



The effect of foliar application of selenium nanoparticles on the appearance and biochemical characteristics of *Echinacea purpurea* under drought stress

Javad Rezapour Fard^{1✉}, Maryam Rezagholi², Reza Darvishzadeh³

1. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: jrfard2005@gmail.com
2. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: mehregan6816@yahoo.com
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	In order to evaluate the effect of selenium nanoparticles on alleviating the adversary influence of drought in <i>Echinacea purpurea</i> 'Rose Carmine cultivar', an experiment was planned in a split-plot based on a completely randomized design (RCD) with three replications. First, it was conducted under a greenhouse (for producing two-month seedlings) and then conducted in the farm of Agricultural Faculty of Urmia University. The treatments were as follows: drought stress as a main factor at different percentage of field capacity (FC), including 20, 40, 60, and 100% FC, and selenium nanoparticles (SNs) as sub-treatment at different concentrations including 0 or control, 5, 10, and 20 mg/l. In this context, the moisture content in the soil was measured by assessing soil moisture at the depth level of roots using a TDR device. In addition, the foliar spraying of SNs was simultaneously performed at different drought levels for a three-month period at a two-week interval. Results showed that the highest content of proline (0.73 µmol per g) was obtained by spraying 20 mg/l SNs at 60% FC. Furthermore, the lowest malondialdehyde accumulation (0.8 µmol/g of fresh tissue) was recorded in 5 mg/l SN at 20% FC, but the highest activity of ascorbate peroxidase (2/5 µmol/g of fresh tissue) was found in employing 20 mg/l of SNs under 20% FC. Both characteristics had a significant difference with those in the control. In conclusion, by influencing yield and vegetative growth indices of <i>Echinacea purpurea</i> , the foliar application of SN could improve the plant's tolerance to drought.
Article history: Received: 11 May 2024 Received in revised form: 26 November 2024 Accepted: 16 December 2024 Published online: Spring 2025	
Keywords: <i>Abiotic stress,</i> <i>Antioxidant properties,</i> <i>Medicinal plant,</i> <i>Nano particles.</i>	

Cite this article: Rezapour Fard, J., Rezagholi, M. & Darvishzadeh, R. (2025). The effect of foliar application of selenium nanoparticles on the appearance and biochemical characteristics of *Echinacea purpurea* under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (1), 43-63. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.376296.2172>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.376296.2172>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Echinacea purpurea, belonging to Asteraceae, has been widely cultivated in urban green space because of its ornamental and medicinal properties. Given the importance of *Echinacea purpurea* in terms of ornamental and medicinal aspects as well as the existence of different global concern such as climate changes and water deficiency, there is an urgent need to utilize novel and efficient methods to induce plants tolerance to drought stress. In this regard, selenium nanoparticles SNs, a useful element in plant nutrition, can contribute to plants for tolerating various environmental stresses such as drought. Therefore, this study aimed to investigate the effect of SNs on mitigating the deleterious impact of drought stress on *Echinacea purpurea* 'Rose Carmine'.

Materials and Methods

The adequate-growing seedlings of the 'Rose Carmine' cultivar were transferred to a farm in the research greenhouse of Urmia University. Drought stress was applied based on the soil field capacity (FC) at four levels (20, 40, 60 and 100% FC) by measuring the soil moisture at the root depth using a TDR device. SNs treatment were applied at four levels including 0 (control), 5, 10 and 20 mg/l in form of foliar spraying at a two-week interval and in a three-month period, corresponded with employing drought treatments. The experiment was planned in a split plot based on a completely randomized design (CRD) with three replications. After flowering, the samples were collected and the traits were then measured. Analysis of variance and mean comparison were done using SAS software and Duncan's multiple range test, respectively.

Results and Discussion

In this study, the highest activity of ascorbate peroxidase was observed in the 20 mg/l SNs under 20% FC, differed significantly with those in the control. This may be attributed to selenium role in augmenting antioxidant activity, plant metabolic efficiency, and nutrient uptake and availability.

Additionally, the lowest accumulation of malondialdehyde (MDA) was observed in the 5 mg/l SNs under 20% FC. In general, MDA accumulation in plants is considered as a sign of lipid peroxidation or oxidative damage, intensified by a stressful condition. Therefore, a reduction in MDA accumulation in plants indicates their tolerance to drought and its harmful effects. The lowest MDA was recorded in 5 mg/l SNs under the severe drought stress, suggesting the efficiency of SNs on reduction of the damages caused by oxidative stress. Additionally, the highest activity of the guaiacol peroxidase was recorded in 20 mg/l SNs at 40% FC. In our study, SNs could improve the plant defense system against free radicals and reduce the rate of cellular damage.

Conclusion

According to the findings of this research, it can be concluded that foliar spraying of SNs could increase the resistance of the *Echinacea purpurea* and induce its tolerance to drought stress. We have shown that SNs could improve antioxidant defense system of plants, decrease lipid peroxidation, regulate plant metabolism, and enhance metabolic efficiency in plants.

Author Contributions

V. Nazeri, M. Shokrpour and L. Tabrizi conceived and planned the experiments. M. Raoof carried out the experiments. M. Shokrpour and M. Raoof analyzed data. M. Raoof and V. Nazeri wrote the first manuscript. V. Nazeri, M. Shokrpour and L. Tabrizi contributed to the interpretation of the results. All authors provided critical feedback and helped shape the research, analysis and manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the research council of the University of Tehran, Iran for the financial support of this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



تأثیر محلول پاشی نانو ذره سلنیوم بر ویژگی‌های ظاهری و بیوشیمیایی گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) تحت تنش خشکی

جواد رضاپور فرد^۱ | مریم رضاقلی^۲ | رضا درویش زاده^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: irfard2005@gmail.com

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: mehregan6816@yahoo.com

۳. گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۶ تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۴ کلیدواژه‌ها: تنش غیرزنده، خواص آنتی اکسیدانی، ذرات نانو، گیاه دارویی.	به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی نانو ذره سلنیوم بر کاهش اثر منفی تنش خشکی در گیاه سرخارگل (<i>Echinacea purpurea</i> 'Rose Carmine')، پژوهشی به صورت کرت خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه (مرحله نشا تا دو ماه) و سپس در زمین‌های زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. تیمارهای تنش خشکی (تیمار اصلی) بر اساس ظرفیت زراعی خاک و در چهار سطح ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به روش سنجش رطوبت خاک در عمق ریشه و با استفاده از دستگاه تی‌دی‌آر اعمال شدند. تیمار نانو ذره سلنیوم (تیمار فرعی) نیز همزمان با اعمال سطوح مختلف تنش خشکی، بصورت محلول-پاشی برگ‌ی و در چهار سطح صفر (شاهد)، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر و با فواصل دو هفته‌ای و در یک دوره سه ماهه اعمال گردید. نتایج نشان داد که بیشترین میزان انباشت پرولین (۰/۷۳ میکرومول بر گرم) در تیمار محلول پاشی ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، کمترین مقدار انباشت مالون دی آلدهاید (۰/۸ نانومول بر گرم بافت تازه) در تیمار محلول پاشی ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۲۰ درصد ظرفیت زراعی و بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۲/۵ نانومول بر گرم بافت تازه)، در تیمار محلول پاشی ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که اختلاف معناداری با نمونه شاهد نشان داد. براساس نتایج حاصل، محلول پاشی نانو ذره سلنیوم تأثیر مثبتی در افزایش میزان تحمل گیاه سرخارگل در شرایط تنش داشت و در نتیجه عملکرد و صفات رشدی به طور معنی داری تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمار محلول پاشی قرار گرفت.

استناد: رضاپور فرد، جواد؛ رضاقلی، مریم و درویش زاده، رضا (۱۴۰۴). تأثیر محلول پاشی نانو ذره سلنیوم بر ویژگی‌های ظاهری و بیوشیمیایی گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) تحت تنش خشکی. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۱)، ۶۳-۴۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.376296.2172>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.376296.2172>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

سرخارگل گونه‌ای ارزشمند از تیره گل ستاره‌ایان، با ارزش زینتی و دارویی است که طی سالیان اخیر کشت آن در فضای سبز رایج شده است و در حال حاضر یکی از پر فروش‌ترین گیاهان دنیا محسوب می‌شود (Mehrpooaya *et al.*, 2021). منشأ این گیاه علفی و چندساله شمال قاره آمریکا است. ترکیبات موثره عمده و مهم آن عبارتند از: آلکیل‌آمیدها، پلی‌ساکاریدها، گلیکوپروتئین‌ها، فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی (Harborne & Williams, 2004) که شامل مشتقات اسید کافئیک مانند اسید کافئیک، شیکوریک‌اسید، کافتاریک‌اسید، اسید کلوروژنیک و اکیناکوزید (Attarzadeh *et al.*, 2020; Bruni *et al.*, 2018) می‌باشند. این ترکیبات دارای طیف وسیعی از اثرات درمانی مانند خواص آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد ویروسی هستند (Abdoli *et al.*, 2013; Parsons *et al.*, 2018; Tahmasebi *et al.*, 2019). شربت عصاره اکیناسه، قرص فیتوکلد و کپسول ساپلاس مدز از داروهای تولیدی این گیاه محسوب می‌شوند.

گیاهان به‌طور مداوم در معرض شرایط محیطی نامطلوب قرار می‌گیرند و به روش‌های مختلف به تنش‌های غیرزیستی پاسخ می‌دهند، از بیان ژن گرفته تا بروز تغییرات فیزیولوژیک، از ساختار گیاه تا ایجاد تغییراتی در متابولیسم اولیه و ثانویه. بروز این تغییرات پیچیده امکان تحمل گیاهان را به شرایط نامطلوب فراهم می‌سازد. تنش‌های محیطی از جمله خشکی تا ۷۰ درصد بر بقا، توسعه زیست‌توده و عملکرد محصول تأثیر منفی می‌گذارد (Hashmat *et al.*, 2021).

نانو ذره، تجمعی از ذرات سازنده (اتم یا مولکول) با اندازه بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر در اندازه و شکل‌های متفاوت هستند. (Zahedi *et al.*, 2020). اثر نانو ذره به ویژگی‌های آن ذرات از جمله اندازه، شکل، پایداری، گیرنده‌های آن‌ها، غلظت ذرات و ترکیب فیزیکی یا شیمیایی ذره، بستگی دارد (Kumar *et al.*, 2019). استفاده از نانو ذره در جهت مقابله با اثرات سوء تنش‌ها، موضوعی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است (Thygesen *et al.*, 2007). اثرات تنش-های زیستی و غیرزیستی بر گیاهان موضوعی جدی است که کاهش تلفات این آسیب‌ها با استفاده از نانو ذره موضوعی جالب توجه در کشاورزی و بحث اقتصاد کشاورزی است. یکی از نانو ذره مرتبط در این زمینه نانو ذره سلیوم است. باینکه نقش نانو ذره سلیوم در گیاه به‌صورت دقیق مشخص نشده است، اما نتایج مطالعات نشان داده است که استفاده از آن باعث بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، رشد و عملکرد گیاه می‌شود. همچنین، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتایون پراکسیداز با استفاده از این نانو ذره افزایش یافته است که نشان دهنده خاصیت ضد اکسایشی نانو ذره سلیوم است (Djanaguiraman *et al.*, 2018). یکی از عواقب تنش خشکی ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه است، نانو ذره سلیوم با از بین بردن رادیکال‌های آزاد میزان تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهند (Thygesen *et al.*, 2007).

باتوجه به ارزش زینتی و دارویی گیاه سرخارگل و تداوم مشکل کم‌آبی جهانی، همچنین اثرات مفید ذرات نانو در افزایش تحمل یا مقاومت گیاهان به خشکی و جایگاه سلیوم به عنوان عنصر مفید در تغذیه و تحمل گیاه به تنش‌های محیطی، این پژوهش به بررسی اثرات محلول‌پاشی برگی نانو ذره سلیوم در گیاه سرخارگل تحت شرایط تنش خشکی، به‌عنوان روشی نوین و کارآمد، پرداخته است.

پیشینه پژوهش

اثرات مثبت نانوذره سلیوم در کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است. استفاده از نانوسلیوم در غلظت ۱۰ میکرولیتر باعث افزایش وزن خشک شاخه میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌ها و گل‌ها در

همیشه بهار () تحت تنش شوری شده است (Shahraki et al., 2022). گزارش شده است که محلول پاشی سلنیوم و نانوسلنیوم در گیاه گل راعی بر بسیاری از صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، فیتوشیمیایی و متابولیت‌های ثانویه گیاه اثرات چشمگیر دارد. در این گزارش، محلول پاشی نانو ذره سلنیوم (۱۲ میلی گرم در لیتر) منجر به بیشترین تجمع سلنیوم در گیاه و محلول پاشی سلنیوم (۱۰ میلی گرم در لیتر) سبب بیشترین مقدار هایپرفورین شد (Rezaei Nazari, 2021). گزارش شده است که محلول پاشی نانوسلنیوم (۵۰ میلی گرم در لیتر) اثرات نامطلوب شوری را در گشنیز کاهش می‌دهد و اثر افزایشی بر رشد رویشی و میزان کلروفیل کل گیاه دارد، همچنین منجر به افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت سدیم گیاه تحت تنش شوری می‌شود (Ghazi., 2018).

تحقیقات نشان داده است که محلول پاشی سلنیوم آلی و نانوسلنیوم در کلم چینی تحت شرایط تنش خشکی وزن تر گیاه را افزایش می‌دهد (Wang et al., 2024). همچنین، سلنیوم و نانو سلنیوم می‌توانند با بازگرداندن رشد و کاهش آسیب اکسیداتیو، و افزایش تجمع املاح سازگار مانند پرولین و قند محلول، گیاهان گندم را از آسیب ناشی از تنش خشکی حفظ کنند (Sardari et al., 2022).

روش‌شناسی پژوهش

نشا‌های یک ماهه بذری گیاه سرخارگل رقم 'Rose Carmine' از گلخانه معتبر تولید نشا خریداری و از تاریخ ۳۰ فروردین ۱۴۰۱ به مدت دو ماه در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه (گلخانه با پوشش پلی کربنات، تحت شرایط نور طبیعی، رطوبت ۵۰ تا ۶۰ درصد و در محدوده 18 ± 2 درجه سلسیوس شب و 28 ± 2 درجه سلسیوس روز) نگهداری شدند. نشاها پس از رشد کافی در سینی کشت، در تاریخ ۳۰ خرداد ۱۴۰۱ به مزرعه منتقل شدند. پس از استقرار و شروع رشد رویشی جدید گیاهان و رسیدن به مرحله ۸ الی ۱۰ برگ، تنش خشکی در چهار سطح ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به روش سنجش رطوبت خاک در عمق ریشه و با استفاده از دستگاه تی‌دی‌آر اعمال شد. اعمال سطوح آبیاری بر اساس تخلیه مجاز مدیریتی تعیین گردید. در این روش کسری آب قابل استفاده خاک که تا قبل از آبیاری از منطقه فعال ریشه تخلیه شده است، قابل مدیریت است. زمانی که تخلیه مجاز مدیریتی هر تیمار آبیاری به مقدار مورد نظر می‌رسید، آبیاری بر اساس سطوح تنش، محاسبه و اعمال می‌شد (Allen et al., 1997). برای آبیاری بوته‌ها در مزرعه از سیستم آبیاری قطره‌ای با دبی خروجی مشخص در واحد زمان در کنار هر بوته استفاده شد. تیمار نانو ذره سلنیوم (تهیه شده از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان، به صورت محلول با خلوص ۹۹/۹۵ درصد و ذرات به شکل کروی با اندازه ذرات ۱۰ تا ۳۰ نانومتر) همزمان با اعمال سطوح مختلف تنش خشکی، بصورت محلول پاشی برگی و در چهار سطح صفر (شاهد)، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر و با فواصل دو هفته‌ای و در یک دوره سه ماهه انجام شد. با تکمیل شدن دوره گلدهی، برداشت نمونه‌های گیاهی انجام گردید. آزمایش مورد نظر به صورت کرت خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. گیاهان در زمین زراعی در ۴ کرت جداگانه کاشته شدند که هر کرت مربوط به یکی از سطوح تنش‌های آبیاری بود. محلول پاشی بوته‌ها در هر کرت در ۴ غلظت مورد نظر در این پژوهش انجام شد و هر غلظت بر روی ۱۰ بوته اعمال گردید که از ۱۰ بوته، ۳ تکرار ۳ مشاهده‌ای

1 *Calendula officinalis* L.

2 *Hypericum perforatum* L.

3 *Coriandrum sativum*

4 *Brassica chinensis* var. *pekinensis* 'Suzhouqing'

5 *Triticum aestivum* L.

6 TDR (TDR150- Spectrum, USA)

جهت اندازه‌گیری صفات و نمونه‌برداری‌های لازم مدنظر قرار گرفتند. تجزیه اطلاعات توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. جهت رسم شکل‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

سنجش رنگیزه آنتوسیانین گلبرگ

میزان ۰/۱ گرم گلبرگ خشک و پودر به ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی نگهداری شد. عصاره حاصل ۱۰ دقیقه در سانتریوفیوژ با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. سپس میزان جذب محلول روشن‌آور در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت گردید. سپس با استفاده از رابطه ۱، غلظت آنتوسیانین بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر گلبرگ بدست آمد (Wagner, 1979).

$$A = \varepsilon bc \quad \text{رابطه ۱}$$

A = عدد جذب قرائت شده، ε = ضریب خاموشی (۳۳۰۰۰ بر میلی‌مولار بر سانتی‌متر)، b = عرض کووت (۱ سانتی‌متر)، c = مقدار آنتوسیانین

سنجش میزان انباشت پرولین

مقدار ۰/۵ گرم از برگ تازه وزن در هاون چینی سائیده شد و به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید سه درصد از صافی کاغذی شماره ۲ گذرانده شد. سپس ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به محلول اضافه گردید و به مدت یک ساعت در لوله‌های درب بسته در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ سلسیوس قرار داده شد. پس از آن به منظور توقف واکنش، محلول بلافاصله با استفاده از یخ سرد شد. سپس به هر نمونه ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید و به مدت ۲۰ ثانیه بخوبی تکان داده شد. در نهایت فاز رویی قرمز رنگ حاوی پرولین جداسازی شد. میزان جذب محلول‌های استاندارد و نمونه، در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و میزان پرولین در نمونه گیاه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Bates et al., 1973).

$$Y = 0/000136 + 1/277X \quad R_2 = 0/99 \quad \text{رابطه ۲}$$

Y = مقدار جذب خوانده شده، X = میزان پرولین موجود در نمونه گیاهی

سنجش میزان انباشت مالون‌دی‌آلدهاید

مقدار ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید یک درصد به ۰/۵ گرم برگ تازه اضافه و در هاون چینی ساییده شد. عصاره حاصل ۲۵ دقیقه سانتریوفیوژ شد. ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی جدا و با ۵ میلی‌لیتر محلول ۲۰ درصد تری‌کلراستیک اسید حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید ترکیب شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس درون بن ماری قرارگرفت و به‌دنبال آن بلافاصله در روی یخ، سرد و سپس ۵ دقیقه سانتریوفیوژ (۱۰۰۰ دور در دقیقه) شد. جذب ماده قرمز رنگ مالون‌دی‌آلدهاید تیوباربیتوریک اسید در طول موج ۵۳۲ نانومتر و جذب سایر رنگیزه‌ها نیز در طول موج ۶۰۰ نانومتر قرائت گردید. مقدار مالون‌دی‌آلدهاید بر حسب نانومول بر گرم بافت تازه و ضریب خاموشی ۱۵۵ بر میلی‌مولار بر سانتی‌متر مطابق رابطه ۳ محاسبه شد (Valentovic et al., 2006).

$$MDA = \frac{A_{532} - A_{600}}{155} \times 1000 \quad \text{رابطه ۳}$$

A = میزان جذب خوانده شده در هر طول موج

1 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

2 Spectrophotometer (Halo DB-20)

سنجش فعالیت آنزیمی

استخراج عصاره گیاهی

برای استخراج عصاره گیاهی از روش (Kang & Saltiveit, 2002) با اندکی تغییرات استفاده شد. ۰/۵ گرم از بافت تر برگ و گل به همراه سه میلی‌لیتر بافر استخراج تریس-اسید کلریدریک ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) حاوی سه میلی‌مولار منیزیم کلرید و یک میلی‌مولار ای‌دی‌تی‌ای در هاون سرد ساییده شد. برای استخراج آنزیم آسکوربات پراکسیداز به بافر فوق میزان ۰/۲ میلی‌مولار آسکوربیک اسید اضافه گردید. عصاره همگن شده به مدت ۲۰ دقیقه در دمای یک درجه سلسیوس سانتی‌یوفیوژ و محلول رویی برای سنجش فعالیت آنزیمی استفاده شد.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش (Nakano & Asada, 1981) با اندکی تغییر انجام شد. مخلوط واکنش شامل دو میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) و ۱۰ میکرولیتر آسکوربات سدیم ۰/۵ میلی‌مولار بود که به ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه شد. در آخرین مرحله هیدروژن پراکسید به کووت اضافه و بلافاصله تغییرات جذب ثبت شد. فعالیت آسکوربات پراکسیداز به صورت کاهش در جذب طی ۱ دقیقه در طول موج ۲۹۰ نانومتر با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\text{Units} \left(\frac{\text{mM}}{\text{min}} \right) = \frac{\frac{doD}{\min(\text{slope})} \times TV \times D}{\epsilon \times EV} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$\frac{doD}{\min(\text{slope})}$ = اختلاف جذب، TV = حجم کل (بافر و عصاره آنزیمی استفاده شده)، D = ضریب رقت، ϵ = ضریب خاموشی با عدد ثابت ۳۹/۴، EV = حجم عصاره استفاده شده

سنجش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

میزان فعالیت گایاکول پراکسیداز با روش (Mac Adam et al., 1992) با اندکی تغییر تعیین شد. ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میکرولیتر بافر فسفات (pH = ۷) و ۵۰ میکرولیتر گایاکول خالص اضافه شد. ۵۰ میکرولیتر هیدروژن پراکسید در آخرین مرحله به کووت اضافه و سپس بلافاصله تغییرات جذب در نتیجه اکسیداسیون گایاکول به تتراگایاکول در طول موج ۴۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت یک دقیقه بصورت تغییرات جذب در یک دقیقه در یک گرم وزن تر گیاه محاسبه شد (رابطه ۵).

$$\text{Units} \left(\frac{\text{mM}}{\text{min}} \right) = \frac{\frac{doD}{\min(\text{slope})}}{26/6} \quad (\text{رابطه ۵})$$

یافته‌های پژوهشی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف محلول پاشی نانو ذره سلنیوم و تنش خشکی بر سرخارگل در تمام صفات مورد ارزیابی در این پژوهش معنی‌دار بوده است (جدول ۱).

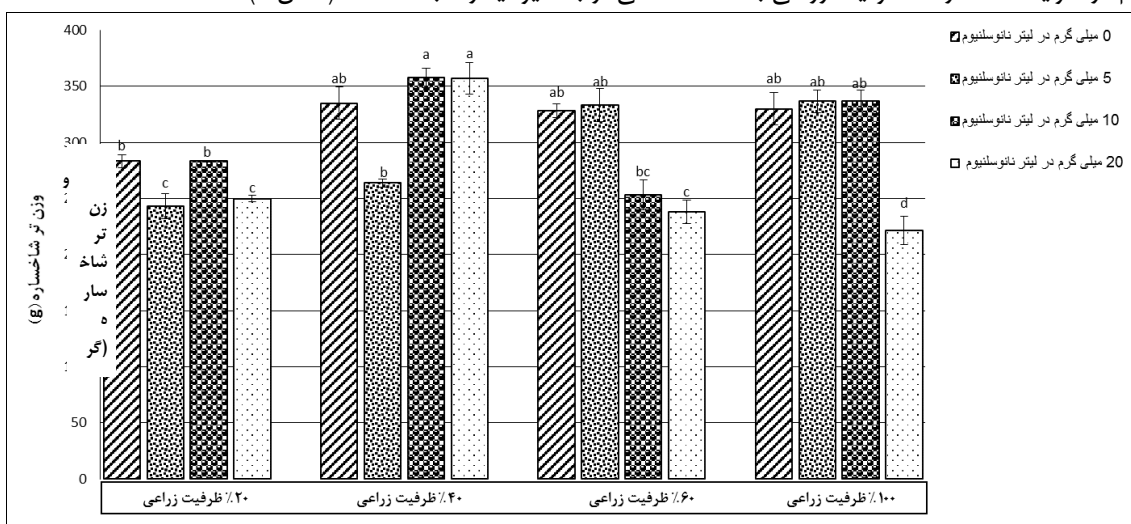
جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف محلول پاشی نانو ذره سلینیوم و تنش خشکی بر صفات مورد ارزیابی در سرخارگل (*Echinacea purpurea*)

میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	تعداد برگ	تعداد گل	آنتوسیانین گلبرگ	پرولین	مالون دی آلدهاید	آنزیم آسکوربات پراکسیداز
تنش خشکی	۳	۹۱۷۹/۳۵*	۵۷۶۱/۱۱	۱۱۹۴۹/۸۰	۱۱۶۰/۹۱**	۰/۰۶۸	۰/۰۲۶	۱/۶۸**	۴۰/۷۴**
محلول پاشی نانو ذره سلینیوم	۳	۱۷۳۵/۷۴	۱۳۸۱/۹۴	۴۰۲۲/۹۱**	۳۶/۰۸*	۰/۱۱۸	۰/۰۰۸**	۰/۶۸**	۶۷/۶۶**
اثر متقابل تیمارها	۹	۶۶۰۲/۹۶*	۲۸۵۸/۷۹**	۸۴۶۳/۷۵**	۵۹۴/۰۰**	۰/۳۱۸**	۰/۰۳۲**	۰/۶۲**	۱۴۲/۶۹**
خطا	۲۴	۳۶۸۳/۳۱	۷۵۰/۶۸	۲۳۲۷/۱۸	۲۳/۰۰	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۲/۸۲
ضریب تغییرات (درصد)	۱۷	۲۲	۱۹	۱۹	۱۹	۱۴	۱۷	۴	۱۳

ns، ** و *** به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار.

وزن تر شاخساره

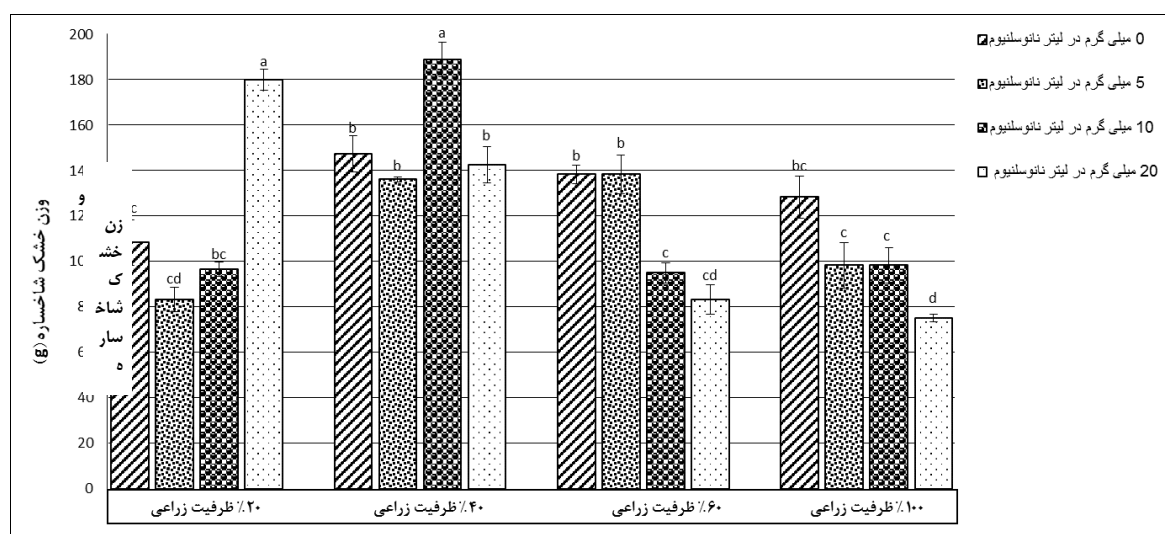
نتایج مقایسه میانگین صفت وزن تر گیاه نشان داد که بیشترین مقدار عددی وزن تر شاخساره در تیمارهای محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلینیوم در شرایط تنش آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۵۷ گرم) و محلول پاشی ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلینیوم در شرایط تنش آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۵۱/۵ گرم) مشاهده شد هر چند که از لحاظ آماری با تیمارهای صفر میلی گرم در لیتر نانو ذره سلینیوم و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، صفر و ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلینیوم در شرایط ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و صفر، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلینیوم در شرایط ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نداشتند، درحالی که کمترین وزن تر شاخساره (۲۲۱/۷ گرم) در تیمار محلول پاشی ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلینیوم در شرایط ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با اختلاف معنی دار با سایر تیمارها بدست آمد (شکل ۱).



شکل ۱. اثر تیمار غلظت‌های مختلف نانو ذره سلینیوم و سطوح مختلف خشکی بر وزن تر شاخساره سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose') (Carminé^۱). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

وزن خشک شاخساره

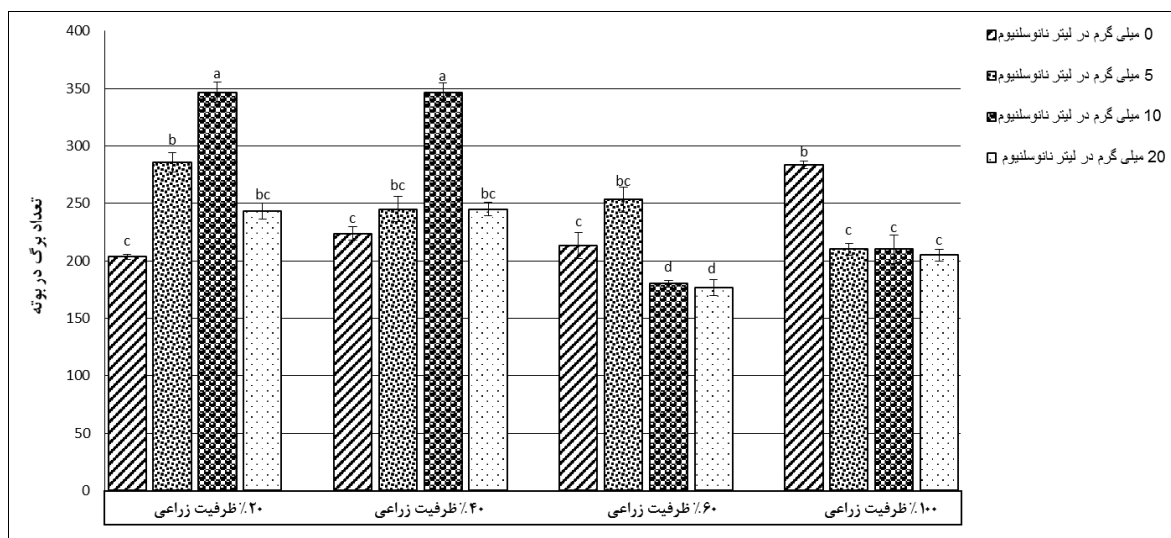
بیشترین مقدار وزن خشک شاخساره در تیمار ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۱۸۸/۷۵ گرم) و تیمار ۲۰ میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (۱۸۰ گرم) مشاهده شد و کمترین مقدار عددی وزن خشک شاخساره در تیمار محلول پاشی ۲۰ میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۷۵ گرم) بدست آمد که از لحاظ آماری با تیمارهای ۵ میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط ۲۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰ میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۲).



شکل ۲. اثر غلظت‌های مختلف نانوذره سلنیوم و سطوح مختلف خشکی بر وزن خشک شاخساره سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose Carmine'). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

تعداد برگ

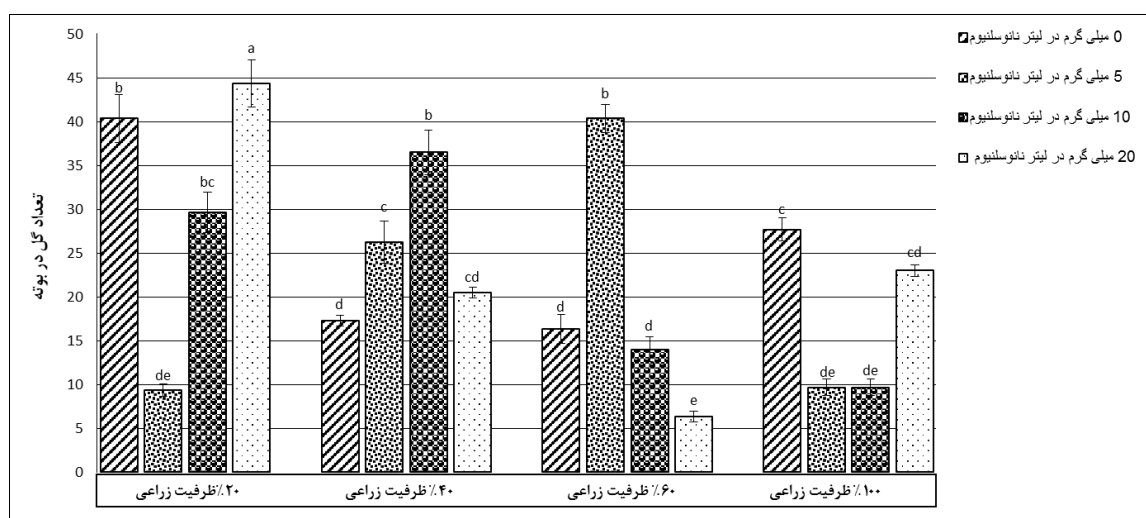
تعداد برگ در بوته در تیمارهای محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۴۶/۷ عدد) و محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۴۵ عدد) دارای بیشترین مقادیر بود، در حالی که در تیمارهای محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر (۱۷۶/۷ عدد) و ۲۰ میلی گرم در لیتر (۱۸۰ عدد) نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی دارای کمترین تعداد بود (شکل ۳).



شکل ۳. اثر غلظت‌های مختلف نانوذره سلنیوم و سطوح مختلف خشکی بر تعداد برگ در بوته سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose Carmine'). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

تعداد گل

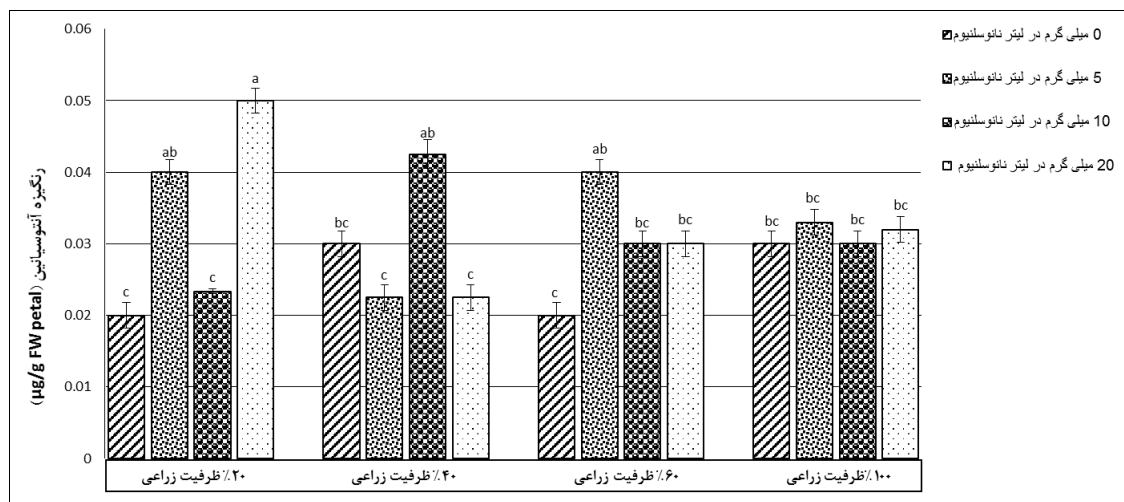
بیشترین تعداد گل در بوته (۴۴/۳ عدد) در تیمار محلول‌پاشی ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. کمترین تعداد گل در بوته (۶/۳ عدد) در تیمار محلول‌پاشی ۲۰ میلی‌گرم نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد، هر چند که از لحاظ آماری با تیمارهای ۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط ۲۰ درصد ظرفیت زراعی و ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۴).



شکل ۴. اثر غلظت‌های مختلف نانوذره سلنیوم و سطوح مختلف خشکی بر تعداد گل در بوته سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose Carmine'). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

میزان آنتوسیانین گلبرگ

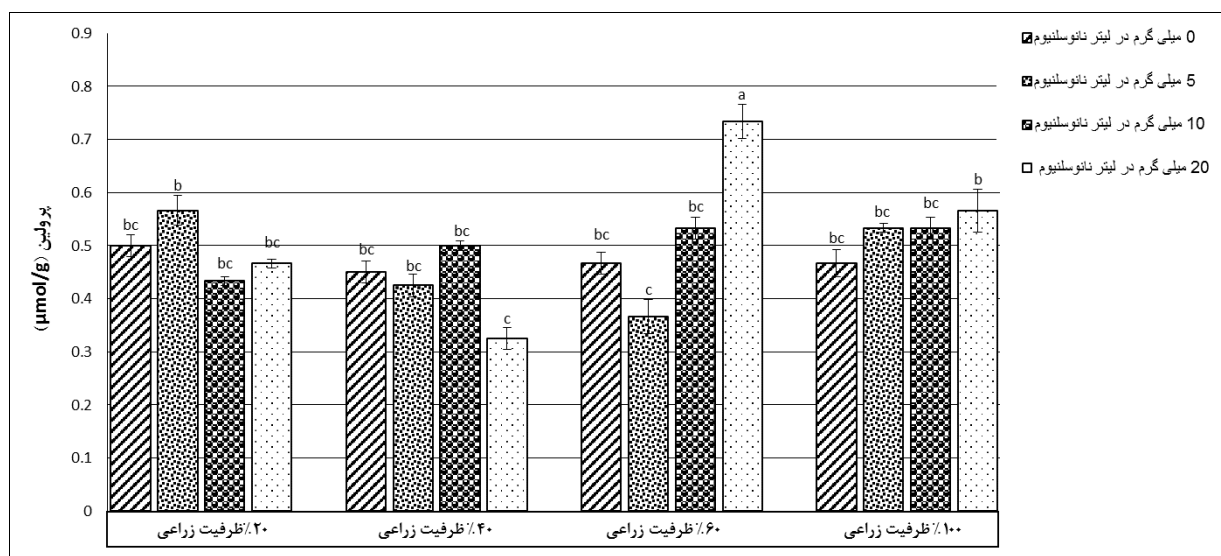
بیشترین میزان آنتوسیانین گلبرگ ($0/05$ میکروگرم بر گرم وزن تر)، در تیمار محلول پاشی 20 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری 20 درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. هر چند که از لحاظ آماری با تیمارهای 5 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری 20 درصد ظرفیت زراعی، 10 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط 40 درصد ظرفیت زراعی و 5 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط 60 درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نداشت. کمترین مقدار آنتوسیانین ($0/02$ میکروگرم بر گرم وزن تر) در تیمار بدون محلول پاشی و در شرایط تنش آبیاری 20 درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد، هر چند که از لحاظ آماری با تیمارهای 10 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط 20 درصد ظرفیت زراعی، صفر، 5 و 20 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط 40 درصد ظرفیت زراعی و صفر، 10 و 20 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط 60 درصد ظرفیت زراعی و صفر، 5 و 10 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط 100 درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۵).



شکل ۵. اثر غلظت‌های مختلف نانوذره سلنیوم و سطوح مختلف خشکی بر مقدار آنتوسیانین گلبرگ سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose' (Carmine)). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

انباشت پرولین

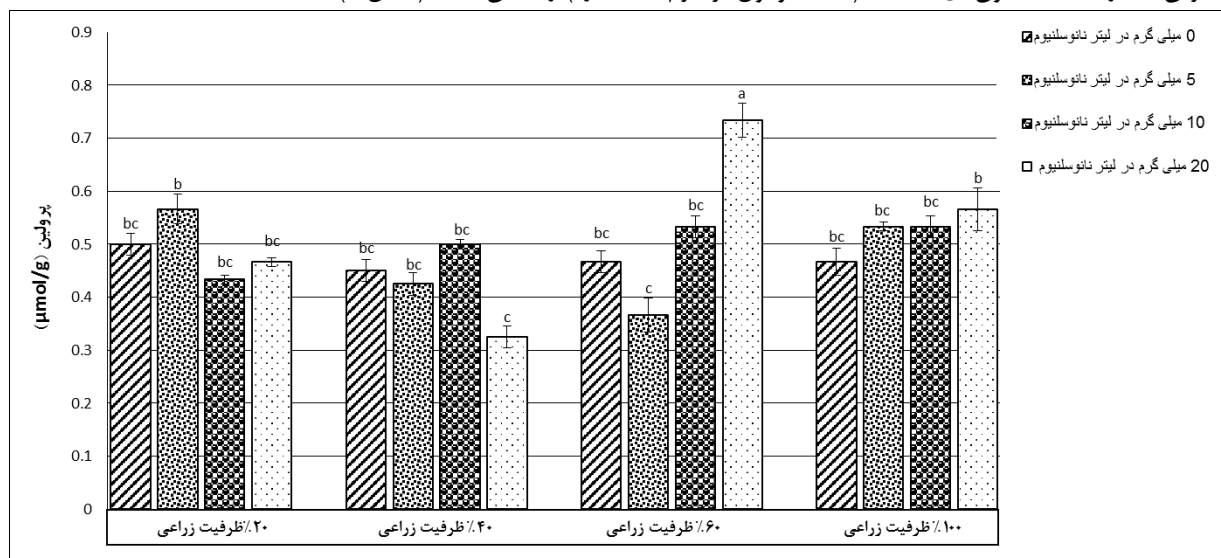
گیاهان تحت تیمار محلول پاشی 20 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری 60 درصد ظرفیت زراعی بیشترین میزان انباشت پرولین ($0/73$ میکرومول بر گرم) را نشان دادند، درحالی که گیاهان تحت تیمارهای محلول پاشی 20 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری 40 درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی 5 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری 60 درصد ظرفیت زراعی به ترتیب $0/32$ و $0/36$ میکرومول بر گرم کمترین مقدار پرولین را در بافت خود انباشت کردند. این مقادیر تفاوت معنی داری با مقادیر به دست آمده در تیمارهای محلول پاشی 5 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری 20 درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی 20 میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری 60 و 100 درصد ظرفیت زراعی داشت اما با سایر تیمارها تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۶).



شکل ۶. اثر غلظت‌های مختلف نانوذره سلنیوم و سطوح مختلف خشکی بر مقدار پرولین سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose Carmine'). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

انباشت مالون‌دی‌آلدهاید

گیاهانی که در شرایط تنش آبی ۲۰ درصد قرار داشتند بدون کاربرد نانو ذره سلنیوم بیشترین میزان انباشت مالون‌دی‌آلدهاید (۲/۶ نانومول بر گرم بافت تازه) را داشتند. اما زمانی که با ۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذره سلنیوم محلول‌پاشی شدند، کمترین مقدار انباشت مالون‌دی‌آلدهاید (۰/۸ نانومول بر گرم بافت تازه) را نشان دادند (شکل ۷).

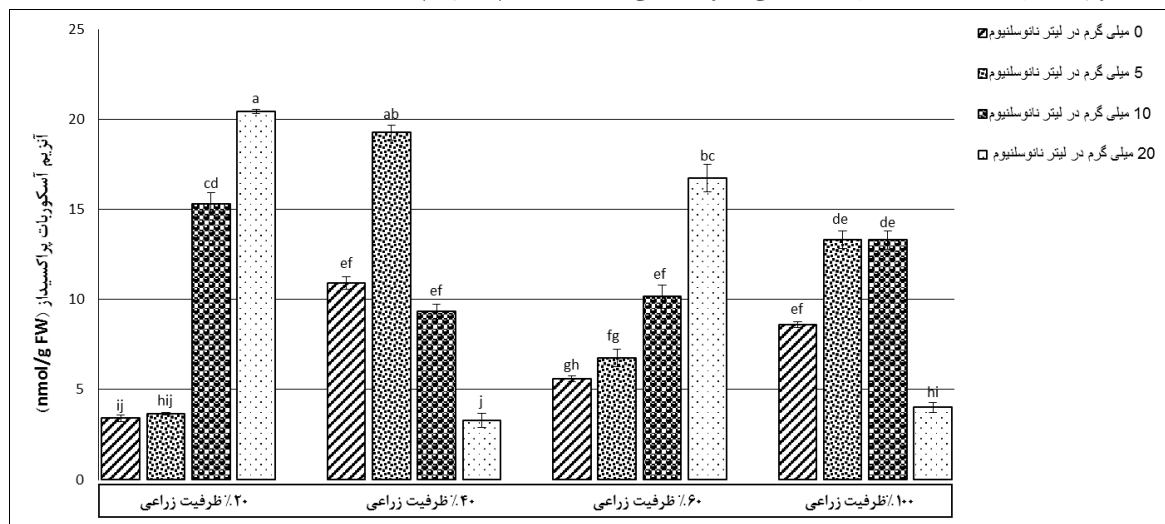


شکل ۷. اثر غلظت‌های مختلف نانوذره سلنیوم و سطوح مختلف خشکی بر صفت انباشت مالون‌دی‌آلدهاید سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose Carmine'). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۲۰/۵ نانومول بر گرم بافت تازه)، در تیمار محلول‌پاشی ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد، هر چند که از لحاظ آماری با تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذره سلنیوم در شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار فعالیت آنزیم

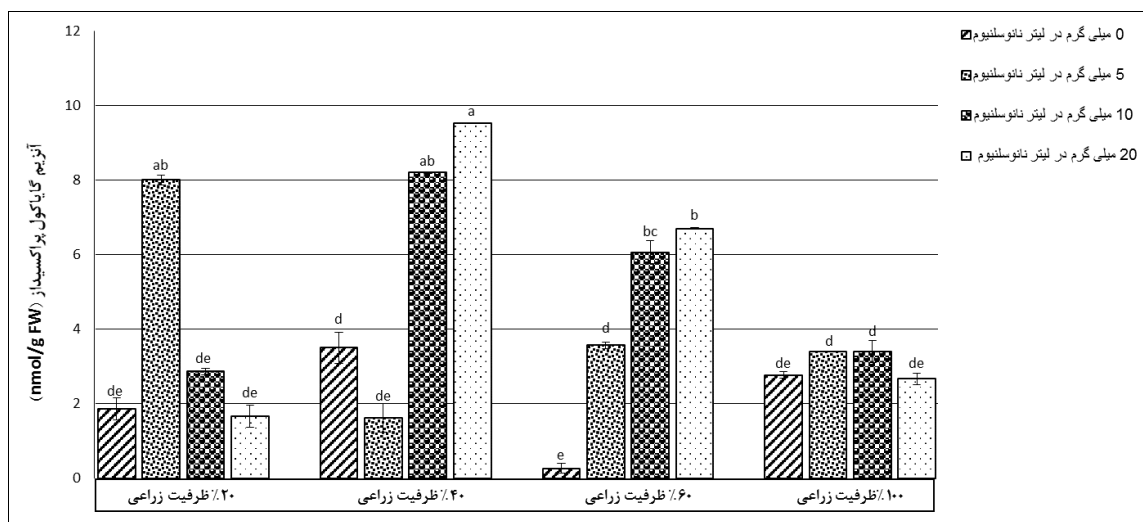
آسکوربات پراکسیداز (۳/۲ نانومول بر گرم بافت تازه) در تیمار محلول پاشی ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. این مقدار با مقادیر به دست آمده در تیمارهای صفر و ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط ۲۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۸).



شکل ۸. اثر غلظت‌های مختلف نانو ذره سلنیوم و سطوح مختلف خشکی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose' Carmine). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

آنزیم گایاکول پراکسیداز بیشترین میزان فعالیت (۹/۵۲ میلی مولار بر سانتی متر) را در تیمار محلول پاشی ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط تنش آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی داشت، با این وجود میزان آن از لحاظ آماری با تیمارهای ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط ۲۰ درصد ظرفیت زراعی و ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نداشت. کمترین مقدار فعالیت (۰/۲۷ میلی مولار بر سانتی متر) آن در تیمار بدون محلول پاشی در شرایط تنش آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید هر چند که از لحاظ آماری با تیمارهای صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط ۲۰ درصد ظرفیت زراعی، ۵ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و صفر و ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم در شرایط ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی داری نداشتند (شکل ۹).



شکل ۹. اثر غلظت‌های مختلف نانوذره سلینیوم و سطوح مختلف خشکی بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GA) سرخارگل (*Echinacea purpurea* 'Rose' Carmine). (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد.

بحث

وزن تر و خشک شاخساره

وزن تر شاخساره در گیاهان تحت تاثیر شرایط مختلف محیطی و تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرد. کمبود آب طی وقوع تنش خشکی باعث می‌شود میزان تورژسانس گیاه کاهش یابد و در نهایت رشد و توسعه سلولی کم شود و در نتیجه وزن تر و خشک شاخساره کم شود. به‌طور مشابه Javanmard *et al.* (2022) گزارش کردند که وزن تر و خشک بالنگو تحت تنش آبی متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و در شرایط تنش شدید آبی (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) کاهش یافته است.

محللول‌پاشی محرک‌های رشد در گیاهان، به‌عنوان یک عامل بیرونی عمل کرده و در تسریع تقسیمات سلولی و رشد سلول‌ها اثر می‌گذارد. زمانی که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد، استفاده از محرک‌های رشد برای مهار اثرات منفی تنش اثرگذار خواهد بود. علاقه فزاینده‌ای به استفاده از فناوری نانو در بخش کشاورزی برای مدیریت تنش‌های غیرزیستی و بهبود عملکرد گیاه در این شرایط وجود دارد. با این حال، استفاده بیش از حد از نانو کودها در غلظت‌های بالا نیز باعث ایجاد سمیت در گیاهان و تأثیر منفی بر رشد گیاه می‌شود (Asghari *et al.*, 2023). نانو ذره سلینیوم قادرند محتوای آب را افزایش داده و در نتیجه فرآیند بیوشیمیایی سلول‌های گیاهی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه را بهبود بخشند (Merwad *et al.*, 2018). طی تنش دمایی پایین و بالا، مقادیر کم سلینیوم (۲/۵ میکرومولار) و نانو ذره سلینیوم (۱ میکرومولار) رشد و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند (Haghighi *et al.*, 2014). محللول‌پاشی سلینیوم در گندم در غلظت ۰/۶۷ میکرومولار باعث تحریک رشد بیشتر و در نتیجه افزایش وزن تر و خشک گردیده است (Nawaz *et al.*, 2017). محللول‌پاشی نانوذره سلینیوم در گیاه گوار نشان داده است که در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نانوذره سلینیوم، طول ریشه، وزن تازه و خشک و همچنین سطح برگ نسبت به سایر تیمارها افزایش یافته است (Ragavan *et al.*, 2017). در حالی که مطابق با نتایج ما، در توت‌فرنگی محللول‌پاشی نانو ذره سلینیوم در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث تعدیل اثرات نامطلوب خشکسالی بر رشد و عملکرد گیاه شد

1 *Lallemantia iberica*

2 *Cyamopsis tetragonoloba*

3 *Fragaria × ananassa*

(Zahedi et al., 2020)، گزارش شده است که در نعنای آناناسی وزن خشک تحت تاثیر محلول پاشی نانو ذره سلنیوم نانوذره قرار نگرفت و تنها محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذره سلنیوم افزایش اندکی در وزن تر و خشک گیاه ایجاد نمود (Kiumarzi et al., 2022). گیاه بادرنجیویه نیز گزارش شده است که غلظت پایین سلنیوم باعث رشد ریشه شده ولی غلظت‌های بالاتر آن میزان تقسیم سلولی را کاهش می‌دهد (Tavakoli et al., 2020). این نتایج نشان می‌دهد که واکنش گیاهان در برابر غلظت‌های مشابه یک نانوذره بسیار متفاوت است. در مطالعه حاضر، غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم اثرات مطلوب تری در مقابله با تنش خشکی داشتند. در یک بررسی محلول پاشی نانو ذره سلنیوم در غلظت ۶/۲۵ مولار باعث افزایش میزان رشد شاخساره لوبیا چشم بلبلی شد. محققان علت این افزایش را با افزایش سیتوکینین و جیبرلین مرتبط دانستند (El Lateef Gharib et al., 2019). در مقابل، در گوجه فرنگی غلظت پایین تر (۳ میلی گرم در لیتر) نانوذره سلنیوم سبب افزایش زیست توده در بخش هوایی و ریشه شد، در حالی که غلظت بالاتر آن (۱۰ میلی گرم در لیتر) مقدار زیست توده در شاخساره و ریشه را کاهش داد (Neysanian et al., 2020).

تنش خشکی می‌تواند اثرات منفی بر رشد بخش هوایی و ریشه داشته باشد. گزارش شده است که عملکرد ماده خشک مریم‌گلی تحت تنش کم آبی متوسط و شدید به ترتیب ۳۰ و ۳۵ درصد کاهش می‌یابد (Ostadi et al., 2022). استفاده از برخی عناصر ریزمغذی محرک رشد می‌تواند در نقش تعدیل کننده تنش عمل کرده و اثرات کاهشی آن را خنثی نماید. تحریک رشدی که به دنبال استفاده از سلنیوم در شرایط مختلف تنش محیطی ایجاد می‌شود، با افزایش فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مرتبط است (Kiumarzi et al., 2022). در یک بررسی نشان داده شد که محلول پاشی نانو ذره سلنیوم بخصوص در غلظت‌های بالای بکار برده شده (۴۰ و ۶۰ میلی گرم در لیتر) در گیاه گشنیز تحت تنش کادمیوم، مقادیر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب را افزایش داد (Babashpour-Asl et al., 2022). در بررسی دیگری گزارش شد که سلنیوم، به‌ویژه در غلظت‌های پایین، اثرات نامطلوب تنش شوری را با تحریک رشد گیاه کاهش می‌دهد (Zahedi et al., 2020).

در گیاهان ریحان تحت تنش خشکی عملکرد ماده خشک با کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم به مقدار ۱۴ درصد و کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره سلنیوم به مقدار ۱۳ درصد، افزایش یافت. بیشترین عملکرد ماده خشک گیاه در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر و کمترین عملکرد ماده خشک در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون محلول پاشی نانوذره بدست آمد (Asghari et al., 2023). در مطالعه حاضر استفاده از نانوذره سلنیوم در رشد گیاهان تحت تنش خشکی تاثیر مثبت داشت، اما تحت شرایط آبیاری در سطح ظرفیت مزرعه کاربرد آن در غلظت‌های بالا سبب کاهش صفات رشدی شد. سلنیوم در غلظت‌های پایین قادر است رشد ریشه را از طریق تعامل در تولید تنظیم کننده‌های رشدی تحت تاثیر قرار دهد. مشخص شده است که اکسین و اتیلن سبب تغییر الگوی رشد ریشه‌های اولیه و نابجا در برنج، تنباکو و آرابیدوپسیس می‌شوند. از طرف دیگر، سلنیوم نیز در طولیل شدن ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی یا میزان توده ریشه نقش دارد، در نتیجه بر میزان وزن تر و خشک ریشه اثرگذار خواهد بود (Malheiros et al., 2019).

تعداد برگ

در این بررسی، محلول پاشی نانوذره سلنیوم باعث تحریک رشد گیاه و افزایش تعداد برگ در واحد سطح شد. گزارش شده است که در گندم تحت تنش خشکی کاربرد نانو ذره سلنیوم با غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر، تعداد برگ در بوته، طول ساقه،

1 *Mentha suaveolens* Ehrh.

2 *Melissa officinalis*

3 *Vigna unguiculata* L.

4 *Salvia officinalis* L.

طول ریشه و ارتفاع بوته را افزایش می‌دهد (Ikram et al., 2021). در گیاه کلزا نیز محلول‌پاشی سلینیوم باعث افزایش عملکرد، طول ساقه و تعداد برگ گیاه در شرایط تنش شوری شده است (Hashem et al., 2013).

تعداد گل

این پژوهش نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی استفاده از نانوذره سلینیوم می‌تواند میزان تولید گل سرخارگل را در بوته افزایش دهد. نانوذره سلینیوم در شرایط تنش با بهبود شرایط فتوسنتزی، تغییر متابولیسم تنظیم‌کننده‌های رشدی گیاه و فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی می‌تواند باعث بهبود رشد رویشی و زایشی در گیاه شود (Shahraki et al., 2022). در پژوهشی روی گل داودی محلول‌پاشی نانوذره سلینیوم در غلظت‌های ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش تعداد گل در بوته شد (Seliem et al., 2020).

رنگیزه آنتوسیانین

محتوای آنتوسیانین در شرایط تنش خشکی با کاربرد نانو ذره سلینیوم افزایش یافت. آنتوسیانین‌ها مهم‌ترین گروه از رنگدانه‌های طبیعی بعد از کلروفیل هستند که خاصیت آنتی‌اکسیدانی داشته و در شرایط تنش می‌توانند به‌عنوان محافظ برای گیاه عمل کنند. محلول‌پاشی نانوذره سلینیوم در گیاه گوار در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز باعث افزایش میزان آنتوسیانین علاوه بر محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، و پروتئین‌ها شده است (Ragavan et al., 2017).

انباشت پرولین

در این بررسی استفاده از نانوذره سلینیوم در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش میزان پرولین در سرخارگل شد. گیاهان زمانی که در معرض تنش‌های متفاوتی قرار می‌گیرند، غلظت پرولین را جهت تنظیم نفوذ سلولی تغییر داده و بدین وسیله از خود در برابر آسیب تنش محافظت می‌کنند (Bhagyawant et al., 2019). تحت شرایط کمبود آب، تجمع قندهای محلول و پرولین در پاسخ به تنش محیطی با تنظیم اسمزی یا محافظت از غشای سلولی مرتبط است. افزایش ترکیبات اسمولیت، از جمله پرولین باعث کاهش پتانسیل اسمزی و حفظ فشار تورژسانس سلول‌های گیاهی در سطح بالایی می‌شود که از این طریق سطوح رادیکال‌های آزاد را در محدوده طبیعی حفظ می‌کند و باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاها می‌گردد (Furlan et al., 2020). محلول‌پاشی نانوذره سلینیوم میزان پرولین در گیاه تحت تنش را افزایش می‌دهد که این افزایش به دنبال افزایش بیان ژن‌های مرتبط با پرولین رخ می‌دهد (Babashpour-Asl et al., 20212). محلول‌پاشی سلینیوم با افزایش فعالیت گلوتامیل کیناز به عنوان آنزیم کلیدی دخیل در مسیر بیوسنتز پرولین، تولید پرولین را تقویت کرده و از این طریق تجمع پرولین را در گیاهان کنترل می‌کند (Khan et al., 2015). Ghasemian et al., (2021) نیز نشان دادند که نانوذره سلینیوم محتوای پرولین را افزایش می‌دهد. استفاده از سلینیوم باعث می‌شود محتوای پکتین و همی سلولز افزایش و در نتیجه ضخامت دیواره سلولی بیشتر شود و همچنین از اتصال فلزات مضر به دیواره سلولی جلوگیری بعمل آید (Zhao et al., 2019).

انباشت مالون‌دی آلدهاید

مالون‌دی آلدهاید ترکیبی فعال و بسیار واکنش‌پذیر است که حاصل پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع است و عملکرد مولکول‌ها و نهایتاً عملکرد سلول را تحت تاثیر قرار می‌دهد این ماده تولید زیست‌توده را به حداقل می‌رساند و میزان سازگاری گیاه با تنش را کاهش می‌دهد، بنابراین یک مشخصه بیوشیمیایی برای تنش‌ها محسوب می‌شود (Hernández & Almansa., 2002). در این مطالعه استفاده از نانو ذره سلینیوم سبب کاهش میزان مالون دی‌آلدهاید در گیاهان تحت

1. *Brassica napus*

2. *Chrysanthemum morifolium* Ramat

تنش شد. در لوبیا نیز تغذیه برگی با نانو دی‌اکسید سلنیوم در شرایط تنش شوری باعث کاهش قابل توجه نشانگرهای تنش اکسیداتیو از جمله میزان مالون دی‌آلدهاید و نشت یونی گردید (Rady *et al.*, 2020). محلول پاشی نانو ذره سلنیوم در گیاهان گشنیز تحت تنش کادمیوم باعث کاهش میزان مالون دی‌آلدهاید و عوارض ناشی از تنش کادمیوم شد (Babashpour-Asl *et al.*, 2022).

فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز

آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در زمان وقوع تنش خشکی، نقش مهمی در القای مقاومت ایفا می‌کنند (Samynathan *et al.*, 2023). مطالعات اخیر نشان داده است که سلنیوم توانایی بسیاری از گیاهان را برای حذف رادیکال‌های آزاد از طریق سیستم آنزیمی بهبود می‌بخشد (Pereira *et al.*, 2018). کاربرد سلنیوم در غلظت‌های پایین باعث ایجاد تغییر مقادیر اسید جاسمونیک، اسید سالیسیلیک و اتیلن می‌شود و سیگنال‌دهی آن باعث تغییر در متابولیسم گیاه و بیان ژن‌های دفاعی می‌شود (Al-Deriny *et al.*, 2020). مشخص شده است که نانو ذره سلنیوم با افزایش جواز زنی دانه گرده و عملکرد دانه، سرعت فتوسنتز و کاهش تنش اکسیداتیو، آسیب تنش ناشی از دمای بالا را کاهش می‌دهند (Djanaguiraman *et al.*, 2018). علاوه بر این، تیمار با سلنیوم باعث فعالیت بیشتر آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، دهیدروآسکوربات ردوکتاز، گلوکاتایون ردوکتاز و مونو دهیدروآسکوربات ردوکتاز می‌شود که آنزیم‌هایی با ظرفیت آنتی اکسیدانی هستند (Schiavon *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

در شرایط تنش خشکی، گیاه راهکارهای متنوعی برای فرار یا اجتناب از عواقب تنش انتخاب می‌کند اما سطوح شدید تنش باعث آسیب جدی به ساختار گیاه و تغییر روند فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه می‌شود. استفاده از ترکیباتی مانند نانوذره سلنیوم می‌تواند به عنوان ماده کمکی عمل کرده و با ایجاد تداخل در فرآیندهای مختلف، میزان مقاومت گیاه را افزایش و آسیب وارده به آن را کاهش دهد. این نانوذره قادر به حذف رادیکال‌های آزاد و ایجاد تغییرات در میزان تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است و بدین وسیله اثرگذاری خود را در گیاه اعمال می‌کند. طبق نتایج بدست آمده از مطالعه ما و بررسی عملکرد نانوذره تحت سطوح مختلف بکار رفته خشکی در این آزمایش و مطالعه صفات عملکردی و بیوشیمیایی، مشخص شد که محلول پاشی نانوذره سلنیوم توانسته است میزان مقاومت گیاه سرخارگل را در شرایط تنش افزایش دهد و میزان آسیب وارده به ساختار گیاه را تحت شرایط تنش شدید، تعدیل بخشد.

بررسی و مطالعه سایر غلظت‌های نانوذره سلنیوم و مقایسه آن با سایر منابع سلنیوم و همچنین کاربرد نانوذره بصورت کودآبیاری در مراحل نشایی گیاه سرخارگل به منظور ارزیابی تغییرات سیستم‌های آنتی اکسیدانی می‌تواند درک ما را نسبت به این عنصر شبه فلزی مفید و اثرات آن در کاهش صدمات ناشی از تنش‌های اکسیداتیو گسترده‌تر کند.

REFERENCES

- Abdoli, M., Moieni, A. & Naghdi Badi, H. (2013). Morphological, physiological, cytological and phytochemical studies in diploid and colchicine-induced tetraploid plants of *Echinacea purpurea* (L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 2075–2083. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1242-9>
- Al-Deriny, S. H., Dawood, M. A., Elbially, Z. I., El-Tras, W. F., Mohamed, R. A. (2020). Selenium nanoparticles and spirulina alleviate growth performance, hemato-biochemical, immune-related genes, and heat shock protein in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biological Trace*

- Elements Research*, 19, 661–668. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02096-w>
- Allen, D. J., McKee, I. F., Farage, P. K. & Baker, N. R. (1997). Analysis of the limitation to CO₂ assimilation to exposure of leaves of two *Brassica napus* cultivars to UV-B. *Plant, Cell & Environment*, 20(5), 633–640. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1997.00093.x>
- Asghari, J., Mahdavia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Banaei-Asl, F., Amani Machiani, M. & Tom Harrison, M. (2023). Selenium Nanoparticles Improve Physiological and Phytochemical Properties of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Drought Stress Conditions. *Land*, 12(1), 164. <https://doi.org/10.3390/land12010164>
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M. M. & Salehi, A. (2020). Improving growth and phenolic compounds of *Echinacea purpurea* root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. *Industrial Crops and Products*, 154, 112763. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112763>
- Babashpour-Asl, M., Farajzadeh Memari Tabrizi, E. & Yousefpour-Dokhanieh, A. (2022). Foliar-applied selenium nanoparticles alleviate cadmium stress through changes in physio-biochemical status and essential oil profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(53), 80021-80031. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19941-1>
- Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bhagyawant, S. S., Narvekar, D. T., Gupta, N., Bhadkaria, A., Koul, K. K. & Srivastava, N. (2019). Variations in the antioxidant and free radical scavenging under induced heavy metal stress expressed as proline content in chickpea. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(3), 683–696. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00667-3>
- Bruni, R., Brighenti, V., Caesar, L. K., Bertelli, D., Cech, N. B. & Pellati, F. (2018). Analytical methods for the study of bioactive compounds from medicinally used *Echinacea* species. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 160, 443–477. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2018.07.044>
- Djanaguiraman, M., Belliraj, N., Bossmann, S. H. & Prasad, P.V. (2018). High-temperature stress alleviation by selenium nanoparticle treatment in grain sorghum. *ACS Omega*, 3(3), 2479–2491. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01934>
- El Lateef Gharib, F. A., Zeid, I. M., Ghazi, S. M. & Ahmed, E. Z. (2019). The response of cowpea (*Vigna unguiculata* L) plants to foliar application of sodium selenate and selenium nanoparticles (SeNPs). *Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology*, 8(4). <http://dx.doi.org/10.4172/2324-8777.1000272>
- Furlan, A. L., Bianucci, E., Giordano, W., Castro, S. & Becker, D. F. (2020). Proline metabolic dynamics and implications in drought tolerance of peanut plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 151, 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.010>
- Ghasemian, S., Masoudian, N., Saeid Nematpour, F. & Safipour Afshar, A. (2021). Selenium nanoparticles stimulate growth, physiology, and gene expression to alleviate salt stress in *Melissa officinalis*. *Biologia*, 76, 2879–2888. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00854-2>
- Ghazi, D. A. (2018). The contribution of nano-selenium in alleviation of salinity adverse effects on coriander plants. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 9(12), 753-760. <http://dx.doi.org/10.21608/jssae.2018.36530>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.006>
- Harborne, J. B. & Williams, C. A. (2004). Phytochemistry of the genus *Echinacea*. In S. C. Miller & H. Yu, (Eds.), *Echinacea: the genus Echinacea (medicinal and aromatic plants - industrial profiles)*, pp 55-71. CRC Press.
- Hashmat, S., Shahid, M., Tanwir, K., Abbas, S., Ali, Q., Niazi, N. K., Akram, M. S., Saleem, M. H. & Javed, M.T. (2021). Elucidating distinct oxidative stress management, nutrient acquisition and yield responses of *Pisum sativum* L. fertigated with diluted and treated wastewater.

- Agricultural Water Management*, 247, 106720. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106720>
- Hernández, J. A. & Almansa, M. (2002). Short-term effects of salt stress on antioxidant systems and leaf water relations of pea leaves. *Physiologia Plantarum*, 115(2), 251-257. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150211.x>
- Ikram, M., Javed, B., Raja, N.I., Mashwani, Z.u.R. (2021). Biomedical potential of plant-based selenium nanoparticles: A comprehensive review on therapeutic and mechanistic aspects. *International Journal of Nanomedicine*. 16, 249-268. <https://doi.org/10.2147/IJN.S295053>
- Javanmard, A., Ashrafi, M., Morshedloo, M. R., Machiani, M. A., Rasouli, F. & Maggi, F. (2022). Optimizing phytochemical and physiological characteristics of Balangu (*Lallemantia iberica*) by foliar application of chitosan nanoparticles and myco-root inoculation under water supply restrictions. *Horticulturae*, 8(8), 695. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080695>
- Kang, H. M. & Saltveit, M. E. (2002). Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling (leaves and roots) and differentially affected by salicylic acid. *Physiologia Plantarum*, 115(4), 571-576. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150411.x>
- Kiumarzi, F., Morshedloo, M. R., Zahedi, S. M., Mumivand, H., Behtash, F., Hano, C., Chen, J. T. & Lorenzo, J. M. (2022). Selenium nanoparticles (Se-NPs) alleviates salinity damages and improves phytochemical characteristics of pineapple mint (*Mentha suaveolens* Ehrh.). *Plants*, 11(10), 1384. <https://doi.org/10.3390/plants11101384>
- Kumar, A., Gupta, K., Dixit, S., Mishra, K. & Srivastava, S. (2019). A review on positive and negative impacts of nanotechnology in agriculture. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 2175–2184. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2119-7>
- Mac Adam, J. W., Nelson, C. J. & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology*, 99(3), 872–878. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.99.3.879>
- Malheiros, R. S., Costa, L. C., Ávila, R. T., Pimenta, T. M., Teixeira, L. S., Brito, F. A. & Zsögön, A. (2019). Selenium downregulates auxin and ethylene biosynthesis in rice seedlings to modify primary metabolism and root architecture. *Planta*, 250(1), 333–345. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-019-03175-6>
- Mehrpooya, Z., Abdoli, M. & Talebian, M. R. (2021). Effect of salicylic acid and yeast extract on caffeic acid derivatives production in *Echinacea purpurea* L. *Journal of Medicinal Plants*, 20(78), 36-47. <http://dx.doi.org/10.52547/jmp.20.78.36>
- Merwad, A. R. M. A., Desoky, E. S. M. & Rady, MM. (2018). Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228(3), 132-144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.008>
- Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(5), 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
- Nawaz, F., Ashraf, M.Y., Ahmad, R., Waraich, E.A., Shabbir, R.N., Hussain, R.A. (2017). Selenium supply methods and time of application influence spring wheat (*Triticum aestivum* L.) yield under water deficit conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 155, 643–656. <https://doi.org/10.1017/S0021859616000836>
- Neysanian, M., Iranbakhsh, A., Ahmadvand, R., OraghiArdebili, 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. *PLoS ONE*, 15, e0244207. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244207>
- Ostadi, A., Javanmard, A., Amani Machiani, M., Sadeghpour, A., Maggi, F., Nouraein, M., Morshedloo, M. R., Hano, C. & Lorenzo, J. M. (2022). Co-application of TiO₂ nanoparticles and arbuscular mycorrhizal fungi improves essential oil quantity and quality of sage (*Salvia officinalis* L.) in drought stress conditions. *Plants*, 11(13), 1659. <https://doi.org/10.3390/plants11131659>
- Parsons, J. L., Cameron, S. I., Harris, C. S. & Smith, M. L. (2018). *Echinacea* biotechnology: advances, commercialization and future considerations. *Pharmaceutical Biology*, 56(1), 485–

494. <https://doi.org/10.1080/13880209.2018.1501583>
- Pereira, G. A., Gerolis, L. G. L., Gonçalves, L. S., Pedrosa T. A. & José Neve, M. (2018). Selenized *Saccharomyces cerevisiae* cells are a green dispenser of nanoparticles. *Journal of Biomedical Physics & Engineering Express*, 4(3), 035028. [doi:10.1088/2057-1976/aab524](https://doi.org/10.1088/2057-1976/aab524)
- Rady, M. M., Belal, H. E., Gadallah, F. M. & Semida, W. M. (2020). Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266, 109290. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109290>
- Ragavan, P., Ananth, A. & Rajan, M. R. (2017). Impact of selenium nanoparticles on growth, biochemical characteristics and yield of cluster bean *Cyamopsis tetragonoloba*. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(6), 2917-2926. <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.6.19>
- Rezaei Nazari, M., Abdossi, V., Zamani Hargalani, F. & Larijani, K. (2021). The response of *Hypericum perforatum* L. to the application of selenium and nano-selenium. *Research Square*, 1-9. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-708123/v1>
- Samynathan, R., Venkidasamy, B., Shanmugam, A., Sathishkumar Ramalingam, S. & Thiruvengadam, M. (2023). Functional role of microRNA in the regulation of biotic and abiotic stress in agronomic plants. *Frontiers in Genetics*, 14:1272446. <https://dx.doi.org/10.3389/fgene.2023.1272446>
- Sardari, M., Rezayian, M. & Niknam, V. (2022). Comparative Study for the effect of selenium and nano-selenium on wheat plants grown under drought stress. *Russian Journal Plant Physiology*, 69(6) 127. <https://doi.org/10.1134/S102144372206022X>
- Schiavon, M., Ertani, A., Parrasia, S. & Dalla Vecchia, F. (2017). Selenium accumulation and metabolism in algae. *Aquatic toxicology*, 189, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.05.011>
- Seliem, M. K., Hafez, Y. & El-Ramady, H. (2020). Using nano-selenium in reducing the negative effects of high temperature stress on *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences*, 46(3), 47–60. <https://doi.org/10.21608/jsas.2020.23905.1203>
- Shahraki, B., Bayat, H., Aminifard, M. H. & Azarmi Atajan, F. (2022). Effects of foliar application of selenium and nano-selenium on growth, flowering, and antioxidant activity of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress conditions. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(20), 2749-2765. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2089679>
- Tahmasebi, A., Ebrahimie, E., Pakniyat, H., Ebrahimi, M. & Mohammadi-Dehcheshmeh, M. (2019). Tissue-specific transcriptional biomarkers in medicinal plants: application of large-scale meta-analysis and computational systems biology. *Gene*, 691, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.12.056>
- Tavakoli, S., Enteshari, S. & Yousefifard, M. (2020). Investigation of the effect of selenium on growth, antioxidant capacity and secondary metabolites in *Melissa officinalis*. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 10(2), 3125-3134. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2020.672572>
- Thygesen, L., Thulin, J., Mortensen, A. & Skibsted, L. (2007). Antioxidant activity of cichoric acid and alkamides from *Echinacea purpurea*, alone and in combination. *Food Chemistry*, 101(1), 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.048>
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L. & Gasparikora, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, memberane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant, Soil and Environment*, 52(4), 186-191. <http://dx.doi.org/10.17221/3364-PSE>
- Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. *Plant Physiology*, 64(1), 88-93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>
- Wang, Y., Rao, C., Huang, L., Wu, J., Sun, P., Zhan, J., Wu, J., Liu, S., Zhou, C., Hu, L., Li, N., Chen, J. & He, X. (2024). Effects of organic selenium and nanoselenium on drought stress of pak choi (*Brassica chinensis* var. *pekinensis*. cv. ‘Suzhouqing’) and Its Transcriptomic Analysis. *Agronomy*, 14(1), 78. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010078>

- Zahedi, S. M., Moharrami, F., Sarikhani, S. & Padervand, M. (2020). Selenium and silica nanostructure-based recovery of strawberry plants subjected to drought stress. *Scientific Reports*, 10, 17672. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74273-9>
- Zhao, X., Zhao, Q., Chen, H. & Xiong, H. (2019). Distribution and effects of natural selenium in soybean proteins and its protective role in soybean β -conglycinin (7S globulins) under AAPH-induced oxidative stress *Food Chemistry*, 272, 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.039>