گیاه و زیست فناوری ایران
Iranian Journal of Plant & Biotechnology (IJPB)
واحد گرمسار

نوع مقاله: پژوهشی
DOI: 10.71829/BIOLOGY-2024-1193125

اثرات محلول‌پاشی دو فرم بالک و نانوذره سلنیوم بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی آویشن دنائی (*Thymus daenensis* Celak)

زهرا آبروش[۱]، علیرضا ایرانبخش (نویسنده مسئول)[۲*]، حسین میرزایی‌ندوشن[۳]، مصطفی عبادی[٤] و زهرا اوراقی‌اردبیلی[٥]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، z.abravesh@gmail.com

۲- استاد، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، Iranbakhshar@ yahoo.com

۳- استاد، بخش زیست‌فن‌آوری، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران، nodoushan2003@yahoo.com

٤- استادیار، گروه زیست‌شناسی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران، mtf.ebadi@gmail.com

٥- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، zahraoraghi@yahoo.com

تاریخ دریافت: آبان ۱٤۰۳ تاریخ پذیرش: دی۱٤۰۳

Effects of foliar spraying of balk and nanoparticles of selenium on morphological characteristics of *Thymus daenensis* Celak

Zahra Abravesh[1], Alireza Iranbakhsh (Corresponding author)[2*], Hossein Mirzaie Nodoushan[3], Mostafa Ebadi[4], Zahra Oraghi Ardebili[5]

1 –Ph.D student, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, z.abravesh@gmail.com

2* –Professor, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Iranbakhshar@ yahoo.com

3 – Professor, Department of Biotechnology, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, nodoushan2003@yahoo.com

4- Assistant Professor, Department of Biology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran, mtf.ebadi@gmail.com

5- Associate Professor, Department of Biology, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, zahraoraghi@yahoo.com

Received: November 2024 Accepted: January 2024

Abstract

Selenium is a non-metall and rare element with strong antioxidant properties that on a small scale, causes plant growth and resistance to abiotic stresses. In order to investigate the effects of selenium treatments on *Thymus daenensis* plant growth, sodium selenite (bulk) and nano selenium (each with 2,4,8ppm) along with a control were sprayed on the aerial parts of the plant in greenhouse conditions for six times with 14 days interval. The experiment was performed based on a statistical design with three replications. The results showed that stem length, number of stems, buds and lateral branches activation, leaf length, root length, petiole length, internode distance, shoots and roots fresh and dry weight, turgid weight and relative water content, effects of the treatments were significantly different at 1% level. While leaf width and yellow leaf, treatments were significant at 5% level. Correlation coefficients of a great number of the trait combinations were also significant. Whereas, non-significance of several combinations of the traits were also noticeable. Selenium nanoparticle had a greater effect on the traits compared to the corresponding bulk treatments. Except for the yellow leaf and leaf relative water content, on which, higher concentrations of the treatments had higher effects. In general, the results showed that selenium treatment in small amounts caused growth stimulation but in high concentrations caused growth inhibition.

Keywords: Morphology, Nanopaarticles, RWC, Selenium, *Thymus daenensis*

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Autumn 2024, Vol 19, No 3, Pp 37-50

چکیده

سلنیوم عنصری غیرفلزی و کمیاب با خواص آنتی‌اکسیدانی قوی که در مقیاس کم سبب رشد و مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود. به‌منظور بررسی اثر تیمارهای سلنیومی بر رشد گیاه آویشن دنائی، تیمارهای سلنات سدیم (بالک)، نانوذره سلنیوم (۲، ٤ و ۸ میلی‌گرم در لیتر) و شاهد به‌صورت محلول‌پاشی در شرایط گلخانه بر اندام هوایی گیاه در شش مرحله به فاصله زمانی ۱٤ روز یک‌بار اعمال شد. آزمایش در قالب یک طرح آماری با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که طول ساقه، تعداد ساقه، فعال‌شدن جوانه‌ها و شاخه‌های جانبی و طول برگ، طول ریشه، طول دمبرگ، فاصله میانگره، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، وزن آماس، وزن خشک و محتوای نسبی آب برگ، تیمارها در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند. در حالیکه پهنای برگ و برگ زرد، تیمارها در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند. نتایج بسیاری از همبستگی‌های ترکیب‌های دوگانه صفات نیز معنی‌دار بودند. ولی غیرمعنی‌دار بودن برخی از ترکیب‌های دوگانه صفات نیز قابل توجه بود. تیمارهای نانوذره سلنیوم در مقایسه با تیمارهای بالک متناظر، اثر بیشتری روی صفات داشتند. همچنین غلظت‌های بالاتر اثر بازدارندگی و غلظت‌های کمتر اثر محرک رشد را نشان دادند. به استثنای برگ زرد و محتوی نسبی آب برگ که در غلظت‌های بالاتر اثرپذیری بیشتری داشتند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که تیمار سلنیوم در مقادیر کم سبب ترغیب رشد و در غلظت‌های بالا موجب مهار رشد شد.

کلمات کلیدی: آویشن دنائی، ریخت‌شناسی، سلنیوم، محتوای نسبی آب، نانوذرات

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران
پاییز ۱٤۰۳، دوره ۱۹، شماره ۳، صص ۵۰-۳۷

مقدمه و کلیات

آویشن دنائی (*Thymus daenensis* Celak) گونه‌ای از خانواده نعناعیان که در مناطق وسیعی از کشور ما به‌ویژه در رشته کوه‌های زاگرس و بخش‌هایی از البرز رویش دارد. ایران با شرایط اقلیمی متفاوت دارای تنوع قابل توجهی از گونه‌های آویشن است که منبعی غنی و ارزشمند از گیاهان دارویی محسوب می‌شود (Sharifi Ashourabadi *et al*, 2021 and 2023). از گذشته‌های دور از این گونه گیاهی برای درمان بیماری‌هایی چون ناراحتی‌های گوارشی، سرماخوردگی، عفونت‌های تنفسی و سردرد استفاده شده است (Rahmati-Joneidabad and Alizadeh-Behbahani, 2020. بدیهی است که این گونه گیاهی به‌میزان زیادی تحت تأثیر شرایط محیطی است و بسیاری از ویژگی‌های رویشی و فیتوشیمیایی آن تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله عناصری است که از طریق خاک یا برگ دریافت می‌کند (Djanaguiraman *et al.*, 2018; Sotoodehnia-Korani, *et al.*, 2020). وجود یا عدم وجود مقدار مناسب از سلنیوم هم به‌عنوان یکی از عوامل محیطی که به‌تازگی به اهمیت آن پی‌برده شده است، به‌عنوان یک عامل محیطی مورد توجه محققین متعددی قرار گرفته است. به‌طوری که برخی از محققین کاربرد کودهای حاوی سلنیوم را برای افزایش پوشش سبز گونه‌های گیاهی توصیه کرده‌اند (Juhaszne-Toth and Csapo, 2018) . سلنیوم (Se) عنصر معدنی کم‌یابی است که تا چند وقت پیش برای گیاه سمی و مضر و به‌ویژه مؤثر در توقف رشد رویشی گیاهان تلقی می‌شد. با این حال حد و مرز اثرات مفید و مضر این عنصر بر انسان، گیاهان و حیوانات هم تا حدودی تعیین گردید. به‌طوری که بعدها گفته شد که این عنصر حتی اثرات سمی سایر عناصر مضر نظیر جیوه بر گیاهان را نیز کاهش می‌دهد. به‌عنوان نمونه بیشترین میزان سلنیوم مورد مصرف انسان را قریب ٤٠٠ میکروگرم در روز تعیین کردند، ولی ۵۰ تا ۲۰۰ میکروگرم در روز برای رفع نیازهای روزانه انسان کفایت می‌کند (Navarro-Alarcon and Lopez-Martinez, 2000). با این حال سلنیوم در غلظت‌های پایین اثرات محرک رشد و در غلظت‌های بالا سبب ایجاد سمیت شدید و ناهنجاری در رشد گیاهان می‌شود (Babajani *et al*.,2019a; Sotoodehnia-Korani *et al*., 2020; Neysanian *et al*.,2023). به‌طور عمده کمبود این عنصر موجب نارسایی‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک و حتی آناتومیک می‌گردد که با استفاده از کودهای شیمیایی حاوی این عنصر می‌توان بر این مشکلات فائق آمد. به‌طوری که کمبود ناشی از این عنصر در خاک با استفاده از کودهای حاوی سلنیوم، به‌صورت محلول‌پاشی برگی یا کودپاشی جبران می‌شود. اگرچه استفاده از مقادیر زیاد سلنیوم هم ممکن است موجب اختلالات فیزیولوژیک در گیاه گردد. در واقع می‌توان گفت که سلنیوم در گیاهان در فعال کردن برخی از آنزیم‌ها، متعادل کردن برخی از عناصر و تقویت کلروفیل نقش تعیین‌کننده‌ای دارد و حتی گیاه را به برخی از تنش‌های محیطی مقاوم می‌کند (Raina *et al.*, 2021). این عنصر مانع برخی از تنش‌های حاصل از سایر عناصر از جمله اکسیداسیون حاصل از رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد. یکی از دلایل این خواص در نانوذرات سلنیوم مشخصات فیزیکی آن، از

جمله درجه حرارت ذوب پائین آن و نیز نسبت سطح به حجم ذرات می‌باشد. کودهای نانوذره‌ای نسبت به کودهای شیمیایی رایج در کشاورزی دارای آنچنان مزایایی هستند که آنها را به‌منظور تولید مواد غذایی سالم و تولید پایدار محصولات کشاورزی برتری داده است (Usman *et al.*, 2020). البته بیشتر نتایج مثبتی که کاربرد نانوذره در کشاورزی داشته است، حاصل ابعاد بسیار ریز آنهاست که آنها را قادر می‌سازد به راحتی جذب گیاه شده و در شیرابه گیاه به حرکت در آیند. این ویژگی سبب شده است که کودهای نانو ذره‌ای سه برابر بیشتر از سایر کودها جذب گیاه شوند (El-Saadony *et al.*, 2021). وجود مقدار ناچیزی از سلنیوم سبب تأخیر در پیری زودرس در گیاه شده و مقاومت آن را در برابر عوامل محیطی نظیر تنش‌های ناشی از تشعشعات UV افزایش می‌دهد. حتی گفته شده است که سلنیوم در شرایط کم‌آبی سبب تنظیم وضعیت آب در گیاهان می‌گردد (Kuznetsov *et al.*, 2003; Heidari *et al*, 2015). همچنین گزارش شده که بیماری‌های پوسیدگی طوقه و ریشه گندم (CRDs) ناشی از گونه‌های فوزاریوم با استفاده نانوذرات سلنیوم بیولوژیکی سنتز شده توسط لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوسML14 کنترل شده و در نتیجه سبب افزایش رشد گندم شده است (El-Saadony *et al.*, 2021). بنابر مطالعات Samynathan و همکاران (2023) سلنیوم (Se) با تأثیرگذاری بر صفات مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان، نقش مهمی در مواد مغذی ایفا می‌کند. متابولیسم گیاه را تحریک، متابولیت‌های ثانویه را تقویت و تنش‌های غیرزیستی و زیستی را در گیاهان کاهش می‌دهد. در مسائل زیست محیطی و افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی، تقویت زیستی مبتنی بر Se-NP مهم‌تر، زیرا تحمل تنش گیاه را افزایش می‌دهد و بر متابولیسم آنها اثر مثبت می‌گذارد. در ضمن Se-NPها می‌توانند مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های اکسیداتیو، وضعیت مواد مغذی خاک، سطح آنتی‌اکسیدان گیاه را افزایش داده، رشد را تقویت و در فرآیند تعرق شرکت کنند. محتوی نسبی آب گیاه، یکی از صفات مهمی است که رابطه مستقیم با محتوی آب خاک دارد و نشان‌دهنده وضعیت آبی خاک است (Atashkar, 2023; Heidari *et al*, 2015). محتوی نسبی آب یکی از چندین روش اندازه‌گیری وضعیت آبی بافت است که رابطه نزدیکی با پتانسیل آبی برگ دارد، بدین معنی که هر چه پتانسیل آب در گیاه کاهش یابد (بیشتر منفی شود) محتوای نسبی آب نیز تقلیل می‌یابد (Alizadeh, 2008; Heidari *et al*, 2015) و به‌عنوان شاخص مهم در تنش خشکی در برگ‌ها گزارش شده است (Merah, 2001; Heidari *et al*, 2015) که می‌تواند توانایی گیاه را برای در امان بودن از شدت تنش تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه بر عملکرد و پایداری آن مؤثر باشد. مطالعه روی لوبیا نشان داده که در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Ghanbari *et al*, 2013). در ضمن Handa و همکاران (2019) هم بیان نمودند که طیف وسیعی از اثرات مفید Se بر روی گیاهان ایجاد شده است. ثابت شده است که غلظت‌های کم Se باعث افزایش جوانه‌زنی، رشد، فتوسنتز، پتانسیل تنفسی، عملکرد و غیره می‌شود. مطالعات مختلف تأثیر مستقیم آن را بر سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی نشان داده است و در نتیجه

توانمندی گیاهان را برای مقابله با شرایط استرس‌زا افزایش می‌دهد. علی‌رغم اثرات مثبت سلنیوم که به خوبی مستند شده، هنوز به دلیل اثرات سمی آن در غلظت‌های بالاتر، مرزی بین مفید یا مضر بودن آن وجود ندارد. بنابراین، غلظت مورد استفاده این عنصر، هنوز موضوعی قابل تأمل و تحقیق است. در هر صورت این تحقیق در راستای بررسی اثرات احتمالی سلنیوم بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه‌ای و وزن آماس و محتوی نسبی آب برگ آویشن دنائی به اجرا درآمد تا ضمن استفاده از دو فرم نانو و بالک سلنیوم در حالت محلول‌پاشی برگی اثر مقادیر مختلف آنها بررسی گردد.

فرآیند پژوهش

محلول پایه نانوذره سلنیوم قرمز رنگ یک لیتری، با قطر ذرات کمتر از ٤٥ نانومتر، خلوص بالای ۹۹/۹۵٪ و با ریخت‌شناسی تقریباً کروی و تراکم ۳/۸۹ cm^3 از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان مشهد، استان خراسان رضوی خریداری شد. از سلنات سدیم (Na_2SeO_4) به‌عنوان سلنیوم بالک استفاده گردید. بذرهای آویشن از بخش تحقیقات گیاهان دارویی موسسهٔ تحقیقات جنگلها و مراتع کشور با مبدأ استان مرکزی تهیه گردید. ابتدا بذرها در سینی‌های کشت حاوی ترکیبی از پیت‌ماس و پرلیت مرطوب به نسبت ۵ به ۱ در شرایط گلخانه کشت گردیدند. گیاهچه‌های ۳۵ روزه به گلدان‌های با ابعاد ۱۲ در ۱۲ سانتی‌متر منتقل شدند (هر گلدان یک گیاهچه). پس از سازگاری گیاهچه‌ها به‌شرایط گلدانی و از زمان چهار برگی، تیمارهای هفت‌گانه سلنیوم (سلنات سدیم و نانوسلنیوم) در غلظت‌های صفر، ۲، ٤ و ۸ میلی‌گرم در لیتر به‌علاوه شاهد، هر دو هفته یک‌بار و در شش مرحله به‌صورت محلول‌پاشی بر روی اندام هوایی گیاهان اعمال شد. آبیاری در حد ضرورت انجام شد و هفته‌ای دوبار مقدار ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول غذایی هوگلند در هر گلدان، برای تقویت گیاهان استفاده شد نمونه‌برداری از گیاهان تیمار شده سه روز پس از آخرین تیماردهی انجام شد.

بررسی شاخص‌های رشد و ویژگی‌های ریخت‌شناسی

محاسبه صفات ریخت‌شناسی: برای صفات ظاهری طول ساقه و طول ریشه و سایر پارامترهای ریختی نظیر تعداد شاخه و تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ و طول برگ، طول دمبرگ و پهنای برگ، فاصله میانگره و تعداد ریشه یادداشت‌برداری صورت گرفت. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از خط‌کش مدرج میلی‌متری انجام شد (Homaie *et al*, 2014).

وزن تر و خشک: سه روز پس از آخرین اعمال تیمارهای هفتگانه سلنیومی، برای سنجش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نمونه‌ها پس از توزین به‌مدت ٤٨ ساعت در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. توزین اندام‌های گیاهی تر و خشک توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم صورت گرفت (Homaie *et al*, 2014).

محتوای نسبی آب برگ RWC، وزن آماس (WT): برای ارزیابی شاخص RWC ابتدای صبح برگ‌های جوان و انتهایی گیاه به وزن ۱۰۰ میلی‌گرم برداشت شده و بلافاصله توزین و در لوله‌های درب‌دار محتوی آب مقطر غوطه‌ور شدند. بعد از گذشت ٦ ساعت وزن

آماس برگ‌ها با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. سپس برگ‌ها به آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند و بعد از ٢٤ ساعت وزن خشک برگ‌ها توزین شد. رطوبت نسبی برگ‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید. $RWC= WF – WD / WT – WD \times 100$

WF: وزن تر برگ، WD: وزن خشک برگ، WT: وزن اشباع برگ

از فرمول زیر برای محاسبه تعیین میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع استفاده می‌شود (Massoud Sinki, 2002) که در آن WSD= Water Saturation Defficient. میزان کمبود آب نسبت به ۱۰۰درصد رطوبت برگ در نظر گرفته می‌شود. $WSD = 100 – RWC$

تجریه و تحلیل آماری داده‌ها: محاسبات آماری در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی (CRD) انجام شد و سطح معنی‌دار بودن تفاوت تیمارهای سلنیومی بر روی صفات تعیین گردید. از روش دانکن برای دسته‌بندی میانگین صفات مورد نظر استفاده شد. همبستگی بین ترکیب‌های دوگانه صفات محاسبه و سطح معنی‌دار بودن آنها تعیین گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS انجام شد (SAS Institute Inc., 1989) و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شدند.

نتایج و بحث

ارزیابی اثر سطوح سلنیوم بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای: به‌کارگیری تیمارهای هفتگانه سلنیوم (نانوذره سلنیوم و سلنات سدیم) به‌همراه استفاده از محلول غذایی هوگلند علاوه بر تغییر صفات رشد، سبب اختلاف ریخت‌شناسی در ساقه و ریشه در مقایسه با شاهد گردید. در جدول مقایسه میانگین‌ها، طول ساقه در شش گروه متفاوت ($P\leq0.01$)، تعداد ساقه، فعال شدن جوانه‌ها و شاخه‌های جانبی و طول برگ در پنج گروه متفاوت ($P\leq0.01$)، طول ریشه در چهار گروه متفاوت (($P\leq0.01$)، طول دمبرگ و فاصله میانگره در سه گروه متفاوت ($P\leq0.01$)، پهنای برگ و برگ زرد در سه گروه متفاوت ($P\leq0.05$) که در آن برخی از تیمارها همپوشانی داشتند، قرار داده شدند. براساس نتایج دسته‌بندی جدول مقایسه میانگین صفات ریخت‌شناسی به روش دانکن، تیمار ٤ppm نانوذره سلنیوم سبب افزایش رشد طول ساقه (۳۱/۵۱ درصد)، تعداد ساقه (۷۵/۷۵ درصد)، و شاخه‌های جانبی (۹۳/۰۷ درصد) در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۱). براساس نتایج ارائه شده درجدول ۱ طول ساقه با افزایش غلظت از ۲ppm به ٤ppm روند افزایشی و در غلظت ۸ppm روند کاهش رشد را تجربه کرد (شکل ۱). طول ریشه در تیمار ۲ppm نانوذره سلنیوم و تعداد ریشه در دو تیمار ٤ppm سلنات سدیم (بالک سلنیوم) و ۸ppm نانوذره سلنیوم به‌ترتیب به میزان ٤٥/٤٩ درصد و ۱۷/٦۳ درصد افزایش رشد را در مقایسه با شاهد نشان دادند. همچنین طول برگ، پهنای برگ، طول دمبرگ و فاصله میانگره در تیمار ٤ppm نانوذره سلنیوم بیشترین افزایش را در مقایسه با شاهد به‌دست آوردند و بیشترین تعداد برگ زرد در تیمار ۸ppm بالک سلنیوم نسبت به شاهد مشاهده گردید (جدول ۱، شکل ۱ و ٤).

جدول۱- اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف فرم‌های بالک و نانوذره سلنیوم بر صفات مختلف آویشن دنائی در شرایط گلخانه

Table 1- Effects of spraying different concentrations of balk and nanoparticle forms of selenium on different traits of *Thymus daenensis* under greenhouse conditions

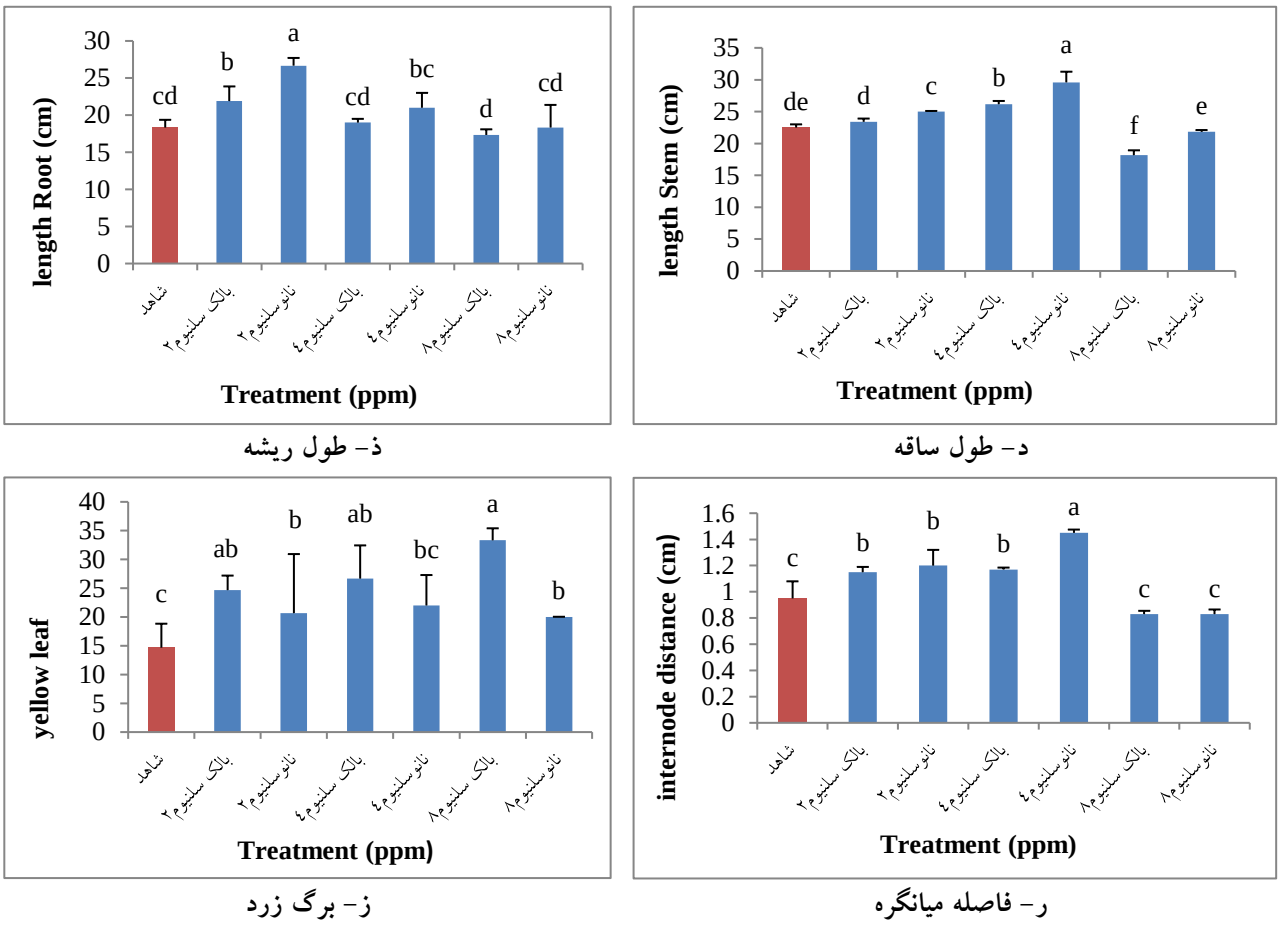
تیمار (میلی‌گرم در لیتر)	وزن آماس (اشباع برگ)	وزن خشک بعد از آماس	محتوی نسبی آب برگ	میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع شده (WSD)	طول ساقه	طول ریشه
شاهد	۰/۰۲۵±۰/۰۰۱c	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۱c	۲۱/۱۲±۰/۲٤cde	۷۸/۸۸±۰/۲٤abc	۲۲/۵۰±۰/۵۰de	۱۸/۳۳±۱/۰٤۱cd
سلنات سدیم ۲	۰/۰۳۳±۰/۰۰۲٦b	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۲b	۲۰/۷۱±۰/۱۳e	۷۹/۲۹±۰/۱۳a	۲۳/٤۳±۰/۵۱۳d	۲۱/۹۰±۱/۹۷b
نانوسلنیوم ۲	۰/۰۳٦±۰/۰۰۲b	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۰٦b	۲۰/۸۸±۰/۳۵de	۷۹/۱۱±۰/۳۵ab	۲۵/۰۰±۰/۱۰c	۲٦/٦۷±۱/۰٤۱a
سلنات سدیم ٤	۰/۰٤±۰/۰۰۲۵a	۰/۰۰۳۳±۰/۰۰۰۱۵a	۲۱/۳۱±۰/۱۸bcd	۷۸/٦۹±۰/۱۸bcd	۲٦/۱۷±۰/۵b	۱۹/۰۰±۰/۵bcd
نانوسلنیوم ٤	۰/۰٤۳±۰/۰۰۳۲a	۰/۰۰۳٤±۰/۰۰۰۱a	۲۱/۵۹±۰/۳٤b	۷۸/٤۱±۰/۳٤d	۲۹/۵۹±۱/٦۷a	۲۱/۰۰±۲/۰۰bc
سلنات سدیم ۸	۰/۰۱۵±۰/۰۰۱۷d	۰/۰۰۱۳±۰/۰۰۰۱۵e	۲۱/٤۱±۰/۱۸bc	۷۸/۵۸±۰/۱۸cd	۱۸/۱۷±۰/۷٦f	۱۷/۳۳±۰/۷٦d
نانوسلنیوم ۸	۰/۰۲۲±۰/۰۰۱۱c	۰/۰۰۱۵±۰/۰۰۰۰۵d	۲۲/۸۲±۰/۰۹۸a	۷۷/۱۷±۰/۰۹۸e	۲۱/۸۳±۰/۲۸e	۱۸/۳۳±۳/۰۵cd

تیمار (میلی‌گرم در لیتر)	شاخه جانبی (جوانه‌ها)	تعداد ساقه	تعداد ریشه	طول برگ	پهنای برگ	طول دمبرگ
شاهد	۹/٦۷±۰/۵۷de	۳۳/۰۰±۲/٦٤cd	۵/٦۷±۰/۵۷ab	۱/٦۲±۰/۰۳d	۰/٤۳±۰/۰۳abc	۰/۱٤±۰/۰۳۸c
سلنات سدیم ۲	۱۱/۱±۳۳/۱۵cd	۳۵/۱±۳۳/۵۲c	۵/۱±۰۰/۷۳ab	۱/۰±٦۸/۰۱۷cd	۰/۰±٤۳/۰abc	۰/۰±۱۵/۰۱۹bc
نانوسلنیوم ۲	۱۲/۳۳±۱/۵۲bc	٤۲/۰۰±۲/٦٤b	٤/۳۳±۰/۵۷b	۱/۷۸±۰/۵۱bc	۰/٤۵±۰/۰۸۳abc	۰/۱۹±۰/۰۱۹bc
سلنات سدیم ٤	۱٤/۳۳±۰/۵۷b	٤۵/۳۳±۲/۰۸b	٦/٦۷±۰/۵۷a	۱/۸۷±۰/۱۲b	۰/٤۹±۰/۰٦۹ab	۰/۲۰±۰/۰۱۱ab
نانوسلنیوم ٤	۱۸/٦۷±۲/۰۸a	۵۸/۰۰±۳/٦۱a	٦/۳۳±۱/۵۳ab	۲/۰٦±۰/۱۵a	۰/٦۰±۰/۰۸۸a	۰/۲٤±۰/۰۵۱a
سلنات سدیم ۸	۸/۳۳±۰/۵۷e	۲۳/٦۷±۱/۵۲e	۵/٦۷±۰/۵۷ab	۱/۳۵±۰/۰٦۸e	۰/۳۱±۰/۰۱٦۷c	۰/۱۳±۰/۰۳۳c
نانوسلنیوم ۸	۸/٦۷±۰/۵۷e	۲۹/۳۳±۱/۵۲d	٦/٦۷±۱/۱۵a	۱/٤۷±۰/۰۵۳e	۰/۱±۰/۱۰۲bc	۰/۱۳±۰/۰c

تیمار	فاصله میانگره	برگ زرد	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
شاهد	۰/۹۵±۰/۱۳c	۱٤/٦۷±٤/۱٦c	۵/۲٦±۰/٤۵cd	۱/۸۱±۰/۲۳cd	۱/۳۹±۰/۰٦c	۰/۱٦±۰/۰۰۸c
سلنات سدیم ۲	۱/۱۵±۰/۰٤٤b	۲٤/٦۷±۲/۵۲abc	٦/۱۳±۰/۱۱bc	۲/۱۰±۰/۰vbc	۲/۷۵±۰/۳۵ab	۰/۳۱±۰/۰٤ab
نانوسلنیوم ۲	۱/۲۰±۰/۱۲b	۲۰/٦۷±۱۰/۲٦bc	۷/٤۲±۰/۸۰a	۲/۳۵±۰/۱۱ab	۳/۲۵±۰/۰۰۵a	۰/۳۷±۰/۰۰۰۳a
سلنات سدیم ٤	۱/۱۷±۰/۰۱۵b	۲٦/٦۷±۵/۷۷ab	٦/۹۷±۱/۷ab	۲/۲۹±۰/۲۹ab	۲/۵۷±۰/۳۸b	۰/۲۹±۰/۰٤b
نانوسلنیوم ٤	۱/٤۵±۰/۰۲۵a	۲۲/۰۰±۵/۲۹bc	۷/۷۷±۰/۷۹a	۲/۵۲±۰/۲۷a	۳/۱۹±۰/۷۱a	۰/۳۷±۰/۰۸۲a
سلنات سدیم ۸	۰/۸۳±۰/۰۲۵c	۳۳/۳۳±۲/۰۸۱a	٤/۵۰±۰/۲۹d	۱/٤۱±۰/۲۲e	۱/۵۳±۰/۰۸۵c	۰/۱۸±۰/۰۱c
نانوسلنیوم ۸	۰/۸۳±۰/۰۳۵c	۲۰/۰۰±۰/۰۳۵bc	۵/۰۱±۰/۱۰cd	۱/۷۰±۰/۰٤۵de	۱/۷٦±۰/۰٦۱c	۰/۲۰±۰/۰۰۷c

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است

Similar letters in each column indicates no significant difference based on Duncan's multiple range test



ذ- طول ریشه

د- طول ساقه

ز- برگ زرد

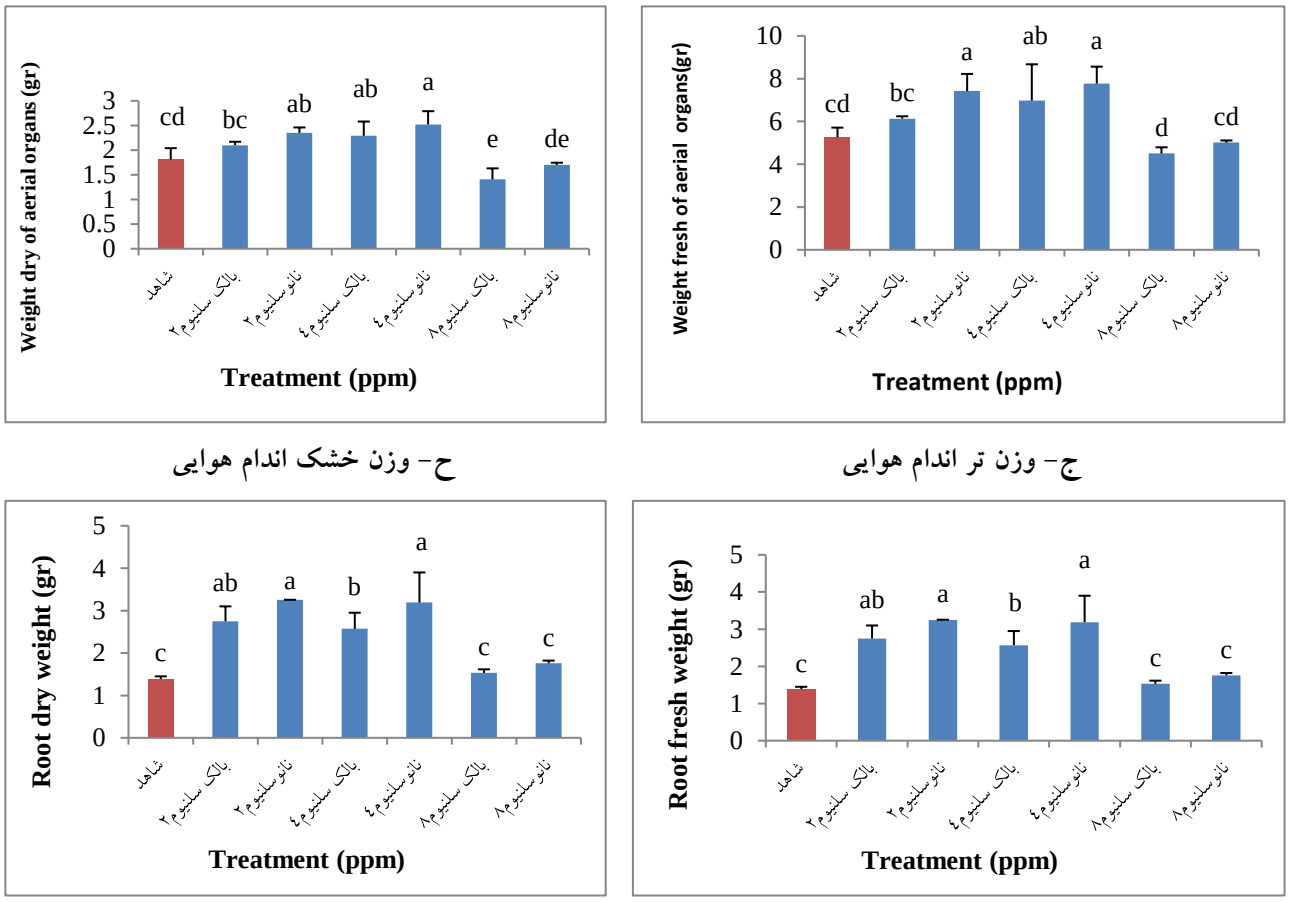
ر- فاصله میانگره

شکل ۱- اثرات محلول‌پاشی سطوح مختلف فرم‌های بالک و نانوذره سلنیوم در شرایط گلخانه بر طول ساقه، طول ریشه، فاصله میانگره و برگ زرد در آویشن دنائی

Fig 1- Effects of foliar spraying of different levels of balk and nanoparticle forms of selenium under greenhouse conditions on stem length, root length, internode intervals and yellow leaves in *Thymus daenensis*

ارزیابی اثر سطوح سلنیوم بر وزن تر و خشک اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای: بر اساس مقایسه و دسته‌بندی میانگین‌ها، تیمارها از نظر وزن تر اندام هوایی در چهار گروه ($P\leq0.01$) و وزن خشک اندام هوایی در پنج گروه متفاوت ($P\leq0.01$)، و وزن تر و خشک ریشه نیز در سه گروه متفاوت ($P\leq0.01$) قرار گرفتند که در آن برخی از تیمارها همپوشانی داشتند. بالاترین وزن تر اندام هوایی متعلق به دو تیمار ٤ppm و ٢ppm نانوذره سلنیوم به‌ترتیب ٤٧/٧٢ درصد و ٤١/٠٦ درصد و کمترین وزن تر اندام هوایی به تیمار ٨ppm بالک سلنیوم در مقایسه با شاهد به‌دست آمد. همچنین بیشترین وزن خشک اندام هوایی به تیمار ٤ppm نانوذره سلنیوم (٣٩/٢٢ درصد) و کمترین آن به تیمار ٨ppm بالک سلنیوم در مقایسه با شاهد مشاهده گردید. بیشترین وزن تر سیستم ریشه‌ای به دو تیمار ٤ppm و ٢ppm نانوذره سلنیوم به‌ترتیب ١٢٩/٤٩ درصد و ١٣٣/٨١ درصد و کمترین آن به تیمارهای ٨ppm بالک سلنیوم و نانوذره سلنیوم و شاهد تعلق

داشت. بیشترین وزن خشک سیستم ریشه‌ای را دو تیمار ٤ppm و ٢ppm نانوذره سلنیوم با افزایش ١٣١/٢٥ درصد و کمترین آن در تیمارهای شاهد و ٨ppm بالک سلنیوم و نانوذره سلنیوم مشاهده شد (جدول ١ و شکل ٢).



ج- وزن تر اندام هوایی

ح- وزن خشک اندام هوایی

خ- وزن تر ریشه

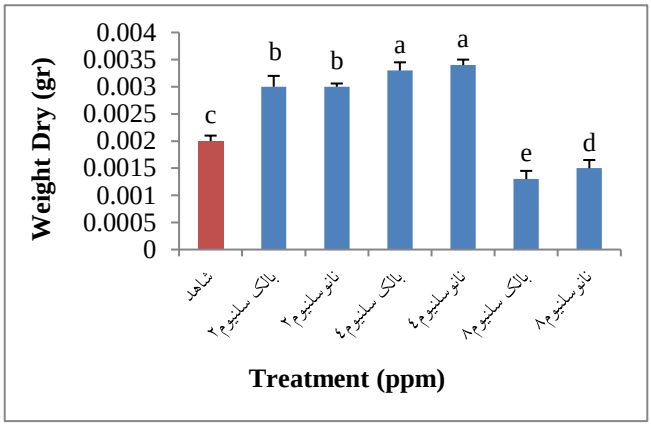
چ- وزن خشک ریشه

شکل ٢- اثرات محلول‌پاشی سطوح مختلف فرم‌های بالک و نانوذره سلنیوم در شرایط گلخانه بر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه

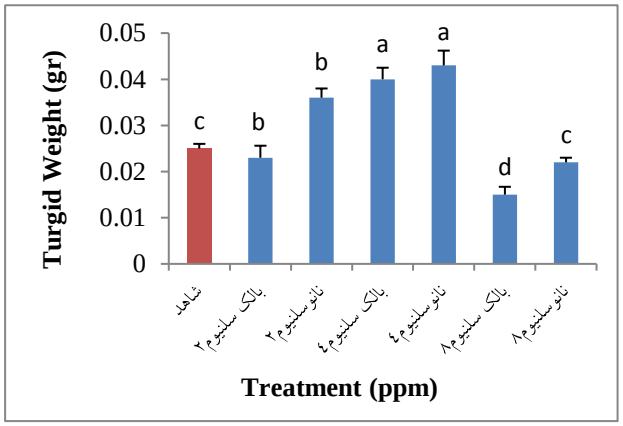
Fig 2- Effects of foliar spraying of different levels of balk and nanoparticle forms of selenium under greenhouse conditions on fresh weight of plant aerial parts, dry weight of plant aerial parts, root fresh weight and root dry weight, in *Thymus daenensis*

ارزیابی اثر سطوح سلنیوم بر WT، WD، RWC و WSD: میانگین تیمارها از نظر ویژگی‌های وزن آماس WT، وزن خشک بعد از آماس WD در چهار گروه مجزا ($P\leq0.01$)، و از نظر ویژگی‌های محتوی نسبی آب برگ RWC و میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع WSD در پنج گروه متفاوت ($P\leq0.01$) قرار گرفتند (جدول ١) که در آن برخی از تیمارها همپوشانی داشتند. این موضوع بیانگر این است که روند تأثیر تیمارها با یکدیگر متفاوت است. بالاترین WT به دو تیمار ٤ppm بالک سلنیوم و نانوذره سلنیوم به‌ترتیب ٦١ درصد و ٧٢ درصد و کمترین WT به تیمار ٨ppm بالک سلنیوم در مقایسه با شاهد تعلق

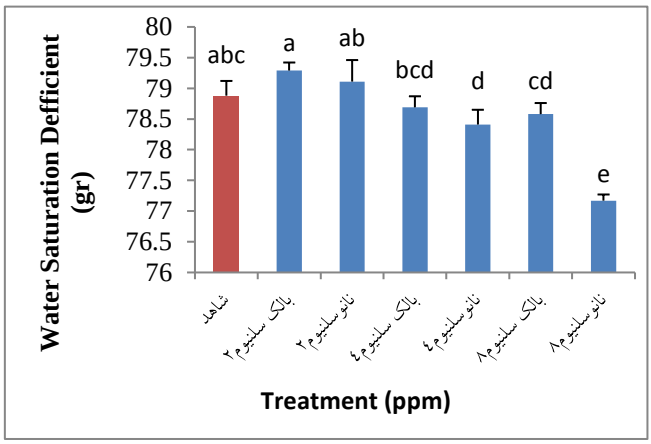
داشت. همچنین بیشترین WD به دو تیمار ٤ppm بالک سلنیوم و نانوذره سلنیوم به‌ترتیب ٦٥ درصد و ٧٠ درصد و کمترین آن به تیمار ٨ppm بالک سلنیوم در مقایسه با شاهد تجربه گردید. بیشترین RWC در تیمار ٨ppm نانوذره سلنیوم با افزایش ٨ درصدی و کمترین RWC به تیمار ٢ppm بالک سلنیوم در مقایسه با شاهد تعلق داشت. بیشترین WSD در تیمار ٢ppm بالک سلنیوم با افزایش ٠/٥٢ درصدی و کمترین آن را تیمار ٨ppm نانوذره سلنیوم نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ١ و شکل ٣).



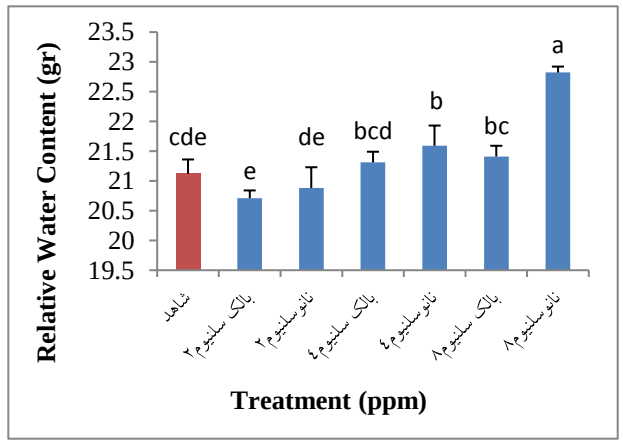
ب- وزن خشک بعد از آماس



الف- وزن آماس



ت- میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع شده



پ- محتوی رطوبت نسبی

شکل ٣- اثرات محلول‌پاشی سطوح مختلف فرم‌های بالک و نانوذره سلنیوم در شرایط گلخانه بر وزن آماس، وزن خشک بعد از آماس، محتوی رطوبت نسبی و میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع شده در آویشن دنائی

Fig 3- Effects of foliar spraying of different levels of balk and nanoparticle forms of selenium under greenhouse conditions on Turgid Weight, Dry Weight, Relative Water Content, Water Saturation Deficient, in *Thymus daenensis*

Fig 4- Effects of foliar spraying of different levels of sodium selenate and selenium nanoparticles on shoots and roots of *Thymus daenensis* under greenhouse conditions. Scales = 2 cm

ویژگی‌های ریخت‌شناسی و وزن تر و خشک اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای: به‌کارگیری تیمارهای نانوذره سلنیوم و سلنات سدیم بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، وزن تر و خشک اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای آویشن دنائی اثرات مثبتی داشت. یافته‌ها نشان داد که کاربرد نانوذره سلنیوم در غلظت‌های پایین اثر تحریک رشد و در غلظت‌های بالا اثر مهار رشد را داشت. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران در کاربرد سلنیوم گزارش شده است. بنابر گزارش Handaو همکاران (2019)، طیف وسیعی از اثرات مفید سلنیوم که بر روی گیاهان ایجاد شده است، ثابت گردید که غلظت‌های کم سلنیوم باعث افزایش جوانه‌زنی، رشد، فتوسنتز، پتانسیل تنفسی و عملکرد می‌شود. نتایج این پژوهش در مورد افزایش رشد طولی ساقه و ریشه که از تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی آویشن دنائی ناشی می‌شود، و اثرات مفید سلنیوم در غلظت‌های کم را بیان می‌نماید، هم‌راستا با نتایج پژوهشگران است. در نتایج این پژوهش سطوح پائین سلنیوم موجب افزایش رشد شاخص‌های رشدی و مورفوژنز گیاه مانند شاخه جانبی (جوانه‌های فعال)، تعداد ساقه، طول برگ، پهنای برگ، طول دمبرگ و فاصله میانگره گردید. در ادامه همین پژوهش سطوح بالای سلنیوم (٨ppm) در دو فرم بالک و نانوذره افزایش بیشتر برگ زرد در گیاه که اشاره به سمیت بالای این عنصر دارد، را سبب گردید. محلول‌پاشی سلنیوم در دو فرم بالک و نانوذره در کشت گلدانی گیاه آویش دنائی سبب اختلاف معنی‌داری در طول ساقه و ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک سیستم ریشه‌ای گردید. در غلظت‌های کم (٤ppm) اثر افزایشی و در غلظت‌های بالا (٨ppm) به‌دلیل سمیت ایجاد شده موجب اثر کاهشی گردید. در راستای تحقیق کنونی نتایج مشابهی توسط Neysanian و همکاران (2021) بر روی کشت گلدانی و محلول‌پاشی سلنیوم در گیاه گوجه گیلاسی گزارش گردید. به‌طوری که در غلظت

٤ppm نانوذره سلنیوم، به اثر تحریک‌کنندگی و افزایش وزن تر (۳۰/۸۰ درصد) و خشک بخش هوایی (۰/۹۷ درصد) ، و وزن تر (١٦/٣١ درصد) و خشک (٥٥/١١ درصد) سیستم ریشه‌ای، و در غلظت ۱۰ppm به اثر مهارکنندگی و کاهش وزن تر بخش هوایی به میزان ٤/٥٣ درصد، در مقایسه با شاهد اشاره نمودند. محققین مذکور همچنین، بیشترین افزایش طول ریشه را در دو فرم سلنات سدیم و نانوذره سلنیوم در تیمارهای ۲ و ٤ ppm به میزان ١٤/١٦ درصد در مقایسه با شاهد، و کمترین میزان را تیمار ۱۰ppm سلنیوم با کاهش ۳۸/٦٧ درصد گزارش نمودند. آنها همچنین بیان نمودند که بهبود شاخص‌های رشدی در سطوح پائین سلنیوم (٤ppm)، و مهار رشد در سطوح بالا (۱۰ppm) به‌دست آمد که تأییدی بر نتایج این پژوهش است. در امتداد تحقیقات سایر پژوهشگران Abedi و همکاران (2023) اثرات نانوذره سلنیوم و سلنات سدیم بر روی گیاه وشا را در غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ (ppm) مطالعه نمودند، نتایج تحقیقات آنها نیز اثرات تحریک‌کنندگی و افزایشی در غلظت‌های پایین و اثرات مهارکنندگی و کاهشی در غلظت‌های بالا را تأئید نمود. به‌طوری که تمامی شاخص‌های رشد طول ساقه و ریشه، وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی در غلظت‌های ۵ و ۱۰ نانوذره سلنیوم و ۵ سلنات سدیم افزایش قابل توجهی در مقایسه با شاهد، و در غلظت ۲۰ppm کاهش رشد جزئی را در مقایسه با شاهد تجربه کردند، که همسو با نتایج این پژوهش است. در تحقیقی که Freire و همکاران (2024) بر روی برنج انجام دادند، گزارش نمودند که نانوذرات سلنیوم اثرات دوگانه‌ای بر رشد گیاهچه داشت به‌طوری که در غلظت‌های پایین تأثیری نداشتند، در حالی که در غلظت‌های بالاتر، طول ریشه به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. بنا بر تحقیق حاضر و سایر پژوهشگران غلظت‌های پایین عنصر سلنیوم اثرات مفیدی بر روی گیاهان ایجاد می‌کند. در ضمن Ramezaniو همکاران (2023) در به‌کارگیری کاربرد محلول‌پاشی سلنیوم در کشت گلدانی سورگوم تحت تأثیر تنش تحمل به خشکی از غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده نمودند. در غلظت‌های پایین افزایش طول ساقه، طول ریشه، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر و خشک خوشه را سبب گردید. ولی افزایش وزن تر اندام هوایی از نظر آماری معنی‌دار نشد. براساس این مطالعه نیز غلظت‌های پایین اثر افزایشی و غلظت‌های بالا اثر کاهشی را نشان دادند که تأئیدی بر پژوهش حاضر است. در همین راستا Khaiو همکاران (2024) به‌منظور باززایی شاخساره در توت فرنگی و کیوی، اثر نانوذره سلنیوم را مورد مطالعه قرار دادند. بیشترین تعداد شاخه را در غلظت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌گرم در لیتر و کمترین تعداد شاخساره را در غلظت‌های بالاتر ۲/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان وزن تر، وزن خشک و وزن ماده خشک گیاه را در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان را در غلظت‌های ۲/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر گزارش نمودند. همچنین در کیوی بیشترین تعداد شاخه، وزن تر و وزن خشک در غلظت‌های ۱/۵ و ۲ میلی‌گرم در لیتر، و کمترین میزان را در غلظت‌های ۲/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر بیان نمودند. بر اساس این نتایج، اثرات مفید نانوذرات سلنیوم بر رشد و مورفوژنز گیاه در شرایط آزمایشگاهی با تمرکز

بر بازسازی شاخه‌های نو در توت‌فرنگی و کیوی و نقش نانوذرات سلنیوم به‌عنوان یک محرک رشد در گیاهان را گزارش نمودند که گواهی بر تأئید نتایج این پژوهش است.

وزن آماس (WT)، محتوی نسبی آب برگ (RWC): محتوای رطوبت نسبی (RWC) در گیاهان یکی از مهم‌ترین پارامترهای بیوشیمیایی است و کمبود آن کارایی فتوسنتز و بهره‌وری محصول را محدود می‌کند و در واقع به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش محسوب می‌شود. تیمارهای سلنیوم اثر مثبتی روی وزن آماس (WT) و محتوی نسبی آب برگ (RWC) داشت. آب بافت‌ها در دو تیمار ٤ppm بالک سلنیوم و نانوذره سلنیوم بالاترین جذب و اشباع آب (WT) (۰/۷۲ درصد) و در تیمار ۸ppm نانوذره سلنیوم بالاترین محتوی نسبی آب برگ (RWC) (۷/٦٤ درصد) را داشتند. در همین راستا Zibaei و همکاران (2012) در تجربه‌ای که روی گیاه گلرنگ داشتند، بیان نمودند که افزایش شوری به میزان ۲٤ دسی‌زیمنس بر متر، باعث افزایش معنی‌دار ۱۱ درصدی محتوای آب نسبی بافت‌ها نسبت به شاهد گردید. در حالی که Beiramnvand و همکاران (2021) با بررسی تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه سلوی زینتی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند که افزایش سطوح رژیم آبیاری، کاهش محتوای نسبی آب برگ را به‌دنبال داشت. به‌نظر می‌رسد که افزایش وزن آماس و محتوی نسبی آب برگ به خاطر سازوکارهای کاهش‌دهنده تلفات آب (بسته شدن روزنه‌ها) و یا به‌واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش ریشه‌ها باشد. احتمالاً گیاه از طریق تجمع مواد محلول آلی اسمزی پرولین توانسته است پتانسیل اسمزی منفی‌تری را در برگ ایجاد کند و در نتیجه این عمل آب بیشتری را از محیط ریشه جذب کند و در نهایت باعث حفظ آماس سلولی، رقیق‌سازی غلظت سلنیوم و کاهش اثر سمی آن گردد و مقاومت خود را در برابر تنش وارده افزایش دهد. بنا به گزارش پژوهشگران، سلنیوم باعث بهبود روابط آبی گیاهان از طریق جذب فعال آب شده و عملکرد را افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج به‌دست آمده غلظت‌های کم تیمارهای نانوذره و بالک سلنیوم سبب ترغیب و تحریک رشد و غلظت‌های بالا سبب مهار و بازدارندگی رشد شاخص‌های مورد ارزیابی شد. تیمارهای نانو در مقایسه با تیمارهای بالک هم‌طراز خود، برتری داشتند. بسته به گونه گیاهی و میزان غلظت به‌کار رفته نانوذره سلنیوم و سلنات سدیم گیاهان پاسخ‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. در این پژوهش غلظت ٤ppm نانوذره سلنیوم در مقایسه با سایرغلظت‌ها و تیمارها عملکرد بهتری را نشان داد.

منابع

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

2) Abravesh, Z., Iranbakhsh, A., Mirzaie-Nodoushan, H., Ebadi, M. and Z, Oraghi Ardebili. 2024. Investigation of the effects of selenium nanoparticles and sodium selenite on morphologic and micro-morphologic

10) Ghanbari, A.A., Shakiba, M. R., Toorchi, M. and R, Choukan. 2013. Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress. *European Journal of Experimental Biology*, 3(1): 487-492.
11) Handa, N., Kohli, S.K., Sharma, A., Thukral, A.K., Bhardwaj, R. and E.F, Abd_Allah. 2019. Selenium modulates the dynamics of antioxidative defense expression, photosynthetic attributes and secondary metabolites to mitigate chromium toxicity in *Brassica juncea* L. plants. *Environmental* and *Experimental Botany*, 161: 80–192.
12) Heidari, N., Pouryousef, M. and A, Tavakoli. 2015. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research Biology of Iran*, 27(5): 829-839.
13) Homaie, M., Mirzaie-Nodoushan, H., Asadicorom, F., Bakhshi-Khaniki, Gh.R. and M., Calagari. 2014. Evaluation of half-sib progenies and their parents of *Populus euphratica* based on their morphologic and micro-morphologic traits. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21 (4): 768-779.
14) Juhaszne Toth R. and J, Csapo. 2018. The role of selenium in nutrition- A review. *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*, 11(1): 128-144.
15) Khai, H.D., Hiep, P. Duong Tan, N. 2024. Selenium Nanoparticles as a Stimulant in Plant Micropropagation. *Metal Nanoparticles in Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 299-313.
16) Kuznetsov, V.V., Kholodova, V.P. and B.A, Yagodin. 2003. Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. *Doklady Biolological Science*, 390: 266-268.
17) Massoud Sinki, J. 2002. Investigating the physiological aspects of drought and salinity resistance in sorghum, Master Thesis of Agriculture, Islamic Azad University Science and Research Branch,192 P.
18) Merah., O. 2001. Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. *Journal of Agricultural Science. Cambridge*, 137(2): 139-145.
19) Navarro-Alarcon, M. and M.C, Lopez-Martinez. 2000. Essentiality of selenium in the human body: relationship with different characteristics of *Thymus fallax* Fisch. & C.A. Mey. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 31(2): 240-257.
3) Alizadeh, A. 2008. The relationship of water, soil and plants. Eighth edition. Imam Reza University Publications (AS), Mashhad, 71: 484 pages.
4) Atashkar., D. 2023. Effect of drought strees on water relative content of leaf and antioxidant enzymes activity in some hybride Apple rootstocks. *Journal of Reserch in Horticultural Science*, 2(1): 31-44.
5) Babajani, A., Iranbakhsh, A., Oraghi Ardebili, Z. and B, Eslami. 2019a. Differential growth, nutrition, physiology, and gene expression in *Melissa officinalis* mediated by zinc oxide and elemental selenium nanoparticles. *Environmental Science Pollution Research*, 26(24): 24430-24444.
6) Beiramnvand, F., Zahedi, B. and A.H, Rezaei Nejad. 2021. Investigation of the effect of selenium foliar application on morphophysiological and biochemical characteristics of ornamental salvia under irrigation regime. *Plant Process and Function*, 11(47): 323-339.
7) Djanaguiraman, M., Belliraj, N., Bossmann, S.H. and P.V, Prasad. 2018. High-temperature stress alleviation by selenium nanoparticle treatment in grain sorghum. *ACS Omega*, 3(3):2479–2491.
8) El-Saadony ,M.T., Saad, A.M., Najjar, A. A., Alzahrani, S. O., Alkhatib, F. M., Shafi, M. E., Selem, E., Desoky, El-S.M., Fouda, S.EE., El-Tahan, A.M. and M.A.A, Hassan. 2021. The use of biological selenium nanoparticles to suppress *Triticum aestivum* L. crown and root rot diseases induced by *Fusarium* species and improve yield under drought and heat stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8): 4461–4471.
9) Freire, B.M., Lange, C.N., Cavalcanti, Y.T., Monteiro, L.R., Pieretti, J.C., Seabra, A.B. and B.L, Batista. 2024. The dual effect of Selenium nanoparticles in rice seedlings: From increasing antioxidant activity to inducing oxidative stress. *Plant Stress*, 11(4): 1-8.

diseases. *Science of the Total Environment*, 249(1-3): 347-71.
20) Raina. M., Sharma. A., Nazir. M., Kumari. P., Rustagi. A., Hami. A., Bhau. B.S., Zargar. S.M. and D, Kumar. 2021. Exploring the new dimensions of selenium research to understand the underlying mechanism of its uptake, translocation, and accumulation. *Physiology of Plant*,171: 882–895.
21) Neysanian, M., Iranbakhsh, A.R. Ahmadvand, R. Oraghi Ardebili, Z. and M, Ebadi. 2021. The effect of nano selenium on germination of cherry tomato seeds (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme) under irrigation and water stress conditions. *Iranian Journal of Plants & Biotechnology*, 18(1): 59-75.
22) Neysanian, M., Iranbakhsh, A.R., Ahmadvand, R., Oraghi Ardebili, Z. and M, Ebadi. 2023. The effect of nano selenium on germination of cherry tomato seeds (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme) under irrigation and water stress conditions. *Iranian Journal of Plant & Biotechnology*, 18(1): 59-75.
23) Rahmati-Joneidabad, M. and B, Alizadeh-Behbahani. 2020. Identification of chemical compounds, antioxidant potential, and antifungal activity of *Thymus daenensis* essential oil against spoilage fungi causing apple rot. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 17(5): 691-700.
24) Ramezani, Z., Abolhasani Zeraatkar, M., Sarcheshmehpur, M. and M, Fekri. 2023. Investigating the effect of selenium nanoparticles on drought stress tolerance and increasing plant growth sorghum. The 18th Congress of Soil Sciences of Iran.
25) Samynathan, R., Venkidasamy, B., Ramya, K., Muthuramalingam, P., Shin, H., Kumari, P.S., Thangavel, S. and I, Sivanesan. 2023. A Recent Update on the Impact of Nano-Selenium on Plant Growth, Metabolism and Stress Tolerance. *Plants*, 12(4):853.
26) SAS Institute.1989. SAS user's guide: statistics. 5th edition. Cary, NC, SAS Institute Inc., 956p.
27) Sharifi Ashourabadi, E., Mackizadeh Tafti, M., Hasani, J. and M.H, Lebaschy. 2021. Effect of temperature and humidity on seed germination of six different *Thymus* species. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 10 (3): 1-15.
28) Sharifi Ashourabadi, E., Jamzad, Z., Mirza, M., Mackizadeh Tafti, M., Allahverdi Mamaghani, B., Askari, F., Kazemi Saeed, F. and M, Teimouri. 2023. *Thymus* Atlas of Iran, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, 296P.
29) Sotoodehnia-Korani, S., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., Majd, A. and Z, Oraghi Ardebili. 2020. Selenium nanoparticles induced variations in growth, morphology, anatomy, biochemistry, gene expression, and epigenetic DNA methylation in *Capsicum annuum*; an *in vitro* study. *Environmental Pollution*, 265: 114727.
30) Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S.A., Rehman, H.U., Ashraf, I. and M, Sanaullah. 2020. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of the Total Environment*, 721: 137778.
31) Zibaei, S., Rahimi, A. and H, Dashti. 2012. Effect of seed priming on vegetative growth, chlorophyll content, relative water content and dry matter distribution in Goldasht *Carthamus tinctorius* L. cultivar under salinity stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing, Isfahan University of Technology,* 2(5): 47-59.