

The effect of silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under salinity stress

Farshad Zare, Sarah Khorasaninejad *, Khodayar Hemmati

Department of Horticulture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Salinity is one of the most significant abiotic stresses that affects plant growth and yield in various ways. On the other hand, silica, the second most abundant element in the Earth's crust, increases plants' tolerance under stress; therefore, given the importance of the Purple Coneflower, we investigated the effect of silicon on some of the morphological and phytochemical traits of this a medicinal plant under salt stress. For this purpose, a pot experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design with four levels of salinity (control, 25, 50 and 75 mM sodium chloride), four levels of silicon (control, 0.75, 1.5 and 2.25 mM), and four replications. The experiment was done in greenhouse of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources in 2016. The stress was imposed in hydroponics (perlite and coir) culture medium with Hoagland nutrition solution. Since flowering begun, growth, morphological, physiological and phytochemical indices including root length, fresh weight of shoots and roots, dry weight of shoots and roots, leaf scorch, leaf relative water content, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, total chlorophyll, total flavonoids, total phenol and antioxidant activity of the root were measured. Salt stress increased all measured traits to a moderate amount and then decreased them. All traits except the percentage of leaf scorch improved with silicon concentration. The interaction of these two factors was significant in all traits except fresh and dry weight of shoots and the percentage of leaf scorch. In addition, the negative effects of salinity stress, especially on low to moderate levels decreased significantly in growth, morphophysiological and phytochemical traits of the plant with silicon and thereby the growth improved. So, the best salinity concentration to increase the biochemical factors was 25 mM of sodium chloride and the best concentration of silicon to reduce the negative effects of salinity stress was 2.25 mM.

Keywords: Dry weight, Hogland, Hydroponic, Leaf burn

* Corresponding Author: khorasaninejad@gau.ac.ir

Copyright©2018, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال دهم، شماره سی و هفتم، پاییز ۱۳۹۷، صفحه ۵۵-۶۸

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۶/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۰۳/۱۱ و ۹۷/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۷/۲۳

اثر سیلیسیوم در برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در تنش شوری

فرشاد زارع، سارا خراسانی نژاد*، خدایار همتی

گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

شوری از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که با روش‌های متفاوت بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد. همچنین سیلیسیوم، دومین عنصر فراوان پوسته زمین، مقاومت به تنش را در گیاهان افزایش می‌دهد؛ بنابراین با توجه به اهمیت دارویی گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)، آزمایشی گلدانی برای بررسی اثر سیلیسیوم در صفات ریخت‌شناختی و فیتوشیمیایی این گیاه در تنش شوری به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با غلظت‌های شوری صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و سیلیسیوم با غلظت‌های صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار در چهار تکرار انجام شد. تنش در محیط کشت هیدروپونیک (پرلیت و کوکویت) و محلول غذایی هوگلند اعمال شد. پس از شروع گل‌دهی، شاخص‌های رشدی، ریخت‌شناختی، فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی از جمله طول ریشه، وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، سوختگی برگ، آب نسبی برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، کلروفیل کل، فلاونوئید کل، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه اندازه‌گیری شدند. تنش شوری، همه صفات اندازه‌گیری شده را تا مقدار متوسط افزایش و سپس کاهش داد. با افزایش غلظت سیلیسیوم، همه صفات بجز درصد سوختگی برگ بهبود یافتند. اثر متقابل این دو عامل در همه صفات بجز وزن تر و خشک اندام هوایی و درصد سوختگی برگ معنی‌دار بود و آثار منفی ناشی از تنش شوری به ویژه در مقادیر کم تا متوسط در صفات رشدی، مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه با سیلیسیوم، بسیار کاهش یافت و رشد را بهبود داد؛ به طوری که بهترین غلظت شوری برای افزایش فاکتورهای بیوشیمیایی، ۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید و بهترین غلظت سیلیسیوم برای کاهش آثار منفی تنش شوری، ۲/۲۵ میلی‌مولار بود.

واژه‌های کلیدی: درصد سوختگی برگ، وزن خشک، هوگلند، هیدروپونیک

* نگارنده مسئول: نشانی پست الکترونیک: khorasaninejad@gau.ac.ir شماره تماس: ۰۱۷۳۲۴۴۰۸۷۰

مقدمه

کاهش داد (Jaffel *et al.*, 2011). در همین راستا نتایج پژوهش‌ها نشان دادند تنش شوری کاهش کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید را باعث می‌شود؛ به طوری که افزایش شوری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید را در آویشن، آویشن شیراز، کاکوتی کوهی (Koocheki *et al.*, 2008) و مرزه (Najafi *et al.*, 2010) کاهش داد که کاهش میزان کلروفیل گیاهانی که در محیط شور رشد کرده‌اند به دلیل افزایش تجزیه کلروفیل و جلوگیری از سنتز این رنگ‌دانه‌ها است (García-Sánchez *et al.*, 2002). علاوه بر این در رازیانه کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی به دلیل شوری، به اختلال در جذب یون‌های دخیل در سنتز کلروپلاست و پروتئین‌ها و تجزیه پلاستیدها نسبت داده می‌شود (El-Wahab, 2006). همچنین شوری آثار نامطلوب بر جوانه‌زنی گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) دارد؛ به طوری که با افزایش تنش شوری سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه این گیاه کاهش یافت (Alizade Ahmadabadi and Khorasaninejad, 2016). در همین راستا از نتایج بررسی اثر تنش شوری در اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) در کشت هیدروپونیک مشخص شد با افزایش شوری؛ طول ساقه، وزن تر ساقه و وزن تر و خشک ریشه این گیاه کاهش یافت و طول ریشه و درصد اسانس ابتدا تا غلظت شوری ۲۵ میلی‌مولار افزایش و سپس کاهش یافت (Khorasaninejad *et al.*, 2016). در پژوهش دیگری با بررسی اثر تنش شوری در کشت هیدروپونیک در نعناع‌فللی (*Mentha piperita*)، مشخص شد تیمارهای مختلف شوری آثار

شوری خاک شرایطی است که در خاک غلظت‌های زیاد نمک وجود دارد. هدایت الکتریکی (EC) این خاک‌ها برابر با چهار دسی‌زیمنس بر متر یا بیشتر است (Brown, 2008). این مقدار از شوری خاک، عملکرد بیشتر محصولات کشاورزی را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد (Munns and Tester, 2008). در حال حاضر سطح درخت‌توجهی از زمین‌های کشاورزی تا حدی شور هستند و وسعت زمین‌های شور در حال افزایش است (Pitman and Läuchli, 2002). برای نمونه از دلایل شوری روزافزون خاک زمین‌های کشاورزی، آبیاری نامناسب و بیش از حد نیاز است (Mahajan and Tuteja, 2005). با افزایش شوری خاک، زمین‌های کشاورزی تخریب می‌شوند و تخمین زده شده است که ۵۰ درصد از این زمین‌ها تا نیمه قرن ۲۱ استفاده‌شدنی نخواهند بود (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). آثار نامطلوب شوری بر گیاهان به سه گروه کلی شامل کاهش پتانسیل اسمزی خاک، تخریب ساختمان فیزیکی خاک و افزایش غلظت یون‌های سدیم (Na^+) و کلر (Cl^-) تقسیم می‌شوند (Sreenivasulu *et al.*, 2007).

ثابت شده است شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی است؛ به طوری که تیمار گلرنگ با پتاسیم کلرید کاهش ارتفاع، طول ریشه و وزن تر اندام هوایی این گیاه را نسبت به شاهد باعث شد (Gengmao *et al.*, 2015). همچنین افزایش مقدار نمک به طور معنی‌داری سطح برگ، طول ساقه، قطر ساقه، تعداد گل و وزن خشک اندام‌های مختلف گل‌گاوزبان را

در رشد و توسعه سویا سبب شد (Lee et al., 2010).

سرخارگل (*E. purpurea*) به دلیل خواص دارویی در بسیاری از کشورها کشت و استفاده می‌شود (Omidbaigi, 2002). این گیاه حاوی مواد مؤثر ارزشمندی مانند ترکیبات آلکیل آمیدی، پلی‌ساکاریدی و اسانس است (Sabra, 2012). درباره میزان تحمل گونه‌های جنس *Echinacea* به تنش شوری در کشت هیدروپونیک مشخص شده است تفاوت زیادی بین سه گونه *Echinacea purpurea*، *Echinacea pallida* و *Echinacea angustifolia* وجود دارد؛ به طوری که میان گونه‌ها، بیشترین میزان بقا مربوط به *E. purpurea* و کمترین مربوط به *E. angustifolia* است. همچنین سرعت فتوسنتز در *E. angustifolia* در غلظت‌های کم شوری کاهش یافت؛ در حالی که در *E. purpurea* و *E. pallida* در غلظت‌های بیشتر یعنی ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید کاهش یافت که نشان‌دهنده حساسیت نسبتاً زیاد این جنس است که به ترتیب *E. purpurea*، *E. pallida* و *E. angustifolia* بیشترین مقاومت را به تنش شوری دارند (Sabra et al., 2012b). در بررسی دیگری مشخص شد در تنش شوری در کشت هیدروپونیک، متابولیت‌های ثانویه در هر دو گونه *E. purpurea* و *E. angustifolia* در معرض شوری تا ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید بیشترین کیفیت را داشتند؛ ولی در گونه *E. pallida* بیشترین ترکیبات در میزان شوری بیشتر تولید شد (Sabra et al., 2012a).

باتوجه به اهمیت دارویی گیاه سرخارگل و

چشمگیر و معنی‌داری بر همه صفات ریخت‌شناختی، کمیت اسانس و ترکیب اجزاء اسانس نعنای فلفلی دارند و نعنای فلفلی تحمل متوسطی نسبت به تنش شوری دارد (Khorasaninejad et al. 2010).

پس از اکیژن، سیلیسیوم فراوان‌ترین عنصر پوسته زمین است که بسته به نوع گیاه ۰/۱ تا ۱۰ درصد وزن خشک آن را تشکیل می‌دهد (Khan et al. 2016). سیلیسیوم افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها را موجب می‌شود؛ بنابراین نقش آن در رشد گیاه در زمان تنش نسبت به شرایط عادی مشهودتر است (Ma and Yamaji, 2008). آثار مفید سیلیکون برای گیاهان شامل افزایش فتوسنتز، افزایش مقاومت به آفات و بیماری‌ها، کاهش سمی بودن عناصر و مقاومت به تنش‌ها هستند (Ma et al., 2004; Ahmed et al., 2014). سیلیسیوم در کاهش تنش شوری در برنج، خیارسبز و گوجه‌فرنگی بررسی شده است. گزارش‌ها نشان می‌دهند اگرچه سدیم کلرید رشد را کاهش می‌دهد، سیلیسیوم به طور معنی‌داری اثر آن را کم می‌کند (Zhu et al., 2004; Al-aghaby et al., 2005). همچنین سیلیسیوم، پتانسیل اسمزی را در برگ‌های گندم کاهش می‌دهد و جذب آب را از ریشه تسهیل می‌کند (Chen et al., 2011). در همین راستا با کاربرد غلظت ۲/۵ میلی‌مولار سیلیسیوم در محیط کشت سویا، ارتفاع گیاه، بیومس تازه و خشک، محتوای کلروفیل و سطح جبرلین داخلی افزایش یافت و کاربرد هم‌زمان سیلیسیوم با شرایط تنش شوری در کشت هیدروپونیک، کاهش آثار مخرب تنش شوری را

شد. سطح برگ با دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل Cambridge، شرکت Delta T Device، انگلستان) اندازه‌گیری شد. درصد سوختگی به صورت ظاهری و با درجه‌بندی کیفی محاسبه شد (Halevy *et al.*, 1987). برای اندازه‌گیری آب نسبی برگ، قطعات یک سانتی‌متری از برگ جدا و وزن شدند و با قرار گرفتن در تاریکی و دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، وزن اشباع و سپس با خشک‌شدن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن خشک به دست آمد. آب نسبی برگ از رابطه ۱ محاسبه شد (Barrs and Weatherley, 1962).

رابطه ۱

$$RWC = 100 \times \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}}$$

برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید، ۰/۵ گرم از بافت تازه خرد و در لوله آزمایش ریخته شد؛ سپس ۱۰ میلی‌لیتر دی‌متیل‌سولفوکسید (DMSO) خالص به آن اضافه و به مدت سه ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از صاف کردن نمونه‌ها با کاغذ صافی، یک میلی‌لیتر از محلول صاف‌شده برداشت و به حجم پنج میلی‌لیتر رسانده شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل 2800، شرکت Unico، USA) میزان جذب محلول به دست آمده در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید از رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ به دست آمد (Barns *et al.*, 1992).

رابطه ۲

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

رابطه ۳

محدودیت‌های تولید مزرعه‌ای این گیاه به دلیل شوری خاک و آب‌های کشاورزی، در آزمایش حاضر، نقش سیلیسیوم در کاهش آثار منفی تنش شوری در ویژگی‌های رشدی، مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی سرخارگل بررسی شد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر تنش شوری و سیلیسیوم در برخی شاخص‌های رشدی، ریخت‌شناختی و فیتوشیمیایی سرخارگل (*E. purpurea*) آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل برپایه طرح کاملاً تصادفی با چهار غلظت شوری صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید (NaCl) و سیلیسیوم با چهار غلظت صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار در چهار تکرار در سال ۱۳۹۵ در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد.

نشاهای گیاه سرخارگل در گلدان‌های پرشده با پرلیت و کوکویت به نسبت دو به یک کاشته شدند و تا زمان استقرار کامل، گیاهچه‌ها با محلول غذایی هوگلند باغلظت یک‌دوم، محلول‌دهی شدند. پس از دو هفته برای اعمال تنش شوری، سدیم کلرید (NaCl) خالص به محلول غذایی هوگلند اضافه شد و به مدت ۴۵ روز ادامه یافت و برای جلوگیری از تجمع نمک‌ها، گلدان‌ها هفته‌ای یک‌بار با آب فراوان آبیاری شدند؛ سپس سیلیسیوم در سه وعده و به جای سدیم کلرید، به محلول غذایی اضافه شد. پس از شروع گل‌دهی، شاخص‌های رشدی و ریخت‌شناختی مانند ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام‌هوایی و وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شدند که اندازه‌گیری طول ریشه پس از شستن ریشه‌ها با خط‌کش انجام

در این روش به ۰/۵ میلی لیتر عصاره گیاهی، ۱/۵ میلی لیتر متانول، ۰/۱ میلی لیتر محلول یک درصد آلومینیوم کلراید، ۰/۱ میلی لیتر محلول پتاسیم استات یک مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در دمای محیط، جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر خوانده شد و برای رسم نمودار استاندارد از غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر استاندارد کوئرستین استفاده شد.

میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با اندازه‌گیری درصد مهار رادیکال آزاد دی فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد (Guo *et al.*, 2005)؛ به طوری که در این روش یک میلی لیتر از محلول متانولی یک مولار دی فنیل پیکریل هیدرازیل با یک میلی لیتر از عصاره متانولی به شدت مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگهداری و در نهایت، جذب آنها در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد و فعالیت برحسب درصد نسبی مهار دی فنیل پیکریل هیدرازیل با رابطه ۵ محاسبه شد.

رابطه ۵

$$DPPH(\%) = \frac{\text{جذب نمونه}(\%) - \text{جذب شاهد}(\%)}{\text{جذب شاهد}(\%)} \times 100$$

تحلیل آماری: محاسبات آماری این آزمایش با نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شدند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شد.

نتایج

باتوجه به نتایج تجزیه واریانس در جداول ۱ و ۲، تنش شوری بر طول ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن

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

رابطه ۴

$$Car = [7.6(A480) - 1.49(A510)] \times V/W$$

در رابطه‌های یادشده V و W به ترتیب بیان کننده حجم نهایی محلول برحسب میلی لیتر و وزن نمونه برحسب گرم هستند.

برای تهیه عصاره متانولی برای اندازه‌گیری فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، یک گرم از ریشه خشک شده به ۱۰ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد اضافه شد و پس از آنکه به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار گرفت از کاغذ صافی عبور داده شد.

اندازه‌گیری فنل کل با فولین - سیوکالتیو (Mrozikiewicz *et al.*, 2010) انجام شد. بدین منظور ۲۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده با ۱/۶ میلی لیتر آب مقطر مخلوط و ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین به محلول یادشده اضافه شد. پس از پنج دقیقه ۳۰۰ میکرولیتر محلول سدیم کربنات ۲۰ درصد به محلول اضافه شد. نمونه‌ها پس از هم‌زدن به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند؛ سپس جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شده و نتایج برحسب میلی گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم نمونه خشک محاسبه شدند. برای رسم نمودار کالیبراسیون از غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر گالیک اسید در متانول ۸۰ درصد استفاده شد. فنل کل بر حسب میلی گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم ریشه خشک به دست آمد.

فلاونوئید کل با روش نورسنجی آلومینیوم کلرید (Bannayan *et al.*, 2008) اندازه‌گیری شد.

خشک اندام هوایی و کاروتنوئید در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش شوری و سیلیسیوم نیز در وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه، آب نسبی برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، فلاونوئید ریشه، فنل ریشه در سطح یک درصد و در کاروتنوئید در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

خشک ریشه، سوختگی برگ، سطح برگ، آب نسبی برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، کلروفیل کل، فلاونوئید کل ریشه، فنل کل ریشه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه در سطح یک درصد تأثیر معنی‌دار داشت. علاوه بر آن، اثر سیلیسیوم در طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، آب نسبی برگ، کلروفیل a، کلروفیل b در سطح یک درصد و بر وزن تر و

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری و سیلیسیوم در شاخص‌های رشدی و مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی سرخارگل

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		طول ریشه	سطح برگ	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
شوری	۳	۲۰۱/۰۹**	۵۳۷۶**	۶۶۵۳**	۹۸/۰۹**	۲۰۷/۳۷**	۴/۷۴**
سیلیسیوم	۳	۱۵۱/۱۳**	۲۱۳۲**	۵۱۲/۸*	۲۳/۲۸*	۹۶/۴۸**	۶/۳۸**
شوری×سیلیسیوم	۹	۳۷/۳۸**	۱۸۱/۳**	۲۱۳/۳ ^{ns}	۴/۵۷ ^{ns}	۲۰/۷۲**	۲/۲۳**
خطا	۴۸	۵/۰۳	۳۱/۵	۱۵۴/۲	۶/۱	۶/۲۹	۰/۲۵
ضریب تغییرات (%)		۱۲/۴۲	۵/۳۶	۲۴/۶۸	۲۸/۰۳	۹/۸۸	۸/۹۶

ns بیان‌کننده معنی‌دار نبودن است. * و ** به ترتیب بیان‌کننده معنی‌داری در سطح احتمال $P \leq 0/05$ و $P \leq 0/01$ هستند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری و سیلیسیوم در شاخص‌های فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	فلاونوئید ریشه
شوری	۳	۱۲/۰۹**	۳/۴۵**	۲۸/۰۵**	۱/۰۳**	۱۸۴۱۳**
سیلیسیوم	۳	۴/۰۴**	۰/۵۸**	۶/۲۳**	۰/۰۸*	۱۰۷۷۴**
شوری×سیلیسیوم	۹	۰/۴۶**	۰/۲۶**	۰/۶۰**	۰/۰۰۱*	۵۴۶۵**
خطا	۴۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۵۹	۴۷۵/۷
ضریب تغییرات (%)		۷/۶۵	۲۳/۱۷	۹/۱۶	۲۵/۷۱	۲۰/۲۸

ns بیان‌کننده معنی‌دار نبودن است. * و ** به ترتیب بیان‌کننده معنی‌داری در سطح احتمال $P \leq 0/05$ و $P \leq 0/01$ هستند.

برگ در تیمارهای ۷۵ میلی مولار سدیم کلرید و بدون کاربرد سیلیسیوم به دست آمد. بیشترین سطح برگ که در تیمار شاهد و غلظت‌های ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی مولار سیلیسیوم مشاهده شد نشان می‌دهد سیلیسیوم قادر به افزایش سطح برگ به ویژه در شرایط کشت هیدروپونیک است. همچنین با افزایش غلظت سیلیسیوم در تنش شوری، کاهش سطح برگ جبران شد.

نتایج مقایسه میانگین آثار متقابل تنش شوری و سیلیسیوم (جدول ۳) نشان می‌دهند بیشترین طول ریشه در تیمار سدیم کلرید ۷۵ میلی مولار با سیلیسیوم ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی مولار و تیمار سدیم کلرید ۲۵ میلی مولار با سیلیسیوم ۲/۲۵ میلی مولار و کمترین طول ریشه در تیمار شوری شاهد و بدون سیلیسیوم و تیمار شوری شاهد با غلظت‌های کم سیلیسیوم به دست آمد. با افزایش تنش شوری، سطح برگ کاسته شد؛ به طوری که کمترین سطح

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین آثار متقابل تنش شوری و سیلیسیوم در شاخص‌های رشدی و مورفوفیزیولوژیک سرخارگل

تیمار	طول ریشه (سانتی متر)	سطح برگ (سانتی متر مربع در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	آب نسبی برگ (درصد)
S ₁ L ₁	۱۰/۸۲ ± ۱/۳ ^g	۱۰۷/۵۷ ± ۶/۲ ^{de}	۶/۱۱ ± ۰/۱ ^{cde}	۵۸/۷۳ ± ۵/۰ ^{defg}
S ₁ L ₂	۱۱/۲۷ ± ۱/۱ ^g	۱۲۳/۶۷ ± ۳/۷ ^b	۴/۷۸ ± ۰/۲ ^{gh}	۵۲/۲ ± ۵/۴ ^{fgh}
S ₁ L ₃	۱۴/۸۸ ± ۱/۴ ^f	۱۳۲/۷۶ ± ۶/۸ ^a	۶/۸۸ ± ۰/۲ ^{ab}	۵۵/۴۳ ± ۷/۷ ^{efgh}
S ₁ L ₄	۱۸/۵۲ ± ۲/۸ ^{de}	۱۳۴/۶۷ ± ۴/۰ ^a	۶/۶۲ ± ۰/۳ ^{abc}	۷۱/۵۳ ± ۶/۶ ^{abc}
S ₂ L ₁	۱۴/۹۴ ± ۲/۲ ^f	۱۰۰/۳۳ ± ۳/۰ ^{ef}	۴/۳۲ ± ۰/۲ ^{hi}	۸۱/۳۶ ± ۵/۹ ^a
S ₂ L ₂	۱۹/۵۵ ± ۲/۲ ^{cde}	۱۱۳/۸۶ ± ۹/۴ ^{cd}	۶/۵۵ ± ۰/۳ ^{abc}	۶۱/۳۲ ± ۹/۴ ^{cdef}
S ₂ L ₃	۱۹/۲۳ ± ۳/۸ ^{cde}	۱۱۹/۹۶ ± ۱/۵ ^{bc}	۵/۸۱ ± ۰/۷ ^{def}	۶۶/۳۳ ± ۸/۹ ^{bcd}
S ₂ L ₄	۲۶/۱۲ ± ۲/۲ ^a	۱۲۴/۷۴ ± ۱/۱ ^{ab}	۷/۱۲ ± ۰/۵ ^a	۷۶/۲۲ ± ۹/۰ ^{ab}
S ₃ L ₁	۱۵/۰۲ ± ۱/۹ ^f	۸۳/۳۳ ± ۲/۹ ^{hi}	۵/۳۷ ± ۰/۵ ^{fg}	۴۹/۵۹ ± ۱۳/۶ ^{ghi}
S ₃ L ₂	۱۶/۶۱ ± ۲/۹ ^{ef}	۸۱/۷۱ ± ۳/۲ ⁱ	۵/۴۴ ± ۰/۸ ^{efg}	۴۸/۵۷ ± ۷/۷ ^{ghi}
S ₃ L ₃	۱۳/۵۱ ± ۲/۰ ^{fg}	۱۱۰/۷۳ ± ۳/۶ ^d	۴/۹۱ ± ۰/۶ ^{gh}	۶۴/۶۱ ± ۶/۲ ^{cde}
S ₃ L ₄	۲۰/۷۷ ± ۲/۹ ^{bcd}	۸۹/۹۶ ± ۹/۳ ^{gh}	۶/۱۸ ± ۰/۹ ^{bcd}	۴۵/۵۵ ± ۵/۹ ^{hi}
S ₄ L ₁	۲۲/۱۱ ± ۰/۷ ^{bc}	۷۲/۸۸ ± ۹/۲ ^j	۳/۹۲ ± ۰/۵ ⁱ	۴۰/۶۲ ± ۶/۳ ^{ij}
S ₄ L ₂	۱۵/۳۲ ± ۲/۱ ^f	۷۶/۹۰ ± ۵/۳ ^{ij}	۴/۵۸ ± ۰/۵ ^{hi}	۳۷/۶ ± ۴/۵ ^j
S ₄ L ₃	۲۶/۴۲ ± ۱/۹ ^a	۹۵/۱۶ ± ۵/۵ ^{fg}	۵/۳۲ ± ۰/۴ ^{fg}	۴۰/۵۴ ± ۴/۷ ^{ij}
S ₄ L ₄	۲۳/۵۱ ± ۱/۸ ^{ab}	۱۰۲/۶۰ ± ۵/۵ ^{ef}	۵/۷۴ ± ۰/۵ ^{def}	۴۱/۶۰ ± ۴/۲ ^{ij}

مقادیر، میانگین چهار تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ براساس آزمون LSD هستند. S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب بیان‌کننده غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی مولار سدیم کلرید هستند. L₁, L₂, L₃ و L₄ به ترتیب بیان‌کننده غلظت‌های صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی مولار سیلیسیوم هستند.

نسبی برگ مربوط به تیمار شوری ۲۵ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی سیلیسیوم بود که با آب نسبی برگ در تیمار شوری شاهد با سیلیسیوم ۲/۲۵ میلی‌مولار و تیمار شوری ۲۵ میلی‌مولار با سیلیسیوم ۲/۲۵ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت.

مقایسه میانگین‌های صفات فیتوشیمیایی (جدول ۴) نشان داد کلروفیل a در تیمار شوری شاهد و سیلیکون ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار و تیمار شوری ۲۵ میلی‌مولار با سیلیسیوم ۲/۲۵ میلی‌مولار افزایش یافت.

باتوجه به اثر متقابل سیلیسیوم و تنش شوری در وزن خشک ریشه، بیشترین وزن خشک ریشه در غلظت ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیوم و تیمار شوری ۲۵ میلی‌مولار ایجاد شد. این نتیجه با نتایج تیمار شوری شاهد و سیلیسیوم‌های ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار و تیمار شوری ۲۵ میلی‌مولار و سیلیسیوم ۰/۷۵ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار نداشت؛ به طوری که کاهش رشد به ناتوانی گیاه در جذب آب و مواد غذایی ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی در محیط کشت نسبت به ریشه مربوط است (Aziz et al., 2008). همچنین بیشترین مقدار صفت آب

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین آثار متقابل تنش شوری و سیلیسیوم در صفات بیوشیمیایی سرخارگل

تیمار	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم خشک)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم خشک)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم خشک)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم خشک)	فنل کل ریشه (میلی‌گرم بر گرم خشک)	فلاونوئید کل (میلی‌گرم بر گرم خشک)
S1L1	۳/۵۱ ± ۰/۳۸ ^{de}	۱/۳۹ ± ۰/۲ ^{bcd}	۴/۹۰ ± ۰/۴۳ ^{bcd}	۱/۱۴ ± ۰/۱۱ ^{bcd}	۱۵۷/۹۵ ± ۷/۸ ^{efg}	۵۶/۴۲ ± ۲۲/۸ ^{kl}
S1L2	۳/۲۳ ± ۰/۱۶ ^{ef}	۱/۸۹ ± ۰/۳ ^a	۵/۱۲ ± ۰/۴۱ ^b	۱/۰۷ ± ۰/۱۶ ^{abcde}	۱۴۷/۷۴ ± ۱۷/۵ ^{efgh}	۱۳۹/۹۸ ± ۲۳/۴ ^{cde}
S1L3	۴/۴۳ ± ۰/۲۶ ^a	۱/۷۴ ± ۰/۲ ^{ab}	۶/۱۷ ± ۰/۳۴ ^a	۱/۰۰ ± ۰/۰۱ ^{bcd}	۱۴۰/۳۹ ± ۱۲/۲ ^{efgh}	۳۴/۳۰ ± ۲۵/۹ ^l
S1L4	۴/۱۸ ± ۰/۴۴ ^{ab}	۱/۱۸ ± ۰/۲ ^{defg}	۵/۳۶ ± ۰/۴۷ ^b	۰/۹۵ ± ۰/۰۶ ^{bcdef}	۱۶۲/۳۹ ± ۵/۷ ^{ef}	۸۲/۰۹ ± ۲۸/۵ ^{ghij}
S2L1	۳/۹۹ ± ۰/۳۵ ^{bc}	۰/۹۹ ± ۰/۳ ^{efghi}	۴/۹۹ ± ۰/۵۵ ^{bc}	۱/۳۱ ± ۰/۲۵ ^a	۱۲۸/۰۱ ± ۸/۲ ^h	۹۸/۳۹ ± ۲۶/۰ ^{efghi}
S2L2	۳/۰۴ ± ۰/۳۲ ^{fg}	۱/۵۱ ± ۰/۲ ^{bcd}	۴/۵۵ ± ۰/۳۹ ^{cd}	۱/۲۹ ± ۰/۱۳ ^{ab}	۱۳۷/۰۴ ± ۴/۳ ^{gh}	۱۱۰/۵۴ ± ۲۰/۴ ^{efg}
S2L3	۳/۷۸ ± ۰/۳۴ ^{cd}	۱/۴۷ ± ۰/۲ ^{bcd}	۵/۲۵ ± ۰/۱۲ ^b	۱/۲۱ ± ۰/۰۷ ^{abc}	۱۸۶/۳۰ ± ۱۹/۵ ^{cd}	۱۹۰/۰۵ ± ۱۸/۷ ^a
S2L4	۴/۳۳ ± ۰/۳۰ ^a	۱/۶۷ ± ۰/۳ ^{abc}	۶/۰۰ ± ۰/۶۱ ^a	۱/۱۶ ± ۰/۰۵ ^{bc}	۱۶۶/۵۶ ± ۱۱/۷ ^{de}	۱۷۸/۵۶ ± ۱۸/۸ ^{ab}
S3L1	۱/۷۳ ± ۰/۲۵ ^j	۰/۶۳ ± ۰/۲ ^{ijkl}	۲/۳۷ ± ۰/۴۵ ^h	۰/۹۳ ± ۰/۲۵ ^{cdf}	۲۱۴/۴۶ ± ۱۴/۷ ^b	۱۰۴/۵۵ ± ۲۲/۲ ^{efgh}
S3L2	۲/۲۱ ± ۰/۰۷ ⁱ	۰/۷۱ ± ۰/۲ ^{hijk}	۲/۹۲ ± ۰/۱۵ ^g	۰/۸۶ ± ۰/۱۳ ^{cdf}	۱۵۸/۸۱ ± ۴/۹ ^{efg}	۱۵۶/۳۹ ± ۱۶/۹ ^{bcd}
S3L3	۲/۳۹ ± ۰/۰۲ ^{hi}	۱/۳۱ ± ۰/۳ ^{defg}	۳/۷۰ ± ۰/۳۱ ^e	۰/۸۱ ± ۰/۰۷ ^{def}	۲۰۸/۷۷ ± ۱۰/۵ ^{bc}	۹۰/۱۴ ± ۲۴/۱ ^{ghi}
S3L4	۳/۳۷ ± ۰/۰۷ ^e	۱/۰۵ ± ۰/۲ ^{efgh}	۴/۴۲ ± ۰/۲۴ ^d	۰/۷۷ ± ۰/۰۵ ^{efg}	۱۹۹/۰۷ ± ۱۷/۲ ^{bc}	۱۶۱/۸۹ ± ۲۱/۵ ^{abc}
S4L1	۱/۸۶ ± ۰/۰۹ ^j	۰/۳۱ ± ۰/۲ ^l	۲/۱۷ ± ۰/۲۶ ^h	۰/۷۳ ± ۰/۰۵ ^{efg}	۱۸۵/۸۳ ± ۱۷/۹ ^{cd}	۴۲/۳۴ ± ۱۸/۰ ^{kl}
S4L2	۱/۶۶ ± ۰/۲۳ ^j	۰/۴۳ ± ۰/۱ ^{kl}	۲/۰۹ ± ۰/۲۵ ^h	۰/۶۸ ± ۰/۱۱ ^{fg}	۲۴۹/۱۹ ± ۲۸/۷ ^a	۱۲۶/۴۶ ± ۱۲/۲ ^{def}
S4L3	۲/۵۸ ± ۰/۲۰ ^h	۰/۵۴ ± ۰/۲ ^{ijkl}	۳/۱۲ ± ۰/۳۶ ^{fg}	۰/۶۶ ± ۰/۰۹ ^{fg}	۲۴۲/۲۰ ± ۲۴/۶ ^a	۷۸/۶۲ ± ۲۵/۲ ^{hij}
S4L4	۲/۷۱ ± ۰/۱۲ ^{gh}	۰/۸۶ ± ۰/۳ ^{ghij}	۳/۵۷ ± ۰/۴۲ ^{ef}	۰/۵۴ ± ۰/۰۳ ^g	۲۰۹/۳۹ ± ۲۶/۵ ^{bc}	۶۹/۲۲ ± ۱۷/۴ ^{ijk}

مقادیر، میانگین چهار تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P \leq 0/05$ براساس آزمون LSD هستند. S1, S2, S3 و S4 به ترتیب بیان‌کننده غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید هستند. L1, L2, L3 و L4 به ترتیب بیان‌کننده غلظت‌های صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیوم هستند.

(1996). طول ریشه نیز در گیاهان مختلف پاسخ‌های متفاوتی به تنش شوری می‌دهد. یکی از این پاسخ‌ها حفظ یا حتی تحریک طولی شدن ریشه در پتانسیل آب کم است که نوعی سازگاری به تنش شوری و خشکی در نظر گرفته می‌شود (Mahdih *et al.*, 2015). نتایج نشان دادند تنش شوری، زیست‌توده را در گیاهان تیمار شده کاهش داد. کاهش تولید زیست‌توده معمولاً در دو مرحله رخ می‌دهد. در مرحله اول یا اسمری، دلیل اصلی کاهش زیست‌توده، کم شدن سطح برگ است؛ در حالی که در مرحله دوم، تجمع یون‌های سمی در برگ‌ها به پیری زودرس منجر می‌شود (Mancarella *et al.*, 2016).

همچنین، مشخص شد کاربرد سیلیسیوم آثار منفی تنش شوری را با افزایش طول و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه کاهش داد. این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش‌های دیگران همخوانی دارد (Mahdih *et al.*, 2015). کاربرد سیلیسیوم در غلظت‌های ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار جذب و پراکنش سدیم را در آفتاب‌گردان کاهش داد. تولید زیست‌توده، مقدار پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان تیمار شده با سیلیسیوم نسبت به شاهد افزایش یافت و در نهایت، بهبود سازگاری گیاه آفتاب‌گردان به تنش شوری را موجب شد (Saqib *et al.*, 2011). در همین زمینه، بررسی اثر سیلیسیوم در تنش شوری و سفیدک پودری نشان داد اضافه کردن سیلیسیوم ۱ میلی‌مولار به محلول غذایی، با کاهش انتقال سدیم و کلر به قسمت هوایی گیاه اثر تنش شوری را در فتوسنتز کم می‌کند. همچنین، سیلیسیوم ۱ میلی‌مولار در محلول

این نتایج شباهت بسیاری با نتایج کلروفیل b و کلروفیل کل دارد؛ به طوری که بیشترین میزان این صفات در شرایط شوری شاهد و سیلیسیوم ۱/۵ میلی‌مولار و تیمار شوری ۲۵ میلی‌مولار با سیلیسیوم ۲/۲۵ میلی‌مولار ایجاد شد. نتایج مربوط به کارتنوئیدها بسیار متفاوت بودند؛ به طوری که بیشترین میزان کارتنوئید در شوری ۲۵ میلی‌مولار به دست آمد. اعمال سیلیسیوم از صفر تا غلظت ۱/۵ میلی‌مولار این روند را حفظ کرد. این نتایج با نتیجه اعمال سیلیسیوم با غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار در تیمار شوری شاهد یکسان است.

بیشترین مقدار فنل کل ریشه در تنش شوری شدید (۷۵ میلی‌مولار سدیم کلرید) هم‌زمان با کاربرد ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار سیلیسیوم ایجاد شد؛ در حالی که مقدار فلاونوئید کل در تیمار شوری ۲۵ میلی‌مولار و سیلیسیوم ۱/۵ میلی‌مولار افزایش یافت. این نتایج با نتیجه اعمال سیلیسیوم با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار در شوری ۲/۲۵ میلی‌مولار یکسان هستند.

بحث

در بررسی اثر سیلیسیوم در شاخص‌های رشد سویا در شرایط تنش شوری مشخص شد ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک گیاه، مقدار کلروفیل و جیبرلین با غلظت ۲/۵ میلی‌مولار سیلیسیوم افزایش یافتند؛ در حالی که آبسزیک اسید (ABA) و پرولین در مقایسه با شاهد تغییری نداشتند (Lee *et al.*, 2010). به طور کلی کاهش رشد در تنش شوری از کاهش پتانسیل آب ناشی می‌شود. این پدیده، بسته شدن روزنه‌ها و محدود شدن جذب کربن دی‌اکسید را به دنبال دارد (Perez-Alfocea *et al.*,

(Ali *et al.*, 2004)؛ ولی کاربرد سیلیسیوم مقدار کلروفیل a و b را افزایش داد.

علاوه بر این، نتایج بررسی اثر سیلیسیوم در کاهش نابسامانی‌های فیزیولوژیک گیاه کلزا در تنش شوری نشان دادند سیلیسیوم تجمع یون‌های سدیم و کلر را کاهش ولی تجمع عناصر ضروری مانند پتاسیم، فسفر و آهن را افزایش داد که در نهایت به کاهش تنش اکسیداتیو منجر شد (Farshidi *et al.*, 2012). با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن که به اکسید شدن پروتئین و چربی منجر می‌شود، تنش اکسیداتیو اتفاق می‌افتد. دفاع گیاه در برابر تنش اکسیداتیو شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی مانند آسکوربات، گلوکاتایون و آلفاتوکوفرول است (Kafi *et al.*, 2011). پژوهش‌ها نشان دادند سیلیسیوم، مقدار مالون دی‌آلدهید را که محصول نهایی پراکسیداسیون چربی است، در جو و ذرت کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، سیلیسیوم فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را افزایش می‌دهد (Coskun *et al.*, 2016).

سیلیسیوم با سازوکارهایی مانند تغییرات آناتومی در بافت‌های گیاهی که ناشی از تجمع فیتولیت‌ها (Phytolith) هستند، اثر تنش‌های غیرزیستی را کاهش و استحکام گیاه را افزایش می‌دهد و حرکت آب و مواد غذایی را تسهیل می‌کند. از سوی دیگر، سیلیسیوم سیستم دفاعی گیاه را بهبود بخشد و با تشکیل کمپلکس با فلزهای سمی و رسوب دادن آنها نامتحرک شدنشان را در بافت‌های

غذایی از گسترش سفیدک پودری در غلظت‌های متفاوت شوری کاست (Savvas *et al.*, 2009). بررسی اثر تنش شوری و سیلیسیوم در روابط آبی گیاه لوبیا نشان‌دهنده کاهش چشمگیر آب نسبی برگ گیاهان لوبیا به دنبال افزایش غلظت سدیم کلرید در آب آبیاری است؛ اما سیلیسیوم در غلظت ۶۰ میلی‌مولار تا حدی این اثر را کاهش داد و در غلظت ۳۰ میلی‌مولار آن را کاملاً برطرف کرد (Zuccarini, 2008)؛ به طوری که سیلیسیوم با کاهش دادن تبخیر و تعرق یا تشکیل فیتولیت زیر سلول‌های اپیدرم برگ و ساقه بهبود وضعیت آب را در گیاه باعث می‌شود (Yaghubi *et al.*, 2016).

کاربرد سیلیسیوم، سطح ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی را در گیاهان برنج در تنش آبی، در مقایسه با به کار نبردن آن افزایش می‌دهد (Rizwan *et al.*, 2015). سیلیسیوم در غلظت ۳/۶ میلی‌مولار مقدار ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی را در زمان آلوده شدن درختان رز با *Podosphaera pannosa* افزایش داد (Shetty *et al.*, 2011)؛ اما استفاده از سیلیسیوم مقدار فنل کل را در ریشه‌چه‌های گوجه‌فرنگی در تنش آبی کاهش داد (Shi *et al.*, 2014).

اعمال تنش شوری بر گیاه گل‌گاوزبان نشان داد علائم پیری و نکروزه شدن برگ گیاهان در تنش شوری به دلیل سمی بودن عناصر سدیم و کلر است (Jaffel *et al.*, 2011). همچنین تنش شوری، مقدار کلروفیل ژنوتیپ‌های مختلف گندم را به طور چشمگیری کاهش داد. این کاهش ناشی از تجزیه کلروفیل، جلوگیری از ییوستنر کلروفیل و آسیب به ساختارهای فتوسنتزی (تنش اکسیداتیو) است

genotypes grown under saline environment. International Journal of Environmental Science and Technology 1: 221-225.

Alizade Ahmadabadi, A. and Khorasaninejad, S. (2016) The effect of humic acid pretreatment on germination of purple cornflower (*Echinacea purpurea*) plant under drought and salinity conditions. Arid Biome Scientific and Research Journal 6(2): 97-107 (in Persian).

Aziz, E. E., Al-Amier, H. and Craker, L. E. (2008) Influence of salt stress on growth and essential oil production in peppermint, pennyroyal and apple mint. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants 14: 77-87.

Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M. (2008) Yield and seed quality of *Plantago vate* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products 27: 11-16.

Barns, J. D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S. and Davidson, A. W. (1992) A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. Environmental and Experimental Botany 32(2): 85-90.

Barrs, H. and Weatherley, P. (1962) A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences 15: 413-428.

Brown, G. E. (2008) Research databases. Bibliography on salt tolerance. USDA-ARS, USA. <https://www.usda.gov>. On: 21 November 2016.

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.

Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q. and Kronzucker, H. J. (2016) The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. Frontiers in Plant

گیاه یا خاک سبب می‌شود و بر بیان ژن‌ها و هورمون‌های گیاهی مؤثر است (Savvas and Ntatsi, 2015).

جمع‌بندی

باتوجه به نتایج حاصل از آزمایش حاضر، تنش شوری تأثیر معنی‌داری در ویژگی‌های رشدی، مورفوفیزیولوژیک و برخی ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل دارد؛ به طوری که نسبت به غلظت‌های شوری متوسط و زیاد، حساس است؛ ولی کاربرد سیلیسیوم با غلظت‌های ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار، بیشتر صفات را متعادل می‌کند و آثار منفی ناشی از تنش شوری کم تا متوسط را کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

در اینجا از آقای مهندس آتشی، کارشناس محترم آزمایشگاه فیزیولوژی گروه علوم باغبانی به دلیل کمک‌های بی‌دریغشان سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- Ahmed, M., Asif, M. and Hassan, F. U. (2014) Augmenting drought tolerance in sorghum by silicon nutrition. Acta Physiologiae Plantarum 36: 473-483.
- Al-aghaby, K., Zhu, Z. and Shi, Q. (2005) 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.
- Ali, Y., Aslam, Z., Ashraf, M. Y. and Tahir, G. R. (2004) Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice

- El-Wahab, A. (2006) The efficiency of using saline and fresh water irrigation as alternating methods of irrigation on the productivity of *Foeniculum vulgare* Mill subsp. *Vulgare* var. *Vulgare* under North Sinai conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 2: 571-577.
- Farshidi, M., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H. R. (2012) Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 34: 1779-1788.
- García-Sánchez, F., Jifon, J. L., Carvajal, M. and Syvertsen, J. P. (2002) Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na^+ and Cl^- accumulation in 'Sunburst' mandarin grafted on different rootstocks. *Plant Science* 162: 705-712.
- Gengmao, Z., Yu, H., Xing, S., Shihui, L., Quanmei, S. and Changhai, W. (2015) Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. *Industrial Crops and Products* 64: 175-181.
- Guo, Z., Tan, H., Zhu, Z., Lu, S. and Zhou, B. (2005) Effects of intermediates on ascorbic acid and oxalate. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 1(3): 210-215.
- Halevy, J., Hartzook, A. and Markovitz, T. (1987) Foliar fertilization of high-yielding peanuts during the pod-filling period. *Fertilizer Research* 14: 153-160.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. (2013) Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: *Ecophysiology and responses of plants under salt stress* (Eds. Smith, H. and Burns, M.) 25-87. Springer, Hyderabad.
- Jaffel, K., Sai, S., Bouraoui, N., Ammar, R., Legendre, L., Lachâal, M. and Marzouk, B. (2011) Influence of salt stress on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in borage (*Borago officinalis* L.). *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 145: 362-369.
- Kafi, M., Nabati, J., Masoumi, A. and Mehrjerdi, M. Z. (2011) Effect of salinity and silicon application on oxidative damage of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). *Pakistan Journal of Botany* 43(5): 2457-2462.
- Khan, W. U. D., Aziz, T., Maqsood, M. A., Sabir, M., Ahmad, H. R., Ramzani, P. M. A. and Naseem, M. (2016) Silicon: a beneficial nutrient under salt stress, its uptake mechanism and mode of action. In: *Soil science: agricultural and environmental prospective* (Eds. Hakeem, K. R., Akhtar, J. and Sabir, M.) 287-301. Springer International Publishing, Cham.
- Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K. and Khalighi, A. (2010) The effect of salinity stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint (*Mentha piperita* L.). *World Applied Sciences Journal* 11(11): 1403-1407.
- Khorasaninejad, S., Soltanloo, H., Hadian, J. and Atashi, S. (2016) The effect of salinity stress on the growth, quantity and quality of essential oil of lavender (*Lavandula angustifolia* Miller). *Journal of Horticultural Science* 30(2): 209-216.
- Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M. and Azizi, G. (2008) Effect of drought, salinity, and defoliation on growth characteristics of some medicinal plants of Iran. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants* 14: 37-53.
- Lee, S., Sohn, E., Hamayun, M., Yoon, J. and Lee, I. (2010) Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. *Agroforestry Systems* 80: 333-340.
- Ma, C. C., Li, Q. F., Gao, Y. B. and Xin, T. R. (2004) Effects of silicon application on drought resistance of cucumber

- plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 50: 623-632.
- Ma, J. and Yamaji, N. (2008) Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences* 65: 3049-3057.
- Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005) Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139-158.
- Mahdieh, M., Habibollahi, N., Amirjani, M., Abnosi, M. and Ghorbanpour, M. (2015) Exogenous silicon nutrition ameliorates salt-induced stress by improving growth and efficiency of PSII in *Oryza sativa* L. cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15: 1050-1060.
- Mancarella, S., Orsini, F., Van Oosten, M. J., Sanoubar, R., Stanghellini, C., Kondo, S., Gianquinto, G. and Maggio, A. (2016) Leaf sodium accumulation facilitates salt stress adaptation and preserves photosystem functionality in salt stressed *Ocimum basilicum*. *Environmental and Experimental Botany* 130: 162-173.
- Mrozikiewicz, P. M., Bogacz, A., Karasiewicz, M., Mikolajczak, P. L., Ozarowski, K. M., Seremak-Mrozikiewicz, A., Czerny, B., Bobkiewicz-Kozłowska, T. and Grzeskowiak, E. (2010) The effect of standardized *Echinacea purpurea* extract on rat cytochrome P450 expression level. *Phytomedicine* 17: 830-833.
- Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Najafi, F., Khavari-Nejad, R. and Siah, A. M. (2010) The effects of salt stress on certain physiological parameters in summer savory (*Satureja hortensis* L.) plants. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry* 6(1): 14-21.
- Omidbaigi, R. (2002) Study of cultivation and adaptability of purple coneflower (*Echinaceae purpurea*) in the north of Tehran. *Journal of Water and Soil Science* 6(2): 231-41 (in Persian).
- Perez-Alfocea, F., Balibrea, M., Santa Cruz, A. and Estan, M. (1996) Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant and Soil* 180: 251-257.
- Pitman, M. G. and Läuchli, A. (2002) Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: *Salinity: environment plants molecules* (Eds. Lauchli, A. and Luttge, U.) 3-20. Springer, Berlin.
- Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S. A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M. F. and Abbas, F. (2015) Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 15416-15431.
- Sabra, A. (2012) Physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. PhD thesis, The University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Sabra, A., Adam, L., Daayf, F. and Renault, S. (2012a) Salinity-induced changes in caffeic acid derivatives, alkaloids and ketones in three *Echinacea* species. *Environmental Experimental Botany* 77: 234-241.
- Sabra, A., Daayf, F. and Renault, S. (2012b) Differential physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. *Scientia Horticulturae* 135: 23-31.
- Saqib, R. M., Ashraf, M., Shahzad, S. M. and Imtiaz, M. (2011) Silicon nutrition for mitigation of salt toxicity in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Agriculture and Applied Sciences* 3: 38-43.
- Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M. and Patakioutas, G. (2009) Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by

- salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany* 65: 11-17.
- Savvas, D. and Ntatsi, G. (2015) Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 66-81.
- Shetty, R., Fretté, X., Jensen, B., Shetty, N. P., Jensen, J. D., Jørgensen, H. J. L., Newman, M. A. and Christensen, L. P. (2011) Silicon-induced changes in antifungal phenolic acids, flavonoids, and key phenylpropanoid pathway genes during the interaction between miniature Roses and the bio trophic pathogen *Podosphaera pannosa*. *Plant Physiology* 157: 2194-2205.
- Shi, Y., Zhang, Y., Yao, H., Wu, J., Sun, H. and Gong, H. (2014) Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 78: 27-36.
- Sreenivasulu, N., Sopory, S. and Kishor, P. K. (2007) Deciphering the regulatory mechanisms of abiotic stress tolerance in plants by genomic approaches. *Gene* 388: 1-13.
- Yaghubi, K., Ghaderi, N., Vafae, Y. and Javadi, T. (2016) Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilless pot culture. *Scientia Horticulturae* 213: 87-95.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J. (2004) Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science* 167: 527-533.
- Zuccarini, P. (2008) Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biologia Plantarum* 52: 157-160.