نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران، شماره ویژه: پژوهش‌های فیزیولوژی گیاهی، سال نهم، شماره ویژه بهار ۱۳۹۳ / صفحات: ۱۳۶-۱۲۸

# اثر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم علوفه‌ای

**یوسف حیدری*[۱]، پیام معاونی[۲]، علی بدرقه[۳]**

[۱]مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، فیروزآباد

[۲]استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس

[۳]استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، گرمسار

**تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۷ تاریخ پذیرش:۹۳/۱/۲۲**

**چکیده**

در تحقیق حاضر چهار ژنوتیپ سورگوم علوفه‌ای در دوره آبیاری نرمال وتنش تحت شرایط مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی فیروزآباد فارس مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. عامل آبیاری در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌ها در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. صفات ارزیابی شده در طول دوره رشد شامل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز، ماده خشک، ارتفاع گیاه، طول سنبله، طول برگ، عرض برگ، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد برگ درگیاه، هدایت الکتریکی برگ (پایداری غشاء سیتوپلاسمی) و محتوی رطوبت نسبی برگ بود. نتایج بدست آمده نشان داد که سطوح مختلف فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تاثیر تنش خشکی قرار نگرفتند و در مورد سورگوم معیار مناسبی برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی نیستند. در مورد طول سنبله اختلاف معنی‌داری بین سطوح تنش و ژنوتیپ‌های مختلف وجود داشت. همچنین تفاوت معنی‌داری در مورد ماده خشک، تعداد سنبله در واحد سطح، عرض برگ، تعداد برگ درگیاه و پایداری غشاء سیتوپلاسمی در همه ژنوتیپ‌ها مشاهده شد.

***واژه‌های کلیدی:*** آنزیم آنتی‌اکسیدان، تنش خشکی، پایداری غشاء سیتوپلاسمی، سورگوم علوفه‌ای، سوپراکسید دسیموتاز، کاتالاز، محتوی رطوبت نسبی برگ

**مقدمه**

سورگوم (*Sorghum biocolor* L.) گیاهی است از تیره غلات (Gramineae) که سطح زیر کشت این گیاه در جهان ۵۰ میلیون هکتار است و در کشور ما ۳۰/۰۰۰ هکتار می‌باشد و بیشترین منطقه زیر کشت در استان‌های فارس و خوزستان قرار دارد (معاونی، ۱۳۸۲). ریشه‌های این گیاه افشان بوده و سیستم ریشه‌ایی گسترده آن به گیاه اجازه می‌دهد که با توجه به اینکه سالیانه هزینه‌های زیادی صرف تحقیقات بر روی خشکی در گیاهان زراعی می‌شود ولی نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که تاکنون روش‌های ساده کم هزینه و سریع معرفی نشده‌اند، به‌طوری‌که روش‌های لازم جهت شناسایی ارقام مقاوم به خشکی در این روش‌ها وجود ندارد، درصورتیکه بتوان ارقام سورگوم مقاوم به خشکی را با روش‌های ساده و هزینه‌های اندک شناسایی نمود، می‌توان گام مثبتی در جهت ارتقای خدمات کشاورزی برداشت. به‌طورکلی خشکی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده تولید زراعی در مناطق کم آب می‌باشد از این رو انتخاب

*نویسنده مسئول: crop_heidari@yahoo.com

ارقامی که در شرایط تنش دارای عملکرد بالایی باشند بسیار حائز اهمیت است، از آنجایی که میزان پراکسید هیدروژن می‌تواند منجر به صدمات اکسیداتیو و نابودی ساخت و ساز سلولی شود، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز قادر به سم‌زدایی و از بین بردن پراکسید هیدروژن خواهد بود در صورتی که بتوان سطح فعالیت این آنزیم را در گیاه سورگوم اندازه گیری نمود می‌توان از این معیار بسیار مهم در جهت شناسایی ارقام مقاوم به خشکی بهره گرفت. تحقیقات نشان داده که در گیاهان زراعی تحت تاثیر تنش‌های مختلف سطح رادیکال‌های آزاد پراکسید افزایش می‌یابند (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۱). به همین منظور در این مطالعه تاثیر تنش خشکی بر روی خصوصیات آگرونومیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سورگوم علوفه‌ای بررسی شدند.تنش‌های محیطی به طور مختلف بر گیاهان تاثیر می‌گذارند که متداولترین آنها تغییر توازن حالت گیاه می‌باشد دستیابی به آب به واسطه نقش بیولوژیکی آن به عنوان یک حلال و نیز نقش آن در انتقال مواد حائز اهمیت است (اصغری و ابراهیم‌زاده، ۱۳۸۱).

در گیاهان زراعی پراکسید هیدروژن توسط آنزیم‌های کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز سم زدایی می‌شود، کاتالاز از سلول‌ها در برابر پراکسید هیدروژن تولید شده محافظت می‌کند و برای برخی از انواع سلولها تحت شرایط طبیعی الزامی بوده و نقش مهمی در کسب مقاومت در برابر تنش اکسایش تطبیقی سلولها بازی می‌کند، یافته‌های شیمیایی نشان می‌دهد که کاتالاز در سلول‌های گیاهی تنها در پراکسی زوم مستقر می‌باشد و به احتمال زیاد کاتالاز در این دو اندامک تخریب $H_2O_2$ تولید شده از فعالیتهای اکسیدازهای فلاوین را کاتالیز می‌کند. کاتالاز آنزیمی است که از یون‌های فلزی به‌عنوان کوفاکتور استفاده می‌کند (Prasad et al., 1994). پراکسیداز و کاتالاز در چندین سیکل فیزیولوژیکی شامل پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده یافت می‌شوند، در نتیجه تحت تاثیر تنش‌های محیطی محصولات واسطه‌ایی از قبیل OH، $O_2$، $H_2O_2$ افزایش می‌یابد (Rao et al., 1996). ژنوتیپ‌هایی با میزان شاخص سطح برگ بالا و در طول فرآیند پرشدن دانه ژنوتیپ‌هایی هستند با خصوصیاتی که مسلما برای تحمل به خشکی دارای اهمیت می‌باشد به‌طوری‌که شاخص سطح برگ حساسترین خصوصیت رشد رویشی به کمبود آب می‌باشد (Fernandez, 1997).

افزایش فعالیت گلوتاتیون در پنبه و گندم که در معرض تنش خشکی قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد که همزمان باتولید $H_2O_2$ این افزایش می‌تواند منجر به جذب الکترونهای فردوکسین توسط NADP گردد و در نتیجه میزان تولید سوپراکسید کاهش می‌یابد (Semirnoff, 1990) یک همبستگی کاملا معنی دار بین میزان آب نسبی برگ، پتانسیل آب برگ، و مقاومت در برابر انتشار آب برگ در مقاومت به خشکی به‌طوری که روند رشد، عملکرد و ارتفاع گیاه تحت شرایط تنش خشکی کاهش چشمگیری نشان می‌دهند (Watson, 2003).

سورگوم گیاهی است که دارای قابلیت تنظیم اسمزی بالایی می‌باشد به نحوی که گیاه را قادر میسازد که شرایط نامساعد محیطی را تحمل نماید (Jonses et al., 1995). همچنین یکسری خصوصیات آناتومیکی موروفولوژیکی و فیزیولوژیکی را سبب می‌شود که شرایط خشکی و کم آبی را تحمل کند (Jordan et al., 1983)

Jonses و Turner (۱۹۹۵) گزارش نمودند که محتوای رطوبت نسبی برگ یک عامل در گیاه سورگوم و گندم برای مقابله با تنش خشکی می‌باشد. این محققین همچنین به وجود اختلاف بین ژنوتیپ‌های سورگوم در تنظیم اسمزی و قدرت

انعطاف پذیری غشای سلولی در شرایط تنش خشکی اشاره نمودند.

Safaa و Barger (۲۰۰۳) مشاهده نمودند که در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم که تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفتند اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مختلف از نظر پایداری غشای سیتوپلاسمی وجود دارد. هر چقدر میزان آب نسبی برگ بالاتر باشد گیاه دارای تحمل بیشتری به تنش خشکی می‌باشد. معمولاً مقدار سوپراکسید تولید شده به دنبال تنش‌های محیطی باید افزایش یابد که وابسته به تعداد بازده انتقال الکترون تیلاکوئیدها یعنی ظرفیت ضداکسایش غشاءها و تراوش الکترون به سوی آنزیم‌های ضد اکسایشی می‌باشد (Navari, 2001) استفاده از ترکیبات بازدارنده انتقال مانند دی کلرومتیل اوره نشان داده‌اند که فتوسیستم (I) در تولید سوپراکسیدها دخالت دارد به‌طوری‌که اغلب سوپراکسیدها توسط فتوسیستم I در گیاه ساخته می‌شوند (Navari, 2001).

هدف از انجام این تحقیق تاثیر سطوح مختلف آبیاری و تنش خشکی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و برخی شاخص‌های فیزیولوژی به منظور بهترین شاخص‌ها در انتخاب ارقام مقاوم به خشکی در سورگوم علوفه‌ای بود

**مواد و روش‌ها**

این پژوهش در سال ۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی فیروزآباد فارس انجام گردید. این آزمایش به‌صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید، تیمار آبیاری در دو سطح به‌عنوان اصلی و چهار ژنوتیپ سورگوم علوفه‌ای ($KS_1$- $KS_2$- $KS_3$-$KS_4$) به‌عنوان عوامل فرعی منظور گردیدند. در مرحله گلدهی تعداد ۱۰ برگ از هر ژنوتیپ در هر کرت برداشت و در آزمایشگاه با آب مقطر شستشو داده شد و بلافاصله در بافر فسفات تریس ۰/۱٦ مولار با (PH= ۷/۵) وارد هموژن گردید. سپس اجازه، داده شد که حجم مشابه از همان بافر حاوی دیجیوتونین و آنزیم هضم کننده فرایند هضم غشاء و دیواره سلول انجام شود. برای سنجش فعالیت آنزیم یا سوپراکسید دیسموتاز از روش (Misra et al., 1972) استفاده شده که در این روش پس از جمع آوری برگهای جوان وا نتقال به آزمایشگاه، با محلول بافر تریس به همراه ۱/۳ میلی‌مول EDTA و ۰/۱ میلی‌مول کربنات مونوسدیک اقدام به جداسازی آنزیم نموده و سپس از محلول اپی نفرین ۰/۲۵ میلی‌مول به‌عنوان سوبسترا استفاده و تغیرات جذب و نوری حاصله از اکسیداسیون اپی نفرین به‌عنوان فعالیت آنزیمی محاسبه گردید.

آزمایش سنجش فعالیت کاتالاز بر اساس روش (Paglia et al., 1967) انجام گردید. در این روش شدت واکنش جذب آب اکسیژنه به عنوان سوبسترا ارزیابی شد. بافر زمینه برای کار، حاوی ۰/۱۷ میلی‌مول فسفات دی سدیک (PH=۷/۵) همراه ۰/۱۵ مول EDTA و ۰/۱۱ میلی‌مول کلرید منیزیم بود. صفات مختلف مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مربوط به اجزاء عملکرد عبارت بودند از ارتفاع گیاه- طول پانیکول- طول برگ- عرض برگ- تعداد برگ در بوته- تعداد پنجه در متر مربع- تعداد پنجه در گیاه- و ماده خشک. بذور به صورت نواری روی ردیف‌ها کاشته شدند و عملیات تنک در مرحله ۷-۵ برگی انجام گرفت. برای اندازه‌گیری صفات فوق قبل از برداشت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برداشت و اندازه‌گیری شد و میانگین آنها به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری ماده خشک در گیاهان انتخاب شده، برگ‌ها و ساقه‌ها را جدا کرده و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲٤ ساعت خشک کرده سپس با

دقت اندازه‌گیری گردید. داده‌های بدست آمده در برنامه نرم‌افزاری MSTATC تجزیه گردید.

## نتایج

**آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)**: همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود بین دوره‌های مختلف آبیاری از نظر فعالیت آنزیم SOD تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. به عبارت دیگر در دوره‌های آبیاری نرمال و تنش نمی‌توان شاهد افزایش با کاهش معنی‌دار مقدار این آنزیم بود. همچنین اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر فعالیت این آنزیم به چشم نمی‌خورد و چنانچه در مقایسه میانگین‌ها ملاحظه می‌شود (جدول ٤) علی‌رغم آنکه بین دوره‌های آبیاری نرمال و تنش تفاوت معنی‌داری ملاحظه نمی‌گردد، ولی اختلاف محسوس را بین اعداد می‌توان شاهد بود و در حقیقت در دوره تنش فعالیت آنزیم SOD بیشتر از آن در دوره آبیاری شاهد است و از این مطلب می‌توان استنباط نمود که چنانچه دوره تنش طولانی تر گردد احتمال دارد تفاوت آماری کاملاً معنی‌دار شود.

**کاتالاز (catalas)**: همانطور که در مورد فعالیت آنزیم کاتالاز در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد. بین سطوح آبیاری نرمال و تنش تفاوت معنی‌داری از نظر این آنزیم ملاحظه نمی‌شود. همچنین بین ژنوتیپ‌ها نیز از لحاظ این آنزیم اختلاف معنی‌دار نیست ولی مسئله قابل توجه در این جا این است که ژنوتیپ شماره ۳ و ٤ به‌طور محسوسی دارای مقاومت بیشتری از این آنزیم نسبت به دو ژنوتیپ دیگر هستند و بر طبق جدول ٤ بیشترین مقدار فعالیت کاتالازی به اثر متقابل دوره تنش ژنوتیپ شماره ۳ مربوط می‌گردد.

**ماده خشک**: در جدول ۲ تفاوت معنی‌داری برای ماده خشک در سطوح تنش، ژنوتیپ، و اثر متقابل ژنوتیپ تنش ملاحظه نمی‌شود، بدین معنا که تنش وارد شده نتوانسته تاثیر معنی‌داری را بر ماده خشک گیاه وارد نماید.

**ارتفاع گیاه**: در جدول ۲ تفاوت معنی‌داری برای ارتفاع گیاه در سطوح تنش مشاهده نمی‌شود، لیکن ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال ۰/۰۵ با یکدیگر اختلاف دارند. همچنین اثر متقابل ژنوتیپ و تنش در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است، همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود بیشترین میزان ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ $ks_4$ و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ $ks_2$ است.

**طول سنبله**: در جدول ۲ تفاوت معنی‌داری برای طول سنبله در سطوح تنش در سطح ۰/۰۵ ملاحظه می‌شود. همچنین بین ژنوتیپ‌ها نیز در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌دار است و لیکن اثر متقابل ژنوتیپ و تنش اختلاف معنی‌دار نیست. بیشترین طول سنبله در سطوح آبیاری نرمال ملاحظه می‌گردد و کمترین میانگین‌ها مربوط به سطوح تنش است و این موضوع نشان‌دهنده کوچکتر شدن طول سنبله در شرایط تنش است، بیشترین میانگین طول سنبله مربوط به ژنوتیپ‌های $ks_3$ و $ks_4$ و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ $KS_2$ است (جدول ۵).

**طول برگ**: چنان که در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد برای طول برگ در سطوح تنش، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل آن‌ها تفاوت معنی داری مشاهده نمی‌شود.

**عرض برگ**: در جدول ۳ برای عرض برگ ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری دیده می‌شود ولیکن سطوح تنش نتوانسته است، اثر معنی‌داری را بر عرض برگ ژنوتیپ‌ها القاء کند. عرض برگ نیز تحت تاثیر سطح تنش قرار نگرفت. بنابراین تفاوت‌های معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها کاملاً مربوط به اثرات ژنتیکی می‌شود.

**تعداد برگ در بوته**: جدول ۵ نشان می‌دهد که از نظر تعداد برگ در بوته بین ژنوتیپ‌ها در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری وجود دارد ولی بین سطوح تنش و

اثر متقابل تنش ژنوتیپ اختلاف معنی‌داری ملاحظه نمی‌گردد. همچنی بین اثرات متقابل رقم و تراکم از نظر تعداد برگ در گیاه تفاوت در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود.

**تعداد سنبله در مترمربع:** چنانچه در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد برای تعداد سنبله در واحد سطح بین ژنوتیپ‌ها تفاوت کاملاً معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. جدول ۵ نشان می‌دهد که ژنوتیپ $ks_4$ بیشترین تعداد سنبله را در بین سایر ژنوتیپ‌ها دارا است،از طرفی تفاوت معنی‌داری بین سطوح آبیاری نرمال و تنش ملاحظه نمی‌گردد ولی به‌طور محسوسی در دوره آبیاری نرمال بیشترین تعداد سنبله وجود دارد.

**تعداد پنجه در مترمربع:** همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد تعداد پنجه در واحد سطح تحت تاثیر سطوح آبیاری و تنش قرار نگرفت ولی بین ژنوتیپ‌ها در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار است که بدین معنی است که به احتمال قوی گیاه سورگوم دارای قابلیت انعطاف‌پذیری بالایی برای تولید پنجه در شرایط خشکی بوده و قادر به جبران تعداد پنجه‌ها می‌باشد وتعداد پنجه‌ها تحت تاثیر اثرات ژنتیکی مربوط به ژنوتیپ‌ها می‌باشد، در جدول ٦ ملاحظه می‌گردد که بیشترین تعداد پنجه مربوط به ژنوتیپ $ks_3$ و $ks_4$ می‌باشد،همچنین تعداد پنجه در مترمربع تحت تاثیر اثرات متقابل دوره تنش ژنوتیپ قرار نگرفت.

**تعداد پنجه در گیاه:** تعداد پنجه در گیاه تاثیر سطوح آبیاری قرار نگرفت و به نوع ژنوتیپ سورگوم بستگی داشت. همانطور که در جدول۵ ملاحظه می‌گردد، در ژنوتیپ $ks_3$ و $ks_4$ تعداد پنجه به‌ترتیب از سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر است این مسئله نشانگر این است که تعداد پنجه گیاه به شدت تحت تاثیر عوامل ژنتیکی است. در مورد ژنوتیپ $ks_4$ تعداد پنجه بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و این مسئله بیشتر بودن تعداد پنجه در متر مربع را در این مورد این ژنوتیپ همانطورکه اشاره شد را توجیه می‌کند.

**پایداری غشاء سیتوپلاسمی:** بین سطوح مختلف آبیاری از نظر پایداری غشاء سیتوپلاسمی اختلاف معنی‌داری دیده نشد ولی ژنوتیپ‌ها در سطح ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشته و در این میان ژنوتیپ $ks_1$ بیشترین پایداری غشاء سیتوپلاسمی را داشت (جداول ٤ و ١).

**جدول ۱:** نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در آزمایشگاه داده‌های جدول میانگین مربعات می‌باشد.

| منابع تغییرات | درجه آزادی | آنزیم سوپراکسید دیسموتاز | | | آنزیم کاتالاز | | | هدایت‌الکتریکی غشاء سیتوپلاسمی $Ec(\mu S/m^2)$ ۲ | | | محتوی رطوبت نسبی برگ ٪ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MS | F | Prob | MS | F | Prob | MS | F | Prob | MS | F | prob |
| تکرار | ۲ | ۸۳۱۸۸/٦ | ۰/٦۲۳۵ | | ٤۷۰/۸۰۷ | ۰/۳٥۰۷ | | ۱۲٦۹/٥۰۰ | ۱/٥٤ | N.S | ۰/۰۰٤ | ٤/۱۲ | |
| تنش | ۱ | ۷۳۹۲٦/۰۰ | ۰/٥٥٤۰ | ns | ۲٦٦/۱٤۷ | ۰/۱۹۸۲ | ns | ٤۲٤۰/۰٤ | ٥/۱٦ | N.s | ۲/٤۸ | ۰/۲۳ | ns |
| خطای (a) | ۲ | ۱۳۳٤۲۹/۰ | | | ۱۳٤۲/٦۱۸ | | | ۸۲۰/٦٦۷ | | | ۰/۰۰۱ | | |
| ژنوتیپ | ۳ | ۱۲۱٤۳/۲۲ | ۰/۲٦۷۲ | ns | ۹۰٤/۸۲۲ | ۱/۳۲۸۷ | ns | ۷۱۲۹/۷ | ٤/۱٦ | * | ۰/۰۰۳ | ۱/۸۷ | ns |
| ژنوتیپ×تنش | ۳ | ۱۸۲۱۷/٦٦۷ | ۰/٤۰۰۹ | | ٤۱٦/٦۹۰ | ۰/٦۱۱۹ | | ۱۲٤۰/۰٤ | | | ۰/۰۰۲ | ۱/٤۸ | ns |
| خطای (b) | ۱۲ | ٤٥٤٤۱/٤۰۳ | | | | | | | | | | | |
| کل | | | | | | | | | | | | | |

*معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns معنی دار نمی باشد.

**جدول ۲:** نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در مزرعه، داده‌های متن جدول میانگین مربعات می‌باشد.

| منابع تغییرات | درجه آزادی | ماده خشک $gr/m^2$ | | | ارتفاع گیاه (cm) | | | طول سنبله (cm) | | | طول برگ (cm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MS | F | Prob | MS | F | Prob | MS | F | Prob | MS | F | prob |
| تکرار | ۲ | ۱۲۶۹/۵ | | ns | ۲۲۹۱۸/۰۷ | ۰/٦٤ | ns | ۰/۲۸۰٦ | ۰/۰۱٦ | ns | ۱۸٦/۲٦ | ۸/۸۰ | |
| تنش | ۱ | ٤۲٤۰/۰٤ | ۵/۱٦ | ns | ۱۰۲٦۸۹/۳۸ | ۲/۹۰۷۳ | ns | ٦۹/۹۳ | ٤/۰۰ | * | ۸۷/۱۷۳ | ٤/۱۲۲٤ | ns |
| خطای (a) | ۲ | ۸۲۰/٦٦ | | | ۳۵۳۲۱/۵۲ | | | ۰/۰۵۸ | | | ۲۱۱٤٦ | | |
| ژنوتیپ | ۳ | ۷۱۲۹/۷۰ | ٤/۱٦٤۳ | ns | ۱۲۲۵۵۸/۵۵ | ۳/۸۲ | * | ٤/٦٤۳ | ۵/۷٦٦ | * | ۳۲۷/۲۰٦ | ۰/۵٤٤ | ns |
| ژنوتیپ×تنش | ۳ | ۱۲٤۰/۰٤ | ۰/۷۲ | ns | ۱۱۷۳٦۳/۸۳ | ۳/٦٦۳۷ | * | /۸۵۹ | ۱/۰۵۸ | ns | ۱۳٤/۷۵۵ | ۰/۲۲ | ns |
| خطای (b) | ۱۲ | ۱۷۱۲/۰۸ | | | ۳۲۰۳٤/۲۳ | | | ۱/۲٤۲ | | | ٦۰۱/۰۷ | | |
| کل | ۲۳ | | | | | | | | | | | | |

*معنی دار در سطح ۵ درصد، **معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns معنی‌دار نمی‌باشد.

**جدول ۳:** نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در مزرعه داده‌های متن جدول میانگین مربعات می‌باشد.

| تغییرات منابع | درجه آزادی | تعداد سنبله در واحد سطح | | | عرض برگ | | | تعداد برگ روی گیاه | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DF | MS | F | Prob | MS | F | prob | MS | F | prob |
| تکرار | ۲ | ۸/۱۹ | ۰/۳۵ | | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۲ | | ٤/۲۸ | ۱/۱۵ | |
| تنش | ۱ | ۲۰۱/۲٦ | ۸/۷٤ | ns | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ns | ۰/۵٤ | ۰/۱٤ | ns |
| خطای (a) | ۲ | ۲۳/۰۱ | | | ۰/۲۹ | | | ۳/۷۰ | | |
| ژنوتیپ | ۳ | ۲۱۹/٦٦ | ۱۱/۹۲ | ** | ۱/٦۹ | ۸/٤٦ | ** | ۱/۸۹ | ٤/۳۹ | |
| ژنوتیپ× تنش | ۳ | ۵۵/۷۳ | ۳/۰۲ | ns | ۰/۰٤۸ | ۰/۲۳ | ns | ۱/۰۰ | ۲/۳۳ | ns |
| خطای (b) | ۱۲ | ۱۸/٤۲ | | | ۰/۲۰ | | | ۰/٤۳ | | |
| کل | ۲۳ | | | | | | | | | |

**جدول ٤:** مقایسه میانگین مقدار صفات اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی ژنوتیپ‌ها و اثرات متقابل ژنوتیپ دردوره‌های تنش

| | سوپراکسیددیسموتاز u/g protein | کاتالاز u/g protein | پایداری غشاء سیتوپلاسمی $\mu S / m^2$ | محتوی رطوبت نسبی برگ (٪) |
|---|---|---|---|---|
| آبیاری نرمال | ۹۷۱/۰۰a | ۹۲/۲٦a | ۱٤۹/۵۳b | ۰/۵٦a |
| تنش | ۱۹۸۲/۰۰a | ۹۸۰/۹۲a | ۱۷٦/۱٦a | ۰/۵۸a |
| ژنوتیپ $ks_1$ | ۱۹۱۲/٦٦a | ۸۰/۲٦a | ۲۰۵/۳۳a | ۰/٦۰a |
| ژنوتیپ $ks_2$ | ۹۷٤/۸۸a | ۹٤/۱٦a | ۱۳۰/۳۳b | ۰/۵۵a |
| ژنوتیپ $ks_3$ | ۱۰۳٦/۱٦a | ۱۱۰/۱۰a | ۱۳۹/۸۳b | ۰/۵۷a |
| ژنوتیپ $ks_4$ | ۱۰۸۲/۳۳a | ۹۷/۸٤a | ۱۷٦/۰۰a | ۰/۵٦a |
| آبیاری نرمال× ژنوتیپ ۱ | ۹۸۹/۳۳a | ٦۷/۵۳a | ۱۷۹/۳۳a | ۰/۵۹a |
| آبیاری نرمال× ژنوتیپ ۲ | ۹۷٦/۰۰a | ۹۳/۳٦a | ۱۳۲/٦٦a | ۰/۵۱a |
| آبیاری نرمال× ژنوتیپ ۳ | ۹۵۷/٦٦a | ۱۰۳/۰۵a | ۱۳۵/۳۳a | ۰/۵۷a |
| آبیاری نرمال× ژنوتیپ ٤ | ۹٦۱/۰۰a | ۱۰٤/٦۵a | ۱۵۱/۰۰a | ۰/۲٦a |
| تنش× ژنوتیپ ۱ | ۱۰۳٦/۰۰a | ۹۳/۰۰ a | ۲۳۱/۳۳a | ۰/٦۰a |
| تنش× ژنوتیپ ۲ | ۹۷۳/٦٦a | ۹٦/۹٤a | ۱۲۸/۰۰a | ۰/۵۹a |
| تنش× ژنوتیپ ۳ | ۱۱۱٤/٦٦a | ۱۱٦/۷۰a | ۱٤٤/۳۳a | ۰/۵۷a |
| تنش× ژنوتیپ ٤ | ۱۰۲۳/٦٦a | ۹۱/۰۳a | ۲۰۱/۰۰a | ۰/۵۹a |

جدول ۵: مقایسه میانگین مقدار صفات اندازه‌گیری شده زراعی ژنوتیپ‌ها و اثرات متقابل ژنوتیپ در دوره‌های تنش

| | طول سنبله (cm) | تعداد پنجه در مترمربع | تعداد پنجه در گیاه | ارتفاع بوته (cm) | تعداد سنبله در متر مربع |
|---|---|---|---|---|---|
| آبیاری نرمال | ۱۶/۴۹ | ۳۴/۸۳ | ۷/۴۰ | ۲۶۳/۹۳۳ | ۵/۳۷ |
| تنش | ۱۷/۳۰ | ۳۴/۵۸ | ۷/۱۸ | ۱۳۳/۱۰۹ | ۱۱/۱۶ |
| ژنوتیپ $ks_1$ | ۱۵/۶۸ | ۳۱/۶۶ | ۶/۷۶ | ۱۳۸/۵۰۰ | ۴/۶۶ |
| ژنوتیپ $ks_2$ | ۱۶/۷۸ | ۳۰/۷۵ | ۶/۵۳ | ۱۰۴/۴۵۲ | ۷/۹۱ |
| ژنوتیپ $ks_3$ | ۱۸/۰۶ | ۳۷/۴۱ | ۷/۰۷ | ۱۳۹/۶۳۳ | ۳/۵۸ |
| ژنوتیپ $ks_4$ | ۱۷/۰۶ | ۳۹/۰۰ | ۸/۱۶ | ۱۱۱/۵۰۰ | ۱۶/۹۱ |
| آبیاری نرمال× ژنوتیپ ۱ | ۱۴/۰۶ | ۳۶/۰۰ | ۷/۲۰ | ۱۲۴/۶۳۳ | ۲/۰۰ |
| آبیاری نرمال× ژنوتیپ ۲ | ۱۶/۹۰ | ۲۸/۶۶ | ۶/۴۰ | ۱۱۹/۵۶۷ | ۷/۵۰ |
| آبیاری نرمال× ژنوتیپ ۳ | ۱۷/۴۰ | ۳۷/۰۰ | ۷/۱۳ | ۱۲۵/۸۳۳ | ۲/۳۳ |
| آبیاری نرمال× ژنوتیپ ۴ | ۱۶/۸۰ | ۳۷/۶۶ | ۸/۸۷ | ۱۸۵/۷۰۰ | ۹/۶۶ |
| تنش× ژنوتیپ ۱ | ۱۶/۵۰ | ۲۷/۳۸ | ۶/۳۳ | ۱۵۲/۳۶۷ | ۷/۳۳ |
| تنش× ژنوتیپ ۲ | ۱۶/۶۶ | ۳۲/۸۳ | ۶/۶۶ | ۸۹/۳۳۸ | ۸/۳۳ |
| تنش× ژنوتیپ ۳ | ۱۸/۷۳ | ۳۷/۸۳ | ۸/۲۶ | ۱۵۳/۴۳۳ | ۴/۳۳ |
| تنش× ژنوتیپ ۴ | ۱۷/۳۳ | ۴۰/۳۳ | ۷/۴۷ | ۱۳۷/۳۰۰ | ۴/۱۶ |

**بحث**

همانطور که در نتایج آمده است سطوح مختلف آبیاری بر روی طول سنبله، طول برگ و تعداد سنبله در متر مربع اختلاف معنی‌داری نشان داد اما سطوح مختلف آبیاری تاثیر معنی‌داری بر پایداری غشای سیتوپلاسمی، تعداد پنجه در گیاه، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز نداشت. حبیبی و همکاران (۱۳۸۱) نشان دادند که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری از لحاظ سطح فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در مورد گیاه آفتابگردان آجیلی وجود دارد. بر طبق جدول ٤ ملاحظه می‌گردد که بیشترین مقدار فعالیت آنزیم SOD در مورد ژنوتیپ $KS_4$ در دوره تنش دارای بالاترین فعالیت آنزیم است. اصغری و ابراهیم‌زاده (۱۳۸۱) نشان دادند که افزایش آنزیم‌های پراکسیداز می‌تواند نتیجه حساس‌تر بودن تنفش نوری در مراحل رشد و نمو گیاهان در تنش خشکی باشد.

هنگامی که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند بسته شدن روزنه‌ها منجر به محدودیت در ورود $CO_2$ به داخل گیاه شده که با تشکیل اکسیژن فعال توام می‌گردد، در اینجا مکانیسم‌هایی مانند وجود آنزیم‌های اکسیداتیو مثل SOD یک نقش ثانویه را در تحمل به خشکی در گیاهان بازی می‌کنند. فعالیت SOD در تحمل به خشکی به عنوان معیاری برای انتخاب ارقام گوجه فرنگی نشان می‌دهد که این موضوع را می‌توان در مورد سایر گیاهان بسط داد (Asada, 1999).

حبیبی و همکاران (۱۳۸۱) با مطالعه اثرات سطوح تنش بر فعالیت آنزیم کاتالاز در آفتابگردان به این نتیجه رسیدند که بین تیمارهای آبیاری در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی داری وجود ندارد. همچنین در بین ارقام تفاوت معنی‌داری از لحاظ فعالیت این آنزیم دیده نمی‌شود. طبق نتایج موجود به نظر می‌رسد برای انتخاب ارقام یا ژنوتیپهای مقاوم نسبت به خشکی از لحاظ فعالیت آنزیم کاتالاز هم سطح تنش و هم نوع ژنوتیپ دارای اهمیت است. Jagtap و همکاران (۱۹۹۵) به این نتیجه رسیدند که یک مکانیسم دفاعی مرتبط به آنزیم آنتی‌اکسیدانت در سورگوم وجود دارد

که قادر به پایین آوردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش خشکی می‌باشد که در ژنوتیپ‌های مقاومت دیده می‌شود.

معاونی (۱۳۸۲) با مطالعه اثرات تنش خشکی و بالانس آبی در سورگوم علوفه‌ایی به این نتیجه رسید که اثرات تنش آبی روی گیاه سورگوم بستگی به القاء آن در مرحله فنولوژیکی دارد و چنان که در مرحله رشد طولی ساقه اعمال شود عملکرد بیوماس ۰/۰۳٦ نسبت به شاهد کاهش می‌یابد و مراحل بعدی حساسیت کمتری نسبت به تنش آبی نشان می‌دهد. وی همچنین به این نتیجه رسید که برای کاهش چشمگیر محصول سورگوم باید رطوبت موجود در خاک به زیر نقطه پژمردگی برسد و چنانچه تنش خشکی بعد از مرحله رشد سریع اعمال شود تاثیر چشمگیری بر عملکرد ندارد. همچنین معاونی (۱۳۸۲) با بررسی کشت گیاه سورگوم در دوره‌های مختلف آبیاری به این نتیجه رسید که تاثیر دوره آبیاری در ارتفاع گیاه معنی دار بوده و بالاترین ارتفاع ساقه در شرایط آبیاری ٤ روز یکبار ملاحظه می‌شود. تنش خشکی بر عملکرد گیاه اثرات وسیعی دارد و مهمترین اثر تنش خشکی بر گیاه کاهش سرعت رشد و نمو، کاهش ارتفاع ساقه و کاهش رشد برگ‌ها می‌باشد (چابوک، ۱۳۷۵).

افزایش طول برگ و سرعت توسعه برگها رابطه مستقیمی با کمبود آن در خاک دارد و می‌تواند یکی از معیارهای ارزیابی وضعیت رطوبتی خاک باشد (Sivakumar and Shaw, 1996). سید (۱۳۷۳) نشان داد که طول و عرض برگ‌ها نسبت به شدت جذب خالص به مقدار بیشتری تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. گسترش سطح برگ یکی از ملاک‌های مهم در بررسی تنش خشکی درگیاه است و سرعت رشد وتوسعه برگها با کمبود رطوبت در خاک رابطه مستقیم دارد (Sivakumar and Shaw, 1996). معاونی (۱۳۸۲) با مطالعه اثر تنش آبی در سورگوم علوفه‌ایی به این نتیجه رسید که تعداد برگهای هر بوته در سطح آبیاری ٤-۷-۱۰ روز با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارد.

## نتیجه‌گیری نهایی

براساس نتایج بدست آمده تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش و آبیاری نرمال از نظر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان SOD و CAT وجود ندارد، علی‌رغم این مسئله باتوجه به اینکه مقدار فعالیت SOD در ژنوتیپ $KS_4$ به طور محسوسی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بالاتر است، این ژنوتیپ در اثر متقابل سطح آبیاری شاهد دارای بیشترین مقدار فعالیت SOD است. به نظر می‌رسد که در درجه اول اثرات این آنزیم بیشتر تحت تاثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد ودوم آنکه بهتر است برای بررسی دقیق‌تر اثرات تنش بر سطح SOD و CAT سطح تنش را به نسبت بالاتری افزایش دهیم. در ژنوتیپ‌ها مقدار پایینی از فعالیت SOD و پایین‌ترین مقدار فعالیت CAT را شاهد هستیم. همچنین ارتفاع گیاه و طول سنبله تحت تاثیر اثرات ناشی از تنش قرار می‌گیرند، در حالی که ماده خشک تحت تاثیر تنش اعمال شده قرار نمی‌گیرد. این مطلب نشان‌دهنده آن است که ژنوتیپ‌های سورگوم قادر به جبران تلفات ماده خشک بوده‌اند و انعطاف‌پذیری زیادی را از این نظر از خود نشان داده‌اند. لازم به ذکر است که ژنوتیپ $KS_4$ علاوه بر اینکه دارای بیشترین تعداد سنبله درو احد سطح می‌باشد، دارای بیشترین ارتفاع گیاه، بیشترین تعداد پنجه در گیاه واحد سطح می‌باشد بنابراین به نظر می‌رسد که این ژنوتیپ در رقابت با دیگر ژنوتیپ‌ها برتری داشته باشد، از طرفی علی‌رغم معنی‌دار نبودن فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بین ژنوتیپ‌ها ولی باز می‌توان شاهد افزایش مقدار آنزیم SOD نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود و به نظر

می‌رسد که اعمال تنش‌های آبی بیشتر بتوان برتری معنی‌داری این ژنوتیپ را نسبت به سایر ژنوتیپ از لحاظ فعالیت SOD نشان داد و این ژنوتیپ را در برنامه‌های اصلاحی از نظر مقاومت بودن نسبت به خشکی وارد نمود.

## منابع


**اصغری، و ابراهیم‌زاده، ه. (۱۳۸۱).** بررسی اثر تنش خشکی در فعالیت و ظهور ایزوآنزیم‌های آنزیم پراکسیداز در دو رقم گندم، موسسه تحقیقات و تهیه نهال وبذر کرج.

**چابوک، ب. (۱۳۷۵).** ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیکی موثر در مقاومت به خشکی نخود سفید پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

**حبیبی، د. و مشهدی اکبر بوجار، م. (۱۳۸۱).** تعیین مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت به عنوان آنزیم‌های ضد استرس در ارقام مختلف آفتابگردان آجیلی، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

**سید. س. (۱۳۷۳).** اثر خشکی بر بعضی ازجنبه‌های فیزیولوژیکی و زراعتی گندم، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

**معاونی، پ. (۱۳۸۲).** مطالعه تاثیر دوره آبیاری بر عملکرد برخی شاخص‌های فیزیولوژیک علوفه‌ایی گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه آزاد ایرانشهر.

**Asada, K. (1999).** The water _water cycle in chloroplasts: Scavenging of Active oxygen and dissipation of excess Photons. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 601-639.

**Fernandez, K.F. (1997**). Role of ascorbata glutation antioxidant system in chilling resistance of sunflower. Journal of Plant Physiology.141:234-239.

**Jagtap.V. and Bhargava, S. (1995).** Variation in the antioxidant metabolism and tolerant and drought susceptible varieties of *sorghum bicolor* (L) moench. Exposed to high light. Low water and high temperature stress. Journal Plant Phisiology.145:195-197.

**Jordan, W.R., Dugas, YR. and shouse, P.J. (1983).** Strategies for crop improvement for drought-prone regions. Agricultural Water Management.7:291-299.

**Jonses, M.M., and Turner, N.C. (1995).** Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. Plant Physiology. 61:122-126.

**Misra, H.P. and Fridovich, P. (1972).** The generation of superoxide readical during outoxidation. Journal Biology Chemistry. 247:6960-6966.

**Navari, R. (2001)**. Activity of superoxid disutase and catalase. 36:306_313

**Nonami, H. (1998).** Plant water relations and control of cell elongation at low water potential. Journal Plant Research.111:373-382.

**Paglia, D.E. and Valentine, W.N. (1967).** Studies on the quantitative and qualities characterizatili of glutatione peroxidase. Journal of Laboratory Medicine.70:158-165.

**Prasad, T.K., Andersone, M.D., Martin, B.A., Stewart, C.R. (1994).** Evidence for chilling induced oxidative stress in maize seeding and a regulator role for hydrogen proxide. Plant Cell. 5:65-74

**Rao, M. (1996).** Induced changes in the antioxidant enzymes. Plant Physiology.110:125-136

**Safaa, H. and Barger, T.W. (2003).** Influence of water stress on selected physiological response of three sorghum genotypes. Italy Agronomy.71:15-22

**Semirn, N. (1990**). Role of Glutation proxidase in wheat and Cotton. Plant Physiology.114: 1369-1376.

**Sivakumar, MV.K. and Shaw, R.H. (1979).** Methods of growth in field grown soybeans. Annual Botany.42:213-222

**Watson, M. (2003).** The correlation among drought resistance and leaf water potential. Academic Press. Vol. 2, New York.