

بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس *Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch. & C.A. Mey. تحت تنش شوری

بابک عندلیبی^{۱*}، مژگان محمدی آذر^۲، بهروز اسماعیل پور^۳ و فرید شکاری^۴

۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

پست الکترونیک: babak.andalibi@yahoo.com

۲- دانشجوی دکترای رشته زراعت، گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- دانشیار، گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۰

تاریخ اصلاح نهایی: فروردین ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۹

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک (SA) و نانوسیلیکون (n-Si) بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch. & C.A. Mey.) تحت تنش شوری در شرایط کنترل نشده گلخانه‌ای در سال ۱۳۹۷ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل کلرید سدیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار)، SA (صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و n-Si (صفر، ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار) بودند. اعمال تیمارهای SA و n-Si در مرحله چهارم برگ (هر هفت روز یک بار) و تیمار شوری در مرحله شش برگ (هر چهار روز یک بار) تا رسیدگی کامل بذرها (زرد شدن ۹۰٪ برگ‌ها و کپسول‌ها) انجام شد. نتایج نشان داد که تحت تأثیر شوری، صفات گیاهی شامل ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل و عملکرد دانه کاهش و پرولین و اسانس افزایش یافتند. کاربرد SA و n-Si باعث بهبود این صفات در تنش شوری شد. ترکیب‌های اصلی اسانس بالنگوی شهری شامل لینالول (۲۵٪)، ژرانیول (۱۶٪)، بتا-کوبین (۱۰/۶٪)، منتیل استات (۹/۸٪)، والنسن (۳/۵٪)، جرمارکن-دی (۲/۴٪)، بتا-کاروفیلین (۲/۳٪) و لیمونن (۱/۳٪) بودند که همه آنها تحت تیمارهای شوری نسبت به شاهد افزایش یافتند. کاربرد SA و n-Si در شرایط تنش شوری باعث افزایش لیمونن، لینالول، ژرانیول، بتا-کوبین، بتا-کاروفیلین و والنسن و کاهش منتیل استات و جرمارکن-دی شد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد SA و n-Si با ایجاد تنظیم اسمزی، حفاظت از محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش صدمات اکسیدان‌ها می‌تواند میزان تحمل گیاه بالنگوی شهری را به تنش شوری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: *Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch. & C.A. Mey.، اسانس، اسید سالیسیلیک، عملکرد، کلروفیل، نانوسیلیکون.

مقدمه

غلظت‌های زیاد نمک در خاک یا آب آبیاری می‌تواند باعث سمیت یونی، تنش اسمزی، کمبود عناصر غذایی و تنش اکسیداتیو گردد. اثرهای اولیه تنش، کاهش رشد و نمو و در

تبخیر زیاد و بارندگی کم و پراکنده باعث تجمع املاح در سطح خاک و شور شدن خاک‌های کشور می‌شود.

با توجه به اینکه شوری در زمین‌های زراعی جهان در حال افزایش است، بررسی میزان تحمل این گیاه به تنش شوری و از سوی دیگر کاربرد اسید سالیسیلیک به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد و نانوسیلیکون به‌عنوان عناصر تغذیه‌ای در جهت تعدیل اثرهای شوری، افزایش تحمل این گیاه به تنش شوری و بهبود تولید و عملکرد گیاه بالنگوی شهری حائز اهمیت می‌باشد. از این رو این پژوهش با هدف بررسی اثر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر شاخص‌های رشد و اسانس در شرایط تنش شوری در گیاه بالنگوی شهری انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای مطالعه اثر اسید سالیسیلیک (SA) و نانوسیلیکون (n-Si) روی صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه بالنگوی شهری تحت تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به صورت گلدانی در گلخانه (با شرایط کنترل نشده) دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل کلرید سدیم در سه سطح (شاهد (آب مقطر)، ۵۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میلی‌مولار)، SA در سه سطح (شاهد (آب مقطر)، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و n-Si در سه سطح (شاهد (آب مقطر)، ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار) بودند. شش کیلوگرم خاک مزرعه با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذکر شده در جدول ۱، در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر ریخته شد. بذر بالنگوی شهری از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. با توجه به اطلاعاتی که در مقاله Shafagh-Kolvanagh و Dastborhan (۲۰۱۷) ذکر شده است، در هر گلدان ۲۵ عدد بذر در عمق دو سانتی‌متری کشت شد و روی بذرها با کود دامی پوسیده پوشانیده شد. گلدان‌ها در گلخانه‌ای با دمای متوسط روز 21°C و شب 16°C و رطوبت نسبی ۷۶٪ در ۱۷ فروردین ماه کشت شدند. تنک شدن در مرحله چهار برگی انجام شد و در هر گلدان ۱۰ بوته دارای رشد یکسان با فاصله تقریبی ۵ سانتی‌متر از یکدیگر نگه داشته شد.

طولانی‌مدت پیری زودرس بافت و در نهایت مرگ گیاه است (Pirasteh-Anoshe *et al.*, 2015). یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش اثرهای تنش شوری استفاده از ترکیب‌هایی است که مقاومت گیاهان را به تنش شوری افزایش داده و موجب بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه شود. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مثل اسید سالیسیلیک در غلظت‌های پایین، توانایی تنظیم برخی جنبه‌های رشد و نمو گیاه را دارند (Fathi & Esmailpour, 2000). همچنین استفاده از ذرات نانو مانند نانوسیلیکون به دلیل جذب سریع‌تر به غشای سلولی، باعث بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی می‌شود (Aitken *et al.*, 2006).

اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی است که در گیاهان به‌عنوان یک هورمون طبیعی و مولکول پیام‌رسان درون‌زا در شرایط تنش‌های محیطی عمل می‌کند. همچنین بر فرایندهای فیزیولوژیک گیاه مثل باز و بسته شدن روزنه‌ها، جذب یون‌ها، مهار بیوستنتر اتیلن، تعرق، تقسیم سلولی، فعالیت آنزیمی، فتوسنتز و همچنین افزایش تحمل به تنش در گیاه به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی عمل می‌کند (Sofy *et al.*, 2020).

کاربرد سیلیکون در گیاهان در معرض شوری باعث افزایش فتوسنتز، رشد رویشی و تولید ماده خشک، کاهش مقدار سدیم در ریشه و اندام هوایی و افزایش مقدار پتاسیم در گیاه شده است (Ahmed *et al.*, 2013). نانوسیلیکون می‌تواند جایگزین مؤثر برای افزودن سیلیسیم به‌عنوان ماده مغذی برای گیاه باشد. نانو ذرات سیلیکا می‌تواند ضخامت دیواره سلولی را افزایش دهد که می‌تواند باعث افزایش ضخامت کوتیکول در سطح برگ و کاهش از دست رفتن آب از طریق تبخیر و تعرق گردد و نوعی سازگاری را با تنش‌های محیطی ایجاد کند (Avestan *et al.*, 2019).

بالنگوی شهری با نام علمی *Lallemantia iberica* گیاهی مقاوم به خشکی از تیره نعناع است (Mozaffarian, 2011). برگ و دانه بالنگوی شهری به‌صورت تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانه‌های این گیاه در بیشتر نقاط دنیا برای درمان التهاب و مشکلات تنفسی شناخته می‌شود (Abbas *et al.*, 2012).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدانی مورد استفاده در آزمایش قبل از اعمال تیمار شوری*

باقات خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	اسیدینه	هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	ماده آلی خاک (%)	مواد خنثی شونده (%)	Na^+ (meq l^{-1})	Cl^- (meq l^{-1})	نیتروژن (%)	HCO_3^- (meq l^{-1})	فسفر قابل جذب (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب (mg kg^{-1})
رسی-لومی	۶۳/۴۵	۱۷	۱۶/۵۴	۷/۴	۱/۲۵	۰/۹۲	۲۳	۲/۳۲	۳/۲	۰/۰۵۳	۴/۲	۸/۴۶	۱۷۰

*: آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد.

سنجش میزان پرولین با روش Bates (۱۹۷۳) انجام شد. میزان پرولین براساس میکروگرم پرولین در گرم برگ تازه بدست آمد.

مقدار رطوبت نمونه‌های گیاهی بر پایه وزن تر از رابطه زیر محاسبه و به صورت درصد بیان شد.

$$\text{میزان رطوبت بر پایه وزن تر} =$$

$$100 \times \frac{\text{وزن ماده خشک} + \text{وزن رطوبت}}{\text{وزن رطوبت}}$$

برای استخراج اسانس، ۴۰ گرم از نمونه‌های برگ و سرشاخه گلدار پس از دستیابی به رطوبت ۱۴-۱۰٪، در دیگ کلونجر به مدت ۳ ساعت حرارت داده شد. ۳۰ دقیقه پس از خاموش کردن دستگاه، اسانس جمع‌آوری و توسط سولفات سدیم خشک شد و پس از توزین، در جای تاریک و دمای ۴°C تا زمان آنالیز نگهداری گردید. در نهایت، درصد و عملکرد اسانس محاسبه شد (Morshedloo et al., 2018). عملکرد اسانس به صورت میلی‌لیتر در ۱۰ بوته موجود در یک گلدان محاسبه شد.

آنالیز کمی و کیفی اسانس با استفاده از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی (GC) و گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) انجام شد. GC مدل Shimadzu-9A مجهز به دتکتور FID (یونیزاسیون شعله هیدروژن) و از داده‌پرداز Chromatepac استفاده شد. ستون دستگاه (DB-5) به طول ۳۲ متر، قطر داخلی ۲۵ میکرون و ضخامت اولیه فاز ساکن برابر ۲/۲۵ میکرون بود. سرعت جریان گاز حامل هلیوم $22/7 \text{ cm s}^{-1}$ بود. دمای محفظه تزریق ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد، با برنامه‌ریزی حرارتی ستون از دمای اولیه ۵۰ درجه سانتی‌گراد تا دمای نهایی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد (۴ درجه سانتی‌گراد افزایش دما در دقیقه) بود. GC/MS مدل Varian-3400 با ستون DB-5 و دتکتور 'Ion Trap' بود. هلیوم به عنوان گاز حامل و با سرعت جریان 50 ml min^{-1} استفاده شد. انرژی یونیزاسیون در طیف‌سنج جرمی در حدود ۷۰ الکترون ولت بود. برنامه حرارتی ستون از ۴۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت افزایش $4 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ تنظیم شد. دمای محفظه تزریق ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد بود.

اعمال تنش شوری در مرحله شش برگی گیاه شروع شد. تیمارهای شوری بعد از محاسبه کسر آبشویی (Richards, 1954) دو بار در هفته به خاک اضافه می‌شد تا از تجمع نمک در خاک جلوگیری شود. اعمال تیمارهای SA و n-Si در مرحله چهار برگی پس از تنک کردن گیاهان داخل گلدان و به صورت محلول‌پاشی (هر هفت روز یکبار) و تا پایان دوره رشد (بذردهی) ادامه داشت. فاصله زمانی بین چهار برگی تا شش برگی، هفت روز بود. در زمان ۹۰٪ گلدهی، برای اندازه‌گیری صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل، پرولین و اسانس، نمونه‌ها برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل شدند و برای اندازه‌گیری عملکرد دانه (به ازای ۱۰ بوته در گلدان) در پایان فصل رشد (زمانی که ۹۰٪ بوته‌ها و کپسول‌ها زرد شدند)، نمونه‌ها برداشت و پس از خشک شدن در هوای آزاد توزین شدند.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، یک گرم نمونه تازه برگ، ساییده شد و با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ مخلوط هموزن از آن تهیه شد. یک میلی‌لیتر از مخلوط هموزن را با ۹ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ مخلوط کرده و به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۸۰۰۰ در دقیقه سانتریفوژ شد. سپس فازهای رویی برای اندازه‌گیری کلروفیل جدا شد و مقادیر جذب کلروفیل‌های a و b و کل در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و بعد مقادیر آنها با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد (Amon, 1967).

$$\text{Chl. a} = [12.7 (A663) - 2.69 (A645)] \times V/W$$

$$\text{Chl. b} = [22.9 (A645) - 4.68 (A663)] \times V/W$$

$$\text{Total Chl} = [20.2 (A645) + 8.02 (A663)] \times V/W$$

در معادلات ذکرشده، V = حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفوژ)، A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر، W = وزن تر نمونه بر حسب گرم، Chl. a = کلروفیل a ، Chl. b = کلروفیل b و Chl. total = کلروفیل کل می‌باشد.

جدول ۲- تأثیر اسید سالیسیلیک (SA) و نانوسیلیکون (n-Si) بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه *Lallemantia iberica* تحت تنش شوری

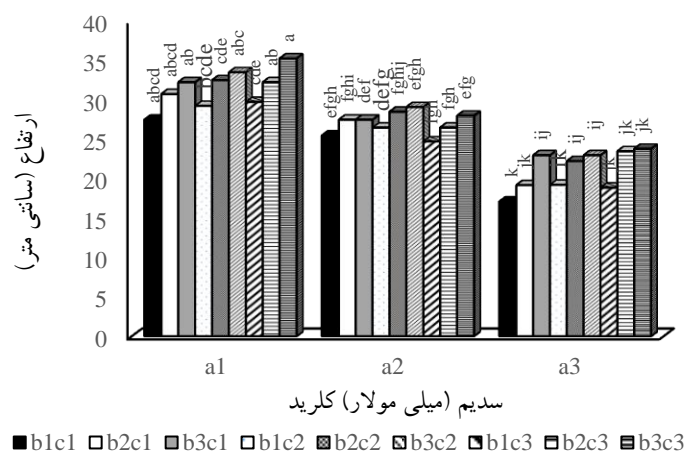
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	وزن خشک اندام هوایی	کلروفیل <i>a</i>	کلروفیل <i>b</i>	کلروفیل کل	پرولین	عملکرد دانه	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۳	۱/۸۸۶	۰/۶۳۰	۰/۲۰۱	۰/۰۲۰	۰/۳۵۰	۶/۹۵۷	۰/۹۶۳	۴۳۳/۲۸۵	۰/۰۳۷
شوری	۲	۱۰۶۳/۶۷۶*	۵۶/۷۵۷*	۹/۰۹۷*	۰/۹۲۳*	۱/۸۱۴*	۷۰۵۲/۰۳۸*	۷۳۳۶۱/۱۰۴*	۸۷/۶۷۳ns	۵/۶۶۴*
SA	۲	۵۵/۵۹۳*	۵/۱۲۲*	۱/۰۱۰*	۰/۱۰۲*	۱/۷۵۶*	۵۵۵/۱۴۵*	۵۱۳۱/۱۰۸*	۲۸/۷۶۹ns	۰/۵۳۵*
n-Si	۲	۲۳/۵۰۹*	۸/۳۴۴*	۰/۱۴۱*	۰/۰۱۴*	۰/۲۴۴*	۷۹/۵۸۰*	۲۷۰۲/۹۳۴*	۲۶۹/۲۵۸ns	۰/۰۴۹*
SA × شوری	۴	۶/۱۶۰ns	۲/۲۷۰*	۰/۰۸۴*	۰/۰۰۹*	۰/۱۴۶*	۹۰/۷۰۱*	۲۲۳/۲۰۵*	۰/۰۶۳*	۰/۰۳۲*
n-Si × شوری	۴	۱۰/۸۵۶ns	۸/۱۴۰*	۰/۳۸۰*	۰/۰۳۹*	۰/۶۶۱*	۴/۰۹۲*	۲۳۲۷/۷۹۶*	۱/۲۷۹ns	۰/۰۰۳ns
SA × n-Si	۴	۱۹/۸۱۵*	۲/۱۹۸*	۰/۰۲۲*	۰/۰۰۲*	۰/۰۳۸*	۷/۷۶۶*	۳۰۰/۶۷۶*	۱/۷۶ns	۰/۰۰۲ns
SA × n-Si × شوری	۸	۱۶/۴۹۵*	۴/۱۴۳*	۰/۰۶۲*	۰/۰۰۶*	۰/۱۰۷*	۶۰۷/۴۷۳*	۵۴/۲۶۸ns	۳/۰۴۰ns	۰/۰۰۲ns
خطا	۷۸	۶/۸۲۸	۰/۴۲۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۱۷۴	۳۵/۶۶۷	۹۶/۸۳۶	۰/۰۰۳
CV%	-	۸/۵۴	۵/۶۵	۱۶/۴۹	۸/۵	۱۸/۵	۱۶/۸۲	۱۷/۲۱	۱۱/۸۹	۱۰/۳۱

* و ns: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و عدم معنی داری

محتوای کلروفیل (a, b و کل) و پرولین در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد.

ارتفاع

شوری باعث کاهش ارتفاع گیاه بالنگوی شهری شد، به طوری که در تیمار ۱۰۰ و ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم ارتفاع گیاه به ترتیب ۳۷٪ و ۱۰٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۱). کاربرد SA و n-Si توانست تا حدودی این کاهش رشد را جبران کند و باعث افزایش ارتفاع در تیمار شاهد و شوری شود. بیشترین ارتفاع (۳۶cm) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ میلی مولار SA و ۱/۵ میلی مولار n-Si و کمترین ارتفاع (۱۷ cm) در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بدون کاربرد SA و n-Si مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر ارتفاع گیاه *Lallemantia iberica* تحت سطوح مختلف شوری

a₁, a₂, a₃: به ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم؛ b₁, b₂, b₃: به ترتیب ۰، ۱ و ۲ میلی مولار SA؛ c₁, c₂, c₃: به ترتیب ۰، ۱/۵ و ۲ میلی مولار n-Si

وزن خشک اندام هوایی

۱۰۰ میلی مولار و ۱/۱ برابر در تیمار ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم بود (شکل ۲). کاربرد توأم SA و n-Si به طور معنی داری باعث افزایش وزن خشک گیاه شد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۱۵/۵ گرم به ازای ۱۰ بوته در گلدان)

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری SPSS (ver. 22) پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس شدند و میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

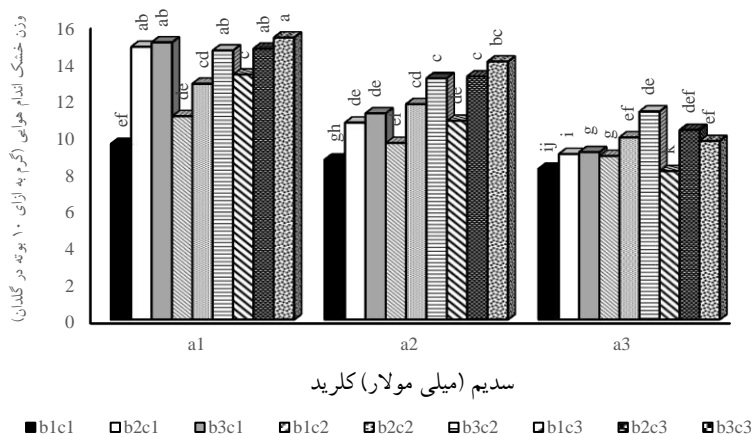
نتایج

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرهای ساده شوری، SA و n-Si بر تمام صفات به‌استثنای درصد اسانس گیاه معنی دار شد. اثر متقابل شوری و SA بر همه صفات بجز ارتفاع، اثر متقابل شوری و n-Si بر صفات وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل (a, b و کل)، پرولین و عملکرد دانه و اثر متقابل SA و n-Si بر همه صفات بجز درصد و عملکرد اسانس معنی دار شد. همچنین، اثر متقابل شوری، SA و n-Si بر ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی،

سطوح مختلف شوری باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی در گیاه بالنگوی شهری شد، به طوری که وزن خشک در تیمار شاهد ۱/۵ برابر وزن خشک در تیمار

۱۰ بوته در گلدان) مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بدون کاربرد SA و n-Si بود (شکل ۲).

در تیمار شاهد با کاربرد ۲ میلی مولار SA و ۱/۵ میلی مولار n-Si مشاهده شد و کمترین وزن خشک (۸ گرم به ازای



شکل ۲- اثر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر وزن خشک گیاه *Lallemantia iberica* تحت سطوح مختلف شوری

a1, a2, a3: به ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم؛ b1, b2, b3: به ترتیب ۰، ۱ و ۲ میلی مولار SA؛ c1, c2, c3: به ترتیب ۰، ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار n-Si

n-Si و کمترین مقدار آن (۶/۴۱ میکرومول بر گرم وزن تازه برگ) در تیمار شاهد با کاربرد SA و n-Si بود

کلروفیل‌ها

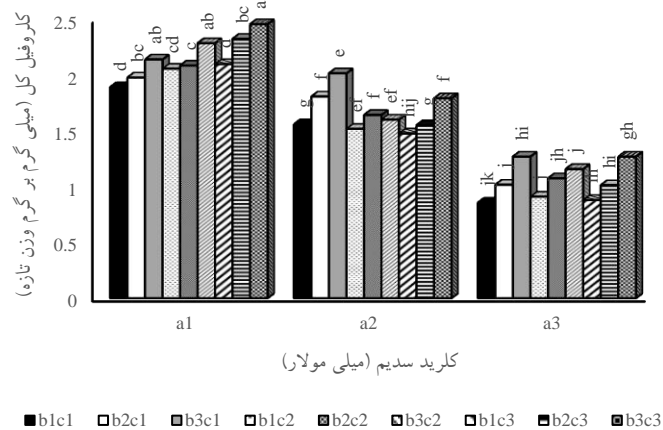
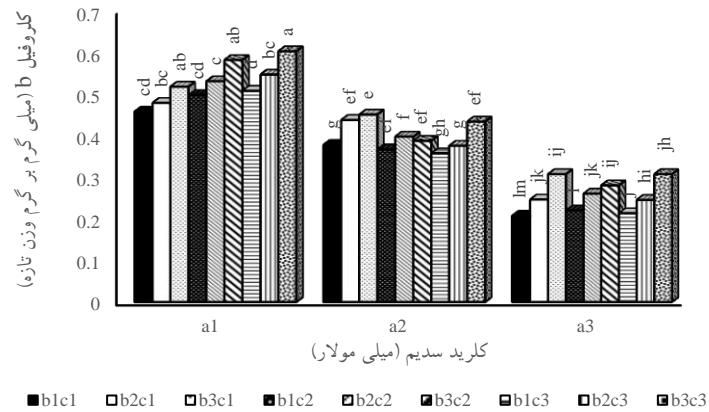
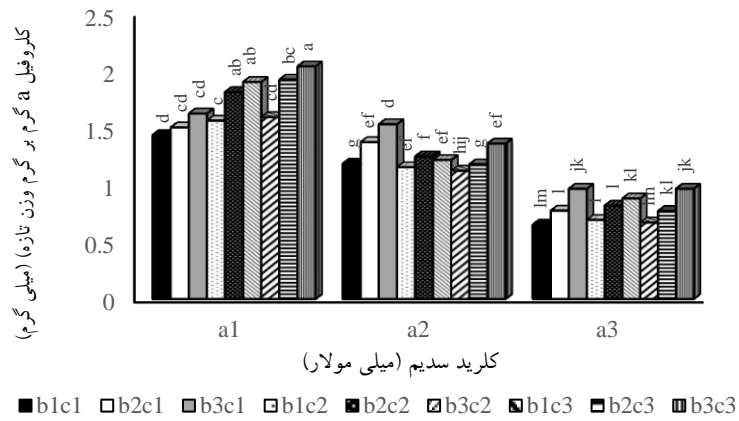
محتوای کلروفیل تحت تنش شوری به طور معنی داری کاهش یافت. کاربرد SA و n-Si باعث افزایش محتوای کلروفیل در تیمار شاهد و شوری گردید. بیشترین مقدار کلروفیل (a و b و کل) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ میلی مولار SA و ۱/۵ میلی مولار n-Si بود (شکل ۳). کمترین مقدار کلروفیل در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بدون محلول پاشی SA و n-Si و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد با کاربرد ۲ میلی مولار SA و ۱/۵ میلی مولار n-Si بدست آمد.

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تنش شوری نسبت به شاهد در تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم به ترتیب ۱/۳۳ و ۱/۷۲ برابر کاهش یافت. محلول پاشی SA در تیمار شاهد و شوری باعث افزایش عملکرد دانه شد، به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۱۴ گرم به ازای ۱۰ بوته در گلدان) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ میلی مولار SA مشاهده شد و کمترین مقدار (۹/۸ گرم به ازای ۱۰ بوته در گلدان) در تیمار شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بدون کاربرد SA بود (شکل ۵). کاربرد n-Si باعث افزایش عملکرد دانه در سطوح مختلف شوری و شاهد گردید، به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۱۵/۹ گرم به ازای ۱۰ بوته در گلدان) در تیمار شاهد با کاربرد ۱/۵ میلی مولار n-Si و کمترین مقدار (۷/۴ گرم به ازای ۱۰ بوته در گلدان) در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بدون محلول پاشی n-Si مشاهده شد (شکل ۵).

پرولین

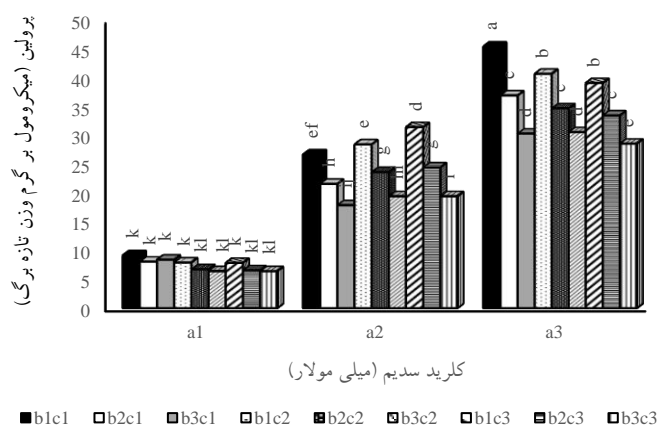
در تیمارهای شوری بدون کاربرد SA و n-Si افزایش مقدار پرولین در غلظت ۵۰ میلی مولار و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم نسبت به شاهد به ترتیب ۲/۷ و ۴/۹ برابر افزایش یافت و کاربرد SA و n-Si نیز در تیمار شوری باعث کاهش میزان پرولین در سطوح مختلف شوری در گیاه بالنگوی شهری شد (شکل ۴). بیشترین مقدار پرولین (۴۵/۴۲ میکرومول بر گرم وزن تازه برگ) در تیمار شوری ۱۰۰ میلی مولار بدون محلول پاشی SA و



شکل ۳- اثر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر محتوای کلروفیل (a و b کل) گیاه *Lallelantia iberica*

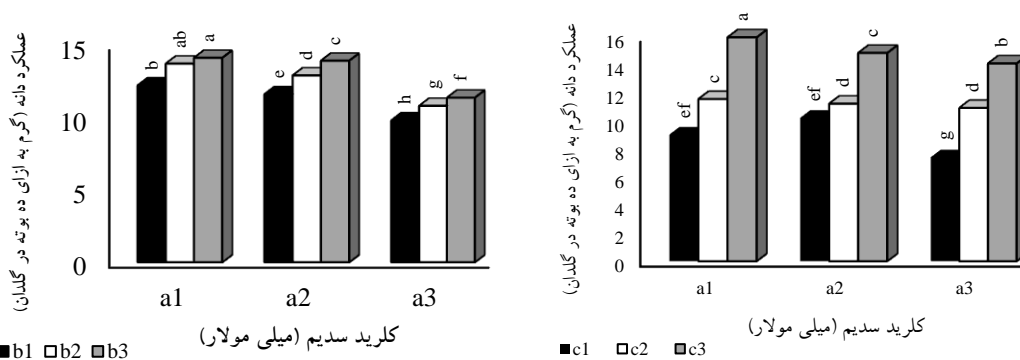
تحت سطوح مختلف شوری

a₁, a₂, a₃: به ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم؛ b₁, b₂ و b₃: به ترتیب ۰، ۱ و ۲ میلی مولار SA؛ c₁ و c₂: به ترتیب ۰، ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار n-Si



شکل ۴- اثر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر مقدار پروئین گیاه *Lallelantia iberica* تحت سطوح مختلف شوری

a₁, a₂, a₃: به ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم؛ b₁, b₂ و b₃: به ترتیب ۰، ۱ و ۲ میلی مولار SA؛ c₁, c₂ و c₃: به ترتیب ۰، ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار n-Si



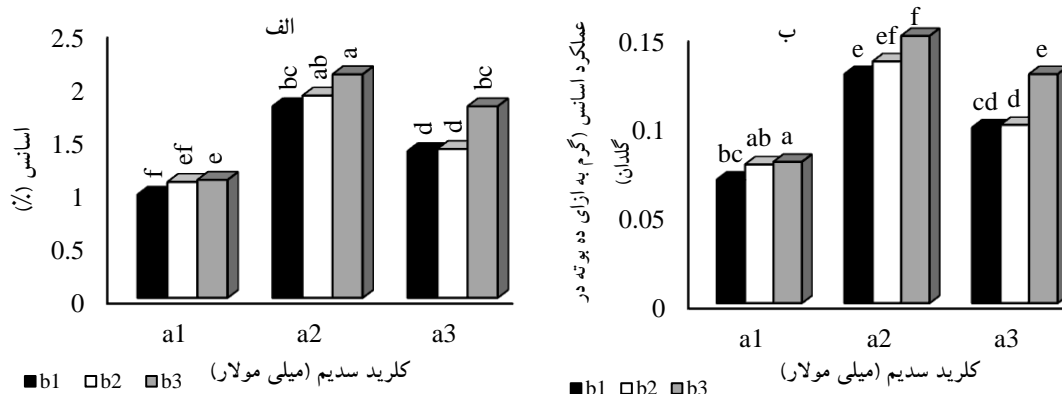
شکل ۵- اثر اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون بر عملکرد دانه گیاه *Lallelantia iberica* تحت سطوح مختلف شوری

a₁, a₂, a₃: به ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم؛ b₁, b₂ و b₃: به ترتیب ۰، ۱ و ۲ میلی مولار SA؛ c₁, c₂ و c₃: به ترتیب ۰، ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار n-Si

درصد و عملکرد اسانس

با افزایش سطوح شوری، درصد اسانس در بالنگوی شهری افزایش یافت. گیاهان شاهد بدون کاربرد SA کمترین مقدار اسانس (۲۵/۰٪) و گیاهان تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم با کاربرد ۲ میلی مولار SA بیشترین درصد اسانس (۴۵/۰٪) را داشتند (شکل ۶- الف). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد افزایش

یافت ولی در تیمار ۵۰ میلی مولار بیشتر از تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بود. کاربرد SA باعث افزایش عملکرد اسانس در تیمار شاهد و شوری شد، به طوری که در تیمار ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم با کاربرد ۲ میلی مولار SA در حداکثر مقدار خود (۱۵/۰ گرم به ازای ده بوته در گلدان) و در تیمار شاهد بدون کاربرد SA حداقل مقدار (۰/۰۶ گرم به ازای ۱۰ بوته در گلدان) بود (شکل ۶- ب).



شکل ۶- اثر اسید سالیسیلیک بر درصد و عملکرد اسانس اندام هوایی گیاه *Lallelantia iberica*

تحت سطوح مختلف شوری

a₁, a₂, a₃: به ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم؛ b₁, b₂ و b₃: به ترتیب ۰، ۱ و ۲ میلی مولار SA

افزایش ارتفاع این گیاه در تیمار شاهد و غلظت‌های مختلف شوری نسبت به شرایط عدم کاربرد شد (شکل ۱). تنش شوری می‌تواند باعث کاهش تقسیم و انبساط سلولی ناشی از تنش اسمزی و کاهش توانایی جذب آب توسط گیاه شده و این امر باعث کاهش رشد و ارتفاع اندام هوایی می‌شود (Khalaji, 2012). از دیگر دلایل کاهش رشد در تنش شوری می‌توان به تولید مواد محلول سازگار از قبیل پرولین و گلیسین بتائین اشاره کرد. این مواد دارای کربن بالایی هستند و به‌طور غیرمستقیم باعث کاهش رشد می‌شوند. از سوی دیگر در شرایط تنش شوری، گیاه انرژی بیشتری برای انتقال فعال یون‌ها مصرف می‌کند و بازدارندگی رشد در اثر شوری به دلیل تخلیه انرژی که برای رشد لازم است، اتفاق می‌افتد. کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش، مقدار هورمون‌های گیاهی را تغییر داده و سازوکارهای محافظت گیاهان را در برابر تنش فعال می‌کند. این ماده همانند اکسین در تنظیم طویل شدن و تقسیم سلول‌ها دخالت دارد (Sinha et al., 1993). سیلیسیم با افزایش کارایی مصرف آب و بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها در شرایط شوری و افزایش استحکام دیواره‌های سلولی و کاهش نشت الکترولیت‌ها، باعث افزایش فشار تورژسانس و افزایش طول ساقه و اندازه برگ می‌شود (Farooq et al., 2009).

اجزای اسانس

براساس نتایج این پژوهش، عمده‌ترین ترکیب‌های اسانس بالنگوی شهری شامل لیمونن، لینالول، ژرانیول، منتیل استات، بتا-کاروفیلین، جرماکرن-دی و والنسن بودند که حدود ۸۰٪ کل ترکیب‌های اسانس را تشکیل دادند (جدول ۳). بیشترین مقدار لینالول (۲۵٪)، ژرانیول (۱۶٪)، بتا-کوبین (۱۰/۶٪)، والنسن (۳/۵٪)، بتا-کاروفیلین (۲/۳٪) و لیمونن (۱/۳٪) مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم با کاربرد ۲ میلی مولار SA و ۱/۵ میلی مولار n-Si بود که همگی نسبت به تیمار شاهد بدون کاربرد SA و n-Si به‌طور قابل توجهی افزایش داشتند. همچنین بیشترین مقدار منتیل استات (۹/۸٪) و جرماکرن-دی (۲/۴٪) مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بدون کاربرد SA و n-Si بود، به‌طوری که کاربرد SA و n-Si باعث کاهش مقدار آنها در تیمارهای شوری گردید. لیمونن با افزایش شوری افزایش یافت و کاربرد SA و n-Si نیز باعث افزایش آن شد ولی در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم تفاوت معنی‌داری در تیمار کاربرد و عدم کاربرد SA و n-Si مشاهده نشد (جدول ۳).

بحث

ارتفاع گیاه بالنگوی شهری تحت تنش شوری نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت و کاربرد SA و n-Si باعث

جدول ۳- درصد ترکیب‌های شناسایی شده در اسانس گیاه *Lallemantia iberica*

valencene	Gemacrene D	β -caryophyllene	β -cubebene	menthyl acetate	geraniol	linalool	limonene	تیمار
۱۴۹۶	۱۴۶۹	۱۴۰۵	۱۳۹۵	۱۲۹۴	۱۲۷۴	۱۱۰۰	۱۰۲۵	شاخص بازداری
۰/۲	۰/۸	۱/۳	۸/۰	۲/۷	۹/۳	۱۵/۰	۰/۷	a1b1c1
۰/۸	۱/۳	۱/۴	۸/۲	۸/۷	۹/۴	۱۷/۰	۰/۷	a1b2c1
۰/۹	۱/۵	۱/۵	۸/۵	۹/۰	۹/۴	۱۷/۰	۰/۸	a1b3c1
۰/۵	۰/۸	۱/۰	۸/۲	۳/۵	۹/۶	۱۷/۹	۵/۰	a1b1c2
۱/۱	۲/۵	۰/۷	۸/۴	۸/۶	۱۰/۰	۱۸/۰	۵/۶	a1b2c2
۱/۵	۲/۷	۰/۷	۸/۶	۸/۵	۱۰/۵	۱۸/۱	۵/۷	a1b3c2
۰/۶	۰/۹	۱/۰	۸/۵	۳/۶	۱۰/۰	۱۶/۶	۳/۵	a1b1c3
۲/۲	۲/۵	۱/۰	۹/۰	۹/۰	۱۱/۸	۱۷/۰	۳/۰	a1b2c3
۲/۴	۳/۰	۰/۷	۹/۱	۹/۶	۱۲/۰	۱۷/۰	۲/۴	a1b3c3
۱/۷	۱/۶	۱/۷	۸/۳	۹/۳	۹/۴	۲۱/۰	۱/۲	a2b1c1
۲/۰	۲/۰	۱/۹	۸/۷	۹/۵	۱۰/۱	۲۱/۶	۱/۲	a2b2c1
۱/۹	۲/۰	۱/۹	۹/۰	۹/۷	۱۱/۳	۲۲/۰	۱/۳	a2b3c1
۱/۸	۰/۷	۱/۶	۸/۴	۵/۱	۹/۸	۲۲/۵	۱/۸	a2b1c2
۴/۳	۱/۰	۱/۲	۹/۲	۵/۷	۱۰/۰	۲۳/۰	۲/۰	a2b2c2
۴/۶	۱/۳	۱/۱	۹/۵	۶/۰	۱۱/۱	۲۳/۱	۱/۲	a2b3c2
۱/۸	۰/۸	۱/۰	۸/۵	۳/۰	۱۱/۵	۲۲/۸	۲/۳	a2b1c3
۴/۰	۱/۵	۱/۱	۹/۳	۲/۷	۱۱/۲	۲۳/۳	۲/۰	a2b2c3
۴/۸	۱/۷	۱/۲	۹/۶	۲/۳	۱۱/۰	۲۴/۰	۱/۴	a2b3c3
۱/۸	۲/۴	۱/۷	۱۰/۲	۹/۸	۱۳/۰	۲۲/۰	۱/۳	a3b1c1
۲/۱	۲/۶	۱/۸	۱۰/۶	۱۰/۰	۱۴/۲	۲۲/۴	۱/۴	a3b2c1
۲/۳	۲/۸	۲/۰	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۴/۶	۲۲/۷	۱/۵	a3b3c1
۱/۹	۱/۰	۲/۰	۱۰/۰	۵/۵	۱۳/۱	۲۳/۵	۱/۱	a3b1c2
۲/۷	۱/۰	۲/۱	۱۰/۵	۴/۵	۱۵/۰	۲۴/۰	۱/۰	a3b2c2
۲/۹	۲/۰	۲/۴	۱۰/۶	۵/۶	۱۶/۲	۲۴/۴	۱/۰	a3b3c2
۱/۹	۱/۰	۲/۰	۱۰/۰	۵/۰	۱۵/۷	۲۳/۹	۱/۲	a3b1c3
۳/۲	۱/۲	۲/۲	۱۰/۱	۴/۸	۱۵/۷	۲۴/۰	۱/۰	a3b2c3
۳/۴	۱/۳	۲/۳	۱۰/۶	۴/۶	۱۶/۰	۲۵/۰	۱/۰	a3b3c3

a₁, a₂ و a₃: به ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم؛ b₁, b₂ و b₃: به ترتیب ۰، ۱ و ۲ میلی مولار SA؛ c₁, c₂ و c₃: به ترتیب ۰، ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار n-Si

کند و باعث بهبود کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II گردد (Savvas & Ntatsi, 2015).

مقدار پرولین در گیاه بالنگوی شهری تحت تیمار شوری به طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش یافت و محلول پاشی گیاه با SA و n-Si باعث کاهش معنی دار مقدار پرولین شد (شکل ۴). پرولین با چند سازوکار مانند تنظیم اسمزی و جلوگیری از تخریب آنزیمها، تحمل گیاه را در برابر تنشها افزایش می دهد. تجمع پرولین ممکن است به علت کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات یا افزایش آنزیم پروتئاز باشد (Ahangar et al., 2019). اسید سالیسیلیک در تنش شوری از طریق تولید ترکیب های پاداکسیدان فنولی به طور مستقیم باعث از بین رفتن رادیکال های آزاد و کاهش اثرهای تنش شده و به همین دلیل میزان تجمع پرولین در گیاه کاهش می یابد (Bastam et al., 2013). سیلیکون با کاهش جذب سدیم توسط ریشه و کاهش انتقال آن به اندام هوایی، تنش اسمزی را کاهش می دهد. بنابراین میزان پرولین نیز کاهش می یابد. سیلیکون موجب کاهش مقدار پرولین در تنش شوری در سورگوم شده است (Yin et al., 2013).

عملکرد دانه گیاه بالنگوی شهری تحت تأثیر تنش شوری کاهش معنی داری یافت و در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم کمترین مقدار بود. کاربرد SA و n-Si باعث افزایش عملکرد دانه در تیمار شاهد و شوری شد (شکل ۵). کاهش عملکرد دانه ناشی از کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به دنبال آن کاهش فتوسنتز و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه ها در شرایط تنش شوری می باشد (Nabati et al., 2018). تنش شوری باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه شده و سبب کاهش وزن دانه می گردد. اسید سالیسیلیک باعث تولید بیشتر کربوهیدراتها می شود که این افزایش روی وزن دانه تأثیر مثبتی دارد. سیلیکون پیری برگ را به تأخیر می اندازد، موجب افزایش استحکام و ضخامت برگ شده، در نتیجه باعث افزایش جذب نور و فتوسنتز در مدت طولانی تری می شود. سیلیکون همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات

در این پژوهش، شوری باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی در گیاه بالنگوی شهری شد و تیمار گیاه با SA و n-Si به طور معنی داری باعث افزایش وزن خشک هم در تیمار شاهد و هم در تیمار شوری شد (شکل ۲). مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، افزایش میزان شوری سبب کاهش وزن خشک گیاه شوید (Nourani Azad & Hajibagheri, 2009) و نعنای فلفلی (Vatankhah et al., 2017) شد. اسیدسالیسیلیک در تنش شوری می تواند کاهش رشد را در گیاه جبران کند، زیرا این ماده در سنتز پروتئین های خاصی به نام کیناز نقش دارد که این پروتئین نقش مهمی در تنظیم تقسیم، تمایز و ریختزایی سلول ایفاء می کند (Rahimi-Tashi & Niknam, 2016). Ghasemmi و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط شوری باعث بهبود فاکتورهای رشدی مانند وزن خشک و ارتفاع گیاه به لیمو شد. اثر بهبوددهندگی سیلیکون بر وزن خشک اندام هوایی در گیاه *Cucumis sativus* نیز گزارش شده است (Amirossadat et al., 2012).

محتوای کلروفیل گیاه بالنگوی شهری در تیمار شوری به شدت کاهش یافت و کاربرد SA و n-Si باعث افزایش محتوای کلروفیل در تیمار شاهد و شوری شد (شکل ۳). در شرایط تنش شوری، پیش ماده تولید کلروفیل (گلوتامات) برای تولید پرولین مصرف شده و سنتز کلروفیل کاهش می یابد (Platten et al., 2006). اسید سالیسیلیک مانع فعالیت آنزیم ACC-سنتتاز شده و از تشکیل اتیلن و به دنبال آن از کاهش کلروفیل جلوگیری می کند (Ma et al., 2017). El-Katony و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک باعث افزایش رنگیزه های فتوسنتزی در تنش شوری شد. این امر به دلیل تحریک فعالیت آنزیم رویسکو، افزایش بیوسنتز رنگیزه های فتوسنتزی و کاهش صدمات ناشی از گونه های اکسیژن فعال می باشد. کاربرد سیلیکون و نانوسیلیکون می تواند باعث سمیت زدایی گونه های رادیکال آزاد القاء شده تحت تنش شوری شده و از تخریب کلروفیل و آنزیم های دخیل در سنتز آن جلوگیری

فیزیولوژیکی گیاه بر مسیرهای بیوسنتزی ترکیب هاست (Zheljzkov & Warman, 2003). محلول پاشی گیاه بالنگوی شهری با اسید سالیسیلیک باعث افزایش درصد اسانس در گیاه بالنگوی شهری تحت شوری شد ولی در تیمار شاهد تفاوت معنی داری بین تیمارها دیده نشد. افزایش درصد اسانس در اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک ممکن است ناشی از افزایش رشد رویشی، جذب مواد غذایی بیشتر توسط ریشه‌ها، افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه و همچنین تغییر در جمعیت غده‌های تولیدکننده اسانس در برگ‌ها و گل‌ها باشد (Gharib, 2006). در شرایط شوری، اسانس گیاه افزایش می‌یابد و از سوی اسید سالیسیلیک باعث افزایش بیوسنتز برخی ترکیب‌های اسانس می‌شود. اسید سالیسیلیک به‌عنوان عامل انتقال‌دهنده سیگنال‌های دریافت تنش موجب فعال شدن سیستم‌های دفاعی گیاه شده و این عوامل تنش‌زا سبب تحریک تولید اسانس می‌شوند (Rezai Chianeh & Pirzad, 2014). Mashayekhi و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهش خود بیان کردند که محلول پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش عملکرد اسانس در گیاه بابونه آلمانی شد. بنابراین به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک با تغییر در متابولیسم گیاه باعث تغییر در مواد ثانویه گیاه از جمله ترکیب‌های اسانس می‌شود که این فرایند شرایطی مشابه نقش اسید سالیسیلیک را در ایجاد مقاومت به تنش بوجود می‌آورد (Hayati & Roshan, 2014).

در آنالیز اسانس بالنگوی شهری ۲۱ ترکیب شناسایی شد. لینالول، ژرانیول، بتا-کوبین، منتیل استات، والنسن، جرماکرن-دی، بتا-کاروفیلین و لیمونن ترکیب‌های غالب اسانس بودند و ۸۰٪ ترکیب‌های اسانس را تشکیل دادند. این ترکیب‌ها تحت تأثیر شوری و کاربرد اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون افزایش یافتند. Arshneshin (۲۰۱۵) در تحقیق خود درباره ترکیب‌های اسانس بالنگوی شهری در مرحله گلدهی گزارش کرد که لینالول، بتا-کاروفیلین، ژرانیول و ... ترکیب‌های اصلی بالنگوی شهری بودند. Heydari و Pirzad (۲۰۲۰) گزارش کردند که تنش شوری باعث افزایش ترکیب‌های اسانس مثل

کربوکسیلاز شده، در نتیجه فتوسنتز افزایش یافته و به‌دنبال آن عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (Savvas & Ntatsi, 2015).

در این مطالعه، تنش شوری باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس در گیاه بالنگوی شهری نسبت به تیمار شاهد شد ولی عملکرد اسانس در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کمتر بود که دلیل آن را می‌توان به کاهش وزن خشک گیاه در شوری بالاتر دانست. هر چند که نقش عمده در بیان صفات فیزیولوژیکی گیاه بیشتر تحت تأثیر ژنوتیپ گیاه می‌باشد، اما تولید متابولیت‌های ثانویه گیاه بسیار تحت تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه استرس‌های زیستی و غیرزیستی است که در بین آنها افزایش شوری تأثیر زیادی در بیوسنتز اسانس گیاهی دارد و ترکیب‌های اسانس را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Karray-Bouraoui et al., 2009). بنابراین می‌توان گفت چون متابولیت‌های ثانویه به‌عنوان نوعی سازوکار دفاعی برای جلوگیری از تولید گونه‌های اکسیژن فعال در سلول است، تولید آنها در گیاه افزایش می‌یابد؛ همچنین افزایش درصد اسانس ممکن است به دلیل تغییر در بیوسنتز اسانس تحت تنش و محدود شدن سطح برگ‌ها باشد که می‌تواند دلیل متراکم‌تر شدن غدد ترشحی اسانس در مقایسه با برگ‌های تحت شرایط غیرتنش باشد (Salimi et al., 2017). Heydari و Pirzad (۲۰۲۰) نیز در پژوهش خود روی گیاه بالنگوی شهری مشاهده کردند که تنش شوری باعث افزایش درصد اسانس در این گیاه گردید. بررسی اثر شوری آب بر گیاهانی مثل مرزنجوش (Olfa Baatour et al., 2009) و رازیانه (Ashraf et al., 2004) نیز نشان داد که تنش شوری باعث کاهش عملکرد اسانس شده است. در همین زمینه Gohari و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که افزایش سطوح شوری باعث کاهش عملکرد اسانس گیاه ریحان شد. مطالعات نشان داده است که عوامل محیطی و استرس‌ها همواره ترکیب شیمیایی و اسانس گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و موجب تغییر در درصد و میزان ترکیب‌های اسانس می‌شوند که این امر به دلیل تأثیر شرایط

منابع مورد استفاده

- Abbas, M., Mehmood, T., Bashir, A., Zafar, M. and Afzal, A., 2012. Economics of *Lallemantia royleana* (tukham-ebalangoo) production in the low intensity cropping zone of the Punjab in Pakistan. *Journal of Agricultural Research*, 25(2): 110-119.
- Ahangar, M.A., Qiun, Ch., Maodong, Q., Dong X.X., Ahmad, P., Fathi Abd-Allah, E. and Zhang, L., 2019. Spermine application alleviates salinity induced growth and photosynthetic inhibition in *Solanum lycopersicum* by modulating osmolyte and secondary metabolite accumulation and differentially regulating antioxidant metabolism. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 144: 1-13.
- Ahmed, M., Kamran, A., Asif, M., Qadeer, U., Ahmed, Z.I. and Goyal, A., 2013. Silicon priming: A potential source to impart abiotic stress tolerance in wheat: A review. *Australian Journal of Crop Science*, 7(4): 484-491.
- Aitken, R.J., Chaudhry, M.Q., Boxall, A.B.A. and Hull, M., 2006. Manufacture and use of nano materials: current status in the UK and global trends. *Journal of Occupational Medicine*, 56(5): 300-306.
- Amirossadat, Z., Mohammadi Ghehsareh, A. and Mojiri, A., 2012. Impact of silicon on decreasing of salinity stress in greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) in soilless culture. *Journal of Biological and Environmental Science*, 6(17): 171-174.
- Anwar, M.S., Chans, S. and Patra, D., 2010. Effect of graded levels of NPK on fresh herb yield, oil yield and oil composition of six cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis* L.). *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 1(1): 74-79.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, 23: 112-121.
- Arshneshin, H., 2015. Evaluation of essential oil compounds obtained from the callus of *Lallemantia iberica* plant. Abstracts of the 3rd National Congress of Organic and Conventional Agriculture, Ardabil, Iran, 21 August: 132-138.
- Ashraf, M., Mukhtar, N., Rehman, S. and Rha, E.S., 2004. Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop's weed (*Ammi majus* L.). *Journal of Photosynthesis Research*, 42(4): 543-550.
- Avestan, S., Ghasemnezhad, M., Esfahani, M. and Caitlin, S., 2019. Application of nano silicon dioxide improves salt stress tolerance in strawberry plants. *Journal of Agronomy*, 9(5): 246-262.
- Bates, L., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant-Soil Relationships*, 39: 205-207.
- Bastam, N., Baninasab, B. and Ghobadi, C., 2013. Improving salt tolerance by exogenous application of limonene, linalool, germacon-diol, beta-cariophyllene and Bordbar. *Madandoust* (2020) در پژوهش خود روی گیاه زیره سبز بیان کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک، بیوسنتز ترکیب‌های اسانس را افزایش داد. از سوی کاربرد کودهای نانو به دلیل اثر تغذیه‌ای آن، به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند باعث افزایش فرایندهای بیولوژیکی گیاه و افزایش برخی ترکیب‌های اسانس در گیاه بالنگوی شهری شود (Mafakheri et al., 2016). اثر کاربرد کودهای تغذیه‌ای بر اسانس در گیاهان دارویی مختلف گزارش شده است (Anwar et al., 2010). در رابطه با تأثیر نانوکودها بر درصد و ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس، اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد. بنابراین به نظر می‌رسد نانوذرات سیلیکون باعث افزایش مواد فتوسنتزی گیاه شده و شرایط را برای بهبود رشد و در نتیجه افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه و افزایش میزان اسانس در گیاه بالنگوی شهری موجب شده است. تغذیه مناسب گیاهان سبب تقویت مسیرهای درگیر در تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Weisany et al., 2015). همچنین علت افزایش یا کاهش برخی از ترکیب‌ها ممکن است به دلیل تغییرات ایجاد شده در برخی از آنزیم‌های مربوط به مسیرهای بیوسنتزی و یا تجزیه‌ای دخیل در متابولیسم متابولیت‌های ثانویه باشد که ممکن است حتی در سطح بیان برخی از ژن‌ها نیز چنین تغییراتی رخ دهد (Degenhardt et al., 2009). به‌طورکلی سازوکار دقیق اثر شوری و کاربرد اسید سالیسیلیک و نانوسیلیکون در تغییر مقدار اجزای اسانس بالنگوی شهری مشخص نیست، اما این فرایند می‌تواند به تغییر فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز این ترکیب‌ها و از سوی دیگر به تغییر جذب عناصر غذایی از خاک مرتبط باشد. بنابراین می‌توان گفت ترکیب‌هایی که مقدار آنها در شرایط تنش افزایش می‌یابند احتمالاً در سیستم دفاعی گیاه نقش دارند و می‌توانند باعث بالابردن مقاومت گیاه در شرایط تنش شوند.

- Khalaji, N., 2012. The effect of ascorbic acid, sodium chloride in salt tolerance in geranium (*Pelargonium graveolens* L.). Master thesis, Department of Agriculture, Islamic Azad University-Miyaneh branch, Miyaneh, Iran.
- Ma, X., Zheng, J., Zhang, X., Hu, Q. and Qian, R., 2017. Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *Dianthus superbus* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis, protecting morphological structure, and enhancing the antioxidant system. *Journal of Frontiers in Plant Science*, 8: 1-13.
- Mafakheri, S., Asghari, B. and Shaltouki, M., 2016. The effect of bio, chemical and nano fertilizers on quantitative and qualitative properties *Lallemantia iberica* (M.B.) Fischer & Meyer. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(4): 667-677.
- Mashayekhi, Sh., Ebdali Mashhadi, A.R., Bakhshandeh, A.M. and Lotfi Jalal Abadi, A., 2020. Relationship between foliar application of salicylic acid, humic acid and harvest frequency with yield and quality of *Matricaria chamomilla* L. *Iranian Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1): 210-222.
- Morshedloo, M.R., Salami, S.A., Nazeri, V., Maggi, F. and Craker, L., 2018. Essential oil profile of oregano (*Origanum vulgare* L.) populations grown under similar soil and climate conditions. *Journal of Industrial-Crops and Products*, 119: 183-190.
- Mozaffarian, V., 2011. Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran. Farhang-e-Moaser, 1350p.
- Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A., Zare Mehrjerdi, M., Bromand Rezazadeh, E. and Khaninejad, S., 2018. Salinity stress and some physiological relationships in *Kochiascoparia*. *Iranian Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(2): 401-412.
- Nourani Azad, H.F. and Hajibagheri, M.R., 2009. The effect of salinity stress on some physiological characteristics of *Anethum graveolens* L. *Iranian Journal of New Knowledge in Agriculture*, 4(12): 93-100.
- Olfa Baatour, R., Kaddour, W., Aidi Wannes, M. and Lachaal Marzouk, B., 2009. Salt Effects on the Growth, Mineral Nutrition, Essential oil Yield and Composition of Marjoram (*Origanum majorana*). *Journal of Acta Physiologia Plantarum*, 10: 37-46.
- Pirasteh-Anooshe, H., Emam, Y. and Sepaskhah, R., 2015. Improving barely performance by proper foliar applied salicylic acid under saline conditions. *Journal of Plant Production*, 9(3): 467-486.
- Platten, J.D., Cotsaftis, O., Berthomieu, P., Bohnert, H. and Bressan, R., 2006. Nomenclature for HKT genes, key determinants of plant salinity tolerance. *Journal of Trends in Plant Science*, 11: 372-374.
- Rahimi-Tashi, T. and Niknam, V., 2016. The effect of salicylic acid pretreatment on some physiological and salicylic acid in seedlings of pistachio. *Journal of Plant Growth Regulation*, 69: 265-284.
- Bordbar, G.A. and Madandoust, M., 2020. Influence of salicylic acid on essential oil content and changes its compositions in *Cuminum cyminum* L. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 3(23): 622-627.
- Degenhardt, J., Kollner, T.G. and Gershenzon, J., 2009. Monoterpene and sesquiterpene synthases and the origin of terpene skeletal diversity in plants. *Journal of Phytochemistry*, 70(15): 1621-1637.
- El-Katony, T.M., El-Bastawisy, Z.M. and El-Ghareeb, S.S., 2019. Timing of salicylic acid application affects the response of maize (*Zea mays* L.) hybrids to salinity stress. *Journal of Heliyon*, 5(4): 1-30.
- Fathi, Gh.A. and Esmailpour, B., 2000. Plant growth regulators (principles and application). Translation, Mashhad University Jihad Publications, 288p.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Journal of Agronomy for Sustainable Development*, 29: 185-212.
- Gharib, F.A.L., 2006. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and majoram. *Journal of Agriculture and Biology*, 4: 485-492.
- Gohari, G., Hassanpouraghdam, M.B., Dadpour, M.R. and Shirdeh, M., 2013. Influence of Zn foliar application on growth characteristics and essential oil yield of basil (*Ocimum basilicum* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(3): 15-24.
- Ghasemmi, M., Ghasemmi, Sh., Hoseini Nasab, F.S. and Rezaei, N., 2019. Investigation of the effect of salicylic acid on some morphophysiological characters of *Citriodora lippia* L. under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Production Research*, 26(4): 176-163.
- Hayati, P. and Roshan, V., 2014. Investigation of the effect of salicylic acid on growth parameters and quantity and quality of essential oil of *Satureja hortensis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(4): 808-817.
- Heydari, Sh. and Pirzad, A., 2020. Efficiency of *Funneliformis mosseae* and *Thiobacillus* sp. on the secondary metabolites (essential oil, seed oil and mucilage) of *Lallemantia iberica* under salinity stress. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(2): 1-11.
- Karray-Bourouai, N., Rahbi, M., Naffati, M., Baldan, B., Ranieri, A., Marzouk, B., Lachaal, M. and Smaoui, A., 2009. Salt effect on yield and composition of shoot essential oil and trichome morphology and density on leaves of *Mentha pulegium*. *International Journal of Industrial Crops and Products*, 30(3): 338-343.

- Maize. Journal of Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 51: 241-246.
- Sofy, M.R., Seleiman, M.F., Alhammad, B.A., Alharbi, B.M. and Mohamed, H.I., 2020. Minimizing adverse effects of Pb on maize plants by combined treatment with jasmonic, salicylic acids and proline. Journal of Agronomy, 10: 1-19.
 - Vatankhah, A., Kalantari, B. and Andalibi, B., 2017. Effect of methyl jasmonate and salinity stress on physiological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 33(2): 465-449.
 - Weisany, W., Raei, Y. and Pertot, I., 2015. Changes in the essential oil yield and composition of dill (*Anethum graveolens* L.) as response to arbuscular mycorrhiza colonization and cropping system. Journal of Industrial Crops and Products, 77: 295-306.
 - Yin, L., Wang, S., Li, J., Tanaka, K. and Oka, M., 2013. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. Journal of Acta Physiologica Plantarum, 35: 3099-3107.
 - Zheljzkov, V.R. and Warman, P.R., 2003. Application of high Cu compost to Swiss chard and basil. Journal of Science of the Total Environment, 302: 13-26.
 - biochemical responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to salinity stress. Journal of Plant Research, 28(2): 306-297.
 - Rezai Chianeh, E. and Pirzad, A.R., 2014. Effect of salicylic acid on yield, yield components and seed essential oil in *Nigella sativa* L. in dehydration stress conditions. Iranian Journal of Crop Research, 12(3): 427-437.
 - Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook, 166p.
 - Salimi, A., Roshan, V. and Khanpour, E., 2017. The effect of salinity stress on the amount and composition of essential oil components and antioxidant properties of *Achillea millefolium* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(6): 948-957.
 - Savvas, D. and Ntatsi, G., 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. Journal of Scientia Horticulturae, 196: 66-81.
 - Shafagh-Kolvanagh, J. and Dastborhan, S., 2017. *Lallemantia iberica* or Dragon's head; Medicinal and multi-purpose plant with many capabilities in the expected autumn planting and spring dryland agriculture. The 2th National Conference on Dryland Medicinal Plants of Iran, Urmia, Iran, July: 411-426.
 - Sinha, S.K., Srivastava, H.S. and Tripathi, R.D., 1993. Influence of some growth regulators and cautions on inhibition of chlorophyll biosynthesis by lead in

Study on effects of salicylic acid and nanosilicon on some morphophysiological characteristics and essential oil of *Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch. & C.A. Mey. under salinity stress

B. Andalibi^{1*}, M. Mohammadi Azar², B. esmailpour³ and F. shekari⁴

1*- Corresponding author, Genetic and Plant Production Department, Agriculture Faculty, Zanjan University, Zanjan, Iran
E-mail: babak.andalibi@yahoo.com

2- Ph.D. student, Genetic and Plant Production Department, Agriculture Faculty, Zanjan University, Zanjan, Iran

3- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

4- Genetic and Plant Production Department, Agriculture Faculty, Zanjan University, Zanjan, Iran

Received: February 2021

Revised: March 2021

Accepted: April 2021

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of salicylic acid (SA) and nanosilicon (n-Si) on some morphophysiological characteristics and essential oil of *Lallemantia iberica* under salinity stress and uncontrolled greenhouse conditions as a factorial experiment based on the randomized complete block design in 2018. The experimental factors included sodium chloride (0, 50, and 100 mM), SA (0, 1, and 2 mM), and n-Si (0, 0.5, and 5 mM). The SA and n-Si treatments were applied at the four-leaf stage (once every seven days) and the salinity treatment was applied at the six-leaf stage of the plant (once every four days) until fully ripening seeds of the plant (yellowing 90% of the leaves and capsules). The results showed that under salinity stress, the plant traits including height, aerial parts dry weight, chlorophyll content, and seed yield decreased and proline and essential oil increased. The application of SA and n-Si improved these traits under salinity stress. The main constituents of *L. iberica* essential oil included linalool (25%), geraniol (16%), β -cubebene (10.6%), menthyl acetate (9.8%), valencene (3.5%), germacrene-D (2.4%), β -caryophyllene (2.3%), and limonene (1.3%), all of which increased in the salinity treatments compared to the control. The application of SA and n-Si under salinity stress conditions increased limonene, linalool, geraniol, β -cubebene, β -caryophyllene, and valencene and decreased menthyl acetate and germacrene D. In general, the results of this study showed that the application of SA and n-Si could increase the tolerance of *L. iberica* to salinity stress by creating the osmotic regulation, protecting the content of photosynthetic pigments, and reducing oxidant damage.

Keywords: *Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch. & C.A. Mey., essential oil, salicylic acid, yield, chlorophyll, nanosilicon.