Research Article

Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research DOI: 10.22092/IJRFPBGR.2024.364278.1452

Vol. 31, No. 2, Page 240-257 (2024)

Investigation of the effects of selenium nanoparticles and sodium selenite on morphologic and micro-morphologic characteristics of *Thymus fallax* Fisch. & C.A. Mey.

Z. Abravesh[1], A. Iranbakhsh[2*] H. Mirzaie-Nodoushan[3], M. Ebadi[4], Z. Oraghi Ardebili [5]

1-Ph.D graduate, Dept. Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

2*-Corresponding author, Prof. Dept. Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran. Email: iranbakhsh@iau.ac.ir

3-Prof. Dept. Biotechnology, Research Institute of Forests and Rangelands, (AREEO), Tehran, I. R. Iran.

4-Assist. Prof. Dept. Biology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, I.R. Iran.

5-Assoc. Prof. Dept. Biology, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, I.R.Iran.

Extended Abstract

Background and objectives:

Thymus fallax from the Thymus genus belongs to the Lamiaceae family. It contains high amounts of thymol and carvacrol. Due to its antiseptic, antibacterial, and antioxidant properties, it has many uses in the pharmaceutical and health industries. The species is mainly distributed in the west, northwest, and Alborz Mountains in northern Iran. For domestication of the Thyme species, utilizing micronutrients such as selenium as a complimentary nutrient may affect the yield increment of the species. Selenium is a rare and non-metal element that has been recently highly noticed due to its antioxidant, antiviral, and anti-cancer properties on humans and increasing the tolerance of plant species to abiotic stresses. Some scientific communities suggest that this element be used as a plant fertilizer. In thyme species, the number and size of stomata and trichomes significantly affect the quality and quantity of essential oils. Therefore, this study aimed to investigate the effects of selenium concentrations in two forms of nanoparticles and bulk (selenite sodium) on morphological and micromorphological characteristics of *Th. fallax*.

Methodology:

The possible effects of three concentrations (2, 4, and 8 ppm) of selenium in bulk (selenite sodium) and nanoparticle forms along with control were studied on morphologic and micro-morphologic characteristics of *Th. fallax* using a completely randomized design with three replications. Seeds of the species were collected from Saheb region, located in Saghez County in Kurdistan province in the western part of Iran, at 1750 m.a.s altitude. The seeds were sown in jiffy pots containing a combination of peat moss and perlite under greenhouse conditions. Then, the seedlings were transplanted in plastic pots until the plantlets were grown to the 4-leaf stage. The plants were sprayed with the treatments six times at two-week intervals. Plants were also irrigated twice a week using Hoagland solution as a required micro and macronutrient source. Three days after the last treatment application, several morphological and micro-morphological traits were recorded on the individual plants. The data was statistically analyzed. The means of treatment were compared using the Duncan multiple range test.

Results:

Results showed significant effects of treatments on many studied traits. Stem length was increased by spraying 4ppm selenium concentrations in bulk and nanoparticle forms by 31% and 16%, respectively. In contrast, the same trait showed a 22% decrease when using eight ppm in the form of nanoparticles. The highest number of stems was obtained at a low concentration of nanoparticles, which had 37% increments compared to the control. The high concentrations of bulk and nanoparticle treatments decreased the stem number by 37% and 12%, respectively. Effects of the treatments on micro-morphological characteristics,

Copyright: © 2024 by the authors. Published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijrfpbgr.areeo.ac.ir//) .This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0),(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

such as the number of trichomes on both upper and lower leaf surfaces, were significant. The 8ppm nanoparticles treatment caused the most trichomes on both the upper (61.7) and lower (33.2) leaf sides, which was 158 and 296% higher than the control.

Conclusion:

Lower concentrations of selenium increased the majority of the morphological traits. In contrast, higher concentrations of selenium decreased plant growth and development. Except for the number of trichomes on the upper and lower sides of the leaves, micro-morphological traits were not affected by higher levels of selenium concentrations. It seems that utilizing low concentrations of selenium could be beneficial as a complementary nutrient for the cultivation of Thyme species.

Keywords: Leaf, Medicinal plants, Root, Stem, Stomata, Trichome, *Thymus fallax*.

بررسی تأثیر نانوذره سلنیوم و سلنات سدیم بر ویژگی‌های مورفولوژیک و ریزمورفولوژیک آویشن فالاکس *Thymus fallax* Fisch.&C.A.Mey.

زهرا آبروش[۱]، علیرضا ایرانبخش[۲*]، حسین میرزایی ندوشن[۳]، مصطفی عبادی[۴] و زهرا اوراقی اردبیلی[۵]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

۳- استاد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۴- استادیار، گروه زیست‌شناسی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان

۵- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار

چکیده

سابقه و هدف: آویشن فالاکس (*Thymus fallax*) از جنس *Thymus* و خانواده نعناعیان، حاوی مقادیر بالایی تیمول و کارواکرول است. این گونه به‌دلیل داشتن خواص ضدعفونی‌کنندگی، ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی کاربردهای فراوانی در صنایع دارویی و بهداشتی دارد. گستره پراکندگی گونه آویشن فالاکس در ایران بیشتر در استان‌های شمالی، غرب و رشته کوه البرز است. در فرایند اهلی‌سازی گونه‌های آویشن استفاده از برخی از عناصر کم‌مصرف، مانند سلنیوم، به‌عنوان مکمل کود شیمیایی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش عملکرد این گونه‌ها داشته باشد. سلنیوم عنصری غیر فلزی و کمیاب است که به‌دلیل داشتن خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد ویروسی و ضد سرطانی در انسان و افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی، به‌تازه‌گی مورد توجه قرار گرفته است. این عنصر را امروزه در برخی محافل علمی به‌عنوان کود برای افزایش تولید در گیاهان زراعی توصیه کرده‌اند. در گیاهانی مانند آویشن، تعداد و ابعاد روزنه و نیز تعداد ویژگی‌های کرک‌های پوششی اثر تعیین‌کننده‌ای بر میزان مواد مؤثره و اسانس گیاه دارند. از این‌رو در این تحقیق، به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم به دو صورت نانو ذرات و بالک (سلنات سدیم) بر ویژگی‌های مورفولوژیک و ریزمورفولوژیک گیاه آویشن فالاکس در شرایط گلخانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها: اثرهای احتمالی سه غلظت سلنیوم (۲، ۴ و ۸ پی‌پی‌ام) به دو فرم بالک و نانوذره به‌همراه شاهد، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. بذر آویشن فالاکس از منطقه صاحب واقع در شهرستان سقز استان کردستان در غرب ایران، با ارتفاع ۱۷۵۰ متری از سطح دریا جمع‌آوری شد، بذرها بوجاری شده و در سینی کاشت حاوی ترکیب پیت‌ماس و پرلیت در شرایط گلخانه کشت شدند. سپس گیاهچه‌های رشد کرده به گلدان منتقل گردیدند و زمانی که گیاهچه‌ها به مرحله چهار برگی رسیدند هر دو هفته یکبار، در مجموع شش بار توسط تیمارهای مختلف سلنیوم بر روی شاخ و برگ گیاهان اسپری شدند. همچنین به‌منظور تأمین عناصر مغذی و ریزمغذی مورد نیاز گیاهان، هر دو هفته یکبار گلدان‌ها با محلول هوگلند آبیاری شدند. سه روز پس از آخرین تیماردهی، ویژگی‌های مورفولوژیک و ریزمورفولوژیک گیاهان اندازه‌گیری شد. داده‌ها تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از روش دانکن انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مختلف سلنیوم بر روی بیشتر صفات مورفولوژیک معنی‌دار بود. استفاده از فرم‌های بالک و نانوذره با غلظت ۴پی‌پی‌ام، طول ساقه را به‌ترتیب ۳۱ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند، در مقابل، با افزایش غلظت نانوذره سلنیوم تا ۸ پی‌پی‌ام موجب کاهش

۲۲ درصدی طول ساقه نسبت به شاهد شد. بیشترین تعداد ساقه در غلظت پایین نانوذره (۲ پی‌پی‌ام) حاصل شد که نسبت به شاهد افزایش ۳۷ درصدی داشت. ولی غلظت بالای فرم‌های بالک و نانوذره سلنیوم اثر منفی بر این صفت گذاشتند و به‌ترتیب موجب کاهش ۳۷ و ۱۲ درصدی را در مقایسه با شاهد شدند. اثر سلنیوم بر ویژگی‌های ریزمورفولوژیک مانند تعداد کرک سطوح فوقانی و تحتانی برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. غلظت ۸ پی‌پی‌ام نانوذره بیشترین تعداد کرک در هر دو سطح فوقانی (۶۱/۷۰) و تحتانی (۳۳/۲۰) برگ را سبب گردید که به ترتیب ۱۵۸ و ۲۹۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشتند.

نتیجه‌گیری : غلظت‌های پائین سلنیوم موجب افزایش رشد اندام هوایی این گونه از آویشن شد، ولی غلظت‌های بالا در بیشتر موارد سبب توقف یا اختلال در رشد رویشی این گیاه گردید. به‌جز تعداد کرک‌های سطوح فوقانی و تحتانی برگ‌ها، سایر ویژگی‌های ریزمورفولوژیک کمتر تحت تأثیر منفی غلظت‌های بالای سلنیوم قرار گرفتند. به‌نظر می‌رسد استفاده از غلظت‌های پائین سلنیوم به‌عنوان کود مکمل در کشت و اهلی‌سازی این گونه آویشن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش رشد و تولید آن داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: برگ، گیاهان دارویی، روزنه، ریشه، ساقه، کرک، آویشن فالاکس

مقدمه و کلیات

گیاه آویشن از جنس *Thymus* و خانواده نعناعیان، یکی از مهمترین گیاهان دارویی ایران است که به‌دلیل داشتن مقادیر بالای تیمول و کارواکرول و خواص ضدعفونی‌کنندگی، ضدباکتریایی، ضدنفخ و آنتی‌اکسیدانی، کاربردهای فراوانی در صنایع دارویی و بهداشتی دارد. دامنه جغرافیایی آن در منطقه مدیترانه و غرب آسیاست. گستره پراکندگی آویشن در ایران در مناطق شمال، شمال‌غرب، غرب، مرکز و جنوب ایران و به‌طور عمده دامنه‌های زاگرس است. امروزه به‌دلیل کاربردهای فراوان دارویی در مناطق مختلف جهان، ازجمله ایران کشت و تولید می‌شود (Makkizadeh & Naghdi Badi، 2003؛ Ghahremaninejad & Mousavi، 2021). گونه‌های این جنس به علت دگرگشنی، بسیار متنوعند. براساس فلور ایران آویشن ۱۸ گونه پایا و معطر دارد که چهار گونه آن انحصاری ایران است که در ارتفاعات البرز و سایر ارتفاعات می‌رویند. از نظر پراکندگی بیشترین گسترش را گونه‌های *Th. pubescens*، *Th. daenensis* و *Th. Fallax* دارند (Jamzad, 2012). گونه فالاکس گیاهی خشبی، راست، با ساقه‌های منشعب و پوشیده از کرک‌های کوتاه، برگ‌ها متقابل، سرنیزه‌ای- بیضوی و پوشیده از کرک‌های کوتاه یا تقریباً بدون کرک و دارای غدد ترشحی چسبیده قرمز تیره و رگبرگ جانبی برجسته می‌باشد (Jamzad, 2009).

سلنیوم یک عنصر غیر فلزی کمیاب است که خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد ویروسی و ضد سرطانی دارد. برای انسان در حد میکروگرم مورد نیاز روزانه است، در حالی که برای گیاهان عنصری غیر ضروری محسوب می‌شود. تأثیر سلنیوم بر متابولیسم سلول‌های گونه‌های مختلف گیاهی مدتی است که مورد توجه محققان قرار گرفته است (Hasanuzzaman *et al.*, 2010). از سویی، این عنصر در غلظت‌های پائین، ضمن سازگار کردن گیاه با عوامل نامناسب محیطی (Handa *et al.*, 2019) سبب افزایش سرعت رشد گیاه نیز می‌شود (Sotoodehnia-Korani *et al.*,2020). گزارش‌هایی هم وجود دارد که حکایت از مضر بودن غلظت‌های بالای این عنصر در گیاهان دارد (Babajani *et al.*,2019a, b). البته اثرهای بالک و نانوذرات این عنصر متفاوت گزارش شده است (Hu *et al.*, 2018). از سویی، سلنیوم نقش مؤثری در حفظ سازوکار جذب آب (Kuznetsov *et al.*, 2003) و حفظ

تعادل آب داخل سلول (Ahmad *et al.*, 2016) و کارآیی مصرف آب (Wang *et al.*, 2011) دارد که در مجموع موجب تحمل تنش کم آبی در گیاه می‌شود. در مطالعه دیگری (Shekari *et al.*, 2014) که اثر پنج سطح سلنیوم را بر برخی از صفات مورفولوژیک گیاه فلفل بررسی کرده بود، برخی از سطوح این عنصر سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ (RWC) شده بود و برخی از سطوح دیگر این عنصر سبب افزایش شاخص پایداری غشاء سلولی و برخی از سطوح سبب افزایش معنی‌دار سطح برگ این گیاه شده بودند. غلظت‌های کم این عنصر سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه نیز می‌شود (Sairam and Srivastava, 2002). مطالعات دیگری که توسط Khavarinejad و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد نشان داد که استفاده از این عنصر سبب افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل و کارتنوئیدها در گوجه فرنگی گردید که احتمالاً به‌دلیل افزایش جذب منیزیم در حضور سلنیوم بوده است. این نوع اثرها توسط Kong و همکاران (۲۰۰۵) نیز روی گیاه ترشک گزارش گردید. البته همیشه استفاده از سلنیوم سبب افزایش شاخص‌های رشد گیاه نمی‌شود. به‌عنوان نمونه، Safaryazdi و همکاران (۲۰۱۲) غلظت‌های بالای سلنیوم را بر برخی از شاخص‌های رشد گیاه منفی ارزیابی کردند و تنها غلظت پائین این عنصر (دو میلی‌گرم در لیتر) وزن تر و خشک و میزان کلروفیل گیاه اسفناج را افزایش داد. گزارش دیگری که توسط Neysanian و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد، نشان داد که به‌کارگیری ۴ پی‌پی‌ام نانوسلنیوم سبب افزایش محتوای کلروفیل a در شرایط تنش آبی گردید. سلنیوم در زندگی بسیاری از موجودات ازجمله انسان نقش مؤثری دارد. اگرچه محققان هنوز در مورد مثبت یا منفی بودن اثرهای این عنصر و یا دز مفید آن در چرخه زندگی گیاهان اتفاق‌نظر ندارند، ولی برخی از آنها استفاده از غلظت‌های پایین این عنصر را به‌عنوان یک کود در افزایش بهره‌وری گیاهان توصیه کرده‌اند (Nazerieh *et al.*, 2018; Babajani *et al.*, 2019b). اعتقاد برخی از محققان بر این است که استفاده از نانوذرات سلنیوم، نسبت به سایر فرم‌های آن مؤثرتر است (Babajani *et al.*, 2019a; Rajaee Behbahani *et al.*, 2020; Zahedi *et al.*, 2019).

تاکنون در مورد اثر سلنیوم بر برخی از ویژگی‌های ریزمورفولوژیک مانند تعداد و ابعاد روزنه در سطح فوقانی و تحتانی گیاهان و نیز تعداد پرزهای پوششی فوقانی و تحتانی برگ این گیاه گزارشی مشاهده نشده است. در گیاهانی مانند آویشن تعداد و ابعاد روزنه و نیز تعداد ویژگی‌های کرک‌های پوششی اثر تعیین‌کننده‌ای بر میزان مواد مؤثره گیاه دارند. ازاین‌رو، این تحقیق ضمن بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم به‌صورت نانو ذرات و بالک (سلنات سدیم) بر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه آویشن فالاکس، اثر این عنصر را بر ویژگی‌های ریزمورفولوژیک نیز مورد بررسی قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در طول سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ در گلخانه و آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور واقع در تهران انجام شد. نانوذره سلنیوم با قطر کمتر از ۵۰ نانومتر (۱۰-۴۵)، خلوص بالای ۹۹/۹٪، با ریخت‌شناسی تقریباً کروی و تراکم ۳/۸۹cm^3 از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان (IRANIAn Nanomaterials Pioneers) مشهد استان خراسان رضوی خریداری شد. بذرها از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان تهیه شدند. منطقه جمع‌آوری بذرها روستای صاحب بین سقز و سنندج، ارتفاع ۱۷۴۵ تا ۱۷۵۵ متری از سطح دریا بود. ابتدا بذرهای بوجاری شدند. برای کشت گلدانی بذر، ترکیبی از پیت‌ماس و پرلیت به نسبت ۵ به ۱ فراهم شد. بذرها در سینی کشت حاوی این بستر کاشته شدند. گیاهچه‌های حاصل به گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد ۱۲ در ۱۲ سانتی‌متر منتقل شدند (هر گلدان یک گیاهچه). با سازگار شدن گیاهان به شرایط گلدانی و گلخانه‌ای و از زمان چهار برگی گیاهان،

تیمارهای شش‌گانه سلنیوم و شاهد (بدون اسپری) هر دو هفته یکبار و در شش مرحله به‌صورت اسپری بر روی اندام هوایی گیاهان اعمال شد. تیمارهای سلنیومی شامل محلول‌های ۲، ۴ و ۸ پی‌پی‌ام از سلنات سدیم (فرم بالک سلنیوم) و نانوذره سلنیوم بودند. آبیاری در حد ضرورت انجام شد و هفته‌ای دوبار مقدار ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول هوگلند در هر گلدان، برای تقویت گیاهان استفاده شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیک

سه روز پس از آخرین اعمال تیمارهای موصوف، از صفات مورفولوژیک طول ساقه، طول ریشه، تعداد ساقه، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، طول برگ، طول دمبرگ، پهنای برگ، فاصله میانگره، تعداد ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه یادداشت‌برداری شد. توزین اندام‌های گیاهی تر و خشک توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم و اندازه‌گیری‌های طولی با استفاده از خط‌کش مدرج میلی‌متری انجام گردید (Homaie *et al*, 2014).

اندازه‌گیری ویژگی‌های ریزمورفولوژیک برگ

صفات روزنه و کرک نیز سه روز پس از آخرین اعمال تیمارهای سلنیوم بر روی برگ‌های هم‌سن از گیاهان مورد نظر در ساعت مشخصی از روز، اندازه‌گیری شدند. در اندازه‌گیری ابعاد و شمارش روزنه‌ها، ابتدا به‌وسیله قلم‌موی ظریف، لایه نازکی از لاک شفاف بر سطوح بالایی و پایینی برگ‌ها قرار داده شد. بعد از اینکه لاک‌ها کاملاً خشک شدند، به کمک چسب نواری شفاف از سطوح برگ‌ها برداشته شدند. بدیهی است که شکل و تعداد روزنه‌ها، کرک‌های پوششی و کرک ترشحی بر روی لاک شفاف منعکس شده و در زیر میکرسکوپ نوری (Olampyus BH2) قابل مشاهده، اندازه‌گیری و شمارش بودند. اندازه‌گیری‌ها با بزرگ‌نمایی ۴۰ و در سه میدان دید برای هر تکرار بر هر دو سطح فوقانی و تحتانی با استفاده از لام مدرج میکرومتری انجام شد (Homaie *et al*, 2014).

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

از آنجایی که همه اندازه‌گیری‌های صفات مورفولوژیک در سه تکرار انجام شده بود و یا در مورد ویژگی‌های ریزمورفولوژیک هم شمارش‌ها و اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار سه نمونه‌ای انجام شده بود، داده‌های حاصل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی (CRD) تجزیه واریانس شدند و سطح معنی‌دار بودن تفاوت تیمارهای سلنیومی بر روی این صفات تعیین گردید. با استفاده از روش آزمون دانکن میانگین صفات مورد نظر دسته‌بندی شد. همبستگی بین کلیه ترکیب‌های دوگانه صفات نیز محاسبه و سطح معنی‌دار بودن آنها نیز تعیین گردید. کلیه تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد (SAS institute, 1989) و نمودارها نیز در محیط اکسل تهیه شدند.

نتایج

اثر سطوح سلنیوم بر ویژگی‌های مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک در جدول ۱ ارائه شده است. براساس این نتایج، تیمارهای اعمال شده اثرهای متفاوتی بر ویژگی‌های مورفولوژیک داشتند، به‌طوری‌که صفات پهنای برگ، طول دمبرگ، وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد و صفات طول ساقه، تعداد ساقه، تعداد ریشه، فاصله میانگره‌ها، تعداد برگ‌های زرد، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند. سایر صفات ازجمله طول ریشه، تعداد شاخه‌های جانبی و طول برگ تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفتند.

نتیجه دسته‌بندی میانگین‌های صفات مورفولوژیک براساس روش دانکن هم در جدول ۲ ارائه شده است. براساس این نتایج میانگین‌های طول ساقه به سه دسته

متفاوت تقسیم شد که در آن برخی از تیمارها همپوشانی داشتند. بااین‌حال، تیمار ۴ پی‌پی‌ام سلنات سدیم (فرم بالک) بیشترین طول ساقه (۲۹/۸۳cm) و افزایش ۳۱ درصدی و ۸ پی‌پی‌ام نانوذره سلنیوم کمترین طول ساقه (۱۸/۵۰cm) و کاهش ۲۲ درصدی را نسبت به شاهد سبب شدند (شکل ۱). از لحاظ تعداد ساقه، تیمارها را به چهار دسته کاملاً مجزا تقسیم کرد که نشان‌دهنده بیشترین تأثیر تیمار ۲ پی‌پی‌ام نانوذره سلنیوم بر افزایش تعداد ساقه‌ها (۲۲ عدد) که برابر افزایش ۳۷/۵ درصد نسبت به شاهد بود. در حالی که تیمار ۸ پی‌پی‌ام سلنات سدیم با کمترین تعداد ساقه (۱۱/۶۷ عدد)، کاهشی برابر ۳۷ درصد را نسبت به شاهد داشت (شکل ۱). بیشترین و کمترین دامنه تغییرات در تعداد ریشه به‌ترتیب به تیمار ۲ پی‌پی‌ام سلنات سدیم (۴/۶۷ عدد) و ۴ پی‌پی‌ام سلنات سدیم (۱/۶۶ عدد) تعلق داشت که به‌ترتیب افزایش و کاهشی برابر ۲۷ و ۱۲۱ درصدی را نسبت به شاهد داشتند. وزن تر و خشک ریشه هم بیشترین تأثیر را از تیمار ۸ پی‌پی‌ام سلنات سدیم گرفتند (به ترتیب ۵/۳۲ و ۱/۱۴ گرم در بوته) که به‌ترتیب افزایش ۷۷ و ۲۳۵ درصدی را نسبت به شاهد داشتند. تفاوت اثر تیمارها بر وزن تر و خشک ریشه در شکل ۱ نمایش داده شده است. وزن تر و خشک ساقه هم به‌ترتیب به دو و سه دسته تقسیم شدند (شکل ۱)، به‌نحوی که تیمار ۸ پی‌پی‌ام سلنات سدیم به‌ترتیب با افزایش ۴۰ درصدی و ۳۷ درصدی بیشترین وزن تر و خشک ساقه را (۸/۰۲ و ۲/۷۴ گرم در بوته) نسبت به شاهد تولید کردند. فاصله میانگره‌ها نیز تحت تأثیر اعمال تیمارهای سلنیوم قرار گرفت و بیشترین فاصله میانگره‌ها به تیمار سلنات سدیم و نانوذره سلنیوم ۲ پی‌پی‌ام تعلق داشت (۱/۱۸ و ۱/۱۹ سانتی‌متر) که به‌ترتیب افزایشی برابر ۱۷ و ۱۸ درصدی را نسبت به شاهد سبب شدند. البته بیشترین برگ زرد هم در اثر تیمار ۸ پی‌پی‌ام سلنات سدیم و نانوذره سلنیوم حاصل شد (۲۳/۲۲ و ۲۱ عدد) که در مقایسه با شاهد، افزایش ۳۳۵ و ۲۹۴ درصدی را داشتند. بیشترین پهنای برگ با افزایش ۴۱ درصدی (۰/۷۲ سانتی‌متر) و نیز طول دمبرگ با افزایش ۲۹ درصدی (۰/۵۳ سانتی‌متر) در اثر ۸ پی‌پی‌ام سلنات سدیم به‌دست آمد (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر دزهای مختلف سلنیوم در فرم‌های بالک و نانوذرات بر روی صفات مورفولوژیک در آویشن فالاکس

Table 1. Analysis of variance of the effects of selenium doses in bulk and nanoparticle forms, on morphological traits of *Thymus fallax*

Traits	MS Treatment DFt=6	MS Error DFe= 14	CV%
Stem length	44.4**	10.7	13.21
Root length	14.2	19.3	5.62
Number of stems	33.7**	1.62	19.00
No. of Lateral branch	279.1	288.9	4.82
No. of roots	2.9**	0.33	38.49
Leaf length	0.02	0.01	9.20
Leaf width	0.03*	0.01	14.97
Petiole length	0.02*	0.005	18.64
Internode distance	0.11**	0.0001	1.160
Yellow leaves	128.8**	3.1	11.55
Aerial fresh weight	3.73*	1.37	20.51
Aerial dry weight	0.64**	0.15	20.48
Root fresh weight	5.14**	0.84	35.01
Root dry weight	0.31**	0.06	43.72

***** و ******: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد . **,** *= Significant at 1 and 5% probability levels, respectively

جدول ۲- میانگین صفات مورفولوژیک حاصل از بررسی اثر دزهای مختلف سلنیوم در فرم‌های بالک و نانوذره در آویشن فالاکس

Table 2. The effect of selenium doses in bulk and nanoparticles forms on morphological traits of *Thymus fallax*

Treatments	Stem length cm	Root length cm	Number of stems per plant	Number of lateral branch	Number of roots per plant	Leaf length cm	Leaf width cm
Control	22.73bc	25.50a	16.00b	53.00a	3.67ab	1.00a	0.51bc
Bulk Se 2ppm	22.17bc	22.17a	16.00b	45.33a	4.67a	0.89a	0.53bc
Nano Se 2ppm	27.87ab	23.50a	22.00a	54.00a	2.67cd	0.99a	0.44c
Bulk Se 4ppm	29.83a	21.17a	12.67cd	26.33a	1.66d	0.92a	0.49bc
Nano Se 4ppm	26.43ab	26.33a	16.33b	50.33a	2.33cd	0.91a	0.50bc
Bulk Se 8ppm	25.50ab	27.00a	11.67d	39.00a	2.67bcd	1.12a	0.72a
Nano Se 8ppm	18.50 c	25.00a	14.33bc	43.67a	3.33bc	1.01a	0.63ab

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

The means of data in each column with the same letter are not significantly different based on Duncan's test method.

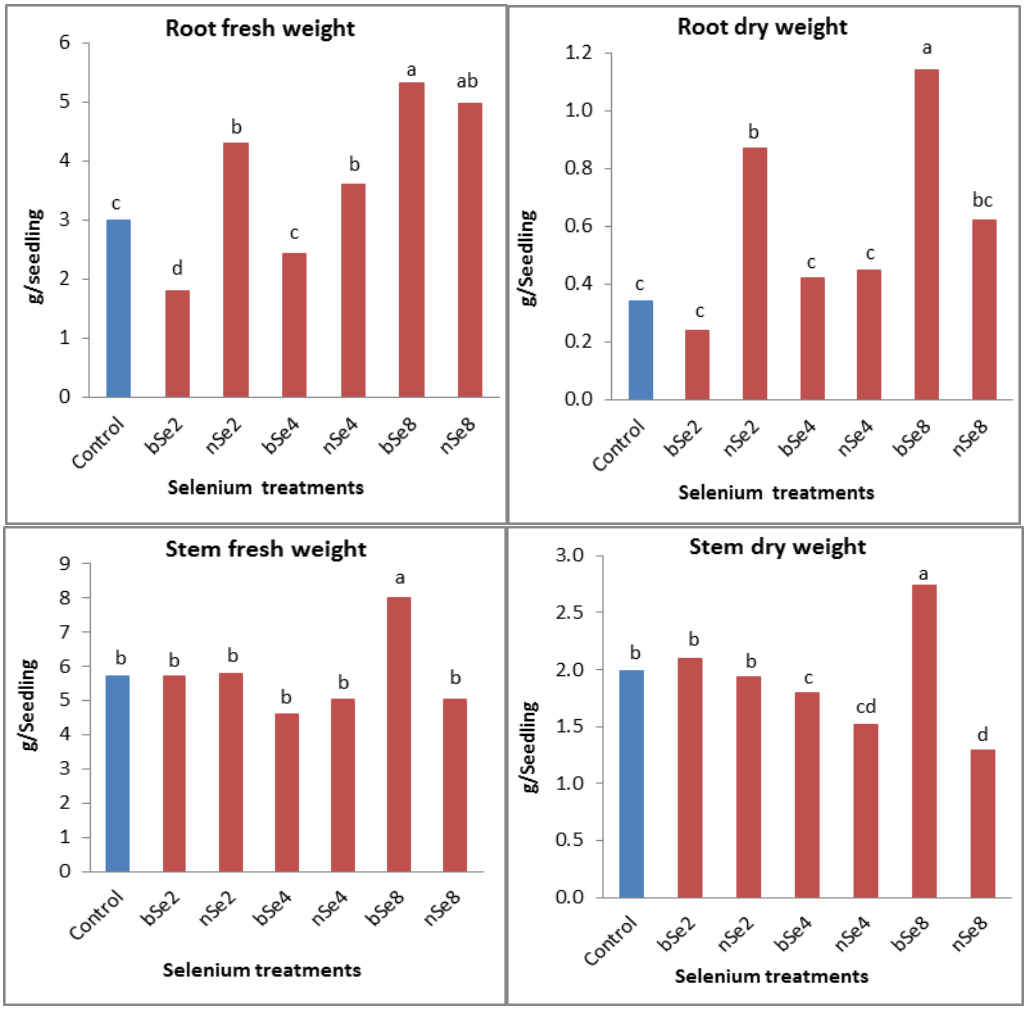
Table 2. continued

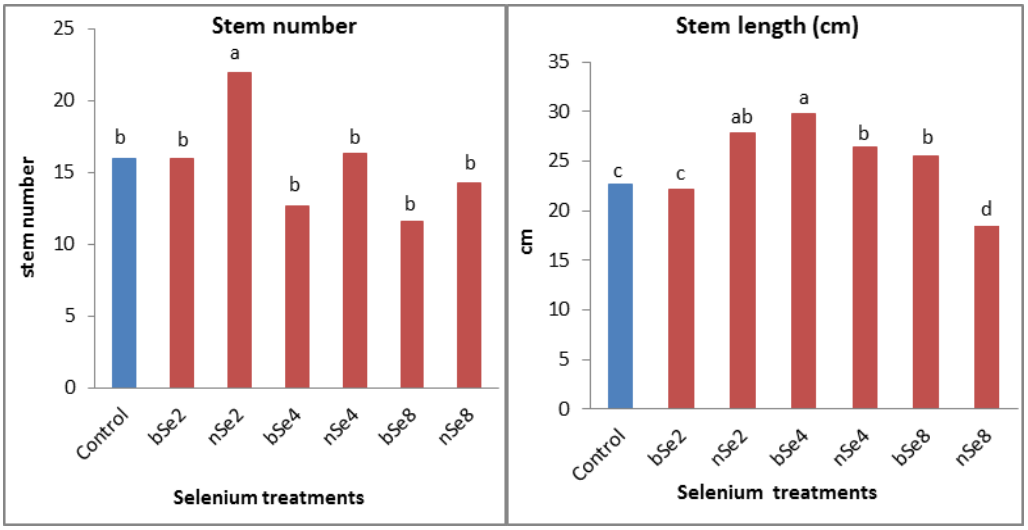
ادامه جدول ۲-

Treatments	Petiole length cm	Internode distance cm	Number of yellow leaf	Shoot fresh weight g/plant	Shoot dry weight g/ plant	Root fresh weight g/ plant	Root dry weight g/ plant
Control	0.41abc	1.01b	5.33e	5.72b	1.99bc	3.00bcd	0.34c
Bulk Se 2ppm	0.32bc	1.18a	19.89b	5.70b	2.10ab	1.80d	0.24c
Nano Se 2ppm	0.37bc	1.19a	15.55c	5.78b	1.94bc	4.3ab	0.87ab
Bulk Se 4ppm	0.46ab	1.02c	9.44d	4.59b	1.80bc	2.44cd	0.42bc
Nano Se 4ppm	0.31c	1.04b	12.55c	5.05b	1.52bc	3.61abc	0.45bc
Bulk Se 8ppm	0.53a	0.65e	23.22a	8.02a	2.74a	5.32a	1.14a
Nano Se 8ppm	0.33bc	0.84d	21.00ab	5.04b	1.29c	4.98bc	0.62bc

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

The means of data in each column with the same letter are not significantly different based on Duncan's test method.



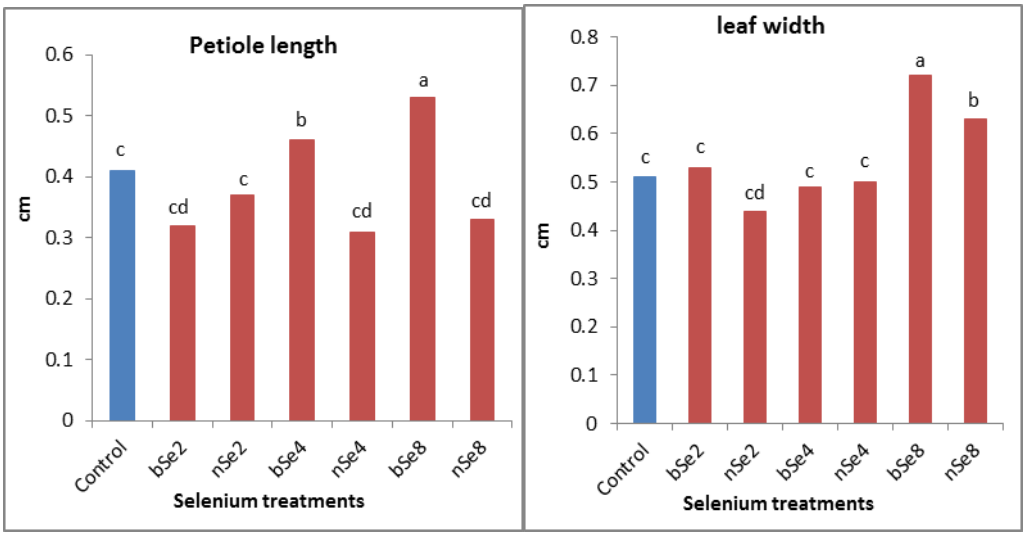


شکل ۱- اثر دزهای مختلف سلنیوم در فرم‌های بالک و نانوذره بر میانگین صفات وزن تر و خشک ریشه، وزن ساقه، تعداد ساقه و طول ساقه در آویشن فالاکس (**bse** و **nse** به ترتیب فرم‌های بالک و نانوذره سلنیوم هستند)

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

Figure 1. The effect of selenium doses in bulk and nanoparticles forms on root and stem dry and fresh weight, stem number and stem length of *Thymus fallax* bse= bulk selenium dose, nse= nanoparticles sodium dose

The means of data in each column with the same letter are not significantly different based on Duncan's test method.



شکل ۲- اثر دزهای مختلف سلنیوم در فرم‌های بالک و نانوذره بر میانگین عرض برگ و طول دمبرگ در آویشن فالاکس

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

Figure 2. The effect of selenium doses in bulk and nanoparticles forms on leaf width and petiole length of *Thymus fallax*. bse= bulk selenium dose, nse= nanoparticles sodium dose

The means of data in each column with the same letter are not significantly different based on Duncan's test method.

اثرهای سلنیوم بر ویژگی‌های ریزمورفولوژیک برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های ریزمورفولوژیک (جدول ۳) نشان داد که اثر تیمارهای سلنیومی بر تعداد زیادی از صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. در ضمن تیمارهای سلنیومی بر ویژگی‌های کرک‌های سطوح فوقانی و تحتانی برگ‌ها بیشترین تأثیر را داشت. به‌طوری‌که در اندازه کرک‌های سطح فوقانی برگ‌ها، تیمارهای سلنیومی به چهار دسته تقسیم شدند (جدول ۴). دامنه این صفت بین ۱/۸۲ میکرومتر در تیمار ۴ پی‌پی‌ام سلنات سدیم و ۳/۳۰ میکرومتر در تیمار ۲ پی‌پی‌ام نانوذره سلنیوم متغیر بود که اولی کاهش ۵۴ درصدی و دومی افزایش ۱۸ درصدی نسبت به شاهد داشت. البته دامنه تغییرات در اندازه کرک‌های تحتانی کمتر بود و بین ۱/۹۱ میکرومتر در تیمار ۸ پی‌پی‌ام سلنات سدیم تا ۳/۰۸ میکرومتر در تیمار ۲ پی‌پی‌ام نانوذره سلنیوم متغیر بود که در مقایسه با شاهد، اولی کاهش ۱۹ درصدی و دومی افزایش ۳۶ درصدی داشت (شکل ۳). تیمار ۸ پی‌پی‌ام نانوذره سلنیوم بیشترین تأثیر را در میانگین تعداد کرک‌های سطوح فوقانی (۶۱/۷ عدد) با افزایش ۱۵۹ درصدی و تحتانی (۳۳/۲ عدد) با افزایش ۹۷ درصدی در مقایسه با شاهد گذاشت. در حالی که کمترین اثر تیمار سلنیوم در میانگین کرک‌های سطح فوقانی با کاهش ۵۵ درصدی از تیمار ۲ پی‌پی‌ام نانوذره (۱۵/۴۳ عدد) و در کرک‌های سطح تحتانی با کاهش ۴۳ درصدی از تیمار ۲ پی‌پی‌ام سلنات سدیم در مقایسه با شاهد (۵/۸۳ عدد) حاصل شد. تیمار ۸ پی‌پی‌ام نانو ذره سلنیوم بیشترین تأثیر را بر تعداد کرک ترشحی در سطح تحتانی با افزایش ۳۷/۵ درصدی نسبت به شاهد داشت. دامنه این صفت بین ۳/۳۴ و ۵/۵ عدد متغیر بود.

جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های حاصل از بررسی اثر دزهای مختلف سلنیوم در فرم‌های بالک و نانوذره سلنیوم بر روی ویژگی‌های ریزمورفولوژیک در آویشن فالاکس

Table 3. Analysis of variance of the effect of seven selenium doses in bulk and nanoparticle forms, on micromorphological traits of *Thymus fallax*

Traits	MS Treatment Dft=6	MS Error Dfe=14	CV%
Length of upper stomata	9.56**	1.80	11.63
Width of upper stomata	1.99	6.61	15.44
Length of lower stomata	19.02**	2.75	17.2
Width of lower stomata	14.14**	1.77	15.25
Number of upper stomata	24.87	55.43	23.87
Number of lower stomata	28.43	136.57	27.08
Percentage of upper stomata	6.37	8.19	23.29
Percentage of lower stomata	22.65	13.8	29.01
Size of upper trichome	0.79**	0.10	12.83
Size of lower trichome	0.54**	0.10	13.42
Number of upper trichome	744.30**	7.18	9.49
Number of lower trichome	315.34**	22.66	31.24
No. upper secretory trichome	0.29	0.29	17.06
No. lower secretory trichome	2.43**	0.42	15.41

**, *= Significant at 1 and 5% probability levels, respectively. * و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- میانگین‌های صفات ریزمورفولوژیک حاصل از بررسی اثر دزهای مختلف سلنیوم در فرم‌های بالک و نانوذره سلنیوم در آویشن فالاکس

Table 4. Effects of selenium doses in bulk and nanoparticles forms on micromorphological traits of *Thymus fallax*

Treatments	Length of upper Stomata µm	Width of upper stomata µm	Length of lower stomata µm	Width of lower stomata µm	No. of upper stomata	No. of lower stomata	Percentage of upper stomata
Control	24.11ab	17.22a	25.62a	19.38ab	29.00a	44.33a	12.97a
Bulk Se 2ppm	23.38bc	16.13a	23.64ab	16.82cd	31.00a	44.33a	11.86a
Nano Se 2ppm	24.60ab	17.42a	25.27a	20.20a	27.00a	42.33a	13.59a
Bulk Se 4ppm	21.36c	15.47a	21.02bc	15.27de	34.00a	49.00a	10.49a
Nano Se 4ppm	21.13c	15.98a	22.76ab	17.13bcd	33.67a	41.00a	13.59a
Bulk Se 8ppm	26.02a	17.62a	24.35a	18.22abc	29.33a	41.00a	10.49a
Nano Se 8ppm	22.36bc	16.71a	18.51c	14.09e	34.33a	40.00a	11.70a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

The means in each column with the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple-range test.

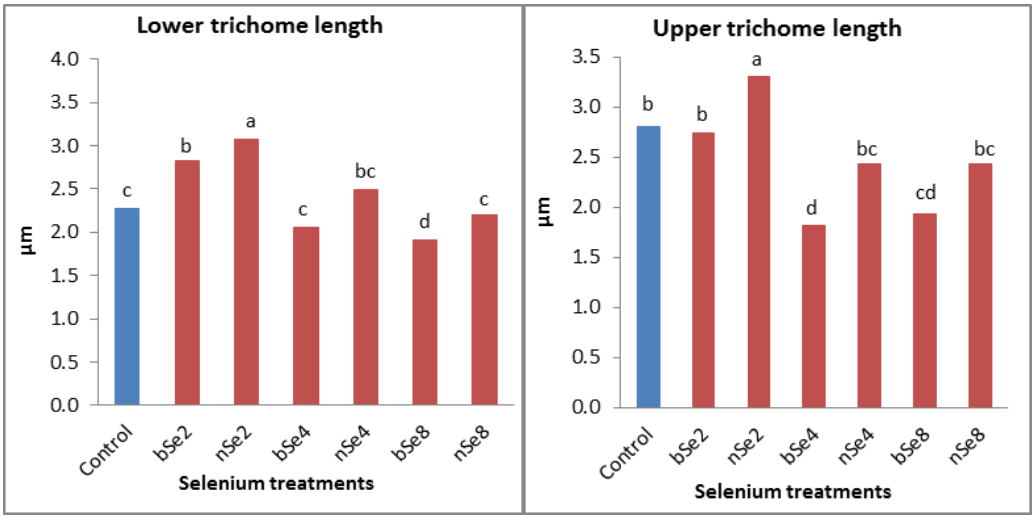
Ccontinue.Table 4

ادامه جدول ۴-

Treatments	Percentage of lower stomata	Size of upper trichome µm	Size of lower trichome µm	No. of upper Trichome	lower No. of Trichome	No. upper Secretory trichome	No. lower secretory trichome
Control	15.72a	2.80ab	2.27bc	23.85c	8.37bc	3.24a	4.00b
Bulk Se 2ppm	12.71ab	2.74ab	2.82ab	18.04de	5.83c	3.06a	5.41a
Nano Se 2ppm	15.91a	3.30a	3.08a	15.43e	8.80bc	2.92a	3.76b
Bulk Se 4ppm	10.55ab	1.82d	2.05c	20.80cd	9.31bc	3.67a	4.00b
Nano Se 4ppm	12.46ab	2.43bc	2.49bc	25.35c	16.14b	3.20a	3.34b
Bulk Se 8ppm	13.99ab	1.94cd	1.91c	32.46b	24.97a	2.68a	3.34b
Nano Se 8ppm	8.27b	2.43bc	2.20c	61.70a	33.20a	3.24a	5.50a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

The means of data in each column with the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test.



شکل ۳- اثر دزهای مختلف سلنیوم در فرم‌های بالک و نانوذره بر اندازه کرک فوقانی و تحتانی برگ در آویشن فالاکس

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

Figure 3. Effects of selenium doses in bulk and nanoparticle forms on upper and lower trichome size on leaves of *Thymus fallax*. bse= bulk selenium dose, nse= nanoparticles sodium dose

The means of data in each column with the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test.

همبستگی بین صفات

همبستگی بین صفات مورفولوژیک

نتایج همبستگی‌های دوگانه پیرسون بین صفات مورفولوژیک در جدول ۵ ارائه شده‌اند. براساس این نتایج صفت طول ریشه با تعداد شاخه جانبی و طول برگ به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. تعداد ساقه اصلی با تعداد شاخه جانبی و فاصله میانگره در سطح یک درصد همبستگی مثبت و معنی دار داشت و با عرض برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار و همبستگی منفی نشان دادند. طول برگ با عرض برگ، طول دمبرگ، طول ریشه و وزن تر ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با فاصله میانگره‌ها همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح یک درصد داشت.

وزن تر ریشه علاوه بر طول برگ با فاصله بین میانگره‌ها، تعداد برگ زرد، وزن تر و خشک ساقه و وزن خشک ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد نشان داد. همبستگی بین وزن تر ریشه با فاصله میانگره‌ها منفی بود. همبستگی بین وزن تر و خشک ساقه در سطح یک درصد مثبت معنی‌دار بود. وزن خشک ریشه با وزن تر و خشک ساقه و وزن تر ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد داشت، این همبستگی با تعداد برگ زرد در سطح پنج درصد معنی‌دار و مثبت بود. برگ زرد و وزن تر ساقه با فاصله میانگره همبستگی منفی در سطح پنج درصد داشت. البته همبستگی فاصله میانگره‌ها با بیشتر صفات منفی بود که برخی از آنها از نظر آماری معنی‌دار نبود.

همبستگی بین صفات ریزمورفولوژیک برگ

ضرایب همبستگی‌های دوگانه بین همه صفات ریزمورفولوژیک و سطح معنی‌داری آنها در جدول ۶ ارائه شده است. همبستگی بین طول و عرض روزنه فوقانی مثبت و در سطح یک درصد معنی‌دار بود. طول روزنه فوقانی با طول و عرض روزنه‌های تحتانی در سطح پنج درصد همبستگی مثبت نشان دادند. درصد روزنه فوقانی با طول و عرض روزنه فوقانی همبستگی مثبت معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد. همچنین درصد روزنه تحتانی با طول و عرض روزنه تحتانی همبستگی مثبت معنی‌داری و با طول روزنه فوقانی همبستگی مثبت معنی‌داری نشان داد. همینطور اندازه کرک‌های سطوح فوقانی با اندازه کرک‌های سطوح تحتانی و تعداد کرک‌های سطوح فوقانی با تعداد کرک‌های سطوح تحتانی هم در سطح یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان دادند.

جدول ۵- ضرایب همبستگی دوگانه بین صفات مورفولوژیک در آویشن فالاکس

Table 5-Pairwise correlation coefficients between morphological traits in *Thymus Fallax*

Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Stem length	1													
2. Root length	-0.19	1												
3. Number of stems	0.04	-0.01	1											
4. Lateral branch	-0.37	0.53**	0.56**	1										
5. Number of roots	-0.16	0.00	0.17	0.26	1									
6. Leaf length	-0.15	0.42*	-0.17	0.10	0.01	1								
7. Leaf width	-0.34	0.26	-0.41*	0.00	0.17	0.64**	1							
8. Petiole length	0.22	0.33	-0.25	0.08	-0.01	0.54**	0.39	1						
9. Internode distance	0.18	-0.28	0.57**	0.19	0.15	-0.55**	-0.72**	-0.49*	1					
10. Yellow leaf	-0.18	0.04	-0.15	-0.02	0.21	0.31	0.57**	0.06	-0.41*	1				
11. Aerial fresh weight	-0.10	0.14	-0.27	-0.07	-0.08	0.37	0.32	0.12	-0.41*	0.33	1			
12. Aerial dry weight	-0.09	0.04	-0.22	-0.10	-0.02	0.28	0.23	0.25	0.25	0.18	0.90**	1		
13. Root fresh weight	-0.02	0.19	-0.14	-0.09	0.19	0.52**	0.38	0.25	-0.64**	0.50**	0.70**	0.52**	1	
14. Root dry weight	0.09	0.10	-0.02	-0.10	0.24	0.40	0.25	0.18	-0.50	0.44*	0.67**	0.55**	0.95**	1

* و **: ضرایب همبستگی بین صفات به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار هستند.

**, *= Significant at 1 and 5% probability levels, respectively

جدول ۶- ضرایب همبستگی دوگانه بین صفات ریزمورفولوژیک در آویشن فالاکس

Table 6 - Pairwise correlation coefficients between micromorphological traits in *Thymus Fallax*

Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Length of upper stomata	1													
2. Width of upper stomata	0.59**	1												
3. Length of lower stomata	0.43*	0.26	1											
4. Width of lower stomata	0.46*	0.28	0.86**	1										
5. Number of upper stomata	-0.24	-0.06	-0.16	-0.25	1									
6. Number of lower stomata	0.04	-0.11	-0.19	-0.36	0.28	1								
7. Percentage of upper stomata	0.86**	0.91**	0.38	0.39	-0.17	-0.07	1							
8. Percentage of lower stomata	0.46*	0.26	0.97**	0.95**	-0.24	-0.31	0.39	1						
9. Size of upper trichome	0.18	0.14	0.16	0.35	-0.35	0.10	0.17	0.26	1					
10. Size of lower trichome	0.08	0.12	0.20	0.26	0.11	-0.04	0.12	0.22	0.66**	1				
11. Number of upper trichome	-0.02	0.09	-0.36	-0.37	0.17	-0.19	0.06	0.38	-0.20	-0.35	1			
12. Number of lower trichome	0.19	0.23	-0.24	-0.23	0.13	-0.24	0.26	-0.25	0.30	-0.36	0.84**	1		
13. No. upper secretory trichome	-0.18	-0.15	0.02	-0.13	0.30	0.26	-0.18	-0.06	-0.27	-0.12	0.01	-0.09	1	
14. No. lower secretory trichome	-0.08	-0.14	0.25	-0.35	0.16	0.14	0.14	-0.29	0.18	-0.01	0.36	0.21	0.11	1

* و **: ضرایب همبستگی بین صفات به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار هستند.

**, *= Significant at 1 and 5% probability levels, respectively

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های این پژوهش نشان داد که طول ساقه گیاه آویشن فالاکس در اثر سلنیوم در هر دو فرم بالک (سلنات سدیم) و نانوذره افزایش یافت و محلول ۴ پی‌پی‌ام هر دو فرم (بالک و نانوذره) بیشترین تأثیر را بر این صفت گذاشت. البته تیمار ۸ پی‌پی‌ام فرم نانوذره اثر منفی بر طول ساقه داشت، به‌نحوی‌که کمترین طول ساقه از این تیمار به‌دست آمد که نشان‌دهنده سمیت غلظت‌های بالای این عنصر بر رشد و توسعه گیاه است. در تحقیقی که توسط Kuznetsov و همکاران (۲۰۰۳) انجام شد، ثابت گردید که سلنیوم وضعیت آب را در گیاهانی که در معرض خشکی قرار بگیرند تنظیم می‌کند و ظرفیت جذب آب را در سیستم ریشه‌ای گیاه افزایش می‌دهد و به این وسیله سبب رشد بیشتر گیاه می‌شود. نتیجه‌گیری مشابهی نیز توسط Han-Wens و همکاران (۲۰۱۰) به‌دست آمد. به‌نحوی‌که گفته شد غلظت‌های کم سلنیوم سبب بهبود تقسیم سلولی در مریستم انتهایی ریشه شده و به این طریق موجب افزایش رشد ریشه می‌شوند.

نتایج مشابهی توسط Neysanian و همکاران (۲۰۲۱) بر روند رشد گیاه گوجه گیلاسی حاصل شد. آنان گزارش کردند که غلظت‌های کم نانوذره سلنیوم سبب بهبود شاخص‌های رشدی و افزایش زیست توده اندام هوایی و ریشه شد، در حالی که غلظت‌های بالا سبب کاهش شاخص‌های رشدی و کاهش تجمع زیست توده در مقایسه با نمونه شاهد گیاه گردید. بیشترین تعداد ساقه گیاهان مورد مطالعه نیز در غلظت پایین نانوذره سلنیوم به‌دست آمد و در مقابل غلظت بالای سلنیوم بالک و نانو اثرهای منفی بر این صفت گذاشت (جدول ۲) که نشان از اثر سمیت غلظت‌های بالای این عنصر با گیاه آویشن فالاکس می‌باشد. در این مورد Jahid و همکاران (۲۰۱۰) هم به این نتیجه رسیدند که غلظت‌های پائین سلنیوم سبب ترغیب رشد گونه‌ای از لوبیا گردید ولی غلظت‌های بالای این عنصر سبب کاهش شاخص‌های رشد شد.

در تحقیقی که توسط Safaryazdi و همکاران (۲۰۱۲) بر روی اسفناج انجام شد، سطوح پائین سلنیوم موجب افزایش رشد این گیاه گردید که با اثر سلنیوم بر برخی از صفات در این تحقیق همخوانی دارد. البته غلظت بالای سلنیوم در فرم بالک (۸ پی‌پی‌ام) در این تحقیق سبب افزایش معنی‌دار پهنای برگ و طول دمبرگ گیاه گردید ولی بیشترین فاصله میانگره‌ها در کمترین غلظت مورد مطالعه این عنصر در هر دو فرم بالک و نانوذره به‌دست آمد. در این صفت نیز بیشترین غلظت مورد مطالعه سلنیوم در هر دو فرم بالک و نانوذره، سبب کاهش میانگره‌ها گردید. بالاترین غلظت مورد مطالعه سلنیوم در هر دو فرم بالک و نانوذره، بیشترین برگ زرد را سبب شد که به‌سهم خود سمیت غلظت‌های بالای این عنصر را نشان می‌دهد.

در ضمن Shekari و همکاران (۲۰۱۴) هم در بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر روند رشد فلفل تند، به این نتیجه رسیدند که غلظت‌های پائین این عنصر اثر مفیدی بر افزایش زیست‌توده و برخی از شاخص‌های رشد گیاه دارد ولی با افزایش غلظت این عنصر و گذشتن از آستانه تحمل گیاه سبب اختلال در متابولیسم برخی از عناصر و کاهش رشد گیاه می‌گردد. همینطور Tailin و همکاران (۲۰۰۱) و Rios و همکاران (۲۰۰۹) هم نتایج مشابهی را در مطالعه اثر سلنیوم بر رشد کاهو بیان کردند. نامبردگان به این نتیجه رسیدند که سطوح بالای این عنصر با ایجاد اختلال در متابولیسم گوگرد باعث تأثیر منفی در رشد گیاه می‌شوند.

مطالعات Sotoodehnia و همکاران (۲۰۲۰) روی گیاه فلفل (*Capsicum annuum*) به این نتیجه رسید که دزهای پایین نانوذره سلنیوم تحریک رشد و غلظت‌های بالا ایجاد سمیت شدید و ناهنجاری در رشد برگ و ریشه را سبب گردید. تحریک رشد در دزهای پایین نانوذره سلنیوم تا سطح ۵ میلی‌گرم در لیتر در گیاه (*Capsicum annuum*) توسط de los Ángeles Sariñana-Navarrete و همکاران (۲۰۲۴) نیز گزارش شد.

بااین‌حال، بیشترین وزن تر و خشک ساقه و ریشه در غلظت بالای مورد استفاده سلنیوم بالک در این تحقیق (۸ پی‌پی‌ام) حاصل شد که می‌تواند نشان از قرار گرفتن این غلظت از سلنیوم در مرز آستانه تحمل گیاه داشته باشد.

در زمینه اثر سلنیوم بر ویژگی‌های ریزمورفولوژیک باید گفت که اگرچه تفاوت‌های آشکاری بین میانگین‌های حاصل از بررسی صفات مورد مطالعه مشاهده شد (جدول ۴) ولی از نظر آماری بسیاری از این تفاوت‌ها معنی‌دار نبودند (جدول ۳). به‌عبارت دیگر، اثر هیچ‌یک از غلظت‌های سلنیوم مورد مطالعه بر روی ویژگی‌های روزنه‌ای (عرض روزنه فوقانی، تعداد و درصد روزنه فوقانی و تحتانی) معنی‌دار نبود. ولی اثر این عنصر بر روی اندازه و تعداد کرک سطوح فوقانی و تحتانی برگ این گیاه بسیار معنی‌دار بود. به‌طوری‌که دسته‌بندی میانگین‌های این صفات هم تیمارهای مورد مطالعه را در ۳ تا ۵ دسته مختلف قرار داد (جدول ۴). بیشترین اندازه کرک‌های سطوح فوقانی و تحتانی برگ این گیاه در غلظت ۲ پی‌پی‌ام از نانوذرات سلنیوم به‌دست آمد. ولی بیشترین تعداد کرک در هر دو سطح برگ در غلظت ۸ پی‌پی‌ام نانوذره سلنیوم به‌دست آمد. این نتیجه حکایت از این موضوع دارد که سطوح بالای سلنیوم در دو فرم نانوذره و بالک (سلنات سدیم) سبب تحریک گیاه در افزایش کرک‌های پوششی می‌گردد. در گزارشی Abbasi و همکاران (۲۰۱۷) ساختار کرک و تراکم کرک در سطح فوقانی گیاه آویشن را بیشتر از سطح تحتانی بیان کردند که با نتایج پژوهش بر برخی از صفات این گیاه (تعداد کرک) در جدول ۴ همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

سلنیوم اثرهای معنی‌داری بر ویژگی‌های مورفولوژیک و ریزمورفولوژیک گونه‌های گیاهی ازجمله آویشن فالاکس می‌گذارد. اگرچه سلنیوم برای رشد و توسعه این گونه از آویشن ضروری محسوب نمی‌شود ولی در دزهای کم سبب ترغیب شاخص‌های رشد در گیاه می‌گردد و در مواردی می‌تواند به‌عنوان مواد مغذی به کودهای مورد نیاز این گونه گیاهی اضافه گردد. البته لازم به تأکید است که غلظت‌های بالای سلنیوم اثرهای نامطلوبی بر این گونه گیاهی گذاشته و در انتخاب این عنصر به‌عنوان ریزمغذی توصیه می‌شود، بنابراین در انتخاب مقدار مناسب آن به‌ویژه زمانی که قرار است ریزمغذی‌ها از طریق مه‌پاشی بر روی برگ انجام شود توجه کافی گردد.

Refrences

– Abbasi, S., Houshmand S., Mirakhorli, N., and Rawesh, R., 2017. Evaluation of morphological characteristics, trichom structure and their relationship with essential oil content of four species of thyme (*Thymus* sp). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 34 (5): 869-859. (In Persian).

– Ahmad, P., Abdel Latef, A A., Hashem, A., Abd Allah, E F., Gucel, S. and L S P, Tran. 2016. Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. Frontiers in Plant Science 7: 347.

– Babajani, A., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z. O. and B. Eslami. 2019a. Differential growth, nutrition, physiology, and gene expression in *Melissa officinalis* mediated by zinc oxide and elemental selenium nanoparticles. *Environ. Sci. Poll. Res.*, 26(24): 24430-24444.

– Babajani, A., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z. O. and B. Eslami. 2019b. Seed priming with non-thermal plasma modified plant reactions to selenium or zinc oxide nanoparticles: cold plasma as a novel emerging tool for plant science. Plasma Chem. Plasma Process, 39(1): 21-34.

– de los Ángeles Sariñana-Navarrete, M., Benavides-Mendoza, A., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A., Preciado-Rangel, P., Sánchez-Chávez, E., Cadenas-Pliego, G., Antonio-Bautista, A. and Morelos-Moreno, Á. 2024. Selenium Seed Priming and Biostimulation Influence the Seed Germination and Seedling Morphology of Jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Horticulturae, 10(2), 119.

– Han-Wens S., Jing H., Shu-Xuan L., and Wei-Jun K. 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41: 11951204.

– 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

– Neysanian, M., Iranbakhsh, A., Ahmadvand, R., Oraghi Ardebili, Z., & Ebadi, M. (2020). Comparative efficacy of selenate and selenium nanoparticles for improving growth, productivity, fruit quality, and postharvest longevity through modifying nutrition, metabolism, and gene expression in tomato; potential benefits and risk assessment. PloS one, 15(12), e0244207.
– Neysanian, M., Iranbakhsh, A., Ahmadvand, R., Oraghi Ardebili, Z., & Ebadi, M. (2021). The effect of Selenium nanoparticles on some morphological and anatomical features of Cherry tomato plants (Solanum lycopersicum L.var. cerasiforme). Journal of Developmental Biology, 13(3): 39-54.
– Rajaee Behbahani, S., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., Majd, A. and Ardebili, Z.O. 2020. Red elemental selenium nanoparticles mediated substantial variations in growth, tissue differentiation, metabolism, gene transcription, epigenetic cytosine DNA methylation, and callogenesis in bittermelon (*Momordica charantia*); an *in vitro* experiment. PloS one.; 15(7): 0235556.
– Rios J.J., Blasco B., Cervilla L.M., Rosales M.A., Sanchez-Rodriguez E., Romero L., and Ruiz J.M. 2009. Production and detoxification of H2O2 in lettuce plants exposed to selenium. Annals of Applied Biology, 154:107–116.
– Sairam R.K., and Srivastava G.C. 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fraction of tolerant and susceptible wheat genotypes to long term salt stress. *Plant Science*, 162: 897-904.
– SAS Institute., 1989. SAS user's guide: statistics. 5th edition. Cary, NC, SAS Institute Inc., 956p.
– Safaryazdi, A., Lahoti, M., and Ganjali, A. 2012. Effect of different concentrations of selenium on plant physiological characteristics of spinach *Spinacia oleraceae*. Journal of Horticultural Science, 26: 292-300.
– Shekari, L., Kamel Manesh, M. M., Mozafarian Maimandi M., Sadeghi, F.2014. Investigation of the effect of selenium on some morphological and physiological traits of *Capsicum annuum* plant. Journal of Horticultural Sciences, 29: 594-600.
– Sotoodehnia-Korani, S., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., Majd, A. and Ardebili. Z.O. 2020. Selenium nanoparticles induced variations in growth, morphology, anatomy, biochemistry, gene expression, and epigenetic DNA methylation in *Capsicum annuum*; an *in vitro* study. *Environmental Pollution*, p114727.
– Tailin, X., Hartikainen, H., and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of *Brassica juncea* L plants. *Environ. Exp. Bot.*, 161: 180–192. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.009.
– Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A. and M. Fujita. 2010**.** Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. Journal of Plant Sciences, 5 (4): 354-375.
– Homaie, M., Mirzaie-Nodoushan, H., Asadicorom, F., Bakhshi-Khaniki, Gh.R., and Calagari, M. 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. (In Persian).
– Hu, T., Li, H., Li, J., Zhao, G., Wu, W., Liu, L., Wang, Q. and Y. Guo. 2018. Absorption and bio-transformation of Selenium nanoparticles by wheat seedlings (*Triticum aestivum* L). Frontiers in Plant Science 9: 597.
– Jahid A.M., Kumar S., Thakur P., Sharma S., Kau Raman Preet N., Kaur D.P., Bhandhari K., Kaushal N., Singh K., Srivastav A., and Nayyar H. 2010. Promotion of growth in mungbean *(Phaseolus aureus Roxb.)* by selenium isassociated with stimulation of carbohydrate metabolism. Biological Trace Element Research, 143: 530–539. DOI10.1007/s12011-010-8872-1.
– Jamzad, Z. 2009: Thymus and Satureja species of Iran. Research Institute of Forest and Rangelands, Tehran, Iran. 171 pp. (n Persian).
– Jamzad, Z. (2012). Flora of Iran. No. 76: Lamiaceae. Research Institute of Forests and Rangelands. 455-608 (In persian).
– Khavarinejad R., Goshegir Z., and Sadatmand S. 2010. Interaction effect of selenium and molybedon on pigment photosyhthesis of tomato. Journal of Plant Science, 17: 14-23. (In persian).
– Kong L., Wang M., and Dongling B. 2005. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. Plant Growth Regulation, 45: 155–163.
– Kuznetsov, V.V., Kholodova, V.P. and B.A. Yagodin. 2003. Selenium regulates the waterstatus of plants exposed to drought. Doklady Biolological Science, 390: 266-268.
– Naghdi Badi, H., & Makkizadeh, M. 2003. Review of common thyme. Journal of Medicinal Plants, 2(7): 1-12.
– Nazerieh, H., Ardebili, Z.O., and Iranbakhsh, A., 2018. Potential benefits and toxicity of nanoselenium and nitric oxide in peppermint. Acta Agric. Slov. 111: 357-368.

nanoparticles. Environ. Poll. 2019; 253: 246–258. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.078

– Wang, Z., Xie, X., Zhao, J., Liu, X., Feng, W., White, J.C. and B. Xing. 2012. Xylem-and phloem-based transport of CuO nanoparticles in maize (*Zea mays* L.). *Environmental Science & Technology*, 46 (8): 4434-4441.

selenium on senescing Lettuce. Plant and Soil, 237: 55-61.

– Zahedi, S.M., Abdelrahman, M., Hosseini, M.S., Hoveizeh, N.F. and Tran, L.S.P. 2019. Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-