تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
۳۳۱-۳٤٦
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.1216.1279

تجزیه ژنتیکی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی آفتابگردان تحت شرایط آبیاری مطلوب و محدود

مهدی زهدی اقدم[۱]، فرخ درویش کجوری[۱*]، مهدی غفاری[۲]، آسا ابراهیمی[۳]
۱. گروه اصلاح نباتات، واحد علوم و تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳. گروه بیوتکنولوژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۲۲

چکیده

بررسی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها تحت شرایط آبیاری مطلوب و محدود به‌منظور استفاده والدین در ایجاد واریته‌های هیبرید جدید ضروری است. افزون بر این، نوع وراثت صفات می‌تواند در تصمیم‌گیری برای تعیین روش‌های اصلاحی مناسب و پیش‌بینی میزان پیشبرد ژنتیکی ناشی از گزینش کمک کند. در این پژوهش که در دو سال زراعی ۹۳-۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خوی انجام گردید به‌منظور بررسی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در آفتابگردان، پنج لاین نرعقیم و چهار تستر بازگرداننده باروری به‌صورت لاین در تستر در سال ۱۳۹۲ تلاقی داده شدند. هیبریدهای حاصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار برای آبیاری مطلوب و سه تکرار برای تنش بررسی شدند. نتایج تجزیه واریانس ساده در شرایط مطلوب برای کلیه صفات معنی‌دار و در شرایط محدود نیز برای کلیه صفات به‌جز وزن هزار دانه، رطوبت نسبی، عملکرد دانه، عملکرد روغن معنی‌دار گردید. درصورتی‌که نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات مختلف در شرایط مطلوب و محدود نشان داد که میانگین مربعات به‌جز صفت رطوبت نسبی در شرایط محدود برای صفات ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه،، پرولین، آنزیم کاتالاز، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، کلروفیل a، کلروفیل b، عملکرد دانه و عملکرد روغن معنی‌دار بود. نتـایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن ترکیب‌پذیری عمومی بـرای لایـن‌هـا و تسترها و همچنین ترکیب‌پذیری خصوصی (لاین × تستر) برای اکثر صفات بود. بر اساس ارزیابی ترکیب‌پذیری‌ها لاین AGK30 و AGK44، تستر RGHK25 و RGHK50 و هیبرید RGHK56×AGK44 به ترتیب مناسب‌ترین لاین، تستر و هیبرید در هر دو شرایط تعیین شدند.

واژه‌های کلیدی: **ترکیب‌پذیری خصوصی، ترکیب‌پذیری عمومی، تستر، لاین**

مقدمه

آفتابگردان زراعی (*Helianthus annuus* L.) پس از سویا (*Glycine max*)، کلزا (*Brassica napus*) و بادام‌زمینی (*Arachis hypogaca*) چهارمین گیاه زراعی یک‌ساله جهان است که به خاطر روغن خوراکی آن کشت می‌شود. این گیاه پس از ذرت دومین زراعت هیبرید مهم دنیاست و ارقام هیبرید آن با توجه به عملکرد بالا و یکنواختی در رسیدن و دیگر خصوصیات زراعی، تقریباً به‌طور کامل جای ارقام آزادگرده‌افشان را گرفته است (Khadem Hamze et al., 2004). آفتابگردان یک گیاه دگرگشن است که ارقام آزادگرده‌افشان (o.p) آن به دلیل دگرگشنی به‌تدریج ساختار ژنتیکی خود را از دست می‌دهند؛ بنابراین توجه محققان به تولید ارقام دورگ برای این محصول معطوف گشته است. اصلاح ارقام دورگ پر محصول و پرروغن آفتابگردان که علاوه بر یکنواختی در رسیدن، به بیماری‌ها نیز مقاوم باشند سبب افزایش تولید آن در واحد سطح می‌شود(Aliari, 2000) .

* نگارنده پاسخگو: فرخ درویش کجوری. پست الکترونیک: f-darvish@srbiau.ac.ir

اولین و مهم‌ترین گام برای نیل به موفقیت در برنامه اصلاحی تهیه ارقام هیبرید، انتخاب صحیح والدین بر اساس تعیین ترکیب‌پذیری‌های عمومی و خصوصی و نوع اثرات ژنی است. غفاری (Ghaffari, 2006) ترکیب‌پذیری عمومی، وضعیت متوسط یک لاین در ترکیب هیبریدهای آن را نشان داده و گویای اثرات افزایشی ژن است و ترکیب‌پذیری خصوصی، وضعیت دو لاین در یک تلاقی بخصوص را تعیین کرده و بیانگر اثرات غالبیت ژن است. یکی از ابزارهای اساسی برنامه‌های اصلاح آفتابگردان، ارزیابی ترکیب‌پذیری لاین‌های اینبرد و تعیین سهم اثرات افزایشی و غیر افزایشی واریانس ژنتیکی در کنترل صفات از طریق روش تجزیه لاین در تستر است. اورتجن وهمکاران (Orthegen et al., 1992) قابلیت ترکیب عمومی و خصوصی معنی‌داری را برای روز تا رسیدگی گزارش نموده و عمل ژن را غیر افزایشی ذکر کردند ولی در مطالعات دیگر برای این صفت قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی معنی‌دار و ماهیت ژن را افزایشی با کمی اثر غیر افزایشی گزارش نمودند (Khan et al., 2008). تیاگی (Tyagi, 1988) اثر ژن را افزایشی ولی میهالجویچ (Mihaljevic, 1988) برای وزن دانه اثر ژن را افزایشی و غیر افزایشی با اهمیت یکسان گزارش نمود. مطالعات غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2011) حاکی از آن است که قابلیت ترکیب خصوصی برای ارتفاع بوته آفتابگردان بسیار مهم‌تر از قابلیت ترکیب عمومی است. خان و همکاران (Khan et al., 2008) در آزمایش لاین × تستر برای صفات روز تا رسیدگی، وزن صد دانه، محتوای روغن و عملکرد دانه در هکتار اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی بزرگ‌تری از ترکیب‌پذیری عمومی به دست آوردند که دلالت بر عمل غیر افزایشی ژن داشت. پوت (Putt, 1996) در تلاقی دی الل لاین‌های اینبرد آفتابگردان، ترکیب‌پذیری خصوصی برای ارتفاع بوته و عملکرد دانه را مهم‌تر از ترکیب‌پذیری عمومی ذکر کرده است که حاکی از اهمیت اثرات غیر افزایشی در کنترل صفات مذکور است. پوت برای درصد روغن اثرات افزایشی را مهم‌تر دانست که این مورد توسط فیک (Fick, 1975) تایید شده است. فرخی (Farrokhi,2002) نیز نقش اثرات افزایشی را در کنترل درصد روغن آفتابگردان مهم‌تر دانست.

اورتجن و همکاران (Orthegen et al., 1992) و حسن (Hassan, 2001) هر دو نوع اثر افزایشی و غیر افزایشی را در کنترل میزان روغن مؤثر دانسته‌اند. خان و همکاران (Khan et al., 2008) برای درصد روغن و ارتفاع بوته در آزمون بدون تنش واریانس افزایشی معنی‌دار برآورد کردند. گانگاپا (Gangappa, 1997) ضمن تأیید اثرات افزایشی در کنترل زمان شروع گلدهی، صفات ارتفاع بوته، قطر طبق، درصد روغن و عملکرد دانه آفتابگردان را تحت تأثیر اثرات غالبیت و وزن هزار دانه و قطر ساقه را تابع هر دو نوع اثرات افزایشی و غالبیت گزارش کرد.

اندرخور و همکاران (Andarkhor et al., 2014) در آزمون واریانس ژنتیکی لاین‌های اینبرد آفتابگردان گزارش نمود که در تیمارهای موردبررسی تفاوت معنی‌دار برای صفات ارتفاع بوته، طول دوره رویش، طول دوره گل‌دهی، عملکرد دانه، تعداد دانه در طبق و عملکرد روغن مشاهده گردید و برخی تلاقی‌ها برای عملکرد دانه و عملکرد روغن دارای ترکیب‌پذیری مثبت معنی‌دار بالا بودند. هدف از این بررسی تعیین اثرات ژنی در لاین‌های موجود و استفاده از نتایج آن در تعیین روش اصلاحی و همچنین تعیین لاین‌های بازگردان باروری و اینبرد لاین‌های برتر و استفاده از آن‌ها در تهیه هیبریدهای پر محصول و برخوردار از صفات مطلوب زراعی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوی اجرا گردید. ایستگاه خوی در ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شرقی واقع‌شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۰۳ متر است. محل اجرای طرح از اقلیم خشک و سرد برخوردار است. حداقل، متوسط و حداکثر دمای سالانه به ترتیب ۳۰-، ۱۲/۵ و ۴۲ درجه سانتی‌گراد است و متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه ۲۹۲/۶ میلی‌متر است.

به‌منظور مشخص شدن برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مرتبط با خاک محل آزمایش قبل از اجرای طرح، نمونه مرکب خاک به‌طور متوسط از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه اوگر از چهار قسمت مزرعه محل آزمایش تهیه و به‌منظور تعیین عناصر غذایی، به آزمایشگاه خاک-شناسی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی ارسال گردید که نتیجه‌ی آن جدول ۱ ارائه شده‌است.

مواد ژنتیکی مورداستفاده شامل ۲۰ هیبرید سینگل‌های اینبرد نرعقیم (والد مادری) به‌عنوان لاین و لاین‌های برگشت

دهنده باروری (والد پدری) به‌عنوان تستر در نظر گرفته شد. منشأ این‌ها ایرانی و در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خوی تولیدشده‌اند. لاین‌ها و تسترهای مورداستفاده به شرح جدول ۲ بود.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the experiment station soil

	کربن آلی OC	نیتروژن کل Total N	آهن قابل‌جذب Fe ava.	پتاسیم قابل‌جذب Kava.	فسفر قابل‌جذب P ava.	اسیدیته pH	اشباع خاک Soil saturation	رس Clay	سیلت Silt	شن sand
	----------%---------		----------ppm----------				----------%----------			
مقدار اندازه‌گیری شده Measured values	0.87	0.008	4.9	361	9.4	7.8	46	46	36	18
دامنه استاندارد Standard range	0.5-1	0.007-0.1	4-5	300-400	10-15	7-7.5	42-46	26-28	42-45	25-27

جدول ۲. لاین‌ها و تسترهای مورداستفاده در آزمایش

Table 2. Lines and testers used in experiment

لاین‌ها	AGK 2	AGK 30	AGK 44	AGK 110	AGK 260
تسترها	RGHK25	RGHK46	RGHK50	RGHK56	

قطعه زمین موردنظر جهت انجام آزمایش در پاییز سال ۱۳۹۲ شخم زده شد. عملیات بعدی شامل شخم سطحی و دیسک‌زنی در اواخر فروردین سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ صورت گرفت. پخش کودهای پایه موردنیاز بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه‌های بخش تحقیقات آب‌وخاک در حدود ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (در ۳ نوبت: یک‌سوم در زمان شخم، یک‌سوم در مرحله ۵ برگی و یک‌سوم قبل از گلدهی)، ۱۰۰ الی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم (قبل از کاشت) مصرف شد. پس از کاشت و استقرار بوته‌ها در مرحله ۲ تا ۴ برگی تنک و زمانی که ارتفاع بوته‌ها ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری بود وجین انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، طول بوته‌ها از سطح زمین تا سطح زیرین طبق اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آن‌ها برحسب سانتی‌متر ثبت گردید. بزرگ‌ترین قطر طبق ده بوته، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها برحسب سانتی-متر ثبت گردید. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در طبق تعداد، دانه‌های هر طبق به‌صورت دستی شمارش و میانگین تعداد نمونه‌ها محاسبه گردید (از حاصل جمع تعداد دانه‌های پر در نمونه‌های برداشت‌شده به دست آمد). به‌منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه سه نمونه صدتایی دانه از هر کرت بعد از خشک‌کردن در آون، شمارش و سپس توزین گردیدند، نهایتاً میانگین وزن به‌دست‌آمده در عدد ۱۰ ضرب گردیده و به‌عنوان وزن هزار دانه ثبت شد.

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه بعد از حذف نیم متر اثر حاشیه از طرفین کرت‌ها تعداد ده بوته به‌طور تصادفی انتخاب و پس از خرمن‌کوبی و قرار دادن در آون ۴۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، به‌طوری‌که رطوبت آن‌ها به ۱۴-۱۳ درصد رسید، به‌دقت توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین گردید و وزن آن‌ها برحسب کیلوگرم در واحد سطح تعیین شد. جهت تعیین عملکرد دانه، طبق‌های پوشانیده شده در ردیف‌های دوم، سوم و چهارم با حذف حاشیه در مساحتی معادل چهار مترمربع برداشت و پس از جدا کردن دانه‌ها، عملکرد محصول تعیین شد.

اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی (RWC)

در آزمایشگاه وزن تازه تعیین و سپس نمونه‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و در تاریکی قرارگرفته و متعاقب آن وزن آماس تعیین شد. در مرحله بعد نمونه‌ها به

مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و RWC از فرمول زیر به دست آمد:

$$RWC\ (\%) = [Fw-dw]/[tw-dw]\times 100 \qquad [۱]$$

که در آن Fw: وزن تر گیاه؛ Dw: وزن خشک گیاه؛ Tw: وزن گیاه در حالت اشباع (آماس).

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ

در پایان گلدهی از هر خط به‌تصادف پنج بوته انتخاب و با اندازه‌گیری طول و عرض تمام برگ‌ها، سطح کلیه برگ‌های بوته‌های انتخابی از رابطه (۲) محاسبه شد (Rao and Saran, 1991).

[۲] *ضریب ثابت ۰/۶۸× عرض برگ× طول برگ= سطح برگ*

سپس میانگین سطح برگ یک بوته را محاسبه نموده و با ضرب کردن آن در تراکم بوته در هر مترمربع، شاخص سطح برگ به دست می‌آید.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل

برای اندازه‌گیری کلروفیل از روش آرنون (Arnon, 1967) استفاده شد. ابتدا مقدار یک گرم از ماده تر گیاهی را در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع آن را خردکرده و سپس به‌خوبی له شدند. سپس ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. عصاره جداشده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. در ادامه مقداری از نمونه داخل بالن را در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به‌طور جداگانه در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a و b برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

$$Chlorophyll\ a = (19.3*A663-0.86*A645)\ V/100W \qquad [۳]$$

$$Chlorophyll\ b = (19.3*A645-3.6*A663)\ V/100W \qquad [۴]$$

که در آن‌ها V: حجم محلول صاف‌شده، A: جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، و W: وزن تر نمونه برحسب گرم هستند.

نحوه اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش لوهوا و همکاران (Luhova et al., 2007) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر در مدت ۳۰ ثانیه استفاده گردید. همچنین در آن بافر فسفات سدیم ۲۰ میلی مولار با pH معادل ۷ و ۲۰ میکرولیتر هیدروژن پراکساید ۳۰ درصد به‌عنوان پذیرنده الکترون مورداستفاده قرار گرفت. میزان فعالیت کاتالاز هم برحسب واحد در میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

بر اساس روش بیوچامپ و فریدوویچ (Beauchamp and Fridovich, 1971) انجام شد. محلول واکنش در حجم نهایی یک میلی‌لیتر برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شامل ۸۳۵ میکرولیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=8 و ۳۳ میکرولیتر اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۳ میلی‌مولار، ۳۳ میکرولیتر نیترو بلو تترازولیوم ۰/۷۵ میلی‌مولار، ۳۳ میکرولیتر زانتین ۳ میلی-مولار، ۳۳ میکرولیتر محلول رقیق‌شده آنزیم زانتین اکسیداز و ۳۳ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب محلول واکنش نسبت به شاهد به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر اساس واحد بر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

روش اندازه‌گیری پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتز (Bates, 1973) استفاده گردید. ابتدا ۰/۵ گرم ماده تر گیاهی را با هاون خردشده و درون یک تیوب ریخته شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ آماده‌شده را به آن اضافه نموده و نمونه را درون یخ قرار داده شد. تیوب را در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ نموده تا مواد اضافی از محلول جدا گردید. می‌توان به‌جای سانتریفیوژ از قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی برای صاف کردن نمونه‌ها استفاده کرد. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده را

درون تیوب جدید ریخته و ۲ میلی‌لیتر اسید نایتریک هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و سپس خوب مخلوط شد. هم‌زمان مقدار ۲ میلی‌لیتر از محلول‌های استاندارد صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پرولین را درون تیوب‌های جدید ریخته و ۲ میلی‌لیتر اسید نایتریک هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن‌ها افزوده و سپس خوب مخلوط شد. نمونه‌ها را در حمام آب گرم به مدت ۱ ساعت حرارت داده و سپس درون حمام یخ قرار داده شد. مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه نموده و آن را به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به هم زده شد. استانداردهای پرولین محلول در فاز تولوئن را به اندازه لازم در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته و مقدار پرولین را در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید.

برآورد اجزای واریانس ژنتیکی

جهت تجزیه واریانس و برآورد اجزای واریانس ژنتیکی روش لاین در تستر و با استفاده از روابط زیر استفاده شد (Kempthorne, 1957):

$$\mathrm{cov}(H.S)_l = \frac{(m_l - m_{lt})}{tr} \qquad [۵]$$

$$\mathrm{cov}(H.S)_t = \frac{(m_t - m_{lt})}{lr} \qquad [۶]$$

$$\mathrm{v}(H.S)average = \frac{1}{r(2lt-l-t)}\left[\frac{(l-1)m_l + (t-1)m_t}{l+t-2} - m_{lt}\right] \qquad [۷]$$

که در این روابط l تعداد لاین‌ها و t تعداد تسترها، r تعداد تکرار، mL میانگین مربعات لاین و mT میانگین مربعات تستر هستند.

$$\sigma^2_{gca} = \mathrm{cov}\ HS \qquad [۸]$$

$$\sigma^2_{sca} = \mathrm{cov}FS - 2\mathrm{cov}HS \qquad [۹]$$

$$F=1 \rightarrow \qquad \sigma^2_{gca} = \frac{1+F}{4}\sigma^2_A \qquad [۱۰]$$

$$\sigma^2_{gca} = \frac{1}{2}\sigma^2_A \rightarrow \qquad \sigma^2_{sca} = \sigma^2_D \qquad [۱۱]$$

σ^2_{gca} و σ^2_{sca} به ترتیب قابلیت ترکیب عمومی و خصوصی هستند.

برآورد اثرات GCA و SCA

برآورد اثر ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های بازگردان باروری، اینبرد لاین‌ها، ترکیب‌پذیری عمومی نسبی و ترکیب‌پذیری خصوصی به ترتیب با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند (Kempthorne, 1957):

$$g_i = \frac{x_{i..}}{tr} - \frac{x_{...}}{ltr} \qquad [۱۲]$$

$$s_{ig} = \frac{x_{ij.}}{r} - \frac{x_{i..}}{tr} - \frac{x_{.j.}}{lr} + \frac{x_{...}}{ltr} \qquad [۱۳]$$

$$g_t = \frac{x_{.j.}}{lr} - \frac{x_{...}}{ltr} \qquad [۱۴]$$

که در آن g_i ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها، g_t ترکیب‌پذیری عمومی تسترها و s_{ij} ترکیب‌پذیری خصوصی لاین با تستر، x_{i00} مجموع لاین iام، x_{0j0} مجموع ارزش‌های تستر jام، x_{ij} مجموع ارزش حاصل از تلاقی iام با تستر jام و x_{000} مجموع کل است.

برآورد خطای استاندارد

برای لاین‌ها

$$S.E = \sqrt{\frac{MSE}{rt}} \qquad [۱۵]$$

برای تسترها

$$SE = \sqrt{\frac{MSE}{rl}} \qquad [۱۶]$$

برای هیبریدها

$$SE = \sqrt{\frac{MSE}{r}} \qquad [۱۷]$$

محاسبات آماری

برای محاسبات آماری طرح و تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel و SPSS و MSTAT-C و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شد و تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس امید ریاضی میانگین داده‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ساده در شرایط مطلوب و محدود برای کلیه صفات به‌جز وزن هزار دانه، رطوبت نسبی، عملکرد دانه، عملکرد روغن در شرایط محدود برای کلیه صفات معنی‌دار گردید (جدول ۳). درصورتی‌که نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات مختلف در شرایط مطلوب و محدود نشان داد که میانگین مربعات به‌جز صفت رطوبت نسبی در شرایط محدود

برای صفات ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، پرولین، کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، کلروفیل a، کلروفیل b، عملکرد دانه و عملکرد روغن معنی‌دار بود. نتـایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن ترکیب‌پذیری عمومی بـرای لاین‌ها و تسترها و همچنین ترکیب‌پذیری خصوصی (لاین × تستر) برای اکثر صفات است (جدول ۴).

میانگین مربعات لاین‌ها برای صفات ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، پرولین، کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، کلروفیل a، کلروفیل b، عملکرد دانه و عملکرد روغن معنی‌دار گردید. معنی‌داری صفات مذکور، این موضوع را بیان می‌دارد که تفاوت معنی‌داری در ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها برای این صفات وجود دارد.

جدول ۳. میانگین مربعات تجزیه ساده صفات زراعی و فیزیولوژیک تحت شرایط آبیاری مطلوب NS و تنش (S)

Table 3. Mean squares of simple analysis of variance for agronomic and physiological characters under optimum (NS) and irrigation limited conditions (S)

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته (cm) Plant height		قطر طبق Head diameter		تعداد دانه در طبق Seed number/ head		وزن هزار دانه 1000- seed weight	
			S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
Rep	تکرار	5	807.93*	387.3**	5.05**	1799.5**	7006^{ns}	15050**	29.18**	82.35**
Line	لاین	4	321.90**	2378**	11.64**	5.04^{ns}	54146**	432882**	3.48^{ns}	34.88**
Tester	تستر	3	742.97**	350.5*	8.03**	2.54^{ns}	6258^{ns}	110909**	2.03^{ns}	11.84**
Line×Tester	لاین×تستر	12	149.77*	967.4**	3.85**	12.4**	25797**	143861**	2.87^{ns}	10.75**
Error	خطا	95	64.37	118.3	0.77	2.24	6507	435	1.75	1.38

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	رطوبت نسبی RWC		پرولین Proline		کاتالاز CAT		سوپر اکسید دیسموتاز SOD	
			S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
Rep	تکرار	5	26.07^{ns}	134.93**	75.87**	19.19*	96.32**	116.86**	57.43**	76.61**
Line	لاین	4	10.07^{ns}	50.07**	935.24**	219.63**	92.35**	380.74**	812.22**	238.17**
Tester	تستر	3	18.59^{ns}	83.82**	297.83**	9.93^{ns}	585.76**	127.56**	209.74**	68.21**
Line×Tester	لاین×تستر	12	10.62**	42.68**	437.32**	113.48**	590.48**	593.37**	1186.79**	346.93**
Error	خطا	95	12.58	12.10	13.03	7.67	8.17	13.61	2.26	1.53

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل b Chlorophyll b		عملکرد دانه Seed yield		عملکرد روغن Oil yield	
			S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
Rep	تکرار	5	3.9**	7.96**	2.15**	1.51**	104467**	303336**	29051**	91483**
Line	لاین	4	0.9**	5.30**	8.76**	5.55**	11536^{ns}	111801**	3074^{ns}	30325**
Tester	تستر	3	0.37^{ns}	4.38**	2.11**	4.65**	7352^{ns}	40495**	2044^{ns}	14979**
Line×Tester	لاین×تستر	12	1.5**	2.01**	1.36**	2.01**	10803^{ns}	36461**	3353^{ns}	9604**
Error	خطا	95	0.21	0.33	0.17	0.34	5896	4600	1901	3076

^{ns}، *، ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*,** and ns represent significant at 5% and 1% probability levels and not significant, respectively

میانگین مربعات لاین‌ها برای صفات ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، پرولین، کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، کلروفیل a، کلروفیل b، عملکرد دانه و عملکرد روغن معنی‌دار گردید. معنی‌داری صفات مذکور این موضوع را بیان می‌دارد که تفاوت معنی‌داری در ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها برای این صفات وجود دارد. معنی‌داری ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها نشان از اثرات افزایشی ژن‌ها دارد (Andarkhor et al., 2014). با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) میانگین مربعات تسترها برای صفات تعداد دانه در طبق، پرولین، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، کلروفیلa ، کلروفیل b هم در شرایط نرمال و هم در شرایط تنش معنی‌دار گردید که حاکی از معنی‌دار بودن قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی تسترها برای این صفات است. معنی-داری قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی تسترها نشان از اثرات

جدول ۴. میانگین مربعات تجزیه مرکب صفات زراعی و فیزیولوژیک تحت شرایط آبیاری مطلوب (NS) و تنش (S)

Table 4. Mean squares of combined analysis of variance for agronomic and physiological characters under optimum (NS) and irrigation limited conditions (S)

SOV	منبع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height (cm)		قطر طبق Head diameter (cm)		تعداد دانه در طبق Seed number/ head		وزن هزار دانه 1000- seed weight (g)	
			S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
Year (Y)	سال	1	19.20^{ns}	147.40^{ns}	1.50^{ns}	45.5**	11623.0^{ns}	27694^{ns}	50.83^{ns}	151.65^{ns}
R/Y	سال/تکرار	4	1005.11	447.28	4.11	14.1	5851.8	11889	23.53	67.41
Line	لاین	4	321.90*	2378**	11.06**	5.42**	54145.7**	432882**	3.19**	31.05**
L×Y	لاین×تستر	4	103.42^{ns}	125.22^{ns}	2.85**	0.40^{ns}	663.9^{ns}	295^{ns}	0.70^{ns}	0.79^{ns}
Tester	تستر	3	742.96**	350.49^{ns}	8.57**	2.14^{ns}	6257.8**	110909**	2.05^{ns}	11.24**
T × Y	سال×تستر	3	93.55^{ns}	21.23^{ns}	2.06**	0.90^{ns}	193.9^{ns}	160^{ns}	1.58^{ns}	0.62^{ns}
L × T	لاین×تستر	12	149.76**	967.37**	3.95**	12.7**	25796.5**	143861**	2.99**	10.12**
L×T×Y	سال×تستر×لاین	12	16.81^{ns}	45.96^{ns}	0.76^{ns}	0.48^{ns}	1062.6^{ns}	461^{ns}	1.08^{ns}	0.48^{ns}
Error	خطا	76	68.66	133.23	0.42	0.79	7923.1	448	1.77	1.45
CV%	ضریب تغییرات		*6.34*	*6.71*	*4.48*	*7.67*	*19.44*	*3.86*	*4.07*	*2.82*

جدول ۴. ادامه

Table 4. Continued

SOV	منبع تغییرات	درجه آزادی df	رطوبت نسبی RWC		پرولین Proline		کاتالاز CAT		سوپر اکسید دیسموتاز SOD	
			S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
Year	سال	1	0.43^{ns}	290.87^{ns}	20.83^{ns}	.033^{ns}	3.35^{ns}	14.58^{ns}	141.41*	7.96^{ns}
R/Y	سال/تکرار	4	34.10	103.43	89.63	23.98	117.92	132.61	34.78	87.06
Line	لاین	4	11.87^{ns}	49.16**	935.24**	219.63**	92.61**	386.26**	824.87**	228.72**
L×Y	لاین×تستر	4	8.30^{ns}	5.76^{ns}	15.66^{ns}	4.72^{ns}	9.83^{ns}	5.19^{ns}	0.04^{ns}	1.68^{ns}
Tester	تستر	3	17.09^{ns}	80.62**	297.83**	9.93*	588.75**	109.76**	207.78**	64.07**
T × Y	سال×تستر	3	20.33^{ns}	7.09^{ns}	4.23^{ns}	2.90^{ns}	0.70^{ns}	2.34^{ns}	0.59^{ns}	0.31^{ns}
L × T	لاین×تستر	12	10.64^{ns}	42.58**	437.31**	113.48**	590.35**	603.15**	1189.34**	349.34**
L×T×Y	لاین×تستر×سال	12	13.35^{ns}	12.59**	18.06^{ns}	11.64^{ns}	4.73^{ns}	6.77^{ns}	0.34^{ns}	2.34*
Error	خطا	76	12.16	11.85	12.44	7.39	8.67	15.05	2.72	1.09
CV%	ضریب تغییرات		*5.41*	*4.35*	*6.06*	*8.84*	*3.83*	*6.65*	*3.10*	*3.63*

جدول ۴. ادامه **Table 4. Continued**

SOV	منبع تغییرات	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل b Chlorophyll b		عملکرد دانه Seed yield		عملکرد روغن Oil yield	
			S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
Year	**سال**	1	3.76^{ns}	12.66^{ns}	7.25^{**}	0.07^{ns}	183300^{ns}	545940^{ns}	54502.8^{ns}	177356.8^{ns}
R/Y	**سال/تکرار**	4	3.29	9.41	0.22	1.65	84758	2426840	22602.8	71202.2
Line	**لاین**	4	0.92^{**}	5.64^{**}	8.35^{**}	6.89^{**}	11535^{**}	111801^{**}	3069.1^{*}	32650.4^{**}
L×Y	**لاین×سال**	4	0.15^{ns}	0.47^{*}	0.02^{ns}	0.25^{ns}	2525^{ns}	2858^{ns}	929.2^{ns}	6295.6^{ns}
Tester	**تستر**	3	0.47^{**}	4.85^{**}	2.23^{**}	3.69^{*}	7352^{ns}	40494^{**}	2050.7^{ns}	15960.1^{**}
T × Y	**تستر×سال**	3	0.06^{ns}	0.78^{**}	0.24^{ns}	0.64^{ns}	570^{ns}	2258^{ns}	1344.7^{ns}	3367.1^{ns}
L × T	**لاین×تستر**	12	1.28^{ns}	2.00^{**}	1.21^{**}	1.89^{**}	10802^{**}	36461^{**}	3347.3^{**}	9831.8^{**}
L×T×Y	**لاین×تستر×سال**	12	0.09^{ns}	0.58^{**}	0.08^{ns}	0.37^{ns}	3917^{ns}	1742^{ns}	1116.2^{ns}	1463.5^{ns}
Error	**خطا**	76	0.17	0.16	0.09	0.24	6393	5234	2094.6	3156.1
CV%	**ضریب تغییرات**		*7.8*	*3.42*	*9.75*	*7.81*	*4.07*	*2.82*	*4.54*	*3.97*

^{ns}، *، ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** and ns Significant at 5% and 1% probability levels and not significant, respectively

افزایشی ژن‌ها دارد؛ که با گزارش‌های رضائی‌زاد و فرخی (Rezaeezad and Farrokhi, 2004) مشابهت داشت. همچنین با توجه به (جدول ۴) میانگین مربعات لاین × تستر نیز برای صفات ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، پرولین، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، کلروفیل a، کلروفیل b، عملکرد دانه و عملکرد روغن در هر دو شرایط نرمال و تنش معنی‌دار است که معنی‌داری این صفات نشان‌دهنده معنی‌داری قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها برای این صفات است که نشان از اثرات غالبیت ژن‌ها دارد. آبلاردو و همکاران (Abelardo et al., 2006) نیز نتایج مشابهی گزارش نمودند.

در بررسی قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها (جدول ۵) بهترین لاین‌ها در شرایط مطلوب برای صفت ارتفاع بوته و پرولین AGK30 بود که به ترتیب بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار و مثبت و معنی‌دار را به خود اختصاص داد که ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار برای ارتفاع بوته یک صفت اصلاحی مطلوبی تلقی می‌شود و برای تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه AGK2 و برای کلروفیل a و b، رطوبت نسبی و کاتالاز AGK110 و برای سوپراکسید دیسموتاز و عملکرد روغن AGK44که بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار را شرایط نرمال را داشتند.

در بررسی لاین‌ها در شرایط تنش AGK30 برای صفات تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، پرولین، عملکرد روغن و عملکرد دانه بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای صفت ارتفاع بوته بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار را به خود اختصاص داد. همچنین برای صفت رطوبت نسبی و سوپراکسید دیسموتاز لاین AGK44 و برای کاتالاز و کلروفیل a و b لاین AGK110 و برای رطوبت نسبی و سوپراکسید دیسموتاز AGK44 بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار را به خود اختصاص دادند که نشان از اثرات افزایشی ژن‌ها دارد و می‌توان لاین برتر به‌حساب آورد که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج گوری و همکاران (Gouri et al., 2007) مشابهت داشت. فرخی و همکاران (Farrokhi et al., 2008) گزارش مشابهی ارائه کردند. در بررسی تسترها در شرایط مطلوب جدول (۵) برای صفات وزن هزار دانه، رطوبت نسبی، کاتالاز، عملکرد روغن و عملکرد دانه تستر RGKH50 دارای بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار و برای ارتفاع بوته دارای بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری داشت و تستر RGHK25 برای صفات قطر طبق و تعداد دانه در طبق دارای بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری در شرایط نرمال و تنش داشتند. همچنین تستر

RGHK56 برای صفت کلروفیل a و b بیشترین ترکیب-پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری در شرایط نرمال و تنش داشت و برای صفت ارتفاع بوته و پرولین تستر RGHK46 به ترتیب دارای کمترین و بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار در شرایط تنش داشت. تستر RGKH50 برای صفات وزن هزار دانه و کاتالاز دارای بیشترین ترکیب-پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار در شرایط تنش بودند که با نتایج کاراسو (Karasu, 2010) و غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2011) مشابهت داشت. همچنین تسترRGHK56 بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری باصفت رطوبت نسبی و سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش داشت و تستر RGHK25 برای صفات قطر طبق، تعداد دانه در طبق، کلروفیل a و b عملکرد روغن و عملکرد دانه بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی-داری در شرایط تنش داشت (جدول ۶) که نتایج به‌دست‌آمده با گزارش‌های اورتیس و همکاران (Ortis et al., 2005) و موهاناسوندارم (Mohanasundaram, 2010) مشابهت داشت.

جدول ۵. قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها تحت شرایط آبیاری مطلوب)NS) و تنش (S)

Table 5. General combining ability for CMS lines under optimum (NS) and limited irrigation conditions (S)

نرعقیمی سیتوپلاسمی	ارتفاع بوته Plant height (cm)		قطر طبق Head diameter (cm)		تعداد دانه در طبق Seed number/ head		وزن هزار دانه 1000- seed weight (g)	
CMS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
AGK2	-4.48**	-8.48**	1.96**	0.48ns	-132.12**	408.58**	-0.66**	2.70**
AGK30	-9.73**	-26.07**	1.76**	0.07ns	135.47**	-0.92ns	1.18**	-0.92**
AGK44	9.35**	-1.73ns	0.21*	0.68ns	10.05ns	-110.08**	-0.53*	1.49**
AGK110	1.93ns	8.85ns	-0.44**	0.43ns	0.38ns	31.83ns	-0.1ns	-3.22**
AGK260	2.93*	27.43**	0.44**	-1.65ns	-13.78ns	-329.42**	0.11ns	-0.05ns
خطای استاندارد SE (GCA)	2.39	3.33	0.18	0.48	25.69	6.11	0.38	0.34
خطای استاندارد تفاوت ترکیب پذیری دولاین SE(gi-gj)	3.38	4.71	0.26	0.68	36.33	8.64	0.54	0.49

جدول ۵. ادامه

Table 5. Continued

نرعقیمی سیتوپلاسمی	رطوبت نسبی RWC		پرولین Proline		کاتالاز CAT		سوپر اکسید دیسموتاز SOD	
CMS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
	----------%----------				----------Unit per mg protein----------			
AGK2	-0.65ns	-4.65**	-18.78**	-9.20**	-6.12**	-12.71**	-7.60**	0.42ns
AGK30	1.05*	1.88**	14.13**	6.63**	1.64**	3.54**	0.41ns	-1.05**
AGK44	2.32**	-0.88ns	4.38**	2.55**	-015ns	3.46**	20.12**	10.22**
AGK110	0.95ns	2.14**	4.95**	-2.37**	4.65**	8.10**	-7.76**	-4.56**
AGK260	0.32ns	1.50**	5.52**	2.38**	-0.02ns	-2.40**	-5.18**	-5.04**
خطای استاندارد SE (GCA)	1	0.99	1.01	0.78	0.85	1.11	0.47	0.3
خطای استاندارد تفاوت ترکیب پذیری دولاین SE(gi-gj)	1.42	1.40	1.44	1.11	1.20	1.58	0.67	0.42

Table 5. Continued **جدول ۵. ادامه**

نرعقیمی سیتوپلاسمی CMS	کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل b Chlorophyll b		عملکرد دانه Seed yiel		عملکرد روغن Oil yield	
	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
	----------mg/g----------				----------kg/h----------			
AGK2	-0.36**	-0.85**	-0.76**	-0.93**	39.37**	161.80**	-23.25**	73.24**
AGK30	0.04^{ns}	-0.25^{ns}	-0.66**	-0.21**	70.80**	-55.20**	34.78**	-47.01**
AGK44	-0.33**	-0.91**	-0.64**	-0.71**	-32.37*	89.30**	-12.91^{ns}	68.88**
AGK110	0.61**	1.27**	2.04**	1.79**	-5.87^{ns}	-193.20**	-5.82^{ns}	-97.73**
AGK260	0.03^{ns}	0.74**	0.03**	0.06^{ns}	6.80^{ns}	-2.70^{ns}	7.89^{ns}	2.61^{ns}
خطای استاندارد SE (GCA)	0.12	0.11	0.089^{ns}	0.14	23.08	20.88	13.21	16.21
خطای استاندارد تفاوت ترکیب پذیری دولاین SE(gi-gj)	0.17	0.16	0.12	0.2	18.68	22.93	32.64	29.53

ns، *، ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** and ns represent significant at 5% and 1% probability levels and not significant, respectively

جدول ۶. قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی تسترها تحت شرایط آبیاری مطلوب (NS) و تنش (S)

Table 6. General combining ability for restorer lines under optimum (NS) and limited irrigation conditions (S)

لاین های بازگرداننده باروری Restorer	ارتفاع بوته Plant height (cm)		قطر طبق Head diameter (cm)		تعداد دانه در طبق Seed number/ head		وزن هزار دانه 1000- seed weight (g)	
	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
RGHK25	10.43**	-2.25**	1.11**	0.73**	38.45**	145.18**	0.17^{ns}	-0.01^{ns}
RGHK46	6.43**	0.55**	-1.45**	-0.51*	-27.42*	50.78**	-0.45*	-0.32*
RGHK50	9.97**	-7.32**	0.03^{ns}	0.04^{ns}	-15.82^{ns}	-125.42**	0.66**	1.64**
RGHK56	6.90**	9.02**	0.3**	-0.25^{ns}	4.78^{ns}	-70.55**	-0.39*	-1.31**
خطای استاندارد SE (GCA)	2.13	2.98	0.16	0.43	22.98	5.46	0.34	0.31
خطای استاندارد تفاوت ترکیب پذیری دوتستر SE(gi-gj)	3.02	4.21	0.23	0.61	32.50	7.73	0.48	0.44

Table 6. Continued **جدول ۶. ادامه**

لاین های بازگرداننده باروری Restorer	محتوی رطوبت نسبی % RWC		پرولین Proline		کاتالاز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) (CAT)		سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)	
	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
	----------%				----------Unit per mg protein----------			
RGHK25	-0.86^{ns}	-3.82**	-4.10**	-0.53^{ns}	-4.63**	-0.37^{ns}	-4.44**	-2.29**
RGHK46	0.94*	-1.13*	9.37**	-0.20^{ns}	1.29**	-2.56**	-3.72**	-1.06**
RGHK50	-1.65**	3.92**	-3.23**	-0.93*	11.84**	5.52**	1.24**	-0.94**
RGHK56	1.58**	1.03*	-2.03**	1.67**	-8.50**	-2.59**	6.93**	4.29**
خطای استاندارد SE (GCA)	0.9	0.88	0.91	0.7	0.76	1.00	0.42	0.27
خطای استاندارد تفاوت ترکیب پذیری دوتستر SE(gi-gj)	1.27	1.25	1.28	0.99	1.07	1.41	0.6	0.38

جدول ۶. ادامه

Table 6. Continued

لاین های بازگرداننده باروری	کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل b Chlorophyll b		عملکرد دانه Seed yield		عملکرد روغن Oil yield	
Restorer	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
	mg/g				kg/h			
RGHK25	0.28**	0.03**	0.57**	0.3**	10.43ns	-0.5ns	4.88ns	-9.63ns
RGHK46	-0.1ns	-0.99**	-0.74**	-1.05**	-27.03*	-19.30*	-6.23ns	-24.90**
RGHK50	-0.3**	-0.03ns	0.05ns	0.26**	39.63**	98.30**	20.13**	67.44**
RGHK56	0.12*	0.98**	0.13**	0.49**	-23.03*	-78.50**	-18.77**	-32.92**
خطای استاندارد SE (GCA)	0.1	0.1	0.08	0.12	20.64	18.68	11.81	14.50
خطای استاندارد تفاوت ترکیب پذیری دوتستر SE(gi-gj)	0.15	0.14	0.11	0.17	16.71	20.51	29.19	26.41

ns، *، ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** and ns Significant at 5% and 1% probability levels and not significant, respectively

در بررسی هیبریدها (جدول ۷)، در رابطه با صفت ارتفاع بوته هیبرید RGKH56×AGK260 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای قابلیت ترکیب خصوصی منفی و معنی-دار بود که از لاین AGK260 و تستر RGKH56 هردو با قابلیت ترکیب بالا و مثبت و معنی‌دار در شرایط مطلوب حاصل شد درصورتی‌که در شرایط محدود هیبرید RGHK46×AGK260 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای قابلیت ترکیب خصوصی منفی و معنی‌دار بود که از لاین AGK260 و تستر RGKH46 هردو با قابلیت ترکیب پائین و مثبت و معنی‌دار در شرایط محدود حاصل شدند. همچنین بهترین هیبرید برای صفت قطر طبق هیبرید RGHK56×AGK110 با بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK110 با قابلیت ترکیب پائین مثبت و غیر معنی‌دار و تستر RGKH56 با قابلیت ترکیب منفی و غیر معنی‌دار حاصل شد، درصورتی‌که در شرایط محدود هیبرید RGHK25×AGK260 بهترین هیبرید شناخته شد که از لاین AGK260 با قابلیت ترکیب پائین مثبت و معنی‌دار و تستر RGKH25 با قابلیت ترکیب بالا و مثبت و معنی‌دار حاصل شد؛ که می‌توان نتیجه گرفت که یک هیبرید با ترکیب‌پذیری خصوصی خوب می‌تواند از والدینی با قابلیت ترکیب خوب و یا بد حاصل شود. در رابطه با صفت تعداد دانه در طبق هیبرید RGHK50×AGK110 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK110 با ترکیب‌پذیری پائین مثبت و غیر معنی‌دار و تستر RGKH50 با ترکیب بالا و منفی و معنی‌دار در شرایط مطلوب حاصل شد. درصورتی‌که در شرایط محدود هیبرید RGHK56×AGK44 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌داری بود که از لاین AGK44 با قابلیت ترکیب‌پذیری پائین و غیر معنی‌دار و تستر RGHK56 با ترکیب بالا و منفی و معنی‌دار حاصل شد. لازم به ذکر است صفاتی که نسبت واریانس افزایشی در آن‌ها کمتر از یک برآورد شود گویای نقش بیشتر واریانس غالبیت نسبت به واریانس افزایشی است و درواقع می‌توان از روش هیبریداسیون برای به‌نژادی این صفات استفاده کرد. در صفاتی که نسبت واریانس در آن‌ها بیشتر از یک است نقش واریانس SCA به GCA افزایشی نسبت به واریانس غالبیت بیشتر است و می‌بایست از گزینش مستقیم برای اصلاح آن‌ها استفاده گردد؛ که در اکثر صفات موردبررسی در این طرح نقش واریانس غالبیت بیشتر است.

برای صفت وزن هزار دانه هیبرید RGHK25×AGK44 به‌عنوان بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK44 با ترکیب‌پذیری پائین مثبت و معنی‌دار و تستر RGHK25 با قابلیت ترکیب منفی و غیر معنی‌دار حاصل شد درصورتی‌که در شرایط محدود هیبرید RGHK56×AGK44 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای

بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK44 و تستر RGHK56 با ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار حاصل شد. در رابطه با صفت رطوبت نسبی هیبرید RGHK56×AGK2 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK2 با بیشترین ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار و تستر RGHK56 با ترکیب پائین و مثبت و معنی‌دار حاصل شد. درصورتی‌که در شرایط محدود هیبرید RGHK50×AGK30 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK30 با ترکیب پائین و مثبت و معنی‌دار و تستر RGHK50 با ترکیب‌پذیری بالا و منفی و معنی‌دار حاصل شد.

برای صفت پرولین هیبرید RGHK56×AGK30 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK30 و تستر RGHK56 با قابلیت ترکیب بالا و مثبت و معنی‌دار حاصل شد. درصورتی‌که در شرایط محدود هیبرید RGHK46×AGK2 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK2 با بیشترین ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار و تستر RGHK46 با ترکیب بالا و مثبت و معنی‌دار حاصل شد. در رابطه با صفت آنزیم کاتالاز هیبرید RGHK46×AGK260 بهترین هیبرید در شرایط مطلوب و محدود شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK260 و تستر RGHK46 با ترکیب پائین و منفی و معنی‌دار در شرایط مطلوب و از لاین با ترکیب منفی و غیر معنی‌دار و تستر با ترکیب‌پذیری پائین و مثبت و معنی‌دار در شرایط محدود حاصل شد.

جدول ۷. قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی لاین‌ها با تسترها تحت شرایط آبیاری مطلوب (NS) و تنش (S)

Table 7. Specific combining ability of lines by testers under optimum (NS) and limited irrigation conditions (S)

نرعقیمی سیتوپلاسمی CMS	لاین های بازگرداننده باروری Restorer	ارتفاع بوته Plant height (cm)		قطر طبق Head diameter (cm)		تعداد دانه در طبق Seed number/ head		وزن هزار دانه 1000- seed weight (g)	
		S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
AGK2	RGHK25	9.15**	-1.58ns	-1.81**	1.85**	0.05ns	112.15**	1.97**	-2.75**
AGK30	RGHK25	6.48**	5.62ns	-0.26ns	0.99**	-16.75ns	324.55**	-0.56ns	0.30ns
AGK44	RGHK25	-8.12**	-16.48**	2.43**	-2.05**	-22.67ns	-39.25**	0.05ns	3.97**
AGK110	RGHK25	-7.52**	-20.52**	-0.36ns	-1.79**	39.38ns	-97.45**	-1.46**	-1.52**
AGK260	RGHK25	4.40ns	-25.67**	2.59**	0.64ns	103.80**	253.65**	-0.99*	2.37**
AGK2	RGHK46	5.07*	10.87**	-0.63**	0.62ns	-86.33**	-40.95**	0.64ns	-0.72*
AGK30	RGHK46	-11.87**	4.40ns	-1.02**	-1.53**	-29.93ns	-35.08**	-0.81*	-0.31ns
AGK44	RGHK46	2.40ns	10.40**	-0.94**	0.27ns	12.47ns	222.38**	1.17**	-1.33**
AGK110	RGHK46	0.98ns	-24.67**	-1.12**	0.15ns	-89.45**	203.48**	0.53ns	0.66ns
AGK260	RGHK46	-18.02**	-10.47**	0.74**	-4.97**	-14.25ns	-16.45**	-1.05*	-3.33**
AGK2	RGHK50	6.05*	-2.60ns	-1.26**	1.46**	-9.85ns	160.75**	-0.23ns	-0.99**
AGK30	RGHK50	10.98**	37.73**	1.64**	3.36**	113.55**	52.22**	-0.75ns	3.66**
AGK44	RGHK50	-9.60**	21.08**	0.68**	0.2ns	62.22*	-76.77**	-0.32ns	1.73**
AGK110	RGHK50	4.07ns	-13.05**	0.28ns	0.56ns	123.58**	402.63**	-1.29**	1.38**
AGK260	RGHK50	5.47*	-21.52**	-1.65**	-2.12**	201.82**	125.17**	1.76**	-2.55**
AGK2	RGHK56	0.07ns	-13.48**	0.69**	1.36*	-140.45**	-51.03**	-0.16ns	-0.57ns
AGK30	RGHK56	-4.93*	30.83**	-0.33ns	-2.85**	-76.62**	-92.52**	-1.19**	-2.01**
AGK44	RGHK56	2.40ns	7.03*	-0.13ns	1.80**	240.92**	30.22**	2.27**	2.37**
AGK110	RGHK56	8.47**	3.23ns	1.49**	4.23**	-139.35**	188.42**	-0.78*	-0.12ns
AGK260	RGHK56	-5.93*	-41.10**	-1.03**	-3.19**	-24.95ns	-26.12**	-0.3ns	-0.24ns
SE(SCA)	خطای استاندارد	4.78	6.66	0.37	0.96	51.39	12.23	0.76	0.69
SE(gi-gj)	تفاوت ترکیب‌پذیری دو هیبرید	6.76	9.42	0.53	1.37	72.67	17.29	1.08	0.98

Table 7. Continued **جدول ۷. ادامه**

نرعقیمی سیتوپلاسمی CMS	لاین های بازگرداننده باروری Restorer	محتوی رطوبت نسبی RWC (%)		پرولین Proline		کاتالاز (CAT)		سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)	
		S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
		----------%----------				---------- Unit per mg protein ----------			
AGK2	RGHK25	038^{ns}	-1.71^{ns}	-0.15^{ns}	-0.8^{ns}	-3.96**	-13.78**	-29.71**	-16.84**
AGK30	RGHK25	1.44^{ns}	3.53**	-0.95^{ns}	0.87^{ns}	-9.63**	-21.63**	13.54**	10.12**
AGK44	RGHK25	1.02^{ns}	-6.79**	-9.35**	-5.40**	2.92**	6.08**	-22.43**	-13.11**
AGK110	RGHK25	-2.85**	4.98**	10.45**	5.33**	16.51**	29.33**	38.60**	19.83**
AGK260	RGHK25	0.25^{ns}	1.93^{ns}	-33.40**	-17.30**	22.21**	14.70**	37.51**	20.25**
AGK2	RGHK46	-1.21^{ns}	-1.95^{ns}	18.47**	2.70**	-10.69**	-13.60**	-18.40**	-13.40**
AGK30	RGHK46	-1.55^{ns}	4.40**	12.73**	8.77**	12.68**	12.06**	-12.33**	-6.31**
AGK44	RGHK46	2.51*	-4.37**	2.20*	5.83**	-24.20**	-13.16**	-6.78**	-0.53^{ns}
AGK110	RGHK46	-2.37**	3**	7.68**	2.78**	-7.37**	-12.75**	8.45**	2.83**
AGK260	RGHK46	-3.33**	5.48**	-2.78*	3.12**	26.13**	29.77**	-18.55**	-7.39**
AGK2	RGHK50	0.62^{ns}	-1.14^{ns}	2.15*	0.52^{ns}	-1^{ns}	9.48**	-2.52**	-2.21**
AGK30	RGHK50	5.08**	-7.34**	-7.05**	-6.42**	-17.76**	-26.50**	12.62**	6.77**
AGK44	RGHK50	1.66^{ns}	-1.56^{ns}	10.02**	5.70**	-6.13**	-1.89^{ns}	-29.92**	-14.05**
AGK110	RGHK50	1.94^{ns}	-2.46*	-15.12**	-6.30**	17.90**	2.39*	8.90**	3.45**
AGK260	RGHK50	-0.41^{ns}	-2.38*	-11.85**	-5.90**	-21.80**	-9.22**	39.18**	20.43**
AGK2	RGHK56	-3.19**	6.40**	16.95**	6.50**	10.03**	8.72**	-18.16**	-9.82**
AGK30	RGHK56	0.08^{ns}	-1.65^{ns}	15.85**	9.62**	-4.75**	13.72**	13.66**	7.81**
AGK44	RGHK56	1.15^{ns}	-4.456**	0.38^{ns}	-0.38^{ns}	-23.71**	3.06*	14.51**	7.22**
AGK110	RGHK56	0.31^{ns}	5.92**	6.32**	2.02*	13.03**	-18.40**	-1.89**	1.21**
AGK260	RGHK56	-1.54^{ns}	0.33^{ns}	-22.55**	-11.25**	15.42**	1.62^{ns}	-26.29**	-16.25**
SE(SCA)	خطای استاندارد	2.01	1.98	2.03	1.57	1.7	2.23	0.95	0.6
SE(gi-gj)	تفاوت ترکیب‌پذیری دو هیبرید	2.84	2.81	2.88	2.22	2.40	3.16	1.34	0.85

Table 7. Continued **جدول ۷. ادامه**

نرعقیمی سیتوپلاسمی CMS	لاین های بازگرداننده باروری Restorer	کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل b Chlorophyll b		عملکرد دانه Seed yield		عملکرد روغن Oil yield	
		S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
		----------mg/g----------				----------kg/ha----------			
AGK2	RGHK25	1.49**	0.36**	0.40**	0.04^{ns}	118.57**	-165**	64.13**	-83.33**
AGK30	RGHK25	-1.03**	-0.39**	0.11^{ns}	0.16^{ns}	-33.97^{ns}	17.80^{ns}	-10.67^{ns}	21.35^{ns}
AGK44	RGHK25	-0.59**	-0.77**	-0.42**	-0.70**	-3.37^{ns}	238.20**	10.25^{ns}	103.89**
AGK110	RGHK25	0.13^{ns}	0.80**	0.7**	0.49**	-87.97**	-91**	-63.71**	-41.91^{ns}
AGK260	RGHK25	-0.51**	0.34**	-1.02**	-0.37**	-59.60*	142**	-30.93**	82.07**
AGK2	RGHK46	-0.42**	-1.25**	-0.12^{ns}	-1.73**	37.87^{ns}	-43.20*	34.98**	-25.81^{ns}
AGK30	RGHK46	0.91**	0.75**	0.51**	1.86**	-48.80*	-18.80^{ns}	-35.90**	-26.50^{ns}
AGK44	RGHK46	0.02^{ns}	0.16**	0.64**	0.23^{ns}	70.53**	-80**	31.85**	-29.76^{ns}
AGK110	RGHK46	-0.37**	-0.88**	-0.64**	-0.77**	31.53^{ns}	39.50^{ns}	17.12^{ns}	10.07^{ns}
AGK260	RGHK46	1**	1.67**	0.74**	1.58**	-62.97*	-199.70**	-43.59**	-112.44**
AGK2	RGHK50	-1.1**	-0.97**	0.12^{ns}	-1.01**	-13.63^{ns}	-59.30**	6.37^{ns}	1.89^{ns}
AGK30	RGHK50	0.47**	0.18^{ns}	-0.22**	0.19^{ns}	45.03^{ns}	291.50**	-20.09^{ns}	100.48**
AGK44	RGHK50	-1.08**	-1.34**	1.60**	0.16^{ns}	-18.93^{ns}	104**	-19.10^{ns}	69.88**
AGK110	RGHK50	0.76**	-0.08^{ns}	-0.53**	-0.03^{ns}	-77.47**	82.80**	-39.87**	13.98^{ns}
AGK260	RGHK50	0.31*	1.50**	0.44**	0.81**	105.87**	-152.80**	57.32**	-45.82**
AGK2	RGHK56	0.01^{ns}	-0.08^{ns}	-1.52**	-0.94**	-9.47^{ns}	-34^{ns}	1.64^{ns}	-38.04^{ns}
AGK30	RGHK56	0.47**	1.52**	0.46**	0.93**	-71.60**	-120.50**	-31.22**	-78.68**
AGK44	RGHK56	-0.31*	0.05^{ns}	-0.20*	0.01^{ns}	136.53**	142.30**	59.15**	102.93**
AGK110	RGHK56	0.47**	-0.51**	-0.65**	-0.96**	-46.80*	-7.30^{ns}	-38.05**	-33.47^{ns}
AGK260	RGHK56	-0.63**	-1.06**	0.40**	0.02^{ns}	-18.13^{ns}	-14.50^{ns}	10.12^{ns}	9.23^{ns}
SE(SCA)	خطای استاندارد	0.24	0.23	0.17	0.28	46.16	41.77	26.42	43.32
SE(gi-gj)	تفاوت ترکیب‌پذیری دو هیبرید	0.34	0.33	0.25	0.40	65.28	59.07	37.36	45.87

ns، *، ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** and ns represent significant at 5% and 1% probability levels and not significant, respectively

برای صفت سوپراکسید دیسموتاز هیبرید RGHK56×AGK260 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK260 با بیشترین ترکیب‌پذیری بالا و منفی و معنی‌دار و تستر RGHK56 با ترکیب بالا و مثبت و معنی‌دار حاصل شد درصورتی‌که در شرایط محدود هیبرید RGHK50×AGK260 بهترین هیبرید شناخته شد که از لاین AGK260 با ترکیب پائین و منفی و معنی‌دار و تستر RGHK50 با ترکیب پائین و مثبت و معنی‌دار حاصل شد. در رابطه با صفت کلروفیل a و کلروفیل b هیبرید RGHK46×AGK260 بهترین هیبرید هم در شرایط مطلوب و هم در شرایط محدود شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK260 با ترکیب‌پذیری پائین و مثبت و معنی-دار و تستر RGHK46 با ترکیب منفی و معنی‌دار حاصل شد و در شرایط محدود از لاین با ترکیب‌پذیری پائین و مثبت و غیر معنی‌دار و تستر با ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار برای صفت کلروفیل a حاصل شد و برای صفت کلروفیل b در شرایط مطلوب از لاین AGK260 با ترکیب‌پذیری پائین و مثبت و غیر معنی‌دار و تستر RGHK46 با ترکیب منفی و معنی‌دار حاصل شد. در بررسی صفت کلروفیل b در شرایط محدود از لاین AGK260 با ترکیب‌پذیری پائین و مثبت و معنی‌دار و تستر RGHK46 با ترکیب منفی و معنی‌دار حاصل شد؛ که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج برخی محققین دیگر (Skoric et al., 2009; Tan, 2010) مشابه بود. همچنین برای صفت عملکرد روغن هیبرید RGHK25×AGK44 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK44 با بیشترین ترکیب‌پذیری بالا و مثبت و معنی‌دار و تستر RGHK25 با ترکیب پائین و منفی و غیر معنی‌دار حاصل شد درصورتی‌که تحت شرایط محدود هیبرید RGHK25×AGK2 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK2 با بیشترین ترکیب‌پذیری بالا و منفی و معنی‌دار و تستر RGHK25 با ترکیب پائین و مثبت و غیر معنی‌دار حاصل شد. در رابطه با صفت عملکرد دانه هیبرید RGHK50×AGK30 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK30 با بیشترین ترکیب‌پذیری پائین و منفی و معنی‌دار و تستر RGHK50 با ترکیب بالا و مثبت و معنی‌دار حاصل شد درصورتی‌که در شرایط محدود هیبرید RGHK56×AGK44 بهترین هیبرید شناخته شد که دارای بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود که از لاین AGK44 با بیشترین ترکیب‌پذیری پائین و منفی و معنی‌دار و تستر RGHK56 با ترکیب پائین و منفی و معنی‌دار حاصل شد؛ که حاکی از اثرات غیر افزایشی ژن‌ها یا همان اثرات غالبیت دارد که آسیش و همکاران (Asish et al., 2009) نیز گزارش‌های مشابهی را داشتند.

نتیجه‌گیری کلی

در بررسی لاین‌ها به لحاظ قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی تحت شرایط مطلوب و محدود درمجموع لاین‌های AGK30 و AGK44 بهترین لاین بودند. در بررسی تسترها به لحاظ قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی درمجموع تسترهای RGHK25 و RGHK50 بهترین تسترها بودند. در بررسی قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی برای صفت عملکرد، هیبرید (RGHK56×A44) بهترین هیبرید در شرایط مطلوب و محدود محسوب شد که هیبریدهای موردبررسی برای اولین بار موردبررسی قرار گرفتند و از بین آن‌ها هیبرید مقاوم و دارای عملکرد مطلوب در شرایط مطلوب و محدود مورد گزینش قرار گرفت.

منابع

Aliari, H. 2000. Oilseeds, Agronomy and Physiology. Ami-Publication, Iran. 182p. [In Persian]

Andarkhor, S.A., Mastibege, N., Valiollah, R., Tabarbandmiri, R.A., 2014. Study of combining ability and heterosis of

Abelardo, J., Vega, D.L., Chapman Scott, C., 2006. Multivariate analysis of display interaction between environment and general or specific combining ability in hybrid crops. Crop Science. 46, 957-967.

phenological, morphological and seedlings characteristics of modified sunflower lines in summer planting through line analysis in tester. Agricultural Crop Improvement Research. 6(13), 1-17.

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.

Ashok, S., Mohamed Shariff, N., Narayanan, S.L., 2000. Combining ability studies in sunflower. Crop Research. 20, 457-462.

Asish, K., Manivannan, N., Vindhya Varman, P., 2009. Line vs tester analysis for seed and oil yield in sunflower. Madras Agricultural Journal. 96, 283-285.

Bates, L., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Beauchamp, C.O., Fridovich, I., 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Anal. Biochem. 44, 276–287.

Farrokhi, E., 2002.Possibility of general combining and gene effects in new lines Reproduction in sunflower. To breed seed and seedlings. 18, 486-470.

Farrokhi, E., Khodabandeh, A., Ghaffari, B., 2008. Studies on general and specific combining abilities in sunflower. pp. 30-38. In: Catrin, H.D. (ed.), Proceeding of the 17th International Sunflower Conference, Cordoba, Spain.

Fick, G.N., 1975. Heritability of oil content in sunflower, Crop Science, 15, 77-78.

Gangappa, E., Channakrishnajaah, K.M., Harini, M.S., Ramesh, S., 1997. Studies on combining ability in sunflower. Helia. 20(27), 73-84.

Gangappa, E., Channakrishnajiah, K. M., Thakur, C., Ramesh, S., 1997. Genetic architecture of yield and its attributes in sunflower. Helia. 20, 85-94.

Ghaffari, M., Farrokhi, I., Mirzapour, M., 2011. Combining ability and gene action for agronomic traits and oil content in sunflower using F1 hybrids. Crop Breeding. 10, 55-65. [In Persian with English Summary].

Ghaffari, M., 2006. A guide to sunflower growth. Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azarbaijan. 4p. [In Persian].

Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., Dagustu, N., 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crop Research. 87, 167-178

Gouri Shankar, V., Ganesh, M., Ranganatha, A.R.G., Suman, A., Sridhar, V., 2007. Combining ability studies in diverse cms sources in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Indian Journal of Agricultural Research. 41, 171-176.

Gvozdenovic, S., Joksimovic, J., Skoric, D., 2005. Gene effect and combining abilities for plant height and head diameter in sunflower. Genetika. 37, 57-64.

Hassan, S.W., 2001. Hertability estimates, genetic correlations and predicted grains forms families in two random mated sunflower populations. Ph.D. Thesis, Department of Botany, Faculty of Science, Univ of the Punjab, Lahove, Pakistan. pp. 101-112

Karasu. A., Sincik, M., Goksoy, A.T., Turan, Z.M., 2010. Combining ability and heterosis for yield and yield components in sunflower. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca. 38, 259-264.

Kempthorne, O., 1957. An Introduction to Genetic Statistics. John Wiley and Sons, New York.

Khademhamze, H.R., Karimi, M., Rezai, M.A., Ahmadi, M., 2004. Effect of plant density and planting date on agronomic characteristics, yield and yield components of soybean. Iranian Agricultural Sciences. 35(2), 367-357 [In Persian with English Summary].

Khan, H., Rahman, H.U., Ahmad, H., Ali, H., Inamullah, H.A., Alam, M., 2008. Magnitude of combining ability of sunflower genotypes in different environments. Pakistan Journal of Botany. 40, 151-160.

Luhova, L., Lebeda, D., Hedererova, D., Pee, P., 2007. Activities of amine, oxidase, POXand CAT in seedlings of pea. Plant, Soil and Environment. 49, 151–157

Mihaljevic, M., 1988. Combining ability and hetrosis in *Helianthus annuus* (wild). Proceedings of the 12th International Sunflower Conference Noisad, Yugoslavia. 963-968 pp.

Mijic A., Kozumplik V., Liovic I., Krizmanic, M., Duvnjak, T., Maric, S., Horvat, D., Silic, G., Gunjaca, J., 2008. Combining abilities and gene effects on sunflower grain yield, oil content and oil yield. Periodicum Biologorum. 110, 277-284.

Mohanasundaram, K., Manivannan, N., Vindhiya Varman, P., 2010. Combining ability analysis for seed yield and its components in sunflower. Journal of Plant Breeding. 1, 846-868.

Orthegon-Morales, A.S., Escobedo-Mendoza, A., Villarreal, L.Q., 1992. Combining ability of sunflower lines and comparison among parent lines and hybrids. pp. 1178-1193. Proceedings of the 13th International Sunflower Conference, Italy.

Ortis, L., Nestares, G., Frutos, E., Machado, N., 2005. Combining ability analysis for agronomic traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Helia. 28, 125-134.

Putt, E.D., 1996. Heterosis, combining ability and predicted synthetics from a diallel cross in sunflower. Canadian Journal of Plant Sciences, 46, 59-67.

Rao, S.V.C.K., Saran, G., 1991. Respond of sunflower cultivars to planting density and nutrient application. Indian Journal of Agronomy. 36, 95- 98.

Tan, A.S. 2010. The studies on the determination of the combining ability of inbred lines for hybrid breeding by using line × tester analysis in sunflower. p. 41-46. In: Martin, F.L., (ed.), 8th European Sunflower Biotechnology Conference. 28 Feb-4 March, Turkey.

Tygi, A.P. 1988. Combining ability analysis for yield component and maturity traits in sunflower. pp. 489 – 493. Proceedings of 12th International Sunflower Conference. Novisad, Yoguslavia.