تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۴۸-۱۳۵

مقاله پژوهشی

تجزیه ژنتیکی برخی ویژگی‌های زراعی گلرنگ با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها تحت تنش خشکی

سیده عصمت هاشمی فدکی[۱]، نفیسه مهدی نژاد[۲*]، قاسم محمدی نژاد[۳]، فاطمه ابراهیمی[۳]، براتعلی فاخری[۲]

۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به نژادی گیاهی، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
* مسئول مکاتبه: nmahdinezhad@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.378373.1304**

چکیده

به‌منظور بررسی نحوه عمل ژن برای برخی صفات کمی مهم در گلرنگ، تلاقی بین دو رقم گلدشت × آمریکایی صورت گرفت. والدین همراه با نسل‌های F1 ، F2، BC1.1 و BC1.2 حاصل از تلاقی در شرایط تنش رطوبتی و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار ارزیابی شدند. صفات ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، قطر اصلی، تعداد غوزه، عملکرد تک بوته، فتوسنتز، روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و SPAD یادداشت‌برداری گردیدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد میانگین مربعات نسل‌ها برای تمامی صفات در این تلاقی معنی‌دار است لذا تجزیه میانگین نسل‌ها برای تک تک صفات صورت گرفت و مشخص شد در کنترل توارث اکثر صفات، علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت، اثرات اپیستازی نیز نقش داشتند. در شرایط آبیاری معمول بیشتر صفات بجز SPAD، تعداد غوزه و قطر اصلی تحت تأثیر مدل سه پارامتری قرار گرفتند. در شرایط تنش رطوبتی نیز در کنترل توارث اکثر صفات بجز قطر اصلی اثرات افزایشی، غالبیت و اپیستازی نقش داشتند. وجود اثرات غالبیت × غالبیت در مقایسه با پارامتر اثرات افزایشی در صفت تعداد غوزه بیانگر اهمیت بالای اثرات ژنتیکی غیر افزایشی و وراثت پیچیده این صفت می‌باشد. هم‌چنین انتخاب در نسل‌های اولیه برای صفت فوق موفقیت‌آمیز نخواهد بود. علامت مخالف اثرات غالبیت [h] و اپیستازی غالبیت × غالبیت [l] در شرایط نرمال صفت SPAD و در شرایط تنش صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد غوزه، دلیلی بر وجود اپیستازی دو گانه می‌باشد و واریانس این صفات برای نسل‌ها و جمعیت‌های در حال تفرق کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: اپیستازی، آزمون مقیاس مشترک، عمل ژن، مدل ژنتیکی

مقدمه

یکی از پیچیده‌ترین تنش‌های غیرزنده، تنش خشکی می‌باشد که سبب تغییر در رشد و نمو گیاهان می‌شود. تنش، سبب تغییر در تعادل طبیعی و هم‌چنین یک سری تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان می‌شوند که بر روی رشد و تولید آن‌ها تأثیر منفی دارد و در نهایت رشد و میزان عملکرد نهایی گیاه را کاهش می‌دهد (Guo *et al*., 2010).

با توجه به اینکه گیاه گلرنگ بیشتر در نواحی نیمه خشک و خشک کشت می‌شود امروزه توجهات زیادی به تولید ارقام متحمل به خشکی معطوف گردیده است. گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) متعلق به خانواده آستراسه (Asteraceae) می‌باشد. گیاه گلرنگ با اینکه ظاهراً شبیه خار، زرد می‌باشد، اما به‌صورت علف هرز رشد نکرده است. این گیاه به صورت بوته‌ای استوار رشد می‌کند و میوه آن همانند میوه آفتابگردان به‌صورت فندقه است. قسمت مورد استفاده گیاه گلرنگ، گلبرگ‌های آن است که تا به امروز ترکیبات بسیاری مانند کوئینوچالکون‌ها، فلاونوئیدها، استروئیدها، لیگان‌ها، ترکیبات پلی‌فنولی و غیره از آن جدا شده‌اند (Zhou *et al*., 2014).

از جمله کارآمدترین و پایدارترین رویکردهای مطالعاتی در پژوهش‌های به‌نژادی و تولید ارقام اصلاح شده می‌توان به وجود تنوع ژنتیکی و استفاده مناسبتر از ژرم پلاسم غنی شده اشاره کرد. انجام برنامه‌های به‌نژادی و اصلاحی و انتخاب نوع روش گزینش جهت بهبود صفات زراعی و بهره‌برداری مناسبتر از تولنایی ژنتیکی این صفات، مستلزم آگاهی کامل و کافی از ساختار ژنتیکی، نوع عمل ژن‌های کنترل کننده، نوع و میزان اجزای ژنتیکی و نوع الگوی وراثت و سایر پارمترها می‌باشد (Amiri *et al*., 2020).

جهت تعیین روش به‌نژادی، اصلاح و تشخیص لاین خالص و تولید دورگ، محاسبه اجزای ارزش ژنوتیپی صفات (افزایشی و غیر افزایشی) مهم می‌باشد. برای محاسبه اثرات ژنتیکی، از میانگین نسل‌های مختلف روش تجزیه میانگین نسل‌ها می‌توان استفاده کرد. این روش قادر به محاسبه اثرات متقابل بین مکان‌های ژنی می‌باشد (Mather and Jinks, 1982; Kearsy and Pooni, 1996). در این روش اثرات افزایشی و اپیستازی تابعی از درجه پراکندگی ژن‌های افزایش دهنده صفات بین والدین هستند هم‌چنین اثرات غالبیت برآیند جهت غالبیت در مکان ژنی می‌باشد. به‌صورت مشابه اگر اثرات غالبیت جهت‌دار نباشد به‌دلیل خنثی شدن اثرات متضاد مکان‌های ژنی کوچک خواهد بود. در صورت وجود این اثرات متضاد، نمی‌توان واریانس ژنتیکی را تحت تأثیر قرار داد به‌دلیل اینکه واریانس از مجموع مربعات اثرات هر مکان ژنی برآورد می‌شود و لذا به‌صورت تغییرات اثرات افزایشی و غالبیت بیان می‌گردد (Shayan *et al*., 2017).

در نتایج پژوهش حاصل از تجزیه میانگین نسل‌ها در قالب مولفه‌های عملکرد و اجزای آن در لوبیا با استفاده از نسل‌های P1، P2، F1، F2، BC1 و BC2 علاوه بر مدل سه پارامتری افزایشی- غالبیت در وراثت صفاتی مانند عملکرد دانه، وزن غلاف، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه... اثرات اپیستازی مؤثر شناخته شد (Akshi *et al*., 2014). در پژوهشی با عنوان نحوه وراثت برخی صفات کمی از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها در نخود برای تمامی صفات مورد بررسی بجز ارتفاع بوته، علاوه بر مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت، اثرات اپیستازی نیز برازش گردید که بیانگر پیچیدگی وراثت این صفات می‌باشد هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد صفت ارتفاع بوته توسط مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت کنترل می‌شود (Ghasemi *et al*., 2019). محققین در پژوهشی دیگر در بررسی پارامترهای ژنتیکی و با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها در تلاقی گندم در دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی نشان دادند که اثرات اپیستازی، علاوه بر اثرات افزایشی - غالبیت، نیز در توارث تمامی صفات بررسی شده نقش داشتند (Asadi *et al*., 2019). بررسی تجزیه ژنتیکی صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها در شرایط تنش رطوبتی نشان داد که اگرچه هر دو پارامتر افزایشی و غالبیت در کنترل صفات مورد بررسی معنی‌دار بودند، اما اثرات پارامتر غالبیت نسبت به اثرات افزایشی اهمیت بیشتری داشت. هم‌چنین میانگین درجه غالبیت برای تمامی صفات بیشتر از یک محاسبه شد که نشان‌دهنده پدیده فوق غالبیت می‌باشد (Shayan *et al*., 2019). تحقیق حاضر در راستای تعیین روش اصلاحی و به‌نژادی مناسب برای صفات مهم در گلرنگ، با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها، پارامترهای ژنتیکی (اثرات افزایشی، غالبیت و اپیستازی) مورد اجرا قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این آزمایش ابتدا تلاقی گلدشت × آمریکایی انجام شد سپس نسل F1 حاصل از این تلاقی به‌دست آمد. و با خود باروری نسل F1 نسل F2 تهیه شد. برای بدست آوردن BC1 و BC2 والدین با نسل F1 تلاقی داده شدند. بذور این نسل‌های P1، P2، F1، F2، BC1.1 و BC1.2 در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار در شرایط تنش رطوبتی و نرمال در پاییز سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی در کرمان کاشته شدند. در هر بلوک یک ردیف F1، سه ردیف F2، دو ردیف P1، دو ردیف P2، سه ردیف BC1 و سه ردیف BC2 کاشته شد. تعداد ردیف کشت بر اساس تعداد بذر حاصل از تلاقی انتخاب گردید. هر ردیف ۳ متر طول داشت و فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۲۰ سانتی‌متر بود. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه محل آزمایش مطابق جدول ۱ می‌باشد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد شیار در شهریور ماه (قبل از کاشت) و کاشت به‌صورت دستی در نیمه آبان انجام شد.

تنش رطوبتی در مرحله ۱۰ درصد تکمه‌دهی و تا مرحله رسیدگی کامل اعمال شد. در راستای اعمال تیمار تنش خشکی، رطوبت خاک در عمق رشد ریشه (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) و میزان آب آبیاری برای تأمین کمبود اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک تا ظرفیت کشاورزی مزرعه تعیین شد و سپس در هر دو تیمار آبیاری انجام شد. برای تعیین زمان آبیاری دوم، در هر تیمار به‌منظور کاهش تعداد نمونه‌برداری رطوبت خاک، از روش پیش‌بینی با

اندازه‌گیری تبخیر و تعرق تجمعی استفاده شد. به‌طوری‌که پس از هر بار آبیاری، مقدار تجمعی تبخیر و تعرق (ETc) با استفاده از رابطه فائو- پنمن-مانتیس با اعمال ضریب گیاهی گلرنگ طی دوره رشد محاسبه شد. زمانی‌که مقدار تبخیر و تعرق تجمعی به عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (Id2) در تیمار مورد نظر رسید، آبیاری انجام شد. عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (Id) از رابطه زیر (۱) محاسبه شد (Ebrahimi *et al.*, 2017).

$$Id= (FC-PWP)*D*B*MAD \quad (۱)$$

Id: عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر (میلی‌متر)

FC: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)

PWP: رطوبت وزنی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد)

D: عمق فعال توسعه ریشه (میلی‌متر)

B: چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب)

MAD: ضریب مدیریت مزرعه برای حالت بدون تنش برابر با ۵۰ درصد و محیط تنش برابر با ۹۰ درصد بود.

برای اطمینان از عدم وجود تنش در تیمار شاهد و وجود تنش در تیمار تنش، قبل از آبیاری با استفاده از مارپیچ از سه نقطه در هر تیمار رطوبتی در عمق رشد ریشه، نمونه خاک تهیه و پس از اندازه‌گیری درصد رطوبت، با مقدار رطوبت مورد انتظار خاک در زمان آبیاری (θirri) مقایسه شد. مقدار رطوبت مورد انتظار خاک در زمان آبیاری (θirri) از رابطه زیر (۲) محاسبه شد (Ebrahimi *et al.*, 2017):

$$\theta irri= \theta FC- [(\theta FC - \theta PWP) * MAD] \quad (۲)$$

جدول ۱- اطلاعات خاک مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی واقع در دانشگاه شهید باهنر کرمان

Table 1- Soil information of the research field of Plant Production Technology Research Institute located in Shahid Bahonar University of Kerman

بافت خاک texture Soil	اسیدیته (Ph)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر کل Phosphorus (ppm)	پتاسیم کل Potassium (ppm)	منگنز Mn (ppm)	مس Cu (ppm)	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)
لومی ـ شنی Sandy -loamy	7.59	2.43	31	10.72	346.20	3.96	0.37	1.33	2.16

صفات مورد ارزیابی

صفاتی مانند روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، SPAD، شاخه فرعی، قطر اصلی، تعداد غوزه، سرعت فتوسنتز، ارتفاع و عملکرد تک بوته اندازه‌گیری شدند. میزان کلروفیل با دستگاه SPAD برای همه بوته‌ها اندازه‌گیری شد. سرعت فتوسنتز با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی IRGA مدل (LCA4) انجام شد. اندازه‌گیری این صفت در ساعت ۱۱تا ۱۳ ظهر انجام شد.

تجزیه میانگین نسل‌ها

تجزیه میانگین نسل‌ها در این پژوهش، به‌صورت مجزا برای هر دو محیط‌های تنش رطوبتی و نرمال با استفاده از روش متر و جینکز (Mather and Jinks, 1982) انجام شد که دلیل آن وجود تفاوت نوع اثر ژن برای هر صفت در دو محیط تنش و نرمال می‌باشد. پارامترهای مختلف ژنتیکی در تجزیه میانگین نسل‌ها، با استفاده از روش کمترین مربعات وزنی محاسبه گردید. از نرم‌افزار SAS 9.1 و اکسل جهت آنالیز استفاده شد. در این روش میانگین کل هر صفت به‌صورت زیر (رابطه ۳) برآورد شد.

$$Y= m + \alpha[d] + \beta[h] + \alpha^2 [i] + \alpha^2\beta [j] + \beta^2 [l] \quad (۳)$$

در فرمول فوق Y میانگین یک نسل، m میانگین تمام نسل‌ها، [d] مجموع اثرات افزایشی، [h] مجموع اثرات غالبیت، [i] مجموع اثرات متقابل بین ژنی، [j] مجموع اثرات متقابل بین اثرات افزایشی و غالبیت، [l] مجموع اثرات متقابل بین اثرات غالبیت و α و β^2 ، $\alpha^2\beta$ ، α^2،β ضرایب هر یک از اثرات مدل هستند.

آزمون مقیاس مشترک انفرادی (A،B، C و D) برای تعیین بهترین مدل ژنتیکی در شرایط تنش رطوبتی و نرمال بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه شد. انتخاب هر مدل با استفاده از آماره کای اسکوئر از طریق مقایسه مقادیر مشاهده شده و مقادیر مورد انتظار آزمون شد. در این پژوهش ابتدا مدل سه پارامتری

(افزایشی - غالبیت) بررسی شد و سپس در صورت عدم کفایت این مدل، مدل‌های دیگر مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین مدل برای هریک از صفات تخمین زده شد (Chokan, 2008).

$$P1=m+a \quad (۴)$$

$$P2=m-a \quad (۵)$$

$$F1=m+d \quad (۶)$$

$$F2=m+(d/2) \quad (۷)$$

$$BC1.1=m+(a/2)+(d/2) \quad (۸)$$

$$BC1.2=m-(a/2)+(d/2) \quad (۹)$$

$$A= 2BC1-P1-F1 \quad (۱۰)$$

$$B= 2BC2-P2-F1 \quad (۱۱)$$

$$C=4F2-2F1-P1-P2 \quad (۱۲)$$

$$D= 2F2-BC1-BC2 \quad (۱۳)$$

تجزیه و تحلیل آماری

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، ابتدا فرض‌های تجزیه واریانس شامل نرمال بودن داده‌ها، فرض یکنواختی واریانس درون تیمارهای آزمایش مورد مطالعه قرارگرفت. آزمون نرمال بودن داده‌ها توسط تست کولموگروف-اسمیرنوف و آزمون یکنواختی واریانس‌های درون تیمارهای آزمایش توسط تست بارتلت انجام گرفت. سپس تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. پس از انجام تجزیه واریانس، در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بین نسل‌ها برای تمامی صفات، تجزیه میانگین نسل‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای صفات مورد مطالعه، به‌منظور بررسی تفاوت بین نسل‌ها و هم‌چنین آثار تنش خشکی بر نسل‌های مختلف، در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین نسل‌ها تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها در تلاقی A×Gol نشان داد تمامی صفات مورد بررسی، تحت تأثیر محیط قرار گرفتند هم‌چنین در کلیه صفات، اثرات متقابل بین محیط و نسل‌ها دیده شد. اختلاف معنی‌دار بین نسل‌ها برای صفات مورد بررسی، بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین نسل‌ها بوده و از این‌رو می‌توان پارامترهای ژنتیکی توجیه‌کننده تغییرات صفات مورد مطالعه، را در بین نسل‌ها از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها برآورد نمود. نتایج آزمایشی روی ذرت نشان داد که اختلاف معنی‌دار بین نسل‌ها در صفات مورد مطالعه مشاهده گردید که با نتایج فوق مشابهت دارد (Shahrokhi *et al.*, 2013)

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای نسل‌های مختلف حاصل از تلاقی گلدشت × امریکایی

Table 2- Variance analysis of studied traits for different generations resulting from crossbreeding American Goldasht

منبع تغییرات S.O.V	درجه ازادی D.F	ارتفاع Height	SPAD	شاخه فرعی Number.branch	تعداد غوزه Numbe. Boll	قطر اصلی main diameter	عملکرد تک بوته Single-plant yield	فتوسنتز Photosynthesis	روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering
مکان Place	1	12301.67**	204.63**	1459.84**	8861.57**	419.58**	23997.68**	260.83**	678.83**
تکرار(مکان) Repeat (Place)	2	0.05	0.21	0.82	2.07	0.22	3.52	0.03	0.01
نسل generation	5	132.06**	27.67**	2006.24**	382.48**	25.60**	2541.45**	9.89**	152.03**
مکان × نسل Place×generation	5	279.57**	13.51**	2187.72**	279.62**	7.61**	207.99**	9.20**	21.26**
خطا Error	10	1.69	0.38	0.13	0.44	0.13	2.01	0.01	0.34
ضریب تغییرات C.V		1.19	1.0	2.00	1.35	2.45	1.07	1.83	0.48

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

نتایج تجزیه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

محاسبه اجزای ارزش ژنوتیپی صفات مختلف (افزایشی و غیر افزایشی) برای برآورد روش به‌نژادی و تشخیص لزوم تولید دو رگ و یا لاین خالص مهم می‌باشد. در این پژوهش برای محاسبه پارامترهای ژنتیکی از روش حداقل مربعات وزنی، به دلیل تفاوت واریانس‌ها در نسل‌ها استفاده شد. در این روش پارامترهای میانگین[m]، افزایشی [d] و غالبیت [h] بطور همزمان از هر شش میانگین بدست آمده و به‌عنوان وزن استفاده می‌شود. هم‌چنین اطلاعات هر نسل که عبارت از عکس واریانس میانگین نسل‌هاست، محاسبه گردید. کفایت مدل سه پارامتری (افزایشی - غالبیت) از روش آزمون مقیاس مشترک وزنی با استفاده از آزمون کای اسکوئر محاسبه شد (جدول ۳ و ۴).

آماره کای اسکوئر در آزمون مقیاس مشترک وزنی در محیط رطوبتی نرمال در تلاقی A×Gol برای بعضی صفات بجز صفات SPAD، تعداد غوزه، قطر اصلی و فتوسنتز معنی‌دار نشد و کفایت مدل سه پارامتری تایید شد. هم‌چنین در محیط تنش رطوبتی، آماره کای اسکوئر برای تمامی صفات بجز قطر اصلی معنی‌دار شد و عدم کفایت مدل سه پارامتری و وجود اثر اپیستازی تایید شد (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳- تخمین پارامترهای ژنتیکی صفات ارزیابی شده در گیاه گلرنگ با مدل سه پارامتری، در تلاقی Gol*A در محیط عدم تنش

Table 3- Estimation of genetic parameters of evaluated traits in safflower plant with three-parameter model, in crossbreeding Gol*A in non-stress humidity environment

گلدشت نرمال G.N	ارتفاع Height	SPAD	شاخه فرعی Number.branch	تعداد غوزه Numbe. Boll	قطر اصلی main diameter	عملکرد تک بوته Single-plant yield	فتوسنتز Photosynthesis	روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering
میانگین m	132.74**	66.14**	18.36**	73.83**	19.44**	193.57**	8.52**	154.55**
اثرات افزایشی d	-5.55**	-4-48*	2.65*	-7.69*	-2.03	18.08**	-1.87	7.68**
اثرات غالبیت h	-3.69*	-0.78	-2.42	-12.51*	-2.37**	-70.46**	0.04	4.16**
کای اسکوئر $\chi 2$	5.50	28. 26**	3.34	58.70**	120.25*	4.14	238.25**	4.27

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

جدول ۴- تخمین پارامترهای ژنتیکی صفات ارزیابی شده در گیاه گلرنگ با مدل سه پارامتری، در تلاقی Gol*A در محیط رطوبتی تنش

Table 4- Estimation of genetic parameters of traits evaluated in safflower plant with three-parameter model, in crossbreeding Gol*A in stress humidity environment

گلدشت تنش G.T	ارتفاع Height	SPAD	شاخه فرعی Number.branch	تعداد غوزه Numbe. Boll	قطر اصلی main diameter	عملکرد تک بوته Single-plant yield	فتوسنتز Photosynthesis	روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering
میانگین m	78.52**	57.63**	11.16**	32.18**	11.10**	114.71**	2.69**	147.28**
اثرات افزایشی d	2.31*	-0.70	0.16	0.73	-3.57**	20.28**	1.21*	6.81*
اثرات غالبیت h	9.15	4.37*	-1.78	-4.42*	-1.24	-44.51**	-0.61**	-4.83*
کای اسکوئر $\chi 2$	1198.93**	25.17**	13.50**	9.88*	4.25	23.45**	1772.36**	382.79**

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

لذا به‌منظور بررسی بهتر کفایت مدل سه پارامتری بکار رفته، از آزمون مقیاس انفرادی A، B، C و D نیز برای بررسی کفایت مدل سه پارامتری استفاده شد و نتایج آن در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج این آزمون نشان داد علیرغم کفایت مدل افزایشی - غالبیت بدون ورود اپیستازی و عدم کفایت مدل سه پارامتری به هنگام ورود اپیستازی، آثار اپیستاتیک در کنترل برخی از صفات در شرایط رطوبتی نرمال و تنش وجود دارد. هر دو آزمون‌های فوق، برای تشخیص اینکه آیا مدل ساده افزایشی - غالبیت کفایت می‌کند یا خیر استفاده شدند. معنی‌دار شدن و عدم معنی‌داری هر یک از آزمون‌ها نشان‌دهنده پیچیدگی کنترل ژنتیکی صفت مورد بررسی است (Chiangmai *et al*., 2013). در پژوهشی با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها و آزمون مقیاس انفرادی در سه تلاقی گونه‌ای از خانواده براسیکاسه مشخص گردید که علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت در وراثت صفات فنولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد و میزان روغن دانه، پارامتر اپیستازی در کنترل این صفات مؤثر می‌باشد. با توجه به نوع تلاقی و صفت مورد مطالعه ماهیت اپیستازی متفاوت می‌باشد (Singh *et al*., 2017). در پژوهشی دیگر با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها در گندم نان تحت شرایط تنش رطوبتی مشخص گردید که اثرات غالبیت برای صفات وزن سنبله اصلی، عملکرد دانه، تعداد پنجه و تعداد دانه در سنبله موثرتر از اثرات افزایشی می‌باشد. اثرات متقابل پارامتر غیر افزایشی (اپیستازی افزایشی × افزایشی) فقط برای صفات مورد مطالعه شامل شاخص برداشت، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله اصلی مشاهده شد (Abedi *et al*., 2015).

جدول۵-آزمون مقیاس انفرادی A، B، C و D صفات ارزیابی در گیاه گلرنگ در تلاقی Gol*A در محیط فاقد تنش

Table 5- Individual scale test of A, B, C and D evaluation traits in safflower plant in crossing Gol*A in the humidity environment of non stress

شرایط نرمال normal conditions	آزمون Test	ارتفاع Height (cm)	SPAD	شاخه فرعی Number.branch	تعداد غوزه Numbe. Boll	قطر اصلی main diameter (mm)	عملکرد تک بوته Single-plant yield (gr)	فتوسنتز Photosynthesis	روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering
گلدشت × امریکایی Gol ×American	A	0.681	0.436	1.681	3.828**	0.336	1.987	1.562	1.747
	B	0.342	0.570	0.530	5.649**	0.531	0.243	12.986**	0.882
	C	1.621	4.099**	0.541	1.457	10.635**	0.490	2.553**	0.514
	D	1.873	5.213**	0.276	1.673	10.296**	0.739	4.921**	1.503

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

جدول ۶- آزمون مقیاس انفرادی A، B، C و D صفات ارزیابی در گیاه گلرنگ در تلاقی Gol*A در محیط تنش

Table 6- Individual scale test of A, B, C and D evaluation traits in safflower plant in Gol*A crossing in stress humidity environment.

شرایط تنش Stress conditions	آزمون Test	ارتفاع Height (cm)	SPAD	شاخه فرعی Number.branch	تعداد غوزه Numbe. Boll	قطر اصلی main diameter (mm)	عملکرد تک بوته Single-plant yield (gr)	فتوسنتز Photosynthesis	روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering
گلدشت × امریکایی Gol ×American	A	22.89**	2.58**	1.75	2.32*	0.11	0.62	25.34**	14.34**
	B	21.49**	1.24	2.63**	2.23*	0.80	3.68**	30.08**	9.87**
	C	2.13**	4.69**	0.02	2.59**	1.78	3.30**	0.48	0.60
	D	3.84**	2.34*	2.28*	0.10	1.91	1.44	32.81**	16.62**

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

محاسبه پارامتر میانگین، اثر افزایشی و غالبیت

نتایج این پژوهش نشـــان داد در این تلاقی و هر دو محیط نرمال وتنش رطوبتی پارامتر m برای تمامی صفات معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن این پارامتر در تمام صفات، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین والدین می‌باشـــد. بنابراین پارامتر m نیز اهمیت زیـادی پیـدا خواهـد کرد (جـدول ۳ و ۴). نتـایج این پژوهش (جدول ۳ و ۴) نشان داد که در تلاقی A×Gol در شرایط نرمال رطوبتی تمامی صـفات، بجز سـرعت فتوسـنتز و قطر اصـلی و هم‌چنین در شـــرایط تنش رطوبتی اکثر صـــفات بجز SPAD، تعداد غوزه و شـاخه فرعی پارامتر [d] معنی‌دار گردید که بیانگر سـهم مؤثر اثرات افزایشـی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صـفات مورد مطالعه اســت و گزینش برای مقاومت به تنش رطوبتی در نســل‌های اولیه مؤثر می‌باشـــد. مثبت بودن پارامتر d به معنی برتری والد غالب در کنترل صـــفت مربوطه اســـت. منفی بودن ارزش d نشـان‌دهنده ارزش بیشـتر والد مغلوب نسـبت به والد غالب در کنترل صـفت اسـت. لذا بایسـتی ذکر کرد که علامت اثرات افزایشی بستگی به این دارد که کدام والد P1 یا P2 باشد (Shayan *et al.*, 2017). مقدار بالای [d] در صـــفت عملکرد تک بوته در شـرایط نرمال رطوبتی تلاقی A× Gol و در شـرایط تنش رطوبتی در صـفت عملکرد و ارتفاع بوته نشـان می‌دهد که روش‌های مبتنی بر گزینش برای اصـلاح صـفات فوق مناسـب می‌باشد (جدول ۷ و ۸). نتایج آزمایشی روی ذرت نشان داد که برای ارتفاع بوته، اثرات افزایشـــی ژن نقش مهمی داشـــت که با نتایج فوق مشابهت دارد (Olakojo and Olaoye, 2005).

نتایج این پژوهش بیانگر این اســـت که اثرات غالبیت علاوه بر اثرات افزایشـی تأثیر بسـزایی در کنترل صـفات مورد بررسـی دارد. نتایج نشـــان داد که در تلاقی Gol×A در شـــرایط نرمال رطوبتی تمامی صـــفات بجز SPAD، شـــاخه فرعی و ســـرعت فتوسـنتز و هم‌چنین در شـرایط تنش خشـکی اکثر صـفات بجز ارتفاع، شـــاخه فرعی و قطر اصـــلی پارامتر [h] معنی‌دار گردید (جدول ۳ و ۴).

در این پژوهش مقدار اثرات غالبیت [h] از اثرات افزایشـــی [d] در تلاقی (Gol×A) در شرایط عدم تنش، در صفت سرعت فتوسـنتز و در شرایط تنش خشکی صفات SPAD و قطر اصلی (جدول ۷ و ۸) به مراتب بیشـتر بود. نتایج این مطالعه نشـان داد که در توارث صـفات مذکور، فراسـنجه غالبیت نقش مؤثری دارد و برای صفات مورد مطالعه فوق گزینش تحت شرایط خودگشنی قابل تثبیت نمی‌باشـد. محققین در پژوهشـی در مورد صـفات طول پدانکل، طول ریشـک و طول برگ پرچم در گندم به نتایج مشـابه این پژوهش دسـت یافتند (Golabadi *et al.*, 2008). علامت مثبت و منفی پارامتر غالبیت [h]، به ترتیب غالبیت مثبت و منفی در صـفات مورد بررسـی را بیان می‌کند. در واقع منفی بودن این پارامتر بیانگر این اســـت که غالبیت نســـبی به طرف والدی رخ داده که دارای میانگین کوچکتری برای صـــفت مورد مطالعه می‌باشـد به‌عبارتی دیگر، غالبیت نسـبی در جهت کاهش صـــفت مورد بررســـی در تلاقی‌های مورد مطالعه پیش می‌رود. مثبت بودن پارامتر h بیانگر این است که غالبیت نسبی برای صـــفت مورد مطالعه به طرف والدی که دارای میانگین بالاتری است اتفاق افتاده است و غالبیت نسبی در جهت افزایش اندازه صفت مورد مطالعه وجود دارد (Shayan *et al.*, 2017).

اثرات غیر افزایشی (اثرات اپیستازی)

با مشـاهده پارامتر اپیسـتازی منطقی اسـت که فرض کنیم تعداد زیادی ژن این صفات را کنترل می‌کنند. در واقع عمل ژن اپیسـتازی در نحوه توارث صـفات کیفی معمول نمی‌باشـد ولی برای صـفات کمی معمول اسـت. منطقی اسـت که فرض کنیم تعداد عواملی (بین مکان‌های ژنی و بین آلل‌ها) که باهم اثر متقابل دارند سـبب افزایش مقدار ژن‌های کنترل کننده صـفات می‌شـــود (Mather and Jinks, 1982). میـانگین و اجزای ژنتیکی برای صـفات مورد برسـی، در شـرایط نرمال رطوبتی و تنش در تلاقی اول به شرح ذیل می‌باشد:

ارتفاع، SPAD، تعداد شاخه فرعی و تعداد غوزه

در مورد این صـــفات در شـــرایط نرمال رطوبتی در تلاقی A×Gol مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l برای صفت SPAD، برای صفت ارتفاع مدل ۳ پارامتری m-d-h، صفت تعداد شاخه فرعی مدل m-d و برای صفت تعداد غوزه مدل ۴ پارامتری m-d-h-j، به‌عنوان بهترین مدل برگزیده شـــد (جدول ۶). هم‌چنین در شـــریط محیطی تنش خشـــکی در تلاقی Gol×A مـدل ۳ پارامتری m-d-j برای صـفت ارتفاع، مدل ۴ پارامتری m-d-h-i برای صفت SPAD، صفت تعداد شـاخه فرعی مدل ۴ پارامتری m-h-i-l و برای صـــفت تعداد غوزه مدل۴ پارامتری m-d-h-l

به‌عنوان بهترین مدل برازش شـــد (جدول ۸). در مطالعه‌ای محققین تعداد ســـنبله بارور در بوته در شـــرایط تنش رطوبتی تحت تأثیر اثرات اپیستازی غالبیت × غالبیت برآورد کردند که با نتایج این مطالعه (تعداد غوزه در شرایط تنش) مطابقت داشت (Amiri *et al*., 2020). در مطالعه‌ای که با اســـتفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها بر روی تلاقی کلزا انجام شد، نتایج نشان داد که مدل ساده افزایشی- غالبیت برای توجیه صفت ارتفاع در شرایط تنش رطوبتی کافی نمی‌باشـــد بلکه اپیســـتازی برای توجیه آن نشـــان داده شـــد و در شـــرایط نرمال رطوبتی این صـــفت مدل اپیســـتازی وارد نشـــد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Ahmadian *et al*., 2016). در پژوهشـی دیگر با روش تجزیه میانگین نسل‌ها با استفاده از مدل ۶ پارامتری در محیط رطوبتی تنش خشـکی در تلاقی t×o گلرنگ انجام شـد نتایج نشـان داد صـــفت تعداد شـــاخه فرعی تحت تأثیر اثرات غالبیت × غالبیت معنی‌دار شد (Ebrahimi Lenji *et al*., 2017).

علامت مخالف اثرات غالبیت [h] و اپیســـتازی غالبیت × غالبیت [l] در تلاقی اول A×Gol در شـــرایط نرمال صـــفت SPAD و در شـــرایط تنش صـــفات تعداد شـــاخه فرعی و تعداد غوزه، دلیلی بر وجود اپیســـتازی دو گانه می‌باشـد و واریانس این صفات برای نسل‌ها و جمعیت‌های در حال تفرق کاهش می‌یابد. این نوع اپیســـتازی، در جهت انتخاب گیاهان برتر مشـــکل ایجاد می‌کند و روند اصـــلاحی را آهســـته‌تر و انتخاب تا دســـترســـی به میزان بالایی از تثبیت ژنی بایســـتی به تأخیر افتد (Ghanbari *et al*., 2016).

جدول ۷- براورد اجزای ژنتیکی مختلف برای صفات مورد بررسی در تلاقی Gol*A در شرایط عدم تنش رطوبتی

Table 7- The estimation of different genetic components for the studied traits in the cross of Gol*A in the condition of no humidity stress

صفات گلدشت نرمال T.G.N	میانگین M	[d]	[h]	[i]	[j]	[l]
ارتفاع Height (cm)	132.74**	-5.55**	-3.69*	-	-	-
SPAD	78.34**	-4.64**	-27.24**	-12.51**	-	13.90**
شاخه فرعی Number.branch	18.36**	2.65*	-2.42 ns	-	-	-
تعداد غوزه Number Boll	73.33**	-10.19**	-11.34**	-	15.37*	-
قطر اصلی main diameter (mm)	46.70**	-1.70*	-57.61**	-28.27**	-	27.04**
عملکرد تک بوته Single-plant yield(gr)	193.57**	18.07**	-70.46*	-	-	-
فتوسنتز Photosynthesis	6.67**	0.77	1.01*	4.15*	-	-
روز تا ۵۰٪ درصد گل دهی Day up to 50% flowering	154.55**	7.68**	4.16*	-	-	-

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

m: میانگین والدین، d: مجموع اثرهای افزایشی، h: مجموع اثرهای غالبیت، i :مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی، j: مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی و غالبیت، l: مجموع اثر متقابل غالبیت

[m]: mid-parent value, [d]: pooled additive effects, [h]: pooled dominance effects, [i]: pooled interactions between additive effects, [j]: pooled interactions between additive and dominance effects, [l]: pooled interactions between dominance effects

جدول ۸- براورد اجزای ژنتیکی مختلف برای صفات مورد بررسی در تلاقی Gol*A در شرایط تنش رطوبتی

Table 8- The estimation of different genetic components for the examined traits in the Gol*A cross under humidity stress conditions

صفات گلدشت تنشT.G.T	M	[d]	[h]	[i]	[j]	[l]
ارتفاع Height (cm)	85.11**	18.98**	0.99	-	-76.24**	-
SPAD	68.47**	-0.81*	8.65**	-11.55**	-	-
شاخه فرعی Number.branch	17.69**	0.09	-20.54*	-6.27*	-	12.52*
تعداد غوزه Number Boll	32.67**	0.48**	-12.87**	-	-	9.02**
قطر اصلی main diameter (mm)	11.10**	-3.57**	-1.24	-	-	-
عملکرد تک بوته Single-plant yield(gr)	145.42**	21.15**	-76.50**	-32.34**	-22.78**	-
فتوسنتز photosynthesis	8.38*	1.15*	-15.89*	-5.21*	-	10.43*
روز تا ۵۰٪درصد گل دهی Day up to 50% flowering	190.34**	7.49*	-123.19*	-41.74*	-	82.01*

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

m: میانگین والدین، d: مجموع اثرهای افزایشی، h: مجموع اثرهای غالبیت، i :مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی، j: مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی و غالبیت، l: مجموع اثر متقابل غالبیت

[m]: mid-parent value, [d]: pooled additive effects, [h]: pooled dominance effects, [i]: pooled interactions between additive effects, [j]: pooled interactions between additive and dominance effects, [l]: pooled interactions between dominance effects

عملکرد تک بوته و سرعت فتوسنتز

در مورد این صفات در شرایط نرمال رطوبتی در تلاقی Gol×A مدل سه پارامتری m-d-h برای صفت عملکرد تک بوته، برای صفت سرعت فتوسنتز مدل ۳ پارامتری m-h-i به‌عنوان بهترین مدل برازش شد. هم‌چنین در شرایط محیطی تنش رطوبتی این تلاقی، مدل ۵ پارامتری m-h-d-i-j برای صفات عملکرد تک بوته، مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l برای صفت سرعت فتوسنتز به‌عنوان بهترین مدل گزینش شد (جدول ۷ و ۸).

در تحقیقی دیگری که با روش تجزیه میانگین نسل‌ها با استفاده از مدل ۵ پارامتری انجام شد نتایج نشان داد اثر غالبیت و اثرات متقابل غیر آللی برای عملکرد معنی‌دار شد که بیانگر نقش پررنگتر اثرات غالبیت در کنترل این صفت بود که با نتایج فوق مشابهت دارد (Zangane *et al.*, 2016). در پژوهشی دیگری با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها نشان داده شد که کلروفیل در تلاقی دلگان × اوپرا تحت تأثیر اپیستازی (مدل ۵ پارامتری m-d-h-j-l) قرار گرفته است که تا حدی با نتایج این مطالعه در شرایط تنش رطوبتی تلاقی اول گلدشت × آمریکایی مطابقت داشت (Jamshidimoghaddam *et al.*, 2020).

قطر اصلی و روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی

نتایج تجزیه میانگین نسل‌های این آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط نرمال در تلاقی Gol×A برای صفات قطر اصلی مدل ۵ پارامتری شامل [m-d-h-i-l] و روز تا ۵۰٪ گل‌دهی مدل سه پارامتری m-h-d مناسبترین مدل برای توجیه کنترل ژنتیکی این صفات می‌باشد. نتایج این تلاقی در شریط تنش رطوبتی بیانگر آن است که برای صفت قطر اصلی مدل۲ پارامتری m-d، و روز تا ۵۰٪ گل‌دهی مدل ۵

پارامتری m-d-h-i-l به‌عنوان بهترین مدل برازش شدند (جدول ۷ و ۸). در پژوهشی دیگری که با روش تجزیه میانگین نسل‌ها با استفاده از مدل ۶ پارامتری در محیط رطوبتی در تلاقی t×p گلرنگ انجام شد نتایج نشان داد صفت روز تا گل‌دهی تحت تأثیر اثرات غالبیت × غالبیت می‌باشد که بیانگر توارث پیچیده صفات است و هم‌چنین نتایج نشان داد که این صفت در شرایط نرمال رطوبتی تحت تأثیر هیچ اثرات اپیستازی قرار نگرفت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Ebrahimi Lenji *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که در اکثر صفات مورد مطالعه در تلاقی گلدشت × آمریکایی علاوه‌بر اجزای مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت، اثرات اپیستازی دارای اهمیت بالایی هستند. در جمعیت مورد مطالعه اثرات افزایشی نسبت به اثر ژنتیکی غالبیت نقش مهمی در کنترل صفات روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و عملکرد دارد؛ لذا می‌توان از روش‌های به نژادی مبتنی بر گزینش برای اصلاح صفات فوق استفاده کرد. به‌طورکلی با توجه به وجود اثرات غالبیت ژنی در کنترل صفات SPAD و تعداد غوزه در شرایط نرمال مورد مطالعه، تولید ارقام هیبرید برای افزایش عملکرد در واحد سطح در جمعیت حاصل از تلاقی گلدشت × آمریکایی توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات و همکاری پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان تقدیر و تشکر می‌گردد. هم‌چنین، این تحقیق توسط کمک هزینه پژوهشی (UOZ-GR-3014) دانشگاه زابل حمایت شده است و مراتب سپاس خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه زابل اعلام می‌داریم.

References

Abedi, J., Baghizadeh, A. and Mohammadi-Nejad, G., 2015. Genetic analysis for some morphological traits in bread wheat under drought stress condition using generations mean analysis. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *11*(2), pp.40-48.

Ahmadian, S., Mortazavian, M.M., Ebrahimi, M., Amini, F., Ghorbani Javid, M. and Foghi, B., 2016. Genetic Analysis of some morphological traits in wheat using generation mean analysis under normal and drought sress conditions. *Journal of Crop Breeding*, *20*(8), pp.175-182. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2020.2372.1614**

Akshi, N., Cheghamirza, K., Nazarian-Firouzabadi, F. and Ahmadi, H., 2014. Generation mean analisis for yield common bean. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *4*(3), pp.1079-1085.

Amiri, R., Bahraminejad, S. and Cheghamirza, K., 2020. Genetic analysis of iron and zinc concentrations in bread wheat grains. *Journal of Cereal Science*, *95*, pp.103077. **doi: 10.1016/j.jcs.2020.103077**

Asadi, A.A., Valizadeh, M., Mohammadi, S.A. and Khodarahmi, M., 2019. Genetic Analysis of Response to Water Deficit Stress Based on Physiological Traits in Wheat. *Plant Genetic Researches*, *6*(2), pp.1-20. [In Persian]. **doi: 10.29252/pgr.6.2.1**

Chiangmai, P.N., Yodmingkhwan, P., Nilpraprucк, P., Aekatasanawan, C. and Kanjanamaneesathian, M., 2013. Generation means analysis of phytic acid and inorganic phosphorus contents in corn (*Zea mays* L). *Maydica*, *58*, pp.243-253

Chokan, R., 2008. Methods of genetic analysis of quantitative traits in plant breeding. Ministries of agricultural jihad. agricultural extension, education and research organization. Research institute for breeding and preparation of seed seedlings. [In Persian].

Ebrahimi Lenji, H., Mirlohi, F. and Majidi, M.M., 2017. Genetic analysis of different traits in safflowe using generation mean analysis of inter-specific crosses under water sress and non- stress conditions. M.S thesis. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. [In Persian].

Ebrahimi, F., Majidi, M.M., Arzani, A., Mohammadi Nejad, GH. and Dehghan Kouhestani, R., 2017. yield potential and drought tolerance of some domestic and foreign varieties of *safflower* in three regions of iran. *Journal of Crop Production and Processing*, *7*(3), pp.1-18. [In Persian]. **doi: 10.29252/jcpp.7.3.1**

Ghanbari, F., Moosavi, S.S., Abdollahi, M.R. and Kiani, E., 2016. Estimation of genetic parameters in maize (*Zea Mays* L.) by generation mean analaysis under normal and moisture stress condition. M.S thesis. Faculty of Agriculture. BU-Ali Sina University. [In Persian].

Ghasemi, P., Karami, E. and Talebi, R., 2019. The inheritance of some quantitative traits in the chickpea through the generation mean analysis. *Journal of Plant Ecophysiology*, *47*(1), pp.28-40. [In Persian]. **doi: 10.3389/fpls.2021.734980**

Golabadi, M., Arzani, A. and Mibodi, S.M.M., 2008. Genetic analysis of some morphological traits of durum wheat by generation average under normal conditions and drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, *24*(1), pp.99-116. [In Persian]. **doi: 10.29252/jcpp.7.3.1**

Guo, X.Y., Zhang, X.S. and Huang, Z.Y., 2010. Drought tolerance in three hybrid poplar clones submitted to different watering regimes. *Journal of Plant Ecology*, *3*(2), pp.79-87. **doi: 10.1093/jpe/rtq007**

Jamshidmoghaddam, M., Farshadfar, E. and Najaphy, A., 2020. Genetic analysis of agro-physiological characteristics in three crosses of rapeseed (*Brassica napus* L.) using generation mean analysis in semi-cold area under drought stress conditions. *Journal of Iran Rainfed Agriculture*, *9*(2), pp.173-194. [In Persian]. **doi: 10.22092/idaj.2021.342566.299**

Kearsy, M.J. and Pooni, H.S., 1996. The genetic analysis of quantitative traits. Chapman and Hall, Londan, UK.

Mather, K. and Jinks, J.L., 1982. Biometrical genetics: the study of continuous variation. London UK.

Olakojo, S.A. and Olaoye, G., 2005. Combining ability for grain yield, agronomic traits and Strigalutea toiernceof maize hybrids under artificial striga infestatio . *African Journal of Biotechnology*, *4*(9), pp.984– 988 .

Shahrokhi, M., Khavari Khorasani, S. and Ebrahimi, A., 2013. Study of genetic components in various maize (*Zea mays* L.) traits, using generation mean analysis method. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, *4*(3), pp.405-412.

Shayan, S., Moghaddam Vahed, M., Norouzi, M., Mohammadi, S. and Toorchi, M., 2019. Genetic analysis of agronomic and physiological traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using generation mean analysis under drought stress conditions and spring planting in the cold climate. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *21*(3), pp.210-224. [In Persian]. **doi: 10.29252/abj.21.3.210**.

Shayan, S., Moghaddam Vahed, M., Norouzi, M., Mohammadi, S.A., Toorchi, M. and Molaei, B., 2017. Inheritance of agronomical and physiological traits in the progeny of moghan3 and arg bread wheat varieties cross. *Plant Genetic Researches*, *4*(2), *pp.*43-60. [In Persian]. **doi: 10.29252/pgr.4.2.43**.

Singh, A.P.K., Verma, O.P. and Kumar, K., 2017. Genetic analysis for seed yield and its related attributes in

Yellow Sarson (*Brassica rapa var. Yellow Sarson). Journal of Oilseed Brassica*, *8*(1), pp.43-51

Zangane, K., Malekzadeh Shafaroudi, S., Shahriyari, F. and Nezami, A., 2016. Evaluation of gene action and heritability of some important traits (*Cicer airetinum* L.) by generation mean and variance analysis. M.Sc. Thesis in Plant Breeding Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture. [In Persian].

Zhou, X., Tang, L., Xu, Y., Zhou, G. and Wang, N.Z., 2014. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional Chinese medicine: A phytochemical and pharmacological review. *Journal Ethnopharmacol*, *151*, pp.27–43. **doi: 10.1016/j.jep.2013.10.050**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 1, Spring 2024, P. 135-148

Genetic analysis of some agronomic characteristics of safflower using mean analysis of generations under drought stress

Seyedah Esmat Hashemi Fadaki[1], Nafiseh Mahdinezhad[2*], Ghasem Mohammadi Nejad[3], Fatemeh Ebrahimi[3], Baratali Fakheri[2]

[1] Ph.D Student of Genetics and Plant Breeding, Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[3] Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[*]Corresponding Author: nmahdinezhad@uoz.ac.ir

Received: 26 December 2022 Accepted: 6 March 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.378373.1304**

Abstract

Introduction: Studying the genetic system that controls important agricultural traits is one of the most important prerequisites for choosing a suitable breeding method. The most genetic diversity of a plant species can be seen in its native genotypes and wild species. Investigating heritability, how genes work, and determining an effective breeding method to improve physiological traits, especially in conditions of moisture stress, is very importance. Drought stress is one of the most important factors that reduce the yield of plants, considering that the safflower plant is mostly grown in semi-arid and dry areas, nowadays much attention has been paid to the production of drought-tolerant varieties. Safflower is a one-year plant from the chicory family as an oil and fodder plant with various uses that can be cultivated under drought and normal stress conditions.

Materials and Methods: Therefore, in order to investigate the mode of gene action for some quantitatively important traits in safflower, a cross was made between two cultivars of Goldasht (resistant to drought stress) and American (sensitive to drought stress). And after self-fertilization of F1 plants and crossing them with both parents, F2, BC1.1 and BC1.2 generations were obtained. And the parents along with the F1, F2, BC1.1 and BC1.2 generations resulting from the cross were tested under moisture stress conditions in the research farm of the Research Institute of Plant Production Technology of Shahid Bahnar University in 2021-2022. The experiment was conducted in the form of split plots in the form of a randomized complete block design with two replications Moisture stress was applied at the stage of 10% tillering and until the stage of full maturity. The examined traits were 8 traits, including height, number of sub-branches, main stem diameter, number of bolls, single plant yield, photosynthesis, number of days to 50% flowering and SPAD were noted.

Results and Discussion: The results of analysis of variance showed that the mean square of the generations for all the traits in this crossing is significant, so the best genetic model was investigated for each studied trait. The interaction effect of generation and location (irrigation conditions) was significant for the studied traits. To check the appropriate genetic model, Meter and Jakens method and individual scale test (A, B, C and D) were used. The results of the above tests indicate the existence of additive and dominant effects, as well as epistasis effects (additive × additive, additive × dominant, and dominant × dominant) also played a role in the genetic control of most traits. In normal irrigation conditions, most of the traits except Spad, number of bolls and diameter of chi-square and their individual scale test were not significant and were affected by the three-parameter additive-dominance model. Also, in the conditions of moisture stress, most of the traits were significant in the control of inheritance, except for the main diameter of chi-square and scale test (A, B, C, and D), and additive effects, dominance and epistasis had an important role in their control. The existence of dominance × dominance effects compared to the parameter of additive effects in the boll number trait indicates the high importance of non-additive genetic effects (epistasis) and complex inheritance of this trait. Also, selection in the early generations for the above trait will not be successful. The additive effects played the most important role in controlling the inheritance of the main diameter trait under

moisture stress conditions. Therefore, it will be useful to modify this attribute from the selection method. Also, additive effects play the most important role in controlling the inheritance of the number of sub-branches in normal conditions (no stress). But in the conditions of moisture stress, the mentioned trait was affected by the additive × additive epistasis. Therefore, one cannot hope for the success of selection in the early generations of diverging populations.
Conclusion: The genetic control model of all studied traits under both stress and non-stress conditions were not similar in terms of presence and absence of non-allelic interactions and were affected by stress.

Keywords: Epistasis, Gene action, Genetical model, Joint scaling test