تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد سوم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ص ۳۷۳-۳۵۹

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی بر پارامترهای ژنتیکی عملکرد و برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

محمد عابدینی اسفهلانی[1*]، رضا فتوت[2]

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* مسئول مکاتبه: M.abedini@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.319815.1167**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر پارامترهای ژنتیکی عملکرد و برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی آفتابگردان، هیبریدهای حاصل از تلاقی هشت لاین بازگردان باروری با سه لاین نرعقیم در دو شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه لاین × تستر نشان داد که در شرایط نرمال اثر لاین‌ها و تسترها از نظر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. در شرایط تنش اثر لاین در مورد صفات شاخص کلروفیل، سرعت رشد اولیه و ارتفاع بوته و اثر تستر از لحاظ صفات سرعت رشد اولیه، قطر ساقه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه معنی‌دار شد. اثر متقابل لاین × تستر فقط در مورد صفت عملکرد دانه در شرایط نرمال معنی‌دار گردید. برآورد اثرات ترکیب‌پذیری عمومی صفات نشان داد که لاین‌های C122 و C123 و تستر A19 در هر دو شرایط دارای بیشترین مقدار مثبت ترکیب‌پذیری عمومی از لحاظ عملکرد دانه بودند و به عنوان والدین مطلوب برای تولید هیبریدهای مناسب در برنامه‌های اصلاحی قابل استفاده می‌باشند. برآورد هتروزیس صفات مورد بررسی نشان داد که بیشترین میزان هتروزیس عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش به ترتیب به میزان ۱۲۶/۶ و ۱۲۳/۹ درصد مربوط به هیبرید A112×C41 بود. از بین صفات مورد بررسی در شرایط نرمال دو صفت قطر ساقه و قطر طبق و در شرایط تنش علاوه بر این دو صفت، صفات سرعت رشد اولیه و ارتفاع بوته هم همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند.

واژه‌های کلیدی: اثر ژن، ترکیب‌پذیری، وراثت‌پذیری، هتروزیس، هیبرید

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی در جهان است که با داشتن پتانسیل سازگاری بالا در شرایط مختلف محیطی ازجمله کم‌آبی و تولید روغن با کیفیت عالی می‌تواند بخشی از نیاز شدید ایران به روغن‌های خوراکی را تأمین کند (Nezami *et al.*, 2008).

عملکرد گیاهان زراعی از جمله آفتابگردان تحت تأثیر شرایط محیطی، خصوصیات ژنتیکی گیاه و مدیریت مزرعه قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین مدیریت‌های مزرعه برای دستیابی به شرایط مطلوب رشد، تأمین آب کافی برای گیاه است تا گیاه در مراحل حساس رشد دچار تنش رطوبتی نگردد (Stone *et al.*, 2001). آب، محیط مناسبی برای فعالیت‌های بیوشیمیایی و حرکت مواد آلی و معدنی را در گیاه فراهم می‌نماید و با ایجاد آماس و تورم در سلول‌های گیاهی موجب بزرگ‌تر شدن آن‌ها و نهایتاً باعث رشد و تولید محصول می‌گردد (Blum, 2010).

آزمایش‌های به‌نژادی در زمینه افزایش عملکرد در شرایطی که محدودیت آب وجود دارد به کندی پیش می‌رود، علت آن تغییرات سال به سال میزان بارش و پراکنش فصلی آن در مناطق خشک است. به همین دلیل به نظر می‌رسد که مطالعات به‌نژادی باید بر روی صفات خاص فنولوژیکی، مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و یا مولکولی که اثر آن در افزایش عملکرد در مناطق کم آب محرز شده صورت گیرد (Kafi *et al.*, 2009).

در رابطه با تنش خشکی در آفتابگردان سه مرحله مهم پیدایش و تشکیل طبق، گرده‌افشانی و مرحله پر شدن دانه بایستی مدنظر قرار گیرند. تنش در مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها سهم عمده‌ای از کاهش عملکرد دانه آفتابگردان را باعث می‌شود (Göksoy *et al.*, 2004). بروز تنش خشکی طی مرحله

گلدهی باعث خشک شدن دانه‌های گرده و کلاله مادگی و اختلال در گرده‌افشانی توسط حشرات و عدم جوانه‌زنی دانه‌های گرده بر روی کلاله می‌شود (Roshdi *et al.*, 2006).

صفت شاخص کلروفیل در آفتابگردان در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Seyed sharifi and Seyed sharifi, 2019) و ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی آفتابگردان نسبت به ارقام حساس از شاخص کلروفیل بالاتری برخوردارند (Ghaffari *et al.*, 2012). کاهش در میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه رنگیزه کلروفیل می‌شوند. در شرایط محدودیت آبی، گیاه در طی روز با بسته نگه داشتن روزنه‌ها، سعی در حفظ محتوی آب نسبی خود دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و در این وضعیت الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، موجب تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشاء سلولی از طریق پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوی کلروفیل گیاه می‌گردد (Brevedan and Egli, 2003).

ارتفاع بوته که نشانه‌ای از میزان رشد رویشی است به‌طور قابل توجهی در اثر تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد (Pekcan *et al.*, 2016). کاهش در رشد رویشی منجر به کاهش سطح برگ و میزان فتوسنتز می‌گردد. در این صورت، به دلیل کاهش معنی‌دار تعداد دانه و وزن آن‌ها، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Gomez-Sanchez *et al.*, 1998).

قطر ساقه از جمله صفاتی است که با عملکرد تحت شرایط تنش خشکی همبستگی بالایی دارد. قطر بیشتر ساقه، امکان تشکیل بیوماس بیشتر را تا زمان گل‌دهی به وجود می‌آورد. با افزایش بیوماس در شرایط تنش، امکان نقل و انتقال سریع‌تر و مؤثرتر مواد فتوسنتزی در حال تولید و یا ذخیره شده به دانه‌ها فراهم شده و در نهایت عملکرد دانه‌ی بیشتری حاصل می‌شود (Azarinasrabad *et al.*, 2021).

تنش خشکی در بین صفات زراعی آفتابگردان بیشترین تأثیر را بر قطر طبق دارد (Pekcan *et al.*, 2016). در پژوهشی، با در نظر گرفتن سه مرحله ظهور جوانه گل، آغاز و پایان گلدهی به عنوان مراحل بحرانی و انجام آبیاری در یک، دو یا هر سه مرحله، نتیجه‌گیری شده که عدم آبیاری در زمان آغاز گل‌دهی سبب کاهش معنی‌داری در قطر طبق می‌شود و علت حساسیت این صفت به تنش در مرحله‌ی گلدهی، به رشد تدریجی گل‌های سطح طبق در طی این دوره مرتبط بوده است (D'Andria *et al.*, 1995).

ارقام هیبرید در آفتابگردان به دلیل یکنواختی در صفات زراعی مثل رسیدگی و ارتفاع بوته، عملکرد بالا ناشی از پدیده هتروزیس کافی و مقاومت به خوابیدگی، آفات و بیماری‌ها از محبوبیت بالایی برخوردار هستند (Rezaeizad and Siahbidi, 2015). یافتن والدین مناسب برای تولید ارقام هیبرید در شرایط تنش خشکی از اهمیت بالایی برخوردار است. برای شناسایی والدین مناسب، ابتدا باید جمعیتی از لاین‌های اینبرد با قابلیت ترکیب عمومی بالا تولید شده، سپس برای شناسایی لاین‌های اینبرد دارای قابلیت ترکیب خصوصی بالا برای صفات مهم زراعی اقدام گردد (Rezaeizad *et al.*, 2018). در واقع برآورد قابلیت ترکیب لاین‌های اینبرد جدید از لحاظ صفات زراعی مهم، پیش‌شرط اصلاح هیبریدهای امیدبخش جدید است. در تحقیقی، تجزیه داده‌های حاصل از ارزیابی نتاج حاصل از تلاقی ۲۰ لاین اینبرد نرعقیم سیتوپلاسمی آفتابگردان با چهار تستر، نشان داد که درصد روغن، ارتفاع گیاه و وزن هزار دانه، بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی متناسب با لاین‌های اینبرد نرعقیم و تسترها را داشتند و نشان‌دهنده برتری اجزای افزایشی برای این صفات بود (Ortis *et al.*, 2005). درصورتی‌که در پژوهش دیگری واریانس ناشی از ترکیب‌پذیری خصوصی برای عملکرد دانه، تعداد دانه در طبق و ارتفاع گیاه بسیار معنی‌دار بوده و بیانگر تأثیر ژن‌های با اثرات غالبیت در این صفات بود؛ و برای قطر طبق و وزن هزار دانه واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی معنی‌دار نبود و بیشتر واریانس ژنتیکی در این صفات ناشی از اثرات اپیستازی بود (Göksoy and Turan, 2005). در تحقیق دیگر در شرایط مزرعه‌ای و گلدانی، عمل غیر افزایشی را برای ژن‌های کنترل‌کننده صفت محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش گزارش کرده و وراثت‌پذیری عمومی این صفت در شرایط نرمال و تنش خشکی به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۶۵ برآورده شد (Rauf *et al.*, 2009). در بررسی ژنتیک صفات فیزیولوژیک آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش خشکی ملایم و شدید، مشخص شده که در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم، صفات دمای برگ، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و مقدار پرولین توسط ژن‌های افزایشی کنترل می‌شوند و در شرایط تنش

شدید، دمای برگ و مقدار پرولین توسط اثرات افزایشی و شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ به‌وسیله هر دو اثر افزایشی و غالبیت کنترل می‌شود (Pourmohammad *et al.*, 2014). همچنین در بررسی صفات مختلف فیزیولوژیکی در شرایط نرمال و تنش در آزمایش گلدانی، مشخص شده که سطح برگ، دمای برگ، فلورسانس کلروفیل و شاخص کلروفیل به‌عنوان صفات فیزیولوژیک کارآمد جهت انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی قابل استفاده می‌باشند (Ghaffari *et al.*, 2012).

با توجه به اینکه زمینه ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی تأثیر قابل توجهی بر برآورد پارامترهای ژنتیکی صفات دارد؛ این پژوهش به‌منظور بررسی پارامترهای ژنتیکی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد دانه آفتابگردان در دو شرایط نرمال و تنش آبی و با استفاده از لاین‌های جدید انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بسطام واقع در ۳ کیلومتری شهرستان شاهرود (۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی، ۵۴ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۱۳۶۶ متر ارتفاع از سطح دریا) انجام شد. بر اساس آمار بلندمدت هواشناسی میانگین حداقل، متوسط و حداکثر دمای سالانه به ترتیب ۸/۷، ۱۴/۷ و ۲۰/۶ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه بلندمدت در این منطقه ۱۵۲ میلی‌متر بود. این ایستگاه در پهنه‌بندی اقلیمی جزو اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود. خاک اراضی این ایستگاه جزو خاک‌های لومی، دارای pH برابر ۷/۹ و EC برابر ۱/۴ دسی زیمنس بر متر است. در سال ۱۳۹۲، تعداد ۲۰ لاین اینبرد آفتابگردان دریافتی از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس عملکرد، اجزای عملکرد و نیز برخی صفات فیزیولوژیک، هشت لاین (جدول ۱) که از لحاظ تحمل تنش خشکی واکنش متفاوتی (حساس تا متحمل) را نشان دادند به‌منظور دورگ‌گیری‌های بعدی انتخاب شدند. در سال ۱۳۹۳ دورگ‌گیری بین هشت لاین انتخابی با سه لاین نرعقیم (CMS) به صورت طرح تلاقی لاین × تستر انجام شد. در سال بعد، ۲۴ دورگ حاصله از تلاقی به همراه ۱۱ والد و هیبرید برزگر به‌عنوان شاهد در آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. فاکتور آبیاری در کرت‌های اصلی در دو سطح نرمال (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش (قطع آبیاری از مرحله ستاره‌ای شدن) و ۳۶ ژنوتیپ آفتابگردان در کرت‌های فرعی قرار داشتند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح، تهیه جوی و پشته انجام و تغذیه بر اساس نتایج آزمون خاک اعمال شد. کودهای سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، یک‌سوم قبل از کاشت، بقیه طی دو تقسیط (۸-۶ برگی و قبل از مرحله ستاره‌ای) به صورت سرک مصرف شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به طول پنج متر، فاصله ردیف‌ها از هم ۶۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته بر روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۲۰ خرداد بود. برآورد نیاز آبی با توجه به پارامترهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار OPTIWAT مبتنی بر روش پنمن مانتیث فائو انجام و اندازه‌گیری مقدار آب آبیاری با استفاده از کنتور حجمی انجام شد (Alizadeh and Kamali, 2008). روش آبیاری در این تحقیق، آبیاری قطره‌ای سطحی به فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی ۱/۶ لیتر در ساعت بوده و آبیاری هر سه روز یک بار با توجه به مقدار برآورد شده انجام گردید. حجم آب مصرفی برای تیمار نرمال و تنش به ترتیب ۶۴۲۰ و ۳۴۳۵ مترمکعب در هکتار بود. در طی آزمایش دو صفت فیزیولوژیک شاخص کلروفیل و سرعت رشد اولیه (EGR[1])، سه صفت مورفولوژیک ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها از هر کرت آزمایشی از دو خط میانی با حذف دو بوته از ابتدا و انتهای هر خط انجام شد. شاخص کلروفیل با استفاده از کلروفیل‌متر (SPAD-502, Minolta, Japan) بر روی پنج برگ بالایی توسعه‌یافته در پایان گلدهی اندازه‌گیری و میانگین قرائت شد. به‌منظور تعیین سرعت رشد اولیه، ارتفاع پنج بوته در هر کرت، دو و چهار هفته بعد از کاشت اندازه‌گیری شد. اختلاف ارتفاع در این مقطع زمانی نمودی از سرعت رشد اولیه است. سرعت رشد اولیه از رابطه ۱ به دست آمد (Veisi-Mal-Amiri *et al.*, 2009):

1. Early Growth Rate

$$EGR = \frac{(H_2 - H_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (۱)$$

در این رابطه، H_1 و H_2 به ترتیب اندازه ارتفاع بوته در نوبت‌های اول و دوم، t_1 و t_2 زمان اندازه‌گیری ارتفاع بوته بود. قطر ساقه در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک با استفاده از کولیس و ارتفاع بوته از سطح خاک (محل طوقه) تا انتهای ساقه (زیر طبق) بر روی پنج بوته تصادفی در هر کرت اندازه‌گیری و میانگین آن ثبت شد. در زمان رسیدگی، قطر پنج طبق در هر کرت به‌صورت تصادفی توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد دانه، بعد از رسیدگی فیزیولوژیک و تغییر رنگ (قهوه‌ای شدن) براکته‌ها، عملیات برداشت از دو خط وسط با حذف بوته‌های ابتدایی و انتهایی انجام گرفت. برداشت در دهه آخر مهرماه انجام شد. پس از خشک شدن، دانه‌ها از طبق جدا و توزین گردید. عملکرد دانه با توجه به مشخص بودن تراکم گیاهی برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. تجزیه لاین × تستر بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت (Kempthorne, 1957). برآورد درصد هتروزیس صفات نسبت به میانگین والدین (MPH[1]) با استفاده از رابطه ۲ انجام شد (Darvishzadeh, 2012):

$$MPH(\%) = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100 \quad (۲)$$

در رابطه ۲، F_1 و MP به ترتیب میانگین صفت در هیبرید مورد نظر و میانگین والدین آن هیبرید بود. در انجام تجزیه‌های آماری از نرم‌افزارهای EXCEL، SPSS و R استفاده شد.

جدول ۱- عملکرد دانه و کاهش عملکرد دانه لاین‌های آفتابگردان در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی در سال ۱۳۹۲

Table 1- Grain yield and grain yield decrease of sunflower lines under non stress and water stress conditions in 2013

ردیف No.	کد لاین Line Code	عملکرد دانه Grain yield ($kgha^{-1}$)		کاهش عملکرد دانه Grain yield decrease (%)
		عدم تنش Non stress	تنش Stress	
1	R217	2816	1309	54
2	C41	516	256	50
3	C111	2147	1335	38
4	C122	1493	978	34
5	C123	1736	224	87
6	C148	2371	1143	52
7	LR32	1706	579	66
8	LR59	1391	866	38

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده ۳۶ ژنوتیپ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (جدول ۲) نشان داد که اثر تنش آبی روی صفات شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، قطر طبق و عملکرد دانه معنی‌دار بود ولی اثر تنش بر دو صفت سرعت رشد اولیه و قطر ساقه معنی‌دار نشد. معنی‌دار نشدن اثر تنش روی سرعت رشد اولیه منطقی به نظر می‌رسد چرا که سرعت رشد اولیه قبل از اعمال تنش اندازه‌گیری شده بود. اثر ژنوتیپ‌ها در تمام صفات و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش × ژنوتیپ برای صفات شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته و عملکرد دانه معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر متقابل به این مفهوم است که صفت مذکور تحت تأثیر تنش آبی قرار گرفته ولی میزان تأثیر تنش بر ژنوتیپ‌ها یکسان نبوده است. این یافته با نتایج پژوهشگران دیگر مطابقت داشت (Alavi *et al.*, 2014; Arefi *et al.*, 2015).

به منظور بررسی اثر تنش بر پارامترهای ژنتیکی صفات مورد بررسی، تجزیه لاین × تستر برای دو سطح تنش به‌صورت جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد (جدول ۳). در تجزیه لاین × تستر، اثر لاین‌ها و تسترها در شرایط نرمال از نظر همه صفات به‌جز قطر ساقه معنی‌دار شد. در شرایط تنش اثر لاین در مورد صفات شاخص کلروفیل، سرعت رشد اولیه و ارتفاع بوته و اثر تستر از لحاظ صفات سرعت رشد اولیه، قطر ساقه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه معنی‌دار شد. معنی‌دار بودن اثر لاین‌ها و تسترها در مورد این صفات نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین ترکیب‌پذیری عمومی آن‌ها و وجود اثر افزایشی ژن‌ها است. اثر متقابل لاین × تستر فقط در شرایط نرمال و در مورد صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود؛ که بیانگر نقش اثر غالبیت ژن‌ها در تبیین این صفت است.

1. Mid-Parent Heterosis

جدول ۲- تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی
Table 2- Analysis of variance of sunflower genotypes under normal and water stress conditions

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares					
		شاخص کلروفیل Chlorophyll content	سرعت رشد اولیه Early growth rate	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	قطر طبق Head diameter	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	9.53	15.50	3512.75	15.78	55.00	6833074
تنش Stress (A)	1	941.67*	11.34	109606.65**	223.26	1076.91**	330328999**
خطای a Error a	2	11.28	1.71	672.85	21.24	9.08	1797351
ژنوتیپ Genotypes (B)	35	51.42**	2.39**	2977.78**	13.66**	3.97**	2123427**
تنش × ژنوتیپ A × B	35	4.45**	0.06	326.45**	1.62	1.65	630046**
خطای b Error b	140	2.43	0.07	145.23	2.13	1.46	179770
ضریب تغییرات CV (%)		3.99	10.58	7.86	7.52	8.78	17.10

* و**: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

* and **: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

در مورد صفت شاخص کلروفیل، در شرایط آبیاری کامل هر دو میانگین مربعات لاین و تستر معنی‌دار بود (جدول ۳) ولی در شرایط تنش فقط میانگین مربعات لاین معنی‌دار بود و اثر لاین × تستر در هیچ کدام از شرایط معنی‌دار نبود. لذا می‌توان نتیجه گرفت که اثرات افزایشی در کنترل این صفت نقش مهمی دارند. وراثت‌پذیری عمومی این صفت در دو شرایط نرمال و تنش به ترتیب ۷۸/۸ و ۵۹/۹ درصد محاسبه شد. بر اساس تحقیقی اثرات افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفت در شرایط نرمال و تنش آبی نقش داشته (Pourmohammad *et al.*, 2014) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. نقش بیشتر اثرات افزایشی ژن‌ها در کنترل صفت شاخص کلروفیل در گیاه نخودفرنگی نیز گزارش شده است (Hobbs and Mahon, 1985)

معنی‌دار بودن میانگین مربعات لاین و تستر در هر دو شرایط از نظر صفت سرعت رشد اولیه (جدول ۳) نیز بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها و نقش تعیین‌کننده اثرات افزایشی در کنترل این صفت است. معنی‌دار نبودن اثر متقابل لاین × تستر بیانگر این است که اثرات غیر افزایشی در کنترل این صفت نقش بارزی ندارند. وراثت‌پذیری عمومی در دو شرایط عدم تنش و تنش به ترتیب ۷۰/۱ و ۷۹/۱ برآورد شد.

از لحاظ صفت ارتفاع بوته، میانگین مربعات لاین و تستر در هر دو شرایط نرمال و تنش معنی‌دار بود (جدول ۳) و این گویای نقش واریانس افزایشی در کنترل این صفت است. وراثت‌پذیری خصوصی این صفت در دو شرایط نرمال و تنش به ترتیب ۸۲/۹ و ۷۰/۸ برآورد گردید. محققان دیگر نیز اثر افزایشی را به‌عنوان اثر اصلی کنترل‌کننده ارتفاع بوته در شرایط آبیاری نرمال گزارش کردند (Rezaizad *et al.*, 2018; Zohdi Aghdam *et al.*, 2019). البته گزارش مبنی بر کنترل ارتفاع بوته توسط اثرات غیر افزایشی و فوق غالبیت نیز وجود دارد (Memon *et al.*, 2015).

در مورد قطر ساقه، میانگین مربعات تستر در هر دو شرایط معنی‌دار بود (جدول ۳)، لذا در هر دو شرایط تسترها از ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌داری برخوردار بودند که بیانگر نقش اثرات افزایشی در کنترل این صفت است. در تحقیق مشابهی در شرایط نرمال میانگین مربعات لاین × تستر معنی‌دار نبود و اثرات افزایشی ژن‌ها مهم‌ترین نقش را در صفت قطر ساقه داشتند (Taheri *et al.*, 2013). گزارش مبنی بر نقش هر دو اثر افزایشی و غالبیت در کنترل این صفت وجود دارد (Tabrizi *et al.*, 2012) و در بررسی دیگری واریانس افزایشی برای صفت قطر ساقه غیر معنی‌دار بود و اثرات غالبیت بیشترین نقش را در کنترل این صفت داشت (Hassanzadeh *et al.*, 2016).

قطر طبق در مقایسه با سایر صفات زراعی مرتبط با عملکرد دانه در آفتابگردان، بیشتر تحت تأثیر شرایط محیطی و به‌ویژه تراکم بوته و طول دوره رشد قرار می‌گیرد و نقش اثر ژنتیکی در آن کمتر است (Fick, 1978). از نظر این صفت در شرایط آبیاری نرمال اثرات لاین و تستر معنی‌دار بود (جدول ۳)، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها در شرایط آبیاری نرمال معنی‌دار بود. وراثت‌پذیری خصوصی این صفت در شرایط آبیاری کامل ۴۱/۸ درصد برآورد شد (جدول ۳). در گزارشی، نقش اثرات افزایشی در کنترل این صفت نتیجه‌گیری شده (Machikowa *et al.*, 2011) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در تحقیق دیگری نقش اثرات غیر افزایشی در کنترل این صفت مهم بود (Hlandi *et al.*, 2014). در بررسی‌های دیگر هر دو اثرات افزایشی و غیر افزایشی معنی‌دار شده است (Memon *et al.*, 2015; Rezaeizad and Siahbidi, 2015).

در شرایط آبیاری نرمال میانگین مربعات لاین، تستر و لاین × تستر و در شرایط تنش فقط اثر تستر در مورد عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳)؛ بنابراین در شرایط آبیاری نرمال تفاوت معنی‌دار بین ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها و تسترها وجود داشته درحالی‌که در شرایط تنش تفاوت معنی‌دار فقط در ترکیب‌پذیری عمومی تسترها بود. وراثت‌پذیری عمومی عملکرد دانه در دو شرایط به ترتیب ۷۳/۹ و ۶۳/۷ درصد و وراثت‌پذیری خصوصی در شرایط عدم تنش ۳۷/۵ درصد برآورد شد (جدول ۳). کاهش وراثت‌پذیری عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به نرمال با نتایج دیگران مطابقت داشت (Awaad *et al.*, 2016; Saremi-Rad and Mostafavi, 2020). درجه غالبیت در شرایط نرمال بیانگر برتری اثرات غیر افزایشی به اثرات افزایشی ژن‌های دخیل در عملکرد دانه بود. وجود اثرات غالبیت در کنترل این صفت در شرایط بدون تنش با نتایج دیگران همخوانی داشت (Memon *et al.*, 2015). البته در پژوهش دیگری، در شرایط نرمال اثرات افزایشی ژن‌ها بیشترین نقش را در تبیین عملکرد داشته در صورتی در شرایط تنش شدید اثرات غالبیت نقش بیشتری را داشتند (Pourmohammad *et al.*, 2014). تغییرات اجزای ژنتیکی از غالبیت در شرایط نرمال به افزایشی در شرایط تنش بیانگر این است که در شرایط متفاوت رطوبتی می‌بایست از روش‌های متفاوت اصلاحی در مورد صفت عملکرد دانه استفاده کرد و با توجه به سهم بیشتر اثرات غالبیت ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه، اعمال روش‌های مبتنی بر دورگ‌گیری و تولید ارقام هیبرید با استفاده از والدین مناسب در شرایط نرمال توجیه‌پذیر است.

مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی صفات مختلف لاین‌ها و تسترها در جدول ۴ درج شده است. لاین‌های C111، LR32 و LR59 در شرایط آبیاری کامل و دو لاین R217 و LR59 در شرایط تنش دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت ازلحاظ شاخص کلروفیل بودند. درحالی‌که ازنظر این صفت، تستر A196 دارای بالاترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت بود.

رشد اولیه بالا یکی از صفات مؤثر در تحمل به خشکی است (Richards, 1997). لاین R217 در هر دو شرایط نرمال و تنش دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت ازنظر صفت سرعت رشد اولیه بود، در مورد تسترها نیز این مقدار به A19 اختصاص داشت (جدول ۴).

امروزه معرفی دورگ‌های آفتابگردان با ارتفاع کم برای کشت در سیستم‌های متراکم و همچنین کشت دوم، یکی از اهداف به‌نژادی آفتابگردان محسوب می‌شود (Rezaeizad and Siahbidi, 2015). از طرف دیگر به دلیل اینکه با کاهش ارتفاع مقاومت گیاه به ورس افزایش می‌یابد و برای برداشت مکانیزه نیز شرایط مناسب‌تر می‌گردد، بنابراین مقادیر منفی ترکیب‌پذیری عمومی برای صفت ارتفاع بوته در شرایط نرمال مطلوب است. درحالی‌که در شرایط تنش مقادیر مثبت مطلوبیت دارد (Pourmohammad *et al.*, 2014). بررسی ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها (جدول ۴) نشان داد که لاین C41 و تستر A196 دارای بهترین ترکیب‌پذیری ازنظر ارتفاع بوته در شرایط نرمال بود. ولی در شرایط تنش لاین LR32 و تستر A19 که دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت بودند و به عنوان والدین مطلوب از نظر این صفت می‌باشند. در پژوهش دیگری نیز ترکیب‌پذیری عمومی مثبت ارتفاع بوته و پابلند شدن هیبریدهای حاصل از لاین نرعقیم A19 گزارش شده (Rezaeizad and Siahbidi, 2015) که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها در شرایط نرمال از لحاظ صفت قطر ساقه اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی بین تسترها اختلاف معنی‌دار بود. دو تستر A19 و A196 دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت بودند. در شرایط تنش لاین C123 و تستر A19 دارای ترکیب‌پذیری عمومی مطلوب از لحاظ صفت قطر ساقه بودند (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه لاین × تستر برای صفات گیاهی آفتابگردان در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی

Table 3- Line × tester analysis of variance for plant traits of sunflower under non stress and water stress conditions

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares											
		شاخص کلروفیل Chlorophyll content		سرعت رشد اولیه Early growth rate		ارتفاع بوته Plant height		قطر ساقه Stem diameter		قطر طبق Head diameter		عملکرد دانه Grain yield	
		عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress
تکرار Replication	2	9.64*	11.03*	13.57**	3.46**	155.10	1763.28**	19.71**	16.91**	40.59**	24.08**	7671669**	855269**
ژنوتیپ Genotypes	34	32.81**	23.75**	1.58**	0.92**	2541.16**	847.93**	10.29**	4.92**	3.60*	2.18**	2366543**	414244**
والدین Parents (P)	10	44.04**	37.48**	0.35**	0.28**	978.87**	791.80**	7.43**	2.74	1.81	4.47**	1169395**	631972**
والدین در مقابل دورگ‌ها P vs. C	1	398.06**	302.85**	42.14**	24.60**	49158.21**	11664.43**	107.93**	37.31**	16.99**	0.03	45818689**	2800489**
دورگ‌ها Crosses (C)	23	12.05**	5.65**	0.36**	0.17**	1193.59**	402.05**	7.28**	4.46**	3.80*	1.28	997818**	215830**
لاین Lines (L)	7	23.93**	15.23**	0.41**	0.21**	998.94**	377.90**	4.75	3.01	5.58*	1.55	1107066**	119997
تستر Testers (T)	2	24.68**	0.61	1.94**	0.90**	8864.51**	2926.68**	50.59**	29.02**	8.82*	0.88	2672145**	1525610**
لاین × تستر L × T	14	4.30	1.57	0.10	0.04	195.07	53.46	2.36	1.67	2.19	1.20	704004**	76634
خطا Error	68	2.57	2.34	0.10	0.03	152.14	123.09	2.74	1.53	1.96	1.00	293440	74909
واریانس افزایشی Additive variance		2.609	1.168	0.079	0.040	314.51	99.52	3.988	2.291	0.53	-	140778.271	43326.88
واریانس غالبیت Dominance variance		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	136854.63	-
درجه غالبیت Degree of dominance		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.39	-
وراثت‌پذیری عمومی Broad sense heritability (%)		78.8	59.9	70.1	79.1	86.6	70.8	81.4	81.8	48.1	-	73.9	63.7
وراثت‌پذیری خصوصی Narrow sense heritability (%)		64.5	59.9	69.8	76.0	82.9	70.8	81.4	81.8	41.8	-	37.5	62.9

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

*and**: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

قطر طبق از عوامل مؤثر بر عملکرد دانه در آفتابگردان محسوب می‌شود. افزایش قطر طبق از طریق بالا بردن تعداد دانه‌های طبق، عملکرد را افزایش می‌دهد (Göksoy *et al.*, 2004). در هر دو شرایط نرمال و تنش لاین C122 و تستر A19 دارای بیشترین ترکیب‌پذیری مثبت برای صفت قطر طبق بودند (جدول ۴) و جهت افزایش این صفت به‌عنوان والدین مناسب قابل‌استفاده می‌باشند.

در مورد عملکرد دانه، لاین‌های C122 و C123 و تستر A19 در هر دو شرایط دارای بیشترین مقدار مثبت ترکیب‌پذیری عمومی بودند (جدول ۴) و جهت افزایش این دو صفت به‌عنوان والدین مطلوب برای تولید هیبریدهای مناسب در برنامه‌های اصلاحی قابل‌استفاده می‌باشند. برتری لاین نرعقیم A19 به‌عنوان یک تستر با ترکیب‌پذیری عمومی بالا جهت استفاده در برنامه‌های تولید هیبرید در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (Khani *et al.*, 2005; Arefi *et al.*, 2015).

همان‌طوری که در جدول تجزیه لاین تستر (جدول ۳) مشاهده شد در مورد پنج صفت مورفوفیزیولوژیک اندازه‌گیری شده، اثرات لاین × تستر که بیانگر اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی است معنی‌دار نشد؛ بنابراین ترکیب‌پذیری خصوصی برای آن‌ها برآورد نشد. برآورد و آزمون ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها از نظر عملکرد دانه (جدول ۵) نشان داد که دامنه ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدهای آفتابگردان در شرایط آبیاری نرمال بین ۱۰۳۸/۲۵- برای تلاقی A196×C41 تا ۷۴۹/۹۷ برای تلاقی A196×C41 متغیر بود. در شرایط تنش، تلاقی A112×C111 تنها هیبرید دارای ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌دار بود؛ بنابراین استفاده از دو هیبرید A196×C41 و A112×C111 به ترتیب در شرایط نرمال و تنش که دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت معنی‌داری بودند می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی سبب افزایش واریانس غیر افزایشی ژن‌ها شده و به تهیه‌ی هیبرید برتر کمک کنند.

جدول ۴- ترکیب‌پذیری عمومی صفات گیاهی لاین‌های آفتابگردان در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی

Table 4- General combining ability of lines and testers for plant traits of sunflower under non stress and water stress conditions

لاین/تستر Lines/testers	شاخص کلروفیل Chlorophyll content		سرعت رشد اولیه Early growth rate		ارتفاع بوته Plant height		قطر ساقه Stem diameter		قطر طبق Head diameter		عملکرد دانه Grain yield	
	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress
R217	0.36	1.84**	0.23*	0.19**	-4.41	0.61	-1.28	-0.45	-1.25**	-0.51	-134.20	63.59
C41	-0.80	-0.99	-0.22*	-0.05	-10.85**	-8.94*	0.58	0.03	0.33	0.21	215.68	-14.61
C111	1.96**	0.65	0.00	-0.02	2.07	0.83	-0.59	-0.41	0.80	0.08	-134.92	66.00
C122	-0.89	0.37	0.20	0.15*	-4.96	-0.39	-0.32	-0.29	0.84	0.50	355.43	85.79
C123	-0.64	0.84	-0.28*	-0.22**	-8.41*	-7.17	0.66	0.97**	0.06	-0.24	345.43	81.48
C148	-2.92**	2.10**	-0.19	-0.21**	-5.30	-1.94	0.74	0.30	0.60	0.45	294.53	39.21
LR32	1.52**	0.62	0.00	0.07	17.48**	11.06**	0.45	0.58	-0.78	0.12	-437.34*	-67.14
LR59	1.40**	1.19*	0.26*	0.09	14.37**	5.94	-0.24	-0.73	-0.60	-0.62	-504.62**	-254.31**
SE(GCA)	0.53	0.51	0.11	0.06	4.11	3.70	0.55	0.41	0.47	0.33	180.57	91.23
SE(gi-gj)	0.76	0.72	0.15	0.09	5.81	5.23	0.78	0.58	0.66	0.47	255.36	129.02
A112	-1.16**	0.13	-0.14*	-0.10**	-2.35	-2.47	0.09	0.06	-0.40	-0.17	21.49	-117.90*
A19	0.44	0.05	0.33**	0.022**	20.29**	12.07**	1.41**	1.07**	0.70*	0.21	322.41**	289.48**
A196	0.72*	-0.18	-0.18**	-0.12**	-17.93**	-9.60**	1.49**	-1.13**	-0.29	-0.04	-343.90**	-171.58**
SE(GCA)	0.33	0.31	0.06	0.04	2.52	2.26	0.34	0.25	0.29	0.20	110.57	55.87
SE(gi-gj)	0.46	0.44	0.09	0.05	3.56	3.21	0.48	0.36	0.40	0.29	156.38	79.01

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

*and**: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

میانگین مربعات والدین در مقابل دورگ‌ها برای صفات مختلف در دو شرایط آبیاری (جدول ۳) معنی‌دار بود که گویای وجود هتروزیس (اعم از مثبت یا منفی) است. وجود هتروزیس در مورد صفات مختلف آفتابگردان در پژوهش‌های متعدد گزارش شده است (Darvishzadeh, 2012; Kulkarni and Supriya, 2017). درصد هتروزیس نسبت به میانگین والدین صفات

مختلف هیبریدهای آفتابگردان در شرایط آبیاری نرمال و تنش در جدول ۶ آورده شده است. بررسی میانگین هتروزیس صفات نشان داد که کمترین و بیشترین هتروزیس صفات به ترتیب مربوط به قطر طبق در شرایط تنش (۰/۰ درصد) و سرعت رشد اولیه در شرایط نرمال (۷۳/۳ درصد) بود. در مورد همه صفات مورد بررسی میانگین هتروزیس صفات در شرایط تنش نسبت به نرمال کاهش داشت که با نتایج پژوهش دیگران مطابقت دارد (Darvishzadeh, 2012). برای صفت شاخص کلروفیل هتروزیس‌های معنی‌دار در هر دو شرایط رطوبتی مثبت بوده و بیانگر این است که در نتاج F_1، شاخص کلروفیل بیشتر از میانگین والدین بوده است. بیشترین مقدار هتروزیس مربوط به هیبرید A112×C41 به میزان ۲۱/۸ درصد در شرایط نرمال بود. هتروزیس مثبت شاخص کلروفیل نشان دهنده برتری هیبریدها نسبت به والدین از لحاظ میزان کلروفیل بوده که باعث افزایش میزان فتوسنتز و تجمع بیشتر آسیمیلات در هیبریدها می‌گردد (Ali *et al.*, 2014). در بررسی گلخانه‌ای هیبریدهای آفتابگردان نیز هتروزیس مثبت شاخص کلروفیل گزارش شده است (Darvishzadeh, 2012).

جدول ۵- ترکیب‌پذیری خصوصی عملکرد دانه هیبریدهای آفتابگردان در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی

Table 5- Specific combining ability of hybrids in sunflower for grain yield under non stress and water stress conditions

هیبرید Hybrid	A112		A19		A196	
	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress
R217	-214.48	-106.52	-10.57	173.40	225.04	-66.88
C41	288.28	-185.99	-1038.25**	-38.40	749.97*	224.39
C111	228.38	316.50*	67.79	-24.88	-296.17	-291.63
C122	-372.21	3.94	402.10	17.80	-29.89	-21.75
C123	-46.61	5.02	258.17	-77.89	-211.56	72.86
C148	-208.21	-105.01	-91.00	55.05	299.21	49.96
LR32	64.47	12.71	-31.12	-30.50	-33.34	17.79
LR59	260.38	59.34	442.89	-74.60	-703.27*	15.25
SE(SCA)	312.752	158.018				
$SE(s_{ij}-s_{kl})$	442.298	223.471				

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

*and**: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

پابلند شدن هیبریدهای آفتابگردان نسبت به والدین در پژوهش‌های متعدد گزارش شده است (Darvishzadeh, 2012; Kulkarni and Supriya, 2017). در این تحقیق نیز هتروزیس دو صفت سرعت رشد اولیه و ارتفاع بوته در مورد همه هیبریدها مثبت بود (جدول ۶) بنابراین ارتفاع بیشتر به خصوص در مراحل اولیه رشدی در تمام هیبریدها نسبت به والدین محرز گردید.

میانگین هتروزیس عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش به ترتیب ۵۰/۲ و ۳۹/۷ درصد برآورد شد (جدول ۶) که نشان دهنده کاهش هتروزیس در شرایط تنش نسبت به نرمال بود. کاهش هتروزیس عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به نرمال با نتایج دیگران مطابقت داشت (Awaad *et al.*, 2016). بیشترین میزان هتروزیس عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش به ترتیب به میزان ۱۲۶/۶ و ۱۲۳/۹ درصد، مربوط به هیبرید A112×C41 بود (جدول ۶).

در برنامه‌های به‌نژادی عدم توجه به ارتباط بین صفات مختلف و انتخاب برای یک صفت بدون توجه به سایر صفات نتایج مطلوبی در بر نخواهد داشت و برای گزینش بهتر، توجه به همبستگی‌های بین صفات مورد تأکید قرار گرفته است (Bhatt, 1973). با توجه به ماتریس ضرایب همبستگی صفات بررسی‌شده در شرایط نرمال و تنش (جدول ۷)، از بین صفات مورد بررسی در شرایط نرمال دو صفت قطر ساقه و قطر طبق و در شرایط تنش چهار صفت سرعت رشد اولیه، ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق همبستگی مثبت معنی‌داری با عملکرد دانه داشت. قطر ساقه با ارتفاع بوته در هر دو شرایط رطوبتی همبستگی بالایی را نشان داد. معنی‌دار بودن همبستگی ارتفاع بوته با قطر ساقه در بررسی دیگران نیز گزارش شده است (Safavi *et al.*, 2011).

جدول ۶- درصد هتروزیس نسبت به میانگین والدین صفات مختلف هیبریدهای آفتابگردان در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی

Table 6- Percentage of mid-parent heterosis of different traits of sunflower hybrids under non stress and water stress conditions

تلاقی Cross	شاخص کلروفیل Chlorophyll content		سرعت رشد اولیه Early growth rate		ارتفاع بوته Plant height		قطر ساقه Stem diameter		قطر طبق Head diameter		عملکرد دانه Grain yield	
	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress
A112×R217	9.0	17.2*	78.7**	66.9**	39.3**	13.3	4.9	7.3	- 2.5	-4.3	28.2	8.5
A112×C41	21.8**	19.1**	77.5**	92.1**	53.3**	26.0**	28.5**	10.4	14.0	11.7	126.6**	123.9**
A112×C111	15.2**	9.0*	65.4**	59.6**	31.2**	15.9	9.9	12.2	7.8	0.6	48.2**	76.8*
A112×C122	21.3**	19.5**	100.5**	81.0**	43.7**	22.5	16.2	9.2	3.9	- 3.5	31.1	21.3
A112×C123	14.8**	18.3**	77.5**	60.9**	49.9**	25.6**	17.0*	23.8**	10.0	2.2	84.3**	108.2
A112×C148	13.3**	19.7**	60.0**	58.4**	30.6**	19.6*	12.3	9.1	10.6	- 1.5	55.8**	9.9
A112×LR32	16.4**	13.9**	61.6**	64.3**	41.6**	30.6**	10.7	4.9	-1.4	0.3	42.5*	28.7
A112×LR59	16.8**	10.7**	100.2**	87.3**	48.1**	29.0**	19.11*	8.3	5.5	1.4	58.8**	65.2
A19×R217	3.8	11.6**	56.0**	43.4**	28.9**	11.2	0.1	- 0.8	- 1.5	-2.7	36.9*	21.6
A19×C41	11.8*	12.0**	92.1**	80.0**	43.2**	24.0**	19.0*	12.0	8.4	11.3	64.1**	90.0
A19×C111	8.4	5.7	66.7**	48.2**	38.1**	15.5	8.3	8.1	10.1	3.8	48.9**	27.6
A19×C122	20.2**	10.0*	79.9**	73.2**	31.9**	15.3	15.6	7.6	24.3**	-1.7	57.2**	19.4
A19×C123	11.3*	8.3*	69.7**	60.5**	39.6**	15.4	16.4	10.7	12.1	-14.0	96.9**	67.5*
A19×C148	13.2**	7.1	65.0**	46.0**	31.3**	14.2	15.4	7.3	8.6	- 1.4	60.4**	21.1
A19×LR32	17.2**	10.9**	58.5**	62.3**	45.2**	21.8*	6.2	12.6	1.8	- 4.4	38.8*	21.8
A19×LR59	10.3*	7.1	78.0**	64.8**	51.0**	21.3*	15.5	7.9	14.2	- 2.8	61.6**	29.1
A196×R217	5.7	11.5**	64.3**	59.2**	13.3	4.0	4.3	- 1.4	-5.2	-11.2	20.7	- 9.6
A196×C41	15.6**	10.7*	107**	114.3**	29.5**	28.5**	17.6*	7.0	10.9	18.2	100.3**	107.5**
A196×C111	8.1	2.4	50.5**	53.8**	5.8	2.1	- 3.5	2.3	0.3	-12.1	6.4	-19.1
A196×C122	-1.2	-0.1	74.3**	69.5**	12.6	12.7	6.5	0.7	2.7	15.3	46.1*	54.3
A196×C123	6.6	11.8**	53.8**	48.1**	15.0	18.0*	20.1*	8.9	-3.6	-4.0	45.9*	56.6
A196×C148	16.4**	9.5*	70.5**	45.5**	17.8*	12.7	12.3	6.9	6.5	-6.3	47.0*	0.4
A196×LR32	21.0**	9.7*	76.8**	63.2**	20.6*	20.9*	2.8	3.4	- 0.4	3.7	12.9	1.5
A196×LR59	7.1	2.3	74.8**	61.9**	16.8*	13.0	- 2.3	- 10.6	- 5.9	2.4	-9.2	19.1
میانگین Mean	12.7	10.8	73.3	65.2	32.5	18.1	11.4	7.0	5.5	0.0	50.2	39.7
LSD 5%	9.74	8.03	32.49	24.25	16.27	17.17	16.50	14.98	15.93	18.62	35.95	62.76
LSD 1%	12.99	10.72	43.35	32.35	21.71	22.91	22.02	19.99	21.26	24.84	47.97	83.74

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

*and**: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

ضریب همبستگی عملکرد دانه با ارتفاع بوته در شرایط آبیاری نرمال معنی‌دار نبود درصورتی‌که در شرایط تنش همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته و عملکرد دانه وجود داشت؛ و این ضرورت استفاده از ارقام پابلند را در شرایط تنش نشان می‌دهد. با توجه به معنی‌دار بودن ضریب همبستگی بین سرعت رشد اولیه با ارتفاع بوته، می‌توان استنباط کرد که ژنوتیپ‌هایی که با استفاده از شرایط رطوبتی مطلوب در اوایل فصل، سرعت رشد اولیه بیشتری دارند با افزایش ارتفاع و بیومس تولیدی نهایی، از طریق مکانیسم‌هایی مثل انتقال مجدد، تولید عملکرد دانه بیشتری را خواهند داشت. این یافته با نتایج بر روی گندم مطابقت داشت (Slafer and Araus, 1998). وقتی خشکی آخر دوره رشد، تولید محصول گندم را تهدید می‌کند، گزینش ارقام و لاین‌هایی با قدرت رشد اولیه زیاد که بتوانند از رطوبت کافی مراحل اولیه رشد استفاده کنند، می‌تواند به تولید عملکرد دانه بیشتری منجر شود.

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات گیاهی آفتابگردان در شرایط آبیاری معمول (بالای قطر جدول) و تنش خشکی (پایین قطر جدول)
Table 7- Simple correlation coefficients between traits of sunflower under non stress (above diameter) and water stress (under diameter) conditions

	شاخص کلروفیل Chlorophyll content	سرعت رشد اولیه Early growth rate	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	قطر طبق Head diameter	عملکرد دانه Grain yield
شاخص کلروفیل Chlorophyll content	1.00	0.39	0.30	- 0.17	0.06	- 0.25
سرعت رشد اولیه Early growth rate	0.47*	1.00	0.71**	0.28	0.17	0.13
ارتفاع بوته Plant height	0.38	0.74**	1.00	0.65**	0.20	0.22
قطر ساقه Stem diameter	- 0.08	0.36	0.57**	1.00	0.44*	0.62**
قطر طبق Head diameter	- 0.35	0.00	0.23	0.20	1.00	0.71**
عملکرد دانه Grain yield	- 0.12	0.50*	0.57**	0.60**	0.47*	1.00

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

*and**: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به برآورد پارامترهای ژنتیکی در شرایط آبیاری نرمال صفات شاخص کلروفیل، سرعت رشد اولیه، ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق تحت کنترل اثر افزایشی ژن‌ها و صفت عملکرد دانه تحت کنترل اثرات افزایشی و غالبیت ژن‌ها بودند. در شرایط تنش خشکی، همه صفات مورد مطالعه تحت کنترل اثر افزایشی ژن‌ها بودند. با توجه به نتایج ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و وراثت‌پذیری صفات می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای اصلاح صفات سرعت رشد اولیه، ارتفاع بوته و قطر طبق که در شرایط تنش با عملکرد نیز همبستگی معنی‌داری را نشان دادند می‌توان از روش‌های گزینش استفاده کرد و برای عملکرد دانه در شرایط عدم تنش از روش هیبرید بهره برد. برآورد اثرات ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها از لحاظ صفات مورد بررسی نشان داد که لاین‌های C122 و C123 و تستر A19 در هر دو شرایط آبیاری، دارای بیشترین مقدار مثبت ترکیب‌پذیری عمومی از لحاظ عملکرد دانه بود و به عنوان والدین مطلوب برای تولید هیبریدهای مناسب در برنامه‌های اصلاحی قابل استفاده می‌باشند. با بررسی ترکیب‌پذیری خصوصی ۲۴ هیبرید جدید از لحاظ عملکرد دانه می‌توان دو هیبرید A196×C41 و A112×C111 را به ترتیب برای شرایط نرمال و تنش، به عنوان مطلوب‌ترین ترکیب معرفی کرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) به خاطر ایجاد تسهیلات و مساعدت در انجام این پژوهش و موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به جهت تأمین بذر، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Alavi, S.R., Darvishzadeh, R., Valizadeh, M., Moghadam, M., Farrokhib, I., Basirnia, A. and Pirzad, A. 2014. Evaluation of drought tolerance indices in various sunflowers cultivars (*Helianthus annuus* L.). *Research in Field Crops*, 2: 16-27. (In Persian).

Ali, Q., Ahsan, M., Ali, F., Ali, A., Kanwal, N., Naseem, Z., Zahid, K.R., Nasir, I.A. and Husnain, T. 2014. Genetic correlation and hybrid vigor for physiological traits of *Zea mays*. *Nature and Science*, 12: 50-59.

Alizadeh, A. and Kamali, G.A. 2008. Crops Water Requirements in Iran. Emam Reza University Press, Mashhad, Iran. (In Persian).

Arefi, S., Nabipour, A. and Samizadeh, H. 2015. Evaluation of combining ability of sunflower lines based on line× tester analysis under water stress and non-stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 7: 115-25. (In Persian).

Awaad, H.A., Salem, A.H., Ali, M.M.A. and Kamal, K.Y. 2016. Expression of heterosis, gene action and relationship among morpho-physiological and yield characters in sunflower under different levels of water supply. *Journal of Plant Production*, 7(12): 1523-1534.

Azarinasrabad, A., Mousavinik, S., Galavi, M., Beheshti, S. and Siroosmehr, A. 2021. Effect of drought stress at different growth stages on dry matter remobilization in grain sorghum genotypes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2): 167-177. (In Persian).

Bhatt, G. 1973. Significance of path coefficient analysis in determining the nature of character association. *Euphytica*, 22: 338-343.

Blum, A. 2010. Plant Breeding for Water Limited Environments. New York: Springer-Verlag

Brevedan, R.E. and Egli, D.B. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*, 43: 2083-2088.

D'Andria, R., Chiaranda, F.Q., Magliulo V. and Mori, M. 1995. Yield and soil water uptake of sunflower sown in spring and summer. *Agronomy Journal*, 87: 1122-1128.

Darvishzadeh, R. 2012. Phenotypic and molecular marker distance as a tool for prediction of heterosis and F1 performance in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 6(4): 732-738.

Fick, G.N. 1978. Breeding and genetics. *Sunflower Science and Technology*, 19: 279-338.

Ghaffari, M., Toorchi, M., Valizadeh, M. and Shakiba, M.R. 2012. Morpho-physiological screening of sunflower inbred lines under drought stress condition, *Turkish Journal of Field Crops*, 17: 185-190.

Göksoy, A. and Turan, Z. 2005. Combining abilities of certain characters and estimation of hybrid vigour in sunflower (*Helianthus annuus* L). *Acta Agronomica Hungarica*, 52: 361-368.

Göksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M. and Dagusta, N. 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, 87: 167-178.

Gomez-Sanchez, D., Vannozzi, G.P., Baldini, M., Tahmasebi Enferadi, S. and Delle Vedove, G. 1998. Effect of soil water availability in sunflower lines derived from interspecific crosses. *Italian Journal of Agronomy*, 2(2): 101-110.

Hassanzadeh, F., Toorchi, M., Moghadam Vahed, M., Aharizad, S. and Ghaffari, M. 2016. Evaluation of the combining abilities and gene effects of agronomic traits in sunflower inbred lines (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 6(20): 97-109.

Hladni, N., Miklič, V., Jocić, S., Kraljević-Balalić, M. and Škorić, D. 2014. Mode of inheritance and combining ability for plant height and head diameter in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Genetika*, 46: 159-168.

Hobbs, S.L.A. and Mahon, J.D. 1985. Inheritance of chlorophyll content, ribulose-l, 5-bisphosphate carboxylase activity, and stomatal resistance in peas 1. *Crop Science*, 25(6): 1031-1034.

Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masomi, A. and Nabati, J. 2009. Environmental Stress on Plant Physiology. Jihad Daneshgahi Publication, Iran. (In Persian).

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

Khani, M., Daneshian, J., Zeinali Khaneghah, H. and Ghannadha, M.R. 2005. Genetic analysis of yield and its components using line× tester cross design in sunflower inbred lines under the stress and non-stress drought conditions. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36(2): 435-445. (In Persian).

Kulkarni, V.V. and Supriya, S. 2017. Heterosis and combing ability studies for yield and yield component traits in sunflower (*Helianthus annuus*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6: 3346-3357.

Machikowa, T., Saetang, C. and Funpeng, K. 2011. General and specific combining ability for quantitative characters in sunflower. *Journal of Agricultural Science*, 3: 91-95.

Memon, S., Baloch, M.J., Baloch, G.M. and Jatoi, W.A. 2015. Combining ability through line × tester analysis for phenological, seed yield, and oil traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Euphytica*, 204: 199-209.

Nezami, A., Boroumand Rezazadeh, Z. and Hosseini, A. 2008. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. *Desert*, 12: 99-104.

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

Pekcan, V., Evci, G., Yilmaz, M.I., Nalcaiyi, A.S.B., Erdal, Ş.Ç., Cicek, N., Ekmekci, Y. and Kaya, Y. 2016. Effects of drought on morphological traits of some sunflower lines. *Ekin Journal of Crop Breeding*, 2: 54-68.

Pourmohammad, A., Toorchi, M., Alavikia, S.S. and Shakiba, M.R. 2014. Genetic analysis of yield and physiological traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under irrigation and drought stress. *Notulae Scientia Biologicae*, 6: 207-213.

Rauf, S., Sadaqat, H.A., Khan, I.A. and Ahmed, R. 2009. Genetic analysis of leaf hydraulics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. *Plant, Soil and Environment*, 55(2): 62-69.

Rezaeizad, A. and Siahbidi, A.Z. 2015. Combining ability of some sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines for important agronomic traits. *Seed and Plant Improvement Journal*, 31(2): 293-306. (In Persian).

Rezaizad, A., Parvin, S. and Shoshtari, L. 2018. Genetic analysis of yield and its components in sunflower lines under normal and drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1): 93-105. (In Persian).

Richards, R.A. 1997. Defining selection criteria to improve yield under drought. pp. 79-88. In: Belhassen, E. (ed.). Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.

Roshdi, M., Heidari, S.H., Karimi, M., Nourmohammadi, G. and Darvish, F. 2006. A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. *Journal of Agricultural Sciences*, 12(1): 109-121. (In Persian).

Safavi, A., Pourdad, S.S. and Moghaddam, M.J. 2011. Identification of drought resistant genotypes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed and Plant Improvement Journal*, 27-1(2): 129-148. (In Persian).

Saremi-Rad, A. and Mostafavi, K. 2020. Genetic diversity study of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes for agro-morphological traits under normal and drought stress conditions. *Journal of Plant Productions*, 43(2): 227-240. (In Persian).

Seyed sharifi, R. and Seyed sharifi, R. 2019. Effects of bio fertilizers application on yield, oil content and antioxidant enzymes activity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in different irrigation withholding levels. *Journal of Plant Process and Function*, 8(29): 97-107. (In Persian).

Slafer, G. and Araus, J. 1998. Improving wheat responses to abiotic stresses. In: Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium, 1: 201-213.

Stone, L.R., Goodrum, D.E., Jaafar, M.N. and Khan, A.H. 2001. Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. *Agronomy Journal*, 93: 1105-1111.

Tabrizi, M., Hassanzadeh, F., Moghaddam, M., Alavikia, S., Aharizad, S. and Ghaffari, M. 2012. Combining ability and gene action in sunflower using line tester method. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 2: 35-44.

Taheri, M.T., Alavikia, S., Moghaddam Vahed, M., Aharizad, S. and Ghaffari, M. 2013. Study of the inheritance of agronomic characters using line × tester crosses in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Applied Crop Breeding*, 1(2): 131-144. (In Persian).

Veisi-Mal-Amiri, I., Haghparast, R., Aghaei-Sarbarzeh, M., Farshadfar, E. and Rajabi, R. 2009. Evaluation of drought tolerance of barley (*Hordeum vulgar*) genotypes using physiological characteristics and drought tolerance indices. *Journal of Seed and Plant Breeding*, 1-26(1): 43-60. (In Persian).

Zohdi Aghdam, M., Darvish Kojouri, F., Ghaffari, M. and Ebrahimi, A. 2019. Genetic analysis of morpho-physiological characteristics of sunflower under optimum and limited irrigation conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2): 331-346. (In Persian).

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 3, Issue 2, Autumn and Winter 2022, P. 359-373

The effect of drought stress on genetic parameters of yield and some morphophysiological traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.)

Mohammad Abedini Esfahlani[1*], Reza Fotovat[2]

[1]Field and Horticultural Crops Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan Province (Shahrood), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrood, Iran
[2]Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

[*]Corresponding Author: M.abedini@areeo.ac.ir

Received: 14 December 2022 Accepted: 21 January 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.319815.1167**

Abstract

To study the effect of drought stress on genetic parameters of yield and some morphophysiological traits of sunflower, the hybrids obtained from the cross of eight restorer lines with three sterile male lines and two normal irrigation and drought stress conditions were evaluated in a split-plot experiment based on randomized complete block design with three replications. The results of line × tester analysis showed that under normal conditions, line and tester effects were significant for all studied traits. Under stress conditions, the effect of lines was significant in chlorophyll index, initial growth rate, and plant height and the effects of tester were significant in early growth rate, plant height, stem diameter, and grain yield. Estimation of the effects of general combining ability of traits showed that two lines, C122, C123, and A19 tester had the highest positive combining ability in grain yield and could be used as good parents for producing suitable hybrids in breeding programs. Estimation of heterosis of the studied traits showed that the highest rate of heterosis of grain yield under normal and stress conditions were 126.6% and 123.9%, respectively, for the A112×C41 hybrid. Two traits stem diameter, and head diameter showed a significant correlation with grain yield under normal conditions, while four traits, initial growth rate, plant height, stem diameter, and head diameter, was correlated positively with grain yield under stress conditions.

Key words: Combining ability, Gene effect, Heritability, Heterosis, Hybrid