

تعیین غلظت و زمان بهینه محلول پاشی سالیسیلیک اسید برای بهبود رشد جو در شرایط شور

غلامحسن رنجبر^۱، هادی پیرسته انوشه^{۱*} و نادیا بشارت^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۹)

چکیده

در یک مطالعه دو ساله مزرعه‌ای تأثیر غلظت و زمان محلول پاشی سالیسیلیک اسید برای بهبود رشد گیاه جو تحت دو شرایط غیر شور و شور (به ترتیب ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر) در یک آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال‌های ۹۳ - ۱۳۹۱ در مرکز ملی تحقیقات شوری بررسی شد. تیمارهای سالیسیلیک اسید (یازده تیمار) شامل یک تیمار بدون محلول پاشی و ده تیمار محلول پاشی با غلظت‌های ۰/۳۵، ۰/۷۰، ۱/۰۵، ۱/۴۰ و ۱/۷۵ میلی‌مولار و اعمال در زمان‌های پنجه‌زنی + ساقه‌روی + ظهور سنبله یا ساقه‌روی + ظهور سنبله بود. اگرچه تنش شوری با کاهش اجزای عملکرد منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید، با این حال عملکرد دانه بوته‌های جو تحت تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان قابل توجهی افزایش یافت. این اثر مثبت احتمالاً به دلیل تأثیر سالیسیلیک اسید بر تعداد دانه در سنبله بود. متوسط عملکرد دانه در غلظت‌های صفر، ۰/۳۵، ۰/۷۰، ۱/۰۵، ۱/۴۰ و ۱/۷۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط غیر شور به ترتیب ۴۹۶/۱، ۵۳۹/۷، ۵۳۸/۵، ۵۵۳/۸، ۵۱۷/۴ و ۵۰۱/۳ گرم در مترمربع و در شرایط شور به ترتیب ۱۸۹/۲، ۲۱۲/۵، ۲۱۹/۱، ۲۰۶/۹، ۲۰۰/۳ و ۱۸۲/۳ گرم در مترمربع بود. با توجه به معنی‌داری همبستگی منفی بین سدیم با عملکرد دانه، نقش تعدیل‌کنندگی سالیسیلیک اسید برای اثرات منفی شوری می‌تواند با اثر مثبت آن در کاهش غلظت سدیم در ارتباط باشد. بهترین تیمار را می‌توان محلول پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۱/۰۵ میلی‌مولار برای شرایط غیر شور و با غلظت ۰/۷۰ میلی‌مولار برای شرایط شور در دو مرحله ساقه‌روی + ظهور سنبله دانست که به ترتیب باعث افزایش ۱۶/۶ و ۱۸/۶ درصدی عملکرد دانه شدند. نتایج این پژوهش بیان داشت که غلظت یا دفعات زیاد محلول پاشی نه تنها موجب بهبود تأثیر نمی‌شود، بلکه می‌تواند اثرات منفی نیز به همراه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، غلظت، سدیم، مرحله اعمال، همبستگی

۱ و ۲. به ترتیب استادیاران زراعت و کارشناس خاک‌شناسی، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: H.pirasteh@areeo.ac.ir

مقدمه

شور و قلپا شدن خاک‌ها مدت مدیدی است که یک مشکل جهانی است و هیچ قاره و اقلیمی عاری از خاک‌های متأثر از شوری با منشاء اولیه یا ثانویه نیست. کشور ایران از نظر اقلیمی در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. این روند به دلیل مدیریت نادرست آبیاری تشدید شده است (۷). تنش شوری منجر به تغییرات بیوشیمیایی و پاسخ‌های فیزیولوژیک در گیاهان می‌شود و روی تمام مراحل نظیر فتوسنتز، رشد و توسعه گیاهان تأثیر می‌گذارد (۱۵). پاسخ گیاهان به تنش شوری بسیار پیچیده است. این پاسخ از غلظت نمک، نوع یون‌ها، عوامل مختلف محیطی و مرحله رشد و نموی گیاه تأثیر می‌پذیرد. از یک سو، تنش اسمزی تحت شرایط شوری باعث آب‌گیری بافت‌های گیاهی می‌شود و بدین دلیل آن را خشکی فیزیولوژیک هم می‌نامند (۲ و ۳).

از سوی دیگر، مسمومیت یونی در اثر تجمع یون‌های خاص به‌ویژه سدیم ایجاد می‌گردد که موجب اختلال در واکنش‌های متابولیک گیاه می‌شوند. برای مقابله با این تنش‌ها، در شرایط شوری کم گیاهان با افزایش غلظت مواد محلول، فشار اسمزی داخلی خود را حفظ می‌نمایند (۲۴). در غلظت‌های بالای نمک، گیاهان با ورود و خروج یون‌ها، میزان سدیم درون سیتوپلاسم را کاهش داده و با ثابت نگهداشتن غلظت یون پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم را پائین نگه می‌دارند. این سازوکار تا حدودی در مقابله با اثرات سوء ناشی از تنش شوری مؤثر است (۲۲). کاهش رشد تحت شرایط تنش، نتیجه 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. تنظیم‌کننده‌های رشدی چون سالیسیلیک اسید با ایجاد توازن در غلظت هورمون‌های گیاهی در کنترل پاسخ‌های گیاه به شرایط نامساعد شوری نقش مهمی دارند (۳ و ۲۱).

سالیسیلیک اسید یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید (SA) به گروهی از ترکیبات فنلی تعلق دارند که به‌وسیله سلول‌های

ریشه تولید می‌شود و نقش زیادی در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک مختلف گیاه دارد (۵ و ۹). سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک پیام‌رسان کلیدی در فعال‌سازی پاسخ‌های اختصاصی دفاعی گیاه شناخته شده است. با نگاهی به مقالات منتشر شده اثر مثبت سالیسیلیک اسید بر طیف وسیعی از صفات جوانه‌زنی، رشد، عملکرد، اجزای عملکرد، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان به‌ویژه در شرایط شور به خوبی مشخص شده است. اما هنوز غلظت بهینه برای محلول‌پاشی به خوبی مشخص نشده است (۳، ۹ و ۱۹). پاکار و همکاران، (۱۷) غلظت ۱/۰ تا ۱/۵ میلی‌مولار را برای دست‌یابی به بهترین تأثیر پیشنهاد دادند. در پژوهشی پیرسته‌انوشه و همکاران (۲۱) نشان دادند که علی‌رغم تأثیر منفی تنش شوری بر رشد و عملکرد جو؛ سالیسیلیک اسید در غلظت‌های متفاوت توانست بخشی از تأثیر منفی شوری را بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد جبران کند. درصد کاهش عملکرد دانه در اثر تنش شوری در سال اول در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار برابر با ۲۷/۳ درصد و در سال دوم در غلظت ۱/۰ میلی‌مولار معادل ۳۳/۸ درصد حداقل بود. در حال حاضر بیشتر پژوهش‌هایی که درباره اثرات فیزیولوژیک سالیسیلیک اسید انجام می‌شود درباره توانایی سالیسیلیک اسید در جهت تعدیل اثر منفی شوری در شرایط کنترل شده و به‌ویژه در مراحل اولیه زندگی گیاه انجام می‌شود. بنابراین، داده‌های قابل‌توجهی در رابطه با اثر سالیسیلیک اسید بر القای افزایش مقاومت گونه‌های مختلف گیاهی در مراحل اولیه شرایط شوری به‌دست آمده است، ولی تعداد کارهای مزرعه‌ای بسیار اندک است. بنابراین، این پژوهش به‌منظور بررسی اثر زمان و غلظت محلول‌پاشی سالیسیک اسید بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت یون‌های گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش شوری می‌باشد. هم‌چنین مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد نیز تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت یک آزمایش کرت‌های خرد شده در

کاشت به خاک اضافه شد. در طول فصل رشد گیاه به منظور تعیین شوری خاک تا عمق ۹۰ سانتی متری و در ۴ مرحله در هر کرت اصلی نمونه خاک تعیین گردید. میانگین شوری عصاره گل اشباع در عمق صفر تا ۹۰ در طول فصل رشد در کرت های غیر شور و شور به ترتیب برابر با ۲/۹ و ۱۱/۶ دسی زیمنس بر متر بود.

تنش شوری پس از مرحله استقرار کامل گیاهچه از طریق آبیاری با شوری های مدنظر اعمال شد. آب شور با هدایت الکتریکی ۱۲ دسی زیمنس بر متر از ترکیب دو استخر موجود در مزرعه با شوری های ۲ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. آبیاری در حد ظرفیت مزرعه به علاوه ۳۰ درصد سهم آب شویی اعمال گردید. برای تهیه محلول های سالیسیلیک اسید از اتانول و آب گرم استفاده شد. محلول پاشی سالیسیلیک اسید نیز یک هفته پس از اعمال شوری با غلظت های مورد نظر از طریق سم پاش پستی دقیق با فشار ۱ بار و به میزان ۵۰۰ لیتر در هکتار انجام گردید (۱۹). کرت های بدون محلول پاشی نیز به همان میزان با آب محلول پاشی شدند (۱۸).

در پایان فصل رشد در زمان رسیدگی کامل، کل بوته های جو همه کرت (۱۲ متر مربع) برداشت شده و طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اندازه گیری و برای یک مترمربع محاسبه شدند. غلظت عناصر سدیم و پتاسیم شاخساره بر اساس روش شعله سنجی توسط دستگاه فلیم فتومتر تعیین شدند. تجزیه واریانس داده ها و مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد توسط نرم افزار SAS انجام صورت گرفت. ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با سایر صفات اندازه گیری شده توسط نرم افزار MINITAB برآورد شد. پس از تجزیه مرکب داده های دو سال، با توجه به معنی دار نشدن اثر برهمکنش سال با همه اثرات دیگر، میانگین دو سال مورد مقایسه میانگین قرار گرفت.

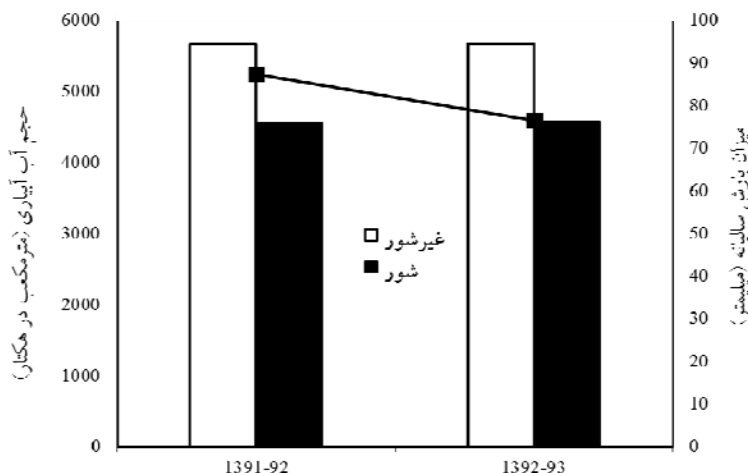
نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) طول سنبله تنها

قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شوری صدوق استان یزد وابسته به مرکز ملی تحقیقات شوری در سال های زراعی ۹۲ - ۱۳۹۱ و ۹۳ - ۱۳۹۲ انجام شد. به طور میانگین، خاک منطقه مورد مطالعه دارای شوری ۴/۸ دسی زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۴، نیتروژن ۰/۳۶ درصد، پتاسیم ۱۳۲ میلی گرم در کیلوگرم و فسفر ۱۳/۲ میلی گرم در کیلوگرم بود. میزان بارش و حجم آب آبیاری در دو سال زراعی در شکل ۱ آمده است. رقم مورد مطالعه رقم نصرت (کارون در کویر) بود که رقمی شش ردیفه، آبی با تیپ رشد بینابین، نیمه زودرس، ارتفاع استاندارد (میانگین ۱۰۵ سانتی متر) و کیفیت خوب (میانگین پروتئین ۱۲ درصد) و نیمه متحمل به شوری به حساب می آید.

تیمارها شامل دو فاکتور آبیاری با آب مطلوب با هدایت الکتریکی حدود ۲ دسی زیمنس بر مترمربع (غیر شور) و آبیاری با آب شور با هدایت الکتریکی حدود ۱۲ دسی زیمنس بر مترمربع (شور) در کرت های اصلی و فاکتور مرحله و غلظت کاربرد سالیسیلیک اسید در ۱۱ سطح شامل بدون محلول پاشی و محلول پاشی در سه مرحله پنجه زنی، ساقه روی و ظهور سنبله با غلظت های ۰/۳۵ (TSE0.35)، ۰/۷۰ (TSE0.70)، ۱/۰۵ (TSE1.05) و ۱/۴۰ (TSE1.40) و ۱/۷۵ (TSE1.75) میلی مولار و محلول پاشی در دو مرحله ساقه روی و ظهور سنبله با غلظت های ۰/۳۵ (SE0.35)، ۰/۷۰ (SE0.70)، ۱/۰۵ (SE1.05)، ۱/۴۰ (SE1.40) و ۱/۷۵ (SE1.75) میلی مولار در کرت های فرعی بود.

پس از شخم زمین با گاو آهن برگردان دار، دو بار دیسک عمود برهم و تسطیح، کرت هایی با طول و عرض ۳ × ۴ متر تهیه گردید. بذرها ی یکنواخت گیاه جو در ردیف هایی به طول ۴ متر و با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی متر کاشته شد تا تراکم ۳۵۰ بذر در مترمربع حاصل شود. بر اساس نتایج آزمون خاک، میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در دو مرحله پیش از کاشت و ابتدای ساقه روی از منبع اوره و ۶۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل پیش از



شکل ۱. میزان بارش سالیانه (نقاط) و حجم آب آبیاری (ستون) در دو سال زراعی در منطقه مورد مطالعه

همبسته بود (جدول ۴).

از بین اجزای عملکرد دانه طول سنبله و تعداد دانه در سنبله به‌طور معنی‌داری در اثر تنش شوری کاهش یافت. تنش شوری می‌تواند از راه افزایش سرعت نمو و در نتیجه کوتاه کردن دوره نمو موجب کاهش طول سنبله گردد (۶ و ۷). همچنین کاهش فتوسنتز و در نتیجه تولید و انتقال کمتر مواد پرورده برای رشد می‌تواند از سایر دلایل کاهش طول سنبله و تعداد دانه در سنبله باشد. کاهش طول سنبله در اثر تنش می‌تواند موجب کاهش تعداد دانه در هر سنبله و کاهش عملکرد دانه گردد (۱۸)، همان‌طور که در این پژوهش، بوته‌های رشد کرده در شرایط تنش، هم دارای سنبله کوتاه‌تر و هم تعداد دانه کمتر در سنبله بودند که در نهایت منجر به کاهش عملکرد گردد. این موضوع در همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در سنبله با عملکرد دانه در شرایط شور که در این پژوهش به‌دست آمد نیز منعکس شده است. برخی پژوهشگران باور دارند که بین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه همیشه رابطه ناهمسازی (آنتاگونیستی) برقرار نبوده و از این‌رو به‌نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل محدود کننده عملکرد دانه، تعداد دانه به‌ویژه در شرایط شور باشد (۶).

از میان اجزای عملکرد تنها تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید قرار گرفت. تعداد دانه در سنبله

تحت تأثیر معنی‌دار تنش شوری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار طول سنبله گردید، به‌طوری‌که بوته‌های رشد یافته تحت شرایط غیر شور به‌طور میانگین ۱۰/۷ درصد طول سنبله بیشتری نسبت به شرایط شور داشتند (جدول ۲). در مورد تعداد دانه در سنبله نیز، تأثیر تنش شوری در سطح احتمال یک درصد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). شوری با کاهش قابل توجه تعداد دانه در سنبله بوته‌های جو (۵۲/۱ در برابر ۳۷/۴ عدد) همراه بود که این کاهش به‌طور میانگین برای همه تیمارهای سالیسیلیک اسید به ۳۹/۱ درصد رسید (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در سنبله از بوته‌های جو تیمار شده SE0.35 به‌دست آمد که به‌میزان ۱۹/۶ درصد تعداد دانه بیشتری نسبت به بوته‌های شاهد داشت (جدول ۳). تعداد دانه در سنبله در شرایط شور با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری (+۰/۳۹۸) داشت (جدول ۴). با این وجود؛ وزن هزار دانه تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارها قرار نگرفت (جدول ۱). وزن هزار دانه در شرایط غیر شور (۴۷/۵ گرم) و شور (۴۶/۹ گرم) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. همچنین در بین تیمارهای کاربرد سالیسیلیک اسید وزن هزار دامنه‌ای بین ۴۳/۴ تا ۵۰/۰ گرم داشت. وزن هزار دانه در شرایط شور با عملکرد دانه به‌طور مثبت و معنی‌داری (+۰/۵۴۹)

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثرات شوری و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد جو

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
غلظت پتاسیم	غلظت سدیم	غلظت سولفوریک	عملکرد دانه	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله		
۰/۲۲۸ ^{NS}	۰/۰۲۹ ^{NS}	۱۰۵۱۳۸/۵۳ ^{NS}	۵۷۰۶۸/۶۷ [*]	۱۶/۵۵۷ ^{NS}	۱/۵۶۳ ^{NS}	۰/۰۰۷ ^{NS}	سال (Y)	
۰/۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۳۲ ^{NS}	۳۳۳۵۹۹/۹۷ ^{**}	۵۹۵۳۱/۳۶ ^{**}	۲/۶۱۳ ^{NS}	۱۲/۶۰۷ ^{NS}	۰/۴۴۰ ^{NS}	بلوک (R)	
۰/۰۰۲۱	۰/۸۵۶	۶۲۷۴۰/۰۸	۱۷۶۶۸/۶۵	۱۷/۲۱۱	۴۶/۶۱۱	۰/۹۴۹	R (Y)	
۱/۹۸۸ ^{**}	۶/۴۹۹ ^{**}	۱۵۳۶۳۰۷۶/۱۸ ^{**}	۳۲۲۹۶۹۱/۳۳ ^{**}	۱۳/۰۲۸ ^{NS}	۷۰۶۵/۸۵۱ ^{**}	۱۴/۸۶۷ ^{**}	تنش شوری (Str)	
۰/۰۹۵ ^{NS}	۰/۰۷۱ ^{NS}	۵۲۸۶/۵۳ ^{NS}	۴۳۵/۰۶ ^{NS}	۱۷/۱۸۶ ^{NS}	۰/۰۸۷ ^{NS}	۰/۰۸۳ ^{NS}	Str × Y	
۰/۰۰۰۳	۰/۴۸۹	۵۰۳۲۸/۹۵	۴۵۳۹/۴۹	۵۴/۸۵۵	۹/۴۱۰	۰/۱۷۴	خطای کرت اصلی	
۰/۱۳۰ ^{NS}	۰/۹۷۷ [*]	۳۶۴۵۸۵/۸۵ [*]	۵۶۴۷۴/۹۶ ^{**}	۵۴/۱۱۸ ^{NS}	۱۶۸/۲۰۴ [*]	۰/۴۹۸ ^{NS}	سالیسیلیک اسید (SA)	
۰/۱۸۳ ^{NS}	۰/۶۷۵ ^{NS}	۳۸۱۸۵۴/۶۱ ^{**}	۸۵۸۷/۵۴ ^{**}	۴۷/۰۵۹ ^{NS}	۲۹/۸۱۴ ^{NS}	۰/۶۵۱ ^{NS}	Str × SA	
۰/۰۸۸ ^{NS}	۰/۲۶۱ ^{NS}	۲۵۲۵۲/۶۱ ^{NS}	۲۵۰/۰۳ ^{NS}	۱۶/۷۰۲ ^{NS}	۳۴/۲۴۴ ^{NS}	۰/۲۳۸ ^{NS}	Y × SA	
۰/۰۹۲ ^{NS}	۰/۱۵۱ ^{NS}	۳۱۶۶۱/۷۱ ^{NS}	۲۵۰۷/۰۹ ^{NS}	۱۸/۸۵۶ ^{NS}	۲۶/۰۴۲ ^{NS}	۰/۴۵۱ ^{NS}	Y × Str × SA	
۰/۰۰۸۶	۰/۲۰۳	۶۱۶۹۸/۶۴	۸۳۵/۳۷	۲۷/۸۴۶	۳۸/۴۵۸	۰/۴۳۸	خطا	
۲۲/۲۵۶	۱۱/۲۴۶	۲۸/۶۵	۲۸/۹۰	۱۱/۱۸۱	۱۳/۸۶۱	۹/۹۹۳	ضریب تغییرات (%)	

NS: غیر معنی دار؛ * و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۲. تأثیر آبیاری با آب شور بر عملکرد، اجزای عملکرد و تجمع یون‌های سدیم و پتاسیم در جو (میانگین دو سال)

شوری (dS m ⁻¹)	طول سنبله (cm)	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g m ⁻²)	عملکرد بیولوژیک (g m ⁻²)	غلظت سدیم (%)	غلظت پتاسیم (%)
۲	۶/۹۶ ^a	۵۲/۰۴ ^a	۴۷/۵ ^a	۵۲۷/۰۴ ^a	۱۲۱۵/۲۷ ^a	۱/۵۸ ^b	۱/۶۵ ^a
۱۲	۶/۲۸ ^b	۳۷/۴۱ ^b	۴۶/۸۸ ^a	۲۰۲/۸۴ ^b	۵۳۲/۰۶ ^b	۲/۱۱ ^a	۱/۱۱ ^b

میانگین‌های با حروف یکسان براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

سالیسیلیک اسید واکنش‌های متفاوتی مشاهده شد. نتایج تجزیه برآورد ضرایب همبستگی (جدول ۴) حاکی از وجود همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک در هر دو شرایط غیرشور (+۰/۹۲۷) و شور (+۰/۸۸۱) بود.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر معنی‌دار تنش شوری کاهش یافت. شوری با اثرات متفاوتی که به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر متابولیسم دارد، سبب کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (۶ و ۷). شوری از چهار طریق عمده موجب کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می‌گردد (۲، ۸ و ۱۰). این چهار مورد عبارتند از: منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی محیط اطراف ریشه نسبت به سلول‌های ریشه گیاه که ناشی از تجمع مقادیر بالای نمک در محلول خاک است. اثرات سمی مستقیم یون‌هایی مانند سدیم، کلر و بر روی غشاءهای سلولی و اندامک‌ها و همچنین سیستم‌های آنزیمی گیاه؛ (ج) اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی ضروری از قبیل کلسیم و پتاسیم در حضور یون سدیم فراوان؛ و در نهایت (د) از دست رفتن ساختمان خاک و عدم انسجام بین ذرات خاک در اثر سدیم زیاد.

در شرایط غیر شور، بیشترین عملکرد دانه از تیمارهای SE1.05 و SE0.70 به ترتیب برابر با ۵۷۸/۵ و ۵۶۸/۲ گرم در مترمربع به دست آمد. در شرایط شور نیز SE0.70 با عملکردی برابر با ۲۲۴/۴ گرم در مترمربع بیشترین عملکرد دانه را داشت (شکل ۲). از سوی دیگر، کمترین عملکرد دانه در شرایط غیر شور در تیمارهای شاهد (۴۹۶/۱ گرم در مترمربع) و محلول‌پاشی TSE1.75 (۴۹۹/۵ گرم در مترمربع) و در شرایط شور در تیمارهای شاهد (۱۸۹/۲ گرم در مترمربع)، SE1.75

بوته‌های جو در همه زمان‌ها و غلظت‌های کاربرد سالیسیلیک اسید بیشتر از شاهد بود. پاکار و همکاران (۱۷) گزارش کردند که تعداد دانه بوته‌های جو 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. امین و همکاران (۱) نیز افزایش نسبت تسهیم مواد پرورده به سنبله‌های گندم را به دنبال کاربرد سالیسیلیک اسید نشان دادند؛ که در نتیجه آن تعداد دانه‌های تشکیل یافته بیشتر گردید.

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر تنش شوری، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج تجزیه واریانس هم‌چنین نشان داد که عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر معنی‌دار تنش شوری در سطح احتمال یک درصد، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد و برهمکنش آنها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۱).

به‌طورکلی تنش شوری موجب کاهش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بوته‌های جو شد (جدول ۲). این کاهش برای عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌طور میانگین به ترتیب برابر با ۶۱/۵ و ۵۶/۲ درصد بود (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین برهمکنش‌ها؛ کاهش معنی‌دار عملکرد دانه (شکل ۲) و عملکرد بیولوژیک (شکل ۳) در اثر تنش شوری در همه تیمارهای شاهد و سالیسیلیک اسید به ثبت رسید؛ ولی با این وجود در بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی

جدول ۳. تأثیر غلظت و زمان محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد، اجزای عملکرد و تجمع یونهای سدیم و پتاسیم در جو (میانگین دو سال)

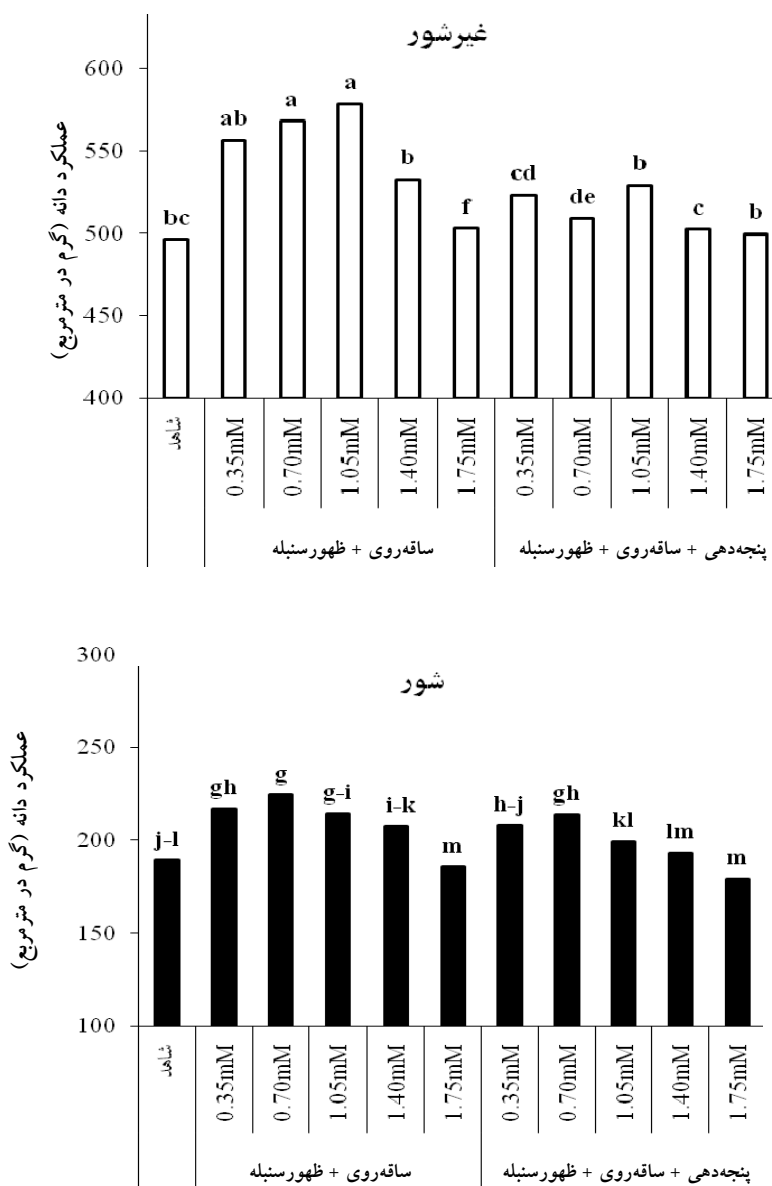
غلظت پتاسیم (%)	غلظت سدیم (%)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در سنبله	طول سنبله (cm)	غلظت (mM)	مرحله کاربرد
۱/۳۷ ^a	۲/۱۴ ^a	۴۳/۳۵ ^a	۳۹/۹۸ ^c	۶/۲۰ ^a		شاهد
۱/۲۸ ^a	۲/۰۱ ^b	۴۶/۸۹ ^a	۴۷/۲۵ ^a	۶/۸۲ ^a	۰/۳۵	
۲/۰۶ ^a	۱/۸۱ ^d	۵۰/۰۲ ^a	۴۴/۲۲ ^{ab}	۶/۶۹ ^a	۰/۸۰	
۱/۳۶ ^a	۲/۱۰ ^a	۴۹/۶۰ ^a	۴۷/۸۲ ^{a-c}	۶/۸۳ ^a	۱/۰۵	پنجه زنی، ساقه روی و ظهور سنبله
۱/۴۱ ^a	۱/۷۴ ^c	۴۷/۳۵ ^a	۴۵/۳۳ ^{a-c}	۶/۸۸ ^a	۱/۴۰	
۱/۲۱ ^a	۱/۶۰ ^c	۴۴/۳۷ ^a	۴۴/۱۱ ^a	۶/۸۲ ^a	۱/۷۵	
۱/۲۵ ^a	۱/۸۵ ^c	۴۸/۸۳ ^a	۴۵/۳۷ ^{a-c}	۶/۷۰ ^a	۰/۳۵	
۱/۲۸ ^a	۱/۶۹ ^{de}	۴۸/۱۲ ^a	۴۴/۳۷ ^{ab}	۶/۵۷ ^a	۰/۸۰	ساقه روی و ظهور سنبله
۱/۲۵ ^a	۱/۸۸ ^c	۴۸/۴۸ ^a	۴۳/۷۲ ^a	۶/۴۴ ^a	۱/۰۵	
۱/۱۸ ^a	۱/۴۹ ^f	۴۶/۵۴ ^a	۴۷/۸۳ ^{a-c}	۶/۹۰ ^a	۱/۴۰	
۱/۴۶ ^a	۲/۰۸ ^{ab}	۴۵/۵۴ ^a	۴۲/۱۲ ^{bc}	۶/۳۸ ^a	۱/۷۵	

میانگین های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی دار ندارند.

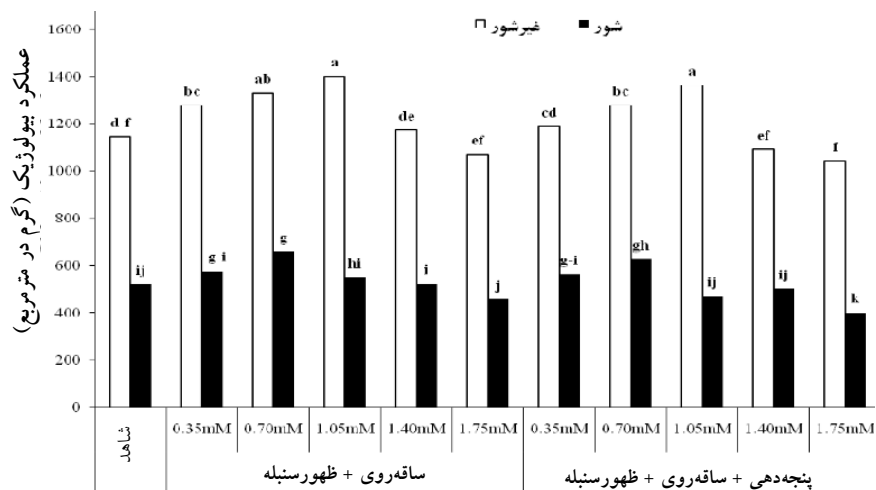
جدول ۴. ضرایب همبستگی عملکرد دانه با صفات اندازه‌گیری شده در دو شرایط شور و غیر شور

طول سنبله	تعداد دانه	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	غلظت سدیم	غلظت پتاسیم
۰/۲۲۸ ^{ns}	۰/۱۹۷ ^{ns}	-۰/۲۳۱ ^{ns}	۰/۹۲۷ ^{**}	۰/۱۷۰ ^{ns}	-۰/۰۸۱ ^{ns}
۰/۱۲۰ ^{ns}	۰/۳۹۸ [*]	۰/۵۴۹ ^{**}	۰/۸۸۱ ^{**}	-۰/۴۴۸ [*]	-۰/۰۷۹ ^{ns}

ns غیر معنی دار؛ * و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۲. عملکرد دانه جو تحت تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت‌ها و زمان‌های مختلف در شرایط غیر شور و شور (میانگین دو سال). میانگین‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی دار ندارند.



شکل ۳. عملکرد بیولوژیک جو تحت تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت‌ها و زمان‌های مختلف در شرایط غیر شور و شور. میانگین‌های با حروف یکسان براساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

حتی از درصد کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون کاربرد سالیسیلیک اسید نیز بیشتر بود. در شرایط شاهد، شوری با کاهش ۵۴/۵ درصدی عملکرد بیولوژیک همراه بود. بهترین تحمل تنش شوری در بوته‌های جو در تیمار SE0.70 با ۵۰/۳ درصد و بعد از آن در تیمار TSE0.70 با ۵۱/۰ درصد کاهش در عملکرد بیولوژیک مشاهده شد.

اگرچه به‌طور کلی سالیسیلیک اسید موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گردید، ولی این اثر مثبت به شدت با غلظت آن همبستگی داشت. الطیب (۵)، متوالی و همکاران (۱۳)، پاکار و همکاران (۱۷) و پیرسته‌انوشه و همکاران (۲۱) در جو، پیرسته‌انوشه و امام (۱۸) و سینگ و یوشا (۲۳) در گندم و تونا و همکاران (۲۵) در ذرت مشاهده کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گردید و نیز در پژوهشی نشان داد که سالیسیلیک اسید موجب بهبود وزن خشک بوته‌های جو در شرایط تنش شوری می‌شود.

در این پژوهش می‌توان تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید را به افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت داد، این استدلال به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار این جزء با عملکرد دانه و همچنین

(۱۸۵/۵ گرم در مترمربع) و TSE1.75 (۱۷۹/۰ گرم در مترمربع) مشاهده شد (شکل ۲). بیشترین کاهش عملکرد در اثر تنش شوری در تیمارهای محلول پاشی SE1.75 (۶۳/۱ درصد) و TSE1.75 (۶۴/۱ درصد) بود. تیمارهای SE0.70 و TSE0.70 به ترتیب با ۶۰/۵ و ۵۸/۰ درصد کاهش، کمترین میزان کاهش عملکرد در اثر تنش شوری را داشتند (شکل ۲).

بیشترین عملکرد بیولوژیک در بوته‌های تحت تیمار غیر شور، از تیمارهای SE1.05، TSE1.05 و SE0.70 به ترتیب با عملکرد ۱۴۱۱/۳، ۱۳۶۳/۸ و ۱۳۳۰/۷ گرم در مترمربع عملکرد مشاهده شد (شکل ۳). در شرایط شور نیز، تیمارهای SE70 (۶۶۰/۸ گرم در مترمربع) و TSE0.70 (۶۲۶/۳ گرم در مترمربع) دارای بیشینه عملکرد بیولوژیک بودند (شکل ۳). از سوی دیگر، تیمار TSE1.75 در هر دو شرایط غیر شور (۱۰۴۳/۴ گرم در مترمربع) و شور (۴۰۲/۱ گرم در مترمربع) دارای عملکرد بیولوژیک بسیار پایینی بود که در شرایط غیر شور با عملکرد بیولوژیک تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت.

تنش شوری در همه تیمارهای سالیسیلیک اسید تأثیر کاهنده معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشت که در تیمار TSE1.75 (۶۱/۵ درصد کاهش) بیشتر از سایر تیمارها بود، به‌طوری‌که

کمتری مورد استفاده قرار داد (۹، ۱۱ و ۲۱). حیات و همکاران (۹) یافتند که رشد و تولید بوته‌های گندم وقتی با غلظت‌های پایین سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند بهتر شد ولی غلظت‌های بالا تأثیر منفی داشت.

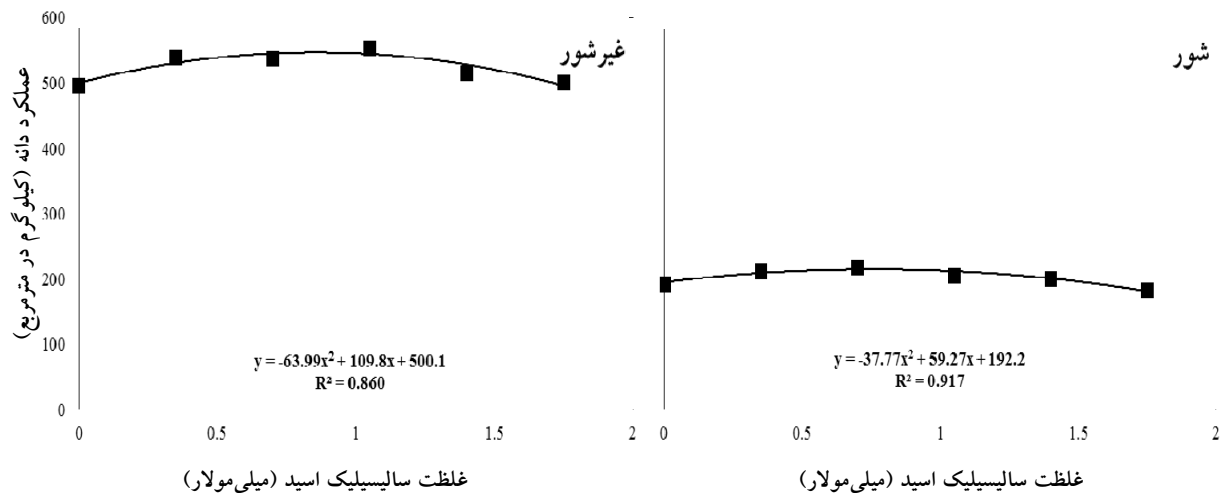
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها اثرات اصلی تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر غلظت سدیم شاخساره به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). غلظت پتاسیم نیز تنها تحت تأثیر معنی‌دار شوری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۱). تنش شوری موجب افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم شد (جدول ۲)؛ به طوری که بوته‌های رشد یافته در شرایط شور به میزان ۳۳/۷ درصد سدیم بیشتری در شاخساره خود بودند. همچنین غلظت پتاسیم در شاخساره بوته‌های تحت شرایط غیر شور به میزان ۴۹/۰ درصد بیشتر از بوته‌های تحت شرایط شور بود. تنش شوری موجب افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم در بوته‌های جو گردید. 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 به وجود بیاورد. در غلظت بالای نمک، غلظت یون سدیم افزایش و غلظت یون پتاسیم در گیاه کاهش می‌یابد و باعث کمبود پتاسیم می‌گردد (۱۶). نسبت سدیم به پتاسیم می‌تواند به عنوان شاخصی مناسب در مورد اثرات متضاد سدیم و پتاسیم در گیاه مطرح باشد. این نسبت در بافت گیاه به عنوان شاخص سمیت سدیم به کار برده می‌شود. پایین بودن نسبت سدیم به پتاسیم به معنی کم بودن سمیت سدیم یا تحمل بالای گونه گیاهی مورد نظر می‌باشد (۲۲).

بیشترین غلظت سدیم در تیمار بدون کاربرد سالیسیلیک اسید بود و همه تیمارهای محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید دارای غلظت سدیم کمتری بودند (جدول ۳). غلظت سدیم شاخساره در تیمارهای TSE140، TSE105، TSE070، TSE035 و TSE175 به ترتیب معادل ۶/۱، ۲۰/۱، ۱۸/۷، ۱۸/۶ و ۲۵/۲ درصد کمتر از تیمار شاهد بود. این مقادیر برای تیمارهای

تعداد دانه در سنبله بیشتر در بوته‌های تیمار شده با سالیسیلیک اسید بود. پاکار و همکاران (۱۷) گزارش کردند که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با وزن خشک و پس از آن با تعداد دانه در سنبله به دست آمد. امام و نیک‌نژاد (۶) بیان داشتند که کاهش عملکرد دانه در اثر تنش شوری به طور کلی با اجزای عملکرد و به طور ویژه با تعداد دانه در سنبله در ارتباط است. با این وجود برخی پژوهش‌ها (۷ و ۲۱) صفات دیگری مانند تعداد پنجه بارور معادل تعداد سنبله در واحد سطح را به عنوان مهم‌ترین صفت گزارش کرده‌اند.

به طور کلی در شرایط شور غلظت‌های پایین‌تر تأثیر بهتری را از خود نشان دادند و منحنی پاسخ عملکرد به غلظت سالیسیلیک اسید در شرایط شور زودتر رو به کاهش نهاد (شکل ۴). این بدین معنی است که در شرایط غیر شور غلظت‌های بالاتر و در شرایط شور غلظت‌های پایین‌تر تأثیر بهتری دارند. در هر دو شرایط با افزایش غلظت به ۱/۷۵ میلی‌مولار تأثیر مثبت آن به طور قابل توجهی کاهش یافت. در پژوهشی (۱۷) بیشترین تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید در تعدیل اثرات منفی تنش شوری هم بر عملکرد دانه و هم بر عملکرد بیولوژیک بوته‌های جو در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار گزارش شد. در مطالعه دیگری (۲۱) نیز بیان شد که در دو سال آزمایش غلظت‌های ۱/۰ تا ۱/۵ میلی‌مولار بیشترین اثرات تعدیل‌کنندگی را داشتند غلظت ۲ میلی‌مولار در شرایط شور تأثیر منفی بر رشد و عملکرد جو داشت.

اشرف و همکاران (۳) بیان داشتند که سالیسیلیک اسید در غلظت‌های پایین به دلیل افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدان نقش تعدیل‌کنندگی برای اثرات تنش شوری دارد؛ لیکن در غلظت‌های بالا احتمالاً خود به عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی عمل کرده و با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تداخل ایجاد می‌کند. در راستای همین موضوع در برخی پژوهش‌ها گزارش شد که در شرایط شور که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش می‌یابد، غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید تداخل بیشتری ایجاد می‌کند، بنابراین در شرایط شور باید غلظت‌های



شکل ۴. رابطه بین غلظت محلول پاشی سالیسیلیک اسید با عملکرد دانه در شرایط غیر شور و شور

گندم (۱، ۱۱ و ۱۸) و ذرت (۴ و ۱۲) نیز گزارش شده است.

نتیجه گیری

به طور کلی محلول پاشی سالیسیلیک اسید بسته به زمان و غلظت های متفاوت توانست تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه جو را افزایش دهد. بهترین تیمار را می توان تیمار محلول پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۱/۰۵ میلی مولار برای شرایط غیر شور و با غلظت ۰/۷۰ میلی مولار برای شرایط شور در دو مرحله ساقه روی + ظهور سنبله دانست. تأثیر مثبت محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه به تعداد دانه در سنبله نسبت داده می شود. همچنین تحمل بیشتر تنش شوری در بوته های جو تیمار شده با سالیسیلیک اسید می تواند با کاهش غلظت سدیم در این تیمارها مرتبط باشد.

SE035، SE070، SE105، SE140 و SE175 به ترتیب برابر با ۱۳/۵، ۲۱/۰، ۱۲/۱، ۳۰/۴ و ۲/۹ درصد بود. غلظت سدیم در شرایط شور به طور معنی دار با عملکرد دانه همبستگی منفی (۴۳۸-) داشت (جدول ۴). نتایج نشان داد که محلول پاشی سالیسیلیک اسید تنها توانست غلظت سدیم را تحت تأثیر قرار دهد ولی تأثیر بر غلظت پتاسیم نداشت. بیشترین غلظت سدیم شاخساره در تیمار شاهد به دست آمد؛ به طوری که غلظت سدیم در همه تیمارهای زمان و مرحله سالیسیلیک اسید کمتر از شاهد بود. پژوهشگران بر این باورند که سالیسیلیک اسید هم «جذب سدیم از محلول خاک توسط ریشه» و هم «انتقال سدیم از ریشه به اندام های هوایی» را در شرایط شور کاهش می دهد (۳ و ۹). مطالعات پیشین نیز نشان دادند که کاربرد سالیسیلیک اسید می تواند بخشی از اثرات تنش شوری که موجب افزایش سدیم بوته های جو گردید، را جبران کند (۵، ۱۴، ۱۷ و ۲۰). این اثر، که منجر به تحمل بیشتر شوری می گردد، در سایر گیاهان مانند

منابع مورد استفاده

1. 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* 2: 252-261.
2. Ashraf, M. and A. Khanum. 1997. Relationship between ion accumulation and growth in two spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth stage. *Journal of Agronomy and Crop Science* 179: 39-51.

3. Ashraf, M., N. A. Akram, R. N. Arteca and M. R. Foolad. 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Science* 29: 162-190.
4. El-Khallal, S. M., T. A. Hathout, A. El-Raheim, A. Ashour and A. A. A. Kerrit. 2009. Brassinolide and salicylic acid induced growth, biochemical activities and productivity of maize plants growth under salt stress. *Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5: 380 – 390.
5. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215–224.
6. Emam, Y. and M. Niknejad. 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. (4th Ed). Shiraz University Press. Shiraz. (In Farsi).
7. Emam, Y., E. Hosseini, N. Rafiei H. Pirasteh-Anosheh. 2013. Response of early growth and sodium and potassium concentration in ten barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under salt stress conditions. *Crop Physiology Journal* 19: 5-15. (In Farsi).
8. Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Reviews in Plant Physiology* 31: 149-190.
9. Hayat, S., Q. Fariduddin, B. Ali and A. Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica* 53: 433-437.
10. Hopkines, W. J. 1995. Introduction to Plant Physiology. John Wiley and Sons. Inc. U.S.A.
11. 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.
12. 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.
13. Metwally, A., A. Finkmeier, M. George and K. Dietz. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedling. *Plant Physiology* 1321: 272-281.
14. Mutlu, S., Karadagoglu, O., Atici, O., Tasgin, E. and Nalbantoglu, B. 2013. Time-dependent effect of salicylic acid on alleviating cold damage in two barley cultivars differing in cold tolerance. *Turkish Journal of Botany* 37: 343-349.
15. Nemoto, Y. and T. Sasakuma. 2002. Differential stress responses of early salt stress responding genes in common wheat. *Phytochemistry* 61: 129-133.
16. Noble, C. L. and M. E. Rogers. 1992. Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. *Plant Physiology* 146: 99-107.
17. Pakar, N., H. Pirasteh-Anosheh and Y. Emam. 2014. The effect of different concentrations of salicylic acid on barley qualitative and quantitative characteristics under salt stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing* 14: 191-201. (In Farsi).
18. Pirasteh-Anosheh, H. and Y. Emam. 2012. Manipulation of morpho-physiological traits in bread and durum wheat by using PGRs at different water regimes. *Journal of Crop Production and Processing* 5: 29-45. (In Farsi).
19. Pirasteh-Anosheh, H., Y. Emam and M. J. Roustaa. 2014. Different Method of Crops Treatment with Salicylic Acid in Salinity Researches. Press of National Salinity Research Center. Iran. (In Farsi).
20. Pirasteh-Anosheh, H., G. Ranjbar, Y. Emam and M. Ashraf. 2014b. Salicylic acid-induced recovery ability in salt-stressed *Hordeum vulgare* plants. *Turkish Journal of Botany* 37: 112-121.
21. Pirasteh-Anosheh, H., Y. Emam and A. R. Sepaskhah. 2015. Improving barley performance by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. *International Journal of Plant Production* 9 (3): 467-486.
22. Schatchman, D. P., R. Munns and M. I. Whitecross. 1991. Variation in sodium exclusion and salt tolerance in *Triticum tauschii*. *Crop Science* 31: 992-997.
23. 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.
24. Subbarao, G. V. and C. Johansen. 2001. Strategies and scope for improving salinity tolerance in crop plants. pp. 1069 - 1087 In: M. Pessaraki (Ed.), Hand Book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc. New York. USA.
25. 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.