



## Effect of nanoselenium and sodium selenate on some physiological and biochemical parameters of Vasha (*Dorema ammoniacum* L.)

Elham Abedi<sup>1</sup>, Ramazan Ali Khavari-nejad<sup>2</sup>, Laleh Mosharraf<sup>3\*</sup>,  
Sara Saadatmand<sup>4</sup>, Hossein Ali Asadi- Gharneh<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Biology, Faculty of Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,  
E-mail: [elham.abedi@srbiau.ac.ir](mailto:elham.abedi@srbiau.ac.ir)

<sup>2</sup> Department of Biology, Faculty of Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,  
E-mail: [ra.khavarinejad@gmail.com](mailto:ra.khavarinejad@gmail.com)

<sup>3</sup> Department of Agricultural Engineering Research, Isfahan Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran, E-mail: [L.mosharaf@areeo.ac.ir](mailto:L.mosharaf@areeo.ac.ir)

<sup>4</sup> Department of Biology, Faculty of Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,  
E-mail: [Saadatmandsara@gmail.com](mailto:Saadatmandsara@gmail.com)

<sup>5</sup> Department of Horticultural Science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran,  
E-mail: [h.asadi@khuisf.ac.ir](mailto:h.asadi@khuisf.ac.ir)

### Article type:

Research Full Paper

### Abstract

Selenium with antioxidant properties has positive effects on growth and development of biological activities of many plants, although its excessive levels in soil causes physiological problems. This study was conducted to investigate the effect of selenium (bulk) and nano-selenium on some physiological and biochemical properties of Vasha, in a completely randomized experiment. Selenium was applied in nutrient solution as sodium selenate (0, 2.5, 5, and 10 mg L<sup>-1</sup> concentrations) and as nano-selenium (0, 2.5, 5, 10, and 20 mg L<sup>-1</sup> concentrations). Results showed that application of both bulk and nano-Se treatments significantly increased plant growth parameters, i.e. root and shoot lengths and fresh and dry weights as well as the content of photosynthetic pigments, total flavonoids, total phenols, anthocyanins, and carbohydrate contents under 2.5 mg L<sup>-1</sup> and 10 mg L<sup>-1</sup> of selenium and nano-selenium, respectively. In addition, these concentrations were associated with a significant increase in plant antioxidant activity. Moreover, all treatments reduced malondialdehyde contents of the plants under study. The maximum increase in chlorophyll *a* was observed in the treatment with 10 mg L<sup>-1</sup> nano-Se, which decreased with increasing selenium concentration compared to the control treatment. The results also showed that the positive effects of selenium on the growth and increasing phenolic compounds depend on the type and concentration of selenium application.

### Article history

Received: 16.03.2022

Revised: 30.04.2022

Accepted: 06.05.2022

Published: 24.06.2023

### Keywords

Anthocyanin  
Chlorophyll  
Flavonoid  
Nanoselenium  
Phenolic compounds  
Vasha (*Dorema ammoniacum* L.)

**Cite this article as:** Abedi, E., Khavari-nejad, R.A., Mosharraf, L., Saadatmand, S., Asadi-Gharneh, H.A. (2023). Effect of nanoselenium and sodium selenate on some physiological and biochemical parameters of Vasha (*Dorema ammoniacum* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 70(2): 138-153.




©The author(s)

Doi: 10.30495/iper.2022.1955136.1783

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.70.9.9

## تأثیر نانوسلنیوم و سلنات سدیم بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه وشا (*Dorema ammomiaceum* L.)

الهام عابدی<sup>۱</sup>، رمضانعلی خاوری نژاد<sup>۲</sup>، لاله مشرف<sup>۳\*</sup>، سارا سعادت‌مند<sup>۴</sup>، حسینعلی اسدی قارنه<sup>۵</sup> 

<sup>۱</sup> گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: elham.abedi@srbiau.ac.ir

<sup>۲</sup> گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: ra.khavarinejad@gmail.com

<sup>۳</sup> گروه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران، رایانامه: l.mosharaf@areeo.ac.ir

<sup>۴</sup> گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: Sadatmandsara@gmail.com

<sup>۵</sup> گروه علوم باغبانی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، رایانامه: h.asadi@khuis.ac.ir

### چکیده

### نوع مقاله:

مقاله کامل علمی-پژوهشی

سلنیوم با خواص آنتی‌اکسیدانی، اثرات مثبتی بر رشد و بهبود بسیاری از فعالیت‌های بیولوژیکی گیاه دارد، اما سطوح بیش از حد آن در خاک باعث بروز اختلالات فیزیولوژیکی در گیاهان می‌گردد. این مطالعه به منظور بررسی اثر سلنیوم (بالک) و نانوسلنیوم بر رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه وشا از خانواده Apiaceae به صورت آزمایش کاملاً تصادفی اجرا گردید. سلنیوم به شکل سلنات سدیم در غلظت‌های (۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نانوسلنیوم در غلظت‌های (۰، ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) به محلول غذایی اضافه شد. نتایج نشان داد کاربرد هر دو تیمار نانو سلنیوم و سلنات بالک به طور معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گیاه (طول ریشه و اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی) تأثیرگذار بود. بیشترین میزان محتوای رنگدانه فتوستتزی (کلروفیل *a*، کاروتنوئید)، کربوهیدرات، پروتئین، فلاونوئید کل، آنتوسیانین و همچنین فنل کل به ترتیب در ۲/۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و نانوسلنیوم مشاهده گردید. همچنین بیشترین میزان کلروفیل *a* در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو سلنیوم مشاهده شد که با افزایش غلظت سلنیوم نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. در غلظت‌های فوق افزایش چشمگیر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان گیاه مشاهده گردید. در نهایت، سطح مالون دی‌آلدئید در کلیه گیاهان تحت تیمار کاهش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر مثبت سلنیوم بر رشد و افزایش ترکیبات فنلی بستگی به نوع و غلظت سلنیوم مصرفی دارد.

### واژه‌های کلیدی:

آنتوسیانین

ترکیبات فنلی

فلاونوئید

کلروفیل

نانوسلنیوم

وشا

(*Dorema ammomiaceum* L.)

استناد: عابدی، الهام؛ خاوری نژاد، رمضانعلی؛ مشرف، لاله؛ سعادت‌مند، سارا؛ اسدی قارنه؛ حسینعلی. (۱۴۰۲). تأثیر نانو سلنیوم و سلنات

سدیم بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه وشا (*Dorema ammomiaceum* L.). فیزیولوژی محیطی

گیاهی، ۷۰ (۲)، ۱۳۸-۱۵۳.

Doi: 10.30495/iper.2022.1955136.1783

Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.70.9.9

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.



## مقدمه

(Sotoodehnia-Korani, et al., 2020). همه چیز بین سلنیوم جز ساختاری گلو تاتیون پراکسیداز (GSH-Pxs)، به عنوان یک سد آنتی اکسیدانی جهت محافظت ارگانیزم‌ها از اثرات مخرب محصولات مضر متابولیسم سلولی از جمله گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شناخته شده است (Pedrero and Madrid, 2018; Hu et al., 2018). سلنیوم در غلظت‌های کم با تنظیم مسیرهای متابولیکی ثانویه جهت سنتز فیتوهورمون‌ها، فلاون‌ها و سایر متابولیت‌ها، موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر انواع تنش‌های محیطی می‌شود (Schiavon et al., 2013)، اما در غلظت‌های بالا به دلیل پیوند سلنیوم به جای سولفور در آمینواسیدها سبب تغییر ساختار سه بعدی پروتئین و اختلال در کار آنزیم‌ها می‌شود (Hernández et al., 2019). علائم ناشی از سمیت سلنیوم در گیاهان شامل کاهش رشد، کلروزه شدن، پژمرده و پلا سیده شدن اندام‌های هوایی و ریشه گیاه می‌باشد (Mangiapanè and Pessione, 2014). به نظر می‌رسد گیاهان انباشت کننده سلنیوم در جذب و تجمع سلنیوم و همچنین تحمل غلظت‌های بالای سلنیوم موجود در محیط ریشه توانایی بالاتری داشته و حضور Se سبب تجمع دو برابری زیست توده در این گیاهان شده است (Kaur et al., 2014). همچنین تحقیقات نشان داده است کاربرد سلنیوم باعث افزایش مقاومت در برابر گیاهخواران و پاتوژن‌های حساس به Se در این گیاهان می‌گردد (Quinn et al., 2010). با این حال، حد سمیت و مفید سلنیوم به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان همچنان بحث برانگیز است، اما بسته به غلظت، شکل شیمیایی و فراهمی زیستی آن در خاک و میکروارگانیزم‌های خاک، اثر دوگانه‌ای را می‌تواند نشان دهد (Zhu et al., 2009).

و شبا با نام علمی (*Dorema ammoniacum*) (D. Don) متعلق به خانواده Apiaceae، گونه ای علفی، چند ساله و منوکارپ با ساقه‌های حداکثر ۱-۲ متر ارتفاع، حاوی مجاری صمغ است. از آنجایی که پراکندگی رویشگاه *D.ammoniacum* صرفاً در مناطق خشک و نیمه خشک ایران (Gholami and Faravani, 2015) و برخی از کشورهای همسایه مانند افغانستان، پاکستان و شمال هند است، پس می‌توان آن را به عنوان گونه‌ای کمیاب و با ارزش به شمار آورد (Irvani et al., 2010). رزین صمغ این گیاه دارای خواص دارویی و صنعتی بوده و در درمان دردهای اسپاستیک، عفونت‌های انگلی روده‌ای، التهابات پوستی در طب سنتی مورد توجه قرار گرفته است (Amiri and Joharchi, 2016). به طور خاص، مشخص شده است که گیاه و شا سرشار از ترکیبات فنولیک مانند سزکوی ترپن، کومارین و فلاونوئید می‌باشد که سهم اصلی را در خواص آنتی اکسیدانی این گونه دارند (Nazir et al., 2021).

سلنیوم (Se) با عدد اتمی ۳۴ عنصری کم مصرف است، که میزان آن در خاک معمولاً بین ۰/۱ تا ۱۰ میکروگرم در گرم متغیر است، همچنین به دلیل تشابه شیمیایی سلنیوم با گوگرد (S) مسیری مشابه برای جذب و انتقال در گیاهان دارد. اگرچه همه گیاهان عالی اساساً نیازی به سلنیوم ندارند و سطح تحمل پایینی از خود نشان می‌دهند، ولی توجه ویژه ای به تأثیر مثبت آن بر عملکرد متابولیک گیاه در غلظت‌های پایین شده است (Lyons et al., 2009). نقش مهم سلنیوم به دلیل شرکت آن در ساختمان سلنوآنزیم‌ها و مشارکت در هموستاز ردوکس، تنظیم جذب و بازتوزیع عناصر ضروری همراه با سایر آنتی اکسیدان‌های آنزیمی مشخص شده است

## 1. Accumulators

نانوسلنیوم و سلنیوم بر رشد و عملکرد گیاه و شا تأثیر داشته باشد. جستجو در منابع نشان می‌دهد تاکنون گزارشی مبنی بر اثر این عنصر بر رشد و فیزیولوژی گیاه و شا صورت نگرفته است. لذا در این آزمایش سعی شده است اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم و نانوسلنیوم بر ویژگی‌های رشدی و برخی خواص فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی *D. ammoniacum* بررسی شود.

### مواد و روش‌ها

**شرایط و نحوه کشت:** بذره‌های بالغ *Dorema ammoniacum* (Lat: 361 270 N; Lon: 591 630 E) از شرکت پاکان بذرافشان تهیه شد. ۸ گروه تیمار شامل غلظت‌های مختلف سلنات سدیم (۰، ۲/۵، ۵، ۱۰ میلی گرم بر لیتر) و نانوسلنیوم (۰، ۲/۵، ۵، ۱۰ میلی گرم بر لیتر) به محلول غذایی هوگلند اضافه شد. خصوصیات نانوسلنیوم مورد استفاده از شرکت پیشگامان نانومواد ایران در جدول ۱ ذکر شده است. بذرها به طور تصادفی انتخاب و به مدت ۳ دقیقه با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۲٪ استریل شد و سپس سه بار با آب مقطر شسته شدند. بذره‌های و شا جهت حذف اثرات پیچیده خاک، در گلدان‌های پلاستیکی حاوی پرلیت در عمق اسانتیمتری در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط کنترل شده گلخانه مرکز تحقیقات اصفهان (عرض جغرافیایی جنوبی ۲۵۳ ۵۱، عرض جغرافیایی شمالی ۱۸ ۲۳۷) پرورش داده شدند. گیاهچه‌های دو برگی یک هفته به وسیله محلول هوگلند هر سه روز یک بار آبیاری شدند. سپس تیمار نانوسلنیوم و سلنات سدیم بالک به مدت ۱۰ روز انجام شد.

از آنجا که نانوسلنیوم (nSe) در حالت ردوکس صفر ( $Se^0$ ) انحلال‌پذیری و واکنش‌پذیری بالاتری در مقایسه با اشکال یونی خود مانند سلنات ( $SeO_4^{2-}$ )، سلنیت ( $SeO_3^{2-}$ ) دارد به طور قابل توجهی کارآمدتر است (Chen et al., 2015). عوامل مهم متعددی بر خواص و فعالیت‌های بیولوژیکی نانوذرات از جمله شکل، اندازه، بار سطحی و گروه‌های عملکردی سطحی تأثیر می‌گذارند. در همین راستا، نانوذرات سلنیوم را می‌توان در اندازه‌ها و اشکال مختلف با استفاده از روش‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی در حضور عوامل احیا کننده‌ای مانند سیترات‌ها، الکل‌ها و اسکوربیک اسید و همچنین یک عامل تثبیت کننده برای جلوگیری از رشد خوشه‌های اتم سلنیوم از نمک سلنیوم سنتز کرد (Zhang et al. 2004). از سوی دیگر، نانوسلنیوم (nSe) در مقایسه با سایر اشکال غیر آلی سلنیوم کارایی بالاتری در تنظیم سلنوآنزیم‌ها داشته و ثبات بیشتر و سمیت کمتری را نیز نشان می‌دهد (El-Ramady et al. 2020). گزارش‌های مختلفی مبنی بر تحریک ارگانوژنز و رشد سیستم ریشه‌ای توسط تیمار نانوسلنیوم در گیاه تنباکو ارائه شده است در حالی که سلنات سدیم در همان غلظت‌ها به طور کامل اثر مهاری بر آن داشته است (Domokos- Szabolcsy et al. 2012). در گیاه گوجه فرنگی، غلظت پایین سلنات بالک و نانوسلنیوم به طور چشمگیری سبب بهبود پارامترهای رشد گیاه و محتوای کلروفیل تحت تنش دمای بالا و پایین شده است (Wadhvani et al. 2016). علاوه بر این در لوبیا خوشه‌ای، کاربرد خاکی نانوسلنیوم توانست اثربخشی قابل توجهی در افزایش رشد، عملکرد فتوسنتز و ویژگی‌های بیوشیمیایی نشان دهد (Ragavan, Ananth, and Rajan 2017). بنابراین انتظار می‌رود

جدول ۱: برخی از خصوصیات نانوسلنیوم مورد استفاده در این آزمایش (APS)، اندازه ذرات متوسط؛ SSA، مساحت سطح خاص).

خلوص	۹۹/۹۵٪
APS	۳۰ نانومتر
SSA	۳۰-۵۰ متر مربع در گرم
رنگ	قرمز
مورفولوژی	تقریباً کروی
غلظت اولیه نانوذره	۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

**سنجش رنگی‌های گیاهی:** استخراج و سنجش

کلروفیل و کاروتنوئید بر اساس روش Lichtenthaler (۱۹۸۳) انجام گردید. ۰/۵ گرم از وزن تر برگ به همراه ۳۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ درهاون چینی ساییده شد. عصاره به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰۰ دور سانتریفوژ شد. سپس جذب فاز بالایی هر یک از نمونه‌ها توسط اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۶ برای کلروفیل و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر توسط معادله زیر محاسبه شد:

$$a = 0/0127 \times A_{663} - 0/00269 \times A_{645} = \text{غلظت کلروفیل}$$

$$b = 0/0229 \times A_{645} - 0/0046 \times A_{663}$$

$$\text{غلظت کلروفیل} = 0/0202 \times A_{645} + 0/00802 \times A_{663} (a+b)$$

**سنجش آنتوسیانین:** میزان آنتوسیانین در نمونه

عصاره‌های گیاهی به روش Rapisarda و همکاران (۲۰۰۰) اندازه‌گیری شد. ابتدا نمونه‌های تر برگ به همراه محلول متانول اسیدی در هاون چینی کاملاً ساییده شده و عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۶۰۰۰ دور سانتریفوژ گردید و فاز رویی برای مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و تحت شرایط تاریکی قرار داده شد، سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای محاسبه‌ی غلظت آنتوسنین از ضریب خاموشی (۳۳۰۰۰ m M<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>) استفاده شد.

**سنجش فنل کل:** جهت استخراج فنل بر اساس روش McDonald و همکاران (۲۰۰۱)، ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول هر عصاره گیاهی به ۵ میلی‌لیتر از معرف فولین سیوکالتو با ۴ میلی‌لیتر از محلول Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> یک مولار مخلوط شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شد بعد از این مدت میزان جذب هر یک از نمونه‌ها در طول موج ۷۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. میزان فنل کل، با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

**سنجش میزان فلاونوئید:** میزان فلاونوئید به روش Chang و همکاران (۲۰۰۲) بر مبنای رنگ سنجی آلومینیوم اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم بافت تر برگ با ۱ میلی‌لیتر آب دیونیزه درهاون ساییده شد. در مرحله بعد ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول هر عصاره که با ۱/۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد مخلوط گردید و به مخلوط حاوی کلرید آلومینیوم، استات پتاسیم و آب اضافه شد. مخلوط حاصل برای مدت ۴۵ دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار داده شد. سپس جذب هر کدام در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار فلاونوئید کل به صورت میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و بیان شد.

**سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی:** میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) به روش Bhakya و همکاران (۲۰۱۶) اندازه‌گیری شد. ۲/۵ میلی‌لیتر از عصاره با ۱ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ میلی‌مولار DPPH مخلوط کرده و در شرایط تاریکی در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد سپس میزان جذب در طول موج ۲۲۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. از اسید اسکوربیک جهت کنترل مثبت و اتانول به عنوان بلانک منظور گردید. میزان مهار توسط معادله زیر تعیین شد.

$$\text{نمونه } A\% = \frac{\text{sampel}(OD) - \text{ethanol}(OD)}{DPPH(OD)} \times 100$$

سنجش میزان کربوهیدرات: میزان قندهای محلول کل با استفاده از روش فنل - اسیدسولفوریک و به روش Dubois و همکاران (۱۹۵۶) اندازه‌گیری شد و در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز به‌عنوان شاهد، بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه بیان شد.

سنجش میزان پرولین و مالون دی‌آلدئید: جهت سنجش میزان پرولین و پراکسیداسیون لیپید غشاء سلولی برگ‌ها به ترتیب از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و Heath and Packer (۱۹۶۸) استفاده شد و بر اساس واحد میکرومول بر گرم وزن تر بیان گردید. آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام گردید و تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد بیان شد.

### نتایج

#### تغییرات شاخص‌های رشد

رشد گیاهچه: نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان داد که اثر تیمارهای سلنیوم و نانوسلنیوم بر تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده (طول ساقه و ریشه، وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی) در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود. تقریباً تمام معیارهای رشد همان گونه که در جدول مشاهده می‌شود در غلظت‌های ۵ ppm و ۱۰ نانوسلنیوم و ۵ سلنات سدیم در مقایسه با کنترل به طور قابل توجهی افزایش یافت. اما کمترین مقدار وزن ریشه مربوط به گیاهان تیمار نشده (شاهد) است. همچنین بین تیمار ۱۰ و ۵ نانوسلنیوم اختلاف معنی داری مشاهده نگردید و هر دو در یک گروه آماری قرار داشتند. در همه موارد، افزایش پارامترهای رشد اغلب با نانوسلنیوم نسبت به گیاهان شاهد بسیار قابل توجه بود. علاوه بر این، افزایش جزئی در رشد با nSe20 مشاهده شد، در حالی که در Se10 کمتر پارامترهای رشد در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافت.

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاهان وشتا تحت تیمار سلنیوم و نانوسلنیوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر ریشه	وزن تر اندام‌هوایی	وزن تر خشک ریشه	وزن خشک اندام‌هوایی	کربوهیدرات	طول ساقه	طول ریشه
تیمار	۷	۱/۰۱۱**	۱/۱۱**	۰/۰۱۵**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۴**	۱/۷۴**	۰/۰۰۴۵**
خطا	۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۵	۱/۰۸۳e-۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱۴
کل	۲۳							

ns: عدم اختلاف معنی‌دار، \* معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

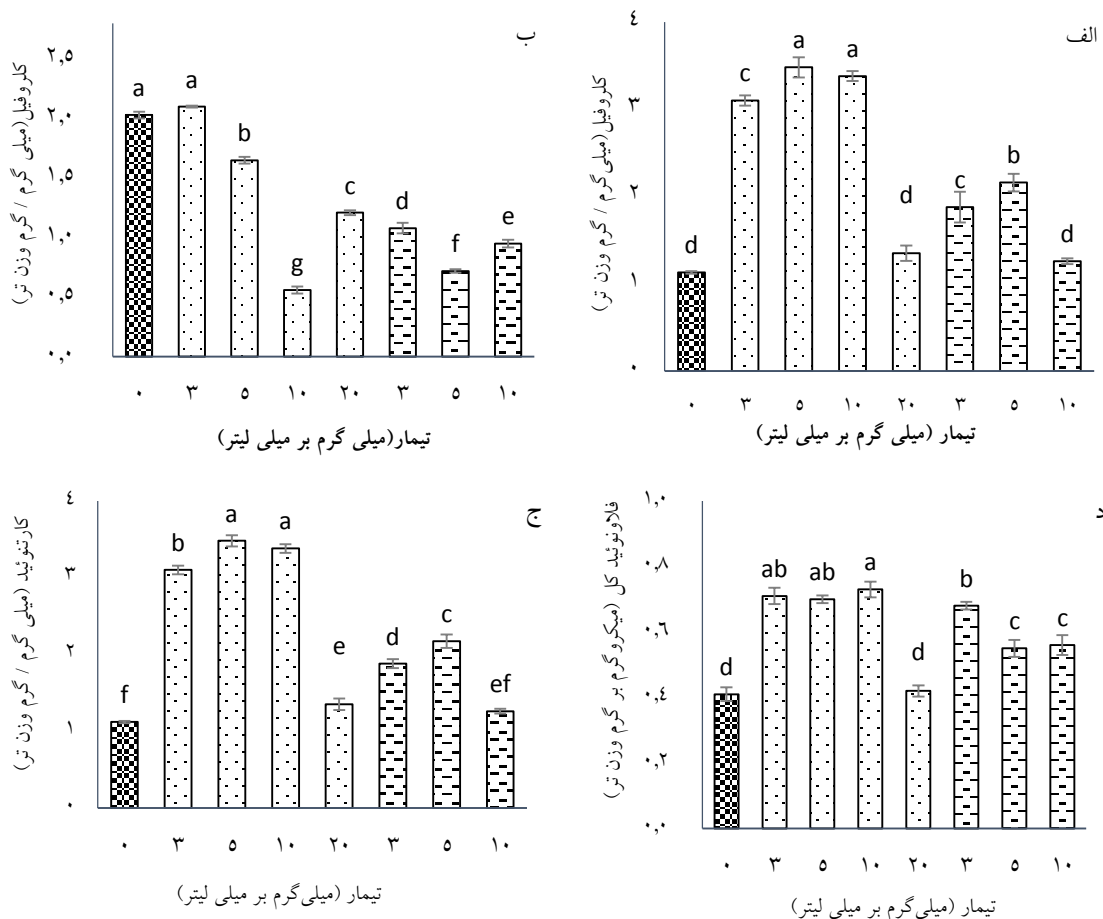
کربوهیدرات کل: داده‌های ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد مقدار کربوهیدرات تحت تاثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم قرار گرفت، مقدار کربوهیدرات در غلظت‌های ۱۰ ppm نانوسلنیوم و ۵ ppm سلنات سدیم به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت ( $P < 0/05$ ). به طوری که حداکثر میزان

کربوهیدرات در تیمار nSe10 با میانگین (۰/۲۶۳) گرم بر وزن خشک) و در تیمار Se5 بالک (۰/۲۴۳) مشاهده گردید. علاوه بر این، نتایج نشان داد که nSe10 افزایش بیشتری از محتوای کربوهیدرات را نسبت به همان غلظت در سلنات بالک در گروه شاهد نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقایسه میانگین برخی از صفات مورد مطالعه در گیاهان وشا (*Dorema ammomiacum* L.) تحت تیمارهای مختلف سلنیوم و نانوسلنیوم.

تیمار	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	طول ساقه (سانتی‌متر)	طول ریشه (سانتی‌متر)	کربوهیدرات (گرم بر وزن خشک)
کنترل	۲/۰۶f	۰/۰۴۱۷d	۴/۲۷e	۰/۰۹۵d	۳/۲۰g	۲/۷۶g	۰/۱۶e
نانوسلنیوم (۲/۵ میلی‌گرم در لیتر)	۳/۴۲۳b	۰/۰۸۶ab	۴۳۶ab	۰/۲۸۷abc	۴/۸۵cd	۴/۰۶c	۰/۲۲۷bc
نانوسلنیوم (۵ میلی‌گرم در لیتر)	۳/۴۳۶ab	۰/۰۹۴a	۶/۵۸ab	۰/۳۵a	۵/۱۹b	۵/۰۶a	۰/۲۵۶ab
نانو سلنیوم (۱۰ میلی‌گرم در لیتر)	۳/۵۰a	۰/۰۹۳a	۶/۸a	۰/۳۱ab	۵/۵۳a	۴/۸۳b	۰/۲۶۳a
نانو سلنیوم (۲۰ میلی‌گرم در لیتر)	۳/۰۷۶d	۰/۰۷۲۰c	۵/۵۱d	۰/۲۲۶c	۴/۳۳e	۳/۳۱e	۰/۱۹de
سلنیوم (۲/۵ میلی‌گرم در لیتر)	۳/۱۱d	۰/۰۷۵bc	۵/۸bcd	۰/۲۳bc	۵/۰۳bc	۳/۵d	۰/۲۰۶ cd
سلنیوم (۵ میلی‌گرم در لیتر)	۳/۲۲c	۰/۰۸۳abc	۶/۲۹abc	۰/۲۷abc	۴/۷۱d	۴/۰۳c	۰/۲۴۳ab
سلنیوم (۱۰ میلی‌گرم در لیتر)	۲/۳۵e	۰/۰۴۵d	۵/۱۶d	۰/۲۰۷c	۳/۷۸f	۳/۰۵f	۰/۱۸۳ de

وجود حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار است.



**نمودار ۱:** اثر سلنیوم بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی.

الف- محتوای کلروفیل؛ ب- محتوای کلروفیل؛ ج- محتوای کارتنوئید؛ د- محتوای فلاونوئید برگ. حروف یکسان از نظر آماری فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند ( $P \leq 0.05$ ).

جدول ۳: تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژیکی شیمیایی گیاه و شا تحت تیمارهای مختلف سلنیوم و نانوسلنیوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	فلاونوئید کل	کلروفیل <i>a</i>	کلروفیل <i>b</i>	کارتونوئید	آنتوسیانین کل	مالون دی آلدئید	فنل کل	DPPH	پرولین
تیمار	۷	۰/۰۵۱**	۸/۳۵۵**	۱/۰۱۱**	۲/۸۸**	۰/۰۱**	۰/۱۵۶**	۴۵۲/۹**	۱۳۴/۸**	۲/۷۰**
خطا	۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۴۰	۰/۰۰۲۵	۰/۰۱۱۴	۱/۴۳e-۰۰۵	۰/۰۰۴۰	۲۲/۷	۷/۰۰	۰/۱۵**
کل	۲۳	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ns: عدم اختلاف معنی دار، \* : معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* : معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

تیمار نانوسلنیوم و سلنات سدیم در گیاه افزایش می یابد. بیشترین افزایش در nSe10 و کمترین در تیمار nSe20 مشاهده شد. البته میانگین میزان فلاونوئید اندام هوایی در نمونه های شاهد و تحت تیمار در سطح آماری ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار بود. علاوه بر این، نانوسلنیوم در افزایش میزان فلاونوئید موثرتر از سلنات بالک بود.

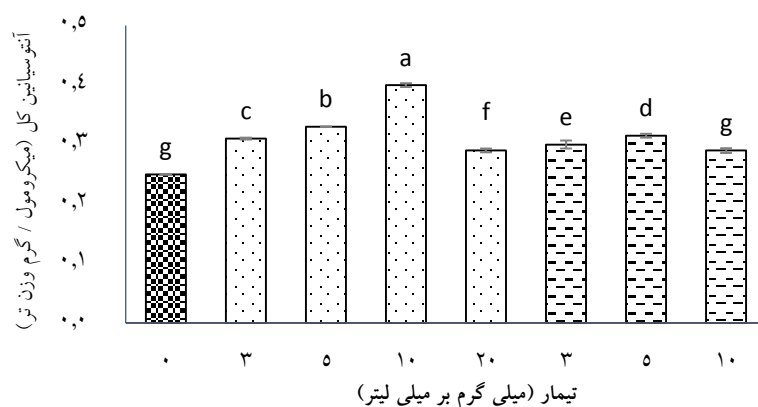
**آنتوسیانین:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد که نانوسلنیوم و سلنیوم منجر به افزایش میزان آنتوسیانین کل در تمام تیمارها به جز غلظت ۲۰ ppm نانو سلنیوم نسبت به گروه شاهد شده است، که از نظر آماری این افزایش در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. بیشترین میزان آنتوسیانین کل در تیمار nSe10 مشاهده شد. همچنین بین تیمار nSe20 و Se10 از نظر میزان آنتوسیانین کل اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

**تغییرات میزان پراکسیداسیون لیپیدها:** نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد میزان مالون دی آلدئید تحت تاثیر نانو سلنیوم و سلنیوم قرار گرفت ( $P \leq 0.05$ ). همانطور که در نمودار (۳) نشان داده شده است، میزان مالون دی آلدئید به طور معنی داری در غلظت ۱۰ ppm نانو سلنیوم در مقایسه با شاهد کمتر بود. همچنین یافته ها نشان داد در تیمارهای Se5 و Se10 اختلاف معنی داری مشاهده نگردید و هر دو در یک گروه داشتند ( $P \leq 0.05$ ).

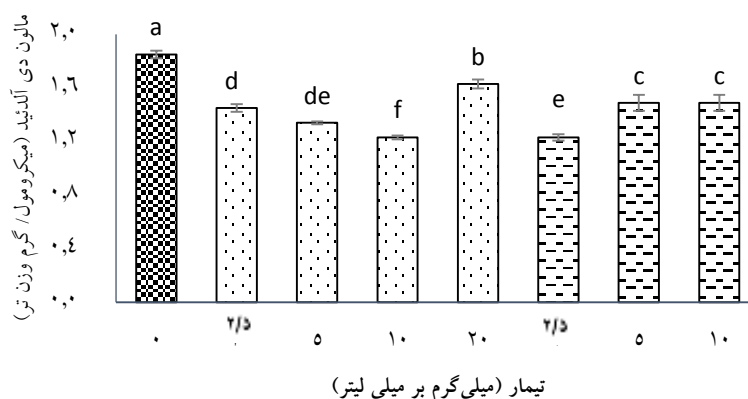
**رنگیزه های فتوسنتزی:** نتایج تجزیه واریانس در نمودار ۱ نشان داد که محتوای کلروفیل و کارتونوئید تحت تاثیر تیمارهای نانوسلنیوم و سلنات سدیم در مقایسه با شاهد قرار گرفت. به طوری که تیمارهای نانوسلنیوم و سلنات بالک منجر به افزایش میزان کلروفیل *a* در تمام تیمارها به جز در nSe20 و Se10 نسبت به گیاهان شاهد شده است که از نظر آماری این افزایش در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. همانطور که در نمودار مشاهده می شود حداکثر میزان کلروفیل *a* در غلظت nSe10 و nSe5 مشاهده شد. همچنین یافته ها حاکی از عدم وجود اختلاف معنی دار بین nSe20 و شاهد است. مشابه با نتایج کلروفیل *a*، محتوای کارتونوئید نیز در تیمارهای nSe10 و nSe5 در مقایسه با شاهد افزایش قابل توجهی یافت. به طور کلی، نانوسلنیوم موثرتر از سلنات بالک در افزایش این رنگدانه ها در تمام غلظت های آزمایش شده بود. از سوی دیگر برعکس نتایج بدست آمده در کلروفیل *a*، در غلظت nSe10 و Se5، کمترین میزان کلروفیل *b* مشاهده گردید. همچنین یافته ها نشان داد بین Se10 و nSe20 اختلاف معنی داری مشاهده نگردید و هر دو در یک گروه آماری قرار داشتند ( $P \leq 0.05$ ).

**میزان فلاونوئید:** نتایج حاصل از بررسی میزان فلاونوئید در اندام هوایی گیاهان شاهد و تحت تیمار نانوسلنیوم و سلنات سدیم نیز در نمودار ۱ نشان داده شده است. براساس میانگین داده ها میزان فلاونوئید با





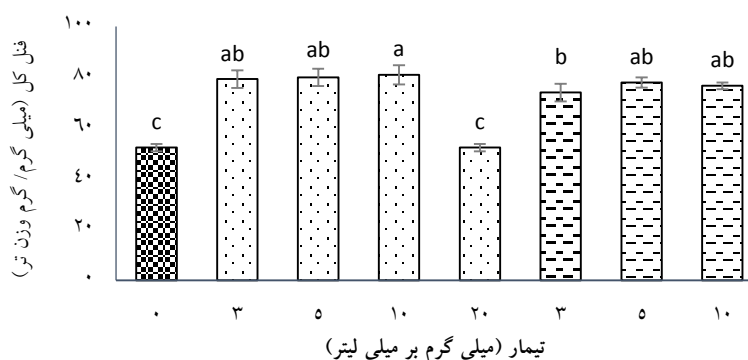
نمودار ۲: اثر غلظت‌های مختلف نانوسلنیوم و سلنیوم بر میزان آنتوسیانین گیاه و شا. حروف یکسان از نظر آماری فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند ( $P \leq 0.05$ ).



نمودار ۳: اثر غلظت‌های مختلف نانوسلنیوم و سلنیوم بر میزان مالون دی‌آلدئید گیاه و شا. حروف یکسان از نظر آماری فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند ( $P \leq 0.05$ ).

شاهد بود. همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمار داده‌ها (نمودار ۳)، میزان فنل تحت تیمار نانو سلنیوم و سلنیوم در تمام تیمارها به جز غلظت ۲۰ ppm بیشتر از ۱۰ ppm و بیشترین میزان فنل تحت تاثیر غلظت ۱۰ ppm نانوسلنیوم مشاهده گردید ( $P \leq 0.05$ ).

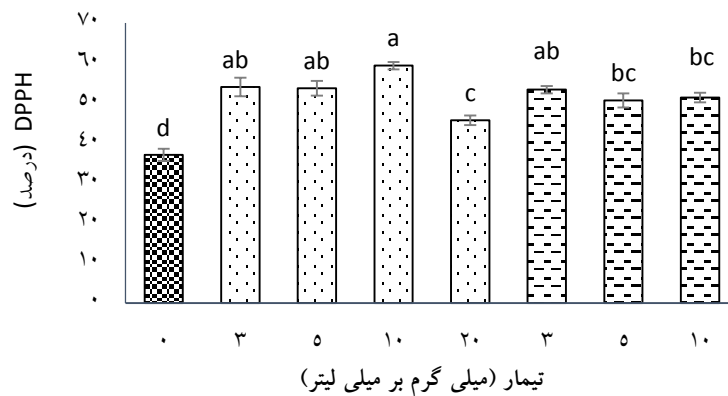
تغییرات میزان فنل کل: بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها (نمودار ۳)، میزان فنل تحت تیمار نانو سلنیوم و سلنیوم در تمام تیمارها به جز غلظت ۲۰ ppm بیشتر از ۱۰ ppm و بیشترین میزان فنل تحت تاثیر غلظت ۱۰ ppm نانوسلنیوم مشاهده گردید ( $P \leq 0.05$ ).



نمودار ۴: اثر نانوسلنیوم و سلنیوم بر میزان فنل کل گیاه و شا. حروف یکسان از نظر آماری فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند ( $P \leq 0.05$ ).

۱۰ نانو سلنیوم مشاهده کردید. همچنین نتایج نشان داد اختلاف معنی داری بین نانو سلنیوم در غلظت ۱۰ ppm، ۵ و ۲/۵ و سلنات بالک در غلظت ۲/۵ ppm نانو سلنیوم مشاهده نگردید و هر چهار تیمار در یک گروه آماری قرار داشتند (نمودار ۴).

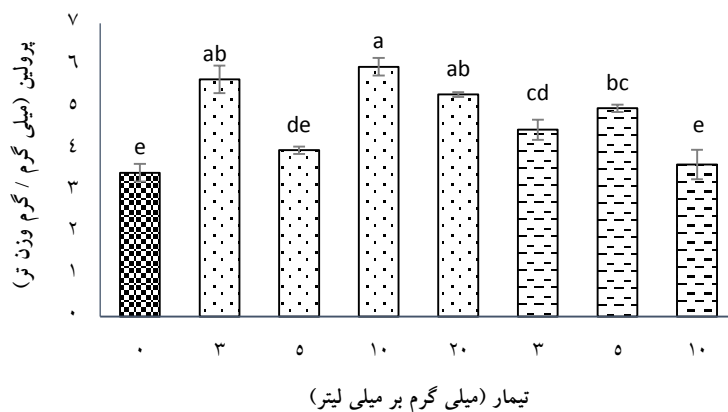
میزان فعالیت آنتی اکسیدان (DPPH): بررسی ها نشان داد میزان فعالیت آنتی اکسیدان کل در تمام غلظت های نانو سلنیوم و سلنات در مقایسه با شاهد بیشتر بود، که این افزایش در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. حداکثر میزان فعالیت آنتی اکسیدان کل در غلظت ppm



نمودار ۵: اثر نانو سلنیوم و سلنیوم بر میزان آنتی اکسیدان کل گیاه و شا. حروف یکسان از نظر آماری فاقد تفاوت معنی دار می باشند ( $P \leq 0.05$ ).

به ترتیب در غلظت ۱۰ ppm نانو ذرات سلنیوم و شاهد مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد اختلاف معنی داری بین سلنیوم در تیمار Se10 و شاهد مشاهده نگردید (نمودار ۵).

تغییرات میزان پرولین: در تحقیق حاضر میزان پرولین تحت تاثیر غلظت های مختلف نانو سلنیوم و سلنیوم نسبت به شاهد به طور معنی داری بیشتر بود ( $P \leq 0.05$ )، به طوری که حداکثر و حداقل میزان پرولین



نمودار ۶: اثر نانو سلنیوم و سلنیوم بر میزان پرولین گیاه و شا. حروف یکسان از نظر آماری فاقد تفاوت معنی دار می باشند ( $P \leq 0.05$ ).

درد (Rapisarda et al., 2000). مطالعه حاضر نشان داد که غلظت های پایین سلنات سدیم (۵ میلی گرم بر لیتر) و نانو سلنیوم (تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر)، توانستند

بیوشیمیایی اغلب اثر دوگانه ای بر روی رشد گیاه

بحث

آمده هم‌مسو با نتایج Domokos و همکاران (۲۰۱۲) بر روی گیاه تنباکو، Haghghi و همکاران (۲۰۱۴) بر روی گوجه و Ragavan و همکاران (۲۰۱۷) بر روی گیاه *Cymopsis tetragonoloba* می‌باشد.

در پژوهش حاضر مقدار کربوهیدرات در تمام غلظت‌ها به‌ویژه در غلظت ۱۰ ppm نانو سلنیوم افزایش یافت. این خصوصیت ممکن است بر اساس افزایش ظرفیت فتوسنتزی توضیح داده شود، که پیش‌بینی می‌شود ناشی از افزایش کاروتنوئیدها و رنگدانه‌های فتوسنتزی کل باشد که با افزایش فتوسنتز، پتانسیل تولید کربوهیدرات گیاه را بالا می‌برد. Hajiboland و همکاران (۲۰۱۵) افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در برگ‌ها در دو ژنوتیپ گندم تحت تیمار سلنیوم در شرایط آبیاری خوب و تنش خشکی را گزارش دادند که می‌تواند به دلیل نقش حفاظتی یون‌های سلنیوم در گیاهان تحت تنش باشد (Hashem et al., 2013). همچنین تجمع املاح سازگار از جمله قندها متناسب با تغییر اسمولاریته خارجی جهت تعادل یونی در واکوئل و سیتوپلاسم از ساختارهای سلولی و تعادل اسمزی محافظت می‌کند و از جریان مداوم آب (یا کاهش جریان) حمایت می‌کند (Siddiqui et al., 2021). نتایج مشابه روی قهوه (Deepa and Mazzafera, 1998) و گیاه پرپوش (Ganesan, 2015) تحت تیمار سلنیوم به دست آمده است که با نتایج تحقیق اخیر هم‌مسو می‌باشد.

افزایش غلظت‌های اعمال شده تیمار سلنیوم بالک و نانو سلنیوم سبب افزایش میزان پرولین نسبت به نمونه‌های شاهد شد. پرولین نقش مهمی در تثبیت ساختارهای پروتئینی غشا، DNA و همچنین ساختارهای درون سلولی در برابر دنا توره شدن دارد. تجمع پرولین در گیاهان و شش تحت تیمار سلنیوم به عنوان یک مولفه سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی به جای یک واسطه تنظیم اسمزی عمل می‌کند (Sotoodehnia-

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و رشد رویشی گیاه و شش را تا حد زیادی تقویت کنند، در حالی که غلظت‌های بالاتر از هر دو فرم سلنیوم به ویژه سلنات بالک سبب کاهش پارامترهای رشد گردید. علت افزایش پارامترهای رشد گیاه و شش را می‌توان به نقش سلنیوم در بیوسنتز اکسین و/یا سیتوکینین، افزایش تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی، تعامل در جذب عناصر ضروری و سنتز کلروفیل نسبت داد (El Lateef Gharib et al., 2019; Song et al., 2017).

مطالعات اخیر نشان داده است که غلظت پایین سلنیوم بر تنظیم و تعدیل اکسین و اتیلن در راستای افزایش بیان ژن‌های سنتز اکسین و همچنین ناقلین اکسین نقش داشته، سبب افزایش طول ریشه اولیه در گیاه برنج می‌شود (Lehotai et al., 2012). در حالی که Malheiros و همکاران (۲۰۱۹)، بیان داشتند که سطوح بالای سلنیت با دخالت در افزایش بیوسنتز اتیلن سبب مهار رشد ریشه‌های جانبی در گیاهان آراییدوپسیس و تنباکو شده است. Jain و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند پارامترهای رشد (نظیر طول اندام هوایی، تعداد برگ، سطح برگ و همچنین وزن تر و خشک اندام هوایی) در گیاهان کلزای تحت تیمار سلنات سدیم (۲/۵ و ۵ ppm) افزایش یافته، اما غلظت بالاتر (۱۰ ppm) سبب کاهش قابل توجهی در بیوماس اندام هوایی در شرایط تنش شوری و غیرتنش شد که هم‌مسو با نتایج تحقیق اخیر می‌باشد.

از سوی دیگر، تیمار نانو سلنیوم نسبت به سلنات در این مطالعه، توانایی بسیار بهتری بر رشد گیاهان و شش نشان داد. از این نظر، نانو سلنیوم اثرات پرواکسیداتیو کمتری نسبت به سلنات داشته که با افزایش رشد می‌توان بیان کرد. این خصوصیات ممکن است به اثربخشی بالاتر نانو سلنیوم در تنظیم سلنواگزیم‌ها و سمیت کمتر آن نسبت به سلنات در نسبت داده شود (Song et al., 2017). نتایج به دست

که فرایند پراکسیداسیون کلروفیل و تخریب کلروپلاست را مهار می‌کند. Nawaz و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که افزودن سطوح مناسب سلنیوم به گیاهان ذرت تحت تنش آبی منجر به افزایش میزان کاروتنوئیدهای گیاه گردید که می‌تواند به دلیل نقش عنصر سلنیوم در تغییر وضعیت ردوکس سلول بوده، باعث تحریک بیشتر در سنتز آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی مانند لیکوپین و کاروتنوئیدها گردد.

اثربخشی قابل توجه سلنیوم با تنظیم مسیرهای متابولیکی و افزایش بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه (فنل کل، فلاونوئید و آنتوسیانین) نقش عمده‌ای در حفاظت سلول‌ها در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و سایر گونه‌های فعال بیان شده است. بر اساس یافته‌های Li و همکاران (۲۰۲۰)، نانو سلنیوم با تاثیر بر میزان جاسمونیک اسید (JA) از طریق اعمال اثرات مثبت بر تنظیم مسیر آلفا-لینولینیک اسید و تحریک فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) منجر به افزایش برخی ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه کرفس می‌شود (Li et al., 2020). در رابطه با افزایش سطح فلاونوئیدها در گیاه و شش، نتایج این تحقیق با یافته‌های Zhu و همکاران (۲۰۰۹) در گوجه فرنگی تحت تیمار سلنیوم مطابقت دارد. در واقع علت افزایش سطح فلاونوئیدها در گوجه فرنگی تحت تیمار سلنیوم با افزایش بیان تعدادی از ژن‌های موجود در بیوسنتز این متابولیت‌های ثانویه بیان شده است. Liu و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند، افزایش سطح آنتوسیانین در گیاهان کاهو تیمار شده با سلنیوم در نتیجه افزایش بیان ژن‌های UFGT و F3H مرتبط در متابولیسم آنتوسیانین‌ها می‌باشد (Liu et al., 2017). این نتایج با داده‌های تجربی در مورد افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی (سنجش DPPH) با افزودن سلنیوم به محلول غذایی یا محلول پاشی، همانطور که

(Korani et al., 2020). از سوی دیگر، پرولین در تجمع رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان رشد و در نتیجه افزایش مقاومت در گیاهان در طول سازگاری با انواع مختلف تنش‌های محیطی مانند خشکی، دمای بالا، کمبود مواد مغذی و قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین نقش بسزایی دارد (Jain et al., 2015). اثرات محافظت‌کننده نانو سلنیوم در غلظت‌های پایین بر افزایش میزان پرولین برگ را در گیاهان گندم (Hu et al., 2018) و کلزا (Hashem et al., 2013) تحت شرایط تنش خشکی و عدم تنش گزارش شده است.

در این پژوهش مشخص گردید کاربرد سلنیوم میزان کلروفیل *a* را افزایش داد در حالی که کلروفیل *b* کاهش یافت و همچنین باعث تجمع کارتنوئیدها در تمام غلظت‌ها گردید. از این نظر کلروفیل *b* در گیاه و شش در پاسخ به سلنیوم نسبت به کلروفیل *a* حساسیت بیشتری را نشان داده است که با یافته‌های Saffaryazdi و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر حساسیت بالای کلروفیل *b* نسبت به کلروفیل *a* در گیاهان اسفناج تحت تیمار سلنیوم همخوانی دارد. محتوای کلروفیل *a* به طور معنی‌داری با کاربرد سلنات در غلظت‌های ۱۰ ppm در مراحل اولیه رشد گیاه کرفس (Zhang et al., 2019)، ۵۰ ppm در سویا (Ragavan et al., 2017) و محلول پاشی ۱  $\mu\text{M}$  نانو سلنیوم در برگ‌های گوجه‌فرنگی (Haghighi et al., 2014) افزایش یافت. تفاوت در این نتایج ممکن است وابسته به گونه گیاهی، مرحله رشد و روش مورد استفاده باشد. غلظت بهینه سلنیوم همزمان با حفاظت آنزیم‌های کلروپلاستی از آسیب‌های اکسیداتیو که با بهبود کارایی فتوشیمیایی PSII مرتبط است سبب افزایش بیوسنتز کلروفیل و ظرفیت فتوسنتزی می‌شود. این افزایش ممکن است به توانایی سلنیوم در جهت افزایش جذب عناصر معدنی مرتبط با سنتز کلروفیل باشد (Han et al., 2013). کاروتنوئیدها رنگیزه‌های آنتی‌اکسیدانی هستند

سبب کاهش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی، حفاظت تمامیت غشا و به‌طور جامع بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه و شاگردید.

### نتیجه‌گیری نهایی

در مطالعه حاضر مقایسه‌ای بین اثر فیزیولوژیکی سلنیوم به صورت سلنات سدیم و نانو سلنیوم انجام شد. نتایج نشان داد که تیمار ۵ ppm سلنات بالک و ۱۰ ppm نانو سلنیوم سبب بهبود وضعیت رشد، تجمع رنگیزه‌های فتوسنتزی، متابولیت‌های ثانویه و همچنین و بالا بردن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه و شاگردید. با این حال، با توجه به نتایج می‌توان گفت که در این گونه کاربرد نانو nSe10 مؤثرتر از Se5 بود و این تیمار را می‌توان به‌عنوان یک استراتژی مفید جهت بهبود کیفیت گیاه و شا توصیه کرد. به نظر می‌رسد که مکانیسم نانو سلنیوم با تحریک بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدان، موجب افزایش اثربخشی در بیوسنتز ترکیبات فعال بیولوژی در گیاهان می‌باشد. بنابراین نه تنها سطح این عنصر کمیاب را در گیاه افزایش می‌دهد، بلکه نقش مهمی در افزایش ارزش غذایی گیاهان از جمله افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کند. از این رو امکان استفاده از نانو سلنیوم به ویژه برای مناطقی با محتوای کم سلنیوم جهت غنی‌سازی گیاه و شا در خاک‌ها پیشنهاد می‌گردد.

هم در مطالعه حاضر و هم در مطالعات انجام شده توسط برخی نویسندگان (Padhi et al., 2017; García Márquez et al., 2020) به دست آمده است، همخوانی دارد. نقش حفاظتی سلنیوم در بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همراه با افزایش ترکیبات فنلی با یافته‌های تحقیقات قبلی در گونه‌های مختلف گیاهی مانند کلم براکلی، کرفس، سیر و موسیر مشهود است (Hashem et al., 2013; Haghghi et al., 2014). به این ترتیب سلنیوم در غلظت مناسب اولاً به دلیل افزایش سطح بیوسنتز متابولیت‌های فنولی یا سایر متابولیت‌های ثانویه با خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ثانیاً به دلیل تأثیر سلنیوم بر متابولیسم ردوکس (اکسیداسیون و احیا) گلوکاتایون و آنزیم‌های دخیل در این متابولیسم، و سوم، به اثر آنتی‌اکسیدانی مستقیم خود سلنیوم و متابولیت‌های آلی آن در حفاظت و حذف رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند (Siddiqui et al. 2021).

در بسیاری موارد، کاهش مالون دی‌آلدئید (MDA)، به‌عنوان نشانگر میزان پراکسیداسیون لیپید، بیان‌کننده کاهش فرآیندهای اکسیداتیو سلول‌های گیاهی در غلظت بهینه سلنیوم است. علت کاهش مالون دی‌آلدئید در مطالعه حاضر را می‌توان به نقش نانو سلنیوم در افزایش سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند APX، CAT، POD، SOD و GSH-Px و القای مسیر پرولین جهت تجمع  $\text{OH}^{\cdot-}$  و MDA بیان کرد (Li et al., 2020). همچنین، این اثر هم افزایی

### References

- Amiri, M.S., and Joharchi, M.R. (2016). Ethnobotanical knowledge of Apiaceae family in Iran: A review. *Avicenna journal of phytomedicine*. 6(6): 621.
- Bhakya, S., Muthukrishnan, S., Sukumaran, M., and Muthukumar, M. (2016). Biogenic synthesis of silver nanoparticles and their antioxidant and antibacterial activity. *Applied Nanoscience*. 6(5): 755-766.
- Chang, C.-C., Yang, M.-H., Wen, H.-M., and Chern, J.-C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*. 10(3).
- Chen, W., Li, Y., Yang, S., Yue, L., Jiang, Q., and Xia, W. (2015). Synthesis and antioxidant properties of chitosan and carboxymethyl chitosan-stabilized selenium nanoparticles. *Carbohydrate polymers*. 132: 574-581.

- Deepa, B., & Ganesan, V. (2015). Bioinspired synthesis of selenium nanoparticles using flowers of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. and *Peltophorum pterocarpum* (DC.) Backer ex Heyne—a comparison. *Int. J. Chem. Tech. Res.* 2.
- Domokos-Szabolcsy, E., Marton, L., Sztrik, A., Babka, B., Prokisch, J.M., and Fari, M. (2012). Accumulation of red elemental selenium nanoparticles and their biological effects in *Nicotinia tabacum*. *Plant Growth Regulation.* 68(3): 525-531.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.T., and Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry.* 28(3): 350-356.
- El-Ramady, H., Faizy, S.E.-D., Abdalla, N., Taha, H., Domokos-Szabolcsy, É., Fari, M., . . . Bayoumi, Y. (2020). Selenium and nano-selenium biofortification for human health: Opportunities and challenges. *Soil Systems.* 4(3): 57.
- El Lateef Gharib, F., Zeid, I., Ghazi, S., and Ahmed, E. (2019). The response of cowpea (*Vigna unguiculata* L) plants to foliar application of sodium selenate and selenium nanoparticles (SeNPs). *J Nanomater Mol Nanotechnol.* 8(4).
- García Márquez, V., Morelos Moreno, Á., Benavides Mendoza, A., and Medrano Macías, J. (2020). Ionic selenium and nanoselenium as biofortifiers and stimulators of plant metabolism. *Agronomy.* 10(9): 1399.
- Gholami, B.A., and Faravani, M. (2015). The possibility of crop cultivation and utilization of edible gum from herb (*Dorema ammoniacum* D. Don) in dryland farming. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade.* 60(3): 369-380.
- Haghighi, M., Abolghasemi, R., & da Silva, J.A.T. (2014). Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment. *Scientia Horticulturae.* 178: 231-240.
- Hajiboland, R., Sadegzadeh, N., Ebrahimi, N., Sadghzadeh, B. and Mohammadi, S.A. (2015). Influence of selenium in drought-stressed wheat plants under greenhouse and field conditions. *Acta Agriculturae Slovenica.* 105(2): 175-191.
- Han, D., Li, X., Xiong, S., Tu, S., Chen, Z., Li, J., and Xie, Z. (2013). Selenium uptake, speciation and stressed response of *Nicotiana tabacum* L. *Environmental and Experimental Botany.* 95: 6-14.
- Hashem, H.A., Hassanein, R.A., Bekheta, M.A., and El-Kady, F.A. (2013). Protective role of selenium in canola (*Brassica napus* L.) plant subjected to salt stress. *Egypt. J. Exp. Biol.* 9: 199-211.
- Heath, R.L., and Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics.* 125(1): 189-198.
- Hernández-Hernández, H., Quiterio-Gutiérrez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hernández-Fuentes, A. D., Cabrera de la Fuente, M., and Juárez-Maldonado, A. (2019). Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants.* 8(10): 355.
- Hu, T., Li, H., Li, J., Zhao, G., Wu, W., Liu, L. and Guo, Y. (2018). Absorption and bio-transformation of selenium nanoparticles by wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in plant science.* 9: 597.
- Irvani, N., Solouki, M., Omid, M., Zare, A., and Shahnazi, S. (2010). Callus induction and plant regeneration in *Dorema ammoniacum* D., an endangered medicinal plant. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC).* 100(3): 293-299.
- Jain, R., Verma, R., Singh, A., Chandra, A., and Solomon, S. (2015). Influence of selenium on metallothionein gene expression and physiological characteristics of sugarcane plants. *Plant Growth Regulation.* 77(2): 109-115.
- Kaur, N., Sharma, S., Kaur, S., and Nayyar, H. (2014). Selenium in agriculture: a nutrient or contaminant for crops? *Archives of Agronomy and Soil Science.* 60(12): 1593-1624.
- Lehotai, N., Kolbert, Z., Pető, A., Feigl, G., Ördög, A., Kumar, D., . . . Erdei, L. (2012). Selenite-induced hormonal and signalling mechanisms during root growth of *Arabidopsis thaliana* L. *Journal of experimental botany.* 63(15): 5677-5687.

- Li, D., An, Q., Wu, Y., Li, J.-Q., & Pan, C. (2020). Foliar application of selenium nanoparticles on celery stimulates several nutrient component levels by regulating the  $\alpha$ -linolenic acid pathway. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 8(28):10502-10510.
- Lichtenthaler, H.K., and Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. In: Portland Press Ltd.
- Liu, D., Li, H., Wang, Y., Ying, Z., Bian, Z., Zhu, W., . . . Jiang, D. (2017). How Exogenous Selenium Affects Anthocyanin Accumulation and Biosynthesis-Related Gene Expression in Purple Lettuce. *Polish Journal of Environmental Studies*. 26(2).
- Lyons, G. H., Genc, Y., Soole, K., Stangoulis, J., Liu, F., & Graham, R. (2009). Selenium increases seed production in Brassica. *Plant and Soil*. 318(1): 73-80.
- Malheiros, R. S., Costa, L. C., Ávila, R. T., Pimenta, T. M., Teixeira, L. S., Brito, F. A., . . . Ribeiro, D. M. (2019). Selenium downregulates auxin and ethylene biosynthesis in rice seedlings to modify primary metabolism and root architecture. *Planta*. 250(1): 333-345.
- Mangiapanè, E., Pessione, A., & Pessione, E. (2014). Selenium and selenoproteins: an overview on different biological systems. *Current Protein and Peptide Science*. 15(6): 598-607.
- Mazzafera, P. (1998). Growth and biochemical alterations in coffee due to selenite toxicity. *Plant and Soil*. 201(2): 189-196.
- McDonald, S., Prenzler, P. D., Antolovich, M., & Robards, K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food chemistry*. (1):73-84.
- Nawaz, F., Naeem, M., Ashraf, M. Y., Tahir, M. N., Zulfiqar, B., Salahuddin, M., . . . Aslam, M. (2016). Selenium supplementation affects physiological and biochemical processes to improve fodder yield and quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1438.
- Nazir, N., Nisar, M., Zahoor, M., Uddin, F., Ullah, S., Ullah, R., . . . Alobaid, A. (2021). Phytochemical Analysis, In Vitro Anticholinesterase, Antioxidant Activity and In Vivo Nootropic Effect of *Ferula ammoniacum* (*Dorema ammoniacum*) D. Don. in Scopolamine-Induced Memory Impairment in Mice. *Brain sciences*. 11(2): 259.
- Padhi, E. M., Liu, R., Hernandez, M., Tsao, R., & Ramdath, D. D. (2017). Total polyphenol content, carotenoid, tocopherol and fatty acid composition of commonly consumed Canadian pulses and their contribution to antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*. 38: 602-611.
- Pedrero, Z., & Madrid, Y. (2009). Novel approaches for selenium speciation in foodstuffs and biological specimens: a review. *Analytica chimica acta*. 634(2): 135-152.
- Quinn, C. F., Freeman, J. L., Reynolds, R. J., Cappa, J. J., Fakra, S. C., Marcus, M. A., . . . Pilon-Smits, E. A. (2010). Selenium hyperaccumulation offers protection from cell disruptor herbivores. *BMC ecology*. 10(1): 1-11.
- Ragavan, P., Ananth, A., & Rajan, M. (2017). Impact of selenium nanoparticles on growth, biochemical characteristics and yield of cluster bean *Cyamopsis tetragonoloba*. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. (6) 2: 238983.
- Rapisarda, P., Fanella, F., & Maccarone, E. (2000). Reliability of analytical methods for determining anthocyanins in blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(6): 2249-2252.
- SAFFARYAZDI, A., Lahouti, M., Ganjeali, A., & Bayat, H. (2012). Impact of selenium supplementation on growth and selenium accumulation on spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants. *Notulae Scientia Biologicae*. 4(4): 95-100.
- Schiavon, M., dall'Acqua, S., Mietto, A., Pilon-Smits, E. A., Sambo, P., Masi, A., & Malagoli, M. (2013). Selenium fertilization alters the chemical composition and antioxidant constituents of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(44): 10542-10554.
- Siddiqui, S. A., Blinov, A. V., Serov, A. V., Gvozdenko, A. A., Kravtsov, A. A., Nagdalian, A. A., . . . Kobina, A. V. (2021). Effect of selenium nanoparticles on germination of hordéum vulgare barley seeds. *Coatings*. 11(7): 862.

- Song, Z., Shao, H., Huang, H., Shen, Y., Wang, L., Wu, F., . . . Jia, H. (2017). Overexpression of the phosphate transporter gene OsPT8 improves the Pi and selenium contents in *Nicotiana tabacum*. *Environmental and Experimental Botany*. 137: 158-165.
- Sotoodehnia-Korani, S., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., Majd, A., & Ardebili, Z. O. (2020). Selenium nanoparticles induced variations in growth, morphology, anatomy, biochemistry, gene expression, and epigenetic DNA methylation in *Capsicum annuum*; an in vitro study. *Environmental Pollution*. 265: 114727.
- Syu, Y.-y., Hung, J.-H., Chen, J.-C., & Chuang, H.-w. (2014). Impacts of size and shape of silver nanoparticles on *Arabidopsis* plant growth and gene expression. *Plant physiology and biochemistry*. 83: 57-64.
- Wadhvani, S. A., Shedbalkar, U. U., Singh, R., & Chopade, B. A. (2016). Biogenic selenium nanoparticles: current status and future prospects. *Applied microbiology and biotechnology*. 100(6): 2555-2566.
- Zhang, C., Xu, B., Geng, W., Shen, Y., Xuan, D., Lai, Q., . . . Yu, C. (2019). Comparative proteomic analysis of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings under selenium stress. *PeerJ*. 7: e8020.
- Zhang, J., Wang, H., Bao, Y., & Zhang, L. (2004). Nano red elemental selenium has no size effect in the induction of seleno-enzymes in both cultured cells and mice. *Life sciences*. (2)75: 237-244.
- Zhu, Y.-G., Pilon-Smits, E. A., Zhao, F.-J., Williams, P. N., & Meharg, A. A. (2009). Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. *Trends in plant science*. 14(8): 436-442.