# مطالعه خصوصیات بیوشیمیایی و مولکولی و عملکرد هیبریدهای مختلف ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد

**ابراهیم هادی، سودابه جهانبخش گده کهریز*، مرتضی کامرانی، قاسم پرمون و صلاح محمدی**

**گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی**

**(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۰۲)**

**چکیده**

**به‌منظور بررسی واکنش هیبریدهای مختلف ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، آزمایشی در قالب طرح اسپیلیت پلات، بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی مغان اجزاء گردید. تیمارها شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله‌ی گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله‌ی پرشدن دانه) در کرت‌های اصلی و هفت هیبرید تجاری (سینگل‌کراس ۲۶۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۴ و دابل‌کراس ۳۷۰) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تنش، هیبرید و اثر متقابل هیبرید در تنش بر میزان پروتئین، کربوهیدرات، لیزین، متیونین، پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. عملکرد دانه نیز تنها تحت تأثیر اثر اصلی تنش و هیبرید قرار گرفت. تنش در بیشتر هیبریدها موجب افزایش در میزان پروتئین، پرولین، کربوهیدرات و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز و کاهش در میزان لیزین و متیونین شد. بالاترین میزان فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی از هیبرید سینگل-کراس ۷۰۴ و بالاترین متابولیت‌های سازگاری در شرایط تنش از هیبرید سینگل‌کراس ۴۰۰ و ۵۰۰ مشاهده شد. بالاترین عملکرد دانه نیز از هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ با میانگین ۱۱/۴۹ تن در هکتار به دست آمد. نتایج رگرسیونی نیز نشان داد در شرایط بدون تنش کربوهیدرات بالاترین سهم را در پیش‌بینی عملکرد و در شرایط تنش میزان لیزین و پرولین بالاترین سهم را در تعیین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند.**

**واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، تنش، عملکرد دانه، کاتالاز، لیزین، هیبرید**

**مقدمه**

ذرت (*Zea mays L*) بـه دلیل قدرت سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون، در تمام دنیا گسترش یافت و مکان سوم را بعد از گندم و برنج ازنظر سطح زیر کشت به خود اختصاص داد (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۳). مقاومت نسبت به خشکی و ورس، قدرت پذیرش کامل مکانیزاسیون در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، پذیرش کشت‌های متوالی، پوشش بلال، کارایی مصرف آب بالا و مصارف صنعتی از دلایل عمده‌ی توسعه کشت آن در دنیا می‌باشد (آذرکی، ۱۳۸۱).

صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی کمک مؤثری به تولید بهینه محصولات زراعی خواهد کرد. کمیت و کیفیت رشد گیاه به میزان تقسیم سلولی و تمایز بستگی دارد که تمام این وقایع تحت تأثیر وضعیت آبی گیاه می‌باشد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: jahanpakhsh@uma.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

(Cabuslay *et al*., 2002). تنش آبی، یکی از عوامل تنش‌زا و محدود کننده تولیدات گیاهان زراعی است. علت اصلی تنش آب در گیاه افزایش میزان تلفات آب، یا کافی نبودن میزان جذب آب بوده که بر اثر آن میزان تلفات آب ناشی از تعرق بر میزان جذب آن پیشی گرفته و میزان تنش افزایش می‌یابد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸٤). تنش آب بزرگ شدن سلول را بیشتر از تقسیم سلولی که در اثر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مثل فتوسنتز، تنفس، جذب یون، متابولیسم مواد غذایی و هورمون می‌باشد، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bhatt and Srinivasa, 2005).

تنش خشکی موجب تحریک گیاه به یک‌سری پاسخ‌های دفاعی در سطوح مختلف سلولی و فیزیولوژیکی می‌شود. کمبود آب باعث افزایش اشکال اکسیژن فعال می‌شود. این مولکول‌های فعال موجب صدمه به ماکرو مولکول‌ها و نیز ساختار سلولی شده و همچنین موجب فعال شدن سلسله پاسخ‌های دفاعی گیاه می‌گردند (Ariano *et al*., 2005). گیاهان از سیستم آنزیمی نظیر سوپراکساید دیسموتاز، کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز، پراکسیداز و اسکوربات پراکسیداز برای دفاع در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال استفاده می‌نمایند. آنزیم سوپراکساید دیسموتاز، یک آنزیم حد واسط بوده و رادیکال‌های آزاد سوپراکساید را به $O_2$ و $H_2O_2$ تبدیل می‌کند. بقیه‌ی آنزیم‌های مذکور در پاک‌سازی مولکول $H_2O_2$ تولید شده در سلول ایفای نقش می‌نمایند (Ariano *et al*., 2005).

تنظیم اسمزی یکی از مهم‌ترین میکانیزم‌های تحمل خشکی در گیاهان است و به‌واسطه کاهش پتانسیل اسمزی از طریق تجمع املاح در سلول‌های گیاه حاصل شده و با حفظ فشار آماس سلول‌ها به توسعه سلولی و رشد گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند (Bajji *et al*., 2001). محلول‌های سازگاری، مولکول‌های محلولی با وزن مولکولی کم می‌باشند که غیر سمی هستند و در متابولیسم سلولی دخالت نمی‌کنند. این ترکیبات با افزایش تعداد ذرات در محلول، به حفظ فشار تورگر در شرایط دهیدراته شدن کمک می‌کنند (Hirt and Shinozaki., 2004). پرولین یکی از این ترکیبات می‌باشد که یک مولکول آلی است که در گیاهان تحت تنش به‌عنوان محافظ ماکرو مولکول‌ها، منبع انرژی، خنثی‌ساز رادیکال‌های آزاد و ترارسان علامت در تنش عمل می‌کند (Rahnama and Ebrahimzadeh, 2004). تجمع پرولین پتانسیل اسمزی واکوئل‌ها را کاهش می‌دهد و تحمل گیاه در برابر تنش افزایش را می‌دهد (Cicek and Cakirlar, 2002). قندهای محلول و برخی دیگر از اسیدآمینه‌ها دسته دیگری از محافظت کننده‌های اسمزی هستند. در پاسخ به تنش خشکی وضعیت آن‌ها تغییر می‌کند و این امر ممکن است به‌عنوان یک سیگنال متابولیک انجام وظیفه می‌نماید (Pagter *et al*., 2005).

خشکی خطر جدی، برای تولید موفق ذرت در سراسر جهان محسوب می‌شود. در بررسی و ملاحظه‌ی اثر حجم آبیاری در سه مرحله از رشد و توسعه‌ی ذرت، مشاهده نمودند که گیاه ذرت حساسیت بالایی نسبت به کمبود آب در مرحله‌ی گل‌دهی دارد (Wasson and wicks, 2000). در آزمایشی، اثرات تنش خشکی در ارقام مختلف ذرت نشان دادند در تمامی ارقام تعداد برگ ثابت بوده و ارتفاع بوته کاهش یافت. قطر ساقه کم‌تر شده و مدت دوره‌ی رشد نیز کوتاه گردیده است (Sarvar and Ali, 1999). پژوهش‌گران عنوان کردند پروتئین‌ها در هنگام تنش برای کاهش میزان خسارت در گیاهان تولید می‌شوند، هم‌چنین تنش باعث تغییر ماهیت و غیرکاربردی شدن پروتئین‌ها می‌شوند (Mohammadkhani and Headari, 2008). مطالعات به نقش آنتی اکسیدانت‌ها در افزایش سطح تحمل به تنش در موتانت‌های ذرت در مواجهه با تنش اشاره داشته‌اند (Chang and Kao, 1998). حبیب پور و همکاران (۱۳۹٤) در مطالعه خود نشان دادند تنش کم آبی موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و همچنین عملکرد دانه در هیبریدهای مختلف ذرت شرین شد. حداد و سالک جلالی(۱۳۸۸) نیز نشان داد میزان پروتئین کل وفعالیت آنزیم‌های سوپر اکساید دسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز جو با اعمال تنش خشکی افزایش معنی‌داری نشان داد. آئین (۱۳۹۱) نیز بیان کرد، اثر رقم و تنش بر میزان پرولین و کربوهیدارت‌های محلول و اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

میزان کربوهیدرات‌های کنجد معنی‌دار شد. تنش خشکی در مراحل مختلف رشد باعث افزایش انباشت پرولین و کربوهیدارت‌های محلول در برگ و جذب یون‌های پتاسیم و روی در برگ شد. گودرزی غفاری و همکارن (۲۰۱۵) نیز در بررسی تاثیر تنش در مراحل مختلف رشد بر فعالیت آنزیم و محتوای آب نسبی بافت هیبریدهای مختلف ذرت نشان دادند که میزان و سرعت رشد، محتوای آب نسبی و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی هیبریدهای مختلف ذرت کاهش یافته و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت کاتالاز، پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتار و پرولین در اثر تنش افزایش پیدا کرد.

به طور کلی آگاهی از پاسخ‌های مولکولی و بیوشیمیایی به خشکی برای درک کامل از مکانیزم‌های مقاومت گیاهان به شرایط کم‌آبی در گیاهان ضروری است (Jaleel *et al.*, 2006; Shao *et al.*, 2005) و موجب می‌شود که بتوان بستگی به منطقه و شرایط اقلیمی، رقم مناسب را گزینش کرد به همین خاطر هدف از این مطالعه بررسی پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی هیبریدهای مختلف ذرت به تنش‌های خشکی در مراحل مختلف رشدی و گزینش هیبرید متحمل بر اساس صفات بیوشیمیایی و همچنین بررسی ارتباط بین صفات بیوشیمیایی صفات و تحمل هیبریدهای ذرت به تنش بود.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در قالب طرح اسپیلیت پلات بر پایه‌ی طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی مغان انجام گرفت. سطوح تنش به‌عنوان فاکتور اصلی (شرایط نرمال یا بدون تنش، تنش در مرحله‌ی گل‌دهی و تنش در مرحله‌ی پرشدن دانه) و هیبریدها به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. در این آزمایش، هفت هیبرید ذرت شامل سینگل‌کراس ۲۶۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۴ و دابل‌کراس ۳۷۰ بود. هر کرت شامل ۳ ردیف ۵ متری و با فاصله‌ی بین خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله‌ی ردیف ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از کود اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم، فسفره بر مبنای ۹۰ کیلوگرم از منبع سوپر فسفات تریپل و کود پتاس بر اساس ۵۰ کیلوگرم اکسید پتاس مصرف شد. برای مبارزه با علف‌های هرز از سم ارادیکان در مرحله‌ی قبل از کاشت و برای کنترل علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ از سموم توفوردی و کروز استفاده گردید. در این آزمایش صفات بیوشیمیایی شامل پروتئین کل، میزان کربوهیدرات، میزان اسیدآمینه‌های پرولین، لیزین، متیونین، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل‌اکسیداز و عملکرد دانه بر اساس روش‌های زیر اندازه‌گیری شد.

**سنجش غلظت پروتئین‌کل:** برای ستخراج پروتیئن‌کل ۰/۱ گرم از بافت تر برگ در ۲۰۰ میکرو لیتر بافر استخراج له نموده و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه‌ی سانتی‌گراد با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. برای سنجش غلظت پروتئین محلول، به ۱۰ میکرو لیتر از محلول پروتئین استخراج شده، ۲۹۰ میکرو لیتر آب مقطر و ۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد اضافه نموده و جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد (Guy *et al.*, 1992).

**سنجش غلظت کربوهیدرات برگ:** برای استخراج قندهای کل ۰/۱ گرم از بافت تر برگ با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد له نموده، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۷۰ درجه ی سانتی‌گراد قرار داده شدند. این کار مجدداً دو بار تکرار گردید و درنهایت ۳ میلی‌لیتر از عصاره‌ی به مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. در ادامه ۳ میلی‌لیتر از محلول آنترون به ۱۰۰ میکرو لیتر از عصاره مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در بن‌ماری ۱۰۰ درجه قرار داده شد. میزان جذب آن در طول‌موج ٦۲۵ نانومتر قرائت شد (Omokolo *et al.*, 1996).

**سنجش غلظت پرولین:** غلظت پرولین با استفاده از روش اسید نین‌هیدرین اندازه‌گیری شد (Bates *et al.*, 1973). ۰/۲ گرم از نمونه‌های برگی با ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد مخلوط و سپس با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ گردید، سپس دو میلی‌لیتر از عصاره را با دو میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط گردید. محلول حاصل به مدت یک ساعت در

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

بن‌ماری ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفت و در ادامه به هر نمونه چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و بعد از ورتکس فاز رویی جدا و با اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید.

**سنجش غلظت اسیدآمینه لیزین و متیونین:** ۰/۵ گرم نمونه برگی در هاون به همراه ۵۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال سائیده شد و سپس با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتری رسانده شد. جهت استخراج لیزین ۱ میلی‌لیتر از محلول بالا با ۱۰ میلی‌لیتر گلیسرول (۵۰ درصد)، ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات و ۱ میلی‌لیتر نین‌هیدرین مخلوط کرده و بعد به مدت ۳۰ دقیقه در آب جوش ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس محلول را با آب به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانده و پس از ۱۵ دقیقه میزان جذب آن در ۵۷۰ نانومتر قرائت گردید. جهت استخراج متیونین نیز ۱ میلی‌لیتر از محلول تهیه شده در قسمت بالا با ٤ میلی‌لیتر از سدیم هیدروکسید (۵ نرمال)، ۲ میلی‌لیتر از محلول گلیسین آبدار (۵۰ درصد) و ۲ میلی‌لیتر از محلول سدیم نیتروفری‌سیانید آبدار (۰/۱درصد) مخلوط گردید. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۵ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید (۱:۱) اضافه نموده و جذب آن در ۵۱۰ نانومتر خوانده شد (Losak *et al*., 2010).

**سنجش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانت:** پس از آماده‌سازی عصاره‌ی پروتئینی به‌منظور سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با اضافه کردن ۲/۵ میلی‌لیتر از بافر تریس ۵۰ میلی‌مولار، ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و ٦۰ میکرو لیتر عصاره‌ی آنزیمی و قراءت تغییرات جذب در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر صورت گرفت (Chance and Maehly, 1955). فعالیت آنزیم پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز به روش‌کار و میشرا (Kar and Mishra, 1976). صورت گرفت. ۲/۵ میلی‌لیتر از بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار با ۲/۵ میلی لیتر آب اکسیژنه ۵۰ میلی‌مولار و ۲/۵ میلی‌لیتر پیروگالل ۱۰۰ میلی‌مولار مخلوط کرده و به آن ۵۰ میکرولیتر عصاره‌ی آنزیمی افزوده و منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ٤۲۵ نانومتر قرائت شد. برای اندازه‌گیری پلی‌فنل اکسیداز ۱/۵ میلی‌لیتر از بافر تریس ۰/۲ مولار با ٤۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار مخلوط کرده و به آن ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره‌ی آنزیمی افزوده شد در طول‌موج ٤۲۰ نانومتر قرائت شد.

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح اسپلیت پلات با استفاده از نرم‌افزار SAS ver 9.4 صورت گرفت. مقایسه‌ی میانگین تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. تجزیه رگرسیونی به صورت تک متغیره غیره خطی و تشخیص نوع معالات رگرسیونی با استفاده از نرم افزار SPSS ver 23 استفاده شد.

## نتایج و بحث

**میزان پروتئین:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد، میزان پروتئین تحت تأثیر عامل اصلی تنش، هیبرید و برهم‌کنش آن‌ها در سطح ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۱). تنش موجب افزایش در میزان پروتئین برگ‌ها شد. در شرایط آبیاری کامل هیبرید سینگل‌کراس ۳۰۳ با میانگین ۳۹ میلی‌گرم بر گرم بالاترین میزان پروتئین و دابل‌کراس ۳۷۰ با میانگین ۹/۹ میلی‌گرم کمترین میزان پروتئین را به خود اختصاص دادند. در تنش در مرحله گلدهی نیز هیبریدهای سینگل‌کراس ۳۰۱ و ۵۰۰ و در تنش در مرحله پر شدن دانه هیبریدهای سینگل کراس ۲٦۰ و ٤۰۰ بالاترین میزان پروتئین را نشان دادند (جدول ۲). تغییرات پروتئین دارای نتایج متفاوتی بود. بعضی منعقدند که تنش خشکی شدید باعث افزایش پروتئین برگ در گیاهان مختلف می‌گردد، ولی اکثر آن‌ها بر این باورند که تنش خشکی شدید باعث کاهش پروتئین در گیاه ذرت می‌شود (Mohammadkhani and Headari, 2008; Ti-dal *et al*., 2006). حداد و سالک جلالی (۱۳۸۸) نیز در مطالعه خود به افزایش میزان پروتئین کل در شرایط تنش در گیاه جو اشاره کرده است. افزایش میزان پروتئین در شرایط تنش می تواند به عنوان یک پاسخ مقاومتی در گیاه تلقی شود .درنتیجه مقدار پروتئین معیار مناسبی برای غربال‌گری هیبریدها نیست، بلکه تکمیل کننده سایر معیارهای مورد ارزیابی به‌خصوص آنزیم‌ها می‌باشد (Renu and Devarshi, 2007; Shao *et al*., 2005).

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

**جدول ۱- تجزیه واریانس متابولیت‌های سازگاری مورد مطالعه بر روی هیبریدهای ذرت در شرایط تنش خشکی.**

| منابع | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | پرولین | پروتئین | لیزین | متیونین |
| تکرار | ۲ | ۰/۰۰۰۰٤$^{ns}$ | ۵۷۸۹٦ $^{ns}$ | ۰/۰۰۱۵$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۰۲٤$^{ns}$ |
| تنش | ۲ | ٦/۳۸۱۳۹$^{**}$ | ۱۷۱٤۳/٤۵$^{**}$ | ۰/٦٤۷۱$^{**}$ | ۰/۰۰۹۸۵۳$^{**}$ |
| اشتباه کرت اصلی | ٤ | ۰/۰۰۰۰۸ | ۵۸۲/۰۵ | ۰/۰۰۰٤ | ۰/۰۰۰۰۳۷ |
| هیبرید | ٦ | ۰/٦۰۱٤٤$^{**}$ | ۱۰٤۷۰۰/٦$^{**}$ | ۵/۵۷۱۸$^{**}$ | ۰/۰۰٤۹۱۸$^{**}$ |
| هیبرید × تنش | ۱۲ | ۰/۳۳٦٦۳$^{**}$ | ۱۱۵۸۹٤/۸$^{**}$ | ۲/۰٦۵۸$^{**}$ | ۰/۰۰۷۹٤۷$^{**}$ |
| اشتباه کرت فرعی | ۳٦ | ۰/۰۰۰۰۸ | ۱۲۱/۵ | ۰/۰۰۱۱ | ۰/۰۰۰۰۰۸ |
| ضریب تغییرات | – | ۰/۷۲ | ۱/۰۳ | ۱/۱٦ | ٦/۳٤ |

ns - غیرمعنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و * معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

**جدول ۲- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری هیبرید در تنش بر متابولیت‌های سازگاری.**

| تنش | هیبرید | متیونین | لیزین | پروتئین | پرولین | کربوهیدرات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (mg per g) | | | | |
| آبیاری کامل | سینگل‌کراس ۲٦۰ | ۰/۰۹٤$^{c-t}$ | ۲/۱۹٤$^{f}$ | ۱۱/۹۹$^{p}$ | ۰/۷۷۳$^{k}$ | ۱/۰۰۵$^{e-h}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۱ | ۰/۰۹۷$^{c-t}$ | ۱/۳۰٤$^{k}$ | ۱۳/٦۱$^{o}$ | ۰/۸۰۹$^{k}$ | ۱/۸۷۵$^{a}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۲ | ۰/۱۱۹$^{c-f}$ | ۳/٦٦٤$^{b}$ | ۳۹/۱۹$^{a}$ | ۱/۳۹۵$^{e}$ | ۰/۸۲۱$^{g-i}$ |
| | سینگل‌کراس ٤۰۰ | ۰/۱۱۸$^{c-g}$ | ۳/٤٦۵$^{c}$ | ۲۳/٦٦$^{k}$ | ۰/۷۵۳$^{k}$ | ۱/۰۵۳$^{d-h}$ |
| | سینگل‌کراس ۵۰۰ | ۰/۱۵۲$^{bc}$ | ۲/۵۷۵$^{e}$ | ۳۱/۵٦$^{f}$ | ۰/۷۵۹$^{k}$ | ۰/۷۰۰$^{ij}$ |
| | سینگل‌کراس ۷۰٤ | ۰/۱٤۲$^{b-d}$ | ۳/۷۷۹$^{a}$ | ۳٤/۲٦$^{c}$ | ۲/۲۳٤$^{b}$ | ۰/۹۵۷$^{f-i}$ |
| | دابل‌کراس ۳۷۰ | ۰/۰٦۳$^{f-i}$ | ۰/۹۵۵$^{m}$ | ۹/۹۳$^{r}$ | ۰/٦۱۵$^{l}$ | ۱/۱۷۷$^{d-f}$ |
| تنش در مرحله گلدهی | سینگل‌کراس ۲٦۰ | ۰/۰۷۲$^{fi}$ | ۰/۹۰۲$^{n}$ | ۲۷/٤۲$^{h}$ | ۰/۹٦۸$^{j}$ | ۱/۰۸٤$^{d-g}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۱ | /۰۵۱$^{hi}$ | ۱/۲٦۳$^{k}$ | ۳۰/۱۲$^{g}$ | ۰/۵۵۹$^{lm}$ | ۱/۰۰۱$^{e-h}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۲ | ۰/۱۱۲$^{c-t}$ | ۱/۰۳۹$^{l}$ | ۱۱/٤۰$^{q}$ | ۱/۸۲۰$^{c}$ | ۱/۰٦۵$^{d-h}$ |
| | سینگل‌کراس ٤۰۰ | /۱۰۳$^{c-t}$ | ۱/۸٦۵$^{g}$ | ۱۱/۷۸$^{pq}$ | ۱/۱۷٤$^{h}$ | ۱/۵۹۲$^{b}$ |
| | سینگل‌کراس ۵۰۰ | ۰/۰٦۱$^{f-i}$ | ۱/٦۵٤$^{h}$ | ۳۳/۳۳$^{d}$ | ۲/۳۵۷$^{a}$ | ۱/۵۰۲$^{bc}$ |
| | سینگل‌کراس ۷۰٤ | ۰/۲۲٦$^{a}$ | ۲/۸۰۱$^{d}$ | ۱۷/۵۲$^{n}$ | ۲/۱۸۹$^{b}$ | ۱/۳٤۰$^{b-d}$ |
| | دابل‌کراس ۳۷۰ | ۰/۰۵۲$^{hi}$ | ۰/٦۷٦$^{p}$ | ۲۰/۵۰$^{m}$ | ۱/۲٤٦$^{g}$ | ۱/۳۲۸$^{b-d}$ |
| تنش در مرحله پر شدن دانه | سینگل‌کراس ۲٦۰ | ۰/۵٦۳$^{g-i}$ | ۰/۵۲۲$^{q}$ | ۳۷/۱٦$^{b}$ | ۰/۵۳۷$^{m}$ | ۱/۱۵۰$^{d-f}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۱ | ۰/۰٦۲$^{f-i}$ | ۰/۷۹۲$^{o}$ | ۹/۲۱$^{s}$ | ۰/۵۸۱l$^{m}$ | ۱/۵۸۸$^{b}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۲ | ۰/۰٤٦$^{i}$ | ۰/۷۹۲$^{o}$ | ۲٦/۲٤$^{i}$ | ۱/۰۳۳$^{i}$ | ۰/۷۸۳$^{hi}$ |
| | سینگل‌کراس ٤۰۰ | ۰/۱۲۸$^{c-e}$ | ۱/٦۲۷$^{h}$ | ۳۲/۷۹$^{e}$ | ۱/۸۳۲$^{c}$ | ۰/۹۰۸$^{f-i}$ |
| | سینگل‌کراس ۵۰۰ | ۰/۰۹۰$^{d-i}$ | ۱/٤۲۵$^{j}$ | ۲۲/۳٤$^{l}$ | ۱/٦۳٤$^{d}$ | ۱/۲۹۲$^{c-e}$ |
| | سینگل‌کراس ۷۰٤ | ۰/۱۹٦$^{ab}$ | ۱/٤۱٤$^{j}$ | ۲۵/۱۹$^{j}$ | ۱/۳۳٤$^{f}$ | ۰/۹٦۲$^{f-i}$ |
| | دابل‌کراس ۳۷۰ | ۰/۰۵٦$^{hi}$ | ۱/۵٤٤$^{i}$ | ۲٤/۸۷$^{j}$ | ۱/۳٦۲$^{ef}$ | ۰/٤۵۸$^{j}$ |

**میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری دارد.**

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

**کربوهیدرات:** برهم‌کنش تنش در هیبرید بر میزان کربوهیدرات برگ‌های ذرت نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج نشان داد واکنش هیبریدها طی مراحل مختلف تنش متفاوت بود. میزان کربوهیدرات در هیبرید سینگل‌کراس ۲٦۰ در مراحل مختلف تنش روند افزایشی داشت این در حالی بود که در هیبرید سینگل‌کراس ۳۰۱ میزان کربوهیدرات در تنش در مرحله گلدهی کاهش و در مرحله پر شدن مجدداً در مقایسه با مرحله گلدهی افزایش نشان داد. در هیبریدهای سینگل‌کراس ۳۰۳، ٤۰۰، ۵۰۰، ۷۰٤ و دبل کراس ۳۷۰ میزان کربوهیدرات در مرحله گلدهی افزایش یافته ولی تنش در مرحله پر شدن موجب کاهش در کربوهیدرات شد. در شرایط بدون تنش(آبیاری کامل) سینگل‌کراس ۳۰۱ و سینگل‌کراس ۵۰۰ به ترتیب با میانگین‌های ۱/۸ و ۰/۷ میلی‌گرم بیشترین و کمترین میزان کربوهیدرات را نشان دادند این در حالی بود که تنش در مرحله گلدهی سینگل‌کراس ٤۰۰ و ۵۰۰ بالاترین میزان کربوهیدرات را به خود اختصاص دادند. در تنش در مرحله پر شدن دانه نیز بالاترین کربوهیدرات مربوط به سینگل‌کراس ۳۰۱ با میانگین ۱/۵۸ میلی‌گرم بود (جدول ۲).

آئین (۱۳۹۱) و گودرزی غفاری و همکارن (۲۰۱۵) در مطالعات خود نشان دادکه در شرایط تنش میزان کربوهیدارتها افزایش پیدا می‌کند. افزایش در قندهای محلول در واکنش به تنش آب می‌تواند به انتقال کمتر از برگ‌ها، مصرف آرام‌تر به خاطر کاهش رشد و دیگر تغییرات مثل هیدرولیز نشاسته نسبت داده شود (Kamaeli and losel, 1996). برای افزایش کربوهیدرات‌های محلول در شرایط خشکی عوامل متعددی ذکر شده است. در شرایط خشکی ممکن است کربوهیدرات-های مرکب به کربوهیدرات‌های ساده تجزیه شوند. تحت شرایط تنش افزایش نسبت ساکارز به نشاسته و تجزیه نشاسته، هم‌چنین کاهش انتقال ساکارز به خارج از برگ‌ها منجر به افزایش کربوهیدرات‌های محلول می‌گردد. چنین فرآیندی تحت کمبود کوتاه‌مدت و بلندمدت آب دیده شده است (Pereira and Chaves, 1993). کاهش پتانسیل اسمزی برگ برای حفظ فشار تورژسانس در پاسخ به تنش آبی در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است. تجمع کربوهیدرات‌ها ممکن است سهم زیادی در تنظیم اسمزی نسبت به پرولین داشته باشد (Watanube *et al*., 2002).

**اسیدآمینه پرولین:** میزان پرولین نیز تحت تأثیر برهم کش تنش در هیبرید قرار گرفت. واکنش هیبریدها به تنش در مراحل مختلف رشدی متفاوت بود. در هیبرید سینگل‌کراس ۲۰٦ تغییرات پرولین همانند کربوهیدرات بوده و در اثر مراحل مختلف تنش افزایش نشان داد. این در حالی بود که در سینگل‌کراس ۳۰۱ تنش در مرحله گلدهی و پر شدن دانه موجب کاهش در میزان پرولین شدند. همچنین میزان پرولین در هیبریدهای سینگل‌کراس ۳۰۲، ٤۰۰، ۵۰۰، ۷۰٤ و دبل کراس ۳۷۰ در تنش گلدهی افزایش و در مرحله پر شدن دانه کاهش یافت. بیشترین مقدار پرولین در شرایط بدون تنش به سینگل‌کراس ۷۰٤ در تنش دوره‌ی گل‌دهی به سینگل‌کراس ۵۰۰ در دوره شدن دانه به سینگل‌کراس ٤۰۰ و کمترین آن در شرایط نرمال به دابل‌کراس ۳۷۰ در دوره‌ی گل‌دهی به سینگل‌کراس ۳۰۱ و در دوره‌ی پر شدن دانه به سینگل‌کراس ۲٦۰ متعلق بود (جدول ۲). یافته‌ها این مطالعه با مطالعات دیگر مطابقت دارد (Hua *et al*., 2010; Li *et al*., 2010). آئین (۱۳۹۱) نیز بیان کرد، تنش خشکی در مراحل مختلف رشد باعث افزایش انباشت پرولین و کربوهیدارت‌های محلول در برگ شد. گودرزی غفاری و همکارن (۲۰۱۵) نیز در بررسی تاثیر تنش در مراحل مختلف رشد بر فعالیت آنزیم و محتوای آب نسبی بافت هیبریدهای مختلف ذرت نشان دادند محتوای آب نسبی هیبریدهای مختلف ذرت کاهش یافته و میزان پرولین در اثر تنش افزایش پیدا کرد. افزایش بیشتر پرولین در ارقام مقاوم می‌تواند تأییدکننده‌ی نقش مؤثر پرولین در مقاومت به خشکی باشد. با توجه به این مطالب و این‌که پرولین یکی از حساس‌ترین اسمولیت‌های مقاومت به خشکی می‌باشد و موجب حفظ پتانسیل اسمزی در شرایط تنش و حفظ تورژسانس سلولی می‌شود (Hanson and Hitz, 1982).

**اسیدآمینه لیزین و متیونین:** نتایج نشان داد میزان اسیدآمینه لیزین و متیونین نیز تحت تأثیر برهم‌کنش اثرات متقابل تنش

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

**جدول ۳- تجزیه واریانس آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در شرایط تنش خشکی.**

| منابع | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | کاتالاز | پراکسیداز | پلی‌فنل‌اکسیداز | عملکرد دانه |
| تکرار | ۲ | ۰/۰۰۳$^{ns}$ | ۰/٦۹$^{ns}$ | ۰/۲۱$^{ns}$ | ۰/۰۸$^{ns}$ |
| تنش | ۲ | ۱۹۸/٤۳۳$^{**}$ | ۷۷۲۸/٤٦$^{**}$ | ۲٦۷۸/۷۲$^{**}$ | ٥٦/۰۷$^{**}$ |
| اشتباه کرت اصلی | ٤ | ۰/۰۰٥ | ۰/۱۷ | ۰/۰۹ | ۰/۸٤ |
| هیبرید | ٦ | ۳۸/٤۹٥$^{**}$ | ۹٦٦/۳۷$^{**}$ | ۳۷۰/۲٤$^{**}$ | ۲۲/۲۷$^{**}$ |
| هیبرید × تنش | ۱۲ | ۳۲/۷۳٤$^{**}$ | ۷۷٦/٦٥$^{**}$ | ۳۷۱/٦٥$^{**}$ | ۱/٤٦ $^{ns}$ |
| اشتباه کرت فرعی | ۳٦ | ۰/۰٤۹٦ | ۱/۱۹ | ۰/٤۲ | ۱/۰۹ |
| ضریب تغییرات | - | ۱/۱٥ | ۰/۸۹ | ۱/۱٦ | ۱۰/۲۸ |

**ns - غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و * معنی‌دار در سطح ۵ درصد.**

در هیبرید قرار گرفتند. تنش موجب کاهش در میزان لیزین و متیونین شد. بیشترین میزان لیزین در شرایط بدون تنش و تنش در دوره‌ی گل‌دهی به سینگل‌کراس ۷۰٤ و بیشترین میزان متیونین در این مراحل نیز به سینگل‌کراس ٥۰۰ و سینگل‌کراس ۷۰٤ متعلق بود. در دوره‌ی پر شدن دانه نیز بیشترین میزان لیزین به سینگل‌کراس ٤۰۰ و بیشترین میزان متیونین به سینگل‌کراس ۳۰۲ اختصاص یافت (جدول ۲). محققان پیشنهاد کردند که افزایش اسیدهای آمینه آزاد می‌تواند با افزایش پتانسیل اسمزی بر مقاومت گیاه در مقابل مشکل کم‌آبی کمک کند یا می‌تواند برعکس نیتروژن بر ترکیب آنزیم‌های خاص کمک کند (Navari-Izoo *et al.*, 1990). ازآنجایی‌که تأثیرات خشکی بر گونه‌ها، بافت‌ها و سن و هم‌چنین ماهیت، دوره و میزان استرس بستگی دارد، شگفت‌انگیز نیست که تفاوت‌های قابل‌توجهی در الگوی اسیدآمینه برای شرایط پرفشار وجود داشته باشد (Hanson and Hitz, 1982) افزایش میزان اسید آمینه لیزین و متیونین نیز در شرایط تنش در لوبیا توسط رشیدی و همکاران (۱۳۹٤) نیز گزارش شده است

**آنزیم‌های آنتی اکسیدانت:** فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز نیز تحت تأثیر تنش، هیبرید و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). تنش موجب افزایش فعالیت کاتالاز در هیبریدهای سینگل‌کراس ٤۰۰، ٥۰۰، ۷۰٤ و دبل کراس ۳۷۰، افزایش فعالیت پراکسیداز در هیبریدهای سینگل‌کراس ۳۰۲، ۷۰٤ و دابل‌کراس ۳۷۰ و افزایش فعالیت پلی فنل اکسیداز در سینگل‌کراس ۳۰۲، ٤۰۰، ٥۰۰ و دابل‌کراس ۳۷۰ شد. بیشترین آنزیم کاتالاز در شرایط بدون تنش به سینگل‌کراس ۳۰۲ در تنش دوره‌ی گل‌دهی و پر شدن دانه به سینگل‌کراس ۷۰٤ و بیشترین میزان آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در شرایط بدون تنش، تنش دوره‌ی گل‌دهی و پر شدن دانه به سینگل‌کراس ۷۰٤ و بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز در شرایط بدون تنش به سینگل‌کراس٥۰۰، در تنش دوره‌ی گل دهی و دوره‌ی پر شدن دانه به سینگل‌کراس ۷۰٤ اختصاص یافت (جدول ٤).

آنتی‌اکسیدانت نقش مهمی در تبدیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن به پراکسید هیدروژن به عهده دارد و به این دلیل میزان فعالیت آن‌ها به همراه بروز تنش در گیاه افزایش می‌یابد ( Saini and Westigate, 2000). مطالعات به نقش آنتی اکسیدانت‌ها در افزایش سطح تحمل به تنش در موتانت‌های ذرت در مواجهه با تنش اشاره داشته‌اند (Chang and Kao, 1998). حبیب پور و همکاران (۱۳۹٤) در مطالعه خود نشان دادند تنش کم آبی موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز در هیبریدهای مختلف ذرت شرین شد. حداد و سالک جلالی(۱۳۸۸) نیز نشان داد میـزان فعالیت آنزیم‌های سوپر اکساید دسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در اثر تنش افزایش نشان داد. گودرزی غفاری و همکارن (۲۰۱٥) نیز افزایش و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، پراکسیداز و گلوتاتیون

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

**جدول ٤- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری هیبرید در تنش برای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت**

| تنش | هیبرید | پلی‌فنل‌اکسیداز | پراکسیداز | کاتالاز |
|---|---|---|---|---|
| | | (OD per mg protein) | | |
| آبیاری کامل | سینگل‌کراس ۲٦۰ | ٤٤/٤٤$^{c}$ | ۷۰/۸۷$^{d}$ | ۱۲/۷٤$^{b}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۱ | ۳۹/٤٦$^{e}$ | ٦۳/۹۹$^{e}$ | ۷/٦۹$^{g}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۲ | ۱۲/۹٥$^{m}$ | ۲٤/۲۱$^{n}$ | ۱۸/٤۸$^{a}$ |
| | سینگل‌کراس ٤۰۰ | ۱۹/۱٥$^{i}$ | ۳۷/۱٦$^{i}$ | ۳/٦۳$^{i}$ |
| | سینگل‌کراس ٥۰۰ | ۱٥/۸٦$^{k}$ | ۸۸/۹۱$^{b}$ | ۳/٦۹$^{i}$ |
| | سینگل‌کراس ۷۰٤ | ٦۰/٥٦$^{a}$ | ۲٦/٤٦$^{m}$ | ۳/۱۱$^{k}$ |
| | دابل‌کراس ۳۷۰ | ۱۷/۰۷$^{j}$ | ۲۹/۸٦$^{l}$ | ۲/۸۷$^{k-m}$ |
| تنش در مرحله گلدهی | سینگل‌کراس ۲٦۰ | ۱٦/٤۰$^{jk}$ | ۳۱/۸۷$^{jk}$ | ۳/۲٥$^{jk}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۱ | ۱۹/۲٥$^{i}$ | ۳۰/٦۹$^{kl}$ | ۲/۹۱$^{k-m}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۲ | ۳٤/۲۱$^{f}$ | ۷۲/۷۲$^{m}$ | ۳/۰٤$^{kl}$ |
| | سینگل‌کراس ٤۰۰ | ٤۱/٤۱$^{d}$ | ۷۲/٤۹$^{d}$ | ۹/٥۱$^{e}$ |
| | سینگل‌کراس ٥۰۰ | ۱٦/۲۲$^{jk}$ | ۸۳/۳۷$^{c}$ | ۱۰/۰٤$^{c}$ |
| | سینگل‌کراس ۷۰٤ | ٤۱/٥۰$^{c}$ | ۹۱/۷٤$^{a}$ | ۱۰/۸۷$^{c}$ |
| | دابل‌کراس ۳۷۰ | ۲۸/۱٥$^{g}$ | ٤٤/٥٥$^{g}$ | ۳/٦۱$^{ij}$ |
| تنش در مرحله پر شدن دانه | سینگل‌کراس ۲٦۰ | ۱٤/۰٥$^{l}$ | ۲۳/۲۰$^{n}$ | ۲/٦۱$^{m}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۱ | ۱۹/۸۲$^{hi}$ | ۳۷/۷٥$^{i}$ | ۳/٥٤$^{ij}$ |
| | سینگل‌کراس ۳۰۲ | ۱٦/۷٦$^{jk}$ | ۳۳/۳٤$^{j}$ | ۲/٦۸$^{lm}$ |
| | سینگل‌کراس ٤۰۰ | ۱٦/۹۹$^{j}$ | ۲۷/۰۲$^{m}$ | ٥/٥٥$^{h}$ |
| | سینگل‌کراس ٥۰۰ | ۲۰/۰٦$^{hi}$ | ٤۰/٦٥$^{h}$ | ۸/۰۲$^{g}$ |
| | سینگل‌کراس ۷۰٤ | ٥۱/۰۰$^{b}$ | ٥۰/۸۳$^{f}$ | ۸/٦۹$^{f}$ |
| | دابل‌کراس ۳۷۰ | ۲۰/٦۰$^{h}$ | ۳٦/۲٦$^{i}$ | ۳/۲٥$^{jk}$ |

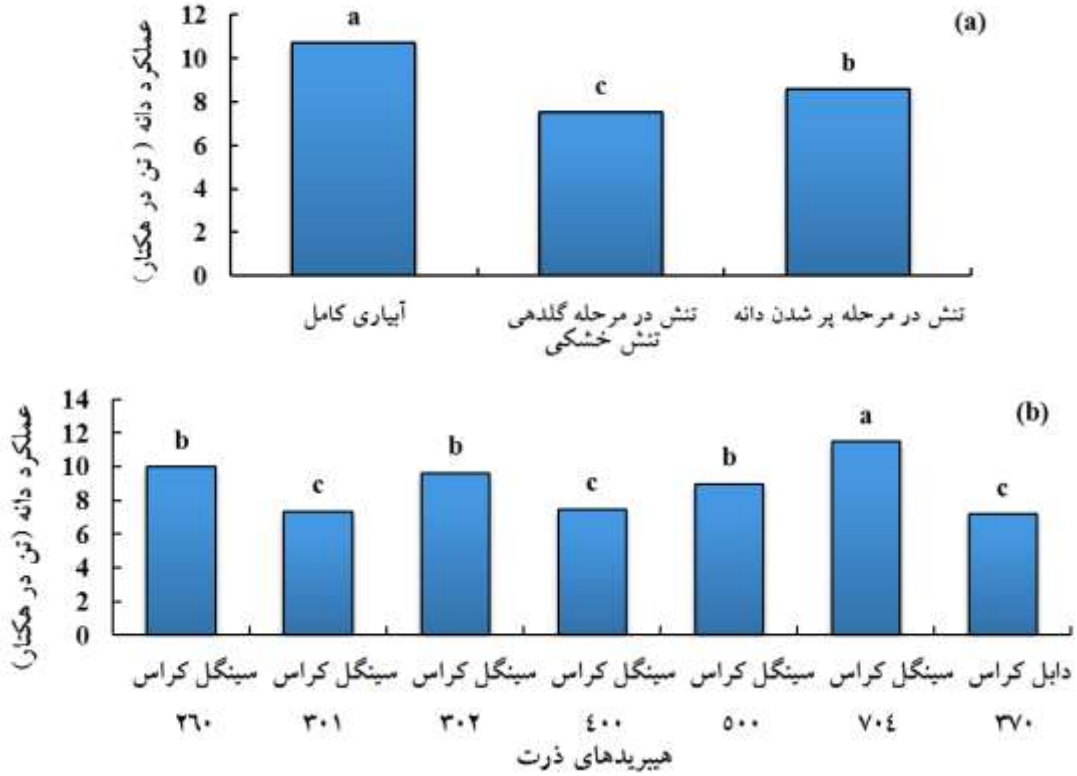
**میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون در سطح ٥ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری دارد.**

ردوکتاز در اثر تنش را گزارش کردند. تحقیقات نیز نشان دهنده بالا بودن کاتالاز در ارقام مقاوم نسبت به ارقام حساس گندم در شرایط تنش خشکی است (Feng *et al.*, 2004)؛ بنابراین با بالا رفتن سطوح تنش فعالیت این آنزیم در گیاه افزایش یافته و گیاه کمتر مورد تهاجم انواع اکسیژن فعال قرار می‌گیرند؛ زیرا اصولاً آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به‌عنوان اصلی‌ترین آنزیم‌های از بین برنده پراکسید هیدروژن شناخته شده‌اند و گیاه را در سطح مطلوب‌تری از تحمل به کمبود آب قرار می‌دهد. پلی‌فنل‌اکسیداز نیز در بیشتر گیاهان عالی یافت می‌گردد و وظیفه اصلی آن کاتالیز نوعی کوئینون از فنل‌ها در مجاورت مولکول اکسیژن است. ازجمله نقش‌های اصلی این آنزیم، تأثیرات آن بر تشکیل ریشه‌های نابجا و سازمان‌دهی و نمو ریشه است (Alschev *et al.*, 2002).

**عملکرد دانه:** عملکرد دانه تحت تاثیر اثرات اصلی تنش و هیبرید در سطح ۱ درصد قرار گرفت (جدول۳). تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه ذرت شد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری کامل و تیمار عدم آبیاری در مرحله‌ی ظهور گل تاجی می‌باشد (شکل ۱). همچنین با توجه به مقایسه میانگین اثرات هیبرید، بالاترین عملکرد دانه از هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤ با میانگین ۱۱/٤۸ تن در هکتار به دست آمد (شکل ۱). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به کاهش میزان فتوسنتز در این شرایط

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]




**شکل ۱- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه تحت تنش خشکی (a) و هیبریدهای مختلف ذرت (b). میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری دارد.**

و کاهش تثبیت کربن در اثر کاهش هدایت روزنه ای نسبت داد. همچنین در شرایط تنش گیاه برخی از کربن های تولیدی رو در جهت افزایش تحمل گیاه به تنش در جهت تولید پرولین و قندهای محلول و دیگر اسید آمنیه‌ها مصرف می‌کند که این امر نیز می‌تواند موجب کاهش عملکرد دانه شود. همچنین بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمار اعمال تنش خشکی در مرحله‌ی پر شدن دانه نسبت به گل‌دهی را می‌توان به انتقال مجدد مواد پرورده نسبت داد. به‌طوری‌که اگر گیاه در هنگام پر شدن دانه با تنش‌های محیطی (به‌ویژه تنش خشکی) روبرو شود، سهم مواد پرورده در انتقال مجدد پر شدن دانه بیشتر می‌شود (Farley and Shaw, 1989). مرحله گرده افشانی و دو هفته پس از آن حساس‌ترین دوره‌ی این گیاه نسبت به تنش خشکی می باشد و در طی این مدت در بین اجزای عملکرد تعداد دانه‌ها در هر بلال به‌شدت کاهش می‌یابد (Ouattar *et al*., 1987).

در بررسی و ملاحظه‌ی اثر حجم آبیاری در سه مرحله از رشد و توسعه‌ی ذرت، مشاهده نمودند که گیاه ذرت حساسیت بالایی نسبت به کمبود آب در مرحله‌ی گل‌دهی دارد ( Wasson and wicks, 2000). در آزمایشی، اثرات تنش خشکی در ارقام مختلف ذرت نشان دادند در تمامی ارقام تعداد برگ ثابت بوده و ارتفاع بوته کاهش یافت. قطر ساقه کم‌تر شده و مدت دوره ی رشد نیز کوتاه گردیده است (Sarvar and Ali, 1999). حبیب پور و همکاران (۱۳۹٤) در مطالعه خود نشان دادند تنش کم آبی موجب کاهش عملکرد دانه در هیبریدهای مختلف ذرت شرین شد. گودرزی غفاری و همکارن (۲۰۱۵) نیز در بررسی تاثیر تنش در مراحل مختلف رشد بر فعالیت آنزیم و محتوای آب نسبی بافت هیبریدهای مختلف ذرت نشان دادند که میزان و سرعت رشد، محتوای آب نسبی و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی هیبریدهای مختلف ذرت کاهش یافت. کاهش عملکرد ذرت بر اثر تنش بستگی به عواملی مثل مرحله‌ی نموی گیاه که در معرض تنش قرار گرفته است و هم‌چنین به‌شدت، به طول مدت تنش و میزان حساسیت رقم دارد (Ouattar *et al*., 1987).

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

**جدول ۵- مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی عملکرد دانه در طی صفات مورد ارزیابی.**

| صفات وابسته X | ژنوتیپ | همبستگی R square | ضرایب رگرسیونی معادله $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | مدل Model |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| آبیاری کامل | پروتئین | ۰/۴۶۳ | ۱/۷۰** | ۰/۳۳۹** | ns.... | ns.... | $Y = e\ (b_0+b_1 1/t)$ |
| | پرولین | ۰/۰۱۴ | ۹/۲۹ | -۰/۷۵۷ | ns.... | ns.... | $Y = b_0+(b_1 \text{ Ln } X)$ |
| | لیزین | ۰/۱۸۶ | ۲/۸۴ | ۳۱/۱۱ | -۲۹/۱۲ | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| | متیونین | ۰/۱۷۳ | ۶/۹۹ | ۰/۷۳۱ | ns.... | ns.... | $Y = b_0+ (b_1/X)$ |
| | کربوهیدرات | ۰/۷۰۳ | ۷۹/۱۱** | -۸۶/۴۷** | ۲۶/۲۵* | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| | کاتالاز | ۰/۰۳۴ | ۲/۳۵ | -۰/۰۲۹ | ns.... | ns.... | $Y = e\ (b_0+b_1 1/t)$ |
| | پراکسیداز | ۰/۳۲۵ | -۲۹/۱۱** | ۷۴/۸۲** | ns.... | ns.... | $Y = b_0+ (b_1/X)$ |
| | پلی‌فنل‌اکسیداز | ۰/۱۷۲ | -۱۱۴/۴۲ | ۲۱۸/۵ | -۹۴/۹ | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| تنش در مرحله گلدهی | پروتئین | ۰/۱۷۵ | ۶/۶۸ | ۰/۰۰ | ۸/۴۱ | -۵/۵۲ | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$ |
| | پرولین | ۰/۲۳۶ | -۲۰/۱۶ | ۶۶/۳۷ | -۳۶/۶۹ | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| | لیزین | ۰/۲۵۱ | ۱۲/۵۰ | -۱۷/۴۴ | ۱۴/۴۴ | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| | متیونین | ۰/۶۸۲ | ۴۲/۰۵** | -۴۲۵/۴** | ۱۶۰۱/۱۳** | -۱۷۹۹/۱* | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$ |
| | کربوهیدرات | ۰/۰۱۸ | ۱۱/۱۵ | -۳/۱۱ | ۰/۸۵۴ | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| | کاتالاز | ۰/۴۰۴ | ۳/۲۴** | ۱/۱۷** | ns.... | ns.... | $Y = b_0+ (b_1/X)$ |
| | پراکسیداز | ۰/۲۲۱ | ۹۹/۰۳* | ۰/۲۸۳* | ns.... | ns.... | $Y = b_0 \times b_1X$ |
| | پلی‌فنل‌اکسیداز | ۰/۲۵۱ | ۱۱۱/۵۴ | -۱۸۱/۶ | ۷۹/۳۷ | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| تنش در مرحله پر شدن دانه | پروتئین | ۰/۰۲۵ | -۷/۵۱ | ۲۱/۸۵ | -۶/۹۷ | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| | پرولین | ۰/۶۰۰ | -۸/۵۹** | ۰/۰۰ | ۲۲/۹۶** | -۹/۳۲** | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$ |
| | لیزین | ۰/۲۶۵ | ۲۰/۸۹ | -۱۲۰/۰۵ | ۳۲۰/۸ | -۲۱۹/۰۸ | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$ |
| | متیونین | ۰/۲۳۰ | ۴/۴۳ | ۳۰/۷۶ | -۴۰/۲۴ | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| | کربوهیدرات | ۰/۵۵۱ | -۰/۵۱۸** | ۱۶/۹۹** | -۶/۴۲* | ns.... | $Y = b_0+b_1X+b_2X^2$ |
| | کاتالاز | ۰/۴۰۱ | ۳/۸۹** | ۲۲/۰۰** | ns.... | ns.... | $Y = b_0+b_1X$ |
| | پراکسیداز | ۰/۰۳۱ | ۱۹/۱۸ | -۴/۹۹ | ns.... | ns.... | $Y = b_0+b_1X$ |
| | پلی‌فنل‌اکسیداز | ۰/۰۳۵ | ۱/۴۱ | ۶/۶۵ | ns.... | ns.... | $Y = b_0+b_1X$ |

نتایج تجزیه رگرسیونی نیز نشان داد در شرایط آبیاری کامل، میزان کربوهیدرات، پروتئین و فعالیت پراکسیداز در پیش‌بینی عملکرد دانه تأثیر معنی‌دار بودند. تغییرات کربوهیدرات به‌صورت معادله درجه سوم، پراکسیداز به‌صورت معکوس و تغییرات پروتئین نیز به‌صورت معادله S شکل است. در بین این صفات کربوهیدرات با ضریب تبیین ۰/۷۰۳ بیشترین سهم را در پیش‌بینی عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل به خود اختصاص داد. بالا بودن سهم کربوهیدرات بر عملکرد دانه نشان دهند سهم بالایی مواد پرورده در انتقال مجدد پر شدن دانه می‌باشد (Farley and Shaw, 1989).

تنش در مرحله گلدهی نیز موجب شد سهم اسیدآمینه متیونین، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در پیش‌بینی عملکرد دانه معنی‌دار شود که متیونین با ضریب تبیین ۰/۶۸ بیشترین سهم را به خود اختصاص داد (جدول ۵)، در حالی که تنش در مرحله پر شدن دانه پرولین، کربوهیدرات و کاتالاز معنی‌دار شده و پرولین بالاترین ضریب تبیین را به خود اختصاص داد که

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

تغییرات متیونین و پرولین از نوع معادله درجه سوم بود (جدول ۵). افزایش سهم متابولیت‌های سازگاری در شرایط تنش به هدایت کربن‌های تولید جهت سازگاری گیاه و تولید متیونین و پرولین در طی چرخه گلوتامیک اسید در طی تنش است.

## نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه نشان داد در طی تنش در بیشتر هیبریدهای مورد مطالعه میزان پروتئین، پرولین، کربوهیدرات و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت افزایش و از میزان اسیدآمینه لیزین و متیونین کاسته شد. بالاترین میزان فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی از هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و بالاترین متابولیت‌های سازگاری در شرایط تنش از هیبرید سینگل‌کراس ۴۰۰ و ۵۰۰ مشاهده شد. نتایج رگرسیونی نیز نشان داد در شرایط بدون تنش کربوهیدرات بالاترین سهم را در پیش‌بینی عملکرد به خود اختصاص داد این در حالی بود که در شرایط تنش میزان لیزین و پرولین بالاترین سهم را در تعیین میزان عملکرد دانه را نشان دادند که می‌توان از این صفات جهت گزینش هیبریدهای مناسب استفاده نمود.

## منابع


آذری‌کی، م. (۱۳۸۱) اثر تنش خشکی بر روی عملکرد و اجزاء عملکرد سه رقم ذرت (مطالعه موردی: منطقه‌ی مغان)، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز ص ۱۲۳.

حیدری شریف‌آباد، ح .(۱۳۸۳) روش‌های مقابله با خشکی و خشک‌سالی، چاپ اول، تهران: انتشارات معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی، جلد اول. ۲٤٦.

نورمحمدی، ق.، سیادت، س. ع. و کاشانی، ع. (۱۳۸٤) زراعت غلات، جلد اول، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه چمران، اهواز.

آئین، ا .(۱۳۹۱). تغییرات میزان پرولین، کربوهیدرات های محلول و جذب عناصر پتاسیم، روی و کلسیم در ژنوتیپ های کنجد (*Sesamum indicum* L) تحت تنش خشکی. تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش های محیطی ٤: ٤٨-۳۹.

حداد، ر. و سالک جلالی، م .( ۱۳۸۸). بررسی میزان پروتیین و فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدانت تحت تنش کمبود آب در لاین های جو . فنآوری تولیدات گیاهی، جلد ۹. شماره دوم.۱۰-۱.

حبیبپور، س. س.، نادری، ا. ، لک، ش. ، فرجی ه و مجدم م (۱۳۹٤). اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی هیبریدهای ذرت شیرین در شرایط تنش کمبود آب. مجله فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهی ایران ۱: ۱۵-۱.

رشیدی س، عبادی، ع.، پرمون، ق.، جهانبخش، س.۱۳۹۳. اثر منبع نیتروژن بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی لوبیا در شرایط تنش کم آبی مجله فرایند و کارکرد گیاهی، ج۳، ش۹، ص۱۱۰-۹۷

Alschev, R., Erturk, T. N. and Heath L. (2002) Role of superoxide dismutase in controlling oxidative stress in plants. Journal of Experimental Botany 53: 1331-1341.

Ariano, S., Bartolomeo, D., Cristos, X. and Andras, M. (2005) Antioxidant defenses in olive trees during drought stress changes in activity of some antioxidant enzymes. Functional Plant Biology 32: 45-53.

Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J. M. (2001) Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science 160:669-681.

Bates, L., Waldren, R. and Teave, I. (1973) Rapid determination of free proline for water- stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bhatt, R. and Srinivasa, R. N. (2005) Influence of pod load on response of okra to water stress. Indian Journal Plant Physiology 10: 54-59.

Cabuslay, G., Ito, O. and Alejal, A. (2002) Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Science 63: 815-827.

Chance, B. and Maehly, A. (1955) Assay of catalases and peroxidases. Method Enzymology 11: 764-755.

Chang, C. and Kao, C. (1998) $H_2O_2$ metabolism during senescence of rice leaves: changes in enzyme activities in light and darkness. Plant Growth Regulation 25: 11-15

Cicek, N. and Cakirlar, H. (2002). The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars.


[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]

Bulgarian Journal of Plant Physiology 28(1–2): 66–74.
Farley, O. and Shaw, M. (1989) Temperature and soil water effects on maize growth, development, yield and forage quality. Crop Science 36: 341-348.
Feng, Z., JIN-kui, G., Ying-Li, Y., Liang, H. and Li-in, Z. (2004) Changes in the pattern of antioxidant enzymes in wheat exposed to water deficit and rewarding. Acta Physiological plant 3: 345-352.
Guy, C., Haskell, D., Neven, L., Klein, P. and Smelters, C. (1992) Hydration-state-responsive proteins link cold and drought stress in spinach. Planta 188: 265-270.
Hanson, A. and Hitz, W. (1982) Metabolic responses of esophytest plant water deficits. Annual Reverse Plant Physiology 33: 163-203.
Hirt, H. and Shinozaki, K. (2004) Plant responses to abiotic stress. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pp 320.
Hua, Y., Lina, Y. and Jinfeng, W. (2010) Anti oxidation responses of maize roots and leaves to partial root-zone irrigation. Agricultural Water Management 97: 972-980.
Jaleel, C., Gopi, R., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B. and Panneerselvam, R. (2006) Paclobutrazol in fluencies vegetative growth and floral characteristics of *Catharanthus roseus* (L.) G. D*on.* Indian Journal Apple Pure Biology 21: 369-372.
Kamaeli, A. and losel, D. (1996) Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. New Phytolgist 132: 57-62.
Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. Plant and Cell Physiology 57: 315-319.
Li, F., Caihui, W., Zang, F. and Jianhua, Z. (2010) Water use efficiency and physiological responses of maze under partial root-zone rigation. Agricultural Water Management 97: 1156-1164.
Losak, T., Hlusek, J., Filipcik, R., Pospisilova, L., Manasek, J. and Prokes, K. (2010) Effect of nitrogen fertilization on metabolism of essential and non-essential amino acids yield-grown grain maize (*Zea mays* L.). Plant Soil Environment 56: 574-579.
Mohammadkhani, N. and Headari, H. (2008) Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. Turk Journal Biology 32: 23-30.
Navari-Izoo, F., Quartacci, M. and Izzo, R. (1990) Water-stress induced hanged changes in protein and frees amino acids in field grown maize and sunflower. Plant Physiology Biochemistry 28: 531-537.
Omokolo, N., Tsala, N. and Djocgoue, P. (1996) Changes in carbohydrate, amino acid and phenol content in cocoa pods from three clones after infection with phytophthora megakarya Bra. Grifaces Annals of Botany 77: 153-158.
Ouattar, S., Jones, R. and Crookston, K. (1987) Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth, and development. Crop Science 27: 726-730.
Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. (2005) Tolerance and physiological responses of *phragmites australis* to water deficit. Aquatic Botany 81:285-299.
Pereira, J. and Chaves, M. (1993) Plant water deficits in Mediterranean ecosystem in water deficit and growth. Academic Press New York, 4: 237-251.
Rahnama, H. and Ebrahimzadeh, H. (2004) the effect of NaCl on proline accumulation in potato seedlings and calli. Physiologiae Plantarum 26(3): 263-270.
Renu, K. and Devarshi, S. (2007) Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. Environmental and Experimental Botany 6: 276-283.
Saini, H. and Westigate, M. (2000) Reproductive development in grain crop during drought advanced. In Agronomy 68: 59-95.
Sarvar, A. and Ali, M. (1999) the effect of water stresses on the growth features of different maize (*Zea mays* L.) cultivars. Pakistan Journal of Botany 31: 455-654.
Shao, H., Chu, L., Wu, G., Zhang, J. and Lu, Z. (2007) where is the road to bio-water saving for the globe? Colloids Surfaces B Bio interfaces 55: 153–159.
Shao, H., Liang, Z. and Shao, M. (2005) Changes of some anti-oxidative enzymes under soil water deficits among 10 wheat genotypes at maturation stage. Colloids Surfaces Biochemistry 45: 7-13.
Ti-dal, G., Fang-gong, S., Li-Ping, B., Yin-Yan, L. and Guang-sheng, Z. (2006) the effects of water stress on the protective enzyme actives and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize. Agricultural Sciences in China 5: 291-298.
Wasson, J. and wicks, T. (2000) Maize water content and solute potential at three stages of development. University of Illinois Dept of Crop Sciences Medical 45: 67-72.
Watanube, S., Kojima, k. and Sasaki, Y. (2002) Effects to saline and osmotic stress on proline and sugar accumulation in populous euphoretic in vitro. Plant Cell Tissue and Organ Culture 63: 199-206.
Goodarzian Ghahfarokhi, M. Mansurifar, S. Taghizadeh-Mehrjardi, R. Saeidi, M. Mohammad Jamshidi A. and Ghasemi. E. (2015). Effects of drought stress and rewatering on antioxidant systems and relative water content in different growth stages of maize (*Zea mays* L.) hybrids. Archives of Agronomy and Soil Science 61 (4): 42-57.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.10.9 ]