

## ارزیابی تحمل تنش خشکی در اینبرد لاین‌های ذرت (*Zea mays* L.) Evaluation of maize (*Zea mays* L.) inbred lines for drought stress tolerance

علی ماهرخ<sup>۱</sup>، محمدرضا شیری<sup>۲</sup>، فرید گل‌زردی<sup>۳</sup> و ویدا قطبی<sup>۴</sup>

### چکیده

علی ماهرخ، ع. م. ر. شیری، ف. گل‌زردی و و. قطبی. ۱۴۰۴. ارزیابی تحمل تنش خشکی در اینبرد لاین‌های ذرت (*Zea mays* L.). نشریه علوم زراعی ایران. ۲۷ (۱): ۲۲-۱.

به‌منظور ارزیابی تحمل تنش خشکی در اینبرد لاین‌های در حال خلوص ذرت، دو آزمایش جداگانه با تیمارهای آبیاری کامل و تنش خشکی (به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) به مدت دو سال (۱۴۰۱-۱۴۰۲) در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج اجرا شد. آزمایش به‌صورت طرح آلفا لایس  $6 \times 7$  روی ۳۴ اینبرد لاین در حال خلوص در مرحله S4-S5، شش لاین خالص مناطق معتدله و دو لاین شاهد (MO17 و B73) با دو تکرار به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر خصوصیات فنولوژیکی ژنوتیپ‌های ذرت داشت. در شرایط آبیاری کامل، تعداد روز تا ظهور گل تاجی در لاین‌های ذرت بین ۶۹/۲ تا ۸۰/۷ روز متغیر بود، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی این دامنه به ۷۱/۷ تا ۸۴/۷ روز افزایش یافت. تعداد روز تا گرده‌افشانی در شرایط آبیاری کامل بین ۷۱/۳ تا ۸۳/۱ روز بود و در شرایط تنش خشکی این دامنه از ۷۵/۱ تا ۸۸/۹ روز افزایش یافت. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و وزن حجمی دانه (وزن هکتولیترا) اینبرد لاین‌های ذرت شد. در تیمار آبیاری کامل، ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۲ به‌ترتیب بیشترین و کمترین (۴۳۱ و ۲۳۷ گرم) وزن هزار دانه را داشتند. در تیمار تنش خشکی، ژنوتیپ‌های ۳۶ و ۱۲ به‌ترتیب بیشترین و کمترین (۳۴۹ و ۱۹۰ گرم) وزن هزار دانه را داشتند. بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری کامل و تنش خشکی (به‌ترتیب ۱۰۵۳۰ و ۷۲۲۲ کیلوگرم در هکتار) در لاین ۳۵ ثبت شد. بیشترین مقدار بهره‌وری آب در تیمار آبیاری کامل (۱/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و در تیمار تنش خشکی (۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب) نیز در لاین ۳۵ به‌دست آمد. لاین‌های ۳۵، ۲۷، ۶، ۳۱، ۱۵، ۲۴، ۳۲ و ۲۸ به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش برتر در شرایط تنش خشکی و لاین‌های ۳۵، ۶، ۳۲، ۳۱، ۱۵ و ۳۳ به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش برتر در شرایط آبیاری کامل شناسایی شدند. نتایج نشان داد که لاین ۳۵ برتری قابل توجهی در عملکرد دانه و بهره‌وری آب در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی داشته و به‌عنوان ژنوتیپ برتر همراه با سایر ژنوتیپ‌های منتخب، برای تولید هیبریدهای متحمل به تنش خشکی در برنامه‌های به‌نژادی ذرت قابل استفاده خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش خشکی، ذرت، عملکرد دانه و وزن هزار دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی شماره ۰۱۰۶۶۴-۰۴۳-۰۳-۲ مصوب مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
(مکانته کننده، ali\_mahrokh229@yahoo.com)

۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

## Evaluation of maize (*Zea mays* L.) inbred lines for drought stress tolerance

Mahrokh, A.<sup>1</sup>, Shiri, M.R.<sup>2</sup>, Golzardi, F.<sup>3</sup> and Ghotbi. V.<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Mahrokh, A., Shiri, M.R., Golzardi, F., and Ghotbi. V. 2025. Evaluation of maize (*Zea mays* L.) inbred lines for drought stress tolerance. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 27(1): 1-22. (In Persian).

**Introduction:** In dry and semi-arid climatic conditions of Iran, drought stress is one of the major limiting factors for grain yield in maize (Mahrokh *et al.*, 2021). As one of the most important cereal crops in ensuring food security and feeding the growing global population, maize holds significant importance. However, due to its high sensitivity to water deficit, its grain yield is considerably reduced under drought conditions. Therefore, identifying and selecting drought-tolerant genotypes with acceptable yield performance is of paramount importance. The objective of this experiment was to evaluate maize inbred lines under normal irrigation and drought stress conditions. The effect of drought stress on phenological, morphological, grain yield, yield components and irrigation water productivity was assessed. The drought-tolerant genotypes were selected for being utilized in maize breeding programs.

**Materials and Methods:** The experiment was conducted as an alpha lattice design (7×6) with 34 maize inbred lines (at the S<sub>4</sub>–S<sub>5</sub> stage) sourced from the country's hot and dry regions, supplemented with six inbred lines from temperate regions and two check lines (MO<sub>17</sub> and B<sub>73</sub>). The experiment was arranged in two replications and six incomplete blocks per replication, with seven entries per block, under two irrigation regimes (normal irrigation and drought stress) in two growing seasons (2022 and 2023) at the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. In the normal irrigation treatment, irrigation was applied after a cumulative evaporation of 50 mm from a class A evaporation pan, while in the drought stress treatment, irrigation was applied after 90 mm evaporation from a class A evaporation pan. Days to tassel emergence, days to pollination, days to silk emergence, anthesis-silking interval (ASI), plant height, number of leaves per plant, ear length, ear diameter, number of grains per plant (GPP), 1000 grain weight (TGW), grain yield, grain moisture content, hectoliter weight, and irrigation water productivity (WP) were measured during growing seasons and after harvest.

**Results:** Drought stress had significant impact on all phenological characteristics of maize inbred lines. Under normal irrigation conditions, the mean days to tassel emergence varied from 69.2 to 80.7 days, while under drought stress this period increased to 71.7–84.7 days. Similarly, days to pollination under normal irrigation conditions ranged between 71.3 and 83.1 days, and under drought conditions, this period extended from 75.1 to 88.9 days. Line 10 showed the shortest duration days to pollination, while line 19 had the longest. Drought stress significantly reduced plant height, TGW, GPP, and hectoliter weight. Under normal irrigation, line 19 and 2 had the highest and lowest TGW (431 and 237 g, respectively). However, under drought stress conditions, line 36 had the highest TGW (349 g), and line 12 the lowest (190 g). Line 35 produced the highest grain yield with 10530 kg.ha<sup>-1</sup> under normal irrigation and 7222 kg.ha<sup>-1</sup> under drought stress. This line also had the highest WP under normal irrigation conditions (1.75 kg.m<sup>-3</sup>) and under drought stress (1.16 kg.m<sup>-3</sup>).

**Conclusion:** The results of this experiment demonstrate that the responses of maize inbred lines to normal irrigation and drought stress conditions were complex and multidimensional. The observed delays in flowering stages under drought stress, along with significant reductions in TGW, GPP, and WP, indicated the negative impact of water deficit on growth and reproductive processes in maize inbred lines. However, the considerable genetic variation among the evaluated inbred lines provides a solid foundation for selecting and incorporating desirable genes, such as high grain yield and enhanced drought tolerance, in breeding programs. Inbred lines 35, 27, 6, 31, 15, 24, 32, 33, and 28 were identified as the promising lines under drought stress, while inbred lines 35, 6, 32, 31, 15, and 33 were deemed suitable under normal irrigation conditions. Overall, inbred line 35 performed superior for both grain yield and water productivity under both conditions, and could be utilized for development of drought-tolerant hybrids in maize breeding programs.

**Key words:** Drought stress, Grain yield, Maize, Water productivity and 1000 grain weight

Received: January, 2025

Accepted: July, 2025

1. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (Corresponding author, ✉ ali\_mahrokh229@yahoo.com)

2. Associate Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

4. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

## مقدمه

تنش‌های محیطی، به ویژه تنش خشکی، از مهم‌ترین عوامل کاهنده عملکرد دانه ذرت در ایران و سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شوند (Mahrokh et al., 2021). ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان غلاتی جهان است که در تغذیه جمعیت رو به رشد جهان و تامین امنیت غذایی نقش حیاتی دارد. ذرت به دلیل حساسیت زیاد به تنش‌های محیطی، به ویژه خشکی، در شرایط کاهش مقدار و دفعات آبیاری عملکرد و کیفیت محصول آن کاهش می‌یابد (Golzardi et al., 2017). گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش ۱۷ درصد عملکرد جهانی ذرت دانه‌ای می‌شود و در شرایط کم‌آبی شدید این مقدار به بیش از ۷۰ درصد هم می‌رسد (Sallah et al., 2002;). با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک، کم‌آبی یکی از اصلی‌ترین عوامل محدود کننده تولید و موانع توسعه ذرت محسوب می‌شود (Mahrokh et al., 2021). بنابراین، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد مناسب در شرایط تنش، از اهمیت بالایی در برنامه‌های به‌نژادی برخوردار است (Mahrokh et al., 2023a).

خشکی اثرات متعددی بر فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه ذرت دارد. کاهش پتانسیل آب خاک باعث کاهش محتوای آب نسبی برگ و افزایش مقاومت روزه‌ای می‌شود که این موضوع باعث کاهش جذب دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود (Lawlor, 2002). کم‌آبی باعث تخریب غشاهای سلولی و افزایش نفوذپذیری یون‌ها در اثر افزایش حلالیت و پراکسیداسیون چربی‌های غشای سلولی می‌شود (Saneoka et al., 2004). این تغییرات باعث اختلال در ساختار و عملکرد غشای سلولی و کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند. تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ، کاهش رشد ساقه و ریشه، کاهش کارایی مصرف آب (Farooq et al., 2009)، محدودیت

فعالیت‌های متابولیکی (Lawlor and Cornic, 2002)، بازدارندگی فعالیت‌های آنزیمی (Ashraf et al., 1995)، عدم تعادل یونی و اختلال در تجمع مواد محلول (Khan et al., 1999) می‌شود. در پاسخ به این چالش‌ها، شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش‌های محیطی، به ویژه تنش خشکی، عملکرد مناسبی داشته باشند، همواره یکی از موضوعات کلیدی در برنامه‌های به‌نژادی ذرت مورد نظر بوده است. شناسایی و انتخاب لاین‌های والدینی با تحمل نسبی بیشتر به خشکی، احتمال ایجاد ترکیب‌هایی با تحمل بالاتر را در نسل‌های بعدی افزایش می‌دهد (Banziger et al., 2000). این موضوع علاوه بر بهبود عملکرد در شرایط تنش می‌تواند به کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی نیز کمک کند.

هدف از این تحقیق، ارزیابی لاین‌های در حال خلوص ذرت در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل خشکی برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی آینده بوده است. در این تحقیق هدف ارزیابی لاین‌های ذرت در مرحله S4-S5، برای ایجاد هیبریدهای متحمل تر به خشکی بوده است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی به مدت دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج اجرا شد. آزمایش به صورت طرح آلفا لایس  $6 \times 7$  با دو تکرار و شش بلوک ناقص در هر تکرار و هفت لاین در هر بلوک ناقص اجرا شد. مواد گیاهی مورد ارزیابی شامل ۳۴ لاین در حال خلوص ذرت (در مرحله S4-S5) دریافتی از اقلیم گرم و خشک کشور همراه با شش لاین خالص مناطق معتدله و دو لاین شاهد ( $MO_{17}$  و  $B_{73}$ ) بودند (جدول ۱). ویژگی‌های خاک مزرعه محل اجرای آزمایش در جدول ۲ و اطلاعات آب‌وهوایی در جدول ۳ ارائه شده است. در تیمار آبیاری کامل،

منظور دستیابی به تراکم دقیق، در هر حفره دو بذر کاشته شده و در مرحله ۲ تا ۳ برگی (BBCH 12-13) تنک بوته های اضافی انجام شد تا تراکم ۸۳ هزار بوته در هکتار حاصل شود. برای کنترل علف های هرز، علف کش ارادیکان (ای پی تی سی + ایمن کننده دی کلرامید) به میزان پنج لیتر در هکتار به صورت پیش کاشت به خاک داده شده و مخلوط شد. در مرحله ۳ تا ۴ برگی، علف کش یو ۴۶ کمبی فلوئید (توفوردی + ام سی پی آ) به میزان یک لیتر در هکتار محلول پاشی شد.

آبیاری پس از ۵۰ میلی متر تبخیر تجمعی از سطح تشک تبخیر کلاس A و در تیمار تنش خشکی، آبیاری پس از ۹۰ میلی متر تبخیر انجام شد (حد آستانه تنش خشکی برای لاین های ذرت ۵۵ تا ۶۰ میلی متر تبخیر است) (Sharifnasab et al., 2022). آبیاری به صورت قطره ای نواری با فاصله بین قطره چکان ۲۰ سانتی متر، قطر لوله ۲۲ میلی متر و دبی آب ۰/۷ لیتر بر ساعت اجرا شد. هر کرت آزمایشی شامل دو ردیف کاشت به طول شش متر فاصله بین ردیف ها ۷۵ سانتی متر و فاصله بین بوته ها روی ردیف ۱۶ سانتی متر در نظر گرفته شد. به

#### جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ های ذرت مورد ارزیابی

Table 1. Maize genotypes characteristics used in the experiment

| شماره<br>Number | لاین های ذرت<br>Maize lines | شماره<br>Number | لاین های ذرت<br>Maize lines |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1               | 25/1-1-1-1                  | 22              | 25/18-3-1-1                 |
| 2               | 25/1-2-1-1                  | 23              | 35/1-1-1-1                  |
| 3               | 25/1-2-2-1                  | 24              | 35/2-1-1-1                  |
| 4               | 25/1-3-1-1                  | 25              | 35/2-2-1-1                  |
| 5               | 25/1-5-1-1                  | 26              | 35/10-1-1-1                 |
| 6               | 25/1-6-1-1                  | 27              | 35/16-3-1-1                 |
| 7               | 25/1-6-2-1                  | 28              | Maternal line of Karoun1    |
| 8               | 25/1-8-1-1                  | 29              | Maternal line of Karoun2    |
| 9               | 25/2-1-1-1                  | 30              | Maternal line of Karoun3    |
| 10              | 25/2-2-1-1                  | 31              | Paternal line of Mobin      |
| 11              | 25/3-1-1-1                  | 32              | Paternal line of Daniyal    |
| 12              | 25/4-2-1-1                  | 33              | Maternal line of 607        |
| 13              | 25/5-2-1-1                  | 34              | Maternal line of 608        |
| 14              | 25/5-3-1-1                  | 35              | K3541/4                     |
| 15              | 25/6-3-1-1                  | 36              | K19                         |
| 16              | 25/8-1-1-1                  | 37              | MO17                        |
| 17              | 25/10-2-1-1                 | 38              | B73                         |
| 18              | 25/11-2-1-1                 | 39              | K47/221                     |
| 19              | 25/12-2-1-1                 | 40              | K47/421                     |
| 20              | 25/14-1-1-1                 | 41              | K47/3                       |
| 21              | 25/14-2-1-1                 | 42              | K18                         |

لاین های ۱ تا ۳۴: در حال خلوص، لاین های ۳۵ تا ۴۲: خالص و لاین های ۳۷ و ۳۸: شاهد هستند. کلیه لاین های ذرت متعلق به گروه دیررس هستند

Lines 1 to 34: in the process of purification, lines 35 to 42: pure, and lines 37 and 38: checks. All maize lines are late-maturity group

#### جدول ۲- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در محل اجرای آزمایش

Table 2. Physico-chemical properties of soil at the experiment site

| بافت خاک<br>Soil texture | سیلت<br>Silt       | رسی<br>Clay | شن<br>Sand | فسفر<br>P              | پتاسیم<br>K | نیترژن کل<br>Total N (%) | هدایت الکتریکی<br>EC (dS.m <sup>-1</sup> ) | واکنش گل اشباع<br>pH |
|--------------------------|--------------------|-------------|------------|------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------------------------|----------------------|
|                          | Silt Clay Sand (%) |             |            | (mg.kg <sup>-1</sup> ) |             |                          |                                            |                      |
| لوم-رسی<br>Clay-loam     | 36                 | 33          | 31         | 247                    | 11          | 0.06                     | 2.1                                        | 7.3                  |

جدول ۳- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش

Table 3. Meteorological information of the experiment site

| Month | ماه      | میانگین دما<br>Mean temperature (°C) |      | بارندگی<br>Precipitation (mm) |      |
|-------|----------|--------------------------------------|------|-------------------------------|------|
|       |          | ۱۴۰۱                                 | ۱۴۰۲ | ۱۴۰۱                          | ۱۴۰۲ |
|       |          | 2022                                 | 2023 | 2022                          | 2023 |
| May   | اردیبهشت | 15.5                                 | 16.7 | 47                            | 26   |
| Jun.  | خرداد    | 22.8                                 | 24.5 | 2                             | 8    |
| Jul.  | تیر      | 25.4                                 | 27.8 | 0                             | 0    |
| Aug.  | مرداد    | 25.1                                 | 27.4 | 0                             | 0    |
| Sep.  | شهریور   | 21.8                                 | 21.9 | 0                             | 0    |

مخصوص ظاهری خاک،  $\theta_{F.C}$  رطوبت جرمی خاک در ظرفیت زراعی،  $\theta_m$  رطوبت جرمی خاک قبل از آبیاری،  $D$  عمق موثر ریشه و  $A$  مساحت کرت هستند. مقدار آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل و تنش خشکی در سال ۱۴۰۱ به ترتیب ۷۱۸۲ و ۴۸۶۷ مترمکعب در هکتار بود، که با توجه به افزایش میانگین دما و کاهش بارش در سال دوم (جدول ۳)، در سال ۱۴۰۲ به ترتیب به ۷۴۱۲ و ۵۰۹۷ مترمکعب در هکتار افزایش یافت.

در پایان فصل، صفات مهم زراعی شامل تعداد روز تا ظهور گل تاجی، تعداد روز تا گرده افشانی، تعداد روز تا ظهور ابریشم، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، رطوبت دانه و وزن هکتولتر اندازه گیری شدند. صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد در ده بوته تصادفی از هر کرت اندازه گیری شدند. در مرحله رسیدگی، عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد و با برداشت بلال های شش مترمربع از هر کرت محاسبه و وزن هزار دانه نیز اندازه گیری شد. وزن حجمی دانه (وزن هکتولتر) با اندازه گیری وزن یک لیتر نمونه از دانه ها تعیین شد. بهره وری آب با تقسیم عملکرد دانه بر مجموع آب آبیاری مصرفی در طول دوره رشد محاسبه شد (Golzardi et al., 2017). تجزیه واریانس مرکب داده ها با استفاده از رویه PROC MIXED نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها با آزمون توکی در

در زمان کاشت ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره) به خاک داده شد. با توجه به محتوی پتاسیم قابل جذب در خاک (جدول ۲)، کود پتاسیم مصرف نشد. در مراحل ۶ تا ۸ برگی (BBCH 16-18) و ظهور گل های تاجی (BBCH 51) نیز ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره) به صورت سرک استفاده شد. تاریخ کاشت در هر دو سال، ۲۰ اردیبهشت بود. تنش خشکی پس از استقرار بوته ها و در مرحله ۴ تا ۶ برگی (BBCH 14-16) اعمال شده و تا پایان فصل رشد ادامه یافت. برای تعیین زمان آبیاری، عدد سطح آب تشتک به صورت روزانه راس ساعت ۹ صبح قرائت شد. برای تعیین حجم آب مصرفی در هر نوبت، قبل از آبیاری نمونه برداری از خاک کرت های هر دو محیط تا عمق توسعه ریشه انجام و رطوبت وزنی خاک تعیین شد. درصد رطوبت وزنی خاک با خشکاندن نمونه های خاک در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد. عمق توسعه موثر ریشه در مراحل انتهایی نمونه برداری ۳۵ سانتی متر بود. حجم آب آبیاری در هر نوبت با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد (Ghalkhani et al., 2023). مقدار آب آبیاری با استفاده از کنتور که در ابتدای فلکه اصلی قرار داده شد، کنترل شد.

$$V = pb (\theta_{F.C} - \theta_m) \times D \times A \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله،  $V$  حجم آب آبیاری،  $pb$  جرم

سطح احتمال پنج درصد انجام شد. با توجه به معنی‌دار نبودن برهمکنش سال و ژنوتیپ و همچنین سال و آبیاری و ژنوتیپ برای کلیه صفات مورد بررسی، میانگین دوساله صفات گزارش شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، تیمارهای آبیاری و ژنوتیپ بر کلیه مراحل فنولوژیک ژنوتیپ‌های ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تعداد روز از کاشت تا ظهور گل تاجی در سال اول و دوم به ترتیب ۷۹/۶ و ۷۵/۰ روز، روز تا گرده‌افشانی به ترتیب ۸۲/۳ و ۷۷/۳ روز، روز تا ظهور ابریشم به ترتیب ۸۶/۲ و ۸۰/۸ روز و گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم به ترتیب ۳/۹ و ۳/۵ روز بودند که این موضوع می‌تواند با بالاتر بودن میانگین دمای هوا در سال دوم (جدول ۳) و تسریع تامین نیاز دمایی گیاه و کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی بوته‌ها مرتبط باشد (Golzardi et al., 2017). کمترین تعداد روز تا ظهور گل تاجی با میانگین ۷۰/۵ روز مربوط به ژنوتیپ ۱۰ بود که با ژنوتیپ‌های ۹ و ۳۹ تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین تعداد روز تا ظهور گل تاجی با میانگین ۸۲/۷ روز مربوط به ژنوتیپ ۱۹ بود که با ژنوتیپ‌های ۸، ۲۱، ۲۳، ۲۶، ۳۳، ۳۴ و ۳۶ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). میانگین روز تا ظهور گل تاجی در تیمار آبیاری کامل در دامنه ۶۹/۲ روز (ژنوتیپ ۱۰) تا ۸۰/۷ روز (ژنوتیپ ۱۹) متغیر بود. در تیمار تنش خشکی این مقدار در دامنه ۷۱/۷ روز (ژنوتیپ ۱۰) تا ۸۴/۷ روز (ژنوتیپ ۱۹) قرار داشت. این تاخیر در ظهور گل تاجی در اثر تنش خشکی در اکثر ژنوتیپ‌های ذرت مشاهده شد (جدول ۴). ساه و همکاران (Sah et al., 2020) در آزمایش روی لاین‌های ذرت گزارش کردند که دامنه روز تا ظهور گل تاجی در لاین‌های حساس به خشکی در تیمار آبیاری کامل بین ۷۷ تا ۸۶ روز بود که در تیمار تنش به ۸۴ تا ۹۵ روز

رسید. در لاین‌های متحمل به خشکی نیز دامنه روز تا ظهور گل تاجی در تیمار آبیاری کامل بین ۷۴ تا ۸۵ روز بود که در تیمار تنش به ۸۴ تا ۸۹ روز رسید. بیشترین مقدار تاخیر در ظهور گل تاجی در تیمار تنش خشکی در ژنوتیپ ۱ با افزایش ۵/۳ روز (هفت درصد) نسبت به آبیاری کامل ثبت شد. ژنوتیپ‌های ۲۴، ۳۵، ۲۷ و ۳۱ در تیمار تنش خشکی نسبت به آبیاری کامل زودتر به گل رفتند (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که برخی از لاین‌ها تحمل بیشتری نسبت به تاخیر در گل‌دهی در شرایط کم‌آبی دارند و می‌توان از آنها به‌عنوان منابع ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد (Danilevskaya et al., 2019; Sah et al., 2020). بیشترین و کمترین تعداد روز تا ظهور گل تاجی به ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۱۰ ثبت شد (جدول ۴). کمترین تعداد روز تا گرده‌افشانی با میانگین ۷۳/۲ روز مربوط به ژنوتیپ ۱۰ بود که با ژنوتیپ‌های ۹ و ۳۹ تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین تعداد روز تا گرده‌افشانی با میانگین ۸۶ روز مربوط به ژنوتیپ ۱۹ بود که با ژنوتیپ‌های ۸، ۲۱، ۳۳ و ۴۱ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). میانگین تعداد روز تا گرده‌افشانی در تیمار آبیاری کامل در دامنه ۷۱/۳ تا ۸۳/۱ روز و در شرایط تنش خشکی در دامنه ۷۵/۱ تا ۸۸/۹ روز متغیر بود. بیشترین تاخیر در گرده‌افشانی در تیمار تنش خشکی (بیش از پنج روز) در ژنوتیپ‌های ۱، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ مشاهده شد که نشان دهنده حساسیت بالای آنها به تنش خشکی است. در مقابل، ژنوتیپ‌های ۲۴، ۳۵ و ۲۷ در تیمار تنش خشکی زودتر از آبیاری کامل به مرحله گرده‌افشانی رسیدند (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ‌هایی که کمترین افزایش در تعداد روز تا ظهور گل تاجی و گرده‌افشانی را در تیمار تنش خشکی داشتند، نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر هستند و ژنوتیپ‌هایی که بیشترین افزایش را در هر دو صفت داشتند، احتمالاً نسبت به تنش خشکی حساس‌تر هستند. تنش خشکی بر تاخیر در ظهور گل تاجی و گرده‌افشانی

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فنولوژیک ژنوتیپ‌های ذرت در تیمارهای آبیاری (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 4. Mean comparison of phonological traits of maize genotypes in irrigation treatments (2022 and 2023)

| ژنوتیپ‌های ذرت<br>Maize genotypes | روز تا ظهور گل تاجی<br>Days to tassel emergence |            |         |           | روز تا گرده‌افشانی<br>Days to anthesis |            |         |           |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|------------|---------|-----------|----------------------------------------|------------|---------|-----------|
|                                   | Mean                                            | Full       | Drought | Variation | Mean                                   | Full       | Drought | Variation |
|                                   |                                                 | irrigation | stress  | (%)       |                                        | irrigation | stress  | (%)       |
| 1                                 | 78.2c-l                                         | 75.5b-d    | 80.9g-j | 7.0       | 80.5e-m                                | 77.7b-d    | 83.2f-i | 7.2%      |
| 2                                 | 77.0b-j                                         | 75.8b-d    | 78.1c-h | 2.9       | 80.0c-m                                | 78.7b-d    | 81.2b-h | 3.2       |
| 3                                 | 76.5b-j                                         | 76.0b-d    | 76.9a-h | 1.1       | 79.0b-k                                | 78.7b-d    | 79.3a-i | 0.8       |
| 4                                 | 75.9b-h                                         | 75.2b-d    | 76.7a-i | 2.0       | 78.5b-g                                | 77.4b-d    | 79.5a-g | 2.7       |
| 5                                 | 76.8b-j                                         | 76.2b-d    | 77.3c-h | 1.4       | 78.9b-i                                | 78.1b-d    | 79.7a-g | 2.0       |
| 6                                 | 75.3b-g                                         | 74.4a-c    | 76.2a-g | 2.4       | 77.8bce                                | 76.6a-c    | 79.0a-i | 3.1       |
| 7                                 | 76.0b-h                                         | 75.6b-d    | 76.4a-g | 1.1       | 78.6b-h                                | 77.9b-d    | 79.3a-i | 1.8       |
| 8                                 | 79.8d-m                                         | 78.6c-e    | 80.9g-j | 2.9       | 82.4i-n                                | 82.1cd     | 82.7c-h | 0.8       |
| 9                                 | 73.9ab                                          | 72.8ab     | 75.0a-c | 3.0       | 75.7ab                                 | 74.5ab     | 76.8a-d | 3.2       |
| 10                                | 70.5a                                           | 69.2a      | 71.7a   | 3.7       | 73.2a                                  | 71.3a      | 75.1a   | 5.3       |
| 11                                | 75.4b-k                                         | 74.7a-c    | 76.1a-g | 2.0       | 77.8b-e                                | 77.2bc     | 78.4a-f | 1.6       |
| 12                                | 75.7b-f                                         | 74.9bc     | 76.6a-g | 2.2       | 78.5b-g                                | 77.6b-d    | 79.4a-g | 2.4       |
| 13                                | 76.1b-j                                         | 75.7b-d    | 76.6a-h | 1.3       | 78.6b-h                                | 77.5b-d    | 79.7a-g | 2.9       |
| 14                                | 76.9b-j                                         | 75.9b-d    | 77.8c-h | 2.5       | 79.7c-m                                | 79.0b-d    | 80.3a-h | 1.7       |
| 15                                | 77.9c-l                                         | 77.3b-d    | 78.4c-h | 1.5       | 80.9e-m                                | 79.9b-d    | 81.8b-h | 2.3       |
| 16                                | 77.6c-l                                         | 77.1b-d    | 78.2c-h | 1.4       | 79.9c-m                                | 79.1b-d    | 80.7a-h | 2.0       |
| 17                                | 77.7c-l                                         | 76.8b-d    | 78.5c-h | 2.3       | 81.1e-m                                | 80.1cd     | 82.2c-h | 2.6       |
| 18                                | 76.2b-j                                         | 74.7bc     | 77.7c-h | 4.0       | 78.3b-g                                | 76.7a-c    | 79.9a-h | 4.1       |
| 19                                | 82.7m                                           | 80.7e      | 84.7j   | 5.0       | 86.0n                                  | 83.1d      | 88.9j   | 7.1       |
| 20                                | 77.8c-l                                         | 75.5b-d    | 80.2c-j | 6.2       | 80.2e-m                                | 77.5b-d    | 83.0c-h | 7.0       |
| 21                                | 80.6lm                                          | 78.8c-e    | 82.3f-j | 4.4       | 82.7kn                                 | 79.9b-d    | 85.4h-j | 6.9       |
| 22                                | 76.7b-j                                         | 75.3b-d    | 78.2c-h | 3.8       | 79.3b-l                                | 77.3bc     | 81.4b-h | 5.4       |
| 23                                | 79.7j-m                                         | 77.2b-d    | 82.1h-j | 6.3       | 81.8g-m                                | 79.3b-d    | 84.3g-j | 6.3       |
| 24                                | 79.0e-l                                         | 79.5cd     | 78.5c-h | -1.2      | 81.1e-m                                | 81.7cd     | 80.5a-h | -1.5      |
| 25                                | 78.8f-l                                         | 77.7b-d    | 79.9c-j | 2.8       | 81.1e-m                                | 79.9b-d    | 82.3c-h | 3.1       |
| 26                                | 79.1f-m                                         | 77.6b-d    | 80.6g-j | 3.9       | 81.5e-m                                | 79.2b-d    | 83.8f-j | 5.7       |
| 27                                | 74.9bc                                          | 75.1bc     | 74.7a-c | -0.5      | 77.1b-f                                | 77.2bc     | 77.0a-e | -0.2      |
| 28                                | 76.4b-j                                         | 75.7b-d    | 77.1a-h | 1.8       | 78.4b-g                                | 77.6b-d    | 79.1a-i | 2.0       |
| 29                                | 75.4b-k                                         | 74.7bc     | 76.0a-g | 1.8       | 77.6b-j                                | 76.9a-c    | 78.3a-f | 1.8       |
| 30                                | 76.6b-j                                         | 76.0b-d    | 77.2a-h | 1.6       | 79.0b-l                                | 78.1b-d    | 80.0a-h | 2.3       |
| 31                                | 77.1b-l                                         | 77.2b-d    | 76.9a-h | -0.4      | 79.4c-m                                | 79.4b-d    | 79.4a-g | 0.1       |
| 32                                | 77.8c-l                                         | 75.7b-d    | 79.9c-j | 5.6       | 80.4e-m                                | 78.0b-d    | 82.9c-h | 6.3       |
| 33                                | 80.1e-m                                         | 78.9cd     | 81.3g-j | 3.1       | 83.1mn                                 | 81.1cd     | 85.0g-j | 4.8       |
| 34                                | 80.2i-m                                         | 78.1b-d    | 82.2e-j | 5.3       | 82.3d-m                                | 80.0b-d    | 84.6g-j | 5.7       |
| 35                                | 75.3b-g                                         | 75.7b-d    | 74.8a-c | -1.1      | 77.8b-j                                | 78.0b-d    | 77.5a-c | -0.6      |
| 36                                | 79.4h-m                                         | 78.2b-d    | 80.6g-j | 3.1       | 82.3h-m                                | 81.3cd     | 83.3f-j | 2.4       |
| 37                                | 77.2b-l                                         | 76.0b-d    | 78.4c-h | 3.3       | 79.3b-l                                | 78.4b-d    | 80.2a-h | 2.3       |
| 38                                | 78.9f-l                                         | 78.7c-e    | 79.1c-h | 0.6       | 81.8g-m                                | 81.7cd     | 81.9b-h | 0.2       |
| 39                                | 73.7ab                                          | 73.4a-e    | 74.0a-d | 0.9       | 76.5a-c                                | 76.4a-c    | 76.5ab  | 0.2       |
| 40                                | 78.8f-l                                         | 77.3b-d    | 80.2b-j | 3.7       | 81.5g-m                                | 80.3cd     | 82.8c-h | 3.2       |
| 41                                | 78.4c-l                                         | 78.0b-d    | 78.8c-h | 1.1       | 82.6l-n                                | 82.0cd     | 83.3f-i | 1.6       |
| 42                                | 78.9f-l                                         | 77.7b-d    | 80.1c-j | 3.1       | 80.6e-m                                | 78.8b-d    | 82.5c-h | 4.7       |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels, using Tukey's test

اثر مستقیم داشت که این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش توان فیزیولوژیکی و تنظیم هورمونی مرتبط با رشد زایشی گیاه در شرایط تنش باشد. تاخیر در ظهور گل تاجی و گرده‌افشانی در شرایط تنش خشکی در برخی ارقام ذرت، احتمالاً نوعی سازگاری با شرایط نامساعد کم‌آبی است (Golzardi et al., 2017). گزارش شده است که ممکن است در برخی از ارقام ذرت برای هماهنگی با وضعیت آبی و دوره‌های آبیاری طولانی‌تر، مراحل رشد با تاخیر مواجه شود (Sah et al., 2020). بیشترین و کمترین تعداد روز تا گرده‌افشانی به ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۱۰ ثبت شد (جدول ۴).

کمترین تعداد روز تا ظهور ابریشم با میانگین ۷۶/۶ روز مربوط به ژنوتیپ ۱۰ بود که با ژنوتیپ‌های ۵، ۹، ۱۱، ۱۳، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۵ و ۳۹ تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین تعداد روز تا ظهور ابریشم با میانگین ۸۹/۹ روز مربوط به ژنوتیپ ۱۹ بود هر چند با ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۱۷، ۲۰، ۲۱، ۲۵، ۲۶، ۳۳، ۳۴، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۴۰ و ۴۱ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). به‌طور کلی، ژنوتیپ‌های ذرت در تیمار تنش خشکی تاخیر معنی‌داری در ظهور ابریشم داشتند. احتمالاً این تاخیر با کاهش تقسیم و رشد سلول در شرایط کم‌آبی مرتبط است که بر سرعت رشد ابریشم تاثیر می‌گذارد (Danilevskaya et al., 2019). میانگین تعداد روز تا ظهور ابریشم در تیمار آبیاری کامل در دامنه ۷۴/۳ تا ۸۵/۹ روز بود. این مقدار در تیمار تنش خشکی در دامنه ۷۸/۷ تا ۹۳/۹ روز قرار داشت. ساه و همکاران (Sah et al., 2020) نیز گزارش کردند که دامنه تعداد روز تا ظهور ابریشم لاین‌های ذرت در تیمار آبیاری کامل ۸۲ تا ۹۱ روز بود که در شرایط تنش به ۹۲ تا ۱۰۳ روز رسید. در لاین‌های متحمل به خشکی نیز دامنه تعداد روز تا ظهور ابریشم در تیمار آبیاری کامل ۷۸ تا ۸۸ روز بود که در شرایط تنش به ۹۳ تا ۹۷ روز رسید. در یک آزمایش، مقدار

دمای تجمعی لازم برای رسیدن به مرحله ظهور ابریشم در اینبرد لاین B73 ذرت در تیمار آبیاری کامل ۷۱۶ واحد بود و در شرایط تنش خشکی به ۷۵۱ واحد افزایش یافته و باعث تاخیر در ظهور ابریشم شد (Danilevskaya et al., 2019). بیشترین تاخیر در ظهور ابریشم در تیمار تنش خشکی (هشت روز) در ژنوتیپ ۱۹ و پس از آن در ژنوتیپ‌های ۲۰ و ۲۱ (۹/۲ درصد افزایش) مشاهده شد که نشان دهنده حساسیت بالای آنها به شرایط کم‌آبی است. ژنوتیپ‌های ۷ و ۳۵ در تیمار تنش خشکی زودتر از شرایط آبیاری کامل به مرحله ظهور ابریشم رسیدند، که این موضوع می‌تواند نشان دهنده پتانسیل بالای آنها در شرایط تنش خشکی باشد. بیشترین و کمترین تعداد روز تا ظهور ابریشم به ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۱۰ ثبت شد (جدول ۵). گزارش شده است که در لاین‌های حساس به خشکی ذرت، تنش خشکی قبل از ظهور گل تاجی باعث تاخیر دو هفته‌ای در ظهور گل تاجی و ابریشم شده و عملکرد دانه تا ۹۰ درصد کاهش یافت (Kim and Lee, 2023). کمترین فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم (دو روز) مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۲۸ بود که با ژنوتیپ‌های ۲ تا ۱۲، ۱۴ تا ۱۸، ۲۱ تا ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۹ تا ۳۶ و ۳۸ تا ۴۱ در گروه آماری مشابهی قرار داشتند (جدول ۵). بیشترین فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم (۷/۱ روز) مربوط به ژنوتیپ ۳۷ بود که با ژنوتیپ‌های ۱، ۹، ۱۴، ۱۷، ۱۹ تا ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۴۰ و ۴۲ تفاوت معنی‌داری نداشت. فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی تحمل خشکی در ذرت محسوب می‌شود، زیرا افزایش این فاصله معمولاً با کاهش میزان باروری و در نتیجه کاهش عملکرد دانه همراه است (Danilevskaya et al., 2019). در آزمایش حاضر، افزایش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم در بسیاری از ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی مشاهده شد. بیشترین فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم



در تیمار تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ ۳۷ (۷/۵ روز) و پس از آن ژنوتیپ‌های ۲۰ و ۴۲ (به ترتیب ۷/۳ و ۷/۰ روز) بود. این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی دچار اختلال در هم‌زمانی ظهور گل‌های نر و ماده شده و احتمالاً در شرایط کم‌آبی، میزان باروری پایین‌تری خواهند داشت (Golzardi et al., 2017). در یک آزمایش، تنش خشکی باعث افزایش فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم لاین‌های حساس به خشکی ذرت از پنج روز در شرایط آبیاری کامل به ۹/۵ روز در شرایط تنش و افزایش فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم لاین‌های متحمل به خشکی از چهار روز در شرایط آبیاری کامل تا ۸ روز در شرایط تنش شد (Sah et al., 2020). دانیلوسکایا و همکاران (Danilevskaya et al., 2019) نیز گزارش کردند که کم‌آبی باعث افزایش فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم در اینبرد لاین B73 ذرت از ۱/۶ روز در شرایط آبیاری کامل به ۴/۸ روز در شرایط تنش خشکی شد. ژنوتیپ ۲۸ کمترین فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم را در تیمار تنش خشکی داشت که می‌تواند به عنوان یک ویژگی مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی مورد توجه قرار گیرد (جدول ۵). کاهش فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم، نشان دهنده کارایی بیشتر ژنوتیپ در هم‌زمانی ظهور گل‌های نر و ماده در شرایط تنش خشکی است که می‌تواند باعث افزایش باروری و عملکرد دانه شود (Kim and Lee, 2023). در تیمار آبیاری کامل نیز بیشترین فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم (۶/۸ روز) در ژنوتیپ‌های ۱ و ۳۷ و کمترین مقدار آن (۱/۳ روز) در ژنوتیپ ۱۳ مشاهده شد (جدول ۵). تنش رطوبتی با خشک شدن زود هنگام ابریشم‌ها، باعث جلوگیری از جذب موفقیت‌آمیز دانه‌های

گرده می‌شود. رشد گل تاجی در اثر کم‌آبی به تأخیر افتاده و باعث کاهش هم‌زمانی با ظهور ابریشم می‌شود (Du and Xiong, 2024). این عدم هم‌زمانی عامل اصلی کاهش باروری و افت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی است. شناسایی این صفات و سازوکارهای مرتبط با تحمل خشکی، نقش مهمی در برنامه‌های به‌نژادی ذرت دارند (Liu et al., 2021). به‌طور کلی، تأخیر در ظهور گل تاجی، گرده‌افشانی و ظهور ابریشم در لاین‌های ذرت در شرایط تنش خشکی می‌تواند با کاهش تقسیم و رشد سلول‌ها در اندام‌های تولی مثلی (Kim and Lee, 2023)، تجمع آسبیزیک اسید و اثر مهارکننده آن بر رشد گل تاجی و ابریشم (Jiang et al., 2025) و کاهش نرخ فتوسنتز و به دنبال آن کاهش تجمع ساکارز در بافت‌های تولیدمثلی در شرایط کم‌آبی (Li et al., 2023; Jiang et al., 2025) مرتبط باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های ذرت از نظر ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته تفاوت معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) با یکدیگر داشتند، اما از نظر طول و قطر بلال تفاوت معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. اثر سال و برهمکنش ژنوتیپ و آبیاری بر ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ارتفاع بوته در سال اول و دوم به ترتیب ۱۴۵ و ۱۳۲ سانتی‌متر و تعداد برگ در بوته به ترتیب ۱۲/۳ و ۱۱/۶ عدد بود که علت آن می‌تواند با بالاتر بودن میانگین دمای هوا در سال دوم (جدول ۳) و کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی مرتبط باشد (Golzardi et al., 2017).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فنولوژیک ژنوتیپ های ذرت در تیمارهای آبیاری (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 5. Mean comparison of phonological traits of maize genotypes in irrigation treatments (2022 and 2023)

| ژنوتیپ های ذرت<br>Maize genotypes | روز تا ظهور ابریشم<br>Days to silk emergence |            |         |      | فاصله گرده افشانی تا ظهور ابریشم<br>Days from anthesis to silking |            |        |       |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|------------|---------|------|-------------------------------------------------------------------|------------|--------|-------|
|                                   | Full Drought Variation                       |            |         |      | Full Drought Variation                                            |            |        |       |
|                                   | Mean                                         | irrigation | stress  | (%)  | Mean                                                              | irrigation | stress | (%)   |
| 1                                 | 86.0h-j                                      | 84.7bc     | 87.2d-j | 3.0  | 5.5b-d                                                            | 6.8b       | 4.3ab  | -37.0 |
| 2                                 | 83.7c-i                                      | 82.6bc     | 84.8a-h | 2.7  | 3.6a-c                                                            | 3.8ab      | 3.5ab  | -6.7  |
| 3                                 | 84.1c-i                                      | 83.4bc     | 84.9a-h | 1.8  | 5.3a-d                                                            | 5.0ab      | 5.5ab  | 10.0  |
| 4                                 | 83.3c-i                                      | 81.6ab     | 85.0a-h | 4.2  | 4.6a-d                                                            | 4.0ab      | 5.3ab  | 31.3  |
| 5                                 | 81.5a-h                                      | 80.0ab     | 83.0a-d | 3.8  | 2.8a-c                                                            | 2.0ab      | 3.5ab  | 75.0  |
| 6                                 | 82.2c-h                                      | 80.6ab     | 83.8a-h | 4.0  | 4.4a-d                                                            | 4.0ab      | 4.8ab  | 18.8  |
| 7                                 | 82.2c-h                                      | 82.4bc     | 82.0a-d | -0.5 | 3.8a-c                                                            | 4.8ab      | 2.8ab  | -42.1 |
| 8                                 | 86.1h-j                                      | 85.2bc     | 87.0d-j | 2.1  | 3.6a-c                                                            | 3.0ab      | 4.3ab  | 41.7  |
| 9                                 | 79.3a-d                                      | 78.0a-c    | 80.7a-i | 3.5  | 3.9a-d                                                            | 3.8ab      | 4.0ab  | 6.7   |
| 10                                | 76.6a                                        | 74.3a      | 78.7a   | 5.9  | 3.3a-c                                                            | 3.0ab      | 3.5ab  | 16.7  |
| 11                                | 80.0a-c                                      | 79.2ab     | 80.9a-d | 2.2  | 2.3a-b                                                            | 1.8ab      | 2.8ab  | 57.1  |
| 12                                | 81.8c-h                                      | 81.4ab     | 82.1a-d | 0.9  | 3.1a-c                                                            | 3.8ab      | 2.5ab  | -33.3 |
| 13                                | 80.6a-g                                      | 79.0ab     | 82.2a-d | 4.1  | 2.0a                                                              | 1.3a       | 2.8ab  | 120.0 |
| 14                                | 84.1c-i                                      | 82.3ab     | 85.9a-h | 4.4  | 4.4a-d                                                            | 3.3ab      | 5.5ab  | 69.2  |
| 15                                | 84.7c-i                                      | 83.6bc     | 85.7a-h | 2.6  | 3.8a-c                                                            | 3.8ab      | 3.8ab  | 0     |
| 16                                | 82.7c-i                                      | 81.9ab     | 83.4a-d | 1.9  | 2.8a-c                                                            | 2.8ab      | 2.8ab  | 0     |
| 17                                | 84.9c-j                                      | 82.9bc     | 86.9d-j | 4.9  | 3.9a-d                                                            | 3.0ab      | 4.8ab  | 58.3  |
| 18                                | 80.9a-f                                      | 78.7ab     | 83.0a-d | 5.5  | 2.6a-b                                                            | 2.0ab      | 3.3ab  | 62.5  |
| 19                                | 89.9j                                        | 85.9c      | 93.9j   | 9.2  | 4.0a-d                                                            | 3.0ab      | 5.0ab  | 66.7  |
| 20                                | 86.4h-j                                      | 82.6bc     | 90.2c-j | 9.2  | 6.0c-d                                                            | 4.8ab      | 7.3b   | 52.6  |
| 21                                | 87.6i-j                                      | 83.8bc     | 91.5h-j | 9.2  | 4.9a-d                                                            | 3.8ab      | 6.0ab  | 60.0  |
| 22                                | 83.9c-i                                      | 81.5ab     | 86.3a-j | 5.9  | 4.6a-d                                                            | 4.5ab      | 4.8ab  | 5.6   |
| 23                                | 84.6c-i                                      | 81.7ab     | 87.5d-j | 7.2  | 2.8a-c                                                            | 2.3ab      | 3.3ab  | 44.4  |
| 24                                | 84.1c-i                                      | 83.8bc     | 84.4a-h | 0.7  | 3.1a-c                                                            | 2.3ab      | 4.0ab  | 77.8  |
| 25                                | 85.1b-j                                      | 83.6bc     | 86.6a-j | 3.5  | 4.0a-d                                                            | 3.8ab      | 4.3ab  | 13.3  |
| 26                                | 86.1h-j                                      | 85.1bc     | 87.1d-j | 2.3  | 4.6a-d                                                            | 6.0ab      | 3.3ab  | -45.8 |
| 27                                | 79.6a-e                                      | 79.4ab     | 79.7a-f | 0.3  | 2.5a-b                                                            | 2.3ab      | 2.8ab  | 22.2  |
| 28                                | 80.4a-c                                      | 80.1ab     | 80.8a-d | 0.9  | 2.0a                                                              | 2.3ab      | 1.8a   | -22.2 |
| 29                                | 79.8a-c                                      | 78.8ab     | 80.8a-d | 2.6  | 2.1a                                                              | 1.8ab      | 2.5ab  | 42.9  |
| 30                                | 82.6c-i                                      | 81.2ab     | 84.0a-h | 3.5  | 3.6a-c                                                            | 3.3ab      | 4.0ab  | 23.1  |
| 31                                | 82.0c-h                                      | 80.9ab     | 83.2a-d | 2.8  | 2.8a-c                                                            | 1.8ab      | 3.8ab  | 114.3 |
| 32                                | 83.4c-i                                      | 80.5ab     | 86.3a-j | 7.2  | 2.9a-c                                                            | 2.5ab      | 3.3ab  | 30.0  |
| 33                                | 86.6h-j                                      | 84.7bc     | 88.4d-j | 4.3  | 3.6a-c                                                            | 3.8ab      | 3.5ab  | -6.7  |
| 34                                | 85.3b-j                                      | 81.7ab     | 88.8d-j | 8.6  | 3.0a-c                                                            | 1.8ab      | 4.3ab  | 142.9 |
| 35                                | 80.3a-c                                      | 80.4ab     | 80.1a-f | -0.4 | 2.5a-b                                                            | 2.3ab      | 2.8ab  | 22.2  |
| 36                                | 85.9f-j                                      | 84.7bc     | 87.1d-j | 2.8  | 3.4a-c                                                            | 3.3ab      | 3.5ab  | 7.7   |
| 37                                | 86.3h-j                                      | 84.9bc     | 87.7d-j | 3.3  | 7.1d                                                              | 6.8b       | 7.5b   | 11.1  |
| 38                                | 85.7f-j                                      | 85.3bc     | 86.0a-j | 0.9  | 3.8a-c                                                            | 3.5ab      | 4.0ab  | 14.3  |
| 39                                | 79.2a-d                                      | 78.7ab     | 79.6a-g | 1.1  | 2.9a-c                                                            | 2.5ab      | 3.3ab  | 30.0  |
| 40                                | 86.3h-j                                      | 84.5bc     | 88.0d-j | 4.2  | 4.8a-d                                                            | 4.3ab      | 5.3ab  | 23.5  |
| 41                                | 85.9f-j                                      | 85.2bc     | 86.6a-j | 1.6  | 3.3a-c                                                            | 3.0ab      | 3.5ab  | 16.7  |
| 42                                | 86.4h-j                                      | 82.9bc     | 89.8b-j | 8.3  | 5.5b-d                                                            | 4.0ab      | 7.0b   | 75.0  |

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels, using Tukey's test

بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۷۷ سانتی متر مربوط به ژنوتیپ ۳۵ بود که با ژنوتیپ‌های ۶، ۷، ۱۲، ۳۶، ۳۷ و ۴۱ تفاوت معنی داری نداشت. کمترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۰۹ سانتی متر مربوط به ژنوتیپ ۱۰ بود که تفاوت معنی داری با ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۱۹، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۲ و ۳۹ نداشت (جدول ۶). میانگین ارتفاع بوته در تیمار آبیاری کامل در دامنه ۱۱۸ تا ۱۹۲ سانتی متر و در تیمار تنش خشکی در دامنه ۱۰۱ تا ۱۶۲ سانتی متر متغیر بود. تنش خشکی در کلیه ژنوتیپ‌های ذرت مورد ارزیابی باعث کاهش ارتفاع بوته شد. بیشترین کاهش ارتفاع بوته در تیمار تنش خشکی (۲۹/۶ درصد) در ژنوتیپ ۲۳ مشاهده شد که نشان دهنده حساسیت بالای آن به کم آبی است. ژنوتیپ‌های ۳۷، ۱ و ۲۰ کمترین کاهش ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۶) نشان دهنده پایداری بیشتر آنها در شرایط تنش خشکی است. بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب در ژنوتیپ‌های ۳۵ و ۱۰ ثبت شد (جدول ۶). ارتفاع بوته یک شاخص از رشد کلی گیاه و توان رقابتی آن برای کسب منابع محسوب می‌شود (Ghalkhani *et al.*, 2023). نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داده است که در شرایط تنش خشکی، ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های ذرت نسبت به آبیاری کامل ۳ تا ۴۴ درصد کاهش داشت (Golzardi *et al.*, 2017; Danilevskaya *et al.*, 2019; Sah *et al.*, 2020). مهار بیوسنتز اسید جبرلیک در اثر کم آبی باعث کاهش طویل شدن میانگره‌ها می‌شود (Nelissen *et al.*, 2018). این مکانیسم با مهار ارتفاع بوته و اولویت‌دهی به رشد ریشه، یک راهکار موثر برای حفظ بقای گیاه در شرایط نامساعد محسوب می‌شود (Nazari *et al.*, 2017; Yan *et al.*, 2023). بیشترین تعداد برگ در بوته (۱۳/۶) مربوط به ژنوتیپ ۱۹ بود که با ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۰، ۲۱، ۳۲، ۳۳، ۳۵ و ۴۱ تفاوت معنی داری

نداشت (جدول ۶). تعداد برگ در بوته علاوه بر نقش در فتوسنتز، نشان دهنده وضعیت گیاه در مواجهه با تنش‌های محیطی است. کمترین تعداد برگ در بوته (۱۱) مربوط به ژنوتیپ‌های ۱، ۱۰، ۳۰، ۳۶ و ۳۷ بود که با سایر ژنوتیپ‌های ذرت مورد بررسی به غیر از ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲۱ و ۳۵ تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۶). بیشترین تعداد برگ در بوته در تیمار آبیاری کامل مربوط به ژنوتیپ ۱۹ (۱۴/۱ برگ) بود که در تیمار تنش خشکی به ۱۳ برگ کاهش یافت. محدوده تغییرات تعداد برگ در تیمار تنش خشکی بین ۱۵/۳+ درصد در ژنوتیپ ۲۴ تا ۱۴/۵- درصد در ژنوتیپ ۴۱ متغیر بود (جدول ۶). کمترین تعداد برگ در تیمار آبیاری کامل (۱۰/۵ برگ) در ژنوتیپ‌های ۲۴ و ۳۷ و کمترین تعداد برگ در تیمار تنش خشکی (۱۰/۷ برگ) در ژنوتیپ ۳۶ مشاهده شد. ژنوتیپ‌های ۳۵ و ۱۹ نیز با ۱۳ برگ در بوته، بیشترین تعداد برگ را در تیمار تنش خشکی داشتند (جدول ۶). نتایج سایر آزمایش‌ها نیز نشان داده است که واکنش تعداد برگ در بوته به تنش خشکی، در ژنوتیپ‌های ذرت متفاوت است، در برخی از ژنوتیپ‌ها تعداد برگ‌ها در شرایط تنش حفظ شده، در برخی پنج تا هشت درصد افزایش یافته و در برخی ۱۲ تا ۱۵ درصد کاهش نشان داده است (Kamara *et al.*, 2003; Sah *et al.*, 2020; Balbaa *et al.*, 2022). تفاوت‌ها، نشان دهنده راهکارهای متفاوت مقابله با خشکی در ژنوتیپ‌های ذرت است. در ارقام متحمل به خشکی، حفظ تعداد برگ از طریق تسریع نرخ ظهور برگ‌ها و تأخیر در پیری آنها حاصل می‌شود (Balbaa *et al.*, 2022)، در حالی که در ژنوتیپ‌های حساس، تعداد برگ در بوته از طریق عدم تشکیل برگ‌های جدید و ریزش زودرس برگ‌های قدیمی کاهش می‌یابد (Kamara *et al.*, 2003).

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک ژنوتیپ های ذرت در تیمارهای آبیاری (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 6. Mean comparison of morphological traits of maize genotypes in irrigation treatments (2022 and 2023)

| ژنوتیپ های ذرت<br>Maize genotypes | ارتفاع بوته<br>Plant height (cm) |            |                |               | تعداد برگ در بوته<br>Number of leaves.plant <sup>-1</sup> |            |                |               |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------|----------------|---------------|-----------------------------------------------------------|------------|----------------|---------------|
|                                   | Full                             |            | Drought stress | Variation (%) | Full                                                      |            | Drought stress | Variation (%) |
|                                   | Mean                             | irrigation |                |               | Mean                                                      | irrigation |                |               |
| 1                                 | 126a-g                           | 130a-d     | 121a-g         | -6.6          | 11.0a                                                     | 10.9ab     | 11.1a          | 2.1           |
| 2                                 | 129a-i                           | 144a-j     | 114a-f         | -20.6         | 11.4b-e                                                   | 11.2a-c    | 11.5a          | 2.9           |
| 3                                 | 140c-n                           | 156d-k     | 125a-g         | -19.6         | 12.3d-g                                                   | 11.9b-f    | 12.6a          | 5.5           |
| 4                                 | 144f-o                           | 156d-k     | 132a-k         | -15.3         | 11.7c-f                                                   | 11.8b-f    | 11.5a          | -2.6          |
| 5                                 | 146e-o                           | 155b-k     | 136d-k         | -12.1         | 11.5b-e                                                   | 12.0b-f    | 11.1a          | -7.8          |
| 6                                 | 165op                            | 181kl      | 150g-k         | -17.1         | 12.4d-g                                                   | 12.2b-f    | 12.5a          | 2.3           |
| 7                                 | 156l-p                           | 169g-l     | 143f-k         | -15.9         | 12.5d-g                                                   | 12.5b-f    | 12.5a          | 0.0           |
| 8                                 | 155j-o                           | 172j-l     | 138f-k         | -19.6         | 12.9b-g                                                   | 13.5c-f    | 12.3a          | -8.5          |
| 9                                 | 134b-k                           | 144a-j     | 124a-j         | -13.7         | 11.6b-e                                                   | 11.5a-e    | 11.7a          | 2.5           |
| 10                                | 109a                             | 118a       | 101a           | -14.6         | 11.0a                                                     | 11.0a-c    | 11.0a          | 0.2           |
| 11                                | 124a-f                           | 137a-g     | 110a-f         | -19.7         | 12.8c-g                                                   | 12.7b-f    | 12.8a          | 1.2           |
| 12                                | 157m-p                           | 173j-l     | 141f-k         | -18.5         | 11.5b-e                                                   | 11.8b-f    | 11.2a          | -5.2          |
| 13                                | 153k-o                           | 166c-l     | 140f-k         | -16.0         | 11.6c-f                                                   | 11.3a-e    | 12.0a          | 6.2           |
| 14                                | 144f-n                           | 157d-k     | 131a-k         | -16.6         | 12.5d-g                                                   | 12.8b-f    | 12.2a          | -5.1          |
| 15                                | 146g-o                           | 158d-k     | 134d-k         | -15.3         | 12.5d-g                                                   | 12.6b-f    | 12.4a          | -1.0          |
| 16                                | 145g-o                           | 161d-l     | 129a-k         | -20.1         | 11.6c-f                                                   | 11.8b-f    | 11.4a          | -3.0          |
| 17                                | 131b-h                           | 139a-g     | 123a-g         | -11.4         | 12.2d-g                                                   | 11.7b-f    | 12.7a          | 7.9           |
| 18                                | 133b-k                           | 143a-j     | 122a-g         | -14.6         | 12.0c-f                                                   | 11.9b-f    | 12.0a          | 0.4           |
| 19                                | 125a-g                           | 142a-j     | 108a-i         | -24.0         | 13.6g                                                     | 14.1f      | 13.0a          | -7.1          |
| 20                                | 147h-o                           | 152b-k     | 142c-k         | -6.9          | 12.6d-g                                                   | 12.8b-f    | 12.4a          | -2.8          |
| 21                                | 153k-o                           | 168g-l     | 138f-k         | -17.9         | 12.6e-g                                                   | 12.6b-f    | 12.6a          | 0.2           |
| 22                                | 119a-d                           | 131a-d     | 106a-h         | -18.7         | 11.3c-e                                                   | 10.9ab     | 11.7a          | 6.8           |
| 23                                | 125a-g                           | 147a-j     | 103a-e         | -29.6         | 11.7c-f                                                   | 12.2b-f    | 11.2a          | -8.4          |
| 24                                | 125a-g                           | 134a-e     | 116a-f         | -13.3         | 11.4b-e                                                   | 10.5a      | 12.2a          | 15.3          |
| 25                                | 147h-o                           | 166e-l     | 128a-j         | -23.0         | 11.6b-e                                                   | 12.0b-f    | 11.2a          | -7.3          |
| 26                                | 150h-o                           | 168g-l     | 133d-k         | -20.9         | 11.5b-e                                                   | 11.9b-f    | 11.1a          | -6.6          |
| 27                                | 123a-f                           | 133a-f     | 113a-f         | -15.1         | 11.6c-f                                                   | 11.6b-f    | 11.6a          | -0.2          |
| 28                                | 119a-c                           | 128a-d     | 110a-f         | -14.3%        | 11.5b-e                                                   | 11.8b-f    | 11.2a          | -5.4          |
| 29                                | 122a-c                           | 131a-f     | 113a-f         | -13.3         | 11.8c-f                                                   | 12.1b-f    | 11.6a          | -3.7          |
| 30                                | 114a-b                           | 123ab      | 104a-d         | -15.2         | 11.0a                                                     | 11.0ab     | 11.0a          | -0.6          |
| 31                                | 130a-h                           | 144a-j     | 116a-f         | -19.0         | 11.9c-f                                                   | 12.2b-f    | 11.6a          | -5.1          |
| 32                                | 119a-c                           | 134a-f     | 105a-d         | -21.5         | 12.1d-g                                                   | 11.9b-f    | 12.4a          | 3.9           |
| 33                                | 136c-m                           | 147a-j     | 125a-j         | -15.0         | 12.4d-g                                                   | 13.0a-f    | 11.8a          | -9.3          |
| 34                                | 123a-f                           | 140a-g     | 107a-h         | -23.6         | 11.6c-f                                                   | 11.0ab     | 12.3a          | 11.6          |
| 35                                | 177p                             | 192l       | 162k           | -16.0         | 13.2f-g                                                   | 13.3a-f    | 13.0a          | -2.5          |
| 36                                | 158n-p                           | 173j-l     | 143c-k         | -17.4         | 11.0a                                                     | 11.3a-e    | 10.7a          | -4.7          |
| 37                                | 160n-p                           | 163e-l     | 157jk          | -3.7          | 11.0a                                                     | 10.5a      | 11.4a          | 8.3           |
| 38                                | 154k-o                           | 177i-l     | 132a-k         | -25.6         | 12.5d-g                                                   | 12.8b-f    | 12.3a          | -3.8          |
| 39                                | 129a-i                           | 139a-g     | 118a-g         | -14.7         | 11.9c-f                                                   | 11.4a-e    | 12.4a          | 9.1           |
| 40                                | 135c-l                           | 150b-k     | 119a-g         | -20.9         | 11.9c-f                                                   | 12.2b-f    | 11.5a          | -5.5          |
| 41                                | 160n-p                           | 175h-l     | 145b-k         | -17.3         | 12.7c-g                                                   | 13.7ef     | 11.7a          | -14.5         |
| 42                                | 143f-n                           | 161d-l     | 125a-j         | -22.3%        | 11.7c-f                                                   | 11.9b-f    | 11.5a          | -3.2%         |

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels, using Tukey's test

محتوای رطوبت دانه و وزن حجمی دانه (وزن  
هکتولتر) در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود.

نتایج تجزیه و اریانس نشان داد که اثر تیمارهای  
آبیاری و ژنوتیپ بر تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه،

وزن هزار دانه در سال اول و دوم به ترتیب ۲۹۴ و ۲۸۲ گرم، تعداد دانه در بوته به ترتیب ۴۷۲ و ۴۵۸ عدد، وزن حجمی دانه به ترتیب ۷۰/۳ و ۶۷/۹ کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر و رطوبت دانه به ترتیب ۲۰/۱ و ۱۷/۳ بود که می تواند با بالاتر بودن میانگین دمای هوا در سال دوم (جدول ۳) مرتبط باشد.

بیشترین وزن هزار دانه (۳۷۵ گرم) مربوط به ژنوتیپ ۱۹ بود که با ژنوتیپ های ۴، ۶، ۹، ۱۰، ۱۵، ۱۶، ۲۶، ۳۶ و ۳۷ تفاوت معنی داری نداشت. کمترین وزن هزار دانه (۲۱۹ گرم) نیز مربوط به ژنوتیپ ۱۲ بود که با ژنوتیپ های ۱، ۲، ۳، ۵، ۱۱، ۱۷، ۲۰، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۷ تا ۲۹، ۳۴، ۳۸، ۳۹، ۴۱ و ۴۲ در گروه آماری مشابهی قرار گرفت (جدول ۷). تنش خشکی باعث کاهش وزن هزار دانه در کلیه ژنوتیپ های ذرت شد. میانگین کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری کامل حدود ۹/۱ درصد بود. بیشترین کاهش وزن هزار دانه در ژنوتیپ های ۴۲ (۳۰/۷- درصد)، ۱۹ (۲۶/۱- درصد)، ۲۹ (۲۴/۶- درصد) و ۱۲ (۲۳/۳- درصد) مشاهده شد که می تواند نشان دهنده حساسیت بالای آنها به تنش خشکی باشد. در مقابل، وزن هزار دانه ژنوتیپ هایی مانند ۲۴، ۲۸ و ۳۰ کاهش کمتری را داشتند (۱/۴- درصد) که احتمالاً نشان دهنده تحمل بیشتر آنها به شرایط کم آبی است. در تیمار آبیاری کامل، ژنوتیپ ۱۹ بالاترین وزن هزار دانه (۴۳۱ گرم) را داشت که نشان دهنده پر شدن مناسب دانه ها در شرایط فراهمی آب است. در مقابل، ژنوتیپ ۲ پایین ترین وزن هزار دانه را در تیمار آبیاری کامل داشت (۲۳۷ گرم) که نشان دهنده رشد محدود دانه، حتی در شرایط بدون تنش است. در تیمار تنش، بیشترین وزن هزار دانه مربوط به ژنوتیپ ۳۶ (۳۴۹ گرم) و کمترین مقدار آن (۱۹۰ گرم) مربوط به ژنوتیپ ۱۲ بود (جدول ۷). گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش ۸ تا ۱۷ درصد در وزن صد دانه ژنوتیپ های ذرت شد

(Al-Naggar et al., 2016). کاهش وزن هزار دانه در شرایط کم آبی می تواند با کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، اختلال در یوسنتز نشاسته و کاهش محتوی آمیلوز در دانه و کاهش ظرفیت بارگیری و انتقال شیره پرورده توسط آوند آبکش مرتبط باشد (Kamara et al., 2003; Nelissen et al., 2018; Kim and Lee, 2023; Yan et al., 2023; Gao et al., 2025).

بیشترین تعداد دانه در بوته (۵۹۷ دانه) مربوط به ژنوتیپ ۱۲ بود که با ژنوتیپ های ۳۵، ۱۳ و ۲۹ تفاوت معنی داری نداشت. کمترین تعداد دانه در بوته (۳۵۰ دانه) نیز مربوط به ژنوتیپ ۳۸ بود که با ژنوتیپ های ۱۴ و ۱۵ تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۷). با توجه به این که ژنوتیپ ۱۲ بیشترین تعداد دانه در بوته و کمترین وزن هزار دانه را داشت (جدول ۷)، به نظر می رسد که تخصیص مواد فتوسنتزی به تعداد دانه بیشتر، باعث کاهش وزن دانه آن شده باشد. بیشترین کاهش تعداد دانه در تیمار تنش خشکی در ژنوتیپ های ۱۱ (۳۸/۵- درصد)، ۲۵ (۳۶/۱- درصد)، ۳ (۳۴/۷- درصد) و ۳۵ (۳۴/۳- درصد) مشاهده شد (جدول ۷) که علت آن می تواند کاهش فتوسنتز و ضعف در گرده افشانی در شرایط کم آبی باشد. در تیمار آبیاری کامل، بیشترین تعداد دانه در بوته (۷۰۷ دانه) در ژنوتیپ ۳۵ و کمترین تعداد (۳۵۹ دانه) در ژنوتیپ ۳۸ مشاهده شد. در تیمار تنش خشکی، ژنوتیپ ۱۳ بیشترین تعداد دانه در بوته (۵۷۴ دانه) و ژنوتیپ ۲۶ کمترین تعداد (۳۲۱ دانه) را داشتند (جدول ۷). نتایج نشان داد که اگرچه تنش خشکی روی تعداد دانه در بوته اثر منفی داشت، برخی ژنوتیپ ها مانند ژنوتیپ ۱۳ توانایی بهتری در حفظ تعداد دانه داشتند. در سایر آزمایش ها نیز کاهش معنی دار تعداد دانه در بوته ذرت در شرایط کم آبی گزارش شده است که نشان دهنده حساسیت بالای این جزء عملکرد به خشکی است (Al-Naggar et al., 2016; Sah et al., 2020). کاهش تعداد دانه در بوته در شرایط کم آبی می تواند

با کاهش زنده ماننی و ناباروری دانه گرده، ناهم زمانی در  
 ظهور گل تاجی و ابریشم و کاهش باروری تخمک و  
 افزایش سقط دانه در شرایط تنش خشکی مرتبط باشد  
 (Kamara et al., 2003; Kim and Lee, 2023).

جدول ۷- مقایسه میانگین وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته ژنوتیپ های ذرت در تیمارهای آبیاری (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 7. Mean comparison of 1000 grain weight and number of grains.plant<sup>-1</sup> of maize genotypes in irrigation treatments (2022 and 2023)

| ژنوتیپ های ذرت<br>Maize genotypes | وزن هزار دانه<br>1000 grain weight (g) |            |         |           | تعداد دانه در بوته<br>Number of grain.plant <sup>-1</sup> |            |         |           |
|-----------------------------------|----------------------------------------|------------|---------|-----------|-----------------------------------------------------------|------------|---------|-----------|
|                                   | Mean                                   | Full       | Drought | Variation | Mean                                                      | Full       | Drought | Variation |
|                                   |                                        | irrigation | stress  | (%)       |                                                           | irrigation | stress  | (%)       |
| 1                                 | 231a-d                                 | 245a-e     | 217a-c  | -11.3     | 489bc                                                     | 526ab      | 452a    | -14.1     |
| 2                                 | 234a-f                                 | 237a       | 232a-d  | -2.0      | 457bc                                                     | 467ab      | 447a    | -4.5      |
| 3                                 | 253a-e                                 | 261a-g     | 245a-f  | -6.2      | 459bc                                                     | 556ab      | 363a    | -34.7     |
| 4                                 | 342k-o                                 | 346f-i     | 338fg   | -2.4      | 406bc                                                     | 430ab      | 382a    | -11.0     |
| 5                                 | 246a-e                                 | 263a-g     | 229a-d  | -13.0     | 467bc                                                     | 522ab      | 412a    | -21.2     |
| 6                                 | 341k-o                                 | 358b-i     | 324d-g  | -9.6      | 507bc                                                     | 567ab      | 446a    | -21.3     |
| 7                                 | 280a-k                                 | 294a-f     | 266a-g  | -9.6      | 383bc                                                     | 384ab      | 382a    | -0.5      |
| 8                                 | 291d-l                                 | 304a-f     | 277a-g  | -8.9      | 472bc                                                     | 534ab      | 411a    | -23.1     |
| 9                                 | 332h-o                                 | 349f-i     | 315d-g  | -9.7      | 518bc                                                     | 551ab      | 484a    | -12.2     |
| 10                                | 346l-o                                 | 354f-i     | 338fg   | -4.6      | 396bc                                                     | 448ab      | 344a    | -23.1     |
| 11                                | 252a-e                                 | 266a-g     | 237a-e  | -10.9     | 491bc                                                     | 608ab      | 374a    | -38.5     |
| 12                                | 219a                                   | 248a-c     | 190a    | -23.3     | 597d                                                      | 647ab      | 548a    | -15.2     |
| 13                                | 308b-n                                 | 339c-i     | 277a-g  | -18.2     | 575cd                                                     | 576ab      | 574a    | -0.3      |
| 14                                | 306e-n                                 | 321a-f     | 291c-g  | -9.1      | 369ab                                                     | 407ab      | 331a    | -18.8     |
| 15                                | 349l-o                                 | 365f-i     | 334fg   | -8.3      | 360ab                                                     | 374ab      | 346a    | -7.4      |
| 16                                | 334h-o                                 | 338c-i     | 329e-g  | -2.5      | 503bc                                                     | 534ab      | 472a    | -11.7     |
| 17                                | 244a-e                                 | 251a-h     | 238a-e  | -5.4      | 529bc                                                     | 564ab      | 495a    | -12.1     |
| 18                                | 292e-l                                 | 304a-f     | 281a-g  | -7.8      | 538bc                                                     | 585ab      | 491a    | -16.0     |
| 19                                | 375o                                   | 431i       | 319d-g  | -26.1     | 445bc                                                     | 477ab      | 413a    | -13.4     |
| 20                                | 269a-i                                 | 282a-f     | 255a-f  | -9.6      | 404bc                                                     | 474ab      | 335a    | -29.3     |
| 21                                | 297e-l                                 | 306a-f     | 288c-g  | -5.9      | 450bc                                                     | 486ab      | 415a    | -14.7     |
| 22                                | 291d-l                                 | 304a-f     | 278a-g  | -8.7      | 488bc                                                     | 490ab      | 486a    | -0.8      |
| 23                                | 266a-i                                 | 274a-f     | 259a-g  | -5.5      | 527bc                                                     | 589ab      | 464a    | -21.2     |
| 24                                | 277a-i                                 | 279a-f     | 275a-g  | -1.4      | 537bc                                                     | 581ab      | 492a    | -15.4     |
| 25                                | 276a-i                                 | 304a-f     | 249a-f  | -18.0     | 516bc                                                     | 630ab      | 402a    | -36.1     |
| 26                                | 321i-o                                 | 336c-i     | 307c-g  | -8.7      | 381bc                                                     | 440ab      | 321a    | -27.0     |
| 27                                | 266a-j                                 | 274a-f     | 257a-g  | -6.3      | 385bc                                                     | 417ab      | 354a    | -15.0     |
| 28                                | 287d-m                                 | 289a-f     | 285c-g  | -1.4      | 513bc                                                     | 582ab      | 443a    | -23.9     |
| 29                                | 277a-i                                 | 315a-f     | 238a-e  | -24.6     | 560b-d                                                    | 646ab      | 475a    | -26.5     |
| 30                                | 277a-i                                 | 279a-f     | 275a-g  | -1.4      | 475bc                                                     | 524ab      | 425a    | -18.8     |
| 31                                | 282a-k                                 | 296a-f     | 267a-g  | -10.1     | 480bc                                                     | 499ab      | 462a    | -7.5      |
| 32                                | 247a-e                                 | 262a-g     | 232a-d  | -11.7     | 491bc                                                     | 556ab      | 426a    | -23.4     |
| 33                                | 240a-g                                 | 246a-c     | 234a-d  | -5.1      | 400bc                                                     | 414ab      | 385a    | -6.9      |
| 34                                | 270a-i                                 | 282a-f     | 257a-g  | -9.0      | 471bc                                                     | 532ab      | 411a    | -22.7     |
| 35                                | 311c-n                                 | 321a-f     | 301c-g  | -6.1      | 586cd                                                     | 707b       | 464a    | -34.3     |
| 36                                | 361n-o                                 | 372d-i     | 349g    | -6.2      | 488bc                                                     | 536ab      | 440a    | -17.9     |
| 37                                | 327i-o                                 | 329a-f     | 324b-g  | -1.8      | 410bc                                                     | 412ab      | 407a    | -1.1      |
| 38                                | 279a-i                                 | 297a-f     | 260a-g  | -12.4     | 350a                                                      | 359a       | 340a    | -5.2      |
| 39                                | 277a-i                                 | 291a-f     | 263a-g  | -9.8      | 393bc                                                     | 428ab      | 359a    | -16.2     |
| 40                                | 296e-l                                 | 310a-f     | 282a-g  | -8.8      | 421bc                                                     | 470ab      | 371a    | -21.1     |
| 41                                | 277a-i                                 | 286a-f     | 268a-g  | -6.4      | 443bc                                                     | 458ab      | 427a    | -6.9      |
| 42                                | 264a-j                                 | 312a-f     | 216a-c  | -30.7     | 399bc                                                     | 454ab      | 344a    | -24.3     |

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels, using Tukey's test

بیشترین وزن حجمی دانه (وزن هکتولتر) (۷۸) کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر) مربوط به ژنوتیپ ۱۲ بود که با ژنوتیپ‌های ۲، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۸، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸ و ۳۹ و ۴۲ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین وزن حجمی دانه (۶۱/۸ کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر) مربوط به ژنوتیپ ۲۹ بود که با ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۸ تا ۱۴، ۱۷، ۱۹ تا ۲۲، ۲۶ تا ۲۸، ۳۰ تا ۳۴، ۳۷، ۳۸، ۴۰ و ۴۱ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). وزن حجمی دانه در کیله ژنوتیپ‌های ذرت در شرایط تنش خشکی کاهش یافت، هرچند که برخی از آنها از جمله ژنوتیپ‌های ۱۷، ۲۵، ۱۴ و ۱۰ تغییرات ناچیزی داشتند که نشان دهنده حفظ چگالی دانه‌ها در شرایط کمبود آب است. در تیمار آبیاری کامل، ژنوتیپ ۱۳ بیشترین (۷۷/۹ کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر) و ژنوتیپ ۲۹ کمترین (۶۲/۳ کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر) وزن حجمی دانه را داشتند. در تیمار تنش خشکی، ژنوتیپ ۱۲ بیشترین (۷۷/۸ کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر) و ژنوتیپ‌های ۲۹ و ۳۱ کمترین (۶۱/۳ کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر) وزن حجمی دانه را داشتند (جدول ۸).

در شرایط کم‌آبی، وزن حجمی دانه دانه ذرت که نشان دهنده فشردگی دانه‌های نشاسته در بافت آندوسپرم دانه و معیاری برای سنجش چگالی و کیفیت آن است، کاهش می‌یابد (Golzardi et al., 2017). کم‌آبی در طی دوره پر شدن دانه‌ها باعث رشد ضعیف آن‌ها می‌شود، زیرا بر اثر کاهش فتوسنتز، انتقال شیره پروده به دانه‌ها کاهش یافته و در نتیجه دانه‌ها چروکیده و سبک می‌شوند (Sharifi and Adeli Nasab, 2016). رشد ناقص آندوسپرم دانه به عنوان علت کاهش وزن حجمی دانه در ذرت در شرایط کم‌آبی معرفی شده است. کاهش وزن حجمی دانه باعث افت ارزش تجاری و کیفیت فرآوری دانه ذرت می‌شود (Mahrokh et al., 2023b). شریفی و عادل‌نسب (Sharifi and Adeli Nasab, 2016) نیز گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش ۲۲/۵ درصدی وزن حجمی دانه در ذرت هیبرید سینگل کراس ۶۴۰ شد.

کمترین محتوای رطوبت دانه (۱۵/۴ درصد) مربوط به ژنوتیپ ۱۰ بود که با ژنوتیپ‌های ۲ تا ۵، ۷، ۹، ۱۱ تا ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۵، ۲۷ تا ۳۱، ۳۴، ۳۶، ۳۷ و ۳۹ و ۴۱ و ۴۲ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). محتوای رطوبت دانه در زمان برداشت شاخصی از رسیدگی دانه و کیفیت پس از برداشت آن است. با توجه به کوتاه‌تر بودن مراحل فنولوژیک در ژنوتیپ ۱۰ (جدول‌های ۴ و ۵)، خشک‌تر بودن دانه‌ها در زمان برداشت در این ژنوتیپ بدیهی به نظر می‌رسد. بیشترین مقدار رطوبت دانه (۲۲/۸ درصد) مربوط به ژنوتیپ ۳۳ بود که با ژنوتیپ‌های ۱، ۶، ۸، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۶، ۳۲، ۳۵، ۳۸ و ۴۰ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). محتوای رطوبت دانه کلیه ژنوتیپ‌های ذرت در تیمار تنش خشکی کاهش یافت، به‌ویژه در ژنوتیپ‌های ۴۱ (۲۰/۹- درصد)، ۱۰ (۲۰/۲- درصد)، ۱۷ (۱۹/۰- درصد) و ۲۵ (۱۸/۸- درصد)، که کاهش شدیدتر رطوبت دانه را داشتند. این کاهش احتمالاً به دلیل تسریع در رسیدگی دانه‌ها در شرایط تنش است. در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار رطوبت دانه (۲۲/۹ درصد) در ژنوتیپ ۳۳ و کمترین مقدار رطوبت دانه در ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۳ و ۱۰ (به ترتیب ۱۶/۸، ۱۷/۰ و ۱۷/۲ درصد) مشاهده شد که ممکن است به عنوان یک مزیت برای خشک شدن سریع دانه و مدیریت پس از برداشت در نظر گرفته شود. در تیمار تنش خشکی، ژنوتیپ ۱۰ کمترین مقدار رطوبت دانه (۱۳/۷ درصد) را داشت که ممکن است در اثر رسیدگی سریع در شرایط کمبود آب باشد. ژنوتیپ ۳۳ در تیمار تنش خشکی بیشترین (۲۲/۷ درصد) رطوبت دانه را داشت (جدول ۸). دانه‌هایی که در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، معمولاً در زمان برداشت رطوبت کمتری دارند که می‌تواند بر قابلیت نگهداری و مدیریت پس از برداشت آن‌ها تأثیر بگذارد. کوتاه شدن دوره پر شدن دانه در شرایط کم‌آبی، باعث کاهش تجمع نشاسته و افت محتوای رطوبت دانه‌ها می‌شود.

(Mahrokhi *et al.*, 2023a). تنش خشکی اغلب با  
تبخیر و تعرق و کاهش رطوبت دانه ها می شود  
دماهای بالا همراه است که این ترکیب باعث افزایش  
(Golzardi *et al.*, 2017).

جدول ۸- مقایسه میانگین وزن حجمی دانه هزار دانه و محتوای رطوبت دانه ژنوتیپ های ذرت در تیمارهای آبیاری  
(۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 8. Mean comparison of hectoliter weight and grain moisture content of maize genotypes in irrigation treatments (2022 and 2023)

| ژنوتیپ های ذرت<br>Maize genotypes | وزن حجمی دانه (هکتولتر)<br>Hectoliter weight (kg.100l <sup>-1</sup> ) |            |                  |       | محتوای رطوبت دانه<br>Grain moisture content (%) |            |                  |        |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------|------------------|-------|-------------------------------------------------|------------|------------------|--------|
|                                   | Full                                                                  |            | Variation<br>(%) |       | Full                                            |            | Variation<br>(%) |        |
|                                   | Mean                                                                  | irrigation |                  |       | Mean                                            | irrigation |                  |        |
| 1                                 | 64.8a-e                                                               | 65.0b-e    | 64.6ab           | -0.6  | 20.9f-h                                         | 22.0ab     | 19.8c-e          | -10.2  |
| 2                                 | 71.6e-h                                                               | 72.7b-d    | 70.5bc           | -2.9  | 18.2a-f                                         | 18.1ab     | 17.9a-e          | -1.4   |
| 3                                 | 68.8a-g                                                               | 69.8b-d    | 67.8bc           | -2.8  | 19.0a-f                                         | 20.0ab     | 17.9a-e          | -10.4  |
| 4                                 | 69.6a-g                                                               | 70.3b-d    | 68.9bc           | -2.1  | 18.1a-f                                         | 17.9ab     | 17.8a-e          | -0.8   |
| 5                                 | 68.8a-g                                                               | 70.8b-d    | 66.8bc           | -5.6  | 17.7a-f                                         | 18.5ab     | 16.9a-c          | -8.6   |
| 6                                 | 67.7a-f                                                               | 68.9b-d    | 66.6bc           | -3.3  | 20.6c-h                                         | 20.7ab     | 20.6b-e          | -0.4   |
| 7                                 | 69.4a-g                                                               | 70.2b-d    | 68.6bc           | -2.4  | 18.9a-f                                         | 18.7ab     | 18.6a-e          | -1.0   |
| 8                                 | 69.3a-g                                                               | 69.6b-d    | 69.0bc           | -0.8  | 20.1e-h                                         | 20.7ab     | 19.4c-e          | -6.2   |
| 9                                 | 70.7b-h                                                               | 71.3b-d    | 70.1bc           | -1.7  | 17.6a-f                                         | 18.0ab     | 17.2a-c          | -4.4   |
| 10                                | 70.4b-h                                                               | 70.5b-d    | 70.3bc           | -0.3  | 15.4a                                           | 17.2ab     | 13.7a            | -20.2  |
| 11                                | 74.8f-h                                                               | 75.1de     | 74.5bc           | -0.8  | 16.9a-e                                         | 17.6ab     | 16.1a-c          | -9.0   |
| 12                                | 78.0h                                                                 | 78.2de     | 77.8c            | -0.5  | 16.0a-g                                         | 17.4ab     | 14.7a-d          | -15.4  |
| 13                                | 76.4g-h                                                               | 77.9e      | 74.9bc           | -3.9  | 17.5a-f                                         | 17.0a      | 16.9a-c          | -0.7   |
| 14                                | 69.6a-g                                                               | 69.7b-d    | 69.5bc           | -0.3  | 17.9a-f                                         | 17.7ab     | 17.6a-e          | -0.9   |
| 15                                | 68.7a-g                                                               | 70.3b-d    | 67.2bc           | -4.4  | 19.4e-h                                         | 18.8ab     | 18.6a-e          | -1.2   |
| 16                                | 67.3a-f                                                               | 68.2b-d    | 66.4ab           | -2.6  | 18.3a-f                                         | 18.7ab     | 17.9a-e          | -4.2   |
| 17                                | 64.6a-e                                                               | 64.6b-e    | 64.5ab           | -0.2  | 19.4e-h                                         | 21.4ab     | 17.4a-c          | -19.0  |
| 18                                | 72.3c-h                                                               | 75.2c-e    | 69.3bc           | -7.8  | 17.0a-e                                         | 16.8a      | 16.7a-c          | -0.9   |
| 19                                | 65.2a-e                                                               | 67.4b-d    | 63.0ab           | -6.5  | 20.6d-h                                         | 21.1ab     | 20.0c-e          | -5.2   |
| 20                                | 68.9a-g                                                               | 70.7b-d    | 67.1bc           | -5.2  | 17.0a-e                                         | 17.6ab     | 16.3a-c          | -7.1   |
| 21                                | 69.6a-g                                                               | 72.4b-d    | 66.9bc           | -7.6  | 20.1e-h                                         | 19.6ab     | 19.5c-e          | -0.8   |
| 22                                | 69.8a-h                                                               | 72.9b-d    | 66.8bc           | -8.3  | 18.9a-f                                         | 18.1ab     | 18.0a-e          | -0.7   |
| 23                                | 71.0e-h                                                               | 71.2b-d    | 70.7bc           | -0.7  | 20.8f-h                                         | 20.9ab     | 20.8b-e          | -0.2   |
| 24                                | 71.2e-h                                                               | 71.4b-d    | 71.0bc           | -0.6  | 20.9f-h                                         | 22.2ab     | 19.6c-d          | -11.6  |
| 25                                | 71.3e-h                                                               | 71.5b-d    | 71.2bc           | -0.3  | 18.1a-f                                         | 19.9ab     | 16.2a-c          | -18.8  |
| 26                                | 68.5a-g                                                               | 71.0b-d    | 66.0ab           | -7.0  | 19.5e-h                                         | 19.7ab     | 19.3c-d          | -2.1   |
| 27                                | 64.1a-e                                                               | 64.3a-c    | 63.9ab           | -0.6  | 17.0a-e                                         | 18.5ab     | 15.5a-c          | -16.0  |
| 28                                | 63.3a-e                                                               | 63.5a-c    | 63.1ab           | -0.6  | 16.6a-e                                         | 18.2ab     | 15.0a-c          | -17.7  |
| 29                                | 61.8a                                                                 | 62.3a      | 61.3a            | -1.5  | 17.5a-f                                         | 18.9ab     | 16.0a-c          | -15.3  |
| 30                                | 68.8a-g                                                               | 69.0b-d    | 68.6bc           | -0.6  | 17.5a-f                                         | 18.7ab     | 16.4a-c          | -12.1  |
| 31                                | 62.6ab                                                                | 63.8a-c    | 61.3a            | -4.0  | 18.6a-f                                         | 19.9ab     | 17.2a-c          | -14.0  |
| 32                                | 68.1a-g                                                               | 69.5b-d    | 66.8bc           | -3.9  | 20.8f-h                                         | 21.3ab     | 20.3c-e          | -4.3   |
| 33                                | 67.3a-f                                                               | 67.8b-d    | 66.8bc           | -1.4% | 22.8h                                           | 22.9b      | 22.7e            | -0.9%  |
| 34                                | 66.3a-e                                                               | 66.8b-d    | 65.8ab           | -1.5% | 17.9a-f                                         | 19.2ab     | 16.5a-c          | -13.7% |
| 35                                | 71.3e-h                                                               | 71.5b-d    | 71.1bc           | -0.6% | 20.3b-h                                         | 21.0ab     | 19.6c-d          | -6.8%  |
| 36                                | 70.9e-h                                                               | 72.5b-d    | 69.3bc           | -4.4% | 18.4a-f                                         | 19.2ab     | 17.7a-e          | -7.8%  |
| 37                                | 70.1a-h                                                               | 70.7b-d    | 69.5bc           | -1.7% | 18.4a-f                                         | 19.1ab     | 17.6a-e          | -7.8%  |
| 38                                | 70.0a-h                                                               | 71.9b-d    | 68.1bc           | -5.3% | 19.3e-h                                         | 19.3ab     | 19.2c-d          | -0.5%  |
| 39                                | 71.9c-h                                                               | 73.4b-d    | 70.4bc           | -4.1% | 18.8a-f                                         | 19.1ab     | 18.4a-e          | -4.0%  |
| 40                                | 66.3a-e                                                               | 69.4b-d    | 63.2ab           | -9.0% | 19.2e-h                                         | 17.9ab     | 17.8a-e          | -0.3%  |
| 41                                | 68.7a-g                                                               | 70.5b-d    | 67.0bc           | -4.9% | 18.9a-f                                         | 21.1ab     | 16.7a-c          | -20.9% |
| 42                                | 72.6d-h                                                               | 74.8c-e    | 70.4bc           | -5.9% | 18.6a-f                                         | 18.9ab     | 18.2a-e          | -3.8%  |

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels, using Tukey's test



در ژنوتیپ‌های ذرت می‌شود (Al-Naggar *et al.*, 2016; Golzardi *et al.*, 2017; Sah *et al.*, 2020). تنش خشکی از مسیرهای مختلف باعث کاهش عملکرد دانه ذرت می‌شود. تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش عملکرد دانه می‌شود (Golzardi *et al.*, 2017). کم‌آبی در مرحله گلدهی با افزایش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم، باعث گرده‌افشانی ضعیف و کاهش موفقیت در لقاح و افزایش سقط دانه‌ها می‌شود (Kim and Lee, 2023). کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه در اثر کم‌آبی نیز به عنوان یکی از علل کاهش عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی شناخته شده است (Yan *et al.*, 2023; Gao *et al.*, 2025).

بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری (۱/۴۶) کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب) در ژنوتیپ ۳۵ ثبت شد که با ژنوتیپ‌های ۶، ۱۵، ۲۷، ۳۱، ۳۲ و ۳۳ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار بهره‌وری آب (۰/۶۵) کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به ژنوتیپ ۱۹ و پس از آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۰، ۳۴ و ۴۰ (به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۶۸ و ۰/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. بهره‌وری آب کلیه ژنوتیپ‌های ذرت در تیمار تنش خشکی کاهش یافت. بیشترین مقدار کاهش بهره‌وری آب در ژنوتیپ‌های ۲۵ (۵۹/۳- درصد)، ۱۹ (۵۶/۸- درصد)، ۴۲ (۵۲/۳- درصد) و ۳۴ (۵۲/۱- درصد) مشاهده شد که نشان دهنده حساسیت بالای آنها به تنش خشکی است. ژنوتیپ‌های ۵ (۲/۷- درصد)، ۲۸ (۸/۳- درصد) و ۷ (۹/۲- درصد) کمترین کاهش بهره‌وری آب را داشتند (جدول ۹) که نشان دهنده توانایی بالای آنها در شرایط تنش خشکی است. همبستگی بالا بین عملکرد و بهره‌وری آب در شرایط تنش خشکی (Golzardi *et al.*, 2017)، نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های با بهره‌وری آب بالا، معمولاً عملکرد مطلوب‌تری در شرایط تنش دارند. در تیمار آبیاری کامل، ژنوتیپ ۳۵

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، تیمارهای آبیاری و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب ژنوتیپ‌های ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. عملکرد دانه در سال اول و دوم به ترتیب ۵۵۱۷ و ۵۱۳۳ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود که می‌تواند با بالاتر بودن تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه در سال دوم (جدول ۷) مرتبط باشد. بیشترین مقدار عملکرد دانه (۸۸۷۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ ۳۵ بود که با ژنوتیپ‌های ۶، ۱۵، ۲۷، ۳۱، ۳۲ و ۳۳ تفاوت معنی‌داری نداشت. لاین‌های مذکور، به دلیل عملکرد بالاتر در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی، می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرند. کمترین مقدار عملکرد دانه (۳۹۶۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ ۳۴ بود که با ژنوتیپ‌های ۱ تا ۵، ۷ تا ۱۴، ۱۶ تا ۲۸، ۳۰ تا ۳۶ و ۴۲ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ‌های ذرت در تیمار تنش خشکی کاهش یافت، اما میزان کاهش در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود. بیشترین کاهش عملکرد در ژنوتیپ‌های ۲۵ (۵۶/۵- درصد)، ۱۹ (۵۲/۹- درصد) و ۳ (۵۰/۱- درصد) مشاهده شد که نشان دهنده حساسیت بالای آن به تنش خشکی است. در مقابل، ژنوتیپ‌های ۲۸ (۰/۸- درصد)، ۵ (۳/۲- درصد)، ۴۰ (۷/۴- درصد) و ۷ (۷/۸- درصد) کمترین کاهش عملکرد را داشتند. بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل مربوط به ژنوتیپ ۳۵ (۱۰۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن (۴۳۳۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ ۴۰ بود. در تیمار تنش خشکی، ژنوتیپ ۳۵ همچنان دارای بیشترین عملکرد (۷۲۲۲ کیلوگرم در هکتار) بود و ژنوتیپ ۱۹ با ۲۵۷۲ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دان را داشت (جدول ۸). نتایج تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی از طریق کاهش تعداد و وزن دانه، باعث کاهش ۲۵ تا ۶۰ درصدی عملکرد دانه

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد دانه و بهره‌وری آب ژنوتیپ‌های ذرت در تیمارهای آبیاری (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 9. Mean comparison of grain yield and water productivity of maize genotypes in irrigation treatments

(2022 and 2023)

| ژنوتیپ‌های ذرت<br>Maize genotypes | عملکرد دانه<br>Grain yield (kg.ha <sup>-1</sup> ) |            |                |               | بهره‌وری آب<br>Water productivity (kg.m <sup>-3</sup> ) |            |                |               |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------|------------|----------------|---------------|---------------------------------------------------------|------------|----------------|---------------|
|                                   | Full                                              |            | Drought stress | Variation (%) | Full                                                    |            | Drought stress | Variation (%) |
|                                   | Mean                                              | irrigation |                |               | Mean                                                    | irrigation |                |               |
| 1                                 | 4847a-f                                           | 5690ab     | 4004ab         | -29.6         | 0.79a-f                                                 | 0.94a-c    | 0.64ab         | -31.7         |
| 2                                 | 4410a-e                                           | 5219ab     | 3602ab         | -31.0         | 0.72ab                                                  | 0.87a-c    | 0.57ab         | -34.6         |
| 3                                 | 4771a-f                                           | 6366ab     | 3176a          | -50.1         | 0.76a-d                                                 | 1.01a-c    | 0.50a          | -50.5         |
| 4                                 | 4379a-e                                           | 5490ab     | 3269a          | -40.5         | 0.73ab                                                  | 0.93a-c    | 0.53ab         | -43.3         |
| 5                                 | 4739a-f                                           | 4817ab     | 4661ab         | -3.2          | 0.75a-d                                                 | 0.75a      | 0.73ab         | -2.7          |
| 6                                 | 7236f-g                                           | 8626a-c    | 5846ab         | -32.2         | 1.19f-h                                                 | 1.44b-e    | 0.95ab         | -34.4         |
| 7                                 | 4808a-f                                           | 5002ab     | 4613ab         | -7.8          | 0.77a-g                                                 | 0.81bc     | 0.73ab         | -9.2          |
| 8                                 | 6142a-f                                           | 7461bc     | 4823ab         | -35.4         | 1.01a-f                                                 | 1.24c-e    | 0.77ab         | -37.6         |
| 9                                 | 4817a-f                                           | 5594ab     | 4039ab         | -27.8         | 0.77a-f                                                 | 0.90a-c    | 0.65ab         | -27.7         |
| 10                                | 4148ab                                            | 5352ab     | 2945a          | -45.0         | 0.67a                                                   | 0.88a-c    | 0.46a          | -48.1         |
| 11                                | 5090a-f                                           | 5649ab     | 4532ab         | -19.8         | 0.82a-f                                                 | 0.93a-c    | 0.71ab         | -23.2         |
| 12                                | 5261a-f                                           | 6479ab     | 4042ab         | -37.6         | 0.86a-f                                                 | 1.07a-c    | 0.65ab         | -38.8         |
| 13                                | 5642a-f                                           | 6318ab     | 4966ab         | -21.4         | 0.95a-f                                                 | 1.09a-c    | 0.81ab         | -26.1         |
| 14                                | 5291a-f                                           | 6081ab     | 4500ab         | -26.0         | 0.86a-f                                                 | 1.00a-c    | 0.72ab         | -27.8         |
| 15                                | 6724c-g                                           | 8048bc     | 5401ab         | -32.9         | 1.19f-h                                                 | 1.45a-e    | 0.93ab         | -35.5         |
| 16                                | 4745a-f                                           | 5032ab     | 4457ab         | -11.4         | 0.79a-f                                                 | 0.83a-c    | 0.74ab         | -11.5         |
| 17                                | 4218a-c                                           | 4880ab     | 3557ab         | -27.1         | 0.7ab                                                   | 0.84a-c    | 0.57ab         | -32.5         |
| 18                                | 4577a-e                                           | 5698ab     | 3456ab         | -39.3         | 0.75a-d                                                 | 0.95a-c    | 0.55ab         | -41.5         |
| 19                                | 4014a                                             | 5456ab     | 2572a          | -52.9         | 0.65a                                                   | 0.91a-c    | 0.39a          | -56.8         |
| 20                                | 4549a-e                                           | 5802ab     | 3297a          | -43.2         | 0.83a-f                                                 | 1.06a-c    | 0.59ab         | -44.1         |
| 21                                | 4801a-f                                           | 6205ab     | 3398ab         | -45.2         | 0.74ab                                                  | 0.99a-c    | 0.49a          | -50.3         |
| 22                                | 5167a-f                                           | 5435ab     | 4899ab         | -9.9          | 0.90a-f                                                 | 0.98a-c    | 0.82ab         | -16.1         |
| 23                                | 5931a-f                                           | 7851bc     | 4012ab         | -48.9         | 0.97a-f                                                 | 1.28c-e    | 0.66ab         | -48.1         |
| 24                                | 6219a-f                                           | 7066bc     | 5373ab         | -24.0         | 1.04a-h                                                 | 1.18c-e    | 0.90ab         | -23.6         |
| 25                                | 4959a-f                                           | 6914bc     | 3005a          | -56.5         | 0.82a-f                                                 | 1.17c-e    | 0.48a          | -59.3         |
| 26                                | 5498a-f                                           | 7291bc     | 3705ab         | -49.2         | 0.9a-f                                                  | 1.22c-e    | 0.59ab         | -51.8         |
| 27                                | 6794e-g                                           | 7691bc     | 5897ab         | -23.3         | 1.11b-h                                                 | 1.27c-e    | 0.95ab         | -25.0         |
| 28                                | 5121a-f                                           | 5140ab     | 5101ab         | -0.8          | 0.87a-f                                                 | 0.91a-c    | 0.84ab         | -8.3          |
| 29                                | 5440a-f                                           | 6197ab     | 4684ab         | -24.4         | 0.92a-f                                                 | 1.07a-c    | 0.77ab         | -28.2         |
| 30                                | 4686a-e                                           | 5556ab     | 3816ab         | -31.3         | 0.76a-d                                                 | 0.91a-c    | 0.61ab         | -33.7         |
| 31                                | 6889e-g                                           | 8232bc     | 5546ab         | -32.6         | 1.18c-h                                                 | 1.42b-e    | 0.93ab         | -34.0         |
| 32                                | 6890d-g                                           | 8531bc     | 5249ab         | -38.5         | 1.17d-h                                                 | 1.45b-e    | 0.89ab         | -39.1         |
| 33                                | 6603b-g                                           | 7962bc     | 5243ab         | -34.1         | 1.1b-h                                                  | 1.35c-e    | 0.84ab         | -37.4         |
| 34                                | 3969a                                             | 5264ab     | 2673a          | -49.2         | 0.68ab                                                  | 0.91a-c    | 0.44a          | -52.1         |
| 35                                | 8876g                                             | 10530c     | 7222b          | -31.4         | 1.46h                                                   | 1.75e      | 1.16b          | -33.5         |
| 36                                | 4463a-e                                           | 5560ab     | 3366ab         | -39.5         | 0.77a-g                                                 | 1.00a-c    | 0.55ab         | -44.5         |
| 37                                | 4872a-f                                           | 5501ab     | 4243ab         | -22.9         | 0.79a-f                                                 | 0.90a-c    | 0.68ab         | -24.6         |
| 38                                | 5109a-f                                           | 6486ab     | 3732ab         | -42.5         | 0.87a-f                                                 | 1.12c-e    | 0.63ab         | -43.9         |
| 39                                | 6224a-f                                           | 7572bc     | 4877ab         | -35.6         | 1.01a-f                                                 | 1.25c-e    | 0.78ab         | -38.0         |
| 40                                | 4172ab                                            | 4333a      | 4011ab         | -7.4          | 0.71ab                                                  | 0.77ab     | 0.65ab         | -16.2         |
| 41                                | 5807a-f                                           | 7596bc     | 4017ab         | -47.1         | 1.02a-f                                                 | 1.30c-e    | 0.74ab         | -43.1         |
| 42                                | 4764a-f                                           | 6308ab     | 3220a          | -49.0         | 0.79a-f                                                 | 1.06a-c    | 0.51a          | -52.3         |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels, using Tukey's test

با بهره‌وری آب ۱/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب برتر بود و ژنوتیپ ۵ کمترین مقدار بهره‌وری آب (۰/۷۵) کیلوگرم

بر متر مکعب) را داشت. در تیمار تنش خشکی، ژنوتیپ ۳۵ همچنان بالاترین بهره‌وری آب (۱/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب) را داشت و ژنوتیپ‌های ۱۹، ۳۴، ۱۰، ۲۵، ۲۱، ۳ و ۴۲ (به ترتیب با ۰/۳۹، ۰/۴۴، ۰/۴۶، ۰/۴۸، ۰/۴۹، ۰/۵۰ و ۰/۵۱ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب) کمترین بهره‌وری آب را داشتند (جدول ۹). نتایج بهره‌وری آب همراه با عملکرد دانه نشان می‌دهد که ژنوتیپ ۳۵ از نظر توانایی تبدیل آب به عملکرد دانه، حتی در شرایط تنش خشکی، برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بوده است. کاهش بهره‌وری آب در ذرت در شرایط تنش خشکی نتیجه تعامل پیچیده‌ای از عوامل فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مدیریتی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر نسبت عملکرد دانه به آب مصرفی تأثیر می‌گذارند (Golzardi et al., 2017). در پاسخ به خشکی، ماده خشک بیشتری به ریشه‌ها اختصاص داده می‌شود تا امکان جذب آب افزایش یابد. تخصیص بیشتر منابع به ریشه، باعث کاهش رشد اندام‌های هوایی و در نهایت کاهش عملکرد دانه و کاهش بهره‌وری آب می‌شود (Golzardi et al., 2017; Nazari et al., 2017). تنش خشکی با اختلال در فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی باعث کاهش سرعت فتوسنتز و کاهش عملکرد دانه و بهره‌وری آب می‌شود (Lawlor, 2002).

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که پاسخ ژنوتیپ‌های ذرت به شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی از نظر صفات مرتبط با تکامل دانه و کیفیت آن تا زمان‌بندی فرآورده‌های تولید مثل و ساختار کلی گیاه، متفاوت است. لاین‌های ذرت مورد ارزیابی در تیمارهای آبیاری

کامل و تنش خشکی از نظر صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی، عملکرد دانه و بهره‌وری آب تفاوت‌های معنی‌داری داشته و تنوع ژنتیکی بالایی داشتند. تاخیر در مراحل رشد در شرایط تنش خشکی، همراه با کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته، ارتفاع بوته و بهره‌وری آب، نشان دهنده اثر مستقیم کم‌آبی بر فرآورده‌های رشد و تولید مثل ذرت است. تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های ذرت مورد ارزیابی، امکان انتخاب و ترکیب ژن‌هایی با ویژگی‌های مطلوب از جمله عملکرد دانه بالا و بهره‌وری آب مناسب در شرایط تنش خشکی را فراهم می‌کند. این یافته‌ها ضرورت انتخاب و ترکیب صفات مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی جهت تولید ارقام ذرت متحمل به شرایط کم‌آبی را تایید می‌کنند. در آزمایش حاضر ژنوتیپ‌های ۳۵، ۲۷، ۶، ۳۱، ۱۵، ۲۴، ۳۲، ۳۳ و ۲۸ به ترتیب به عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۳۵، ۳۲، ۶، ۳۱، ۱۵ و ۳۳ به ترتیب به عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) شناخته شدند. ژنوتیپ‌های ۳۵، ۳۲، ۶، ۳۱، ۱۵ و ۳۳ هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) عملکرد دانه و بهره‌وری آب مناسبی داشتند. در مجموع، ژنوتیپ ۳۵ در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) و تنش خشکی از نظر عملکرد دانه و بهره‌وری آب نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری چشمگیری داشت و به عنوان لاین برتر همراه با سایر لاین‌های منتخب برای تولید هیبریدهای متحمل به خشکی ذرت در برنامه‌های به‌نژادی ذرت قابل استفاده خواهد بود.

### References

- Al-Naggar, A.M.M., Atta, M.M.M., Ahmed, M.A., and Younis, A.S.M. 2016. Influence of deficit irrigation at silking stage and genotype on maize (*Zea mays* L.) agronomic and yield characters. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 7(4), pp.1-16. <https://doi.org/10.9734/JAERI/2016/25438>
- Ashraf, M.Y., Azmi, A.R., Khan, A.H., Naqvi, S.S.M., and Ala, S.A. 1995. Effect of water stress on different

enzymatic activities in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 17, pp.615-620.

- Balbaa, M.G., Osman, H.T., Kandil, E.E., Javed, T., Lamloom, S.F., Ali, H.M., Kalaji, H.M., Wróbel, J., Telesiński, A., Brysiewicz, A., and Ghareeb, R.Y. 2022.** Determination of morpho-physiological and yield traits of maize inbred lines (*Zea mays* L.) under optimal and drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13, p.959203. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.959203>
- Banziger, M., Edmeades, G.O., Beck, D., and Bellon, M. 2000.** Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice. CIMMYT, Mexico.
- Baghdadi, A., Golzardi, F. and Hashemi, M. 2023.** The use of alternative irrigation and cropping systems in forage production may alleviate the water scarcity in semi- arid regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(10), pp.5050-5060. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12574>
- Danilevskaya, O.N., Yu, G., Meng, X., Xu, J., Stephenson, E., Estrada, S., Chilakamarri, S., Zastrow- Hayes, G., and Thatcher, S. 2019.** Developmental and transcriptional responses of maize to drought stress under field conditions. *Plant Direct*, 3(5), p.e00129. <https://doi.org/10.1002/pld3.129>
- Du, S., and Xiong, W. 2024.** Weather extremes shock maize production: Current approaches and future research directions in Africa. *Plants*, 13(12), p.1585. <https://doi.org/10.3390/plants13121585>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009.** Plant drought stress, effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp.185-212. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12)
- Gao, J., Li, L., Ding, R., Kang, S., Du, T., Tong, L., Kang, J., Xu, W., and Tang, G. 2025.** Grain yield and water productivity of maize under deficit irrigation and salt stress: Evidences from field experiment and literatures. *Agricultural Water Management*, 307, p.109260. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109260>
- Golzardi, F., Baghdadi, A., and Keshavarz Afshar, R. 2017.** Alternate furrow irrigation affects yield and water-use efficiency of maize under deficit irrigation. *Crop and Pasture Science*, 68(8), pp.726-734. <https://doi.org/10.1071/CP17178>
- Ghalkhani, A., Golzardi, F., Khazaei, A., Mahrokh, A., Illés, Á., Bojtor, C., Mousavi, S.M.N., and Széles, A. 2023.** Irrigation management strategies to enhance forage yield, feed value, and water-use efficiency of sorghum cultivars. *Plants*, 12(11), p.2154. <https://doi.org/10.3390/plants12112154>
- Jiang, Z., Li, Y.P., Gai, P.Z., Gao, J. and Xu, L. 2025.** Exogenously applied ABA alleviates dysplasia of maize (*Zea mays* L.) ear under drought stress by altering photosynthesis and sucrose transport. *Plant Signaling & Behavior*, 20(1), p.2462497. <https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2462497>
- Kamara, A.Y., Menkir, A., Badu-Apraku, B., and Ibikunle, O. 2003.** The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes. *The Journal of Agricultural Science*, 141(1), pp.43-50. <https://doi.org/10.1017/S0021859603003423>
- Khan, A.H., Mujtaba, S.M., and Khanzada, B. 1999.** Response of growth, water relation and solute

- accumulation in wheat genotypes under water deficit. *Pakistan Journal of Botany*, 31, pp.461-468.
- Kim, K.H., and Lee, B.M. 2023.** Effects of climate change and drought tolerance on maize growth. *Plants*, 12(20), p.3548. <https://doi.org/10.3390/plants12203548>
- Lawlor, D.W. 2002.** Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and role of ATP. *Annals of Botany*, 89, pp.871-885. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf110>
- Lawlor, D.W., and Cornic, G. 2002.** Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, 25, pp.275-294. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
- Li, Y., Zhang, P., Sheng, W., Zhang, Z., Rose, R.J., and Song, Y. 2023.** Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO<sub>2</sub> fertilization for greater productivity. *Frontiers in Plant Science*, 14, p.1221095. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095>
- Liu, B., Zhang, B., Yang, Z., Liu, Y., Yang, S., Shi, Y., Jiang, C., and Qin, F. 2021.** Manipulating *ZmEXPA4* expression ameliorates the drought-induced prolonged anthesis and silking interval in maize. *The Plant Cell*, 33(6), pp.2058-2071. <https://doi.org/10.1093/plcell/koab083>
- Mahrokh, A., Golzardi, F., Azizi, F., Mofidian, S.M.A., Zamanian, M., Rahjoo, V., Torabi, M., and Soltani, E. 2021.** Agronomical factors analysis on grain maize yield decreasing in Iran with meta-analysis method. *Journal of Crops Improvement*, 23(1), pp.73-86. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.292889.2299>
- Mahrokh, A., Hassanzadeh Moghadam, H., Najafinezhad, H., Shirkhani, A., Ahmadi, B., Azizi, F., and Golzardi, F. 2023a.** Bouquet ears in maize inbred lines as affected by agronomic factors. *Journal of Crop Improvement*, 37(1), pp.140-156. <https://doi.org/10.1080/15427528.2022.2063776>
- Mahrokh, A., Shiri, M.R., and Golzardi, F. 2023b.** Effect of high density planting on grain yield and yield components of promising hybrids and parental lines of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 25(2), pp.137-153. [In Persian]. doi: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0
- Nazari, S., Aboutalebian, M.A., and Golzardi, F. 2017.** Seed priming improves seedling emergence time, root characteristics and yield of canola in the conditions of late sowing. *Agronomy Research*, 15(2), pp.501-514.
- Nelissen, H., Sun, X.H., Rymen, B., Jikumar, Y., Kojima, M., Takebayashi, Y., Abbeloos, R., Demuynck, K., Storme, V., Vuylsteke, M., and De Block, J. 2018.** The reduction in maize leaf growth under mild drought affects the transition between cell division and cell expansion and cannot be restored by elevated gibberellic acid levels. *Plant Biotechnology Journal*, 16(2), pp.615-627. <https://doi.org/10.1111/pbi.12801>
- Sah, R.P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V.K., Chakravarty, M.K., Narayan, S.C., Rana, M., and Moharana, D. 2020.** Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*, 10(1), p.2944. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>
- Sallah, P.Y.K., Antwi, K.O., and Ewool, M.B. 2002.** Potential of elite maize composites for drought tolerance

in stress and non-drought stress environments. *African Crop Science Journal*, 10, pp.1-9.

**Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., and Fujita, K. 2004.** Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*, 52, pp.131-138. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.011>

**Sharifi, P., and Adeli Nasab, M. 2016.** Effects of phosphorus biofertilizer on grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) at drought stress conditions. *Cereal Research*, 6(1), pp.119-132. [In Persian].

**Sharifnasab, H., Mahrokh, A., and Dehghani Sanich, H. 2022.** Evaluating the Use of IOT in Agricultural Irrigation Intelligence (Case Study: Irrigation Grain Maize Farming Intelligence). Final Research Report, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. Registration No. 62098. [In Persian].

**Yan, S., Weng, B., Jing, L., and Bi, W. 2023.** Effects of drought stress on water content and biomass distribution in summer maize (*Zea mays* L.). *Frontiers in Plant Science*, 14, p.1118131. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118131>