ISSN: 2676-7309

Plant Genetic Researches

Volume 10, Issue 1 (2023)

Lorestan University

Research Article

http://dx.doi.org/10.22034/pgr.10.1.4

Genetic Analysis of Yield and Some Agronomic Traits of Hybrid Maize Under Well- Irrigated and Water Deficit Conditions

Mozhgan Shirinpour[1,2], Ehsan Atazadeh[3], Ahmad Bybordi[4], Saeid Aharizad[5], Ali Asghari[6,*] and Ashkboos Amini[7]

1- Ph.D., Horticulture and Crops Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
2- Ph.D., Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3- Associate Professor, Department of Plant, Cell and Molecular Biology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4- Associate Professor, Department of Soil and Water Research, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
5- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
6- Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
7- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Iran

**Corresponding author* ✉: *a_asghari@uma.ac.ir*

Citation: Shirinpour, M., Atazadeh, E., Bybordi, A., Aharizad, S., Asghari, A. and Amini, A. (2023). Genetic analysis of yield and some agronomic traits of hybrid maize under well- irrigated and water deficit conditions. *Plant Genetic Researches*, **10(1):** 61-78. http://dx.doi.org/10.22034/pgr.10.1.4

(Received: May 17, 2023; Final Revised: August 01, 2023; Accepted: August 13, 2023; Published online: September 21, 2023)

Extended abstract

Introduction

Maize is one of the three leading cereals that feeds the world. Indeed, maize plays a versatile and dynamic role in food systems and food/nutrition security. Water deficit stress is considered as one of the most important environmental factors that adversely affects maize production. An ideal maize genotype should have a high average yield and a high a biotic stress tolerance. Considering the importance of maize production and the impact of water deficit stress on reducing the maize yield, estimating the genetic components and heritability of traits to choose the breeding method for hybrid production under water deficit stress is essential. The knowledge of gene effects for maize or any other crop is important to selection and breeding procedures for different characters. Many researchers revealed that importance of additive and non-additive effects in the inheritance of quantitative traits in maize. Generation mean analysis as the best biometrical technique, determine the genetic parameters including additive and dominant effects, and non-allelic genetic interactions using mean genotypic values of families and generations. To this end, we attempted to analyze the generation mean using seven basic generations of a cross between B73 and MO17 to explore how genes and trait interactions could lead to identifying better maize genotypes able to survive under water-deficit stress.

Materials and methods

The generations derived from a cross between two inbred lines of maize including B73 (maternal line) and MO17 (paternal line), SC704 (F_1) as well as F2, BC1, BC2 and F3 generations. The genetic effects and heritability of yield, yield components and morphological traits were studied using the generations mean

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

analysis under the full irrigation, mild and severe water deficit conditions. Irrigation regimes were applied at 5-6 leaf stage until the silk emergence stage. The experiment was conducted in the form of randomized complete block design with 20 replications per experimental unit during two cropping seasons (2018-2019) at the Agricultural Research Station of University of Tabriz. It should be noted that plants were grown in the same conditions in terms of soil type, light, temperature. Also, the experimental station was protected from the rainfall by a plastic cover throughout the cropping seasons. No differences were found between plants in each experimental unit.

Results and discussion

The results of two-year combined analysis of variance and mean comparisons under three different irrigation regimes showed that water deficit stress significantly reduced all of the studied traits (except root/shoot ratio). Since the genetic control method for each trait was different, the selection and unique breeding program for any trait should be considered. The contribution of non-additive gene effects (dominance and epistasis effects) compared to the additive effects was estimated. The generations mean analysis showed that the high contribution of non-additive gene effects for grain yield, ear diameter, number of kernel row, ear weight (in full irrigation conditions), 100 grain weight, plant height, fresh shoot weight and biological yield traits. According to results of the present study, selection in the advanced generations and the breeding method based on hybridization can be effective to improve such traits. Also, the significant contribution of additive gene effects in controlling the inheritance of ear length, ear weight (in both stress conditions) and root/shoot ratio traits indicated that selection in early segregating generations and inbred parents can be effective for breeding such traits taking advantage of additive variance. Hybrid SC704 and inbred MO17 compared with the inbred B73 showed the lowest variation percentage under the water deficit stress conditions, suggesting a high yield potential and stability in the stress conditions.

Conclusion

The grain yield of different maize genotypes depends on their genetic structure and the response of the favorable traits under both well-watered and stressed conditions. Increasing in non-additive genetic effects, especially the main effect of dominance and dominance × dominance, can be attributed to the environmental effects and generation × irrigation interactions. The change of gene action and heritability of some traits at different levels of irrigation revealing the interaction effect of gene(s) in response to water deficit stress and the complexity of the genetic mechanism of maize under the water deficit stress. The findings this study will help plant breeders to improve the selection strategies for the development of new genotypes or varieties with better responsiveness to deficit irrigation.

Keywords: Genetic analysis, Heritability, Maize generations, Water deficit stress

پژوهش‌های ژنتیک گیاهی
جلد ۱۰، شماره ۱، سال ۱۴۰۲
شاپا الکترونیکی: ۷۳۰۹-۲۶۷۶
دانشگاه لرستان
مقاله پژوهشی
http://dx.doi.org/10.22034/pgr.10.1.4

کنترل ژنتیکی عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در ذرت تحت شرایط کم‌آبی

مژگان شیرین‌پور[۱،۲]، احسان عطازاده[۳]، احمد بابیوردی[۴]، سعید اهری‌زاد[۵]، علی اصغری[۶*] و اشکبوس امینی[۷]

۱- دکتری تخصصی، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز
۲- دکتری تخصصی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳- دانشیار، گروه زیست‌شناسی گیاهی، سلولی و مولکولی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز
۴- دانشیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز
۵- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز
۶- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۷- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷؛ تاریخ آخرین ویرایش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰)

چکیده

با توجه به اهمیت تولید ذرت و تأثیر تنش کم‌آبی در کاهش عملکرد این محصول، برآورد اجزای ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات برای تعیین روش به‌نژادی تحت تنش کم‌آبی امری ضروری در برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد. نسل‌های حاصل از تلاقی دو لاین اینبرد ذرت شامل B73 (لاین مادری) و MO17 (لاین پدری)، SC704 (F_1) و نیز نسل‌های F_2، BC_1، BC_2 و F_3 به‌منظور برآورد اثرات ژنی و وراثت‌پذیری صفات عملکرد، اجزای عملکرد و مورفولوژیکی مطالعه شدند. هفت نسل ذرت با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها تحت شرایط آبیاری کامل، تنش متوسط و شدید کم‌آبی مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ تکرار در هر واحد آزمایشی طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه تبریز انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس مرکب دو سال و مقایسات میانگین تحت سه رژیم آبیاری مختلف نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار تمامی صفات مورد مطالعه (به‌جز نسبت ریشه به ساقه) شد. نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها سهم بالای اثرات ژنی غیرافزایشی را در کنترل ژنتیکی صفات عملکرد دانه، قطر بلال، تعداد ردیف دانه، وزن بلال (در شرایط آبیاری کامل)، وزن صددانه، ارتفاع بوته، وزن‌تر اندام هوایی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نشان داد. با توجه به این نتایج گزینش در نسل‌های تفرق پیشرفته و روش اصلاحی مبتنی‌بر هیبریداسیون می‌تواند جهت بهبود این صفات مؤثر واقع شود. هم‌چنین، سهم بارز اثرات ژنی افزایشی در کنترل توارث صفات طول بلال، وزن بلال (در هر دو شرایط تنش) و نسبت ریشه به ساقه بیانگر این است که برای اصلاح این صفات و بهره‌گیری از واریانس افزایشی، گزینش در نسل‌های در حال تفرق اولیه و والدین اینبرد می‌تواند مؤثر باشد. هیبرید SC704 و اینبرد MO17 در مقایسه با اینبرد B73، کم‌ترین درصد تغییر را در شرایط تنش کم‌آبی نشان دادند که بیانگر پتانسیل عملکرد بالا و پایداری آن‌ها در شرایط تنش بود.

واژگان کلیدی: تجزیه ژنتیکی، تنش کم‌آبی، نسل‌های ذرت، وراثت‌پذیری

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: a_asghari@uma.ac.ir

مقدمه

ذرت به‌عنوان یکی از غلات مهم و استراتژیک در بیشتر کشورها از جایگاه مهمی برخوردار می‌باشد. در کشورهای توسعه‌یافته ذرت به‌طور وسیعی به‌عنوان منبع اصلی کربوهیدرات در تغذیه دام و در کشورهای در حال توسعه معمولاً به‌عنوان غذای انسان استفاده می‌شود (Erenstein *et al*., 2022). ایران از جمله مناطق مستعد تولید ذرت به‌شمار می‌آید؛ زیرا از تنوع آب و هوایی مناسبی برخوردار است. سطح زیر کشت این محصول ۵۰۲ هزار هکتار و تولید آن معادل ۰/۳۲ میلیون تن می‌باشد که تولید ٦/٧ درصد از کل غلات را به خود اختصاص می‌دهد (FAOSTAT, 2021).

یکی از مهم‌ترین و شایع‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سراسر جهان، تنش کم‌آبی است. از این‌رو، تولید انواع گیاهان زراعی مقاوم به تنش کم‌آبی به‌ویژه در مناطق خشک، برای اطمینان از امنیت و ایمنی غذایی در سال‌های آتی امری ضروری به‌حساب می‌آید (Sah *et al*., 2016). تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که عملکرد ذرت را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. گزینش ژنوتیپ‌هایی از ذرت که در شرایط تنش کم‌آبی بیشترین عملکرد را تولید کنند، یکی از مهم‌ترین اهداف در اصلاح‌نباتات است (Zubairi *et al*., 2012). کمبود آب باعث تأخیر در ظهور رشته‌های ابریشمی و در نتیجه افزایش فاصله زمانی گرده‌افشانی تا ظهور رشته‌های ابریشمی می‌شود که از مهم‌ترین دلایل پوکی بلال و کاهش عملکرد تا حدود ٥٠–٤٠ درصد است (Oury *et al*., 2016). طباطبایی و شاکری (Tabatabaei and Shakeri, 2015) با اعمال تنش کم‌آبی بر عملکرد هیبریدهای ذرت گزارش کردند که تنش کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد ردیف بلال، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت گردید.

نظر به این‌که از نظر اقتصادی عملکرد دانه مهم‌ترین صفت در گیاه ذرت است ولی وراثت‌پذیری آن پایین می‌باشد، بنابراین، برآورد اجزای ارزش ژنوتیپی صفات مرتبط با عملکرد (افزایشی، غالبیت و اپیستازی) و وراثت‌پذیری صفات، جهت گزینش غیرمستقیم برای عملکرد و تولید هیبریدهای برتر امری ضروری در اصلاح گیاهان به‌حساب می‌آید (Amegbor *et al*., 2022; Amiri *et al*., 2021). تجزیه میانگین نسل‌ها یک روش بیومتریک است که به‌طور اختصاصی عمل کرده و اهمیت نسبی اثرهای ژنتیکی، به‌ویژه اثر اپیستازی را با استفاده از میانگین نسل‌های متفاوت حاصل از یک تلاقی مشخص می‌سازد (Kang, 1994). خان و همکاران (Khan *et al*., 2016) با انجام تجزیه میانگین نسل بر روی شش نسل ذرت تحت شرایط تنش خشکی بیان داشتند که اثرات غیرافزایشی (اثر غالبیت و اثرات متقابل اپیستازی) در توارث کنترل صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه نقش مهمی دارند. هم‌چنین، در تحقیقی دیگر با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌های ذرت، نقش اثر ژنی غالبیت و اثر متقابل غیرآللی از نوع اپیستازی مضاعف در وراثت‌پذیری صفات قطر بلال، طول بلال و عملکرد دانه گزارش گردیده است (Noor *et al*., 2018).

با توجه به اینکه کشور ایران به‌دلیل میزان بارندگی کم جزء مناطق خشک محسوب می‌شود، برآورد پارامترهای ژنتیکی عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی برای درک علمی تولید محصول در این شرایط ضروری می‌باشد؛ زیرا از طریق آن، انتخاب روش‌های مناسب به‌نژادی برای تولید ارقام متحمل به تنش کم‌آبی و همچنین تولید ارقام پرمحصول ذرت میسر می‌شود (Muliadi *et al*., 2021; Khavari Khorasani and Mahdi Poor, 2018). برای نائل شدن به این اهداف، تعیین اثرات ژنی و وراثت‌پذیری عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در نسل‌های حاصل از تلاقی دو لاین اینبرد B73 (لاین مادری) و MO17 (لاین پدری) ذرت با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق بذور دو لاین اینبرد ذرت شامل B73 (لاین مادری دارای نرعقیمی سیتوپلاسمی، پابلند و دیررس) و

MO17 (لاین پدری، پاکوتاه و زودرس)، سینگل‌کراس ۷۰۴ (نسل F_1) حاصل از تلاقی این دو لاین و نیز نسل‌های F_2، BC_1، BC_2 و F_3 حاصل از این لاین‌ها در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در ۲۰ تکرار و در سه سطح آبیاری کامل (رطوبت در حد ظرفیت مزرعه)، تنش ملایم (۵۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل نگهداری) و تنش شدید (۷۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل نگهداری) ارزیابی شدند. آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، واقع در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز در منطقه کرکج با طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳٦۰ متر طی دو سال زراعی متوالی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک سرد کوهستانی است. میانگین دمای هوا در طول فصل رشد ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت متوسط هوا ۲۸/۷ درصد و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ۵/۹۳ متر بر ثانیه بود. بذور داخل لوله‌های پولیکا (PVC) به ارتفاع یک متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر که با خاک زراعی شنی لومی پر شده بودند، به تعداد دو عدد در هر لوله کشت شدند که پس از سبز شدن و در مرحله پنجه‌زنی برای رعایت فاصله و تراکم کشت، به یک بوته تقلیل داده شدند (شکل ۱). اعمال تنش بعد از مرحله ۵ الی ٦ برگی گیاه شروع شد و تا مرحله کاکل‌دهی ادامه یافت. در مرحله داشت در هر سه شرایط آبیاری، وجین علف‌های هرز و کود دهی به‌طور یکسان انجام پذیرفت. به‌منظور جلوگیری از نزولات آسمانی و خسارت پرندگان محوطه آزمایش با پوشش نایلونی شفاف و تور پلاستیکی پوشانده شد. تمامی بلال‌های بوته‌ها بعد از رسیدگی فیزیولوژیک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از خشک شدن و رسیدن رطوبت دانه به ١٤ درصد، صفات زراعی قطر بلال، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، وزن بلال، وزن صددانه و عملکرد دانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. همچنین صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، وزن‌تر اندام هوایی، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و نسبت ریشه به ساقه اندازه‌گیری و ثبت شدند.

شکل ۱- مراحل مختلف رشدی گیاه ذرت در لوله‌های کشت

Figure 1. Different growth stages of maize plants in culture pipes

قبل از انجام تجزیه واریانس، برقراری پیش‌فرض‌های تجزیه واریانس مورد بررسی قرار گرفت که مفروضات برای تمامی صفات برقرار بود. وجود اختلاف معنی‌دار برای صفات مورد مطالعه در بین شرایط محیطی با استفاده از مقایسات میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تجزیه میانگین نسل‌ها در صورت وجود اثر متقابل نسل × شرایط آبی به‌طور جداگانه برای هرکدام از محیط‌های فاقد و واجد تنش کم‌آبی با روش متر و جینکز (Mather and Jinks, 1982) انجام گرفت. به‌دلیل متفاوت بودن واریانس نسل‌های مختلف از روش حداقل مربعات وزنی روی داده‌های حاصل از هفت نسل پایه، استفاده شد. در این مدل اجزای تشکیل‌دهنده میانگین کل هر صفت برای برآورد اثرات ژنی به شش جزء تفکیک می‌شود:

رابطه (۱) $Y = m + \alpha [d] + \beta [h] + \alpha^2 [i] + 2\alpha\beta [j] + \beta^2 [l]$

که در آن، Y: میانگین یک نسل، m: میانگین تمام نسل‌ها در یک تلاقی، [d]: مجموع اثر افزایشی، [h]: مجموع اثرهای غالبیت، [i]: مجموع اثر متقابل افزایشی × افزایشی، [j]: مجموع اثر متقابل افزایشی × غالبیت، [l]: مجموع اثر متقابل غالبیت × غالبیت و α، β، α^2، $2\alpha\beta$ و β^2: ضرایب هر یک از پارامترهای مدل می‌باشند. کفایت مدل افزایشی – غالبیت از طریق آزمون مقیاس مشترک و نیز با استفاده از آزمون مشترک وزنی کای‌اسکوئر (x^2) مورد بررسی قرار گرفت. در صورت عدم‌کفایت مدل ساده افزایشی – غالبیت، مدل شش پارامتری انتخاب و از رگرسیون وزنی به روش نزولی برای برازش بهترین مدل استفاده شد. آزمون‌های مقیاس A، B، C و D توسط روش هیمن و متر (Hayman and Mather, 1955) برای بررسی کفایت مدل افزایشی – غالبیت انجام شد. وراثت‌پذیری عمومی (h^2_{bs})، خصوصی (h^2_{ns}) و درجه غالبیت ($\bar{a}$) به‌ترتیب از روابط زیر برآورد شد:

رابطه (۲) $h^2_{bs} = (V_A + V_D) / (V_A + V_D + V_E)$

رابطه (۳) $h^2_{ns} = (V_A) / (V_A + V_D + V_E)$

رابطه (٤) $$\bar{a} = \sqrt{\frac{2V_D}{V_A}}$$

تمام تجزیه‌های ژنتیکی و آماری توسط نرم‌افزارهای SAS 9.2، SPSS 23 و Excel 2013 انجام گرفت.

نتایج و بحث

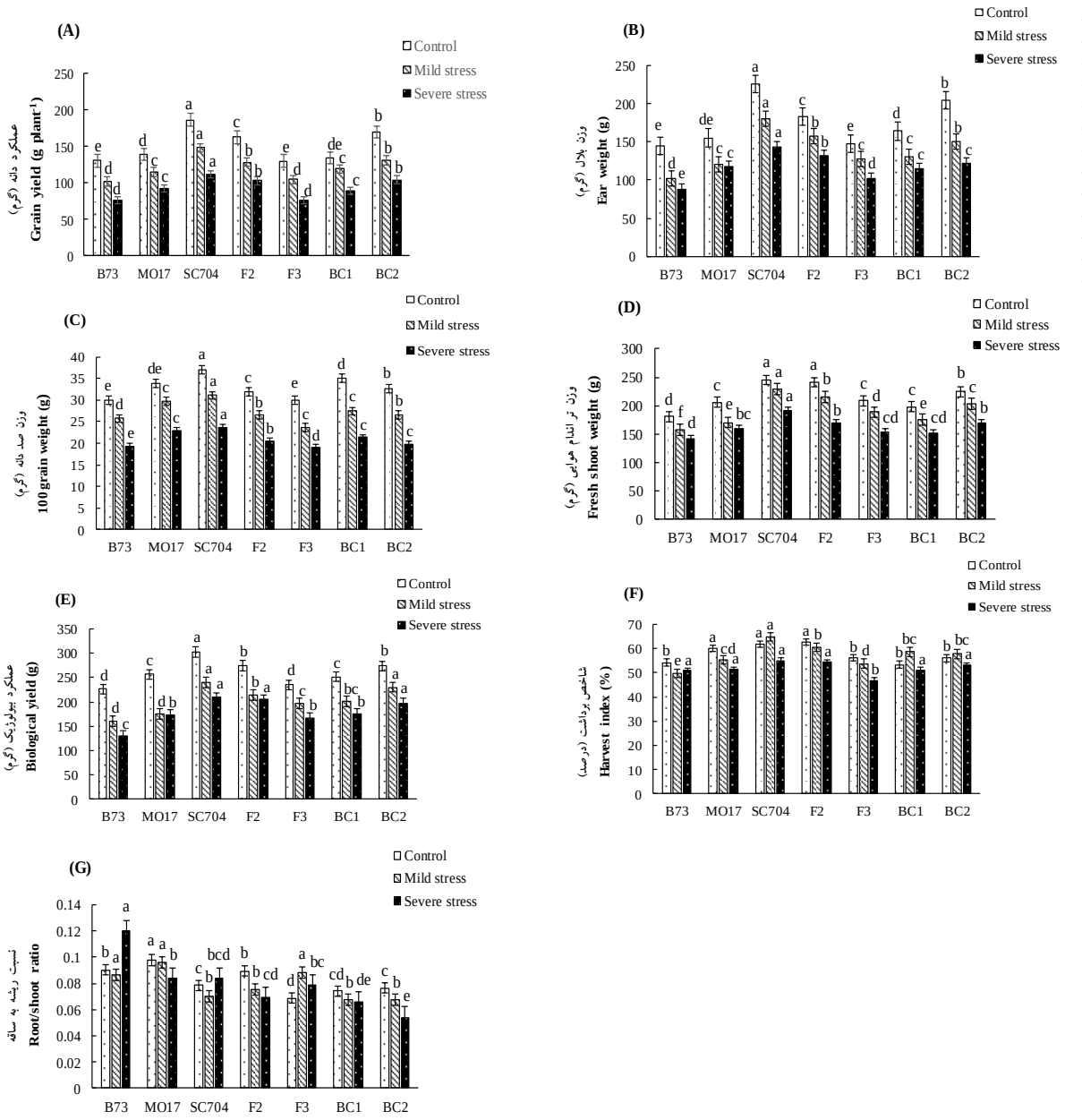
تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین: با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب در دو سال زراعی و تحت سه شرایط آبیاری متفاوت (جدول۱)، تمامی صفات عملکرد، اجزای عملکرد و مورفولوژیکی (به‌جز نسبت ریشه به ساقه) از نظر اثر سال، شرایط آبیاری و نسل (هفت نسل ذرت) در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند. هم‌چنین، اثر متقابل نسل × شرایط آبیاری برای عملکرد دانه، وزن بلال، وزن صددانه و تمامی صفات مورفولوژیکی به‌جز صفت ارتفاع بوته، معنی‌دار شد که یکسان نبودن روند تغییرات میانگین نسل‌ها از نظر صفات مذکور را در شرایط تنش و آبیاری کامل نشان داد (شکل ۲). میانگین‌های برآورد شده برای تمامی صفات مورد مطالعه (به‌جز صفت نسبت ریشه به ساقه) در شرایط تنش و آبیاری کامل (جدول ۲) نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار این صفات در هر دو شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به شرایط آبیاری کامل شده است. محاسبه درصد کاهش تغییرات صفات مورد مطالعه در شرایط تنش شدید نسبت به آبیاری کامل، مشخص کرد که والد MO17 و هیبرید SC704 در مقایسه با والد B73 کمتر تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفته‌اند (جدول ۲). بررسی صفات مرتبط با عملکرد دانه به‌دلیل سهولت اندازه‌گیری این صفات، همواره مورد توجه به‌نژادگران در راستای شناسایی هیبریدهای برتر می‌باشد (Musvosvi *et al.*, 2018). گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) در بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر عملکرد و صفات مرتبط با آن در ذرت، گزارش کردند که تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه در بلال و وزن هزاردانه مهم‌ترین صفات مؤثر در عملکرد ذرت طی شرایط تنش کمبود آب می‌باشند و گزینش برای این صفات تحت شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود. در شرایط تنش کم آبیاری، کاهش قطر بلال به‌دلیل کاهش فتوسنتز جاری

و کمبود انتقال مواد فتوسنتزی از ساقه به چوب بلال رخ داده و در نتیجه باعث کاهش رشد چوب بلال و در نهایت کاهش قطر بلال می‌شود (Moosavi, 2012). در مورد صفت طول بلال، عامل اصلی کاهش یافتن طول بلال در طی تنش کم‌آبی صرفاً ناشی از کاهش تعداد دانه می‌باشد که به‌علت عدم بروز حداکثر پتانسیل رشدی در بلال‌ها، در نتیجه تأخیر در مرحله رشدی بلال در اثر تنش رخ می‌دهد (Hütsch and Schubert, 2021). در بلال‌هایی که در معرض تنش کمبود آب قرار می‌گیرند، کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کلوین تولید مواد پرورده را به میزان زیادی کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش وزن دانه‌ها می‌گردد (Yan *et al.*, 2016). کاهش در عملکرد و اجزای عملکرد دانه از جمله قطر بلال، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، وزن بلال و وزن صددانه تحت تنش کم‌آبی توسط محققان متعددی گزارش شده است (Wang *et al.*, 2019; Sah *et al.*, 2020) که با نتایج آزمایش ما مطابقت دارد.

در میان صفات مختلف مورفولوژیکی، ارتفاع گیاه یکی از شاخص‌های کلیدی تحمل گیاهان به تنش کمبود آب به‌حساب می‌آید. گیاه ذرت برای رسیدن به ارتفاع مطلوب باید از عملکرد فتوسنتزی مناسبی برخوردار باشد. به‌طور کلی، کاهش ارتفاع گیاه در مرحله رویشی به‌دلیل کاهش سطح برگ، کاهش فتوسنتز و ساخت و انتقال آسمیلات‌های فتوسنتزی می‌باشد (Paredes *et al.*, 2014). پژوهشگران متعددی گزارش کرده‌اند که اعمال تنش کم‌آبی در ذرت باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Su *et al.*, 2019; Sah *et al.*, 2020). تنش کم‌آبی به‌طور مستقیم باعث کاهش تقسیم و رشد سلولی شده و با کاهش رشد گیاه منجر به کاهش طول، وزن‌تر و خشک اندام هوایی گیاه می‌گردد (Shao *et al.*, 2008). فاروق و همکارن (Farooq *et al.*, 2009) عنوان کردند که تنش کم‌آبی بر وزن‌تر اندام هوایی ذرت اثر کاهشی معنی‌داری دارد. در آزمایش حاضر، عملکرد بیولوژیک که نشان دهنده ماده خشک تجمع‌یافته در اندام هوایی در زمان برداشت است، تحت تأثیر معنی‌دار تنش کم‌آبی قرار گرفت (جدول ۲).

تنش کم‌آبی هم‌زمان با رشد فعال رویشی بوته‌ها، توسعه اندام‌های گیاه را به تأخیر می‌اندازد. کاهش در اندازه گیاه منجر به کم شدن تولید مواد پرورده در زمان نمو بلال می‌شود. از این‌رو، تولید ماده خشک در گیاه به‌اندازه سطح فتوسنتز کننده آن بستگی دارد (Jin *et al.*, 2018). شاخص برداشت بیانگر توان گیاه در اختصاص دادن بیش‌تر مواد فتوسنتزی در جهت تولید عملکرد دانه (تعداد دانه و وزن دانه) می‌باشد. در مقایسه واریته‌های جدید و قدیم اغلب گیاهان زراعی مانند گندم و ذرت، شاخص برداشت مسئول افزایش عملکرد دانه بوده است (Mounce *et al.*, 2016). مطابق با نتایج ما، تأثیر منفی تنش کمبود آب بر عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ذرت که باعث کاهش معنی‌دار این صفات می‌شود، توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Barutcular *et al.*, 2016; Ul-Allah *et al.*, 2020). نسبت ریشه به ساقه اغلب به‌عنوان شاخص نسبی بیوماس اندام هوایی و ریشه گیاه، برای سنجش مقاومت به تنش کمبود آب توسط به‌نژادگران مورد استفاده قرار می‌گیرد (Edwards *et al.*, 2016). در این تحقیق، با وجود ثابت باقی ماندن نسبت ریشه به ساقه در طی مراحل شاهد و تنش کم‌آبی، مقایسه میانگین اثر متقابل نسل × شرایط آبیاری نشان داد که تفاوت بین نسل‌ها از نظر نسبت ریشه به ساقه معنی‌دار است (شکل ۲). این امر نشان می‌دهد نسل‌هایی که در مرحله پنجه‌زدن ریشه بیش‌تری ایجاد نموده‌اند، نسبت ریشه به ساقه را در مرحله پر شدن دانه نیز حفظ کرده‌اند (Jin *et al.*, 2018). مقایسه میانگین نسل‌های مورد مطالعه ذرت در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی نشان داد که هیبرید SC704 بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه، وزن بلال، وزن صددانه، وزن‌تر اندام هوایی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را در هر سه شرایط محیطی به خود اختصاص داد. به‌طوری‌که نصراله‌زاده اصل و همکاران

(Nasrollahzade Asl *et al.*, 2017) نیز با ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد دانه هیبریدهای ذرت تحت تنش کمبود آب اظهار کردند که SC704 از عملکرد و اجزای عملکرد دانه بیش‌تر و پایدارتری برخوردار است.



شکل ۲- اثر آبیاری کامل (Control)، تنش متوسط (Mild stress) و تنش شدید (Severe stress) کم‌آبی بر A) عملکرد دانه، B) وزن بلال، C) وزن صددانه، D) وزن‌تر اندام هوایی، E) عملکرد بیولوژیک، F) شاخص برداشت و G) نسبت ریشه به ساقه. میله‌ها نشان دهنده خطاهای استاندارد میانگین هستند. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار دارند (در سطح احتمال ۵ درصد).

Figure 2. Effect of full irrigation (Control) mild (Mild stress) and severe (Severe stress) water deficiency, on A) Grain yield, B) Ear weight, C) 100 grain weight, D) Fresh shoot weight, E) Biological yield, F) Harvest index and G) Root/shoot ratio. Bars represent standard errors of the mean. The different letters mean significant differences according to the Duncan test ($P \leq 0.05$).

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در نسل‌های ذرت تحت آبیاری کامل و کم‌آبی

Table 1. Combined analysis of variance for grain yield and yield components of maize generations under full and deficit irrigation.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات Mean Squares										
		عملکرد تک‌بوته Grain yield per plant	قطر بلال Ear diameter	طول بلال Ear length	تعداد ردیف دانه N. of kernel row	وزن بلال Ear weight	وزن صددانه 100 grain weight	ارتفاع بوته Plant height	وزن‌تر اندام هوایی Fresh shoot weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	نسبت ریشه به ساقه Root/shoot ratio
سال Year (Y)	1	15276.38**	29.94**	42.20**	336.38**	27418.17**	3668.83**	1549.70*	467982.17**	42399.51**	2537.96**	0.034**
شرایط آبیاری Water treatment (W)	2	225865.79**	145.93**	1151.49**	414.81**	238376.13**	9986.67**	81836.60**	195920.08**	471339.08**	2482.39**	0.00073ns
سال × شرایط آبیاری Y × W	2	1039.10*	2.41**	2.18ns	12.01ns	5970.21**	330.17**	2425.11**	15768.96**	12010.53**	89.67ns	0.022**
تکرار / سال × شرایط آبیاری Replication/ Y × W	114	344.25	0.22	8.47	5.32	633.80	30.80	439.77	1777.11	888.81	89.51	0.0010
نسل Generations (G)	6	34840.53**	9.02**	429.40**	55.22**	70043.16**	586.98**	6115.61**	53695.77**	77952.60**	1309.91**	0.020**
نسل × سال G × Y	6	281.41ns	0.69*	7.82ns	28.83**	5600.46**	153.04**	2183.55**	31721.06**	12900.08**	1099.64**	0.0061**
نسل × شرایط آبیاری G × W	12	1449.22**	0.27ns	8.88ns	1.35ns	3850.38**	25.27*	479.34ns	2245.89**	3530.11**	218.58**	0.0044**
نسل × سال × شرایط آبیاری G × Y × W	12	437.98ns	0.33ns	2.39ns	1.98ns	956.79**	13.55ns	729.68**	1886.93*	2903.77**	310.67**	0.0028**
خطا Error	684	332.26	0.31	6.85	4.39	458.57	14.40	296.74	1056.79	972.00	89.89	0.00080
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variance (%)		14.98	15.24	17.50	16.82	14.92	14.05	11.69	17.14	14.55	17.14	35.32

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین و درصد کاهش عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن تحت آبیاری کامل و کم‌آبی

Table 2. Mean comparison and percent reduction of grain yield and its contributing traits under full and deficit irrigation.

شرایط آبیاری Water treatment		میانگین‌ها Means										
		عملکرد تک بوته (گرم) Grain yield per plant (g plant^{-1})	قطر بلال (سانتی متر) Ear diameter (cm)	طول بلال (سانتی- متر) Ear length	تعداد ردیف دانه N. of kernel row	وزن بلال (گرم) Ear weight (g)	وزن صددانه (گرم) 100 grain weight (g)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	وزن‌تر اندام هوایی (گرم) Fresh shoot weight (g)	عملکرد بیولوژیک (گرم) Biological yield (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	نسبت ریشه به ساقه Root/shoot ratio
کنترل Control		150.34a	4.37a	16.93a	13.78a	174.99a	32.89a	164.53a	214.98a	259.84a	57.72a	0.082a
تنش متوسط Mild stress		120.98b	3.64b	15.16b	12.33b	138.29b	27.22b	150.64b	191.31b	202.50b	57.19a	0.079a
تنش شدید Severe stress		93.48c	2.92c	12.86c	11.33c	117.18c	20.94c	129.14c	162.03c	179.51c	51.79b	0.078a
	B73	41.33	32.86	31.26	21.03	39.60	35.33	21.73	21.59	42.61	6.03	-32.58
درصد کاهش Percent reduction	MO17	33.32	32.67	23.33	12.12	23.90	31.95	18.62	22.74	32.34	14.50	14.09
	SC704	39.99	29.73	22.61	19.42	36.54	36.04	19.83	22.32	30.86	10.87	-0.95

میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵٪) تفاوت معنی‌دار دارند.

The different letters mean significant differences according to the Duncan test ($P \leq 0.05$).

تجزیه‌های ژنتیکی: با توجه به نتایج آزمون‌های مقیاس، معنی‌دار شدن حداقل یک آزمون انفرادی کفایت مدل افزایشی - غالبیت (به‌غیر از طول بلال و شاخص برداشت در شرایط تنش) در هر سه شرایط آزمایشی بیانگر وجود اثرات متقابل غیرآللی در توارث تمامی صفات مورد مطالعه بود (جدول ۳). برازش مدل‌های مختلف برای این صفات، مدل‌های پنج و شش پارامتری را به‌عنوان مدل‌های مناسب برای توجیه تغییرات ژنتیکی مشاهده شده برای تمام صفات مورد آزمایش نشان داد (جدول ٤). کای‌اسکوئر برای برخی صفات معنی‌دار شد که احتمال دخالت اثر اپیستازی سه‌گانه، پیوستگی ژنی و یا اثرات مادری را در توارث این صفات نشان می‌دهد. پارامتر m یا میانگین، بیانگر تمام اثرهایی است که برای همه نسل‌ها یکسان است. معنی‌دار بودن این پارامتر در تمام صفات نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو والد می‌باشد. علامت مثبت یا منفی در اثر افزایشی ژن‌ها بستگی به این دارد که کدام والد P_1 و کدام والد P_2 در نظر گرفته شده است. در آزمایش حاضر، منفی بودن علامت پارامتر [d] به این دلیل است که اثر افزایشی در جهت والد ضعیف از نظر صفات مورد مطالعه (والد مادری B73) عمل نموده است. به‌عبارت دیگر، والد P_2 (MO17)، والد برتر بوده و بیش‌ترین تعداد ژن را برای بهبود صفات دارد. علامت مثبت یا منفی در اثر غالبیت ژن‌ها تابعی از میانگین نسل F_1 در رابطه با میانگین والدین است و نشان می‌دهد که کدام والد در اثر غالبیت ژن‌ها نقش دارد (Crusio, 2006). به‌طوری که علامت مثبت برای پارامتر [h] برای تمام صفات مورد مطالعه (به‌غیر از صفت نسبت ریشه به ساقه) نشان دهنده غالبیت نسبی در جهت افزایش صفات مربوطه بود. علامت منفی پارامتر [i] در هر سه شرایط آزمایشی برای صفات مورفولوژیکی نشان داد که پس از رسیدن به خلوص ژنتیکی آلل‌هایی که باعث کاهش این صفات می‌شوند، به‌وسیله گزینش تحت شرایط خودگشنی قابل تثبیت است (جدول ٤). در برخی صفات علامت مخالف [d] و [i] نشان دهنده ماهیت متضاد اثر متقابل افزایشی × افزایشی و نیز علامت مخالف [h] و [l] نشان دهنده وجود اپیستازی دوگانه و پیچیدگی توارث این صفات است. در نتیجه، واریانس صفت برای نسل‌ها و جمعیت‌های در حال تفرق کاهش می‌یابد. این نوع اپیستازی مشکلی را در جهت گزینش گیاهان مطلوب از نظر صفات مربوطه ایجاد نمی‌کند ولی روند اصلاحی را کند کرده و گزینش تا دسترسی به سطح بالایی از تثبیت ژنی باید به تأخیر افتد (Mather, 1973). در برآورد اجزای واریانس ژنتیکی، در برخی صفات واریانس افزایشی منفی برآورد شد که جهت اجتناب از بروز خطا در انجام محاسبات مقادیر منفی، در جدول مربوطه صفر منظور شد (جدول ٥). مقادیر منفی واریانس ژنتیکی به‌علت اشتباه نمونه‌برداری، کم بودن تعداد داده‌ها، استفاده از مدل‌های آماری نادرست، عدم وجود تنوع کافی، طرح آزمایشی مورد استفاده و تلاقی‌های غیرتصادفی بروز می‌نماید (Hallauer *et al.*, 2010).

بر اساس نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها (جدول٤)، از پارامترهای وارد شده به مدل علاوه‌بر اثرات اصلی افزایشی و غالبیت ژنی، اثر متقابل افزایشی × افزایشی برای صفات عملکرد دانه، قطر بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، وزن بلال، وزن صددانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن صددانه، اثر متقابل افزایشی × غالبیت برای صفات عملکرد دانه و وزن‌تر اندام هوایی و اثر متقابل غالبیت × غالبیت برای صفات وزن بلال، شاخص برداشت و نسبت ریشه به ساقه نیز معنی‌دار شدند که نشان‌دهنده نقش مؤثر این اثرات در کنترل صفات مربوطه می‌باشند. نتایج تجزیه واریانس نسل‌ها (جدول ٥) برای تمامی صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه به‌جز طول بلال و وزن بلال (در هر دو شرایط تنش) و نیز برای تمامی صفات مورفولوژیکی به‌جز نسبت ریشه به ساقه نشان داد که واریانس غالبیت بیش‌تر از واریانس افزایشی است. هم‌چنین، وجود تفاوت زیاد بین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی بیانگر سهم بیش‌تر اثر غالبیت بود. اگرچه وراثت‌پذیری عمومی به‌خوبی وراثت-

پذیری خصوصی نمی‌تواند سهم ژنتیکی تنوع را نشان دهد، اما بالا بودن میزان آن معرف انتقال صفات از والدین به نتاج می‌باشد (Lean and *et al*., 2022). این مطلب با توجه به بیش‌تر از یک بودن درجه غالبیت نیز توجیه می‌شود؛ بنابراین، گزینش برای بهبود این صفات در نسل‌های بعد از تفکیک مطلوب خواهد بود. وانوز و همکاران (Wannows *et al*., 2015) با تجزیه ژنتیکی هیبریدهای ذرت، اهمیت اثر افزایشی و اپیستازی افزایشی × افزایشی را در کنترل توارث عملکرد دانه عنوان کردند که مغایر با نتایج ما بود. درحالی‌که لی و همکاران (Li *et al*., 2021) با برآورد اثرات ژنتیکی عملکرد دانه، وجود اثرات غالبیت ژنی و اپیستازی را در کنترل توارث این صفت مهم قلمداد کردند که با نتایج ما مطابقت دارد. نور و همکاران (Noor *et al*., 2018) با استفاده از تجزیه میانگین نسل ذرت برای صفات عملکرد و اجزای عملکرد، اهمیت اثرات ژنی غالبیت را در توارث قطر بلال و طول بلال گزارش کردند. برخلاف این نتایج، محققان با برآورد اجزای ژنتیکی و تجزیه واریانس طول بلال ذرت اظهار داشتند که واریانس افزایشی نقش مهمی در کنترل این صفت دارد که با نتایج ما هماهنگی دارد (Chohan *et al*., 2012; Hadini *et al*., 2015). در حالی‌که یی و همکاران (Yi *et al*., 2019) میزان وراثت‌پذیری عمومی را برای ردیف دانه در بلال ۰/۹۱ برآورد کرده و اهمیت اثرات غالبیت را در کنترل این صفت بیان کردند. در آزمایشی با تجزیه ژنتیکی لاین‌های اینبرد ذرت، نقش بارز اثر اصلی افزایشی و اثر متقابل افزایشی × افزایشی (Dos Reis *et al*., 2014) و در آزمایش دیگری نقش مهم اثرات متقابل غیرآللی در وراثت‌پذیری وزن بلال عنوان گردیده است (Mendes-Moreira *et al*., 2015). پاوان و همکاران (Pavan *et al*., 2017) با تجزیه ژنتیکی وزن صددانه ذرت افزون بر اثرات اصلی، معنی‌داری اثر اپیستازی افزایشی × افزایشی را نیز بیان کرده و اهمیت نقش اثرات افزایشی و وراثت‌پذیری خصوصی بالا را در کنترل این صفت مشخص کردند. نتایج ما مبنی بر اهمیت اثرات غالبیت و فوق‌غالبیت ژنی در کنترل توارث وزن صددانه با نتایج محققان متعددی که اثر ژنی را در این صفت بررسی کرده‌اند، مطابقت دارد (Araus *et al*., 2010; Khodarahmpour, 2011). موسوی و همکاران (Moosavi *et al*. 2018) با استفاده از تجزیه میانگین شش نسل ذرت و برآورد وراثت‌پذیری عمومی بالا (۸۶/۵۰ درصد) برای ارتفاع بوته، نقش مؤثر اثر غالبیت را در کنترل توارث این صفت گزارش کردند. علی و همکاران (Ali *et al*., 2013) و حق و همکاران (Haq *et al*., 2015) با تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی ذرت، وراثت‌پذیری عمومی بالا را برای وزن‌تر اندام هوایی نشان دادند. آن‌ها هم‌چنین اظهار داشتند که اثر غالبیت نسبت به اثر افزایشی سهم مؤثری در کنترل ژنتیکی این صفت دارد و گزینش بایستی در نسل‌های پیشرفته‌تر انجام گیرد. اسدی و همکاران (Asadi *et al*., 2019) با استفاده از تجزیه میانگین و واریانس نسل‌ها برای صفات زراعی در گندم تحت تنش کمبود آب، عنوان کردند که اثرات غالبیت و غالبیت × غالبیت در توارث عملکرد بیولوژیکی نقش بیشتری دارند. هم‌چنین، با توجه به این که واریانس افزایشی بیش‌تر از واریانس غالبیت بود، نقش برابر اثرات غیرافزایشی را با اثرات افزایشی در کنترل این صفت گزارش کرده و گزینش را در نسل‌های ابتدایی و انتهایی توصیه کردند. قنبری و همکاران (Ghanbari *et al*., 2018) با تجزیه میانگین شش نسل ذرت اظهار داشتند که برای شاخص برداشت علاوه‌بر اثرات اصلی، اپیستازی افزایشی × افزایشی و افزایشی × غالبیت نیز معنی‌دار هستند. آن‌ها با برآورد درجه غالبیت بزرگ‌تر از یک، اهمیت اثر فوق‌غالبیت و سهم بیش‌تر اثر غیرافزایشی را در کنترل توارث این صفت تحت تنش رطوبتی معرفی کردند. آلمیدا و همکاران (Almeida *et al*., 2018) با تجزیه میانگین نسل‌ها در ذرت گزارش کردند که برای نسبت ریشه به ساقه، اثرات متقابل افزایشی × غالبیت و غالبیت × غالبیت معنی‌دار بودند که نشان می‌دهد این دو اپیستازی در جهت افزایش صفات مربوط به ریشه و ساقه به‌طور هم‌زمان عمل می‌کنند.

جدول ۳- آزمون‌های مقیاس (± خطای استاندارد) برای عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در نسل‌های ذرت تحت آبیاری کامل و کم‌آبی

Table 3. Scaling tests (±SE) for grain yield and its contributing traits of maize generations under full and deficit irrigation.

صفات Traits	شرایط آبیاری Water treatment	A	B	C	D
عملکرد تک بوته (گرم) Grain yield per plant (g plant^{-1})	Control	-48.20 ± 6.84**	14.60 ± 6.25**	7.68 ± 12.73^{ns}	-73.94 ± 14.38**
	Mild stress	-11.33 ± 5.52*	-1.04 ± 7.33^{ns}	1.33 ± 12.89^{ns}	-53.69 ± 12.65**
	Severe stress	-9.46 ± 5.93^{ns}	4.22 ± 5.64^{ns}	18.83 ± 11.67^{ns}	-68.21 ± 11.04**
قطر بلال (سانتی‌متر) Ear diameter (cm)		-0.38 ± 0.24^{ns}	-0.34 ± 0.22^{ns}	-0.58 ± 0.48^{ns}	-0.98 ± 0.39**
طول بلال (سانتی‌متر) Ear length (cm)		-1.47 ± 1.21^{ns}	-2.007 ± 1.32^{ns}	-4.85 ± 2.77^{ns}	-3.82 ± 2.54^{ns}
تعداد ردیف دانه N. of kernel row		-1.28 ± 1.00^{ns}	-2.56 ± 0.86**	-1.14 ± 1.87^{ns}	-0.79 ± 1.72^{ns}
وزن بلال (گرم) Ear weight (g)	Control	-42.34 ± 11.03**	27.88 ± 12.79**	-19.81 ± 24.55^{ns}	-76.35 ± 26.35**
	Mild stress	-22.22 ± 11.01**	-0.11 ± 7.29^{ns}	45.87 ± 20.82**	-28.51 ± 16.66^{ns}
	Severe stress	-0.16 ± 7.28^{ns}	-18.47 ± 9.002**	37.48 ± 18.23**	-62.001 ± 15.55**
وزن صددانه (گرم) 100 grain weight (g)	Control	-7.26 ± 19.77^{ns}	-10.09 ± 2.74**	-5.47 ± 1.92**	3.06 ± 1.27**
	Mild stress	-13.82 ± 3.55**	-11.59 ± 3.01**	-7.61 ± 1.53**	-1.95 ± 1.61^{ns}
	Severe stress	-6.98 ± 2.54**	-7.91 ± 2.76**	-6.99 ± 1.15**	-0.33 ± 1.63^{ns}
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)		-6.35 ± 6.52^{ns}	8.42 ± 6.33^{ns}	-26.03 ± 12.22**	3.90 ± 11.73^{ns}
وزن‌تر اندام هوایی (گرم) Fresh shoot weight (g)	Control	-29.26 ± 8.26**	-1.48 ± 9.62^{ns}	87.57 ± 20.19**	-33.13 ± 21.40^{ns}
	Mild stress	-36.34 ± 10.16**	6.82 ± 9.41^{ns}	74.76 ± 21.90**	-4.23 ± 21.26^{ns}
	Severe stress	-27.94 ± 13.41**	-10.21 ± 12.07^{ns}	-7.73 ± 24.99^{ns}	-26.51 ± 25.86^{ns}
عملکرد بیولوژیک (گرم) Biological yield (g)	Control	-26.66 ± 10.62**	-11.86 ± 11.52^{ns}	9.60 ± 22.13^{ns}	-92.91 ± 22.59**
	Mild stress	2.67 ± 11.86^{ns}	46.38 ± 12.49**	42.99 ± 24.86^{ns}	25.29 ± 27.84^{ns}
	Severe stress	12.99 ± 8.71^{ns}	-11.81 ± 11.22^{ns}	97.27 ± 19.99**	-48.58 ± 20.79**
شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	Control	-9.32 ± 3.69**	-9.58 ± 2.62**	12.99 ± 6.03**	-14.51 ± 7.63^{ns}
	Mild stress	2.74 ± 2.48^{ns}	-4.74 ± 3.32^{ns}	7.39 ± 5.54^{ns}	-10.83 ± 7.57^{ns}
	Severe stress	-3.49 ± 3.44^{ns}	-0.13 ± 3.31^{ns}	4.94 ± 6.55^{ns}	-23.63 ± 7.20**
نسبت ریشه به ساقه Root/shoot ratio	Control	-2.06 ± 0.25**	-2.35 ± 0.53**	1.29 ± 0.95^{ns}	-9.26 ± 1.51**
	Mild stress	-2.20 ± 0.98**	-3.16 ± 0.54**	-2.20 ± 1.87^{ns}	2.12 ± 2.30^{ns}
	Severe stress	-6.65 ± 1.14**	-5.38 ± 0.67**	-8.24 ± 2.04**	-2.70 ± 2.66^{ns}

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and **: Non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

آبیاری کامل (Control)، تنش متوسط (mild stress) و تنش شدید (severe stress). .

جدول ٤- برآورد پارامترهای ژنتیکی، آزمون کفایت مدل و درجه آزادی برای عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در نسل‌های ذرت تحت آبیاری کامل و کم‌آبی از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها

Table 4. Estimates of genetic parameters (±SE), x^2 and its degree of freedom (D.F.) for grain yield and its contributing traits of maize generations under full and deficit irrigation using generation man analysis.

صفات Traits	شرایط آبیاری Water treatment	m	d	h	i	j	l	x^2	D.F.
عملکرد تک بوته (گرم) Grain yield per plant (g plant^{-1})	Control	120.33 ± 6.17**	-4.49 ± 1.75**	60.58 ± 17.98**	13.73±6.22**	-61.44 ± 8.71**	5.72 ± 13.11^{ns}	19.55**	1
	Mild stress	90.11±5.51**	-6.44±1.54**	70.98±16.87**	17.68±5.56**	-13.037±8.52^{ns}	-12.99±12.71^{ns}	5.82^{ns}	1
	Severe stress	62.017±4.77**	-8.17±1.45**	77.94±14.76**	22.13±4.83**	-13.072±7.64^{ns}	-27.87±11.22**	15.57**	1
قطر بلال (سانتی‌متر) Ear diameter (cm)	Control	3.11±0.09**	-0.22±0.06**	0.99±0.14**	0.41±0.11**	-0.01±0.31^{ns}	-	1.34^{ns}	2
طول بلال (سانتی‌متر) Ear length (cm)	Control	13.63±0.25**	-1.77±0.26**	3.85±0.52**	-	-	-	10.19^{ns}	4
تعداد ردیف دانه N. of kernel row	Control	11.52±0.45**	-0.13±0.21^{ns}	2.02±0.66**	0.64±0.31*	1.79±1.48^{ns}	-	6.19^{ns}	2
وزن بلال (گرم) Ear weight (g)	Control	118.96±11.30**	-5.19±2.72^{ns}	129.23±32.96**	30.94±11.38**	-71.42±15.59**	-22.29±24.37^{ns}	1.14^{ns}	1
	Mild stress	116.70±7.08**	-9.02±1.81**	48.18±23.09**	-5.85±7.15^{ns}	-16.06±11.96^{ns}	16.17±18.19^{ns}	8.65^{ns}	1
	Severe stress	91.27±6.56**	-15.18±1.86**	58.13±20.75**	11.15±6.64^{ns}	15.02±10.80^{ns}	-5.81±15.81^{ns}	13.11**	1
وزن صددانه (گرم) 100 grain weight (g)	Control	26.49±1.85**	-1.91±0.39**	12.68±5.12**	5.36±1.85**	8.90±2.16**	-2.18±3.53^{ns}	0.79^{ns}	1
	Mild stress	21.10±0.85**	-1.96±0.45**	9.57±1.14**	6.46±0.98**	5.88±2.10**	-	2.46^{ns}	2
	Severe stress	17.33±0.68**	-1.78±0.31*	5.87±1.05**	3.73±0.75**	7.84±1.67**	-	3.13^{ns}	2

ادامه جدول ٤

Continued from Table 4

صفات Traits	شرایط آبیاری Water treatment	m	d	h	i	j	l	x^2	D.F.
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)		138.33±2.95**	-5.31±1.58**	21.24±4.20**	4.24±3.38^{ns}	-15.02±8.55^{ns}	-	2.49^{ns}	2
وزن‌تر اندام هوایی (گرم) Fresh shoot weight (g)	Control	202.77±5.31**	-12.58±1.66**	40.43±7.12**	-10.20±5.61^{ns}	-34.48±11.71**	-	25.81**	2
	Mild stress	175.81±5.05**	-6.81±2.55**	5.93±6.20**	-13.42±5.77**	-40.69±13.40**	-	16.35**	2
	Severe stress	139.99±6.60**	-8.70±3.19**	48.006±9.48**	9.47±7.40^{ns}	-14.59±16.62^{ns}	-	3.03^{ns}	2
عملکرد بیولوژیک (گرم) Biological yield (g)	Control	219.99±9.84**	-15.16±2.36**	81.82±29.55**	21.03±9.91**	-16.45±14.39^{ns}	1.04±22.31^{ns}	10.00^{ns}	1
	Mild stress	168.07±3.26**	-7.00±3.32**	119.61±16.20**	-	-43.75±16.44**	-48.77±15.50**	0.23^{ns}	2
	Severe stress	149.12±9.02**	-21.94±2.30**	105.25±26.91**	2.04±9.09^{ns}	-4.77±13.03^{ns}	-44.80±20.17**	14.31**	1
شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	Control	63.88.±3.26**	-2.87±0.75**	-21.27±9.25**	-7.02±3.27**	3.22±4.13^{ns}	19.26±6.70**	18.94**	1
	Mild stress	52.46±0.71**	-2.24±0.73**	12.63±1.26**	-	-	-	6.86^{ns}	4
	Severe stress	46.89±1.81**	-0.17±0.87^{ns}	8.71±2.57**	4.19±2.03*	-3.32±4.43^{ns}	-	6.71^{ns}	2
نسبت ریشه به ساقه Root/shoot ratio	Control	9.15±0.59**	-0.37±0.07**	-4.35±1.50**	0.23±0.59^{ns}	-0.61±0.53^{ns}	3.07±1.00**	49.38**	1
	Mild stress	11.49±0.95**	-0.50±0.16**	-12.04±2.54**	-2.37±0.95**	1.04±1.05^{ns}	7.59±1.74**	0.18^{ns}	1
	Severe stress	11.65±1.09**	1.80±0.23**	-16.85±2.94**	-1.46±1.10^{ns}	-0.97±1.22^{ns}	13.01±2.03**	1.47^{ns}	1

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ١ درصد. m: میانگین نسل، d، h، i، j و l به ترتیب اثرات افزایشی، غالبیت، افزایشی × افزایشی، افزایشی × غالبیت و غالبیت × غالبیت. Control ، mild stress و severe stress: به ترتیب آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید.

^{ns}, *, **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively .m: mean of the generation, d, h, i, j and l: additive, dominance, additive × additive, additive × dominance and dominance × dominance effects, respectively.

جدول ۵- برآورد اجزای واریانس ژنتیکی، وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی و درجه غالبیت در هفت نسل ذرت برای عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در نسل‌های ذرت تحت آبیاری کامل و کم‌آبی

Table 5. Estimates of genetic variances components, broad-sense and narrow sense heritability and average degree of dominance for grain yield and its contributing traits of maize generations under full and deficit irrigation.

صفات Traits	شرایط آبیاری Water treatment	V_E	V_A	V_D	V_{AD}	h_b^2	h_n^2	ā
عملکرد تک بوته (گرم) Grain yield per plant (g plant^{-1})	Control	110.98	12.89	179.70	12.65	0.63	0.042	5.28
	Mild stress	99.80	35.84	208.52	-59.21	0.71	0.10	3.41
	Severe stress	85.39	53.68	103.67	5.77	0.65	0.22	1.96
قطر بلال (سانتی‌متر) Ear diameter (cm)		0.12	0.17	0.16	0.040	0.73	0.38	1.37
طول بلال (سانتی‌متر) Ear length (cm)		3.81	7.70	1.25	-1.36	0.70	0.60	0.57
تعداد ردیف دانه N. of kernel row		2.14	0.85	3.78	0.73	0.68	0.12	2.98
وزن بلال (گرم) Ear weight (g)	Control	352.82	309.77	425.63	-118.12	0.67	0.28	1.66
	Mild stress	200.30	489.69	51.79	200.028	0.73	0.66	0.46
	Severe stress	151.64	390.83	39.55	-59.78	0.74	0.67	0.45
وزن صددانه (گرم) 100 grain weight (g)	Control	5.33	0	33.72	-5.18	0.86	0	-
	Mild stress	6.72	0.17	8.90	0.99	0.57	0.011	10.18
	Severe stress	5.53	0.28	6.23	3.54	0.54	0.023	6.67
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)		97.14	98.03	145.60	-27.06	0.71	0.29	1.72
وزن‌تر اندام هوایی (گرم) Fresh shoot weight (g)	Control	122.03	163.85	125.82	62.97	0.70	0.40	1.24
	Mild stress	148.48	74.37	216.06	-15.52	0.66	0.17	2.41
	Severe stress	432.61	72.52	587.22	85.07	0.60	0.066	4.02
عملکرد بیولوژیک (گرم) Biological yield (g)	Control	302.06	104.17	539.30	-42.43	0.68	0.11	3.22
	Mild stress	348.82	343.07	532.04	-45.04	0.71	0.28	1.76
	Severe stress	253.66	85.15	411.39	-126.67	0.66	0.11	3.11
شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	Control	26.32	0	59.12	17.31	0.64	0	-
	Mild stress	23.29	0	37.11	-11.12	0.58	0	-
	Severe stress	31.02	1.52	40.79	2.11	0.58	0.021	7.32
نسبت ریشه به ساقه Root/shoot ratio	Control	0.33	1.13	0.32	-0.55	0.81	0.63	0.75
	Mild stress	1.02	2.91	0.12	-1.64	0.75	0.72	0.28
	Severe stress	2.01	4.44	0.89	2.11	0.73	0.60	0.63

V_E، V_A، V_D، V_{AD}، h_b^2، h_n^2 و ā: به‌ترتیب واریانس محیطی، واریانس افزایشی، واریانس غالبیت، کوواریانس افزایشی × غالبیت، وراثت‌پذیری عمومی، وراثت‌پذیری خصوصی و درجه غالبیت. Control، mild stress و severe stress: به‌ترتیب آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید.

V_E, V_A, V_D and V_{AD}: environment, additive, dominance and additive × dominance co-variance respectively; h_b^2 and h_n^2: broad sense heritability and narrow sense heritability; ā: average degree of dominance.

در مطالعه‌ای با ارزیابی اجزای واریانس ژنتیکی و وراثت‌پذیری نسبت ریشه به ساقه در گندم تحت تنش خشکی، عنوان کردند که وراثت‌پذیری عمومی این صفت در شرایط تنش خشکی از ۴۷ به ۲۸ درصد کاهش نشان داد. این مطلب بیانگر این است که در شرایط تنش خشکی گزینش برای این صفت باید به نسل‌های پیشرفته‌تر موکول شود (Mathew *et al.*, 2018). در تحقیقی دیگر با تجزیه ژنتیکی نسبت ریشه به ساقه در شش نسل برنج تحت تنش کم‌آبی، نقش مهم اثر متقابل افزایشی × افزایشی در کنترل توارث این صفت در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش کم‌آبی گزارش شده است (Hassan *et al.*, 2023).

به‌طور کلی نتایج این آزمایش مشخص کرد که با ارزیابی صفات مورد مطالعه، هیبرید SC704 و اینبرد MO17 تحمل بالایی به تنش کم‌آبی نشان داده و از پایداری عملکرد دانه برخوردار بودند. با توجه به این‌که نحوه کنترل ژنتیکی صفات مورد مطالعه متفاوت بود، برای هر صفت گزینش و برنامه اصلاحی خاص آن صفت باید در نظر گرفته شود. در کنترل اکثر صفات مورد مطالعه، سهم بالای اثرات ژنی غیرافزایشی (اثرهای غالبیت و اپیستازی) نسبت به اثر افزایشی برآورد گردید؛ بنابراین، برای اصلاح و بهبود این صفات بایستی از گزینش در نسل‌های در حال تفکیک پیشرفته (بعد از رسیدن به خلوص نسبی) استفاده کرد. به‌عبارت دیگر، گزینش در نسل‌های اولیه مشکل بوده و تلاقی دو والد به‌همراه گزینش دوره‌ای جهت تجمع ژن‌های مطلوب یا تلاقی دی‌آلل جهت یافتن والدین برتر در نسل‌های بعدی قابل توصیه است. علاوه‌بر این، جهت دستیابی به اهداف اصلاحی مورد نظر برای صفات مورد مطالعه، می‌توان از پدیده هتروزیس استفاده نمود و والدین اینبرد را جهت تولید هیبریدهای برتر تلاقی داد. هم‌چنین، مشخص شد که در برخی از صفات از جمله عملکرد بوته، وزن‌تر اندام هوایی، عملکرد بیولوژیک و نسبت ریشه به ساقه در محیط با تنش کم‌آبی سهم اثرات غیرافزایشی ژن‌ها بیش‌تر است. افزایش اثرات ژنی غیرافزایشی به‌ویژه اثر اصلی غالبیت و اثر متقابل غالبیت × غالبیت به‌دلیل اثرات محیطی و اثر متقابل نسل × شرایط آبیاری می‌باشد. تغییر نحوه عمل ژن و میزان وراثت‌پذیری برخی از صفات در سطوح مختلف آبیاری، اثر متقابل ژن(ها) در پاسخ به تنش کم‌آبی و پیچیدگی سازوکار ژنتیکی ذرت در مواجهه با تنش کمبود آب را نشان داد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاران گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی و همچنین ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز که نهایت همکاری را در فراهم آوردن امکانات لازم در اجرای این تحقیق به‌عمل آوردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Ali, Q., Ahsan, M., Mustafa, H.S.B. and Hasan, E. (2013). Studies of genetic variability and correlation among morphological traits of maize (*Zea mays* L.) at seedling stage. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, **12(3):** 405-410.

Almeida, V.C., Viana, J.M.S., Risso, L.A., Ribeiro, C. and DeLima, R.O. (2018). Generation mean analysis for nitrogen and phosphorus uptake, utilization, and translocation indexes at vegetative stage in tropical popcorn. *Euphytica*, **214(7):** 103.

Amegbor, I.K., van Biljon, A., Shargie, N., Tarekegne, A. and Labuschagne, M.T. (2022). Heritability and associations among grain yield and quality traits in quality protein maize (QPM) and non-QPM hybrids. *Plants*, **11(6):** 713.

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).

Araus, J.L., Sánchez, C. and Cabrera-Bosquet, L. (2010). Is heterosis in maize mediated through better water use? *New Phytologist*, **187(2):** 392-406.

Asadi, A.A., Valizadeh, M., Mohammadi, S.A. and Khodarahmi, M. (2019). Genetic analysis of response to water deficit stress in wheat yield traits with generation means and variance analysis. *Journal of Crop Breeding*, **11(32):** 88-99 (In Persian).

Barutcular, C., Sabagh, A.E., Konuskan, O., Saneoka, H. and Yoldash, K.M. (2016). Evaluation of maize hybrids to terminal drought stress tolerance by defining drought indices. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, **4(6):** 610-616.

Chohan, M.S.M., Muhammad, S., Muhammad, A. and Muhammad, A. (2012). Genetic analysis of water stress tolerance and various morpho-physiological traits in *Zea mays* L. using graphical approach. *Pakistan Journal of Nutrition*, **11(5):** 489-500.

Crusio, W.E. (2006). *Neurobehavioral Genetics: An Introduction to Quantitative Genetics*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Dos Reis, M.C., Pádua, J.M.V., Abreu, G.B., Guedes, F.L., Balbi, R.V. and de Souza, J.C. (2014). Estimates for genetic variance components in reciprocal recurrent selection in populations derived from maize single-cross hybrids. *The Scientific World Journal*, **2014:** 1-7.

Edwards, C.E., Ewers, B.E. and Weinig, C. (2016). Genotypic variation in biomass allocation in response to field drought has a greater affect on yield than gas exchange or phenology. *BMC Plant Biology*, **16(1):** 185.

Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K. and Prasanna, B.M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*, **14(5):** 1295-1319.

FAOSTAT. (2021). Food and Agricultural Organization Statistical Database. Rome, Italy: FAO. http://faostat.fao.org.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, **29(1):** 185-212.

Ghanbari, F., Mousavi, S.S., Abdollahi, M.R., Kiani, A.R. and Mosavat, S.A. (2018). Estimation of gene action for grain yield and yield-related traits in grain maize (*Zea mays* L.) under moisture stress conditions. *Seed and Plant Journal*, **34 (1):** 37-62 (In Persian).

Greaves, G.E. and Wang, Y.M. (2017). Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Plant Production Science*, **20(4):** 353-365.

Hadini, H., Nasrullah, N., Taryono, T. and Basunanda, P. (2015). Estimates Of Genetic Variance Component Of An Equilibrium Population Of Corn. AGRIVITA, *Journal of Agricultural Science*, **37(1):** 45-50.

Hallauer, A.R., Carena, M.J., Miranda Filho, J.d. (2010). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Springer-Verlag New York, USA.

Haq, A., Tahir, M.H.N., Ahsan, M., Ahmad, R. and Akram, H.M. (2015). Screening and inheritance pattern studies of maize seedlings under normal and water stress conditions. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, **13:** 97-103.

Hassan, H.M., Hadifa, A.A., El-Leithy, S.A., Batool, M., Sherif, A., Al-Ashkar, I., Ueda, A., Rahman, M.A., Hossain, M.A. and Elsabagh, A. (2023). Variable level of genetic dominance controls important agronomic traits in Rice populations under water deficit condition. *PeerJ*, **11:** e14833.

Hayman, B. and Mather, K. (1955). The description of genic interactions in continuous variation. *Biometrics*, **11(1):** 69-82.

Hütsch, B.W. and Schubert, S. (2021). Can nutrient-utilization efficiency be improved by reduced fertilizer supply to maize plants treated with the plant growth regulator paclobutrazol?. *Journal of Agronomy and Crop Science*, **207(5):** 884-900.

Jin, Z., Xue, Q.W., Jessup, K.E., Hou, X.B., Hao, B.Z., Marek, T.H., Xu, W.W., Evett, S.R., O'Shaughnessy, S.A. and Brauer, D.K. (2018). Shoot and root traits in drought tolerant maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of Integrative Agriculture*, **17(5):** 1093-1105.

Kang, M. (1994). *Applied Quantitative Genetics*. Kang. MS Publisher, Baton Rouge, LA, USA.

Khan, N.H., Ahsan, M., Naveed, M., Sadaqat, H.A. and Javed, I. (2016). Genetics of drought tolerance at seedling and maturity stages in *Zea mays* L. *Spanish Journal of Agricultural Research*, **14(3):** 13.

Khavari Khorasani, S. and Mahdi Poor, A. (2018). Genetic improvement of grain yield by determination of selection index in single cross hybrids of maize (*Zea mays* L.). *Plant Genetic Researches*, **5(1):** 1-18 (In Persian).

Khodarahmpour, Z. (2011). Genetic control of different traits in maize inbred lines (*Zea mays* L.) using graphical analysis. *African Journal of Agricultural Research*, **6(7):** 1661-1666.

Lean, C.H., Doolittle, W.F. and Bielawski, J.P. (2022). Community-level evolutionary processes: Linking community genetics with replicator-interactor theory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **119(46):** e2202538119.

Li, D., Zhou, Z., Lu, X., Jiang, Y., Li, G., Li, J., Wang, H., Chen, S., Li, X., Würschum, T. and Reif, J.C. (2021). Genetic dissection of hybrid performance and heterosis for yield-related traits in maize. *Frontiers in Plant Science*, **12:** 774478.

Mather, K. (1973). *The Genetical Structure of Populations*. Chapman and Hall Press, London, UK.

Mather, K. and Jinks, J.L. (1982). *Biometrical Genetics: The Study of Continuous Variation*. Springer, Chapman and Hall, London, UK.

Mathew, I., Shimelis, H., Mwadzingeni, L., Zengeni, R., Mutema, M. and Chaplot, V. (2018). Variance components and heritability of traits related to root: shoot biomass allocation and drought tolerance in wheat. *Euphytica*, **214(12):** 1-12.

Mendes-Moreira, P., Alves, M.L., Satovic, Z., dos Santos, J.P., Santos, J.N., Souza, J.C., Pego, S.E., Hallauer, A.R. and Patto, M.C.V. (2015). Genetic architecture of ear fasciation in maize (*Zea mays*) under QTL scrutiny. *PloS One*, **10(4):** e0124543.

Moosavi, S.G. (2012). The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer levels on morphology traits, yield and leaf area index in maize. *Pakistan Journal of Botany*, **44:** 1351–1355.

Moosavi, S.S., Ghanbari, F., Abdollahi, M.R. and Kiani, A.R. (2018). Genetic analysis of yield, yield-components and related phenological traits of maize (*Zea mays* L.) to breed under moisture stress conditions. *Desert*, **23(2):** 273-283.

Mounce, R.B., O'Shaughnessy, S.A., Blaser, B.C., Colaizzi, P.D. and Evett, S.R. (2016). Crop response of drought-tolerant and conventional maize hybrids in a semiarid environment. *Irrigation Science*, **34(3):** 231-244.

Muliadi, A., Effendi, R. and Azrai, M. (2021). Genetic variability, heritability and yield components of waterlogging-tolerant hybrid maize. *Earth and Environmental Science*, **648(1):** 012084).

Musvosvi, C., Setimela, P.S., Wali, M.C., Gasura, E., Channappagoudar, B.B. and Patil, S.S. (2018). Contribution of Secondary traits for high grain yield and stability of tropical maize germplasm across drought stress and non-stress conditions. *Agronomy Journal*, **110(3):** 819-832.

Nasrollahzade Asl, V., Moharramnejad, S., Yusefi, M., Bandehhagh, A. and Ibrahimi, L. (2017). Evaluation of grain yield of maize (*Zea mays* L.) hybrides under water limitation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, **27(2):** 85-96 (In Persian).

Noor, M., Fahad, S., Shahwar, D., Alam, M., Ullah, H., Adnan, M., Jamal, Y., Wahid, F., Rahman, H. and Yasir, M. (2018). Generation mean analysis for grain yield and its components in popcorn. *Open Agriculture*, **3(1):** 437-458.

Oury, V., Tardieu, F. and Turc, O. (2016). Ovary apical abortion under water deficit is caused by changes in sequential development of ovaries and in silk growth rate in maize. *Plant Physiology*, **171(2):** 986-996.

Paredes, P., de Melo-Abreu, J., Alves, I. and Pereira, L. (2014). Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. *Agricultural Water Management*, **144:** 81-97.

Pavan, R., Gangappa, E., Ramesh, S., Rao, A.M. and Shailaja, H. (2017). Detection of epistasis through triple test cross (TTC) analysis in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Applied and Natural Science*, **9(4):** 2496-2501.

Sah, R., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V., Chakravarty, M., Narayan, S., Rana, M. and Moharana, D. (2020). Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*, **10(1):** 1-15.

Sah, S.K., Reddy, K.R., Li, J. (2016). Abscisic acid and abiotic stress tolerance in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, **7:** 571.

Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A. and Zhao, C.X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, **331(3):** 215-225.

Su, Y., Wu, F., Ao, Z., Jin, S., Qin, F., Liu, B., Pang, S., Liu, L. and Guo, Q. (2019). Evaluating maize phenotype dynamics under drought stress using terrestrial lidar. *Plant Methods*, 1**5(1):** 11.

Tabatabaei, S.A. and Shakeri, E. (2015) Short communication: effect of drought stress on maize hybrids yield and determination of the best hybrid using drought tolerance indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, **8(1):** 121-125 (In Persian).

Ul-Allah, S., Ijaz, M., Nawaz, A., Sattar, A., Sher, A., Naeem, M., Shahzad, U., Farooq, U., Nawaz, F. and Mahmood, K. (2020). Potassium application improves grain yield and alleviates drought susceptibility in diverse maize hybrids. *Plants*, **9(1):** 75.

Wang, B., Liu, C., Zhang, D., He, C., Zhang, J. and Li, Z. (2019). Effects of maize organ-specific drought stress response on yields from transcriptome analysis. *BMC Pant Biology*, **19(1):** 335.

Wannows, A., Sabbouh, M. and Al-Ahmad, S. (2015). Generation mean analysis technique for determining genetic parameters for some quantitative traits in two maize hybrids (*Zea mays* L.). *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, **11:** 59-72.

Yan, W., Zhong, Y. and Shangguan, Z. (2016). Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, **66(2):** 133-140.

Yi, Q., Liu, Y., Hou, X., Zhang, X., Li, H., Zhang, J., Liu, H., Hu, Y., Yu, G. and Li, Y. (2019). Genetic dissection of yield-related traits and mid-parent heterosis for those traits in maize (*Zea mays* L.). *BMC Plant Biology*, **19(1):** 392.

Zubairi, Z., Saeed, Z., Nazir, A., Saddique, S., Chaudhary, F. and Saeed, S. (2012). Water Logging a serious problem for the growth of maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Water Resources and Environmental Sciences*, **1(4):** 109-112.