Journal of Vegetables Sciences, Spring & summer 2025, Vol 9, No 17(1), Pages 71-84

doi:10.22034/iuvs.2023.2015045.1332 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Investigation of superoxide dismutase profile & its gene expression in two sweet corn hybrids under drought stress

Fatemeh Rejae[1], Mohammad Mohsenzadeh Golfazani[2], Sajjad Moharramnejad[3*], Habibollah Samizadeh Lahiji[4]

1- MSc student in Agricultural Biotechnology, Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

2- Associate Professor, Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

3- Assistant Professor, Crop & Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural & Natural Resources Research & Education Center, AREEO, Moghan, Iran

4- Professor, Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

[*]**Corresponding author:** s.moharramnejad@areeo.ac.ir

(**Received:** 04 November 2023 **Revised:** 20 November 2023 **Accepted:** 22 November 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Sweet corn, which is a type of maize harvested at the fresh stage & is consumed as a vegetable. Sweet corn belongs to the family Poaceae & the genus Zea. Although sweet corn is used & accepted as a vegetable, maize, including sweet corn, is the third most important cereal crop after rice & wheat in the world. Smaller plant habitus & chemical composition of the grains are the distinguishing features of sweet corn from other corn types. The sugary1 (su1), shrunken2 (sh2), & sugary enhancer1 (se1 alleles of sweet corn varieties prevent & reduce the conversion of sucrose, which is carried to the endosperm, to starch, & ensure that the grains have a high sugar content. The ratio of fat & protein is higher than in other types of maize due to the larger embryo of sweet corn. The adaptation of varieties to the ecological conditions of a region is important in the selection of sweet corn varieties. Environmental factors that have adverse effects on plant growth & survival are known as abiotic stresses. The abiotic stress factors negatively affect the development of a plant, which adapts to any environment & grows smoothly. However, as a direct consequence of global climate change, increased abiotic & biotic stress events have been reported in different regions, threatening world maize yields. The production of reactive oxygen species is a common phenomenon in plants under drought stress. These reactive oxygen species (ROS) generation led to lipid peroxidation, protein degradation, & nucleic acid damage. To alleviate the adverse effects of reactive oxygen species, plants have evolved an antioxidant defense system that includes enzymes like superoxide dismutase (SOD). In the present research, SOD profiles & plant growth of sweet corn were investigated under drought & non-drought stresses.
2. **Materials & Methods:** A field experiment using a split-plot design based on a randomized complete block design was performed with two sweet corn cultivars under drought & non-drought stress conditions at the Moghan Agricultural Research Station, Iran. The main plot is the drought condition, one experiment was carried out at normal irrigation conditions, & the other was carried out with interrupted irrigation for 18 days ahead of the flowering stage. The sub-plot was two sweet corn cultivars, KSC403 & Chase. The plant height & grain yield were investigated under drought & non-drought stresses. The crude extracts of fresh leaves were prepared in a tris-HCl extraction buffer [Tris 50 mM, pH 7.5, ascorbic acid (50 mM), sucrose 5%, sodium metabisulfite (20 mM), PEG (2%), 2- mercaptoethanol (0.1%)] before use, with a ratio of 0.5 mg μl^{-1} (1W: 2V). The extracts were centrifuged at 10,000 g for 10 min at 4 °C using small Eppendorf tubes. The enzyme extracts were absorbed on filter paper & loaded onto 7.5% horizontal slab polyacrylamide gels (0.6×15×12 cm) with the use of the TBE (Tris-Borate-EDTA) electrode buffer (pH = 8.8). Electrophoresis was performed at 4 °C for 3 h. Two slices prepared from the slab gels were stained after electrophoresis to measure the enzyme activity. The staining SOD isoforms were analyzed based on the sensitivity to 2 mM KCN or 5 mM H_2O_2. The stained gels were then fixed & scanned at an appropriate range of wavelengths. To calculate optical density × area for each isozyme activity, the image analysis software, MCID, was used. The Cu/Zn-SOD gene expression was investigated under drought & non-drought stresses.
3. **Results & Discussion:** Based on the variance analysis of the data, there were significant differences at the 1% probability level among the different drought stress levels and the maize varieties for plant height and grain yield. The interaction effect of variety × drought stress was also significant only for plant height at the 5% probability level. Drought stress significantly reduced plant height by 19.04% compared to

normal irrigation conditions. Additionally, the comparison of the combined means for the hybrid × drought stress interaction for plant height showed that the KSC403 hybrid had the highest plant height under both normal and drought stress conditions. Drought stress significantly decreased the grain yield of the maize hybrids by 20.55%. Comparison of the mean grain yield of sweet maize varieties revealed that the KSC403 variety, with a grain yield of approximately 6.3 tons per hectare, had the highest grain production compared to the Chase variety. Electrophoretic analysis for SOD enzyme using 8% slab polyacrylamide gels showed three isoforms, SOD1 (Fe-SOD), SOD2 (Cu/Zn-SOD), & SOD3 (Mn-SOD), which were detected based on sensitivity to KCN & H_2O_2 inhibitors. The results of the data analysis for the activity of SOD isoforms indicated that the effects of hybrid and drought stress were both significant at the 1% probability level. Additionally, the interaction between hybrid × drought stress was also significant for SOD isoform activity. Drought stress significantly increased the activity of SOD isoforms compared to normal irrigation conditions, with increases of 27.05%, 30.06%, and 25.89% for Fe-SOD, Cu/Zn-SOD, and Mn-SOD, respectively, relative to normal watering conditions. The comparison of the mean activity of SOD isoform interactions between hybrid × drought stress showed that the KSC403 variety exhibited the highest activity of all three SOD isoforms compared to the Chase variety under both normal and drought stress conditions. The Cu/Zn-SOD gene expression using Real-time PCR in sweet corn cultivars indicated that drought stress increased Cu/Zn-SOD gene expression.

4. **Conclusion:** KSC403 with higher grain yield, plant height, & Cu/Zn-SOD activity ranked as a drought-tolerant hybrid in this study. It can be concluded that the increase in Cu/Zn-SOD activity may reduce damage caused by drought stress in sweet corn.

***Keywords*:** Correlation, Electrophoretic, Enzyme activity. Grain yield, Isoforms.

Citation: Rejae, F., Mohsenzadeh Golfazani, M., Moharramnejad, S. & Samizadeh Lahiji, H. (2025) Investigation of superoxide dismutase profile and its gene expression in two sweet corn hybrids under drought stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 17(1), 71-84. 10.22034/iuvs.2023.2015045.1332

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۹ ، دوره ۱۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴، صفحات (۸۴-۷۱)

دانشگاه ایلام شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2023.2015045.1332

ارزیابی پروفایل و بیان ژن آنزیم سوپراکسید دیسموتاز دو رقم ذرت شیرین تحت تنش خشکی

فاطمه رجائی[۱]، محمد محسن‌زاده گلفزانی[۲]، سجاد محرم نژاد[۳]*، حبیب اله سمیع‌زاده لاهیجی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران

٤- استاد، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

*نویسنده مسئول: s.moharramnejad@areeo.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱)

چکیده

خشکی یکی از تنش‌های محیطی مهم است که عملکرد گیاه ذرت را کاهش داده و وقوع آن در مزارع امری اجتناب ناپذیر است. به‌منظور ارزیابی عملکرد دانه، ارتفاع بوته، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و بیان ژن Cu/Zn-SOD تحت تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو رقم ذرت شیرین (KSC403 و Chase) تحت شرایط مزرعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان طی سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا شد. کرت اصلی شامل آبیاری عادی (بدون تنش خشکی) و تنش خشکی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه به‌مدت ۱۸ روز) و کرت فرعی دو رقم ذرت شیرین بودند. بر اساس نتایج تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه (۲۰/۵ درصد) و ارتفاع بوته (۱۹/۰۴ درصد) ارقام ذرت شیرین شد. آنالیز الکتروفورزی برای SOD روی ژل پلی‌آکریلامید هشت درصد نشان داد که سه ایزوفرم با وزن‌های مولکولی متفاوت مشاهده شد طوریکه این سه ایزوفرم براساس حساسیت به مهارکننده پتاسیم سیانید و هیدروژن پراکسید انجام گرفت. تنش خشکی باعث افزایش فعالیت Mn-SOD، Cu/Zn-SOD و Fe-SOD به‌ترتیب ۲۷، ۳۰ و ۲۵ درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش خشکی در ارقام ذرت شیرین بود. همبستگی بین عملکرد دانه با فعالیت Cu/Zn-SOD ارتباط مثبت معنی‌دار بود. بیان نسبی ژن Cu/Zn-SOD به روش Real-time PCR در ارقام ذرت شیرین نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش بیان نسبی Cu/Zn-SOD شد. بر این اساس، رقم KSC403 با بیشترین عملکرد دانه، ارتفاع بوته و فعالیت Cu/Zn-SODبه‌عنوان رقم متحمل به خشکی نسبت به رقم Chase شناسایی شد. بر مبنای نتایج حاصل چنین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش فعالیت Cu/Zn-SOD می‌تواند صدمات ناشی از تنش خشکی را در ذرت شیرین کاهش دهد.

***واژه‌های کلیدی*: الکتروفورز، ایزوفرم، فعالیت آنزیم، عملکرد دانه، همبستگی.**

استناد: رجائی، ف.، محسن‌زاده گلفزانی، م.، محرم‌نژاد، س. و سمیع‌زاده لاهیجی، ح. (۱۴۰۴). ارزیابی پروفایل و بیان ژن آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز دو رقم ذرت شیرین تحت تنش خشکی. *علوم سبزی‌ها*، ۱۷(۱)، ۸۴-۷۱.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

ذرت شیرین (*Zea mays* L. var saccharata) دارای اهمیت اقتصادی ویژه‌ای است، زیرا کلیه بخش‌های آن اعم از بلال، ساقه و برگ، چوب بلال و پوست بلال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در زمان برداشت، ساقه و برگ‌ها هنوز سبز بوده و می‌توان آنها را پس از برداشت بلال اصلی به عنوان علوفه با کیفیت بالا مورد استفاده دام قرار داد. از طرف دیگر پوست بلال و چوب بلال آن نیز در کارخانجات صنایع تبدیلی بعد از جدا شدن دانه آن به صورت کنسرو قابل استفاده برای خوراک دام است. ذرت تقاضای فزاینده‌ای دارد زیرا منبع اصلی غذا، خوراک و انرژی محسوب می‌شود (Bonea, 2020). این محصول حساس به تنش آبی است که بر رشد و بهره‌وری آن تأثیر منفی می‌گذارد (Allakonon *et al*., 2022). اثرات خشکی و تنش دمای بالا بر عملکرد دانه پیچیده است. قرار دادن گیاه ذرت در معرض تنش خشکی متوسط یا شدید به‌طور قابل توجهی ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن دانه در بلال را در مقایسه با گیاهان در شرایط آبیاری خوب کاهش داد (El-Sanatawy *et al*., 2021). علاوه‌بر این، کمبود آب در مرحله گرده‌افشانی باعث کاهش لقاح تخمک‌ها که در نتیجه آن تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه کاهش گردید (Abdelkader *et al*., 2022). همچنین، کمبود آب باعث کاهش حرکت کربوهیدرات‌ها از غلاف ساقه و برگ به دانه شده که منجر به کاهش وزن دانه در بلال می‌شود (Bharathi *et al*., 2018). مرحله پر شدن دانه برای تعیین میانگین وزن دانه، ترکیب دانه و بنابراین، عملکرد کمی و کیفی نهایی بسیار مهم است (El-Sanatawy *et al*., 2021). در ذرت، نیاز آبی در مراحل اولیه رشد کم، در مراحل رشد تولید مثلی حداکثر و در مراحل نهایی رشد مجدداً کاهش می‌یابد. حدود دو هفته قبل از ظهور تارهای ابریشم، ذرت وارد دوره تعیین عملکرد دانه می‌شود که بیشترین حساسیت را به تنش خشکی دارد و پژمردگی مداوم در این مرحله می‌تواند عملکرد را سه تا پنج درصد در روز کاهش دهد (Jain *et al*., 2019).

تغییرات محیطی، به‌طور قابل توجهی متابولیسم، رشد و عملکرد را مختل می‌کنند، به‌عنوان موقعیت‌های تنش‌زا در نظر گرفته می‌شوند و باعث پاسخ‌های تنش در سیستم بیولوژیکی می‌شوند. چنین تنش تحمیلی معمولاً با افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و گونه‌های نیتروژن فعال (RNS) همراه است که منجر به عدم تعادل بین تولید و جمع‌آوری آن‌ها می‌شود. علیرغم ماهیت واکنشی و در نتیجه سمی، ROS و RNS نیز اجزای کلیدی مسیرهای انتقال سیگنال هستند که پاسخ‌های تنش را تحریک می‌کنند. علاوه بر این، ROS و RNS در فرآیندهای رشد گیاه (Panahabadi & Ahmadikhah, 2022; Prazeres & Coelho, 2020) و فعل و انفعالات گیاه و میکروب درگیر هستند. با این حال، تولید بیش از حد ROS و RNS باید توسط سیستم آنتی اکسیدانی مقابله شود تا از توسعه آسیب و مرگ سلولی جلوگیری شود. تنش خشکی طولانی مدت و افزایش شدت تنش منجر به واکنش‌های سازگاری بیشتر می‌شود (Laxa *et al*., 2019). این پاسخ‌ها شامل تنظیم اسمزی،کاهش نسبت ساقه به ریشه، تغییرات دیواره سلولی، برنامه ریزی مجدد متابولیسم و فعال سازی سیستم آنتی اکسیدانی می‌باشند (Moursi *et al*., 2021). سازوکارهای درگیر در تولید ROS می‌تواند آنزیمی یا غیر آنزیمی باشد. دفاع آنزیمی معمولاً به‌عنوان مؤثرترین دفاع در نظر گرفته می‌شود (Nasirzadeh *et al*., 2021). آنزیم‌های اصلی درگیر در این سیستم شامل سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POX) و کاتالاز (CAT) هستند (Moharramnejad *et al*., 2019). علاوه بر این آنزیم‌ها، کاروتنوئیدهای خاص و گلوتاتیون نیز می‌توانند به‌عنوان اجزای غیر آنزیمی در سیستم آنتی اکسیدانی نقش داشته باشند. آنزیم‌هایی مانند SOD، POX و CAT یا به‌طور مستقیم ROS را از بین می‌برند یا به‌طور غیرمستقیم با مدیریت دفاع غیر آنزیمی از گیاهان محافظت می‌کنند (Laxa *et al*.,

2019). آنزیم SOD اولین آنزیم در مسیر آنتی اکسیدانی آنزیمی است. ایزوفرم‌های SOD در گیاهان عالی براساس محل فعالیت و نقش عمده در مبارزه با سمیت ROSها تقسیم‌بندی می‌شوند.

خانواده SOD عدم تناسب رادیکال‌های سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) را در سیستم‌های بیولوژیکی کاتالیز می‌کند تا هیدروژن پراکسید (H_2O_2) و اکسیژن (O_2) را تشکیل دهد، که نقش مهمی در محافظت از سلول‌ها در برابر اثرات سمی رادیکال‌های سوپراکسید تولید شده در بخش‌های مختلف سلولی ایفا می‌کند. SODهای گیاهی متالوآنزیم‌هایی هستند که حاوی آهن، منگنز یا مس/روی به‌عنوان گروه پروتزی هستند. تعداد، نوع و توزیع ایزوفرم‌های SOD بسته به گونه، مرحله رشد و شرایط محیطی می‌تواند تغییر کند (Moharramnejad & Valizadeh, 2019). بسته به فلزات موجود در محل فعال به Cu/Zn-SOD، Mn-SOD و Fe-SOD گروه‌بندی می‌شوند. درگیاهان عالی Fe-SOD از پلاستیدها، Mn-SOD از ماتریس میتوکندری و Cu/Zn-SOD از سیتوزول جدا شده است. Cu/Zn-SOD در دسته (SOD-1)، از آنزیم‌های هستند که در طول تکامل حفظ شده‌اند، که معمولاً دارای دو زیر واحد یکسان با حدود ۳۲ کیلو دالتون هستند که هر کدام شامل یک خوشه فلزی، محل فعال، یک اتم مس و روی که توسط یک لیگاند مشترک (His61) پل شده است (Mishra & Sharma, 2019). اعتقاد بر این است Cu/Zn-SOD که نقش مهمی در خط اول دفاع آنتی اکسیدانی ایفا می‌کند، بیان ژن و فعالیت ایزوفرم Cu/Zn-SOD در ذرت تحت تنش خشکی افزایش قابل توجهی نشان داده است (Mishra & Sharma, 2019; Moharramnejad *et al.*, 2019).

در این راستا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی نحوه پاسخ ایزوفرم‌های SOD روی ژل هشت درصد پلی-آکریلامید و بیان ژن اولین سد دفاعی آنتی اکسیدان Cu/Zn-SOD و همچنین ویژگی‌های رشدی و عملکرد دو هیبرید ذرت شیرین تحت تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و نحوه اعمال تنش خشکی

در این تحقیق، دو رقم هیبرید ذرت شیرین شامل Chase (تهیه شده از موسسه کشاورزی مبین کشت) و KSC403 su (تهیه شده از واحد تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) طی سال زراعی ۱۴۰۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تکرار اجراء شد. کرت اصلی دو سطح آبیاری شامل آبیاری عادی (۱۰ نوبت آبیاری جوی و پشته‌ای براساس عرف منطقه) و تنش خشکی (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 کرت فرعی دو رقم ذرت شیرین بودند. آماده سازی بستر بذر شامل گاو آهن‌دوار، شخم برگردان، تسطیح بهاره و دیسک بود. قبل از این‌که کاشت صورت گیرد، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۵۰ 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 به طول ۱۲ متر با فاصله بین بوته ۳۰ سانتی‌متر و با تراکم حدود ۵۴ هزار بوته در هکتار کشت شد. برای اطمینان از سبز شدن بذور در هر کپه به‌صورت دستی سه بذر کاشته شد و پس از تنک کردن در مرحله ۴-۳ برگی فقط تک بوته مناسب در هر کپه نگه داشته شد. همچنین، وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی در همه مراحل انجام گرفت. بعد از اعمال تنش خشکی از بلال-های دو خط وسط به‌عنوان عملکرد دانه توسط ترازو وزن‌کشی شد.

استخراج و رنگ‌آمیزی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

نمونه‌هایی از برگ تازه در بافر استخراج (شامل تریس ۵۰ میلی‌مولار، ساکارز ۵ درصد، اسکوربیک اسید ۵۰ میلی‌مولار، سدیم متابی سولفیت ۲۰ میلی‌مولار و پلی اتیلن گلیکول دو درصد، ۲-مرکاپتواتانول ۰/۱ درصد، pH=7) با نسبت وزنی یک به یک برای برگ و بافر استخراج، به درستی هموژنیزه شدند. محلول به دست آمده در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای چهار درجه سیلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. عصاره آنزیمی با قطعه‌های بریده شده کاغذ واتمن شماره سه و مناسب با اندازه چاهک، جذب و در ژل‌های پلی-آکریلامید هفت و نیم درصد با اندازه ۱۵×۱۲×۰/۶ سانتی‌متر بارگذاری شده و پس از آن دستگاه الکتروفورز با آمپراژ کمتر از ۳۰ میلی‌آمپر راه اندازی شد (Moharramnejad & Valizadeh, 2019). نزدیک چهار ساعت بعد از راه اندازی دستگاه، وقتی آبی بروموفنول با حرکت ۱۰-۸ سانتی‌متر به انتهای ژل که وارد شد، در آن موقع ژل برای رنگ آمیزی و برش آماده می‌شود. پس از تمام شدن الکتروفورز، ژل‌ها از وسط برش داده می‌شود و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز جهت رویت ایزوفرم‌های آن رنگ آمیزی شد (Omrani & Moharramnejad, 2018).

بیان ژن Cu/Zn-SOD

استخراج RNA توسط کیت بایوزول از نمونه‌های تازه برگ‌های ذرت شیرین صورت گرفت. کیفیت RNA استخراج شده، توسط درصد تعیین شد. برای ساخت cDNA، از روش پیشنهادی شرکت فرمنتاز استفاده گردید (Peiri & Fazeli, 2022). ارزیابی بیان ژن Cu/Zn-SOD، برای نمونه‌های تنش و بدون تنش خشکی به‌همراه ژن مرجع بتا اکتین (جدول ۱) از دستگاه Real-Time PCR آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز مورد استفاده قرار گرفت. در بیان فعالیت ژن‌های مورد مطالعه از روش ارزیابی نسبی استفاده شد. در این روش میزان افزایش یا کاهش بیان ژن در هر تیمار نسبت به تیمار کنترل به‌صورت نسبت بیان می‌شود که در این حالت امکان اندازه‌گیری میزان بهدعبارتی یک در نظر بیان ژن در تیمار کنترل وجود ندارد و گرفته می‌شود. بنابراین بیان نسبی ژن‌ها از روش $۲^{-\Delta\Delta CT}$ محاسبه می‌گردد به این صورت که هر تیمار با گیاهان کنترل مربوط به زمان خود مقایسه می‌شود (Shiriga *et al*., 2014).

جدول ۱- توالی آغازگرهای مورد مطالعه

Table 1- Primers sequence s are used in this study

آغازگر Primer		توالی Sequence
Zm Cu-Zn SOD	F	5′TGTTGCAAATGCTGAGGGCATAGC3′
	R	3′CCAACAACACCACATGCCAGTCTT5′
βACT	F	5′TGTCCATCACTTGTGAAGCCTCCT3′
	R	3′ACGACCTTAGCCAATATCGCACCA5′

تجزیه و تحلیل آماری

برای کمی سازی داده‌های ایزوفرم‌های SOD از نرم‌افزار MCID به‌عنوان فعالیت دنسیتومتریک "مساحت × شدت" برای هر نوار آنزیمی روی ژل پلی‌آکریلامید استفاده شد. بعد از تست نرمال بودن باقیمانده‌ها تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها (Hasani Jifroudi & Mohebodini, 2016) با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت.

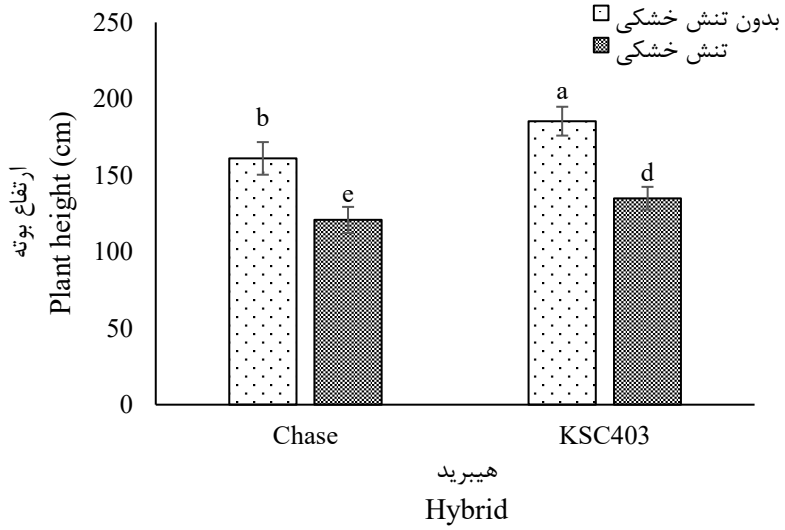
نتایج و بحث

ارتفاع بوته و عملکرد دانه

با توجه به تجزیه واریانس داده‌ها، بین سطوح مختلف تنش خشکی و نوع رقم اختلاف معنی‌دار در سطح

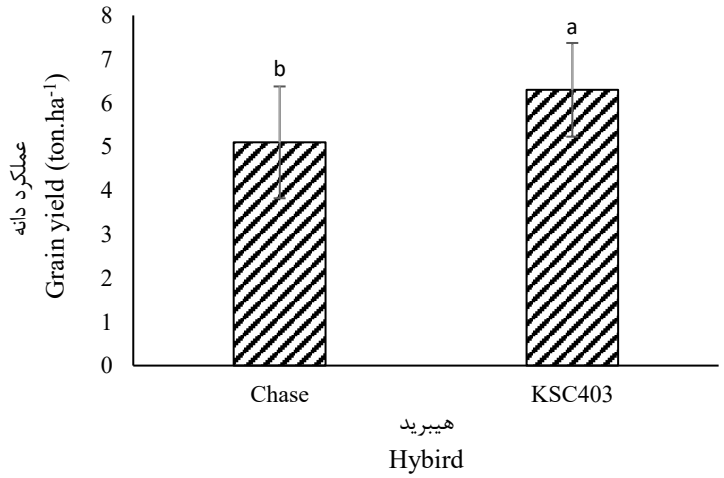
احتمال یک درصد برای ارتفاع بوته و عملکرد دانه وجود داشت و برهمکنش رقم × تنش خشکی نیز فقط برای ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌داری بود. تنش خشکی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش ۱۹/۰۴ درصد ارتفاع بوته نسبت به شرایط آبیاری عادی شد (شکل ۱) همچنین مقایسه میانگین برهمکنش هیبرید × تنش خشکی برای ارتفاع بوته نشان داد که هیبرید KSC403 دارای بیشترین ارتفاع بوته را در هر دو شرایط عادی و تنش خشکی داشت (شکل ۱). تنش خشکی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش ۲۰/۵۵ درصد عملکرد دانه هیبریدهای ذرت نسبت به شرایط عادی شد.

مقایسه میانگین عملکرد دانه ارقام ذرت شیرین نشان داد که رقم KSC403 با عملکرد دانه حدود ۶/۳ تن در هکتار بیشترین عملکرد دانه در مقایسه با رقم Chase داشت (شکل ۲).



شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع بوته دو رقم ذرت شیرین تحت تنش و بدون تنش خشکی (در هر صفت حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد)

Figure 1- Comparison of means for plant height of two sweet corn cultivars under drought & non-drought stresses (Various letters indicate significant differences at $p< 0.05$)



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه دو رقم ذرت شیرین (در هر صفت حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد)

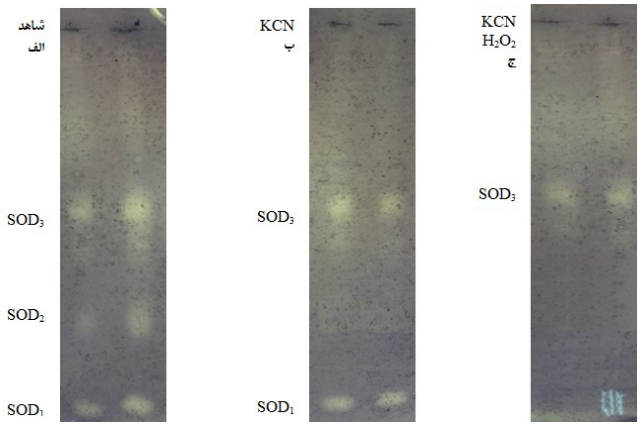
Figure 2- Comparison of means for grain yield of two sweet corn cultivars (Various letters indicate significant differences at $p< 0.05$)

رشد طولی گیاه یکی از پارامترهای مهمی است که به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد به‌طوریکه در گزارشی توسط نصراله زاده اصل و همکاران (۲۰۱۷)، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته ۱۲ درصد شد. زراعی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدن که تنش خشکی دوره پر شدن دانه را کاهش می‌دهد و موجب تولید دانه‌های کوچکتر می‌شود. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که چنانچه خشکی ادامه یابد یا شدن آن زیادتر شود وزن دانه‌ها نیز کاهش خواهد یافت. اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه‌ها، ظرفیت انتقال مواد فتوسنتزی به آنها را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد و باعث چروکیدگی دانه‌ها و عملکرد دانه می‌شود (Ghassemi *et al.*, 2020). پیکرستان و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی ارقام مختلف ذرت شیرین تحت تنش خشکی در دو مرحله رشد رویشی و رشد زایشی اظهار کردند تنش خشکی در هر دو مرحله باعث کاهش ارتقاع بوته و عملکرد دانه رقم KSC403 و Chase شدند، که با نتایج این تحقیق سازگار است.

فعالیت ایزوفرم‌های آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)

با توجه به اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم SOD، سه ایزوفرم به‌ترتیب SOD1 (Fe-SOD)، SOD2 (Cu/Zn-SOD) و SOD3 (Mn-SOD) روی ژل پلی‌آکریلامید هشت درصد مشاهده شد. بر اساس نوع تیمار پتاسیم سیانید و هیدروژن پراکسید جایگاه هر کدام از ایزوفرم‌ها رویت گردید (شکل ۳).

ایزوفرم‌های SOD را می‌توان با مهار آنها توسط H_2O_2 و پتاسیم سیانید (KCN) متمایز کرد. توالی اسیدهای آمینه Cu/Zn-SOD با سایر ایزوآنزیم‌ها متفاوت است و احتمالاً به‌طور مستقل در سلول‌های یوکاریوت ایجاد می‌شود به همین خاطر در حضور H_2O_2 و KCN این آنزیم غیر فعال و روی ژل قابل رویت نیست و همچنین ایزوفرم Fe- SOD در حضور H_2O_2 غیرفعال می‌شود (Mishra & Sharma, 2019). ارزیابی ایزوزیم‌های SOD روی ژل پلی‌آکریلامید نشان داد که سه فرم با وزن‌های مولکولی متفاوت وجود داشت (Ghasemi *et al.*, 2022; Moharramnejad *et al.*, 2019; Panahabadi & Ahmadikhah, 2022). محرم‌نژاد و ولیزاده (۲۰۱۹) روی سه هیبرید ذرت تحت تنش کم آبی، سه ایزوفرم به‌ترتیب Fe-SOD، Cu/Zn-SOD و Mn-SOD روی ژل پلی‌آکریلامید مشاهده کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.



شکل ۳- ایزوفرم‌های سوپراکسید دیسموتاز الف: شاهد (SOD_1، SOD_2 و SOD_3)، ب: تیمار سه میلی‌مولار پتاسیم سیانید به‌ترتیب Fe-SOD (SOD_1) و Mn-SOD (SOD_3) و ج: ترکیب تیمار سه میلی‌مولار پتاسیم سیانید و ۳۰ میکرولیتر هیدروژن پراکسید Mn-SOD (SOD_3)

Figure 3- SOD isoforms a; Control (SOD1, SOD2, & SOD3), b; 2 mM KCN (SOD1 as Fe-SOD & SOD3 as Mn-SOD), & c; 2 mM KCN & 5mM H_2O_2 (SOD3 as Mn-SOD)

نتایج حاصل از تجزیه داده‌ها برای فعالیت ایزوفرم‌های SOD نشان داد که اثر هیبرید و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود همچنین برهمکنش هیبرید × تنش خشکی برای فعالیت ایزوفرم‌های SOD نیز معنی‌دار بود. تنش خشکی به‌طور معنی‌دار باعث افزایش فعالیت ایزوفرم‌های SOD در مقایسه با شرایط آبیاری عادی شد، به‌طوریکه این افزایش به‌ترتیب ۲۷/۰۵، ۳۰/۰۶ و ۲۵/۸۹ درصد برای Fe-SOD، Cu/Zn-SOD و Mn-SOD نسبت به شرایط آبیاری عادی بود (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش هیبرید × تنش خشکی فعالیت ایزوفرم‌های SOD نشان داد که رقم KSC403 بیشترین فعالیت سه ایزوفرم SOD در مقایسه با رقم Chase در هر دو شرایط آبیاری عادی و تنش خشکی داشت (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین فعالیت ایزوفرم‌های آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ارقام ذرت شیرین تحت تنش و بدون تنش خشکی

Table 2- Comparison of means SOD isoform activities in sweet corn cultivars under drought & non-drought stresses

تنش Stress	رقم Cultivar	Mn-SOD (Dansitometric)	Cu/Zn-SOD (Dansitometric)	Fe-SOD (Dansitometric)
بدون تنش خشکی Un-drought	Chase	850.02d	946.57e	1068.25e
	KSC403	984.67c	992.17d	1135.35d
تنش خشکی Drought stress	Chase	1142.40b	1239.22b	1473.85b
	KSC403	1278.95a	1335.20a	1581.50a

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار سطح احتمال پنج

Various letters indicate significant differences at $p< 0.05$

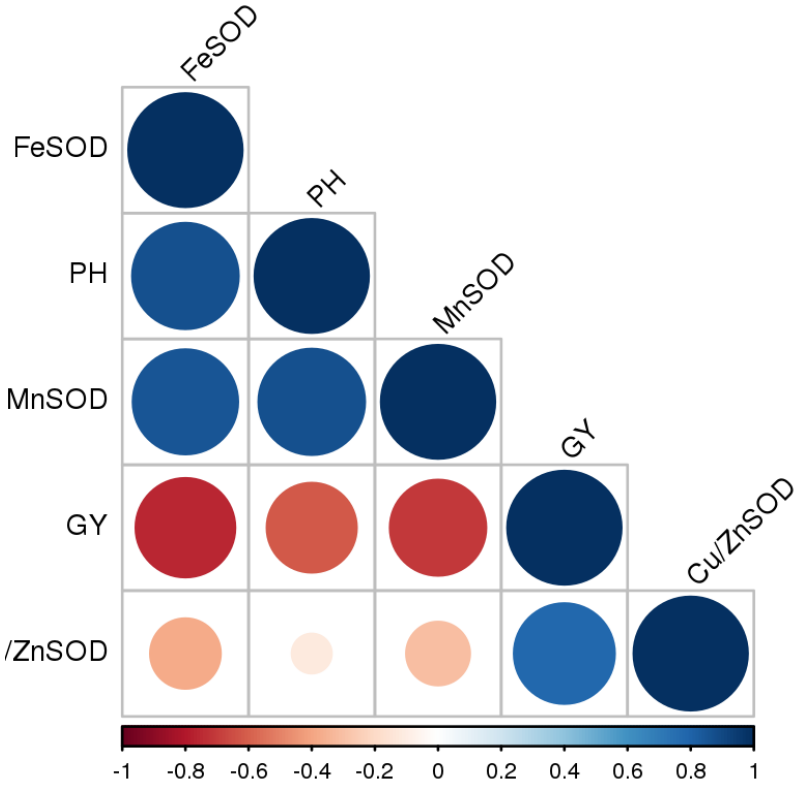
آنزیم SOD که کاتالیزکننده تغییر موازات آنیون سوپراکسید به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی است، یکی از مهمترین مکانیسم‌های دفاعی اولیه در برابر تنش اکسیداتیو است و نقش مهمی در بقای گیاهان تحت تنش‌های محیطی ایفا می‌کند (Nasirzadeh *et al*., 2021). گزارش‌های متعددی روی گیاه ذرت نشان می‌دهد که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان جهت افزایش توان گیاه برای تحمل به تنش خشکی امر ضروری می‌باشد (Ghasemi *et al*., 2022; Laxa *et al*., 2019). آزمایش انتقال ژن SOD نشان داد که افزایش فعالیت SOD در گیاه تراریخته باعث افزایش تحمل گیاه به تنش غیر زنده می‌شود (del Río *et al*., 2018). گزارش‌های متعددی مبنی بر افزایش فعالیت ایزوفرم‌های SOD تحت تنش خشکی روی گیاه ذرت شده‌است که نشان از اهمیت این آنزیم در جهت کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی و اسمزی در گیاه دارد (Moharramnejad *et al*., 2019; Moharramnejad & Valizadeh, 2019; Shiriga *et al*., 2014)، که با نتایج این تحقیق سازگار است.

همبستگی

تجزیه همبستگی بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته و ایزوفرم‌های SOD نشان داد که ارتباط مثبت معنی‌داری بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته و ایزوفرم Cu/Zn-SOD بود همچنین بین عملکرد دانه و Mn-SOD و Fe-SOD همبستگی منفی معنی‌دار وجود داشت (شکل ۴). چنین به‌نظر می‌رسد ارقامی با عملکرد بالا، ارتباط مستقیمی با افزایش میزان فعالیت Cu/Zn-SOD دارد.

گردش آنتی اکسیدان‌ها در گیاه تحت تنش خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی به‌طور مستقیم با عملکرد بالای گیاه ارتباط مثبت معنی‌دار وجود دارد، که نشان می‌دهد این آنتی اکسیدان‌ها خصوصاً SOD می‌تواند

به‌عنوان نشانگرهای قابل اعتماد برای انتخاب گیاهان متحمل به خشکی استفاده شوند. به احتمال زیاد، القای سیستم دفاع آنتی اکسیدان در ژنوتیپ‌ها متفاوت باشند، به‌طوریکه در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی فعالیت بیشتری از SOD وجود دارد، به این معنی که معماری ژنتیکی از طریق فعال کردن آنزیم‌های آنتی اکسیدان نقش کلیدی در تحمل خشکی دارد (Moursi *et al*., 2021). مطالعات متعدد روی گیاه ذرت در مراحل مختلف رشدی تحت تنش خشکی نشان داده‌است که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان ارتباط مثبت معنی‌دار با صفات زراعی دارد، به‌طوریکه باعث افزایش تحمل گیاه ذرت به تنش خشکی می‌شود و تا حدودی منجر به کاهش اثرات مضر تنش اسمزی می‌شود (Ghasemi *et al*., 2022; Laxa *et al*., 2019; Mishra & Sharma, 2019; Moharramnejad *et al*., 2019; Moharramnejad & Valizadeh, 2019; Panahabadi & Ahmadikhah, 2022)، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شکل ۴- همبستگی بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته و ایزوفرم‌های SOD

Figure 4- Correlation between grain yield with plant height & SOD isoforms

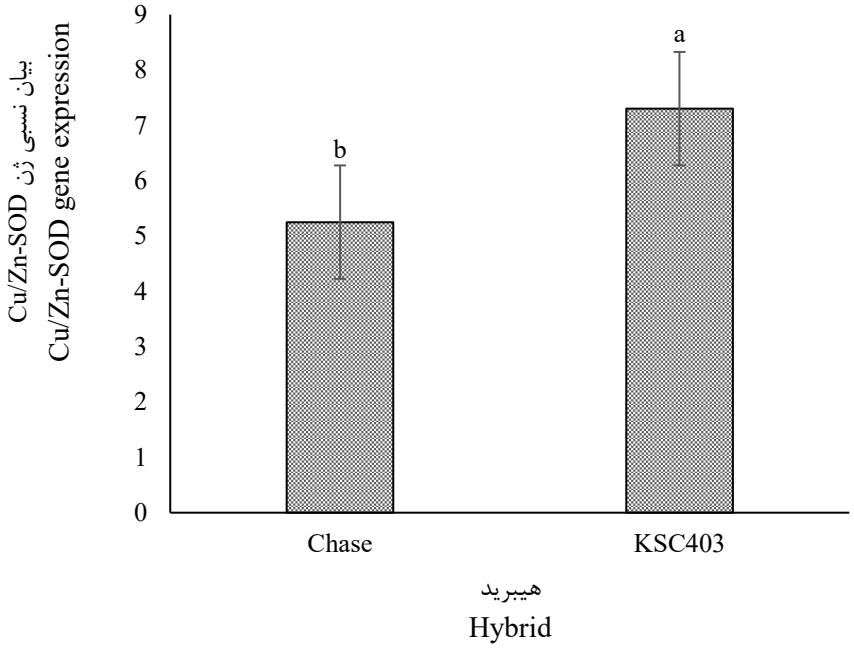
بیان ژن Cu/Zn-SOD

با توجه به اهمیت ایزوفرم Cu/Zn-SOD در گیاهان مختلف به‌دلیل اولین خط دفاع آنتی اکسیدانی برای مقابله باROSها (Moharramnejad & Valizadeh, 2019; Panahabadi & Ahmadikhah, 2022; Shiriga *et al*., 2014) و همچنین به‌دلیل ارتباط مثبت معنی‌دار با عملکرد دانه و ارتفاع بوته به‌عنوان ایزوفرم کاندید برای ارزیابی بیان نسبی ژن آنزیم Cu/Zn-SOD انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد که بیان نسبی ژن Cu/Zn-SOD در هر دو رقم ذرت شیرین افزایش معنی‌دار نشان داد، به‌طوریکه میزان بیان نسبی ژن Cu/Zn-SOD در رقم KSC403 در مقایسه با رقم Chase افزایش قابل توجهی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی داشت (شکل ۵).

بیان ژن SOD سه رقم ذرت در مرحله چهار برگی، گرده افشانی و ۱۰ روز پس از گرده افشانی توسط صحرایی قمش و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که بیان ژن SOD درهر سه رقم ذرت تحت تنش خشکی در

مرحله گرده افشانی بیشتر از دور گروه دیگر تنش خشکی بود. به‌طور کلی براساس نتایج برخی آزمایشات ژن SOD از ژن‌هایی است که تحت تأثیر ROS، افزایش نسبی بیان نشان می‌دهد و نقش مهمی در دفاع در مقابل تنش اکسیداتیو دارد (Mishra & Sharma, 2019). در تنش خشکی به علت تولید انواع ROS در گیاه، احتمال وقوع تنش اکسیداتیو (به‌عنوان تنش ثانویه) وجود دارد. گیاهان از طریق فعال سازی سیستم دفاع آنتی اکسیدان، شامل SOD و سایر آنزیم‌های آنتی اکسیدان میزان مقاومت به تنش خشکی را افزایش می‌دهند (Panahabadi & Ahmadikhah, 2022).

محرم نژاد و ولیزاده (۲۰۱۹) با ارزیابی بیان ژن Cu/Zn-SOD در سه هیبرید ذرت دانه‌ای تحت تنش کم آبی در شرایط مزرعه عنوان کردند که بیان *نسبی ژن* Cu/Zn-SOD در هر سه هیبرید ذرت دانه‌ای افزایش می‌یابد، چنین به‌نظر می‌رسد ایزوفرم سیتوپلاسمی SOD با کاهش اثر سوء تنش اسمزی به‌عنوانی مکانیسم مقاومت در گیاه تحت تنش کم آبی القا می‌کند. شیریگا و همکاران (۲۰۱۴) نیز با ارزیابی تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای در ذرت بیان نسبی ژن Cu/Zn-SOD را افزایش گزارش کرده‌اند، که با نتایج این پژوهش سازگار است.



شکل ۵- مقایسه میانگین بیان نسبی ژن Cu/Zn-SOD در دو رقم ذرت شیرین ذرت نسبت به بدون تنش خشکی (در هر صفت حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد)

Figure 5- Comparison of means for Cu/Zn-SOD gene expression of two sweet corn cultivars compared to undrought stress (Various letters indicate significant differences at $p< 0.05$)

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر، عملکرد دانه و ارتفاع بوته در هر دو رقم ذرت شیرین تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. SOD روی ژل پلی‌آکریلامید هشت درصد با سه ایزوزیم در هر دو رقم ذرت شیرین مشاهد شد، به‌طوریکه سه ایزوزیم SOD در هر دو رقم ذرت شیرین افزایش فعالیت معنی‌دار تحت تنش خشکی نشان داد. همچنین همبستگی بین عملکرد دانه با ایزوزیم‌های SOD معنی‌دار بود که نشان از ارتباط قابل توجهی در جهت کاهش اثر خشکی در ارقام ذرت شیرین داشت. بیان نسبی ژن آنزیم Cu/Zn-SOD حاکی از افزایش معنی‌دار نسبت به بدون تنش خشکی

بود. ارقام ذرت شیرین مورد ارزیابی با القای سیستم دفاع آنتی اکسیدان مانع از تخریب بیشتر بافت‌های سلولی در مقابل تنش اکسیداتیو ناشی از تنش ثانویه به‌وجود آمده از تنش خشکی می‌شود.

References

Abdelkader, M. A., El-Gabry, Y. A., Sayed, A. N., Shahin, M. G., Darwish, H. A., Aboukota, M. E., Hashem, F. A.-E., & Abd-Elrahman, S. H. (2022). Evaluation of physio-biochemical criteria in maize inbred lines & their F1 hybrids grown under water-deficit conditions. *Annals of Agricultural Sciences*, 67, 220-231. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2022.12.002

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

Bharathi, A., Ragavan, T., Geethalakshmi, V., Rathinasamy, A., & Amutha, R. (2018). Influence of deficit irrigation schedules on nutrient uptake of maize hybrid under drip system. *Journal of Pharmacognosy & Phytochemistry*, 7, 272-275.

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

Del Río, L. A., Corpas, F. J., López-Huertas, E., & Palma, J. M. (2018). Plant superoxide dismutases: Function under abiotic stress conditions. *Antioxidants & Antioxidant Enzymes in Higher Plants*, 1-26. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_1

El-Sanatawy, A. M., El-Kholy, A. S., Ali, M. M., Awad, M. F., & Mansour, E. (2021). Maize seedling establishment, grain yield and crop water productivity response to seed priming and irrigation management in a Mediterranean arid environment. *Agronomy* 11, 756. https://doi.org/10.3390/agronomy11040756

Ghasemi, A., Farzaneh, S., Moharramnejad, S., Sharifi, R. S., Youesf, A. F., Telesinski, A., Kalaji, H. M., & Mojski, J .(2022). Impact of 24-epibrassinolide, spermine, & silicon on plant growth, antioxidant defense systems, and osmolyte accumulation of maize under water stress. *Scientific Reports*, 12, 14648. https://doi.org/10.1038/s41598-022-18229-1

Ghassemi, A., Farzaneh, S., & Moharramnejad, S. (2020). Impact of ascorbic acid on seed yield & its components of sweet corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of Plant Physiology & Breeding* 10, 41-49. https://doi.org/10.22034/jppb.2020.12492

Hasani Jifroudi, H., & Mohebodini, M. (2016). Evaluation of genetic diversity and classification of some Iranian indigenous fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) populations using multivariate statistical methods. *Journal of Vegetables Sciences*, 2(4), 21-35. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2016.32879

Jain, M., Kataria, S., Hirve, M., & Prajapati, R. (2019). Water deficit stress effects and responses in maize. *Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular & Biotechnological Approaches*, 129-151. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_5

Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K., & Dietz, K. J. (2019). The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*, 8(4), 94. https://doi.org/10.3390/antiox8040094

Mishra, P., & Sharma, P. (2019). Superoxide Dismutases (SODs) and their role in regulating abiotic stress induced oxidative stress in plants. *Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms*, 53-88.https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch3

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 & photosynthetic pigments. *Pakistan Journal of Botany*, 51, 799-807.

Moharramnejad, S., & Valizadeh, M. (2019). A key response of grain yield & superoxide dismutase in maize (*Zea mays* L.) to water deficit stress. *Journal of Plant Physiology & Breeding*, 9, 77-84. https://doi.org/10.22034/jppb.2019.10606

Moursi, Y. S., Dawood, M. F., Sallam, A., Thabet, S. G., & Alqudah, A. M. (2021). Antioxidant enzymes & their genetic mechanism in alleviating drought stress in plants. *In* "Organic Solutes, Oxidative Stress, & Antioxidant Enzymes Under Abiotic Stressors", pp. 233-262. CRC Press.

Nasrollahzade Asl, V., Shiri, M., Moharramnejad, S., Yusefi, M., & Baghbani Mehmandar, F. (2017). Effect of drought tension on agronomy and biochemical traits of three maize hybrids (*Zea mays* L.). *Crop Physiology Journal*, 8(32), 45-60. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.2008403.1395.8.32.3.9

Nasirzadeh, L., Sorkhilaleloo, B., Majidi Hervan, E., & Fatehi, F. (2021). Changes in antioxidant enzyme activities and gene expression profiles under drought stress in tolerant, intermediate, & susceptible wheat genotypes. *Cereal Research Communications*, 43; 83-89. https://doi.org/10.1007/s42976-020-00085-2

Omrani, B., & Moharramnejad, S. (2018). Study of salinity tolerance in four maize (*Zea mays* L.) hybrids at seedling stage. *Journal of Crop Breeding*, 9(24), 79-86. (In Persian). https://doi.org/10.29252/jcb.9.24.79

Panahabadi, R., & Ahmadikhah, A. (2022). Altered expression of superoxid dismutase (SOD) isoforms is necesary for better performance of A recently developed drought-tolerant mutant of rice under dehydration stress. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology Research*, 4, 245-252. https://doi.org/10.33140/JGEBR

Peiri, T., & Fazeli, A. (2022). Identification of ecotypes and different species of savory (*Satureja* spp.) using DNA barcoding genes. J*ournal of Vegetables Sciences*, 6(12), 82-96. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.540180.1179

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, e42476. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42476

Sahraei Ghamesh ,F., Navabpour, S., Yamchi, A., & Mazandarani, A. (2022). Evaluation of proline amount, yield & expression of genes involved in drought stress in maize cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 14, 56-64. (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.56

Shiriga, K., Sharma, R., Kumar, K., Yadav, S. K., Hossain, F., & Thirunavukkarasu, N. (2014). Expression pattern of superoxide dismutase under drought stress in maize. *International Journal of Innovative Research in Science,*

Engineering & Technology, 3, 11333-11337

Zarei, T., Moradi, A., Kazemeini, S. A., Farajee, H., & Yadavi, A. (2019). Improving sweet corn (*Zea mays* L. var saccharata) growth and yield using *Pseudomonas fluorescens* inoculation under varied watering regimes. *Agricultural Water Management*, 226, 105757. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105757