

بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و غلظت عناصر گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) با کاربرد سلنیوم در شرایط تنش شوری

Improving the morphophysiological characteristics and element concentrations of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) with selenium application under salinity stress conditions

سارا مسعودی^۱، مرضیه قنبری جهرمی^۲، مرجان دیانت^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (نگارنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۹ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/mpt.2025.369275.1185

چکیده

مسعودی، س.، قنبری جهرمی، م.، دیانت، م.، بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و غلظت عناصر گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) با کاربرد سلنیوم در شرایط تنش شوری

نشریه علمی فناوری و گیاهان دارویی ایران، دوره ۶ - شماره ۲ - پایاند ۱۱- پائیز و زمستان ۱۴۰۲ صفحه: ۱۴۳-۱۲۶

شوری یکی از مخرب‌ترین تنش‌هایی است که در تمام مناطق کشور موجب کاهش تولید و عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. در همین راستا تحقیق حاضر جهت بررسی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و غلظت عناصر گیاه سرخارگل تحت تنش شوری در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و نانوذره دی اکسید سلنیوم (عدم محلول پاشی (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)؛ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl سبب کاهش معنی‌دار صفات ($P<0.05$) مورفولوژیک گیاه (ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه شد و استفاده از نانوذره سلنیوم سبب کاهش اثر تنش شوری در سرخارگل شد. در تیمار ۵۰ میلی‌مولار (تنش شوری ملایم) بیشترین مقدار فنول و فلاونوئید کل مشاهده گردید. نتایج نشان داد که گیاه سرخارگل نسبت به تنش شوری حساس بوده و کاهش عملکرد کاملاً مشهود بود. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان محلول پاشی نانوذره دی اکسید سلنیوم ۱۰۰ میلی‌گرم را برای کاهش اثرهای منفی تنش شوری در گیاه سرخارگل توصیه نمود.

واژه های کلیدی: پتاسیم، پرولین، دی اکسید سلنیوم، فنول کل

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: ma_dyanat@yahoo.com

مقدمه

گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) یکی از گیاهان تیره Asteraceae و بومی آمریکای شمالی است ولی امروزه در اکثر نقاط اروپا و آسیا و همچنین ایران کشت می شود. سرخارگل یکی از مهم ترین گیاهان دارویی با ویژگی های خوب فارماکولوژیکی است به طوریکه باعث تقویت سیستم ایمنی شده و ویژگی های ضدالتهابی و آنتی اکسیدانی دارد (Lee et al., 2009). ترکیبات مهم گیاه، مشتقات اسید کافئیک، آلکامیدها، فلاونوئیدها، اسانس و پلی استیلن ها می باشند. در بین آنها، مشتقات اسید کافئیک و آلکامیدها ثابت شده است که اثرات تقویت کننده و تنظیم سیستم ایمنی دارند. مشتقات اسید کافئیک، آلکامیدها و پلی ساکاریدهای با چگالی کم که در مهار اکسیداسیون لیپوپروتئین نقش دارند، در سرخارگل موجود هستند که حاکی از فعالیت آنتی اکسیدانی بالای این گیاه است (Dobrange et al., 2019؛ Dalby-Brown et al., 2005).

تنش غیرزیستی شوری یکی از مهم ترین تنش ها در بین انواع مختلف تنش های اکسیداتیو مناطق خشک و نیمه خشک به ویژه مناطق مرکزی ایران است. شوری خاک باعث اختلال در سلول و کلیه بخش های گیاه می شود و سبب به وجود آمدن مجموعه ای از فرآیندهای معین می شود که سبب تجمع یون های Na^+ و Cl^- شده و از طرق مختلف اثرهای متقابل رقابتی و نفوذپذیری انتخابی یون ها در غشاء بر جذب مواد غذایی اثر می گذارد، در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه می شود (Bre' et al., 2022). افزایش

نمک ها به میزان چهار دسی زیمنس بر متر یا بیشتر در خاک موجب بروز اثرهای منفی تنش شوری بر ویژگی های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و آنزیمی در بیشتر گیاهان می گردد (Shahid et al., 2018).

در عصر حاضر به ویژه در دو دهه گذشته، استفاده از فناوری نانو و نانومواد در بسیاری از زمینه های زندگی افزایش یافته است. علوم نانو و فناوری نانو در زمینه های مختلف مانند علوم گیاهی و کشاورزی به موفقیت های مختلفی دست پیدا کرده است (Abbasi et al., 2020a). نانو ذرات می توانند از مجموعه ای مولکول های مصنوعی در اندازه ها و اشکال مختلف سنتز شوند (Zahedi et al., 2020). این خصوصیات بر خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات و همچنین بر جذب شان در گیاهان و جانوران موثر است. اثر نانو ذرات بر کیفیت و یا مقدار محصولات به شدت به خواص ذرات مانند اندازه، شکل، پایداری، ترکیب فیزیکی یا شیمیایی، غلظت ذرات و گیرنده های آنها وابسته است (Kumar et al., 2018). به دلیل خواص فیزیکوشیمیایی بی نظیر و منحصر به فرد نانو ذرات، نانو ترکیبات پاسخ های متفاوتی را در سیستم های بیولوژیکی در مقایسه با ترکیبات غیر نانو القاء می کنند (Abbasi et al., 2020a; Abbasi et al., 2020b). در این راستا روش سنتز، غلظت، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و گونه های سیستم های بیولوژیکی عوامل اصلی هستند که مزایا یا خطرات بالقوه کاربردهای بیولوژیکی نانو مواد را تعیین می کند (Abbasi et al., 2020a; Abbasi et al., 2020b). استفاده از NP ها به نظر می رسد

یک روش جدید در میان روش‌های پذیرفته شده برای محافظت از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی به منظور کاهش تنش‌های محیطی زیستی باشد (Zahedi et al., 2020).

سلیوم در غلظت‌های پایین می‌تواند رشد گیاهان را تحریک کند و اثرات مضر انواع تنش‌های محیطی مانند سرما (Chu et al., 2010)، دمای بالا (Djanaguiraman et al., 2010)، خشکی (Hajiboland et al., 2015)، شوری (Hasanuzzaman et al., 2011)، فلزات سنگین (Pandey and Gupta, 2015) کمبود عناصر غذایی (Hajiboland and Sadeghzade, 2014) را کاهش دهد. سازوکار عمل سلیوم در افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی در گیاهان به خوبی مشخص نشده است، با این حال معمولاً سلیوم از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیداتیو گیاهان و افزایش مقاومت آن‌ها در مقابل تنش اکسیداتیو و حفظ ساختار و عملکرد سلول عمل می‌کند (Feng and Wei, 2012). غلظت‌های پائین سلیوم روی متابولیسم سلول‌های گیاهی اثرات مفیدی دارد و میزان آنزیم‌های حذف کننده H_2O_2 (مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون پراکسیداز) و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (مانند گلوکاتایون، آسکوربات و پرولین) را افزایش می‌دهد که می‌توانند مقادیر H_2O_2 را در گیاه کاهش دهند (Rios et al., 2009).

مرز بین مفید بودن و مضر بودن عنصر سلیوم بسیار ظریف است و به فرم شیمیایی این عنصر، غلظت و سایر ویژگی‌های محیط بستگی دارد (Mahn, 2017). بنابراین با توجه به کاربردهای مختلف گیاه دارویی سرخارگل و نقش نانو

ذرات بر تعدیل اثرات منفی تنش، این پژوهش با هدف بررسی اثر سلیوم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و غلظت عناصر گیاه سرخارگل و امکان بهبود این ویژگی‌ها در شرایط تنش شوری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان ۱۴۰۳ به صورت گلخانه‌ای (احداث مستوفی) انجام شد. دمای روزانه گلخانه 27 ± 2 درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه 24 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰-۷۰ درصد بود. منبع نور، نور خورشید بود که با دوره روشنایی ۱۴ ساعت و تاریکی ۱۰ ساعت (نور طبیعی روزانه) تامین شد. شدت نور ۸۰۰۰ لوکس بود. برای گیاهان از منبع نور مصنوعی استفاده نشد. برای سایه‌اندازی از شید پارچه‌ای روی سقف گلخانه استفاده گردید. نوع پوشش گلخانه پلاستیکی بود. بذرهای گیاه سرخارگل (پامتوسط صورتی) از شرکت پاکان بذر خریداری گردید. نانو سلیوم از شرکت آرمینانو به صورت پودر سفید رنگ خریداری شد. نمک کلرید سدیم از شرکت Merck)) ساخت کشور آلمان تهیه شد.

تحقیق حاضر به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با دو مشاهده انجام شد. فاکتور اول شامل تنش شوری در سه سطح شامل صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl و فاکتور دوم شامل نانوذره دی‌اکسید سلیوم در سه سطح صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. در مجموع ۴۵ گلدان با اعمال ۹ تیمار آزمایشی در سه تکرار و دو مشاهده انتخاب شد. بعد از رشد گیاه و رسیدن به مرحله چهار برگ

مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بوته‌هایی که از محل طوقه جدا شدند، پس از شستشوی مختصر و جدا کردن خاک در آون با دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفته و سپس وزن خشک بوته (اندام هوایی) با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ درصد ارزیابی شد (Inbar *et al.*, 1994). اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های گیاهی با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967) انجام شد.

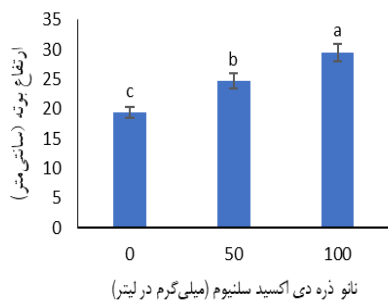
$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V/100W$$

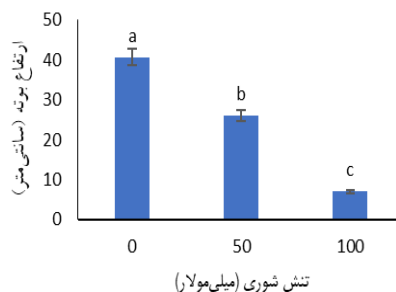
که در آن V: حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم.

میزان پرولین با روش واکنش نین‌هیدرین (Bates *et al.*, 1973) تعیین گردید. مقدار قندهای احیاء‌کننده با استفاده از روش سوموگی (Somogy, 1952) اندازه‌گیری شد. پس از عصاره‌گیری متانولی، عصاره‌های حاصل پس از صاف شدن با دستگاه تبخیرکننده چرخان با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تغلیظ و میزان ترکیب‌های فنلی موجود در عصاره میوه این گیاه از طریق رنگ‌سنجی به روش فولین - سیوکالتو مورد بررسی قرار گرفت (Singleton and Rossi, 1965). از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم برای تعیین مقدار فلاونوئیدها استفاده شد (Chang *et al.*, 2002). غلظت یون کلر پس از تهیه خاکستر و عصاره‌گیری به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (Motsara and Roy, 2008). اندازه‌گیری فسفر به روش اولسن توسط

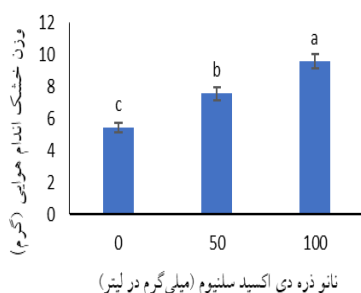
(فروردین ۱۴۰۳) گیاهچه به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر (۴ لیتری) حاوی بستر کشت ترکیب کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۷۰ به ۳۰ منتقل شد و در گلخانه با کنترل شرایط محیطی رشد کردند. گلدان‌ها هر چهار روز یکبار با آب تا رسیدن به ظرفیت زراعی آبیاری شدند و تغذیه گیاه هفته‌ای یک بار به صورت کوددهی با محلول غذایی هوگلند بود. یک هفته پس از انتقال نشاءها به گلدان اصلی، محلول‌پاشی با نانوسلنیوم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) انجام شد که به مدت ۶ هفته ادامه یافت. بعد از بیست روز نگهداری در شرایط کنترل شده، تیمارهای شوری روی آن‌ها اعمال شد. قبل از اعمال تیمارهای تنش شوری، گلدان‌ها دو مرتبه با NPK (تهیه شده از شرکت جوانه) با غلظت ۳ گرم در لیتر با آب آبیاری به فاصله ۷ روز تغذیه شدند، سپس تنش شوری با کلرید سدیم در سه سطح برای هر گلدان از طریق آب آبیاری ۵۰ سی‌سی به فاصله ۳ روز اعمال گردید. جهت آبخوبی بستر کاشت پس از هر سه مرتبه آبیاری با آب شوری (در راستای تنش شوری) آبخوبی با آب معمولی جهت جلوگیری از تجمع نمک در گلدان صورت گرفت. تنش شوری به مدت ۴۲ روز ادامه یافت. برای انجام آزمایشات از بافت‌های گیاه در مرداد ۱۴۰۳ نمونه برداری صورت گرفت. بدین صورت که اندام‌های گیاه پس از اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی در محل گلخانه، برداشت و با آب مقطر به طور جداگانه شستشو شده و به منظور ارزیابی صفات آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. ارتفاع بوته با استفاده از خط کش میلی‌متری



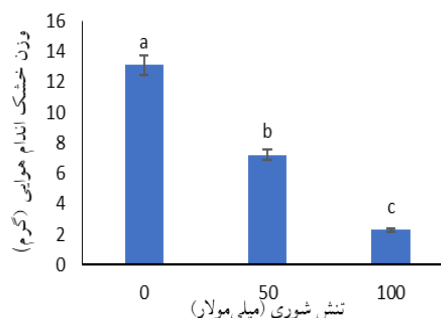
شکل ۲- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت اثر اصلی نانوذره دی اکسید سلنیوم



شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت اثر اصلی تنش شوری



شکل ۴- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی تحت اثر اصلی نانو ذره دی اکسید سلنیوم



شکل ۳- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی تحت اثر اصلی تنش شوری

بوته و وزن خشک اندام هوایی سرخارگل تحت اثر اصلی تنش شوری و نانوذره در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۱).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ها بیشترین ارتفاع بوته (۴۰/۶۷ سانتی متر) و وزن خشک اندام هوایی بوته سرخارگل (۱۳/۱۱ گرم) در شرایط شاهد (عدم کاربرد تنش شوری) و کمترین آنها (۷ سانتی متر و ۲/۲۸ گرم) با کاربرد تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) حاصل شد که بیشتر از ۸۰ درصد کاهش یافت (شکل های ۱ و ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین ها بیشترین ارتفاع بوته (۲۹/۵۶ سانتی متر) و وزن خشک اندام هوایی بوته سرخارگل (۹/۶۱ گرم) در کاربرد تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نانوذره دی اکسید سلنیوم (شکل های ۲ و ۴).

شوری آثار مخربی بر بافت پارانشیم نردبانی

دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد (Olsen and Sommers, 1982). غلظت پتاسیم بر حسب گرم بر کیلوگرم وزن خشک توسط دستگاه فلیم فتومتر محاسبه شد (Motsara and Roy, 2008). میزان نیتروژن برگ توسط کجلدال سنجیده شد (Bremner 1996).

پس از بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از نرم افزار Minitab 22.3، تجزیه واریانس داده ها انجام شد و پس از آن میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.4 تعیین مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

صفات مورفوفیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع

تنش متفاوت است، تولید ماده خشک به عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی اثرات شوری در گیاه بکار می‌رود (Banakar *et al.*, 2022). کاهش عملکرد بیولوژیک یا ماده خشک در اثر تنش شوری ناشی از کاهش جذب آب، کاهش تعرق، کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و فرآورده‌های فتوسنتزی است که هر یک از آن‌ها معلول عوامل دیگری است. همچنین، بنا به اعتقاد محققان ساخت پروتئین و آنزیم مستلزم وجود غلظت‌های زیادی از پتاسیم است، اما در تنش شوری حضور مقادیر زیاد یون‌های سدیم به جای پتاسیم موجب اختلال در الگوی پروتئین‌سازی و رشد شده که یکی از آسیب‌های مهم تنش شوری در گیاهان است (Tester and Davenport, 2003). نتایج این پژوهش نشان داد که شوری در مجموع موجب کاهش رشد گیاه شد. کاهش رشد به صورت کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی، کاهش تعداد برگ، کاهش سطح برگ، کاهش تعداد گره و تعداد انشعاب در بوته منعکس شد. در تایید این نتایج گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت نانو ذرات روی رشد در شرایط بدون تنش و تحمل تنش در گیاهان وجود دارد (Abdel Latef *et al.*, 2018; Tumburu *et al.*, 2017)

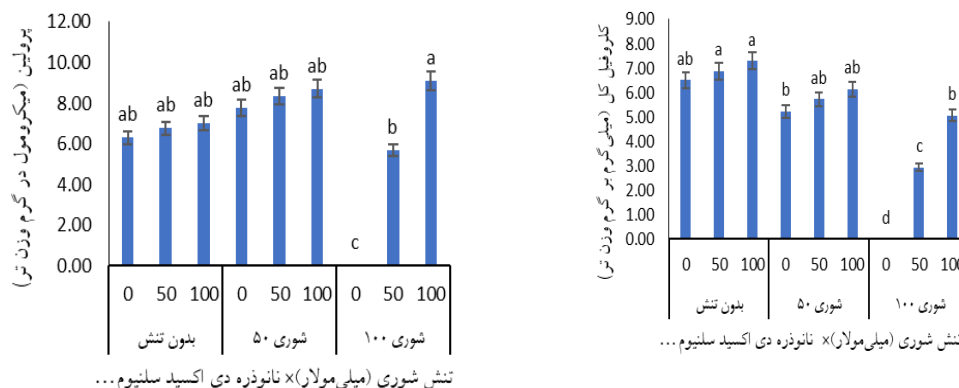
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل کل بوته، پرولین، قند محلول، فنل کل و فلاونوئید کل سرخارگل تحت اثرات اصلی و اثر متقابل تنش شوری و نانوذره در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین کلروفیل کل بوته سرخارگل (۶/۹۰ میلی گرم بر گرم وزن تر)

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم بر صفات مورفولوژیکی سرخارگل

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن خشک اندام هوایی	کلروفیل کل	پرولین	قند محلول	فنل کل	فلاونوئید کل
تنش شوری	۲	۲۵۵۵/۱ ^{***}	۲۶۴/۳۳ ^{***}	۴۳/۸۷ ^{***}	۲۵/۳ ^{***}	۰/۸ ^{***}	۲۰۰۶/۳۳ ^{***}	۱۳۴/۷۸ ^{***}
نانوذره	۲	۳۳۰/۲۶ ^{***}	۳۹/۰۶ ^{***}	۱۱/۲۹ ^{***}	۲۹/۵۹ ^{***}	۰/۲۵ ^{***}	۱۶۲۷/۴۳ ^{***}	۱۰۲۹/۳۳ ^{***}
تنش شوری × نانوذره	۴	۶/۷۶ ^{NS}	۱/۸۳ ^{NS}	۴/۵۰ ^{***}	۱۷/۲۶ ^{***}	۰/۱۱ ^{***}	۳۵۴/۱ ^{***}	۱۷۰/۴۳ ^{***}
خطا	۱۸	۶/۷۴	۱/۱۱	۰/۸۵	۲/۷۳	۰/۰۲	۷۰/۱۱	۳۷/۲۶
تجزیه واریانس	-	۱۰/۵۶	۱۲/۹۸	۱۷/۰۲	۲۴/۸۹	۳۰/۰۶	۱۹/۱۷	۱۸/۴۳

*** به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی دار است.

و فضای بین سلولی برگ دارد که این خود سبب کاهش سطح برگ، ارتفاع بوته و اندام هوایی می‌گردد. اغلب تولید ماده خشک برای مشخص ساختن واکنش گیاه به شوری بکار می‌رود. از آنجا که محتوای آبی گیاه در شرایط

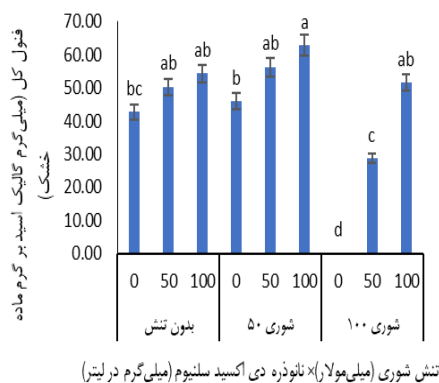


شکل ۵- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم

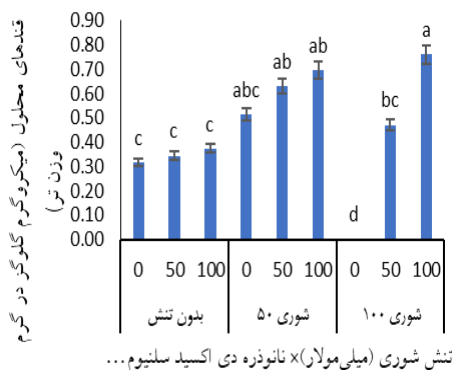
شکل ۶- مقایسه میانگین میزان پرولین تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم

در شرایط عدم کاربرد تنش شوری (شاهد) با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم نانوذره دی اکسید سلنیوم حاصل شد و در تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) نسبت به شاهد ۶۱ درصد کاهش یافت (شکل ۵). سلنیوم باعث جلوگیری از تخریب کلروفیل (Oraghi Ardebili et al., 2019) و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی (Djanaguiraman et al., 2005) در گیاهان در معرض تنش های محیطی می شود. همچنین گزارش شده است که گیاهانی که با سلنیوم تغذیه شده اند تجمع نشاسته در کلروپلاست های آن ها افزایش یافته است. نقش تنظیم کنندگی سلنیوم در وضعیت آبی گیاه تحت شرایط تنش خشکی نیز بررسی و اثرات حفاظتی آن به اثبات رسیده است (Elemike et al., 2019). از دیگر اثرهای سودمند سلنیوم می توان به افزایش رشد و متابولیسم کربوهیدرات ها اشاره کرد (Haghighi et al., 2014). در پی استفاده از سلنیوم در خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در خاک و جذب و انتقال عناصر در گیاه افزایش می یابد (Shahid

et al., 2019). نانوذرات سلنیوم دارای خواص بیولوژیکی منحصربه فرد و سمیت کم بوده در مقابل، بر اساس تحقیقات صورت گرفته، شکل توده های آن (به دلیل استرس اکسیداتیو) دارای اثر سمی کاملاً ملموسی برای گیاهان مخصوصاً در غلظت های بالا است (Gupta and Gupta, 2017). ثابت شده است که نانوذرات سلنیوم ضمن کاهش اثرات نامطلوب شوری در گیاه بادرنجوبه (*Melissa officinalis*) مسیر بیوسنتز Rosmarinic acid به عنوان یک متابولیت ثانویه را تسریع می نماید (Ghasemian et al., 2021). بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها بیشترین پرولین بوته سرخارگل (۹/۱۰ میکرومول در گرم وزن تر) در شرایط تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم نانوذره دی اکسید سلنیوم حاصل شد و کمترین آن در تیمار عدم کاربرد نانوذره حاصل شد (شکل ۶). در پژوهش حاضر سرخارگل مانند سایر گیاهان به منظور دفاع در برابر تنش حاصل از نمک NaCl میزان پرولین آزاد را افزایش داد که طبق نظر محققان نشان دهنده دفاع گیاه در



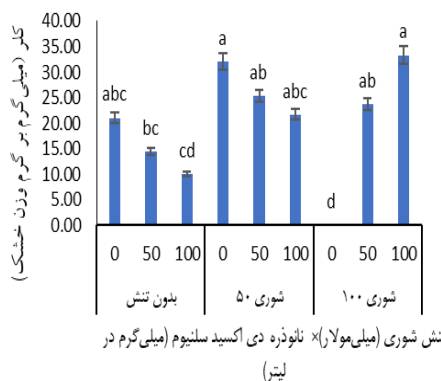
شکل ۸- مقایسه میانگین فنول کل تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم



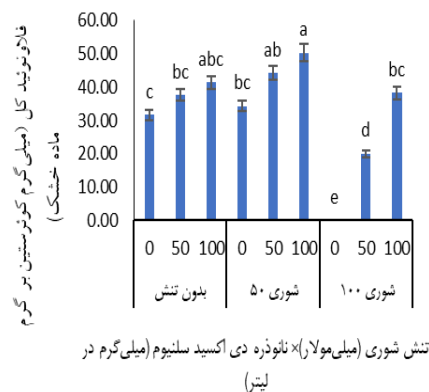
شکل ۷- مقایسه میانگین قند محلول تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم

زیرین جلوگیری می‌کند این ترکیبات با قابلیت آنتی‌اکسیدانی و سمیت‌زدایی رادیکال‌های اکسیژن باعث افزایش مقاومت گیاهان می‌شوند (Liang *et al.*, 2013). در تحقیقی مشابه افزایش فنول کل در شرایط تنش در گیاهان بومادران (*Achillea millefolium* L.) (Gharibi *et al.*, 2016) و همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) (Cheraghi *et al.*, 2023) گزارش شد. بیشترین فلاونوئید کل سرخارگل (۵۰/۳۳ میلی گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) در شرایط تنش شوری ملایم (۵۰ میلی مولار NaCl) با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم نانوذره دی اکسید سلنیوم حاصل شد و کمترین آن در اثرات متقابل تیمارها مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) همراه با عدم کاربرد نانوذره بود (شکل ۹). افزایش فلاونوئید کل تحت سطوح متوسط شوری در گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum*) گزارش شد که همسو با نتایج تحقیق حاضر است (Amiripour *et al.*, 2021). فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی قوی و رباینده‌های

برابر تنش است (El Moukhtari *et al.*, 2020). افزایش پرولین تحت تنش شوری در سنجد تلخ (*Hippophae rhamnoides*) (Urbinati *et al.*, 2019) و سه رقم مرکبات (Alam *et al.*, 2019a) گزارش شد که با یافته‌های ما مطابقت دارد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین قند محلول بوته سرخارگل (۰/۷۶ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر) در شرایط تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم نانوذره دی اکسید سلنیوم حاصل شد و کمترین آن در تیمار عدم کاربرد نانوذره مشاهده شد (شکل ۷). در شرایط تنش شوری ملایم (۵۰ میلی مولار NaCl) با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم نانوذره دی اکسید سلنیوم بیشترین فنول کل سرخارگل (۶۳/۰۰ میلی گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) حاصل شد و کمترین آن در تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) همراه با عدم کاربرد نانوذره بود که ۹۲ درصد کاهش نشان داد (شکل ۸). تجمع ترکیبات فنلی در کرک‌ها، واکوئل و دیواره سلول‌های اپیدرمی از آسیب سلول‌های مزوفیلی



شکل ۱۰- مقایسه میانگین کلر تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم



شکل ۹- مقایسه میانگین فلاونوئید کل تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم

(۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین در تیمار شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم نانوذره دی اکسید سلنیوم بیشترین کلر برگ سرخارگل (۳۳/۳۳ میلی گرم بر گرم وزن خشک) مشاهده شد و کمترین آن مربوط به تیمار تنش شوری شدید همراه با عدم کاربرد نانوذره (کاهش ۷۶ درصدی) بود (شکل ۱۰). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سدیم برگ سرخارگل تحت اثر اصلی تنش شوری و اثر متقابل تنش شوری × نانوذره در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت این در حالی است که تحت اثر اصلی نانوذره قرار نگرفت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین سدیم برگ سرخارگل (۳/۳۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم نانوذره دی اکسید سلنیوم حاصل شد و کمترین آن مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) همراه با عدم کاربرد نانوذره بود (شکل ۱۱). بیشترین پتاسیم برگ (۶/۴۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و فسفر برگ سرخارگل (۱۱/۵۰)

رادیکال آزاد می‌توانند به عنوان دهنده‌های هیدروژن، عوامل کاهنده، کلات کننده‌های فلزی و خاموش کننده‌های اکسیژن منفرد عمل کنند (Huyut et al., 2017). عوامل مختلفی بر مقدار این ترکیبات در گیاه تأثیرگذار است، در تحقیقی با محلول پاشی سلنیوم مقدار ترکیبات آنتی اکسیدانی به ویژه فلاونوئید در آفتابگردان (*Helianthus annuus*) افزایش یافت (Jessie et al., 2018). نتایج این تحقیقات نشان داد که در شرایط تنش شدید تولید متابولیت‌های ثانویه مانند فلاونوئید کل نسبت به تنش متوسط کمتر می‌شود چون انرژی گیاه از یک مرحله به بعد بیشتر برای حفظ و زنده مانی صرف می‌شود و تمرکز کمتر روی تولید متابولیت های ثانویه است.

عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کلر برگ سرخارگل تحت اثر اصلی تنش شوری و اثر متقابل تیمارهای تنش شوری و نانوذره در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد این در حالی است که تحت اثر اصلی نانوذره نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری بود (جدول

میلی گرم نانوذره دی اکسید سلیوم حاصل شد و کمترین آن در اثرات متقابل تیمارها مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی مولار NaCl) همراه با عدم کاربرد نانوذره بود که ۷۵ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱۴).

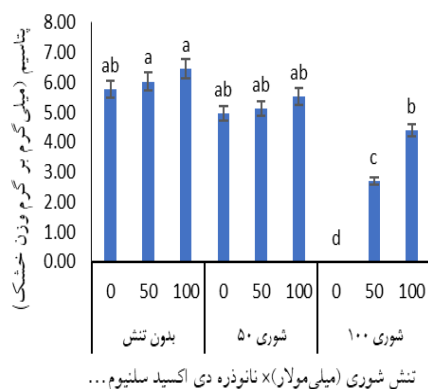
تنش شوری و جذب برخی یون ها آثار سمی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه برجا می گذارد که سبب اختلال در جذب عناصر غذایی توسط ریشه و در نهایت منجر به کاهش رشد گیاه می شود (Taize and Zeiger, 2006). شوری از طریق کاهش پتانسیل آب و سمیت یون های خاص از قبیل سدیم و کلر و همچنین کاهش یون ها غذایی مورد نیاز گیاه مانند پتاسیم بر رشد آن ها تأثیر می گذارد (Moghaddam *et al.*, 2020). یکی از دلایل کاهش مقدار پتاسیم در بافت گیاه در شرایط تنش، مسدود شدن کانال های وارد کننده پتاسیم توسط سدیم می باشد (Imtiaz *et al.*, 2016). محلول پاشی برگی سلیوم (سلنات و نانو سلیوم) سبب افزایش رنگدانه های فتوسنتزی، محتوای مواد مغذی (Se, K, Ca, Fe) برگ و خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی انار در شرایط تنش خشکی شد (Zahedi *et al.*, 2019b). در تحقیق کله و همکاران (۲۰۱۴, Kalte *et al.*) بر روی اثر نانوذرات سیلیس بر رشد و میزان جذب فسفر و پتاسیم گیاه ریحان سبز (*Ocimum basilicum*) در شرایط تنش شوری، مشاهده شد که استفاده از نانوذرات سیلیس در مقایسه با کود سیلیس معمولی موجب افزایش رشد و عملکرد، افزایش ارتفاع، افزایش جذب فسفر، افزایش پتاسیم و افزایش مقاومت گیاه ریحان به تنش

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلیوم بر جذب عناصر غذایی سرخارگل

منابع تغییر	درجه آزادی	کلر برگ	سدیم برگ	پتاسیم برگ	فسفر برگ	نیتروژن برگ
تنش شوری	۲	۲۹۲/۲۶**	۲/۵۸**	۳۴/۰۷**	۸۲/۱۵**	۵۹/۶۷**
نانوذره	۲	۴۲/۲۶ NS	۱/۳۰ NS	۸/۰۶**	۱۸/۰۳ NS	۱۶/۱۵**
تنش شوری × نانوذره	۴	۵۰۷/۲۶**	۳/۸۶**	۳۱/۶۷**	۲۹/۴۶**	۸۸/۶**
خطا	۱۸	۴۷/۷۴	۰/۴۴	۰/۶۱	۵/۸۸	۱/۳۱
ضرب تغییرات	-	۳۴/۲۹	۳۰/۷۲	۱۷/۱۹	۲۸/۵۷	۱۷/۰۵

NS و * به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی دار است.

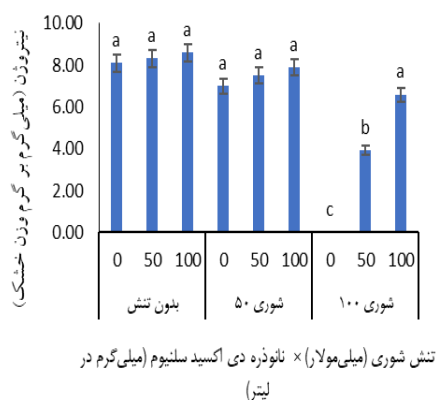
میلی گرم بر گرم وزن خشک) در شرایط عدم کاربرد تنش شوری (شاهد) با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم نانوذره دی اکسید سلیوم حاصل شد (شکل ۱۲ و ۱۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها بیشترین نیتروژن برگ سرخارگل (۸/۶۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در شرایط عدم کاربرد تنش شوری (شاهد) با کاربرد ۱۰۰



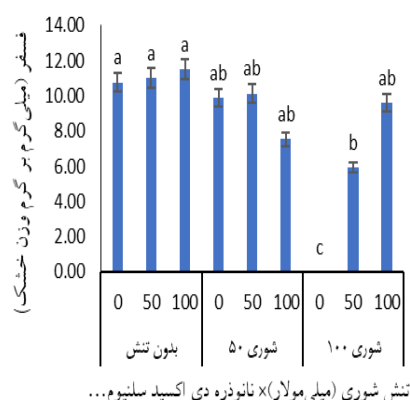
شکل ۱۲- مقایسه میانگین پتاسیم تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم



شکل ۱۱- مقایسه میانگین سدیم تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم



شکل ۱۴- مقایسه میانگین نیتروژن تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم



شکل ۱۳- مقایسه میانگین فسفر تحت اثر متقابل تیمار تنش شوری و نانوذره دی اکسید سلنیوم

ماش (*Vigna radiata* L.) (Alam et al., 2019b) و تربچه (*Raphanus sativus* L.) (Amirabad et al., 2020) مشهود است. کاربرد سلنیوم در محلول غذایی گیاهان کاهو (*Lactuca sativa*) باعث افزایش در غلظت سلنیوم برگ‌ها می‌گردد که در نتیجه منجر به تأثیرات مثبت روی عملکرد گیاه خواهد بود (Malorgio et al., 2009). نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم وابسته به غلظت آن در محیط رشد و در بافت‌های گیاهی است، در غلظت‌های پایین فعالیت سلنیوم به صورت

شوری می‌شود که مشابه نتایج تحقیق اخیر در استفاده سلنیوم در شرایط تنش شوری در گیاه سرخارگل می‌باشد. مطالعات متعددی اثرات محافظت کننده سلنیوم در غلظت‌های پایین را در شرایط تنش گیاهان نشان داده‌اند (Babajani et al., 2019؛ Elkelish et al., 2019؛ Yin et al., 2019). علاوه بر این، اثربخشی قابل توجهی از سلنیوم در بهبود عملکرد فتوسنتز در گونه‌های مختلف گیاهی مانند توت فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch (Zahedi et al., 2019a)،

آنتی اکسیدانت است (Astaneh *et al.*, 2018) که منجر به کاهش فعالیت لیپید پروکسیداسیون می گردد، در حالیکه در غلظت های بالا موجب افزایش فعالیت لیپید پراکسیداسیون در گندم (*Triticum aestivum*) (Nowak *et al.*, 2004) و چچم (*Lolium persicum*) (Cartes *et al.*, 2005) شد. فعالیت لیپید پروکسیداسیون در برگ ها وابسته به غلظت سلنیوم در شاخه و فرم شیمیایی به کار رفته سلنیوم دارد. غلظت سلنیوم در برگ های بالائی، ریشه ها، استولون ها و غده های سیب زمینی با افزایش سلنیوم افزایش یافت (Turakainen, 2007).

نتیجه گیری کلی

در شرایط تنش شوری استفاده از محلول های تیماری به ویژه نانوسلنیوم ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر دارای اثر بهتری در تعدیل شدت تنش شوری با بهبود شاخص های رشدی گیاه سرخارگل شد. در بیشتر موارد اختلاف معنی داری بین ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نانوسلنیوم وجود داشت، بنابراین مقادیر بیش از ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوسلنیوم در شرایط خاک یا آب شور پیشنهاد می گردد. غلظت های مختلف سلنیوم به دلیل نقش حفاظتی و تعدیل کنندگی آنها موجب کاهش اثرهای منفی تنش شوری بر صفات مورفوفیزیولوژیک و صفات فیتوشیمیایی گیاه سرخارگل گردید و از گیاه در برابر تنش شوری محافظت نمود. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می توان محلول پاشی نانوذره دی اکسید سلنیوم را برای کاهش اثرهای منفی تنش شوری در گیاه سرخارگل توصیه نمود.

References

- Abbasi, B., Iqbal, J., Ahmad, R., Zia, L., Kanwal, S. and Mahmood, T. 2020 a. Bioactivities of *Geranium wallichianum* leaf extracts conjugated with zinc oxide nanoparticles. *Biomolecules*, 10(1): 38.
- Abbasi, B.A., Iqbal, J., Zahra, S.A., Shahbaz, A., Kanwal, S. and Rabbani, A. 2020 b. Bioinspired synthesis and activity characterization of iron oxide nanoparticles made using *Rhamnus triquetra* leaf extract. *Mater Research Express*, 6(12): p1250e7.
- Abdel Latef, A. A., Srialhvi vastava, A. K., AbdElsadek, M., Kordrostami, M. and Phan Tran, L. S. 2018. Titanium dioxide nanoparticles improve growth and enhance tolerance of broad bean plants under saline soil conditions. *Land Degradation and Development*, 29: 1065-1073.
- Amirabad, S.A., Behtash, F. and Vafae, Y. 2020. Selenium mitigates cadmium toxicity by preventing oxidative stress and enhancing photosynthesis and micronutrient availability on radish (*Raphanus sativus* L.) cv. Cherry Belle. *Environmental Science Pollution Research*, 27: 12476–12490.
- Amiripour, A., Ghanbari Jahromi, M., K.Soori, M. and Mohammadi Torkashvand, A. 2021. Changes in essential oil composition and fatty acid profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under salinity and foliar-applied silicon. *Industrial Crops and Products*, 168: 113599.
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, 23: 112-121.
- Astaneh, R. K., Bolandnazar, S., Nahandi, F. Z., and Oustan, S. 2018. Effect of selenium application on phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity, phenol leakage and total phenolic content in garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. *Information Processing in Agriculture*, 5, 339-344. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.04.004>
- Babajani, A., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z.O. and Eslami, B. 2019. Differential growth, nutrition, physiology, and gene expression in *Melissa officinalis* mediated by zinc oxide and elemental selenium nanoparticles. *Environmental Science Pollution Research*, 26(24): 24430-24444.

- Banakar, M.H., Amiri, H., Ranjbar, G.H. and Ardakani, M.R. 2022. Effect of salt stress on some morphological traits of fenugreek and determination of the salt tolerance threshold at vegetative stage using some experimental models. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(4): 1103-1081. (In Persian)
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen total. In: *Methods of Soil Analysis*. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI. Pp. 1085-1122.
- Bre's, W., Kleiber, T., Markiewicz, B., Mieloszyk, E. and Mieloch, M. 2022. The effect of NaCl stress on the response of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy*, 12: 244-248. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020244>
- Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and Chern, J.C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3).
- Cheraghi, M., Hatamnia, A. A., Ghanbari, F. 2023. Effects of salinity stress on calendula (*Calendula officinalis* L.) by exogenous application of melatonin. *Plant Process and Function*; 12 (54), 2 URL: <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1750-fa.html>
- Chu, P.S., Saucier, D.A. and Hafner, E. 2010. Meta-analysis of the relationships between social support and well-being in children and adolescents. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 29(6): 624–645.
- Dalby-Brown, L., Barsett, H., Landbo, A.K.R., Meyer, A.S. and Mølgaard, P. 2005. Synergistic antioxidative effects of alkamides, caffeic acid derivatives, and polysaccharide fractions from *Echinacea purpurea* on in vitro oxidation of human low-density lipoproteins. *Agriculture Food Chemistry*, 53(24): 9413-9423
- Djanaguiraman, M., Prasad, P.V.V. and Seppanen, M. 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. *Plant Physiology Biochemistry*, 48: 999–1007.
- Djanaguiraman, M., Devi, D.D., Shanker, A.K., Sheeba, J.A. and Bangarusamy, U.

2005. Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, 272(1-2): 77-86.
- Denaxa, N.K., Damvakaris, T. and Roussos, P.A. 2020. Antioxidant defense system in young olive plants against drought stress and mitigation of adverse effects through external application of alleviating products. *Scientia Horticulturae*, 259: 108812. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108812>
- Dobrange, E., Peshev, D., Loedolff, B. and Van den Ende, W. 2019. Fructans as Immunomodulatory and Antiviral Agents: The Case of Echinacea. *Biomolecules*, 9: 615-627. doi: [10.3390/biom9100615](https://doi.org/10.3390/biom9100615)
- Elkelish, A.A., Soliman, M.H., Alhaithloul, H.A. and El-Esawi, M.A. 2019. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. *Plant Physiology Biochemistry*, 137: 144–153.
- Elemike, E. E., Uzoh, I. M., Onwudiwe, D. C. and Babalola, O. O. 2019. The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. *Applied Sciences*, 9: 499. <https://doi.org/10.3390/app9030499>
- El Moukhtari, A., Cabassa-Hourton C., Farissi, M. and Savouré, A. 2020. How Does Proline Treatment Promote Salt Stress Tolerance During Crop Plant Development? *Frontier Plant Science*, 11: 1127-1133. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127>
- Feng R., Wei, C. and Tu, S. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 87:58–68.
- Ghasemian, S., Masoudian, N., Saeid Nematpour, F, et al. 2021. Selenium nanoparticles stimulate growth, physiology, and gene expression to alleviate salt stress in *Melissa officinalis*. *Biologia*, 76: 2879–2888.
- Gupta, M. and Gupta, S. 2017. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1-14.
- Haghighi, M., R. Abolghasemi and J.A.T. da Silva 2014. Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment. *Scientia Horticulturae*, 178: 231-240

- Hajiboland, R., Rahmat, S., Aliasgharzad, N. and Hartikainen, H. 2015. Selenium-induced enhancement in carbohydrate metabolism in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) as related to the glutathione redox state. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61: 1-12.
- Huyut, Z., Beydemir, S. and Gülçin, I. 2017. Antioxidant and Antiradical Properties of Selected Flavonoids and Phenolic Compounds. *Biochemistry Research International*, 1-10. DOI: [10.1155/2017/7616791](https://doi.org/10.1155/2017/7616791)
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A. and Fujita, M. 2011. Nitric oxide modulates antioxidant defense and the methylglyoxal detoxification system and reduces salinity-induced damage of wheat seedlings. *Plant Biotechnology Reports*, 5: 353–365.
- Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Mushtaq, M. A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Yousaf, B. and Tu, S. 2016. Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: a review. *Journal of environmental management*, 183: 521-529.
- Inbar, J., Abramsky, M., Cohen, D. and Chet, I. 1994. Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. *European Journal of Plant Pathology*, 100(5): 337-346.
- Jessie Rebecca, A., Surendra Babu, P. and Chandini Patnaik, M. 2018. Effect of Sulphur and Selenium on Yield, Selenium Content and Antioxidant Properties in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(04): 283-289.
- Kalte, M., Alipour, Z. T. and Ashraf, Sh. 2014. The effect of silica nanoparticles on the growth and phosphorus and potassium absorption rate of green basil (*Ocimum basilicum*) under salt stress. *Nanoscience and Technology Conference*, Gorgan.
- Kumar, A., Gupta, K., Dixit, S., Mishra, K. and Srivastava, S. 2018. A review on positive and negative impacts of nanotechnology in agriculture. *International Journal of Environmental Science Technology*, 16: 2175-2184.
- Lee, T.T., Chen, C.L., Shieh, Z.H., Lin, J.C. and Yu, B. 2009. Study on antioxidant

- activity of *Echinacea purpurea* L. extracts and its impact on cell viability. African Journal of Biotechnology, 8(19): 5097-5105.
- Liang, Z., Ma, Y., Xu, T., Cui, B., Liu, Y., Guo, Z. and Yang, D. 2013. Effects of abscisic acid, gibberellin, ethylene and their interactions on production of phenolic acids in *Salvia miltiorrhiza* bunge hairy roots. PloS One, 9: 72806.
- Mahn, A. 2017. Modelling of the effect of selenium fertilization on the content of Bio active compounds in broccoli heads. Food Chemistry, 233: 492–499.
- Moghaddam, M., Farhadi, N., Panjtandoust, M. and Ghanati, F. 2020. Seed germination, antioxidant enzymes activity and proline content in medicinal plant *Tagetes minuta* under salinity stress. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 154(6): 835-842.
- Motsara, M. and Roy, R.N. 2008. Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (pp.134-160).
- Olsen, S.R. and Sommers, L.E.1982. Phosphorus. p. 403-430. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Oraghi Ardebili, N., Iranbakhsh, A. and Ardebili, Z. 2019. Efficiency of selenium and salicylic acid protection against salinity in soybean. Plant Physiology, 9: 2727–2738
- Pandey, S., Patel M. K., Mishra, A. and Jha, B. 2015. Physio-biochemical composition and untargeted metabolomics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) make it promising functional food and help in mitigating salinity stress. PLoS One, 10(12): e0144469.
- Rios, J.J., Blasco B., Cervilla L.M., Rosales M.A., Sanchez-Rodriguez E., Romero L. and Ruiz, J.M. 2009. Production and detoxification of H₂O₂ in lettuce plants exposed to selenium. Annals of Applied Biology, 154: 107-116.
- Shahid, M.A., Balal R.M., Khan N., Zotarelli L., Liu G.D., Sarkhosh A., Fernandez-Zapata J.C., Nicolas J.J. and Garcia-Sanchez, F. 2019. Selenium impedes cadmium and arsenic toxicity in potato by modulating carbohydrate and

- nitrogen metabolism. *Ecotoxicological Environment Safety*, 180: 588–599.
- Singleton, V.L. and Rossi, J. A. J. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-58
- Somogy, M. 1952. Notes on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry*, 195: 19-29.
- Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91: 503-527.
- Tumburu, L., Andersen, C. P., Rygiewicz, P. T. and Reichman, J. R. 2017. Molecular and physiological responses to titanium dioxide and cerium oxide nanoparticles in *Arabidopsis*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 36: 71-82.
- Turakainen, M., Hartikainen, H. and Seppänen, M.M. 2005. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(17): 5378-5382.
- Zahedi, S.M., Abdelrahman M., Hosseini M.S., Hoveizeh N.F. and Tran, L.S.P. 2019 a. Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environmental Pollution*, 253: 246–258.
- Zahedi, S.M., Hosseini M.S., Meybodi N.D.H. and Teixeira da Silva, J.A. 2019 b. Foliar application of selenium and nano-selenium affects pomegranate (*Punica granatum* cv. Malase Saveh) fruit yield and quality. *South African Journal of Botany*, 124: 350–358.
- Zahedi, S.M., Karimi M. and Teixeira da Silva, J.A. 2020. The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops. *Journal of Science Food Agriculture*, 100: 25-31.

Improving the morphophysiological characteristics and element concentrations of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) with selenium application under salinity stress conditions

Sara Masoudi¹, Marzieh Ghanbarijahromi², Marjan Diyanat^{3*}

1. MSc. Student, Department of Agricultural Science and Engineering, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran .
2. Assistant Professor, Department of Agricultural Science and Engineering, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Department of Agricultural Science and Engineering, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran, (Corresponding author)

Received: Sunday 2025 Accepted: Thursday 2025 - DOI: 10.22092/mpt.2025.369275.1185

Abstract

Masoudi, S., Ghanbarijahromi, M., Diyanat, M., Improving the morphophysiological characteristics and element concentrations of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) with selenium application under salinity stress conditions

Iranian Medicinal Plants and Technology, Vol 6, No. 2, 2023,24 17-18: 126-143(in Persian)

Abstract:

Salinity is one of the most destructive stresses that reduce the production and yield of agricultural products in all regions of the country. In this regard, the present study was conducted to investigate the morphophysiological characteristics and element concentrations of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under salinity stress at three levels (0, 50, and 100 mM) and selenium dioxide nanoparticles (no foliar application (control), 50 and 100 mg/L); in a factorial design based on a completely randomized design with three replications. The results showed that 100 mM NaCl salinity stress significantly reduced plant morphological traits (plant height, shoot dry weight, and photosynthetic pigments). The use of selenium nanoparticles reduced the effect of salinity stress in purple coneflower. The highest amount of phenol and total flavonoids was observed in the 50 mM treatment (mild salinity stress). The results showed that purple coneflower is sensitive to salinity stress and the reduction in yield was quite evident. Therefore, according to the results of this study, foliar spraying of 100 mg of selenium dioxide nanoparticles can be
Email address of the corresponding author: ma_dyanat@yahoo.com

recommended to reduce the negative effects of salt stress in purple coneflower plants.

Keywords: Potassium, Proline, Selenium dioxide, Total phenol