

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

شیوا طباطبایی روذری^۱، علیرضا ایرانبخش^۱، منصوره شمیلی^۲ و زهرا اوراقی اردبیلی^۳

گروه زیست شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران؛ ^۱گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، هسته پژوهشی علوم و فناوری نانو و مواد

پیشرفت، پژوهشکده هرمز، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران؛ ^۲گروه زیست شناسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران

مسئول مکاتبات: علیرضا ایرانبخش، iranbakhsh@iau.ac.ir

چکیده. سلنیوم جزء عناصر غیرضروری برای انسان و ضروری برای گیاهان و جانوران به شمار می‌رود. اگرچه هنوز نقش سلنیوم در گیاهان بدروستی شناخته نشده است اما نتایج تحقیقات نشان داده که این عنصر در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان مؤثر است. در پژوهش حاضر تأثیر محلول پاشی نانو سلنیوم (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر) و سلنات سدیم (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر) بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیابی گیاه فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) مورد بررسی قرار گرفت. اثرات تیمارهای اعمال شده بر ساخته‌های مختلف رشدی و بیوشیمیابی ارزیابی شد. بر اساس نتایج به دست آمده، تیمارهای سلنیوم در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر باعث کاهش تجمع بیومس در ریشه و اندام هوایی شد. این تیمارها همچنین موجب افزایش درمحتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدید شد. استفاده از سلنیوم موجب افزایش در میزان فلئن، پرولین و تیول‌ها شد. فعالیت آنزیم‌های آنتیاکسیدان شامل کاتالاز، پراکسیداز، آسکورباتپراکسیداز، پلیفنل‌اکسیداز و نیز آنزیم پروتتاز در پاسخ به تیمارهای سلنیوم افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی. آسکورباتپراکسیداز، پلیفنل‌اکسیداز، پلیفنل‌اکسیداز، کاتالاز، فنل، مالون‌دی‌آلدید

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

Shiva Tabatabai Rudsari¹, Alireza Iranbakhsh¹, Mansoure Shamili² & Zahra Oraghi Ardabili³

¹Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran; ²Horticulture Department, Agriculture Faculty, Nanoscience, Nanotechnology and nanomaterials Research Center, Hormoz Research Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran; ³Department 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 annum* 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

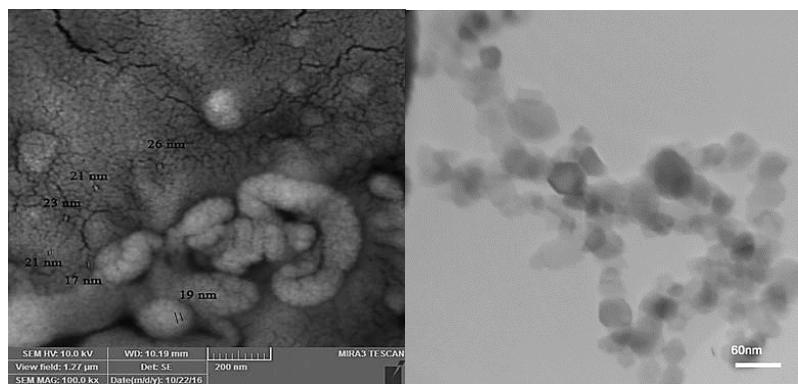
مقدمه

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). خشندی نمودن رادیکال‌های آزاد اکسیژن، کاهش خسارت ناشی از تنش‌های اکسیداتیو و ممانعت از بروز سرطان، از جمله اثرات مفید ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در فلفل دلمه‌ای است (Mardanlu et al., 2014).

تنش‌های زیستی رشد و تولید گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. عدمه‌ترین تغییرات بیوشیمیایی 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 شاخصاره و تغییر در وزن تر و خشک را به همراه دارند (Bhantana & Lazarovich, 2010).

سلنیوم از نظر خواص شیمیایی مشابه گوگرد است و این تشابه در فرآیندهای جایگزینی سلول تأثیر گذاشته و جایگزینی آن به جای گوگرد در پروتئین‌ها و دیگر ترکیبات گوگردی را موجب می‌گردد. گیاهان، سلنیوم را به Se-methionine تبدیل و آن را به جای متیونین در پروتئین قرار می‌دهند (Tapiero et al., 2003). گیاهانی که با سلنیوم تغذیه شده‌اند، تجمع نشاسته در کلوبلاست‌های آن‌ها افزایش بافتی و همچنین نقش تنظیم کنندگی آن در تنظیم وضعیت آبی گیاه تحت شرایط تنش خشکی به اثبات رسیده است. همچنین این عنصر می‌تواند 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 می‌تواند در طی افزایش محتوای کاروتونوپیید باشد، زیرا کاروتونوپییدها کلروفیل را از تخریب اکسیداسیون نوری حفاظت می‌کنند (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 وزن خشک و تر گردیده است (Daryaei, 2015). همچنین سلنانت سدیم ۱۰ میلی‌گرم‌در‌لیتر) با افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز و فنل، درنهایت محتوای سلنیوم و رشد اندام‌هایی را در پادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) افزایش داده است (Habibi et al., 2016).

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 محلول پاشی نانوذره سلنیوم (۰،۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و سلنانتسدیم (۰،۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) بر پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه فلفل دلمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.



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

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

تهیه عصاره آنزیمی

عصاره آنزیمی از نیم گرم برگ تازه با استفاده از بافر استخراج ۱۰۰ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار، ۰/۰۳۷۲ گرم EDTA و یک گرم (PVP) استخراج شد.

سنجش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان
سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش اسپیکتروفوتومتری در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از محیط واکنش محتوی بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی لیتر و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی مولار انجام شد (Dazy et al., 2008). فعالیت آنزیم پراکسیداز با ثبت تغییر در جذب در دقیقه در طول موج ۴۷۰ نانومتر بعد از افروzen عصاره آنزیمی به محیط واکنش حاوی افزایش فعالیت آنزیم پتاسیم ۵۰ میلی مولار و گوایکول ۱۳ میلی مولار و پراکسید هیدروژن ۵ میلی مولار تعیین شد (Nakano & Asada, 1981). عصاره آنزیمی و محیط واکنش آنزیم آسکوربات پراکسیداز حاوی ۶۰ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار، ۰/۰۰۲۳ گرم ۰/۱ میلی مولار، و ۰/۰۰۵۳ گرم آسکوربات نیم میلی مولار به درون کووت ریخته شد. در مرحله بعد، ۲/۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی مولار 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، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به همراه ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار و ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۲۰ میلی لیتر 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 کاژئین یک درصد محلول و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد. سپس ۴۰۰ میکرولیتر ۱۰ درصد TCA به آن اضافه و مجدداً ۲۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد. پس از

مواد و روش ها

بذرهاي گیاه فلفل دلمهای (*Capsicum annum*) رقم POP Vriend Seeds F1 از شرکت Cavendish (کشور هلند) تهیه گردید. سلنات سدیم (به عنوان 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 area: 30-50 m²/g)، رنگ: خاکستری، شکل: تقریباً کروی، چگالی: ۳.۸۹ g/cm³ است. مورفولوژی نانوذرات سلنیوم در شکل ۱ آمده است. پژوهش به صورت فاکتوریل در سه تکرار طراحی شد. فاکتورها شامل محلول پاشی با سطوح نانوذره سلنیوم و سلنات سدیم بود. بذرهاي ضد عفونی شده در پتری دیش کشت شده و بعد از جوانه زنی و رسیدن به مرحله ۴ برگی (۷۰ روز بعد از کاشت) در گلدازندهایی با حجم ۲ لیتر (بستر قرار گرفتند، با محلول غذایی هوگلند کامل تغذیه شدند و در شرایط نور خورشید در دمای ۲۰±۳ درجه سانتی گراد و رطوبت ۵ ± ۴۵ درصد رشد یافتند. از مرحله ۶ برگی (۸۴ روز بعد از کاشت)، محلول پاشی گیاهان ۴ بار، به صورت یک هفتۀ در میان (به منظور کاهش احتمال آسیب دیدگی گیاهان با تیمارها) با نانوذره سلنیوم (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر) و سلنات سدیم (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر) به صورت اسپری برگی انجام شد. دو روز بعد از آخرین تیمار (۱۳۵ روز بعد از کاشت) نمونه گیری از برگ جهت سنجش فعالیت کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، پروتئاز، پلی فنل اکسیداز، محتوای پروولین، مالون دی آلدید، فنل کل، پراکسیدهیدروژن، تیول های پروتئینی و غیر پروتئینی انجام شد. همچنین وزن تر و خشک ساقه و ریشه سنجش شد.

سنجش محتوای تیول‌های پروتئینی و غیرپروتئینی

۰/۱ گرم برگ به کمک ۲ میلی لیتر آسکوربیات سدیم 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 ۲۰ میلی مولار (تهیه شده در بافر فسفات DTNB میلی مولار) به آن اضافه شد. بعد از قرار گرفتن نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه، تیول پروتئینی در طول موج ۴۱۵nm 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 ۴۱۵nm قرائت و محتواهای تیول‌های غیرپروتئینی محاسبه شد (De Kok & Kuiper 1986).

سنجش وزن تر و وزن خشک نمونه‌ها

۸۰ درجه سليسيوس فرگفتند و درنهایت با ترازو وزن شدند.
۸۰ درجه سليسيوس فرگفتند و درنهایت با ترازو وزن شدند.
آوردن وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای
دیجيتال (با دقت ۰/۰۰۱) توزين شدند. سپس برای به دست
به منظور تعیین وزن تر، ریشه و بخش هوايی توسط ترازوی

آنالیز آماری، داده‌ها

این آزمایش به صورت 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 به عنوان متغیر مستقل انجام شد. آزمون LSD برای مقایسه میانگین انجام شد. آنالیز واریانس توسط نرم‌افزار SPSS ($P < 0.05$) انجام شد. آنالیز واریانس version24 صورت گرفت. خطوط بار بر روی ستون‌های نمودارها میانگین سه تکرار، به علاوه و منهای انحراف معیار هستند.

نتائج

نتایج تأثیر معنی دار نوع و غلظت سلنیوم بر محتوای کاتالاز را
نشان داد. بیشترین محتوای کاتالاز به نانوذره سلنیوم ۲۰ میلی گرم در لیتر تعلق داشت (۱۹۹۵/۷۲) میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه. هرچند تیمار با هر دو ترکیب روندی سعودی در فعالیت آنزیم مذکور را باعث گردید اما بین غلظت ۵ میلی گرم 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

سانتریفیوژ (١٠٠٠ دور در دقیقه)، جذب عصاره در طول موج نانومتر سنجش، شد (Kar & Mishra, 1976).

سنچش 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 روبی 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 ورتسک 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:

($\mu\text{g proline}/\text{ml} \times \text{ml toluene}) / 115.5 \times 5/\text{g sample}$
سنچش محتوای مالون دی آلدئید

۰/۵ گرم برگ تازه با ۵ میکرولیتر TCA یک درصد همگن شد. سپس نمونه‌ها سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۵ دقیقه) شدند و ۲۵ میکرولیتر از هر نمونه به میکروتیوب منتقل شد. سپس به هر نمونه ۱ میکرولیتر MDA (حاوی TCA ۵ درصد و ۹۵ درصد) اضافه و ۳۰ دقیقه در حمام بن ماری ۹۵ درجه انکوبه شدند. نمونه‌ها به بیخ منتقل شده و پس از آن ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. درنهایت جذب عصاره در طول موج‌های ۶۰ و ۵۲۳۰ قائل شد (Alexieva et al., 2001).

سنجش، محتوای، فنل، کل

۱۰۰ 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 نرخ قرائت شد. (Spanos & Wrolstad, 1990)

سنچش محتوای پراکسیدهیدروژن

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

در کمترین سطح نانو سلنیوم ($10/88$ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) با تیمارهای شاهد ($10/59$ و $10/41$ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) اختلاف معنی داری 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 (شکل 4b,c). بیشترین میزان تیول‌های پروتئینی و غیرپروتئینی (به ترتیب $191/64$ و $132/17$ میکرومول در یک گرم وزن تازه) به گیاهان تیمار شده با 20 میلی‌گرم‌دلیتر سلنات‌سدیم تعلق داشتند.

تیمار با سلنیوم به هر دو فرم باعث افزایش وزن‌تر (شکل 5a) و کاهش وزن خشک ریشه (شکل 5b) در گیاه فلفل دلمه شد. بالاترین وزن‌تر ریشه مربوط به غلظت سلنات‌سدیم با 20 و 10 میلی‌گرم‌برلیتر (به ترتیب $46/5$ و $45/5$ گرم) بود. بیشترین میزان وزن خشک ریشه نیز به تیمارهای شاهد (61 و $60/5$ 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 10 و 20 گرم) تعلق داشت (شکل 5c,d).

بحث و نتیجه گیری

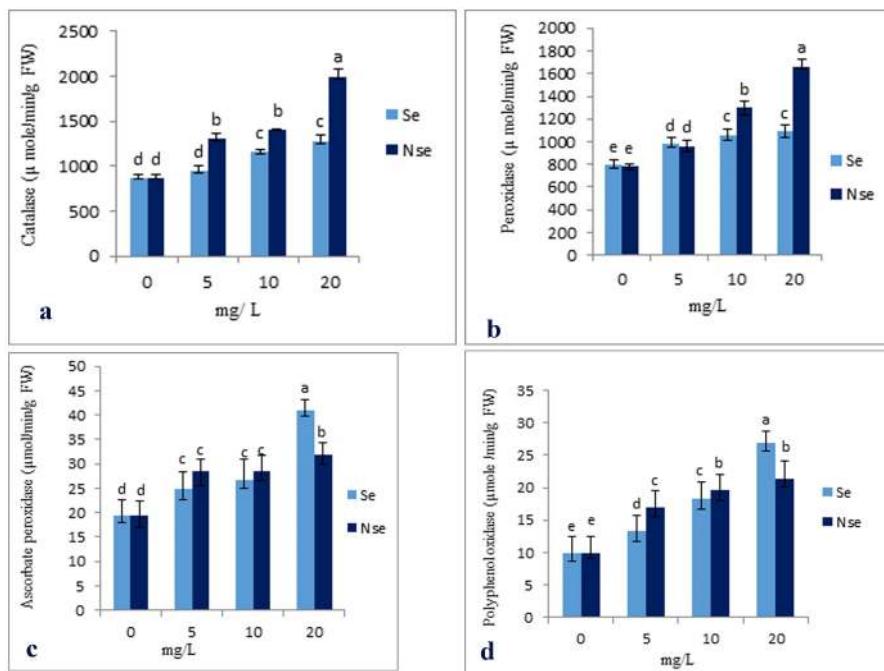
گیاهان برای مقابله با تنش‌های زیستی به مکانسیم‌های آنزیمی (آسکوربات‌پراکسیداز، سوپراکسیدیدیس‌متوار، کاتالاز، گلوتاتیون‌ردوکتاز) و غیرآنژمی (کاروتونئید، فلاونوئید، آسکوربات، Ahmed et al., 2009) گلوتاتیون و توکوفرول) مجهز شده‌اند (Ahmed et al., 2009). کاتالاز آنزیمی است که در متابولیسم زنجیره طولانی اسیدهای 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). آسکوربات‌پراکسیداز که از اسید آسکوربیک به عنوان 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).

دو ترکیب سلنات‌سدیم و نانو سلنیوم موجب روند صعودی در فعالیت آنزیم‌ها گردید. بیشترین فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان تیمار شده با نانو‌سلنیوم و بالاترین میزان آسکوربات‌پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در تیمار با سلنات‌سدیم مشاهده شد.

وزن تازه)، اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل 2a). تیمار با سلنات‌سدیم و نانوذره سلنیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد، این افزایش در تیمار نانوذره مشهودتر بود. بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز ($166/82$ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) به غلظت 20 میلی‌گرم‌دلیتر نانوذره سلنیوم تعلق داشت. کمترین فعالیت آنزیم در تیمار شاهد سلنیوم ($779/12$ و $793/36$ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) مشاهده شد. بین غلظت‌های 10 و 20 میلی‌گرم‌دلیتر سلنات‌سدیم اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل 2b). سطوح مختلف هر دو تیمار، میزان فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز افزایش داد. بیشترین فعالیت آنزیم ($40/91$ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) مربوط به گیاهان تیمار شده با سلنات‌سدیم با غلظت 20 میلی‌گرم‌برلیتر بود. بین سطوح 5 و 10 میلی‌گرم‌برلیتر از هر دو تیمار اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل 2c). حضور سلنیوم به هر دو فرم سلنات‌سدیم و نانوذره سلنیوم، فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز را افزایش داد. بیشترین میزان فعالیت به تیمار 20 و 10 میلی‌گرم‌دلیتر از سلنات‌سدیم ($21/33$ و $26/84$ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) تعلق داشت. افزایش فعالیت آنزیم در گیاهان تیمار شده با سلنات‌سدیم بیشتر بود (شکل 2d).

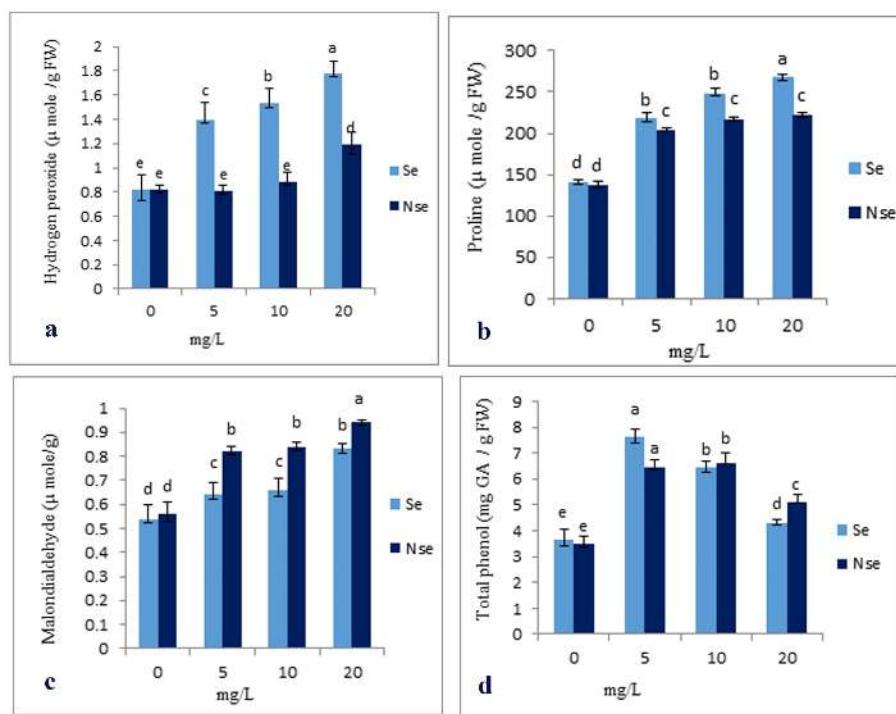
سلنات‌سدیم موجب افزایش معنی دار در محتوای پراکسید هیدروژن شد. تاثیر نانوذره سلنیوم تا غلظت 10 میلی‌گرم‌دلیتر با شاهد اختلاف معنی داری نداشت. بیشترین میزان پراکسید هیدروژن به غلظت 20 میلی‌گرم‌دلیتر از سلنات‌سدیم ($1/78$) میکرومول در یک گرم وزن تازه) تعلق داشت (شکل 3a). تیمار با نانوذره سلنیوم و سلنات‌سدیم، موجب افزایش محتوای پرولین شد. این افزایش در سلنات‌سدیم بیشتر بود. بیشترین میزان پرولین به غلظت 20 میلی‌گرم‌برلیتر سلنات‌سدیم ($266/67$ میکرومول در گرم وزن تازه) تعلق داشت (شکل 3b). سلنات‌سدیم و نانوذره سلنیوم باعث افزایش میزان مالون دی‌آلدئید شد و بیشترین میزان به غلظت 20 میلی‌گرم‌دلیتر نانوذره سلنیوم تا 10 میلی‌گرم‌مول در گرم) تعلق دارد (شکل 3c). نانوذره سلنیوم تا 10 میلی‌گرم‌دلیتر باعث افزایش میزان فنل کل شد، در حالی که سلنات‌سدیم تا 5 میلی‌گرم‌دلیتر باعث افزایش و در غلظت‌های بالاتر از 5 میلی‌گرم‌دلیتر 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 20 و 10 میلی‌گرم‌دلیتر از سلنات‌سدیم (به ترتیب $16/35$ و $15/92$ میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) بود. فعالیت آنزیم



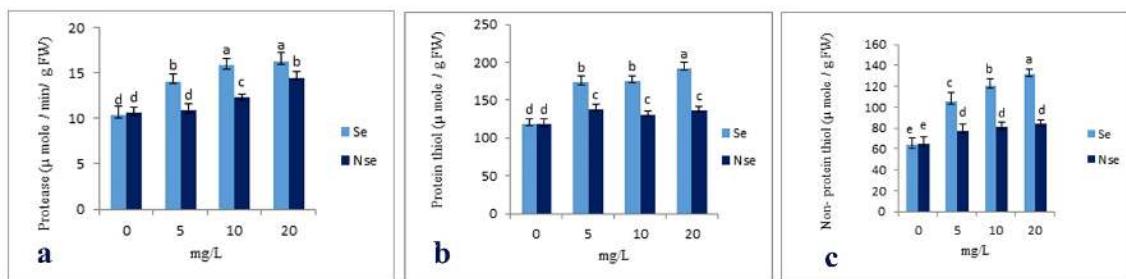
شکل ۲- برهمنکش نوع و غلظت سلنیوم بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان شامل کاتالاز (a)، پراکسیداز (b)، آسکوربات پراکسیداز (c) و پلی فنل اکسیداز (d).

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).



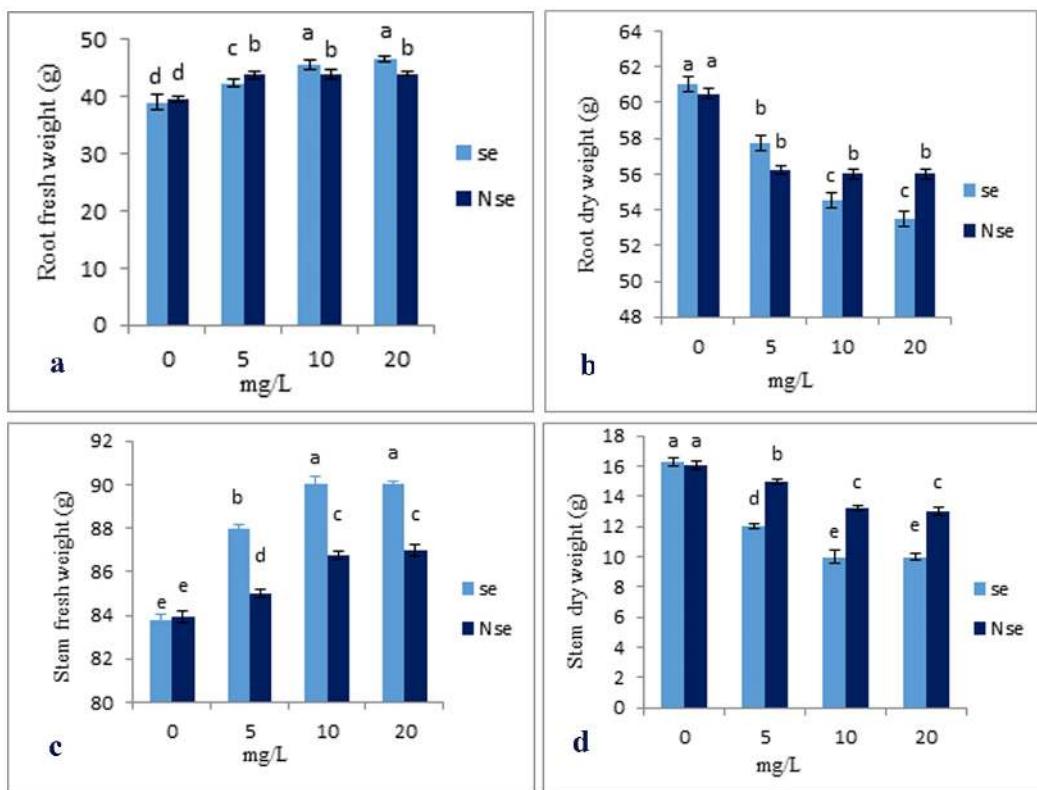
شکل ۳- برهمنکش نوع و غلظت سلنیوم بر میزان پراکسیدهیدروژن (a)، پرولین (b)، مالون دی آلدید (c) و فنل کل (d).

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).



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).

Rajaee (*Momordica charantia*) گردیده است (Behbahani et al., 2020). سلنیوم در گیاه سیر (*Allium sativum*) تحت تنش کادمیوم، فعالیت آنزیم های آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پلیفنل اکسیداز را افزایش داد (Namdar & Bahremand, 2019). در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) نیز نانو اکسیدروی (۱۰ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر) فعالیت آنزیم پلیفنل اکسیداز افزایش داد (Davari et al., 2018).

این نتایج، تفاوت در پاسخ گیاه را به نوع ماده نشان می دهد. افزایش غلظت سلنیات سدیم میزان فعالیت کاتالاز در گیاه Najafi et al., (2018) را افزایش داد (*Helianthus annuus*). فعالیت پراکسیداز در ریشه گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis L.*) تیمار شده با اکسید روی و نانو ذرات سلنیوم به طور قابل توجهی افزایش داشته است (Babajani et al., 2019). نانو سلنیوم موجب تحريك فعالیت آنزیم های پراکسیداز (۳۵٪) و کاتالاز (۱۰٪) در ریشه خریزه تلح

است (Shekari et al., 2017). اما در گوجه فرنگی بدون تأثیر معنی‌دار بود (Abolghasemi & Haghghi, 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 تنفس‌های زیستی و غیرزیستی رخ می‌دهد. همچنین پروتئولیز یکی از اجزای توأم با تنفس اکسیداتیو ناشی از فلزات سنگین است (Palma et al., 2002). استرس اکسیداتیو، پروتئین‌های اکسیده شده تولید می‌کند که به صورت انتخابی توسط پروتئازها تخریب می‌شوند (Nakano & Asada, 1981). پروتئازها در بسیاری از جنبه‌های حیات گیاه، از جمله تجزیه ماکرولکول‌های نظیر پروتئین‌ها، جابجایی پروتئین‌های ذخیره‌ای، اندامزائی، ریتم‌های ساعت بیولوژیک، شناسائی پاتوژن‌ها، پیری و مرگ سلولی، نقش دارند (Konno et al., 2004).

با این حال شرایط بیرونی (تنفس‌های 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 et al., 2016). همچنین مقدار تیول‌های غیرپروتئینی در تیمار با سلنیوم نسبت به کنترل، افزایش یافتند (Homae & Ehsanpour, 2016).

در این مطالعه، مواجه با سلنیوم سدیم و نانوذره سلنیوم باعث افزایش در فعالیت پروتئاز و محتوای تیول‌ها گردید که این افزایش در گیاهان تیمار شده با سلنیوم سدیم بیشتر بود. این افزایش با توجه به فزونی محسوس پراکسیدهیدرژن و مالون دی‌آلدئید 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 می‌شود 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 فتوستتری، کاهش فتوستتر (Chen et al., 2005)، مختل شدن جذب مواد غذایی و تنفس ثانویه اکسیداتیو (John et al., 2009) باشد. سطوح

در تحقیق حاضر تنش اکسیداتیو ناشی از تیمار با سلنیوم باعث افزایش در محتوای پراکسیدهیدرژن و مالون دی‌آلدئید گردید که میزان افزایش در گیاهان تیمار شده با سلنیوم سدیم بیشتر بود. در گوجه فرنگی محتوای مالون دی‌آلدئید، پراکسیدهیدرژن و پرولین تحت استرس کدامیوم (Neysanian et al., 2019) و نانو سلنیوم (Rahmatizadeh et al., 2020) به طور قابل توجهی افزایش یافت. در صورت بروز تنفس اکسیداتیو، افزایش H_2O_2 با صدمه به سلول، نقشی تخریبی دارد. یکی از واکنش‌هایی که در حضور مقادیر بالای تولید شده از پراکسیدهیدرژن سرعت بیشتری دارد، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا است که باعث تولید آلدئیدهای نظیر مالون دی‌آلدئید می‌شود. میزان پراکسیداسیون لیپید در گیاهان برای ارزیابی اثر تنفس‌های محیطی استفاده می‌شود.

در این تحقیق تیمار با نانوذره سلنیوم و سلنیوم سدیم، موجب افزایش محتوای پرولین شد که با افزایش پرولین خیار در تنفس خشکی همخوانی دارد (Amin et al., 2016). افزایش در محتوای پرولین در گیاهان مواجه شده با تنفس‌های زیستی به افزایش در اورنیتین آمینو‌ترنسفراز (Ornithine aminotransferase) پرولین-5-کربوکسیلات‌ردوکتاز (Pyrroline-5-carboxylate reductase) و کاهش در پرولین اکسیداز (Proline oxidase) و پرولین کربوکسیلаз (Proline carboxylase) نسبت داده شده است (Sharma et al., 2011).

ترکیبات فنلی (شامل فنلهای ساده، فنلهای اسیدی، چالکون‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها) به طور 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 میلی‌گرم‌دلیتر از دو ترکیب مؤثر بود و در غلظت‌های بالاتر افزایش در محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای جاروب کردن آثار تنفس اکسیداتیو موثرتر بودند. کاهش فنلهای 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

REFERENCES

- Abolghasemi, R. & Haghghi, 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 & Haghiri, 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 Homae, 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.
- مختلف نانوسلنیوم، سلنیت‌سدیم و سلنات‌سدیم اثر معنی‌داری بر وزن تر برگ، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر ساقه پیاز (*Allium cepa* L.) داشته است (Ameriyan et al., 2015) نانواسیدآهن (۱، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم‌لیتر) موجب افزایش ارتفاع، وزن تر ریشه، ساقه و برگ شده است. در گیاهان گندم تیمار شده با نانوسلنیوم نیز، وزن خشک در گیاهان تیمار شده با نانوسلنیوم ۵۰ میلی‌گرم‌لیتر، به طور قابل توجهی در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرد (Safari et al., 2018).
- در این تحقیق پاسخ فیزیولوژیک و آنتی‌اسیدانی 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 میلی‌گرم‌لیتر باعث بروز تنفس اکسیداتیو و در نتیجه افزایش محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون دی‌آلدئید گردید. پاسخ دفاعی گیاه افزایش در میزان فل، پرولین و تیولها بود. همچنین افزایش محسوس در فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان تیمار شده با نانوسلنیوم و فعالیت بارز آسکوربات‌پراکسیداز، پلی‌فلن‌اسیداز 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 می‌توان پیشنهاد کرد که بکارگیری سلنیوم در غلط مناسب می‌تواند اثرات مشتبی بر فیزیولوژی گیاه داشته باشد. از طرف دیگر نتایج این تحقیق به خوبی نسبت به شمیت سلنیوم در غلط نامناسب هشدار می‌دهد.

سپاسگزاری

مولفین از کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های واحد علوم و تحقیقات تشکر و قدردانی می‌کنند.

- 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., Férand, 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 *Ricinus 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 nan-anatase in spinach chloroplasts under UV-B radiation. *Journal of Biological Tace Element Rsearch* 121: 69-79.
- Mardanlu, S., Souri, M. & Dehnavorad, 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.

- Pourakbar, I.** 2011. Effects of cadmium on some biochemical parameters and nitrate reductase 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 H₂O₂ 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 Nejad, F.** 2019. Response of tomato plants to interaction effects of magnetic (Fe₃O₄) nanoparticles and cadmium stress. Journal of Plant Interactions 14: 474-481.
- Rajaei 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 A4A (HSFA4A), 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 Rudbari, 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 annum* L.). Nova Biologica Reporta 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، ۳۰۶-۳۹۶: ۹.