B ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌دار و مثبت برای عملکرد دانه نشان داد. میانگین عملکرد دانه تلاقی حاصل از این تستر با لاین‌های استخراجی از ژرم‌پلاسم سیمیت بالاتر از میانگین عملکرد تلاقی‌های حاصل از سایر تسترها بود. لاین‌های شماره ۳، ۵ و ۷، GCA مثبت و معنی‌دار و لاین‌های ۱ و ۶، GCA منفی و معنی‌داری داشتند. سایر لاین‌ها، GCA معنی‌داری نشان ندادند. بنابراین، امکان استفاده مستقیم از لاین‌های شماره ۳، ۵ و ۷ در اصلاح عملکرد دانه وجود دارد. لاین شماره ۲ برای تعداد ردیف دانه و لاین شماره ۶ برای تعداد دانه در ردیف، GCA مثبت و معنی‌داری داشتند. بنابراین، امکان استفاده مستقیم از این لاین‌ها در اصلاح عملکرد دانه وجود ندارد، ولی می‌توان از این دو لاین برای اهداف خاص اصلاحی در اصلاح ژرم‌پلاسم و یا لاین‌ها سود جست.

نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها برای عملکرد دانه (جدول ۵) نشان داد که به‌جز ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار تستر MO17 با لاین شماره ۳ و ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار تستر K18 با لاین شماره ۵، سایر تلاقی‌ها ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌داری نداشتند. زامبزی و همکاران (Zambezi *et al.*, 1994) گزارش کردند که واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به‌طور قابل توجهی بیش از واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی است و ترکیب‌پذیری عمومی مهم‌ترین منبع تغییرات عملکرد دانه در تلاقی‌های مورد مطالعه بود.

جدول ۴- مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترهای ذرت برای صفات مورد مطالعه در دو سال

Table 4. The general combining ability of maize lines and testers for the studied traits at two years

| لاین و تستر† Line and Tester† | عملکرد دانه Grain yield | ارتفاع بوته Plant height | ارتفاع بلال Ear height | تعداد ردیف دانه No. of row | تعداد دانه در ردیف No. of Kernel per row | وزن هزار دانه 1000-grain weight | عمق دانه Kernel depth | روز تا رسیدگی Day to maturity |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | -0.60$^{ns}$ | -6.60$^{**}$ | -6.05$^{**}$ | -1.37$^{**}$ | 1.14$^{**}$ | 7.24$^{ns}$ | -0.05$^{ns}$ | -0.84$^{*}$ |
| T2 | 0.0$^{ns}$ | -0.19$^{ns}$ | 0.10$^{ns}$ | -0.20$^{ns}$ | 1.83$^{**}$ | -5.53$^{ns}$ | 0.03$^{ns}$ | 0.14$^{ns}$ |
| T3 | 0.10$^{ns}$ | 4.33$^{**}$ | 3.81$^{*}$ | 1.30$^{**}$ | -1.28$^{**}$ | -2.46$^{ns}$ | 0.12$^{ns}$ | -0.53$^{ns}$ |
| T4 | 0.48$^{**}$ | 2.46$^{ns}$ | 2.13$^{ns}$ | 0.28$^{ns}$ | -1.70$^{**}$ | 0.75$^{ns}$ | -0.10$^{ns}$ | 1.23$^{**}$ |
| SE | 0.182 | 1.936 | 1.423 | 0.154 | 0.435 | 4.050 | 0.123 | 0.341 |
| L1 | -0.44$^{*}$ | -2.34$^{ns}$ | 2.63$^{ns}$ | -0.41$^{**}$ | 0.54$^{ns}$ | -10.47$^{**}$ | -0.27$^{ns}$ | 0.10$^{ns}$ |
| L2 | 0.09$^{ns}$ | -0.64$^{ns}$ | -3.11$^{*}$ | 1.11$^{**}$ | -0.63$^{ns}$ | -14.19$^{**}$ | 0.28$^{ns}$ | 0.47$^{ns}$ |
| L3 | 0.39$^{*}$ | 5.95$^{**}$ | 1.57$^{ns}$ | 0.01$^{ns}$ | -0.78$^{ns}$ | 1.24$^{ns}$ | 0.03$^{ns}$ | -0.07$^{ns}$ |
| L4 | -0.30$^{ns}$ | -4.61$^{**}$ | -3.39$^{**}$ | -0.18$^{ns}$ | -2.13$^{**}$ | 14.71$^{**}$ | 0.18$^{ns}$ | -0.20$^{ns}$ |
| L5 | 0.43$^{*}$ | -3.91$^{*}$ | -2.83$^{*}$ | 0.32$^{*}$ | 2.47$^{**}$ | -3.58$^{ns}$ | 0.51$^{ns}$ | 0.18$^{ns}$ |
| L6 | -0.50$^{**}$ | -6.06$^{**}$ | -3.50$^{*}$ | -0.14$^{ns}$ | 1.48$^{**}$ | -3.12$^{ns}$ | -0.25$^{ns}$ | -1.07$^{**}$ |
| L7 | 0.34$^{*}$ | 11.62$^{**}$ | 8.64$^{**}$ | -0.71$^{**}$ | -0.95$^{*}$ | 15.41$^{**}$ | -0.49$^{**}$ | 0.60$^{ns}$ |
| SE | 0.241 | 2.561 | 1.882 | 0.204 | 0.576 | 5.358 | 0.163 | 0.451 |

$^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

†: SE خطای استاندارد و T و L به‌ترتیب تسترها و لاین‌ها هستند که اطلاعات آن‌ها در جدول ۱ ارایه شده است.

$^{ns}$, $^{*}$ and $^{**}$: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

†: SE is the standard error and T and L are the tester and line, respectively, which their information is presented in Table 1.

جدول ۵- مقادیر ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها برای عملکرد دانه ذرت در دو سال

Table 5. The specific combining ability (SCA) of crosses for maize grain yield at two years

| لاین‌ها و تسترها Lines and testers | Tester MO17 | Tester K18 | Tester A679 | Tester K166B |
|---|---|---|---|---|
| L1 | -0.38$^{ns}$ | 0.13$^{ns}$ | 0.25$^{ns}$ | -0.01$^{ns}$ |
| L2 | -0.65$^{ns}$ | 0.55$^{ns}$ | -0.43$^{ns}$ | 0.53$^{ns}$ |
| L3 | 0.95$^{*}$ | 0.32$^{ns}$ | -0.91$^{ns}$ | -0.35$^{ns}$ |
| L4 | -0.53$^{ns}$ | 0.72$^{ns}$ | -0.24$^{ns}$ | 0.05$^{ns}$ |
| L5 | 0.83$^{ns}$ | -1.03$^{*}$ | 0.38$^{ns}$ | -0.18$^{ns}$ |
| L6 | 0.50$^{ns}$ | -0.58$^{ns}$ | 0.31$^{ns}$ | -0.23$^{ns}$ |
| L7 | -0.72$^{ns}$ | -0.11$^{ns}$ | 0.64$^{ns}$ | 0.19$^{ns}$ |

$^{ns}$ و $^{*}$: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪.

$^{\dagger}$: L1 تا L7 لاین‌های مورد مطالعه در این تحقیق هستند و اطلاعات آن‌ها در جدول ۱ ارایه شده است.

$^{ns}$ and $^{*}$: Not-significant and significant at 5% probability level, respectively.

$^{\dagger}$: L1-L7 are the lines studied in this research and their information is presented in Table 1.

با توجه به ناشناخته بودن واکنش هتروتیکی ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای در تلاقی با لاین‌های گروه‌های مختلف هتروتیکی معتدله، استفاده از تسترهای مختلف با تنوع بیش‌تر ضرورت دارد. از طرف دیگر، ژرم‌پلاسم سیمیت به‌عنوان منبع استخراج لاین‌ها در این آزمایش، سازگاری کافی با اقلیم معتدله نداشت و از این‌رو بیشتر منابع اولیه حذف و فقط محدود به سه منبع شدند. نتایج امیدبخش در برخی از تلاقی‌ها از جمله تلاقی تستر K166B با لاین ۷، K166B با لاین ۲ و A679 با لاین ۵ نشان داد که امکان استفاده از ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه-حاره‌ای به‌ویژه استفاده از منابع ایجاد شده توسط سیمیت در کشورهایی مثل چین که شرایط محیطی مشابهی با ایران دارند، می‌تواند امکان دستیابی به منابع برتر و سازگارتر را تسهیل کند. برتری عملکرد نتاج حاصل از تلاقی تسترهای K166B و A679 با لاین شماره ۷ (لاین XT03 استخراجی از منابع ناشناخته چینی) نیز برتری استفاده از ژرم‌پلاسم حاصل از برنامه سیمیت در چین را نسبت به سایر منابع سیمیت نشان می‌دهد.

برای شناخت بیش‌تر لاین‌های استخراجی از منابع مختلف سیمیت و انتساب این لاین‌ها به گروه‌های هتروتیک از آماره HSGCA (Fan *et al.*, 2009) استفاده شد. اکین‌وال و همکاران (Akinwale *et al.*, 2014) و ریچارد و همکاران (Richard *et al.*, 2015) از این آماره در تعیین گروه‌های هتروتیک لاین‌های ذرت استفاده و افزایش کارایی برنامه‌های اصلاحی را تایید کردند. از آنجا که تسترهای MO17 و K18 از گروه لنکستر شور کراپ بودند، بنابراین اطلاعات این دو تستر در هم ادغام و تحت عنوان گروه هتروتیک لنکستر شور کراپ بررسی شدند. تستر A679 نیز از گروه رید یللو دنت و تستر K166B از گروه ذخایر توارثی غیرمعتدله سیمیت در ایران هستند و تحت عنوان همین گروه‌ها بررسی شدند. بر این اساس، لاین شماره ۱ شباهت بیش‌تری به گروه هتروتیک لنکستر شور کراپ، لاین‌های شماره ۳ و ۴ به گروه هتروتیک رید یللو دنت و لاین شماره ۶ به گروه هتروتیک K166B داشتند و سایر لاین‌ها قابل انتساب به هیچ‌یک از این گروه‌های هتروتیک نبودند (جدول ۶). این موضوع ضرورت استفاده از تسترهای بیش‌تر و نیز بیش از یک تستر از هر گروه هتروتیک را در شناسایی منابع مناسب از ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای نشان می‌دهد.

## نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که دستیابی به منابع برتر و سازگارتر از طریق اصلاح ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای به‌ویژه ژرم‌پلاسم حاصل از برنامه سیمیت در چین وجود دارد. تلاقی‌های XT03×K166B و XT03×A679 با عملکرد مناسب، تلاقی‌های مطلوب این تحقیق بودند. آماره HSGCA نیز به‌دلیل استفاده از هر دو جزء واریانس GCA و SCA، کارایی تعیین گروه‌های هتروتیک لاین‌های ذرت را نسبت به SCA افزایش داد. همچنین، بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از تسترهای بیش‌تر و نیز بیش از یک تستر از هر گروه هتروتیک در شناسایی منابع مناسب از ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای ضرورت دارد.

جدول ۶- مقادیر HSGCA برای عملکرد دانه لاین های ذرت به منظور تعیین هتروتیکی لاین ها

Table 6. HSGCA of lines for grain yield to classify them to Heterotic Group

| لاین ها | LSC† | RYD | CIMMYT |
|---|---|---|---|
| L1 | -0.57** | -0.19ns | -0.45* |
| L2 | 0.04ns | -0.34ns | 0.62** |
| L3 | 1.02** | -0.53* | 0.04ns |
| L4 | -0.21ns | -0.55** | -0.25ns |
| L5 | 0.33ns | 0.81** | 0.25ns |
| L6 | -0.54** | -0.19ns | -0.73** |
| L7 | -0.08ns | 0.98** | 0.53* |

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

†: چون تسترهای MO17 و K18 از گروه لنکستر شور کراپ (LSC) بودند، بنابراین اطلاعات این دو تستر در هم ادغام شدند و تحت عنوان گروه هتروتیکی گروه لنکستر شور کراپ قرار گرفتند و تستر A679 از گروه رید یللو دنت (RYD) و تستر K166B از گروه ذخایر توارثی غیر معتدله سیمیت در شرایط ایران (CIMMYT) هستند و این تسترها نیز تحت عنوان همین گروه‌ها بررسی شدند.

ns, * and **: Not-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

†: Because the MO17 and K18 testers were from LSC group, the information of these two testers was merged and placed under the name of the LSC hetrotic group and the A679 tester from the RYD group and the K166B tester from the CIMMYT non-temperate genetic resources group in the climate of Iran (CIMMYT) were also examined under the heading of the same groups.

## References


**Akinwale, R. O., Badu-Apraku, B., Fakorede, M. A. B. and Vroh-Bi, I. 2014.** Heterotic grouping of tropical early-maturing maize inbred lines based on combining ability in striga-infested and striga-free environments and the use of SSR markers for genotyping. **Field Crops Research** 156: 48-62.

**Aulicino, M. B., and Naranjo, C. A. 2001.** Evaluation of combining ability of inbred maize lines for precocity and yield. **Maize Genetics Cooperation Newsletter** 71: 53-54.

**Richard, C., Daka, L., Osiru, D. S., Mwala, M. S., Lungu, D., Munyinda, K. and Mukanga, M. 2015.** Combining ability and heterotic orientation of selected Zambian maize inbred lines under low soil phosphorus conditions. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences** 8 (2): 203-213.

**Chen, H. M., Wang, Y. F., Yao, W. H., Luo, L. M., Li, J. L., Xu, C. X., Fan, X. M. and Gho, H. C. 2011.** Utilization potential of the temperate maize inbreds integrated with tropical germplasm. **ACTA Agronomica Sinica** 37 (10): 1785-1793.

**Choukan, R. 1999.** Estimation of combining ability, additive and dominance variance in corn lines using line × tester cross. **Plant and Seed Improvement Journal** 15: 65-73. (In Persian with English Abstract).

**Choukan, R. 2008.** Methods of genetical analysis of quantitative traits in plant breeding. Seed and Plant Improvement Institute Press, Karaj, Iran. 270 p. (In Persian).

**Choukan, R. and Moeini, R. 2005.** Study of the possibility of using subtropical maize germplasm in temperate regions of Iran. **Iranian Journal of Agricultural Science** 7 (1): 69-85. (In Persian with English Abstract).

**Choukan, R., Estakhr, A., Afarinesh, A., Afsharmanesh, Gh. R., Shiri, M. R., Mosavat, A. and Fareghei, Sh. 2015.** Combining ability of maize lines derived from CIMMYT germplasm in crossing with temperate lines. **Iranian Journal of Agricultural Science** 16 (4): 334-345. (In Persian with English Abstract).

**Choukan, R., Estakhr, A., Haddadi, H., Shiri, M. R., Anvari, K., Afarinesh, A., Darkhal, H. and Ghasemi, S. 2013.** Comparison of yield of foreign maize hybrids with local cultivars. **Plant and Seed Improvement Journal** 29 (4): 747-760. (In Persian with English Abstract).

**Crossa, J. 1989.** Theorical considerations for the introgression of exotic germplasm into adapted maize populations. **Maydica** 34: 53-62.

**Dowswell, C. R., Paliwal, R. L. and Cantrell, R. P. 1996.** Maize in the third world. Winrock Development-Orientated Literature Studies, Westview Press, Boulder, Colorado.

**Dudley, W. J. 1984.** Theory for identification and use of exotic germplasm in maize breeding programs. **Maydica** 29: 391-407.

**Esmaili, A., Dehgani, H., Khavari-Khorasani, S. and Mirzaee, N. H. 2005.** Estimation of combining ability and gene effects of early mature corn inbred lines at different plant densities by line × tester analysis. **Iranian Journal of Agricultural Science** 5: 917-929. (In Persian with English Abstract).

**Fan, X. M., Chen, H. M., Tan, J., Xu, C. X., Zhang, Y. D., Luo, L. M., Huang, Y. X. and Kang, M. S. 2008a.** Combining abilities for yield and yield components in maize. **Maydica** 53: 39-46.

**Fan, X. M., Chen, H. M., Tan, J., Xu, C. X., Zhang, Y. M., Huang, Y. X. and Kang, M. S. 2008b.** A new maize heterotic pattern between temperate and tropical germplasms. **Agronomy Journal** 100: 917-923.

**Fan, X. M., Zhang, Y. M., Yao, W. H., Chen, H. M., Tan, J., Xu, C. X., Han, X. L., Luo, L. M. and Kang, M. S. 2009.** Classifying maize inbred lines into heterotic groups using a factorial mating design. **Agronomy Journal** 101: 102-106.

**Fan, X. M., Zhang, Y. D., Liu, L., Chen, H. M., Yao, W. H., Kang, M. and Yang, J. Y. 2010.** Screening tropical germplasm by temperate inbred testers. **Maydica** 55: 55-63.

**FAO. 2013.** FAOSTAT. Food and Agriculture Organization Statistics. Avilable at: http://www.FAO.org. Retrieved June 2015.

**Gerpacio, V. R. and Pingali, P. L. 2007.** Tropical and subtropical maize in Asia: Production systems, constraints and research priorities. CIMMYT, Mexico. 93 p.

**Goodman, M. M. 1985.** Exotic maize germplasm: Status, prospect and remedies. **Iowa State Journal of Research** 59: 497-527.

**Gouesnard, B., Sanou, J., Panouille, A., Bourion, V. and Boyat, A. 1996.** Evaluation of agronomic traits and analysis of exotic germplasm polymorphism in adapted exotic maize crosses. **Theoretical and Applied Genetics** 92: 368-374.

**Hartkamp, A. D., White, J. W., Rodriguez-Aguilar, A., Banziger, M., Srinivasan, G., Granados, G. and Crossa, J. 2000.** Maize production environments revisited a GIS-based approach. CIMMYT, Mexico.

**Hawbaker, M. S., Hill, W. H. and Goodman, M. M. 1997.** Application of recurrent selection for low grain moisture content at harvest in tropical maize. **Crop Science** 37: 1650-1655.

**Iqbal, A. M., Nehvi, F. A., Wani, S. A., Rehana, Q. and Zahoor, A. D. 2007.** Combining ability analysis for yield and yield related traits in maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Plant Breeding and Genetics** 1: 101-105.

**Kemptorn, P. 1957.** An introduction to genetic statistics. John Wiley and Sons, New York, USA. 545 p.

**Konak, C., Unay, A., Serter, E. and Basal, H. 1999.** Estimation of combining ability effects, hetrosis and heterobeltiosis by line × tester method in maize. **Turkish Journal of Field Crops** 4: 1-9.

**Kumar, M. N. V., Kumar, S. S. and Ganeh, M. 1999.** Combining ability studies for oil improvement in maize (*Zea mays* L.). **Crop Research Hissar** 18: 93-99.

**Lee-Ho, S., and Shung-Lu, H. 1995.** Identification of heterotic patterns with inbred line testers in maize. **Journal of Agricultural Research China** 44: 242-250.

**Liu, K. J., Goodman, M. M., Muse, S., Smith, J. S., Bucker, E. and Doebley, J. 2003.** Genetic structure and diversity among maize inbred lines as inferred from DNA microsatellites. **Genetics** 165: 2117-2128.

**Muchow, R. C. and Carberry, P. S. 1989.** Environmental control of phenology and leaf growth in a tropically adapted maize. **Field Crops Research** 20: 221-236.

**Nelson, P. T. and Goodman, M. M. 2008.** Evaluation of elite exotic maize inbreds for use in temperate breeding. **Crop Science** 48: 85-92.

**Nestares, G., Frutos, E. and Eyherabide, G. 1999.** Combining ability evaluation in organic flint lines of maize. **Pesquisa Agropecua Yia Brasileria** 34: 1399-1406.

**Rood, S. B. and Major, D. J. 1980.** Responses of early corn inbreds to photo period. **Crop Science** 20: 679-682.

**Shalim-Uddin, M., Amiruzzaman, M., Bank, B. R., Bagum, S. A. and Rashid, M. H. 2008.** Line × tester analysis of early generation maize inbred lines. Proceeding of the 10th Asian Regional Maize Workshop. October 20-23, Makassar, Indonesia.

**Shiri, M., Aliyev, R. and Choukan, R. 2010a.** Water stress effects on combining ability and gene action of yield and genetic properties of drought tolerance indices in maize. **Research Journal of Environmental Science** 4: 75-84.

**Shiri, M., Choukan, R. and Aliyev, R. 2010b.** Drought tolerance evaluation of maize hybrids using biplot method. **Trends in Applied Sciences Research** 5: 129-137.

**Shiri, M., Choukan, R. and Aliyev, R. 2015.** Drought Stress Effects on Gene Action and Combining Ability of Maize Inbred lines. **Plant and Seed Improvement Journal** 31 (1): 421-440. (In Persian with English Abstract).

**Simic, D., Presterl, T., Seitz, G. and Geeiger, H. H. 2003.** Comparing methods for integrating exotic germplasm into European forage maize breeding programs. **Crop Science** 43: 1952-1959.

**Singh, D. N. and Singh, I. S. 1998.** Line × tester analysis in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Research Birsa Agriculture University** 10: 177-182.

**Struik, P. C., Doorgeest, M. and Boonman, G. 1986.** Environmental effects on flowering characteristics and kernel set of maize. **Netherlands Journal of Agricultural Science** 34: 469- 484.

**Tallury, S. P. and Goodman, M. M. 1999.** Experimental evaluation of the potential germplasm for temperate maize improvement. **Theoretical and Applied Genetics** 98: 54-61.

**Vasal, S. K., Srinivasan, G., Hanm, G. C. and Gonzales, F. 1992.** Heterotic patterns of eighty-eight white subtropical CIMMYT maize lines. **Maydica** 37: 319-327.

**Zambezi, B. T., Horner, E. S. and Martin, F. G. 1994.** Inbred lines as testers for general and combining ability in maize. **Crop Science** 26: 908-910.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

**Cereal Research**
**Vol. 7, No. 1, Spring 2017 (101-114)**

# The selection of maize lines derived from CIMMYT germplasm through combining ability with temperate testers

**Mohammadreza Shiri[*1] and Laleh Ebrahimi[2]**

Received: December 8, 2015 Accepted: April 5, 2016

**Abstract**

To assess the combining ability of lines derived from tropical and subtropical CIMMYT germplasm with temperate region lines and to determine their heterotic groups, twenty eight crosses of four temperate maize testers (MO17, K18, K166B and A679) with seven lines originated from CIMMYT germplasm were evaluated along with two hybrid checks (SC704 and SC705) using randomized complete block design with three replications, in Moghan, Iran, in two years 2012-13. The results of line×tester analysis to estimate gene action showed that both additive and non-additive effects played an important role in controlling grain yield and other traits. The estimation of general combining ability showed that there was the possibility of direct improvement of grain yield via lines No. 3, 5 and 7. Also, positive significant specific combining ability were only found for L3×MO17 testcross. In order to learn more about lines derived from various sources of CIMMYT germplasm and to assign lines to heterotic groups, HSGCA effects were calculated. According to the HSGCA, the reaction of line 1 was similar to Lancaster-Sure-Crop's heterotic group, lines 3 and 4 had similar reaction to Reid-Yellow-Dent's heterotic group and line 6 had similar reaction to K166B's heterotic group (a tester extracted from none-temperate CIMMYT originated materials in Iran) and the other lines showed no similar reaction to the heterotic groups of the studied testers. These results showed that using more testers as well as more than one tester from each heterotic group, is necessary to identify appropriate sources of the tropical and subtropical germplasm to facilitate the success in development of adapted maize germplasm.

**Keywords:** Heterotic patterns, HSGCA statistics, Tropical and subtropical maize

1. Research Assist., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Research Assist., Dept. of Plant Protection Research, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
* Corresponding author: mohammadrezashiri52@gmail.com