

ارزیابی رشد و برخی فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) تحت تنش شوری و گلايسين بتائين

رستم یزدانی بیوکی^{۱*}، حمید سودایی‌زاده^۲ و میلاد دوست حسینی^۲

^۱مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران، ^۲دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، یزد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵)

چکیده

تنش شوری یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش تولیدات کشاورزی است، که به طور روزافزون خطر جدی برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود. به منظور بررسی تأثیر گلايسين بتائين بر افزایش مقاومت به تنش شوری گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح شوری در چهار سطح ۳، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دسی زیمنس بر متر و گلايسين بتائين در دو سطح محلول‌پاشی با آب مقطر و غلظت ۵۰ میلی‌مولار گلايسين بتائين بود. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار سطوح شوری و تیمار گلايسين بتائين بر همه صفات مورد بررسی به جز تأثیر گلايسين بتائين بر میزان کاتالاز بود. همچنین تأثیر متقابل تنش شوری و گلايسين بتائين بر تمامی صفات به جز کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار بود. کاربرد گلايسين بتائين در تمامی سطوح تنش سبب افزایش طول ساقه، طول ریشه، نسبت طول ریشه به ساقه، عملکرد گیاه و سطح برگ گیاه نسبت به عدم کاربرد گلايسين بتائين شد، به طوری که در خصوص وزن خشک اندام هوایی بیش‌ترین وزن خشک گیاه در تیمار گلايسين بتائين در سطوح ۳ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد که نسبت به حالت بدون کاربرد گلايسين بتائين به ترتیب سبب افزایش ۵۸/۴۸ و ۴۷/۲۵ درصد در وزن خشک گیاه شد. ترکیبات پرولین، مالون دی‌آلدئید، کاتالاز و پراکسیداز با افزایش سطح تنش از ۳ به ۶۰ دسی زیمنس بر متر افزایش یافت. تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی پرولین، مالون دی‌آلدئید و پراکسیداز در گیاهان تحت تیمار گلايسين بتائين نسبت به عدم کاربرد گلايسين بتائين به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طور کلی نتایج بیانگر نقش مثبت گلايسين بتائين در کاهش اثرات ناشی از تنش شوری بر گیاه سیاه شور بود.

واژه‌های کلیدی: کاتالاز، مالون دی‌آلدئید، وزن خشک، هالوفیت

مقدمه

مهم‌افت شدید عملکرد در ایران می‌باشد (چم‌حیدر و فرهودی، ۱۳۹۸). هالوفیت‌ها گیاهانی سازگار به خاک شور (Kearl et al., 2019) دارای پتانسیل بالقوه اقتصادی هستند که علاوه بر کمک شایانی که به ترمیم و تجدید محیط‌زیست می‌کنند به عنوان ذخیره منابع دارویی هم استفاده شوند (Qasim

یکی از بزرگ‌ترین تنش‌های غیرزیستی و از عوامل اصلی محیطی محدودکننده رشد و عملکرد گیاه، شوری منابع آب و خاک است و این مشکل به دلیل شیوه‌های کشاورزی افزایش یافته است (Roohi et al., 2011). تنش شوری یکی از عوامل

*نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: r.yazdani@areeo.ac.ir

et al., 2011). افزایش علاقه به مطالعه در مورد هالوفیت‌ها نشان‌دهنده‌ی شناخت پتانسیل عظیم آن‌ها به‌عنوان یک منبع ارزشمند و ارزش‌افزوده محصولات آن است (Khan et al., 2019; Hussain et al., 2003; Loconsole et al., 2009).

سیاه شور *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk. خانواده اسفناج (Chenopodiaceae) چندساله، درختچه‌ای، به ارتفاع ۱۶۰ سانتی متر و قطر تاج ۳ متر می‌باشد. پراکنش این گیاه از شرق مصر، لبنان، اردن، پاکستان و مرکز و جنوب ایران (باقی) است. در پاکستان به طور محلی اهمیت زیادی دارد چرا که توسط شترها چرا می‌شود، مردم این گیاه را به عنوان سوخت می‌سوزانند و برای تهیه نوعی ماده شوینده که برای شستن لباس است استفاده می‌کنند (Schutze et al., 2003). از نظر پزشکی این گیاه برای درمان زخم‌ها استفاده می‌شود، این گیاه ملین، ادرارآور و استفراغ آور است (Shutze et al., 2003). (Hameed et al., 2012) با کاربرد پراکسید هیدروژن و اسید اسکوربیک در سطوح شوری ۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار نمک طعام بر فعالیت آنزیمی و رشد سیاه شور نشان دادند که با افزایش شوری رشد گیاه کاهش یافت به طوری که کاربرد پراکسید هیدروژن در این سطح شوری تنها سبب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی شد و نتوانست از کاهش عملکرد جلوگیری کند، اما کاربرد اسید اسکوربیک با افزایش فعالیت اسمزی و آنزیمی از کاهش عملکرد ممانعت کرد.

باتوجه به مشاهدات Haraguchi و Matsuda (۲۰۱۸) بر روی گونه *Suaeda japonica* حاکی از آن بود که این هالوفیت قادر به جوانه زنی در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار می‌باشد، هر چند که درصد قابل توجه‌ای از درصد جوانه زنی آن کاهش یافت. کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین به عنوان متداولترین محلول آلی سازگار است که در برابر تنش باعث تثبیت ساختارهای سلولی و پروتئین‌های کارکردی شده و تمامیت غشای سلول را در مقابل عوامل تنش‌زا حفظ می‌کند (Nawaz and Ashraf, 2010). در شرایط تنش، گلاسیسین بتائین می‌تواند از فعالیت‌های فتوسنتزی شامل آنزیم‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها و لیپیدها در غشاهای تیلاکوئیدی در ترکیب فتوسیستم دو

محافظت کند (Papageorgiou et al., 1991). همچنین وظیفه حفاظت از غشاهای سلولی در مقابل تنش‌های اسمزی درون گیاه را بر عهده دارد (Laurie and Stewart, 1990). تاثیر گلاسیسین بتائین بر تحمل به شوری بسیاری از گیاهان گزارش شده است (Salama 2009; Shalata and Athar et al. 2008; Neumann 2001).

تاثیر غلظت‌های ۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مول بر لیتر نمک طعام بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه گونه از هالوفیت سالیکورنیا حاکی از آن بود که با افزایش غلظت نمک در محیط ریشه، هر سه گونه با تجمع پرولین و گلاسیسین بتائین و از طریق کاهش پتانسیل اسمزی، در غلظت‌های بالای نمک زنده ماندند (طبیعی و قنبری، ۱۳۹۸).

همچنین مطالعه گلاسیسین بتائین بر سالیکورنیا تحت تنش شوری حاکی از اثر مثبت گلاسیسین بتائین بر گیاه بود (آب شناس، ۲۰۱۷).

کاربرد جیبرلیک اسید در سطوح مختلف تنش شوری بر گیاه سیاه شور حاکی از آن بود که با افزایش شوری تا ۶۰۰ میلی‌مولار رشد گیاه کاهش یافت اما کاربرد جیبرلیک اسید در این سطح تنش سبب جلوگیری از کاهش رشد گیاه شد (Khan et al., 2000).

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده تاکنون مطالعه‌ای در زمینه اثر بر هم‌کنش الیستور زیستی گلاسیسین بتائین و شوری بر رشد و فعالیت آنزیمی سیاه شور صورت نگرفته است، بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی ویژگی‌های کمی و آنزیمی سیاه شور تحت تاثیر کاربرد گلاسیسین بتائین بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل اثر چهار سطح شوری ۳، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر و اثر گلاسیسین بتائین (عدم محلول پاشی و غلظت ۵۰ میلی‌مولار محلول پاشی) بر گونه سیاه شور

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	اسیدیته	کربن آلی (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)
۳/۸۱	۷/۴۸	۰/۰۱	۶/۶۴	۱۵۵	۸۰/۳۶	۸/۶۴	۱۱

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

تیما	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	Ca ²⁺ (meq l ⁻¹)	Mg ²⁺ (meq l ⁻¹)	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
منبع آب غیر شور	۳	۸/۰۵	۹/۷	۸/۴۲	۰	۲/۸۹
منبع آب شور رقیق شده $\frac{1}{50}$	۱۰	۸/۰۰	۳/۲۶	۱۲/۸۸	۰	۲/۷۷
	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	نسبت جذب سدیم SAR	
منبع آب غیر شور	۱۱/۷۴	۰/۱	۱۷/۳۱	۹/۷۵	۳/۹	
منبع آب شور رقیق شده $\frac{1}{50}$	۸۰/۷۳	۰/۲۱	۸۶/۴۸	۷/۸۲	۲۸/۸۳	

آبیاری گلدان‌ها استفاده شد.

ارزیابی شوری هر نوبت بعد از آبیاری که ۳۰ درصد زهکشی داشت توسط قیف‌ها به شیشه هدایت و جمع‌آوری شد، و سپس میزان شوری با دستگاه EC متر مدل WTW اندازه‌گیری شد تا از حد ۱/۵ برابر شوری تجاوز نکند. اولین محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین ۱۰ روز بعد از اعمال تنش انجام گرفت و سپس به فاصله یک هفته تا زمان برداشت محلول پاشی تکرار شد. برای این منظور گلاسیسین بتائین با آب کاملاً مخلوط شد و به وسیله سمپاش دستی به طور کامل روی بوته اسپری گردید به گونه‌ای که سطوح اندام هوایی گیاه، ساقه و برگ به طور کامل پوشش داده شد (Vadzadeh et al., 2017). پس از اتمام آزمایش صفات مورفولوژیک از قبیل سطح برگ (با استفاده از دستگاه Windias 3)، طول ساقه، طول ریشه، نسبت طول ریشه به ساقه، وزن خشک ساقه و ریشه محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری طول ساقه و ریشه ابتدا از محل یقه ساقه و ریشه از هم جدا گردید، سپس نمونه‌ها با خط‌کش با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفتند و بعد از آن

بررسی شد. جهت انجام آزمایش بذرهای این گونه از مناطق شهرستان بافق یزد جمع‌آوری شد و توسط موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور شناسایی شد. سپس بذرها به مدت ۲۴ ساعت در آب خیس‌انده شده و به مدت ۲۴ ساعت دیگر در پارچه کفنی خیس قرار داده شد و بعداً در داخل کیسه‌های پلاستیکی دو کیلویی کشت و با آب سه دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شد. جهت پر نمودن کیسه نشا از مخلوط خاک (دوسوم) و به میزان مساوی مخلوط کود و ماسه (یک سوم) استفاده شد. وقتی سن نهال‌ها به یکماه رسید، در گلخانه مرکز ملی تحقیقات شوری (با دمای روز ۲۵ درجه حرارت سانتی‌گراد و دمای شب ۱۵ درجه سانتی‌گراد و میزان نور ۸ ساعت) در گلدان‌هایی با حجم ۲۱ کیلوگرم خاک منتقل شد (جدول ۱) و تیمارهای شوری بر گیاهان به مدت چهار ماه اعمال شد.

جهت آماده‌سازی تیمارهای مختلف شوری از آب چاه مرکز ملی تحقیقات شوری به عنوان آب غیر شور و آب چشمه‌های کویر عقدا (اردکان) با شوری ۵۰۰ دسی‌زیمنس استفاده شد (جدول ۲)، به این منظور قبل از آبیاری سطوح مختلف شوری با رقیق‌سازی آب شور تهیه و با توجه به نیاز

وزن خشک توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

برای تعیین ویژگی‌های آنزیمی این گیاه ابتدا عصاره آنزیمی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تهیه و بررسی فعالیت آنزیم‌ها به روش اسپکتروفتومتری در دمای آزمایشگاه (25 ± 2) و با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Specord 210plus اندازه‌گیری شد به طوری که فعالیت آنزیم کاتالاز به روش (Aebi, 1984)، محتوای پروکلین با استفاده از روش (Bates et al., 1973)، سنجش مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش (Heath and Packer 1968) ارزیابی شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Ver. 9.2 SAS صورت پذیرفت. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. رسم نمودارها با استفاده از محیط نرم‌افزار MS Excel Ver. 13 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تیمارهای شوری و گلايسين بتائين بر همه صفات مورد بررسی به جز تاثیر گلايسين بتائين بر آنزيم کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل شوری و گلايسين بتائين نیز بر تمامی صفات به جز کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۳).

طول ساقه و طول ریشه: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش تنش شوری سبب کاهش طول ساقه در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد گلايسين بتائين شد (شکل ۱).

گوان و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تأثیر تنش شوری بر رشد گونه *Suaeda salsa* نشان دادند که ارتفاع بوته به طور معنی‌داری تحت تنش شوری قرار گرفت. همچنین ذاکری اصل و همکاران (۱۳۹۳) با اعمال تیمارهای شوری در سطوح ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دسی زیمنس بر متر بیان کردند که ارتفاع گیاه سیاه شور مصری بطور معنی‌داری با افزایش میزان شوری، کاهش پیدا می‌کند. در واقع باتوجه به اینکه سیاه شور جزو هالوفیت‌ها محسوب می‌شوند اما در عین حال افزایش شوری بیش از حد نهایی تحمل هالوفیت‌ها باعث کاهش عملکرد ماده

خشک آن‌ها می‌گردد (Flowers and Colmer, 2008). تحقیقات حاکی از آن است که علت کاهش فرآیندهای رشدی در گیاه سیاه شور با افزایش تنش شوری، به سبب ممانعت از فعالیت‌های اسید جیبرلیک و کینتین می‌باشد (Khan et al., 2000). گزارشات حاکی از آن است که محدودیت روزنه‌ای فتوسنتز عامل مهمی در کاهش رشد هالوفیت‌ها در شرایط شور است (Zhao et al., 2017).

در مطالعه حاضر کاربرد گلايسين بتائين در تمامی سطوح تنش سبب افزایش طول ساقه گیاه نسبت به عدم کاربرد گلايسين بتائين شد (شکل ۱). بیشترین طول ساقه ($105/76$ سانتی‌متر) در تیمار شوری ۳ دسی زیمنس بر متر و کاربرد گلايسين بتائين مشاهده شد که با افزایش $40/76$ درصدی نسبت به کمترین طول ساقه که در تیمار شوری ۶۰ دسی زیمنس و عدم مصرف گلايسين بتائين بود، مشاهده شد. کاربرد گلايسين بتائين نسبت به عدم مصرف آن به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار $29/71$ ، $29/33$ ، $28/12$ و $17/70$ درصد در تیمارهای شوری ۳، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دسی زیمنس بر متر شد (شکل ۱).

با افزایش سطوح مختلف شوری در هر دو تیمار کاربرد و عدم کاربرد گلايسين بتائين، طول ریشه کاهش یافت، به طوری این کاهش در تیمار گلايسين بتائين در شوری ۱۰ و ۳۰ دسی زیمنس بدون اختلاف معنی‌دار بود ($p < 0.05$) (شکل ۲). همچنین مصرف گلايسين بتائين نیز به طور معنی‌داری سبب افزایش این صفت شد. به ترتیب بیشترین و کمترین طول ریشه با اختلاف $92/46$ درصد در تیمار شوری ۳ (کاربرد گلايسين بتائين) و ۶۰ دسی زیمنس بر متر (عدم کاربرد گلايسين بتائين) مشاهده شد (شکل ۲). کاربرد گلايسين بتائين نسبت به عدم کاربرد آن در تیمارهای ۳، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس سبب افزایش طول ریشه به ترتیب به میزان حدوداً ۲۷، ۲۳، ۲۴ و ۲۱ سانتی‌متر شد (شکل ۲).

مطالعات مختلف نقش گلايسين بتائين در کاهش اثرات منفی تنش بر روی گیاهان مختلف نظیر پنبه (Gorham et al., 2000) و سورگوم (کدخدائی و همکاران، ۱۳۹۵) و ذرت

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مختلف اثر شوری و گلايسين بتائين بر برخی ویژگی‌های *Suaeda fruticosa*

منابع تغییرات						میانگین مربعات					
درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	نسبت طول ریشه به ساقه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	درجه آزادی	سطح برگ	پرولین	مالون دی آلدئید	کاتالاز	پراکسیداز
شوری	۳	۱۵۶/۳۲**	۱۶۸/۶۰**	۰/۰۰۳**	۳۹/۵۱**	۴/۲۰**	۰/۰۲**	۲/۷۵**	۱۴۶۲۴/۶۶**	۰/۴۷**	۰/۵۱**
گلايسين بتائين	۱	۲۵۷۵/۰۸**	۳۴۳۲/۰۴**	۰/۰۸**	۸۴۳/۱۲**	۱۲/۳۸**	۰/۲۶**	۰/۲۷*	۳۶۲۴/۵۶**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۳۸**
شوری×گلايسين بتائين	۳	۳۷/۸۹**	۹/۰۶**	۰/۰۰۱*	۱۲/۱۰**	۰/۸۰**	۰/۰۰۵**	۰/۴۹**	۳۷/۷۳*	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}
خطا	۱۶	۲/۲۳	۰/۸۵	۰/۰۰۰۲	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۵	۸/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳
ضریب تغییرات (%)		۱/۶۸	۱/۶۱	۲/۶۰	۲/۹۶	۱/۹۶	۰/۷۳	۶/۱۳	۰/۵۰	۱۹/۲۰	۱۷/۶۲
منابع تغییرات						میانگین مربعات					

*, **, و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.

مطالعه نیز گلايسين بتائين با افزایش آماس سلولی سبب افزایش رشد ساقه و ریشه شده است.

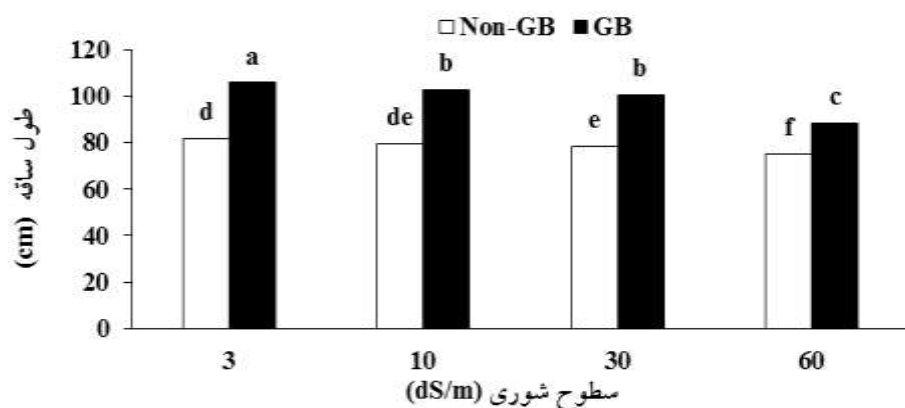
نسبت طول ریشه به ساقه: با افزایش تنش شوری نسبت طول ریشه به ساقه در تیمار بدون گلايسين بتائين به طور معنی داری کاهش یافت اما در تیمار کاربرد گلايسين بتائين به جز کاهش این صفت از تیمار ۳ به ۱۰ دسی زیمنس بر متر، در سایر تیمارهای شوری ۱۰، ۳۰ و ۶۰ تیمار گلايسين بتائين سبب حفظ این نسبت شد (شکل ۳).

کاربرد گلايسين بتائين به ترتیب در سطوح شوری ۳، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دسی زیمنس بر متر سبب افزایش معنی‌دار ۲۰، ۱۵، ۱۹ و ۳۰ درصد نسبت طول ریشه به ساقه شد (شکل ۳). نسبت طول ریشه به ساقه که با نام ضریب آلومتریکی نیز شناخته می‌شود، این ضریب با کاهش آب قابل استفاده برای گیاه در ارتباط است و نمایانگر نوعی از تحمل به خشکی است. این نسبت اگرچه تحت کنترل ژنتیکی است ولی به طور

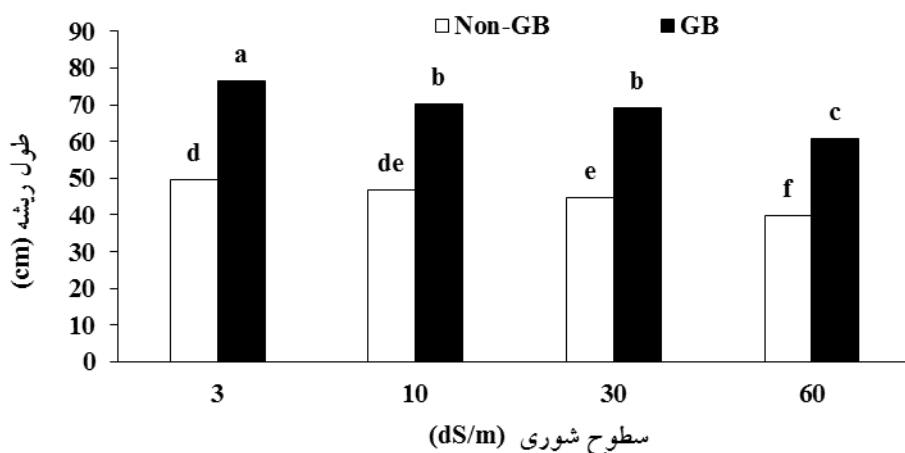
(میری و ضمانی مقدم، ۱۳۹۳) گزارش شده است.

کاربرد غلظت‌های ۰، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار گلايسين بتائين بر روی گلرنگ تحت سطوح تنش شوری ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نشان داد که گیاهان تحت تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار گلايسين بتائين در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش طول گیاه شد (Alasvandyari et al. 2017).

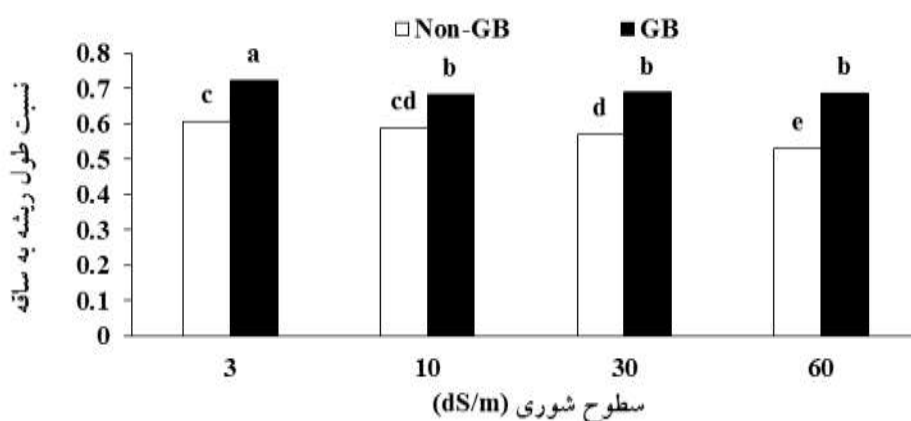
بطورکلی گلايسين بتائين در گیاهان باعث افزایش پتانسیل اسمزی شده و در نتیجه با جذب آب توسط گیاه آماس سلول ها افزایش پیدا می کند. از آنجا که رشد و نمو گیاهان بستگی به سرعت تولید و بزرگ شدن سلول های جدید دارد و گیاهان فقط در حالت آماس، قادر به تقسیم سلولی هستند، با ایجاد حالت آماس توسط گلايسين بتائين تقسیم سلولی افزایش پیدا کرده و رشد گیاه در حالت محلول پاشی این ماده را سبب شده است (کدخدائی و همکاران، ۱۳۹۵). به نظر می رسد در این



شکل ۱- تاثیر گلابسین بتائین (GB) بر طول ساقه گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) در سطوح مختلف تنش شوری (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).



شکل ۲- تاثیر گلابسین بتائین (GB) بر طول ریشه گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) در سطوح مختلف تنش شوری (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).



شکل ۳- تاثیر گلابسین بتائین (GB) بر نسبت طول ریشه به ساقه گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) در سطوح مختلف تنش شوری (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

عملکرد ممانعت کرد (Hameed et al., 2012).

در تیمار بدون گلايسين بتائين مانند وزن خشک اندام هوایی، با افزایش شوری تا سطح ۳۰ دسی زیمنس بر متر، افزایش وزن خشک ریشه مشاهده شد و سپس با افزایش شوری کاهش یافت، به طوری که بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه به ترتیب در تیمار ۳۰ و ۶۰ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد.

مطالعات در رشد هالوفیت *Crithmum maritimum* حاکی از رشد ریشه گیاه به طور معنی داری در سطح نمک متوسط ۵۰ میلی مولار نمک طعام بوده است اما در شوری ۲۰۰ میلی مولار به شدت کاهش داشته، به طوری که افزایش تولید زیست توده در سطح تنش ۵۰ میلی مولار نمک طعام افزایش طول ریشه گزارش شده است (Amor et al., 2005).

پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۴) نیز در بررسی سیاه‌شور *Suaeda fruticosa* به نتایج مشابهی دست یافتند. با توجه به مطالعه حاضر و نتایج سایر محققان (Amor et al., 2005)؛ پور اسماعیل و همکاران، (۱۳۸۴) به نظر می‌رسد گیاهان هالوفیت با خاصیت نمک دوستی خود، افزایش عملکرد را در سطوح اولیه تنش (۲۰ و ۳۰ دسی زیمنس) نشان می‌دهند.

نتایج مقایسات میانگین حاکی از تاثیر مثبت و معنی‌دار کاربرد گلايسين بتائين در افزایش وزن خشک ریشه در سطوح مختلف شوری بود، به طوری که به ترتیب در سطوح ۳، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دسی زیمنس بر متر افزایش ۱/۵، ۱، ۰/۸۱ و گرم در بوته وزن خشک ریشه نسبت حالت بدون تیمار گلايسين بتائين مشاهده شد (شکل ۵).

در این مطالعه به نظر می‌رسد به سبب استعمال خارجی گلايسين بتائين از فعالیت‌های آن‌تی اکسیدانی خود گیاه جلوگیری شده است و در نتیجه انرژی گیاه جهت مقابله با تنش استفاده نشده است و لذا افزایش رشد اندام هوایی و ریشه گیاه مشاهده شده است، همچنین گلايسين بتائين با تاثیر بر جذب یون‌ها می‌تواند وضعیت تغذیه‌ای گیاه و تنظیم اسمزی را تحت تاثیر قرار دهد (Hassanein et al., 2009). از طرف دیگر در افزایش سرعت فتوسنتز نقش مهمی ایفا می‌کند

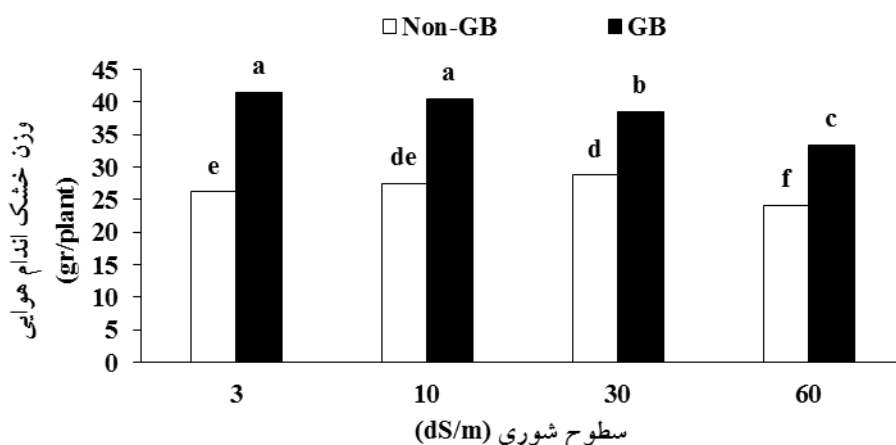
شدیدی تحت تاثیر محیط هم می‌باشد (جعفریان جلودار و روخ‌فیروز، ۱۳۹۱). نتایج مطالعه حاضر حاکی از تاثیر مثبت گلايسين بتائين در افزایش نسبت طول ریشه به ساقه می‌باشد، باتوجه به بنابراین به نظر می‌رسد در این مطالعه گلايسين بتائين با حفظ فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه در شرایط تنش منجر به بهبود رشد گیاه شده است (Gorham et al., 2000).

وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه: نتایج تیمار
عدم کاربرد گلايسين بتائين نشان داد که با افزایش میزان شوری تا ۳۰ دسی زیمنس بر متر وزن خشک اندام هوایی سیاه‌شور به‌طور معنی‌داری افزایش و پس از آن با افزایش شوری کاهش یافت (شکل ۴).

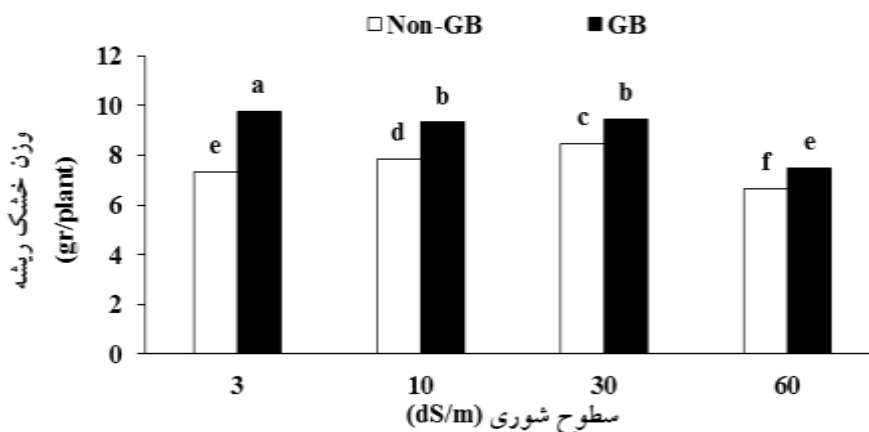
تیمار ۶۰ دسی زیمنس بر متر وزن خشک اندام هوایی را نسبت به تیمار ۳ دسی زیمنس بر متر ۸ درصد کاهش داد. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان برداشت کرد که این گونه می‌تواند به سطح تنش شوری تا ۳۰ دسی زیمنس بر متر مقاومت و نیز بیش‌ترین عملکرد را داشته باشد. خان و همکاران (۲۰۰۰) نتیجه گرفتند که بیش‌ترین بیوماس تولیدی سیاه‌شور در ۲۰۰ مول بر متر مکعب کلرید سدیم اتفاق می‌افتد. ذاکری اصل و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی اثر شوری بر رشد هالوفیت سیاه‌شور مصری نتیجه گرفتند که با افزایش شوری تا سطح ۲۰ دسی زیمنس بر متر وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت و با افزایش بیشتر شوری وزن خشک کاهش یافت.

کاربرد گلايسين بتائين نسبت به عدم کاربرد آن سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گیاه سیاه‌شور شد، به طوری که بیش‌ترین وزن خشک گیاه در تیمار کاربرد گلايسين بتائين در سطوح ۳ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد که نسبت به حالت بدون کاربرد گلايسين بتائين سبب افزایش ۵۸/۴۸ و ۴۷/۲۵ درصد در وزن خشک گیاه شد (شکل ۴).

با کاربرد اسید اسکوربیک در سطوح شوری ۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی مولار بر فعالیت آنزیمی و رشد سیاه‌شور مشاهده شد که با افزایش شوری رشد گیاه کاهش یافت به طوری که کاربرد اسید اسکوربیک با افزایش فعالیت اسمزی و آنزیمی از کاهش



شکل ۴- تاثیر گلايسين بتائين (GB) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) در سطوح مختلف تنش شوری (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).



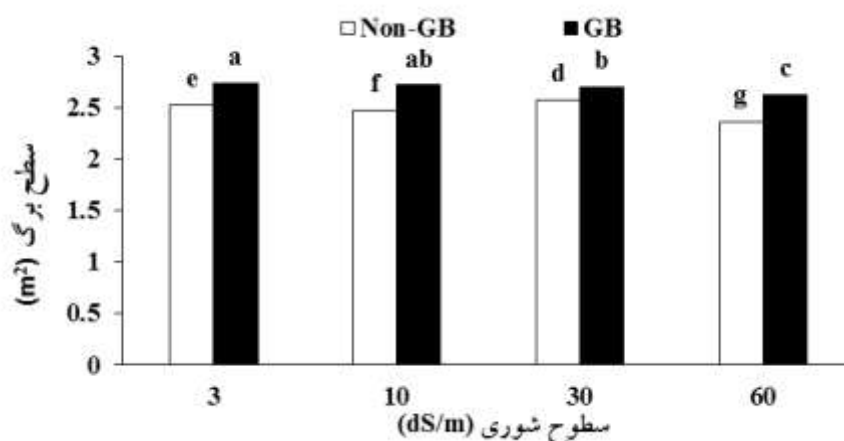
شکل ۵- تاثیر گلايسين بتائين (GB) بر وزن خشک ریشه گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) در سطوح مختلف تنش شوری (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

افزایش یافت، لذا سطح برگ گیاه نیز افزایش می‌یابد. Amor *et al.* (۲۰۰۵) افزایش تعداد برگ های گیاهان هالوفیت *Crithmum maritimum* را در سطوح شوری اولیه (۵۰ میلی مولار) گزارش کردند و کاهش ۵۰ درصد کاهش سطح برگ را در شوری ۱۵۰ میلی مولار نمک طعام به سبب عدم تعادل یونی دانستند.

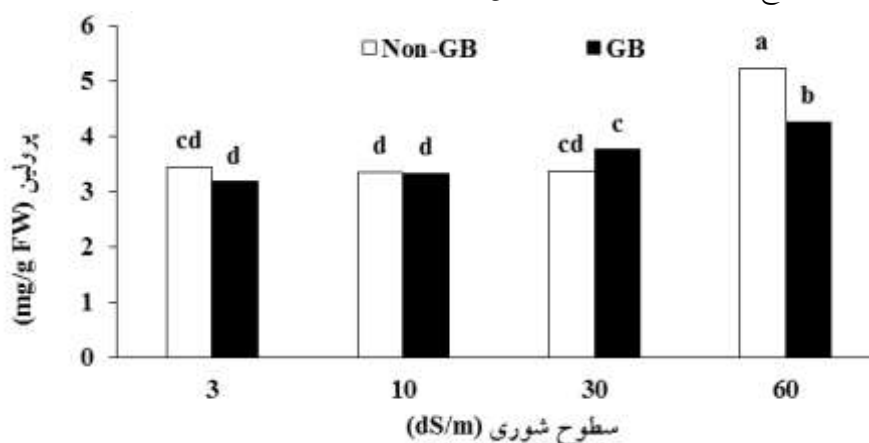
در تمامی سطوح شوری استفاده از گلايسين بتائين سبب افزایش معنی دار سطح برگ گیاه شد، به طوری که گلايسين بتائين سبب افزایش ۰/۲۱، ۰/۲۴، ۰/۱۲ و ۰/۲۵ مترمربع سطح برگ به ترتیب در سطوح ۳، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دسی زیمنس بر متر

و موجب بهبود تولید و انتقال مواد آسیمیله می‌گردد (Chen *et al.*, 2000) که همه این موارد می‌توانند از دلایل افزایش پارامترهای رشد باشد.

سطح برگ: با افزایش تنش شوری در تیمار بدون گلايسين بتائين سطح برگ تا سطح شوری ۳۰ دسی زیمنس بر متر افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۶). کمترین مقدار این صفت در شوری ۶۰ دسی زیمنس بر متر بدست آمد که نسبت به تیمار ۳، ۱۰ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۶). انتظار می‌رود باتوجه به اینکه وزن خشک اندام هوایی سیاه شور تا شوری ۳۰ دسی زیمنس بر متر



شکل ۶- تاثیر گلايسين بتائين (GB) بر سطح برگ گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) در سطوح مختلف تنش شوری (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).



شکل ۷- تاثیر گلايسين بتائين (GB) بر میزان پرولین گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) در سطوح مختلف تنش شوری (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

شد (شکل ۶). فعالیت آنتی اکسیدانی از کاهش میزان آب برگ و کاهش سطح آن جلوگیری کرده است و لذا موجب افزایش سطح برگ گیاه می‌شود.

پرولین: در سطوح شوری ۳، ۱۰ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری در میزان پرولین سیاه شور در تیمارهای کاربرد گلايسين بتائين و عدم کاربرد گلايسين بتائين مشاهده نشد، اما در شوری ۶۰ دسی زیمنس بر متر گیاهان بدون گلايسين بتائين ۲۳ درصد پرولین بیشتری نسبت به تیمار گلايسين بتائين داشتند (شکل ۷).

میزان پرولین با افزایش شوری، افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده تنظیم اسمزی سلول در تنش شوری است

یکی از راهکارهای گیاه در برابر تنش، کاهش سطح برگ گیاه می‌باشد، که در واقع گیاه سطح تعرق خود را کاهش می‌دهد اما کاهش سطح برگ سبب کاهش میزان فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد خواهد شد (Michelbart et al., 2006). مطالعات حاکی از آن است که گلايسين بتائين از کاهش سطح برگ در شرایط تنش جلوگیری می‌کند (محمد زمانی و همکاران، ۱۳۹۱). افزایش غلظت نمک تا ۳۰۰ میلی‌مولار سبب کاهش محتوای سبزینه‌ها در هالوفیت *Atriplex lentiformis* شد (Benjamin, 2017). به نظر می‌رسد اسمولیت گلايسين بتائين با خاصیت تنظیم کنندگی اسمزی و تاثیر بر افزایش

(Vendruscolo et al., 2007). پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی تنش شوری بر گونه سیاه شور دریافتند که میزان پرولین با افزایش سطوح شوری افزایش می‌یابد، ولی این افزایش فقط در تیمارهای ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی مولار معنی‌دار بوده و به این نتیجه رسیدند که تا غلظت ۳۰۰ میلی مولار نمک طعام تنش اسمزی به این گیاه وارد نشده است. در مطالعه‌ای بر روی دو گونه هالوفیت *Salicornia prostrata* Pall. و *Suaeda prostrata* Pall. نسبت به شوری در محیط طبیعی گزارش شده است که سطح پرولین گیاه افزایش یافت و آن را به عنوان یک مکانیزم جهت تحمل به شوری در هالوفیت‌ها بیان کردند (Akcın and Yalcın, 2016). افزایش غلظت نمک از ۵۰ به ۳۰۰ میلی‌مول سبب افزایش میزان پرولین هالوفیت *Atriplex lentiformis* به میزان حدوداً ۶ برابر شد (Benjamin, 2017). در مطالعه حاضر به نظر می‌رسد باتوجه به نقش مثبت گلايسين بتائين در افزایش هورمون‌های رشد، در تنش شوری ۶۰ دسی زیمنس بر متر رشد گیاه نسبت به حالت بدون کاربرد گلايسين بتائين بیشتر شد و لذا افزایش پرولین در این حالت ضروری به نظر نمی‌رسد، در واقع تجمع پرولین در اثر تنش یک واکنش عمومی است و در عین حال غلظت بالای پرولین در بسیاری از موارد برای حیات گیاهان لازم بوده و همچنین در مواردی نیز بر روی متابولیسم‌های حیاتی گیاهان اثرات منفی و جبران‌ناپذیری را بر جای می‌گذارد و باعث مهار رشد می‌شود (درویژه و همکاران، ۱۳۹۶).

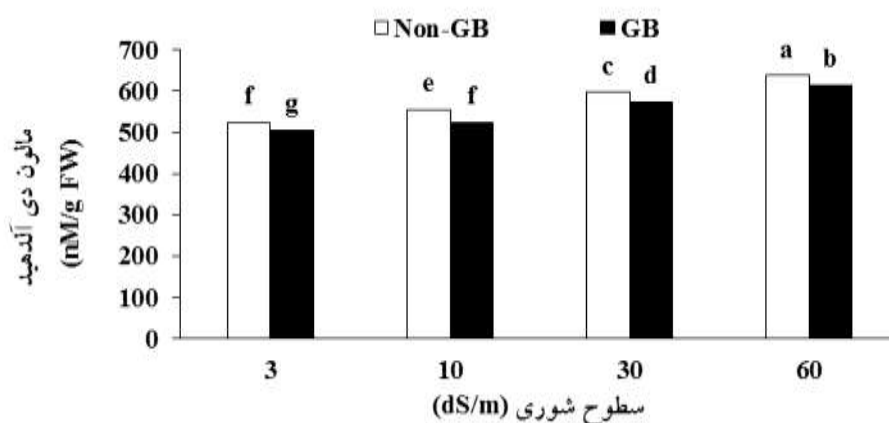
مالون دی آلدهید: در هر دو تیمار گلايسين بتائين و بدون گلايسين بتائين، افزایش سطح تنش شوری از ۳ تا ۶۰ دسی زیمنس سبب افزایش غلظت مالون دی آلدهید بود، اما در تمامی سطوح شوری میزان مالون دی آلدهید به طور معنی‌داری در گیاهان تیمار شده با گلايسين بتائين از تیمار بدون گلايسين بتائين کمتر بودند، به طوری کاربرد گلايسين بتائين به ترتیب در سطوح شوری ۳، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دسی زیمنس بر متر سبب کاهش معنی‌دار ۳/۸۷، ۵/۷۳، ۳/۸۹ و ۳/۵۹ درصد در میزان مالون دی آلدهید گیاه شد (شکل ۸). تنش شوری به دلیل برهم زدن تعادل متابولیکی، کمبود مواد غذایی، تنش

اسمزی و کم آبی و القای بستن روزنه‌ها موجب تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تنش اکسیداتیو می‌گردد. رادیکال‌های آزاد تولید شده در طی تنش شوری می‌توانند باعث پراکسیداسیون لیپیدها شده و موجب تولید مالون‌دی‌آلدهید به عنوان یک محصول تجزیه‌ی اسیدهای چرب غیر اشباع گردند (Noreen et al., 2010).

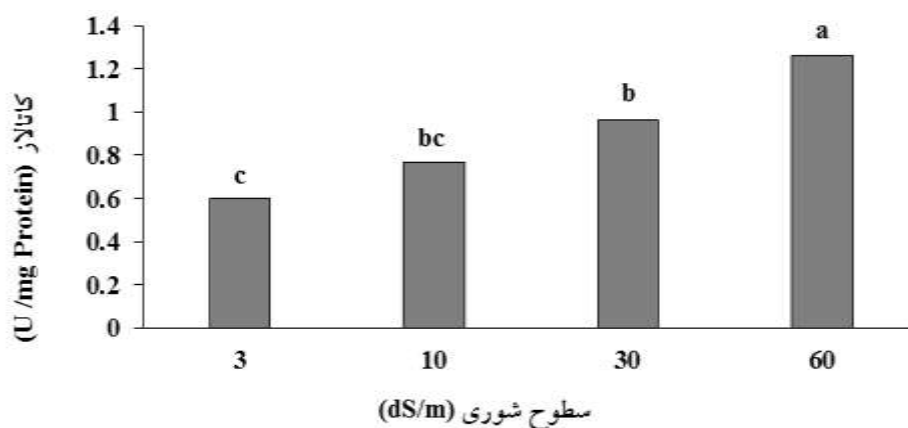
افزایش اسمولیت گلايسين بتائين در کنار افزایش هیدرات‌های کربن از پاسخ‌های مهم فیزیولوژیک گیاهان تحت شرایط افزایش غلظت نمک می‌باشد (طیبی و قنری، ۱۳۹۸). به نظر می‌رسد در این مطالعه باتوجه به تاثیر مثبت گلايسين بتائين نسبت به عدم کاربرد گلايسين بتائين در رشد گیاه، تولید کمتر مالون دی آلدهید در تیمارهای گلايسين بتائين نسبت به گیاهان بدون گلايسين بتائين قابل توجیه باشد.

کاتالاز: نتایج مقایسات میانگین نشان داد که میزان آنزیم کاتالاز با افزایش سطوح شوری از ۳ تا ۶۰ دسی زیمنس بر متر به طور معنی‌داری افزایش یافت، به طوری که این افزایش حدود ۲ برابر بود (شکل ۹). گیاهان تحت تیمار در سطوح شوری ۱۰ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر از لحاظ میزان کاتالاز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۹).

چم حیدر و فرهودی (۱۳۹۸) گزارش کردند که افزایش شوری سبب افزایش میزان آنزیم کاتالاز شد و این افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی سبب کاهش تخریب غشا سلولی ناشی از اثرات منفی رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. در واقع آنزیم کاتالاز یکی از آنزیم‌های مهم در گیاهان است برای پی بردن به میزان فعالیت این آنزیم از میزان اکسیژن آزاد شده استفاده می‌کنیم. اگر اکسیژن آزاد شده زیاد باشد فعالیت آنزیم بیشتر خواهد بود. افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن باعث می‌شود سازوکارهای متنوعی برای کاهش اثرات سمی تنش اکسیداتیو در گیاه فعال شود. در این شرایط ممکن است میزان آنتی-اکسیدان‌ها و آنزیم‌های مهار کننده ROS افزایش یابد که می‌توانند تنش اکسیداتیو را خنثی نموده و یا تخفیف دهند. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان سریع‌ترین واحدهای مقابله کننده در برابر حمله اکسیژن‌های فعال در تنش



شکل ۸- تاثیر گلیاسین بتائین (GB) بر مالون دی آلدهید گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) در سطوح مختلف تنش شوری (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).



شکل ۹- تاثیر سطوح مختلف شوری بر مقدار کاتالاز گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

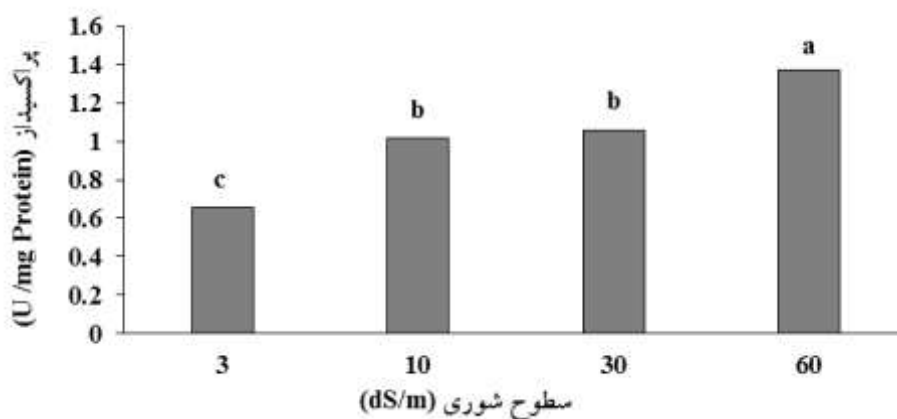
pleraea L. نسبت به تنش کلرید سدیم گزارش کردند که اثر تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز معنی‌دار بودند. گیاهان برای پالایش انواع اکسیژن فعال سازوکارهای مختلفی را به کار می‌گیرند که می‌توان به تولید کاتالاز و پراکسیداز اشاره کرد (Tiryakioglu et al., 2006).

گیاهان محلول پاشی با گلیاسین بتائین نسبت به گیاهان بدون کاربرد گلیاسین بتائین از میزان پراکسیداز پایین‌تری برخوردار بودند، به طوری که کاربرد گلیاسین بتائین سبب کاهش معنی‌داری ۲۲/۶۰ درصد پراکسیداز شد (شکل ۱۱).
باتوجه به نقش پراکسیداز در فرآیند زدودن رادیکال‌های

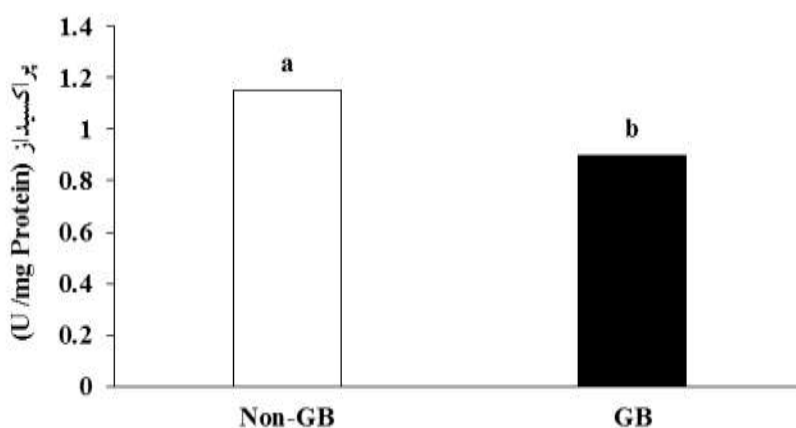
شوری توسط محققان متعددی گزارش شده است (Parida and Das, 2005).

پراکسیداز: آنزیم پراکسیداز نیز مانند آنزیم پرولین با افزایش سطوح شوری، افزایش یافت ($p < 0.01$) (شکل ۱۰). با افزایش شوری از ۳ تا ۶۰ دسی زیمنس بر متر میزان افزایش پراکسیداز گیاه برابر با ۰/۷۲ واحد بر میلی گرم پروتئین بود (شکل ۱۰). دو سطح تنش ۱۰ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر تاثیر معنی‌داری بر مقدار پراکسیداز سیاه شور نداشتند (شکل ۱۰).

مرادیان و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و میزان سدیم، پتاسیم و محتوای رنگدانه در گیاه هالوفیت اسفناج (*Spinacia*



شکل ۱۰- تاثیر سطوح مختلف شوری بر میزان پراکسیداز گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).



شکل ۱۱- تاثیر گلاسیسین بتائین (GB) بر مقدار پراکسیداز گیاه سیاه شور (*Suaeda fruticosa*) (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

متقابل شوری و گلاسیسین بتائین بجز دو صفت کاتالاز و پراکسیداز، برای بقیه صفات مورد مطالعه معنی‌دار شد. افزایش سطح تنش از ۳ به ۶۰ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش ویژگی‌های رشدی سیاه شور از جمله طول ساقه و ریشه، نسبت ریشه به ساقه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و سطح برگ شد، به طوری که گیاهان تیمار شده با گلاسیسین بتائین در هر یک از سطوح شوری به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان بدون محلول‌پاشی با گلاسیسین بتائین برتری داشتند. تاثیر تنش شوری بر ویژگی‌های آنتی اکسیدانی حاکی از افزایش پرولین، مالون دی آلدئید، کاتالاز و پراکسیداز بود، به طوری که گیاهان تحت تیمار گلاسیسین بتائین میزان پرولین و مالون دی آلدئید کمتری نسبت به گیاهان بدون

آزاد اکسیژن و دفاع از گیاه در برابر تنش‌های شوری، انتظار می‌رود باتوجه به نقش مثبت گلاسیسین بتائین در جهت از بین بردن رادیکال‌های آزاد (Papageorgiou and Murata, 1995)، در این مطالعه به نظر می‌رسد گلاسیسین بتائین نقش پراکسیداز را انجام داده و لذا مقدار تولید پراکسیداز در گیاهان تیمار شده با گلاسیسین بتائین کمتر از گیاهان بدون کاربرد گلاسیسین بتائین بود.

نتیجه‌گیری

نتایج اثرات ساده تیمار شوری و کاربرد گلاسیسین بتائین نشان داد که همه صفات مورد بررسی بجز آنزیم کاتالاز در گیاهان تیمار شده با گلاسیسین بتائین، معنی‌دار شد؛ همچنین اثرات

گلاسیسین بتائین تولید شد. همچنین تولید پراکسیداز در گیاهان اسپری شده با گلاسیسین بتائین به میزان ۰/۲۶ میلی‌گرم پروتئین/واحد کمتر از گیاهان بدون گلاسیسین بتائین بود. به نظر می‌رسد گلاسیسین بتائین به عنوان یک تنظیم کننده اسمزی ایفای نقش داشته که با افزایش عملکرد رشدی گیاه توان گیاه را در مقابل تنش شوری بهبود بخشیده باشد و لذا می‌توان از این الیسیتور زیستی به عنوان آنتی اکسیدان موثر برای بهبود رشد گیاهان در تنش شوری استفاده کرد.

منابع

- پوراسماعیل، م.، قربانلی، م.، و خاوری نژاد، ر. (۱۳۸۴). اثر شوری بر روی جوانه زنی، وزن خشک و تر، محتوای یونی، پرولین، قندمحلول و نشاسته گیاه *Suaeda fruticosa*. بیابان، ۱۰: ۲۶۵-۲۵۷.
- جعفریان جلودار، ز.، و روخ فیروز گ. (۱۳۹۱). اثر تنش شوری بر جوانه زنی بذر دو اکوتیپ علف باغ (*Dactylis glomerata*). گیاه و زیست بوم، ۸: ۳۹-۳۰.
- چم‌حیدر، ه. و فرهودی، ر. (۱۳۹۸). بررسی واکنش فیزیولوژیکی ارقام کلزا به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاه. تنش های محیطی در علوم زراعی ۱۲: ۹۰۷-۹۲۱.
- درویژه، ح.، زواره، م.، و قاسم نژاد، م. (۱۳۹۶). تاثیر محلول پاشی پرولین بر ویژگی های بیوشیمیایی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) در شرایط تنش آبی. نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۴: ۶۰-۳۵.
- ذاکری اصل، م.، بلندنظر، ص.، اوستان، ش.، و طباطبایی، س.ج. (۱۳۹۳). تاثیر سطوح کلرید سدیم و نیتروژن بر رشد، غلظت ویتامین C و نیترات سبزی هالوفیت *Suaeda aegyptiaca*. نشریه دانش آب و خاک، ۲۴: ۲۳۹-۲۵۰.
- طیعی، ب. و قنبری، ا. (۱۳۹۸). تاثیر غلظت‌های نمک طعام بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه گونه سالیکورنیا (*Salicornia* spp.) در شرایط کشت بدون خاک. نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۲: ۲۸۶-۲۶۹.
- کدخدایی، ه.، سودائی زاده، ح.، مصلح آرانی، ا.، و حکیم زاده، م.ع. (۱۳۹۵). بررسی نقش گلاسیسین بتائین در افزایش مقاومت به خشکی گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط مزرعه. تنش های محیطی در علوم زراعی، ۹: ۱۴۷-۱۳۹.
- محمدزمانی، م.، ربیعی، و.، و نجاتیان، م.ع. (۱۳۹۱). تاثیر کاربرد پرولین و گلاسیسین بتائین بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی انگور تحت شرایط تنش خشکی. مجله علوم باغبانی ایران، ۴۳: ۴۰۱-۳۹۳.
- مرادیان، ف.، محسنی، ز. و راهداری، پ. (۱۳۹۸). بررسی فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و میزان سدیم، پتاسیم و محتوای رنگدانه در گیاه هالوفیت اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) نسبت به تنش کلریدسدیم. مجله پژوهشهای گیاهی ۳۲: ۷۱۲-۶۹۸.
- میری، ح.ر.، و ضمانی مقدم، ع. (۱۳۹۳). کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین به منظور کاهش اثرات تنش خشکی در ذرت (*Zea mays* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۲: ۷۱۷-۷۰۴.

- Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology. Academic press, Orlando, 105: 121-126.
- Akcin, A., and E. Yalcin. (2016) Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content, and proline in *Salicornia prostrata* Pall. and *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). Brazilian Journal of Botany 39(1): 101-106.
- Alasvandyari, F., Mahdavi, B., and Madah Hosseini, S. (2017) Glycine betaine affects the antioxidant system and ion accumulation and reduces salinity-induced damage in safflower seedlings. Archives of Biological Sciences 69(1), 139-147.
- Amor, N.B., Hamed, K.B., Debez, A., Grignon, C., and Abdelly, C. (2005) Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. Plant Science 168, 889-899.
- Athar H.R., Khan, A., and Ashraf, M. (2008) Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. Environmental and Experimental Botany 63:224-231.

- Bates, L., Waldren, R.P., Teare, I.D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207.
- Benjamin, S. (2017) Growth and physiological responses of *Atriplex lentiformis* to variable levels of salinity. *International Journal of Botany Studies* 2(5): 56-62.
- Bo Guan, B., Yu, J., Wang, X., Fu, Y., Kan, X., Lin, Q., Han, G., and Lu, Z. (2011) Physiological Responses of Halophyte *Suaeda salsa* to Water Table and Salt Stresses in Coastal Wetland of Yellow River Delta. *Clean-Soil, Air, Water* 39 (12), 1029-1035.
- Chen, W.P., Li, P.H., Chen, T.H.H.H. (2000) Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduces chilling-induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. *Plant Cell Environ* 23, 609- 618.
- Flowers, T.J., Colmer, T.D. (2008) Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179, 945-963.
- Gorhan, J., Jokinen, K., Malik, M.N.A., Khan, I.A. (2000) Glycine betaine treatment improves cotton yields in field trials in Pakistan. *Proceedings of the World Cotton Research Conference II*, Athens, Greece. Pp. 624-627.
- Hameed, A., Hussain, T., Gulzar, S., Aziz, I., Gul, B., Khan, M.A. (2012) Salt tolerance of a cash crop halophyte *Suaeda fruticosa*: biochemical responses to salt and exogenous chemical treatments. *Acta Physiologiae Plantarum* 34(6): 2331-2340.
- Haraguchi, A. and Matsuda, T. (2018) Effect of salinity on seed germination and seedling growth of the halophyte *Suaeda japonica* Makino. *Plant Species Biology* 33, 229-235.
- Hassanein, R. A., Hassanein, A.A., Haider, A. S., Hashem, H. A. (2009) Improving salt tolerance of (*Zea mays* L.) plants by presoaking their grains in glycine betaine. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3, 928-942.
- Heath, R.L., and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplast I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
- Hussain, N. A., R. Naseem, G. Sarwar, F. Mujeeb and M. Jamil. (2003) Domestication/cultivation scope of medicinal crops on salt-affected soils. *Conservation and sustainable uses of medicinal and aromatic plants of Pakistan* 2-4: 37-43.
- Kearl1, J., McNary, C., Lowman, J. S., Mei, C., T. Aanderud, Z., T. Smith, S., West, J., Colton, E., Hamson, M. and L. Nielsen, B. (2019) Salt-Tolerant Halophyte Rhizosphere Bacteria Stimulate Growth of Alfalfa in Salty Soil. *frontiers in microbiology* 10: 1-11.
- Khan, M. A., R. Ansari, H. Ali, B. Gul and B. L. Nielsen. (2009) *Panicum turgidum*, apotentially sustainable cattle feed alternative to maize for saline areas. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129: 542-546.
- Khan, M.A., Ungar, I.A., and Showalter, A.M. (2000) The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk. *Journal of Arid Environments* 45: 73-84.
- Laurie, S., and Stewart, G. R. (1990) The effects of compatible solutes on the heat stability of glutamine synthetases from chickpeas grown under different nitrogen and temperature regimes. *Journal of Experimental Botany* 41: 1415-1422.
- Loconsole, D., Cristiano, G., and De Lucia, B (2019) Glassworts: From Wild Salt Marsh Species to Sustainable Edible Crops *Agriculture* 9(14): 1-12.
- Mickelbart, M., Chapman, P., and Collier-Christian, L. (2006) Endogenous levels and exogenous application of glycinebetaine to grapes. *Scientia Horticulturae* 111, 7-16.
- 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.
- Noreen, S., and Ashraf, M. (2010) Modulation of salt (NaCl)-induced effects on oil composition and fatty acid profile of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2608-2616.
- Papageorgiou, G. C., and Murata, N. (1995) The unusually strong stabilizing effects of glycine betaine on the structure and function of the oxygen-evolving Photosystem II complex. *Photosynthesis Research* 44, 243-252.
- Papageorgiou, G.C., Fujimara, Y., and Murata, Y. N. (1991) Protection of the oxygen-volving photosystem II complex by glycine betaine. *Biochimica et Biophysica Acta* 1057: 361-366.
- Parida, A. K., Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effect on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
- Qasim, Muhammad., Gulzar, Salman., Khan, M. Ajmal., Halophytes as Medicinal Plants, Chapter 21, Ozturk, M., Mermut, A. R., Celik, A. (2011) *Urbanisation, Land Use, Land Degradation and Environment*. Daya Publishing House, Karachi-75270, Pakistan.
- Roohi, A., Nazish, B., e-Amen, Nabgha, E., Maleeha, M., and Waseem, S. (2011) A critical review on halophytes: Salt tolerant plants. *Journal of Medicinal Plants Research* 5: 7108-7118.
- Salama, K. H. A. (2009) Amelioration of NaCl-induced alterations on the plasma membrane of *Allium Cepa* L. by ascorbic acid. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3: 990-994.
- Schutze, p., Freitag, h., weising, k. (2003) An integrated molecular and morphological study of the subfamily Suaedoideae Ulbr. (Chenopodiaceae), plant systematics and evolution, printed in Austria.

- Shalata, A., and Neumann, P.M. (2001) Exogenous ascorbic acid (vitamin C) increases resistance to salt stress and reduces lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany* 52: 2207-2211.
- Tiryakioglu, M., Eker, S., Ozkutlu, F., Husted, S., and Cakmak, I. (2006) Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 20(3):181-189.
- Vadizadeh, P., Sarajoughi, M., Mir Taheri, S. M. (2017) Study of Salicylic Acid and Glycine Effect on Some Agronomic Traits of Alfalfa under Wet Stress Conditions. *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 13(2): 2-14.
- Vendruscolo, A.C.G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim, C.A., Molinari, H.B.C., Marur, C.J., and Vieira, L.G.C. (2007) Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology* 164, 1367-1376.
- Zhao, L., Yang, Z., Guo, Q., Mao, S., Li, S., Sun, F., Wang, H. and Yang, C. (2017) Transcriptomic Profiling and Physiological Responses of Halophyte *Kochia sieversiana* Provide Insights into Salt Tolerance. *Frontiers in Plant Science* 24: 1-13.

An investigating of growth and some antioxidant activities of *Suaeda fruticosa* under salinity stress and glycine betaine

^{1*}Rostam Yazdani Biouki, ²Hamid Sodaeeizadeh and ²Milad Dosthoseini

1, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

2 Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran
(Received: 18/03/2019, Accepted: 15/01/2020)

Abstract

Salt stress, as one of the most important factors reducing agricultural production, increasingly threatens arid and semi-arid regions. In order to investigate the effect of glycine betaine (GB) on increasing of salinity tolerant of *Suaeda fruticosa*, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with 3 replications during the 2017-18 growing season. The treatments included four levels of salinity stress: 3, 10, 30 and 60 dS.m and 2 levels spraying with 50 mM GB. The results revealed the significant effect of salinity stress and GB on all of the studied characteristics except the effect of GB on catalase. Also, the interactions effects of salinity stress and GB were significant on all of the characteristics except catalase and peroxidase. The application of GB at all levels of salinity stress increased stem length, root length, ratio of root to shoot, plant yield and leaf area compared to the non-application of GB, so that, in shoot dry weight, the highest dry weight was observed in GB application at levels of 3 and 10 dS.m, which increased the plant dry weight by 58.48 and 47.25 percentage rather than non-application of GB, respectively. Proline, malondialdehyde, catalase and peroxidase compounds increased by increasing stress level from 3 to 60 dS.m. The production of proline, malondialdehyde and peroxidase in treated plants with GB was significantly reduced compared to non-application of GB. Generally, the results showed the positive role of GB in decreasing the effects of salinity stress on *Suaeda fruticosa*.

Keywords: Catalase, Dry weight, Halophyte, Malondialdehyde

Corresponding author, Email: * r.yazdani@areeo.ac.ir