

تأثیر گلايسين بتائين بر افزايش تحمل به شوری گیاه ساليکورنيا (*Salicornia persica*)

محسن آب شناس، محمدعلی اسماعیلی و ایوب حیدرزاده*

گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲)

چکیده

افزایش روز افزون جمعیت جهان و نیاز بیشتر به تأمین خوراک برای انسان و دام، استفاده از خاک‌های شور در زراعت را به امری بدیهی تبدیل می‌کند. گیاه سالیکورنیا با نام علمی *Salicornia persica* از خانواده اسفناجیان (Chenopodiaceae) گزینه مناسبی جهت معرفی به منظور زراعت در خاک‌های شور و نیمه شور است. با هدف بررسی واکنش گیاه سالیکورنیا به تنش شوری و گلايسين بتائين دو آزمایش طراحی شد. محلول پاشی گلايسين بتائين در کشت گلخانه‌ای و پیش تیمار این ماده در مرحله جوانه زنی تحت غلظت‌های مختلف شوری در دو آزمایش به اجرا درآمد. در آزمایش اول تیمارهای شوری در پنج سطح (صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار) به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. آزمایش دوم شامل تیمار شوری با سدیم کلرید در سه سطح (۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی مولار) به عنوان فاکتور اول و گلايسين بتائين در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی مولار) به عنوان فاکتور دوم بود. سطوح بالاتر از ۳۰۰ میلی مولار شوری در هر دو آزمایش باعث کندی و توقف صفات مرتبط با جوانه زنی و رشدی گیاه سالیکورنیا و افزایش فعالیت آنزیمی شد؛ از طرفی پیش تیمار بذر و محلول پاشی با گلايسين بتائين با غلظت‌های ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار را به دلیل تأثیر بهتر بر مجموع صفات مورد بررسی می‌توان به عنوان مناسب ترین سطوح پیش تیمار معرفی نمود و در آزمایش گلدانی محلول پاشی با غلظت ۱۲۰ میلی مولار این ترکیب نیز بیشترین اثربخشی را از خود نشان داده است. نتایج نشان داد مناسب ترین سطح شوری برای رشد و نمو سالیکورنیا در آزمایش دوم، شوری ۳۰۰ میلی مولار NaCl بوده است.

کلمات کلیدی: تنش شوری، جوانه زنی، آنزیم آنتی اکسیدان، سالیکورنیا، گلايسين بتائين

مقدمه

محصولات کشاورزی اعم از غذا، علوفه، ایجاد پوشش سبز با هدف ایجاد فضای سبز راهکاری مناسب برای حل بحران پیش رو است. علاوه بر این افزایش روز افزون جمعیت جهان و نیاز بیشتر به تأمین خوراک برای انسان و دام و همین طور حفظ محیط زیست، استفاده از منابع عظیم آب شور در مناطق خشک و نیمه خشک را به امری منطقی بدل می‌کند (Ventura et al., 2011). در این میان گیاه سالیکورنیا با نام علمی *Salicornia persica* از خانواده اسفناجیان (Chenopodiaceae) با

شوری یکی از قدیمی ترین و جدی ترین مشکلات زیست محیطی جهان است که سبب کاهش تولیدات کشاورزی در نواحی وسیعی از سطح زمین می‌شود و موجب بروز خسارت‌های جبران ناپذیری به محصولات کشاورزی در طول صدها سال گذشته شده است (Rajpar et al., 2006). با توجه به اینکه ایران کشوری نیمه بیابانی با خاک‌های شور است، بهره‌گیری از آب و خاک شور و نیمه شور به جهت تولید

* نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: a.heidarzade@gmail.com

کاربردهای چندگانه خود از جمله تولید روغن، علوفه، سبزی، سوخت زیستی، پاکسازی مناطق نفتی و حذف فلزات سنگین از خاک گزینه مناسبی جهت معرفی به منظور زراعت با آب‌های شور و نیمه‌شور است. ارتفاع این گیاه معمولاً حدود ۳۰ سانتی‌متر است. دارای ساقه بندبند و آبدار است و برگ‌ها کوچک و فلس مانند است تا جایی که گاهی بی‌برگ تلقی می‌شود. این گیاه یکساله می‌تواند در آب‌های شور غوطه‌ور باشد. محدوده تحمل به شوری در محدوده ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌مولار بیان شده است (خوش خلق سیما، ۱۳۸۷ و محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین صالحی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در مطالعات خود محدوده تحمل به شوری در آزمایش جوانه‌زنی این گیاه را ۵۰۰ میلی‌مولار بیان نموده و افزودند که بعد از شوری ۱۰ dS/m، جوانه‌زنی به‌ازای افزایش هر ۱۰۰ میلی‌مولار شوری در گونه پرسیکا و بیگلوی به ترتیب ۲ و ۱۳ درصد کاهش می‌یابد.

فرآیند تحمل به تنش‌های غیرزنده در گیاهان و در سطوح سلولی بسیار پیچیده است. گیاه سالیکورنیا با ذخیره‌سازی نمک در واکوئل‌ها یا همان پدیده جداسازی واکوئلی (vacular compartmentation) نمک را از محیط داخل سلول دور نگه می‌دارد. انتقال نمک به واکوئل‌های سلول برگ از ویژگی‌های گیاهان شورپسند دولپه‌ای است که با دیگر مکانیسم‌های سازگاری مانند تنظیم تعرق همبستگی دارد (Flower and dalmond, 1992) بنابراین جداسازی واکوئلی، محیط سیتوسول را عاری از یون‌های سمی نگه می‌دارد. از طرفی برای حفظ نمک در واکوئل باید یون پتاسیم و اسمولیت‌های آلی در سیتوپلاسم تجمع یابند تا تعادل اسمزی و یونی بین سیتوپلاسم و فضای درون واکوئل برقرار گردد (Flower et al., 1999). همچنین یکی از معمول‌ترین پاسخ‌ها به تنش در گیاهان تولید انواع مختلف محلول‌های آلی یا اسمولیت‌های سازگار است (Serraj and Sinclair, 2002). که این در مورد گیاه سالیکورنیا نیز صدق می‌کند به‌گونه‌ای که این گیاه پرولین و گلیسین بتائین را به میزان کمی در خود تولید می‌کند. این گیاه با فعال کردن ژن‌های خود در شرایط شور برای سنتز برخی متابولیت‌ها

و آنزیم‌های محافظت‌کننده و با ذخیره‌سازی قندهای محلول در سلول‌ها، در مقابل تنش شوری مقاومت نشان می‌دهد (Mishra and Tanna, 2017) از طرفی محلول‌های سازگار ترکیباتی با انحلال‌پذیری بالا و وزن مولکولی پایین هستند که معمولاً در غلظت‌های سلولی بالا غیرسمی می‌باشند (Iqbal et al., 2008). گلیسین بتائین از مهم‌ترین اسمولیت‌های آلی است که در بافت‌های مختلف گونه‌های گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی همچون خشکی، شوری، اشعه فرابنفش و غیره تجمع می‌یابد. به نظر می‌رسد، این ترکیب دارای اثرات مثبتی بر فرآیند سنتز آنزیم‌ها، استحکام غشای پلاسمایی و تنظیم اسمزی گیاهان در شرایط تنش محیطی که در نهایت منجر به افزایش سازگاری آنها به شرایط تنش‌زا می‌شود را دارد (yang et al., 2003). مطالعات مختلف رابطه مثبتی بین تجمع گلیسین بتائین و تحمل به تنش در گیاه را نشان می‌دهند (Katschnig et al., 2012) این ماده در سلول فشار تورژسانس سلولی را حفظ می‌کند تا مانع ایجاد تنش اکسیداتیو شود (Jamil et al., 2005). به‌طور خاص بیشتر گیاهان شورزی زمانیکه در معرض تنش قرار می‌گیرند، گلیسین بتائین را به‌عنوان یک تعدیل‌کننده اسمزی در سلول‌های خود افزایش می‌دهند (Nawaz and Ashraf, 2010). با کاربرد خارجی، گلیسین بتائین سریعاً به داخل برگ‌های گیاهی نفوذ کرده و بلافاصله به ریشه‌ها، مریستم‌ها و برگ‌های توسعه‌یافته منتقل می‌شود و اندام‌های گیاهی در حال نمو و توسعه را از تنش حفظ می‌کند. علاوه بر این مشاهده شده است که گلیسین بتائین در بافت گیاهی برای چند هفته به حالت غیرمتابولیزه باقی می‌ماند و به محض وارد شدن تنش به اندام‌های گیاهی منتقل شده و به‌عنوان یک تعدیل‌کننده اسمزی در سلول‌ها فعالیت می‌کند (Smirnoff and Stewart, 2003). همه گونه‌های گیاهی قادر به تولید و تجمع این مواد نیستند، مطالعات نشان می‌دهد که سالیکورنیا قادر به تولید گلیسین بتائین به میزان بسیار کمی است (Katschnig et al., 2012). برای ایجاد اثرات ضدتنش این ماده در گیاهان، می‌توان از محلول‌پاشی آن بهره جست از این‌رو تحقیقات گسترده‌ای نیز در این زمینه انجام شده است. از جمله

می‌گیرد. توازن بین تولید گونه‌های اکسیژن فعال و حذف آنها تحت شرایط تنش به‌صورت نرمال از طریق سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی صورت می‌گیرد (Harinasut et al., 2003). سیستم‌های دفاعی گیاهان در برابر این گروه‌های فعال اکسیژن شامل آنزیم‌های است که قادر به جابجا کردن و یا خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و واسطه‌های دارای اکسیژن هستند. آنزیم‌هایی مثل پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز است که به‌صورت ایزوفرم‌های مختلف در یاخته‌ها ظاهر می‌شوند و ویژگی‌های متفاوت دارند و این گروه‌های فعال اکسیژن را از بین می‌برند (Mathe et al., 2010; Turrens et al., 1982). افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌علت دفاع گیاه در مقابل ROS و محصول اصلی آن یعنی H_2O_2 است. از این‌رو سیستم مهار H_2O_2 برای خروج سریع این ترکیب اکسیداتیو مورد نیاز است. در سلول‌های گیاهی تعدادی از آنزیم‌ها سطوح H_2O_2 دورن سلولی را تنظیم می‌کنند؛ اما کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز از جمله آنزیم‌های مهمی به‌شمار می‌روند که در حذف این ترکیب آنتی‌اکسیدانی نقش به‌سزایی دارند که در این آزمایش نیز به این آنزیم‌ها پرداخته شده است. تحقیقات نشان داده است آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بالا بردن تحمل در برابر تنش‌های محیطی شرکت دارند. افزایش این آنزیم‌ها تحت شرایط تنش در بسیاری از گونه‌ها گزارش شده است (Horvath et al., 2007; Eraslan et al., 2008; Xu et al., 2008). لذا با توجه به مطالب پیش‌گفت، این مطالعه با هدف بررسی واکنش گیاه سالیکورنیا به پیش تیمار بذر و محلول‌پاشی برگ‌ها با استفاده از گلاسیسین بتائین در شرایط تنش شوری و همچنین تعیین محدوده مناسب شوری برای رشد و جوانه‌زنی این گیاه و بررسی فعالیت آنزیمی در این گیاه به‌صورت آزمایشگاهی به‌اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش اول، بررسی پیش‌تیمار گلاسیسین بتائین بر شاخصه‌های جوانه‌زنی گیاه سالیکورنیا پرسیکا: به‌منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار گلاسیسین بر شاخص‌های مرتبط با

کدخدایی و همکاران (۱۳۹۳) طی مطالعه‌ای به‌بررسی اثر محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین بر رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کلزا تحت تنش خشکی در مزرعه پرداختند، نتایج حاصله نشان داد که کاربرد گلاسیسین بتائین به‌عنوان یک اسمولیت آلی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش قند و پرولین گیاه کلزا در مقایسه با تیمار شاهد شد. Murata و همکاران (۱۹۹۲) بیان نمودند که گلاسیسین بتائین با محافظت از فتوسیستم II و تولید ATP در شرایط تنش شوری از اثرات مخرب سدیم کلرید می‌کاهد. همچنین Raza و همکاران (۲۰۱۴) نیز در تحقیقی به تأثیر کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین و بهبود روابط آبی و عملکرد دانه گندم تحت شرایط خشکی پرداختند؛ آنها بیان نمودند که کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین برای گندم به‌طور قابل ملاحظه‌ای طول سنبله، تعداد دانه در هر سنبله و عملکرد دانه را بهبود می‌بخشد. مصرف خارجی گلاسیسین بتائین روی برنج با کاهش اثرات مخرب شوری بر سیستم‌های فتوسنتزی میزان فتوسنتز را بهبود بخشیده است (Harinasut et al., 1996). به‌طور کلی کاربرد این ماده در گونه‌های گیاهی منجر به افزایش قابل توجهی در رشد و عملکرد نهایی در شرایط تنش شده است (حسن زاده فرد و آروین، ۱۳۹۲). براساس یافته‌های توکلو (۱۳۸۸) محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین توانسته است سرعت رشد سویا را در شرایط تنش خشکی افزایش دهد. همچنین ریاحی و همکاران (۱۳۹۰) بیان نمودند که محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین وزن تر و خشک و همچنین میزان کلروفیل را در گیاه سورگوم تحت تنش اسمزی افزایش می‌دهد.

از سوی دیگر هنگامی که گیاهان در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند، تعادل بین تولید گونه‌های اکسیژن فعال، که شامل سوپراکسید، هیدروژن پراکسید، رادیکال‌های هیدروکسی و اکسیژن یکتایی است، و فعالیت سیستم حذف‌کننده آنها به‌هم می‌ریزد. حذف مولکول‌های اکسیژن واکنشگر توسط آنتی‌اکسیدان‌هایی با وزن مولکولی پایین نظیر آسکوربات، توکوفرول، گلوتاتیون، کاروتنوئیدها و همچنین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز و پراکسیداز، صورت

اجرا درآمد. تیمار شوری در سه سطح (۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌مولار) سدیم کلرید، که سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد را به‌عنوان فاکتور اول و گلايسين بتائين در سه سطح صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار (Kausar et al., 2014; صالحی و همکاران، ۱۳۹۶؛ میری و ضماني مقدم، ۱۳۹۳) به‌عنوان فاکتور دوم به‌صورت محلول‌پاشی انجام شد. همچنین گزینش سطوح در این آزمایش براساس نتایج آزمایش مقدماتی بود. کشت در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و با ظرفیت ۳۰ کیلوگرم خاک با خصوصیات بیان شده در جدول ۱، صورت گرفت. جهت تسریع ظهور گیاهچه‌ها، بذور سالیکورنیا به‌مدت ۸ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند و سپس با قارچ‌کش (کاربوکسین تیرام دو در هزار) آغشته شد و در عمق نیم سانتی‌متر و به تعداد ۳۰ عدد در هر گلدان کشت شدند. تعداد زیاد بذور برای حصول اطمینان از داشتن تعداد بوته کافی در هر گلدان بوده است که پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها تعداد آنها در هر گلدان به پنج بوته رسید. به‌منظور اعمال تیمار شوری از سدیم کلرید محلول در آب آبیاری استفاده شد. در این روش روزانه ۲۰ لیتر آب بنا به نیاز آبی گیاه براساس یافته‌های Glenn و همکاران (۱۹۹۷) برای هر تیمار در مخزن‌های جداگانه ریخته شده و پس از اضافه‌کردن مقدار سدیم کلرید مورد نظر، با سیستم آبیاری قطره‌ای به گلدان‌ها اضافه شد. گلدان‌ها بر روی صفحه‌های توری قرار داشتند و در زیر هر گلدان ظرفی برای جمع‌آوری آب خروجی قرار داده شد و آب خروجی از گلدان‌ها مجدد به آن برگردانده می‌شد تا یک سیستم بسته را ایجاد نماید. برای رساندن آب آبیاری به شوری‌های مورد نظر (۱۵۰ و ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌مولار) به‌ترتیب مقادیر (۸/۷۵، ۱۷/۵ و ۲۶/۳ گرم) نمک به‌ازاء هر لیتر آب آبیاری به آب مورد نیاز گلدان‌ها اضافه شد. البته برای آگاهی از میزان شوری خاک و برای ممانعت از رسوب و انباشتگی نمک در خاک گلدان‌ها، میزان شوری آب خارج‌شده از زه‌کش هر گلدان جداگانه محاسبه می‌شد و در ادامه در صورت مطابقت‌داشتن با مقدار شوری اعمال‌شده،

جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا در سطوح مختلف تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار به اجرا در آمد. تیمار شوری در پنج سطح (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار) سدیم کلرید به‌عنوان فاکتور اول و گلايسين بتائين در پنج سطح صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار (Kausar et al., 2014; صالحی و همکاران، ۱۳۹۶؛ میری و ضماني مقدم، ۱۳۹۳) به‌صورت پیش‌تیمار و به‌عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. به‌همین منظور تعداد ۵۰ عدد بذر که از مؤسسه پاکان بذر تهیه شده بود به‌مدت ۸ ساعت در محلول گلايسين بتائين با غلظت‌های فوق غوطه‌ور نموده و پس از شست‌شو با آب مقطر برای کشت به پتری-دیش‌هایی که حاوی ۵ میلی‌لیتر از غلظت‌های مختلف NaCl بودند منتقل گردید. شمارش از روز دوم به‌مدت چهارده روز صورت گرفت (Ellis and Roberts, 1981). شاخص‌های مربوط به جوانه‌زنی مورد بررسی قرار گرفت و صفات مورد ارزیابی شامل: طول گیاهچه، وزن تر، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه و سرعت جوانه‌زنی بود که از طریق معادله‌های زیر محاسبه گردید.

معادله ۱: درصد جوانه‌زنی

$$GP = \frac{I \times t}{T} \times 100$$

معادله ۲: سرعت جوانه‌زنی

$$GR = \frac{I \times t}{I}$$

I: تعداد روزهای مورد نظر پس از شروع آزمایش

t: تعداد بذور جوانه‌زده تا روز مورد نظر

T: تعداد کل بذور

شاخص بنیه بذر (VI) نیز با استفاده از معادله زیر محاسبه

گردید (Ellis and Roberts, 1981):

معادله ۳: شاخص بنیه

$$VI = \frac{\text{میانگین طول گیاهچه} \times \text{درصد جوانه زنی}}{100}$$

آزمایش دوم، بررسی محلول‌پاشی گلايسين بتائين بر

گیاه سالیکورنیا پرسیکا: این آزمایش نیز به‌صورت گلدانی با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو- شیمیایی خاک محل آزمایش

ذرات خاک			بافت خاک	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی (m.mohs/cm)	نیترژن کل (%)	کربن آلی (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
رس	سیلت	شن							
۴۵/۶	۴۴/۱	۱۰/۳	رسی سیلتی	۷/۱	۱/۱۵	۰/۱۵	۱/۸	۱۳/۱	۲۸۱/۱

انکوبه گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر در مقابل شاهد (متانول) خوانده شد درصد مهار رادیکال آزاد (%I) هر عصاره نیز به کمک معادله زیر محاسبه می‌شود (Miliauskas et al., 2004).

$$\%I = \frac{A \text{ control} - A \text{ sample}}{A \text{ control}} \times 100 \quad \text{معادله ۴}$$

اندازه‌گیری مقدار فنل کل: محتوی فنل کل با استفاده از

معرف فولین سیوکالتیو توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. به نیم میلی‌لیتر از عصاره ۲ میلی لیتر واکنش‌گر فولین سیوکالتیو ۱۰ درصد و پس از ۵ دقیقه، ۲ میلی لیتر از محلول ۵ درصد کربنات سدیم به آن اضافه شد. جذب نمونه‌ها پس از دو ساعت در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در مقابل بلانک خوانده شد و میزان فنل کل براساس نمودار استاندارد به دست آمده از غلظت‌های متفاوت گالیک اسید محاسبه می‌گردد (AlFarsi et al., 2005).

اندازه‌گیری پروتئین: جهت تعیین مقدار پروتئین نمونه مجهول، در مقدار ۱۰۰ میکرولیتر نمونه، ۹۰۰ میکرولیتر آب مقطر ریخته و پس از مخلوط کردن محتویات لوله ۵ میلی‌لیتر از معرف برادفورد به آن اضافه شد. پس از ۵ دقیقه جذب نوری نمونه را در طول موج ۴۲۰ نانومتر خوانده و با استفاده از نمودار استاندارد و ضریب رقت سرم آلبومین گاوی مقدار پروتئین نمونه مجهول را به دست آمد (Bradford, 1976).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: بدین منظور مقدار ۰/۱ گرم از نمونه منجمد شده در ۳ میلی لیتر بافر سدیم فسفات ۲۵ میلی مولار با ۶/۱ pH، عصاره‌گیری و مخلوط اخیر در ۶۰۰۰ دور و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ گردید. از محلول روشن‌رنگ برای سنجش فعالیت آنزیمی استفاده شد. سپس مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۲۵ میلی مولار، با

گلدان‌ها با آب معمولی آبیاری (آب بدون سدیم کلرید) می‌شد. این روند از ابتدای ظهور گیاهچه‌ها تا پایان آزمایش که حدود هفت ماه به طول انجامید، ادامه داشت. برای تیمار محلول‌پاشی نیز غلظت‌های مختلف از محلول گلاسیسین بتائین در چهار مرحله براساس پیشینه تحقیق، پس از استقرار کامل، ابتدای به ساقه‌رفتن، قبل و بعد از گلدهی کامل به بوته‌ها افزوده شد (میری و ضمانی مقدم، ۱۳۹۳؛ کدخدایی و همکاران، ۱۳۹۳).

صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل: فلاونوئید اندام هوایی، مهار رادیکال آزاد DPPH، میزان پروتئین اندام هوایی، میزان فنل کل، طول اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز است.

محتوای فلاونوئید کل: برای سنجش میزان فلاونوئید کل پس از عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی به ۵۰۰ میکرولیتر از هر عصاره ۱/۵ میلی لیتر متانول (۰/۸۰٪)، ۱۰۰ میکرولیتر محلول آلومینیوم کلرید (۰/۱۰٪)، ۱۰۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. جذب مخلوط بعد از گذشت ۴۰ دقیقه در طول موج ۴۱۵ نانومتر نسبت به بلانک اندازه‌گیری شد. بلانک حاوی تمام ترکیبات بالا خواهد بود اما بجای عصاره، به همان اندازه متانول ۰/۸۰٪ به آن اضافه شد. برای رسم منحنی استاندارد از ماده کوئرستین استفاده گردید. میزان فلاونوئید کل عصاره‌ها براساس میلی‌گرم معادل کوئرستین بر گرم وزن خشک ریشه و یا برگ گیاه گزارش شد (Chang et al., 2002).

فعالیت مهار رادیکال DPPH: غلظت‌های مختلف عصاره، با ۲ میلی لیتر محلول متانولی ۰/۰۰۴٪ DPPH مخلوط می‌شود. محلول کنترل شامل ۲ میلی لیتر DPPH و ۲ میلی لیتر متانول می‌باشد. محلول‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق

سیتوپلاسم را از سمیت یون سدیم حفظ می‌کند (Ashraf and Foolad., 2007). طی مطالعه‌ای که Chen و همکاران (۲۰۰۰) روی تیمار بذور سورگوم با گلايسين بتائين انجام دادند، دریافتند که تیمار ترکیب فوق موجب حفظ غشاها و پایداری آن در برابر پراکسیداسیون چربی‌ها و حفظ سیالیت و ثبات آن تحت تنش شوری می‌شود.

با افزایش سطح شوری طول گیاهچه کاهش معنی‌داری از خود نشان دادند. البته از این نظر در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شوری صفر مشاهده نشد، با این وجود از شوری ۴۵۰ و بیشتر، کاهش قابل توجهی در طول گیاهچه‌ها مشاهده شد. اما با افزایش میزان گلايسين بتائين در هر یک از سطوح شوری بهبودی چشمگیری در طول گیاهچه‌های سالیکورنیا مشاهده شد، به‌طوری‌که بهترین نتیجه از برهمکنش شوری صفر و گلايسين بتائين ۱۲۰ میلی‌مولار حاصل شد و کمترین آن نیز از تیمار شوری ۴۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و گلايسين بتائين ۶۰ میلی‌مولار مشاهده شد. در این خصوص علی و همکاران (۱۳۸۸) در مورد گیاه ذرت و Lacerda و همکاران (۲۰۰۳) در خصوص گیاه سورگوم نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

در شوری صفر وزن تر گیاهچه‌ها پاسخ معنی‌داری به سطوح مختلف گلايسين بتائين نشان ندادند. اما در شوری‌های ۱۵۰ میلی‌مولار و بالاتر کاهش وزن تر قابل توجه بود و اثر بخشی گلايسين بتائين نیز در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار به‌خوبی خود را نشان داد با این وجود بالاترین مقادیر صفت فوق در سطح شوری صفر حاصل شد. در این میان کمترین وزن تر به تیمار شوری ۶۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید در برهمکنش با گلايسين بتائين (۳۰ میلی‌مولار) تعلق داشت. این نتایج با یافته‌های Wyn Jones و همکاران (۲۰۰۲) و لون و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. آنها بیان کردند که اضافه‌کردن پرولین و گلايسين بتائين به گیاهچه‌های جو موجب افزایش وزن تر و ساقه‌چه در شرایط شوری می‌شود.

در کلیه سطوح شوری با افزایش سطح پیش‌تیمار گلايسين بتائين درصد جوانه‌زنی بذور سالیکورنیا بهبود یافت. اما در

pH ۶/۸، هیدروژن پراکسید ۱۰ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی تهیه گردید. فعالیت کاتالاز با توجه به روند تجزیه هیدروژن پراکسید و در نتیجه کاهش جذب آن در طول یک دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر سنجیده و به‌ازای میلی‌گرم پروتئین عصاره آنزیمی محاسبه شد. کلیه مراحل استخراج آنزیمی بر روی یخ انجام گرفت (Cakmak et al., 1992).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: برای سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مخلوط واکنش شامل ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۷۷۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر آسکوربیک اسید پنج میلی‌مولار و ۱۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۰/۱ میلی‌مولار بود. سرعت واکنش آنزیمی به‌صورت تغییرات جذب بر زمان (OD/min) در طول موج ۲۹۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت گردید. یک واحد آنزیمی معادل تجزیه یک میکرومول آسکوربات در مدت زمان یک دقیقه و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. فعالیت آنزیمی با استفاده از قانون بیرلامبرت و با ضریب خاموشی آسکوربات پراکسیداز $2/8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ محاسبه و در نهایت بر حسب میکرومول بر گرم بافت تازه در دقیقه بیان شد (Nakano and Asada, 1981). برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.4 و از آزمون LSD برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

آزمایش اول: صفات اندازه‌گیری شده در هر دو عامل پیش‌تیمار گلايسين بتائين و تیمار شوری تحت تأثیر اثرات اصلی و برهمکنش آنها قرار گرفتند و کلیه صفات در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند (جدول ۲).

در سطح شوری صفر تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف پیش‌تیمار گلايسين بتائين برای وزن تر گیاهچه‌ها مشاهده نشد (جدول ۳). با این وجود برهمکنش پیش‌تیمار گلايسين بتائين و تیمار شوری نشان داد که در اکثر صفات مورد بررسی با افزایش سطح گلايسين بتائين از میزان تنش شوری کاسته شد (جدول ۳). تیمار بذور با استفاده از گلايسين بتائين،

جدول ۲- میانگین مربعات مربوطه به صفات مورد بررسی در نتیجه پیش تیمار گلايسين بتائين

میانگین مربعات (MS)					df	منابع تغییرات
سرعت جوانه زنی	شاخص بنیه	درصد جوانه زنی	وزن تر	طول گیاهچه		
۱/۴۷**	۳۵۳/۳۷**	۱۳۲۵/۵۰**	۰/۰۰۷**	۲/۲۲**	۴	شوری (a)
۰/۱۴**	۲۲/۵۲**	۱۲۳/۸۳**	۰/۰۰۰۱**	۰/۱۱**	۴	گلايسين بتائين (b)
۰/۰۳**	۳/۷۹**	۲۹/۰۴**	۰/۰۰۰۰۴**	۰/۰۲**	۱۶	A×B
۰/۰۰۰۴	۰/۳۰	۲/۶۷	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۲	۷۵	خطا
۲/۳۰	۳/۴۲	۲/۰۱	۱/۸۰	۲/۳۲		ضریب تغییرات CV (%)

*، **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

گیاهچه است نتایج مشابهی با این صفات را نشان می دهد. افزایش شاخص بنیه و طول ساقه در اثر اعمال پلی آمین که همانند گلايسين بتائين یکی از اسموپروتکتانت های مؤثر در تحمل به تنش است را Aziz-Khan و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش نمودند.

در صفت سرعت جوانه زنی نیز همانند صفت درصد جوانه زنی از برهمکنش سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار سدیم کلرید با سطوح ۳۰ تا ۱۲۰ میلی مولار گلايسين بتائين تفاوت معنی داری مشاهده نشد. اما در سایر غلظت های شوری با افزایش غلظت گلايسين بتائين نتایج بهتری حاصل شد. البته در شوری سطح ۳۰۰ میلی مولار سدیم کلرید اثر بخشی پیش تیمار گلايسين بتائين بهتر از سایر سطوح مشهود بود. بهترین نتیجه برای این صفت نیز از تیمار شوری صفر و گلايسين بتائين ۹۰ میلی مولار و کمترین آن نیز از تیمار شوری ۴۵۰ میلی مولار سدیم کلرید و گلايسين بتائين ۱۲۰ میلی مولار حاصل شد. گلايسين بتائين به عنوان یک اسمولیت سیتوپلاسمی عمل می کند و آنزیم ها و غشاها را از اثرات پسابیدگی نمک حفظ می کند و لذا جذب آب توسط بذر راحت تر صورت می گیرد (Yang et al., 2003). به همین دلیل سرعت جوانه زنی افزایش می یابد. نتایج حاصل از این تحقیق با یافته های Silva و همکاران (۲۰۰۳) و علی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

آزمایش دوم: جدول تجزیه واریانس داده های آزمایش دوم (جدول ۴) به خوبی نشان می دهد که میانگین مربعات صفات

شوری سطح ۱۵۰ میلی مولار تفاوت چندانی مشاهده نشد. در شوری ۶۰۰ میلی مولار اثر گلايسين بتائين به خوبی قابل مشاهده بود. بهترین نتیجه از تیمار شوری سطح صفر و گلايسين بتائين ۱۲۰ میلی مولار حاصل شد و کمترین آن نیز از تیمار شوری ۶۰۰ میلی مولار سدیم کلرید و گلايسين بتائين ۳۰ میلی مولار به دست آمد. پیش تیمار بذر با گلايسين بتائين می تواند آسیب های ناشی از اثرات بازدارنده شوری را کاهش دهد و موجب افزایش درصد جوانه زنی شود (Arafa et al., 2009). پیش تیمار با گلايسين بتائين با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان مانند کاتالاز و پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز موجب کاهش تأثیرات تولید رادیکال های آزاد اکسیژن تولیدی توسط غلظت های بالا NaCl شده و در نهایت موجب بهبود جوانه زنی می گردد (Islam et al., 2009). نتایج مشابهی را در گیاه سیاهدانه با اعمال گلايسين بتائين در تنش کادمیوم توکلی حسنکلو و همکاران (۱۳۹۳) و اثر گلايسين بر ذرت در تنش خشکی میری و ضمنی مقدم (۱۳۹۳) نیز گزارش نمودند.

بهترین نتیجه برای صفت شاخص بنیه نیز از برهمکنش شوری سطح صفر و گلايسين بتائين ۱۲۰ میلی مولار حاصل شد و کمترین آن نیز از تیمار شوری سطح ۴۵۰ میلی مولار سدیم کلرید و گلايسين بتائين ۶۰ میلی مولار به دست آمد. این صفت در شوری سطح ۶۰۰ میلی مولار سدیم کلرید به خوبی اثر بخشی گلايسين بتائين را نشان می دهد. از آنجایی که این صفت برآیندی از صفات درصد جوانه زنی و میانگین طول

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × پیش تیمار گلیسین بتائین بر صفات مرتبط با جوانه زنی سالیکورنیا

سرعت جوانه زنی (بذر جوانه زده در روز)	شاخص بینه	درصد جوانه زنی (%)	وزن تر (gr)	طول گیاهیچه (cm)	گلیسین بتائین (mM)	سدیم کلراید (mM)
۲/۸۹ ^c	۲۰/۲۲ ^d	۸۶ ^c	۰/۱۳۷	۲/۳۳ ^d	شاهد (صفر)	
۲/۸۹ ^c	۲۰/۸۰ ^d	۸۶ ^c	۰/۱۳۷	۲/۴۰ ^c	۳۰	شاهد
۳/۰۰ ^{bc}	۲۲/۲۰ ^c	۹۰ ^{bc}	۰/۱۳۸	۲/۴۷ ^b	۶۰	(آب مقطر)
۳/۱۱ ^{ab}	۲۳/۳۳ ^b	۹۳ ^{ab}	۰/۱۳۹	۲/۵۰ ^b	۹۰	
۳/۱۷ ^a	۲۵/۰۳ ^a	۹۵ ^a	۰/۱۳۹	۲/۶۳ ^a	۱۲۰	
۲/۸۸ ^b	۱۷/۶۲ ^b	۸۶ ^b	۰/۱۱۳ ^d	۲/۰۳ ^c	شاهد (صفر)	
۳/۰۰ ^a	۱۸/۸۲ ^a	۹۰ ^a	۰/۱۱۶ ^c	۲/۱۰ ^b	۳۰	۱۵۰
۳/۰۰ ^a	۱۸/۸۸ ^a	۹۰ ^a	۰/۱۱۶ ^c	۲/۱۰ ^b	۶۰	
۳/۰۰ ^a	۱۹/۲۵ ^a	۹۰ ^a	۰/۱۱۹ ^{ab}	۲/۱۳ ^{ab}	۹۰	
۳/۰۰ ^a	۱۹/۴۲ ^a	۹۰ ^a	۰/۱۲۰ ^a	۲/۱۷ ^a	۱۲۰	
۲/۶۷ ^c	۱۴/۶۷ ^d	۸۰ ^c	۰/۱۰۲ ^c	۱/۸۳ ^c	شاهد (صفر)	
۲/۵۰ ^d	۱۲/۶۳ ^e	۷۵ ^d	۰/۰۹۳ ^d	۱/۷۰ ^d	۳۰	۳۰۰
۲/۸۳ ^b	۱۶/۴۰ ^c	۸۵ ^b	۰/۱۰۷ ^b	۱/۹۳ ^b	۶۰	
۳/۰۰ ^a	۱۸/۲۸ ^a	۹۰ ^a	۰/۱۱۳ ^a	۲/۰۷ ^a	۹۰	
۲/۸۳ ^b	۱۶/۹۶ ^b	۸۵ ^b	۰/۱۱۱ ^a	۲/۰۰ ^{ab}	۱۲۰	
۲/۳۳	۱۰/۶۵ ^a	۷۰ ^a	۰/۰۸۴ ^a	۱/۵۰ ^b	شاهد (صفر)	
۲/۳۹	۱۰/۷۰ ^a	۷۰ ^a	۰/۰۵۸ ^a	۱/۵۳ ^{ab}	۳۰	۴۵۰
۲/۵۰	۹/۲۹ ^b	۶۵ ^b	۰/۰۷۹ ^b	۱/۴۰ ^c	۶۰	
۲/۳۳	۱۰/۹۵ ^a	۷۰ ^a	۰/۰۸۷ ^a	۱/۵۷ ^a	۹۰	
۲/۱۶	۱۰/۷۸ ^a	۷۰ ^a	۰/۰۸۵ ^a	۱/۵۷ ^a	۱۲۰	
۲/۳۹ ^c	۱۱/۱۸ ^c	۷۱ ^c	۰/۰۸۶ ^c	۱/۵۳ ^c	شاهد (صفر)	
۲/۲۲ ^d	۹/۵۶ ^d	۶۶ ^d	۰/۰۷۹ ^d	۱/۴۳ ^d	۳۰	۶۰۰
۲/۵۰ ^b	۱۲/۱۶ ^b	۷۵ ^b	۰/۰۹۰ ^{bc}	۱/۶۰ ^c	۶۰	
۲/۵۵ ^b	۱۲/۹۴ ^b	۷۶ ^b	۰/۰۹۴ ^b	۱/۷۰ ^b	۹۰	
۲/۶۷ ^a	۱۴/۱۴ ^a	۸۰ ^a	۰/۰۹۸ ^a	۱/۸۰ ^a	۱۲۰	

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح آماری ۵ درصد است.

فلاونوئید کل: با بررسی مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵) به خوبی می‌توان دریافت با افزایش میزان شوری میزان فلاونوئید نیز افزایش معنی داری را نشان داد. به گونه‌ای که بیشترین میزان آن در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و کمترین میزان آن نیز در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید

اندازه‌گیری شده در هر دو فاکتور محلول پاشی گلیسین بتائین و تیمار شوری تحت تأثیر اثرات اصلی قرار گرفتند و صفت میزان فنل کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز نیز تحت تأثیر برهمکنش دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت و در غلظت ۱٪ معنی دار شدند.

جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد بررسی در نتیجه محلول پاشی گلاسیسین بتائین

میانگین مربعات										
منابع تغییرات	df	فلاونوئید	مهار رادیکال آزاد DPPH	پروتئین	فنل	طول اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	آنزیم کاتالاز	آنزیم آسکوربات پراکسیداز
تنش شوری (A)	۲	۱۹/۵۰۱**	۶۱/۵۲۷ ^{ns}	۲/۳۱۲**	۶۱/۹۶۷**	۱۴۷**	۵۷/۵۵۱**	۱/۲۱۳**	۲۸۶/۵۰۴**	۲۳۰/۴۲۹**
گلاسیسین بتائین (B)	۲	۰/۵۷۷**	۸۳۶/۵۰۸**	۰/۹۲۳ ^{ns}	۳۵۶/۳۵۶**	۱۰/۳۳۳**	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۴۸**	۸/۶۹۰**	۵/۰۸۲**
اثر متقابل A×B	۴	۰/۰۷۵ ^{ns}	۴۱/۲۵۲ ^{ns}	۰/۰۴۳ ^{ns}	۳۲/۶۰۶**	۰/۳۳۳ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۱/۴۵۲**	۳/۲۳۶**
خطا	۲۴	۰/۰۴۶	۲۳/۷۵۶	۰/۲۸۲	۲/۵۶۸	۰/۵۰۹	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲	۰/۱۸۲	۰/۱۶۶
ضریب تغییرات		۱/۷۸۷	۱۹/۶۰۷	۱۱/۴۷۱	۷/۲۶۲	۲/۱۳	۱/۷۰۸	۴/۲۶۶	۱/۴۶۳	۰/۴۱۹

*, **, ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪ و عدم معنی دار.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده شوری و محلول پاشی گلاسیسین بتائین بر صفات مورد آزمایش

منابع تغییرات	سطوح تیمار (mM)	فلاونوئید (mg/l)	مهار رادیکال آزاد (%) DPPH	پروتئین (µg/ml)	طول اندام هوایی (cm)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)
تنش شوری	۱۵۰	۱۰/۵۶۵ ^c	۲۴/۶۰۳ ^{ab}	۵/۱۹۲ ^a	۳۲/۷۲۲ ^b	۷/۹۱۱ ^b	۱/۰۶۳ ^b
	۳۰۰	۱۱/۹۳۴ ^b	۲۲/۳۸۱ ^b	۴/۵۱۲ ^b	۳۷/۷۲۲ ^a	۱۲/۱۳۳ ^a	۱/۵۲۲ ^a
	۴۵۰	۱۳/۵۰۷ ^a	۲۷/۵۹۱ ^a	۴/۲۰۱ ^b	۲۹/۷۲۲ ^c	۷/۶۱۱ ^c	۰/۷۶۹ ^c
گلاسیسین بتائین	۶۰	۱۱/۷۲۹ ^b	۱۴/۹۷۶ ^c	۴/۳۷۰ ^b	۳۲/۶۱۱ ^b	۹/۱۷۷ ^a	۱/۰۷۷ ^b
	۱۲۰	۱۲/۰۴۸ ^a	۲۵/۳۶۱ ^b	۴/۵۴۴ ^{ab}	۳۲/۹۴۴ ^b	۹/۲۰۰ ^a	۱/۰۹۲ ^b
	۱۲۰	۱۲/۲۲۹ ^a	۳۴/۲۳۸ ^a	۴/۹۹۱ ^a	۳۴/۶۱۱ ^a	۹/۲۷۷ ^a	۱/۲۱۱ ^a

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح آماري ۵ درصد است.

تأثیر مثبتی به جای گذاشته است هر چند که در سطوح ۶۰ میلی مولار و ۱۲۰ میلی مولار تفاوت معنی داری مشاهده نشد اما افزایش میزان فلاونوئید نسبت به عدم محلول پاشی گلاسیسین بتائین به خوبی مشهود بود. کمترین میزان آن در سطح صفر و بیشترین میزان آن هم در سطح ۱۲۰ میلی مولار مشاهده شد. در تحقیقی مشابه سیاری و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که گلاسیسین بتائین در هر دو روش کاربرد بذری و برگی سبب حفاظت از غشای سلولی و کاهش نشت یونی و محتوای مالون

حاصل شد. یافته‌های پیشین افشار محمدیان و همکاران (۱۳۹۴) با افزایش تنش شوری به طور معنی داری در سطح احتمال ۵٪ میزان فلاونوئید در برگ‌های هر سه رقم بادام زمینی افزایش یافت. فلاونوئیدها به عنوان ترکیب‌های فعال فیزیولوژیکی، عوامل محافظت کننده‌ای در مقابل تنش‌ها بوده و به عنوان یک مهارکننده رادیکال‌های آزاد، نقش مهمی در مقاومت گیاهان به شرایط سخت محیطی دارند (Tattini et al., 2004). از سوی دیگر گلاسیسین بتائین نیز بر میزان فلاونوئید

دی‌آلدئید شد و در نهایت با کاربرد آن تحمل به تنش اسمزی در نشاء خیار افزایش یافت.

مهار رادیکال آزاد DPPH: مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که مهار رادیکال آزاد در شوری سطح ۴۵۰ میلی‌مولار در بیشترین حد خود بوده است اما با کاهش شوری تا ۳۰۰ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری مشاهده می‌گردد و با کاهش شوری به ۱۵۰ میلی‌مولار میزان مهار رادیکالی تغییرات معنی‌داری ندارد. طبق یافته‌های Klimczak و همکاران (۲۰۰۷) افزایش شوری باعث تجمع بیشتر ترکیبات فلاونولی و در نتیجه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود که در مورد نتایج تحقیق حاضر نیز صدق می‌کند.

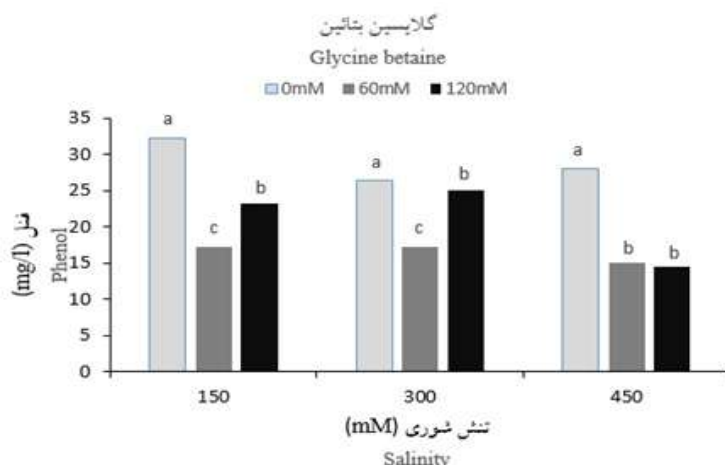
اثر ساده گلاسیسین بتائین نیز بر میزان مهار رادیکالی در گیاه سالیکورنیا در این آزمایش به‌خوبی قابل مشاهده است به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت گلاسیسین بتائین میزان مهار رادیکالی در غلظت‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد و بیشترین میزان مهار رادیکالی در غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار گلاسیسین بتائین و کمترین آن نیز در غلظت صفر مشاهده شده است. بنظر می‌رسد که استفاده از اسمولیت‌های سازگاری همچون گلاسیسین بتائین می‌تواند تولید ترکیباتی مثل فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها که خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند را در گیاه سالیکورنیا افزایش داده که در نتیجه آن می‌توان انتظار افزایش میزان مهار رادیکال آزاد را داشت.

پروتئین: میزان پروتئین در اندام‌های رویشی گیاه سالیکورنیا مانند سایر صفات تحت تأثیر اثر ساده شوری قرار گرفته و افزایش غلظت سدیم کلرید موجب کاهش میزان پروتئین شد. کمترین میزان پروتئین در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و بیشترین میزان آن نیز در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار حاصل شده است. نتایج فوق با یافته‌های فضائی و بشارتی (۱۳۹۱) که بیان نمودند: با افزایش شوری از صفر به ۶ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر غلظت نیتروژن و پروتئین در اندام هوایی گیاه یونجه به ترتیب ۸ و ۱۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت، مطابقت دارد. اثر محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین بر میزان پروتئین نیز در این آزمایش به‌خوبی قابل مشاهده است

به‌طوریکه با افزایش غلظت گلاسیسین بتائین بر میزان پروتئین اندام رویشی افزوده شد و بیشترین میزان پروتئین با محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین با غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار حاصل شد و کمترین میزان آن نیز در سطح صفر گلاسیسین بتائین مشاهده گردید. کاربرد گلاسیسین بتائین در ذرت تحت تنش خشکی، افزایش پروتئین کل را به‌همراه داشت و سنتز پروتئین‌ها مکانیسمی در پاسخ به تنش‌های مختلف می‌باشد که منجر به تحمل بیشتر گیاه در برابر آسیب‌های ناشی از انواع تنش‌ها می‌گردد (Maestri et al., 2002). البته افزایش میزان پروتئین در تنش‌های خفیف شوری موجب افزایش پروتئین‌ها می‌گردد که این در لگوم‌ها در شوری‌های پایین قابل مشاهده است (Tawfik, 2008). اما به‌نظر می‌رسد این امر در شوری‌های بالا و در گیاهان شورزی صادق نباشد. در مجموع می‌توان گفت که نقش اسمولیت‌هایی مانند گلاسیسین بتائین محافظت از پروتئین‌ها، غشا و آنزیم‌ها از خسارت‌های ناشی از تنش‌های محیطی است (Ashraf and Foolad., 2007).

فنل: یکی از صفاتی که در این آزمایش تحت تأثیر برهمکنش شوری و گلاسیسین بتائین قرار گرفت، میزان فنل کل است (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و گلاسیسین بتائین بر میزان فنل در گیاه سالیکورنیا تحت تنش شوری در (شکل ۱) قابل مشاهده است.

بیشترین میزان فنل طبق نمودار (شکل ۱) مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و گلاسیسین بتائین صفر است و کمترین آن نیز از برهمکنش تیمار شوری ۴۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و گلاسیسین بتائین ۱۲۰ میلی‌مولار حاصل شد. البته گلاسیسین بتائین سطح ۶۰ میلی‌مولار در شوری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را در میزان فنل نشان نداده است. بررسی تنش شوری روی گیاه ماش از تیره فاباسه توسط Kanwal و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که تیمار شوری شدید روی گیاه ماش، باعث کاهش میزان ترکیبات فنلی در برگ گیاه پس از گذشت سی روز شده است. این کاهش می‌تواند ناشی از تخریب این ترکیبات در اثر واکنش با ترکیبات اکسیداتیو در شرایط شور باشد. با وجود القای سنتز ترکیبات فنلی در تیمار



شکل ۱- نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و گلیسین بتائین بر صفت میزان فنل. در هر ستون حروف معنی داری بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد است.

میلی مولار و کمترین آن نیز در شوری ۴۵۰ میلی مولار سدیم کلرید حاصل شد (جدول ۵). البته اثرات مخرب شوری زیاد بر صفات مورفولوژیک گیاهان بر کسی پوشیده نیست اما گیاه سالیکورنیا به دلیل شوری بودن واکنش‌های متفاوتی را از خود در برابر سطوح شوری نشان می‌دهد، به گونه‌ای که با افزایش شوری تا ۳۰۰ میلی مولار شاهد افزایش طول ساقه و زیست توده بوده‌ایم. طول ساقه و ریشه مهم‌ترین شاخص‌های بیانگر شدت تنش‌های محیطی، به‌ویژه تنش‌های شوری و خشکی محسوب می‌شوند؛ زیرا ریشه در تماس مستقیم با خاک بوده و آب را از خاک جذب می‌کند و ساقه آن را به سایر قسمت‌های گیاه منتقل می‌کند بنابراین تغییرات طولی این دو پارامتر ساقه و ریشه نشانه مهمی برای پاسخ گیاهان به تنش شوری به حساب می‌آید (Jamil et al., 2005). نتایج مشابهی را حیدرنژاد و رنجبر (۱۳۹۳) در مورد اثر شوری بر گیاه شورزی اشنان (*Seidlitzia rosmarinus* L.) بیان نمودند. اثر گلیسین بتائین بر طول اندام هوایی نیز در جدول مقایسه میانگین (جدول ۵) به خوبی قابل مشاهده است به طوری که گلیسین بتائین ۶۰ و صفر میلی مولار تفاوت معنی داری را از خود نشان ندادند اما در غلظت ۱۲۰ میلی مولار به خوبی شاهد افزایش معنی دار طول اندام هوایی بودیم و بیشترین طول اندام هوایی نیز در همین سطح شاهد مشاهده شد. Aldesuquy و همکاران (۲۰۱۲) نتایج مشابهی را در گندم گزارش نمودند. تجمع گلیسین

شوری، احتمالاً تنش شدیدتر شوری می‌تواند اثر منفی روی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه داشته و باعث کاهش ترکیبات فنلی شود (Sidsel Fiskaa et al., 2009). در این آزمایش اینگونه به نظر می‌رسد که با اعمال گلیسین بتائین که خود یک محافظ اسمزی است نیاز به سنتز فنل‌ها برای مراقبت بیشتر در برابر تنش شوری کم شده باشد که این می‌تواند دلیلی برای کاهش میزان فنل در حضور گلیسین بتائین باشد. علاوه بر این در همین آزمایش ثابت شده است که افزایش گلیسین بتائین موجب افزایش میزان آنزیم کاتالاز و آسکوربیک پروکسیداز می‌گردد که این خود می‌تواند گیاه را در مقابل تنش متحمل‌تر نموده و نیاز به تولید فنل‌ها در این گیاه را کاهش دهد و مکانسیم تحمل به تنش را به سمت سوی دیگری تغییر دهد. در این خصوص Mishra و Tanna (۲۰۱۷) نیز نظر مشابهی را بیان نموده است.

طول اندام هوایی: مشاهده نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات ساده شوری بر صفت طول اندام هوایی به خوبی نشان می‌دهد که گیاه سالیکورنیا با تغییر غلظت شوری واکنش کاملاً متفاوتی را نسبت به سایر گیاهان نشان می‌دهد به گونه‌ای که با افزایش شوری از ۱۵۰ میلی مولار به ۳۰۰ میلی مولار سدیم کلرید طول اندام هوایی افزایش داشت و در ادامه با افزایش شوری تا ۴۵۰ میلی مولار طول اندام هوایی کاهش داشت. بیشترین میزان طول اندام هوایی در شوری ۳۰۰

بر اثر مصرف گلايسين بتائين می‌تواند به این دلیل باشد که این ترکیب به‌عنوان یک اسمولیت مهم در گیاهان باعث افزایش پتانسیل اسمزی شده و در نتیجه با جذب آب توسط گیاه آماس سلول‌ها افزایش پیدا می‌کند. از آنجایی که رشد و نمو گیاهان بستگی به سرعت تولید و بزرگ‌شدن سلول‌های جدید دارد و گیاهان فقط در حالت آماس، قادر به تقسیم سلولی هستند، با ایجاد حالت آماس توسط گلايسين بتائين تقسیم سلولی افزایش پیدا کرده و رشد بهتر گیاه را سبب می‌گردد (Korkmaz *et al.*, 2012).

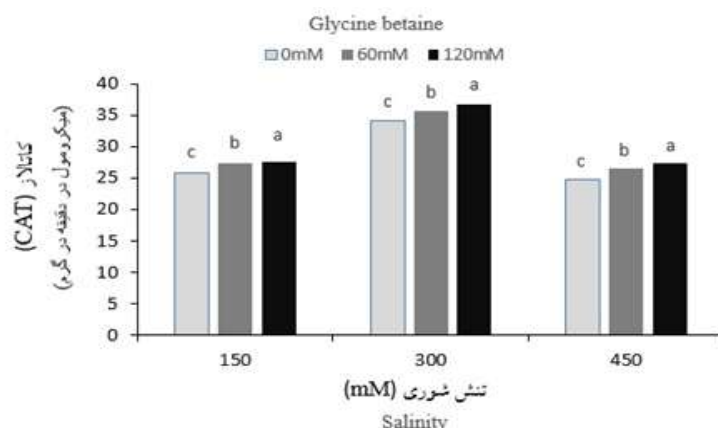
فعالیت آنزیم کاتالاز: میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه سالیکورنیا با افزایش میزان شوری تا ۳۰۰ میلی‌مولار افزایش چشمگیری داشته است اما با بیشترشدن میزان شوری از فعالیت این آنزیم کاسته شده است. البته نقش گلايسين بتائين نیز به‌خوبی قابل مشاهده است به‌گونه‌ای که در هر سه غلظت شوری سدیم کلرید، گلايسين بتائين ۱۲۰ میلی‌مولار موجب افزایش فعالیت آنزیمی شده در نهایت بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار و گلايسين بتائين ۱۲۰ میلی‌مولار و کمترین میزان آن نیز در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار و گلايسين بتائين صفر مشاهده شد. مطابق با نتایج این تحقیق افزایش در میزان آسکوربیک اسید، گونه‌های فعال اکسیژن و هیدروژن پراکسید و به‌دنبال آن افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز ممکن است با القاء پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی که موجب حفظ گیاه در برابر خسارت اکسیداتیو می‌گردند، مرتبط باشد (Dey *et al.*, 2007). کاهش مشاهده شده در فعالیت این آنزیم منطبق با نتایج سایر تحقیقات است (dat *et al.*, 1998) که غیرفعال‌سازی شدید آنزیم کاتالاز را توسط غلظت بالای شوری نشان می‌دهد همچنین کاهش فعالیت این آنزیم ممکن است ناشی از جلوگیری از سنتز آنزیم جدید باشد (Fidalgo *et al.*, 2004). در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار گیاه سالیکورنیا رفتار متفاوتی از خود نشان داده است و در مورد کاهش فعالیت آنزیمی می‌توان چند عامل را در نظر گرفت، عامل اول افزایش احتمالی ترکیباتی مانند هیدروژن پراکسید و به‌سبب آن ایجاد تخریب در پروتئین‌ها و چربی‌ها در تنش

بتائین علاوه بر کاهش مستقیم آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو می‌تواند با حفاظت از آنزیم‌های درگیر در سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه به مهار فعالیت ترکیبات تولیدکننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن کمک کند (Ashraf and Foolad., 2007).

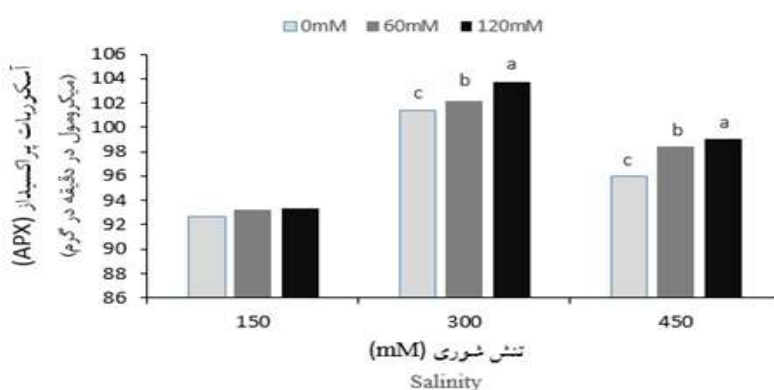
وزن خشک اندام هوایی: صفت وزن خشک نیز نتایج مشابهی را همانند صفت طول اندام هوایی از خود نشان داد (جدول ۵)، به‌طوریکه بهترین نتیجه در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید حاصل شد و کمترین میزان وزن خشک نیز در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. افزایش وزن خشک گیاه سالیکورنیا در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار نسبت به شوری ۱۵۰ میلی‌مولار نشان‌دهنده شوری‌بودن اجباری این گیاه است. از طرفی علیرغم تأثیر مثبت سطوح بالاتر محلول‌پاشی گلايسين بتائين بر وزن خشک بوته‌ها، با این وجود این تأثیر تفاوت معنی‌داری در وزن خشک نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) ایجاد نکرد. پاسخ به تنش شوری بستگی به نوع گیاه، مرحله رشد، توسعه گیاهی و همچنین غلظت و ترکیب نمک دارد (Oliveira1 *et al.*, 2013).

به نظر نمی‌رسد پایین‌بودن غلظت نمک، اثر مخرب بر رشد گیاه سالیکورنیا داشته باشد. اما شوری بالا سبب کاهش رشد آن شده و بسیاری از گونه‌های شورزی، تحت شرایط تنش شوری شدید از بیومس خود به‌طور معنی‌داری می‌کاهند (بویراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰).

وزن خشک ریشه: واکنش وزن خشک ریشه سالیکورنیا به شوری همانند صفت طول اندام هوایی کمی متفاوت به‌نظر می‌رسد، به‌طوریکه بیشترین میزان وزن خشک در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و کمترین آن در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد که شوری ۳۰۰ میلی‌مولار مناسب‌ترین غلظت شوری برای رشد این گیاه در این آزمایش می‌باشد. نتایج فوق با یافته‌های درویشی و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری را در غلظت ۶۰ میلی‌مولار گلايسين بتائين با شاهد از خود نشان نداد اما با افزایش غلظت گلايسين بتائين به ۱۲۰ میلی‌مولار شاهد افزایش معنی‌داری در میزان وزن خشک ریشه بودیم. افزایش وزن گیاه



شکل ۲- نمودارمقایسه میانگین اثر متقابل شوری و گلیسین بتائین بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز. در هر ستون حروف معنی داری بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد است.



شکل ۳- نمودارمقایسه میانگین اثر متقابل شوری و گلیسین بتائین بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز. در هر ستون حروف معنی داری بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد است.

۳۰۰ میلی مولار بر میزان فعالیت آسکوربیک پراکسیداز افزوده شد اما این افزایش ادامه دار نبوده و با افزوده شدن شوری از فعالیت این آنزیم کاسته شد و نقش گلیسین بتائین هم در این مورد با شدت بیشتری در شوری ۴۵۰ میلی مولار شوری خود نمایی می کند و با افزوده شدن آن تا ۱۲۰ میلی مولار بر فعالیت این آنزیم با شیب بیشتری افزوده شد. کمترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شوری ۱۵۰ میلی مولار و عدم محلول پاشی گلیسین بتائین و بیشترین میزان فعالیت آن نیز در شوری ۳۰۰ میلی مولار سدیم کلرید و گلیسین بتائین ۱۲۰ میلی مولار مشاهده شد. آنزیم آسکوربات پراکسیداز در چرخه گلوکوتایون - آسکوربات با استفاده از آسکوربات به عنوان دهنده الکترون باعث تجزیه هیدروژن پراکسید می شود

شوری شدید که این عامل خود موجب تولید گونه های فعال اکسیژن بیشتر شده (Ghosh *et al.*, 2001) در نتیجه آن ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه کاهش خواهد یافت، از سوی دیگر وجود ترکیباتی همچون سالیسیلیک اسید، پرولین و مانیتول در شوری های بالا که از فعالیت آنزیم کاتالاز می کاهد را می توان از عوامل کاهش این آنزیم دانست (Xiong *et al.*, 2002). در این رابطه Mishra و Tanna (۲۰۱۷) نیز وجود مکانیسم های مختلف و مرحله به مرحله در گیاهان هالوفیت را در خصوص کاهش سطوح آنزیم های محافظت کننده و جایگزین نمودن مکانیسم های دیگر را بیان نموده اند.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: این آنزیم نیز رفتار مشابهی با کاتالاز از خود نشان داده است؛ با افزایش شوری تا

مشاهده بود، اما پیش تیمار بذور و محلول پاشی با گلاسیسین بتائین به خوبی باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری در بیشتر شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی و مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سالیکورنیا شد. در اکثر صفات مورد بررسی تیمار شوری غلظت صفر سدیم کلرید در برهمکنش با گلاسیسین بتائین ۱۲۰ میلی‌مولار در آزمایش جوانه‌زنی و شوری ۳۰۰ میلی‌مولار در آزمایش گلدانی بهترین نتایج را برجای گذاشتند. احتمالاً این نتایج برای آزمایش دوم به دلیل شوری بودن اجباری گیاه سالیکورنیا باشد. در مجموع از بین سطوح مختلف تیمار گلاسیسین بتائین می‌توان پیش تیمار گلاسیسین بتائین غلظت‌های ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار و محلول پاشی ۱۲۰ میلی‌مولار را به دلیل تأثیر بهتر بر مجموع صفات مورد بررسی به عنوان مناسب‌ترین تیمارها معرفی نمود و همچنین می‌توان شوری ۳۰۰ میلی‌مولار را مناسب‌ترین شرایط محیطی برای رشد و نمو ایده‌آل گیاه سالیکورنیا در شرایط مشابه پیشنهاد نمود.

(Moore and Roberts, 1998). اگر چه افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شوری در چغندر (Bor et al., 2003) و برنج (Demiral and Turkan, 2005) گزارش شده است اما شواهدی نیز مبنی بر کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط شوری بالا وجود دارد (Demiral and Turkan, 2005). از طرفی به نظر می‌رسد کاهش شدید محتوی پروتئین‌های محلول اندام هوایی در اثر شوری بیشتر سبب کاهش پروتئین‌های تیلاکوئید و سیکل کالوین به خصوص آنزیم رابیسکو و برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Scandalias et al., 1993). در مورد این آنزیم نیز نقش گلاسیسین بتائین همانند صفت قبل عمل کرده است و در شوری‌های بالا با تعدیل نمودن خسارت‌های تنش از فعالیت آنزیمی کاسته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش اثرات منفی شوری بر جوانه‌زنی و سایر صفات مورد بررسی به خوبی قابل

منابع

- افشار محمدیان، م.، ابراهیمی نوکنده، س. و جمال امید، م. (۱۳۹۴). اثر سطوح مختلف شوری بر برخی آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی سه رقم بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز ۲۵: ۷۱-۵۷
- بویراحمدی، م.، رئیسی، ف. و جهانگرد، م. (۱۳۹۰). اثر سطوح مختلف شوری بر شاخص‌های رشد و جذب عناصر غذایی در شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) و گندم رقم چمران (*Triticum aestivum*). مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۱۸: ۴۴-۲۵.
- توکلو، م. (۱۳۸۸). ارزیابی تأثیر محلول پاشی گلاسیسین بتائین بر خصوصیات فیزیولوژیک ارقام سویا. اولین همایش ملی دانه‌های روغنی، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- توکلی حسنگلو، ح.، عبادی، ع.، توکلی حسنگلو، ن. و پرمون، ق. (۱۳۹۳). تأثیر پیش تیمار با گلاسیسین بتائین بر کاهش اثر تنش کادمیوم در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سیاهدانه (*Nigella sativa*). فرآیند و کارکرد گیاهی، ۴: ۹۹-۱۱۱.
- حسن زاده فرد، ش. و آروین، م. ج. (۱۳۹۲). نقش گلاسیسین بتائین و پرولین در افزایش مقاومت به خشکی با تأکید بر جنبه‌های کاربردی آن. اولین همایش ملی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور نقره، آذربایجان غربی.
- حیدر نژاد، س. و رنجبر فردوئی، ا. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های رشد و میزان تجمع یونی در گیاه اشنان (*Seidlitzia rosmarinus* L.). مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان ۳: ۱۰-۱.
- خوش خلق سیما، ن. (۱۳۸۷). بررسی توانمندی چند جانبه جنس سالیکورنیا. گزارش نهایی. پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج.

- درویشی، ع.، ملکی، م. و آقاله، م. (۱۳۹۲) اثر متقابل تنش شوری و آبسزیک اسید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه سالیکورنیا (*Salicornia persica*) اولین همایش یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران.
- ریاحی، ن.، فرحبخش، ح. و پسندی پور، ا. (۱۳۹۰) اثر استعمال خارجی پرولین، گلیاسین بتائین، سالیسیلیک اسید و آسکوربیک اسید بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه سورگوم، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.
- سیاری، م.، صیدپور، ف. و قنبری، ف. (۱۳۹۳) اثر گلیاسین بتائین بر مقاومت به سرمازدگی گیاهچه‌های خیار. مجله به زراعی دانشگاه تهران ۱۷: ۶۷-۵۳.
- صالحی، م.، دهقانی، ف. و ابراهیمی، ن. (۱۳۹۶) تجربه موفق تکثیر بذر سالیکورنیا با منابع آب شور. نشریه آب و توسعه پایدار. ۴: ۳۷-۴۶.
- صالحی، م.، ذاکر تولایی، ف. و عسگری (۱۳۹۵) واکنش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه توده‌های مختلف سالیکورنیای بومی غیربومی به تنش شوری. دومین کنگره بین‌المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، گیلان، رشت.
- علی، س.، اسلامی، و.، بهدانی، م. ع. و جامی‌الاحمدی، م. (۱۳۸۸) اثر استعمال خارجی گلیاسین بتائین بر تخفیف اثرات تنش شوری در مرحله جوانه زنی و رشد اولیه گیاهچه ذرت (*Zea mays* L.). مجله تنش‌های محیطی در علوم کشاورزی ۲: ۶۱-۵۳.
- کدخدایی، ه.، سودائی زاده، ح. و مصلح آرانی، ا. (۱۳۹۳) اثر محلول‌پاشی گلیاسین بتائین بر روی رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کلزا تحت تنش خشکی در مزرعه. مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان ۳: ۹۰-۷۹.
- فضائلی، ع. و بشارتی، ح. (۱۳۹۱) تأثیر شوری بر برخی شاخص‌های رشد و پروتئین کل یونجه تلقیح شده با جدایه‌های باکتری *Sinorhizobium meliloti* در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۳: ۳۶-۲۵.
- محمدی، ح.، اکبری، غ.، خوش خلق سیما، ن. و مرادی، ف. (۱۳۸۹) اثر متقابل کلسیم و فسفر بر رشد و نمو سالیکورنیا در شرایط شوری. همایش ملی دستاوردهای نوین در تولید گیاهان با منشاء روغنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد.
- میری، ح. و ضمانی مقدم، ع. (۱۳۹۳) کاربرد خارجی گلیاسین بتائین به‌منظور کاهش اثرات تنش خشکی در ذرت. پژوهش‌های زراعی ایران ۱۲: ۷۰۴-۱۷۱.
- AlFarsi, M., Alsalvar, C., Morris, A., Baron, M. and Shadih, F. (2005) Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 7592-9.
- Aldesuquy, H. S., Abo-Hamed, S. A., Abbas, M. A. and Elhakem, A. H. (2012) Role of glycine betaine and salicylic acid in improving growth vigour and physiological aspects of droughted wheat cultivars. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry* 8: 149-171
- Arafa, A. A., Khafagy, M. A. and El-Banna, M. F. (2009) The effect of glycinebetaine or ascorbic acid on grain germination and leaf structure of sorghum plants grown under salinity stress. *Australian Journal Crop Science* 3: 294-304.
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
- Aziz-Khan, H., Ziaf, Kh., Amjad, M. and Iqbal, Q. (2012) Exogenous application of polyamine improves germination and early seedling growth of hot pepper. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72: 429-433.
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254.
- Bor, M., Ozdemir, F. and Turkan, I. (2003) The effect of salt stress in lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science* 164: 77-84.
- Cakmak, I., Marschner, H. and Manesium, X. (1992) deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology* 98: 1222-1227.
- Chang, C., Yang, M., Wen, H. and Chern, J. (2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10: 178-182.

- Chen, W. P., Li, P. H. and Chen, T. H. (2000) Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduce chilling induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. *Plant, Cell and Environment* 23: 609-618.
- Dat, J. F., Lopez-Delgado, H., Foyer, C. H. and Scott, I. M. (1998) Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermo tolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiology* 116: 1351-1357.
- Demiral, T. and Turkan, I. (2005) Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 53: 247-257.
- Dey, S. K., Dey, J., Patra, S. and Pothal, D. (2007) Changes in antioxidative enzyme activity and lipid peroxidation in wheat seedlings exposed to cadmium and lead stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19: 53-60.
- Ellis, R. H. and Roberts, E. H. (1981) The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology* 9: 377-409.
- Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D. J., and Gunes, A. (2008) Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation* 55: 207-219.
- Fidalgo, F., Santos, A., Santos, I. and Salema, R. (2004) Effects of long-term salt stress on antioxidant defence systems, leaf water relations and chloroplast ultrastructure of potato plants. *Annals of Applied Biology* 145: 185-192.
- Flower, T. J. and dalmond, D. (1992) Protein syntetis in halophytes: the influence of potassium, sodium and magnesium in vitro. *Plant and Soil* 146: 153-161.
- Flower, T. J., Troke, P. F. and Yeo, A. R. (1999) The mechanism of salt tolerance in halophytes . *Annual Review of Plant Physiology* 28: 89-121
- Ghosh, S., bagchi. S. and majumer, A. L. (2001) Chloroplast fructose 16 bisphosphatase from oryza differs in salt tolerance property from the porteresia enzyme and is protected by osmolytesplant. *Plant Science* 160: 1171-1181
- Glenn, E., Miyamoto, S., Moore, D., Brown, J. J., Thompson, T. L. and Brown, P. (1997) Water requir ements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr. with seawater on sand in a coastal desert environment. *Journal of Arid Environments* 36: 711-730.
- Harinasut, P., Tsutsui, K., Takabe, T., Nomura, M. and Kishitani, S. (1996) Exogenous glycine betaine accumulation and increased salt tolerance in rice seedlings. *Bioscience, Biotechnolgy and Biochemistry* 60: 366-368.
- Harinasut, P., Poonsoa, D., Roengmongkol, K. and Charoensataporn, R. (2003) Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivar. *Science Asia* 29: 109-113.
- Horvath, E., Szalai, G., and Janda, T. (2007) Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation* 26: 290-300.
- Islam, M. M., Hoque, M. A., Okuma, E., Banu, M. N. A., Shimoishi, Y., Nakamura, Y. and Murata, Y. (2009) Exogenous proline and glycinebetaine increase antioxidant enzyme activities and confer tolerance to cadmium stress in cultured tobacco cells .*Journal of Plant Physiology* 166:1587-1597.
- Iqbal, N., Ashraf, M. and Ashraf, M. Y. (2008) Glycinebetaine, an osmolyte of interest to improve water stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.): water relations and yield. *South African Journal of Botany* 74: 274-281.
- Jamil, M., Lee, C. C., Rehman, S. U., Lee, D. B., Ashraf, M. and Rha, E. S. (2005) Salinity (NaCl) tolerance of Brassica species at germination andearly seedling growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 4: 970-976.
- Kausar, N., Nawaz, K., Hussain, K., Hayat Bhatti, K., Hussain Siddiqi, E. and Tallat, A. (2014) Effect of exogenous applications of glycine betaine on growth and gaseous exchange attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars under saline conditions. *World Applied Sciences Journal* 29: 1559-1565.
- Kanwal, S., Ashraf, M., Shahbaz, M. and Yasir, M. (2013) Influence of saline stress on growth, gas exchange nutrients and non- enzymatic antioxidants mungbean. *Pakistan Journal of Botany* 45: 763-771.
- Katschnig, D., Broekman, R. and Rozema, J. (2012) Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* Moss: growth, morphology and physiology. *Environmental and Experimental Botany* 92: 32-42.
- Klimczak, I., Maecka, M., Szlachta, M. and Gliszczyn, A. (2007) Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis* 20: 313-322.
- Korkmaz, A., Sirikci, R., Kocacinar, F., Deger, O., Demirkirian, A. R. (2012) Alleviation o salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. *Scientia Horticulturae* 148: 197-205.
- Lacerda, C. F. D., Cambraia, J., Oliva, M. A., Ruiz, H. A. and Prisco, J. T. (2003) Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 49: 107-120.
- Maestri, E., Klueva, N., Perrotta, C., Gulli, M., Hguyen, H. T. and Marmiroli, N. (2002) Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Plant Molecular Biology* 48: 667-81.
- Mathe, C., Barre, A., Jourda, C. and Dunand, C. (2010) Evolution and expression of class III peroxidases: *Archives of Biochemistry and Biophysics* 500: 58-65.
- Miliauskas, G., Venskutonis, P. R. and Vanbeek, T. A. (2004) Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry* 85: 231-237.

- Mishra, A. and Tanna, B. (2017) Halophytes potential resources for salt stress tolerance genes and promoters. *Frontiers in Plant Science* 8: 829.
- Moore, K. and Roberts, L. J. (1998) Measurement of lipid peroxidation. *Free Radical Research* 28: 71-659.
- Murata, N., Mohanty, P. S., Hayashi, H. and Papageorgiou, G. C. (1992) Glycinebetaine stabilizes the association of extrinsic proteins with the photosynthetic oxygen-evolving complex. *Febs Letters* 296: 187-189.
- Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867-880.
- Nawaz, K. and Ashraf, M. (2010) Exogenous application of glycinebetaine modulates activities of antioxidants in maize plants subjected to salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196: 28-37.
- Oliveira, V. P., Marques, E. C., Lacerda, C. F., Prisco, J. T., Gomes Filho, E. (2013) Physiological and biochemical characteristics of *Sorghum bicolor* and *Sorghum sudanense* subjected to salt stress in two stages of development. *African Journal of Agricultural Research* 8: 660-670.
- Rajpar, I., Khanif, Y. M., Soomro, F. M. and Sulfar, J. K. (2006) Effect of NaCl salinity on the growth and yield of Inqlab wheat (*Triticum aestivum* L.) variety. *American Journal of Plant Physiology* 1: 34-40.
- Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Shah, G. M., Khan, I. H and Raza, A. (2014) Exogenous application of glycinebetaine and potassium for improving water relations and grain yield of wheat under drought. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 14: 348-364.
- Scandalias, J. G. (1993) Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiology* 101: 7-12.
- Serraj, R. and Sinclair, T. R. (2002) Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plants, Cell and Environment* 25: 333-341.
- Silva, J. V., Lacerda, C. F. D. and Costa, D., (2003) Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 15: 15-19.
- Sidsel Fiskaa, H., Grethe, I., Borge, A., Knut, A. and Gunnar, B. (2009) Effect of cold storage and harvest data on bioactive compound in curly kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala). *Potharvest Biology and Technology* 51: 36-42.
- Smirnoff, N. and Stewart, G. R. (2003) Stress metabolites and their role in coastal plants. *Vegetation* 62: 273-278.
- Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D. and Agati, G. (2004) Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. *New Phytologist* 163: 547-561.
- Tawfik, K. M. (2008) Evaluating the use of Rhizobacterin on cowpea plants grown under salt stress. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 4: 26-33.
- Turrens, J. F., Freeman, B. A. and Crapo, J. D. (1982) Hypoxia increases H₂O₂ release by lung mitochondria and microsomes. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 217: 411-421.
- Ventura, Y., Wuddineh, W. A., Shpigel, M., Samocha, T. M., Klim, B. C., Cohen, S. and Sagi, M. (2011) Effects of day length on flowering and yield production of *Salicornia* and *Sarcocornia* species. *Scientia Horticulturae* 130: 510-516.
- Wyn Jones, R. G., Gorham, J. and McDonnell, E. (2002) Organic and inorganic solute contents as selection criteria for salt tolerance in the Triticeae. In: *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*. (eds. Staples, R. and Toennissen, G. H.) Pp. 189-203. Wiley and Sons, New York.
- Xiong, L., Schumaker, S. K. and Zhu, J. K. (2002) Cell signaling during cold, drought, and salt stress. *Plant Cell* (supplement 2002) 165-183.
- Xu, Q., Xu, X., Zhao, Y., Jiao, K., Herbert, S. J. and Hao, L. (2008) Salicylic acid, hydrogen peroxide and calcium induced saline tolerance associated with endogenous hydrogen peroxide homeostasis in naked oat seedlings. *Plant Growth Regulation* 54: 249-259.
- Yang, W. J., Rich, P. J., Axtell, J. D., Wood, K. V., Bonham, C. C., Ejeta, G., Mickelbart, M. V. and Rhodes, D. (2003) Genotypic variation for glycine betaine in sorghum. *Crop Science* 43:162-169.

The effect of glycine betaine to increase resistance of *Salicornia* plant (*Salicornia persica*) to salinity

Mohsen Abshenas, Mohammadali Esmaeili and Ayoub Heidarzade*

Agronomy Science, Sari Agricultural and Natural Resources University, Sari, Iran

(Received: 15/02/2018, Accepted: 23/06/2018)

Abstract

Due to increasing world population and consequently the further need to produce more food for humans and livestock, cultivation of saline soils for agriculture in arid and semi-arid areas is an obvious necessity. *Salicornia* (*Salicornia persica*), which relates to Chenopodiaceae family is a suitable option to be introduced to those regions. This study aimed to investigate the effects of different levels of glycine betaine priming and foliar application on *Salicornia* plant resistance to different levels of salinity. At first stage, salinity treatment of NaCl (150, 300, 450 and 600 mM) as the first factor and glycine betaine in five levels (0, 30, 60, 90 and 120 mM) as the second factors were used. The second stage was NaCl treatment at three levels (150, 300 and 450 mM) and also glycine betaines in three levels (0, 60 and 120 mM), as the first and second factors respectively. High levels of salinity in both stages delayed and suppressed germination and plant growth parameters of *salicornia* plant. Seed priming and glycine betaine foliar application reduced the negative effects of salinity on related indicators of germination as well as other traits. According to the results, seed priming with 90 and 120 mM glycine betaine and foliar application of 120 mM were the best treatments. In addition, the most suitable salinity levels for the growth and development of *Salicornia* were determined to be 300 mM of sodium chloride. According to the results, the negative impacts of salinity (with NaCl) on germination and seedling growth parameters of *Salicornia* plant were proved, but seed priming and foliar application of glycinebetaine greatly reduced the negative effects of salt stress on germination-related indices and other studied traits in this experiment.

Key words: Free radicals, Germination, Glycine betaine, *Salicornia*, Salinity stress

Corresponding author, Email: a.heidarzade@gmail.com