

# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 1, 2025, P. 125-137

### Evaluation of the genetic parameters of performance and important agronomic traits of the safflower genotypes resulting from the crossing of the variety Omid Bakhsh 93 × American under drought stress

Seyedeh Esmat Hashemi Fadaki <sup>a</sup>, Nafiseh Mahdinezhad <sup>\*b</sup>, Ghasem Mohammadinejad <sup>c</sup>, Fatemeh Ebrahimi <sup>c</sup>, Baratali Fakheri <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ph.D Student of Genetics and Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>b</sup> Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>c</sup> Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

\*Corresponding Author: [nmahdinezhad@uoz.ac.ir](mailto:nmahdinezhad@uoz.ac.ir)

Received: 24 February 2023 Accepted: 25 October 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.386168.1321

#### How to cite this article:

Hashemi Fadaki, S.E., Mahdinezhad, N., Mohammadinejad, G., Ebrahimi, F. and Fakheri, B., 2025. Evaluation of the genetic parameters of performance and important agronomic traits of the safflower genotypes resulting from the crossing of the variety Omid Bakhsh 93 × American under drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(1), 125-137. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.386168.1321>

#### Abstract

**Introduction:** The first step in the breeding of agricultural traits is to have sufficient information about genetic parameters such as the mode of inheritance and the way genes work for traits. One of the most suitable methods for calculating genetic parameters is the method of analyzing the average of generations due to the low error calculation. The interpretation of the method of analysis of the average of generations determines the gene effects, which are actually the result of all the gene loci that are diverging. This means that the additive effects as well as the reciprocal effects in connection with these effects are a function of the degree of dispersion of the genes increasing the traits between the parents in the Study, if the dominance parameters result in the direction of dominance in each gene locus. Therefore, the effects of genes in different directions may cause the estimate to be lower than the actual amount. On the other hand, the genetic variance is calculated from the sum of squares of each gene locus.

**Materials and Methods:** Therefore, in order to study the type of gene action for some quantitatively important traits in safflower plant, crossing between 93 and American cultivars (resistant and sensitive to drought stress, respectively) was done and then F<sub>2</sub>, BC<sub>1.1</sub> and BC<sub>1.2</sub> generations were obtained. The parents along with the F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, BC<sub>1.1</sub> and BC<sub>1.2</sub> generations were studied under drought stress conditions in the research farm of Plant Production Technology Research Institute of Shahid Bahonar University in 2020-2021. The research was conducted in the form of a randomized complete block design with two replications. Dry stress was applied at the 10% Heading stage and up to the full



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

ripening stage. 8 traits including plant height, SPAD, number of sub-branches, number of bolls, single plant yield, days to 5% tillering and number of days to 50% flowering were evaluated.

**Results and Discussion:** The results of analysis of variance of this research showed that the mean square of the generations for all studied traits in the cross was significant. Therefore, the best genetic model was made for all investigated traits. The interaction effect of generation  $\times$  location was significant for the studied traits. To evaluate the best genetic model, Meter and Jenkins method and individual scale test (A, B, C and D) were used, and the results of these tests indicate the existence of additive and dominant effects, as well as non-additive parameters (incremental  $\times$  additive (i), additive  $\times$  dominance (j) and dominance  $\times$  dominance (l)) also played a role in the genetic control of all traits. In the irrigation conditions of no stress, most of the traits except the number of sub-branches and the number of bolls were not significant by chi-square and individual scale test and were under the genetic control of the three-parameter additive-dominance model. Also, in the condition of drought stress, it was significant in controlling the inheritance of all chi-square traits and their scale test (A, B, C and D). The opposite sign of h and l in the characteristics of plant height, number of sub-branches and number of bolls under drought stress indicates epistasis of double type. This type of epistasis causes disruption in the selection process by reducing diversity in the F2 generation and subsequent generations and shows the complexity of the inheritance of these traits.

**Conclusion:** Based on the results of this research, the importance of non-additive effects (epistasis parameters) in the control of investigated traits under conditions of moisture stress, the necessity of selection in segregating generations (after reaching purity and relative homozygosity) and the use of bulk-pedigree method or production Hybrid cultivars show in safflower plant. The different results in the experiments can be attributed to differences in genetic material, sample size, and experimental environment.

**Keywords:** Epistasis, Genetic variance components, Generation mean decomposition, Moisture stress

## ارزیابی پارامترهای ژنتیکی عملکرد و صفات مهم زراعی ژنوتیپ‌های گلرنگ حاصل از تلاقی رقم امید بخش ۹۳ × آمریکایی تحت تنش خشکی

سیده عصمت هاشمی فدکی<sup>۱</sup>، نفیسه مهدی نژاد<sup>۲</sup>، قاسم محمدی نژاد<sup>۳</sup>، فاطمه ابراهیمی<sup>۳</sup>، براتعلی فاخری<sup>۲</sup>

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، پژوهشگاه فضلی‌پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

\* مسئول مکاتبه: [nmahdinezhad@uoz.ac.ir](mailto:nmahdinezhad@uoz.ac.ir)

DOI:10.22034/CSRAR.2024.386168.1321

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵

### چکیده

به منظور مطالعه نوع عمل ژن‌ها برای صفات کمی گلرنگ، ابتدا دو ژنوتیپ رقم امید بخش ۹۳ و آمریکایی تلاقی داده شد. سپس والدین همراه با نسل‌های F1، F2، BC1.1 و BC1.2 حاصل از تلاقی فوق در شرایط تنش خشکی و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله ۱۰ درصد تکمه‌دهی و تا مرحله رسیدگی کامل، تنش خشکی اعمال شد. صفات ارتفاع بوته، SPAD، تعداد شاخه فرعی، تعداد غوزه، عملکرد تک بوته، روز تا ۵۰ درصد تکمه‌دهی و روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین مربعات نسل‌ها برای تمامی صفات وجود داشت. همچنین نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها نشان داد که در شرایط عدم تنش (نرمال) بیشتر صفات به جزء تعداد شاخه فرعی و تعداد غوزه، کای اسکوتر و آزمون مقیاس انفرادی آنها معنی‌دار نشد و تحت کنترل ژنتیکی مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت قرار گرفتند. همچنین در شرایط تنش خشکی نیز در کنترل وارث تمامی صفات کای اسکوتر و آزمون مقیاس (A, B, C, D) آنها معنی‌دار شد. علامت مخالف h و l در صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد غوزه در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده اپیستازی از نوع مضاعف می‌باشد. این نوع از اپیستازی با کاهش تنوع در نسل F2 و نسل‌های بعد سبب اختلال در فرایند گزینش می‌گردد و نشان‌دهنده پیچیدگی کنترل ژنتیکی این صفات در این تلاقی می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اپیستازی، اجزای واریانس ژنتیکی، تجزیه میانگین نسل‌ها، تنش رطوبتی

### مقدمه

یکی از مهمترین و گسترده‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد و تولید محصولات زراعی به ویژه غلات، در مناطق خشک تنش کمبود آب می‌باشد (Wasaya et al., 2018). میزان تأثیر تنش به عواملی مانند شدت، زمان و طول دوره وقوع آن بستگی دارد. لذا شناخت جامع از ساختار ژنتیکی، الگوی وارث‌پذیری صفات، نوع و میزان اثرات ژنی برای تولید ارقام پر محصول و متحمل به تنش لازم است. این مطلب با استفاده از روش‌های ژنتیک کمی مختلفی که برای کسب اطلاعات مربوط به کنترل ژنتیکی صفات متعدد معرفی شده‌اند، میسر می‌شود (Amiri et al., 2020).

از میان دانه‌های روغنی سازگار با شرایط آب و هوایی کشور، گلرنگ از جایگاه مهم و ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. گلرنگ یا کاشفه با نام علمی *Carthamus tinctorius* L. از راسته

*Cynadrea*، خانواده *Asteraceae* است. از جمله خصوصیات مطلوب این گیاه به دلیل دارا بودن ریشه عمیق می‌توان قدرت سازگاری بالا، تحمل به سرما و مقاومت نسبی به خشکی، همچنین مقاومت به شوری، کیفیت بالای روغن دانه و موارد مصرفی مختلف مانند استفاده‌های غذایی، صنعتی و طبی اشاره نمود (Khajeh pour, 2005; Mundel and Bergman, 2008).

گزینش روش اصلاحی مناسب برای استفاده بهتر از ظرفیت ژنتیکی صفات مختلف در یک گیاه به نوع عمل ژن‌های کنترل کننده و نحوه توارث صفت بستگی دارد (Akhtar and Chowdhry, 2006; Zare et al., 2008). اطلاعات در این زمینه کمک به شروع تصمیم درست برای اصلاح صفت در برنامه به‌نژادی و اصلاحی می‌شود. در شرایط مشاهده پارامتر اثرات غالبیت و برخی از اشکال اپیستازی، تولید واریته‌های

محیطی مختلف بیان کردند که اثرات پارامترهای اپیستازی غالبیت × غالبیت (I) در بیشتر صفات مورد بررسی معنی‌دار گردید (Nemati et al., 2018). 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

مواد گیاهی در این پژوهش شامل نسل‌های والدین، F1، F2، BC1 و BC2 حاصل از تلاقی رقم امید بخش ۹۳ (والد مادری) و A آمریکایی (والد پدری) بودند. پس از انجام تلاقی والدین و تولید نسل‌های فوق در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری و تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان (با مختصات طول جغرافیایی ۲۲ درجه و ۳۲ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی)، ارزیابی نسل‌ها در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. این پژوهش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار در دو شرایط آبیاری کامل (نرمال) و تنش خشکی در مرحله ۱۰ درصد تکمه‌دهی اجرا شد. 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. داده‌های هواشناسی در محل پژوهش به این شرح است: میانگین حداقل دما ۱۲/۸۱ سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دما ۲۸/۴۱ سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۲۹/۶۲ درصد و مجموع بارش سالیانه ۳۱/۸۲ میلی‌متر می‌باشد.

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 تامین 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 جمعی استفاده شد. به‌طوری که پس از هر بار آبیاری، مقدار جمعی تبخیر و تعرق (ETc) با استفاده

هیبرید یاد آور می‌شود ولی در صورتی که اثرات ژن‌های افزایشی کنترل‌کننده صفت باشند، از لاین‌های خاص به‌عنوان وارثه زراعی بکار می‌برند (Shayan et al., 2017).

یکی از روش‌های تعیین پارامترهای ژنتیکی، تجزیه میانگین نسل‌ها می‌باشد (Mather and Jinks, 1982). با استفاده از تلاقی بین لاین‌های خالص والدین برای تهیه‌ی بذور نسل‌ها (F1، F2، BC1 و BC2) و اجرای روش تجزیه میانگین نسل‌ها می‌توان ارتباط ژنتیکی بین گیاهان را مشخص و پارامترهای ژنتیکی را محاسبه نمود (Mather and Jinks, 1982). در تجزیه میانگین نسل‌ها برای محاسبه اثرات ژنتیکی، از میانگین نسل‌های مختلف استفاده می‌شود. کاهش خطای یکی از مزایای این روش نسبت به سایر روش‌ها مانند دای آلل می‌باشد زیرا از این جهت که علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت قادر به بررسی انواع مختلف پارامترهای غیر افزایشی (اپیستازی افزایشی × افزایشی (i)، افزایشی × غالبیت (j) و غالبیت × غالبیت (I)) می‌باشد. در صورتی که روش‌های دیگر تنها اثرات ژنتیکی و غالبیت را برآورد می‌کنند (Haluver and Miranda, 1985). در مطالعه‌ای دیگر، نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها در تلاقی دو رقم گندم دوروم Mrb5 × Bousselem نشان دهنده عدم کفایت مدل ساده سه پارامتری (افزایشی - غالبیت) و وجود اثرات اپیستازی در کنترل صفات مورد مطالعه بود. با نگرش به وجود غالبیت ناقص برای اکثر صفات مورد بررسی، غالبیت کامل برای صفاتی مانند عملکرد دانه و عملکرد زیستی، همچنین فوق غالبیت برای وزن هزار دانه و شاخص برداشت و توارث-پذیری کم برای اغلب صفات، انتخاب برای نسل‌های بعدی پیشنهاد می‌گردد (Salmi et al., 2019). محققین در بررسی پارامترهای ژنتیکی در تلاقی گندم مرودشت با MW-17 با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی انتهای فصل بیان کردند که مدل کنترل ژنتیکی اغلب صفات در هر دو شرایط تنش خشکی و شرایط نرمال (عدم تنش) از لحاظ وجود یا عدم وجود اثرات متقابل غیر آللی، نسبتاً مشابه بودند (Amiri et al., 2021). نتایج حاصل از پژوهشی بر روی گیاه تریتیکاله (Ferrari et al., 2018) و همچنین گیاه گندم (Gangopadhyay et al., 2018) نشان داد که عملکرد دانه در بوته تحت تاثیر اثرات اپیستازی قرار گرفت. در مطالعه‌ای دیگر، محققین با بررسی نحوه وراثت صفات در گیاه گندم در شرایط

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.

از رابطه فائو- پنمن-مانتیس با اعمال ضریب گیاهی گلرنگ طی دوره رشد محاسبه شد. زمانی که 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 ۱ محاسبه شد (Allen et al., 1998; Ebrahimi et al., 2017).

$$Id = (FC - PWP) * D * B * MAD \quad (1)$$

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

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 <sup>-1</sup> )	نیترژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	منگنز Mn (ppm)	مس Cu (ppm)	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)
لومی - شنی Sandy-loamy	7.59	2.43	31	10.72	346.20	3.96	0.37	1.33	2.16

استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. آزمون وجود اختلاف معنی‌دار بین نسل‌ها، با استفاده تجزیه واریانس وزنی انجام شد. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بین نسل‌ها در صفات مورد مطالعه، تجزیه میانگین نسل‌ها و محاسبه پارامترهای ژنتیکی با کمک روش حداقل مربعات وزنی برای هر یک از شرایط محیطی نرمال و تنش خشکی انجام شد (Mather and Jinks, 1982). همچنین از آزمون مقیاس انفرادی برای میانگین صفات مورد مطالعه و تخمین بهترین مدل ژنتیکی در شرایط محیطی مختلف با روش متر و جیکنز استفاده گردید. از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و اکسل جهت محاسبات و تجزیه داده‌ها انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات مورد مطالعه در پژوهش در والدین رقم امید بخش ۹۳ و آمریکایی و نسل‌های حاصل از تلاقی (F1, F2, BC1, BC2) در شرایط محیطی تنش خشکی و نرمال نشان داد بین نسل‌ها در صفات SPAD، شاخه فرعی، وزن تر بوته و عملکرد تک بوته در سطح احتمال یک درصد، همچنین ارتفاع بوته، تعداد غوزه، روز تا ۵۰٪ درصد تکمه‌دهی و روز تا ۵۰٪ گل‌دهی در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۲). اختلاف معنی‌دار

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 در مورد انتظار خاک در زمان آبیاری (θ<sub>irri</sub>) مقایسه شد. مقدار رطوبت مورد انتظار خاک در زمان آبیاری (θ<sub>irri</sub>) از رابطه ۲ محاسبه شد (Allen et al., 1998; Ebrahimi et al., 2017).

$$\theta_{irri} = \theta_{FC} - [(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) * MAD] \quad (2)$$

هر واحد آزمایشی، ۳ متر طول داشت و فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. برای هر یک از والدین و نسل F1 در هر تکرار، تعداد ۲۵ بذر، از نسل BC1 و BC2، تعداد ۶۰ بذر و از نسل F2، ۸۰ بذر کشت گردید. صفات مورد مطالعه به صورت تک بوته اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری صفات مورد بررسی تعداد هفت بوته از والد P1، هفت بوته از والد P2، ۹ بوته از نسل BC1 و BC2، ۱۲ بوته از نسل F2 در هر تکرار هم در شرایط تنش و نرمال انتخاب گردید.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها، پس از جمع‌آوری داده با

بین نسل‌ها در صفات مورد مطالعه، نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین نسل‌ها می‌باشد. پژوهش‌های دیگری به نتایج مشابهی دست یافتند که نشان دادند بین نسل‌ها تنوع ژنتیکی وجود دارد (Zabet *et al.*, 2017).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای نسل‌های مختلف حاصل از تلاقی ۹۳×امریکایی

Table 2- Analysis of variance of studied traits for different generations resulting from crossbreeding 93×American									
منبع	درجه	ارتفاع	SPAD	تعداد شاخه	تعداد	وزن تر	عملکرد	روز تا	روز تا ۵۰٪
تغییرات	آزادی	Height		فرعی	غوزه	بوته	تک بوته	۵۰٪ تکمه‌دهی	گلدهی
S.O.V	Df	(cm)		Number of sub branches	Number of boll	Plant fresh weight	Single-plant yield (gr)	Day up to 50% Heading	Day up to 50% flowering
مکان P	1	**16354.26	**248.066	**147.16	**4300.86	**3.80	**9806.99	**1625.91	**2166.19
تکرار (مکان) R(P)	2	0.38	0.60	0.28	0.25	0.12	0.62	0.25	0.23
نسل G	5	*30.57	**34.42	**7.27	*18.42	**0.08	**3911.90	*34.80	*21.96
مکان *نسل P*G	5	**163.01	**39.63	**2.79	**132.81	**0.04	**639.35	**84.18	**147.86
خطا Error		2.32	0.82	3.61	4.41	3.99	1.83	0.45	0.30

\* و \*\*: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\*: significant at the 5 and 1% probability levels, respective

شد. همچنین در شرایط تنش خشکی، آماره کای اسکوئر برای تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار شد و عدم کفایت مدل افزایشی - غالبیت و وجود اثرات متقابل غیرآلی (اپیستازی) و تایید شد (جدول ۳ و ۴).

### نتایج تجزیه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

آماره کای اسکوئر در محیط رطوبتی عدم تنش در تلاقی ۹۳×A برای اکثر صفات بجز صفات شاخه فرعی و تعداد غوزه معنی‌دار نشد و مدل سه پارامتری (افزایشی - غالبیت) تایید

جدول ۳- تخمین پارامترهای ژنتیکی صفات ارزیابی شده در گیاه گلرنگ با مدل سه پارامتری، در تلاقی ۹۳×A در محیط عدم تنش.

Table 3- Estimation of genetic parameters of evaluated traits in safflower plant with three-parameter model, in crossbreeding 93×A in non-stress humidity environment

۹۳ نرمال	درجه	ارتفاع	SPAD	تعداد شاخه	تعداد غوزه	وزن تر بوته	عملکرد تک بوته	روز تا	روز تا ۵۰٪ تکمه‌دهی
N.93	آزادی	Height		فرعی	Number of boll	Plant fresh weight	Single-plant yield (gr)	Day up to 50% Heading	
	Df	(cm)		Number of sub branches					
میانگین m	133.41**	65.01**	16.98**	69.81**	1.07**	3.78**	129.94**	160.30**	
اثرات افزایشی d	-9.09**	5.25**	1.20	-7.68**	-0.25**	49.28**	5.28**	9.03**	
اثرات غالبیت h	-0.69	-7.65*	0.85*	-10.25**	0.45**	-50.82**	6.26**	5.44**	
کای اسکوئر $\chi^2$	5.63	7.48	11.46*	29.68**	4.83	4.94	2.56	3.08	

\* و \*\*: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\*: significant at the 5 and 1% probability levels, respective

هر دو آزمون‌های مذکور، برای تشخیص اینکه آیا مدل ساده سه پارامتری مناسب می‌باشد یا خیر استفاده شدند. در پژوهشی

همچنین از آزمون مقیاس انفرادی (A, B, C و D) برای بررسی مدل افزایشی - غالبیت استفاده گردید (جدول ۵ و ۶).

غالبيت در توارث صفات نقش داشتند، اثرات غالبیت به‌طور چشمگیری اهمیت بیشتری از اثرات افزایشی دارد (Ljubicic *et al.*, 2016).

#### محاسبه پارامتر میانگین، اثر افزایشی و غالبیت

نتایج این مطالعه نشان داد در این تلاقی و هر دو محیط تنش خشکی و عدم تنش پارامتر m برای تمامی صفات معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن این پارامتر در تمام صفات، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین والدین و اهمیت برهمکنش‌های غیر آلی می‌باشد (جدول ۷ و ۸).

در همین راستا نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (Abd El-Hady *et al.*, 2018; Salmi *et al.*, 2019; Taheri *et al.*, 2022).

به‌منظور مطالعه اثرات ژنی و تنوع ژنتیکی عملکرد و کیفیت محصول در شش نسل پایه حاصل از تلاقی دو گندم پاییزه، نتایج حاکی از آن است که اثرات افزایشی و غیر افزایشی در توارث صفات مورد مطالعه دخالت دارد. لذا برای توجیه ژنتیکی صفات، مدل سه پارامتری (افزایشی - غالبیت) کافی نمی‌باشد. همچنین اثرات غالبیت و اثرات اپیستازی (غالبیت × غالبیت) برای اکثر صفات مورد بررسی نقش مهمتری از اثرات افزایشی و اشکال دیگر اپیستازی داشتند (Bilgin *et al.*, 2016). محققین در مطالعه‌ای جهت برآورد پارامترهای ژنتیکی عملکرد و اجزای عملکرد در گندم نان با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها بیان کردند که در وراثت صفات مورد مطالعه اثرات افزایشی و غالبیت، اثرات اپیستازی (افزایشی × افزایشی و غالبیت × غالبیت) نقش مهمی ایفا می‌کنند. با آنکه اثرات افزایشی و

جدول ۴- تخمین پارامترهای ژنتیکی صفات ارزیابی شده در گیاه گلرنگ با مدل سه پارامتری، در تلاقی 93\*A در محیط رطوبتی تنش.

Table 4- Estimation of genetic parameters of traits evaluated in safflower plant with three-parameter model, in crossbreeding 93\*A in stress humidity environment

تنش ۹۳ T.93	درجه آزادی Df	ارتفاع Height (cm)	SPAD	تعداد شاخه فرعی Number of sub branches	تعداد غوزه Number of boll	وزن تر بوته Plant fresh weight	عملکرد تک بوته Single-plant yield (gr)	روز تا ۵۰٪ تکمه‌دهی Day up to 50% Heading
میانگین m	81.69**	52.41**	11.54**	37.73**	0.42**	117.75**	115.73**	146.85**
اثرات افزایشی d	7.92	-1.97*	1.53*	4.34*	-0.02	21.08*	-8.94*	-7.26
اثرات غالبیت h	-3.98**	2.10	-0.50**	0.71**	0.08*	-48.05*	0.25**	1.32*
کای اسکوئر $\chi^2$	158.04**	246.76**	21.28**	144.10**	122.69**	216.62**	454.14**	308.88**

\* و \*\*: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\*: significant at the 5 and 1% probability levels, respective

جدول ۵- آزمون مقیاس انفرادی A, B, C و D صفات ارزیابی در گیاه گلرنگ در تلاقی 93\*A در محیط فاقد تنش

Table 5- Individual scale test of A, B, C and D evaluation traits in safflower plant in crossing 93\*A in the humidity environment of non stress

شرایط نرمال Normal conditions	آزمون Test	ارتفاع Height (cm)	SPAD	تعداد شاخه فرعی Number of sub branches	تعداد غوزه Number of boll	وزن تر بوته Plant fresh weight	عملکرد تک بوته Single-plant yield (gr)	روز تا ۵۰٪ تکمه‌دهی Day up to 50% Heading	تعداد شاخه فرعی Number of sub branches
93* American آمریکایی	A	1.470	1.882	0.89	3.48**	0.658	1.831	0.234	1.527
	B	0.356	1.542	2.81**	3.23**	1.642	1.319	1.191	0.312
	C	1.720	0.996	2.02*	1.71	1.131	0.957	1.340	0.451
	D	0.948	1.130	0.91	1.73	1.882	1.028	0.297	1.160

\* و \*\*: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\*: significant at the 5 and 1% probability levels, respective

جدول ۶- آزمون مقیاس انفرادی A, B, C و D صفات ارزیابی در گیاه گلرنگ در تلاقی 93\*A در محیط تنش

Table 6- Individual scale test of A, B, C and D evaluation traits in safflower plant in 93\*A crossing in stress humidity environment.

شرایط تنش Stress conditions	آزمون Test	درجه آزادی df	ارتفاع Height (cm)	SPAD	تعداد شاخه فرعی Number of sub branches	تعداد غوزه Number of boll	وزن تر بوته Plant fresh weight	عملکرد تک بوته Single-plant yield (gr)	روز تا ۵۰٪ تکمه‌دهی Day up to 50% Heading
93*American	A	7.15**	14.02**	2.58**	7.34*	7.35	0.60	11.57**	0.65
	B	7.79**	9.0**	2.99**	6.79**	6.27	0.02	5.95*	3.78**
	C	0.93	11.96**	0.79	3.42**	8.91**	14.38**	5.70**	14.19**
	D	11.07**	1.28	4.12**	3.37**	1.04	12.03**	17.80	13.15*

\* و \*\*: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\*: significant at the 5 and 1% probability levels, respective

افزایشی، اثرات غالبیت نیز تاثیر مهمی در کنترل صفات مورد مطالعه دارد. نتایج نشان داد که در تلاقی 93\*A در شرایط عدم تنش تمامی صفات بجز ارتفاع بوته و همچنین در شرایط تنش رطوبتی اکثر صفات بجز SPAD پارامتر [h] معنی‌دار شد (جداول ۷ و ۸). در این مطالعه مقدار اثرات غالبیت از اثرات افزایشی در شرایط نرمال در تلاقی (93\*A)، در صفات تعداد غوزه و روز تا ۵۰٪ درصد تکمه‌دهی و در شرایط تنش رطوبتی صفات SPAD، وزن تر بوته، روز تا ۵۰٪ تکمه‌دهی و روز تا ۵۰٪ گل‌دهی به مراتب بیشتر بود (جداول ۷ و ۸).

علامت منفی پارامتر غالبیت نشان‌دهنده غالبیت نسبی در جهت کاهش صفت مربوطه می‌باشد و با توجه به علامت مثبت پارامتر h برای صفات مورد بررسی، غالبیت ناقص به سمت ولدی رخ می‌دهد که دارای میانگین بالایی می‌باشد. بنابراین معنی‌دار شدن پارامتر غالبیت برای کارآمدتر شدن انتخاب در این پژوهش، ترجیح این است گزینش به نسل‌های آخر موکول شود تا هموزیگوستی افزایش یابد (Al-Naggar et al., 2021).

#### اثر غیرافزایشی (اثر اپیستازی)

اپیستازی زمانی رخ می‌دهد که اثر یک ژن، تحت تاثیر ژن یا ژن‌های دیگر در مکان‌های دیگر ژنی قرار گیرد. در بیشتر مدل‌های آماری برای محاسبه اثرات ژن‌های کنترل‌کننده صفات کمی، فرض می‌شود که اثر اپیستازی اهمیت کمی دارند. یکی از عمومی‌ترین فرضیات، فرض عدم وجود اپیستازی در مدل‌های ژنتیک کمی می‌باشد (Kearsey and Pooni, 1996).

برآورد پارامترهای ژنتیکی در شرایط نرمال و تنش خشکی

نتایج این مطالعه (جداول ۷ و ۸) نشان داد که در تلاقی 93\*A در شرایط نرمال رطوبتی تمامی صفات، بجز شاخه فرعی و همچنین در شرایط تنش رطوبتی اکثر صفات بجز ارتفاع بوته، وزن تر بوته و روز تا ۵۰٪ درصد گل‌دهی پارامتر [d] معنی‌دار شد که بیانگر پتانسیل بهبود صفات مورد بررسی با استفاده از روش‌های گزینش شجره‌ای در نسل‌های اولیه در جمعیت در حال تفرق می‌باشد (Soliman, 2018; Koubisy, 2019; Al-Naggar et al., 2021). علامت مثبت پارامتر اثرات افزایشی به معنی برتری والد غالب در کنترل صفات مورد مطالعه است. منفی بودن این پارامتر نشان‌دهنده برتری والد مغلوب در کنترل صفت می‌باشد (Asadi et al., 2019). محاسبه اثرات افزایشی ممکن است به دلیل وجود درجه بالایی از پراکندگی کوچک ژنی باشد. بنابراین باید یادآور شد که علامت این پارامتر به این بستگی دارد که کدام والد P1 و کدام والد P2 در نظر گرفته شود (Shayan et al., 2017; Mather and Jinks, 1982). در این پژوهش در شرایط نرمال اهمیت اثرات افزایشی در وراثت صفات SPAD، شاخه فرعی، عملکرد تک بوته و روز تا ۵۰٪ درصد گل‌دهی و همچنین در شرایط تنش خشکی در صفات ارتفاع بوته، شاخه فرعی، تعداد غوزه و عملکرد تک بوته نشان می‌دهد (جدول ۷ و ۸). آزمایشی در گلرنگ نشان داد که برای تعداد شاخه فرعی، اثرات افزایشی ژن نقش مهمی در شرایط تنش خشکی داشت که با نتایج این پژوهش مشابهت دارد (Amini, 2020).

نتایج این آزمایش نشانگر این است که علاوه بر اثرات

در تلاقی رقم امید بخش ۹۳ × آمریکایی برای صفات مورد مطالعه، به شرح ذیل می‌باشد:

### ارتفاع، SPAD، تعداد شاخه فرعی

در مورد این صفات در شرایط نرمال در تلاقی A×93 مدل ۳ پارامتری m-d-h برای صفت SPAD، برای صفت ارتفاع مدل ۲ پارامتری m-d و برای صفت تعداد شاخه فرعی مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-j، به‌عنوان مناسبترین مدل انتخاب شد (جدول ۷). همچنین در شرایط محیطی تنش رطوبتی در تلاقی A×93 مدل ۴ پارامتری m-d-h-l برای صفت SPAD، مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l برای صفت ارتفاع بوته، صفت تعداد شاخه فرعی مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد (جدول ۸). محققین در پژوهشی دیگر در بررسی نحوه توارث برخی صفات مرتبط با عملکرد و با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها در گندم نان نشان دادند که صفت تعداد سنبله نابارور در بوته و ارتفاع سنبله در شرایط تنش خشکی تحت تاثیر اثرات اپیستازی (افزایشی × افزایشی و غالبیت × غالبیت) قرار گرفتند که با نتایج این پژوهش (تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته در شرایط تنش رطوبتی) مطابقت داشت (Frozanfar et al., 2010). در مطالعه‌ای که با استفاده 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 نمی‌باشد بلکه اپیستازی برای توجیه آن نشان داده شد و در شرایط نرمال رطوبتی این صفت مدل اپیستازی وارد نشد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Ahmadian et al., 2016).

زمانی که دو پارامتر اثر غالبیت و اثرات اپیستازی (غالبیت × غالبیت) در مدل باشد، لذا نوع اپیستازی را می‌توان مشخص کرد. بنابر نظرات محققین زمانی که این دو پارامتر علامت مشابهی داشته باشد، اپیستازی از نوع اپیستازی تکمیلی می‌باشد و زمانی که علامت این دو مشابه نباشد، اپیستازی مضاعف است (Al-Naggar et al., 2021). به این ترتیب علامت مخالف پارامترهای h و l برای صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و SPAD در شرایط تنش خشکی حاکی از وجود اپیستازی مضاعف برای صفات فوق نشان می‌دهد که سبب

کاهش واریانس نسل‌های درحال تفرق می‌شود. این نوع از اپیستازی با کاهش تنوع در نسل F و نسل‌های بعد، سبب اختلال در فرایند گزینش می‌گردد و عمل گزینش تا دسترسی به سطح بالایی از تثبیت ژنی باید به تاخیر انداخته شود. این نوع اپیستازی در جهت گزینش گیاهان مطلوب مشکل ایجاد می‌کند. اپیستازی مضاعف ارزش اصلاحی ندارد و می‌تواند نتایج غیر قابل پیش بینی رخ دهد (Yadava and Narsinghani, 1999; Dorri et al., 2014).

### تعداد غوزه، عملکرد تک بوته و وزن تر بوته

در مورد این صفات مورد مطالعه در شرایط عدم تنش در تلاقی A×93 مدل سه پارامتری m-d-h برای صفت عملکرد تک بوته، تعداد غوزه و وزن تر بوته به‌عنوان بهترین مدل برازش گردید. همچنین در شرایط محیطی تنش خشکی، مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l صفات عملکرد تک بوته، مدل ۴ پارامتری m-d-h-l برای صفت وزن بوته و مدل ۳ پارامتری m-d-h-i-j به‌عنوان بهترین مدل برآورد شد (جدول ۸ و ۷). در این پژوهش، صفت عملکرد تک بوته اثرات افزایشی و پارامتر اپیستازی (افزایشی × افزایشی) دارای علامت مخالف بودند که بیانگر ماهیت متضاد اثر متقابل برای صفت مورد مطالعه می‌باشد. در پژوهشی دیگری با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها در ذرت نشان داده شد که عملکرد تک بوته تحت تاثیر اپیستازی (مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l) قرار گرفته است که با نتایج این مطالعه در شرایط تنش خشکی مطابقت داشت (Moosavi et al., 2018).

### روز تا ۵۰ درصد تکمه‌دهی و روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی

نتایج تجزیه میانگین نسل‌های این پژوهش نشان داد نسل‌های مورد مطالعه در شرایط نرمال در تلاقی A\*93 برای صفات روز تا ۵۰ درصد تکمه‌دهی و روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت بهترین مدل برای توجیه کنترل ژنتیکی صفات مورد مطالعه می‌باشد. نتایج در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده آن است که برای صفت روز تا ۵۰ درصد تکمه‌دهی مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l و صفت روز تا ۵۰٪ گل‌دهی مدل ۴ پارامتری m-d-h-i به‌عنوان مناسبترین مدل انتخاب شدند (جدول ۸ و ۷).

جدول ۷- برآورد اجزای ژنتیکی مختلف برای صفات مورد بررسی در تلاقی 93\*A در شرایط عدم تنش رطوبتی

Table 7- The estimation of different genetic components for the studied traits in the cross of 93\*A in the condition of no humidity stress

Traits صفات	m	[d]	[h]	[i]	[j]	[l]
ارتفاع Height (cm)	133.41**	-9.09**	-0.69 <sup>ns</sup>	-	-	-
SPAD	65.01**	5.25**	-7.65*	-	-	-
تعداد شاخه فرعی Number of sub branches	19.44**	2.23**	-3.93*	-3.43*	-6.87**	-
تعداد غوزه Number of boll	69.15**	-9.09**	-9.59**	-	7.97*	-
وزن تر بوته Plant fresh weight	1.07**	-0.25**	0.45**	-	-	-
عملکرد تک بوته Single-plant yield (gr)	230.48**	49.28**	-50.82**	-	-	-
روز تا ۵۰٪ تکمه‌دهی Day up to 50% Heading	129.94**	5.28**	6.26**	-	-	-
روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering	160.3**	9.03**	5.44**	-	-	-

\* و \*\*: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns: عدم معنی‌داری

\* and \*\*: significant at the 5 and 1% probability levels, respective and ns, not significant

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- برآورد اجزای ژنتیکی مختلف برای صفات مورد بررسی در تلاقی 93\*A در شرایط تنش رطوبتی

Table 8- The estimation of different genetic components for the examined traits in the 93\*A cross under humidity stress conditions

صفات Traits	m	[d]	[h]	[i]	[j]	[l]
ارتفاع Height (cm)	**124.76	*8.38	*-117.76	*-40.79	-	*76.66
SPAD	**57.07	-2.23	*-23.23	-	-	*26.15
تعداد شاخه فرعی Number of sub branches	**21.45	**1.52	**26.53	**9.61	-	**17.42
تعداد غوزه Number of boll	**38.27	*7.88	0.52	-	*-30.41	-
وزن تر بوته Plant fresh weight	**0.39	**0.02	**0.48	-	-	**0.45
عملکرد تک بوته Single-plant yield (gr)	**250.52	**20.93	*-322.15	*-137.43	-	*-140.54
روز تا ۵۰٪ تکمه‌دهی Day up to 50% Heading	**162.76	-5.67	*-119.14	*-46.70	-	*77.05
روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering	**163.38	*-6.89	*-26.16	*-21.09	-	-

\* و \*\*: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\*: significant at the 5 and 1% probability levels, respective

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

است. بعلاوه اثرات ژنی غیر افزایشی (اپیستازی) در کنترل ژنتیکی تمام صفات در شرایط تنش خشکی نقش بارزتری داشتند. پس بهتر است انتخاب در نسل‌های بعد و پس از رسیدن به خلوص بیشتر (هموزیگوستی بالا) انجام شود. با این وجود با توجه به تاثیر بیشتر ژنهای با اثر افزایشی در کنترل صفات SPAD، تعداد شاخه فرعی و عملکرد تک بوته در شرایط نرمال و همچنین در شرایط تنش خشکی شاخه فرعی، تعداد غوزه و عملکرد تک بوته استفاده از روش گزینش دوره‌ای برای افزایش ژن‌های مطلوب و در نهایت ژنوتیپ‌های خالص ارائه 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.

محققین با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها درنتاج حاصل از تلاقی ارقام گندم نان مغان ۳ و ارگ تحت شرایط تنش کمبود آب نشان دادند که روز تا رسیدگی تحت تاثیر اپیستازی (مدل ۴ پارامتری m-d-h-i) قرار گرفته است که با نتایج این آزمایش در شرایط تنش خشکی مطابقت داشت (Shayan et al., 2017). در پژوهش دیگری که با روش تجزیه میانگین نسل‌ها در مورد نحوه توارث تحمل به خشکی در گندم نان در تلاقی شیراز × WS-82-14 انجام شد نتایج نشان داد صفت روز تا گلدهی تحت تاثیر مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت معنی‌دار شد همچنین نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های محققین دیگر بر روی گندم همسو بود (Cheloei et al., 2012).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که برای بیشتر صفات گیاهی مورد مطالعه در شرایط عدم تنش مدل سه پارامتری مناسب بوده و پارامترهای اپیستاتیک در کنترل این صفات نقش نداشته

### References

- Abd EL-Hady, M.A., Fergani, M.A., EL-Temseh, M.E. and Abd EL-Kader, M.A., 2018. Physiological response of some wheat cultivars to antitranspirant under different irrigation treatments. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 7(1), pp.100-109.
- 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 stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 20(8), pp.175-182. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2372.1614>
- Akhtar, N. and Chowdhry, M.A., 2006. Genetic analysis of yield and some other quantitative traits in bread wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4, pp.523-527.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- Al-Naggar, A.M.M., Al-Azab, K.F., Younis, A.S.M., Hassan, I.O., Basyouny, M.A.E. and Ayaad, M., 2021. Genetic parameters controlling the inheritance of glaucousness and yield traits in bread wheat. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e253864. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.253864>
- Amini, F., 2020. Generation mean analysis to determine genetic components of drought tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 9(2), pp.107-114.

- Amiri, R., Bahraminejad, S. and Cheghamirza, K., 2020. Genetic analysis of iron and zinc concentrations in bread wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 95, 103077. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103077>
- Amiri, R., Bahraminejad, S. and Cheghamirza, K., 2021. Estimation of genetic control model for agronomic traits in the progeny of Marvdasht and MV-17 wheat cross under normal and terminal drought stress conditions. *Plant Genetic Researches*, 8(1), pp.61-80. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/pgr.8.1.5>
- 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]. <https://doi.org/10.29252/pgr.6.2.1>
- Bilgin, O., Kutlu, I. and Balkan, A., 2016. Gene effects on yield and quality traits in two bread wheat (*T. aestivum* L.) crosses. *International Journal of Crop Science and Technology*, 2, pp.1-10.
- Cheloei, G.R., Mohammadi, A., Bihamta, M.R., Ramshini, H.A. and Najafiyahn, G., 2012. Inheritance of drought tolerance in bread wheat using generation mean analysis. *Journal of Plant Production*, 19(1), pp.43-66.
- Dorri, P., Khavari-Khorasani, S., Valizadeh, M. and Taheri, P., 2014. The study of inheritance and gene effects on yield and agronomic traits of early generations of genetic maize Dehghan (KSC400). *The Plant Genetic Resources*, 1(2), pp.33-42. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/pgr.1.2.33>
- 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]. <https://doi.org/10.29252/jcpp.7.3.1>
- Ferrari, E.D., Ferreira, V.A., Grassi, E.M., Picca, A.M.T. and Paccapelo, H.A., 2018. Genetic parameters estimation in quantitative traits of a cross of triticale ( $\times$  *Triticosecale* W.). *Open Agriculture*, 3(1), pp.25-31. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0003>
- Frozanfar, M., BiHamta, M.R., Peyghambari, H. and Zainali, H., 2010. Inheritance of some traits associated with yield in bread wheat using generation mean analysis. *Seed and Plant Journal*, 25(3), pp.419-431. [In Persian].
- Gangopadhyay, S., Panwar, I.S. and Singh, V., 2018. Estimates of genetic effects of yield and related traits through generation mean analysis in bread wheat. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 6(2), pp.1627-1631. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.6220>
- Haluver, A.R. and Miranda, G.D., 1985. *Quantitative genetics in maize breeding*. Iowa State Press. Ames Iowa. 339 p.
- Kearsey, M.J and Pooni, H.S., 1996. *The genetic analysis of quantitative traits*. Chapman & Hall, London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-4441-2>
- Khajeh Pour, M.R., 2005. *Industrial crop production*. University Jihad, Isfahan University of Technology. [In Persian].
- Koubisy, Y.S.I., 2019. Generation mean analysis in two bread wheat crosses under heat stress conditions. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 97(2), pp.589-607. <https://doi.org/10.21608/ejar.2019.111095>

- Ljubivic, N., Petrovic, S., Dimitrijevic, M. and Hristov, N., 2016. Gene actions involved in the inheritance of yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(7), pp.477-484. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-117>
- Mather, K. and Jinks, J.L., 1982. *Biometrical Genetics: the study of continuous variation*, 3rd Ed. Chapman and Hall, London, UK.. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3406-2>
- Moosavi, S.S., Ghanbari, F., Abdollahi, M.R., Kiani, A.R. and Mosavat, S.A., 2018. Evaluation of heritability and genetic parameters of grain yield and important agronomic traits in maize (*Zea mays* L.) lines using generations mean analysis method. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20(2), pp.93-107. [In Persian].
- Mundel, H.H. and Bergman, J.W., 2008. Safflower breeding. In J. Vollmann & I. Rajcan (Eds.), *Oil crop breeding. Handbook of Plant Breeding* (pp. 423–447). Springer, Berlin.
- Nemati, M., Vahed, M.M., Norouzi, M., Toorchi, M. and Mohammadi, S.A., 2018. Inheritance of agronomic traits in the generations from the cross between arta and arg wheat cultivars under water deficit stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 13(6), pp.24-31.
- Salmi, M., Benmahammed, A., Benderradji, L., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., Oulmi, A. and Benbelkacem, A., 2019. Generation means analysis of physiological and agronomical targeted traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), pp.8971-8981. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.77410>
- Shayan, S., Vahed, M.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]. <https://doi.org/10.29252/pgr.4.2.43>
- Soliman, G.M.M., 2018. Genetical analysis for yield and yield component in durum wheat under different sowing dates. *Proceedings of the 7th Field Crops Conference*. Giza, Egypt.
- Taheri, R., Khodarahmpour, Z., Khodarahmi, M. and Moradi, M., 2022. Genetic analysis of agronomic and morphological traits of durum wheat [*Triticum turgidum* L. spp. *durum* (Desf.)] using generations mean analysis under non-stress and terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 24(2), pp.150-164. [In Persian].
- Wasaya, A., Zhang, X., Fang, Q. and Yan, Z., 2018. Root phenotyping for drought tolerance: A review. *Agronomy*, 8, pp.241-260. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110241>
- Yadava, R.K. and Narsinghani, V.G., 1999. Gene effects for yield and its components in wheat. *Rachis Newsl*, 18(2), pp.79-89.
- Zabet, M., Mostafavi, Kh., Karimi, H. and Khodarahmi, M., 2017. Genetic study of yield and some agronomic traits in barley using generation mean analysis. *Seed and Plant Improvement Journal*, 33(1), pp.109-131. [In Persian].
- Zare, M., Chogan, R., Majidi-Heravan, E. and Behamta, M.R., 2008. Generation mean analysis for grain yield and its associated traits in maize. *Seed and Plant Journal*, 24(1), pp.63-81. [In Persian].