

## Genetic Assessment of Pheno-Physiological and Yield Traits of Maize under Optimal Irrigation and Water Deficiency Conditions

Mozhgan Shirinpour<sup>1</sup>, Saeid Aharizad<sup>2\*</sup>, Ehsan Atazadeh<sup>3</sup>, Ashkboos Amini<sup>4</sup>, Ali Asghari<sup>5</sup>, Ahmad Bybordi<sup>6</sup>, Hassan Monirifar<sup>7</sup>

Received: 07 February 2023 Accepted: 22 September 2023

1- Horticulture and Crops Research Dept., East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.

2- Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Assoc. Prof., Dept. of Plant, Cell and Molecular Biology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

4- Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Iran.

5- Prof., Dept. of Production Engineering and Plant Genetics, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

6- Assoc. Prof., Soil and Water Research Dept, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.

7- Assoc. Prof., Horticulture and Crops Research Dept, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.

\*Corresponding author. Email: s.aharizad@tabrizu.ac.ir

### Abstract

**Background and Objective:** In order to the know the genetic parameters and heritability of yield-related traits for indirect selection of yield and production of superior maize hybrids, grain yield, physiological and phenological traits in seven generations of maize using the generations mean analysis method under controlled conditions and, moderate and severe water deficit stress were studied.

**Materials and Methods:** Evaluation of the generations driven from a cross between two inbred lines of maize including B73 and MO17, SC704 (as F<sub>1</sub> generation), F<sub>2</sub>, BC<sub>1</sub>, BC<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> using a randomized complete block design with 20 replications was conducted during two crop years of 2018-2019 at the Agricultural Research Station of University of Tabriz.

**Results:** The results of combined analysis of variance and mean comparisons of data under three different irrigation regimes showed that water deficit stress significantly reduced grain yield and physiological traits, and a significant increase in phenological traits. Generation mean analysis showed a high contribution of non-additive gene effects in the genetic control of the studied traits. This indicated that the necessity of selection in advanced segregating generations and the production of hybrid varieties in maize to take advantage of the dominance variance. Also, the significant contribution of additive gene effects in controlling the inheritance of the number of days to silk emergence indicated that selection in early segregating generations and inbred parents can be effective for breeding of this trait and taking advantage of additive variance.

**Conclusion:** Based on the studied traits, inbred line MO17 and hybrid SC704 compared to other studied lines showed high tolerance to water deficit stress (from 5-6 leaf stage to silk emergence) and had the grain yield stability.

**Keywords:** Gene Action, Generations Mean Analysis, Heritability, Maize Generations, Water Deficit Stress

## ارزیابی ژنتیکی صفات فنو-فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت در شرایط آبیاری مطلوب و کم آبی

مژگان شیرین پور<sup>۱</sup>، سعید اهری زاده<sup>۲\*</sup>، احسان عطازاده<sup>۳</sup>، اشکبوس امینی<sup>۴</sup>، علی اصغری<sup>۵</sup>،

احمد بایبوردی<sup>۶</sup>، حسن منیری فر<sup>۷</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱

- ۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
  - ۲- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
  - ۳- دانشیار، گروه زیست‌شناسی گیاهی، سلولی و مولکولی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
  - ۴- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
  - ۵- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
  - ۶- دانشیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
  - ۷- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
- مسئول مکاتبه: Email: s.aharizad@tabrizu.ac.ir

### چکیده

**اهداف:** به منظور آگاهی از پارامترهای ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات مرتبط با عملکرد، جهت‌گزینش غیر مستقیم برای عملکرد و تولید هیبریدهای برتر ذرت، صفات مختلف عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی در هفت نسل ذرت با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها تحت شرایط کنترل شده و تنش متوسط و شدید کم‌آبی مورد مطالعه قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** ارزیابی نسل‌های حاصل از تلاقی دو لاین اینبرد ذرت شامل B73 و MO17، سینگل کراس ۷۰۴ (به عنوان نسل F<sub>1</sub>) و نیز نسل‌های F<sub>2</sub>، BC<sub>1</sub>، BC<sub>2</sub> و F<sub>3</sub> در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ تکرار طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس مرکب و مقایسات میانگین داده‌ها تحت سه رژیم آبیاری مختلف نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار صفات عملکرد دانه و فیزیولوژیکی و افزایش معنی‌دار صفات فنولوژیکی گردید. تجزیه میانگین نسل‌ها سهم بالای اثرات ژنی غیر افزایشی را در کنترل ژنتیکی صفات مورد مطالعه نشان داد. این امر لزوم‌گزینش در نسل‌های در حال تفکیک پیشرفته و تولید ارقام هیبرید در ذرت را در جهت بهره‌برداری از واریانس غالبیت، نشان می‌دهد. همچنین، سهم بارز اثرات ژنی افزایشی در کنترل توارث تعداد روز تا کاکل‌دهی بیانگر این است که برای اصلاح این صفت و بهره‌گیری از واریانس افزایشی، گزینش در نسل‌های در حال تفرق اولیه و والدین اینبرد می‌تواند موثر باشد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس مجموعه صفات مورد بررسی لاین اینبرد MO17 و هیبرید SC704 در مقایسه با سایر لاین‌های مورد مطالعه، تحمل بالایی به تنش کم‌آبی (از مرحله ۵ الی ۶ برگی تا مرحله کاکل‌دهی) نشان داده و از پایداری عملکرد دانه برخوردار بودند.

**واژه‌های کلیدی:** تجزیه میانگین نسل‌ها، تنش کم‌آبی، عمل ژن، نسل‌های ذرت، وراثت‌پذیری

## مقدمه

افزایش عملکرد گیاهان زراعی یکی از نیازهای ضروری جامعه است. ایران از جمله مناطق مستعد تولید ذرت به شمار می‌آید. زیرا، از تنوع آب و هوایی مناسبی برخوردار است. ذرت به عنوان یکی از گیاهان زراعی مهم و استراتژیک در ایران به شمار می‌رود. سطح زیر کشت آن ۵۰۲ هزار هکتار و تولید آن معادل ۰/۳۲ میلیون تن می‌باشد که تولید ۶/۷ درصد از کل غلات را به خود اختصاص می‌دهد (فائو ۲۰۲۱). تنش کم آبی یکی از عامل‌های مهم محیطی در کاهش رشد، توسعه و تولید گیاهان است. مطالعه تحمل به تنش کم-آبی در ذرت یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های به‌نژاد گران ذرت محسوب می‌شود. زیرا، این گیاه به تنش‌های غیر زیستی حساسیت بالایی نشان می‌دهد (نوکیو و همکاران ۲۰۱۵). آثار سوء ناشی از تنش کم‌آبی بر رشد و نمو و عملکرد ذرت به زمان وقوع تنش، شدت تنش، مرحله نموی و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد (دی پائولو و رینالدی ۲۰۰۸). با توجه به این‌که هر مرحله از رشد توسعه گیاه فرآیندهای فیزیولوژیکی متفاوتی را در بر می‌گیرد، اثر تنش روی عملکرد ذرت متفاوت خواهد بود. در سطح کل گیاه نیز پاسخ‌های ذرت تحت تنش کم‌آبی شامل کاهش توسعه برگ، ابریشم، ریشه و توسعه دانه، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و تعرق، کاهش انتقال فرآورده‌ها به اندام‌های در حال رشد، تأخیر در رشد ابریشم و نازایی بیشتر گل‌های ماده است (اسلم و همکاران ۲۰۱۵). ایران با متوسط بارندگی ۲۲۸ میلی‌متر در سال در میان ۱۸۶ کشور از نظر میزان بارش در سال، جایگاه ۱۶۴ را دارد و به عنوان یکی از مناطق خشک به شمار می‌رود (فائو ۲۰۱۸). تنش رطوبتی یک عامل محدود کننده در نواحی خشک و نیمه‌خشک به دلیل بارش کم است (تزارا و همکاران ۱۹۹۹). تنش کم-آبی به مفهوم افزایش پتانسیل عملکرد، در تثبیت عملکرد گیاهان زراعی مورد توجه بوده و از طریق اصلاح برای اجزاء عملکرد امکان‌پذیر است (کامپوس و همکاران ۲۰۰۴). کمبود آب باعث تأخیر در ظهور رشته‌های ابریشمی (کاکل‌دهی) و در نتیجه افزایش فاصله زمانی

گرده‌افشانی تا ظهور رشته‌های ابریشمی می‌شود که از مهم‌ترین دلایل پوکی بلال و کاهش عملکرد تا حدود ۴۰-۵۰٪ است (نیلسن ۲۰۱۶). با توجه به این‌که صفت عملکرد دانه صفت کمی (پلی‌ژنیک) پیچیده‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل شده، تحت تأثیر شدید اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بوده و نیز صرف هزینه و زمان زیادی جهت آزمون‌های ارزیابی لازم است. لذا، گزینش ارقام بر اساس اندازه‌گیری مستقیم عملکرد دانه مشکل بوده و از سودمندی کمتری برخوردار است. بنابراین، مطالعه و گزینش صفات مختلف که به‌طور مستقیم و غیر مستقیم با عملکرد دانه در ارتباط هستند، تحت شرایط تنش بسیار سودمند بوده و توصیه شده است (ریبو و همکاران ۲۰۰۹). محتوای نسبی آب برگ شاخص کلیدی برای درجه پسابیدگی سلول و بافت گیاه بوده و به عنوان معیار گزینش ارقام برای تحمل به تنش کم‌آبی پیشنهاد شده است (چن و همکاران ۲۰۱۰). مطالعات متعددی نشان داده است که تحت تنش کمبود آب محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته و در نتیجه، ارقام متحمل به تنش، محتوای آب نسبی برگ بالاتری در مقایسه با ارقام حساس خواهند داشت (آنجورین و همکاران ۲۰۱۶، ون گیوی و همکاران ۲۰۱۷). اندازه‌گیری میزان کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر تحت عنوان پارامتر شاخص سبزیگی یا SPAD نامیده می‌شود که یک روش سریع و غیر تخریبی بدون نیاز به نمونه‌برداری از بافت گیاه می‌باشد (هاوکینز و همکاران ۲۰۰۹). استفاده از شاخص SPAD هم‌چنین به منظور حذف اثرهای محیط، ژنوتیپ، مراحل رشدی گیاه، ضخامت برگ، سطح برگ و نقطه اندازه‌گیری روی برگ توصیه شده است (یوان و همکاران ۲۰۱۶). این شاخص در گیاهان زراعی مختلف برای اندازه‌گیری درجه یا میزان سبزیگی برگ و نیز شناسایی گونه‌های گیاهی متحمل به تنش کم‌آبی به کار می‌رود (نمسکری و همکاران ۲۰۱۷). شاخص کلروفیل بالا در ارقام متحمل به تنش کم‌آبی باعث حفظ پتانسیل آب سلولی شده و سطح مناسبی از فتوسنتز و مواد مغذی را برای گیاه فراهم می‌کند (ون گیوی و همکاران ۲۰۱۷).

### مواد و روش‌ها

بذور دو لاین اینبرد ذرت شامل B73 (منشاء: رید یللو دنت؛ منبع: آیووا، ایالات متحده آمریکا؛ لاین مادری دارای نر عقیمی سیتوپلاسمی، پابلند و دیررس) و MO17 (منشاء: لنکستر؛ منبع: میسوری، ایالات متحده آمریکا؛ لاین پدری، پاکوتاه و زودرس)، سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان 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 از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (ایستگاه طرق) تهیه گردیدند. ارزیابی این لاین-ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام گرفت. آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، واقع در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز در منطقه کرکج اجرا شد. این محل با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح آب‌های آزاد قرار گرفته است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، نیمه خشک سرد کوهستانی است. میانگین دمای هوا در طول فصل رشد (بر حسب درجه سلسیوس)، رطوبت متوسط هوا (بر حسب درصد) و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (بر حسب متر بر ثانیه) به ترتیب ۳۷/۵، ۲۸/۷ و ۵/۹۳ بود. بذور داخل لوله‌های پلیکا (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. تنش‌ها 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) اعمال شد. اعمال تنش بعد از مرحله ۵ الی ۶ برگی گیاه شروع شد و تا مرحله کاکل‌دهی ادامه یافت. نیاز آبی گیاه با اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق توسط تشتک تبخیر کلاس A تعیین شد. با اندازه‌گیری روزانه رطوبت نسبی، سرعت باد و موقعیت تشتک، ضریب تشتک محاسبه و با اعمال آن تبخیر و تعرق

آگاهی از نحوه عمل ژن، وراثت‌پذیری، تعداد ژن‌های کنترل‌کننده و اثرهای متقابل آن‌ها به منظور افزایش عملکرد و اصلاح صفاتی که عملکرد را بهبود می‌بخشند، امری ضروری است (اسلپر و پوهلمن ۲۰۰۶). تجزیه میانگین نسل‌ها یکی از بهترین روش‌هایی است که برای تعیین پارامترهای ژنتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش یک روش بیومتریکی است که به‌طور اختصاصی عمل کرده و اهمیت نسبی اثرهای ژنتیکی، به ویژه اثر اپیستازی را با استفاده از میانگین نسل‌های متفاوت حاصل از یک تلاقی مشخص می‌سازد (فرشادفر ۱۹۹۸). ولف و همکاران (۲۰۰۰) با مطالعه جمعیت  $F_2$  حاصل از تلاقی لاین‌های اینبرد ذرت MO17 و B73 اظهار داشتند که واریانس غالبیت در کنترل عملکرد دانه و واریانس افزایشی در کنترل ژنتیکی صفات مرتبط با عملکرد سهم بالایی داشتند. همچنین، سهم ناچیز اثرات اپیستازی را در کنترل صفات مورد مطالعه نشان دادند. در حالی‌که، شاهرخی و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ی اجزای ژنتیکی واریته‌های ذرت با استفاده از شش نسل پایه، مشاهده کردند که اپیستازی نقش قابل توجهی را در کنترل صفات ایفا می‌کند. الم و همکاران (۲۰۰۸) برتری واریانس ژنتیکی افزایشی را برای صفات اجزای عملکرد دانه و نیز برتری اثر ژنی غالبیت را برای صفات تعداد روز تا کاکل‌دهی و رسیدگی گزارش کردند. با بررسی اثرات ژنی و وراثت‌پذیری عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری و تنش کم‌آبی، وجود اثرات فوق غالبیت ژنی در کنترل توارث این صفت تحت هر دو شرایط آزمایشی نرمال و تنش مهم قلمداد شده است (لیما و همکاران ۲۰۱۹). اثر ژنی فوق غالبیت باعث بهبود تحمل ذرت در شرایط تنش به ویژه تنش خشکی می‌شود (آدبایو و همکاران ۲۰۱۷).

هدف از این تحقیق، برآورد پارامترهای ژنتیکی و وراثت‌پذیری عملکرد دانه و برخی صفات زراعی مرتبط در نسل‌های حاصل از تلاقی دو لاین اینبرد B73 (لاین مادری) و MO17 (لاین پدری) در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها می‌باشد.

بودن واریانس نسل‌های مختلف از روش حداقل مربعات وزنی روی داده‌های حاصل از هفت نسل پایه استفاده شد. در این مدل اجزای تشکیل دهنده میانگین کل هر صفت برای برآورد اثرات ژنی به شش جزء تفکیک می‌شود:

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

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  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\alpha^2$ ،  $2\alpha\beta$  و  $\beta^2$ : ضرایب هر یک از پارامترهای مدل می‌باشند. کفایت مدل افزایشی - غالبیت از طریق آزمون مقیاس مشترک و نیز با استفاده از آزمون مشترک وزنی کای اسکور ( $\chi^2$ ) مورد بررسی قرار گرفت. در صورت عدم کفایت 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 همین و متر (۱۹۵۵) برای بررسی کفایت مدل افزایشی - غالبیت انجام شد. برای برآورد وراثت‌پذیری عمومی، خصوصی و درجه غالبیت به ترتیب از روابط زیر استفاده شد:

$$h_{bs}^2 = (V_A + V_D) / (V_A + V_D + V_E) \quad h_{ns}^2 = (V_A) / (V_A + V_D + V_E) \quad \bar{a} = \sqrt{\frac{2V_D}{V_A}}$$

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

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مورد استفاده برای پر کردن لوله‌های کشت

بافت خاک	pH خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)	جرم مخصوص حقیقی خاک (g.cm <sup>-3</sup> )	جرم مخصوص ظاهری خاک (g.cm <sup>-3</sup> )	رطوبت جرمی ظرفیت خاک (%)	رطوبت نقطه پژمردگی (%)
شنی لومی	۷/۸	۸۳/۶۷	۱۰/۹۷	۵/۳۶	۰/۵۸	۱/۰۱	۲/۰۲	۱/۴۱	۲۸/۲۰	۱۳/۸۰

## 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 (جدول ۲)، تمام صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی (به جز صفت تعداد روز تا ظهور دانه گرده) از نظر اثر سال، شرایط آبیاری و نسل (هفت نسل ذرت) در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی دار داشتند. میانگین‌های برآورد شده برای صفات عملکرد دانه در بوته، محتوای نسبی آب برگ و شاخص سبزیگی نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی دار این صفات در هر دو شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به شرایط آبیاری کامل شده است (جدول ۲). تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی بر گسترش برگ و توسعه ساقه تأثیر گذاشته و تجمع مواد در این اندام‌ها را به شدت کاهش می‌دهد. همچنین، با کاهش دوره سبزمانی برگ در مراحل زایشی و پایانی رشد، باعث کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی به قسمت‌های زایشی گیاه شده و در نتیجه کاهش پر شدن دانه و عملکرد دانه می‌شود (نیلسن ۲۰۱۶). در آزمایش حاضر، کاهش عملکرد دانه به دلیل کاهش اجزای عملکرد تحت هر دو تنش کمبود آب نسبت به شرایط کنترل به میزان ۳۷/۸۲ درصد بود. محققان دیگر با ارزیابی اثرات تنش کمبود آب در ذرت، کاهش ۴۰ درصدی (داریانتو و همکاران ۲۰۱۶)، ۳۲-۱۳ درصدی (وانگ و همکاران ۲۰۱۹) و ۵۲ درصدی (ساح و همکاران ۲۰۲۰) عملکرد دانه ذرت را در شرایط تنش کمبود آب نسبت به شرایط آبیاری کامل گزارش کردند. تحت تنش کم‌آبی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زیادی در گیاهان اتفاق می‌افتد. بدین منظور، مطالعات گسترده‌ای برای تعیین صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف به عنوان معیار گزینش ارقام متحمل به خشکی و همچنین افزایش عملکرد در شرایط کمبود آب انجام گرفته است (دوتا و همکاران ۲۰۱۸). تحت تنش کمبود آب، کاهش در محتوای نسبی آب برگ به علت فقدان فشار تورژسانس سلولی در برگ اتفاق افتاده و منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت

فتوسنتزی می‌شود. در واقع کاهش میزان این صفت، پاسخ معمول گیاهان به تنش محسوب می‌شود (ژانگ و همکاران ۲۰۱۸). مطابق با نتایج ما، گزارش‌هایی مبنی بر کاهش شاخص سبزیگی بر اثر تنش کم‌آبی در ذرت وجود دارد (نمسکری و همکاران ۲۰۱۷، سونگ و همکاران ۲۰۱۸). کلروفیل برگ از مهم‌ترین شاخص‌های نشان دهنده فشار محیطی وارد بر گیاه از جمله تنش کم‌آبی می‌باشد. غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود. زیرا، غلظت کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد (پساراکلی ۲۰۱۹).

مقایسه میانگین شرایط آبیاری برای تمام صفات فنولوژیکی نشان داد که تنش کمبود آب منجر به افزایش این صفات در شرایط تنش نسبت به شرایط کنترل شد (جدول ۲). میزان توسعه و نمو گیاه در هر یک از مراحل فنولوژیک (فنوفازها)، میزان نمو را مشخص ساخته و بررسی نمو گیاه زراعی در ارتباط با شرایط محیطی فنولوژی نامیده می‌شود. ظهور تاسل (گل تاجی)، دانه گرده، کاکل (ابریشم) و رسیدگی فیزیولوژیک دانه از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک نمو ذرت محسوب می‌شوند. به طوری که، عملکرد دانه ذرت به میزان قابل توجهی تحت تاثیر فنولوژی هیبریدهای ذرت قرار می‌گیرد (کانر و همکاران ۲۰۱۱). شریف و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که هیبریدهای ذرت دارای فنوتیپ‌های متفاوت بوده و هیبریدهایی که از نظر فنوتیپی طول دوره زایشی طولانی‌تری داشته باشند، از عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی بیشتری نیز برخوردار خواهند بود. تنش کم‌آبی باعث تاخیر در ظهور کاکل (رشته‌های ابریشمی) و در نتیجه افزایش فاصله زمانی گرده‌افشانی تا ظهور کاکل می‌شود که از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد محسوب می‌شود (نیلسن ۲۰۱۶). تنش کم‌آبی در مرحله کاکل‌دهی موجب تاخیر در ظهور گل‌آذین ماده ذرت بین ۸-۱ روز می‌شود که این اتفاق می‌تواند به علت عدم دسترسی گیاه به آب کافی جهت رشد سلول‌های ابریشم بلال باشد (بولانوس و ادمیدز ۱۹۹۶). مازو و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر بارز

مطلب است که اینبرد MO17 از نظر تکمیل مراحل رشدی و رسیدگی کامل، تحمل بیشتری نسبت به تنش کمبود آب نشان می‌دهد.

### تجزیه‌های ژنتیکی

با توجه به نتایج آزمون‌های مقیاس، معنی‌دار شدن حداقل یک آزمون انفرادی کفایت مدل افزایشی - غالبیت در هر سه شرایط آزمایشی بیانگر وجود اثرات متقابل غیرآلی در توارث تمام صفات مورد مطالعه بود (جدول ۳). برآزش مدل‌های مختلف برای این صفات، مدل‌های پنج و شش پارامتری را به عنوان مدل‌های مناسب برای توجیه تغییرات ژنتیکی مشاهده شده برای تمام صفات مورد آزمایش را نشان داد (جدول ۴). کای اسکور برای برخی صفات معنی‌دار شد که احتمال دخالت اثر اپیستازی سه گانه، پیوستگی ژنی و یا اثرات مادری را در تبیین میانگین نسل‌ها نشان می‌دهد. پارامتر  $m$  یا میانگین، بیانگر تمام اثرهایی است که برای همه نسل‌ها یکسان است. به عبارتی، اثر ژن‌های یک شکل و ثابت در زمینه ژنتیکی، اثرهای مشترک محیطی و متوسط اثر ژن‌هایی که چند شکلی دارند را نشان می‌دهد. معنی‌دار بودن این پارامتر در تمام صفات نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو والد می‌باشد.

در برآورد اجزای واریانس ژنتیکی، در صفت تعداد روز تا ظهور دانه‌گرده و واریانس غالبیت منفی برآورد شد که جهت اجتناب از بروز خطا در انجام محاسبات مقادیر منفی، در جدول مربوطه صفر منظور شد (جدول ۵). مقادیر منفی واریانس ژنتیکی به علت اشتباه نمونه- برداری، کم بودن تعداد داده‌ها، استفاده از مدل‌های آماری نادرست، عدم وجود تنوع کافی، طرح آزمایشی مورد استفاده و تلاقی‌های غیر تصادفی بروز می‌نماید (هالوئر و همکاران ۲۰۱۰).

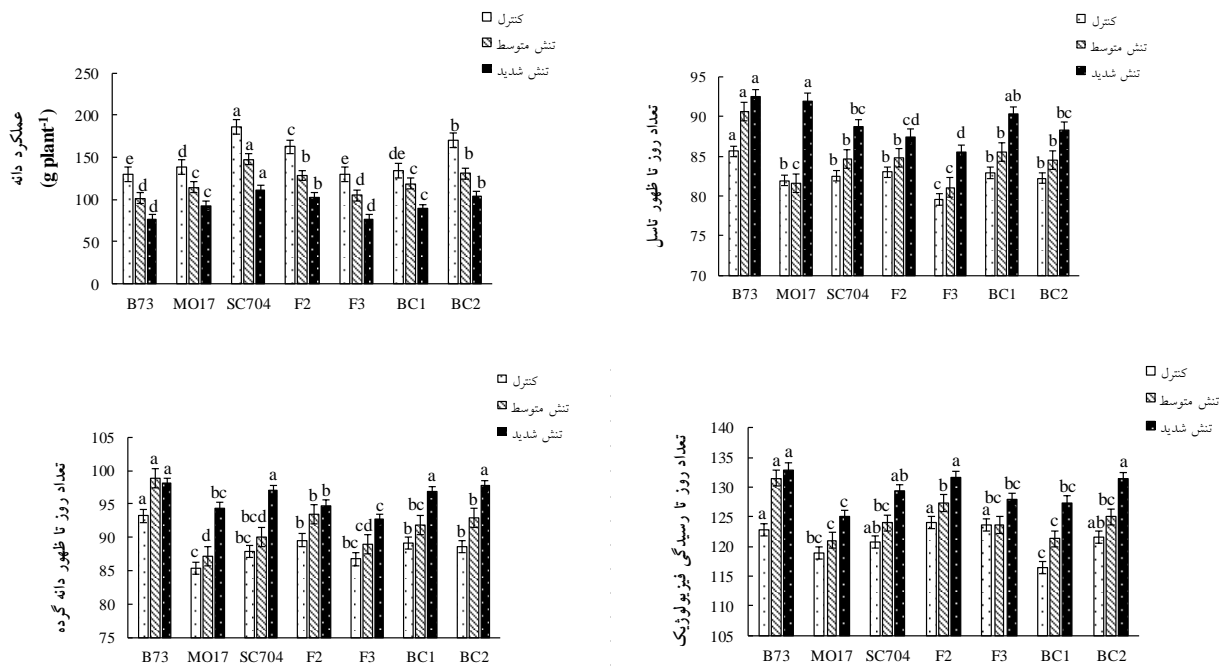
تنش کمبود آب را در ذرت، تاخیر در کاکل دهی و در نتیجه افزایش فاصله بین گرده‌افشانی و کاکل دهی بیان کرده‌اند که باعث کاهش ۳۰-۱۵ درصدی عملکرد دانه می‌شود.

اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری برای عملکرد دانه، تعداد روز تا ظهور تاسل، دانه‌گرده و رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار شد که یکسان نبودن روند تغییرات میانگین نسل‌ها از نظر صفات مذکور را در شرایط تنش و آبیاری کامل نشان می‌دهد. بنابراین، در صفات محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزیگی و تعداد روز تا ظهور کاکل تجزیه ژنتیکی و تجزیه واریانس نسل‌ها برای میانگین سه شرایط آبیاری انجام شد. زیرا، در صفاتی که اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری معنی‌دار نیست، واکنش نسل‌ها در هر سه شرایط آبیاری یکسان می‌باشد. مقایسه میانگین نسل-های ذرت در شرایط آبیاری مختلف نشان داد که سینگل کراس ۷۰۴ در هر سه شرایط آبیاری از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود (شکل ۱). والد B73 هیبرید SC704 و دو نسل مربوط به یک کراس‌ها در تنش شدید کمبود آب بیشترین روز تا دانه‌گرده را داشتند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری برای تعداد روز تا ظهور تاسل نشان داد که در شرایط تنش شدید هر دو والد اینبرد MO17 و B73 بیشترین مقدار را از نظر این صفت دارا بودند. در صورتی‌که هیبرید SC704 نسبت به دو والد مذکور کم-ترین تغییرات را در تنش کم‌آبی از نظر این صفت نشان داد. به نظر می‌رسد یکی از علل پایداری این هیبرید در اقلیم‌های متفاوت و سال‌های مختلف، انعطاف‌پذیری فنولوژیکی آن در مواجهه با تنش‌هایی مانند کمبود آب باشد. والد مادری (B73) از روز تا رسیدگی فیزیولوژیک طولانی‌تری برخوردار بود. والد پدری (MO17) نیز کم‌ترین تغییرات را از نظر این صفت در شرایط تنش کمبود آب نشان داد. این امر بیانگر این

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی در هفت نسل زرت تحت سه شرایط آبیاری طی دو سال زراعی

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	تعداد روز تا ظهور کامل	تعداد روز تا ظهور دانه گرده	تعداد روز تا ظهور تاسل	شاخص سبزیگی	محتوای نسبی آب برگ	عملکرد دانه		
۹۷۴/۷۷**	۹۵۲/۵۷**	۶۲/۵۹ <sup>NS</sup>	۹۵/۶۱*	۲۵۸۸/۹۵**	۲۸۲۶۵/۶۰**	۱۵۲۷۶/۲۸**	۱	سال
۴۹۷۴/۰۰۴**	۲۵۹۸/۰۵**	۵۲۳۸/۴۹**	۳۳۱۵/۹۹**	۹۱۷۵/۶۱**	۲۹۵۸۹/۶۸**	۲۲۵۸۶۵/۷۹**	۲	سطوح آبیاری
۷۷/۵۳ <sup>NS</sup>	۱۵۹/۳۷**	۷۵/۰۴ <sup>NS</sup>	۱۷۲/۵۶**	۱۲۶/۳۱*	۳۴۴/۵۲**	۱۰۳۹/۱۰*	۲	سال × سطوح آبیاری
۵۲/۲۹	۵۲/۹۰	۵۵/۴۴	۴۵/۶۶	۴۴/۹۶	۶۷/۲۳	۳۴۴/۲۵	۱۱۴	تکرار / سال × سطوح آبیاری
۸۸۹/۸۸**	۴۱۶/۸۶**	۹۷۲/۹۳**	۵۸۹/۲۸**	۳۴۷۵/۹۲**	۱۰۳۶/۳۲**	۳۴۸۴۰/۵۳**	۶	نسل
۸۳/۷۰ <sup>NS</sup>	۹۸/۵۴**	۷۱/۳۹*	۱۳۹/۳۹**	۱۸۲/۹۴**	۷۳۳/۸۰**	۲۸۱/۴۱ <sup>NS</sup>	۶	نسل × سال
۱۱۸/۶۸**	۳۴/۶۱ <sup>NS</sup>	۶۶/۲۶**	۸۷/۵۰**	۶۴/۹۱ <sup>NS</sup>	۶۳/۲۲ <sup>NS</sup>	۱۴۴۹/۲۲**	۱۲	نسل × سطوح آبیاری
۳۳/۸۸ <sup>NS</sup>	۳۴/۲۹ <sup>NS</sup>	۳۳/۴۹ <sup>NS</sup>	۳۰/۸۸ <sup>NS</sup>	۳۲/۹۰ <sup>NS</sup>	۱۰۸/۱۳**	۴۳۷/۹۸ <sup>NS</sup>	۱۲	نسل × سال × سطوح آبیاری
۴۳/۹۰	۲۹/۳۹	۳۱/۰۵	۲۵/۳۵	۴۳/۵۸	۵۰/۱۹	۳۳۲/۲۶	۶۸۴	خطا
۵/۳۰	۵/۸۳	۶/۰۲	۵/۸۹	۱۶/۴۹	۱۰/۷۶	۱۴/۹۸		ضریب تغییرات (%)
۱۲۱/۱۳ <sup>c</sup>	۸۹/۶۸ <sup>c</sup>	۸۸/۶۳ <sup>c</sup>	۸۲/۵۳ <sup>c</sup>	۴۶/۰۸ <sup>a</sup>	۷۵/۶۸ <sup>a</sup>	۱۵۰/۳۴ <sup>a</sup>		میانگین آبیاری کنترل
۱۲۴/۸۴ <sup>b</sup>	۹۳/۵۶ <sup>b</sup>	۹۱/۸۸ <sup>b</sup>	۸۴/۶۹ <sup>b</sup>	۳۹/۶۰ <sup>b</sup>	۶۶/۶۵ <sup>b</sup>	۱۲۰/۹۸ <sup>b</sup>		میانگین تنش متوسط
۱۲۹/۴۰ <sup>a</sup>	۹۷/۱۱ <sup>a</sup>	۹۵/۹۲ <sup>a</sup>	۸۹/۲۵ <sup>a</sup>	۳۴/۴۴ <sup>c</sup>	۵۵/۲۰ <sup>c</sup>	۹۳/۴۸ <sup>c</sup>		میانگین تنش شدید

<sup>NS</sup>، \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.



شکل ۱- روند تغییرات میانگین عملکرد دانه و صفات فنولوژیک در نسل‌های زرت تحت سه شرایط آبیاری



جدول ۳- آزمون‌های مقیاس A, B, C و D برای صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی تحت سه شرایط آبیاری

صفت	سطوح آبیاری	A	B	C	D
عملکرد دانه (g plant <sup>-1</sup> )	کنترل	-۴۸/۲۰ ± ۶/۸۴**	۱۴/۶۰ ± ۶/۲۵**	۷/۶۸ ± ۱۲/۷۳ <sup>NS</sup>	-۷۳/۹۴ ± ۱۴/۳۸**
	تنش متوسط	-۱۱/۳۳ ± ۵/۵۲*	-۱/۰۴ ± ۷/۳۳ <sup>NS</sup>	۱/۳۳ ± ۱۲/۸۹ <sup>NS</sup>	-۵۳/۶۹ ± ۱۲/۶۵**
	تنش شدید	-۹/۴۶ ± ۵/۹۳ <sup>NS</sup>	۴/۲۲ ± ۵/۶۴ <sup>NS</sup>	۱۸/۸۳ ± ۱۱/۶۷ <sup>NS</sup>	-۶۸/۲۱ ± ۱۱/۰۴**
محتوای نسبی آب برگ (%)		-۴/۷۴ ± ۲/۳۳**	-۹/۳۶ ± ۲/۶۰**	-۲۲/۵۳ ± ۴/۹۰**	-۳/۲۰ ± ۵/۵۷ <sup>NS</sup>
	شاخص سبزیگی	-۱۹/۴۳ ± ۲/۴۶**	-۱۳/۶۶ ± ۳/۰۰**	-۱۱/۵۸ ± ۵/۵۳*	-۲۷/۰۷ ± ۶/۱۱**
تعداد روز تا ظهور تاسل	کنترل	-۲/۳۰ ± ۱/۴۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۲ ± ۱/۰۷ <sup>NS</sup>	-۰/۴۲ ± ۲/۷۳ <sup>NS</sup>	-۱۵/۳۷ ± ۲/۹۲**
	تنش متوسط	-۴/۱۰ ± ۱/۱۳**	۲/۶۶ ± ۱/۹۲ <sup>NS</sup>	-۲/۲۴ ± ۳/۰۹ <sup>NS</sup>	-۱۷/۵۹ ± ۳/۶۳**
تعداد روز تا ظهور دانه گرده	تنش شدید	-۰/۵۲ ± ۱/۸۱ <sup>NS</sup>	-۴/۰۱ ± ۱/۹۰**	-۱۱/۹۴ ± ۴/۱۹**	-۱۷/۴۴ ± ۴/۴۵**
	کنترل	-۲/۸۷ ± ۲/۳۸ <sup>NS</sup>	۳/۹۷ ± ۱/۸۱**	۴/۰۵ ± ۴/۸۵ <sup>NS</sup>	-۱۰/۸۵ ± ۵/۲۵**
تعداد روز تا ظهور کاکل	تنش متوسط	-۵/۳۲ ± ۲/۴۴**	۸/۷ ± ۲/۸۵**	۷/۴۲ ± ۵/۱۴ <sup>NS</sup>	-۱۷/۱۷ ± ۶/۳۲**
	تنش شدید	۰/۹۵ ± ۲/۱۵ <sup>NS</sup>	۳/۰۷ ± ۲/۱۵ <sup>NS</sup>	-۰/۶۲ ± ۴/۱۷ <sup>NS</sup>	-۱۸/۰۷ ± ۴/۵۳**
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	کنترل	-۱۰/۷۲ ± ۳/۲۲**	۳/۵۲ ± ۲/۵۰ <sup>NS</sup>	۱۲/۷۵ ± ۵/۵۸**	۴/۶۵ ± ۶/۴۹ <sup>NS</sup>
	تنش متوسط	-۱۲/۹۵ ± ۳/۲۹**	۴/۹۵ ± ۳/۴۹ <sup>NS</sup>	۸/۶۰ ± ۷/۰۶ <sup>NS</sup>	-۱۲/۵۰ ± ۶/۶۴ <sup>NS</sup>
	تنش شدید	-۷/۴۲ ± ۳/۵۵*	۸/۷۰ ± ۲/۶۳**	۱۰/۲۲ ± ۶/۵۱ <sup>NS</sup>	-۹/۸۷ ± ۴/۹۲*

<sup>NS</sup>, \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۴- برآورد پارامترهای ژنتیکی و آزمون کفایت مدل برای صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی در هفت نسل ذرت از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها تحت سه شرایط آبیاری

صفت	سطوح آبیاری	m	d	h	i	j	l	x <sup>2</sup>	df
عملکرد دانه (g plant <sup>-1</sup> )	کنترل	۱۲۰/۳۳ ± ۱۷/۱۷**	-۴/۴۹ ± ۱/۷۵**	۶۰/۵۸ ± ۱۷/۹۸**	۱۳/۷۳ ± ۶/۲۲**	-۶۱/۴۴ ± ۸/۷۱**	۵/۷۲ ± ۱۳/۱۱ <sup>NS</sup>	۱۹/۵۵**	۱
	تنش متوسط	۹۰/۱۱ ± ۵/۵۱**	-۶/۴۴ ± ۱/۵۴**	۷۰/۹۸ ± ۱۶/۸۷**	۱۷/۶۸ ± ۵/۵۶**	-۱۳/۰۳ ± ۸/۵۲ <sup>NS</sup>	-۱۲/۹۹ ± ۱۲/۷۱ <sup>NS</sup>	۵/۸۲ <sup>NS</sup>	۱
	تنش شدید	۶۲/۰۱ ± ۴/۷۷**	-۸/۱۷ ± ۱/۴۵**	۷۷/۹۴ ± ۱۴/۷۶**	۲۲/۱۳ ± ۴/۸۳**	-۱۳/۰۷ ± ۲/۶۴**	-۲۷/۸۷ ± ۱۱/۲۲**	۱۵/۵۷**	۱
محتوای نسبی آب برگ (%)		۵۸/۸۱ ± ۱/۳۵**	-۲/۸۷ ± ۰/۶۵**	۱۱/۳۵ ± ۱/۸۱**	۷/۳۲ ± ۱/۵۲**	۳/۹۷ ± ۳/۲۸ <sup>NS</sup>	-	۸/۵۷ <sup>NS</sup>	۲
	شاخص سبزیگی	۳۹/۳۵ ± ۲/۶۱**	-۲/۷۲ ± ۰/۷۰**	-۱۶/۶۸ ± ۷/۵۸**	۱/۰۸ ± ۲/۶۳ <sup>NS</sup>	-۷/۱۹ ± ۳/۶۱ <sup>NS</sup>	۲۶/۶۲ ± ۵/۵۶**	۱۷/۶۲**	۱
تعداد روز تا ظهور تاسل	کنترل	۷۸/۰۵ ± ۱/۲۲**	۱/۷۰ ± ۰/۲۹**	۹/۸۶ ± ۳/۴۴**	۵/۶۵ ± ۱/۲۲**	-	-۵/۳۸ ± ۲/۴۶**	۸/۴۷ <sup>NS</sup>	۲
	تنش متوسط	۷۹/۱۵ ± ۱/۵۶**	۴/۴۹ ± ۰/۳۴**	۱۲/۵۲ ± ۴/۴۶**	۶/۹۲ ± ۱/۵۶**	-۷/۷۸ ± ۱/۹۵**	-۶/۹۶ ± ۳/۳۱**	۴/۴۹ <sup>NS</sup>	۱
تعداد روز تا ظهور دانه گرده	تنش شدید	۸۵/۲۷ ± ۱/۰۸**	۰/۲۶ ± ۰/۴۵ <sup>NS</sup>	۳/۶۵ ± ۱/۰۰**	۷/۰۴ ± ۱/۱۸**	۳/۶۰ ± ۲/۴۹ <sup>NS</sup>	-	۱/۴۹ <sup>NS</sup>	۲
	کنترل	۸۶/۰۱ ± ۲/۰۷**	۳/۸۲ ± ۰/۷۸**	۷/۱۲ ± ۵/۶۳ <sup>NS</sup>	۳/۱۵ ± ۲/۰۹ <sup>NS</sup>	-۶/۵۰ ± ۲/۵۶**	-۵/۲۲ ± ۴/۲۸ <sup>NS</sup>	۲/۳۰ <sup>NS</sup>	۱
تعداد روز تا ظهور کاکل	تنش متوسط	۸۷/۲۷ ± ۲/۶۸**	۵/۸۷ ± ۰/۷۳**	۱۴/۳۶ ± ۷/۵۹ <sup>NS</sup>	۵/۵۹ ± ۲/۶۹**	-۱۴/۴۵ ± ۳/۵۳**	-۱۱/۴۷ ± ۵/۴۲**	۳/۸۵ <sup>NS</sup>	۱
	تنش شدید	۸۹/۹۱ ± ۱/۹۵**	۲/۵۸ ± ۰/۶۰**	۱۹/۵۹ ± ۵/۷۶**	۹/۰۹ ± ۱/۹۷**	-۲/۱۳ ± ۲/۸۸ <sup>NS</sup>	-۱۴/۲۷ ± ۴/۲۲**	۱/۱۷ <sup>NS</sup>	۱
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک		۸۵/۷۱ ± ۱/۷۸**	۱/۵۲ ± ۰/۶۱**	۱۷/۳۸ ± ۴/۹۶**	۷/۹۶ ± ۱/۸۰**	-۶/۳۰ ± ۲/۳۷**	-۹/۰۳ ± ۳/۵۵**	۰/۰۰۷ <sup>NS</sup>	۱
	کنترل	۱۲۹/۴۶ ± ۲/۷۷**	۲/۰۳ ± ۰/۷۹**	-۲۱/۷۰ ± ۷/۸۰**	-۸/۷۵ ± ۲/۷۹**	-۱۳/۲۶ ± ۳/۷۹**	۱۳/۰۵ ± ۵/۸۱**	۴/۳۲ <sup>NS</sup>	۱
	تنش متوسط	۱۲۶/۰۳ ± ۲/۸۵**	۵/۲۷ ± ۰/۸۲**	-۶/۰۵ ± ۸/۷۶ <sup>NS</sup>	۰/۱۳ ± ۲/۸۸ <sup>NS</sup>	-۱۸/۱۵ ± ۴/۴۷**	۴/۱۳ ± ۶/۶۳ <sup>NS</sup>	۵/۵۷ <sup>NS</sup>	۱
تنش شدید	۱۲۶/۲۹ ± ۲/۱۲**	۳/۹۸ ± ۰/۶۴**	۹/۵۴ ± ۷/۳۴ <sup>NS</sup>	۲/۶۲ ± ۲/۱۶ <sup>NS</sup>	-۱۵/۱۶ ± ۴/۰۳**	-۶/۴۴ ± ۵/۹۲ <sup>NS</sup>	۲/۹۷ <sup>NS</sup>	۱	

<sup>NS</sup>, \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

### عملکرد دانه در واحد بوته

در افزایش می‌باشد. در تنش شدید کم‌آبی نیز علامت مخالف [h] و [l] نشان دهنده وجود اپیستازی دو گانه در کنترل عملکرد دانه است که این نوع اپیستازی مشکلی را در جهت گزینش گیاهان مطلوب از نظر

با توجه به جدول تجزیه میانگین نسل‌ها (جدول ۴) تحت هر سه شرایط آبیاری علامت مخالف پارامترهای [d] و [i] نشان دهنده ماهیت متضاد اثر متقابل افزایشی

همچنین، درجه غالبیت بیش‌تر از یک بود که نشان از فوق غالبیت دارد. با توجه به این نتایج گزینش در نسل-های بعد از تفرق و روش اصلاحی مبتنی بر دورگ‌گیری (هیبریداسیون) می‌تواند جهت بهبود عملکرد دانه موثر واقع شود. لیما و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی اثرات ژنی و وراثت‌پذیری عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری و تنش کم‌آبی، وجود اثرات فوق غالبیت ژنی را در کنترل توارث این صفت تحت هر دو شرایط آزمایشی نرمال و تنش مهم قلمداد کردند که با نتایج ما مطابقت دارد. درحالی‌که، نقش موثر اثرات افزایشی نسبت به اثرات غیر افزایشی ژنی در کنترل عملکرد دانه توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (افوری و همکاران ۲۰۱۵، وانوز و همکاران ۲۰۱۵).

عملکرد دانه ایجاد نمی‌کند ولی روند اصلاحی را کند می‌کند. علامت مثبت [h] و منفی [j] به ترتیب بیانگر غالبیت ناقص در جهت افزایش عملکرد دانه و قدرت کاهش اثرات ژنی افزایشی تحت هر سه شرایط محیطی در عملکرد دانه است. به‌طور کلی، نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها نشان داد که مجموع اثرات غالبیت بیش‌تر از مجموع اثرات افزایشی هستند. تجزیه واریانس نسل‌ها برای عملکرد دانه مشخص کرد که واریانس غالبیت در شرایط کنترل و تنش کم‌آبی بیش‌تر از واریانس افزایشی بود (جدول ۵). در هر سه شرایط آزمایشی اختلاف زیادی بین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی وجود دارد که نشان می‌دهد، اثرات ژنتیکی غیر افزایشی نقش زیادی در کنترل عملکرد دانه دارند.

جدول ۵- برآورد اجزای واریانس، وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی و درجه غالبیت در هفت نسل نرت برای صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی تحت سه شرایط آبیاری

صفت	سطوح آبیاری	$V_E$	$V_A$	$V_D$	$V_{AD}$	$h_B^2$	$h_H^2$	$\bar{a}$
عملکرد دانه (g plant <sup>-1</sup> )	کنترل	۱۱۰/۹۸	۱۲/۸۹	۱۷۹/۷۰	۱۲/۶۵	۰/۶۳	۰/۰۴۲	۵/۲۸
	تنش متوسط	۹۹/۸۰	۲۵/۸۴	۲۰۸/۵۲	-۵۹/۲۱	۰/۷۱	۰/۱۰	۲/۴۱
	تنش شدید	۸۵/۳۹	۵۳/۶۸	۱۰۳/۶۷	۵/۷۷	۰/۶۵	۰/۲۲	۱/۹۶
محتوای نسبی آب برگ (%)		۱۵/۰۳	۶/۳۷	۲۵/۴۹	-۵/۱۵	۰/۶۸	۰/۱۳	۲/۸۳
شاخص سبزیگی		۱۹/۶۱	۱۱/۶۶	۲۱/۷۳	-۷/۶۱	۰/۶۳	۰/۲۲	۱/۹۳
تعداد روز تا ظهور تاسل	کنترل	۳/۵۷	۷/۷۶	۲/۲۵	۲/۰۷۴	۰/۷۴	۰/۵۷	۰/۷۶
	تنش متوسط	۶/۹۹	۰/۲۵	۷/۵۵	-۵/۹۱	۰/۵۳	۰/۰۱۷	۷/۷۳
	تنش شدید	۷/۵۹	۲۲/۹۷	۰/۵۸	-۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۲۲
تعداد روز تا ظهور دانه گرده	کنترل	۲۳/۹۸	۴۱/۰۳	۰	۲/۲۱	۰/۶۳	۰/۶۳	۰
	تنش متوسط	۱۸/۶۹	۱/۷۵	۲۷/۰۴	-۳/۸۵	۰/۶۱	۰/۰۳۷	۵/۵۵
	تنش شدید	۱۲/۱۹	۱/۶۰	۱۷/۸۶	-۰/۱۲	۰/۶۱	۰/۰۵۱	۴/۷۲
تعداد روز تا ظهور کاکل		۱۱/۳۶	۲۸/۷۹	۰/۰۵۷	-۱/۵۱	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۰۶۳
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	کنترل	۲۲/۴۰	۱/۷۸	۳۰/۱۵	۱۱/۴۹	۰/۵۹	۰/۰۳۳	۵/۸۲
	تنش متوسط	۲۸/۵۶	۳۲/۹۱	۲۵/۸۷	-۲/۴۳	۰/۶۷	۰/۳۸	۱/۲۵
	تنش شدید	۲۳/۱۲	۲۴/۷۱	۳۲/۱۱	۱۳/۸۳	۰/۷۱	۰/۳۱	۱/۶۱

$\bar{a}$ ،  $V_E$ ،  $V_A$ ،  $V_D$ ،  $V_{AD}$ ،  $h_B^2$ ،  $h_H^2$  و  $\bar{a}$ : به ترتیب واریانس محیطی، واریانس افزایشی، واریانس غالبیت، کوواریانس افزایشی × غالبیت، وراثت‌پذیری عمومی، وراثت‌پذیری خصوصی و درجه غالبیت

### صفات فیزیولوژیکی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس نسل‌ها برای این صفت (جدول ۵)، واریانس غالبیت بیش‌تر از واریانس افزایشی بود. محاسبه وراثت‌پذیری عمومی بالا در مقایسه با وراثت‌پذیری خصوصی نیز سهم بیش‌تر اثرات غیر

نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها نشان داد که اثرات اصلی و اثر متقابل افزایشی × افزایشی نقش موثری در کنترل توارث محتوای نسبی آب برگ داشتند (جدول ۴).

### صفات فنولوژیکی

در تجزیه میانگین نسل‌ها (جدول ۴) علامت مثبت اثر افزایشی [d] برای تمام صفات در هر سه شرایط محیطی نشان دهنده برتری آلله‌های افزایش دهنده صفات فنولوژیکی در والد MO17 می‌باشد. علامت موافق پارامترهای [d] و [i] در تمام صفات فنولوژیکی نیز نشان دهنده نقش بارز اثر افزایشی در آلله‌های افزایش دهنده این صفات می‌باشد. تجزیه واریانس نسل‌ها (جدول ۵) برای تعداد روز تا ظهور تاسل (در شرایط آبیاری کامل و تنش شدید)، دانه گرده (در شرایط آبیاری کامل) و کاکل‌دهی (در هر سه شرایط آزمایشی) مشخص کرد که واریانس افزایشی بیش‌تر از واریانس غالبیت است. همچنین، برآورد وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی نشان داد که واریانس افزایشی سهم بالایی از واریانس ژنتیکی را به خود اختصاص داده است و این مطلب با توجه به کمتر از یک بودن درجه غالبیت توجیه می‌شود. بنابراین، در اصلاح این صفت گزینش در نسل‌های اولیه در حال تفرق می‌تواند موثر باشد. درحالی‌که، برای صفات تعداد روز تا ظهور تاسل (در شرایط تنش متوسط)، دانه گرده (در شرایط تنش متوسط و شدید) و رسیدگی فیزیولوژیک (در هر سه شرایط آزمایشی) واریانس غالبیت بیش‌تر از واریانس افزایشی بوده و اختلاف زیاد بین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی سهم بالایی اثرات غیر افزایشی را در کنترل این صفات نشان می‌دهد. بدین جهت، گزینش به منظور اصلاح این صفات در نسل‌های پیشرفته‌تر موثر است. محققان متعددی نقش موثر اثر غالبیت ژنی (مرادی ۲۰۱۴)، غالبیت ناقص (ساتیانارایانا ۱۹۹۵) و فوق غالبیت (سلیم و همکاران ۲۰۰۲) را در کنترل توارث صفت روز تا ظهور تاسل نشان دادند. صوفی و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که اثرات ژنی غیر افزایشی (اثر غالبیت و اثرات اپیستازی) نقش مهمی در توارث روز تا تاسل‌دهی ایفا می‌کنند. اگر چه اهمیت نقش اثرات ژنی افزایشی در مقایسه با اثرات غالبیت در کنترل ژنتیکی این صفت نیز توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (تبسم و همکاران ۲۰۰۷، هفنی ۲۰۱۰).

افزایشی را در کنترل توارث این صفت نشان داد. همچنین، درجه غالبیت بزرگ‌تر از یک بود و می‌توان گزینش را در نسل‌های بعد از تفکیک به منظور بهبود این صفت انجام داد. مرادی و همکاران (۲۰۱۴) با ارزیابی ۶ لاین ذرت تحت شرایط نرمال و تنش خشکی، گزارش نمودند که رطوبت نسبی برگ تحت هر دو شرایط نرمال و تنش توسط اثرات فوق غالبیت ژن‌ها کنترل می‌شود که با نتایج ما مطابقت دارد. با مطالعه اثر ژنی محتوای نسبی آب برگ در آفتابگردان (پورمحمد و همکاران ۲۰۱۴) و گندم (ناروئی راد و همکاران ۲۰۱۳) به ترتیب اهمیت نقش اثرات ژنی افزایشی و سهم هر دو اثرات ژنی افزایشی و غیر افزایشی در کنترل وراثت-پذیری این صفت تحت تنش کم‌آبی بیان شده است. در شرایط آبیاری کامل اثرات اصلی افزایشی و غالبیت و اثر متقابل غالبیت  $\times$  غالبیت در کنترل توارث شاخص سبزیگی نقش موثری داشتند (جدول ۴). وجود اپیستازی مضاعف به دلیل مخالف بودن علامت پارامترهای [h] و [I] مشاهده شد. همچنین، علامت منفی اثر غالبیت نشان دهنده غالبیت نسبی در جهت کاهش این صفت بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقدار بالای واریانس غالبیت را در مقایسه با واریانس افزایشی برای این صفت نشان داد. مقایسه دو وراثت-پذیری عمومی و خصوصی و درجه غالبیت بیش‌تر از یک، سهم بالای اثرات غیر افزایشی را نسبت به اثر افزایشی در کنترل ژنتیکی این صفت نشان داد. با توجه به این نتایج، گزینش برای اصلاح این صفت بایستی در نسل‌های پیشرفته‌تر انجام بگیرد. چپوتا و موتنگوا (۲۰۲۰) با ارزیابی ژنتیکی شاخص کلروفیل (SPAD) در لاین‌های اینبرد ذرت تحت هر دو تنش گرما و کم‌آبی، اظهار داشتند که توارث این صفت تحت تاثیر اثرات ژنی افزایشی می‌باشد. دای و همکاران (۲۰۱۶) از طریق تجزیه میانگین نسل کلزا دریافتند که وراثت‌پذیری شاخص سبزیگی تحت کنترل اثرات اصلی (افزایشی و غالبیت) و اثرات متقابل غیرآلی (اپیستازی) است. در حالی‌که، مجموع اثرات ژنی غیر قابل تثبیت بیش‌تر از اثرات ژنی قابل تثبیت بود.

در توجیه تغییرات ژنتیکی صفت روز تا ظهور دانه، سلیم و همکاران (۲۰۰۲) و اقبال و همکاران (۲۰۱۱) با تجزیه ژنتیکی برخی صفات کمی در لاین‌های اینبرد ذرت اظهار داشتند که اثرات متقابل غیرآلی و اثر غالبیت نقش مهمی در توجیه تغییرات ژنتیکی این صفت دارند. اهمیت اثرات غالبیت و غیر افزایشی در کنترل ژنتیکی روز تا گرده‌دهی توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (شر و همکاران ۲۰۱۲، ارشادالحق و همکاران ۲۰۱۴). پژوهشگران همچنین نقش بارز اثر ژنی افزایشی را نسبت به اثر ژنی غالبیت در کنترل توارث تعداد روز تا ظهور دانه گرده عنوان کرده‌اند (آتانو و همکاران ۲۰۰۶، هفنی ۲۰۱۰). برای تعداد روز تا ظهور کاکل، اثرات اصلی غالبیت و افزایشی و هر سه اثر متقابل غیرآلی معنی‌دار شدند که نشان دهنده اهمیت اثرات اپیستازی در کنترل این صفت می‌باشد. معنی‌داری اپیستازی افزایشی در افزایشی نشان داد که این اثر متقابل به وسیله گزینش در شرایط خودگشنی قابل تثبیت است. در تطابق با نتایج ما، کاهریمان و همکاران (۲۰۱۵) و پاوان و همکاران (۲۰۱۷) با تجزیه ژنتیکی صفات فنولوژیکی ذرت، وراثت‌پذیری خصوصی بالا و نقش مهم اثرات ژنی افزایشی و اپیستازی افزایشی در افزایشی را در کنترل این صفت عنوان کردند و به منظور اصلاح این صفت، گزینش در والدین را پیشنهاد نمودند. افزون بر این، نقش اثر غالبیت ژنی (کومار و همکاران ۲۰۱۲)، غالبیت ناقص (تولنار و همکاران ۲۰۰۴) و فوق غالبیت (علی و همکاران ۲۰۱۸) نیز در کنترل ژنتیکی تعداد روز تا ظهور کاکل گزارش شده است. با توجه به نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها برای صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، تمام پارامترهای وارد شده به مدل شش پارامتری در شرایط آبیاری کامل معنی‌دار بودند که نقش اثرات اصلی و اپیستازی را در توجیه تغییرات ژنتیکی این صفت مشخص می‌کند. شر و همکاران (۲۰۱۲) با تجزیه میانگین نسل‌ها برای صفات فنولوژیکی در ذرت اظهار داشتند که مدل شش پارامتری بهترین برازش را برای صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی نشان می‌دهد. به-

طوری‌که، علاوه بر اثرات اصلی، اثرات اپیستازی هم معنی‌دار بودند و اثر متقابل غالبیت در غالبیت بیش‌ترین نقش را در کنترل ژنتیکی این صفت نشان داد. به‌طور کلی، این پژوهشگران اثرات غیر افزایشی را در کنترل توارث روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی مهم تلقی کردند که با یافته‌های ما مطابقت دارد. پانديت و همکاران (۲۰۱۹) کفایت مدل سه پارامتری را برای روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی بیان کرده و در کنترل این صفت اثر غالبیت ژنی را بیش‌تر از اثر افزایشی نشان دادند. بر خلاف این نتایج، محققان همچنین اهمیت اثر افزایشی را در مقایسه با اثر غالبیت در کنترل توارث صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی عنوان کرده‌اند که با نتایج ما مغایرت دارد (اسندکور و کوکران ۱۹۸۹، سلیم و همکاران ۲۰۰۲).

#### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که تنش متوسط (۵۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل نگهداری) و تنش شدید (۷۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل نگهداری) کم‌آبی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش صفات عملکرد دانه در بوته، محتوای نسبی آب برگ و شاخص سبزی‌نگی در نسل‌های مورد مطالعه ذرت گردید. در حالی‌که، افزایش معنی‌دار صفات فنولوژیکی تحت تنش کمبود آب در مقایسه با شرایط نرمال آبیاری مشاهده شد. معنی‌داری اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری برای صفات عملکرد دانه، تعداد روز تا ظهور تاسل، دانه گرده و رسیدگی فیزیولوژیکی، رفتار متفاوت نسل‌های ذرت را در مواجهه با تنش کم‌آبی نشان داد. با ارزیابی صفات مورد مطالعه، لاین اینبرد MO17 و هیبرید SC704 تحمل بالایی به تنش کم‌آبی نشان داده و از بیش‌ترین میزان صفات مذکور و نیز پایداری عملکرد دانه برخوردار بودند. در تمام صفات مورد مطالعه معنی‌داری حداقل یکی از آزمون‌های مقیاس کفایت مدل افزایشی - غالبیت، نقش موثر اثرات متقابل غیرآلی را در کنترل توارث صفات نشان داد. اطلاعات در مورد نحوه عمل ژن در تظاهر یک صفت، به به‌نژادگران کمک می‌کند که

چنین، اصلاح هیبریدهای پر محصول ذرت با گزینش ترکیبات اپیستاتیک مطلوب موثر واقع می‌شود.

#### سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری جناب آقای دکتر رسول‌زاده که در نحوه صحیح اعمال تنش کم‌آبی در آزمایشات تحقیق حاضر کمک نموده‌اند تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

چه تصمیمی در برنامه‌های اصلاحی در جهت گزینش، اصلاح و بهبود آن صفت بگیرند. تجزیه ژنتیکی و برآورد وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی، سهم بالای اثرات ژنی غیر افزایشی (اثرهای غالبیت و اپیستازی) نسبت به اثر افزایشی در کنترل صفات عملکرد دانه، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزیگی و صفات فنولوژیکی (به جز روز تا کاکل‌دهی) امکان بهبود این صفات را از طریق تولید هیبرید میسر می‌سازد. هم-

#### منابع مورد استفاده

- Adebayo M, Menkir A, Hearne S and Kolawole A. 2017. Gene action controlling normalized difference vegetation index in crosses of elite maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Cereal Research Communications*, 45(4): 675-686. <https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.043>
- Alam A, Ahmed S, Begum M and Sultan M. 2008. Heterosis and combining ability for grain yield and its contributing characters in maize. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 33(3): 375-379. <https://doi.org/10.3329/bjar.v33i3.1596>
- Ali S, Khan NU, Gul R, Naz I, Goher R, Ali N, Khan SA, Hussain I and Saeed M. 2018. Genetic analysis for earliness and yield traits in maize. *Pakistan Journal of Botany*, 50(4): 1395-1405.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome. 300(9): D05109.
- Anjorin F, Adejumo S, Agboola L and Samuel Y. 2016. Proline, soluble sugar, leaf starch and relative water contents of four maize varieties in response to different watering regimes. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 49(3): 51-62. <https://repository.iuls.ro/xmlui/handle/20.500.12811/1182>
- Aslam M, Maqbool MA and Cengiz R. 2015. Drought stress in maize (*Zea mays* L.): Effects, resistance mechanisms, global achievements and biological strategies for improvement. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25442-5>
- Atanaw A, Wali MC, Salimath P and Jagadeesha R. 2006. Combining ability, heterosis and per se performance in maize maturity components. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 19(2): 268-271.
- Bolaños J and Edmeades G. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research*, 48(1): 65-80. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00036-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00036-6)
- Campos H, Cooper M, Habben J, Edmeades G and Schussler J. 2004. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field Crops Research*, 90(1): 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.003>
- Chen J, Xu W, Burke JJ and Xin Z. 2010. Role of phosphatidic acid in high temperature tolerance in maize. *Crop Science*, 50(6): 2506-2515. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.12.0716>
- Chiuta NE and Mutengwa CS. 2020. Combining ability of quality protein maize inbred lines for yield and morpho-agronomic traits under optimum as well as combined drought and heat-stressed conditions. *Agronomy*, 10(2): 184. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020184>
- Connor DJ, Loomis RS and Cassman KG. 2011. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. New York, USA: Cambridge University Press.
- Dai W, Girdthai T, Huang Z, Ketudat-Cairns M, Tang R and Wang S. 2016. Genetic analysis for anthocyanin and chlorophyll contents in rapeseed. *Ciencia Rural*, 46(5): 790-795. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150564>

- Daryanto S, Wang L and Jacinthe PA. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. Plos One, 11(5): e0156362. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156362>
- Di Paolo E and Rinaldi M. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. Field Crops Research, 105(3): 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.10.004>
- Dutta T, Neelapu NR, Wani SH and Challa S. 2018. Compatible solute engineering of crop plants for improved tolerance toward abiotic stresses. In: biochemical, physiological and molecular avenues for combating abiotic stress tolerance in plants, 221-254 (Ed W. SH). United States: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813066-7.00012-7>
- El-Sherif L, El-Eshmawiy K, El-Ghareeb N and Mohamed K. 2012. An analytical economic study of the corn crop at the world level. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(3): 734-740. <http://www.ajbasweb.com/ajbas/2012/March/734-740.pdf>
- FAOSTAT. 2018. Food and Agricultural Organization Statistical Database. Rome, Italy: FAO. <http://faostat.fao.org>.
- FAOSTAT. 2021. Food and Agricultural Organization Statistical Database. Rome, Italy: FAO. <http://faostat.fao.org>.
- Farshadfar E. 1998. The application of quantitative genetics in plant breeding. Razi University Press. Kermanshah, Iran. (In persian). <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n9p1>
- Hallauer AR, Carena MJ and Miranda Filho Jd. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. (3rd Edition). Springer-Verlag New York. 1-22p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>
- Hawkins TS, Gardiner ES and Comer GS. 2009. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. Journal for Nature Conservation, 17(2): 123-127. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2008.12.007>
- Hayman B and Mather K. 1955. The description of genic interactions in continuous variation. Biometrics, 11(1): 69-82. <https://doi.org/10.2307/3001481>
- Hefny M. 2010. Genetic control of flowering traits, yield and its components in maize (*Zea mays* L.) at different sowing dates. Asian Journal of Crop Science, 2(4): 236-249. <http://www.scialert.net/fulltext/?doi=ajcs.2010.236.249&org=11>
- Iqbal M, Khan K, Sher H and Al-Yemeni MN. 2011. Genotypic and phenotypic relationship between physiological and grain yield related traits in four maize (*Zea mays* L.) crosses of subtropical climate. Scientific Research and Essays, 6(13): 2864-2872. <http://www.academicjournals.org/SRE/PDF/pdf2011/4Jul/Iqbal%20et%20al.pdf>
- Irshad ul Haq M, Kamal N, Khanum S, Siddique M and Arshadullah M. 2014. Generation mean analysis for flowering characteristics in maize (*Zea mays* L.). Persian Gulf Crop Protection, 3(1): 18-24.
- Kahrman F, Egesel C, Cebeci R, Demir A and Bayraktar S. 2015. Genetic Analysis of Flowering in Maize based on Calendar and Thermal Time. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 25(2): 193-199. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.236302>
- Kumar TS, Reddy DM, Naik VS, Parveen SI and Subbaiah P. 2012. Gene action for yield and morpho-physiological traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines. Journal of Agricultural Science, 4(5): 13-16. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n5p13>
- Lima VJd, Amaral Júnior ATd, Kamphorst SH, Bispo RB, Leite JT, Santos TdO, Schmitt KFM, Chaves MM, Oliveira UAd and Santos PHAD. 2019. Combined dominance and additive gene effects in trait inheritance of drought-stressed and full irrigated popcorn. Agronomy, 9(12): 782. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120782>
- Maazou ARS, Tu J, Qiu J and Liu Z. 2016. Breeding for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). American Journal of Plant Sciences, 7(14): 1858. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.714172>

- Mather K and Jinks JL. 1982. Biometrical genetics: the study of continuous variation. Springer. <https://doi.org/10.1007/978.1.4899.3406.2>
- Moradi M. 2014. Genetic analysis to determine the nature and magnitude of genetic variances and heritability estimates in maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 5(5): 183-118.
- Moradi M, Choukan R, Heravan EM and Bihamta MR. 2014. Genetic analysis of various morpho-physiological traits in *Zea mays* L. using graphical approach under normal and water stress conditions. Research on Crops, 15(1): 62-70. <https://doi.org/10.5958/j.2348-7542.15.1.008>
- Naroui Rad MR, Kadir MA, Yusop MR, Jaafar HZ and Danaee M. 2013. Gene action for physiological parameters and use of relative water content (RWC) for selection of tolerant and high yield genotypes in F<sub>2</sub> population of wheat. Australian Journal of Crop Science, 7(3): 407-413.
- Nemeskéri E, Kovács-Nagy E and Sárdi É. 2017. Relationships between the biochemical and spectral traits of leaves and the productivity of apple trees in organic and integrated production systems. Biological Agriculture Horticulture, 33(2): 97-114. <https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1235992>
- Nielsen RB. 2016. Silk development and emergence in corn. Purdue University: Corny News Network.
- Nuccio ML, Wu J, Mowers R, Zhou HP, Meghji M, Primavesi LF, Paul MJ, Chen X, Gao Y and Haque E. 2015. Expression of trehalose-6-phosphate phosphatase in maize ears improves yield in well-watered and drought conditions. Nature Biotechnology, 33(8): 862-869. <https://doi.org/10.1038/nbt.3277>
- Ofori A, Ofori K, Obeng-Antwi K, Tengan K and Badu-Apraku B. 2015. Combining ability and heterosis estimate of extra-early quality protein maize (QPM) single cross hybrids. Journal of Plant Breeding and Crop Science, 7(4): 87-93. <https://doi.org/10.5897/JPBCS2015.0496>
- Pandit M, Chakraborty M, Yadav RK, Prasad K, Sah RP and Soti U. 2019. Association study in different generations of Maize (*Zea mays* L.). Cogent Food and Agriculture, 5(1): 1-15. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1592062>
- Pavan R, Gangappa E, Ramesh S, Rao AM 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. <https://doi.org/10.31018/jans.v9i4.1560>
- Pessaraki M. 2019. Handbook of plant and crop stress. CRC press.
- PourMohammad A, Toorchi M, Alavikia SS and Shakiba MR. 2014. Genetic analysis of yield and physiological traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under irrigation and drought stress. Notulae Scientia Biologicae, 6(2): 207-213. <https://doi.org/10.15835/nsb629173>
- Ribaut JM, Betran J, Monneveux P and Setter T. 2009. Drought tolerance in maize. In Handbook of maize: its biology, 311-344 (Eds J. Bennetzen and S. Hake). New York: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-79418-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-0-387-79418-1_16)
- Saleem M, Shahzad K, Javid M and Ahmed A. 2002. Genetic analysis for various quantitative traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines. International Journal of Agriculture and Biology, 4(3): 379-382.
- Satyanarayana E. 1995. Genetic analysis of flowering period in rabi maize (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Research, 29(3): 213-218.
- Shahrokhi M, Khorasani S and Ebrahimi A. 2013. Study of genetic components in various maize (*Zea mays* L.) traits, using generation mean analysis method. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4(3): 405-412
- 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. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>
- Sher H, Iqbal M and Khan K. 2012. Genetic analysis of maturity and flowering characteristics in maize (*Zea mays* L.). Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2(8): 621-626. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60108-7](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60108-7)

- Sleper DA and Poehlman JM. 2006. Breeding field crops. Oxford, UK.: (5th Edition). Blackwell publishing. 432P.
- Snedecor G and Cochran W. 1989. Statistical Methods, eight edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Sofi P, Rather A and Venkatesh S. 2006. Detection of epistasis by generation means analysis in maize hybrids. Pakistan Journal of Biological Sciences, 9(10): 1983-1986. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.1983.1986>
- Song H, Li Y, Zhou L, Xu Z and Zhou G. 2018. Maize leaf functional responses to drought episode and rewatering. Agricultural and Forest Meteorology, 249: 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.023>
- Tabassum M, Saleem M, Akbar M, Ashraf M and Mahmood N. 2007. Combining ability studies in maize under normal and water stress conditions. Journal of Agricultural Research, 45: 261-268.
- Tezara W, Mitchell V, Driscoll S and Lawlor D. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. Nature, 401(6756): 914-917. <https://doi.org/10.1038/44842>
- Tollenaar M, Ahmadzadeh A and Lee E. 2004. Physiological basis of heterosis for grain yield in maize. Crop Science, 44(6): 2086-2094. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.2086>
- Van Gioi H, Mallikarjuna MG, Shikha M, Pooja B, Jha SK, Dash PK, Basappa AM, Gadag RN, Rao AR and Nepolean T. 2017. Variable level of dominance of candidate genes controlling drought functional traits in maize hybrids. Frontiers in Plant Science, 8: 940. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00940>
- 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 Plant Biology, 19(1): 335. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1941-5>
- 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.
- Wolf D, Peternelli L and Hallauer A. 2000. Estimates of genetic variance in an F<sub>2</sub> maize population. Journal of Heredity, 91(5): 384-391. <https://doi.org/10.1093/jhered/91.5.384>
- Yuan Z, Cao Q, Zhang K, Ata-Ul-Karim ST, Tian Y, Zhu Y, Cao W and Liu X. 2016. Optimal Leaf Positions for SPAD Meter Measurement in Rice. Frontiers in Plant Science, 7: 719. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00719>
- Zhang X, Lei L, Lai J, Zhao H and Song W. 2018. Effects of drought stress and water recovery on physiological responses and gene expression in maize seedlings. BMC Plant Biology, 18(1): 68. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1281-x>