

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

به منظور بررسی واکنش هیبریدهای مختلف ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، آزمایشی در قالب طرح اسپلیت 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 (سینگل کراس ۲۶۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۴ و دابل کراس 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 سینگل کراس ۴۰۰ و ۵۰۰ مشاهده شد. بالاترین عملکرد دانه نیز از هیبرید سینگل کراس 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

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

مقدمه

ذرت (*Zea mays L*) به دلیل قدرت سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون، در تمام دنیا گسترش یافت و مکان سوم را بعد از گندم و برنج از نظر سطح زیر کشت به خود اختصاص داد (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۳). مقاومت نسبت به خشکی و ورس، قدرت پذیرش کامل مکانیزاسیون در مراحل مختلف

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

یک مولکول آلی است که در گیاهان تحت تنش به‌عنوان محافظ ماکرو مولکول‌ها، منبع انرژی، خنثی‌ساز رادیکال‌های آزاد و ترانسان 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 اسیدآمین‌ها دسته دیگری از محافظت‌کننده‌های 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 آنتی‌اکسیدانت‌ها در افزایش سطح تحمل به تنش در موتانت‌های ذرت در مواجهه با تنش اشاره داشته‌اند (Chang and Kao, 1998). حبیب پور و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود نشان دادند تنش کم آبی موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و همچنین عملکرد دانه در هیبریدهای مختلف ذرت شربین شد. حداد و سالک جلالی (۱۳۸۸) نیز نشان داد میزان پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید 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 کربوهیدرات‌های محلول و اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر

(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، ۱۳۸۴). 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 سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز، پراکسیداز و اسکوربات پراکسیداز برای دفاع در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال استفاده می‌نمایند. آنزیم سوپراکسید دسموتاز، یک آنزیم حد واسط بوده و رادیکال‌های آزاد سوپراکسید 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 مکانیزم‌های 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

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 اسیدآمین‌های پرولین، لیزین، متیونین، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل‌اکسیداز و عملکرد دانه بر اساس روش‌های زیر اندازه‌گیری شد.

سنجش غلظت پروتئین کل: برای استخراج پروتئین کل ۰/۱ گرم از بافت تر برگ در ۲۰۰ میکرو لیتر بافر استخراج له نموده و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ 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 طول موج 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 سانتی‌گراد قرار داده شدند. این کار مجدداً دو بار تکرار گردید و در نهایت ۳ میلی‌لیتر از عصاره‌ی به مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. در ادامه ۳ میلی‌لیتر از محلول آن‌تروپن به ۱۰۰ میکرو لیتر از عصاره مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در بن‌ماری ۱۰۰ درجه قرار داده شد. میزان جذب آن در طول موج ۶۲۵ 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

میزان کربوهیدرات‌های کنجد معنی‌دار شد. تنش خشکی در مراحل مختلف رشد باعث افزایش انباشت پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ و جذب یون‌های پتاسیم و روی در برگ شد. گودرزی غفاری و همکاران (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 آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز 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 بلوک‌های 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 سینگل کراس ۲۶۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۴ و دابل کراس 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

میکرولیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار مخلوط کرده و به آن ۰/۱ میلی لیتر عصاره‌ی آنزیمی افزوده شد در طول موج ۴۲۰ 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 سینگل کراس ۳۰۳ با میانگین ۳۹ میلی‌گرم بر گرم بالاترین میزان پروتئین و دابل کراس ۳۷۰ با میانگین ۹/۹ میلی‌گرم کمترین میزان پروتئین را به خود اختصاص دادند. در تنش در مرحله گلدهی نیز هیبریدهای سینگل کراس ۳۰۱ و ۵۰۰ و در تنش در مرحله پر شدن دانه هیبریدهای سینگل کراس ۲۶۰ و ۴۰۰ 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 می‌تواند به عنوان یک پاسخ مقاومتی در گیاه تلقی شود. در نتیجه مقدار پروتئین معیار مناسبی برای غربالگری هیبریدها نیست، بلکه تکمیل کننده سایر معیارهای مورد ارزیابی به خصوص آنزیم‌ها می‌باشد (Renu and Devarshi, 2007; Shao et al., 2005).

بن‌ماری ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفت و در ادامه به هر نمونه چهار میلی لیتر تولوئن اضافه شد و بعد از ورتکس فاز روپی جدا و با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید.

سنجش غلظت اسیدآمینو لیزین و متیونین: ۰/۵ گرم نمونه برگ‌ی در هاون به همراه ۵۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال سائیده شد و سپس با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتری رسانده شد. جهت استخراج لیزین ۱ میلی لیتر از محلول بالا با ۱۰ میلی لیتر گلیسرول (۵۰ درصد)، ۲ میلی لیتر بافر فسفات و ۱ میلی لیتر نین هیدرین 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 میلی لیتر رسانده و پس از ۱۵ دقیقه میزان جذب آن در ۵۷۰ نانومتر قرائت گردید. جهت استخراج متیونین نیز ۱ میلی لیتر از محلول تهیه شده در قسمت بالا با ۴ میلی لیتر از سدیم هیدروکسید (۵ نرمال)، ۲ میلی لیتر از محلول گلیسین آبدار (۵۰ درصد) و ۲ میلی لیتر از محلول سدیم نیتروفری سیانید آبدار (۰/۱ درصد) مخلوط گردید. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۵ میلی لیتر 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 به منظور سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با اضافه کردن ۲/۵ میلی لیتر از بافر تریس ۵۰ میلی مولار، ۰/۳ میلی لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی مولار و ۶۰ میکرو لیتر عصاره‌ی آنزیمی و قراءت تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر صورت گرفت (Chance and Maehly, 1955). فعالیت آنزیم پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز به روش کار و میشر (Kar and Mishra, 1976). صورت گرفت. ۲/۵ میلی لیتر از بافر تریس ۱۰۰ میلی مولار با ۲/۵ میلی لیتر آب اکسیژنه ۵۰ میلی مولار و ۲/۵ میلی لیتر پیروگالل ۱۰۰ میلی مولار مخلوط کرده و به آن ۵۰ میکرو لیتر عصاره‌ی آنزیمی افزوده و منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۲۵ نانومتر قرائت شد. برای اندازه‌گیری پلی فنل اکسیداز ۱/۵ میلی لیتر از بافر تریس ۰/۲ مولار با ۴۰۰

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

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		پرولین	پروتئین	لیزین
تکرار	۲	۰/۰۰۰۰۴ ^{ns}	۵۷۸۹۶ ^{ns}	۰/۰۰۱۵ ^{ns}
تنش	۲	۶/۳۸۱۳۹ ^{**}	۱۷۱۴۳/۴۵ ^{**}	۰/۶۴۷۱ ^{**}
اشتباه کرت اصلی	۴	۰/۰۰۰۰۸	۵۸۲/۰۵	۰/۰۰۰۰۴
هیبرید	۶	۰/۶۰۱۴۴ ^{**}	۱۰۴۷۰۰/۶ ^{**}	۵/۵۷۱۸ ^{**}
هیبرید × تنش	۱۲	۰/۳۳۶۶۳ ^{**}	۱۱۵۸۹۴/۸ ^{**}	۲/۰۶۵۸ ^{**}
اشتباه کرت فرعی	۳۶	۰/۰۰۰۰۸	۱۲۱/۵	۰/۰۰۰۱۱
ضرب تغییرات	-	۰/۷۲	۱/۰۳	۱/۱۶
		۶/۳۴		

ns - غیرمعنی دار، ** معنی دار در سطح ۱ درصد و * معنی دار در سطح ۵ درصد.

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

تنش	هیبرید	میانگین (mg per g)			کربوهیدرات
		متیونین	لیزین	پروتئین	
آبیاری کامل	سینگل کراس ۲۶۰	۰/۰۹۴ ^{c-t}	۲/۱۹۴ ^f	۱۱/۹۹ ^p	۰/۷۷۳ ^k
	سینگل کراس ۳۰۱	۰/۰۹۷ ^{c-t}	۱/۳۰۴ ^k	۱۳/۶۱ ^o	۰/۸۰۹ ^k
	سینگل کراس ۳۰۲	۰/۱۱۹ ^{c-f}	۳/۶۶۴ ^b	۳۹/۱۹ ^a	۱/۸۲۱ ^{g-i}
	سینگل کراس ۴۰۰	۰/۱۱۸ ^{c-g}	۳/۴۶۵ ^c	۲۳/۶۶ ^k	۰/۷۵۳ ^k
	سینگل کراس ۵۰۰	۰/۱۵۷ ^{bc}	۲/۵۷۵ ^e	۳۱/۵۶ ^f	۰/۷۰۰ ^{ij}
	سینگل کراس ۷۰۴	۰/۱۴۲ ^{b-d}	۳/۷۷۹ ^a	۳۴/۲۶ ^c	۰/۹۵۷ ^{f-i}
	دابل کراس ۳۷۰	۰/۰۶۳ ^{f-i}	۰/۹۵۵ ^m	۹/۹۳ ^r	۱/۱۷۷ ^{d-f}
تنش در مرحله گلدهی	سینگل کراس ۲۶۰	۰/۰۷۲ ^{fi}	۰/۹۰۲ ⁿ	۲۷/۴۲ ^h	۰/۹۶۸ ^j
	سینگل کراس ۳۰۱	۰/۰۵۱ ^{hi}	۱/۲۶۳ ^k	۳۰/۱۲ ^g	۰/۵۵۹ ^{lm}
	سینگل کراس ۳۰۲	۰/۱۱۲ ^{c-t}	۱/۰۳۹ ^l	۱۱/۴۰ ^q	۱/۰۶۵ ^{d-h}
	سینگل کراس ۴۰۰	۰/۱۰۳ ^{c-t}	۱/۸۶۵ ^g	۱۱/۷۸ ^{pq}	۱/۵۹۲ ^b
	سینگل کراس ۵۰۰	۰/۰۶۱ ^{f-i}	۱/۶۵۴ ^h	۳۳/۳۳ ^d	۱/۵۰۲ ^{bc}
	سینگل کراس ۷۰۴	۰/۲۲۶ ^a	۲/۸۰۱ ^d	۱۷/۵۲ ⁿ	۱/۳۴۰ ^{b-d}
	دابل کراس ۳۷۰	۰/۰۵۳ ^{hi}	۰/۶۷۶ ^p	۲۰/۵۰ ^m	۱/۳۲۸ ^{b-d}
تنش در مرحله پر شدن دانه	سینگل کراس ۲۶۰	۰/۵۶۳ ^{g-i}	۰/۵۲۲ ^q	۳۷/۱۶ ^b	۰/۵۳۷ ^m
	سینگل کراس ۳۰۱	۰/۰۶۲ ^{f-i}	۰/۷۹۲ ^o	۹/۲۱ ^s	۱/۵۸۸ ^b
	سینگل کراس ۳۰۲	۰/۰۴۶ ⁱ	۰/۷۹۲ ^o	۲۶/۲۴ ⁱ	۰/۷۸۳ ^{hi}
	سینگل کراس ۴۰۰	۰/۱۲۸ ^{c-e}	۱/۶۲۷ ^h	۳۲/۷۹ ^e	۰/۹۰۸ ^{f-i}
	سینگل کراس ۵۰۰	۰/۰۹۰ ^{d-i}	۱/۴۲۵ ^j	۲۲/۳۴ ^l	۱/۲۹۲ ^{c-e}
	سینگل کراس ۷۰۴	۰/۱۹۶ ^{ab}	۱/۴۱۴ ^j	۲۵/۱۹ ^j	۰/۹۶۲ ^{f-i}
	دابل کراس ۳۷۰	۰/۰۵۶ ^{hi}	۱/۵۴۴ ⁱ	۲۴/۸۷ ^j	۰/۴۵۸ ^j

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

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 سینگل کراس ۲۰۶ تغییرات پرولین همانند کربوهیدرات بوده و در اثر مراحل مختلف تنش افزایش نشان داد. این در حالی بود که در سینگل کراس ۳۰۱ تنش در مرحله گلدهی و پر شدن دانه موجب کاهش در میزان پرولین شدند. همچنین میزان پرولین در هیبریدهای سینگل کراس ۳۰۲، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۴ و دبل کراس ۳۷۰ در تنش گلدهی افزایش و در مرحله پر شدن دانه کاهش یافت. بیشترین مقدار پرولین در شرایط بدون تنش به سینگل کراس ۷۰۴ در تنش دوره‌ی گل‌دهی به سینگل کراس ۵۰۰ در دوره شدن دانه به سینگل کراس ۴۰۰ و کمترین آن در شرایط نورمال به دابل کراس ۳۷۰ در دوره‌ی گل‌دهی به سینگل کراس ۳۰۱ و در دوره‌ی پر شدن دانه به سینگل کراس ۲۶۰ 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 کربوهیدرات‌های محلول در برگ شد. گودرزی غفاری و همکاران (۲۰۱۵) نیز در بررسی تأثیر 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

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 سینگل کراس ۲۶۰ در مراحل مختلف تنش روند افزایشی داشت این در حالی بود که در هیبرید سینگل کراس 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 سینگل کراس ۳۰۳، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۴ 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) سینگل کراس ۳۰۱ و سینگل کراس 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 سینگل کراس ۴۰۰ و ۵۰۰ بالاترین میزان کربوهیدرات را به خود اختصاص دادند. در تنش در مرحله پر شدن دانه نیز بالاترین کربوهیدرات مربوط به سینگل کراس ۳۰۱ با میانگین ۱/۵۸ میلی‌گرم بود (جدول ۲). آئین (۱۳۹۱) و گودرزی غفاری و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود نشان داد که در شرایط تنش میزان کربوهیدراتها 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 کربوهیدرات‌های 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

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

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل‌اکسیداز
تکرار	۲	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۶۹ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}
تنش	۲	۱۹۸/۴۳۳ ^{**}	۷۷۲۸/۴۶ ^{**}	۲۶۷۸/۷۲ ^{**}
اشتباه کرت اصلی	۴	۰/۰۰۵	۰/۱۷	۰/۰۹
هیبرید	۶	۳۸/۴۹۵ ^{**}	۹۶۶/۳۷ ^{**}	۳۷۰/۲۴ ^{**}
هیبرید × تنش	۱۲	۳۲/۷۳۴ ^{**}	۷۷۶/۶۵ ^{**}	۳۷۱/۶۵ ^{**}
اشتباه کرت فرعی	۳۶	۰/۰۴۹۶	۱/۱۹	۰/۴۲
ضریب تغییرات	-	۱/۱۵	۰/۸۹	۱/۱۶
عملکرد دانه				۰/۰۸ ^{ns}

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

سینگل کراس ۳۰۲، ۷۰۴ و دابل کراس ۳۷۰ و افزایش فعالیت پلی فنل اکسیداز در سینگل کراس ۳۰۲، ۴۰۰، ۵۰۰ و دابل کراس ۳۷۰ شد. بیشترین آنزیم کاتالاز در شرایط بدون تنش به سینگل کراس ۳۰۲ در تنش دوره‌ی گل‌دهی و پر شدن دانه به سینگل کراس ۷۰۴ و بیشترین میزان آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در شرایط بدون تنش، تنش دوره‌ی گل‌دهی و پر شدن دانه به سینگل کراس ۷۰۴ و بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز در شرایط بدون تنش به سینگل کراس ۵۰۰، در تنش دوره‌ی گل‌دهی و دوره‌ی پر شدن دانه به سینگل کراس ۷۰۴ اختصاص یافت (جدول ۴).

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 Westgate, 2000). مطالعات به نقش آنتی‌اکسیدانت‌ها در افزایش سطح تحمل به تنش در موتانت‌های ذرت در مواجهه با تنش اشاره داشته‌اند (Chang and Kao, 1998). حبیب پور و همکاران (۱۳۹۴) 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 میزان فعالیت آنزیم‌های سوپر اکساید دسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در اثر تنش افزایش نشان داد. گودرزی غفاری و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، پراکسیداز و گلوکاتایون

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 سینگل کراس ۷۰۴ و بیشترین میزان متیونین در این مراحل نیز به سینگل کراس ۵۰۰ و سینگل کراس ۷۰۴ متعلق بود. در دوره‌ی پر شدن دانه نیز بیشترین میزان لیزین به سینگل کراس ۴۰۰ و بیشترین میزان متیونین به سینگل کراس 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). از آنجایی که تأثیرات خشکی بر گونه‌ها، بافت‌ها و سن و همچنین ماهیت، دوره و میزان استرس بستگی دارد، شگفت‌انگیز نیست که تفاوت‌های قابل توجهی در الگوی اسید آمینه 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 (۱۳۹۴) نیز گزارش شده است

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت: فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز نیز تحت تأثیر تنش، هیبرید و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). تنش موجب افزایش فعالیت کاتالاز در هیبریدهای سینگل کراس ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۴ و دبل کراس ۳۷۰، افزایش فعالیت پراکسیداز در هیبریدهای

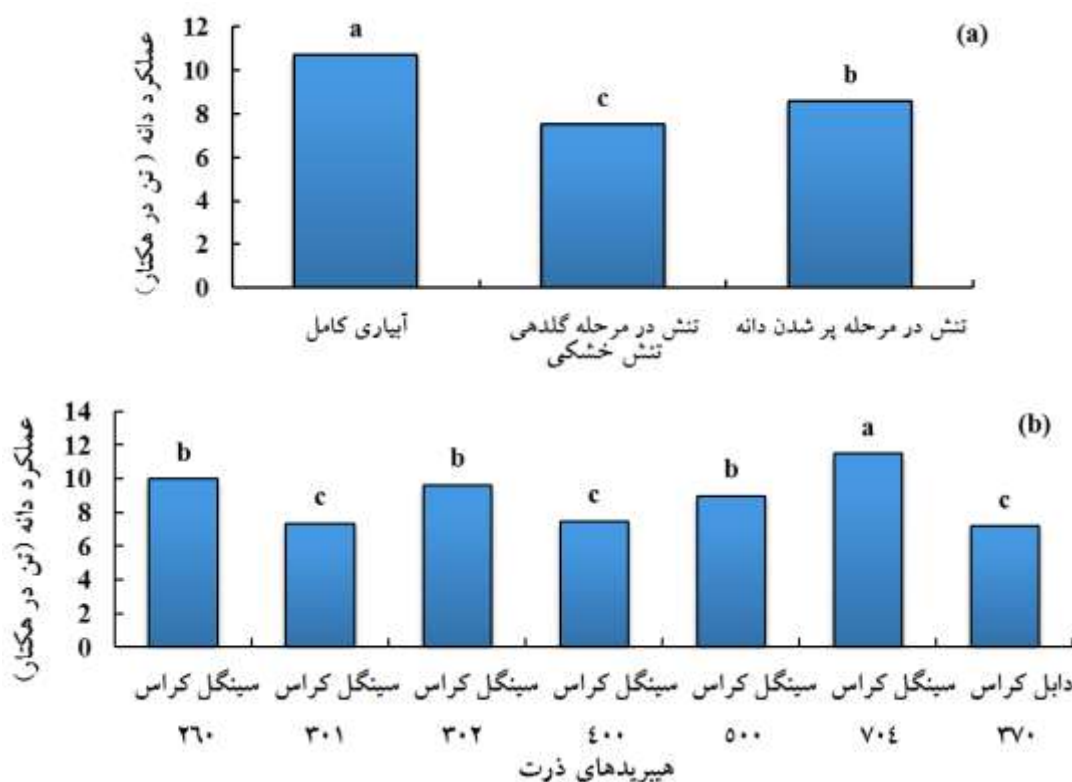
جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری هیبرید در تنش برای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

کاتالاز	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	هیبرید	تنش
(OD per mg protein)				
۱۲/۷۴ ^b	۷۰/۸۷ ^d	۴۴/۴۴ ^c	۲۶۰	سینگل کراس
۷/۶۹ ^g	۶۳/۹۹ ^e	۳۹/۴۶ ^e	۳۰۱	سینگل کراس
۱۸/۴۸ ^a	۲۴/۲۱ ⁿ	۱۲/۹۵ ^m	۳۰۲	سینگل کراس
۳/۶۳ ⁱ	۳۷/۱۶ ⁱ	۱۹/۱۵ ⁱ	۴۰۰	سینگل کراس
۳/۶۹ ⁱ	۸۸/۹۱ ^b	۱۵/۸۶ ^k	۵۰۰	سینگل کراس
۳/۱۱ ^k	۲۶/۴۶ ^m	۶۰/۵۶ ^a	۷۰۴	سینگل کراس
۲/۸۷ ^{k-m}	۲۹/۸۶ ^l	۱۷/۰۷ ^j	۳۷۰	دابل کراس
۳/۲۵ ^{jk}	۳۱/۸۷ ^{jk}	۱۶/۴۰ ^{jk}	۲۶۰	سینگل کراس
۲/۹۱ ^{k-m}	۳۰/۶۹ ^{kl}	۱۹/۲۵ ⁱ	۳۰۱	سینگل کراس
۳/۰۴ ^{kl}	۷۲/۷۲ ^m	۳۴/۲۱ ^f	۳۰۲	سینگل کراس
۹/۵۱ ^e	۷۲/۴۹ ^d	۴۱/۴۱ ^d	۴۰۰	سینگل کراس
۱۰/۰۴ ^c	۸۳/۳۷ ^c	۱۶/۲۲ ^{jk}	۵۰۰	سینگل کراس
۱۰/۸۷ ^c	۹۱/۷۴ ^a	۴۱/۵۰ ^c	۷۰۴	سینگل کراس
۳/۶۱ ^{ij}	۴۴/۵۵ ^g	۲۸/۱۵ ^g	۳۷۰	دابل کراس
۲/۶۱ ^m	۲۳/۲۰ ⁿ	۱۴/۰۵ ^l	۲۶۰	سینگل کراس
۳/۵۴ ^{ij}	۳۷/۷۵ ⁱ	۱۹/۸۲ ^{hi}	۳۰۱	سینگل کراس
۲/۶۸ ^{lm}	۳۳/۳۴ ^j	۱۶/۷۶ ^{jk}	۳۰۲	سینگل کراس
۵/۵۵ ^h	۲۷/۰۲ ^m	۱۶/۹۹ ^j	۴۰۰	سینگل کراس
۸/۰۲ ^g	۴۰/۶۵ ^h	۲۰/۰۶ ^{hi}	۵۰۰	سینگل کراس
۸/۶۹ ^f	۵۰/۸۳ ^f	۵۱/۰۰ ^b	۷۰۴	سینگل کراس
۳/۲۵ ^{jk}	۳۶/۲۶ ⁱ	۲۰/۶۰ ^h	۳۷۰	دابل کراس

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

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 (جدول ۳). تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه ذرت شد، به طوری که 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 سینگل کراس ۷۰۴ با میانگین ۱۱/۴۸ تن در هکتار به دست آمد (شکل ۱). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به کاهش میزان فتوسنتز در این شرایط

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 می‌گیرد؛ 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. از جمله نقش‌های اصلی این



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.

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). حبیب پور و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود نشان دادند تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد دانه در هیبریدهای مختلف ذرت شری‌ن شد. گودرزی غفاری و همکاران (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 نمو گیاه که در معرض تنش قرار گرفته است و همچنین به شدت، به طول مدت تنش و میزان حساسیت رقم دارد (Ouattar et al., 1987).

و کاهش تثبیت کربن در اثر کاهش هدایت روزنه‌ی نسبت داد. همچنین در شرایط تنش گیاه برخی از کربن‌های تولیدی رو در جهت افزایش تحمل گیاه به تنش در جهت تولید پرولین و قندهای محلول و دیگر اسید آمینه‌ها 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. به طوری که اگر گیاه در هنگام پر شدن دانه با تنش‌های محیطی (به ویژه تنش خشکی) روبرو شود، سهم مواد پرورده در انتقال مجدد پر شدن دانه بیشتر می‌شود (Farley and Shaw, 1989). مرحله‌ی گرده افشانی و دو هفته پس از آن حساس‌ترین دوره‌ی این گیاه نسبت به تنش خشکی می‌باشد و در طی این مدت در بین اجزای عملکرد تعداد دانه‌ها در هر بلال به شدت 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

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

مدل Model	ضرایب رگرسیونی معادله				همبستگی R square	ژنوتیپ	صفات وابسته X
	b ₃	b ₂	b ₁	b ₀			
Y = e (b ₀ +b ₁ 1/t) ns ns	۰/۳۳۹**	۱/۷۰**	۰/۴۶۳	پروتئین	آبیاری کامل
Y = b ₀ +(b ₁ Ln X)	.... ns	.... ns	-۰/۷۵۷	۹/۲۹	۰/۰۱۴	پرویلین
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	-۲۹/۱۲	۳۱/۱۱	۲/۸۴	۰/۱۸۶	لیزین
Y = b ₀ + (b ₁ /X)	.... ns	.... ns	۰/۷۳۱	۶/۹۹	۰/۱۷۳	متیونین
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	۲۶/۲۵*	-۸۶/۴۷**	۷۹/۱۱**	۰/۷۰۳	کربوهیدرات
Y = e (b ₀ +b ₁ 1/t)	.... ns	.... ns	-۰/۰۲۹	۲/۳۵	۰/۰۳۴	کاتالاز
Y = b ₀ + (b ₁ /X)	.... ns	.... ns	۷۴/۸۲**	-۲۹/۱۱**	۰/۳۲۵	پراکسیداز
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	-۹۴/۹	۲۱۸/۵	-۱۱۴/۴۲	۰/۱۷۲	پلی فنل اکسیداز
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³	-۵/۵۲	۸/۴۱	۰/۰۰	۶/۶۸	۰/۱۷۵	پروتئین	تنش در مرحله گلدهی
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	-۳۶/۶۹	۶۶/۳۷	-۲۰/۱۶	۰/۲۳۶	پرویلین
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	۱۴/۴۴	-۱۷/۴۴	۱۲/۵۰	۰/۲۵۱	لیزین
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³	-۱۷۹۹/۱*	۱۶۰۱/۱۳**	-۴۲۵/۴**	۴۲/۰۵**	۰/۶۸۲	متیونین	
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	۰/۸۵۴	-۳/۱۱	۱۱/۱۵	۰/۰۱۸	کربوهیدرات
Y = b ₀ + (b ₁ /X)	.... ns	.... ns	۱/۱۷**	۳/۲۴**	۰/۴۰۴	کاتالاز
Y = b ₀ ×b ₁ X	.... ns	.... ns	۰/۲۸۳**	۹۹/۰۳*	۰/۲۲۱	پراکسیداز
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	۷۹/۳۷	-۱۸۱/۶	۱۱۱/۵۴	۰/۲۵۱	پلی فنل اکسیداز
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² ns	-۶/۹۷	۲۱/۸۵	-۷/۵۱	۰/۰۲۵	پروتئین	تنش در مرحله پختن دانه
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³	-۹/۳۲**	۲۲/۹۶**	۰/۰۰	-۸/۵۹**	۰/۶۰۰	پرویلین	
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³	-۲۱۹/۰۸	۳۲۰/۸	-۱۲۰/۰۵	۲۰/۸۹	۰/۲۶۵	لیزین	
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	-۴۰/۲۴	۳۰/۷۶	۴/۴۳	۰/۲۳۰	متیونین
Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ²	.... ns	-۶/۴۲*	۱۶/۹۹**	-۰/۵۱۸**	۰/۵۵۱	کربوهیدرات
Y = b ₀ +b ₁ X	.... ns	.... ns	۲۲/۰۰**	۳/۸۹**	۰/۴۰۱	کاتالاز
Y = b ₀ +b ₁ X	.... ns	.... ns	-۴/۹۹	۱۹/۱۸	۰/۰۳۱	پراکسیداز
Y = b ₀ +b ₁ X	.... ns	.... ns	۶/۶۵	۱/۴۱	۰/۰۳۵	پلی فنل اکسیداز

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 اسیدآمین 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 پرویلین، کربوهیدرات و کاتالاز معنی‌دار شده و پرویلین بالاترین ضریب تبیین را به خود اختصاص داد که

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

متیونین کاسته 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 سینگل کراس 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.

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 اسیدآمین لیزین و

منابع

- آذری‌کی، م. (۱۳۸۱) اثر تنش خشکی بر روی عملکرد و اجزاء عملکرد سه رقم ذرت (مطالعه موردی: منطقه‌ی مغان)، پایان‌نامه‌ی 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. ۲۴۶.
- نورمحمدی، ق.، سیادت، س.ع. و کاشانی، ع. (۱۳۸۴) زراعت غلات، جلد اول، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه چمران، اهواز.
- آئین، ا. (۱۳۹۱). تغییرات میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و جذب عناصر پتاسیم، روی و کلسیم در ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تنش خشکی. تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی ۴: ۴۸-۳۹.
- حداد، ر. و سالک جلالی، م. (۱۳۸۸). بررسی میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت تنش کمبود آب در لاین‌های جو. فنآوری تولیدات گیاهی، جلد ۹. شماره دوم. ۱-۱۰.
- حبیبپور، س. س.، نادری، ا.، لک، ش.، فرجی، ه. و مجدم، م. (۱۳۹۴). 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 کم‌آبی. مجله فرایند و کارکرد گیاهی، ج ۳، ش ۹، ص ۹۷-۱۱۰.
- 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) H₂O₂ 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.

- 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 rewatering. *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 Review 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. Don. *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 Phytologist* 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 maize under partial root-zone irrigation. *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 Djogoue, 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 euphoric 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.