




The Effect of Different Levels of Sodium Selenate and Selenite on Some Growth and Physiological Characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

Halime Jafari¹ , Mohammad Moghaddam² 

1 Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: jafari.reyhane.982@gmail.com

2 Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: m.moghaddam@um.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Selenium is one of the useful chemical elements for plants growth which, in addition to its beneficial effects on plant growth, is known as an essential substance for human and animal health. This research was carried out to investigate the effect of different levels of sodium selenate and selenite on some growth and physiological traits of peppermint in a completely randomized design with 4 replications. Plants were grown in a soilless culture system in the research greenhouse of the faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, The treatments included different levels of sodium selenate (4, 8 and 12 mg/L) and sodium selenite (4, 8 and 12 mg/L), equal to 0.02, 0.04 and 0.06 M of selenate and selenite sodium, respectively in Hoagland solution. The control treatment was a Hoagland solution without selenium application. Based on the results of the analysis of variance, the effect of sodium selenate and sodium selenite on all measured traits was significant. The results showed that the highest dry weight of aerial parts was observed in the treatment with 4 mg/L of sodium selenate. The relative water content of the leaf (6.6%) and guaiacol peroxidase activity (29.02%) were increased with the treatment of 4 mg/L of sodium selenate, compared to the control. The treatment with 12 mg/L of selenite and selenate sodium increased the ion leakage percentage, malondialdehyde and hydrogen peroxide concentrations. According to the obtained results, the treatment of 4 mg/L of selenate and selenite sodium is recommended to increase growth and improve some physiological characteristics in peppermint plant.
Article history: Received: 29 June 2022 Received: 11 November 2022 Accepted: 12 February 2023 Published online: 22 June 2023	
Keywords: <i>Aerial dry weight,</i> <i>Hydrogen peroxide,</i> <i>Ion leakage percentage,</i> <i>Selenium,</i> <i>Soluble protein.</i>	
Cite this article: Jafari, H., & Moghaddam, M. (2023). The Effect of Different Levels of Sodium Selenate and Selenite on Some Growth and Physiological Characteristics of Peppermint (<i>Mentha piperita</i> L.). <i>Iranian Journal of Horticultural Science</i> , 54 (2), 269-284. DOI: http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.344758.2039	
	

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.344758.2039>

Extended Abstract

Introduction

Selenium is one of the useful elements for plants which, in addition to its beneficial effects on plant growth, is known as an essential substance for human and animal health. Two inorganic forms of selenium include selenate (SeO_4^{4-}) and selenite (SeO_3^{3-}). Selenate is more mobile than selenite and is transported to aerial organs through wood vessels, but selenite is converted into an organic form in the root and a small amount is transferred to the aerial part. The purpose of this research was to investigate the effect of different levels of sodium selenate and selenite on some growth and physiological characteristics of peppermint.

Material and methods

This research was carried out in a completely randomized design with 4 replications. The plants were cultivated in a soilless culture medium in the research greenhouse of the faculty of agriculture, Ferdowsi

University of Mashhad, in 2021. The treatments included different levels of sodium selenate 4, 8 and 12 mg/L and sodium selenite 4, 8 and 12 mg/L, equal to 0.02, 0.04, 0.06 M selenate and selenite sodium, respectively, in Hoagland solution, and the control treatment was without selenium application. After preparing the Hoagland nutrient solution, necessary salts were prepared according to the concentration of elements in the food formula. Then pH and EC were adjusted and finally it was used by plants.

Results and Discussion

Based on the results of the analysis of variance, the effect of sodium selenate and sodium selenite on dry weight of aerial parts, root dry weight, relative water content of leaf, ion leakage percentage, soluble protein, guaiacol peroxidase enzyme activity, and superoxide dismutase enzyme activity at the probability level of 1%, and the percentage and concentration of malondialdehyde and hydrogen peroxide at the probability level of 5% were significant. The results showed that the highest dry weight of aerial parts was observed in the treatment with 4 mg/L of sodium selenate. The relative water content of the leaf (6.6%) and guaiacol peroxidase activity (29.02%) were increased in the treatment with 4 mg/L of sodium selenate compared to the control. Treatment with 12 mg/L of selenite and selenate sodium caused the ion leakage percentage, malondialdehyde, and hydrogen peroxide concentrations to increase. In this study, selenium at low concentrations increased the growth, relative water content of the leaf, and soluble protein content, while at high concentrations it caused the growth to decrease. Decrease in growth is probably related to antioxidant activity, which is a defensive way to preserve the plant in stressful conditions. Also, with increasing selenium concentration, the amounts of ion leakage, malondialdehyde, and hydrogen peroxide increased. The results of this research showed that the treatments of 12 mg/L sodium selenate and sodium selenite caused a decrease in the activity of superoxide dismutase and guaiacol peroxidase enzymes due to toxicity in peppermint plants. The activity of these enzymes could not cause the removal of active oxygen radicals and as a result, it caused the peroxidation of the membranes.

Conclusion

According to the obtained results, the treatment of 4 mg/L of selenate and selenite sodium is recommended to increase growth and some physiological characteristics improvement in peppermint plants.



اثر سطوح مختلف سلنات و سلنیت سدیم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

حلیمه جعفری^۱ | محمد مقدم^۲ ✉

۱. گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: jafari.reyhane.982@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: m.moghadam@um.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

سلنیوم یکی از عناصر مفید برای گیاهان است که علاوه بر تاثیرگذاری بر رشد گیاهان به عنوان یک ماده اساسی برای سلامت انسان و حیوان نیز شناخته شده است. این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار به صورت کشت بدون خاک در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارها شامل سطوح مختلف سلنات سدیم (۰، ۴، ۸، ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) و سلنیت سدیم (۰، ۴، ۸، ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر)، به ترتیب معادل ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶ مولار سلنات و سلنیت سدیم در محلول هوگلند، و تیمار شاهد (بدون کاربرد سلنیوم) بودند. براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر سلنات و سلنیت سدیم بر تمامی صفات مورد اندازه‌گیری معنی‌دار شد. نتایج نشان داد بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه به ترتیب در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات و سلنیت سدیم مشاهده شد. محتوای نسبی آب برگ (۶/۶ درصد) و فعالیت آنزیم گاباکول پراکسیداز (۲۹/۰۲ درصد) در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم نسبت به شاهد افزایش یافت. تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت و سلنات سدیم باعث افزایش درصد نشت یونی، غلظت مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن گردید. با توجه به نتایج بدست آمده، تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات و سلنیت سدیم جهت افزایش رشد و بهبود برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در گیاه نعناع فلفلی توصیه می‌شود.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

پراکسید هیدروژن، پروتئین محلول، درصد نشت یونی، سلنیوم، وزن خشک اندام هوایی.

استناد: جعفری، حلیمه؛ و مقدم، محمد (۱۴۰۲). اثر سطوح مختلف سلنات و سلنیت سدیم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۴ (۲)، ۲۶۹-۲۸۴. DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.344758.2039>



© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.344758.2039>

ناشر: مؤسسه انشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

سلیوم به عنوان عنصری ریزمغذی که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد سرطانی و ضد ویروسی می‌باشد برای سلامت انسان و حیوان مفید و ضروری است (Bazl, 2014). با توجه به گونه، اندام و مرحله رشدی گیاه، جذب و متابولیسم سلیوم متفاوت است (Hasanuzzaman *et al.*, 2010). دو فرم غیرآلی سلیوم، شامل سلنات (SeO_4^{2-}) و سلنیت (SeO_3^{2-}) می‌باشد. جذب و انتقال سلیوم به وسیله گیاه به این صورت است که در ابتدا سلیوم به فرم غیرآلی یا مواد آلی سلیوم‌دار (سلنومتیونین) از طریق خاک جذب شده و پس از انتقال به سایر قسمت‌های گیاه، توسط آوندهای چوبی، طی یکسری واکنش‌های متابولیکی به فرم‌های آلی دارای سلیوم تبدیل می‌شود (Amerian, 2015). سلنات نسبت به سلنیت تحرک بیش‌تری دارد و از طریق آوندهای چوبی به اندام‌های هوایی منتقل شده و کم‌تر به فرم آلی تثبیت می‌شود، اما سلنیت در ریشه به فرم آلی تبدیل شده و مقدار کمی به بخش هوایی انتقال می‌یابد (Hawkesford & Fang-Jie, 2007). یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده شکل سلیوم در خاک pH است. با افزایش pH خاک، سلنات بیشتر جذب گیاه می‌شود، درحالی‌که در pH پایین فرم سلنیت در خاک دیده می‌شود (Shekari *et al.*, 2017). روش‌های مختلفی جهت افزایش میزان سلیوم در گیاه وجود دارد که از جمله می‌توان به غوطه‌ور کردن دانه در محلول سلیوم قبل از کاشت، افزودن سلیوم به خاک، محیط کشت هیدروپونیک حاوی سلیوم و محلول‌پاشی گیاه با سلیوم اشاره نمود. نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، متعلق به خانواده Lamiaceae، یک گیاه علفی چندساله و بومی مناطق معتدله است که در سراسر جهان کشت می‌شود. این گیاه، در فارماکوپه‌های معتبر به عنوان یک گیاه دارویی ارزشمند یاد شده و ماده موثره آن از نوع اسانس است که برای درمان نفخ شکم، دل درد و حالت تهوع استفاده می‌شود (Kheiry *et al.*, 2017). علاوه بر این، از مواد موثره آن نیز به عنوان طعم‌دهنده در صنایع آدامس‌سازی، آرایشی بهداشتی، دارویی و غیره استفاده می‌شود (Rahimi *et al.*, 2019).

پیشینه پژوهش

جذب سلیوم در pH بالا کاهش یافته و سولفات مانع جذب سلیوم می‌گردد (Khavari-Negad *et al.*, 2015). کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلیوم در گیاه بادرنجبویه سبب کاهش وزن خشک شاخساره و ریشه در شرایط کشت هیدروپونیک شده است (Habibi *et al.*, 2017). همچنین، میزان اسانس گیاه رزماری با محلول‌پاشی سلیوم افزایش می‌یابد (Shamsai *et al.*, 2020). سلیوم در غلظت‌های پایین در گیاهان خاصیت آنتی‌اکسیدانی داشته و در شرایط تنش اکسیداتیو مانع تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. علاوه بر این، از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ایجاد شده بر اثر اکسایش محافظت نموده و موجب تأخیر در پیری و بهبود در رشد و نمو گیاهان می‌شود (Amerian *et al.*, 2020). سلیوم در گیاهان باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌شود، افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Hasanuzzaman *et al.*, 2011). در یک مطالعه، کاهش محتوای H_2O_2 در گیاه فلفل تند تیمار شده با سلیوم گزارش شده است (Shekari *et al.*, 2017). تحقیقات نشان داده است که افزودن کودهای دارای سلیوم به خاک موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Bazl, 2014). سلیوم در کدوی پوست کاغذی سبب افزایش میزان محتوای نسبی آب برگ در همه تیمارهای آبیاری شده است (Naeemi *et al.*, 2012). افزایش عملکرد و اجزای عملکرد از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی، از جمله فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه گلرنگ از طریق محلول‌پاشی سلیوم نیز گزارش شده است (Hemmati *et al.*, 2019). سلیوم در غلظت‌های بالا باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Amerian *et al.*, 2016). سلنوسیتین اولین فرم آلی سلیوم است که تولید می‌شود. این آمینواسید تولید شده به صورت غیر اختصاصی می‌تواند به جای سیستین به پروتئین‌ها متصل شود و باعث ایجاد سمیت گردد (Pilon-Smits & Quinn, 2010). همچنین، شرکت غیراختصاصی سلنوامینواسیدها (سلنومتیونین و سلنوسیتین) در پروتئین‌ها علت اصلی سمیت سلیوم در گیاهان غیرانباشتگر می‌باشد (Amerian *et al.*, 2016; Amerian *et al.*, 2016).

(Veisialiakbari, 2019). سمیت ناشی از غلظت‌های بالای سلتیوم به‌این دلیل است که گیاهان اغلب گروه تیول احیاء موجود در سلول‌های گیاهی را برای جذب و تحلیل سلتیوم استفاده می‌کنند. در نتیجه، تیول کافی برای جاروب کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در اختیار گیاه نخواهد بود و در این شرایط رادیکال‌های آزاد اکسیژن موجب تخریب غشاها می‌گردند (Habibi et al., 2017). یکی از اساسی‌ترین علت‌های سمیت سلتیوم در غلظت‌های بالا را جایگزینی سلتیوم به‌جای گوگرد در برخی از اسیدهای آمینه دانسته‌اند. این جایگزینی باعث اختلال در عمل آنزیم‌ها و پروتئین‌های سلولی می‌گردد (Ama & Mostafa, 2017; Zaji et al., 2019). با توجه به اهمیت گیاه دارویی نعنای فلفلی، می‌توان جهت تغذیه، متابولیسم، افزایش رشد و عملکرد این گیاه از عنصر سلتیوم استفاده کرد. سمیت ناشی از غلظت‌های بالا از یک سو، و ضرورت وجود سلتیوم برای انسان از سوی دیگر نشان‌دهنده اهمیت شناخت علائم مسمومیت این عنصر در گیاه است. به‌همین منظور، تحقیق حاضر با هدف بررسی سطوح مختلف سلمات و سلتیت سدیم بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه نعنای فلفلی در شرایط کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت.

روش شناسی پژوهش

این تحقیق در سال ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار اجرا گردید. تیمارهای این آزمایش شامل سطوح مختلف سلمات سدیم (۰، ۴، ۸، ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) و سلتیت سدیم (۰، ۴، ۸، ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) به‌ترتیب معادل (۰، ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶ مولار سلمات و سلتیت سدیم) در محلول هوگلند بود که بر اساس گزارش سایر پژوهشگران (Karimi & Saiedikhah, 2018; Shekari et al., 2017) انتخاب شدند. آزمایش در محیط کشت بدون خاک، در بستر ماسه در گلدان‌های ۱۲ کیلوگرمی با قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر انجام شد. بعد از تهیه محلول غذایی هوگلند، نمک‌های لازم با توجه به غلظت عناصر در فرمول غذایی تهیه شد. سپس، pH و EC تنظیم گردید و در نهایت مورد استفاده گیاهان قرار گرفت. ابتدا بستر کشت گلدان‌ها چندین بار با اسید کلریدریک ۳ درصد و آب مقطر کاملاً شسته شد تا به‌طور کامل از هر نوع ماده زائد و عناصر عاری گردد. سپس، از محلول هوگلند استفاده شد. میزان pH و EC بستر با استفاده از زه‌آب اندازه‌گیری شد. در اسفندماه، از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد ریزوم‌های سالم نعنای فلفلی (۷-۵ سانتی‌متر) تهیه شد. به‌منظور از بین بردن ذرات خاک چسبیده، ریزوم‌ها با آب شسته شدند. در هر گلدان، پنج ریزوم دارای جوانه‌های سالم در عمق پنج سانتی‌متری کاشته شد. گلدان‌ها در گلخانه نگه‌داری و با آب مقطر آبیاری شدند. پس از رشد گیاهان و رسیدن به مرحله ۴ تا ۶ برگ، با توجه به مرحله رشدی گیاه و شرایط محیطی، مقداری محلول غذایی به بستر کشت اضافه شد. در هفته یک‌بار بستر کاشت به‌صورت مرتب آبشویی شد تا مانع از تجمع نمک‌ها و عناصر گردد. تیمارها تا زمان گلدهی گیاه اعمال شدند. نمونه‌گیری از گیاه و اندازه‌گیری صفات در مرحله گلدهی انجام شد.

صفات رشدی

برای تعیین وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توزین شدند.

محتوای نسبی آب برگ

برای تعیین محتوای نسبی آب برگ (RWC)، نمونه‌های برگی تهیه شده از گیاه توزین و به لوله‌های درب‌دار دارای آب مقطر منتقل شدند. سپس، لوله‌ها ۲۴ ساعت در دمای ۴ سلسیوس در تاریکی قرار گرفتند و وزن آماس نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بعد از آن، نمونه‌ها به آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت منتقل و بعد از خشک شدن وزن آن‌ها تعیین و با استفاده از رابطه ۱ محتوای نسبی آب برگ محاسبه گردید (Sanchez et al., 1998).

$$\text{رابطه ۱)} \quad \text{RWC (\%)} = 100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})$$

نشت یونی

برای اندازه‌گیری درصد نشت یونی، ابتدا نمونه‌های برگ تهیه شده درون آب مقطر با حجم ۵۰ میلی‌لیتر به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفتند. سپس با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی، هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شده و میزان هدایت الکتریکی (EC_2) قرائت شد. در نهایت، میزان نشت یونی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Lutts *et al.*, 1995).

$$\text{رابطه ۲)} \quad \text{درصد نشت یونی} = (EC_2 / EC_1) \times 100$$

محتوای پروتئین محلول

به منظور اندازه‌گیری غلظت پروتئین محلول، ابتدا عصاره پروتئینی تهیه گردید. برای تهیه عصاره پروتئینی ابتدا، ۰/۵ گرم از نمونه برگ تازه گیاهی با ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با $pH = 7/5$ در هاون ساییده شد. بافر استفاده شده شامل پلی وینیل پیرولیدین (PVP) یک درصد و EDTA یک میلی‌مولار بود. تمام مراحل استخراج در یخ انجام گردید (Gapinska, 2008). سپس، عصاره‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ یخچال‌دار با دور ۴۰۰۰ در دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار گرفتند. برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها، از محلول شفاف رویی استفاده شد. عصاره پروتئینی تهیه شده با معرف برادفورد مخلوط گردید و به مدت ۱۰ ثانیه به طور سریع ورتکس شد. پس از ۲۰ دقیقه، جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین‌های محلول با استفاده از منحنی استاندارد آلومین محاسبه و به صورت میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد (Bradford, 1976).

سنجش میزان پراکسید هیدروژن

به منظور سنجش میزان پراکسید هیدروژن، ۰/۵ گرم از بافت تازه گیاه با ۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ۱ درصد (W/V) در حمام یخ به طور کامل ساییده و همگن شد. عصاره تهیه شده در دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در مرحله بعدی، به ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول روشناور، ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار، با اسیدیت‌ه ۷، و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم یک مولار افزوده شد. تمامی این مراحل در حمام یخ انجام شد. در نهایت، مقدار جذب هر نمونه در طول موج ۲۹۰ نانومتر قرائت و براساس واحد میکرومول بر گرم وزن تر بیان شد (Alexieva *et al.*, 2001).

سنجش مالون‌دی‌آلدئید

جهت اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدئید، به عصاره آنزیمی تهیه شده تیوباربتوریک اسید (TBA) ۰/۵ درصد، حل شده در تری کلرواستیک (TCA) ۲۰ درصد، اضافه شد. سپس، محلول به مدت نیم ساعت در حمام آب گرم ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بلافاصله به حمام یخ سرد منتقل شد. در مرحله بعد، به مدت ۵ دقیقه با شدت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ انجام شد. مقدار جذب هر نمونه در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت و براساس واحد نانومول بر گرم وزن تر بیان شد (Heath & Packer, 1968).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

سنجش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (مخلوط واکنش شامل ۲/۷۷ میلی‌لیتر بافر فسفات ۲۵ میلی‌مولار با $pH=6/8$ ، ۰/۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۴۰ میلی‌مولار، ۰/۱ میلی‌لیتر گایاکول ۲۰ میلی‌مولار و ۰/۱ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. آب اکسیژنه در انتها اضافه شد). در طول موج ۴۷۰ نانومتر (Chance & Maehly, 1955) و سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

(مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار با $\text{pH}=7$ ، ۲۰۰ میکرولیتر پیروگال ۰/۰۲ مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود). در طول موج ۵۶۰ نانومتر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد (Gianopolitis & Ries, 1977).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم افزار Minitab انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر سلنات سدیم و سلنیت سدیم بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، محتوای نسبی آب برگ، درصد نشت یونی، پروتئین محلول، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال ۱ درصد و غلظت مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سلنات سدیم و سلنیت سدیم بر صفات مورد مطالعه در نعنای فلفلی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	محتوای نسبی آب برگ	درصد نشت یونی	مالون دی-آلدئید	پراکسید هیدروژن	پروتئین محلول	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز	فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	محتوای نسبی آب برگ	درصد نشت یونی	مالون دی-آلدئید	پراکسید هیدروژن									
تیمار	۳	۸۷۰۶۱**	۱۰۸۲۵**	۵۵/۴۰۰**	۸۵/۶۵۴۱**	۳۷/۶۳۹۰*	۰/۰۰۰۰۱*	۰/۰۰۹۳**	۱/۲۵۹۰**	۱/۷۶۱۴**						
خطا	۸	۰/۸۰۷۸	۰/۰۱۵۰	۱۷/۶۴۰۰	۰/۵۱۷۳	۸/۷۶۱۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۴۳۴۵	۰/۲۰۲۲						
ضریب تغییرات (%)	۰	۸	۰/۷	۵	۳	۱۲	۱	۱۰	۴	۲۲						

** و * : به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

پارامترهای رشدی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب در تیمار ۴ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم و ۴ میلی گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد که نسبت به گیاه شاهد به ترتیب ۱۹/۹ و ۳۲/۱۰ درصد افزایش داشت. کمترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم بود که کاهش ۱۹/۸۴ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد. کمترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم بود که اختلاف معنی داری با شاهد نداشت (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سلنات سدیم و سلنیت سدیم بر صفات مورد مطالعه در نعنای فلفلی.

تیمارها	غلظت (میلی گرم/لیتر)	وزن خشک اندام هوایی (گرم/بوته)	وزن خشک ریشه (گرم/بوته)	محتوای نسبی آب برگ (%)	درصد نشت یونی (%)
شاهد	۰	۱۰/۸۰ ^{abc}	۱۳/۲۰ ^c	۸۳/۱۰ ^a	۱۲/۲۰ ^f
سلنات	۴	۱۳/۰۰ ^a	۱۴/۲۰ ^b	۸۸/۶۰ ^a	۱۵/۰۰ ^e
سلنات	۸	۱۰/۰۰ ^{bcd}	۱۳/۳۰ ^c	۸۲/۷۰ ^{ab}	۱۷/۲۰ ^{cd}
سلنات	۱۲	۸/۱۰ ^d	۱۳/۱۰ ^c	۷۶/۰۰ ^b	۲۱/۹۰ ^b
سلنیت	۴	۱۲/۰۳ ^{ab}	۱۴/۶۰ ^a	۸۵/۸۰ ^a	۱۶/۲۰ ^{de}
سلنیت	۸	۱۱/۱۰ ^{abc}	۱۴/۲۰ ^b	۸۱/۸۰ ^{ab}	۱۸/۵۰ ^c
سلنیت	۱۲	۹/۱۰ ^{cd}	۱۳/۲۰ ^c	۷۸/۱۰ ^b	۲۸/۶۰ ^a

*در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. (منبع: یافته‌های تحقیق)

ادامه جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سلنات سدیم و سلنیت سدیم بر صفات مورد مطالعه در نعنای فلفلی.

تیمارها	غلظت (میلی گرم/لیتر)	مالون دی‌آلدئید (نانومول/گرم وزن تر)	پراکسید هیدروژن (میکرومول/گرم وزن تر)	پروتئین محلول (میلی گرم/گرم وزن تر)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد بین‌المللی/ میلی گرم پروتئین)	فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (واحد بین‌المللی/ میلی گرم پروتئین)
شاهد	۰	۱۵/۹۵ ^b	۰/۵۰۳ ^d	۰/۲۰۵ ^b	۲/۱۰۹ ^{ab}	۲/۴۹۵ ^{bc}
سلنات	۴	۲۳/۶۰ ^{ab}	۰/۶۰۳ ^{cd}	۰/۲۴۹ ^b	۲/۱۲۰ ^{ab}	۳/۲۲۰ ^a
سلنات	۸	۲۵/۸۳ ^{ab}	۰/۷۰۳ ^c	۰/۲۰۱ ^b	۱/۲۳۱ ^b	۱/۴۷۰ ^b
سلنات	۱۲	۳۰/۹۱ ^a	۰/۹۰۳ ^a	۰/۱۷۷ ^b	۰/۶۳۵ ^c	۱/۱۸۹ ^c
سلنیت	۴	۲۲/۶۰ ^{ab}	۰/۵۰۳ ^d	۰/۳۳۷ ^a	۲/۲۳۷ ^a	۲/۹۶۳ ^{ab}
سلنیت	۸	۲۴/۱۷ ^{ab}	۰/۶۰۳ ^{cd}	۰/۲۲۶ ^b	۱/۵۸۴ ^b	۱/۲۰۶ ^c
سلنیت	۱۲	۲۷/۰۴ ^{ab}	۰/۸۰۳ ^b	۰/۱۷۹ ^b	۰/۹۶۸ ^c	۱/۳۷۹ ^b

*در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. (منبع: یافته‌های تحقیق)

محتوای نسبی آب برگ و نشت یونی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات و سلنیت سدیم می‌باشد که ۶/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت، هرچند اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد. کمترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات و سلنیت سدیم مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۹۱/۴ درصد کاهش داشت (جدول ۳). بین سطوح ۴ و ۸ میلی‌گرم در لیتر تیمارهای سلنات سدیم و سلنیت سدیم و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

حداقل میزان درصد نشت یونی (۱۲/۲ درصد) در تیمار شاهد و بیشترین آن (۲۸/۶ درصد) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد، که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت (جدول ۳). با افزایش غلظت سلنیوم میزان درصد نشت یونی افزایش یافت، به طوری که تمامی سطوح تیمار سلنات سدیم با یکدیگر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نشان دادند. همچنین، اختلاف معنی‌داری در تمامی سطوح تیمار سلنیت سدیم نسبت به یکدیگر و تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

مالون‌دی آلدئید

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از سنجش محتوای مالون‌دی آلدئید در نعنای فلفلی تحت تیمار سلنیوم، در تیمار شاهد حداقل غلظت مالون‌دی آلدئید، درحالی که در تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم افزایش ۹۳/۸ درصدی مشاهده شد. در این پژوهش، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای سلنیت و سلنات سدیم مشاهده نشد، اما تیمار شاهد با تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲).

پراکسید هیدروژن

با اعمال تیمار سلنات سدیم و سلنیت سدیم میزان پراکسید هیدروژن افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. بیشترین میزان پراکسید هیدروژن در تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم مشاهده شد که افزایش ۷۹/۶ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد. کمترین میزان آن نیز در تیمار ۴ میلی گرم در لیتر سلنیت سدیم و تیمار شاهد مشاهده شد. اختلاف معنی‌داری در میزان پراکسید هیدروژن بین تیمار شاهد و تیمار ۸ و ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم و ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنیت سدیم دیده شد، اما تیمار شاهد با تیمارهای ۴ و ۸ میلی گرم در لیتر سلنیت سدیم و ۴ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲).

پروتئین محلول

نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان پروتئین محلول (۰/۳۳۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار ۴ میلی گرم در لیتر سلنیت سدیم بوده و این تیمار افزایش ۶۴/۲ درصدی و از لحاظ آماری معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. بین سایر غلظت‌های سلنیوم اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کمترین میزان پروتئین محلول در تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات و سلنیت سدیم مشاهده شد، به طوری که کاهش ۸۵/۹ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۲).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار ۴ میلی گرم در لیتر سلنیت سدیم افزایش یافت، به طوری که به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۴ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم و همچنین تیمار شاهد مشاهده نشد. کم‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۰/۶۳ واحد بین‌المللی بر میلی گرم پروتئین) در تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم مشاهده شد که نسبت به شاهد ۳۰/۱ درصد کاهش داشت (جدول ۲).

آنزیم گایاکول پراکسیداز

بیشترین فعالیت این آنزیم، ۳/۲۲ واحد بین‌المللی بر میلی گرم پروتئین، در تیمار ۴ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم مشاهده شد. این مقدار نسبت به تیمار شاهد ۲۹/۰۲ درصد افزایش داشت که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بود. کمترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز، ۱/۱۸ واحد بین‌المللی بر میلی گرم پروتئین، در تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم بود که نسبت به تیمار شاهد با کاهش ۴۷/۶ درصدی همراه بود و اختلاف معنی‌داری را با آن نشان داد (جدول ۲).

بحث

در این پژوهش، در سطوح پایین سلنیت سدیم و سلنات سدیم بیشترین میزان در وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه مشاهده شد. با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی، میزان این صفات در مقایسه با شاهد کاهش یافت. در این

تحقیق، کاهش رشد در تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم نشان داد که کاربرد این غلظت از سلنیوم در محیط کشت ماسه برای گیاه نعنای فلفلی قابل تحمل نمی‌باشد. سلنیوم در غلظت‌های پایین رشد گیاه را تحریک می‌کند و در غلظت‌های بالا مانند یک اکسیدان عمل کرده و باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Amerian *et al.*, 2016). سطوح بالای سلنیوم سبب افزایش میزان ترکیبات فنولی در گیاهان می‌گردد. ترکیبات فنولی باعث کاهش میزان اکسین و افزایش سنتز اسیدآبسیزیک شده که در نهایت منجر به کاهش رشد می‌گردد (Guardado-Felix *et al.*, 2019; Yao *et al.*, 2019). سلنیوم در غلظت‌های بالا، در واکنش‌های مختلف جایگزین گوگرد می‌شود (Zangane, 2020). گوگرد از اجزای ساختاری برخی اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها است (Elkelish *et al.*, 2019). احتمالاً این جایگزینی باعث سمیت و در نتیجه اثرات منفی بر فعالیت آنزیم‌ها، کاهش پروتئین و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود. تیمار سلنیوم در گیاه بادرنجبویه نشان داد سلنیوم می‌تواند به خوبی از طریق ریشه جذب و به اندام هوایی منتقل شود (Habibi *et al.*, 2017).

نتایج تحقیق حاضر با نتایج Ramos *et al.* (2010) در کاهو، Jahid *et al.* (2011) در ذرت و لویا، Khavari-Negad *et al.* (2015) در گوجه فرنگی، Amerian *et al.* (2016) در پیاز و Shekari *et al.* (2017) در فلفل تند، مطابقت داشت. رشد گیاه تحت تیمار سلنیوم از طریق تنظیم و تقویت متابولیسم آنتی‌اکسیدان‌ها و متابولیت‌های ثانویه کنترل می‌شود (Elkelish *et al.*, 2019). در تحقیقی گزارش شده است که افزایش رشد گیاهان توسط سطوح مختلف سلنیوم به نقش این عنصر در فعالیت آنزیم‌های کلروپلاست و متابولیسم کربوهیدرات بستگی دارد (Amerian *et al.*, 2019). بر اساس مطالعات انجام شده، افزایش غلظت سلنیوم باعث افزایش رادیکال‌های آزاد، کاهش رشد و در نتیجه کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در گیاه باقلا (*Vicia faba*) گردید (Mroczek-Zdyrska & Wojcik, 2012). غلظت بالای سلنیوم باعث بروز سمیت و مهار رشد می‌گردد (Feng *et al.*, 2013). طبق مطالعات (Norouzi & Sajedi, 2019) سلنیوم در غلظت‌های پایین باعث افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و ساکارز شده که در نهایت رشد گیاه را افزایش می‌دهد. درحالی‌که، در غلظت‌های بالا سبب کاهش محتوای کلروفیل و کاهش سنتز کربوهیدرات و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌گردد.

افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاه نشان‌دهنده تورم سلولی و تداوم رشد آن بوده و شاخص مناسبی برای بیان وضعیت آب در گیاهان است. تنش موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌گردد (Rostami, 2017). محتوای نسبی آب برگ باعث ایجاد تعادل بین ذخیره‌ی آب بافت برگ شده و میزان تعرق را منعکس می‌کند. بنابراین بین محتوای نسبی آب برگ و کاهش عملکرد نسبی ارتباط معنی‌داری وجود دارد (Hemmati *et al.*, 2019). در این تحقیق، محتوای نسبی آب برگ گیاه نعنای فلفلی در تیمار ۱۲ میلی گرم در لیتر سلنات سدیم به دلیل اثرات سمی آن کاهش یافت، درحالی‌که، در تیمار ۴ میلی گرم در لیتر سلنات و سلنیت سدیم نسبت به شاهد افزایش دیده شد، هرچند این اختلاف به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در گیاه رزماری نشان داد محلول‌پاشی سلنیوم در شرایط آبیاری کامل بر میزان محتوای نسبی آب برگ تاثیر معنی‌داری نداشت، اما در شرایط تنش آبیاری کاهش معنی‌داری مشاهده شد (Shamsai *et al.*, 2020). سلنیوم در غلظت بالا می‌تواند باعث تحریک تنش اکسیداتیو و آسیب به غشاء (Zaji *et al.*, 2019) و تغییر در نفوذپذیری غشاء نسبت به یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم شود که سبب اختلال در تنفس و جذب آب می‌گردد (Karimi & Saiedikhah, 2018). نقش مثبت سلنیوم در غلظت مناسب در افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاه سیر گزارش شده است (Namdar *et al.*, 2018) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. بر اساس نتایج این آزمایش، با افزایش غلظت سلنیوم میزان نشت یونی نیز افزایش یافت. از نشت یونی به‌عنوان معیار ارزیابی آسیب به غشاء‌های زیستی استفاده می‌گردد (Khalvandi *et al.*, 2020). تنش باعث ایجاد تغییرات در فسفولیپیدهای غشایی می‌شود (Rostami, 2017). گیاهان به غلظت بالای سلنیوم حساس بوده، به طوری‌که افزایش آن باعث ایجاد مسمومیت و تنش در گیاهان می‌گردد (Habibi *et al.*, 2017). انباشت مقدار غیرضروری سلنیوم در بافت‌های گیاهی منجر به افزایش نشت الکترولیت می‌گردد (Zaji *et al.*, 2019). نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج Zaji *et al.* (2019) در گیاه بادرنجبویه و (Norouzi & Sajedi, 2019) در گیاه نخود مطابقت دارد. طبق مطالعات انجام شده، افزایش نشت الکترولیت

به دلیل رادیکال‌های اکسیژن فعال تولید شده در تنش اکسیداتیو است. رادیکال‌های اکسیژن فعال بر لیپیدهای موجود در غشای سلول‌ها اثر گذاشته، ساختار غشای سلولی را مختل نموده و میزان نشت مواد سیتوپلاسمی را افزایش می‌دهند (Esfandiari *et al.*, 2013). سلنیوم در غلظت مناسب با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب پاکسازی اکسیژن فعال و کاهش اکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی می‌گردد (Norouzi & Sajedi, 2019). در این پژوهش، سلنیوم در غلظت بالا نتوانست مانع پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی گردد.

طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق، میزان پراکسید هیدروژن با افزایش غلظت سلنیوم افزایش یافت. پراکسید هیدروژن مانند یک پیام‌رسان مهم عمل کرده و در رشد، نمو و پاسخ به تنش‌های زیستی و محیطی در گیاهان نقش دارد (Ebrahimzade & Sanjarian, 2021). Rahimi *et al.* (2019) در گزارشی نشان دادند که افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های NADPH اکسیداز متصل به غشای سلولی، آمینوآکسیدازها در آپوپلاست و پراکسیدازهای متصل به دیواره سلولی می‌گردد. افزایش تولید رادیکال‌های سوپر اکسید باعث افزایش تولید H_2O_2 می‌شود. رادیکال سوپر اکسید در کلروپلاست، میتوکندری، شبکه آندوپلاسمی و نقاط دیگر سلول تولید می‌شود. احیا یک ظرفیتی سوپر اکسید باعث تولید H_2O_2 می‌شود که آن را واکنش دیسموتاسیون می‌نامند (Anjum *et al.*, 2010; Miller *et al.*, 2010). نتایج این پژوهش با نتایج بدست آمده در گیاه آژولا، سیر و شوید مطابقت دارد (Ama & Mostafa, 2016; Namdar *et al.*, 2018; Sanavatipour *et al.*, 2019). با افزایش غلظت سلنیوم، محتوای مالون‌دی‌آلدئید افزایش معنی‌داری نشان داد. در این تحقیق، افزایش میزان غلظت مالون‌دی‌آلدئید نشان‌دهنده افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که سبب پراکسیده شدن لیپیدهای غشایی می‌شود. بر اساس بررسی‌های انجام شده، کاربرد سلنیوم با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر برای بادرنجبویه سمی بوده و باعث تحریک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود. هرچندکه، مقدار افزایش آنزیم‌ها جهت مقابله با تنش اکسیداتیوی، که بر اثر میزان غلظت بالای سلنیوم بوجود آمده، کافی نبوده و موجب پراکسیداسیون غشاءها و در نتیجه تولید مقدار زیادی مالون‌دی‌آلدئید می‌شود (Habibi *et al.*, 2017). افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید در تنش سلنیوم در بادرنجبویه (Habibi *et al.*, 2017) و تره (Karimi & Saiedikhah, 2018) و علف‌هرز (*Pteris vittata*) (Feng & Wei, 2012) و ماش (Malik *et al.*, 2012) گزارش شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

طبق بررسی‌های انجام شده، سلنیوم در غلظت‌های پایین سبب حمایت از انواع پروتئین‌ها و در نتیجه باعث افزایش آنها می‌شود، اما در غلظت‌های بالا، رادیکال‌های آزاد تولید شده میل ترکیبی بیشتری را با پروتئین‌ها داشته که باعث اکسید شدن پروتئین‌ها می‌شود (Karimi & Saiedikhah, 2018). به‌طور معمول، غلظت پروتئین محلول گیاه در مواجهه با شرایط مختلف، از جمله تنش دچار تغییرات خاصی می‌گردد. دلیل این تغییرات را می‌توان تجزیه یا مهار ساخت برخی پروتئین‌ها دانست (Ghorbanli *et al.*, 2013). به‌وجود آمدن این سازگاری در شرایط مختلف دارای پیچیدگی‌های فراوانی است و به پارامترهای بیرونی و درونی بستگی دارد (Todaka *et al.*, 2015). در یک مطالعه نشان داده شد که تنش شوری سبب تخریب ساختار پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه، و نقصان در پلی‌ریبوزوم‌ها و مونوریبوزوم‌ها شده که در نهایت کاهش غلظت پروتئین‌های محلول در گیاه را باعث می‌شود (Amiri & Moazeni, 2017). نتایج اثر سلنیوم بر میزان پروتئین محلول در این پژوهش با نتایج (Karimi & Saiedikhah, 2018) در تره و Amerian *et al.* (2020) در بالنگوی شهری مطابقت دارد. در این آزمایش، سلنیت سدیم در سطح ۴ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش میزان پروتئین محلول در گیاه نعنای فلفلی شد، در حالی که در مقادیر بالاتر (۱۲ میلی‌گرم سلنات و سلنیت سدیم) به دلیل ایجاد اثرات سمی باعث کاهش میزان آن گردید.

در تحقیق حاضر، کاربرد سلنیوم در غلظت‌های پایین باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز و در غلظت‌های بالای باعث کاهش میزان فعالیت این آنزیم‌ها گردید. کاهش فعالیت آنزیمی در تنش اکسیداتیو ناشی از حضور سلنیوم می‌تواند با افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی جبران گردد (Karimi & Saiedikhah, 2018). گایاکول پراکسیداز از اکسیداسیون ترکیبات فنولی، مانند گایاکول، جهت از بین بردن سم و تجزیه پراکسید هیدروژن در شرایط

نامساعد استفاده می‌کند. این ترکیبات، دهنده الکترون به پراکسید هیدروژن بوده و در واکنش، سیتوزول و دیواره سلولی یافت می‌شوند (Petrov & Van Breusegem, 2012). آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به عنوان اولین خط دفاعی سیستم آنتی‌اکسیدانی در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال است. این آنزیم، رادیکال سوپر اکسید تولید شده در اثر تنش را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن تبدیل می‌کند (Rahimi et al., 2019). بر اساس تحقیقات انجام شده بر روی گیاه سیر تحت تنش کادمیوم، میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در غلظت پایین سلیوم سبب افزایش معنی‌دار و در غلظت بالا سبب کاهش گردید (Namdar et al., 2018). همچنین، در بررسی‌های دیگر نشان داده شد که کاربرد سلیوم در غلظت بالا، در گیاه فلفل تند باعث کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌گردد (Shekari et al., 2017). برای مشخص شدن دقیق اثر سلیوم بر فعالیت آنزیم‌ها و تعیین آستانه حساسیت سلیوم در گیاهان مختلف نیاز به آزمایشات بیشتری است. ممکن است نقش متفاوت رادیکال اکسیژن فعال در گیاهان سبب ایجاد اختلال در فعالیت آنزیم‌ها و در نهایت موجب کاهش یا افزایش فعالیت آنزیمی گردد. نتایج حاصل از سلیوم بر میزان فعالیت آنزیم‌ها در این پژوهش با نتایج Karimi & Saiedikhah (2018) در تره مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، سلیت و سلنات سدیم بر تمامی صفات مورد بررسی در نعنای فلفلی تاثیرگذار بود. بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه، به ترتیب در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و ۴ میلی‌گرم در لیتر سلیت سدیم مشاهده شد. در این پژوهش، سلیوم در غلظت پایین سبب افزایش رشد، محتوای نسبی آب برگ و میزان پروتئین محلول، و در غلظت بالا موجب کاهش رشد گردید. این کاهش رشد احتمالاً به فعالیت آنتی‌اکسیدانی مرتبط است و نوعی روش دفاعی برای حفظ گیاه در شرایط تنش می‌باشد. همچنین، با افزایش غلظت سلیوم میزان نشت یونی، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و میزان پراکسید هیدروژن افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد در تیمارهای ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و سلیت سدیم، به دلیل ایجاد سمیت در گیاه نعنای فلفلی، باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز گردید. فعالیت این آنزیم‌ها نتوانست باعث حذف رادیکال‌های فعال اکسیژن شود و در نتیجه سبب پراکسیداسیون غشاءها گردید. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت سلنات سدیم و سلیت سدیم در غلظت پایین (۴ میلی‌گرم در لیتر) جهت افزایش خصوصیات رشدی در گیاه نعنای فلفلی مناسب و توصیه می‌شود.

منابع

- ابراهیم‌زاده، سحر و سنجریان، فروغ (۱۴۰۰). اثر متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در کشت سلولی سیاه‌دانه (*Nigella sativa*). *مجله سلول و بافت*، ۱۲ (۲)، ۱۲۲-۱۳۳.
- اسفندیاری، عزت‌اله؛ جوادی، عادل و شکرپور، مجید (۱۳۹۲). ارزیابی خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ارقام گندم در پاسخ به تنش شوری در مرحله گیاهچه. *مجله به‌زراعی کشاورزی*، ۱۵ (۱)، ۲۷-۳۸.
- امیری، حمزه و مودنی، لیلا (۱۳۹۵). اثر متقابل شوری و اسید اسکوربیک بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی مرزه خوزستانی. *مجله یافته‌های نوین در علوم زیستی*، ۳ (۱)، ۶۹-۷۹.
- بذل، شیوا (۱۳۹۲). تأثیر سلیوم و گوگرد بر خصوصیات رشد و برخی خواص فیتوشیمیایی پیاز رقم قرمز آذر شهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. همدان. دانشگاه بوعلی سینا.
- حبیبی، قادر؛ قربانزاده، پروین و عابدینی، معصومه (۱۳۹۵). تأثیر سلیوم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۲ (۴)، ۶۹۸-۷۱۵.
- حسن پور، حلیمه و نیکنام، وحید (۱۳۹۳). بررسی اثر تنش خشکی بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه پونه معطر (*Mentha pulegium* L.) در مرحله گلدهی. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۳ (۸)، ۲۵-۳۴.
- خاوری‌نژاد، رمضانعلی؛ نجفی، فرزانه و رحیمی، اخلاص (۱۳۹۳). اثر متقابل متیل جاسمونات و سلیت سدیم بر برخی پارامترهای

- فیزیولوژیکی گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.)، مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۳ (۱۰)، ۴۷-۵۸.
- خالوندی، معصومه؛ عامریان، محمدرضا؛ پیردشتی، همت‌اله؛ برادران فیروزآبادی، مهدی و غلامی، احمد (۱۳۹۸). مطالعه خصوصیات فیزیولوژیک و زیست-شیمیایی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در واکنش به تنش شوری تحت تاثیر همزیستی با قارچ *Piriformospora indica*. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۶ (۱)، ۱-۱۹.
- خیری، عزیزاله؛ توری، هانیه و مرتضوی، نجم‌الدین (۱۳۹۶). تاثیر تنش خشکی و جاسمونیک اسید روی صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۳ (۲)، ۲۸۰-۲۶۸.
- رحیمی، یوسف؛ طالعی، علیرضا و رنجبر، مجتبی (۱۳۹۸). تاثیر تنش خشکی بر روی تغییرات بیوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۰ (۲)، ۵۹-۷۵.
- رستمی، قادر (۱۳۹۶). بررسی کودهای آهن و روی به دو شکل سولفات و نانو ذرات بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و جذب عناصر آهن و روی در نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. پایان نامه کارشناسی ارشد. مشهد. دانشگاه فردوسی مشهد.
- زاجی، بیتا؛ خاوری‌نژاد، رضاعلی؛ سعادت‌مند، سارا و ایرانبخش، علیرضا (۱۳۹۸). بررسی برخی پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی بادرشوبیه (*Dracocephalum moldavica* L.) به سلنیوم تحت تنش شوری. مجله فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۴ (۵۶)، ۲۷-۱۳.
- زنگنه، لیلا (۱۳۹۸). تاثیر سلنیوم بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آهار (*Zinnia elegans* L.) تحت تنش شوری. پایان نامه کارشناسی ارشد. لرستان. دانشگاه لرستان.
- سماواتی‌پور، پرویز؛ عبدوسی، وحید؛ صالحی، رضا؛ سماوات، سعید و لادن‌مقدم، علیرضا (۱۳۹۸). اثر سلنیوم و برخی مواد آلی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و متابولیت‌های ثانویه شوید (*Anethum graveolens* L.). فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی، ۱۵ (۴)، ۵۷-۶۶.
- شکاری، لیلا؛ مظفریان، مریم؛ کامل منش، محمدمجتبی و صادقی، فرشاد (۱۳۹۶). تاثیر سلنیوم بر برخی خواص مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی فلفل تند (*Capsicum annum*) رشد یافته در کشت هیدروپونیک. مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۱۷ (۱)، ۹۸-۹۱.
- شمسایی، امین‌اله؛ آران، مهدی و فاخری، براتعلی (۱۳۹۹). اثر محلول پاشی سلنیوم بر فیزیولوژیکی و ویژگی‌های بیوشیمیایی رزماری تحت تنش خشکی. مجله تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، ۲ (۲)، ۱۲۸-۱۳۹.
- عامریان، معصومه (۱۳۹۳). اثر نیتروژن، سلنیوم و نانوسلنیوم بر برخی ویژگی‌های فیتوشیمیایی پیاز (*Allium cepa* L.). همدان. دانشگاه بوعلی سینا.
- عامریان، معصومه؛ دشتی، فرشاد و دلشاد، مجتبی (۱۳۹۳). تاثیر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی پیاز (*Allium cepa* L.). مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۱۴ (۲)، ۱۶۳-۱۷۹.
- عامریان، معصومه؛ دشتی، فرشاد و دلشاد مجتبی (۱۳۹۷). تاثیر سطوح مختلف سلنیوم و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های رشد و بیوشیمیایی نهال پیاز (*Allium cepa* L.). مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۵ (۱)، ۱۱۹-۱۳۵.
- عامریان، معصومه؛ زبردی، علیرضا و محرابی، جوانه‌السادات (۱۳۹۹). تاثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری (*Lalelemantia iberica*) در رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله پژوهش‌های آب در کشاورزی، ۳۴ (۳)، ۴۳۱-۴۱۶.
- کریمی، ناصر و صیدی‌خواه، زینب (۱۳۹۷). اثر سلنیوم بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی دو گونه تره ایرانی (*Allium iranicum* Wendelbo) و تره کوهی (*Allium ampeloprasum* L.). مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۷ (۲۴)، ۱۸۴-۱۹۷.
- نامدار، ملیحه؛ آروین، سیدمحمدجواد و بهره‌مند، نادیا (۱۳۹۸). اثر سلنیوم بر رشد، شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سیر (*Allium sativum*) تحت سمیت کادمیوم. مجله فرآیند و کارکرد گیاه، ۸ (۳۰)، ۱۳۷-۱۵۳.
- نعیمی، معصومه؛ علی‌اکبری، غلام‌علی؛ شیرانی‌راد، امیرحسین؛ حسنلو، طاهره و اکبری، غلام‌عباس (۱۳۹۱). اثر کاربرد ژئولیت و محلول پاشی سلنیوم در شرایط تنش کم آبی بر روابط آبی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی کدو پوست کاغذی. مجله به‌زرایی کشاورزی، ۱۴ (۱)، ۶۷-۸۱.

- نوروزی، محتبی و ساجدی، نورعلی (۱۳۹۸). اثر کاربرد اسید سالیسیلیک و سلنیوم در مراحل مختلف رشد بر برخی صفات فیزیولوژیکی نخود در شرایط دیم. *مجله پژوهش‌های حیوانات ایران*، ۱۰ (۲)، ۳۶-۴۸.
- ویسی‌علی‌اکبری، فرحناز (۱۳۹۷). *اثر سلنیوم و مدیریت مصرف نیتروژن در تولید پیاز سالم (Allium cepa L.)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. کرمانشاه: دانشگاه رازی.
- همتی، ماندانا؛ دلخوش، بابک؛ شیرانی راد، امیرحسین و نورمحمدی، قربان (۱۳۹۸). تأثیر محلول پاشی سلنات سدیم بر میزان سلنیوم بذر و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های کلزا (*Brassica napus L.*). *مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۱ (۴۳)، ۶۹-۸۴.
- Alexieva, V., Sergiev, L., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell Environment*, 24(12), 1337-1344. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>.
- Ama, H., & Mostafa, E. M. (2016). Selenium invoked antioxidant defense system in *Azolla caroliniana* plant. *Phyton*, 85, 262. <https://doi.org/10.32604/phyton.2016.85.262>.
- Amerian, M. (2015). *Effect of nitrogen, selenium and nanoselenium on some phytochemical characteristics of onion (Allium cepa L.)*. Ph.D. Thesis. BU-Ali Sina University Faculty of Agriculture Department of Horticulture, Iran. (In Persian)
- Amerian, M., Dashti, F., & Delshad, M. (2016). Effect of different sources and levels of selenium on growth and some physiological characteristics of Onion (*Allium cepa L.*). *Journal of Plant Production Technology*, 12(2), 163-179. magiran.com/p1438316. (In Persian)
- Amerian, M., Dashti, F., & Delshad M. (2019). Effect of different levels of selenium and nitrogen on some growth and biochemical characteristics of onion seedlings (*Allium cepa L.*). *Journal of Plant Production Technology*, 25(1), 119-135. <https://doi.org/10.22069/JOPP.2018.12032.2101>. (In Persian)
- Amerian, M., Zebarjadi, A. R., & Mehrabi, J. A. (2020). Effect of different concentrations of selenium on some morphological and physiological characteristics of dragon head (*Lallemantia iberica*) under different irrigation regimes. *Journal of Water Research Agriculture*, 34(3), 416-431. <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.342710.785>. (In Persian)
- Amiri, H., & Moazeni, L. (2017). Interaction of salinity and ascorbic acid on some biochemical properties of *Satureja Khuzistanica*. *New Find Life Science*, 3(11), 69-79. <https://doi.org/10.21859/acadpub.nbr.3.1.69>. (In Persian)
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>.
- Bazl, S. H. (2014). *Effect of selenium and sulfur on growth characteristics and some phytochemical properties of onion cv. Ghermez Azar Shahr*. Ph.D. Thesis. BU-Ali Sina University Faculty of Agriculture Department of Horticulture. Iran. (In Persian)
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
- Chance, B., & Maehly, A.E. (1955) Assay of Catalase and Peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2, 764-775. [http://doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](http://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8).
- Ebrahimzade, S., & Sanjarian, F. (2021). Effect of methyl jasmonate and salicylic acid on antioxidant activity, phenolic and flavonoid compounds in *Nigella sativa* cell culture. *Journal of Cell and Tissue*, 12(2), 122-133. <https://doi.org/10.52547/JCT.12.2.122>. (In Persian)
- Elkelish, A. A., Soliman, M. H., Alhaithloul, H. A., & El-Esawi, M. A. (2019). Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, 137, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.02.004>.
- Esfandiari, A. A., Javadi, A., & Shokrpur, D. (2013). Evaluation of biochemical and physiological characteristics of wheat cultivars in response to salt stress in seedling stage. *Journal of Crop Improvement*, 15(1), 27-38. <https://doi.org/10.22059/JCI.2013.35720> (In Persian)
- Feng, R. W., & Wei, C. Y. (2012). Antioxidative mechanisms on selenium accumulation in *Pteris vittata L.*, a potential Se phytoremediation plant. *Plant, Soil Environment*, 58, 105-110. <https://doi.org/10.17221/162/2011-PSE>.
- Gapinska, M., Skłodowska, M., & Gabara, B. (2008). Effect of short-and long-term salinity on the activities of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in tomato roots. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s11738-007-0072-z>.

- Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T., & Mamaghani, B. A. (2013). Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3, 651-658. <https://doi.org/10.30495/IJPP.2013.540675>. (In Persian)
- Gianopolitis, N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59, 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>.
- Guardado-Felix, D., Serna-Saldivar, S. O., Gutierrez-Urbe, J. A., & Chuck Hernandez, C. (2019). Selenium in germinated chickpea (*Cicer arietinum* L.) increases the stability of its oil fraction. *Plants*, 8(5), 113. <https://doi.org/10.3390/plants8050113>.
- Habibi, Gh., Ghorbanzade, P., & Abedini, M. (2017). Effects of selenium application on physiological parameters of *Melissa officinalis* L. plants. *Iranian Journal of Medicinal & Aromatic Plants*, 32(4), 699-715. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.107141>. (In Persian)
- Hassanpour, H., & Niknam, V. (2014). Investigation of drought stress effect on growth and antioxidant enzymes activity in *Mentha pulegium* L. *Journal of Plant Process and Function*, 3(8), 25-34. <https://sid.ir/paper/234252/fa>. (In Persian)
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., & Fujita, M. (2010). Selenium in higher plant: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Science*, 5(4), 354-375. <https://doi.org/10.3923/jps.2010.354.375>.
- Hasanuzzaman, M., Anwar Hossain, M., & Masayuki, F. (2011). Selenium-induced up regulation of the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system reduces salinity-induced damage in rapeseed seedlings. *Biological Trace Element Research*, 143, 1704-1721. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-8958-4>.
- Hawkesford, M., & Fang-Jie, Z. (2007). Strategies for increasing the selenium content of wheat. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 282-292. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.02.006>.
- Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photooxidation in isolated chloroplasts: I. kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198. . [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1).
- Hemmati, M., Delkhosh, B., Shirani-Rad, A. H., & Noor-Mohammadi, Gh. (2019a). Effect of sodium selenate spraying on seed selenium content and some physiological indices of rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.). *Crop Physiology*, 11(43), 69-84. <https://sid.ir/paper/406690/fa>. (in Persian)
- Hemmati, M., Delkhosh, B., Shirani-Rad, A. H., & Noor-Mohammadi, G. (2019b). Effect of the application of foliar selenium on canola cultivars as influenced by different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science*, 25, 309-318. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.424899>. (In Persian)
- Jahid, A. M., Kumar, S., Thakur, p., Sharma, S., Kaur, N., Kaur, R., Pathania D., Bhandhari, K., Kaushal, N., Singh, K., Srivastava, A., & Nayyar, H. (2011). Promotion of growth in mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. *Biological Trace Element Research*, 143(1), 530-539. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8872-1>.
- Karimi, N., & Saiedikhah, Z. (2018). Effect of selenium on growth and some physiological parameters of *Allium iranicum* Wendelbo and *Allium ampeloprasum* L. *Journal of Plant Process and Function*, 7(24), 183-198. <https://sid.ir/paper/368698/fa>. (In Persian)
- Khalvandi, M., Amerian, M. R., Pirdashti, H. A., Baradaran-firozabadi, M., & Gholami, A. (2020). Study of physiological and biochemical properties of peppermint (*Mentha piperita*) in response to salinity stress affected coexistence with fungi *Piriformospora indica*. *Journal of Plant Production Technology*, 26(1), 1-26. <https://doi.org/10.22069/JOPP.2018.11244.2041>. (In Persian)
- Khavari-Negad, R., Najafi, F., & Rahimi, A. (2015). Effect interaction of methyl jasmonate and sodium selenite on some physiological parameters in tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Plant Process and Function*, 3(10), 47-58. <https://doi.org/10.47366/sabia.v5n1a3>. (In Persian)
- Kheiry, A., Tori, H., & Mortazavi, N. (2017). Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint. *Iranian Journal of Medicinal & Aromatic Plants*, 33(2), 268-280. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106481.1783>. (In Persian)
- Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46(12), 1843-1852. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.12.1843>.
- Malik, J. A., Goel, S., Kaur, N., Sharma, S., Singh, I., & Nayyar, H. (2012). Selenium antagonizes the toxic effects of arsenic on mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) plants by restricting its uptake and enhancing the antioxidative and detoxification mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.12.001>.

- Miller, G. A. D., Suzuki, N., Ciftci-yilmaz, S., & Mittler, R. O. N. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell Environment*, 33(4), 453-467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>.
- Mroczek-Zdyrska, M., & Wójcik, M. (2012). The influence of selenium on root growth and oxidative stress induced by lead in *Vicia faba* L. minor plants ability against aluminium-induced oxidative stress in ryegrass roots. *Annals of Applied Biology*, 156, 297-307. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9292-6>.
- Naeemi, M., Ali Akbari, G., Shirani Rad, A. H., Hassanlou, T., & Akbari, G. A. (2012). Effect of zeolite application and selenium spraying on water relations traits and antioxidant enzymes in medicinal pumpkin under water deficit stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 14(1), 67-81. <https://doi.org/10.22059/jci.2012.25045>. (In Persian)
- Namdar, M., Arvin, S. M. J., & Bahremand, N. (2018). Effect of selenium on growth, physiological and biochemical indices of garlic plant (*Allium sativum*) under cadmium toxicity. *Journal of Plant Process and Function*, 8(30), 138-153. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-912-fa.html>. (In Persian)
- Norouzi, M., & Sajedi, N. A. (2019). Effect of salicylic acid and selenium application at different growth stages on some physiological traits of chickpea under rainfed conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10(2), 36-48. <https://doi.org/10.22067/IJPR.V10I2.65944>. (In Persian)
- Petrov, V. D., & Van-Breusegem, F. (2012). Hydrogen peroxide central hub for information flow in plant cells. *AoB Plants*, pls014. <https://doi.org/10.1093/aobpla/pls014>.
- Pilon-Smits, E. A. H., & Quinn, C. F. (2010). *Selenium metabolism in plants. Cell Biology of Metals and Nutrients*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 233-235.
- Rahimi, Y., Taleei, A., & Ranjbar, M. (2019). Effect of water stress on biochemical changes in *Mentha piperita* L. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(2), 59-75. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.239868.654367>. (In Persian)
- Ramos, S. J., Faquin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Avila, F. W., Carvalho, C. E. A., & Bastos, C. O. (2010). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant, Soil and Environment*, 56 (12), 584-588. <https://doi.org/10.17221/113/2010-PSE>.
- Rostami, G. H. (2017). *Investigation of Fe and Zn fertilizers in two forms of sulfate and nanoparticles on morphological, physiological, biochemical and absorption of iron and zinc in peppermint (Mentha piperita L.)*. M.Sc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. Iran. (In Persian)
- Samavatipour, P., Abdossi, V., Salehi, R., Samavat, S., & LadanMoghadam, A. (2019). Effect of selenium and some organic materials on morphophysiological traits and secondary metabolites of dill (*Anethum graveolens* L.). *Agroecology Journal*, 15(4), 57-66. <https://doi.org/10.22034/AEJ.2021.682649>. (In Persian)
- Sanchez, F. J., Manzanares, M., de Andres, E. F., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59(3), 225-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7).
- Shamsai, A. A., Aran, M., & Fakheri, B. A. (2020). The effect of foliar application of selenium on physiological and biochemical characteristics of rosemary under drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2), 128-139. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2021.257878.1069>. (In Persian)
- Shekari, L., Mozafariyan, M., Kamelmanesh, M. M., & Sadeghi, F. (2017). Effect of selenium on some morphological and physiological properties of Hot Pepper (*Capsicum annuum*) grown in hydroponic culture. *Journal of Plant Production Technology*, 9(1), 91-98. magiran.com/p1846632. (In Persian)
- Todaka, D., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2015). Recent advances in the dissection of drought-stress regulatory networks and strategies for development of drought-tolerant transgenic rice plants. *Front Plant Science*, 6: 84. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00084>.
- Veisialiakbari, F. (2019). The effect of selenium and management of nitrogen use in healthy onion production (*Allium cepa* L.). M.Sc. Thesis. Razi University. Iran. (In Persian)
- Yao, C., Zhang, F., Sun, X., Shang, D., He, F., Li, X., Zhang, J., & Jiang, X. (2019). Effects of S-abscisic acid (S-ABA) on seed germination, seedling growth, and Asr1 gene expression under drought stress in maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38 (4), 1300-1313. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09934-9>.
- Zangene, L. 2020. Effect of selenium on some morpho-physiological and biochemical characteristics of *Zinnia elegans* L. under NaCl salinity stress. MSc. Lorestan University. Iran. (In Persian)
- Zaji, B., KhavariNejad, R., Saadatmand, S., & Iranbakhsh, A. (2019). Investigating some morphological and physiological responses of Badrashboye medicinal plant (*Dracocephalum moldavica* L.) to Selenium under salt stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 14 (56), 13-27. <https://civilica.com/doc/1158938>. (In Persian)