# اثر غلظت‌های متفاوت سالسیلیک‌اسید بر ویژگی‌های کمی و کیفی جو در شرایط تنش شوری

نرگس پاکار[۱]، هادی پیرسته انوشه[۲]، یحیی امام[۳]*

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱)

## چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک‌اسید بر تحمل به شوری جو به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در محیط کنترل شده در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال ۱۳۹۲ طراحی و اجرا شد. در این پژوهش تأثیر چهار غلظت متفاوت سالیسیلیک اسید (صفر، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ میلی‌مولار) بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد، محتوای عناصر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جو رقم ریحان در پنج سطح شوری ( آب شهر به‌عنوان شاهد، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) بررسی شد. نتایج نشان داد که تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته (۴۱/۱٪)، سطح برگ (۲۳/۴٪)، تعداد دانه در سنبله (۱۹/۵٪)، وزن خشک شاخساره (۲۶/۸٪)، عملکرد دانه (۳۴/۶٪) و غلظت پتاسیم شاخساره (۲۸/۲٪) گردید. به‌علاوه، شوری غلظت سدیم شاخساره (۲۳۹/۴٪) و هم‌چنین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۴۶/۰٪)، سوپراکسیددیسموتاز (۲۵۶/۶٪) و پراکسیداز (۷۶۰/۳٪) را افزایش داد. سالیسیلیک اسید، بسته به غلظت کاربرد، تأثیر مثبتی بر رشد و سایر صفات اندازه‌گیری شده داشت، به‌طوری‌که در اغلب موارد بیشترین تأثیر مربوط به غلظت‌های ۱/۰ و ۱/۵ میلی‌مولار بود. برهمکنش‌ها نیز نشان داد که با کاربرد سالیسیلیک اسید و افزایش غلظت آن بخشی از تغییرات منفی شوری بر رشد، عملکرد، محتوای یون‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان جبران گردید؛ درحالی‌که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار تأثیری معنی‌داری نداشت. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید منجر به افزایش تحمل جو به تنش شوری، از راه تغییر نسبت جذب یون‌های سدیم و پتاسیم و هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گردید.

**واژه‌های کلیدی:** آنزیم، آنتی‌اکسیدان، پتاسیم، سدیم

۱، ۲ و ۳. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشجوی دکتری و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yaemam@shirazu.ac.ir



Archive of SID

www.SID.ir

## مقدمه

مساحت اراضی مواجه با مشکل شوری در سطح دنیا بین ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلیون هکتار متغیر است که این مساحت، سه برابر مساحتی است که هر ساله توسط کشاورزان مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. سطح اراضی شور در ایران ۲۵ میلیون هکتار است که به‌دلیل مدیریت ضعیف آبیاری، این سطح رو به افزایش است (۲۱). پاسخ گیاهان زراعی به تنش شوری بسیار پیچیده است. این پیچیدگی ناشی از غلظت نمک، نوع یون‌ها، عوامل مختلف محیطی و مرحله رشد و نموی گیاه می‌باشد (۲۲). تنش شوری از راه ایجاد پتانسیل اسمزی و در نتیجه آبگیری بافت‌ها و هم‌چنین از طریق مسمومیت یونی در اثر تجمع یون‌های خاص به‌ویژه سدیم موجب اختلال در واکنش‌های متابولیک گیاه می‌شوند (۱۰).

اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم و نسبت بین آنها می‌تواند به‌عنوان شاخصی از تحمل به شوری مورد استفاده قرار گیرد، به‌طوری‌که ارقام جو متحمل به شوری میزان پتاسیم بالاتری در مقایسه با سدیم در سلول‌های خود دارند (۲۲). در غلظت‌های بالای نمک، گیاهان با ورود و خروج یون‌ها، میزان یون سدیم ($Na^+$) درون سیتوپلاسم را کاهش داده و با ثابت نگهداشتن غلظت یون پتاسیم، نسبت Na/K را پائین نگه می‌دارند (۲۰). کاهش رشد تحت شرایط تنش، نتیجه‌ی جلوگیری از تقسیم سلول، رشد سلول و یا هر دوی آنهاست که این اثرات بازدارندگی می‌تواند در اثر تغییر در توازن هورمون‌های گیاهی در اثر تنش باشد (۲۱). تنظیم‌کننده‌های رشدی چون سالیسیلیک‌اسید در کنترل پاسخ های گیاه به شرایط محیطی نامساعد نقش مهمی دارند (۱۲).

سالیسیلیک اسید نقش مهمی در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی دارد و از گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های غیر زنده حمایت می‌کند (۱۴ و ۲۵). هم‌چنین به‌عنوان یک مولکول راهنمای درونی شناخته می شود، که به‌طور اساسی درگیر مقاومت به تنش محیطی در گیاهان می‌شود (۱۵). بر طبق گزارش‌ها، سالیسیلیک اسید تأثیرات بسیاری بر مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه داشته و در تحریک مکانیسم‌های حمایتی افزایش مقاومت در مقابل تنش‌های زنده و غیر زنده نقش دارد (۲۹). گیاهان در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده، پروتئین‌هایی تولید می‌کنند و ساخت خیلی از این پروتئین‌ها به وسیله‌ی هورمون‌های گیاهی همچون آبسیزیک اسید و سالیسیلیک اسید تحریک می‌شوند (۱۵). سالیسیلیک اسید در غلظت‌های پایین موجب رفع آسیب اکسایشی در شرایط تنش می‌شود، که اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپید و قندهای احیاکننده در شرایط شاهد و تیمار شده، نشانگر کاهش خسارات اکسیداتیو است (۲۵).

درحال‌حاضر بیشتر پژوهش‌هایی که درباره اثرهای فیزیولوژیک سالیسیلیک اسید انجام می‌شود، درباره توانایی سالیسیلیک‌اسید در جهت تعدیل اثر عوامل تنش‌زای غیر زنده انجام می‌شود. بنابراین، داده‌های قابل توجهی در رابطه با اثر سالیسیلیک اسید بر القای افزایش مقاومت گونه‌های مختلف گیاهی در شرایط نامطلوب به‌دست آمده است، ولی با این وجود هنوز اتفاق نظری در مورد غلظت مناسب برای کاربرد شاخساره‌ای سالیسیلیک اسید در مورد بسیاری از گیاهان زراعی وجود ندارد. بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر مطالعه اثر سطوح مختلف سالیسیلیک اسید بر رشد، عملکرد دانه و اجزای آن؛ هم‌چنین محتوای عناصر سدیم و پتاسیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه جو، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در ایران، در شرایط تنش شوری می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در محیط کنترل شده در سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل پنج سطح شوری شامل: آب شهر (۰/۶۲ دسی‌زیمنس بر متر)، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد تنظیم‌کننده رشد سالیسیلیک اسید در چهار سطح شامل:



Archive of SID

www.SID.ir

عدم کاربرد سالیسیلیک اسید (به‌عنوان شاهد)، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ میلی‌مولار بود.

کاشت بذرها در گلدان‌های پلاستیکی ۵ لیتری که با نسبت ۲، ۱، ۱ از خاک، کودبرگ و شن شسته شده پرشده بود، صورت گرفت. خاک مورد مطالعه دارای اسیدیته ۷/۸ و هدایت الکتریکی ۰/۹۷ دسی‌زیمنس بر متر؛ با مقادیر ۵۶۱ و ۲۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب پتاسیم و فسفر و هم‌چنین ۱/۰۶ و ۰/۱۴ درصد به‌ترتیب کربن آلی و نیتروژن کل بود. ابتدا در هر گلدان ۱۰ بذر یکنواخت کاشته شده که پس از استقرار کامل بوته‌ها و پیش از اعمال تیمارها، ۵ بوته یکنواخت در هر گلدان نگهداری و بوته‌های اضافی حذف شد. گلدان‌ها تا پایان هفته سوم توسط آب معمولی آبیاری شد و پس از استقرار بوته‌ها، تیمارهای شوری اعمال شد. سطوح تیمارهای شوری از طریق نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم با نسبت ۱:۲ ایجاد و با یک EC-Meter پورتابل کنترل گردید. بوته‌های جو در مرحله برجستگی دوگانه (Double ridges) با سالیسیلیک‌اسید یا غلظت‌های مربوطه، که با آب گرم و اتانول تهیه گردیدند، به‌صورت کاربرد شاخساره‌ای تیمار شدند؛ درحالی‌که تیمار شاهد بدون کاربرد تنظیم‌کننده با آب محلول‌پاشی شد. در زمان محلول‌پاشی، سطح خاک گلدان با پلاستیک پلی‌اتیلن پوشانده تا از جذب خاکی جلوگیری شود. دمای کمینه و بیشینه گلخانه به‌ترتیب ۲۸ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۵ تا ۶۰ درصد بود، هم‌چنین بوته‌های گندم روزانه در معرض ۱۴ ساعت روشنایی (ترکیبی از لامپ فلورسنت و مهتابی ) بودند.

در زمان شیری شدن دانه ارتفاع بوته و سطح برگ اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن فیزیولوژیک بوته‌ها به‌صورت کف‌بر برداشت شدند و تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، وزن خشک بوته و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. مقدار سدیم و پتاسیم شاخساره توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (SL-CC-102 India) اندازه‌گیری شد (۲۱). ارزیابی صفات شیمیایی نیز شامل میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۷)، کاتالاز (۷)، سوپراکسیددیسموتاز (۵) و آسکوربیک‌پراکسیداز (۱۹) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Biochrom Ltd, Biowave S2100, Cambridge, UK) صورت گرفت. پس از آزمون یکنواختی واریانس ها توسط نرم‌افزار MINITAB، داده‌ها با برنامه SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس اثرات شوری، سالیسیلیک‌اسید و برهمکنش آنها در جدول ۱ ارائه شده‌است. برای مقایسات میانگین نیز، از آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ و خطای استاندارد استفاده شد..

## نتایج و بحث

### رشد و عملکرد

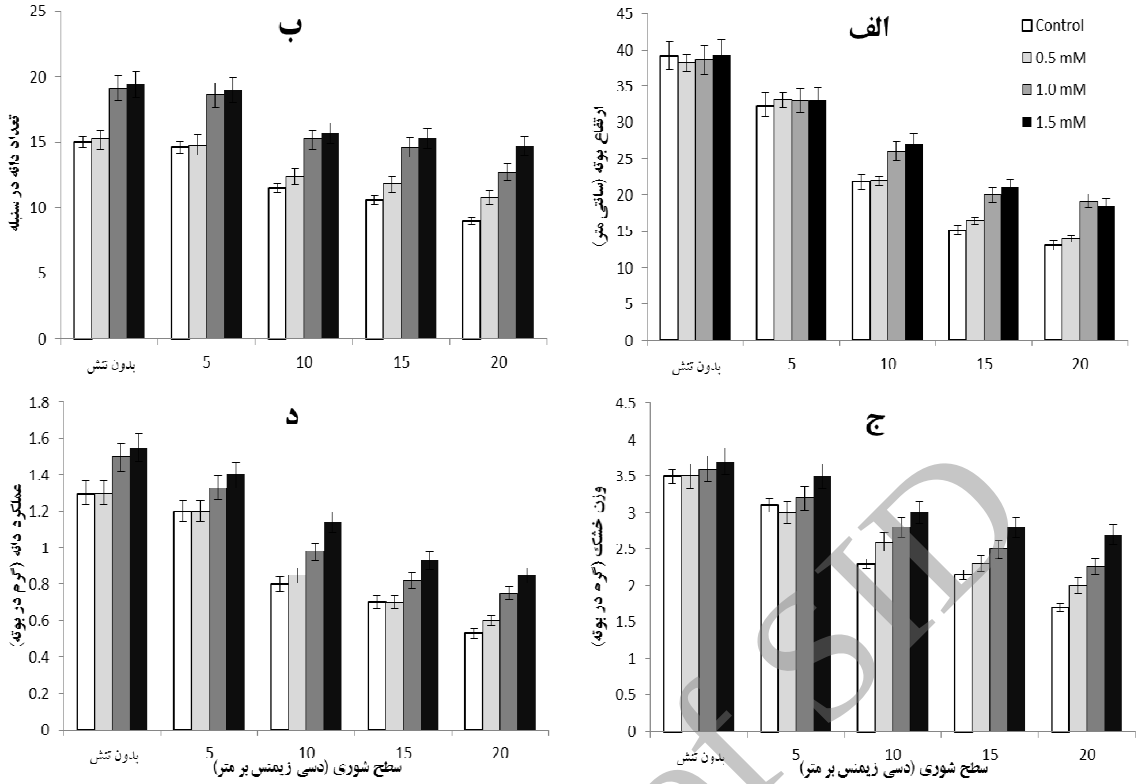
شوری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه جو شد و مقدار کاهش آن با شدت تنش رابطه داشت؛ به‌طوری که کمترین مقدار آن در بالاترین سطح شوری (سطوح شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد (شکل ۱الف). شوری با تغییرات گسترده بیوشیمیایی و فیزیولوژیک تولید گیاهان زراعی را محدود کرده و بر متابولیسم تأثیر منفی می‌گذارد (۲۰). استفاده از سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در شرایط با و بدون تنش، تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه نداشت، درحالی‌که غلظت‌های ۱/۰ و ۱/۵ میلی‌مولار (تفاوت معنی‌داری) موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد (شکل ۱ الف). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های پیرسته انوشه و امام (۲۳) که افزایش ارتفاع بوته را در نتیجه کاربرد شاخساره‌ای سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش در گندم گزارش کردند، مطابقت داشت. سایر پژوهشگران نیز افزایش ارتفاع گیاهان زراعی را در اثر محلول‌پاشی برگی با سالیسیلیک‌اسید در گونه‌های مختلف گیاهی نشان داده‌اند (۱۶ و ۱۷).

تنش شوری، بسته به‌شدت تنش، سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ جو شد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین سطح برگ به‌ترتیب در تیمارهای بدون تنش و شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۲). تنش‌های محیطی از قبیل شوری پیری برگ‌ها را تسریع کرده و سبب کاهش سطح برگ



Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۱. تأثیر غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک‌اسید بر رشد و عملکرد جو تحت شرایط متفاوت شوری. ستون‌های دارای هم‌پوشانی بر اساس خطای استاندارد (SE) تفاوت معنی‌دار ندارند.**

می‌گردد. تنش هم‌چنان می‌تواند از طریق کاهش سرعت گسترش برگ و تغییر در شکل برگ‌ها، سطح برگ را کاهش می‌دهد، که این موضوع به کاهش دریافت تابش منجر می‌شود (۱۰).استفاده از سالیسیلیک اسید موجب افزایش سطح برگ و کاهش اثرات مضر شوری شد، که در این بین غلظت ۱/۵ میلی‌مولار بیشترین و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار کمترین تأثیر مثبت را از خود نشان داد (شکل ۲). تنظیم‌کننده‌های رشد از طریق کاهش سرعت نمو و به تأخیر انداختن رسیدگی سبب افزایش سطح برگ می‌شوند (۱۴). افزایش سطح برگ در پژوهش‌های پیشین در اثر تیمار با سالیسیلیک اسید توسط متوالی و همکاران (۱۷) نیز گزارش شده است.

اگرچه تعداد دانه در سنبله با افزایش سطوح شوری کاهش یافت؛ ولی سالیسیلیک‌اسید اثر مثبتی بر تعداد دانه در سنبله داشت (شکل ۱ب) و بسته به شدت تنش و غلظت تنظیم‌کننده توانست مقداری از این کاهش را جبران کند. تنش می‌تواند از راه افزایش سرعت نموی و در نتیجه کوتاه کردن دوره نموی موجب کاهش تعداد دانه گردد (۱۰). تعداد دانه در سنبله‌های تحت تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌دار با بوته‌های شاهد نداشت؛ درحالی‌که غلظت‌های ۱/۰ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر)، موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله شدند (شکل ۱ب). امین و همکاران (۳) افزایش نسبت تسهیم مواد پرورده به دانه را به‌دنبال کاربرد سالیسیلیک اسید، و حیات و همکاران (۱۲) نقش تعدیل‌کنندگی سالیسلیک اسید در شرایط تنش در کاهش تعداد دانه را گزارش کرده‌اند. نتایج پژوهش حاضر در مورد تأثیر مثبت کاربرد برگساره‌ای سالیسیلیک اسید بر افزایش تعداد دانه در سنبله با نتایج پیرسته انوشه و امام (۲۴)، حیات و همکاران (۱۲) و الطیب (۹) مطابقت دارد.



Archive of SID

www.SID.ir

تنش شوری وزن خشک شاخساره را به‌طور معنی‌دار کاهش داد، که این کاهش بسته به شدت تنش متغیر بود. کاهش معنی‌دار و قابل توجه وزن خشک شاخساره در اثر تنش شوری در تیمارهای بیشتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (شکل ۱ج). عملکرد بیولوژیک شامل وزن خشک تمام بخش‌های هوایی گیاه است که تحت شرایط آب و هوایی، خاک و گیاه قرار می‌گیرد، شوری با اثرات متفاوتی که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر متابولیسم دارد، سبب کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (۱۰). همان‌طورکه در سایر صفات پژوهش حاضر مشاهده شد، تنش شوری بسته به‌شدت تنش موجب کاهش اندازه شاخساره (ارتفاع و سطح برگ) شد، بنابراین، کاهش عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تنش شوری قابل توجیه است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن خشک شاخساره با طول ساقه، سطح برگ، تعداد دانه، غلظت پتاسیم و فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌دست آمد (جدول ۲). هم‌چنین غلظت سدیم و فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با وزن خشک شاخساره بودند. بالاترین سطوح شوری (۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) موجب کاهش ۳۹/۵ درصدی وزن خشک نسبت به تیمار شاهد گردید. در همه تیمارهای تنش شوری، سالیسیلیک اسید توانست بخشی از افت وزن خشک ناشی از تنش را جبران کند، و در همه این تیمارها غلظت ۱/۵ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را داشت. کمترین تأثیر غلظت سالیسیلیک اسید در تیمار شاهد (بدون تنش) مشاهده شد (شکل ۱ ج). نتایج این پژوهش با یافته‌های پیرسته انوشه و امام (۲۴) که بهبود وزن خشک بوته‌های جو تیمار شده با سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش شوری را گزارش کردند، مطابقت داشت. هم‌چنین مشاهده شده است که کاربرد برگی سالیسیلیک اسید بر گیاهان سویا و ذرت با غلظت های $10^{-3}$ و $10^{-5}$ مولار بر طول ریشه اثری نداشته، لیکن، باعث افزایش رشد شاخساره گردیده است. متوالی و همکاران (۱۷) در جو، سینگ و یوشا (۲۸) در گندم و تونا و همکاران (۲۹) در ذرت مشاهده کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش وزن خشک بوته گردید. الطیب (۹) نیز در پژوهشی نشان داد که سالیسیلیک اسید موجب بهبود وزن خشک بوته‌های جو در شرایط تنش شوری می‌شود.

عملکرد دانه تحت‌تأثیر تنش شوری کاهش یافت و با افزایش شدت تنش شوری، کاهش عملکرد حاصل از تنش نیز بیشتر شد (شکل ۱د). کاهش معنی‌دار و قابل توجه عملکرد دانه در اثر تنش شوری در تیمارهای بیشتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. بالاترین سطوح شوری (۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) موجب ۵۱/۸ درصد کاهش در عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد بدون تنش گردید. در این آزمایش مشخص شد که اگرچه سالیسیلیک اسید باعث افزایش عملکرد دانه شد، ولی این اثر فقط در غلظت‌های ۱/۰و ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۱د). بیشترین اثر تعدیل‌کنندگی سالیسیلیک اسید در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار وجود داشت. در مورد افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد شاخساره‌ای سالیسیلیک اسید نتایج مشابهی در پژوهش‌های پیشین از جمله: امین و همکاران (۳)، پیرسته انوشه و امام (۲۳)، شکیروا و همکاران (۲۷) در گندم و هم‌چنین تونا و همکاران (۲۹) در ذرت گزارش شده است. افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید می‌تواند به‌دلیل اثر مثبت و افزاینده آنها بر اجزای عملکرد دانه باشد. به‌نحوی‌که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول ساقه، سطح برگ، تعداد دانه، وزن خشک شاخساره، غلظت پتاسیم و فعالیت آنزیم پراکسیداز بود (جدول ۲). بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با وزن خشک و پس از آن با تعداد دانه به‌دست آمد. هم‌چنین غلظت سدیم و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد دانه بودند.

## محتوای عناصر

میزان غلظت سدیم شاخساره تحت تأثیر تنش شوری افزایش یافت و با افزایش شدت تنش شوری، افزایش غلظت سدیم حاصل از تنش نیز بیشتر شد (شکل ۳الف). از سوی دیگر تنش



Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس شوری، غلظت سالیسیلیک‌اسید و برهمکنش آن‌ها بر رشد و عملکرد جو**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | طول ساقه | سطح برگ | وزن خشک | عملکرد دانه | غلظت سدیم | غلظت پتاسیم | پراکسیداز | کاتالاز | آسکوربیک پراکسیداز | سوپراکسیددیسموتاز |
| شوری | ۴ | ۹۲/۳۴** | ۲۳/۹۱* | ۸۲۱/۱۱** | ۱۱۰/۷۶** | ۵۴/۲۱** | ۴۰/۳۲** | ۱۶/۶۵* | ۱۷/۶۵* | ۰/۲۱ns | ۱۰/۴۳* |
| سالیسیلیک‌اسید | ۳ | ۱۱/۳۲* | ۱۴/۲۱* | ۷۶۲/۰۲** | ۱۰۹/۲۲** | ۱۹/۳۲* | ۴۱/۰۱** | ۲۷/۸۱** | ۴۹/۲۱** | ۱/۲۱ns | ۷۶/۷۱** |
| برهمکنش | ۱۲ | ۳/۰۱* | ۳/۲۱ns | ۶۶۶/۷۷** | ۱۴۳/۲۹** | ۲۲/۳۱* | ۳/۱۲ns | ۳۳/۵۶** | ۵۲/۳۲** | ۲/۳۴ns | ۶۵/۰۲** |
| خطا | ۶۰ | ۰/۰۶ | ۴/۷۶ | ۹۴/۲۱ | ۲۳/۲۱ | ۱/۲۱ | ۴/۵۱ | ۳/۲۱ | ۶/۷۶ | ۷/۸۷ | ۲/۳۲ |
| ضریب تغییرات (CV) | | ۷/۶۱ | ۱۳/۲۱ | ۵/۶۸ | ۱۴/۰۱ | ۴/۲۱ | ۵/۴۲ | ۷/۶۱ | ۶/۲۹ | ۹/۲۱ | ۸/۳۲ |

ns، غیر معنی‌دار؛ * و ** معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ و ۵٪

جدول ۲. نتایج برآورد ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده با عملکرد دانه و وزن خشک شاخساره

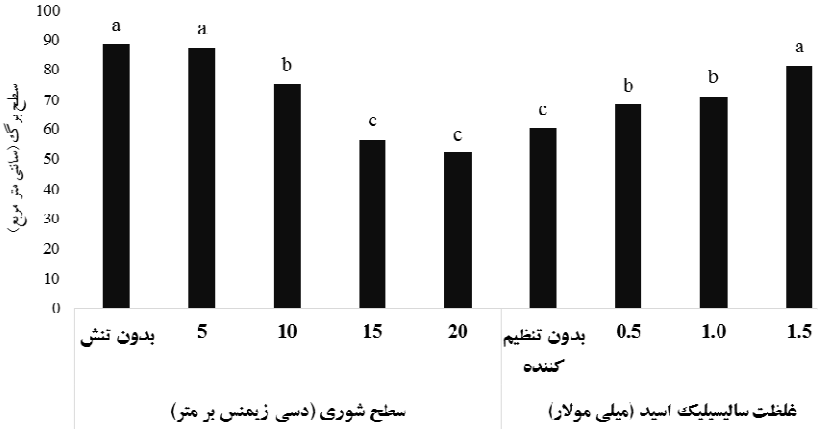
| | طول ساقه | سطح برگ | تعداد دانه | وزن خشک عملکرد دانه | غلظت سدیم | غلظت پتاسیم | پراکسیداز | کاتالاز | آسکوربیک پراکسیداز | سوپراکسیددیسموتاز |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن خشک | ۰/۸۶۴** | ۰/۸۷۱** | ۰/۸۱۳** | ۱/۰۰ | -۰/۸۴۷** | ۰/۸۶۰** | ۰/۸۳۸** | -۰/۳۹۰ns | ۰/۱۹۱ns | -۰/۵۵۳* |
| عملکرد دانه | ۰/۸۰۷** | ۰/۸۱۴** | ۰/۸۵۱** | ۰/۹۰۸** | -۰/۸۰۱** | ۰/۸۶۷** | ۰/۷۶۰** | -۰/۴۴۸* | ۰/۱۶۲ns | -۰/۶۲۵** |

ns غیر معنی‌دار؛ * و ** معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ و ۵٪

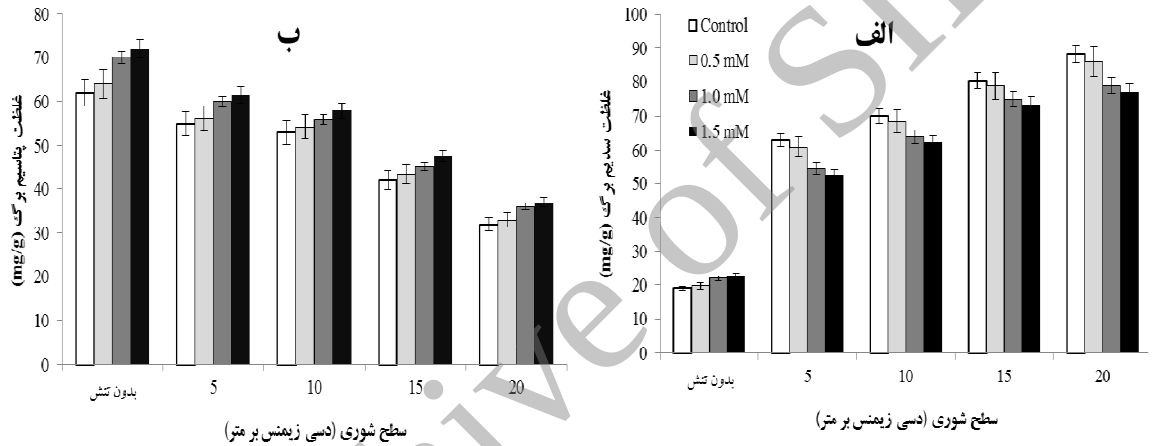


Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۲. تأثیر سطوح شوری و غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک اسید بر سطح برگ جو (ستون‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.)**




**شکل ۳. تأثیر غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک اسید بر غلظت سدیم و پتاسیم شاخساره جو تحت شرایط متفاوت شوری. ستون‌های دارای هم‌پوشانی بر اساس خطای استاندارد (SE) تفاوت معنی‌دار ندارند.**

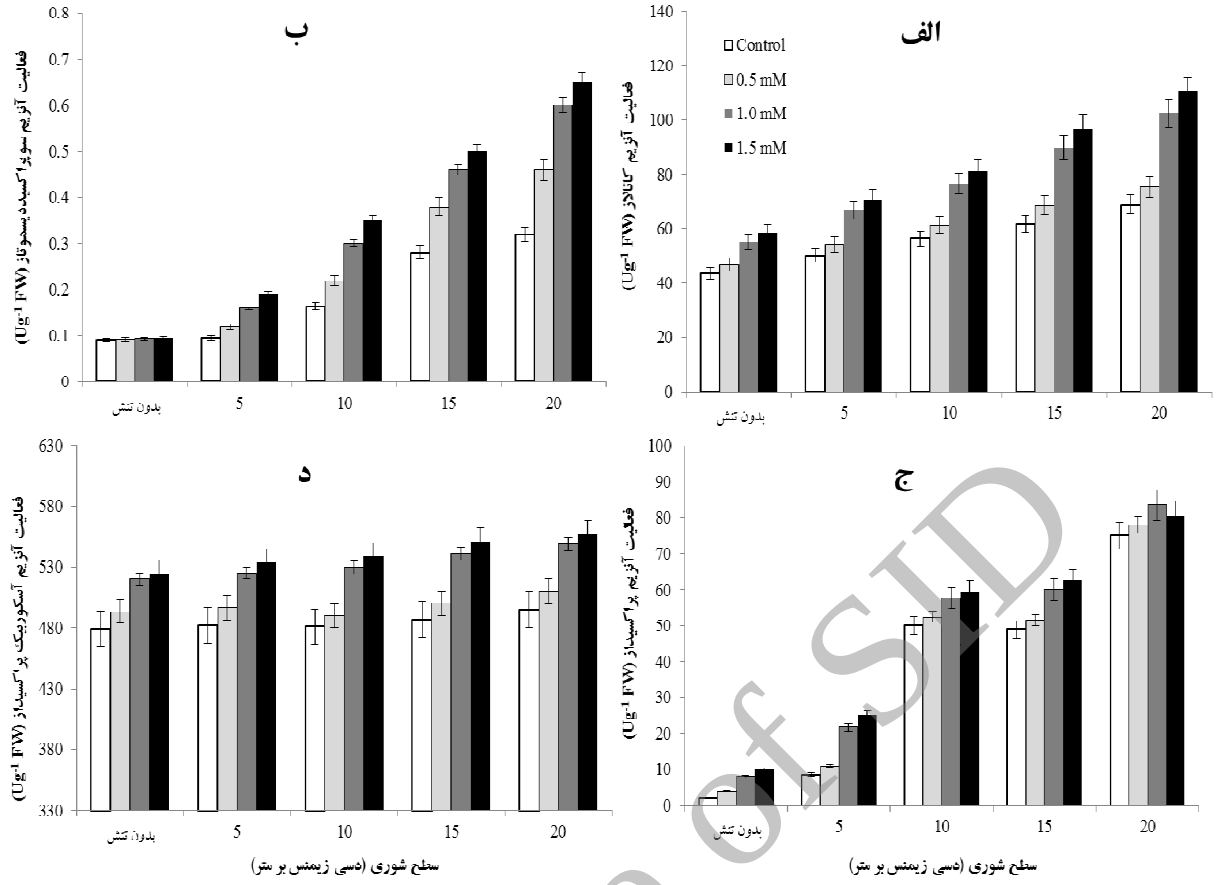
شوری موجب کاهش میزان غلظت پتاسیم شاخساره شد که این کاهش با افزایش شدت تنش شوری هماهنگ بود (شکل ۳ب). مطالعات نشان می‌دهد که افزایش غلظت نمک در محیط رشد گیاهان باعث افزایش غلظت سدیم می‌گردد. غلظت‌های بالای نمک می‌تواند یک اثر رقابتی را در جذب یون‌ها به‌وجود بیاورد. در غلظت بالای نمک، غلظت یون پتاسیم در گیاه کاهش می‌یابد که باعث کمبود پتاسیم می‌گردد (۲۶). به‌طور معمول، در غلظت‌های بالای نمک، میزان سدیم درون سیتوپلاسم کاهش می‌یابد و با ثابت ماندن غلظت یون پتاسیم، نسبت Na/K کاهش می‌یابد. این سازوکار تا حدودی در مقابله با اثرات سوء ناشی از تنش شوری مؤثر است. نسبت Na/K در گیاهان به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم جهت تعیین تحمل شوری در گیاهان گزارش شده است (۲۱).

اگرچه سالیسیلیک‌اسید باعث کاهش غلظت سدیم شاخساره شد، ولی این اثر تنها در غلظت های ۱/۰و ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد. بیشترین اثر تعدیل‌کنندگی سالیسیلیک‌اسید در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار وجود داشت (شکل ۳الف). هم‌چنین سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش غلظت پتاسیم شاخساره شد که بیشترین اثر تعدیل کنندگی در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار به‌دست آمد (شکل ۳ب). پژوهشگران پیشین نیز نشان دادند که کاربرد



Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۴. تأثیر غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک‌اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شاخساره جو تحت شرایط متفاوت شوری. ستون‌های دارای هم پوشانی بر اساس خطای استاندارد (SE) تفاوت معنی‌دار ندارند.**

سالیسیلیک اسید می‌تواند بخشی از اثرات تنش شوری که موجب افزایش سدیم و کاهش پتاسیم بوته‌های جو گردید، را جبران کند (۹ و ۲۶). این اثر، که منجر به تحمل بیشتر شوری می‌گردد، در سایر گیاهان مانند گندم (۱۵)، ذرت (۱۱) و گوجه‌فرنگی (۱۳) نیز گزارش شده است.

## آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد و مقدار افزایش آن با شدت تنش رابطه داشت؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن در تیمار شوری ۲۰ دسی‌زیمنس‌برمتر مشاهده شد (شکل ۴الف). تنش‌های محیطی موجب افزایش تولید گونه‌های آزاد اکسیژن (ROS) در بسیاری از گیاهان زراعی می‌شود (۱۰). گیاهان برای کم کردن تأثیرات مضر ROS ها از مکانیسم‌های دفاعی متنوعی از جمله تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدانی برخوردارند؛ که در این میان کاتالاز در غیر فعال سازی ($H_2O_2$) موثر است (۳۰). استفاده از سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۰/۵ میلی مولار در شرایط با و بدون تنش، کمترین تأثیر را بر فعالیت آنزیم کاتالاز داشت. درحالی‌که غلظت‌های ۱/۰ و ۱/۵ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم شد (شکل ۴الف). نتایج یک پژوهش نشان داده که کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش (۱۲/۷٪) در فعالیت کاتالاز در گندم شد (۲۶). همین‌طور کاربرد سالیسیلیک اسید موجب بهبود فعالیت کاتالاز در شرایط تنش شوری در گندم و گوجه‌فرنگی شد (۸ و ۱۳).اعمال تنش شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز گردید



Archive of SID

www.SID.ir

و افزایش شدت تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز شد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین فعالیت این آنزیم به‌ترتیب در تیمارهای شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تنش مشاهده شد (شکل ۴ب). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با یافته‌های پیشین در افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش در گیاهان گندم و جو مطابقت دارد (۲۶، ۲۷ و ۳۰). یکی از مؤثرترین آنتی‌اکسیدان‌های درون سلولی سوپراکسیددیسموتاز است که بسیاری از پژوهشگران آن را قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان شناخته شده می‌دانند که می‌تواند بسیاری از گیاهان را در مقابل حمله رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایمن نگه دارد (۶ و ۱۸). سوپراکسیددیسموتاز رادیکال‌های سوپراکسید را در فرآیندهایی که منجر به تولید $H_2O_2$ می‌شود، از بین می‌برد (۶). سالیسیلیک اسید موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز می‌شود؛ به‌طوری‌که این افزایش با بالارفتن غلظت آنزیم تطابق داشت و بالاترین فعالیت سوپراکسیددیسموتاز در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۴ب). سالیسیلیک‌اسید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را تنظیم می‌کند و موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود (۴). کاربرد سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در گیاهان گندم و گوجه‌فرنگی شده است (۸ و ۱۳).

با اعمال تنش شوری، فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت و تشدید شوری موجب افزایش بیشتر فعالیت این آنزیم شد. (شکل ۴ج). آنزیم پراکسیداز گیاهی به‌علت نقشی که در فرآیندهای مهم فیزیولوژیک مانند کنترل رشد توسط چوبی شدن، پیوستن پکتین‌ها و پروتئین‌های ساختاری در دیواره سلولی، کاتابولیسم اکسین و دفع مسمویت هیدروژن پراکسید در چرخه‌ی گلوتاتیون دارد، به‌عنوان نشانگری بیوشیمیایی برای انواع مختلف تنش‌های زنده و غیر زنده استفاده می‌گردد (۲۵). در مطالعه چانس و ماهلی (۷) مشخص شد که آنزیم آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز از آنزیم‌هایی است که بیشترین سهم را برای مقاومت به تنش در اثر حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهان برعهده دارد. سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در شرایط با و بدون تنش، تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز نداشت؛ درحالی‌که غلظت‌های ۱/۰ و ۱/۵ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌دار آن شد، هرچند تفاوت معنی‌داری بین این دو غلظت وجود نداشت (شکل ۴ج). نتایج یک پژوهش نشان داده که کاربرد سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد، به‌طوری‌که سالیسیلیک اسید موجب افزایش (۲۴٪) فعالیت پراکسیداز شد (۲۵). کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری در گندم و جو موجب افزایش فعالیت پراکسیداز شد (۸ و ۹).

اثر تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربیک‌پراکسیداز معنی‌دار نبود. تنها غلظت‌های ۱/۰ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب افزایش فعالیت این آنزیم شد (شکل ۴د). از آنجا که آسکوربیک‌پراکسیداز با کمک آسکوربیک‌اسید باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود، لذا بالاتر بودن فعالیت این آنزیم به معنی حذف بیشتر رادیکال‌های اکسیژن و در نتیجه کاهش مرگ سلولی و افزایش مقاومت به تنش شوری است (۱). آسکوربیک پراکسیداز، به‌دلیل فعالیت زیاد، دارای بالاترین توانایی در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد که در مطالعات انجام شده این موضوع به‌طور آشکار مشخص شده است (۱۹).

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش تنش شوری سبب کاهش قابل توجهی در رشد و عملکرد دانه جو گردید، که این کاهش بسته به‌شدت تنش متفاوت بود. با این وجود سالیسیلیک‌اسید توانست تا حدی افت ناشی از تنش شوری را جبران کند، که با افزایش غلظت این تنظیم‌کننده این توانایی نیز افزایش یافت. با توجه به تأثیر سالیسیلیک اسید در کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم و هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش تحمل به شوری در گیاه جو در اثر کاربرد



Archive of SID

www.SID.ir

شاخساره‌ای سالیسیلیک اسید را می‌توان به این موارد نسبت داد. تحریک تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت برای محافظت بهتر سلول‌ها در برابر اثرات رادیکال‌های آزاد اکسیژن با کاربرد شاخساره‌ای سالیسیک اسید میسر است. بنابراین، می‌توان غلظت ۱ تا ۱/۵ میلی‌مولار را به‌عنوان یک تیمار مناسب برای تعدیل بخشی از اثرات نامطلوب ناشی از تنش شوری توصیه کرد.

## منابع مورد استفاده


1. Akhila, S. N., T. K. Abraham and D. S. Jaya. 2008. Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced cowpea *Vigna unguiculata* L. varieties. *Journal of Environmental Biology* 29: 689-691.
2. Al-Hakimi, A. M. A. 2008. Effect of salicylic acid on biochemical changes in wheat plants under khat leaves residues. *Plant and Soil Environment* 54: 288–293.
3. Amin, A. A., E. M. S. Rashad and F. A. E. Gharib. 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. *Australian Journal of Basic and Applied Science*s 2: 252-261.
4. Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55: 373-399.
5. Beauchamp, C. and I. Fridovich. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay predictable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry* 44: 276–287.
6. Blokhina, O., E. Virolainen and K.V. Fagerstedt. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress. *Annals of Botany* 91: 179-194.
7. Chance, B. and A.C. Maehly. 1995. Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology* 2: 764 – 775.
8. Doulatabadian A., S. A. M. Modarres Sanavy and F. Etemadi. 2008. Effect of pretreatment of salicylic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination under salt stress. *Iranian Journal of Biology* 21: 692-793. (In Farsi)
9. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215-225.
10. Emam, Y. and M. Niknejad. 2011.An Introduction to the Physiology of Crop Yield, Shiraz University Press, Shiraz. (In Farsi).
11. Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, N. Cicek, E. Guneri, F. Eraslan and T. Guzelordu. 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). *Archives in Agronomy and Soil Science* 51: 687–695.
12. Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan and A. Ahmad. 2009. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 3: 1-12.
13. He, Y. and Z. J. Zhu. 2008. Exogenous salicylic acid alleviates NaCl toxicity and increases antioxidative enzyme activity in *Lycopersicon esculentum*. *Biologia Plantarum* 52: 792–795.
14. Hussein, M. M., L. K. Balbaa and M. S. Gaballah. 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3: 321-328.
15. Kaydan, D., M. Yagmur and N. Okut. 2006. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). *Tarim Bilimleri Dergisi* 13: 114-119.
16. Khodary, S. E. A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology* 6: 5-8.
17. Metwally, A., A. Finkmeier, M. George and K. Dietz. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedling. *Plant Physiology* 1321: 272-281.
18. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7: 405-410.
19. Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867–880.




Archive of SID

www.SID.ir

20. Nemoto, Y. and T. Sasakuma. 2002. Differential stress responses of early salt stress responding genes in common wheat. *Phytochemistry* 61: 129-133.
21. Pakniat H, A. Kazemipour and G. A. Mohammadi. 2003. Variation in salt tolerance of cultivated (*Hordeum vulgare* L.) and wild (*H. spontanum* C. KOCH) barley genotypes from Iran. *Iran Agricultural Research* 22: 45–62. (In Farsi).
22. Pirasteh-Anosheh, H. and Y. Emam. 2012a. Manipulation of morpho-physiological traits in bread and durum wheat by using growth regulators at different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing* 5: 29-45. (In Farsi).
23. Pirasteh-Anosheh, H. and Y. Emam. 2012b. Yield and yield component responses of bread and durum wheat to PGRs under drought stress conditions in field and greenhouse. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 5: 1-17. (In Farsi).
24. Pirasteh-Anosheh, H., G. Ranjbar, Y. Emam and M. Ashraf, M. 2013. Salicylic acid-induced recovery ability in salt-stressed *Hordeum vulgare* plants. *Turkish Journal of Botany* 37: 112-121.
25. Pirasteh-Anosheh, H., H. Sadeghi and Y. Emam Y. 2011. The effects of $KNO_3$ and urea on germination, early growth, total protein and proline content of four maize hybrids (*Zea mays* L.) under drought and salt stress conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 14: 289-295.
26. Pirasteh-Anosheh, H., Y. Emam, M. Ashraf and M. R. Foolad. 2012. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. *Advanced Studies in Biology* 11: 501-520.
27. Shakirova, F. M., A. R. Sakhabutdinova, M. V. Bezrukova, R. A. Fathutdinova and D. R. Fathutdinova. 2003. Changes in hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science* 164: 317-322.
28. Singh, B. and K. Usha. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation* 23: 366-370.
29. Tuna, A., C. Kaya, M. Dikilitas and I. Yokas. 2007. Comparative effects of various salicylic acid derivatives on key growth parameters and some enzyme activities in salinity stressed maize plants. *Pakistan Journal of Botany* 39: 787-798.
30. Vaezi, B., V. Bavi, M. Ghanavati and F. Ebrahimpoor. 2013. Evaluation of barley lines for drought tolerance under field condition. *Agronomy Journal* 97: 10-16. (In Farsi).

Archive of SID



www.SID.ir