فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۱-۲۱
https://doi.org/10.22034/14.69.1

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی سلنات سدیم و نانوسلنیوم بر ویژگی‌های رشد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) در شرایط تنش شوری

مهسا ترابیان، سپیده کلاته‌جاری* و مرضیه قنبری‌جهرمی
گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶)

چکیده

استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش به صورت خارجی در بسیاری از موارد در کاهش اثرات تنش‌های محیطی مؤثر است. این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد تا دو فرم مختلف سلنیوم (سلنات سدیم و نانوسلنیوم) از نظر تأثیر بر کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه بادرنجبویه مقایسه شوند. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح تنش شوری (صفر، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و پنج سطح محلول‌پاشی (شاهد (صفر)، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم و ۲ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم) بودند. بر اساس نتایج، تنش شوری و تیمار منابع مختلف سلنیوم بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز و غلظت مالون دی‌آلدهید، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، فنول کل، فلاونوئید کل و عملکرد اسانس تأثیر معنی‌داری داشتند. بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و بدون تنش شوری مشاهده شد. تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی (۲۴/۱۹ درصد نسبت به شاهد) شد، در حالیکه محلول‌پاشی با منابع سلنیوم (سلنات سدیم و نانوسلنیوم) این کاهش را جبران کرد. کلروفیل کل در تیمار تنش شوری شدید ۲۲/۶۵ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت و بیشترین مقدار آن در تیمار نانوسلنیوم ۲ میلی‌گرم در لیتر و بدون تنش شوری حاصل شد. در تیمار تنش شوری شدید و بدون محلول‌پاشی فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز ۶۹/۸۱ درصد و مقدار مالون دی‌آلدئید ۳۹/۱۹ درصد نسبت به شاهد کاهش و در تیمار تنش شوری ملایم و محلول‌پاشی سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان فلاونوئید کل نسبت به شاهد ۳۱/۳۰ درصد و در تیمار تنش شوری ملایم و محلول‌پاشی نانوسلنیوم ۲ میلی‌گرم بر لیتر درصد اسانس بادرنجبویه ۳۱/۰۳ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان دادند. بیشترین عملکرد اسانس (۱۲/۵۴ گرم در بوته) در تیمار نانوسلنیوم ۲ میلی‌گرم در لیتر و بدون تنش شوری مشاهده شد. نسبت‌های عناصر معدنی (پتاسیم، نیتروژن، سلنیوم و کلر) در ریشه و برگ نیز تحت تأثیر تنش شوری و محلول‌های تیماری قرار گرفتند. به طوریکه در تنش شوری شدید و سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت پتاسیم ریشه به برگ (۱/۲۵) و نسبت نیتروژن ریشه به برگ (۱/۶۳) بیش از سایر تیمارها بود، در تیمار تنش شوری شدید و بدون محلول‌پاشی نسبت سلنیوم ریشه به برگ ۰/۳۹۳ بود که بیانگر تجمع سلنیوم بیشتر در برگ بود. مجموع می‌توان گفت فرم نانوسلنیوم نسبت به سلنات سدیم اثربخشی بهتری در تخفیف اثر منفی تنش شوری در گیاه دارویی بادرنجبویه داشت.

واژه‌های کلیدی: بیشبود عناصر، تنش شوری، سمیت، مقاومت، نسبت کلر به پتاسیم

مقدمه

گیاه بادرنجبویه با نام علمی *Mellissa officinalis* از تیره نعناییان (Lamiaceae) گیاهی علفی، گلدار، یک یا چندساله است. این گیاه معطر (بویی شبیه به‌لیمو) بوده و در زیستگاه

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: kalatehjari@srbiau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

خود تا ارتفاع ۱۰۰–۵۰ سانتی‌متر رشد می‌کند (Ghazizadeh *et al.*, 2021). اندام‌های هوایی آن به‌خصوص برگ‌ها دارای اسانس، اسید رزمارینیک، اسیدهای فنولیک و فلاونوئید است (Pirbalouti *et al.*, 2019; Chindo *et al.*, 2021).

شوری خاک یک مشکل در حال افزایش برای کشاورزی جهان است. تجمع نمک در خاک زمین‌های قابل‌کشت، عمدتاً ناشی از آبیاری با آب حاوی مقادیر جزئی کلرید سدیم (NaCl) و آب شور است. افزایش غلظت نمک در خاک از طرفی موجب کاهش توانایی گیاه در جذب آب و از طرف دیگر هنگامی‌که سدیم و کلر به مقدار زیاد توسط ریشه‌ها جذب می‌شوند، هر دو با مختل کردن فرایندهای متابولیکی و کاهش کارایی فتوسنتز، تأثیرات منفی بر رشد گیاه می‌گذارند (Isayenkov and Maathuis, 2019). در تمام فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاه توت‌فرنگی یون‌های اضافی مانند Na^+ و Cl^- منجر به استرس اسمزی و سمیت یونی؛ در نتیجه، مهار رشدونمو گیاه توسط مختل‌کردن فرآیندهای فیزیولوژیکی متعدد مانند جذب آب، فرآیندهای متابولیکی، ترکیب مواد مغذی، اسمزی تنظیم و هدایت هیدرولیکی می‌شوند (Zahedi *et al.*, 2019). برای مقابله با تنش یونی ناشی از سدیم، گیاهی مانند نعنا (Bharti *et al.*, 2014) و فلفل (Penella *et al.*, 2016) این یون را از بافت برگ دفع کرده و عمدتاً در واکوئل‌ها تجمع می‌دهند. اگرچه این سازوکار به کاهش خسارات کمک می‌کند، اما تنش شوری درنهایت منجر به کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (Ma *et al.*, 2020).

سلنیوم یک ریزمغذی سودمند با خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی و ضدویروسی برای سلامت موجودات مختلف است (Hasanuzzaman *et al.*, 2020) و نقش محافظتی و آنتی‌اکسیدانی در کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از دما، خشکسالی، شوری، استرس مکانیکی، اشعه ماوراءبنفش، عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین دارد. سلنیوم از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز و همچنین افزایش سطح ترکیبات غیرآنزیمی مانند گلوتاتیون، مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های اکسیداتیو بهبود می‌بخشد (Hussein *et al.*, 2019a). سلنات سدیم فرم مرسوم کود سلنیوم است که اخیراً برای تعدیل تنش‌های محیطی در گیاهان استفاده می‌شود (Karimi *et al.*, 2020).

نانوذرات سلنیوم (Se NPs) دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالقوه و همچنین سمیت کم به دلیل حالت ردوکس صفر (Se 0) هستند (Hussein *et al.*, 2019a). در کشت بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی افزایش داشتند (Hussein *et al.*, 2019b). آن‌ها همچنین ظرفیت فتوسنتزی، تجمع پرولین و کربوهیدرات‌های محلول را برای محافظت اسمزی در محصول خیار بهبود بخشیدند (Zahedi *et al.*, 2019).

در تحقیقی با هدف تعیین اثر محلول‌پاشی سلنیوم و نانوسلنیوم بر برخی متابولیت‌های ثانویه به‌لیمو در شرایط تنش شوری نتایج نشان داد که سلنیوم و نانوسلنیوم بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه مانند اسانس‌ها، محتوای فنلی کل و ترکیبات فلاونوئیدی را در شرایط بدون تنش و شوری افزایش دادند (Ghanbari *et al.*, 2023).

در تحقیقی اثر نانوذرات سلنیوم (۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، نانوذرات سیلیسیوم (۲۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و نانوذرات مس (۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر خصوصیات کمی و کیفی فلفل (*Capsicum annuum*) در شرایط تنش شوری (۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار NaCl) بررسی شد. تنش سبب کاهش محتوای کلروفیل و بتاکاروتن و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید و گلوتاتیون شد. نانوذره سلنیوم با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش کلروفیل (۵۰ درصد) و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز برگ (۴۸ درصد)، فنول (۲۱ درصد) و فلاونوئید میوه (۲۰ درصد) و غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش کاتالاز (۱۲۸ درصد) گردید (Gonzalez-Garcia *et al.*, 2021). در بررسی اثر سلنیوم بر متابولیت‌های ثانویه و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرنجبویه، نتایج نشان داد که غلظت کم (۰/۲ میکرومولار) سلنیوم باعث افزایش خصوصیات رشدی گیاه مانند وزن تر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

اندام هوایی و ریشه، وزن خشک ریشه حدد ۱/۵ برابر و بهبود صفات فیزیولوژی آن از جمله میزان اسید آسکوربیک (۴ برابر)، پروتئین (۱/۸ برابر)، آنزیم (کاتالاز (۵ برابر)، آسکوربات پراکسیداز (۴ برابر)، پراکسید هیدروژن (۲۵ درصد)، کاریوفیلن (۸ درصد) و اکسید کاریوفیلن نسبت به شاهد شد (Tavakoli *et al*., 2020).

کاربرد نانوذره سلنیوم (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) منجر به کاهش آسیب‌های تنش نمک یا شوری و افزایش جذب مواد معدنی نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه دارویی بادرنجبویه شد (Ghasemian *et al*., 2021). در تحقیقی اثر نانوذرات سلنیوم (۲۵ میلی‌گرم در لیتر) و سیلیکون (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و آب اکسیژنه (۲۰ نانومول بر لیتر) بر رشد گیاه خیار (*Cucumis sativus*) بررسی شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی نانوذرات سلنیوم (۲۵ میلی‌گرم در لیتر) به طور واضحی سبب افزایش ارتفاع (۴۵ درصد) و سطح برگ گیاه (۲ برابر) نسبت به شاهد شد. نانوذرات سلنیوم دارای اثرات به نسبت قوی‌تری نسبت به نانوذرات سلنیوم در افزایش خصوصیات آنتی‌اکسیدانی گیاه شدند (Shalaby *et al*., 2021).

از آنجا که تاکنون گزارشی در راستای مقایسه تأثیر محلول‌پاشی دو فرم مختلف سلنیوم جهت بهبود اثرات منفی تنش ارائه نشد تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر این ترکیبات بر رشد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) در شرایط تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر تیمارهای سلنات سدیم و نانوسلنیوم در شرایط تنش شوری در فروردین ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای در کرج با طول جغرافیایی "۳۵°۴۸'۰۸ و عرض جغرافیایی "۵۱°۰۰'۰۱ و فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، رطوبت نسبی ۶۵ تا ۸۰ درصد، حداکثر دما ۲۹ و حداقل دمای ۱۵ درجه سلسیوس که کنترل دما به وسیله فن صورت می‌گرفت، به مدت سه ماه انجام شد.

بذرهای بادرنجبویه (تهیه‌شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) ضدعفونی و در گلدان‌های ۳ لیتری حاوی پرلیت و کوکوپیت با نسبت ۱:۲ کشت شدند. در فروردین ماه در هر گلدان پنج بذر کاشته شد، از آنجایی که بذرها رکود نداشتند خیلی سریع (پنج روز) جوانه‌زنی رخ داد، پس از رسیدن به مرحله چهار برگی یک گیاه باقی ماند. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و دو مشاهده صورت گرفت. شوری در سه سطح (صفر، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر از منبع کلرید سدیم) و تیمارها در پنج سطح (صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم) استفاده شد. در دوره انجام آزمایش هفته‌ای دوبار گیاهان با کود کامل تجاری (NPK) ۲۰:۲۰:۲۰ به صورت کودآبیاری و برای هر گلدان ۲۰۰ سی‌سی تغذیه شدند.

در مرحله چهار برگی، اولین محلول‌پاشی برگی با تیمارها در سه نوبت ۱۵ روزه و تنش شوری پس از مرحله شش برگی به مدت ۵۰ روز، با استفاده از ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر و با حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول کلرید سدیم برای هر گلدان به مدت ۴۰ روز اعمال گردید. به منظور عدم تجمع نمک در گلدان‌ها، پس از هر چهار مرتبه آبیاری با آب شور تمامی گلدان‌ها یکبار با آب معمولی (بدون شوری، EC=1.1 dS/m) آبشویی شدند. ۱۰ روز پس از اتمام تیمارها (سه ماه پس از کشت)، گیاهان برداشت و صفات مورد نظر ارزیابی شدند.

برای اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی، گیاه کشت‌شده در هر گلدان از یقه توسط قیچی قطع شد و وزن تمام قسمت‌های هوایی گیاه (ساقه، گل و برگ) با ترازوی دیجیتال Digital scale با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. پس از خشک کردن اندام هوایی در دستگاه آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت، وزن خشک آن‌ها به‌دست آمد (Inbar *et al*., 1994).

کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b: اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل با روش Arnon (۱۹۶۷) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگی گیاهان را در هاون چینی با ۳ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً ساییده شد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

و حجم نهایی عصاره به ۱۵ میلی‌لیتر رسید. سپس عصاره با استفاده از سانتریفیوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت g × ۵۰۰۰ صاف شد. از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) برای اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها استفاده شد. ابتدا دستگاه با استون ۸۰ درصد صفر شده و سپس میزان جذب عصاره استخراج‌شده در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. سپس با استفاده از رابطه‌های زیر کلروفیل a (رابطه ۱) و کلروفیل b (رابطه ۲) برحسب (میلی‌گرم کلروفیل در هر گرم برگ تر) محاسبه شد.

رابطه ۱

$$Chl\ a = [(12.7\times A663) - (2.69\times A645)]\times V / 1000\times W$$

رابطه ۲

$$Chl\ b = [(22.9\times A645) - (4.69\times A663)]\times V / 1000\times W$$

در رابطه‌های بالا، A میزان جذب در طول‌موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی‌لیتر و W اندازه برگ تازه برحسب گرم است.

از تقسیم مقدار کلروفیل a بر کلروفیل b، نسبت این دو به دست آمد.

آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز PAL: ۰/۳ گرم از بافت تازه ساقه را وزن کرده و در ۶/۵ میلی‌لیتر بافر HCL، ۵۰ میلی‌مولار (اسیدیته ۸/۸) که حاوی بتامرکاپتو اتانول ۱۵ میلی‌مولار است، سائیده و عصاره حاصل به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی برای شناسایی استفاده شد. مخلوطی از یک میلی‌لیتر بافر استخراجی رویی، ۰/۵ میلی‌لیتر فنیل‌آلانین ۱۰ میلی‌مولار، ۰/۴ میلی‌لیتر آب و ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی، در حمام آب گرم ۳۷ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت قرار داده شد. سپس واکنش توسط ۰/۵ میلی‌لیتر کلریدریک اسید شش مولار متوقف گردید. در نهایت به محلول حاصل ۱۵ میلی‌لیتر اتیل استات افزوده شد. فاز روغنی تشکیل شده جدا و باقی‌مانده در دمای آزمایشگاه قرار داده شد تا تبخیر شود، سپس باقی‌مانده که همان سینامیک اسید است در سه میلی‌لیتر سود ۰/۰۵ مولار حل شد و غلظت سینامیک اسید با اندازه‌گیری میزان جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر به دست آمد (Wang *et al.*, 2006).

مالون دی‌آلدئید: جهت تعیین میزان پراکسیدشدن چربی‌های غشایی با آزمون تیوباربیتوریک اسید (TBAT) از طریق تعیین غلظت مالون دی‌آلدئید استفاده شد. به منظور تعیین غلظت مالون دی‌آلدئید در نمونه گیاهی ابتدا نیم گرم برگ تازه را در محلول ۲۰ درصد تیوکلرو استیک اسید (TCA) که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید بود کاملاً پودر کرده، مخلوط حاصل به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس در دستگاه بن‌ماری گرم شد و سپس به حمام یخ منتقل و غلظت مالون دی‌آلدئید در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری شد (Valentovic *et al.*, 2006).

محتوای نسبی آب برگ: برای تعیین RWC، از برگ‌های کامل و توسعه‌یافته استفاده شد. پس از وزن اولیه برگ، در آب مقطر قرار داده شده و ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و ۲۴ ساعت دیگر در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها ثبت و در نهایت RWC با فرمول زیر محاسبه شد (Ritchie *et al.*, 1990):

$$RWC = (FW-DW)/(SW-DW)\times 100$$

در این رابطه FW وزن تازه برگ، SW وزن اشباع برگ و DW وزن خشک برگ است.

پرولین: میزان پرولین با روش واکنش نین‌هیدرین (Bates *et al.*, 1973) تعیین گردید. ۳۰۰ میلی‌گرم از ساقه ـ برگ با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ هموژنیزه و سپس با کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف گردید. ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف شده برداشته و به آن ۲ میلی‌لیتر محلول نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال افزوده شد و محلول حاصل پس از یک ساعت قرارگیری در بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برای توقف واکنش بر روی یخ قرارداده شد. سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه شده و پس از چند دقیقه همزدن شدید، محلول صورتی رنگ فوقانی برای قرائت جذب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda قرار گرفت و میزان پرولین در عصاره با منحنی استاندارد پرولین خالص محاسبه شد.

فنول کل: پس از عصاره‌گیری متانولی، عصاره‌های حاصل پس از صاف‌شدن با دستگاه تبخیرکننده چرخان با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تغلیظ و میزان ترکیب‌های فنلی موجود در عصاره این گیاه از طریق رنگ‌سنجی به روش فولین ـ سیوکالتو مورد بررسی قرار گرفت (Singleton and Rossi jaj, 1965). مطابق روش Mc Donald و همکاران (۲۰۰۱)، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی با ۵ میلی‌لیتر معرف فولین ـ سیوکالتو (که با آب‌مقطر ۱۰ برابر رقیق شد) و ۴ میلی‌لیتر از محلول کربنات سدیم یک مولار به خوبی مخلوط گردید. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس مقدار جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد (Oroojalian *et al.*, 2010). بدین منظور روش رنگ‌سنجی (فولین- سیوکالتو) نیز روی محلول‌های استاندارد اسید تانیک با غلظت‌های مختلف انجام شد. منحنی استاندارد در برابر جذب اسید تانیک رسم گردید (Y=0/00114X+0/01062، Y عدد جذب و X غلظت بر حسب ppm). برای تعیین غلظت فنل نمونه‌ها اعداد جذب به دست آمده از اسپکتروفتومتر را در معادله بالا (Y) قرار داده و میزان غلظت ترکیب‌های فنلی موجود در نمونه‌ها بر حسب ppm (X) محاسبه گردید. در نهایت مقادیر فنول تام عصاره با استفاده از منحنی استاندارد براساس میلی‌گرم گالیک اسید در گرم عصاره اندازه‌گیری شد.

فلاونوئید کل: از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم برای تعیین مقدار فلاونوئیدها استفاده شد. هر کدام از عصاره‌های متانولی گیاهی (نیم میلی‌لیتر از ۱:۱۰ گرم بر میلی‌لیتر) به صورت جداگانه با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم (۱۰ درصد متانولی)، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم (۱M) و ۲/۸ میلی‌لیتر آب‌مقطر ترکیب شدند. سپس محلول‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. جذب هر ترکیب واکنشی در ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد با محلول‌های کوئرستین (Quercetin, Sigma Chemical Co.) متانولی در غلظت‌های ۱۰۰۰-۲۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر تهیه شده و منحنی با نرم‌افزار Excel رسم گردید، سپس معادله خط y=bx+a بدست آمد. جذب‌های خوانده شده از نمونه‌ها به جای y قرار داده شده و x یا همان غلظت بدست آمد (Chang *et al.*, 2002).

درصد و عملکرد اسانس: جهت اندازه‌گیری وزن خشک سرشاخه گلدار گیاه و نیز آماده‌سازی نمونه برای تهیه اسانس، گیاهان پس از برداشت به مدت دو هفته در دمای معمولی در شرایط سایه، در محیط آزمایشگاه خشک شدند. جهت محاسبه درصد اسانس موجود در گیاه ابتدا مقدار ۱۰۰ گرم نمونه خشک گیاه با ترازوی دیجیتال توزین گردید، سپس آن را به داخل بالن ۵۰۰ میلی‌لیتری انتقال داده و ۲۰ عدد پرل شیشه‌ای به همراه ۲۵۰ میلی‌لیتر آب به محتویات داخل بالن اضافه گردید. پس از آن بالن به دستگاه اسانس‌گیری (کلونجر) متصل گردید و برای مدت چهار ساعت عمل استخراج اسانس موجود در گیاه انجام گرفت. در زیر بالن یک اجاق الکتریکی قرار داده شد. درجه حرارت اجاق الکتریکی را باید طوری تنظیم نمود که سرعت خروج مایع از قسمت مبرد دستگاه در حدود ۲ تا ۳ میلی‌لیتر در دقیقه باشد. پس از ختم اسانس‌گیری، اسانس جمع‌آوری شده در قسمت مدرج دستگاه جهت تعیین مقدار آن به یک لوله آزمایش منتقل گردید. جهت خروج بهتر و استخراج تمام اسانس گرفته شده از دستگاه ۲ میلی‌لیتر کلرومتان ۳۶ درجه در قسمت مدرج دستگاه ریخته و اسانس حل شده در دی‌کلرومتان را در یک بشر ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و مقداری سولفات سدیم بی‌آب به آن اضافه شد تا کاملاً عاری از آب شود. سپس مقدار اسانس با ترازوی دقیق آزمایشگاهی LIBROR AEL مدل 40SM با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد. از حاصل ضرب درصد اسانس در وزن خشک، عملکرد اسانس به‌دست آمد (Sefidkon *et al.*, 2006).

اندازه‌گیری پتاسیم برگ و ریشه: برگ‌های گیاه بعد از برداشت در هوای آزاد کاملاً خشک شدند. سپس با استفاده از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

هاون نمونه‌ها پودر شدند. ۰/۳ از نمونه‌های پودر شده را توزین کرده و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت خاکستر شدند و سپس در ۵ میلی‌لیتر محلول اسید نیتریک ۲ مولار حل شدند. حجم محلول در نهایت با آب دو بار تقطیر به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. سپس با دستگاه فلیم‌فتومتری (مدل PFP7 ساخت کمپانی JENWAY انگلستان) اندازه‌گیری شد (Chapman and Pratt, 1962).

$N\% = A \times N \times 1.4/W$

N= نرمالیته اسید، A= حجم اسید مصرفی، W= وزن نمونه

اندازه‌گیری سلنیوم برگ و ریشه: برای اندازه‌گیری سلنیوم نمونه‌های گیاهی پس از خشک‌شدن در دمای ۷۵ درجه سلسیوس پودر گردیده و پس از هضم جهت سوزاندن مواد آلی برای اندازه‌گیری مقدار سلینوم به روش کالریمتری ۱۰ میلی‌لیتر عصاره حاصل از هضم به همراه ۱ میلی‌لیتر ماده رنگی فنوتیازین و همچنین ۴ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک ۱۰ مولار به درون لوله‌های ۱۵ میلی‌لیتری انتقال یافتند مقدار جذب محلول‌ها در طول‌موج ۵۱۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) خوانده شد (Mahaveer and Jaldappa, 2000).

اندازه‌گیری نیتروژن برگ و ریشه: نیتروژن با روش کجلدال اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۰/۵ گرم گیاه + ۱۵ سی‌سی اسید سولفوریک غلیظ + یک عدد قرص کجلدال استفاده شد. سپس ترکیب ایجاد شده را در لوله مخصوص هضم در اجاق به مدت نیم ساعت و در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا اینکه رنگ نمونه به سبز شفاف تغییر یافت. سپس نمونه را در جهت تقطیر در دستگاه کجلدال به مدت ۳ دقیقه روی سود ۶ تنظیم شد. در این مدت $NH4^{+}$ به NH_3 تبدیل شد و آمونیاک در هنگام جوشیدن محلول تبخیر شد. سپس محلول سبز رنگ با اسید سولفوریک یک صدم نرمال تیتر گردید تا به رنگ قرمز روشن تبدیل شد. حجم اسید مصرفی یادداشت و از روش زیر نیتروژن محاسبه شد (Sparks, 1996).

$N\% = A \times N \times 1.4/W$

N= نرمالیته اسید، A= حجم اسید مصرفی، W= وزن نمونه

اندازه‌گیری کلر برگ و ریشه: برای اندازه‌گیری کلر ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت گیاهی پودرشده درون لوله فالکن ریخته و پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۰/۵ مولار و قراردهی آن به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک‌کن، عصاره‌گیری انجام شد. مقدار ۱ میلی‌لیتر از عصاره برای قرائت کلر طبق روش رنگ‌سنجی در طول‌موج ۴۸۰ نانومتر توسط دستگاه اپوچ (Epoch) استفاده شد (Munns and Tester, 2008).

نسبت عناصر از تقسیم مقادیر عددیشان محاسبه گردید.

داده‌های به‌دست آمده حاصل از اندازه‌گیری متغیرها در تحقیق، ابتدا در Excel ثبت شده و سپس با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ آنالیز شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۵ درصد با آزمون دانکن بررسی شد.

نتایج

صفات مورفولوژیکی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار تنش شوری بر وزن تر و خشک اندام هوایی، نسبت کلروفیل a به کلروفیل b، کلروفیل کل، فعالیت آنزیم PAL و مقدار مالون دی‌آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تیمارهای محلول‌پاشی تأثیر معناداری بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد و بر کلروفیل کل، فعالیت آنزیم PAL و میزان مالون دی‌آلدهید در سطح احتمال ۱ درصد داشتند. همچنین، اثر متقابل تنش شوری و تیمارهای محلول‌پاشی بر وزن تر اندام هوایی، کلروفیل کل و مالون دی‌آلدهید در سطح ۵ درصد و بر فعالیت آنزیم PAL در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۱).

وزن تر اندام هوایی: نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و بدون شوری حاصل شد، اگرچه با تیمارهای نانوسلنیوم ۲ میلی‌گرم در لیتر و سلنات سدیم ۵ میلی‌گرم در لیتر در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۲).

وزن خشک اندام هوایی: نتایج مقایسه میانگین نشان داد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات وزن، کلروفیل و فعالیت آنزیمی گیاه دارویی بادرنجبویه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	نسبت کلروفیل a به کلروفیل b	کلروفیل کل	آنزیم PAL	مالون دی‌آلدهید
شوری	۲	۷۳/۶۳**	۲/۶۳**	۱/۱۸**	۰/۵۷**	۲۰/۸۰**	۱۴۸/۴۶**
تیمارهای محلول‌پاشی	۴	۳/۴۲^{ns}	۰/۲۹*	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۵**	۱/۱۱**	۲/۱۵^{ns}
شوری× تیمارهای محلول‌پاشی	۸	۰/۲۳**	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۸۷**	۰/۷۲*
خطا	۳۰	۱/۷۵	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۹۶
ضریب تغییرات	-	۱۰/۵۷	۱۰/۷۹	۴/۹۹	۵/۶۹	۱۴/۸۶	۷/۲۳

**، * و ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار است.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و تیمار بر وزن تر اندام هوایی و کلروفیل کل گیاه بادرنجبویه

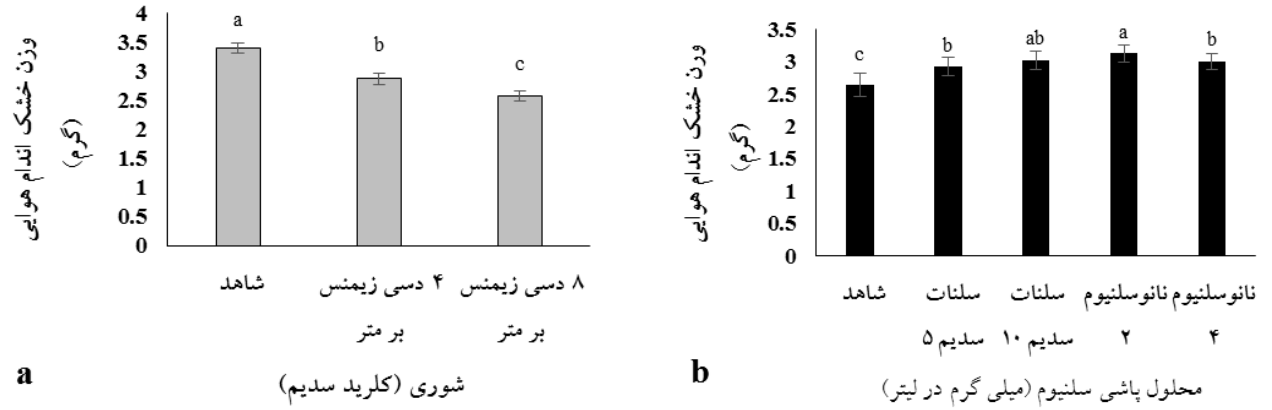
تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم)	تیمار (میلی‌گرم در لیتر)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
صفر (شاهد)	صفر (شاهد)	۱۳/۶۰^{b}	۱/۸۱^{d}
	سلنات سدیم ۵	۱۴/۸۷^{a}	۱/۹۰^{c}
	سلنات سدیم ۱۰	۱۵/۳۰^{a}	۱/۹۶^{b}
	نانوسلنیوم ۲	۱۵/۰۰^{a}	۲/۰۱^{a}
	نانوسلنیوم ۴	۱۴/۶۷^{a}	۱/۹۶^{b}
۴ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد)	۱۱/۹۷^{d}	۱/۶۱^{g}
	سلنات سدیم ۵	۱۲/۴۳^{cd}	۱/۷۰^{f}
	سلنات سدیم ۱۰	۱۲/۸۷^{bcd}	۱/۷۴^{ef}
	نانوسلنیوم ۲	۱۳/۲۷^{bc}	۱/۷۷^{de}
	نانوسلنیوم ۴	۱۲/۷۰^{bcd}	۱/۷۶^{e}
۸ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد)	۸/۹۳^{f}	۱/۴۰^{i}
	سلنات سدیم ۵	۱۰/۱۷^{e}	۱/۵۰^{h}
	سلنات سدیم ۱۰	۱۰/۵۰^{e}	۱/۵۸^{g}
	نانوسلنیوم ۲	۱۰/۹۷^{e}	۱/۶۰^{g}
	نانوسلنیوم ۴	۱۰/۷۳^{e}	۱/۶۱^{g}

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

که وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش شوری کاهش معنی‌داری نشان داد. کاهش ۱۶ و ۲۴ درصدی وزن خشک اندام هوایی به ترتیب در شرایط شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر مشاهده شد (شکل ۱a). محلول‌پاشی برگی منابع سلنیوم سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی شد به طوریکه افزایش ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۱۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی به ترتیب با کاربرد ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم بدست آمد (شکل ۱b).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]



شکل ۱- اثر ساده تنش شوری (a) و محلول‌پاشی سلنیوم (b) بر وزن خشک اندام هوایی بادرنجبویه. حروف لاتین مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن است. بارهای روی نمودار خطای استاندارد است.

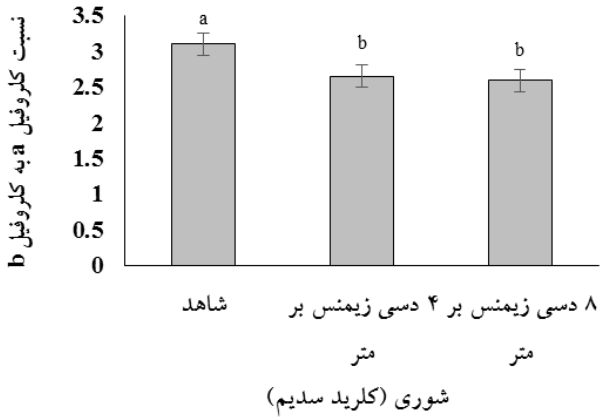
اثر سمی یون‌های نمک سدیم و کلر می‌تواند بر فتوسنتز، فیتوهورمون‌ها، تعادل وضعیت آب گیاه و هموستاز مواد مغذی تأثیر منفی بگذارد که سبب کاهش رشد می‌شود. با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد می‌شود، در نتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک نماید افزایش می‌یابد که این عمل باعث کاهش جذب آب، افزایش تنفس و کاهش رشد گیاه می‌شود (Ahmadi and Souri, 2018; Amiripour *et al*., 2021). در این مطالعه، نانوذره سلنیوم در غلظت کم (۲ میلی‌گرم در لیتر)، اثر بهتری نسبت به غلظت زیاد آن داشت. در تحقیقات پیشین نشان داده شد که سلنیوم در گیاهان دارای محدوده حساسی بین مقدار ضروری و سمی آن است. سلنیوم در سطوح بهینه رشد گیاه را تحریک و تحمل نمک را در گیاه افزایش می‌دهد نانوذرات به مراتب اثر بهتری نسبت به سلنات سدیم داشتند. نانوذرات پس از ورود با گیاهان در سطوح سلولی و درون سلولی برهمکنش می‌کنند و تغییرات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مولکولی را افزایش می‌دهند (Khan *et al*., 2019). در تحقیقی مشابه، Kiumarzi و همکاران (۲۰۲۲) به نقش مهم نانو سلنیوم در کاهش تنش شوری در گیاه نعناع آناناسی با افزایش وزن گیاه اشاره کردند.

نسبت کلروفیل a به کلروفیل b: نتایج نشان داد بیشترین نسبت کلروفیل a به کلروفیل b مربوط به تیمار شاهد (عدم وجود تنش شوری) بود (شکل ۲).

کلروفیل کل: بیشترین کلروفیل کل در تیمار نانوسلنیوم ۲ میلی‌گرم در لیتر در شرایط بدون شوری و کمترین آن در تیمار شوری شدید (۸ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) و بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۲).

کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با رادیکال اکسیژن، تخریب پیش‌ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال‌شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۴؛ Pan *et al*., 2022). علاوه‌براین، تنش شوری در جذب برخی عناصر ضروری نظیر نیتروژن، آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند که این عناصر در سنتز کلروفیل ضروری هستند (Wungrampha *et al*., 2018). کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری به‌دلیل فعالیت بیشتر کلروفیلاز است. بعضی از مواد تنظیم‌کننده رشد مانند اسید آبسیزیک و اتیلن که میزان آن‌ها در شرایط تنش افزایش می‌یابد موجب تحریک فعالیت این آنزیم می‌شود. همچنین کاهش میزان سبزینه می‌تواند به‌دلیل تغییر سوخت‌وساز نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیب‌هایی اسید آمینه پرولین باشد که در شرایط تنش برای تحقق تنظیم اسمزی تولید می‌شود (Amiripour *et al*., 2021). کاهش کلروفیل b به مراتب بیشتر از کلروفیل a بود. در شرایط تنش، کمپلکس‌های دریافت‌کننده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]



شکل ۲- اثر ساده تنش شوری بر نسبت کلروفیل a به کلروفیل b برگ گیاه دارویی بادرنجبویه. حروف لاتین مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن است. بارهای روی نمودار خطای استاندارد است.

نور بیشتر به کلروپلاست و کلروفیل b آسیب می‌بینند که باعث کاهش شدید کلروفیل تحت تنش خواهد شد (Garriga *et al.*, 2014). کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش شوری به عنوان یک علامت معمولی از فوتو اکسیداسیون رنگدانه و تخریب کلروفیل در نظر گرفته شده است (Hajihashemi and Ehsanpour, 2013). غلظت‌های پایین سلنیوم سبب محافظت از آنزیم‌های کلروپلاستی و همچنین افزایش کارایی فتوسیستم Ⅱ می‌شود که منجر به افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه می‌شود. افزایش محتوای فتوسنتزی تحت تأثیر نانوذرات سلنیوم در شرایط تنش شوری برای گیاهان خیار توسط Mousavi و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شد که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

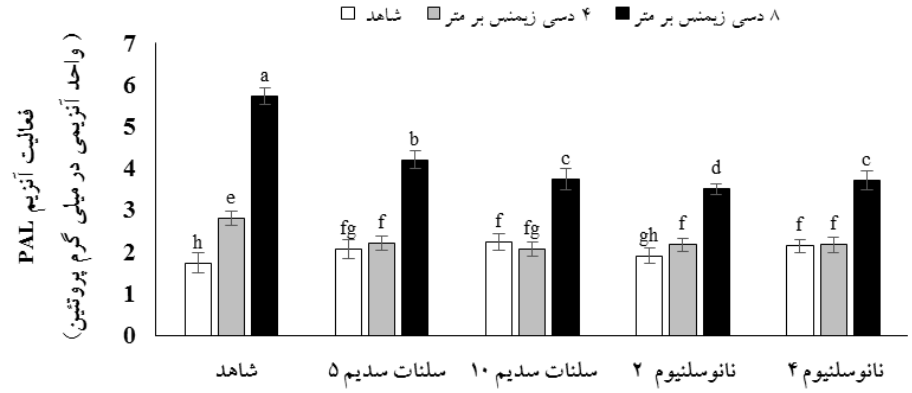
فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL): اثر متقابل شوری و سلنیوم نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالاز (PAL) در تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بدون کاربرد سلنیوم با ۲۶ درصد افزایش نسبت به شاهد بدست آمد (شکل ۳).

در این مطالعه، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی PAL در شرایط شوری افزایش یافت. آنزیم PAL یکی از مهمترین آنزیم‌ها در مسیر تولید فنیل پروپانوئیدها در گیاهان است که نقشی کلیدی در تنظیم تولید این ترکیبات داشته و با انجام عمل دآمیناسیون اسیدآمینه ال- فنیل‌آلانین را به ترانس سینامیک اسید تبدیل می‌کند. کاهش مقدار آنزیم PAL با کاربرد سلنیوم در شرایط تنش شدید به این دلیل است که سلنیوم شرایط گیاه را نرمال و با تعدیل تنش گیاه را به سمت پایداری هدایت می‌کند و در این صورت مقدار رادیکال آزاد اکسیژن (ROS) کمتر و در نتیجه فعالیت آنزیمی کمتر می‌شود. همچنین این کاهش فعالیت آنزیمی در شرایط تنش شدید با کاربرد محرک‌های رشد ناشی از این است که رادیکال‌های آزاد تولیدشده در شرایط کاربرد این مواد کاهش یافته و فعالیت آنزیمی نیز کاهش می‌یابد (Zahedi *et al.*, 2019). در تحقیقی مشابه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با کاربرد شوری در گیاه بادرنجبویه توسط Ghasemian و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شد که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

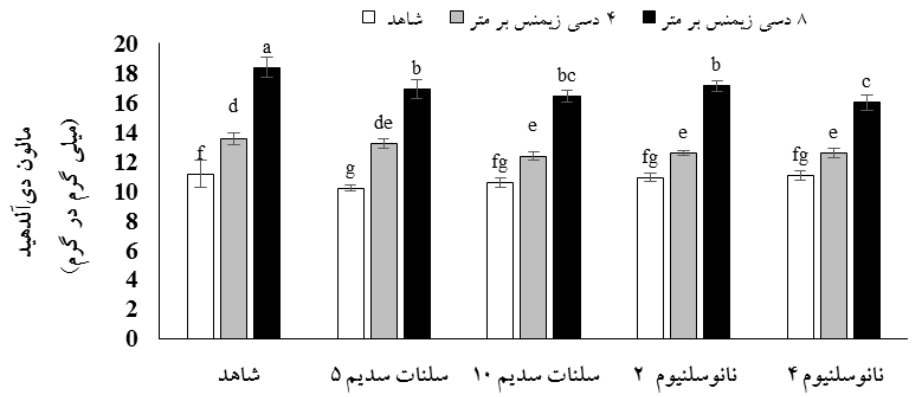
میزان مالون دی‌آلدهید: اثر متقابل شوری و سلنیوم نشان داد که تیمار تنش شوری شدید (۸ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) بدون سلنیوم دارای بیشترین غلظت مالون دی‌آلدهید با ۶۴ درصد افزایش نسبت به شاهد بود. در شرایط تنش شدید، سلنات سدیم ۵ و ۱۰ و نانوسلنیوم ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب سبب کاهش ۸، ۱۰، ۷ و ۱۲ درصدی مالون دی‌آلدهید شدند (شکل ۴).

در شرایط تنش، تولید زیاد رادیکال آزاد اکسیژن سبب تخریب غشای سلولی شده و در نهایت منجر به مرگ سلولی خواهد شد. افزایش تجمع مالون دی‌آلدهید یکی از نشانه‌های تخریب سلولی و تشدید شرایط نامطلوب برای گیاه است. از طرفی دیگر سلنیوم به ویژه سطح پایین نانوسلنیوم سبب کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]



شکل ۳- اثر متقابل شوری و سلنیوم بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز بادرنجبویه. حروف لاتین مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن است. بارهای روی نمودار خطای استاندارد است.



شکل ۴- اثر متقابل شوری و سلنیوم بر تجمع مالون دی‌آلدهید برگ بادرنجبویه. حروف لاتین مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن است. بارهای روی نمودار خطای استاندارد است.

غلظت مالون دی‌آلدهید در گیاه شد. در تحقیقی مشابه افزایش غلظت مالون دی‌آلدهید در شرایط تنش شوری در گیاهان توت فرنگی (Zahedi *et al*., 2019) و کلزا (Bybordi, 2016) گزارش شد، درحالیکه سلنیوم سبب کاهش تجمع مالون دی‌آلدهید در این گیاهان شد.

صفات بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش شوری بر محتوای نسبی آب برگ، پرولین، فنول کل و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر فلاونوئید کل و درصد اسانس در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، اثر ساده تیمار سلنیوم بر صفات مذکور در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد. اثر متقابل تیمارها بر محتوای نسبی آب برگ، درصد و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر فنول کل و فلاونوئید کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

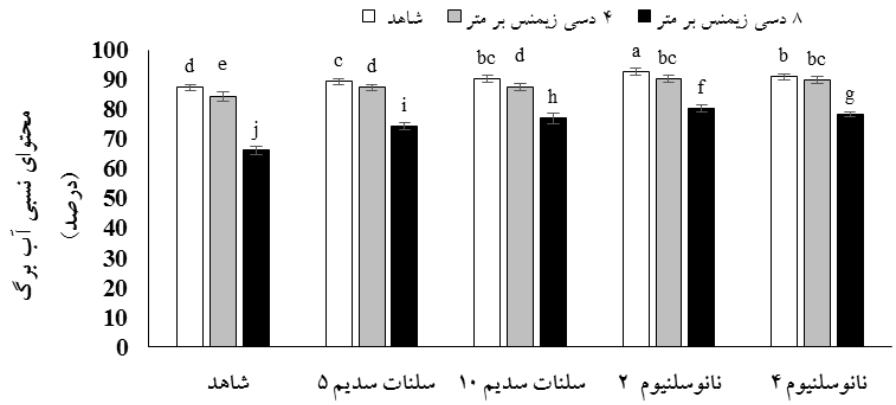
محتوای نسبی آب برگ: اثر متقابل شوری و سلنیوم نشان داد که تیمار بدون تنش با نانوذرات سلنیوم دارای بیشترین مقدار این صفت بود. در شرایط تنش شدید، سلنات سدیم ۵ و ۱۰ و نانوسلنیوم ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب سبب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی بادرنجبویه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		محتوای نسبی آب برگ	پرولین	فنول کل	فلاونوئید کل	درصد اسانس	عملکرد اسانس
شوری	۲	۹۶۵/۷۵**	۲۴۸۰/۶۹**	۳۹/۵۷**	۱۰/۴۴*	۰/۰۰۴*	۳۶/۰۲**
تیمارهای محلول‌پاشی	۴	۹۴/۸۳**	۲۳۱/۹۱**	۲۲/۸۵*	۷/۵۲**	۰/۰۰۶**	۱۵/۹۶**
شوری× تیمارهای محلول‌پاشی	۸	۱۱/۷۸**	۱۰۳/۱۶ns	۰/۸۷*	۰/۸۴*	۰/۰۰۰۲**	۰/۲۶**
خطا	۳۰	۶/۸۷	۲۱۱/۰۷	۶/۷۵	۳/۶۱	۰/۰۰۱	۰/۴۸
ضریب تغییرات	–	۳/۱۰	۸/۴۳	۸/۶۸	۱۲/۱۶	۹/۰۰۱	۱۹/۰۰

****، * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد است.**



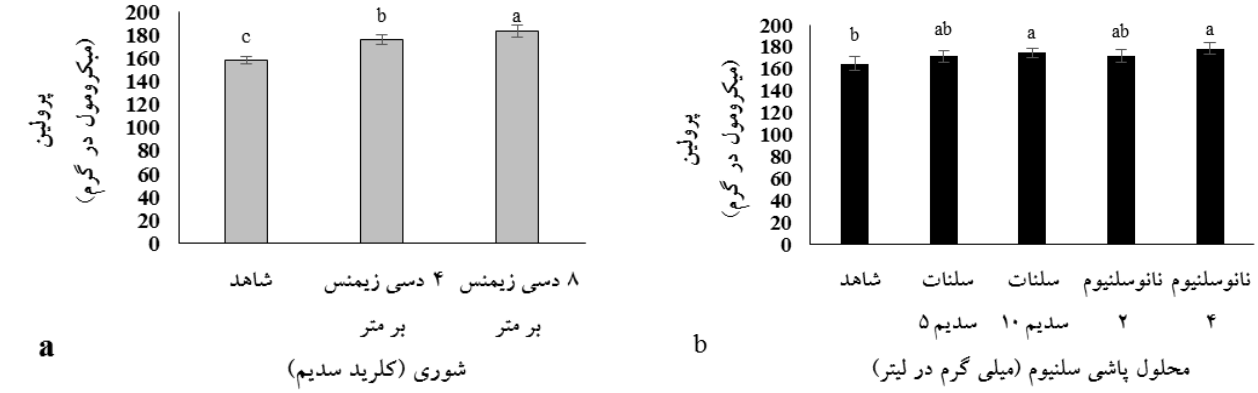
شکل ۵- اثر متقابل شوری و سلنیوم بر محتوای نسبی آب برگ بادرنجبویه. حروف لاتین مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن است. بارهای روی نمودار خطای استاندارد است.

افزایش ۱۲، ۱۶، ۲۱ و ۱۸ درصدی محتوای نسبی آب برگ شدند (شکل ۵).

سلنیوم سبب تقویت سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش ظرفیت نگهداری آب در گیاه می‌شود (Mousavi *et al.*, 2022). افزایش محتوای نسبی آب برگ با نانوذرات سلنیوم در شرایط تنش شوری در انگور (*Vitis vinifera*) توسط Karimi و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شد که تأییدکننده نتایج تحقیق حاضر است. Farag و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که ۵ میکرومولار سلنیوم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ ولی ۲۰ میکرومولار آن سبب کاهش این صفت شد. نتایج نشان داد که اثرات نانوسلنیوم به مراتب بهتر از سلنات سدیم بود که این امر ناشی از اندازه کوچک و سطح ویژه بالای نانوذرات است که توسط Afshari و همکاران (۲۰۲۱) روی گشنیز با تأثیر نانوذرات سیلیکون و فرم عادی آن بدست آمد.

پرولین: براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، میزان پرولین برگ تحت تأثیر تنش شوری به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، به‌ترتیب افزایش ۱۳ و ۱۶ درصدی پرولین برگ نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل 6a). همچنین، کاربرد منابع مختلف سلنیوم نیز منجر به افزایش معنی‌دار پرولین برگ گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین مقدار پرولین (۱۶۴/۶ میکرومول بر گرم) مربوط به تیمار شاهد و بیشترین مقدار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]



شکل ۶- اثر ساده تنش شوری (a) و محلول‌پاشی سلنیوم (b) بر میزان پرولین بادرنجبویه. حروف لاتین مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن است. بارهای روی نمودار خطای استاندارد است.

(۱۷۸/۴ میکرومول بر گرم) در تیمار نانوسلنیوم ۴ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد (شکل 6b).

در تحقیقات مشابه، افزایش پرولین در شرایط تنش برای بهبود شرایط رشد گیاه گزارش شده است (Liu *et al*., 2020; Singh *et al*., 2022). پرولین به عنوان یک اسیدآمینه مهم، نقش مهمی در حفظ متابولیسم و رشد گیاهان در شرایط تنش غیرزیستی دارد. تولید بیش از حد پرولین در سلول‌های گیاهی به حفظ هموستاز سلولی، جذب آب، تنظیم اسمزی و تعادل ردوکس برای بازیابی ساختارهای سلولی و کاهش آسیب اکسیداتیو کمک می‌کند. بسیاری از گزارش‌ها نشان می‌دهند که گیاهان تراریخته، به‌ویژه آن‌هایی که ژن‌هایی را که برای تجمع پرولین بیش از حد بیان می‌کنند، سازگاری بهتری با تنش‌های غیرزیستی نشان می‌دهند (Ghosh *et al*., 2022).

فنول کل: اثر متقابل شوری و سلنیوم نشان داد که بیشترین مقدار فنول کل در تیمار شوری متوسط (۴ دسی‌زیمنس بر متر) و نانوسلنیوم ۲ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد (جدول ۴).

فلاونوئید کل: اثر متقابل شوری و سلنیوم نشان داد که بیشترین مقدار فلاونوئید کل در تیمار شوری متوسط و سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد (شکل ۷).

فنول و فلاونوئید که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی هستند در پاسخ به افزایش ROS تحت تنش‌های زنده و غیرزنده تحریک می‌شود. این ترکیبات مستقیماً گونه‌های مولکولی اکسیژن فعال را از بین برده و با به دام انداختن رادیکال لیپیدی آلکوکسیل، پراکسیداسیون لیپیدی را متوقف می‌کنند. علاوه بر این، فلاونوئیدها توسط پراکسیداز اکسید می‌شوند و به عنوان مهارکننده H_2O_2 عمل می‌کنند (Bartwal *et al*., 2013). در شرایط تنش شوری، ترکیبات فلاونوئیدی نقش مهمی در کاهش اثرات تنش بازی می‌کنند (Azeem *et al*., 2023). افزایش محتوای فنول و فلاونوئید در گیاه برنج تحت تنش شوری توسط Xuan و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شد. در تحقیقی مشابه، Alawamleh و همکاران (۲۰۲۳) افزایش محتوای فلاونوئیدی با کاربرد نانوذرات سلنیوم گزارش کردند که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

درصد اسانس: نتایج برهمکنش شوری و سلنیوم نشان داد که تلفیق شوری متوسط با کاربرد نانوسلنیوم، بیشترین تأثیر مثبت را بر درصد اسانس گیاه داشت. تحت تنش شوری شدید (۸ دسی‌زیمنس بر متر)، کلیه تیمارهای سلنیوم منجر به افزایش معنی‌دار میزان اسانس شدند؛ به‌طوری‌که محلول‌پاشی با مقادیر ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم به ترتیب ۱۲ و ۱۸ افزایش، و تیمارهای ۲ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم نیز به ترتیب ۲۶ و ۲۲ افزایش در محتوای اسانس ایجاد کردند (شکل ۸).

عملکرد اسانس: اثر متقابل شوری و سلنیوم نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار نانوسلنیوم ۲ میلی‌گرم در لیتر و بدون تنش شوری بود (جدول ۴).

اسانس‌ها یکی از مهمترین مواد مؤثره گیاهان دارویی را

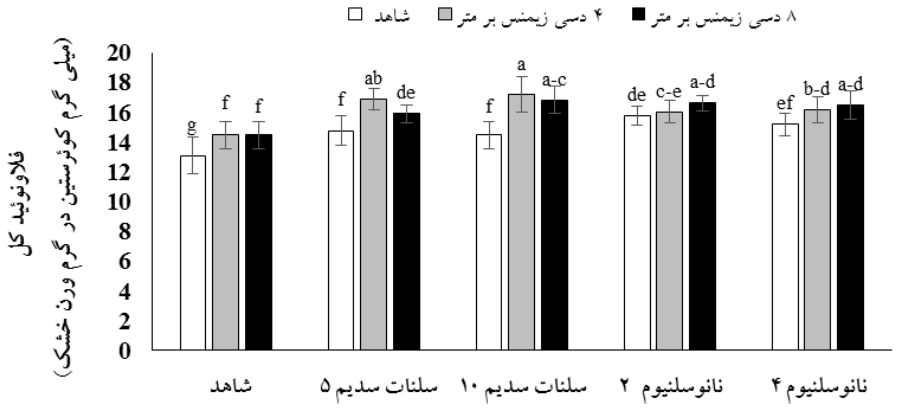
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و تیمار بر میزان فنول کل و عملکرد اسانس گیاه بادرنجبویه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم)	تیمار (میلی‌گرم در لیتر)	فنول کل (میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک)	عملکرد اسانس (گرم در بوته)
صفر (شاهد)	صفر (شاهد)	۲۶/۲۰^{j}	۹/۱۴^{gh}
	سلنات سدیم ۵	۲۷/۶۰^{i}	۱۰/۵۸^{de}
	سلنات سدیم ۱۰	۲۹/۸۷^{ef}	۱۲/۱۰^{ab}
	نانوسلنیوم ۲	۳۰/۵۰^{cde}	۱۲/۵۴^{a}
	نانوسلنیوم ۴	۲۸/۹۳^{fgh}	۱۱/۷۱^{bc}
۴ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد)	۲۹/۲۰^{efg}	۸/۲۴^{ij}
	سلنات سدیم ۵	۳۲/۱۰^{ab}	۹/۱۹^{gh}
	سلنات سدیم ۱۰	۳۱/۸۳^{abc}	۱۰/۲۶^{ef}
	نانوسلنیوم ۲	۳۳/۱۷^{a}	۱۱/۴۷^{bc}
	نانوسلنیوم ۴	۳۲/۴۳^{ab}	۱۱/۲۲^{cd}
۸ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد)	۲۷/۱۷^{ij}	۶/۰۵^{k}
	سلنات سدیم ۵	۲۸/۳۷^{ghi}	۷/۸۳^{j}
	سلنات سدیم ۱۰	۲۹/۶۷^{efg}	۸/۵۹^{hij}
	نانوسلنیوم ۲	۳۱/۶۳^{bcd}	۹/۵۶^{fg}
	نانوسلنیوم ۴	۳۰/۲۷^{def}	۸/۷۲^{hi}

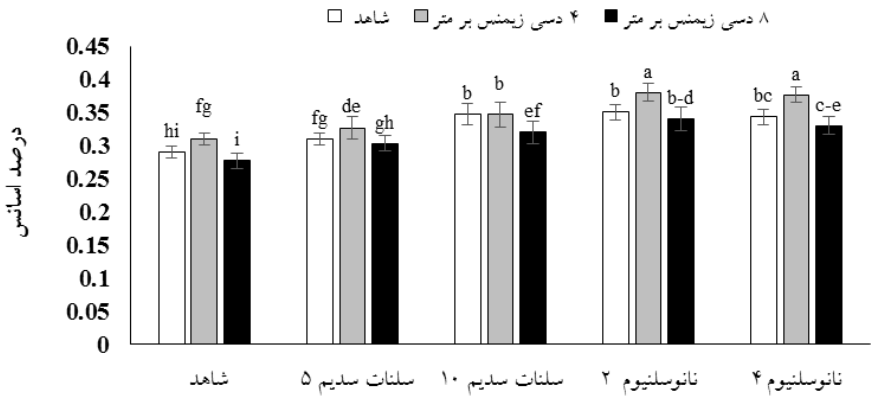
حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.



شکل ۷- اثر متقابل شوری و سلنیوم بر فلاونوئید کل برگ بادرنجبویه. حروف لاتین مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن است. بارهای روی نمودار خطای استاندارد است.

تشکیل می‌دهند. این مواد در قسمت‌های مختلف بسیاری از گیاهان دارویی وجود دارند (Ali-arab *et al*., 2022). نقش اسانس‌ها در شرایط تنش محافظت از گیاه است. افزایش محتوای اسانس گیاهان مختلف تحت تأثیر محرک‌های بیرونی ناشی از تغییر در اندازه و تعداد غده‌های ترشحی اسانس در واحد سطح می‌باشد که سبب تغییر در مقدار اسانس می‌شود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]



شکل ۸- اثر متقابل شوری و سلنیوم بر درصد اسانس بادرنجبویه. حروف لاتین مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن است. بارهای روی نمودار خطای استاندارد است.

(Mirzaie *et al.*, 2020). افزایش درصد اسانس در شرایط شوری در گیاه بادرنجبویه توسط Ghasemian و همکاران (۲۰۲۱) در شرایط تنش متوسط با کاربرد نانوسلنیوم گزارش شد که تأییدکننده نتایج تحقیق حاضر است.

سلنیوم با تعدیل اثرات مضر تنش شوری سبب بهبود عملکرد اسانس شد. تنش‌های غیرزیستی می‌توانند بر تولید اسانس در گیاهان معطر تأثیر بگذارند (Memari-Tabrizi *et al.*, 2021). کاهش سطح برگ و افزایش تعداد غدد اسانس در سطح برگ منجر به افزایش تولید اسانس می‌شود (Mirzaie *et al.*, 2020). در تحقیقی مشابه روی گشنیز، کاهش عملکرد اسانس در تنش شدید شوری (بیشتر از ۱۰۰ میلی‌مولار) گزارش شد که همسو با نتایج تحقیق حاضر است (Amiripour *et al.*, 2021). در تحقیقی مشابه، Afshari و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که نانوسیلیکون به مراتب اثر بهتری بر عملکرد اسانس گشنیز نسبت به فرم عادی آن داشت که چنین دستاوردی در تحقیق حاضر نیز حاصل شد.

عناصر معدنی: اثر ساده تنش شوری بر نسبت پتاسیم ریشه به پتاسیم برگ، نسبت نیتروژن ریشه به نیتروژن برگ، نسبت سلنیوم ریشه به سلنیوم برگ، نسبت کلر ریشه به کلر برگ، نسبت پتاسیم ریشه به کلر ریشه و نسبت پتاسیم برگ به کلر برگ در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده تیمارها بر نسبت سلنیوم ریشه به سلنیوم برگ، نسبت کلر ریشه به کلر برگ، نسبت پتاسیم ریشه به کلر ریشه و نسبت پتاسیم برگ به کلر برگ در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تیمارها بر نسبت پتاسیم ریشه به پتاسیم برگ، نسبت نیتروژن ریشه به نیتروژن برگ، نسبت سلنیوم ریشه به سلنیوم برگ، نسبت پتاسیم ریشه به کلر ریشه و نسبت پتاسیم برگ به کلر برگ در سطح احتمال یک درصد و بر نسبت کلر ریشه به کلر برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار عددی در میزان نسبت پتاسیم ریشه به پتاسیم برگ مربوط به تیمارهای عدم وجود تنش و عدم محلول‌پاشی، عدم وجود تنش و محلول‌پاشی با سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، تنش شوری شدید و محلول‌پاشی با نانوسلنیوم ۴ میلی‌گرم در لیتر و تنش شوری شدید و محلول‌پاشی با سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۶).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین نسبت نیتروژن ریشه به نیتروژن برگ مربوط به تیمارهای تنش شوری شدید و محلول‌پاشی با سلنات سدیم ۵۴ میلی‌گرم در لیتر و تنش شوری شدید و محلول‌پاشی با سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۶).

با استفاده از تیمارها نسبت سلنیوم ریشه به سلنیوم برگ در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر میزان نسبت جذب عناصر معدنی در گیاه بادرنجبویه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نسبت پتاسیم ریشه به پتاسیم برگ	نسبت نیتروژن ریشه به نیتروژن برگ	نسبت سلنیوم ریشه به سلنیوم برگ	نسبت کلر ریشه به کلر برگ	نسبت پتاسیم ریشه به کلر ریشه	نسبت پتاسیم برگ به کلر برگ
شوری	۲	۰/۰۳**	۱/۲۸**	۰/۰۱**	۰/۳۷**	۱۰/۳۰**	۸/۸۸**
تیمارهای محلول‌پاشی	۴	۰/۰۰۵ns	۰/۰۱ns	۰/۰۹**	۰/۰۳**	۰/۱۷**	۰/۱۷**
شوری× تیمارهای محلول‌پاشی	۸	۰/۰۰۸**	۰/۰۴**	۰/۰۰۳**	۰/۰۱*	۰/۰۶**	۰/۰۸**
خطا	۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱	۱/۲۶	۰/۰۱
ضریب تغییرات	-	۳/۸۷	۵/۴۲	۱۲/۴۴	۵/۴۶	۷/۳۰	۸/۱۹

**** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد است.**

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و تیمار بر نسبت عناصر معدنی به یکدیگر در گیاه بادرنجبویه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم)	تیمار (میلی‌گرم در لیتر)	نسبت پتاسیم ریشه به پتاسیم برگ	نسبت نیتروژن ریشه به نیتروژن برگ	نسبت سلنیوم ریشه به سلنیوم برگ	نسبت کلر ریشه به کلر برگ	نسبت پتاسیم ریشه به کلر ریشه	نسبت پتاسیم برگ به کلر برگ
صفر (شاهد)	صفر (شاهد)	۱/۲۷a	۱/۳۲d	۰/۲۴۰c	۱/۳۲de	۲/۱۰ab	۲/۱۷a
	سلنات سدیم ۵	۱/۱۶bcde	۱/۳۵cd	۰/۰۷۰de	۱/۱۱f	۲/۲۲a	۲/۱۳a
	سلنات سدیم ۱۰	۱/۲۶a	۱/۳۵cd	۰/۰۵۳e	۱/۳۵cd	۲/۰۳b	۲/۱۷a
	نانوسلنیوم ۲	۱/۲۴ab	۱/۳۲d	۰/۰۷۰de	۱/۲۱ef	۲/۱۹a	۲/۱۴a
	نانوسلنیوم ۴	۱/۲۴ab	۱/۳۳d	۰/۰۵۳e	۱/۲۱ef	۲/۱۷a	۲/۱۱a
۴ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد)	۱/۱۱e	۱/۲۶d	۰/۲۸۰b	۱/۵۲ab	۰/۷۰f	۰/۹۶d
	سلنات سدیم ۵	۱/۱۳cde	۰/۹۳e	۰/۰۹۰d	۱/۶۳a	۱/۰۷e	۱/۵۴c
	سلنات سدیم ۱۰	۱/۱۹abcd	۰/۹۲e	۰/۰۷۳de	۱/۵۶ab	۱/۲۳d	۱/۶۲bc
	نانوسلنیوم ۲	۱/۲۱ab	۰/۹۱e	۰/۰۸۷d	۱/۴۵bcd	۱/۴۵c	۱/۷۴b
	نانوسلنیوم ۴	۱/۱۳cde	۰/۹۵e	۰/۰۶۸de	۱/۴۴bcd	۱/۳۰d	۱/۶۶bc
۸ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد)	۱/۲۱abc	۱/۴۶bc	۰/۳۹۳a	۱/۵۹ab	۰/۳۲h	۰/۴۲g
	سلنات سدیم ۵	۱/۲۳ab	۱/۶۴a	۰/۰۹۳d	۱/۴۵bcd	۰/۴۹g	۰/۵۸fg
	سلنات سدیم ۱۰	۱/۲۵a	۱/۶۳a	۰/۰۸۷d	۱/۵۴ab	۰/۵۲g	۰/۶۴ef
	نانوسلنیوم ۲	۱/۱۳de	۱/۵۷ab	۰/۰۸۰de	۱/۴۸bc	۰/۵۸fg	۰/۷۷e
	نانوسلنیوم ۴	۱/۲۶a	۱/۵۸ab	۰/۰۸۳d	۱/۴۵bcd	۰/۵۶g	۰/۶۵ef

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

هر سه سطح تنش کاهش یافت؛ اگرچه با افزایش شدت تنش شوری این نسبت افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار عددی نسبت سلنیوم ریشه به سلنیوم برگ (۰/۳۹۳) در تیمار تنش شوری شدید و بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۶).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

بیشترین نسبت پتاسیم ریشه به کلر ریشه در تیمار بدون تنش شوری و سلنات سدیم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و پس از آن در تیمارهای بدون تنش شوری و محلول‌پاشی نانوسلنیوم ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد (جدول ۶).

با افزایش شدت تنش شوری نسبت پتاسیم برگ به کلر برگ کاهش یافت. بیشترین مقدار نسبت پتاسیم برگ به کلر برگ (۰/۳۹۳) در تیمارهای بدون تنش شوری و در هر ۵ سطح تیمار مشاهده شد (جدول ۶).

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تنش شوری تأثیرات قابل توجهی بر توزیع و جذب عناصر معدنی مانند پتاسیم، نیتروژن، سلنیوم و کلر در گیاه دارد (جدول ۶). تنش شوری به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل استرس‌زای محیطی، ناشی از تجمع بیش از حد نمک‌های محلول در ناحیه ریزوسفر (منطقه اطراف ریشه) است. غلظت‌های زیاد نمک‌های محلول با افزایش فشار اسمزی، سمیت یونی و محدودکردن جذب آب از ریشه بر رشد گیاهان و در نتیجه تولید کشاورزی اثر می‌گذارند. بخش اصلی بازدارندگی رشد، با تجمع سدیم اضافی در خاک ایجاد می‌شود (Jouyban, 2012). غلظت بالای سدیم در گیاه می‌تواند منجر به آسیب اسمزی و استرس اکسیداتیو شود و متابولیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه شود (Gupta and Huang, 2014).

Sabra و همکاران (۲۰۱۲) روی سه گونه سرخارگل (*Echinacea purpurea*، *Echinacea pallida* و *Echinacea angustifolia*) نشان دادند که شوری سبب افزایش غلظت سدیم و کلر در ریشه و اندام هوایی شد. در تحقیقی مشابه، Bistgani و همکاران (۲۰۱۸) کاهش عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم و افزایش کلر و سدیم تحت تنش شوری در گیاهان *Thymus vulgaris* و *Thymus daenensis* را گزارش کردند. در شرایط تنش شوری، سطوح بالای سدیم نه تنها از جذب پتاسیم توسط ریشه جلوگیری می‌کند و محتوای پتاسیم را کاهش می‌دهد، بلکه یکپارچگی غشای ریشه را مختل می‌کند و بر نفوذپذیری انتخابی آن تأثیر می‌گذارد. در نتیجه، پراکسیداسیون لیپیدی با فعال‌کردن کانال‌های جریان پتاسیم باعث نشت پتاسیم می‌شود (Fathi *et al*., 2019).

نسبت سدیم به پتاسیم غشای سلولی نقش مهمی در باز و بسته شدن منافذ روزنه و کنترل فرآیند فتوسنتز دارند. بنابراین، تنظیم غلظت عناصر در روزنه‌ها برای حفظ ظرفیت فتوسنتزی بهینه در شرایط تنش شوری مورد نیاز است. حفظ نسبت سدیم به پتاسیم مهمترین عامل در تحمل به شوری است. که سلنیوم، رشد گیاه را با افزایش تولید اکسین درون‌زا بهبود می‌بخشد. بنابراین، تقسیم سلولی را فعال می‌کند، یکپارچگی غشاء را حفظ می‌کند، فسفولیپیدها را ذخیره و سنتز پروتئین را بهبود می‌بخشد، محتوای کلروفیل را افزایش داده و رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد و در نهایت مواد مغذی را منتقل می‌کند (Babashpour *et al*., 2022). Ghasemian و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که سلنیوم در شرایط تنش شوری مانع تجمع سدیم و کلر در اندام هوایی گیاه بادرنجبویه شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی معنی‌دار در گیاه می‌شود، از جمله کاهش وزن خشک اندام هوایی، کاهش محتوای کلروفیل و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها (با افزایش MDA). با این حال، کاربرد منابع سلنیوم، به‌ویژه نانوسلنیوم، توانست اثرات منفی تنش شوری را تا حد قابل‌توجهی کاهش دهد. این ترکیبات با بهبود فعالیت آنزیم PAL، افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه (فنول‌ها و فلاونوئیدها) و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، مقاومت گیاه به تنش شوری را افزایش دادند. همچنین، سلنیوم باعث بهبود جذب و توزیع عناصر معدنی (پتاسیم، نیتروژن و کلر) در اندام‌های گیاهی شد. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که نانوسلنیوم در مقایسه با سلنات سدیم، کارایی بیشتری در کاهش اثرات منفی تنش شوری و بهبود عملکرد گیاه دارد. بنابراین، استفاده از نانوسلنیوم به‌عنوان یک راهکار بیوتکنولوژیک برای افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری و بهبود عملکرد آن‌ها در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

نامساعد محیطی پیشنهاد می‌شود. این یافته‌ها می‌تواند در برنامه‌های مدیریت کشاورزی پایدار و تولید گیاهان مقاوم به شوری مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

نورزاد، سودابه، احمدیان، احمد، و مقدم، محمد (۱۳۹۴). بررسی میزان پرولین، شاخص کلروفیل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی و تیمار کودی. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۳(۱)، ۱۳۱-۱۳۹. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i1.26013

Afshari, M., Pazoki, A., & Sadeghipour, O. (2021). Foliar-applied silicon and its nanoparticles stimulates physio-chemical changes to improve growth, yield and active constituents of coriander (*Coriandrum Sativum* L.) essential oil under different irrigation regimes. *Silicon*, *13*, 4177-4188. https://doi.org/10.1007/s12633-021-01101-8

Ahmadi, M, & Souri, M. K. (2018). Growth and mineral content of coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. *Acta Physiologiae Plantarum*, *40*(11), 1-8. https://doi.org/10.1007/s11738-018-2773-x

Alawamleh, H. S. K., Jabbari, H., Moradkhani, S., & Babashpour-Asl, M. (2023). Cold plasma and foliar-applied selenium nanoparticles modulated cadmium toxicity through changes in physio-biochemical properties and essential oil profile of sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-15. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01152-3

Ali-Arab, H., Bahadori, F., Mirza, M., Badi, H. N., & Kalate-Jari, S. (2022). Variability in essential oil composition and phenolic acid profile of *Thymus daenensis* Celak. populations from Iran. *Industrial Crops and Products*, *178*, 114345. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114345

Amiripour, A., Ghanbari Jahromi, M., Soori, M. K., & 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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113599

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, *23*, 112-121.

Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., ... & Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientific Reports*, *13*(1), 2895. https://doi.org/10.1038/s41598-023-29954-6

Babashpour-Asl, M., Farajzadeh-Memari-Tabrizi, E., & Yousefpour-Dokhanieh, A. (2022). Foliar-applied selenium nanoparticles alleviate cadmium stress through changes in physio-biochemical status and essential oil profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(53), 80021-80031. https://doi.org/10.1007/s11356-022-19941-1

Bartwal, A., Mall, R., Lohani, P., Guru, S. K., & Arora, S. (2013). Role of secondary metabolites and brassinosteroids in plant defense against environmental stresses. *Journal of Plant Growth Regulation*, *32*, 216-232. https://doi.org/10.1007/s00344-012-9272-x

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/bf00018060

Bharti, N., Barnawal, D., Awasthi, A., Yadav, A., & Kalra, A. (2014). Plant growth promoting rhizobacteria alleviate salinity induced negative effects on growth, oil content and physiological status in *Mentha arvensis*. *Acta Physiologiae Plantarum*, *36*, 45-60. https://doi.org/10.1007/s11738-013-1385-8

Bistgani, Z. E., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A. G., Hashemi, M., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2018). Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, *121*, 434-440. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.048

Bybordi, A. (2016). Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(7), 832-850. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146898

Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, *10*(3). https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

Chapman, H. D, & Pratt, P. F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, *93*, 68. https://doi.org/10.1097/00010694-196201000-00015

Chindo, B. A., Howes, M. J. R., Abuhamdah, S., Yakubu, M. I., Ayuba, G. I., Battison, A., & Chazot, P. L. (2021). New insights into the anticonvulsant effects of essential oil from *Melissa officinalis* L. (Lemon Balm). *Frontiers in*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

Pharmacology, *12*, 760674. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.760674

Fathi, S., Kharazmi, M., & Najafian, S. (2019). Effects of salicylic acid foliar application on morpho-physiological traits of purslane (*Portulaca olaracea* L.) under salinity stress conditions. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, *9*(2), 1-9. (With Persian abstract). https://sid.ir/paper/388449/en

Farag, H. A. S., Ibrahim, M. F. M., El-Yazied, A. A., El-Beltagi, H. S., El-Gawad, H. G. A., Alqurashi, M., Shalaby, T. A., Mansour, A. T., Alkhateeb, A. A., & Farag, R. (2022). Applied selenium as a powerful antioxidant to mitigate the harmful effects of salinity stress in Snap bean seedlings. *Agronomy*, *12*(12), 3215. https://doi.org/10.3390/agronomy12123215

Garriga, M., Retamales, J. B., Romero-Bravo, S., Caligari, P. D. S., & Lobos, G. A. (2014). Chlorophyll, anthocyanin, and gas exchange changes assessed by spectroradiometry in *Fragaria chiloensis* under salt stress. *Journal of Integrative Plant Biology*, *56*(6), 505-515. https://doi.org/10.1111/jipb.12193

Ghanbari, F., Bag-Nazari, M., & Azizi, A. (2023). Exogenous application of selenium and nano-selenium alleviates salt stress and improves secondary metabolites in lemon verbena under salinity stress. *Scientific Reports*, *13*, 5352. https://doi.org/10.1038/s41598-023-32436-4

Ghasemian, S., Masoudian, N., Saeid Nematpour, F., & Safipour Afshar, A. (2021). Selenium nanoparticles stimulate growth, physiology, and gene expression to alleviate salt stress in *Melissa officinalis*. *Biologia*, *76*(10), 2879-2888. https://doi.org/10.1007/s11756-021-00854-2

Ghazizadeh, J., Sadigh-Eteghad, S., Marx, W., Fakhari, A., Hamedeyazdan, S., Torbati, M., ... & Mirghafourvand, M. (2021). The effects of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) on depression and anxiety in clinical trials: A systematic review and meta-analysis. *Phytotherapy Research*, *35*(12), 6690-6705. https://doi.org/10.1002/ptr.7252

Ghosh, U. K., Islam, M. N., Siddiqui, M. N., Cao, X., & Khan, M. A. R. (2022). Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: Understanding the physiological mechanisms. *Plant Biology*, *24*(2), 227-239. https://doi.org/10.1111/plb.13363

Gonzalez-Garcia, M., Alvarez, J. C., Perez, E. Z., Fernandez-Carriba, S., & Lopez, J. G. (2021). Feasibility of a brief online mindfulness and compassion-based intervention to promote mental health among university students during the Covid-19 pandemic. *Mindfulness*, *12*(7), 1685-1695. https://doi.org/10.1007/s12671-021-01632-6

Gupta, B, & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 701596. https://doi.org/10.1155/2014/701596

Hajihashemi, S, & Ehsanpour, A. A. (2013). Influence of exogenously applied paclobutrazol on some physiological traits and growth of *Stevia rebaudiana* under *in vitro* drought stress. *Biologia*, *68*, 414-420. https://doi.org/10.2478/s11756-013-0165-7

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Al Mahmud, J., ... & Fujita, M. (2020). Selenium in plants: Boon or bane?. *Environmental and Experimental Botany*, *178*, 104170. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104170

Hussein, H. A., Darwesh, O. M., & Mekki, B. B. (2019a). Environmentally friendly nano-selenium to improve antioxidant system and growth of groundnut cultivars under sandy soil conditions. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *18*. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101080

Hussein, H. A. A., Darwesh, O. M., Mekki, B. B., & Hallouty, S. M. (2019b). Evaluation of cytotoxicity, biochemical profile and yield components of groundnut plants treated with nano-selenium. *Biotechnology Reports*, *24*. https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00377

Inbar, J., Abramsky, M., Cohen, D., & 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. https://doi.org/10.1007/bf01876444

Isayenkov, S. V, & Maathuis, F. J. M. (2019). Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 80. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080

Jouyban, Z. (2012). The effects of salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, *2*, 7-10.

Karimi, R., Ghabooli, M., Rahimi, J., & Amerian, M. (2020). Effects of foliar selenium application on some physiological and phytochemical parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Sultana under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(14), 2226-2242. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1766072

Khan, A., Khan, A. L., Muneer, S., Kim, Y. H., Al-Rawahi, A., & Al-Harrasi, A. (2019). Silicon and salinity: Crosstalk in crop-mediated stress tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, *7*(10), 1429. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01429

Kiumarzi, F., Morshedloo, M. R., Zahedi, S. M., Mumivand, H., Behtash, F., Hano, C., ... & Lorenzo, J. M. (2022). Selenium nanoparticles (Se-NPs) alleviates salinity damages and improves phytochemical characteristics of pineapple mint (*Mentha suaveolens* Ehrh.). *Plants*, *11*(10), 1384. https://doi.org/10.3390/plants11101384

Liu, M., Yu, H., Ouyang, B., Shi, C., Demidchik, V., Hao, Z., Yu, M., & Shabala, S. (2020). NADPH oxidases and the evolution of plant salinity tolerance. *Plant, Cell and Environment*, *43*(12), 2957-2969.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

https://doi.org/10.1111/pce.13907
Ma, Y., Dias, M. C., & Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 591911. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911
Mahaveer, B. M, & Jaldappa, S. (2000). Spectrophotometric determination of selenium (IV) using methdilazine hydrochloride. *Turkish Journal of Chemistry*, *24*, 287-290.
McDonald, S., Prenzler, P. D., Autolovich, M., & Robards, K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry, 73*, 73-84. https://doi.org/10.1016/s0308-8146(00)00288-0
Memari-Tabrizi, E. F., Yousefpour-Dokhanieh, A., & Babashpour-Asl, M. (2021). Foliar-applied silicon nanoparticles mitigate cadmium stress through physio-chemical changes to improve growth, antioxidant capacity, and essential oil profile of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, *165*, 71-79. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.040
Mirzaie, M., Ladanmoghadam, A. R., Hakimi, L., & Danaee, E. (2020). Water stress modifies essential oil yield and composition, glandular trichomes and stomatal features of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *22*(6), 1575-1585. (With Persian abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807073.2020.22.6.15.1
Mousavi, S. A., Roosta, H. R., Esmaeilizadeh, M., & Eshghi, S. (2022). Alleviating the adverse effects of salinity and alkalinity stresses on some physiological traits by selenium and silicon foliar applications on cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, *46*(2), 1-18. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2043370
Munns, R, & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 651-81. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
Oroojalian, F., Kasra-Kermanshahi, R., Azizi, M., & Bassami, M. R. (2010). Phytochemical composition of the essential oils from three apiaceae species and their antibacterial effects on food-borne pathogens. *Food Chemistry*, *120*, 765-770. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.008
Pan, Y., Kang, P., Tan, M., Hu, J., Zhang, Y., Zhang, J., Song, N., & Li, X. (2022). Root exudates and rhizosphere soil bacterial relationships of *Nitraria tangutorum* are linked to k-strategists bacterial community under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 997292. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.997292
Penella, C., Landi, M., Guidi, L., Nebauer, S. G., Pellegrini, E., & San Bautista, A., et al. (2016). Salt-tolerant rootstock increases yield of pepper under salinity through maintenance of photosynthetic performance and sinks strength. *Journal of Plant Physiology*, *193*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.02.007
Pirbalouti, A. G., Nekoei, M., Rahimmalek, M., & Malekpoor, F. (2019). Chemical composition and yield of essential oil from lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under foliar applications of jasmonic and salicylic acids. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *19*, 101144. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101144
Ritchie, S. W., Nguyan, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*, 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci 1990.0011183x003000010025x
Sabra, A., Adam, L. R., Daayf, F., & Renault, S. (2012). Salinity-induced changes in caffeic acid derivatives and alkamides/ ketones in three Echinacea species. *Environmental and Experimental Botany*, *77*, 234. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.11.013
Sefidkon, F., Abbasi K., & Khaniki, G. B. (2006). Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Food Chemistry*, *99*, 19-23. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.026
Shalaby, T. A., Abd-Alkarim, E., El-Aidy, F., Hamed, E. S., Sharaf-Eldin, M., Taha, N., El-Ramady, H., Bayoumi, Y., & Dos Reis, A. R. (2021). Nano-selenium, silicon and H_2O_2 boost growth and productivity of cucumber under combined salinity and heat stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *212*, 111962. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111962
Singh, S., Singh, P., Tomar, R. S., Sharma, R. A., & Singh, S. K. (2022). Proline: A key player to regulate biotic and abiotic stress in plants. *In Towards Sustainable Natural Resources*, 333-346. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06443-2-18
Singleton, V. L, & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*, 144-158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144
Sparks, D. L. (1996). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison.
Tavakoli, S., Enteshari, S., & Yousefifard, M. (2020). Investigation of the effect of selenium on growth, antioxidant capacity and secondary metabolites in *Melissa officinalis*. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *10*, 3125-3134. (With Persian abstract). https://doi.org/10.30495/ijpp.2020.672572
Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., & Gasparikova, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment*, *52*(4), 184. https://doi.org/10.17221/3364-pse

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

Wang, J., Zheng, L., Wu, J., & Tan, R. (2006). Involvement of nitric oxide in oxidative burst, phenylalanine ammonialyase activation and Taxol production induced by lowenergy ultrasound in *Taxus yunnanensis* cell suspension cultures. *Cell Physiology*, *14*, 391-397. https://doi.org/10.1016/j.niox.2006.04.261

Wungrampha, S., Joshi, R., Singla-Pareek, S. L., & Pareek, A. (2018). Photosynthesis and salinity: Are these mutually exclusive? *Photosynthetica*, *56*(1), 366-381. https://doi.org/10.1007/s11099-017-0763-7

Xuan, T. D., Huong, C. T., Quan, N. V., Anh, L. H., Khanh, T. D., & Rayee, R. (2022). Improvement of salinity tolerance in rice seedlings by exogenous magnesium sulfate application. *Soil Systems*, *6*(3), 69. https://doi.org/10.3390/soilsystems6030069

Zahedi, S. M., Abdelrahman, M., Hosseini, M. S., Hoveizeh, N. F., & Tran, L. S. P. (2019). Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environmental Pollution*, *253*, 246-258. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.078

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]

The effect of foliar application of sodium selenate and nano-selenium on growth traits and biochemical characteristics of *Melissa officinalis* under salt stress conditions

Mahsa Torabian, Sepideh Kalateh Jari*, Marzieh Ghanbari Jahromi

Department of Horticulture and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received: 2025/02/16, Accepted: 2025/05/06)

Abstract

The external application of stress modulators is often effective in reducing the effects of environmental stresses. This research was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications to compare two different forms of selenium (sodium selenate and nano-selenium) in mitigating the adverse effects of salt stress on *Melissa officinalis*. The experimental treatments included three levels of salt stress (0, 4, and 8 dS/m) and five levels of foliar application (control (zero), 5 and 10 mg/L sodium selenate, and 2 and 4 mg/L nano-selenium). Based on the results, salt stress and different selenium treatments significantly affected phenylalanine ammonia-lyase (PAL) enzyme activity, malondialdehyde (MDA) concentration, relative leaf water content, proline, total phenols, total flavonoids, and essential oil yield. The highest fresh weight of the aerial parts was observed in the treatment with 10 mg/L sodium selenate and no salt stress. Salt stress significantly reduced the dry weight of the aerial parts (19.24% compared to the control), while foliar application of selenium sources (sodium selenate and nano-selenium) compensated for this reduction. Total chlorophyll decreased by 22.65% under severe salt stress compared to the control, with the highest amount obtained in the treatment with 2 mg/L nano-selenium and no salt stress. Under severe salt stress without foliar application, PAL enzyme activity decreased by 69.81%, and MDA content decreased by 39.19% compared to the control. In mild salt stress with 10 mg/L sodium selenate foliar application, total flavonoids increased by 31.30%, while under mild salt stress with 2 mg/L nano-selenium foliar application, the essential oil percentage of lemon balm increased by 31.03% compared to the control. The highest essential oil yield (12.54 g per plant) was observed in the treatment with 2 mg/L nano-selenium and no salt stress. The ratios of mineral elements (potassium, nitrogen, selenium, and chlorine) in the roots and leaves were also affected by salt stress and treatment solutions. Under severe salt stress with 10 mg/L sodium selenate, the root-to-leaf potassium ratio (1.25) and root-to-leaf nitrogen ratio (1.63) were higher than in other treatments. In severe salt stress without foliar application, the root-to-leaf selenium ratio was 0.393, indicating greater selenium accumulation in the leaves. Overall, it can be concluded that nano-selenium was more effective than sodium selenate in alleviating the negative effects of salt stress on the medicinal plant lemon balm.

Keywords: Chloride-to-potassium ratio, Elemental toxicity, Resistance, Salt stress, Toxicity

Corresponding author, Email: kalatehjari@srbiau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.1]