



Graphical Analysis of Grain Yield and Related Traits in Maize (*Zea Mays* L.) Under Normal and Water Deficit Stress Conditions

Somaye Zallaghi¹ | Zahra Khodarahmpour^{2,*} | Aziz Afarinesh³ | Mohammad Motamedi² | Seyed Keyvan Marashi⁴

1- Department of Genetics and Plant Breeding, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Sho.C., Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

3- Crop and Horticultural Science Research Department, Safiabad Dezful, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Dezful, Iran

4- Department of Agronomy, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

*Corresponding author ✉: zahra.khodarahmpour@iaau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: April 07, 2025;
Received in revised form: May 31, 2025;
Accepted: June 12, 2025;
Available online: June 30, 2025

Keywords:

Additive effects,
Dominance effects,
Genetic parameters,
Diallel,
Heritability

ABSTRACT

Identifying and determining the genetic components of different traits facilitate the choice of appropriate breeding and selection strategies for genetic improvement of grain yield and stress tolerance. Fifteen maize hybrid genotypes were obtained from crossing among six lines including three drought tolerant lines (C4-95-2, C4-95-6 and C4-95-23) and three drought sensitive lines (C5-95-4, C5-95-12 and C6-95-5) and used in the initial experiments in a randomized complete block design with three replications. Grain yield and related traits, including number of grains per row, number of rows per ear, 1000-grain weight, leaf area index, ASI, harvest index, and tassel length were examined. Hayman's genetic analysis showed that the parameters D, H1, and H2 were significant under normal conditions for grain yield, number of grains per row, tassel length, harvest index, and thousand-grain weight, highlighting the contribution of both additive and non-additive effects to the inheritance of these traits. Under water stress conditions, grain yield and number of numbers of grain rows per ear were significant for the H1 and H2 dominance variance, indicating the role of non-additive effects for these traits under water stress conditions. The estimates of broad-sense heritability (h^2_b) and narrow-sense heritability (h^2_n) indicated that grain yield, number of grain rows per ear, and harvest index exhibited values above 70% under both normal and water-stress conditions. The regression of W_r on V_r for grain yield in both environments showed the regression line intersecting below the origin on the W_r axis, suggesting the involvement of over dominant genes. In normal conditions, lines C4-95-2 and C4-95-6 and under water stress conditions, lines C4-95-2 and C4-95-23 were the closest lines to the W_r axis, indicating a greater role of dominant genes in controlling grain yield. Considering the greater contribution of non-additive effects in the genetic control of important traits, including grain yield, under water deficit stress conditions, this study suggests that selection should be carried out in the final generations in order to genetically improve these traits and identify lines tolerant to water deficit stress.



Cite this article: Zallaghi, S., Khodarahmpour, Z., Afarinesh, A., Motamedi, M. and Marashi, S.K. (2025). Graphical analysis of grain yield and related traits in maize (*Zea Mays* L.) under normal and water deficit stress conditions. *Plant Genetic Research*, 12(1): 131-146.

DOI: <https://doi.org/10.22034/pgr.2025.2066879.1009>



Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is one of the world's most important cereal crops, valued for its high yield potential and diverse uses. Understanding and estimating the genetic components of key traits is critical for selecting appropriate breeding strategies to improve grain yield and stress tolerance. As the first step in developing an efficient breeding program, it is essential to characterize the genetic basis of trait variation and estimate relevant genetic parameters. Diallel designs are widely employed for this purpose in breeding studies. Although maize has a high-water requirement, its cultivation remains important for providing feed, industrial raw materials, and reducing reliance on imports. Under these conditions, identifying lines tolerant to water-deficit stress is a priority in breeding programs. Accordingly, this study aimed to determine the type of gene action, heritability, and other genetic parameters under drought stress compared to optimal conditions, and to identify parental lines carrying favorable alleles for these traits.

Materials and Methods

Fifteen hybrid maize genotypes resulting from the crossing among six lines, including three drought-tolerant lines (C4-95-2, C4-95-6 and C4-95-23) and three drought-sensitive lines (C5-95-4, C5-95-12 and C6-95-5) along with the six aforementioned parental lines were cultivated in the 2019 crop year under normal and deficit irrigation conditions in two separate experiments in a randomized complete block design with three replications. In the normal irrigation treatment, water was applied from planting to harvest after every 90 mm of evaporation from a Class A pan. In the water-deficit treatment, irrigation was applied normally until 20 days before flowering, and thereafter until harvest following 130–140 mm of evaporation. The measured traits included grain yield, number of grains per row, number of rows per ear, thousand-grain weight, leaf area index, ASI, harvest index, and tassel length. The genetic analysis of the data was done according to Hayman (1954) graphical model. Statistical analysis of variance of different traits was performed in a randomized complete block design using SAS9.4 statistical software. To check the validity of the main assumptions of the diallel, W_r regression on V_r and F test for the adequacy of the additive-dominance model through W_r - V_r analysis were used. Then, graphical analysis was performed using Hayman's method and estimation of gene effects and genetic parameters was performed using Dial98 software.

Results and Discussion

Identifying and determining the genetic components of different traits facilitate the choice of appropriate breeding and selection strategies for genetic improvement of grain yield and stress tolerance. Fifteen maize hybrid genotypes were obtained from crossing among six lines including three drought tolerant lines (C4-95-2, C4-95-6 and C4-95-23) and three drought sensitive lines (C5-95-4, C5-95-12 and C6-95-5) and used in the initial experiments in a randomized complete block design with three replications. Grain yield and related traits, including number of grains per row, number of rows per ear, 1000-grain weight, leaf area index, ASI, harvest index, and tassel length were examined. Hayman's genetic analysis showed that the parameters D, H1, and H2 were significant under normal conditions for grain yield, number of grains per row, tassel length, harvest index, and thousand-grain weight, highlighting the contribution of both additive and non-additive effects to the inheritance of these traits. Under water stress conditions, grain yield and number of numbers of grain rows per ear were significant for the H1 and H2 dominance variance, indicating the role of non-additive effects for these traits under water stress conditions. The estimates of broad-sense heritability (h^2_b) and narrow-sense heritability (h^2_n) indicated that grain yield, number of grain rows per ear, and harvest index exhibited values above 70% under both normal and water-stress conditions. The regression of W_r on V_r for grain yield in both environments showed the regression line

intersecting below the origin on the Wr axis, suggesting the involvement of over dominant genes. In normal conditions, lines C4-95-2 and C4-95-6 and under water stress conditions, lines C4-95-2 and C4-95-23 were the closest lines to the Wr axis, indicating a greater role of dominant genes in controlling grain yield. Considering the greater contribution of non-additive effects in the genetic control of important traits, including grain yield, under water deficit stress conditions, this study suggests that selection should be carried out in the final generations in order to genetically improve these traits and identify lines tolerant to water deficit stress.

Conclusion

Overall, the results of this study revealed that under normal conditions both additive and non-additive effects contributed to grain yield and key traits, whereas under stress conditions non-additive effects played a stronger role in grain yield and number of rows per ear. Accordingly, depending on the trait, either selection for desirable characteristics or hybridization can be effectively employed to achieve genetic improvement.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

تجزیه گرافیکی عملکرد دانه و صفات وابسته در ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط نرمال و تنش کم آبی

سمیه زلفی^۱ | زهرا خدارحم پور^{۲*} | عزیز آفرینش^۳ | محمد معتمدی^۲ | سید کیوان مرعشی^۴

- ۱- گروه ژنتیک و به نژادی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز ایران
- ۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
- ۳- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران
- ۴- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

شناخت و برآورد اجزای ژنتیکی صفات مختلف به انتخاب روش‌های به نژادی و گزینش برای بهبود ژنتیکی عملکرد دانه و تحمل به تنش کمک می‌کند. پانزده هیبرید حاصل از تلاقی شش لاین شامل سه لاین متحمل به کم آبی (C4-95-2, C4-95-6, C4-95-23) و سه لاین حساس به کم آبی (C5-95-4, C5-95-12, C6-95-5) به همراه شش لاین والدینی مذکور در سال زراعی ۱۳۹۸ در شرایط نرمال و کم آبی در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. صفات عملکرد دانه ذرت، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه در بلال، وزن هزاردانه، شاخص سطح برگ، ASI، شاخص برداشت و طول گل تاجی اندازه‌گیری شد. بر اساس تجزیه ژنتیکی مدل همین، پارامترهای D ، $H1$ و $H2$ در محیط نرمال برای عملکرد دانه، تعداد دانه در ردیف، طول گل تاجی، شاخص برداشت، وزن هزاردانه معنی‌دار بودند که بیانگر نقش هر دو نوع اثرات افزایشی و غیرافزایشی در کنترل این صفات است. در شرایط تنش کم آبی صفات عملکرد دانه و تعداد ردیف دانه در بلال برای واریانس غالبیت $H1$ و $H2$ معنی‌دار بودند که بیانگر نقش اثرات غیرافزایشی برای این صفات در شرایط تنش کم آبی بود. نتایج وراثت‌پذیری عمومی (h^2_b) و وراثت‌پذیری خصوصی (h^2_n) نشان داد که صفات عملکرد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و شاخص برداشت واجد مقادیر بالای ۷۰ درصد در هر دو شرایط نرمال و تنش کم آبی بودند. خط رگرسیون W_r روی V_r برای عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش کم آبی قسمت پایین محور مختصات محور W_r را قطع نموده که بیانگر نقش ژن‌های فوق‌غالبیت می‌باشد. در شرایط نرمال لاین‌های C4-95-2 و C4-95-6 و در شرایط تنش کم آبی لاین‌های C4-95-23 و C4-95-6 نزدیک‌ترین لاین‌ها به محور W_r بودند؛ بنابراین ژن‌های غالب بیشتری در کنترل عملکرد دانه نقش داشتند. با توجه به سهم بیشتر اثرات غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی صفات مهم از جمله عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی در این مطالعه پیشنهاد می‌گردد که به منظور بهبود ژنتیکی این صفات و شناسایی لاین‌های متحمل به تنش کم آبی گزینش در نسل‌های پایانی صورت گیرد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

واژگان کلیدی:

اثرات افزایشی،

اثرات غالبیت،

پارامترهای ژنتیکی،

دای آل،

وراثت‌پذیری

مقدمه

به دلیل قابلیت فراهم کردن اطلاعات ژنتیکی مهمی است که برآورد می‌شود (Zabet *et al.*, 2023). از بین روش‌های مختلف تجزیه دای آلل، روش تجزیه گرافیکی همین که بر مبنای تخمین اجزاء واریانس است (Hayman, 1954)، اطلاعات خوبی در خصوص پارامترهای ژنتیکی صفات کمی و ژنتیک لاین‌های والدینی مورد مطالعه از نظر توزیع آلل‌ها، میانگین درجه غالبیت، نحوه عمل ژن، تعداد گروه‌های ژنی مؤثر، وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی ارائه می‌دهد (Akhtar and Chowdhra, 2006).

بسیاری از محققان از طرح تلاقی دای آلل در برنامه‌های به‌نژادی و تولید هیبرید ذرت استفاده کرده‌اند (Issa *et al.*, 2018; Rovaris *et al.*, 2017; Mostafavi *et al.*, 2010; Zamani Farsi *et al.*, 2019; Banaei *et al.*, 2016). در تحقیقی نحوه کنترل ژنتیکی صفات مختلف ذرت در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی با روش همین مطالعه شد که هر دو اثرات افزایشی و غیر افزایشی در کنترل صفات مورد مطالعه نقش داشتند و نتایج گرافیکی تجزیه همین نقش بیشتر اثرات فوق غالبیت در کنترل اکثر صفات در شرایط نرمال و کمبود آب را نشان داد، لذا استفاده از پدیده هتروزیس و تولید ارقام هیبرید برای بهبود و اصلاح ذرت را پیشنهاد کردند (Zamani Farsi *et al.*, 2019). عرفانی مقدم و همکاران (Erfani Moghadam *et al.*, 2023) با تجزیه ژنتیکی عملکرد دانه و صفات وابسته ذرت با استفاده از روش همین تأثیر توأم اثرات افزایشی و غیر افزایشی و به ویژه اثر غالبیت ژن‌ها را در کنترل صفات گزارش کردند. همچنین آلل‌های افزایشنده صفات مورد بررسی از نوع غالب بودند. در این تحقیق وراثت‌پذیری عمومی از ۵۴ درصد برای وزن دانه تا ۸۹ درصد برای طول بلال و وراثت‌پذیری خصوصی از ۲۹ درصد برای وزن دانه تا ۴۱ درصد برای تعداد دانه متغیر بود.

بایومی (Baiomy, 2025) در مطالعه‌ی تجزیه ژنتیکی صفات کمی با روش دای آلل در ذرت گزارش کرد که اثرات ژنتیکی غیر افزایشی در به‌نژادی ذرت نقش مهمی داشته و پتانسیل اصلاح هیبرید، به ویژه از طریق هتروزیس را برای افزایش عملکرد ذرت برجسته دانست. مددی و همکاران

ذرت (*Zea mays* L.) از مهم‌ترین غلات جهان بوده که دارای عملکرد بالا و محصولات متنوع است. این گونه بسیار سازگار، دارای ویژگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی وسیعی است و می‌تواند در دو فصل در مناطق معتدل، گرمسیری و نیمه‌گرمسیری از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه شمالی تا ۴۰ درجه جنوبی و از سطح دریا تا ارتفاع ۳۳۰۰ متر کشت شود (Ramadan *et al.*, 2021). سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای در ایران بیش از ۱۳۹ هزار هکتار و میزان تولید آن در سال‌های اخیر حدود یک میلیون تن با متوسط عملکرد ۶/۹ تن در هکتار گزارش شده است؛ این در حالی است که سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای طی ده سال اخیر از حدود ۲۹۰ هزار هکتار به ۵۴ هزار هکتار کاهش یافته است (FAO, 2023). ذرت سومین غله با نیاز آبی بالا می‌باشد و بر اساس گزارش فائو عملکرد ذرت حدود ۲۰ درصد در سال به علت بروز تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد. با این شرایط محققان به دنبال یافتن راهکاری برای مقابله با این چالش‌ها هستند. تولید هیبریدهای پرمحصول و متحمل به تنش کم‌آبی که منجر به افزایش عملکرد در واحد سطح شود، روشی مناسب و پایدار است (Zamani Farsi *et al.*, 2019). بدین منظور در گام اول تدوین یک برنامه به‌نژادی کارآمد، داشتن اطلاعات کاملی از اجزای ژنتیکی و نحوه عمل ژن‌ها در صفات مختلف و برآورد پارامترهای ژنتیکی ضروری است (Atlin *et al.*, 2017) تا مشخص شود چه مقدار از تغییرات ناشی از اثر افزایشی و یا اثر متقابل بین آلل‌ها در یک مکان ژنی (غالبیت) است (Girma *et al.*, 2015). بدیهی است اطلاع از ساختار ژنتیکی عملکرد و اجزای آن به شناسایی و انتخاب دقیق‌تر والدین و انجام تلاقی‌های بهتر کمک می‌کند (Gami *et al.*, 2020).

رویکردهای بیومتریکی مختلفی جهت بررسی ارزش به‌نژادی والدین و ارزیابی ژنتیکی صفات مورد نظر در دسترس هستند. از جمله، طرح‌های دای آلل که به طور گسترده‌ای در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Hallauer *et al.*, 2010). محبوبیت این روش

2021) و زلیک و همکاران (Zelege *et al.*, 2020) هر دو نقش اثرات افزایشی و غیرافزایشی را در کنترل ژنتیکی عملکرد دانه و صفات مهم ذرت موثر دانستند.

با وجود اینکه ذرت نیاز آبی بالایی دارد جهت تامین نهاده‌های دامی، صنعتی و کاهش واردات همچنان کشت آن مورد توجه می‌باشد، در این شرایط شناسایی لاین‌های متحمل به تنش کم‌آبی در اولویت برنامه‌های به نژادی قرار می‌گیرد؛ بنابراین تحقیق حاضر با هدف تعیین نوع عمل ژن، وراثت‌پذیری و برآورد سایر پارامترهای ژنتیکی در شرایط تنش کم‌آبی در مقایسه با شرایط نرمال و همچنین شناسایی والدین متحمل به تنش کم‌آبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸ در دو محیط تنش کم‌آبی و نرمال در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول اجرا گردید. این مرکز با ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و طول ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی در جنوب غرب کشور و در ۱۸ کیلومتری دزفول واقع شده است.

مواد گیاهی این آزمایش شامل شش لاین C4-95-2، C4-95-6، C4-95-23، C5-95-4، C5-95-12 و C6-95-5 (حاصل از گزینش ۴۰ لاین با منشاء سازمان تحقیقات کشور و مستخرج از مرکز تحقیقات صفی‌آباد دزفول که در طی دو سال قبل جهت شناسایی لاین‌های متحمل و حساس به تنش کم‌آبی مورد ارزیابی قرار گرفتند)، به‌همراه ۱۵ هیبرید حاصل از طرح تلاقی دای‌آل آن‌ها جمعاً ۲۱ ژنوتیپ، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. هر کرت در این آزمایش شامل پنج خط کشت به طول ۵ متر و فاصله بذر ۱۸ سانتی‌متر بود. جهت تهیه بستر کشت، شخم نسبتاً عمیقی زده شد و سپس عملیات دیسک زنی اجرا شد. مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. همچنین به‌ترتیب ۱۰۰، ۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، سولفات پتاسیم و سولفات روی قبل از کاشت مصرف شد. آبیاری در قطعه نرمال از ابتدای کاشت تا زمان برداشت به‌طور

(Madadi *et al.*, 2020) در مطالعه برآورد اثر ژن برخی صفات ذرت تحت شرایط نرمال و کم آبیاری به روش دای‌آل گزارش نمودند که در شرایط نرمال صفات تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه و طول بلال بیشتر تحت تأثیر اثر غیرافزایشی ژن‌ها قرار دارد، درحالی‌که در شرایط تنش کم‌آبی این صفات بیشتر تحت تأثیر اثر افزایشی ژن‌ها قرار داشتند. افولابی و همکاران (Afolabi *et al.*, 2019) با مطالعه شش لاین خالص ذرت با استفاده از تلاقی دای‌آل، نشان دادند که نسبت GCA/SCA برای صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد کاکل‌دهی، ارتفاع گیاه و عملکرد دانه کمتر از یک بود. دری و همکاران (Dorri *et al.*, 2015) با بررسی نحوه توارث و عمل ژن بر عملکرد و برخی از صفات زراعی ذرت گزارش کردند که در کلیه صفات جزء غالبیت بیشتر از افزایشی بود، البته در بعضی صفات تفاوت بین دو جزء غالبیت و افزایشی را بسیار زیاد گزارش کردند و این موضوع را بیانگر اهمیت اثرات غالبیت در کنترل ژنتیکی صفات دانستند. علی و همکاران (Ali *et al.*, 2017) تلاقی دای‌آل کامل را روی چهار لاین خالص ذرت بررسی کردند، که در آن وراثت‌پذیری عمومی صفات ارتفاع بوته، تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در ردیف، وزن دانه و عملکرد دانه به ترتیب ۸۶/۶ درصد، ۵۹/۷ درصد، ۴۵/۴ درصد، ۱۲/۲ درصد و ۹۹/۷ درصد بود.

در مورد نحوه عمل ژن کنترل‌کننده عملکرد ذرت و صفات مهم آن گزارش‌های متناقض وجود دارد. در مطالعات ال‌ناگار و همکاران (Al-Naggar *et al.*, 2016)، زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2011) و اوچو و همکاران (Ojo *et al.*, 2007) عنوان شده است که آثار ژنتیکی افزایشی برای صفات ذرت اهمیت بیشتری دارد که نشان‌دهنده بهبود سریع در انتخاب است. در حالی‌که مددی و همکاران (Madadi *et al.*, 2020)، کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2017) و آفرینش و همکاران (Afarinesh *et al.*, 2005) نشان دادند که اثر غالبیت ژن در وراثت صفات ذرت مهم است. از طرفی زمانی فارسی و همکاران (Zamani *et al.*, 2019) (Farsi *et al.*، 2019)، ریچ و همکاران (Riache *et al.*،

آزمون مقدماتی روش هیمن به‌منظور بررسی صحت فرضیات اصلی تجزیه دای‌آل، انجام گردید. بر این اساس کفایت مدل افزایشی-غالبیت از طریق تجزیه واریانس مقادیر W_r-V_r برای هر ردیف و آزمون یکنواختی آن بررسی شد. نتایج نشان داد که میانگین مربعات W_r-V_r معنی‌داری نیست؛ بنابراین برآورد W_r-V_r برای ردیف‌های مختلف یکنواخت بوده و مدل افزایشی-غالبیت کفایت دارد (جدول ۲). مقادیر تخمینی پارامترهای آماری و تجزیه ژنتیکی برای صفات مورد بررسی ذرت (جدول ۳) نشان داد که پارامتر واریانس افزایشی D در محیط نرمال برای عملکرد دانه، تعداد دانه در ردیف، طول گل تاجی، شاخص برداشت، شاخص سطح برگ، وزن هزاردانه و در شرایط تنش کم‌آبی برای این صفات به‌جز عملکرد دانه معنی‌دار بود که بیانگر نقش اثرات افزایشی در کنترل این صفات می‌باشد. علت اختلاف در معنی‌داری صفات در محیط‌های نرمال و تنش کم‌آبی می‌تواند به دلیل توزیع تصادفی آلل‌ها در والدین و نیز اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط باشد. همچنین نتایج نشان داد که در هر دو شرایط تنش و نرمال پارامترهای واریانس غالبیت H_1 و H_2 برای همه صفات مورد بررسی به‌جز شاخص سطح برگ بودند که بیانگر نقش اثرات غیرافزایشی برای این صفات است (جدول ۳). در همه صفات مورد بررسی به‌جز وزن دانه و شاخص برداشت پارامترهای H_1 و H_2 مقادیر بزرگتر از واریانس افزایشی D داشتند که این موضوع می‌تواند بیانگر نقش بیشتر اثرات غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی صفات مذکور باشد. صفت تعداد ردیف دانه در بلال تنها صفتی بود که در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی واریانس افزایشی D غیر معنی‌دار و مقادیر واریانس غالبیت H_1 و H_2 معنی‌دار نشان داد، که حاکی از نقش اثرات غالبیت در کنترل ژنتیکی این صفت می‌باشد (جدول ۳). در شرایطی که اثرات غالبیت در کنترل صفات نقش بیشتری دارد، امکان بهره‌گیری از هتروزیس در دورگ‌گیری افزایش می‌یابد، بنابراین استفاده از هتروزیس و دورگ‌گیری و انتخاب در نسل‌های بعدی برای افزایش عملکرد پیشنهاد می‌شود.

معمول و پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. آبیاری در قطعه کم‌آبی تا ۲۰ روز قبل از گلدهی به‌طور معمول و از آن به بعد تا زمان برداشت پس از ۱۳۰ تا ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A صورت گرفت (Moradi and Choukan, 2017). بدین ترتیب گیاهان در این قطعه تحت تأثیر تنش کم‌آبی در دوره گلدهی و پرشدن دانه قرار گرفتند. وجین علف‌های هرز به دفعات مورد نیاز به صورت دستی انجام گرفت. در این پژوهش صفاتی از قبیل فاصله زمانی بین گرده‌افشانی تا ظهور کاکل یا ASI (Anthesis Silking Interval)، طول گل تاجی با اندازه‌گیری ده بوته و سپس صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت (Harvest Index)، شاخص سطح برگ یا LAI (Leaf Area Index)، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف و وزن ۳۰۰ دانه (گرم) در دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه واریانس آماری صفات مختلف در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. برای بررسی صحت فرضیات اصلی دای‌آل از رگرسیون W_r روی V_r و آزمون F برای کفایت مدل افزایشی-غالبیت از طریق تجزیه W_r-V_r استفاده شد (Hayman, 1958). سپس تجزیه گرافیکی به روش هیمن (Hayman, 1954) و برآورد اثرات ژنی و پارامترهای ژنتیکی توسط نرم‌افزار Dial98 انجام گردید.

نتایج و بحث

بین ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی برای تمامی صفات در سطح احتمال آماری ۱ یا ۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱). بر این اساس اختلاف ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی وجود داشت که شرایط تخمین بررسی ژنتیکی، سهم اثرات واریانس‌های افزایشی و غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی این خصوصیات از طریق دای‌آل امکان‌پذیر خواهد شد. ریاج و همکاران (Riache et al., 2021) در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی بین ژنوتیپ‌های ذرت در صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری مشاهده نمودند و بر همین اساس از تجزیه دای‌آل برای بررسی این صفات استفاده کردند.

جدول ۱- میانگین مربعات صفات مختلف ذرت در شرایط نرمال و تنش کم آبی

Table 1. Mean squares of various maize traits under normal and water-deficit conditions

شرایط Conditions	منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D.F	عملکرد دانه Grain Yield	وزن هزاردانه 1000-seed weight	طول گل تاجی Length of Tassel	فاصله گرده- افشانی تا ظهور کاکل Anthesis- Silking Interval	شاخص برداشت Harvest Index	تعداد شاخص سطح برگ Leaf Area Index	تعداد ردیف دانه No. of grain Row	تعداد دانه در ردیف No. of grain per Row
نرمال Normal	بلوک Replication	2	0.2 ^{ns}	2728 ^{ns}	5.3 ^{ns}	0.56 ^{ns}	3.3 ^{ns}	0.53 ^{ns}	3.4 ^{ns}	52.4 ^{ns}
	ژنوتیپ Genotype	20	20.2 ^{**}	11791 ^{**}	75.5 ^{**}	4.5 ^{**}	250 ^{**}	4.5 ^{**}	18 ^{**}	99.8 ^{**}
	خطا Error	40	0.2	1963	26.8	0.81	9.3	0.39	1.9	23.1
	ضریب تغییرات CV(%)	-	6.7	15.2	17	17	6.1	11.6	9.7	16
تنش کم آبی Water-deficit	بلوک Replication	2	0.23 ^{ns}	616 ^{ns}	9.6 ^{ns}	0.47 ^{ns}	12.6 ^{ns}	0.87 [*]	5.5 ^{ns}	1.2 ^{ns}
	ژنوتیپ Genotype	20	8.3 ^{**}	10065 ^{**}	44.2 ^{**}	5.7 [*]	287 ^{**}	1.4 [*]	31 ^{**}	89.2 ^{**}
	خطا Error	40	0.23	1551	19.8	0.5	11.6	0.17	2.9	26.6
	ضریب تغییرات CV(%)	-	11.4	15.6	15.3	18.6	8.7	14.2	12.2	18.8

ns, * و **: به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Non-significant, significance at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۲- تجزیه واریانس مقادیر Wr-Vr در صفات مختلف ذرت برای کفایت مدل افزایشی- غالبیت در شرایط نرمال و تنش کم آبی
Table 2. Analysis of variance of Wr-Vr values for different maize traits to assess the adequacy of the additive-dominance model under normal and water-deficit conditions

صفت Trait	شرایط Conditions	میانگین مربعات Wr-Vr (MS)	واریانس خطا Error variance
عملکرد دانه Grain yield	نرمال (Normal) تنش (Stress)	0.45 0.35	0.15 0.39
گرده افشانی تا ظهور کاکل Anthesis-Silking Interval	نرمال (Normal) تنش (Stress)	1.42 1.01	0.47 1.45
شاخص سطح برگ Leaf Area Index	نرمال (Normal) تنش (Stress)	27.9 2.25	41.1 0.18
تعداد ردیف دانه No. of grain Row	نرمال (Normal) تنش (Stress)	31.8 217.1	20.6 74.2
تعداد دانه در ردیف No. of grain per Row	نرمال (Normal) تنش (Stress)	1553.2 1245.1	1009.2 489
وزن هزاردانه 1000-seed weight	نرمال (Normal) تنش (Stress)	743284 355562	920332 116342
شاخص برداشت Harvest Index	نرمال (Normal) تنش (Stress)	2258 727.3	121 307
طول گل تاجی Length of tassel	نرمال (Normal) تنش (Stress)	624.7 522.8	3366 341.7

جدول ۳- پارامترهای ژنتیکی صفات مختلف ذرت در شرایط نرمال و تنش کم آبی بر مبنای مدل هیمن

Table 3. Genetic parameters of maize traits under normal and water-deficit stress conditions estimated using Hayman's method

Genetic parameter	MS) میانگین مربعات																	
	عملکرد دانه		شاخص برداشت		شاخص سطح برگ		طول گل تاجی		تعداد دانه در ردیف		تعداد ردیف دانه		وزن هزاردانه		گرده‌افشانی تا ظهور کاکل			
	Grain yield	harvest index	harvest index	Leaf area index	Length of tassel	No. of grain per Row	No. of grain Row	1000-seed weight	Anthesis-Silking Interval	تنش نرمال	تنش تنش	تنش نرمال	تنش تنش	تنش نرمال	تنش تنش	تنش نرمال	تنش تنش	
D	2.98**	2.13	207.7**	247.7**	2.04*	2.44**	5.18**	5.46**	52.2**	18.6**	0.22	0.64	5525**	1183**	0.41	0.12		
H1	18.5**	4.81**	128.5**	150.4**	8.1**	4.94**	47.5**	80.5**	1188**	94.4**	24.6**	48.5**	3420**	1191**	3.6**	11.1*		
H2	13.6**	4.53**	93.9**	112.9**	1.29	4.63**	241.4**	65.8**	1277**	69.6**	23.2**	35.7**	4096**	1541**	2.98	9.6		
F	0.84	1.63	182.7**	184**	11.6**	1.67	-26.9**	7.34	26.5	37.7**	2.1	0.29	371**	285**	0.13	0.42		
h ²	72.7**	16.6**	57.8**	222**	1.07	16.5	17.8	20.1	30.2*	123.7**	0.64	15.4	14108**	34425**	4.97**	13.3**		
E	0.16	0.2	9.2**	11.6**	0.14	0.17	9.6	10.1	23.1	26.6	0.63	0.29	1635**	551**	0.81	0.2		
$\sqrt{\frac{H1}{D}}$	5.8	1.5	0.73	0.77	4.9	1.51	3.03	3.8	2.09	2.3	10.35	8.6	1.78	3.1	2.98	2.5		
$\frac{H2}{4H1}$	0.21	0.25	0.18	0.19	0.05	0.23	0.12	0.20	0.23	0.18	0.23	0.18	0.21	0.23	0.21	0.21		
$\frac{\sqrt{(4DH1)+F}}{\sqrt{(4DH1)-F}}$	0.09	1.68	1.31	2.8	0.28	1.69	0.07	1.42	3.21	2.63	2.58	1.2	1.05	1.1	1.11	1.45		
r(pr,Wr+Vr)	-0.98	-0.96	0.91	0.78	0.92	0.99	0.63	0.46	0.41	0.37	-0.65	0.48	-0.85	-0.95	0.58	0.15		
h ² b	0.97	0.88	0.85	0.87	0.59	0.9	0.98	0.69	0.93	0.43	0.92	0.99	0.65	0.86	0.59	0.93		
h ² n	0.15	0.22	0.58	0.55	0.28	0.23	0.04	0.19	0.16	0.06	0.01	0.43	0.45	0.16	0.22	0.19		

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

* and **: Significance at the 5% and 1% probability levels, respectively

D: واریانس افزایشی، H1: واریانس غالبیت، H2: واریانس غالبیت تصحیح شده، F: اثر متقابل اثرافزایشی و غیرافزایشی، h²: اثر غالبیت در تمام مکان‌های ژنی، E:

واریانس محیطی، $\sqrt{\frac{H1}{D}}$: میانگین درجه غالبیت، $\frac{H2}{4H1}$: نسبت ژن‌های با اثرات مثبت و منفی در والدین، $\frac{\sqrt{(4DH1)+F}}{\sqrt{(4DH1)-F}}$: توزیع نسبی ژن‌های غالب و مغلوب در والدین، r(pr,Wr+Vr): همبستگی بین والدین و Wr+Vr، h²b: وراثت پذیری عمومی، h²n: وراثت‌پذیری خصوصی

D: Additive variance, H1: Dominance variance, H2: Corrected dominance variance, F: Additive and non-additive interaction, h²: Dominance effect at all loci, E: Environmental variance, $\sqrt{\frac{H1}{D}}$: Average degree of dominance, $\frac{H2}{4H1}$: Proportion of genes with positive and negative effects in parents,

$\frac{\sqrt{(4DH1)+F}}{\sqrt{(4DH1)-F}}$: Relative distribution of dominant and recessive genes in parents, r(pr,Wr+Vr): Correlation between parents and Wr+Vr, h²b: General heritability, h²n: Private heritability

نتایج می‌تواند ناشی از تفاوت در لاین‌ها، محیط‌های مختلف آزمایش و نحوه توزیع آلل‌ها باشد.

شاخص F در تجزیه ژنتیکی مدل هیمن بیانگر متوسط کواریانس اثرات افزایشی و غالبیت است و به‌عنوان معیاری از فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب و تقارن ژنی تلقی می‌شود. نتایج مقادیر این پارامتر برای صفات وزن هزاردانه و شاخص برداشت در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی و صفت شاخص سطح برگ در شرایط نرمال و صفت تعداد دانه در ردیف در شرایط تنش کم‌آبی مثبت و معنی‌دار بود که دلالت بر این دارد که لاین‌های مورد بررسی فراوانی آلل‌های غالب بیشتری نسبت به آلل‌های مغلوب برای این صفات دارند. علامت منفی و معنی‌دار F برای صفت طول گل تاجی در شرایط نرمال حکایت از کمتر بودن آلل‌های غالب به مغلوب در این صفت دارد (جدول ۳). عرفانی و همکاران (Erfani Moghadam et al., 2023) نشان دادند که لاین‌های مورد

گزارش‌های محققین مختلف بیانگر مشابهت یا در تضاد با نتایج این تحقیق می‌باشد از جمله، احمد و همکاران (Ahmed et al., 2016) برای صفت عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی اثرات افزایشی و غالبیت را گزارش کردند. هم‌چنین واحد رضایی و همکاران (Vahed-Rezaei et al., 2020) در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی صفات عملکرد دانه و وزن هزاردانه پارامترهای واریانس افزایشی و غالبیت معنی‌دار و سهم مهم‌تری برای اثرات غالبیت نسبت به اثر افزایشی در صفات مهم ذرت به‌دست آوردند. زمانی فارسی و همکاران (Zamani Farsi et al., 2019)، عنوان نمودند که پارامتر D برای صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف معنی‌دار بوده که بیانگر نقش اثرات افزایشی در کنترل این صفات دانستند و پارامترهای H1 و H2 برای همه صفات مورد مطالعه ذرت معنی‌دار گزارش کردند که نشانگر نقش غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات بود. دلیل تفاوت در

برگ (۰/۰۵) و طول گل تاجی (۰/۱۲) و در شرایط تنش کم‌آبی برای صفت تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه در بلال به‌دست آمد که حاکی از عدم تساوی ژن‌های غالب افزایشدهنده و کاهشدهنده برای این صفات می‌باشد (جدول ۳). نتایج نسبت والدین است، در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی برای صفات تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه در بلال، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و ASI مقادیر بزرگتر از یک مشاهده شد که نشان دهنده فراوانی بیشتر ژن‌های غالب نسبت به مغلوب است (جدول ۳). مقدار نسبت مذکور برای صفت وزن هزاردانه نزدیک به یک بود که نشانگر تساوی تقریبی ژن‌های غالب و مغلوب برای این صفت می‌باشد. زمانی فارسی و همکاران (Zamani Farsi et al., 2019)، برای صفات تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه در بلال، وزن دانه و عملکرد دانه ژن‌های غالب افزایشدهنده و کاهشدهنده با توزیع غیرمتمارنی را در والدین و تعداد بیشتر آلل‌های غالب نسبت به آلل‌های مغلوب را گزارش نمودند. علاوه بر این نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ضریب همبستگی (r) بین Pr و Wr+Vr در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی برای صفات شاخص سطح برگ، شاخص برداشت، تعداد دانه در ردیف، طول گل تاجی و ASI مثبت بود که دلالت بر آن دارد که آلل‌های غالب صفات مذکور به‌صورت افزایشدهنده عمل می‌کنند (جدول ۳). پارامتر α بیانگر همبستگی (رابطه) بین والد مشترک هر ردیف با Wr+Vr است و نحوه رفتار آلل‌های غالب افزایشدهنده و کاهشدهنده را نمایش می‌دهد، به گونه‌ای که اگر این همبستگی مثبت باشد، باعث افزایشدهنده بودن آلل‌های غالب است و انتقال این آلل‌ها به نسل بعد می‌تواند موجب افزایش صفت شود. صفت عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی دارای مقادیر بالا و منفی (به ترتیب ۰/۹۸- و ۰/۹۶-) این پارامتر را نشان دادند که بیانگر کاهشدهنده بودن اثر آلل‌های غالب والدین است. عرفانی و همکاران (Erfani Moghadam et al., 2023) گزارش نمودند که برای صفات مهم ذرت آلل‌های غالب به صورت افزایشدهنده عمل می‌کنند و می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی از این آلل‌ها استفاده کرد که با نتایج این تحقیق تا حدودی مطابقت دارد. وراثت‌پذیری به‌عنوان یک شاخص برای تعیین نحوه انتقال صفات از والدین به نتاج یا از نسلی به نسل بعد در تجزیه

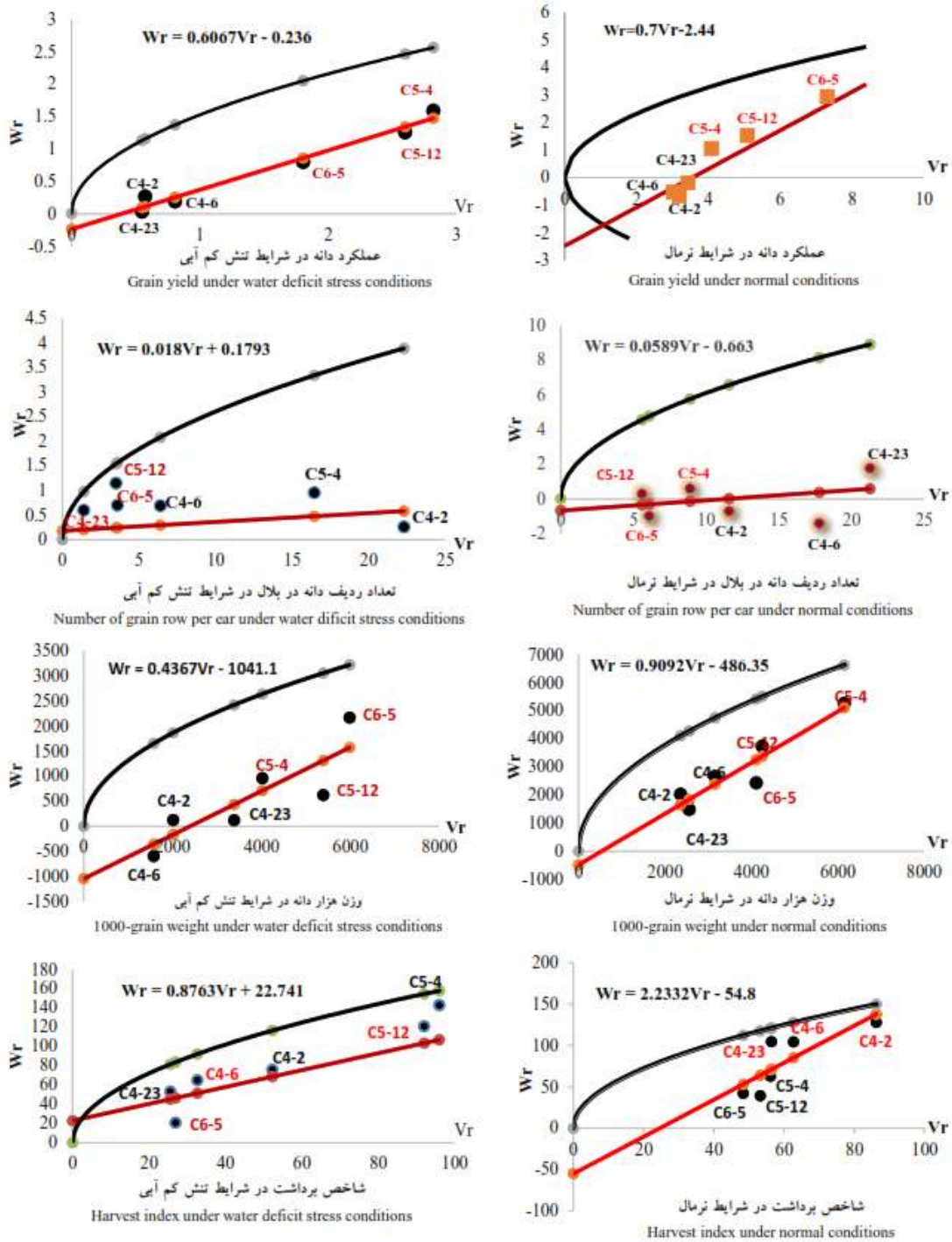
مطالعه آلل‌های غالب بیشتری نسبت به آلل‌های مغلوب دارند. ال-ناگار و همکاران (Al-Naggar et al., 2016) عنوان نمودند کوواریانس اثرات غالبیت و افزایشی برای صفات تعداد دانه در بلال تعداد ردیف دانه در بلال مثبت و معنی‌دار است. تخمین میانگین درجه غالبیت در مکان‌های ژنی از طریق نسبت $\sqrt{\frac{H1}{D}}$ بدست آمد. نتایج نشان داد که میانگین درجه غالبیت در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی برای تمامی صفات مورد مطالعه ذرت به‌جز شاخص برداشت بالاتر از یک بود و بیانگر نقش اثرات فوق‌غالبیت ژن‌ها در کنترل این صفات است. صفت شاخص برداشت در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی کمتر از یک بود که حاکی از نقش غالبیت ناقص ژن‌ها در کنترل این صفت است (جدول ۳). نقش اثر فوق‌غالبیت برای عملکرد دانه ذرت و صفات وابسته توسط محققان مختلفی از جمله مساوات و همکاران (Mosavat et al., 2019) گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. لی و رازدن (Lay and Razdan, 2017) برای صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در بلال، ارتفاع بوته و عملکرد دانه اثرات فوق‌غالبیت و برای صفت وزن هزاردانه اثر غالبیت ناقص را در توارث این صفات گزارش نمودند و عنوان کردند که گزینش در نسل‌های ابتدایی در بهبود صفات و عملکرد مؤثر نخواهد بود؛ بنابراین استفاده از هتروزیس و دورگ‌گیری و انتخاب در نسل‌های بعدی را برای افزایش عملکرد پیشنهاد دادند. علت اختلاف در نتایج تحقیقات برای صفات ذرت می‌تواند به دلیل تفاوت در والدین مورد بررسی و توزیع تصادفی آلل‌ها در والدین و نیز اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط باشد. به‌منظور تعیین توزیع نسبی ژن‌های غالب افزایشدهنده و کاهشدهنده از نسبت H2/4H1 استفاده شد که حداکثر مقدار آن ۰/۲۵ محاسبه شد. مقدار عددی H2/4H1 نشان می‌دهد که توزیع ژن‌های غالب افزایشدهنده (مثبت) و کاهشدهنده (منفی) متقارن می‌باشد. برای صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه و ASI در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی و صفات تعداد دانه در ردیف در شرایط نرمال و صفت شاخص سطح برگ در شرایط تنش کم‌آبی مقادیر این نسبت نزدیک به ۰/۲۵ بود که این موضوع نشان دهنده برابری فراوانی ژن‌های غالب افزایشدهنده و کاهشدهنده در مکان‌های ژنی والدین است (جدول ۳). کمترین تخمین این نسبت در شرایط نرمال برای صفت شاخص سطح

درجه غالبیت، در هر دو شرایط اثرات فوق‌غالبیت ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه نقش مهم‌تری را نشان می‌دهد (جدول ۳). نظر به مقادیر وراثت‌پذیری خصوصی پایین این صفت در این مطالعه پیشنهاد می‌گردد که انتخاب در جهت افزایش ژنتیکی این صفت در نسل‌های پایانی صورت گیرد. مرادی و چوکان (Moradi and Choukan 2017) برای صفت عملکرد دانه پدیده فوق‌غالبیت در کنترل این صفت را گزارش نمودند. همچنین علاوه بر عملکرد دانه ذرت در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی صفت وزن دانه، تعداد ردیف دانه در بلال، شاخص برداشت در شرایط نرمال و نیز در شرایط تنش کم‌آبی شاخص سطح برگ، خط رگرسیون را در قسمت پایین یا منفی محور Wr قطع نمود که بر اساس آن می‌توان چنین اظهار نمود که این صفت نیز توسط ژن‌های فوق‌غالبیت کنترل می‌شوند. لی و رازدن (Lay and Razdan, 2017) به کنترل توارث صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف ذرت توسط اثر فوق‌غالبیت اشاره داشتند. دو صفت تعداد دانه در ردیف و طول گل تاجی در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی محور مختصات را در قسمت مثبت قطع کردند و اثر غالبیت ناقص در کنترل این صفات مشهود است. زمانی که صفات تحت کنترل غالبیت ناقص ژن‌ها باشند می‌توان از روش‌های به نژادی مبتنی بر تلاقی و انتخاب در نسل‌های در حال پیشرفت برای بهبود این صفات استفاده نمود (Singh and Narayanan, 2000).

پراکنش لاین‌ها روی نمودار و سهمی رگرسیونی، موقعیت لاین‌ها روی خط رگرسیون برای صفات مختلف نشان داد (شکل ۱) که در محیط نرمال، لاین C4-95-2 برای صفات عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، وزن هزاردانه و لاین C4-95-6 برای عملکرد دانه، لاین C4-95-23 برای صفات وزن دانه و ASI، لاین C6-95-5 در صفات شاخص سطح برگ، تعداد دانه در ردیف، شاخص برداشت و طول گل تاجی، لاین C5-95-4 برای صفات تعداد دانه در ردیف و طول گل تاجی، لاین C5-95-12 در صفات تعداد ردیف دانه در بلال و شاخص برداشت، در فاصله نزدیکی به مرکز محور مختصات قرار گرفتند که بیانگر حداکثر ژن‌های غالب در کنترل صفات مذکور در این لاین‌ها بود.

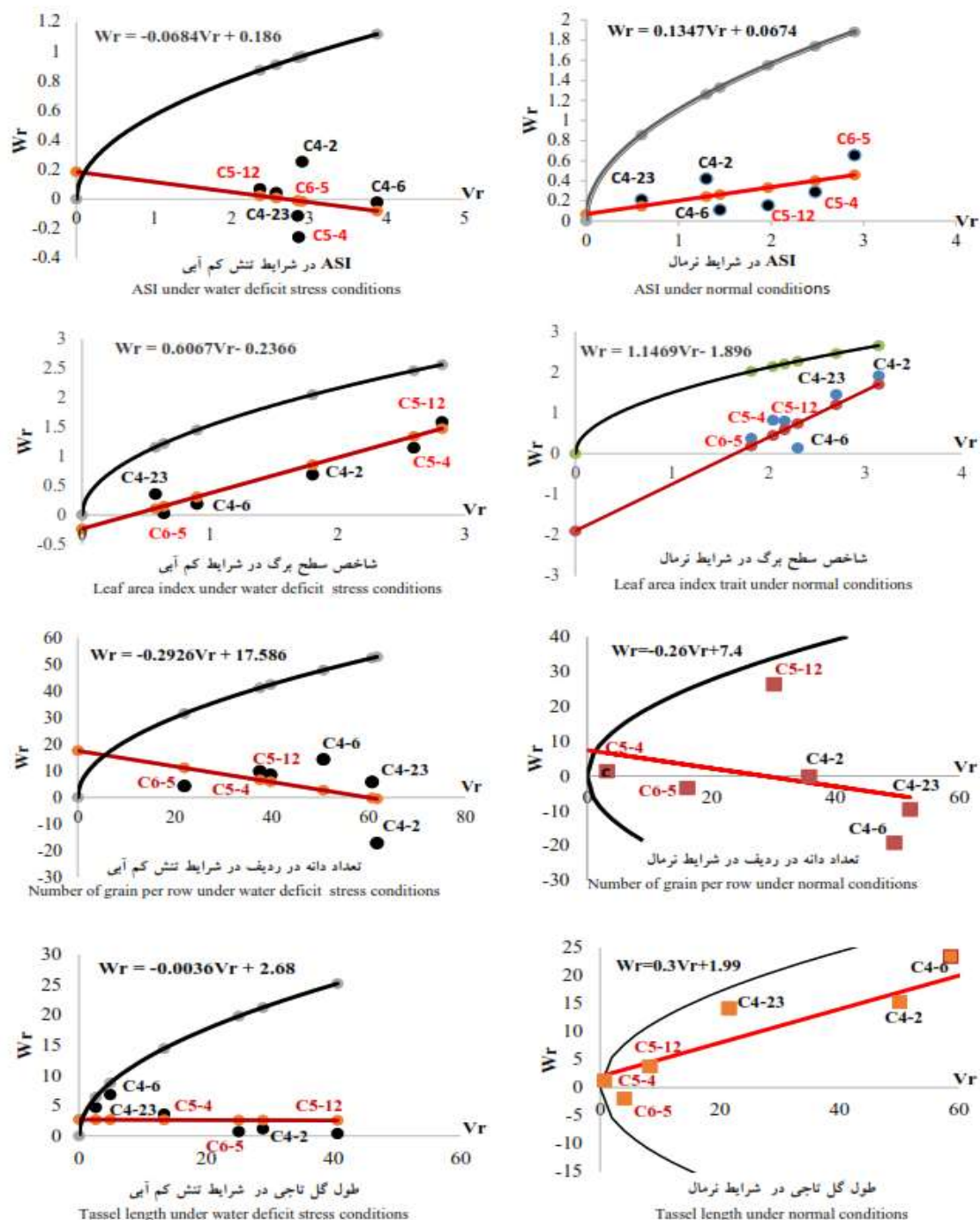
ژنتیکی صفات مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج وراثت‌پذیری عمومی (h^2_b) نشان داد که صفات عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی (به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۸۸)، تعداد ردیف دانه در بلال (۰/۹۲ و ۰/۹۹)، طول گل تاجی (۰/۹۸ و ۰/۷۰) و شاخص برداشت (۰/۸۵ و ۰/۸۷)، دارای مقادیر بالا در هر دو شرایط بودند (جدول ۳). مقادیر بالای وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد دانه با نتایج سایر محققان از جمله وانوز و همکاران (Wannows et al., 2010) و اومار (Umar, 2015) مطابقت داشت. بیشترین مقادیر وراثت‌پذیری خصوصی (h^2_n) برای صفت شاخص برداشت ۰/۵۸ و ۰/۵۵ به ترتیب در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی محاسبه شد (جدول ۳). اعداد بزرگتر پارامتر وراثت‌پذیری خصوصی نشان دهنده نقش اثرات افزایشی ژن‌ها در توارث صفات مذکور است. در این تحقیق صفت عملکرد دانه مقادیر وراثت‌پذیری خصوصی پایین ۰/۱۵ و ۰/۲۲ به ترتیب در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی داشت؛ از این رو نظیر سایر نتایج پارامترهای ژنتیکی بیانگر نقش بیشتر اثرات غیرافزایشی در کنترل این صفت است (جدول ۳)؛ بنابراین برای اصلاح آن در جمعیت مورد مطالعه، روش‌های به‌نژادی بر پایه دورگ‌گیری و انتخاب در نسل‌های پیشرفته پیشنهاد می‌شود (Zare et al., 2011). اکثر صفات، وراثت‌پذیری خصوصی کمتر از ۵۰ درصد داشتند که حاکی از کنترل این صفات توسط ژن‌های غالب است، بنابراین بهره‌گیری از دورگ‌گیری و انتخاب در نسل‌های دیرتر مناسب می‌باشد. این نتایج با گزارش اومار (Umar, 2015) تطابق داشت. همچنین در صفاتی نظیر عملکرد دانه و تعداد دانه در ردیف تفاوت زیاد بین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی وجود داشت. سدریک و همکاران (Sedric et al., 2007) گزارش کردند که تفاوت زیاد در وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی در برخی صفات در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی نشان‌دهنده سهم بیشتر اثرات غیرافزایشی در کنترل صفات می‌باشد.

خط رگرسیون Wr روی Vr ، حاصل از تجزیه و تحلیل گرافیکی تلاقی‌های دای‌آل مدل هیمن (Hyman, 1954) برای صفت عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و شرایط تنش کم‌آبی (شکل ۱) در قسمت پایین محور مختصات (منفی)، محور Wr را قطع نموده که به نظر می‌رسد عملکرد دانه ذرت توسط ژن‌های فوق‌غالبیت کنترل گردد. با توجه به نتایج ذکر شده برای میانگین



شکل ۱- تجزیه گرافیکی $Wr-Vr$ صفات مختلف ذرت، در شرایط نرمال و تنش کم آبی

Figure 1. $Wr-Vr$ - graphical analysis illustrating the genetic control of different maize traits under normal and water-deficit conditions.



ادامه شکل ۱

Figure 1. (Continued)

شاخص برداشت و طول گل تاجی؛ لاین C6-95-5 در صفات تعداد دانه و ASI، والد C5-95-12 در صفات تعداد ردیف دانه و ASI، در فاصله نزدیکی تا مرکز محور

در محیط تنش کم‌آبی نیز والد C4-95-2 در صفات عملکرد دانه ذرت، وزن دانه؛ لاین C4-95-23 صفات عملکرد دانه ذرت، شاخص سطح برگ، تعداد ردیف دانه در بلال،

بسته به نوع صفت می‌توان از گزینش صفات مطلوب و یا دورگ‌گیری بهره جست و صفات مدنظر را بهبود بخشید. در شرایط تنش کم‌آبی نیز صفات عملکرد دانه و تعداد ردیف دانه در بلال برای واریانس غالبیت H1 و H2 معنی‌دار بودند که بیانگر نقش اثرات غیرافزایشی برای این صفات در شرایط تنش کم‌آبی بود. نتایج وراثت‌پذیری عمومی (h^2_b) نشان داد که صفات عملکرد دانه ذرت، تعداد ردیف دانه در بلال و شاخص برداشت واجد مقادیر بالای ۷۰ درصد در هر دو شرایط بودند. وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی با مقادیر بالا برای بیشتر صفات حاکی از امیدبخش بودن ژنوتیپ‌های مورد مطالعه می‌باشد (Zabet *et al.*, 2023)؛ از این‌رو می‌توان از میان این مواد گیاهی لاین‌های برتر را برای شرایط تنش کم‌آبی انتخاب نمود. همچنین با توجه به این‌که لاین‌های C4-95-2، C4-95-23، C4-95-5، C5-95-2، C5-95-4 و 95-4 در محیط نرمال و لاین‌های C4-95-2، C4-95-23، C6-95-5 و C5-95-12 بیش‌ترین آل‌های غالب را در شرایط تنش کم‌آبی داشتند، توصیه می‌شود که در مطالعات دیگر این لاین‌ها بیشتر مد نظر قرار گیرند.

مختصات قرار داشتند که بیانگر حداکثر ژن‌های غالب در کنترل صفات مذکور در این والد‌ها در محیط تنش کم‌آبی است (شکل ۱). برای صفت تعداد دانه در ردیف در هر دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی نتایج تقریباً مشابهی به‌دست آمد. با توجه به مقادیر کم وراثت‌پذیری خصوصی این صفت (جدول ۳) به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی که به منزله سهم کمتر انتقال صفات و یا سهم کمتر اثرات افزایشی است؛ از این‌رو انتخاب در جهت ارتقای ژنتیکی این صفت بهتر است به نسل‌های پیشرفته ماکول گردد. رحیمی (Rahimi, 2019) نیز برای صفت تعداد دانه در ردیف اثرات غیرافزایشی ژن‌ها را در کنترل این صفت مهمتر گزارش کرد. طبق نتایج، در برخی صفات مشاهده گردید که نحوه کنترل ژنتیکی صفات از یک محیط به محیط دیگر متفاوت بود پس بنابراین برای هر محیط باید استراتژی و برنامه اصلاحی خاص آن محیط را به‌کار برد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد، پارامترهای تجزیه ژنتیکی D، H1 و H2 در محیط نرمال برای عملکرد دانه، تعداد دانه در ردیف، طول گل تاجی، شاخص برداشت و وزن هزاردانه معنی‌دار بودند که بیانگر نقش هر دو نوع اثرات افزایشی و غیرافزایشی در کنترل این صفات بود و

References

- Afarinesh, A., Farshadfar, E.A. and Choukan, R. (2005). Genetic analysis of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) using diallel method. *Seed and Plant*, 20: 457-473 (In Persian). <http://dx.doi.org/10.29252/abj.21.1.1>
- Afolabi, M.S., Salami, A.E. and Agbowuro, G.O. (2019). Genetic studies of grain yield and other agronomic traits of Low-N maize (*Zea mays* L.) using a diallel cross under nitrogen fertilizer levels. *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 6(3): 569–574.
- Ahmed, M., Saleem, M., Ahsan, M. and Ahmad, A. (2016). Genetic analysis of water-deficit response traits in maize. *Genetics and Molecular Research*, 15 (1): 1-10. <https://doi.org/10.4238/gmr.15017459>
- Akhtar, N. and Chowdhry, M.A. (2006). Genetic analysis of yield and some other quantities traits in bread wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4: 523-527.
- Ali, F., Ahsan, M., Ali, Q. and Kanawal, N. (2017). Phenotypic stability of *Zea mays* grain yield and its attributing traits under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01397>
- Al-Naggar, A.M., Atta, M., Ahmed, M.A. and Younis, S.M. (2016). Genetic variance, heritability and selection gain of maize (*Zea mays* L.) adaptive traits to high plant density combined with water stress. *Journal of Applied Life Sciences International*, 7(2): 1-17. <https://doi.org/10.9734/JALSI/2016/28414>
- Atlin, G.N., Cairns, J.E. and Das, B. (2017). Rapid breeding and varietal replacement are critical to adaptation of cropping systems in the developing world to climate change. *Global Food Security*, 12: 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.008>
- Baiumy, K.A. (2025). Genetic analysis of quantitative traits in maize: evaluation of diallel crosses for normal and delayed growth using various stress tolerance indices. *Journal of Plant Production*, 16 (4): 127–135. <https://doi.org/10.21608/jpp.2025.373559.1445>
- Banaei, R., Baghizadeh, A. and Khavari-Khorasani, S. (2016). Estimates of genetic variance parameters and general and specific combining ability of morphological traits, yield and yield components of maize hybrids in normal and salt stress conditions. *Plant Genetic Research*, 3(1): 57-74 (In Persian). <https://doi.org/10.29252/pgr.3.1.57>

- Dorri, P., Khavari-Khorasani, S., Valizadeh, M. and Taheri, P. (2015). Investigation the heritability and gene effects on yield and some agronomic traits of maize (*Zea mays* L.). *Plant Genetic Research*, 1(2): 33-42 (In Persian). <https://doi.org/10.29252/pgr.1.2.33>
- Erfani Moghadam, Z., Fotovat, R., Mohseni Fard, E. and Rodriguez, V. (2023). Genetic analysis of grain yield and related traits in maize (*Zea mays* L.) using graphical diallel analysis. *Cereal Research*, 13(2): 129-143 (In Persian).
- FAO. (2023). FAOSTAT. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Accessed on 9 September 2023). FAO. Rome, Italy.
- Gami, R.A., Chauhan, B.B. and Patel, R.N. (2020). Hayman's diallel analysis for yield and attributing traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 11(2): 359-366. <https://doi.org/10.37992/2020.1102.064>
- Girma, S., Gong, Y., Gorg, H. and Lancheros, S. (2015). Estimating direct and indirect effects of foreign direct investment on firm productivity in the presence of interactions between firms. *Journal of International Economics*, 95(1): 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2014.11.007>
- Hallauer, A.R., Carena, M.J. and Miranda Filho, J.D. (2010). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Springer, New Yourk, USA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0_12
- Hayman, B.I. (1954). The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, 10(2): 235-244. <https://doi.org/10.2307/3001877>
- Hayman, B.I. (1958). The theory and analysis of diallel crosses II. *Genetics*, 43(1): 63-85. <https://doi.org/10.1093/genetics/43.1.63>
- Issa, Z., Nyadanu, D., Richard, A., Sangare, A., Adejumbi, I. and Ibrahim, D. (2018). Inheritance and combining ability study on drought tolerance and grain yield among early maturing inbred lines of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 10: 115-127. <https://doi.org/10.5897/JPBCS2017.0703>
- Kumar, A., Vyas, R., Tomar, A. and Singh, M. (2017). Genetic components analysis in maize (*Zea mays* L.). *The Pharma Innovation*. 6: 315- 317.
- Lay, P. and Razdan, A. (2017). Genetic analysis of grain yield and its components of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7): 1366-1372. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.163>
- Madadi, S., Rahimi, M., Ahmadi-Afzadi, M. and Mirzaei, S. (2020). Estimation of gene effect and combining ability of some maize traits under normal and low irrigation conditions by diallel method. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13 (2): 331-340.
- Moradi, M. and Choukan, R. (2017). Graphical Analysis for grain yields related traits in maize (*Zea mays* L.) using diallel crosses under normal and water stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 9(22): 149-157 (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcb.9.22.149>
- Mosavat, S.A., Mazahery-Laghab, H., Soltanloo, H. and Choukan, R. (2019). Estimated combining ability and gene action in selected maize (*Zea mays* L.) lines. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(1): 1-15 (In Persian). <https://doi.org/10.29252/abj.21.1.1>
- Mostafavi, K.H., Golbashi, M. and Khavari-Khorasani, S. (2010). Study response of corn S.C hybrids to drought stress using multivariate statistical analysis. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 7: 117- 132 (In Persian).
- Ojo, G.O.S., Adedzwa, D.K. and Bello, L.L. (2007). Combining ability estimates and Heterosis for grain yield and yield component in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Sustainable Development in Agriculture and Environment*, 3: 49-57.
- Rahimi, M. (2019). Genetic analysis of grain yield and its components of maize in lines and F₂ progenies using diallel analysis by Hayman's graphical approach. *Cereal Research*, 9(2): 169-177 (In Persian).
- Ramadan, A.A., Hussein, F. and Ftaikhan, M. (2021). Genetic analysis of combining ability and gene action of yield and its components in maize (*Zea mays* L.) using full diallel cross. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(5): 1241-125
- Riache, M., Revilla, P., Oula Maafi, O., Malvar, R.A. and Djemel, A. (2021). Combining Ability and heterosis of algerian saharan maize populations (*Zea mays* L.) for tolerance to no-nitrogen fertilization and drought. *Agronomy*, 11: 492-511. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030492>
- Rovaris, S.R.S., Oliveira, A.L.B., Sawazaki, E., Gallo, P.B. and Paterniani, M.E. (2017). Genetic parameter estimates and identification of superior white maize populations. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(2): 157-174. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.32517>
- Sedric, J., Pajhc, Z. and Mladenovic-Drinic S.S. (2007). Inheritance of maize grain yield components. *Maydica*, 52(3): 261-264.
- Singh, P. and Narayanan, S.S. (2000). *Biometrical Techniques in Plant Breeding*. Kalayani Publishers, New Delhi, IND.
- Umar, U. (2015). Genetics of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) under non-stress and water stress conditions. Ph.D. Thesis, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.

- Vahed-Rezaei, A., Aharizad, S., Norouzi, M. and Mafakheri, K. (2020). Genetic analysis of agronomic traits in generations derived from the cross of MO17 and B73 maize inbred lines under water deficit stress. *Journal of Crop Breeding*, 12: 76-85 (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcb.12.33.76>
- Wannows, A.K., Azam, H.A. and Al-Ahmad, S.A. (2010). Genetic variances, heritability, correlation and path coefficient analysis in yellow maize crosses. *Agriculture and Biology Journal North American*, 1(4): 630-637.
- Zabet, M., Barazandeh, F. and Samadzadeh, A. (2023). Evaluation of genetic structure of yield and its components in sesame using Hayman's numerical and graphical analysis in Birjand's climate conditions. *Plant Genetic Research*, 10(1): 123-144 (In Persian). <http://doi.org/10.22034/pgr.10.1.8>
- Zamani Farsi, M., Rahimi, M., Abdoli-Nesab, M. and Baghizadeh, A. (2019). Graphical estimation of the genetic control of grain yield and its components in S7 corn lines under normal and water deficit conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(4): 1049-1061 (In Persian).
- Zare, M., Choukan, R., Bihamta, M.R., Majidi-Heravan, E. and Kamelmanesh, M.M. (2011). Gene action for some agronomic traits in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Crop Breeding*, 1(2): 133-141 (In Persian).
- Zelege, K., Demissew, A. and Wosene, G. (2020). Heterosis and combining ability of highland adapted maize (*Zea mays* L.) DH lines for desirable agronomic traits. *African Journal of Plant Science*, 14: 121-133. <https://doi.org/10.5897/AJPS2019.1880>