Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 48, Winter 2024 p: 224-232

"Research Paper"

Evaluation of Agronomical traits and Drought Tolerance Indices in Some Corn (*Zea mays* L.) Hybrids under Water Deficit Stress

Monireh Shahimoghaddam[1], Ali Asghari[1], Sajjad Moharramnejad[2] and Nahid Hosseinzadeh Gharajeh[3]

1- Department of Genetic and Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, Iran, (Corresponding author: s.moharramnejad@areeo.ac.ir)
3- Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Received: 15, May, 2023 Accepted: 4, October 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Corn is an important crop that is cultivated in many parts of the world. One of the major factors limiting the plant growth is lack of water, which reduces plant growth and survival in arid and semi-arid areas. For this purpose, evaluation of the effect of drought stress on plant cultivars and identification of the tolerant genotype is of particular importance.

Material and Methods: In this research, nine corn hybrids (including three promising hybrids H1 (SC01; TS01×MS02), H2 (KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3), and H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) and six commercial H4 (NS640), H5 (SC703), H6 (SC704), H7 (SC720), and H9 (SC715) grain corn hybrids as late and medium maturity groups) were planted in split plots in the form of a complete random block design in three replicates at Research Unit of Moghan Agro-Industry and Livestock Company, Ardabil in spring and summer 2022. The main plots include two levels of normal irrigation (10 times of atmospheric and stack irrigation according to the region's custom) and drought stress (interruption of irrigation during the flowering and seed filling stages: eight times of atmospheric and stack irrigation so that the interruption of irrigation at the end of flowering continued to grain filling for 18 days) and the sub-plots included six varieties and three hybrids of corn. In both irrigation conditions, yield and seed yield components were evaluated. To identify the tolerant genotype based on grain yield under stress and normal conditions, stress tolerance indices (STI), stress sensitivity (SSI), tolerance (TOL), mean productivity index (MP) and geometric mean yield (GMP) were calculated. Correlation and grouping was performed based on tolerance indices of drought stress in different corn hybrids.

Results: Dehydration stress significantly reduced the yield and yield components of corn cultivars. The H7 (SC703) and H6 (SC704) hybrids were the ones with the highest plant height, hundred seed weight, number of seed rows in cob, and number of seeds in each cob row. Further, the hybrid H1 (SC01), H6 (SC704), H7 (SC703) and H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) have the highest seed yield in both conditions of normal stress and dehydration. The correlation between grain yield and grain yield components was significant and positive. The data obtained from the evaluation of drought tolerance indices showed that there was a significant difference between different corn hybrids. As the hybrid H6 (SC704) and promising hybrid H1 (SC01) allocated the highest MP, GMP and STI, and the promising hybrid H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) showed the highest SSI value. Correlation analysis between drought tolerance indices also showed a significant positive relationship between STI, SSI, TOL, MP and GMP. The cluster analysis of the studied corn hybrids based on drought tolerance indices divided the corn hybrids into three separate groups, such that the hybrids H1 (SC01), H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17), H6 (SC704) and H7 (SC703) were classified as drought tolerant hybrids within the same group.

Conclusion: It seems that by simultaneous trait evaluation of the grain yield and grain yield components along with drought tolerance indices, it is possible to identify the genotype with high grain yield under water deficit stress. The information acquired by the study might be applied in the future remedial programs.

Keywords: Cluster analysis, Correlation, Drought, Grain yield, Tolerance indices

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به خشکی در برخی از هیبریدهای ذرت (*Zea may* L.) تحت تنش کم آبی

منیره شاهی مقدم[۱]، علی اصغری[۱]، سجاد محرم‌نژاد[۲] و ناهید حسین‌زاده قراجه[۳]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران، (نویسنده مسوول: s.moharramnejad@areeo.ac.ir)
۳- گروه بهنژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۲
صفحه: ۲۲۴ تا ۲۳۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: ذرت یکی از مهمترین گیاه زراعی است که در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود. از مهمترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان، کمبود آب است که سبب کاهش رشد و بقای گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. به‌همین منظور، ارزیابی اثر تنش کم آبی روی ارقام گیاهی و شناسایی رقم متحمل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، نه هیبرید ذرت (شامل سه هیبرید امید بخش H1 (SC01; TS01×MS02)، H2 (KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3) و H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) و شش هیبرید تجاری H4 (NS640)، H5 (TWC647)، H6 (SC703)، H7 (SC704)، H8 (SC720) و H9 (SC715) دانه‌ای از گروه متوسط و دیررس) به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در واحد تحقیقات کشاورزی شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان استان اردبیل در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ مورد مطالعه قرار گرفتند. کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری عادی (۱۰ نوبت آبیاری جوی و پشته‌ای براساس عرف منطقه) و تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه: هشت نوبت آبیاری جوی و پشته‌ای به‌طوری‌که قطع آبیاری در انتهای گلدهی تا پر شدن دانه به‌مدت ۱۸ روز ادامه داشت) و کرت‌های فرعی شامل نه هیبرید ذرت بود. در هر دو شرایط آبیاری، صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای شناسایی هیبرید متحمل بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و عادی، شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، تحمل (TOL)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هندسی بهره وری (GMP) محاسبه شد. همبستگی و گروه‌بندی بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی برای هیبریدهای مورد مطالعه انجام گرفت.

یافته‌ها: تنش کم آبی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه هیبریدهای ذرت شد. به‌طوری‌که، هیبریدهای H7 (SC703) و H6 (SC704) بیشترین ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و تعدا دانه در ردیف بلال در شرایط عادی و تنش کم آبی را داشتند. هم‌چنین، هیبریدهای H1 (SC01)، H6 (SC704)، H7 (SC703) و H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) بالاترین عملکرد دانه را در هر دو شرایط تنش عادی و کم آبی به‌خود اختصاص دادند. همبستگی بین عملکرد دانه با اجزای عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار بود. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که اختلاف قابل‌توجهی بین هیبریدهای مختلف ذرت وجود داشت. به‌طوری‌که، هیبرید H6 (SC704) و هیبرید امیدبخش H1 (SC01) بیشترین مقدار MP، GMP و STI داشتند همچنین هیبرید امید بخش H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) بیشترین مقدار SSI را داشت. تجزیه همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی نیز ارتباط مثبت معنی‌دار بین STI، SSI، TOL، MP و GMP را نشان داد. تجزیه خوشه‌ای هیبریدهای ذرت مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی، هیبریدهای ذرت را به سه گروه مجزا تقسیم کرد. به‌طوی‌که، هیبریدهای H1 (SC01)، H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17)، H6 (SC704) و H7 (SC703) جزو هیبریدهای متحمل به تنش کم آبی بودند و در یک گروه قرار گرفتند

نتیجه‌گیری: چنین به‌نظر می‌رسد که با ارزیابی همزمان صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه با شاخص‌های تحمل به خشکی، می‌توان ژنوتیپ با عملکرد دانه بالا تحت تنش کم آبی را شناسایی و برای بهره‌مندی در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، شاخص‌های تحمل، عملکرد دانه همبستگی

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی است یکساله و از خانواده غلات محسوب می‌شود. ذرت یکی از محصولات مهم و استراتژیک کشور است و سهم قابل توجهی نسبت به غلات علوفه‌ای در تأمین پروتئین مورد نیاز جامعه، از جمله در تغذیه دام و تولید گوشت قرمز و سفید دارد و تأمین امنیت غذایی کشور دارد. مهم‌ترین عاملی که توسعه و کشت و تولید ذرت را در دنیا محدود می‌کند، خشکی‌های فصلی است (Beyene et al., 2021). که منجر به کاهش شدید عملکرد دانه می‌شود (Basafa & Taherian, 2016; Moharramnejad et al., 2019). تنش خشکی باعث می‌شود که عملکرد دانه ذرت در مرحله قبل و بعد از گلدهی به‌ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد کاهش یابد (Osborne et al., 2002). سانتوس و همکاران (Santos et al., 2020) گزارش کردند که تنش خشکی در ذرت در مرحله قبل از گرده افشانی، مانع طویل شدن کلاله و نمو گلچه‌ها می‌شود که این تنش باعث می‌شود که تعداد دانه کاهش یابد. یکی از تنش‌های زیان‌بار بر گیاهان زراعی خشکی می‌باشد و در بسیاری از مناطق زراعی کمبود آب نقش مهمی در کاهش عملکرد گیاهان دارد (Liu & Qin, 2021). سانتوس و همکاران (Santos et al., 2020) بیان کردند که مضرات خشکی نه به‌شدت، بلکه به زمان و وقوع خشکی در دوره رویش گیاهان بستگی دارد. مکمیلن و همکاران (McMillen et al., 2022) گزارش کردند که از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان در مناطق خشک، آب می‌باشد. گیاه ذرت هر سال آسیب بیشتری از خشکی می‌بینند. عملکرد دانه ذرت در منطقه گرمسیری حدود ۱۷ درصد کاهش پیدا می‌کند، که با توجه به شدت تنش و زمان وقوع، کاهش عملکرد به ۸۰ درصد هم می‌رسید. در ایران، به‌خاطر کمبود آب و در نتیجه اثر تنش برای گیاه، عملکرد به شدت اُفت پیدا می‌کند (Leonel & Tonetti, 2021). محرم‌نژاد و همکاران (Moharramnejad et al., 2019) بیان کردند که پاسخ برخی صفات که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر عملکرد گیاه تأثیر دارد به‌طوریکه مانع

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]

کاهش بیشتر عملکرد دانه تحت تنش کم آبی می‌شوند. از میان این صفات می‌توان به وزن صد دانه، طول بلال، قطر بلال اشاره کرد.

در مراحل حساس رشد ذرت خصوصاً مرحله گرده‌افشانی، تخلیه رطوبتی خاک نباید بیشتر از ۴۵ درصد رطوبت قابل مصرف خاک باشد (Allakonon et al., 2022). با بررسی اثر تیمارهای کم آبی در مراحل گوناگون رشد ذرت علوفه‌ای در کرج، مشخص شد که تنش در مراحل رشد رویشی و گلدهی به ترتیب ۲۸ و ۲۹ درصد عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار آبیاری رایج کاهش می‌دهد (Basafa & Taherian, 2016). در آزمایشی دیگر، با اجرای کم آبیاری در مرحله رشد رویشی ذرت، گزارش کردند که کمبود شدید آب سبب افت ماده خشک گیاه می‌شود. تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد ذرت، عملکرد آن را کاهش می‌دهد که شدت افت عملکرد علاوه بر شدت تنش به مرحله رشد گیاه نیز بستگی دارد (Sah et al., 2020). تنش رطوبتی در زمان رشد رویشی، گلدهی و پر شدن دانه گیاه ذرت، عملکرد دانه را به‌ترتیب به اندازه ۲۵، ۵۰ و ۲۱ درصد کاهش داد (Osborne et al., 2002). بررسی تبخیر و تعرق گیاه (ETc) ذرت در روش آبیاری بارانی در منطقه نیمه‌خشک و آبیاری قطره‌ای در جنوب غرب ترکیه نشان داد که میزان ETc در آبیاری بارانی کمتر از آبیاری قطره‌ای است (Messina et al., 2023). تولید ماده‌خشک گیاه رابطه مستقیمی با مساحت برگ و شدت فتوسنتز برگ دارد، چنانچه با افزایش سطح برگ در مراحل رشد، شدت فتوسنتز زیاد می‌شود. لذا، حفظ میزان برگ بیشتر در طی چرخه‌های تنش خیلی مهم می‌باشد. از این رو، کربن زیادی برای انجام فتوسنتز جذب می‌شود (Cairns et al., 2012; Moharramnejad et al., 2019).

شاخص‌های مختلفی برای محاسبه توانایی و قدرت ژنوتیپ‌ها برای مقابله با تنش وجود دارد. ژنوتیپ‌ها در وضعیت تنش و بدون تنش کمبود آب، به چهار دسته طبقه‌بندی می‌شود: گروه A: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالا و یکسانی در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش دارند. گروه B: ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط بدون تنش عملکرد مناسبی دارند. گروه C: ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط دارای تنش عملکرد نسبتاً زیادتری دارند. گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش عملکرد کمتری دارند. بنابراین، مناسب‌ترین مقیاس انتخاب، شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های دسته A را از بقیه دسته‌ها تشخیص دهد (Fernandez, 1992). برای تعیین بهترین شاخص تحمل به خشکی باید شاخصی انتخاب شود که دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد و شاخص‌های تحمل به خشکی از قبیل MP، GMP و STI به‌واسطه دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد هیبریدهای ذرت در دو شرایط بدون تنش و تنش کم آبی پس از مرحله گلدهی، به‌عنوان مناسب‌ترین معیار برای شناسایی افراد برتر با عملکرد دانه بالا و متحمل به خشکی برای هر دو شرایط هستند (Allakonon et al., 2022; Beyene et al., 2021; Cairns et al., 2012; McMillen et al., 2022). برای شناخت رقم‌های مناسب برای کاشت در محیط‌های کم آب، برآورد عملکرد گیاه با استفاده از صفت‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک مربوط به عملکرد و مؤثر بر تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گوناگون پیشنهاد شده است (Liu & Qin, 2021; McMillen et al., 2022; Sah et al., 2020). برآورد عملکرد رقم‌ها در دوره تنش و دوره نرمال، مانند یک نقطه‌ی شروع در شناخت رقم‌های مقاوم به کمبود آب است (Santos et al., 2020). فادهلی و همکاران (Fadhli et al., 2020) بیان کردند که برای بیشتر مناطق زراعی ایران که تغییرات مقدار و توزیع بارندگی بیشتر است، باید رقمی اصلاح شود که در سال‌های کم باران با تحمل کمبود آب، عملکرد مناسبی را تولید کند و در وضعیت مناسب رطوبتی بتواند از رطوبتی که در خاک ذخیره شده، بیشترین استفاده را بکند. مکمیلن و همکاران (McMillen et al., 2022) گزارش کردند که اصلاح ارقام متحمل به کم آبی به دلیل نیاز بیشتر به ذرت با توجه به افزایش جمعیت، از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا، این پژوهش برای ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت در شرایط بدون تنش و تنش کم آبی به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم آبی اری انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و نحوه اعمال تنش کم آبی:

مواد گیاهی مورد استفاده نه هیبرید ذرت شامل سه هیبرید امیدبخش (H1 تهیه شده از شرکت زیست فناوران بذر سهند، H2 و H3 تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) و شش هیبرید تجاری (H4، H5، H6، H7، H8 و H9) بود. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در واحد تحقیقات بخش ۱۰ شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان استان اردبیل در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری عادی (۱۰ نوبت آبیاری جوی و پشته‌ای براساس عرف منطقه) و تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه: هشت نوبت آبیاری جوی و پشته‌ای به‌طوری‌که قطع آبیاری در انتهای گلدهی تا پر شدن دانه به‌مدت ۱۸ روز ادامه داشت) و کرت‌های فرعی شامل نه هیبرید ذرت بود. آماده‌سازی بستر کشت شامل رتیواتور، شخم برگردان و دیسک در فصل بهار بود. براساس تجزیه خاک محل آزمایش، قبل از این‌که کاشت صورت گیرد، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمین توزیع گردید و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در مراحل مختلف رشدی گیاه ذرت به‌صورت سرک استفاده شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به‌طول ۵/۶ متر با فاصله بین بوته ۱۸ سانتی‌متر و با تراکم حدود ۷۶ هزار بوته در هکتار کشت شد. برای اطمینان از سبز شدن بذور در هر کپه به‌صورت دستی سه بذر کاشته شد و پس از تنک‌کردن در مرحله سه تا چهار برگی فقط تک بوته مناسب در هر کپه نگه داشته شد. هم‌چنین، وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی در همه مراحل انجام گرفت.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]

جدول ۱- مشخصات هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of studied maize hybrids

کد Code	شماره.No	رقم Cultivar	رسیدگی Maturity
H1	1	SC01; TS01×MS02	متوسط رس Medium maturing
H2	2	KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3	دیررس Late maturing
H3	3	K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17	دیررس Late maturing
H4	4	NS640	متوسط رس Medium maturing
H5	5	TWC647	متوسط رس Medium maturing
H6	6	SC704	دیررس Late maturing
H7	7	SC703	دیررس Late maturing
H8	8	SC720	دیررس Late maturing
H9	9	SC715	دیررس Late maturing

صفات مورد مطالعه: بعد از اعمال تنش کم آبی از دو خط میانی به‌طور تصادفی ۵ نمونه برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در بوته نشان داد که هیبرید H6 (SC704)، H7 (ردیف بلال استفاده شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه توسط ترازوی حساس، از مجموع دو خط میانی با حذف دو بوته از ابتدا و انتهای هر کرت استفاده شد.

شاخص‌های تحمل به خشکی: برای شناسایی هیبریدهای متحمل به تنش کمبود آب، از شاخص‌های حساسیت به تنش کمبود آب (SSI)، تحمل به تنش (STI)، میانگین حسابی عملکرد (MP)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص تحمل (TOL) با استفاده از رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$SSI = \frac{(1-\frac{Ys}{Yp})}{SI}$$

$$SI = 1- (\frac{\overline{Y}s}{\overline{Y}p})$$

$$TOL = Y_p - Y_s$$

$$MP = \frac{Ys+Yp}{2}$$

$$GMP = \sqrt{Ys \times Yp}$$

$$STI = \frac{(Yp)(Ys)}{(\overline{Y}p)^2}$$

که در این فرمول‌ها Y_s ، Y_p، $\overline{Y}_s$ و $\overline{Y}_p$ به‌ترتیب میانگین عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی، شرایط آبیاری عادی، میانگین عملکرد هیبریدها در شرایط تنش کم آبی و میانگین عملکرد هیبریدها در شرایط آبیاری عادی است (Fernandez, 1992).

تجزیه‌های آماری: نرمال بودن اشتباه‌های آزمایشی به‌وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف ارزیابی شد و بعد از تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. ضرایب همبستگی صفات، با به‌کارگیری میانگین نه هیبرید ذرت مورد مطالعه به‌روش پیرسون محاسبه شد و تجزیه خوشه‌ای هیبریدهای ذرت بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی با روش حداقل واریانس وارد (Ward) صورت گرفت. برای انجام تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده گردید.

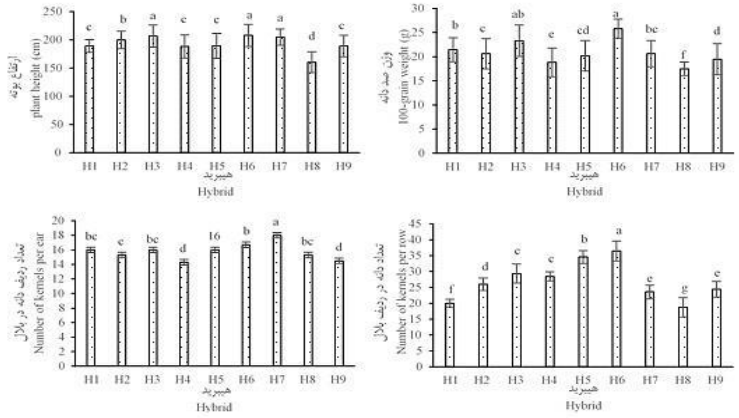
نتایج و بحث

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش ارتفاع بوته (۱۲/۱۸ درصد)، وزن صد دانه (۱۸/۱۵ درصد)، تعداد دانه در ردیف بلال (۱۱ درصد)، تعداد ردیف دانه در بلال (۱۲/۲۱ درصد) و عملکرد دانه (۲۵/۲۳ درصد) در مقایسه با شرایط عادی شد که نشان از تأثیر معنی‌دار تنش کم آبی روی صفات زراعی گیاه ذرت بود. مقایسه میانگین ارتفاع SC703) و هیبرید امیدبخش H_3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) بیشترین ارتفاع بوته را در مقایسه با سایر هیبریدهای ذرت به‌خود اختصاص دادند (شکل ۱). هیبرید H6 (SC704) و هیبرید امیدبخش H2 (KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3) در مقایسه با سایر هیبریدهای ذرت بیشترین وزن صد دانه را دارا بود (شکل ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال، هیبرید H6 (SC704) در مقایسه با سایر هیبریدها، بهترین هیبرید ذرت در پژوهش حاضر بود (شکل ۱). مقایسه میانگین عملکرد دانه هیبریدها در شرایط عادی و تنش کم آبی نشان داد (شکل ۲) که هیبرید H6 (SC704)، H7 (SC703)، هیبرید امید بخش H2 (KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3) و هیبرید امید بخش H1 (S01) بیشترین عملکرد را داشتند.

تنش کمبود آب، از طریق یک یا چند صفت مربوط به اجزای عملکرد باعث کاهش عملکرد دانه ذرت می‌شود (Stepanovic et al., 2021). پرازیریس و کواهو (Prazeres & Coelho, 2020) در گیاه ذرت تحت تنش کمبود نشان دادند که ارتفاع بوته و ماده خشک گیاه ذرت تحت تنش کم آبی به‌شدت کاهش می‌یابد. سیدزوار و همکاران (Seyedzavar et al., 2023) گزارش کردند که هیبرید ۷۰۴ تحت تنش کمبود آب با حفظ ارتفاع بوته، تعداد گره ساقه و فاصله بین گره‌ها مانع از کاهش بیشتر بیوماس می‌شود که این عمل به‌خاطر پتانسیل و ساختار ژنتیکی هیبرید یاد شده

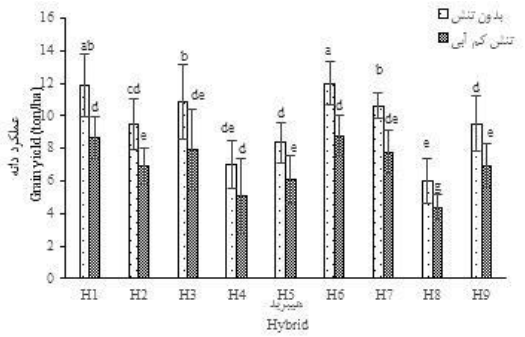
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]

می‌باشد. همچنین کاهش ارتفاع بوته در تیمار تنش کمبود آب در دوره نمو رویشی در مقایسه با تیمار آبیاری عادی حدود ۱۰/۲ درصد در گیاه ذرت گزارش شده‌است (Moharramnejad et al., 2019). لیو و کین (Liu & Qin, 2021) بیان کرد که کمبود آب در دوره نمو رویشی سبب کاهش قابل‌توجهی از ارتفاع بوته شده و به‌خاطر آن تنش کمبود آب در این دوره ممکن است به آغازه‌های بلال در دوره‌ی اولیه رویشی خسارت وارد کند. نبود آب به اندازه نیاز در دوره‌ی رشد رویشی ذرت، می‌تواند اثر مستقیمی بر عملکرد پایانی دانه نداشته باشد ولی بر رشد و نمو گیاه اثر منفی می‌گذارد. به‌طوری‌که، مانع از جمع شدن مواد در این اندام‌ها می‌شود (Allakonon et al., 2022). یکی از دلایل کاهش وزن صد دانه در تنش کمبود آب در دوره‌ی پرشدن دانه، کوتاه شدن زمان نمو دانه و زودرسی ناشی از تنش کمبود آب می‌باشد (McMillen et al., 2022). ستپانویچ و همکاران (Stepanovic et al., 2021) اظهار کردند که کاهش قابل توجه وزن صد دانه را می‌توان به ایجاد دانه‌های چروکیده در دوره‌ی پرشدن دانه تحت تنش کم آبی که دارای وزن کمتری هستند، نسبت داد. افت تعداد دانه در بلال را می‌توان ناشی از تنش کمبود آب بر ناباروری تخمک‌ها در بلال ارتباط داد. به‌طوری‌که، گرده افشانی در گیاه ذرت به شیوه عادی چند روز بعد از پیدایش گل تاجی مشخص می‌شود و عواملی مانند محدودیت آب، نیتروژن و بقیه عنصرهای غذایی باعث کاهش دانه‌های گرده می‌شوند (Fadhli et al., 2020; Liu & Qin, 2021; Osborne et al., 2002; Sah et al., 2020; Santos et al., 2020). ستپانویچ و همکاران (Stepanovic et al., 2021) اعلام نمود که کاهش اندازه دانه به‌دلیل کاهش تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌طور مستقیم باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود و کمبود آبی در دوره‌ی گلدهی سبب افت شدید در تعداد دانه خواهد بود. در هیبریدهای پایدار، با خارج شدن زود هنگام کاکل‌ها، همزمان با پیدایش دانه‌های گرده و ایجاد کاکل‌ها و بارور بودن بیشتر دانه‌ها، مقدار بی‌دانه بودن در بلال کاسته می‌شود ولی تنش کمبود آب در این دوره باعث کاهش تعداد دانه در ردیف بلال می‌شود. تعداد ردیف در بلال از ویژگی‌هایی است که کمتر در اثر وضعیت محیطی قرار گرفته و از طریق عامل ژنتیکی کنترل می‌شود (Messina *et al.*, 2023). که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. محرم‌نژاد و همکاران (Moharramnejad et al., 2019) اظهار کردند که تنش خشکی در مراحل مختلف به‌خصوص در زمان پر شدن دانه گیاه ذرت دلیل اصلی کاهش مواد خشک هر بوته می‌باشد. لیو وکین (Liu & Qin, 2021) با ارزیابی هیبریدهای ذرت تحت تنش کم آبی گزارش نمودند که هیبریدهای مختلف با خصوصیات متفاوت با ویژگی متحمل به کم‌آبی اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد دانه در ردیف بلال و تعداد ردیف دانه در بلال داشتند، که با نتایج این تحقیق سازگار است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر هیبریدهای مختلف ذرت برای صفات ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال (در هر صفت حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد)

Figure 1. Comparison of means for plant height, 100-grain weight, number of kernels per ear, and number of kernels per row in various maize hybrids (various letters indicate significant differences at $p< 0.05$)



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش هیبرید در سطوح مختلف تنش کم آبی بریا عملکرد دانه (حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد)

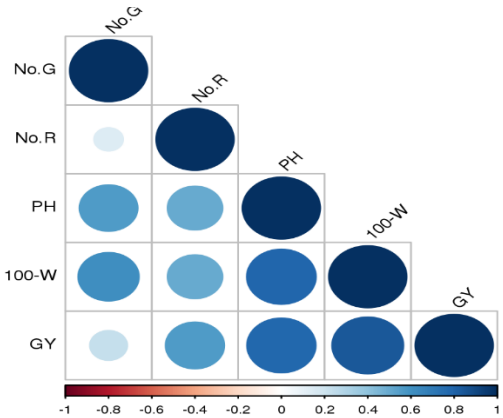
Figure 2. Comparison of means for grain yield in maize hybrids under different water deficit stresses (Various letters indicate significant differences at $p< 0.05$)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]

تجزیه همبستگی بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال نشان داد که ارتباط مثبت معنی‌دار بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته، وزن صد دانه و تعداد ردیف دانه در بلال وجود داشت و تعداد دانه در ردیف بلال نیز با ارتفاع بوته (۰/۶۱) و وزن صد دانه (۰/۵۶) همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد (شکل ۳). نتایج حاصل نشان داد که ارتباط مستقیمی بین عملکرد دانه با وزن صد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و ارتفاع بوته دارد.

مکمیلن و همکاران (McMillen et al., 2022) بیان نمودند که اُفت عملکرد دانه ذرت تحت تنش خشکی در دوره‌ی زایشی به کم شدن زمان رشد و کاهش فتوسنتز بستگی دارد. مطالعه همبستگی عملکرد دانه با صفات مرتبط با عملکرد نشان داد که عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته، وزن صد دانه، طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال ارتباط مثبت و قابل توجهی داشت. علاوه بر این، نتایج پژوهشگران، ارتباط عملکرد دانه با تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال را تایید می‌کند (Fadhli et al., 2020; Moharramnejad et al., 2019; Sah et al., 2020; Santos et al., 2020). بیشترین همبستگی تعداد ردیف دانه در بلال با قطر بلال مشاهده شد. به‌عبارت دیگر، تحت شرایط تنش شدید خشکی، به‌دنبال افزایش قطر بلال تعداد ردیف دانه در بلال نیز افزایش می‌یابد (Basafa & Taherian, 2016). نتایج یک آزمایش نشان داد که وزن بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، قطر بلال و درجه روز رشد از ظهور کاکل تا رسیدگی فیزیولوژیک همبستگی مثبت معنی‌دار با عملکرد دانه دارند. هم‌چنین همبستگی مثبت معنی‌دار بین عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در ردیف بلال، وزن صد دانه، ارتفاع بوته و تعداد ردیف دانه در بلال وجود داشت (Moharramnejad et al., 2019; Prazeres & Coelho, 2020). بیرگی و همکاران (Beiragi et al., 2011) در تحقیقات خود اعلام نمودند که عملکرد دانه ارتباط مثبت معنی‌دار با صفات ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال داشت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نتایج حاصل از شاخص‌های تحمل به خشکی هیبریدهای مختلف ذرت بر اساس عملکرد دانه نشان داد (جدول ۲) که اختلاف قابل توجهی بین هیبریدهای مختلف مورد مطالعه وجود داشت. به‌طوری‌که، هیبرید H6 (SC704) و هیبرید امید بخش H1 (SC01) بیشترین مقدار TOL، MP، GMP و STI را داشتند. هیبرید امید بخش H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1×MO17) بیشترین مقدار SSI را داشت. چنین به‌نظر می‌رسد که هیبرید H6 (SC704) و هیبرید امیدبخش H1 (SC01) نسبت به بقیه هیبریدها به خشکی متحمل‌تر بودند.



شکل ۳- همبستگی بین عملکرد دانه (GY) و ارتفاع بوته (PH)، وزن صد دانه (100-W)، تعداد ردیف دانه در بلال (No. R)، تعداد دانه در ردیف بلال (No. G)

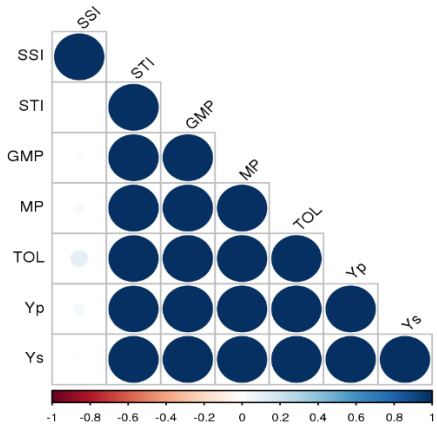
Figure 3. Correlation between grain yields (GY) and plant height (PH), 100-grain weight (100-W), number of kernels per ear (No. R), and number of kernels per row (No. G)

جدول ۲- شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در هیبریدهای مورد بررسی ذرت

Table 2. Drought stress tolerance indices in maize hybrids

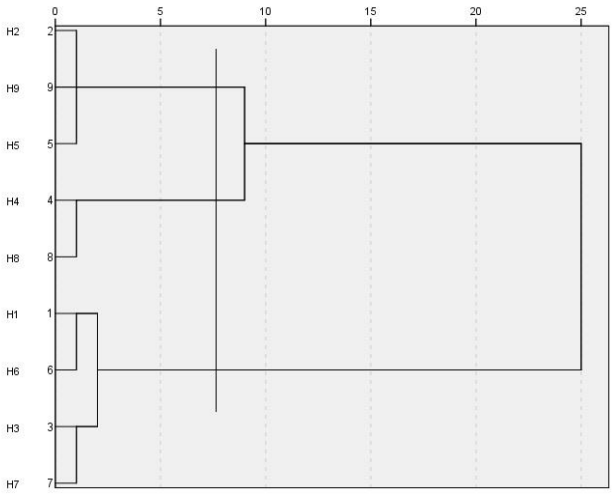
Hybrids هیبرید	Code کد	Y_p عملکرد تنش	Y_s عملکرد تنش	SSI حساسیت به تنش کمبود آب	TOL شاخص تحمل	MP میانگین حسابی عملکرد	GMP میانگین هندسی عملکرد	STI تحمل به تنش
SC01; TS01×MS02	H1	11.900	8.700	0.998	3.200	10.300	10.175	1.142
KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3	H2	9.500	6.900	1.015	2.600	8.200	8.096	0.723
K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17	H3	10.900	7.900	1.021	3.000	9.400	9.280	0.950
NS640	H4	7.000	5.100	1.009	1.900	6.050	5.975	0.394
TWC647	H5	8.300	6.100	0.985	2.200	7.200	7.115	0.558
SC704	H6	12.000	8.800	0.991	3.200	10.400	10.276	1.165
SC703	H7	10.600	7.800	0.982	2.800	9.200	9.093	0.912
SC720	H8	6.000	4.400	0.991	1.600	5.200	5.138	0.291
SC715	H9	9.500	6.900	1.017	2.600	8.200	8.096	0.723

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]



شکل ۴- همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی در ذرت
Figure 4. Correlation between drought tolerance indices and grain yield of maize water deficit stresses

بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های تحمل به خشکی هیبرید H1 (SC01) جزء هیبرید متحمل به تنش بود اما دارای بیشترین TOL بود چنین به‌نظر می‌رسد که شاخص TOL، شاخص تحمل خشکی مناسبی برای انتخاب افراد متحمل به خشکی نیست. پایین بودن شاخص تحمل TOL دلیل بر زیاد بودن میانگین عملکرد رقم در وضعیت تنش نمی‌باشد. چون، عملکرد یک رقم مشخص امکان دارد پایین باشد و در شرایط آبیاری با شرایط کم آبی اختلاف معنی‌داری نداشته باشد ولی رقم به دلیل TOL پایین، به‌عنوان یک رقم متحمل به تنش انتخاب شود. لذا، این شاخص باعث انتخاب ژنوتیپ‌های دسته C می‌شود (Seyedzavar *et al.*, 2023). بنابراین، به‌نظر می‌رسد در این مطالعه شاخص‌های STI و GMP به‌دلیل همبستگی‌های معنی‌دار و بالایی که در هر دو شرایط آبیاری عادی و تنش کم آبی با عملکرد داشتند، می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای برآورد پایداری عملکرد در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید باشند (Bonea, 2020; Khatibi et al., 2022; Santos et al., 2020; Shojaei et al., 2022). خطیبی و همکاران (Khatibi et al., 2022) همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به تنش کم آبی محاسبه کردند و مشاهده نمودند که عملکرد دانه در تنش ملایم ارتباط مثبت و قابل توجهی با MP، GMP و STI دارد. در این گزارش شاخص‌های TOL و SSI همبستگی معنی‌داری در شرایط تنش ملایم و تنش شدید کم آبی با عملکرد دانه نشان دادند (Santos et al., 2020). شجاعی و همکاران (Shojaei et al., 2022) گزارش کردند شاخص‌هایی که در دوره تنش و بدون تنش همبستگی زیادی با عملکرد داشته باشند، به‌عنوان مفیدترین شاخص‌ها شناسایی می‌شوند و این شاخص‌ها توانایی ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط را دارند. شاخص‌های MP، GMP و STI در شرایط تنش بیشترین ارتباط مثبت با عملکرد و با همدیگر داشتند (Allakonon et al., 2022; Fadhli et al., 2020; Kumar et al., 2022). فرناندز (Fernandez, 1992) بیان کرد که شاخص‌های GMP و STI شاخص‌های سازگار برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم آبی و حاوی پتانسیل عملکرد بیشتر در شرایط بدون تنش می‌باشند.



شکل ۵- تجزیه خوشه‌ای نه هیبرید ذرت بر اساس صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به خشکی
Figure 5. Cluster analysis of nine maize hybrids base on agronomical traits and tolerance indices

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]

جدول ۳- میانگین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در خوشه‌ها

Table 3. Drought tolerance indices in clusters

Cluster خوشه	Y_p عملکرد بدون تنش	Y_s عملکرد تنش	SSI حساسیت به تنش کمبود آب	TOL شاخص تحمل	MP میانگین حسابی عملکرد	GMP میانگین هندسی عملکرد	STI تحمل به تنش
1	11.350[a]	8.300[a]	0.998[c]	3.050[a]	9.825[a]	9.706[a]	1.042[a]
2	9.100[b]	6.633[b]	1.005[a]	2.466[b]	7.866[b]	7.769[b]	0.668[b]
3	6.500[c]	4.750[c]	1.000[b]	1.750[c]	5.625[c]	5.556[c]	0.342[c]
Mean	9.522	6.955	1.001	2.566	8.238	8.138	0.762

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

Various letters indicate significant differences $p< 0.05$

تجزیه خوشه‌ای نه هیبرید ذرت بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی (شکل ۵) آن‌ها را به سه گروه مختلف تفکیک کرد. به‌طوری‌که، هیبریدهای H1 (SC01)، H3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17)، H6 (SC704) و H7 (SC703) در گروه اول قرار گرفتند و متحمل به تنش کم آبی بودند. هیبریدهای H2 (KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3)، H5 (TWC647) و H9 (SC715) در گروه دوم و هیبریدهای H4 (NS640) و H8 (SC720) در گروه سوم واقع شدند. هیبریدهای گروه سوم تحمل کمی به شرایط تنش کم آبی داشتند. میانگین شاخص‌های تحمل به خشکی در سه گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای (جدول ۳) نشان داد که خوشه اول بیشترین مقدار MP، GMP و STI داشت و دارای هیبریدهای متحمل به کم آبی بودند.

چوگان و همکاران (Choukan et al., 2005) با انجام تجزیه خوشه‌ای، ۵۲ لاین ذرت را برحسب ۲۵ صفت، در چهار گروه تقسیم‌بندی کردند. در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به‌روش وارد (Ward) هیبریدهای مورد مطالعه به پنج دسته تقسیم شدند و خوشه‌های دوم و سوم از نظر عملکرد دانه و صفات مؤثر بر عملکرد (شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه) از میانگین بالاتری برخوردار بودند (Seyedzavar *et al.*, 2023). محرم‌نژاد و شیری (Moharramnejad & Shiri, 2020) با ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف ذرت بر اساس صفات عملکردی و فیزیولوژیکی، هیبریدهای ذرت را در دو گروه مختلف تقسیم‌بندی کردند. با انجام تجزیه خوشه‌ای برای هشت هیبرید ذرت با استفاده از صفات زراعی و شاخص‌های تحمل خشکی اظهار کردند که هشت هیبرید ذرت در سه گروه متفاوت قرار گرفتند. به‌طوری‌که هیبریدهای SC703 و SC647 به‌عنوان هیبرید متحمل به تنش خشکی در یک گروه، هیبرید SC700 به‌تنهایی در یک گروه به‌عنوان هیبرید حساس و سایر هیبریدهای مورد ارزیابی نیز در یک گروه به‌عنوان هیبریدهای نیمه متحمل به خشکی بودند (Seyedzavar et al., 2023; Shojaei et al., 2022). نتایج آن‌ها با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد دانه هیبریدهای مختلف ذرت مورد مطالعه شد ولی بین هیبریدهای ذرت مورد ارزیابی تنوع وجود داشت. همبستگی بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال مثبت و معنی‌دار بود. بین هیبریدهای ذرت از لحاظ شاخص‌های تحمل به خشکی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. هیبرید H6 (SC704) و هیبرید امید بخش H1 (SC01) بیشترین مقدار MP، GMP و STI داشتند. ارتباط مثبت معنی‌دار بین شاخص‌های تحمل به خشکی وجود داشت که نشان از کارآیی این شاخص‌ها در انتخاب هیبریدهای ذرت متحمل به خشکی می‌باشد. تجزیه خوشه‌ای ۹ هیبرید ذرت بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، آن‌ها را به سه گروه متفاوت تقسیم‌کرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از شرکت زیست فناوران بذر سهند و موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌خاطر تهیه بذور هیبریدهای ذرت جهت کاشت و همچنین از جناب آقای مهندس سردار خلیلی مسئول بخش ۱۰ شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان به‌خاطر تهیه بستر مناسب کاشت این پروژه در واحد تحقیقات کشاورزی آن بخش نهایت تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

منابع

Allakonon, M. G. B., Zakari, S., Tovihoudji, P. G., Fatondji, A. S., & Akponikpè, P. I. (2022). Grain yield, actual evapotranspiration and water productivity responses of maize crop to deficit irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 270, 107746. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107746

Basafa, M., & Taherian, M. (2016). Analysis of stability and adaptability of forage yield among silage corn hybrids. *Journal of Crop Breeding*, 8, 185-191 (In Persian).

Beiragi, M. A., Ebrahimi, M., Mostafavi, K., Golbashy, M., & Khorasani, S. K. (2011). A study of morphological basis of corn (*Zea mays* L.) yield under drought stress condition using correlation and path coefficient analysis. *Journal of Cereals and Oilseeds* 2, 32-37. https://doi.org/10.5897/JCO2020.0212

Beyene, Y., Gowda, M., Pérez-Rodríguez, P., Olsen, M., Robbins, K. R., Burgueño, J., Prasanna, B. M., & Crossa, J. (2021). Application of genomic selection at the early stage of breeding pipeline in tropical maize. *Frontiers in Plant Science*, 12, 685488. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.685488

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]

Bonea, D. (2020). Grain yield and drought tolerance indices of maize hybrids. *Notulae Scientia Biologicae*, 12, 376-386. https://doi.org/10.15835/nsb12210683

Cairns, J. E., Sonder, K., Zaidi, P., Verhulst, N., Mahuku, G., Babu, R., Nair, S., Das, B., Govaerts, B., & Vinayan, M. (2012). Maize production in a changing climate: impacts, adaptation, and mitigation strategies. *Advances in Agronomy*, 114, 1-58. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394275-3.00006-7

Choukan, R., Hosseinzadeh, A., Ghanadha, M., Taleei, M., & Mohammadi, S. (2005). Classification of maize inbred lines based on morphological traits. *Seed and Plant Journal*, 21, 139-139. https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.110799 (In Persian).

Fadhli, N., Farid, M., Effendi, R., AZRAI, M., & ANSHORI, M. F. (2020). Multivariate analysis to determine secondary characters in selecting adaptive hybrid corn lines under drought stress. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21. https://doi.org/10.13057/biodiv/d210826

Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *In* "Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 1992", 257-270.

Khatibi, A., Omrani, S., Omrani, A., Shojaei, S. H., Mousavi, S. M. N., Illés, Á., Bojtor, C., & Nagy, J. (2022). Response of maize hybrids in drought-stress using drought tolerance indices. *Water*, 14, 1012. https://doi.org/10.3390/w14071012

Kumar, A., Singh, V. K., Saran, B., Al-Ansari, N., Singh, V. P., Adhikari, S., Joshi, A., Singh, N. K., & Vishwakarma, D. K. (2022). Development of novel hybrid models for prediction of drought-and stress-tolerance indices in teosinte introgressed maize lines using artificial intelligence techniques. *Sustainability*, 14, 2287. https://doi.org/10.3390/su14042287

Leonel, L. P., & Tonetti, A. L. (2021). Wastewater reuse for crop irrigation: Crop yield, soil and human health implications based on giardiasis epidemiology. *Science of the Total Environment*, 775, 145833. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145833

Liu, S., & Qin, F. (2021). Genetic dissection of maize drought tolerance for trait improvement. *Molecular Breeding*, 41, 1-13. https://doi.org/10.1007/s11032-020-01194-w

McMillen, M. S., Mahama, A. A., Sibiya, J., Lübberstedt, T., & Suza, W. P. (2022). Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques. *Frontiers in Genetics*, 13, 1001001. https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1001001

Messina, C. D., Gho, C., Hammer, G. L., Tang, T., & Cooper, M. (2023). Two decades of harnessing standing genetic variation for physiological traits to improve drought tolerance in maize. *Journal of Experimental Botany*, 74, 4847-4861. https://doi.org/10.1093/jxb/erad231

Moharramnejad, S., & Shiri, M. (2020). Study of genetic diversity in maize genotypes by ear yield and physiological traits *Journal of Crop Breeding*, 12, 30-40 (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.12.35.30

Moharramnejad, S., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asghari, A., Shiri, M. R., & Ashraf, M. (2019). Response of maize to field drought stress: oxidative defense system, osmolytes' accumulation and photosynthetic pigments. *Pakistan Journal of Botany*, 51, 799-807. https://doi.org/10.30848/PJB2019-3(1)

Osborne, S., Schepers, J. S., Francis, D., & Schlemmer, M. R. (2002). Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen-and water-stressed corn. *Crop science*, 42, 165-171. https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1650

Prazeres, C. S., & Coelho, C. M. M. (2020). Osmolyte accumulation and antioxidant metabolism during germination of vigorous maize seeds subjected to water deficit. *Acta Scientiarum Agronomy*, 42. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42476

Sah, R., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V., Chakravarty, M., Narayan, S., Rana, M., & Moharana, D. (2020). Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*, 10, 2944. https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7

Santos, Á. d. O., Pinho, R. G. V., Souza, V. F. d., Guimarães, L. J. M., Balestre, M., Pires, L. P. M., Silva, C. P. d. J. C. B., & Biotechnology, A. (2020). Grain yield, anthesis-silking interval and drought tolerance indices of tropical maize hybrids. *Crop Breeding*, 20, e176020110. https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a10

Seyedzavar, J., norouzi, M., Aharizad, S., & Moghaddam, M. (2023). Evaluation of water stress tolerance of maize hybrids using tolerance indicies *Journal of Crop Breeding*, 15, 105-114. https://doi.org/10.52547/jcb.15.45.105 (In Persian)

Shojaei, S. H., Mostafavi, K., Omrani, A., Illés, Á., Bojtor, C., Omrani, S., Mousavi, S. M. N., & Nagy, J. (2022). Comparison of maize genotypes using drought-tolerance indices and graphical analysis under normal and humidity stress conditions. *Plants*, 11, 942. https://doi.org/10.3390/plants11070942

Stepanovic, S., Rudnick, D., & Kruger, G. (2021). Impact of maize hybrid selection on water productivity under deficit irrigation in semiarid western Nebraska. *Agricultural Water Management*, 244, 106610. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106610

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.224]