Research Article
Nova Biologica Reperta 9(4): 296-306 (2023)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.9.4.296

مقاله پژوهشی
یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۹، شماره ۴، صفحات ۲۹۶ الی ۳۰۶ (۱۴۰۱)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

تأثیر نانو سلنیوم و سلنات سدیم بر پارامترهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و رشدی فلفل دلمه‌ای

شیوا طباطبایی رودسری[۱]، علیرضا ایرانبخش[۱]، منصوره شمیلی[۲] و زهرا اوراقی اردبیلی[۳]

[۱]گروه زیست شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران؛ [۲]گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، هسته پژوهشی علوم و فناوری نانو و مواد پیشرفته، پژوهشکده هرمز، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران ؛ [۳]گروه زیست شناسی ، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران
مسئول مکاتبات: علیرضا ایرانبخش، iranbakhsh@iau.ac.ir

چکیده. سلنیوم جزء عناصر غیرضروری برای گیاهان و ضروری برای انسان و جانوران به شمار می‌رود. اگرچه هنوز نقش سلنیوم در گیاهان به‌درستی شناخته نشده است اما نتایج تحقیقات نشان داده که این عنصر در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان مؤثر است. درپژوهش حاضر تأثیر محلول‌پاشی نانو سلنیوم (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و سلنات سدیم (۰، ۵، ۱۰ و۲۰ میلی‌گرم در لیتر) بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه فلفل دلمه‌ای (*Capcicum anumm*) مورد بررسی قرار گرفت. اثرات تیمارهای اعمال شده بر شاخص های مختلف رشدی و بیوشیمیایی ارزیابی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تیمارهای سلنیوم در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش تجمع بیومس در ریشه و اندام هوایی شد. این تیمارها همچنین موجب افزایش درمحتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید شد. استفاده از سلنیوم موجب افزایش در میزان فنل، پرولین و تیول‌ها شد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و نیز آنزیم پروتئاز در پاسخ به تیمارهای سلنیوم افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی. آسکوربات‌پراکسیداز، پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز، کاتالاز، فنل، مالون‌دی‌آلدئید

The effect of nano selenium and sodium selenate on biochemical, physiological, and growth parameters of Bell pepper (*Capsicum anumm*)

Shiva Tabatabai Rudsari[1], Alireza Iranbakhsh[1], Mansoure Shamili[2] & Zahra Oraghi Ardabili[3]

[1]Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran; [2]Horticulture Department, Agriculture Faculty, Nanoscience, Nanotechnology and nanomaterials Research Center, Hormoz Research Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran; [3]Department of Biology, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran
Correspondent author: Alireza Iranbakhsh, iranbakhsh@iau.ac.ir

Abstract. Selenium, a non-essential element for plants, is essential for animals as well as human beings. Although the role of selenium in plants is yet to be properly understood, previous researches have shown that this element can affect plant growth and metabolism. In this study, the effect of foliar application of selenium nanoparticles (0, 5, 10, and 20 mg/L) and sodium selenate (0, 5, 10, and 20 mg/L) on the physiological and biochemical responses of bell pepper (*Capsicum anumm* L.) was investigated. The potential changes in various growth and biochemical indices were evaluated in response to the treatments. According to the results, selenium treatments at concentrations of 10 and 20 mg/L reduced the biomass accumulation in both roots and shoots. These treatments also increased the content of hydrogen peroxide and malondialdehyde. The foliar application of selenium led to the increase of the concentrations of soluble phenols, proline and thiols. The activity of antioxidant enzymes including catalase, peroxidase, ascorbate peroxidase, and polyphenol oxidase were increased in response to the selenium treatments. The protease activity displayed a similar upward trend following the selenium treatments.

Key words. ascorbate peroxidase, catalase, malondialdehyde, peroxidase, phenol, polyphenol oxidase

Received 28.04.2021/ Revised 21.02.2022/ Accepted 19.07.2022/ Published 20.03.2023
دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸/ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲/ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸/ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]

مقدمه

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) متعلق به تیره بادنجانیان (Solanaceae) و بومی نواحی حاره‌ای آمریکا است. علاوه بر اهمیت اقتصادی و غذایی، خواص آنتی‌اکسیدانی بسیاری نیز دارد (Iranbakhsh & Ghaderi, 2020). خنثی نمودن رادیکال‌های آزاد اکسیژن، کاهش خسارت ناشی از تنش‌های اکسیداتیو و ممانعت از بروز سرطان، ازجمله اثرات مفید ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در فلفل دلمه‌ای است (Mardanlu et al., 2014).

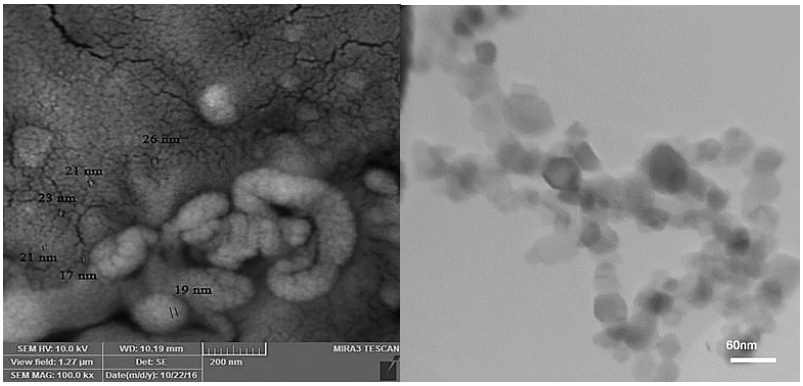
تنش‌های زیستی رشد و تولید گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. عمده‌ترین تغییرات بیوشیمیائی و فیزیولوژیک در گیاهان در مواجه با این شرایط عبارتند از تجمع رادیکال‌های آزاد، اختلال در متابولیسم سلول، پراکسید شدن لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک (Mittler et al., 2004). علاوه‌براین، تنش‌های اکسیداتیو مورفولوژی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داده و کاهش محسوس در تعداد برگ، طول اندام‌ها، ارتفاع شاخساره و تغییر در وزن تر و خشک را به همراه دارند (Bhantana & Lazarovich, 2010).

سلنیوم ازنظر خواص شیمیایی مشابه گوگرد است و این تشابه در فرآیندهای جایگزینی سلول تأثیر گذاشته و جایگزینی آن به‌جای گوگرد در پروتئین‌ها و دیگر ترکیبات گوگردی را موجب می‌گردد. گیاهان، سلنیوم را به Se-methionine تبدیل و آن را به‌جای متیونین در پروتئین قرار می‌دهند (Tapiero et al., 2003). گیاهانی که با سلنیوم تغذیه شده‌اند، تجمع نشاسته درکلروپلاست‌های آن‌ها افزایش یافته و همچنین نقش تنظیم کنندگی آن در تنظیم وضعیت آبی گیاه تحت شرایط تنش خشکی به اثبات رسیده است. همچنین این عنصر می تواند با ممانعت از تخریب کلروفیل در شرایط تنش‌های محیطی، سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گردد (Bybordi, 2016). سلنیوم قادر است به طور قابل توجهی محتوای کلروفیل را بالا برد و این افزایش در محتوای کلروفیل می تواند در طی افزایش محتوای کاروتنویید باشد، زیرا کاروتنویید‌ها کلروفیل را از تخریب اکسیداسیون نوری حفاظت می کنند (Khademi Astaneh et al., 2015). سلنیوم، محتوای کلروفیل کل و فعالیت کاتالاز را در گندم افزایش داده و موجب تخفیف خسارت ناشی از تنش کادمیوم و درنهایت افزایش وزن‌خشک و تر گردیده است (Daryaei, 2015). همچنین سلنات سدیم (۱۰ میلی‌گرم‌درلیتر) با افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز و فنل، درنهایت محتوای سلنیوم و رشد اندام هوایی را در بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) افزایش داده است (Habibi et al., 2016).

سلنیوم در دوزهای پایین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل کرده و رشد گیاه را افزایش می‌دهد ولی در سطوح بالاتر باعث کاهش بازده گیاه می‌شود. نانوذره‌ی سلنیوم، سمیت بسیار کمتری در مقایسه با عنصر سلنیوم داشته، درعین‌حال قدرت بالایی در پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد دارد. این ذره موجب سم‌زدایی هیدروپراکسیدازها و لیپوهیدروپراکسیدازها در سطوح سیتوپلاسمی و ماتریکس میتوکندری می‌شود (Esparham et al., 2017). همچنین سلنیوم با کاهش محتوی پرولین و مالون دی آلدئید و افزایش فعالیت کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و نیز پراکسید هیدروژن، موجب کاهش اثرات مخرب کادمیوم و فعال کردن سیستم دفاعی گیاه سیر (*Allium sativum*) در شرایط سمیت کادمیوم گردید (Namdar & Bahremand, 2019). نانوذرات با اتصال به مولکول‌های فعال بیولوژیکی شامل پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، از غشا سلول عبور می‌کنند. سپس بسته به ماهیت ذره و مقدار آن با تقویت یا از کاراندازی سیستم آنتی‌اکسیدانی، از اثرات مخرب ناشی از تنش اکسیداتیو کاسته یا موجب مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلول می‌شوند (Lei et al., 2008). نانواکسیدروی، جوانه‌زنی بذر فلفل‌چیلی (*Capsicum annuum*) را افزایش داد (Afrayeem & Chaurasia, 2017). نانوسلنیوم (۴ میکرومولار) موجب افزایش رشد و تحریک فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (۳۵٪) و کاتالاز (۱۰٪) (Abolghasemi & Haghighi, 2018) در گوجه‌فرنگی شده و به‌طور قابل‌توجهی فعالیت کاتالاز در ریشه خربزه تلخ (*Momordica charantia*) را افزایش داد (Rajaee Behbahani et al., 2020). میزان تیول های پروتئینی با افزایش غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی و ریشه ذرت افزایش نشان دادند (Pourakbar, 2011). فعالیت آنزیم پروتئاز نیز در گیاه سیب‌زمینی در تیمار با نیترات نقره نسبت به نانو نقره افزایش نشان داد (Bagherzadeh Homaee & Ehsanpour, 2016). در بررسی تأثیر سه نانوذره سلنیوم، سیلیسیوم و مس بر ماده فعال زیستی ترکیبات میوه های فلفل دلمه ای تحت تنش شوری معلوم شد که نانوذرات افزایش دهنده فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مهارROS مانند آسکوربات‌پراکسیداز، برای محافظت از سلول‌هادر برابر آسیب اکسیداتیو هستند (González-García et al, 2021).

نظر به ورود نانوذرات در عرصه اکولوژی و تأثیر آن‌ها بر محصولات کشاورزی، انجام پژوهش در این حوزه ضروری می‌نماید. لذا در این تحقیق تأثیر محلول‌پاشی نانوذره سلنیوم (۰، ۵، ۱۰ و۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و سلنات‌سدیم (۰، ۵، ۱۰ و۲۰ میلی‌گرم در لیتر) بر پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه فلفل دلمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]



شکل ۱- تصاویر نانوذره سلنیوم برحسب نانومتر(nm)، SEM (راست) و TEM (چپ).

Figure 1. SEM (right) and TEM (left) of selenium nanoparticles.

مواد و روش‌ها

بذرهای گیاه فلفل‌دلمه‌ای (*Capsicum annum*) رقم Cavendish F_1 از شرکت POP Vriend Seeds (کشور هلند) تهیه گردید. سلنات‌سدیم (به‌عنوان بالک) و نانوذره سلنیوم از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان تهیه شدند. خصوصیات ساختاری ذرات نانوسلنیوم شامل خلوص:٪۹۹-۹۵، میانگین سایز ذرات: ۴۵-۱۰ نانومتر، سطح ویژه (Specific surface): 30-50 m^2/g، رنگ: خاکستری، شکل: تقریبا کروی، چگالی: 3.89 g است. مورفولوژی نانوذرات سلنیوم در شکل ۱ آمده است. پژوهش به‌صورت فاکتوریل در سه تکرار طراحی شد. فاکتورها شامل محلول‌پاشی با سطوح نانوذره سلنیوم و سلنات‌سدیم بود. بذرهای ضدعفونی شده در پتری دیش کشت شده و بعد از جوانه‌زنی و رسیدن به مرحله ۴ برگی (۷۰ روز بعد از کاشت) در گلدان‌هایی با حجم ۲ لیتر (بستر کشت مخلوطی از دو حجم ورمی‌کولایت و یک حجم پیت) قرارگرفتند، با محلول غذایی هوگلند کامل تغذیه شدند و در شرایط نورخورشید در دمای ۳±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵ ± ۴۵ درصد رشد یافتند. از مرحله ۶ برگی (۸۴ روز بعد از کاشت)، محلول‌پاشی گیاهان ۴ بار، به‌صورت یک هفته در میان (به منظور کاهش احتمال آسیب‌دیدگی گیاهان با تیمارها) با نانوذره سلنیوم (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و سلنات‌سدیم (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) به صورت اسپری برگی انجام شد. دو روز بعد از آخرین تیمار (۱۳۵ روز بعد از کاشت) نمونه‌گیری از برگ جهت سنجش فعالیت کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز، پروتئاز، پلی‌فنل‌اکسیداز، محتوای پرولین، مالون دی‌آلدئید، فنل کل، پراکسیدهیدروژن، تیول‌های پروتئینی و غیرپروتئینی انجام شد. همچنین وزن‌تر و خشک ساقه و ریشه سنجش شد.

تهیه عصاره آنزیمی

عصاره آنزیمی از نیم‌گرم برگ تازه با استفاده از بافر استخراج (۱۰۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۰/۰۳۷۲ گرم EDTA و یک گرم PVP) استخراج شد.

سنجش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از محیط واکنش محتوی بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌لیتر و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولارانجام شد (Dazy et al., 2008). فعالیت آنزیم پراکسیداز با ثبت تغییر در جذب در دقیقه در طول موج ۴۷۰ نانومتر بعد از افزودن عصاره آنزیمی به محیط واکنش حاوی افر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار و گوایکول ۱۳ میلی‌مولار و پراکسید هیدروژن ۵ میلی مولار) تعیین شد (Nakano & Asada, 1981). عصاره آنزیمی و محیط واکنش آنزیم اسکوربات پراکسیداز حاوی ۶۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار، ۰/۰۰۲۳ گرم EDTA ۰/۱ میلی مولار، و ۰/۰۰۵۳ گرم آسکوربات نیم میلی‌مولار به درون کووت ریخته شد. در مرحله بعد، ۲/۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۱ میلی‌مولار به کووت اضافه شد. سپس تغییر جذب در دقیقه در طول موج ۲۹۰ نانومتر قرائت شد (Nakano & Asada, 1981). برای سنجش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز، ۱۰۰میکرولیتر عصاره آنزیمی به همراه ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار و ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار همگن شد و درنهایت جذب نوری به مدت ۳ دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر ثبت شد (Kar & Mishra, 1976).

سنجش فعالیت آنزیم پروتئاز

۵۰ میکرو عصاره آنزیمی با ۳۵۰ میکروبافر فسفات (PH=7) و ۸۰۰ میکرولیتر کازئین یک درصد مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد. سپس ۴۰۰ میکرولیتر TCA ۱۰ درصد به آن اضافه و مجدداً ۲۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد. پس از

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]

سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه)، جذب عصاره در طول موج ۲۸۰ نانومتر سنجش شد (Kar & Mishra, 1976).

سنجش محتوای پرولین

۰/۵ گرم برگ تازه با ۵۰ میکرولیتر اتانول ۹۵ درصد و سپس با اتانول ۷۰ درصد همگن شد. عصاره‌ها سانتریفیوژ (۶۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۵ دقیقه) شدند. سپس ۲ میکرولیتر عصاره رویی با ۲ میکرولیتر محلول نین‌هیدرین و ۲ میکرولیتر اسید استیک خالص مخلوط شده و به مدت یک ساعت در بن ماری آب جوش انکوبه شدند. پس از آن به آب سرد منتقل شده و به هر نمونه ۴ میکرولیتر تولوئن اضافه شد و به مدت ۱۵ ثانیه ورتکس شدند و از فاز بالایی برای قرائت محتوای پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر استفاده شد (Bates, et al.,1973). غلظت پرولین در واحد وزن برگ (میکرومول در هر گرم وزن تازه) از رابطه زیر محاسبه گردید:

(µg proline /ml×ml toluene) /115.5 × 5/g sample

سنجش محتوای مالون‌دی‌آلدئید

۰/۵ گرم برگ تازه با ۵ میکرولیتر TCA یک درصد همگن شد. سپس نمونه‌ها سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۵ دقیقه) شدند و ۲۵۰ میکرولیتر از هر نمونه به میکروتیوب منتقل شد. سپس به هر نمونه ۱ میکرولیتر MDA (حاوی TCA ۵ درصد و TBA ۲۰ درصد) اضافه و ۳۰ دقیقه در حمام بن ماری ۹۵ درجه انکوبه شدند. نمونه‌ها به یخ منتقل شده و پس از آن ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شدند. درنهایت جذب عصاره در طول موج‌های ۵۲۳ و ۶۰۰ قرائت شد (Alexieva et al., 2001).

سنجش محتوای فنل کل

۰/۱ گرم نمونه برگ با ۱۰ میکرولیتر متانول ۸۰ درصد همگن و سانتریفیوژ (۶۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۵ دقیقه) شدند. سپس ۱۰۰ میکرولیتر عصاره به میکروتیوب منتقل شده و ۴۹۰ میکرولیتر آب و ۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین به آن اضافه شده و به مدت ۳ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. بعد از آن ۵۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۱٪ به هر نمونه افزوده و ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. درنهایت فنل کل در طول موج ۷۶۵ قرائت شد (Spanos & Wrolstad, 1990).

سنجش محتوای پراکسیدهیدروژن

۰/۵ گرم برگ تازه با ۵ میلی‌لیتر TCA یک درصد خرد شدند. سپس سانتریفیوژ (۱۲۰۰۰ دور در دقیقه، ۵ دقیقه) شده و ۲ میلی‌لیتر مخلوط واکنش (حاوی ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار و ۱ میکرولیتر یدید پتاسیم و ۲۵۰ میکرولیتر TCA) افزوده و در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت شد (Nakano & Asada, 1981).

سنجش محتوای تیول‌های پروتئینی و غیرپروتئینی

۰/۱ گرم برگ به کمک ۲ میلی‌لیتر آسکوربات سدیم ۱۵ درصد همگن شد. سپس عصاره‌ها به میکروتیوب منتقل شده و سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۵ دقیقه) شدند. این عصاره‌ها برای قرائت تیول‌های پروتئینی و غیر پروتئینی استفاده شدند. برای قرائت تیول پروتئینی ۵۰۰ میکرولیتر از محلول رویی با ۱ میکرولیتر بافر تریس اسیدی ۲۰۰ میلی مولار مخلوط شد. سپس ۵۰۰ میکرولیتر SDS هشت درصد و ۱۰۰ میکرولیتر DTNB ۱۰ میلی‌مولار (تهیه شده در بافر فسفات ۲۰ میلی‌مولار) به آن اضافه شد. بعد از قرار گرفتن نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه، تیول پروتئینی در طول موج ۴۱۵ قرائت شد. سپس عصاره‌های حاوی تیول‌های پروتئینی را به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه انکوبه نموده و مجدداً سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۲۰ دقیقه) شدند. درنهایت در همان طول موج ۴۱۵ قرائت و محتوای تیول‌های غیرپروتئینی محاسبه شد (De Kok & Kuiper 1986).

سنجش وزن‌تر و وزن‌خشک نمونه‌ها

به منظور تعیین وزن‌تر، ریشه و بخش هوایی توسط ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱) توزین شدند. سپس برای به دست آوردن وزن‌خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سلیسیوس قرار گرفتند و درنهایت با ترازو وزن شدند.

آنالیز آماری داده‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. فاکتورها شامل نوع و غلظت سلنیوم بود. بعد از تأیید نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگراف- اسمیرنوف، آنالیز واریانس چند متغیره با در نظر گرفتن نوع و غلظت ذره به‌عنوان متغیر مستقل انجام شد. آزمون LSD برای مقایسه میانگین انجام شد. آنالیز واریانس توسط نرم‌افزار SPSS (P<0/05) version24 صورت گرفت. خطوط بار بر روی ستون‌های نمودارها میانگین سه تکرار، به‌علاوه و منهای انحراف معیار هستند.

نتایج

نتایج تأثیر معنی‌دار نوع و غلظت سلنیوم بر محتوای کاتالاز را نشان داد. بیشترین محتوای کاتالاز به نانوذره سلنیوم ۲۰ میلی‌گرم‌درلیتر تعلق داشت (۱۹۹۵/۷۲ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه). هرچند تیمار با هر دو ترکیب روندی صعودی در فعالیت آنزیم مذکور را باعث گردید اما بین غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم (۹۴۶/۲۷ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) با شاهد (۹۶۸/۲۹ و ۹۸۳/۸۷ میکرومول در دقیقه در گرم

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]

وزن‌تازه)، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل 2a). تیمار با سلنات سدیم و نانوذره سلنیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد، این افزایش در تیمار نانوذره مشهودتر بود. بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱۶۶۳/۸۲ میکرومول در دقیقه در گرم وزن‌تازه) به غلظت ۲۰ میلی‌گرم‌درلیتر نانوذره سلنیوم تعلق داشت. کمترین فعالیت آنزیم در تیمار شاهد (۷۹۳/۳۶ و ۷۷۹/۱۲ میکرومول در دقیقه در گرم وزن‌تازه) مشاهده شد. بین غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم‌درلیتر سلنات‌سدیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل 2b). سطوح مختلف هر دو تیمار، میزان فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز را افزایش داد. بیشترین فعالیت آنزیم (۴۰/۹۱ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) مربوط به گیاهان تیمار شده با سلنات‌سدیم با غلظت ۲۰ میلی‌گرم‌برلیتر بود. بین سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم‌برلیتر از هر دو تیمار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل 2c). حضور سلنیوم به هر دو فرم سلنات‌سدیم و نانوذره سلنیوم، فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز را افزایش داد. بیشترین میزان فعالیت به تیمار ۲۰ و ۱۰ میلی‌گرم‌درلیتر از سلنات سدیم (۲۶/۸۴ و ۲۱/۳۳ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) تعلق داشت. افزایش فعالیت آنزیم در گیاهان تیمار شده با سلنات‌سدیم بیشتر بود (شکل 2d).

سلنات‌سدیم موجب افزایش معنی‌دار در محتوای پراکسید هیدروژن شد. تاثیر نانوذره سلنیوم تا غلظت ۱۰ میلی‌گرم‌درلیتر با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان پراکسید هیدروژن به غلظت ۲۰ میلی‌گرم‌درلیتر از سلنات سدیم (۱/۷۸ میکرومول در یک گرم وزن تازه) تعلق داشت (شکل 3a). تیمار با نانوذره سلنیوم و سلنات‌سدیم، موجب افزایش محتوای پرولین شد. این افزایش در سلنات‌سدیم بیشتر بود. بیشترین میزان پرولین به غلظت ۲۰ میلی‌گرم‌برلیتر سلنات سدیم (۲۶۶/۶۷ میکرومول در گرم وزن‌تازه) تعلق داشت (شکل 3b). سلنات‌سدیم و نانوذره سلنیوم باعث افزایش میزان مالون دی‌آلدئید شد و بیشترین میزان به غلظت ۲۰ میلی‌گرم‌درلیتر نانوذره سلنیوم (۰/۹۴ میکرومول درگرم) تعلق دارد (شکل 3c). نانوذره سلنیوم تا ۱۰ میلی‌گرم‌درلیتر باعث افزایش میزان فنل کل شد، درحالی‌که سلنات سدیم تا ۵ میلی‌گرم‌درلیتر باعث افزایش و در غلظت‌های بالاتر از ۵ میلی‌گرم‌درلیتر موجب کاهش فنل کل شد (شکل) 3d.

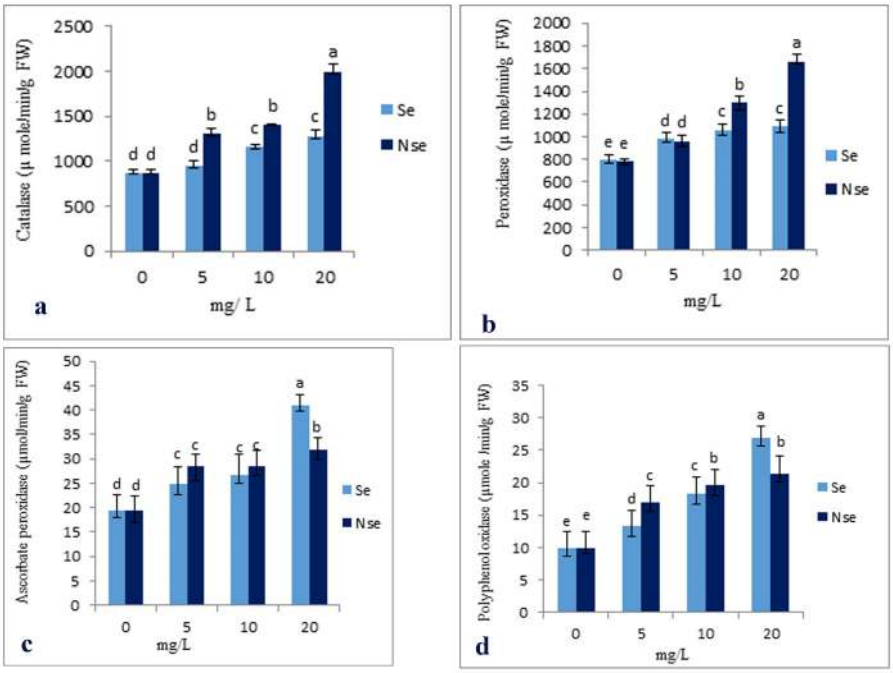
تیمار با هر دو نوع سلنیوم همراه با افزایش در فعالیت پروتئاز بود. با این وجود بیشترین افزایش در فعالیت به گیاهان تیمار شده با سلنات‌سدیم تعلق داشت. بیشترین فعالیت آنزیم متعلق به ۲۰ و ۱۰ میلی‌گرم‌درلیتر از سلنات‌سدیم (به ترتیب ۱۶/۳۵ و ۱۵/۹۲ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) بود. فعالیت آنزیم در کمترین سطح نانو سلنیوم (۱۰/۸۸ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) با تیمارهای شاهد (۱۰/۵۹ و ۱۰/۴۱ میکرومول در دقیقه در گرم وزن‌تازه) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل 4a). سلنات‌سدیم و نانوذره سلنیوم باعث افزایش در میزان تیول‌های پروتئینی و غیرپروتئینی گردیدند. این روند افزایشی در گیاهان تیمار شده با نانوذره سلنیوم کمتر بود (شکل4b,c). بیشترین میزان تیول‌های پروتئینی و غیرپروتئینی (به ترتیب ۱۹۱/۶۴ و ۱۳۲/۱۷ میکرومول در یک گرم وزن‌تازه) به گیاهان تیمار شده با ۲۰ میلی‌گرم‌درلیتر سلنات‌سدیم تعلق داشتند.

تیمار با سلنیوم به هر دو فرم باعث افزایش وزن‌تر (شکل 5a) و کاهش وزن‌خشک ریشه (شکل 5b) در گیاه فلفل‌دلمه شد. بالاترین وزن‌تر ریشه مربوط به غلظت سلنات سدیم با ۲۰ و ۱۰ میلی‌گرم‌برلیتر (به ترتیب ۴۶/۵ و ۴۵/۵ گرم) بود. بیشترین میزان وزن‌خشک ریشه نیز به تیمارهای شاهد (۶۱ و ۶۰/۵ گرم) مرتبط بود. تیمار با نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم روندی مشابه با وزن‌تر و خشک‌ریشه، در وزن‌تر و خشک ساقه فلفل به همراه داشت. بیشترین وزن‌تر ساقه به ترتیب به سلنات‌سدیم ۱۰ و ۲۰ (۹۰ گرم) تعلق داشت (شکل 5c,d).

بحث و نتیجه گیری

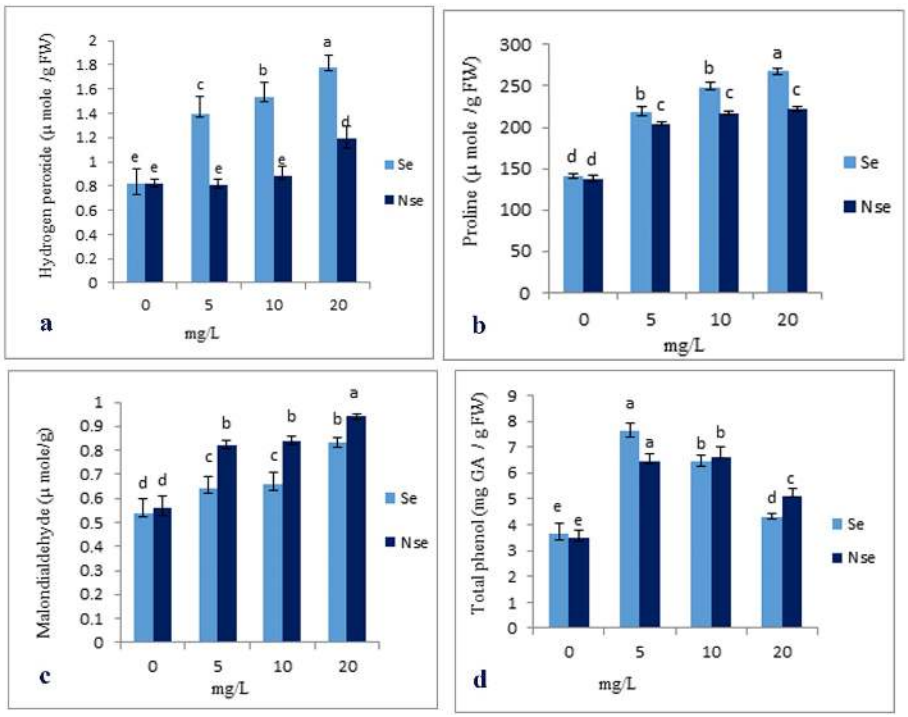
گیاهان برای مقابله با تنش‌های زیستی به مکانسیم‌های آنزیمی (آسکوربات‌پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون‌ردوکتاز) و غیرآنزیمی (کاروتنوئید، فلاونوئید، آسکوربات، گلوتاتیون و توکوفرول) مجهز شده‌اند (Ahmed et al., 2009). کاتالاز آنزیمی است که در متابولیسم زنجیره طولانی اسیدهای چرب در پراکسی زوم‌ها و همچنین در از بین بردن پراکسید هیدروژن نقش دارد. پراکسیدازها در بسیاری از فرایندهای سلولی از قبیل متابولیسم اکسین، تشکیل چوب، اتصالات عرضی در دیواره سلول گیاهی، پاسخ به تنش‌های محیطی و نظایر آن شرکت می‌کنند (Rahmani et al., 2013). آسکوربات پراکسیداز که از اسید آسکوربیک به‌عنوان یک دهنده الکترونی برای کاهش اکسیدان‌ها استفاده می‌کند نیز نقش مهمی در حفظ وضعیت ردوکس سلول‌ها در بسیاری از تنش‌های زیستی و غیر زیستی دارد (Del Buono et al., 2011). در نهایت تبدیل ترکیبات فنلی محلول به لیگنین بر عهده آنزیم پلی فنل اکسیداز می‌باشد (Namdar & Bahremand, 2019). در پژوهش حاضر تیمار با هر دو ترکیب سلنات سدیم و نانو سلنیوم موجب روند صعودی در فعالیت آنزیم‌ها گردید. بیشترین فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان تیمار شده با نانوسلینوم و بالاترین میزان آسکوربات پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در تیمار با سلنات سدیم مشاهده شد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]



شکل ۲- برهمکنش نوع و غلظت سلنیوم بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان شامل کاتالاز (a)، پراکسیداز (b)، آسکوربات پراکسیداز (c) و پلی فنل اکسیداز (d).

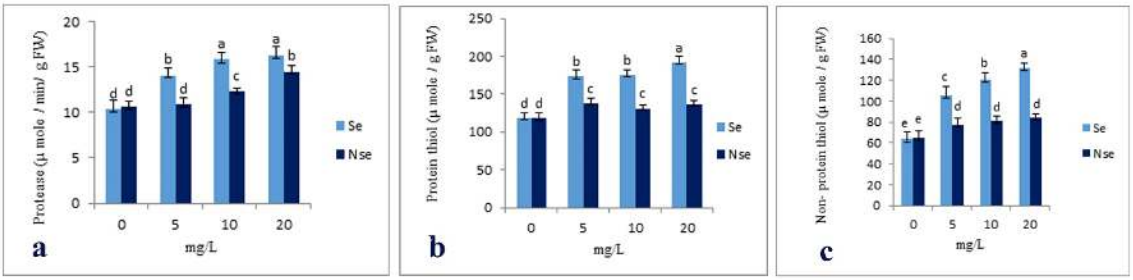
Figure 2. Interaction of the type and concentration of selenium on the activities of antioxidant enzymes, including catalase (a), peroxidase (b), ascorbate peroxidase (c), and polyphenol oxidase (d).



شکل ۳- برهمکنش نوع و غلظت سلنیوم بر میزان پراکسیدهیدروژن (a)، پرولین (b)، مالون دی آلدئید (c) و فنل کل (d).

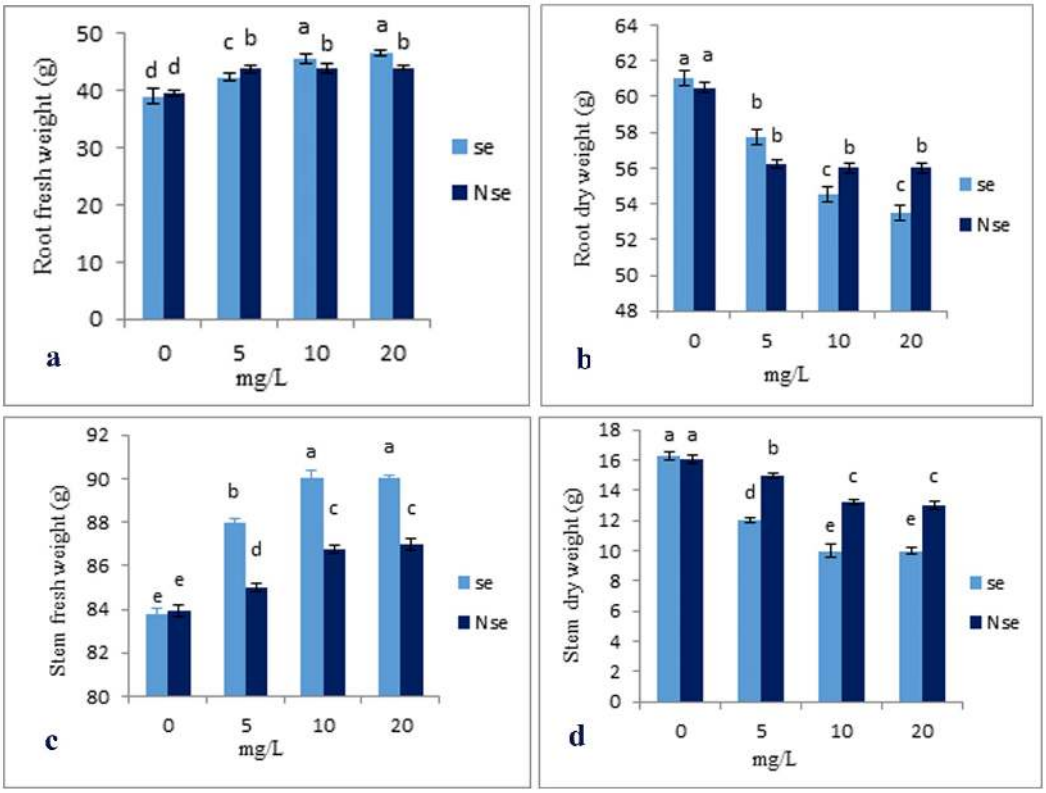
Figure 3. Interaction of the type and concentration of selenium on the amount of hydrogen peroxide (a), proline (b), malondialdehyde (c), and total phenols (d).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]



شکل ۴- برهمکنش نوع و غلظت سلنیوم بر فعالیت آنزیم پروتئاز (a)، تیول های پروتئینی (b) و تیول های غیر پروتئینی (c).

Figure 4. Interaction of the type and concentration of selenium on protease enzyme activity (a), protein thiols (b), and non-protein thiols (c).



شکل ۵- برهمکنش نوع و غلظت سلنیوم بر وزن تر ریشه (a)، وزن خشک ریشه (b)، وزن تر ساقه (c) و وزن خشک ساقه (d)

Figure 5. Interaction of the type and concentration of selenium on root fresh mass (a), root dry mass (b), stem fresh weight (c), and stem dry weight (d).

این نتایج، تفاوت در پاسخ گیاه را به نوع ماده نشان می دهد. افزایش غلظت سلنات سدیم میزان فعالیت کاتالاز در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) را افزایش داد (Najafi et al., 2018). فعالیت پراکسیداز در ریشه گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تیمار شده با اکسید روی و نانو ذرات سلنیوم به‌طور قابل‌توجهی افزایش داشته است (Babajani et al., 2019). نانوسلنیوم موجب تحریک فعالیت آنزیم های پراکسیداز (۳۵٪) و کاتالاز (۱۰٪) در ریشه خربزه تلخ (*Momordica charantia*) گردیده است (Rajaee Behbahani et al., 2020). سلنیوم در گیاه سیر (*Allium sativum*) تحت تنش کادمیوم، فعالیت آنزیم‌های آسکوربات‌پراکسیداز، گایاکول‌پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز را افزایش داد (Namdar & Bahremand, 2019). در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) نیز نانواکسیدروی (۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز افزایش داد (Davari et al., 2018).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]

در تحقیق حاضر تنش اکسیداتیو ناشی از تیمار با سلنیوم باعث افزایش در محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید گردید که میزان افزایش در گیاهان تیمار شده با سلنات سدیم بیشتر بود. درگوجه‌فرنگی محتوای مالون‌دی‌آلدئید، پراکسیدهیدروژن و پرولین تحت استرس کادمیوم (Rahmatizadeh, et al., 2019) و نانو سلنیوم (Neysanian et al., 2020) به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. در صورت بروز تنش اکسیداتیو، افزایش H_2O_2 با صدمه به سلول، نقشی تخریبی دارد. یکی از واکنش‌هایی که در حضور مقادیر بالای تولید شده از پراکسیدهیدروژن سرعت بیشتری دارد، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا است که باعث تولید آلدئیدهایی نظیر مالون دی آلدئید می‌شود. میزان پراکسیداسیون لیپید در گیاهان برای ارزیابی اثر تنش‌های محیطی استفاده می‌شود.

در این تحقیق تیمار با نانوذره سلنیوم و سلنات‌سدیم، موجب افزایش محتوای پرولین شد که با افزایش پرولین خیار در تنش خشکی همخوانی دارد (Amin et al., 2016). افزایش در محتوای پرولین در گیاهان مواجه شده با تنش‌های زیستی به افزایش در اورنیتین‌آمینوترنسفراز (Ornithine aminotransferase)، پیرولین۵-کربوکسیلات‌ردوکتاز (Pyrroline-5-carboxylate reductase) و کاهش در پرولین‌اکسیداز (Proline oxidase) و پرولین‌کربوکسیلاز (Proline carboxylase) نسبت داده شده است (Sharma et al., 2011).

ترکیبات فنلی (شامل فنل‌های ساده، فنل‌های اسیدی، چالکون‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها) به‌طور وسیعی در گیاهان وجود دارند (Sorahinobar et al., 2010) و نقش آنتی‌اکسیدانی خود را با سازوکارهایی نظیر پاک‌روبی رادیکال‌های آزاد، از دست دادن هیدروژن، کلات کردن یون‌های فلزی یا همکاری با پراکسیدازها ایفا می‌کنند (Mazarie et al., 2019). در این تحقیق، افزایش میزان فنل کل بعد از تیمار با سلنیوم مشاهده شد که احتمالاً دلیل آن افزایش در فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز باشد (Chu et al., 2010). ولی افزایش در فنل فقط تا سطح ۵ میلی‌گرم‌درلیتر از دو ترکیب مؤثر بود و در غلظت‌های بالاتر افزایش در محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای جاروب کردن آثار تنش اکسیداتیو موثرتر بودند. کاهش فنل‌ها در غلظت‌های بالای سلنیوم می‌تواند به دلیل تجزیه آنزیم کلیدی در سنتز این ماده و یا اثر ترکیبی رادیکال‌های آزاد تولید شده با برخی پروتئین‌ها و آنزیم‌ها باشد. هرچند سلنیوم بر محتوای فنل کل در فلفل اثر افزایشی داشته است (Shekari et al., 2017)، اما در گوجه فرنگی بدون تأثیر معنی‌دار بود (Abolghasemi & Haghighi, 2018).

رشد و نمو در تمام موجودات زنده درنتیجه توازن بین سنتز و پروتئولیز اتفاق می‌افتد. در گیاهان، تخریب پروتئین از مرحله جوانه‌زنی، طی اندام‌زائی و در صورت مواجه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی رخ می‌دهد. همچنین پروتئولیز یکی از اجزای توأم با تنش اکسیداتیو ناشی از فلزات سنگین است (Palma et al., 2002). استرس اکسیداتیو، پروتئین‌های اکسیده شده تولید می‌کند که به‌صورت انتخابی توسط پروتئازها تخریب می‌شوند (Nakano & Asada, 1981). پروتئازها در بسیاری از جنبه‌های حیات گیاه، از جمله تجزیه ماکروملکول‌هائی نظیر پروتئین‌ها، جابجائی پروتئین‌های ذخیره‌ای، اندام‌زائی، ریتم‌های ساعت بیولوژیک، شناسائی پاتوژن‌ها، پیری و مرگ سلولی، نقش دارند (Konno et al., 2004). با این حال شرایط بیرونی (تنش‌های زیستی و غیرزیستی) و درونی گیاه (مرحله تمایز سلول، میزان هورمون‌های گیاهی، محتوای پلی‌آمین‌ها و پیری) محتوای پروتئازها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zafar et al., 2005). فعالیت آنزیم پروتئاز در گیاه سیب‌زمینی تیمار شده با نیترات‌نقره نسبت به نانونقره افزایش نشان داد (Bagherzadeh Homaee & Ehsanpour, 2016). همچنین مقدار تیول‌های غیرپروتئینی در تیمار با سلنیوم نسبت به کنترل، افزایش یافتند (Ghosh & Biswas 2017). در این مطالعه، مواجه با سلنات سدیم و نانوذره سلنیوم باعث افزایش در فعالیت پروتئاز و محتوای تیول‌ها گردید که این افزایش در گیاهان تیمار شده با سلنات سدیم بیشتر بود. این افزایش با توجه به فزونی محسوس پراکسیدهیدرژن و مالون‌دی‌آلدئید در گیاهان تیمار شده با این ترکیب، دور از انتظار نبود.

در تحقیق حاضر تیمار گیاهان فلفل دلمه با هر دو فرم سلنیوم منجر به افزایش در وزن تر ریشه و ساقه و کاهش در وزن خشک دو اندام مذکور گشت که حاکی از افزایش در محتوای آب درون آن‌ها است. سلنیوم با تشکیل اسیدهای آمینه سلنیوم دار، موجب تغییر ترکیب لیپیدهای غشایی، افزایش نفوذپذیری غشا به برخی یون‌ها (نظیر کلسیم) و نشت پتاسیم می شود که نتیجه آن افزایش آب در فضای بین سلولی و افزایش وزن بافت است (Dziubinskaa et al., 2010; Tailin et al., 2001). همچنین کاهش وزن خشک گیاه در اثر افزایش سطوح سلنیوم می‌تواند بر اثر کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش فتوسنتز (Chen et al., 2005)، مختل شدن جذب مواد غذایی و تنش ثانویه اکسیداتیو (John et al., 2009) باشد. سطوح

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]

مختلف نانوسلنیوم، سلنیت‌سدیم و سلنات‌سدیم اثر معنی‌داری بر وزن‌تر برگ، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر ساقه پیاز (*Allium cepa* L.) داشته است (Ameriyan et al., 2015). نانواکسیدآهن (۱، ۱۰و ۲۰ میلی‌گرم‌برلیتر) موجب افزایش ارتفاع، وزن تر ریشه، ساقه و برگ شده است. در گیاهان گندم تیمار شده با نانوسلنیوم نیز، وزن‌خشک در گیاهان تیمار شده با نانوسلنیوم ۵۰ میلی‌گرم‌درلیتر، به طور قابل توجهی در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرد (Safari et al., 2018).

در این تحقیق پاسخ فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدانی گیاهان فلفل دلمه تیمار شده با سطوح مختلف نانوسلنیوم و سلنات سدیم مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس یافته‌ها، تیمار با سلنیوم ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم‌درلیتر باعث بروز تنش اکسیداتیو و در نتیجه افزایش محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون دی‌آلدئید گردید. پاسخ دفاعی گیاه افزایش در میزان فنل، پرولین و تیول‌ها بود. همچنین افزایش محسوس در فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان تیمار شده با نانوسلنیوم و فعالیت بارز آسکوربات‌پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و پروتئاز در گیاهان تیمار شده با سلنات سدیم مشاهده گردید. همچنین گیاهان تیمار شده با سلنیوم از وزن خشک کمتری برخوردار بودند. از نتایج این تحقیق می توان پیشنهاد کرد که بکارگیری سلنیوم در غلظت مناسب می تواند اثرات مثبتی بر فیزیولوژی گیاه داشته باشد. از طرف دیگر نتایج این تحقیق به خوبی نسبت به شمیت سلنیوم در غلظت نامناسب هشدار می دهد.

سپاسگزاری

مولفین از کارشناسان محترم آزمایشگاه های واحد علوم و تحقیقات تشکر و قدردانی می کنند.

REFERENCES

Abolghasemi, R. & Haghighi, M. 2018. Study of changes in greenhouse tomatoes treated with beneficial elements in the form of metal and nanometals. Journal of Plant Process and Function 6: 153-162.

Ahmed, P., Jaleel, C., Azooz, M. & Nabi, G. 2009. Generation of ROS and non-enzymatic antioxidants during abiotic stress in plants. Journal of Botanic Resources International 2: 11-20.

Afrayeem, S.M. & Chaurasia, A.K. 2017. Effect of zinc oxide nanoparticles on seed germination and seed vigour in chilli (*Capsicum annuum* L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 6: 1564-1566.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. & Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant. Journal of Cell and Environment 24: 1337-1344.

Ameriyan, M., Dashti, F. & Delshad, M. 2015. Effect of different sources and levels of selenium on growth and some physiological characteristics of onion (*Allium cepa* L.). Journal of Plant Products and Technology 6: 163-179.

Amin, I.F., Askari, M &Haghir, M. 2016. Changes in protein and antioxidant system of *Cucumis sativus* cv. Isfahani in response to drought stress. Journal of Cell and Tissue 7: 375-385

Babajani, A., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z.O. & Eslami, B. 2019. Differential growth, nutrition, physiology, and gene expression in *Melissa officinalis* mediated by zinc oxide and elemental selenium nanoparticles. Journal of Environmental Science and Pollution Research 26: 24430-24444.

Bagherzadeh Homaee, M. & Ehsanpour, A.A. 2016. Induction of protein oxidation, protease activity, thiol groups alterations and total antioxidative capacity in potato (*Solanum tuberosum*) by silver nanoparticles and silver nitrate under in vitro culture conditions. Journal of Cell and Tissue 7: 231-241.

Bates, L.S., Waldren, R.P. & Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Journal of Plant and Soil 39: 205-207.

Bhantana, P. & Lazarovitch, N. 2010. Evapotranspiration, crop coefficient and growth of two young pomegranates (*Punica granatum* L.) varieties under salt stress. Journal of Agricultural Water Management 97: 715-722.

Bybordi, A. 2016. Effect of zeolite, selenium and silicon on yield, yield components and some physiological traits of canola under salt stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 14: 154-170.

Chen T.F., Zheng W.J., Luo Y., Yang F., Bai Y., & Tu F. 2005. Effects of selenium stress on photosynthetic pigment contents and growth of *Chlorella vulgaris*. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology 3: 369-373.

Chu, J., Xiaoqin & Y., Zhuona, Z. 2010. Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. Journal of Biology Trace Element Research 136: 355-363.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]

Daryaei, F. 2015. Study the effects of Se and Cd on some parameters morphological and physiological in cultivars of wheat plant. Journal of Plant Process and Function 3: 101-114.

Davari, A., Solouki, M & Fazeli, N.B. 2018. Effects of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on process of changesof phytochemical and antioxidant in genotypes of *Satureja hortensis* L. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants 5: 1-20.

Dazy, M., Jung, V., Férard, J.F. & Masfaraud, J.F. 2008. Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: role of plant antioxidant enzymes and possible implications in site restoration. Journal of Chemosphere 74: 57-63.

De Kok, L.J. & Kuiper, P.J. 1986. Effect of short term dark incubation with sulfate, chloride and selenate on the glutathione content of spinach leaf discs. Journal of Physiologia Plantarum 68: 477-482.

Del Buono, D., Ioli, G., Nasini, L. & Proietti, P., A. 2011. comparative study on the interference of two herbicides in wheat and Italian ryegrass and on their antioxidant activities and detoxification rates. Journal of Food Chemistry 59: 12109-12115.

Dziubinskaa H., Filekb M., Krol E. & Trebacz K. 2010. Cadmium and selenium modulate slow vacuolar channels in rape (*Brassica napus*) vacuoles. Journal of Plant Physiology 167: 1566-1570.

Esparham, E., Saeidisar, S., Mahmoodzadeh, H., & Hadi, M. 2017. the effects of zinc oxide (zno) nanoparticles on the germination, biochemical and ultrastructural cell characteristics of R*icinus communis*. Journal of Cell & Tissue 8: 151-164.

Ghosh, S. & Biswas, A. K. 2017. Selenium modulates growth and thiol metabolism in wheat (*Triticum aestivum* L.) during arsenic stress. American Journal of Plant Sciences 8: 363-389.

González-García, Y., Cárdenas-Álvarez, C., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., Cabrera-de-la-Fuente, M., Sandoval-Rangel, A., Valdés-Reyna, J. & Juárez-Maldonado, A. 2021. Effect of Three nanoparticles (Se, Si and Cu) on the bioactive compounds of Bell pepper fruits under saline stress. Plants 10: 1-16.

Habibi, G., Ghorbanzade, P. & Abedini, M. 2016. Effects of selenium application on physiological parameters of *Melissa officinalis* L. plants. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 32: 698-715.

Iranbakhsh, A & Ghaderi, S.A. 2020. The effect of nano-iron oxide on growth, physiology, and callogenesis in pepper in vitro. Nova Biologica Reperta 7: 219-227.

John, R., Ahmad, P., Gadgil, K. & Sharma, S. 2009. Heavy metal toxicity: Effect plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. Journal of Plant Production 3: 65-75.

Kar, M. & Mishra, D. 1976. Catalase, Peroxidase, and Poly phenol oxidase activities during rice leaf senescence. Journal of Plant Physiology 57: 315-319.

khademi astaneh, R., tabatabaei, S. & Bolandnazar, S. 2015. The Effect of different concentrations of Se on yield and physiological characteristics of *Brussels* Sprouts (*Brassica oleracea* var. *Gemmifera*). Journal of Horticultural Science 28: 535-543.

Konno, K., Hirayama, C., Nakamura, M., Tateishi, K., Tamura, Y., Hattori, M. & Kohno, K. 2004. Papain protects papaya trees from herbivorous insects: role of cysteine proteases in latex. Journal of Plant 37: 370-378.

Lei, Z., Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Liang, C., Hao, H., Xiaoqing, L. & Fashui, H. 2008. Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplasts under UV-B radiation. Journal of Biological Tace Element Rsearch 121: 69-79.

Mardanlu, S., Souri, M. & Dehnavard, S. 2014. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of long pepper as affected by different potassium concentrations in soilless culture. Iranian Journal of Soil Research 28: 397-406.

Mazarie, A., Mousavi-nik, S.M., Ghanbari, A. & Fahmideh, L. 2019. Effect of different spraying concentrations of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on some physiological traits and antioxidant system activity of Sage (*Salvia officinalis* L). Iranian Journal of Plant Biology 11: 1-22.

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. & Breusegem, F.V. 2004. Reactive oxygen gene snetwork of plants. Journal of Trends in Plant Science 9: 490-498.

Najafi, F., Khavari-Nejad, R.A. & Rashidi, M. 2018. The effect of sodium selenate on some of antioxidant enzymes activity in sunflower seedlings (*Helianthus annuus* L.) under salt stress. Journal of Plant Process and Function 6: 351-364.

Nakano, Y. & Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Journal of Plant and Cell Physiology 22: 867-880.

Namdar, M. & Bahremand, N. 2019. Effect of selenium on growth, physiological and biochemical indices of garlic plant (*Allium sativum*) under cadmium toxicity. Journal of Plant Process and Function 8: 137-153.

Neysanian, M., Iranbakhsh, A., Ahmadvand, R., Oraghi Ardebili, Z. & Ebadi, M. 2020. Comparative efficacy of selenate and selenium nanoparticles for improving growth, productivity, fruit quality, and postharvest longevity through modifying nutrition, metabolism, and gene expression in tomato; potential benefits and risk assessment. Journal of PLoS One 16: 1-17.

Palma, J.M., Sandalio, L.M., Corpas, F.J., Romero-Puertas, M.C., McCarthy, I. & Luis, A. 2002. Plant proteases, protein degradation, and oxidative stress: role of peroxisomes. Journal of Plant Physiology and Biochemistry 40: 521-530.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]

Pourakbar, l. 2011. Effects of cadmium on some biochemical parameters and nitrate redutase activity in *Zea mays* L. Journal of Plants 10: 959-976.

Rahmani, A., Seighali, N. & Ebrahimzadeh, H. 2013. A study on peroxidase activity alterations in corms of saffron (*Crucus sativus* L.) exposed to different H_2O_2 concentrations and pH measurement during dormancy and waking. Journal of New Cellular and Molecular Biotechnology 3: 79-84.

Rahmatizadeh, R., Arvin, S.M.J., Jamei, R., Mozaffari, H. & Reza Nejhad, F. 2019. Response of tomato plants to interaction effects of magnetic (Fe_3O_4) nanoparticles and cadmium stress. Journal of Plant Interactions 14: 474-481.

Rajaee Behbahani, S., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., Majd, A. & Ardebili, Z.O. 2020. Red elemental selenium nanoparticles mediated substantial variations in growth, tissue differentiation, metabolism, gene transcription, epigenetic cytosine DNA methylation, and callogenesis in bittermelon (*Momordica charantia*); an in vitro experiment. Journal of PloS One 15: 1-22.

Safari, M., Ardebili, Z.O. & Iranbakhsh, A. 2018. Selenium nano-particle induced alterations in expression patterns of heat shock factor A_4A ($HSFA_4A$), and high molecular weight glutenin subunit 1Bx (Glu-1Bx) and enhanced nitrate reductase activity in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Acta Physiologiae Plantarum 40: 1-8.

Sharma, D.K., Dubey, A.K., Srivastav, M., Singh, A.K., Sairam, R.K., Pandey, R.N., Dahuja, A. & Kaur, C. 2011. Effect of putrescine and paclobutrazol on growth, physiochemical parameters, and nutrient acquisition of salt-sensitive citrus rootstock karna khatta (*Citrus karna* Raf.) under NaCl stress. Journal of Plant Growth Regulation 30: 301-311.

Shekari, L., Mozafarian, M., Kamelmanesh, M. & Sadeghi, F. 2017. Effect of selenium on some morphological and physiological properties of hot pepper (*Capsicum annum*) grown in hydroponic culture. Journal of Plant Production Technology 9: 91-98.

Sorahinobar, M., Niknam, V. & Moradi, B. 2010. Effect of NaCl salinity on protein, pigments, sugars and phenolic compounds contents in calli of some Trigonella species. Journal of Science, University of Tehran 36: 53-59.

Spanos, G.A. & Wrolstad, R.E. 1990. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice. Journal of Agricultural and Food Chemistry 38: 1565-1571.

Tapiero, H., Townsend, D.M & Tew, K.D. 2003. The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. Journal of Biomedicine and Pharmacotherapy 57: 134-144.

Tailin X., Hartikainen H. &Piironen V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing Lettuce. Journal of Plant and Soil 237: 55-61.

Zafar, S., Yasin Ashraf, M. & Ashraf, M. 2005. Protease activity and associated change during germination and early seedling stages of cotton growth under saline condition. International Journal of Botany 1: 103-107.

*****

How to cite this article:

Tabatabai Rudsari, sh., Iranbakhsh, A., Shamili, M. & Oraghi Ardabili, Z. 2023. The effect of nano selenium and sodium selenate on biochemical, physiological, and growth parameters of Bell pepper (*Capsicum anumm* L.). Nova Biologica Reperta 9: 296-306. (In Persian).

طباطبایی رودسری، ش.، ایرانبخش، ع.، شمیلی، م. و اوراقی اردبیلی، ز. ۱۴۰۱. تأثیر نانو سلنیوم و سلنات سدیم بر پارامترهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و رشدی فلفل دلمه‌ای. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۹: ۳۰۶-۲۹۶.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.4.6.8]