

## مطالعه برهم‌کنش سیلیکون و شوری بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و تشریحی گیاه گاوزبان دارویی (*Borago officinalis L.*)

فیروزه ترابی<sup>۱</sup>، احمد مجید<sup>۲</sup> و شکوفه انتشاری<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، <sup>۲</sup> گروه زیست شناسی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران- شمال و <sup>۳</sup> گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷، تهران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۳۰)

### چکیده:

امروزه گیاهان دارویی از گیاهان مهم اقتصادی هستند. با توجه به روند افزایشی توسعه اراضی شور و کمبود اراضی زراعی مطلوب برای کشاورزی، شناسایی گیاهان دارویی مقاوم به شوری اهمیت زیادی دارد. انتخاب گیاهان مقاوم به شوری از طریق کشت در محیط هیدرопونیک روشی کم‌هزینه و مطمئن جهت صرفه‌جویی در زمان محسوب می‌شود. سیلیکون دومین عنصر رایج موجود در خاک است که دارای اثرات مفیدی در افزایش تحمل به تنفس‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان است. به منظور بررسی برهم‌کنش شوری و سیلیکون بر خصوصیات فیزیولوژیکی و تشریحی گیاه گاوزبان، آزمایشی در یک طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور سیلیکون در شش سطح (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ میلی‌مولا) و شوری در دو سطح (۰ و ۱۲۰ میلی‌مولا) در ۴ تکرار انجام شد. در این مطالعه تأثیر شوری و سیلیکون بر ساختار مریستم رأس ساقه و محتواهای کلروفیل، کاروتونوئید، آنتوسیانین، ترکیبات فلزی و قندهای احیا کننده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که شوری باعث کاهش محتواهای کلروفیل، کاروتونوئید، ترکیبات فلزی، قندهای احیا کننده و افزایش میزان آنتوسیانین شد. در حالی که در مقایسه با گیاهانی که تنها تحت تیمار شوری بودند، تیمار سیلیکون و بهویژه غلظت ۱/۵ میلی‌مولا باعث افزایش شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد بررسی در این مطالعه شد. همچنین سیلیکون توانست که اثرات منفی تیمار شوری بر ساختار مریستم رأس ساقه را تعدیل کند.

واژه‌های کلیدی: سیلیکون، شوری، گاوزبان دارویی (*Borago officinalis L.*), مریستم.

دارویی (*Borago officinalis L.*) گیاهی از خانواده بورازیناسه بوده و گیاهی علفی، یکساله است. این گیاه در سراسر دنیا و از جمله ایران کشت می‌شود. این گیاه حاوی مواد موسیلاتری، تانن و ترکیبات فلزی و نیز مقدار کمی آلkalوئید است به طوری که به عنوان یکی از منابع اصلی اسیدهای چرب به شمار می‌رود و از آن به عنوان غنی‌ترین

### مقدمه:

رویکرد جهانی به استفاده از گیاهان دارویی و ترکیبات طبیعی در صنایع دارویی - آرایشی، بهداشتی و غذایی و به دنبال آن توجه مردم و صنایع داخلی به استفاده از گیاهان دارویی و معطر نیاز مبرم به تحقیقات پایه‌ای و کاربردی وسیعی را در این زمینه نمایان می‌سازد. گاوزبان

(Ahmed *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2011; Ma and Yamaji, 2008).

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر تنفس شوری بر گیاهان صورت گرفته، ولی بررسی اثر سیلیکون بر گیاهان موضوع جدید دو دهه اخیر می‌باشد. در بررسی انجام شده بر روی گیاه جو، افزایش جذب و انتقال  $K^+$  و کاهش جذب و انتقال  $Na^+$  از ریشه به بخش هوایی در شرایط شوری، به افزایش فعالیت  $H^+-ATP_{ase}$  غشای پلاسمایی توسط سیلیکون نسبت داده شد (Liang *et al.*, 2006). Lee و همکاران (۲۰۱۰) برهمکنش سیلیکات سدیم و شوری بر گیاه سویا را مورد بررسی قرار دادند. سیلیکون باعث بهبود فتوستتر و افزایش محتوای کلروفیل در شرایط شوری گردید. Samuels و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند که افزایش رشد و عملکرد گیاه در حضور سیلیکون از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوستتری گیاه می‌باشد. در کل با توجه به اهمیت کشت گیاهان در شرایط بدون خاک، لذا لزوم پژوهشی کاربردی در زمینه اثر متقابل سیلیکون و شوری بر شاخص‌های فیزیولوژیک و تشریحی گیاه گاویزان دارویی ضروری به نظر می‌رسد.

### مواد و روش‌ها:

بذرهای گیاه گاویزان دارویی (*Borago officinalis* L.) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. آزمایشات این تحقیق در شرایط کشت گلخانه انجام شد. ابتدا بذرها توسط قارچ کش بنویل ضدغونی شده و برای جوانهزنی به ظرف ماسه انتقال داده شدند. پس از جوانه زدن، تغذیه بوته‌ها تا مرحله دو برگی به وسیله آب مقطر و محلول پایه لانگشتاین یک دوم به صورت متناوب انجام گرفت. بعد از رشد دو میلیون برگ، گیاهچه‌ها به ظروف پلاستیکی ۱/۵ لیتری حاوی محلول غذایی پایه لانگشتاین تغییر یافته (Hewitt, 1966) که غلظت عناصر پرمصرف بر حسب میلی‌مولار  $H_2PO_4^-$ : ۰/۲،  $Ca(NO_3)_2$ : ۲/۵،  $CaCl_2$ : ۵،  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ : ۰/۶،  $K_2SO_4$ : ۱، و عناصر کم مصرف بر

منع شناخته شده برای گاما لینولئیک اسید یاد می‌شود. گاما لینولئیک اسید یکی از اسیدهای چرب نادر در گیاهان است که عموماً به عنوان مکمل‌های غذایی و دارویی برای درمان بیماری‌های قلبی، دیابت و ورم مفاصل و بسیاری از بیماری‌های دیگر استفاده می‌شود (نقده‌بادی و همکاران, ۱۳۸۶). رشد و نمو گیاه جزء فرآیندهای داخلی است که تحت کنترل شرایط محیطی است. شوری از جمله تنفس‌های محیطی است که رشد و تولید گیاهان را در سرتاسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مشکل در مناطق خشک و نیمه‌خشک شدیدتر است. افزایش شوری باعث تغییرات خاص در سطح سلول، بافت و اندام است (Munns, 2002). شناخت واکنش‌های گیاهان به شوری از اهمیت خاصی برخوردار است. سازوکارهای افزایش تحمل به شوری در گیاهان مختلف موجب تغییراتی در شاخص‌های مورفولوژیکی، تشریحی و فیزیولوژیکی می‌گردد که تحت تأثیر گونه گیاهی، مرحله رشد و عوامل خارجی از قبیل خاک، نوع نمک و شرایط آب هوایی (رطوبت و دما) قراردارد. یکی از راهکارهای کاهش اثرات تنفس شوری در گیاهان استفاده از سیلیکون می‌باشد (Hashemi *et al.*, 2010).

سیلیکون ۲۷/۶ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. در محلول خاک سیلیکون به صورت سیلیس حل شده مونوسیلیسیک اسید ( $H_4SiO_4$ ) وجود دارد و با همین فرم توسط گیاهان جذب می‌شود. تا به امروزه سیلیسیوم به عنوان عنصر ضروری برای رشد گیاه تشخیص داده نشده است ولی اثرات مفید این عنصر بر رشد، نمو، عملکرد و مقاومت در برابر بیماری‌ها در گونه‌های متنوعی از گیاهان مشاهده شده است (Ma and Yamaji, 2006). اثرات این عنصر در شرایط تنفس‌زا بیشتر به چشم می‌خورد، زیرا سیلیکون توانایی آن را دارد که گیاهان را در برابر تنفس‌های زیستی و غیرزیستی چندگانه محفوظ نگه دارد. سیلیکون تنش‌های غیرزیستی شامل تنفس‌های شیمیایی (نمک، سمیت فلزات، عدم تعادل غذایی) و تنفس‌های فیزیکی (بارگیری، خشکی، دمای بالا، فریز، اشعه ماوراء بمنفذ و رادیواکتیو) و تنفس‌های دیگر را کاهش می‌دهد.

مدل 6600 Spector Flex خوانده شد. غلاظت کلروفیل  $a$ ,  $b$  و کاروتینوئیدها با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید.

$$\text{Chl.}a(\text{mg/gFW}) = 12.5 \text{ A}_{663} - 2.79 \text{ A}_{645}$$

$$\text{Chl.}b(\text{mg/gFW}) = 21.51 \text{ A}_{645} - 5.1 \text{ A}_{663}$$

$$\text{Chl.Total}(\text{mg/gFW}) = \text{Chl.}a + \text{Chl.}b$$

$$\text{Car}(\text{mg/gFW}) = (1000\text{A}_{470} - 1.8 \text{ Chl.}a - 85.02 \text{ Chl.}b)/198$$

**اندازه‌گیری میزان ترکیبات فلی:** جهت اندازه‌گیری ترکیبات فلی تام از معرف Folin-Ciocalteau استفاده شد (Sonald and Lalma, 1999). ۰/۱ گرم از بافت گیاهی در ۱ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره استخراج شده گیاهی و رقت‌های مختلف استاندارد گالیک‌اسید اضافه و سپس به مخلوط حاصل ۱ میلی‌لیتر کربنات‌سدیم ۵ درصد اضافه شد. پس از یک ساعت نگهداری در دمای محیط، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۲۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV visible مدل Spector Flex 6600 خوانده شد. نتایج به صورت میلی‌گرم هم ارز گالیک‌اسید بر گرم وزن ترکیب شد.

**سنجه میزان آنتوسیانین:** از روش (Wanger, 1979) جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌های اندام هوایی استفاده شد. دیسک‌های برگی تهیه شده از گیاه را در هاون چینی با مقداری متابول اسیدی (متانول خالص و کلرید‌ریک‌اسید خالص به نسبت حجمی ۹۹ : ۱) کاملاً سائیده و عصاره در ۲۴ لوله‌های آزمایش سرپیچ دار ریخته شد و به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ و جذب محلول رویی در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV visible مدل Spector Flex 6600 اندازه‌گیری گردید. مقدار آنتوسیانین با استفاده از فرمول  $A = \epsilon bc$  به دست آمد که در آن مقدار  $\epsilon$  یا ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول،  $A$  مقدار جذب،  $b$  عرض کوتوت اندازه‌گیری برابر با یک

حسب میکرومolar  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ، ۱؛  $\text{FeEDTA}$ ، ۲؛  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۳؛  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۰۵؛  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  محلول غذایی بین ۶/۵ تا ۷ تنظیم گردید. پس از طی مدت ۱۰ روز و رشد گیاهان تا مرحله ۴ برگی، تیمار شوری و سیلیکون اعمال گردید. تحقیق حاضر با استفاده از تیمار سیلیکون Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>-Sigma در شش سطح ۰/۰۵، ۱/۰۵، ۲/۰۵ میلی‌مولار و تیمار شوری (NaCl) در دو سطح ۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار با چهار تکرار و تعداد ۲ بوته در هر تکرار انجام شد. هوادهی ظروف کشت به صورت روزانه صورت گرفت و در طول مدت کشت هر هفته محلول غذایی تعویض شد. در مجموع گیاهان به مدت ۳۵ روز در محلول غذایی و تیمار باقی ماندند. میانگین درجه حرارت محیط گلخانه در طی دوره آزمایش در شب ۲۱ ± ۳ و در روز ۲۴ ± ۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۵٪ بود.

**مطالعات میکروسکوپ نوری:** نمونه‌برداری از مریستم رأس ساقه گیاهان شاهد و تحت تیمار شوری و سیلیکون انجام شد. ثبت نمونه‌ها برای انجام برش‌های میکروتومی با فیکساتور FAA (فرمالدھید، استیک‌اسید، الکل اتیلیک ۷۰٪ با نسبت ۵:۵:۵) به مدت ۱۲-۱۴ ساعت انجام شد، آماده‌سازی نمونه‌ها با روش‌های متداول یاخته- بافت شناسی انجام گرفته و پس از برش گیری از نمونه‌ها، رنگ آمیزی آنها با هماتوکسیلین و اثوزین انجام گرفت (Yeung, 1984)، در نهایت بررسی‌های میکروسکوپی و عکس‌برداری از نمونه‌ها به عمل آمد.

**اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کاروتینوئید:** برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتینوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) استفاده شد. براساس این روش ۰/۱ گرم بافت برگ ساییده شده توسط ازت مایع با ۰/۱ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد مخلوط و به خوبی همگن شد. سپس محلول حاصل توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف گردید. سپس حجم محلول با استون به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و شدت جذب آن در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV visible

تیمار شوری باعث کاهش ابعاد مریستم نسبت به گیاه شاهد شد به طوری که ابعاد مریستم در تیمار شاهد ۰/۱۰۶ میلی‌متر و در تیمار شوری ۰/۰۷۶ میلی‌متر در تیمار سیلیکون به تنهایی تفاوت چندانی را با نمونه شاهد نشان نداد به طوری که حتی افزایش ابعاد مریستم هم دیده شد و متوسط ابعاد مریستم حدود ۰/۱۳۰ میلی‌متر بود (شکل-۱C). در تیمار همزمان شوری و سیلیکون، ساختار مریستم تفاوت هایی را با تیمار شوری نشان داد و سیلیکون توانست اثرات منفی تیمار شوری بر ساختار مریستم را تعدیل کند. ابعاد مریستم در تیمار همزمان شوری و سیلیکون ۱/۱۰۲ میلی‌متر بود (شکل-۱D).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف گیاه گاوزبان تحت تیمار شوری و سیلیکون در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی نتایج تغییرات میزان رنگیزه‌های فتوسترنزی در برگ‌های گیاه گاوزبان نشان داد که تیمار شوری باعث کاهش ۴۹ درصدی مقدار کلروفیل *a* نسبت به گیاهان شاهد شد ( $P \leq 0.05$ ). در تیمار سیلیکون به تنهایی، غلظت ۱/۵ میلی‌مolar سیلیکون باعث افزایش ۲۴ درصد و غلظت ۲/۵ میلی‌molar سیلیکون باعث کاهش ۱۹ درصد مقدار کلروفیل *a* نسبت به شاهد شدند. در گیاهان تیمار شده با سیلیکون توأم با شوری در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌molar سیلیکون به ترتیب افزایش ۴۳ و ۴۴ درصدی میزان کلروفیل *a* نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل-a-۲).

بررسی نتایج مریبوط به میزان کلروفیل *b* نشان داد که شوری باعث کاهش ۵۱ درصدی میزان کلروفیل *b* نسبت به شاهد شد. همچنین در تیمار سیلیکون به تنهایی غلظت‌های مختلف سیلیکون باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل *b* نسبت به گیاه شاهد نشد و تنها غلظت ۲/۵ میلی‌molar سیلیکون باعث کاهش ۳۱ درصد میزان کلروفیل *b* نسبت به شاهد شد. در تیمار همزمان شوری و سیلیکون افزایش معنی‌داری در سطح ۵ درصد در میزان کلروفیل *b* مشاهده شد. غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌molar سیلیکون به ترتیب باعث افزایش ۴۰، ۴۵ و ۴۶ درصدی میزان کلروفیل *b*

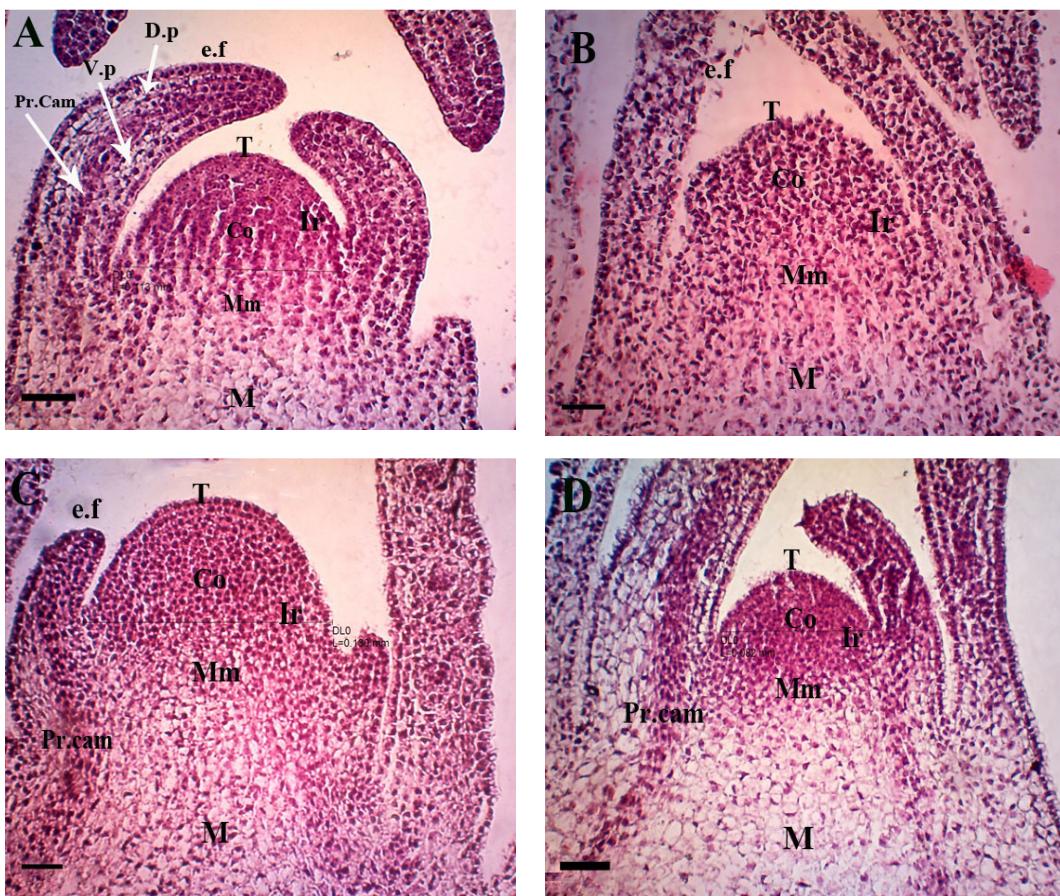
سانسی متر و ۶ مقدار آنتوکسینین بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه می‌باشد.

**اندازه‌گیری قندهای احیا کننده:** میزان قندهای احیا کننده در برگ‌ها با استفاده از روش Somogy – Nelson (۱۹۵۲) اندازه‌گیری شد. در این روش، وجود قندهای احیا کننده در محلول باعث احیای فسفومولبیدیک اسید موجود در سولفات مس باعث احیای UV visible مدل Spector Flex 6600 در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت قندهای احیا کننده بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش شد.

**تجزیه و تحلیل آماری:** تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MSTAT-C و SPSS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

## نتایج:

در بررسی برش‌های میکروتومی و مشاهده با میکروسکوب نوری، در مریستم رأس ساقه گیاه شاهد، لایه‌های تونیکا (۱-۲ لایه) و توده کورپوس به وضوح دیده می‌شوند، در جوانب مریستم رأسی، حلقه بنیادی با رنگ‌پذیری زیاد قابل رویت است. طناب‌های پروکامبیومی در بخش رأسی دیده می‌شود و در قسمت مرکزی مریستم، مریستم مغزی قرار دارد (شکل-A-۱). در گیاهان تیمار شده با غلظت ۱/۵ میلی‌molar نمک، تیمار شوری باعث بی‌نظمی ساختار مریستم رویشی ساقه شده و همچنین افزایش تراکم و رنگ‌پذیری سلول‌ها تحت تش شوری مشاهده شد که این رنگ‌پذیری به صورت همگن می‌باشد. در عین حال شوری باعث کاهش اندازه سلول‌های مریستم رأس ساقه گردید (شکل-B-۱). مقایسه ابعاد مریستم رأس ساقه نشان داد که



شکل ۱- ساختار تشریحی مریستم رأس ساقه گیاه گاو زبان دارویی (A) گیاه شاهد، (B) گیاه شوری، (C) تیمار سیلیکون به تنها بی، (D) تیمار همزمان شوری و سیلیکون، T: تونیکا، Co: کورپوس، Mm: مریستم مغزی، Ir: حلقه جانبی، Pr.Cam: طناب پروکامبیومی، M: مغز، ef: طرح اولیه برگی، Vp: پارانشیم شکمی و Dp: پارانشیم پشتی (مقیاس ۰/۰۲ میلی متر).

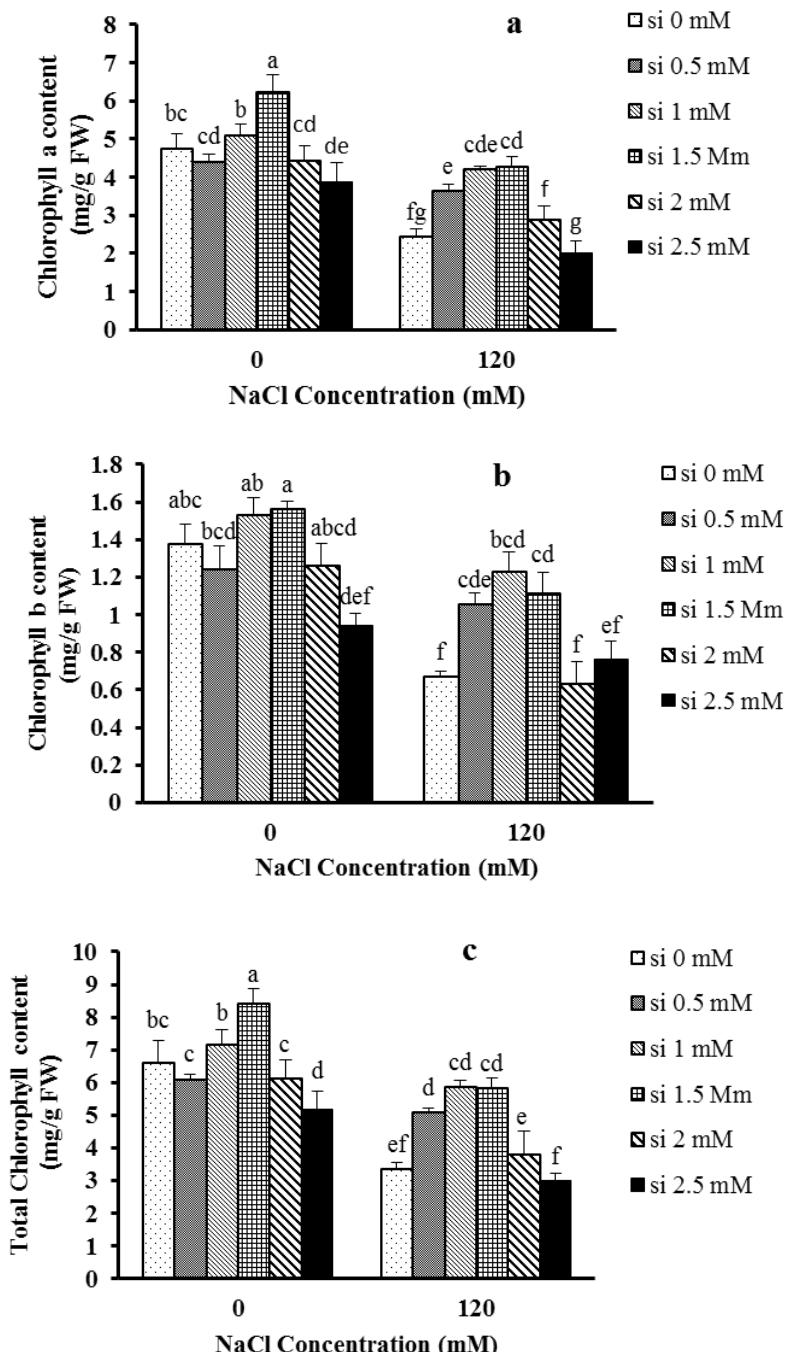
جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس برای صفات مورد بررسی گیاه گاو زبان دارویی در تیمار همزمان شوری و سیلیکون

منابع تغییرات	میانگین مریعت						آزادی	درجه آزادی
	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسبیانین	کاروتینید	ترکیبات فنلی		
سیلیکون	۲۰/۵۱۸ **	۱/۳۶ **	۳۷/۰۵۱ **	۱/۵۳۵ **	۰/۰۶۱ **	۱۴۷/۹۷۱ **	۲۴۸۷/۶۱۲ **	۵
شوری	۲۱/۸۸۱ **	۱/۴۸۲ **	۴۰/۴۷۶ **	۱/۶۸۸ *	۰/۱۵ **	۴۹۷/۴۱۸ **	۱۳۵۱/۸۶۲ **	۱
سیلیکون × شوری	۲/۸۲۳ *	۰/۳۷۵ *	۵/۱۶۸ *	۰/۰۶۹ **	۰/۲۴۵ *	۴۳/۵۵۸ **	۳۳۴/۶۲۶ **	۵
خطا	۲/۰	۰/۷۰۳	۴/۵۲۴	۰/۰۱۲	۰/۲۳۷	۲/۲۶۲	۶۳/۸۳۷	۳۶

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

درصد در میزان کلروفیل کل نسبت به گیاهان شاهد شد. در تیمار گیاه توسط غلطت های مختلف سیلیکون غلظت ۱/۵

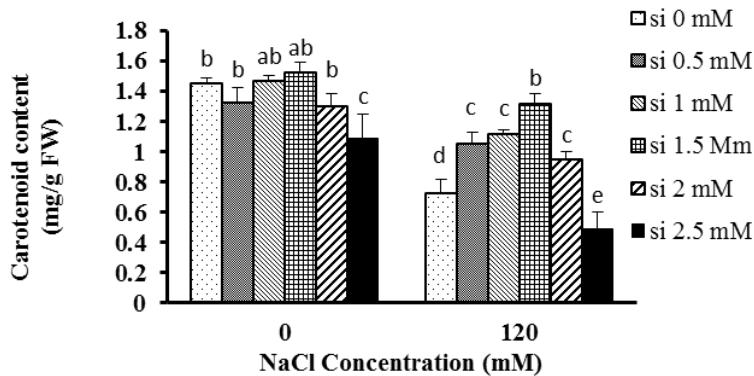
نسبت به شاهد شدند (شکل ۲ - b). نتایج تغییرات میزان کلروفیل کل نشان داد که تیمار شوری باعث کاهش ۴۹



شکل ۲ - برهم‌کنش شوری و سیلیکون بر محتوای رنگیزه‌های فتوستتزی (کلروفیل a (a)، کلروفیل b (b) و کلروفیل کل (c)) در بخش هوایی گیاه گاو زبان دارویی. داده‌ها میانگین  $\pm$  SD تکرار ۴ و حروف نامشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار ( $P \leq 0.05$ ) می‌باشد.

شوری و سیلیکون نیز غلظت‌های ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مolar سیلیکون تأثیر مثبت در افزایش میزان کلروفیل کل داشتند و به ترتیب باعث افزایش ۴۳ و ۴۲ درصدی میزان کلروفیل

میلی‌مolar سیلیکون باعث افزایش ۲۲ درصد و غلظت ۲/۵ میلی‌مolar سیلیکون نیز باعث کاهش ۲۱ درصد میزان کلروفیل کل نسبت به گیاه شاهد شدند. در تیمار هم‌زمان



شکل ۳- برهم‌کنش شوری و سیلیکون بر محتوای کاروتینوئید در بخش هوایی گیاه گاو زبان دارویی. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$  SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) می‌باشد.

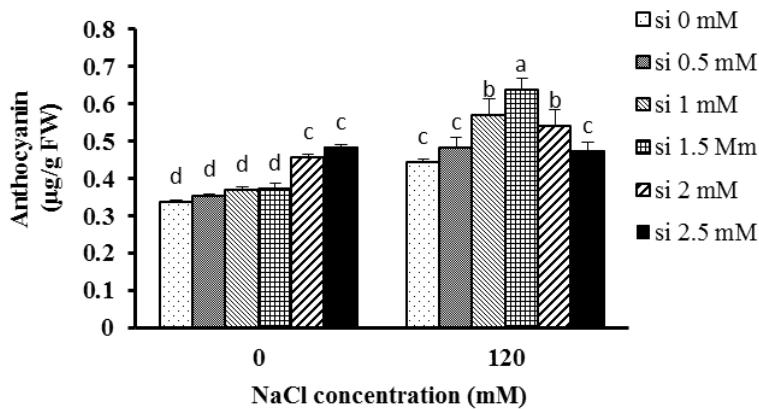
درصدی ترکیبات فنلی در برگ گیاه گاو زبان نسبت به شاهد شد که این کاهش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۵). از طرف دیگر تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیکون بر میزان ترکیبات فنلی معنی‌دار بود و غلظت‌های ۱ و ۱/۵ میلی‌مolar سیلیکون باعث افزایش ۹ و ۱۳ درصد میزان ترکیبات فنلی نسبت به گیاه شاهد شدند و همچنین غلظت ۲/۵ میلی‌مolar سیلیکون نیز باعث کاهش ۷ درصدی ترکیبات فنلی نسبت به شاهد شد. در تیمار توانم شوری و سیلیکون، تمامی غلظت‌های سیلیکون باعث افزایش میزان ترکیبات فنلی شدند ولی بیشترین افزایش در غلظت ۱/۵ میلی‌مolar سیلیکون و به میزان ۶۵ درصد افزایش میزان ترکیبات فنلی نسبت به شاهد بود.

تأثیر تیمار شوری بر مقدار قندهای احیا کننده در اندام هوایی معنی‌دار بود (شکل ۶). تیمار شوری باعث کاهش ۵۳ درصد در مقدار قندهای احیا کننده در اندام هوایی نسبت به گیاه شاهد شد. در تیمار سیلیکون به تنها، میزان قندهای احیا کننده در غلظت‌های ۱ و ۱/۵ میلی‌مolar به ترتیب افزایش ۱۰ و ۱۸ درصدی نسبت به شاهد نشان دادند. همچنین غلظت‌های ۲ و ۲/۵ میلی‌مolar سیلیکون باعث کاهش ۱۵ و ۵۰ درصدی میزان قندهای احیا کننده نسبت به گیاه شاهد شدند. کمترین مقدار قندهای احیا کننده در غلظت ۲/۵ میلی‌مolar سیلیکون مشاهده شد. در عین حال در تیمار همزمان شوری و سیلیکون، تأثیر سیلیکون

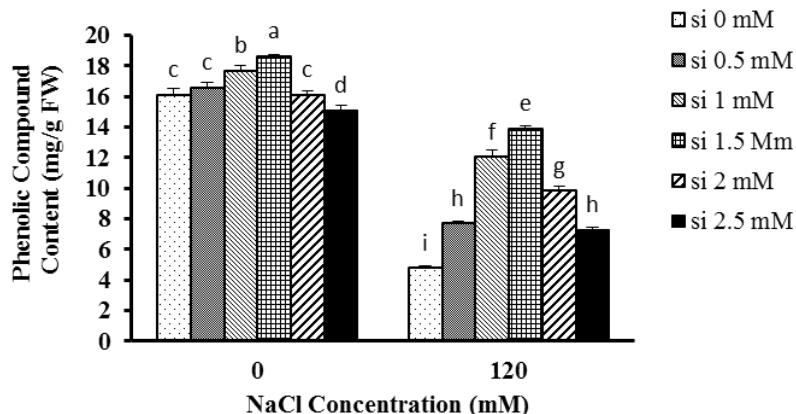
کل نسبت به شاهد شدند (شکل ۲-۳).

نتایج نشان داد که تیمار شوری باعث کاهش ۵۰ درصدی مقدار کاروتینوئید برگ نسبت به گیاه شاهد شد. همچنین غلظت‌های مختلف سیلیکون باعث افزایش معنی‌دار میزان کاروتینوئید برگ نسبت به گیاه شاهد نشدن. تنها غلظت ۲/۵ میلی‌مolar سیلیکون باعث کاهش ۲۵ درصدی مقدار کاروتینوئید برگ نسبت به گیاه شاهد شد. در تیمار همزمان شوری و سیلیکون نیز غلظت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مolar سیلیکون باعث افزایش معنی‌دار مقدار کاروتینوئید نسبت به شاهد شدند و بیشترین میزان کاروتینوئید در تیمار ۱/۵ میلی‌مolar سیلیکون و به میزان ۴۵ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۳).

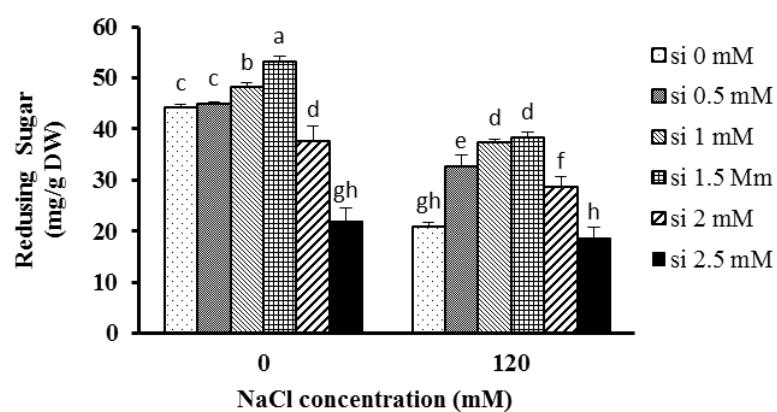
میزان آنتوسیانین نیز تحت تأثیر تیمار شوری قرار گرفت (شکل ۴). تیمار شوری باعث افزایش معنی‌دار در حدود ۲۴ درصد در میزان آنتوسیانین نسبت به گیاه شاهد شد. تأثیر تیمار سیلیکون نیز بر میزان آنتوسیانین معنی‌دار بود و غلظت‌های ۲ و ۲/۵ میلی‌مolar سیلیکون به ترتیب باعث ۲۶ و ۳۰ درصد افزایش در میزان آنتوسیانین نسبت به شاهد گردیدند. در تیمار همزمان سیلیکون و شوری در غلظت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مolar به ترتیب افزایش ۳۰ و ۱۸ درصد در میزان آنتوسیانین نسبت به شاهد مشاهده شد. نتایج تأثیر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون بر مقدار ترکیبات فنلی برگ نشان داد که شوری باعث کاهش ۷۰



شکل ۴ - برهم کنش شوری و سیلیکون بر محتوای آنتوسیانین در بخش هوایی گیاه گاوزبان دارویی. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$  SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) می‌باشد.



شکل ۵ - برهم کنش شوری و سیلیکون بر محتوای ترکیبات فلئی در بخش هوایی گیاه گاوزبان دارویی. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$  SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) می‌باشد.



شکل ۶ - برهم کنش شوری و سیلیکون بر مقدار قندهای احیاکننده اندام هوایی گیاه گاوزبان دارویی. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$  SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) بر اساس آزمون Duncan می‌باشد.

محیط کشت باعث افزایش پتانسیل اسمزی شده و از طرفی مانع درون شارش یون  $\text{Na}^+$  به درون گیاه و متعاقباً سلول های مریستمی شده و از آسیب ایجاد شده توسط نمک در سلول‌های مریستمی جلوگیری می‌کند (Gong *et al.*, 2006). در این مطالعه تنش شوری موجب کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوستتری (کلروفیل و کاروتونئید) گردید. کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوستتری در شرایط تنش شوری می‌تواند عمدتاً به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوستتری، فتواسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آنها با اکسیژن یکتایی، تخریب پیش ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوستتر کلروفیل‌های جدید و فعل شدن آنزیم‌های تجزیه کننده کلروفیل از جمله کلروفیلаз و اختلالات هورمونی باشد (Rout *et al.*, 1997/1998; Neocleus and Vasilakakis, 2007; Desingh and Kanagaraj, 2007; *et al.*, 2005). هر چند که تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها تحت تنش شوری نیز تأثیر منفی بر غلظت کلروفیل دارد (Sultana *et al.*, 1999; Stepien and Klobus, 2006) شرایط تنش نیز به علت تجزیه بتاکاروتون در چرخه گرانتوفیل می‌باشد (Sultana *et al.*, 1999). کاهش مقدار کاروتونئید در شرایط تنش نیز به علت تجزیه بتاکاروتون در چرخه گرانتوفیل می‌باشد (Juan *et al.*, 2005) و سویا (Abd-El Samad and Shaddad, 1997) نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که تحت تأثیر غلاظت‌های مختلف سیلیکون، میزان کلروفیل کل، کلروفیل a و b تغییر یافت. به نظر می‌رسد تأثیر مثبت سیلیکون به دلیل رسوب آن در پهنه‌ای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلاظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این طریق توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور را بالا می‌برد (Nabati *et al.*, 2013). سیلیکون همچنین با تأثیر بر فراساختار کلروپلاست (Liang, 1996)، افزایش کارایی فتوسیستم II (Al-Aghabary, 2004) باعث افزایش میزان فتوستتر می‌شود.

بر اساس گزارشات محققان و نتایج حاصل از این مطالعه، به نظر می‌رسد که تیمار سیلیکون به عنوان یک

مثبت بوده و باعث افزایش مقدار قندهای احیا کننده شد و غلاظت‌های ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار به ترتیب باعث ۴۶ و ۴۴ درصد افزایش قندهای احیا کننده نسبت به شاهد شدند.

### بحث:

هنگامی که گیاهان در معرض شرایط تنش قرار می‌گیرند، راهکارهای متفاوتی را انتخاب کرده که ویژه گونه و در نوع خود بی‌نظیر می‌باشند و به شرایط گیاه و عوامل زننیکی آن مربوط می‌باشد. هدف از اتخاذ این شیوه‌ها فراهم کردن شرایطی است که گیاه بتواند تنش به وجود آمده را تحمل کند و به حیات خود ادامه دهد. تنش اسمزی ناشی از مقادیر بالای یون‌های سدیم و کلر، به طور معمول بر سرعت تقسیم یاخته‌ای اثر منفی داشته و در نتیجه سرعت کمتر نمو یا کاهش در طول مدت توسعه می‌تواند منشأ آسیب باشد (Akhtar *et al.*, 2001).

تیمار شوری منجر به تعداد زیادی از تغییرات در ساختار و ترکیب تمامی اجزای سلول مریستمی می‌شود. اولین نشانه منفی گستردگی پلاسمولیز است در حالی که بیشتر تغییرات خاص شامل واکوئولی شدن سلول، تغییر شکل کروماتین هسته و آسیب به غشای پلاسمایی است. پلاسمولیز و تغییرات هسته به نظر می‌رسد که توسط از دست دادن آب ایجاد شوند (Bennici and Corrado, 2009). همچنین تغییرات تشریحی دیگر شامل افزایش تراکم، رنگ‌پذیری و خاصیت بازووفیلی سلول‌های مریستم می‌باشد. که می‌تواند به دلیل تغییر شکل مریستم از شکل رویشی به مرحله‌ای شبیه به مریستم زایشی باشد. تغییرات ایجاد شده در ساختار مریستم رأس ساقه تحت تنش شوری در گیاه گاوزبان، با نتایج حاصل از پژوهش‌های مجذ و جعفری (۱۳۷۵)، مجذ و محمودزاده (۱۳۸۴) و مجذ و شهبازی (۱۹۹۶) هم خوانی دارد.

طبق نتایج بررسی‌های میکروسکوپی مریستم رأس ساقه، تیمار سیلیکون باعث کاهش اثرات تنش شوری بر ساختار مریستم شد. به نظر می‌رسد کاربرد سیلیکون در

*Echium amoenum* در تیمار هم زمان سیلیکون و کادمیوم مشاهده شد (Amiri et al., 2012).

طبق نتایج به دست آمده کاربرد سیلیکون باعث افزایش مقدار ترکیبات فنلی تحت شرایط تنش شوری در گیاه گاوزبان شد. ترکیبات فنلی از مشتقات مسیر فنیل پروپانوئید بوده و از اجزاء سیستم دفاع غیر آنزیمی و آنتی اکسیدانی سلول محسوب می شوند. این ترکیبات می توانند به عنوان خاموش کننده و یا جاروب کننده رادیکال های آزاد اکسیژن و یا سایر گونه های فعال اکسیژن عمل نمایند. با توجه به نقش ترکیبات فنلی در کاهش و یا مهار اتوکسیداسیون لیپیدها، جاروب کردن رادیکال های آزاد، خاموش کردن اکسیژن یکنائی یا تجزیه ای پراکسیدها، این ترکیبات به عنوان یک آنتی اکسیدان ضروری برای حفاظت علیه تکثیر و پیش روی زنجیره ای اکسیداتیو و دفاع علیه گونه های فعال اکسیژن عمل می نمایند. تیمار گیاه با سیلیکون ممکن است به طور مستقیم و یا غیر مستقیم باعث القای ژن های مسیر بیوستر این ترکیبات شده باشد و یا آن که فعالیت آنزیم های مسیر بیوستر آنها را افزایش داده باشد و از این طریق باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر شوری شده است (Maksimovic et al., 2007). افزایش میزان ترکیبات فنلی در اثر تیمار سیلیکون در گیاه سورگوم تحت تنش شوری (Kafi et al., 2011) نیز مشاهده شد که با نتایج ما هم سویی دارد.

در تحقیق حاضر مقادیر کربوهیدرات های احیا در تیمار شوری تفاوت معنی داری با شاهد نشان داد و میزان آن کاهش یافت. به نظر می رسد که گیاه گاوزبان برای مقاومت در برابر شوری از مکانیسم های دیگری برای سازگاری با تنش استفاده می کند. تیمار توأم شوری و سیلیکون باعث افزایش میزان کربوهیدرات های احیا کننده گردید که با توجه به نقش های مختلف حفاظتی قندها در شرایط تنش از جمله تنظیم اسмолاریته سلولی و حفاظت ساختارهای سلولی و آنزیمها در برابر رادیکال های آزاد، ممکن است دلیل کاهش اثر منفی در برابر تنش شوری

فرآیند مقاوم سازی (Hardening) عمل نموده است و باعث کاهش اثرات مضر تنش شوری بر میزان کاروتوئید می شود. کاروتوئیدها به عنوان گیرنده نوری و حفاظت کننده فتوسیستم بر علیه اکسیژن یکتاپی عمل می کند (Koyro, 2006). کاروتوئیدها انرژی زیادی را از فتوسیستم I و II به صورت گرما یا واکنش های شیمیایی بی ضرر دفع کرده و می توانند غشا های کلروپلاستی را حفظ نمایند (Juan et al., 2005; Koyro, 2006; Matysik et al., 2002). کاروتوئیدها علاوه بر خاموش کردن اکسیژن یکتاپی، به طور مستقیم می توانند توسط اکسیژن یکتاپی اکسید شوند. به علاوه قادرند حالت برانگیخته سه تایی کلروفیل را خاموش نمایند. بنابراین به طور غیر مستقیم نیز تولید گونه های فعال اکسیژن را کاهش می دهند (Loggini et al., 1999). به این ترتیب با افزایش میزان کاروتوئیدها تحت تیمار سیلیکون از صدمات ناشی از تنش شوری بر سیستم فتوستتری و رنگیزهای گیاه گاوزبان کاسته می شود.

به منظور بررسی چگونگی عملکرد گیاه گاوزبان در برابر تنش شوری، میزان آنتوسیانین ها در گیاهان تیمار شده با شوری و سیلیکون اندازه گیری شد. عوامل محیطی تنش زا از قبیل اشعه ماوراء بنفش، سرما، خشکی، شوری، کمبود مواد غذایی و آلودگی هوا باعث تجمع رنگدانه آنتوسیانین در برگ ها می شوند. از نقش های اصلی آنتوسیانین ها می توان به نقش آنتی اکسیدانی و محافظت سیستم فتوستتری در برابر فتوکسیداسیون اشاره نمود که در گیاهان در معرض تنش نقش محافظتی ایفا می کنند (He et al., 2010). افزایش آنتوسیانین در تیمار شوری و تیمار شوری توأم با سیلیکون مشاهده شد. به نظر می رسد تیمار سیلیکون با پیشگیری از افت معنی دار آنتوسیانین در گیاه گاوزبان تیمار شده با شوری، سبب کاهش اثرات مضر شوری بر سیستم فتوستتری شده و می تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش شوری افزایش دهد (Shen et al., 2010). نتایج مشابهی در مورد افزایش میزان آنتوسیانین در گیاه

تشریحی گیاه گاویزان دارویی را کاهش داده و تعديل نماید. با توجه به این که پاسخ گیاهان به تیمار سیلیکون در طبیعت و محیط رشد آزمایشگاهی متفاوت است، بنابراین لازم است بهینه سازی غلظت سیلیکون قبل از تحقیقات مفصل صورت گیرد. ثانیاً، سیلیکون یک عنصر فعال زیستی است و گرچه مطالعات اخیر نشان می‌دهد که اثرات مفید سیلیکون تحت شرایط تنش آشکارتر است اما سیلیکون همچنین نقش فعال در فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه دارد و ممکن است نقش مهمی در سنتز درون سلولی ترکیبات آلی داشته باشد. در این مطالعه با در نظر گرفتن سطح شوری و به منظور بهبود شرایط رشد و نمو گیاه گاویزان دارویی، غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون به عنوان مناسب‌ترین تیمار تشخیص داده شد.

باشد (Kerepesi and Galiba, 2000). به نظر می‌رسد که در این آزمایش، در گیاهان تیمار شده با شوری و سیلیکون میزان ثبت  $\text{CO}_2$  به خاطر بالاتر بودن محتوای کلروفیل و کاهش نکروزه شدن برگ‌ها بیشتر از گیاهان رشد یافته تحت تنش شوری می‌باشد و این امر سبب تولید قند و تجمع بیشتر آن در گیاه گردیده است (Silva *et al.*, 2012). این مطالب با گزارش سعادتمند و انتشاری (۱۳۹۱) در مورد افزایش میزان قندهای احیا کننده در تیمار همزمان شوری و سیلیکون در گیاه *Echium amoenum* هم‌سویی دارد.

#### نتیجه‌گیری:

نتایج این مطالعه نشان داد که سیلیکون قادر است که آثار زیان بار تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و

#### منابع:

- Ahmed, M., Hassen, F. and Khurshid, Y. (2011) Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agriculture Water Management* 98: 1808-1812.
- Akhtar, Sh., Wahid, A., Akram, M. and Rasul, E. (2001) Some growth, photosynthetic and anatomical attributes of sugarcane genotypes under NaCl salinity, *International Journal of Agriculture and Biology* 3: 439-443.
- Al-aghabary, K., Zhu, Z. and Shi, Q. (2004) Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 27: 2101-2115.
- Amiri, J., Entesari, Sh., Delavar, K., Saadatmand, M. and Rafie, N. A. (2012) The Effect of Silicon on Cadmium Stress in *Echium amoenum*. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 62: 242-245.
- Bennici, A. and Corrado T. (2009) Ultrastructural effects of salinity in *Nicotiana bigelovii* var. *bigelovii* callus cells and *Allium cepa* roots. *Caryologia* 62: 124-133.
- Chen, W., Yao, X., Cai, K. and Chen, J. (2011) Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research* 142: 67-76.
- Desingh, R. and Kanagaraj, G. (2007) Influence of salinity stress on photosynthesis and
- سعادتمند، م. و انتشاری، ش. (۱۳۹۱) اثر طول زمان پیش تیمار با سیلیکون بر تحمل شوری در گیاه گاویزان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & C.A. mey). *علوم و فنون کشت‌های گلخانه ای* ۵۷-۴۵: ۵-۲۵.
- مجد، ا. و جعفری، س. (۱۳۷۵) اثر تنش ناشی از کلرید سدیم بر تکوین اندام‌های رویشی و زایشی و میزان باردهی دو رقم بادام زمینی. *پایان نامه کارشناسی ارشد*. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- مجد، ا. و محمودزاده، آ. (۱۳۸۴) اثر تنش شوری بر مراحل تکوینی و عملکرد مریسمت‌های رأسی در کلزا. *رساله دکتری*. دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات. تهران.
- نقی بادی، ح.، سروش زاده، ع.، رضازاده، ش.، شریفی، م..، قلاوند، ا. و امیدی، ح. (۱۳۸۶) مروری بر گیاه گاویزان (گیاه دارویی با ارزش و غنی از گاما‌لینولنیک اسید). *فصلنامه گیاهان دارویی* ۶: ۱۶-۱.
- Abd El Samad, H. M. and Shaddad, M. A. K. (1997) Salt tolerance of soybean cultivars. *Biologia Plantarum* 39: 263-269.

- Liang, Y. C., Shen, Q. R., Shen, Z. G. and Ma, T. S. (1996) Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 19: 173-183.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Macromolecular Crystallography* 148: 350-382.
- Loggini, B., Scartazza, A., Brugonli, E. and Navari-Izzo, F. (1999) Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant Physiology* 119: 1091-1099.
- Ma, J. F. and Yamaji, N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science* 11: 392-397.
- Ma, J. F., Yamaji, N. (2008) Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Science* 65: 3049-3057.
- Majd, A. and Shahbazi, M. (1996) The effects of salt stress on the shoot apical meristem and leaf generation in sunflower (*Helianthus annuus*) Journal of Science Islamic Republic of Iran 7: 137-144.
- Maksimovic, J. D., Bogdanovic, J., Maksimovic, V. and Nikolic, M. (2007) Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown at excess manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170: 739-744.
- Matysik, J., Alia, A., Bhalu, B. and Mohanty, P. (2002) Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science* 82: 525-532.
- Munns, R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment* 25: 239-250.
- Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A. and Zare Mehrjerdi, M. (2013) Effect of salinity and silicon application on photosynthetic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *International Journal of Agricultural Sciences* 3: 483-492.
- Neocleous, D. and Vasilakakis, M. (2007) Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. "Autumn Bliss"). *Scientia Horticulturae* 112: 282-289.
- Rout, N. P., Tripathi, S. B. and Shaw, B. P. (1997/98) Effect of salinity on chlorophyll and proline content in three aquatic macrophytes. *Biologia Plantarum* 40: 453-458.
- Samuels, A. L., Glass, A. D. M., Ehret, D. L. and Menzies, J. G. (1993) The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. *Annals Botany* 72: 433-440.
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E. and Li, J. (2010) Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean antioxdative systems in two cottons. *General and Applied Plant Physiology* 33: 221-234.
- Gong, H. J., Randall, D. P. and Flower, T. J. (2006) Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice seedling by reducing bypass flow. *Plant Cell and Environment* 111: 1-9.
- Hashemi, A., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H. R. (2010) Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 56: 244-253.
- He, F., Mu, L., Yan, G. L., Liang, N., Pan, Q., Wang, J., Reeves, M. and Duan, C. (2010) Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* 15: 9057-9091.
- Hewitt, E. J. (1966) Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. *Tech. Commun.* 22, Commonwealth Bureaux of Hort. and Plantation Crops, East Malling, England.
- Juan, M., Rivero, R. M., Romero, L. and Ruiz, J. M. (2005) Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 54: 193-201.
- Kafi, M., Nabati, J., Masoumi, A. and Zare Mehrjerdi, M. (2011) Effect of salinity and silicon application on oxidative damage of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Pakistan Journal of Botany* 43: 2457-2462.
- Kerepesi, I., Galiba, G. (2000) Osmotic and salt stress induced alternation in Soluble carbohydrate content in wheat seedling. *Crop Science* 40: 482-487.
- Kim, Y. H., Khan, A. L., Hamayun, M., Kang, S. M., Beom, Y. J. and Lee, I. J. (2011) Influence of short-term silicon application on endogenous physiohormonal levels of *Oryza sativa* L. under wounding stress. *Biological Trace Element Research* 144: 1175-1185.
- Koyro, H. W. (2006) Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany* 56: 136-149.
- Lee, S. K., Yoon, J. Y., Sohn, E. Y., Lee, I. J. and Hamayun, M. (2010) Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. *Agroforestry Systems* 80: 333-340.
- Liang, Y. C., Zhang, W. H., Chen, Q., Liu, Y. L. and Ding, R. X. (2006) Effect of exogenous silicon (Si) on H<sup>+</sup>-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental and Experimental Botany* 57: 212-219.

- Stepien, P. and Klobus, G. (2006) Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum* 50(4): 610-616.
- Sultana, N., Ikeda, T. and Itoh, R. (1999) Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany* 42: 211-220.
- Wanger, G. J. (1979) Content and vacuole/ extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology* 64: 88-93.
- Yeung, E. C. (1984) Histological and histochemical staining procedures. (ed. Vasil, I. K.). pp. 689-697. Academic Press, New York.
- seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology* 167: 1248-52.
- Silva, O. N., Lobato, A. K. S., Avila, F. W., Costa, R. C. L., Oliveira Neto, C. F., Santos Filho, B. G., Martins Filho, A. P., Lemos, R. P., Pinho, J. M., Medeiros, M. B. C. L. Cardoso, M. S. and Andrade, I. P. (2012) Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. *Plant Soil and Environment* 58: 481-486.
- Somogy, M. (1952) Notes on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry* 195: 19-29.
- Sonald, S. F. and Laima, S. K. (1999) Phenolic and cold tolerance of *Brassica napus*. *Plant Agriculture* 1: 1-5.