

مقاله پژوهشی

تأثیر نانوذره سلنیوم بر برخی ویژگی‌های ریخت شناسی و تشریحی گیاه گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*)

مریم نیسانیان^۱، علیرضا ایرانبخش^{۱*}، رحیم احمدوند^۲، زهرا اوراقی اردبیلی^۳، مصطفی عبادی^۴

^۱ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم زیستی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۲ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۳ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم زیستی واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران
^۴ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم زیستی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: Iranbakhshar@yahoo.com

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۰

چکیده

سلنیوم عنصری سودمند با خواص آنتی‌اکسیدانی که باعث افزایش رشد و بردباری گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. به منظور بررسی اثر تیمارهای محلول نانو سلنیوم بر رشد گیاه گوجه گیلاسی، تیمارها شامل سلنات سدیم (بالک) و نانو سلنیوم در ۴ سطح (صفر به عنوان شاهد، ۲، ۴ و ۱۰ پی‌پی‌م) اعمال شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که نانوذره سلنیوم و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد بر تمامی صفات مورد مطالعه (وزن تر، وزن خشک، شاخص‌های تشریحی ریشه و ساقه و برگ، محتوای کلروفیل) معنی‌دار است. تیمارها باعث اختلاف مورفولوژیکی در ساقه، ریشه و برگ در مقایسه با کنترل شدند. بیشترین افزایش قطر ریشه و برگ در گروه ۴ نانو سلنیوم (۲۱/۵۵ و ۱/۱ درصدی) در مقایسه با شاهد مشاهده شد. تمامی تیمارها سبب کاهش قطر ساقه در مقایسه با شاهد شدند. روند افزایشی ضخامت استوانه مرکزی ریشه و ساقه متناسب با غلظت نسبت به شاهد مشاهده شد. نانو سلنیوم و سلنات بالک هر دو سبب کاهش تمایز آوند چوب در برگ نسبت به شاهد شدند. استفاده از غلظت ۲ و ۴ پی‌پی‌ام نانو سلنیوم سبب بهبود شاخص‌های رشدی و غلظت مهاری ppm ۱۰ نانو سلنیوم سبب کاهش شاخص‌های رشدی، محتوای رنگیزه‌های گیاهی در مقایسه با نمونه شاهد شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که تیمار سلنیوم در مقادیر مناسب می‌تواند به عملکرد مطلوب گوجه گیلاسی کمک کند و سبب افزایش رشد و رنگیزه‌های گیاهی گردد و تمایز بافت‌ها و تکوین اندام‌ها را تحت تاثیر قرار دهد.

کلیدواژه‌ها: تشریح، ریخت شناسی، گوجه گیلاسی، نانو سلنیوم.

مقدمه

گوجه دومین سبزیجات مهم و یک مدل گیاهی در مهندسی متابولیکی مسیر بیوسنتز کاروتنوئیدها، برای افزایش بیومس مثل محتوای کاروتنوئیدی استفاده می‌شود [۱]. همچنین یکی از مهم‌ترین ترکیبات در رژیم غذایی انسان به خاطر چربی، کالری پایین، فقدان کلسترول و منبع غنی ویتامین C، E، فولیک اسید و پتاسیم می‌باشد [۲].

فلزات سنگین به عناصری اطلاق می‌شود که عدد اتمی آن‌ها بیش‌تر از ۲۰ و چگالی بیش از 5 g/cm^3 داشته باشند [۳]. علی‌رغم مطالعات فراوانی که در مورد سمیت نانو ذرات در سلول‌های گیاهی انجام شده، مطالعات زیادی در مورد مکانیسم‌هایی که نانو ذرات اثرات خود را در رشد و تکوین گیاهان از آن طریق اعمال می‌کنند، صورت نگرفته است. اطلاعات کافی در مورد مکانیسم‌های مولکولی و بیوشیمیایی و فیزیولوژی نانو ذرات که در گیاهان منجر به رشد و تکوین بهتر می‌شود، وجود ندارد [۴]. سلنیوم یک عنصر ضروری برای گیاهان محسوب نمی‌شود ولی مقادیر اندک آن برای رشد و تکوین طبیعی پستانداران ضروری است [۵].

نقش سلنیوم در گیاهان به‌عنوان یک عنصر ضروری هنوز مورد بحث بوده و حتی در غلظت‌های زیاد برای گیاه سمی می‌باشد [۶]. علائم ناشی از سمیت سلنیوم در گیاهان شامل: کاهش رشد، کلروزه، پژمرده و خشک شدن برگ‌ها، کاهش سنتز پروتئین و مرگ پیش از بلوغ گیاه است. با این وجود غلظت‌های کم سلنیوم اثرات سودمندی بر متابولیسم سلول‌های گیاهی دارد و با توجه به شواهد، کاربرد خاکی یا محلول‌پاشی سلنیوم می‌تواند رشد، عملکرد و کیفیت محصولات را افزایش دهد [۶].

نانوذره سلنیوم در فرم‌ها و اندازه‌های مختلف از نمک‌های سلنیوم بخصوص سلنات و سلنیت در حضور یک عامل احیایی مثل پروتئین‌ها، فنول‌ها، الکل‌ها و آمین‌ها سنتز می‌شود. این بیومولکول‌ها می‌توانند برای احیای نمک‌های سلنیوم در *In vitro* استفاده شوند ولی محصولات جانبی آزاد شده در محیط ممکن است برای گیاه و جانوران خطرناک باشد [۷].

نانو ذرات سبب سمیت ژنتیکی (ژنوتوکسیسیته) به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌شوند [۸]. در حالت مستقیم نانوذره بعد از عبور از غشا سلول و هسته از طریق مکانیزم آندوسیتوز یا انتشار به‌صورت مستقیم با ارتباط مکانیکی از طریق اتصال شیمیایی با DNA واکنش می‌دهد. در حالت غیرمستقیم نانوذره با پروتئین‌های هسته‌ای (پروتئین‌های درگیر در مضاعف شدن، رونویسی، ترجمه و میکروتوبول‌ها و میکروفلامنت‌ها و سانتیول‌ها) واکنش می‌دهد و یا با ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال سبب استرس اکسیداتیو می‌شود و عمل ترمیم DNA را کاهش می‌دهد [۸]. جذب، انتقال و تجمع نانو ذرات وابسته به گونه گیاهی، اندازه و نوع و موقعیت شیمیایی و پایداری نانوذره است [۹]. نیاز به سلنیوم (Se) برای بسیاری از زندگی موجودات از جمله انسانها اثبات شده است، اما نقش آن در چرخه زندگی گیاهان هنوز بحث برانگیز است [۱۰، ۱۱]. در علوم گیاهی، شواهدی در مورد ظرفیت سلنیوم به عنوان یک کود جدید محصولات زراعی وجود دارد [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵]. با این حال، غلظت بهینه سلنیوم متغییر است و تا حد زیادی به عوامل مختلفی، از جمله گونه گیاهی، مرحله رشد، زمان و روش مورد استفاده و سایر عوامل محیطی وابسته است [۱۵].

در مطالعات اخیر شواهدی مبنی بر دسترس پذیری زیستی و عملکرد Se در رشد و متابولیسم گیاهان وجود دارد. نانو ذره سلنیوم (nSe) در مقایسه با سایر فرم‌های طبیعی Se مانند سلنات و سلنیت به‌طور قابل توجهی کارآمدتر است [۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۱۴]. از طرف دیگر، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد استفاده nSe می‌تواند رشد و تکوین گیاه را به طور بالقوه به خطر بیاندازد [۱۶، ۱۷، ۱۱]. با این حال، سود یا سمیت سلولی nSe هنوز بحث برانگیز است. همچنین خلا شواهد تشریحی (آناتومیکی) برای اثرات سلنیوم (نانو و بالک سلنیوم) وجود دارد؛ بنابراین این تحقیق با هدف بررسی اثر مقادیر مختلف نانوذره سلنیوم بر برخی صفات رشدی، ریخت‌شناسی و تشریحی گیاه گوجه‌گیلاسی انجام شد.

مواد و روش‌ها

کشت گیاه گوجه گیلاسی

گیاه مورد استفاده در این مطالعه، گیاه گوجه با نام علمی *Solanum lycopersicum* واریته *cerasiforme* L. از خانواده Solanaceae بود. بذرها از شرکت فلات ایران تهیه شد. ۷ گروه تیمار شامل غلظت‌های مختلف نانو سلنیوم و سلنات سدیم (بالک)، صفر (شاهد)، ۲، ۴ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر انتخاب شد. نانو سلنیوم مورد استفاده محصول کشور آمریکا و به صورت محلول قرمز رنگ از شرکت پیشگامان نانو مواد ایران خریداری شد. غلظت اولیه نانو ذره ۱۰۰۰ ppm و اندازه آن ۴۲/۱۴ نانومتر بود. غلظت‌های مختلف نانو سلنیوم در سطوح (صفر به عنوان شاهد، ۲، ۴ و ۱۰ ppm) تهیه شد. بذرها را با وایتکس ۲٪ ضد عفونی شدند و سپس ۳ بار با آب مقطر شستشو شد و در گلدان‌هایی (سیستم کشت هیدروپونیک) حاوی ترکیب ۳/۲ پرلیت و ۳/۱ ورمی کولیت، در عمق ۱ سانتی متری کاشته شدند. گلدان‌ها در زیر نور مستقیم خورشید با دمای متغیر ۲۳±۲ قرار داده شدند. گلدان‌ها یک روز در میان با ۵۰ سی سی آب مقطر آبیاری شدند. پس از مشاهده اولین برگ‌ها آبیاری بوسیله محلول هوگلند هر سه روز یک بار انجام شد. تیمار نانو ذره سلنیوم و سلنات سدیم بالک پس از مشاهده ۶-۵ برگ و به فاصله ۷-۱۰ روز انجام شد. آزمایش در فضای نور طبیعی با تناوب نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و ارتفاع ۱۳۲۲ متر از سطح دریا، در فضای آزاد انجام شد. آزمایش در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی و با ۴ بار تکرار انجام شد.

بررسی شاخص‌های رشد

محاسبه طول ساقه و ریشه

به منظور اندازه‌گیری طول ریشه، ساقه و سایر پارامترهای تشریحی از نرم افزار Image j win64 استفاده شد.

سنجش وزن تر و خشک

بعد از هفتیمین تیمار با غلظت‌های مشخص، وزن تر و خشک گیاهچه اندازه‌گیری گردید. برای سنجش وزن خشک، نمونه‌ها پس از تعیین وزن تر به مدت ۴۸ ساعت در

آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس با ترازوی حساس وزن شدند.

مطالعه تشریحی ساختارهای رویشی

جهت تهیه برش‌های دستی از ساقه، ریشه و برگ، نمونه‌ها به مدت دو هفته در محلول اتانول و گلیسرین به نسبت مساوی قرار گرفت، پس از تهیه برش دستی و مراحل رنگ‌آمیزی مضاعف به وسیله متیلن بلو و قهوه‌ای بیسمارک رنگ شدند، مشاهده نمونه‌های با میکروسکوپ نوری مدل euromex holland انجام شد و به وسیله دوربین موبایل iphone 6s از بخش‌های مختلف ساقه، ریشه و برگ عکس برداری شد.

سنجش رنگیزه‌های گیاهی

میزان کلروفیل و کاروتنوئید در برگ‌ها به روش Arnon, 1949 (۲۰) و میزان لیکوپین میوه به روش Fish و همکاران (2002) (۲۱) انجام شد.

محاسبات آماری کلیه آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی بوده است. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS19 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد استفاده گردید.

نتایج

تغییرات مورفولوژیک اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای

بکارگیری ترکیبات نانو سلنیوم و سلنات سدیم در محلول غذایی هوگلند در غلظت‌های مختلف، نه تنها صفات مرتبط با رشد را تغییر داد بلکه باعث اختلاف مورفولوژیکی در ساقه و ریشه در مقایسه با کنترل شد. تیمارهای nSe10 و سلنات سدیم ۱۰ بطور قابل توجهی باعث کاهش رشد در گیاهان تیمار شده، گردید و ایجاد سمیت شدید کرد. در مقابل این گروه‌ها، تیمارهای nse4 و nse2 و بالک‌های مربوطه منجر به افزایش رشد و فعال شدن جوانه‌های جانبی ساقه شدند. خمش مشاهده شده در ساقه تیمار شده با نانو سلنیوم، به وضوح تولید و انباشت اتیلن را نشان داد. تیمار سلنیوم تغییر قابل توجهی ($P \leq 0.05$) در ویژگی

مقایسه با کنترل ($p \leq 0.05$) افزایش یافت بطوریکه غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم سبب افزایش ۱۶/۳۱ درصدی در مقایسه با شاهد شد. برعکس نتایج بدست آمده در مورد وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه در تمامی تیمارها حتی غلظت مهارکننده، افزایش ($p \leq 0.05$) یافت. بیشترین افزایش در گروه ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم (۵۵/۱۱٪) در مقایسه با شاهد، مشاهده شد.

تغییرات تشریحی ساقه، برگ و ریشه

۱- ریشه

با توجه به نتایج، اثر تیمارها بر قطر ریشه، ضخامت پوست، ضخامت استوانه مرکزی و قطر دهانه متازایلیم، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، تمامی تیمارها بجز غلظت ۲ ppm نانو سلنیوم و ۱۰ ppm سلنات سدیم، سبب افزایش قطر ریشه در مقایسه با شاهد شدند، بیشترین افزایش در گروه ۴ نانو سلنیوم (۲۱/۵۵ درصدی) در مقایسه با شاهد مشاهده شد.

تمامی غلظت‌ها سبب کاهش ضخامت پوست ریشه در مقایسه با کنترل شدند، کمترین ضخامت پوست در گروه ۱۰ نانو سلنیوم (۳۲/۲۵ درصد) در مقایسه با شاهد مشاهده شد. روند افزایشی ضخامت استوانه مرکزی نسبت به شاهد در تمامی تیمارها قابل تشخیص بود به طوری‌که بیشترین افزایش ضخامت استوانه آوندی در تیمار ۱۰ ppm نانو سلنیوم (۳۱/۸۲ درصد) نسبت به شاهد مشاهده گردید. همچنین تمامی تیمارها سبب کاهش دهانه متازایلیم در مقایسه با شاهد شدند، چنانچه بیشترین کاهش در غلظت ۴ ppm سلنات سدیم (۲۳/۳۶ درصد) در مقایسه با شاهد مشاهده شد.

طول ساقه و ریشه گیاه داشت (شکل ۱)، به طوریکه طول ریشه در تیمارهای ۲ و ۴ ppm سلنیوم در هر دو فرم سلنات و نانو سلنیوم افزایش را نسبت به شاهد نشان داد و بیشترین میزان درصد افزایش در گروه ۴ نانو سلنیوم (۱۴/۱۶٪) در مقایسه با کنترل مشاهده شد. غلظت بالای سلنیوم (۱۰ ppm) سبب کاهش مشخص (۳۸/۶۷ درصد) در طول ساقه شد. به طور مشابهی، مورفولوژی و توسعه سیستم ریشه با بکارگیری ترکیبات نانو سلنیوم در حالتی وابسته به غلظت بکارگرفته شده و نوع ترکیب (بالک یا نانو) تحت تاثیر قرار گرفت (شکل ۱). بهترین سیستم ریشه متعلق به گروه‌های nse4 و بالک مربوطه می‌باشد به طوریکه در غلظت ۴ ppm نانو سلنیوم طول ریشه ۱۴/۱۶ درصد در مقایسه با کنترل افزایش یافت.

تغییرات وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

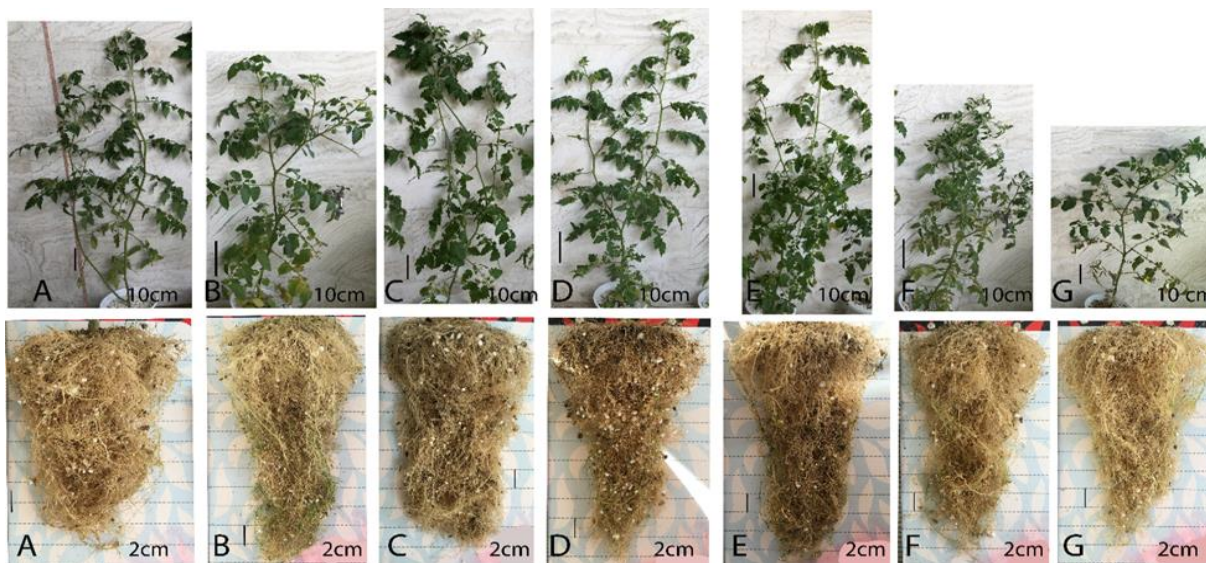
نتایج نشان داد که غلظت‌های ۲ و ۴ پی‌پی‌ام تیمار bSe و nse بر فاکتور وزن تر بخش هوایی تاثیر مثبتی ($p \leq 0.05$) داشته است (جدول ۱)، به طوریکه بیشترین میزان افزایش وزن تر بخش هوایی در گروه ۴ ppm نانو سلنیوم (۳۰/۸۰ درصد) در مقایسه با کنترل مشاهده شد؛ اما غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (بالک و نانو سلنیوم) باعث کاهش معنی‌دار ($p \leq 0.05$) وزن تر بخش هوایی نسبت به شاهد شد، در تیمار ۱۰ ppm سلنات سدیم ۴/۵۳ درصد وزن تر بخش هوایی در مقایسه با شاهد کاهش یافت. هیچ یک از تیمارها سبب افزایش وزن خشک بخش هوایی در مقایسه با شاهد نشد، هر چند که بین آنها اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.05$) وجود داشت (جدول ۱).

همانند نتایج بدست آمده در وزن تر بخش هوایی، وزن تر ریشه نیز در غلظت‌های ۲ و ۴ ppm سلنیوم (بالک و نانو) در

جدول ۱- مقدار (انحراف معیار \pm میانگین) صفات مورد مطالعه در گیاهان در معرض غلظت‌های مختلف سلنیوم ($P \leq 0.05$)

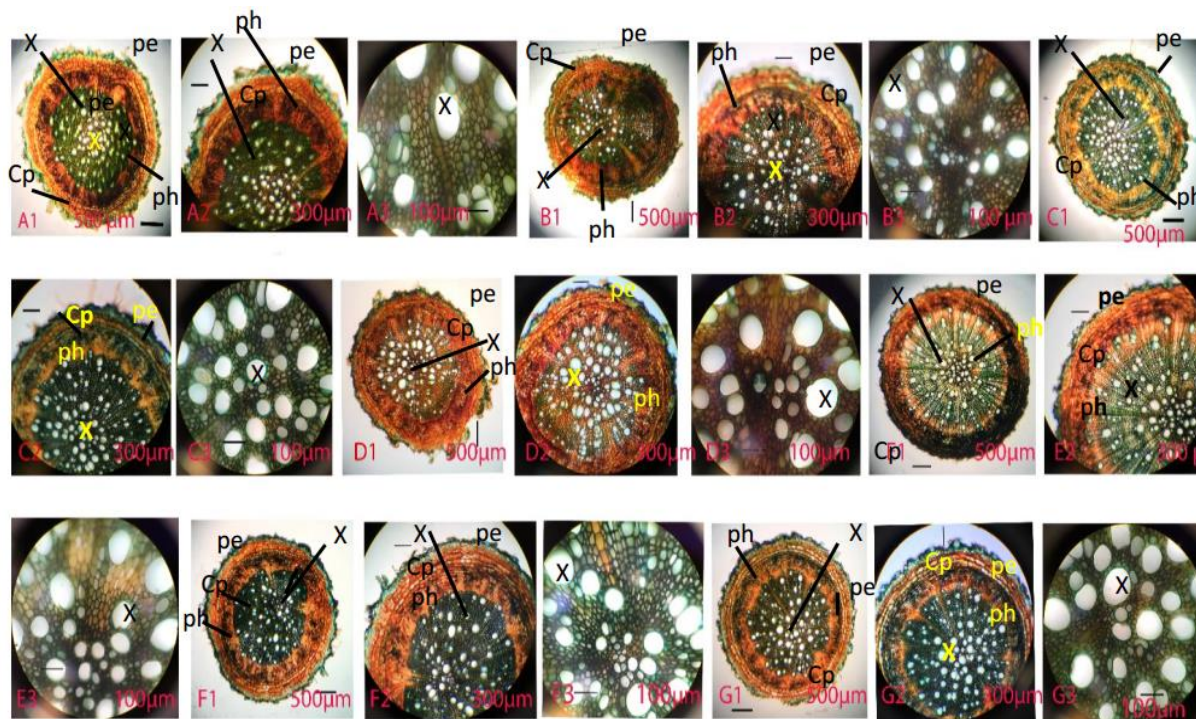
منابع تغییر	طول بخش هوایی	طول ریشه	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
Control	148.11 ^a ±1.07	23.58 ^c ±0.25	71.54 ^c ±0.44	24.16 ^a ±0.44	61.54 ^c ±0.29	18 ^c ±0.57
2se	80.69 ^f ±2.4	25.50 ^b ±0.37	72.23 ^c ±0.64	18.93 ^d ±0.34	62.10 ^c ±0.18	21.10 ^c ±0.26
2N	126.77 ^b ±1.9	23.56 ^c ±0.31	76.19 ^b ±0.52	21.28 ^b ±0.41	61.62 ^c ±0.31	18.97 ^{de} ±0.17
4se	107.87 ^c ±2.30	26.63 ^a ±0.23	77.32 ^b ±0.74	20.53 ^{bc} ±0.29	70.62 ^b ±0.31	23.55 ^b ±0.29
4N	143.20 ^a ±1.63	26.92 ^a ±0.35	93.58 ^a ±1.44	23.55 ^a ±0.29	71.58 ^a ±0.32	27.92 ^a ±0.24
10se	97.75 ^d ±1.29	25.04 ^b ±0.23	68.3 ^d ±0.77	20.39 ^{bc} ±0.3	61.47 ^c ±0.28	19.44 ^d ±0.29
10N	90.85 ^e ±1.95	26.62 ^a ±0.34	70.21 ^{cd} ±0.66	19.58 ^{cd} ±0.3	61.41 ^c ±0.3	21.91 ^c ±0.18

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است



شکل ۱- اثر تیمار گیاه گوجه با سلنیوم (نانو سلنیوم و سلنات سدیم) در گلدان‌ها و پاسخ گیاه به غلظت‌های مختلف nse و سلنات سدیم. اندازه خط‌های ترسیمی در هر شکل بیان شده است. بخش‌های مختلف شکل به شرح زیر است:

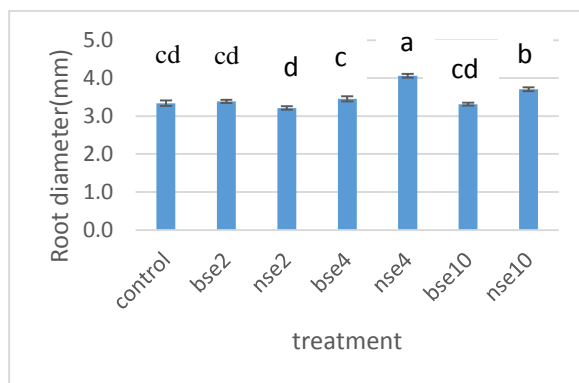
A-Control; B-2 ppm Selante Sodium; C- 2ppm Nano Selenium; D- 4ppm Selenat Sodium; E-4ppm Nano Selenium; F- 10 ppm Selenate Sodium; G- 10 ppm Nano Selenium



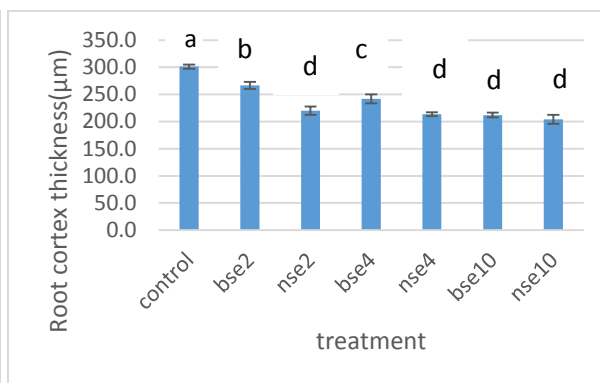
شکل ۲- اثر تیمار سلنیوم (نانو سلنیوم و سلنات سدیم) در ریشه گیاه به غلظت‌های مختلف nse و سلنات سدیم. اندازه خط‌های ترسیمی در هر شکل بیان شده است. بخش‌های مختلف شکل به شرح زیر است:

A1,A2,A3-Control; B1, B2, B3-2 ppm Selante Sodium; C1,C2,C3- 2ppm Nano Selenium; D1,D2,D3- 4ppm Selenat Sodium; E1,E2,E3-4ppm Nano Selenium; F1,F2,F3- 10 ppm Selenate Sodium; G1,G2,G3- 10 ppm Nano Selenium .

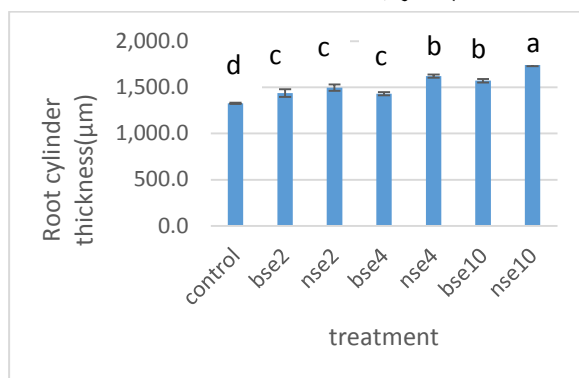
Pe: Peridermis, Ph: Phloem, X: Xylem, Pi: Pith, Cp: Cortex Parchment, Ra: Rip Vascular



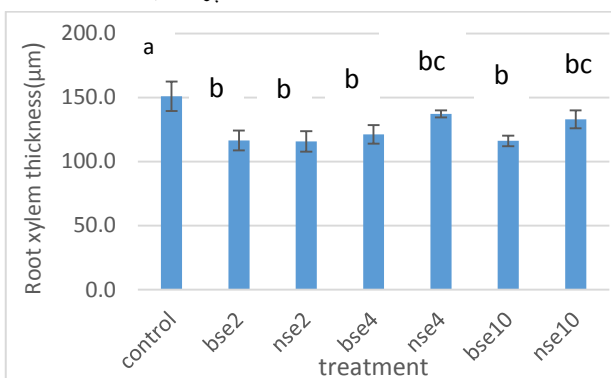
ب- قطر ریشه (mm)



الف- ضخامت پوست ریشه (μm)



د- ضخامت استوانه مرکزی ریشه (μm)



ج- قطر دهانه متازایلم ریشه (μm)

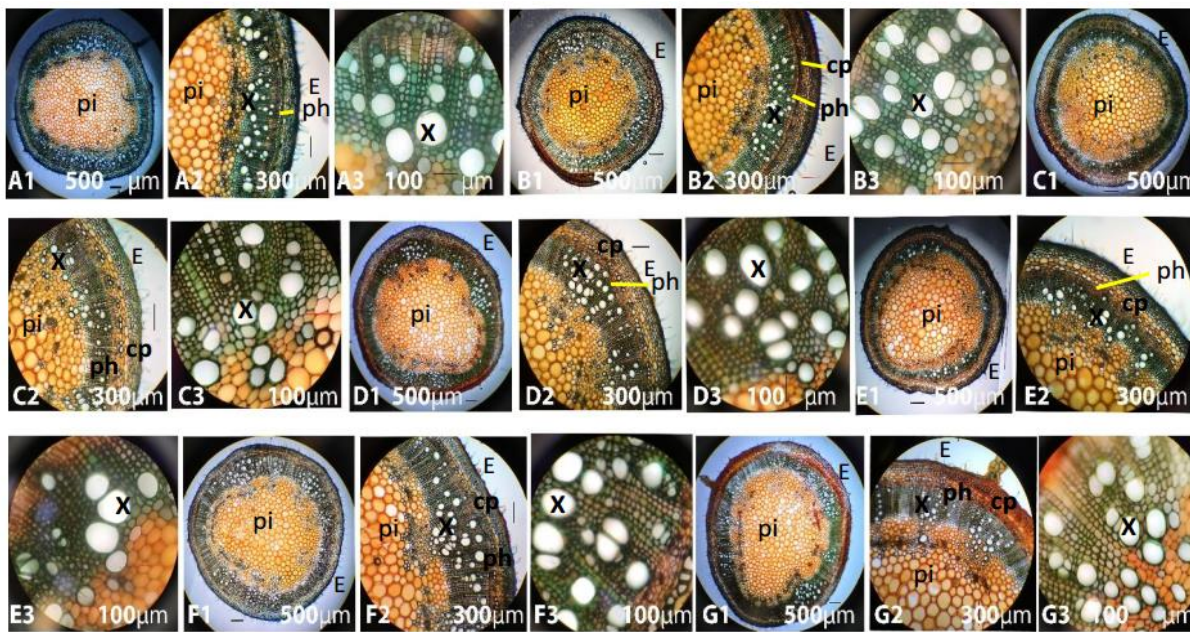
نمودار ۱- اثر سلنیوم بر برخی شاخص‌های تشریحی. الف- ضخامت پوست ریشه (μm)؛ ب- قطر ریشه (mm)؛ ج- قطر دهانه متازایلم ریشه (μm)؛ د- ضخامت استوانه مرکزی ریشه (μm)

۲- ساقه: نانو سلنیوم به ترتیب افزایش ۷/۵۴ و ۳/۰۲ درصدی قطر دهانه متازایلم را در مقایسه با شاهد نشان دادند.

۳- برگ

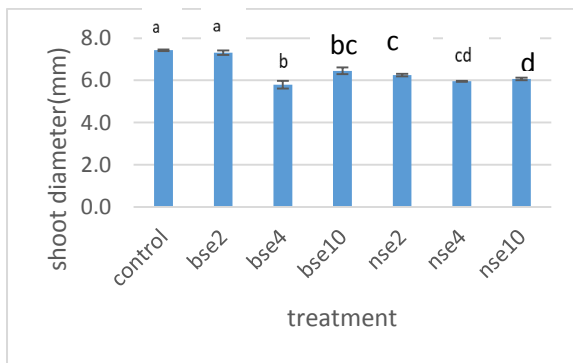
با توجه به نتایج، اثر تیمارها بر قطر برگ، ضخامت پوست فوقانی و تحتانی، ضخامت استوانه مرکزی و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده، در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود. تمامی تیمارها بجز غلظت ۴ ppm نانو سلنیوم سبب کاهش قطر برگ در مقایسه با شاهد شد، به طوری که غلظت ۴ نانو سلنیوم سبب افزایش ۱/۱ درصدی قطر برگ در مقایسه با کنترل شد. با مقایسه نتایج بدست آمده مهار رشد در نانو سلنیوم در مقایسه با سلنات سدیم بالک بیشتر می‌باشد به طوری که قطر برگ در غلظت ۱۰ نانو سلنیوم در مقایسه با غلظت ۱۰ سلنات سدیم کاهش بیشتری را در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج، اثر تیمارها بر قطر ساقه و ضخامت پوست و استوانه مرکزی و قطر دهانه متازایلم، در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که، تمامی تیمارها سبب کاهش قطر ساقه در مقایسه با شاهد شدند. بیشترین کاهش در غلظت ۴ ppm سلنات سدیم بالک (۲۲/۰۸ درصد) در مقایسه با کنترل مشاهده شد و در تمامی تیمارها قطر پوست در مقایسه با شاهد کاهش یافت به طوری که، بیشترین کاهش در گروه ۱۰ سلنات سدیم (۸/۶۲ درصد) در مقایسه با شاهد مشاهده شد. در تمامی تیمارها روند افزایشی ضخامت استوانه مرکزی نسبت به شاهد قابل تشخیص بود. بیشترین افزایش ضخامت استوانه آوندی در تیمار ۱۰ سلنیوم بالک (۸۵/۶۱ درصد) نسبت به شاهد مشاهده شد. غلظت‌های ۲ و ۴ پی پی ام سلنیوم بالک و نانو سلنیوم سبب کاهش قطر دهانه متازایلم در مقایسه با شاهد شدند و تنها غلظت ۱۰ سلنیوم بالک و

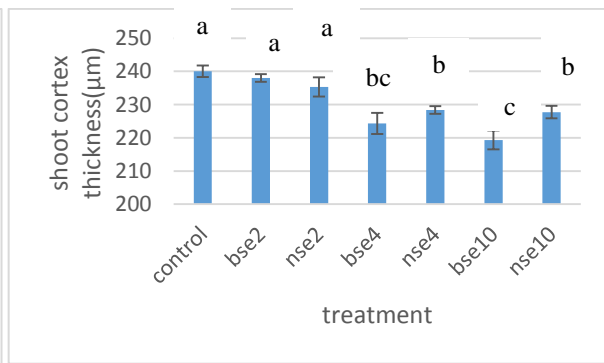


شکل ۳- اثر تیمار سلنیوم (نانو سلنیوم و سلنات سدیم) در گلدان‌ها و پاسخ ساقه گیاه به غلظت‌های مختلف nse و سلنات سدیم. اندازه خط‌های ترسیمی در هر شکل بیان شده است. بخش‌های مختلف شکل به شرح زیر است:

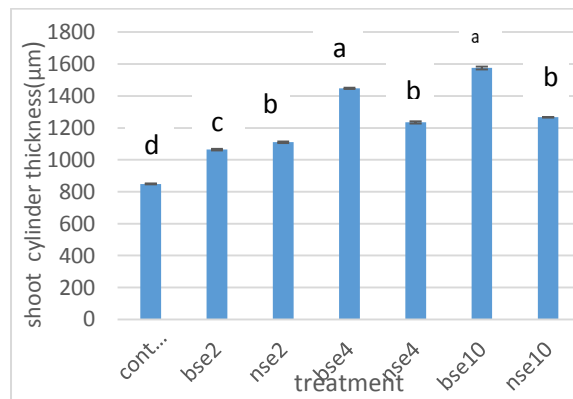
A1,A2,A3-Control; B1, B2, B3- 2 ppm Selante Sodium; C1,C2,C3- 2ppm Nano Selenium; D1,D2,D3- 4ppm Selenat Sodium; E1,E2,E3-4ppm Nano Selenium; F1,F2,F3- 10 ppm Selenate Sodium; G1,G2,G3- 10 ppm Nano Selenium .
 E: Epidermis, Ph: Phloem, X: Xylem, Pi: Pith



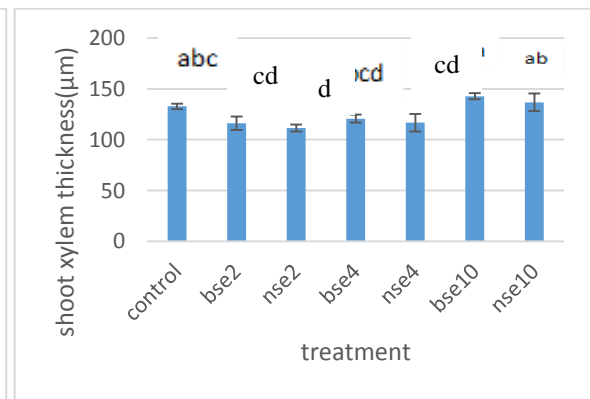
ب- قطر ساقه (mm)



الف- ضخامت پوست ساقه (μm)



د- ضخامت استوانه مرکزی ساقه (μm)



ج- قطر دهانه متازایلم ساقه (μm)

نمودار ۲- اثر سلنیوم بر برخی شاخص‌های تشریحی ساقه. الف- ضخامت پوست ساقه (μm)؛ ب- قطر ساقه (mm)؛ ج- قطر دهانه متازایلم ساقه (μm)؛ د- ضخامت استوانه مرکزی ساقه (μm)

افزایش ضخامت پارانشیم اسفنجی و کاهش پارانشیم نرده‌ای در تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد، مشاهده شد، به طوری‌که ضخامت پارانشیم اسفنجی در غلظت ۴ و ۱۰ ppm نانو سلنیوم سبب افزایش ۲ برابری ضخامت پارانشیم اسفنجی و بیشترین میزان کاهش ضخامت پارانشیم نرده‌ای در گروه ۱۰ ppm نانو سلنیوم (۵۳/۱۲ درصد) در مقایسه با کنترل مشاهده گردید در مجموع مشاهده می‌شود که بافت پارانشیم اسفنجی در مقایسه با مزوفیل نردبانی توسعه پیدا کرده است که این یک تقابل دفاعی برای گیاه است تا بتواند غلظت‌های بالای نانو سلنیوم و سلنات بالک را مهار کند.

تغییرات میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی

تیمار سلنیوم سبب تغییر ($P \leq 0.05$) محتوای کلروفیل و کاروتنوئید شد، به طوری‌که محتوای کلروفیل a در تیمار ۴ ppm نانو سلنیوم افزایش ۲/۸۶ درصدی در مقایسه با شاهد را نشان داد و سایر تیمارها کاهش محتوای کلروفیل a را در مقایسه با شاهد نشان دادند کمترین میزان کلروفیل a در گروه ۱۰ ppm سلنات سدیم (۳۳/۳۴٪) مشاهده شد (نمودار ۳). هیچ یک از تیمارها سبب افزایش محتوای کلروفیل b نشدند، مشابه با نتایج کلروفیل b، محتوای کاروتنوئید نیز در تمامی تیمارها در مقایسه با کنترل کاهش یافت.

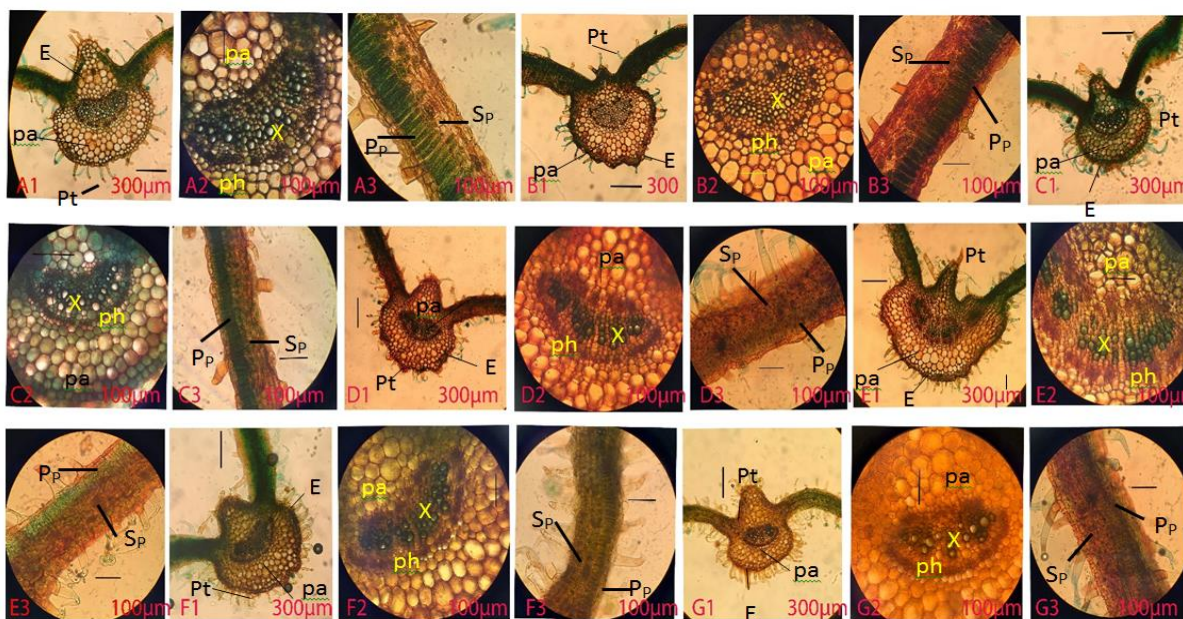
تمامی تیمارها بجز غلظت ۴ ppm نانو سلنیوم سبب کاهش ضخامت پوست فوقانی و تحتانی در مقایسه با شاهد شدند، چنانچه غلظت ۴ ppm نانو سلنیوم سبب افزایش ۶/۹۹ درصدی ضخامت پوست فوقانی و افزایش ۱۳/۶۷ درصدی ضخامت پوست تحتانی در مقایسه با کنترل گردید همچنین تمامی تیمارها سبب کاهش ضخامت اپیدرم برگ در مقایسه با شاهد شدند که این کاهش در گروه تیماری نانو سلنیوم در مقایسه با سلنات سدیم بیشتر بود.

افزایش قطر استوانه آوندی در تمامی تیمارها بجز غلظت ۲ ppm نانو سلنیوم در مقایسه با شاهد مشاهده شد، به طوری‌که غلظت ۲ ppm نانو سلنیوم سبب کاهش ۲۲/۸۳ درصدی قطر استوانه آوندی در مقایسه با کنترل شد در مقابل در تمامی تیمارها بجز غلظت ۲ ppm سلنات سدیم بالک افزایش قطر دهانه آوند چوبی در مقایسه با شاهد مشاهده شد و بیشترین افزایش در گروه ۱۰ نانو سلنیوم (۸۵/۱۴) در (صد) در مقایسه با شاهد مشاهده شد. با مقایسه ساختار آناتومی برگ (شکل ۴ و جدول ۲) مشاهده می‌شود که نانو سلنیوم و سلنات بالک هر دو سبب کاهش تمایز آوند چوب نسبت به شاهد شده است و در مقابل حلقه فلوئمی در پیرامون زایلیم‌ها در سلنات بالک و نانو سلنیوم به ویژه در نانو سلنیوم قابل مشاهده است، بنابراین تیمار نانو سلنیوم سبب تسریع تمایز فلوئم شده است و حلقه فلوئمی ایجاد گردیده است.

جدول ۲- مقدار (انحراف معیار \pm میانگین) صفات تشریحی مورد مطالعه در برگ گیاهان در معرض غلظتهای مختلف سلنیوم ($P \leq 0.05$)

تیمارها	قطر برگ (mm)	ضخامت پوست فوقانی (μm)	قطر استوانه آوندی (μm)	ضخامت پوست تحتانی (μm)	ضخامت پارانشیم اسفنجی (μm)	ضخامت پارانشیم نردبانی (μm)	قطر متازایلیم (μm)	ضخامت اپیدرم (μm)
Control	1.088 ^a \pm 0.012	517.83 ^b \pm 4.45	194.36 ^c \pm 2.68	302.17 ^b \pm 2.00	64.89 ^d \pm 2.42	95.65 ^e \pm 8.55	19.32 ^d \pm 2.21	38.07 ^a \pm 2.56
bse2	0.897 ^c \pm 0.006	276.38 ^d \pm 12.45	205.5 ^c \pm 5.08	295.65 ^b \pm 10.55	110.81 ^b \pm 7.04	89.3 ^{ab} \pm 7.74	16.18 ^d \pm 0.25	36.85 ^a \pm 3.01
nse2	0.77 ^d \pm 0.007	332.91 ^e \pm 1.34	150.00 ^d \pm 5.72	244.97 ^c \pm 6.6	79.11 ^{cd} \pm 6.01	55.81 ^{cd} \pm 4.20	26.38 ^{bc} \pm 1.61	20.15 ^b \pm 0.98
bse4	0.977 ^b \pm 0.03	405.45 ^d \pm 1.66	238.28 ^b \pm 8.87	288.68 ^b \pm 9.53	89.85 ^c \pm 6.10	83.06 ^{ab} \pm 8.97	25.91 ^c \pm 2.91	21.38 ^b \pm 1.06
nse4	1.1 ^a \pm 0.04	554.03 ^a \pm 22.85	273.19 ^a \pm 13.34	397.88 ^a \pm 18.06	131.39 ^a \pm 6.95	73.26 ^{bc} \pm 5.00	31.91 ^{ab} \pm 1.67	19.32 ^b \pm 1.2
bse10	0.877 ^c \pm 0.004	368.35 ^d \pm 7.09	222.23 ^{bc} \pm 10.33	287.07 ^b \pm 6.58	84.33 ^c \pm 6.97	59.99 ^{cd} \pm 4.46	27.22 ^{bc} \pm 1.62	23.51 ^b \pm 1.63
nse10	0.843 ^c \pm 0.012	394.16 ^c \pm 10.37	266.16 ^a \pm 11.93	227.17 ^c \pm 14.4	143.95 ^a \pm 5.53	44.85 ^d \pm 3.90	35.77 ^a \pm 1.27	20.44 ^b \pm 3.26

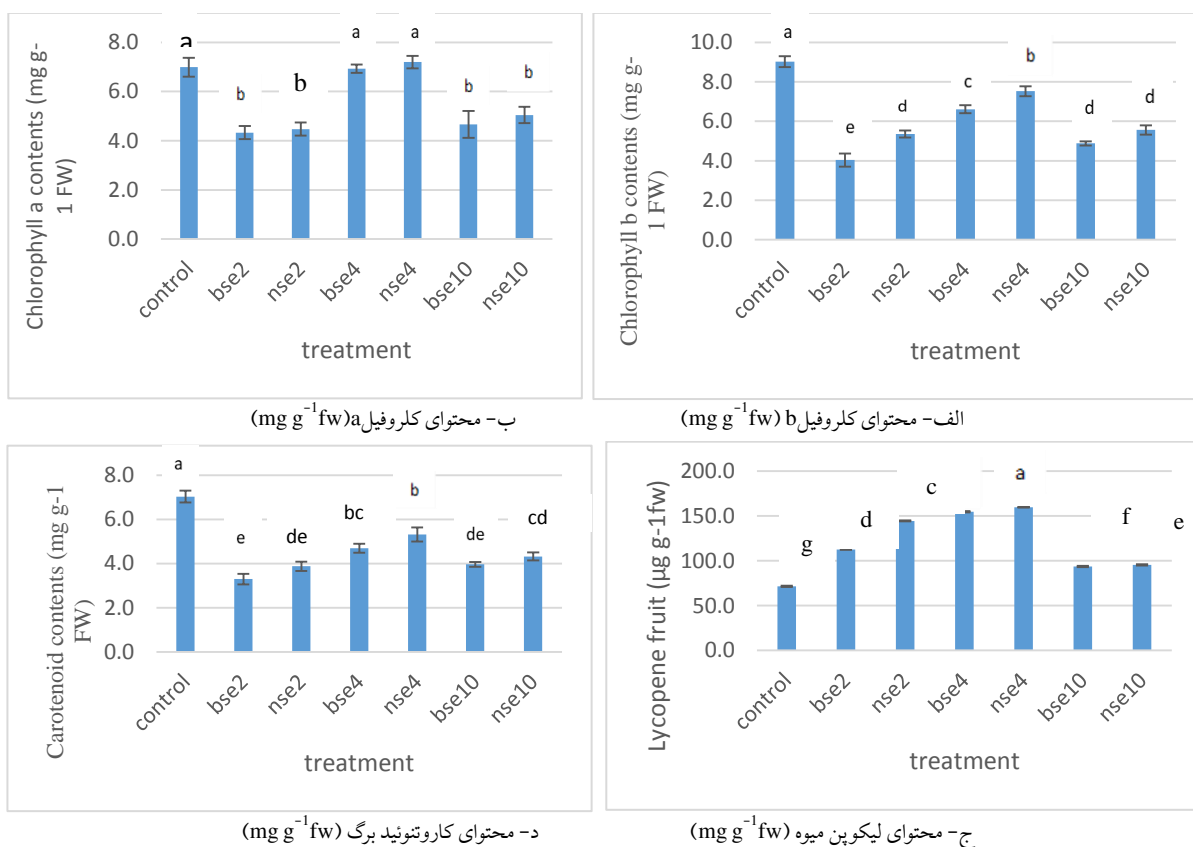
حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴ - اثر تیمار سلنیوم (نانو سلنیوم و سلنات سدیم) در گلدان‌ها و پاسخ برگ گیاه به غلظت‌های مختلف nse و سلنات سدیم. اندازه خط‌های ترسیمی در هر شکل بیان شده است. بخش‌های مختلف شکل به شرح زیر است:

A1,A2,A3-Control; B1, B2, B3-2 ppm Selante Sodium; C1,C2,C3- 2ppm Nano Selenium; D1,D2,D3- 4ppm Selenat Sodium; E1,E2,E3-4ppm Nano Selenium; F1,F2,F3- 10 ppm Selenate Sodium; G1,G2,G3- 10 ppm Nano Selenium .

E: اپیدرم، Pa: پارانشیم، X: آوند چوب (زایلیم)، Ph: آوند آبکش (فلوئم)، Pt: کرک، Sp: پارانشیم اسفنجی، Pp: پارانشیم نرده ای



نمودار ۳- اثر سلنیوم بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک. الف- محتوای کلروفیل b؛ ب- محتوای کلروفیل a؛ ج- محتوای لیکوپین میوه؛ د- محتوای کاروتنوئید برگ

افزایش یافت اما غلظت‌های بالاتر از هر دو ترکیب، بیوماس اندام هوایی را کاهش داد که همسو با نتایج تحقیق اخیر می‌باشد. آروئی و همکاران در سال ۱۳۹۸، کاهش وزن‌تر و خشک دانه رست خیار را در حضور غلظت‌های سمی کادمیوم، نیکل و سرب گزارش دادند که همسو با نتایج تحقیق اخیر می‌باشد.

نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق اخیر همسو با نتایج Bhardwa و همکاران (2009) [۲۹] بر روی گیاه لوبیا و Sharifi و همکاران (2010) [۳۰] بر روی گیاه عدس بود. Arzoo و همکاران نیز (2014) [۳۱] بیان داشتند که غلظت ۲۰ ppm نیکل ابتدا سبب افزایش وزن‌تر و خشک دانه رست *Macrotyloma uniflorum* شد و غلظت ۴۰ و ۱۰۰ ppm نیکل سبب کاهش شدید وزن‌تر و خشک شد همچنین ULHassan و همکاران (2018) [۳۲] نیز بیان داشتند که غلظت ۲۵ میکرو مول سلنیوم در *Brassica napus* سبب افزایش در وزن‌تر برگ و وزن‌تر ساقه و وزن‌تر ریشه شد و سلنیوم در غلظت بالا (۱۰۰ میکرو مول) به مقدار قابل توجهی سبب کاهش پارامترهای رشد گیاه شد، نتایج مشابهی توسط Hussein و همکاران (2019) [۳۳] در تیمار بادام زمینی با سطوح مختلف نانوسلنیوم مشاهده شد که کاملاً همسو با نتایج تحقیق اخیر می‌باشد.

ریشه

تیمار نانو سلنیوم بر آناتومی گیاه موثر است. یافته‌های ما ثابت می‌کند که قطر ریشه و الگوی تمایز آوند چوب و آبکش، دو بافت هدایت کننده اصلی، تحت تاثیر تیمار تغییر می‌کند. این خصوصیات ممکن است به عنوان مکانیزم کلیدی دفاعی گیاهان در مقابله با شرایط استرس و تغییر سریع محیط در نظر گرفته شود [۳۴].

Kaur و همکاران (2015) [۳۵] افزایش قطر ریشه و محتوای لیگنینی را در مراحل اولیه جوانه‌زنی را تحت تیمار نانو سیلیس در گیاه کلزا نیز گزارش دادند. Sotoodehnia و همکاران (2020) [۱۶]، Rajae و همکاران (2020) [۱۷] و Moghanloo و همکاران (2019) [۳۶] بیان داشتند که تیمار nSe وابسته به

هر سه غلظت اعمال شده تیمار سلنیوم بالک و نانو سلنیوم باعث تولید لیکوپن بیشتری ($p \leq 0.05$) نسبت به گروه شاهد شد، اما مقایسه بین غلظت‌ها نشان داد که بین غلظت‌های ۲، ۴ و ۱۰ پی پی ام تیمار بالک سلنیوم و نانو سلنیوم ابتدا مقدار لیکوپن ($p \leq 0.05$) در غلظت‌های پایین افزایش و در غلظت ۱۰ نسبت به دو غلظت ۲ و ۴ کاهش یافت، در واقع بیشترین میزان لیکوپن تولید شده در میوه تحت تاثیر تیمار ۴ میلی گرم بر لیتر بالک سلنیوم و نانو مشاهده شد که تقریباً دو برابر میزان لیکوپن تولید شده در گروه شاهد بوده است (نمودار ۳). در مقایسه بین فرم نانو و بالک، فرم نانو در افزایش میزان لیکوپن میوه موثر تر بوده است.

بحث

Navaz و همکاران (2013) [۲۲]، دهقانی (۱۳۹۷) [۲۳] و Saffaryazdi و همکاران (2012) [۲۴، ۲۵] گزارش دادند که پیش تیمار بذره‌های گندم با سلنات سدیم، بذره‌های گون‌گزی با نانو سلنیوم و غلظت پایین نانو سلنیوم در اسفناج سبب افزایش طول ریشه، شاخص تحمل و بیومس می‌شود که با نتایج تحقیق در غلظت پایین سلنیوم ۲ ppm هم‌خوانی دارد. که می‌تواند به دلیل نقش عنصر سلنیوم بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی باشد. Hajiboland & Keivanfar (2012) [۲۶] بیان داشتند که سلنیوم در غلظت کم می‌تواند اثرات مفیدی بر رشد گیاه داشته باشد. همچنین Pennanen و همکاران (2002) [۲۷] نیز بیان داشتند که سلنیوم با تأخیر در کاهش توکرفرول در شرایط آبیاری مطلوب در سیب‌زمینی سبب تجمع بیومس می‌شود.

Yao و همکاران (2011) [۲۸] گزارش نمودند که افزایش سلنیوم به‌طور معناداری سبب افزایش وزن اندام هوایی و کاهش وزن ریشه شد. Ramos و همکاران (2010) [۵] گزارش دادند که درکشت‌گلدانی بیوماس اندام هوایی کاهو تحت تیمار سلنات و سلنیت سدیم در غلظت‌های ۴ و ۸ به ترتیب به میزان ۵/۶۷ و ۳/۶۹ درصد

Asmar و همکاران (2013) [۳۸]، Magno و Queiroz Luz و همکاران (2011) [۳۹] و Moghanloo و همکاران (2019) [۳۶] بیان داشتند که استفاده از نانو سیلیس در محیط کشت سبب تغییر در آناتومی ساقه موز و ساقه گیاه *Astragalus fridae* می شود به طوریکه قطر ساقه متناسب با غلظت نانو سیلیس سبب کاهش قطر ساقه گیاه *Astragalus fridae* و قطر آوند چوب متعاقب با آن در مقایسه با شاهد شده است؛ که با نتایج ما در غلظت های پایین نانو سلنیوم (۲ و ۴ ppm) که قطر دهانه آوند چوب و قطر ساقه در مقایسه با کنترل کاهش یافته است. همسویی دارد، این نتایج با بیان PAL که نقش مهمی را در فرایند لیگنینی شدن ایفا می کند تطابق دارد.

برگ

Moghanloo و همکاران (2019) [۳۶] افزایش قطر برگ و افزایش ضخامت استوانه مرکزی برگ در تیمار نانو سیلیس را در گیاه *Astragalus fridae* در شرایط محیط کشت بیان کردند که با نتایج تحقیق اخیر که افزایش قطر برگ را در تیمار ۴ ppm نانو سلنیوم در مقایسه با شاهد نشان داده بود، همسویی دارد.

در پژوهشی که توسط Nazaraliana و همکاران (2017) [۴۰، ۴۱] در زمینه تاثیر نانو سیلیکون بر گیاه شنبلیله انجام شد قطر دهانه آوند چوبی و همچنین چوبی شدن دیواره آوندهای چوبی در حضور نانو سیلیکون افزایش یافت که این افزایش در راستای افزایش بیان ژن PAL بود که با نتایج تحقیق اخیر در برگ نیز تطابق دارد.

رنگدانه های فتوسنتزی

سلنیوم سبب ایجاد سمیت در غلظت های بالا می شود که می تواند به دلیل قطع ارتباط سلنیوم با متابولیسم های گوگردی، جایگزینی اسید آمینه های دارای گوگرد با سلنیوم و جذب آن ها به وسیله پروتئین ها باشد. در مطالعه ما غلظت بالای سلنیوم سبب تخریب فتوسنتز می شود که مطابق با یافته های Mostofa و همکارانش (2017) [۴۲] در برنج می باشد. کاروتنوئیدها رنگدانه های آنتی اکسیدانی هستند که

غلظت ها سبب تغییرات تشریحی در ریشه ها می شود بطوریکه nSe در غلظت های کم سبب ایجاد بافت ثانویه و الیاف شده و در غلظت های مهاری، تمایز بافت های آوندی را محدود می کند و سبب تأخیر در تمایز بافت های آوندی اولیه و کاهش قطر ریشه می شود که همسو با یافته های تحقیق اخیر می باشد.

ساقه

در ساقه نانو سلنیوم در غلظت بالا رشد گیاه و تمایز بافت را از طریق اختلال در تقسیم سلولی، رشد و تمایز مختل می کند. بدیهی است که بافت های هادی نقش حیاتی را در جذب و انتقال مواد در گیاه ایفا می کنند. بر اساس نتایج ما تیمار نانو سلنیوم سبب تسریع تمایز چوب می شود. غلظت سمی nSe باعث تمایز بافت xylem می شود که ممکن است به عنوان یک زمینه اصلی در مکانیسم سمیت در نظر گرفته شود. این تفاوت های مورفولوژیکی و تشریحی در پاسخ به nSe نشانه های واضح از تغییرات هورمونی، به ویژه اتیلن و اکسین و همچنین اختلال در مرستم های راسی است.

عسگری و همکاران (۱۳۹۸) [۳۷] افزایش قطر دهانه آوندی، ضخامت دیواره سلولی آوند چوب و همچنین افزایش قطر ساقه، قطب های آوندی و دهانه آوندی ثانویه در تیمار نانو سیلیکون و سیلیکات در جو دوسر را بیان کردند که همسو با یافته های تحقیق اخیر می باشد.

Rajae و همکاران (2020) [۱۷]، Sotoodehnia و همکاران (2020) [۱۶] بیان داشتند تیمار nSe منجر به تغییر در اندازه سلول و تمایز بافت به صورت وابسته به غلظت، به ویژه در بافت های هادی می شود و سمیت nSe با مهار تمایز زایلیم در ساقه همراه است. به طوری که که nSe در غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر به طور قابل توجهی قطر ساقه، ضخامت پوست و قطر استوانه مرکزی را در مقایسه با شاهد را افزایش می دهد. از طرف دیگر، nSe در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر اثرات منفی بر آناتومیک شاخص ها می گذارد و سبب کاهش قطر ساقه، ضخامت پوست و قطر استوانه مرکزی می شود.

و مسیرهای متابولیک [۵۰، ۵۱] تنظیم شده است. مطالعات متعددی اثرات محافظت‌کننده سلنیوم در غلظت‌های پایین را در شرایط تنش گیاهان نشان داده‌اند [۵۳، ۵۴، ۱۱]. علاوه بر این، اثربخشی قابل توجهی از سلنیوم در بهبود عملکرد فتوسنتز در گونه‌های مختلف گیاهی مانند توت فرنگی، ماش [۵۴] و تربچه [۵۵] مشهود است. Moghanloo و همکاران (2019) [۳۶]، Ghasempour و همکاران (2019) [۵۶] نیز بیان داشتند که میزان کلروفیل و کاروتنوئید در تیمار نانو سیلیس در گیاه *Astragalus fridae* و نانو تیوب آهن در *Catharanthus roseus*، افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تیمار ۲ و ۴ ppm نانو سلنیوم سبب به دست آمدن بهترین نتایج رشدی مثل طول ساقه و ریشه در گیاه گوجه‌گیلاسی می‌شود و تمایز بافت‌ها و تکوین اندام‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از این رو می‌توان این تیمار را برای پژوهش‌های آینده توصیه کرد. تیمار با نانوذره سلنیوم در غلظت مناسب به دلیل اینکه در مراحل اولیه رشد نیتروژن را که جز اصلی بسیاری از ترکیبات ضروری از جمله اسیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک است را در اختیار گیاه قرار می‌دهد، نقش مهمی در تشکیل پروتوپلاسم و سلول‌های جدید ایفا می‌کند و سبب افزایش طول گیاه می‌گردد. این تحقیق شواهد تشریحی (آناتومیکی) فراهم می‌کند که می‌تواند دانش ما را در زمینه اثرات احتمالی سلنیوم افزایش دهد.

منابع

- [1] Koul A, Yogindran S, Sharma D, Kaul S, Venkat Rajam M, K Dhar M. Carotenoid profiling, in silico analysis and transcript profiling of miRNAs targeting carotenoid biosynthetic pathway genes in different developmental tissues of tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016; 108: 412-421.
- [2] Kim JK, Paik JK, Kim OY, Park HW, Lee JH, Jang Y, Lee JH. Effects of lycopene supplementation on oxidative stress and

پراکسیداسیون کلروفیل و تخریب کلروپلاست را محدود می‌کنند. نتایج ما نشان می‌دهد که در معرض بودن با غلظت بالای سلنیوم اثر مهاری بر محتوای کلروفیل به دلیل کاهش محتوای کاروتنوئیدها دارد که ممکن است سبب بهم زدن کارایی فتوسنتز شود [۲۲]. محتوای کلروفیل به طور معناداری با کاربرد غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم در سیب‌زمینی [۴۳] ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در سویا (*Glycine max*) [۴۴]، ۵ میکرومول در گوجه (*Solanum lycopersicum*) [۴۵]، ۵۰ میکرومول در لیتزر در پرتقال [۴۶]، ۱ میکرومول نانو سلنیوم در گوجه [۴۵] یا ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در لوبیای خوشه‌ای (۴۷) افزایش یافت. این نتایج متفاوت ممکن است به دلیل تفاوت در گونه محصول، شرایط آزمایش یا توانایی استفاده از سلنیوم باشد [۴۵]. Hu و همکارانش (2018) [۱۹] بیان داشتند که اندازه نانو ذره و روش سنتز نانو ذره در سرعت جذب در گیاه موثر است و قطر کوچکتر از ۵۰ نانو متر راحت‌تر جذب می‌شود؛ بنابراین استفاده از غلظت کمتر نانو سلنیوم با مدیریت بهینه آب ممکن است جذب نانو سلنیوم بوسیله گیاه در خاک را بهبود بخشد و به عنوان یک کود جدید برای باروری گیاه به خدمت گرفته شود. غلظت بهینه سلنیوم ممکن است نقش مهمی را در افزایش رنگدانه‌ها بوسیله افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تاخیر پیری بافت برگی را بازی کند. این افزایش ممکن است به توانایی سلنیوم در حفاظت آنزیم‌های کلروپلاستی و موثر بودن بر وضعیت اکسیداسیون/احیای برگ‌ها مرتبط باشد [۴۸].

همچنین این متنوع بودن در پاسخ‌های گیاهی در مطالعه Ahmed و همکارانش (2018) [۴۹] که گیاهان کرفس را تحت تیمار سلنیوم ۱۰ یا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد بدون تیمار بررسی کردند مشاهده شده است. بیشتر سطوح Se باعث افزایش رنگدانه‌های فتوسنتز (کلروفیل a، b و کاروتنوئیدهای کل) در مراحل رویشی و گلدهی شده است، به استثنای ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم که باعث کاهش آن شده است (۴۹).
به خوبی مشخص شده است که بیوسنتز کاروتنوئیدها از طریق درگیری فیتوهورمون‌های متنوع، آبشارهای سیگنالینگ

- markers of endothelial function in healthy men. *Atherosclerosis* 2011; 215: 189-195.
- [3] Yan-de J, Zhen-li HE and Xiao-e Y. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Journal of Zhejiang University Science B*. 2007; 8: 192-207.
- [4] Siddiqui S, H. Goddard R, K. Bielmyer-Fraser G. Comparative effects of dissolved copper and copper oxide nanoparticle exposure to the sea anemone, *Exaiptasia pallida*. *Aquatic Toxicology*. 2015; 160: 205-213.
- [5] Ramaza A, Hafiz IA, Ahmad T, Abbasi NA. Effect of priming with potassium nitrate and Dehusking on seed germination of *Gladiolus* (*Gladiolus alatus*). *Pakistan Journal*. 2010; 42(1): 248-251.
- [6] Zhou N, Xiao H, Li TK, Nur-E-Kamal A F, Liu L. DNA Damage-mediated Apoptosis Induced by Selenium Compounds. *THE JOURNAL OF BIOLOGICAL CHEMISTRY*. 2003; 278(32): 29532-29537.
- [7] Husen A and Siddiqi KS. Plants and microbes assisted selenium nanoparticles: characterization and application. *Journal of Nanobiotechnology*. 2014; 12:28.
- [8] Karami Mehrian S, De Lima R. Nanoparticles cytotoxicity and genotoxicity in plants: Mechanisms and abnormalities. *Environmental Nanotechnology. Monitoring & Management*. 2016; 6: 184-193.
- [9] Singh NB, Imtiyaz H, Singh SC. Plant-nanoparticle interaction: An approach to improve agricultural practices and plant productivity. *International Journal of pharmaceutical Science invention*. 2015; 4: 2379-6718.
- [10] Kolbert Z, Molnár Á., Feigl G., Van Hoewyk D. Plant selenium toxicity: Proteome in the crosshairs. *Journal of Plant Physiology*, 2019 ;232: 291-300
- [11] Babajani A, Iranbakhsh A, Ardebili ZO and Eslami B. Differential growth, nutrition, physiology, and gene expression in *Melissa officinalis* mediated by zinc oxide and elemental selenium nanoparticles. *Environ Sci. Poll. Res*. 2019a; 26(24): 24430-24444.
- [12] Nazerieh H, Ardebili ZO, Iranbakhsh A, Potential benefits and toxicity of nanoselenium and nitric oxide in peppermint. *Acta Agric. Slov*. 2018; 111(2): 357-368.
- [13] Babajani A, Iranbakhsh A, Ardebili ZO and Eslami B. 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*. 2019b; 39(1): 21-34.
- [14] Djanaguiraman M, Belliraj N, Bossmann S, Prasad PV. High temperature stress alleviation by selenium nanoparticle treatment in grain sorghum. *ACS Omega*. 2018; 3(3): 2479-2491.
- [15] Safari M, Ardebili ZO and Iranbakhsh A. Selenium nano-particle induced alterations in expression patterns of heat shock factor A4A (HSFA4A), and high molecular weight glutenin subunit 1Bx (Glu-1Bx) and enhanced nitrate reductase activity in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiol. Plant*. 2018; 40(6): p117.
- [16] Sotoodehnia-Korani S, Iranbakhsh A, Ebadi M, Majd A and Ardebili ZO. Selenium nanoparticles induced variations in growth, morphology, anatomy, biochemistry, gene expression, and epigenetic DNA methylation in *Capsicum annum*; an in vitro study. *Environmental Pollution*. 2020; p114727. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114727>
- [17] Rajae Behbahani S, Iranbakhsh A, Ebadi M, Majd A and Ardebili ZO. Red elemental selenium nanoparticles mediated substantial variations in growth, tissue differentiation, metabolism, gene transcription, epigenetic cytosine DNA methylation, and callogenesis in bitter melon (*Momordica charantia*); an in vitro experiment. *PloS one*. 2020; 15(7): 0235556.
- [18] Zahedi SM, Abdelrahman M, Hosseini MS, Hoveizeh NF and Tran LSP. Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environ. Poll*. 2019; 253: 246-258. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.078>

- [19] Hu T, Li H, Li J, Zhao G, Wu W, Liu L, Wang Q, Guo Y. Absorption and bio-transformation of Selenium nanoparticles by wheat seedlings (*Triticum aestivum* L). *Front. Plant Sci.* 2018; 9: 597
- [20] Arnon Daniel I. Copper enzzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plantphysiology.* 1949; 24:1-15.
- [21] Wayne W. Fish, Penelope Perkins-Veazie, Julie K. Collins,
- [22] A Quantitative Assay for Lycopene That Utilizes Reduced Volumes of Organic Solvents, *Journal of Food Composition and Analysis*, 2002; 15, 3,309-317.
- [23] Navaz F, Ashraf MY, Ahmad R and Waraich EA. Selenium (Se) Seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. *Biol.Trace Element. Res.* 2013; 151: 284-293.
- [24] Dehghani Bidgoli R. Effect of Nanoparticles of selenium (Nano Se) and Rice Bran Extract on Germination and Some Morphophysiological Characteristics of (*Astragalus adscendens* Boissier), *Journal of Developmental Biology.* 2018; 10(2).
- [25] Saffaryazdi A, Lahouti M, Ganjeali A and Bayat H. Impact of selenium supplementation on growth and selenium accumulation on spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants. *Notulae Scientia Biologicae.* 2012a; 4: 95-100.
- [26] Saffaryazdi A, Lahouti M and Ganjali A. Effect of different concentrations of selenium on morphophysiological characteristics on spinach *Spinaciaoleracea*. *Journal of Horticultural Science (Agricultural Science and Technology).* 2012b; 26 (3): 300-292.
- [27] Hajiboland R and Keivanfar N. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Agriculturae Slovenica.* 2012; 99(1): 13–19.
- [28] Pennanen A, Xue T and Hartikainen H. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. *J. Appl. Bot.* 2002; 76: 66- 76.
- [29] Yao X, Chu J, He X and Ba C. Protective Role of selenium in Wheat seedlings Subjected to Enhanced UVB Radiation. *Russian. J. Plant Physiol.* 2011; 58: 283–289.
- [30] Bhardwaj P, Chaturvedi AK and Prasad P. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of (*Phaseolus vulgaris* L.). *Nature and Science.* 2009; 7(8): 63-75.
- [31] Sharifi P, Matlabi A, Hadi H and Mohamad Alipor H. Effect of different concentrations cadmium chloride on germination, growth parameters and soluble protein in seedling of lentils. *The First National Conference on Sustainable Agriculture and Healthy Crop Production. Agricultural and Natural Resources Investigation Center in Isfahan.* 2010; http://www.civilica.com/Paper-SACP01-SACP01_269.htm
- [32] Arzoo A, Kumar S, Ashirbad N, Kunja M and Satapathy B. Impact of nickel on germination, seedling growth and biochemical changes of *Macrotyloma uniflorum* (Lam) verdc. *International Journal of Biosciences.* 2014; 5(9): 321-331.
- [33] Ulhassan Z, Ali S, A Gill R, M Mwamba T, Abid M, Li L, Zhang N, Zhou W. Comparative orchestrating response of four oilseed rape (*Brassica napus*) cultivars against the selenium stress as revealed by physio-chemical, ultrastructural and molecular profiling. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2018; 161: 634–647.
- [34] Hussein HA, M Darwesh O, B Mekki B. Environmentally friendly nano-selenium to improve antioxidant system and growth of groundnut cultivars under sandy soil conditions. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology.* 2019; 18: 101080.
- [35] Iranbakhsh A, Ardebili ZO, Ardebili NO, Ghoranneviss M, Safari N. Cold plasma relieved toxicity signs of nano zinc oxide in *Capsicum annum* cayenne via modifying growth, differentiation, and physiology. *Acta Physiol Plant.* 2018; 40(8):154.
- [36] Kaur S, Nayyar H. Selenium fertilization to salt-stressed mungbean (*Vigna radiate* L. Wilczek) plants reduces sodium uptake, improves reproductive function. pod set and seed yield. *Scientia Horticulturae.* 2015; 197:304-317.

- [37] Moghanloo M, Iranbakhsh A, Ebadi M, Ardebili ZO. Differential physiology and expression of phenylalanine ammonia lyase (PAL) and universal stress protein (USP) in the endangered species *Astragalus fridae* following seed priming with cold plasma and manipulation of culture medium with silica nanoparticles. *3Biotech*. 2019; 9(7): p288.
- [38] Asgari F, Majd A, Jonoubi P, Najafi F. Short-term effects of nano silicon on some physiological and histological characteristics of oat (*Avena sativa* L.) and its comparison with sodium silicate. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 2018; 33(2): 422-433.
- [39] Asmar SA, Castro EM, Asqual MP, Pereira FJ, R Soares JD. Changes in leaf anatomy and photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. *Scientia Horticulturae*. 2013; 16: 328-332.
- [40] Magno Queiroz Luz J, Abreu Asmar S, Pasqual M, Gomes de Araujo A, Pio LAS and Ferreira Resende R. Modifications in Leaf Anatomy of Banana Plants Cultivar 'Maçã' Subjected to Different Silicon Sources In Vitro. *Acta Hort*. 2011; 961: 239-243.
- [41] Nazaralian S, Majdb A, Irianc S, Najafia F, Ghahremaninejada F, Landbergd T, Gregerm. Comparison of silicon nanoparticles and silicate treatments in fenugreek, *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017; 115: 25-33.
- [42] Nazaralian S, Majd A, Irian S, Ghahremaninejad F, Najafi F, Greger M. The effects of silicate and silicon nanoparticles on seed germination and growth parameters of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Developmental Biology*. 2016; 8(3):53-62.
- [43] Mostofa M G, Hossain M A, Siddiqui M. N, Fujita M & Tran L S P. Phenotypical, physiological and biochemical analyses provide insight into selenium-induced phytotoxicity in rice plants. *Chemosphere*. 2017; 178: 212-223.
- [44] Germ M & Stibilj V. Selenium and plants. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2007; 89(1), 65-71.
- [45] Djanaguiraman M, Devi D D, Shanker A K, Sheeba J A & Bangarusamy U. Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*. 2005; 272(1-2): 77-86.
- [46] Haghghi M, Abolghasemi R, A Teixeira da Silva J. Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment. *Scientia Horticulturae*. 2014; 178: 231-240.
- [47] Ibrahim H I M & Al-Wasfy M M. The promotive impact of using silicon and selenium with potassium and boron on fruiting of Valencia orange trees grown under Minia region conditions. *World Rural Observations*. 2014; 6(2): 28-36.
- [48] Ragavan P, Ananth A & Rajan M R., Impact of selenium nanoparticles on growth, biochemical characteristics and yield of cluster bean *Cyamopsis tetragonoloba*. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. 2017; 2(6).
- [49] Zhang C, Xu B, Geng W, Shen Y, Xuan D, Lai Q & Yu C., Comparative proteomic analysis of pepper (*Capsicum annum* L.) seedlings under selenium stress. *PeerJ*. 2019; 7: e8020.
- [50] Ahmed A M A, El-Kady F A & Khalid A K. Comparison between salicylic acid and selenium effect on growth and biochemical composition of celery. *Asian J Plant Sci*. 2018; 17: 150-159.
- [51] Cruz AB, Bianchetti RE, Alves FRR, Purgatto E, Peres LEP, Rossi M and Freschi L. Light, ethylene and auxin signaling interaction regulates carotenoid biosynthesis during tomato fruit ripening. *Frontiers in plant science*. 2018; 9: p1370.
- [52] Li C, Ji J, Wang G, Li Z, Wang Y and Fan Y. Over-Expression of LcPDS, LcZDS, and LcCRTISO, Genes From Wolfberry for Carotenoid Biosynthesis, Enhanced Carotenoid Accumulation, and Salt Tolerance in Tobacco. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 11: p119.
- [53] Yin H, Qi Z, Li M, Ahammed GJ, Chu X and Zhou J. Selenium forms and methods of application differentially modulate plant growth, photosynthesis, stress tolerance, selenium content and speciation

- in *Oryza sativa* L. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019; 169: 911-917.
- [54] Elkelish AA, Soliman MH, Alhaithloul HA and El-Esawi MA. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019; 137: 144-153.
- [55] Alam MZ, McGee R, Hoque MA, Ahammed GJ and Carpenter-Boggs L. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Selenium and Biochar on Photosynthetic Pigments and Antioxidant Enzyme Activity Under Arsenic Stress in Mung Bean (*Vigna radiata*). *Frontiers in Physiology*. 2019; 10.
- [56] Amirabad SA, Behtash F and Vafaei Y. Selenium mitigates cadmium toxicity by preventing oxidative stress and enhancing photosynthesis and micronutrient availability on radish (*Raphanus sativus* L.) cv. Cherry Belle. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020; 1-15.
- [57] Ghasempour M, Iranbakhsh A, Ebadi M, Oraghi Ardebili Z. Multi-walled carbon nanotubes improved growth, anatomy, physiology, secondary metabolism, and callus performance in *Catharanthus roseus*: an in vitro study. *Biotech*. 2019; 9:404.

The effect of Selenium nanoparticles on some morphological and anatomical features of Cherry tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.var. *cerasiforme*)

Neysanian M.¹, Iranbakhsh A. ^{1*}, Ahmadvand R.¹, Oraghi Ardebili Z.², Ebadi M.⁴

¹ Department of Vegetables Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organiza, Tehran, Iran.

² Department of Biology, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran.

³ Department of Biology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

* (Corresponding author): Iranbakhshar@ yahoo.com

Received: January 2021

Accepted: July.2021

Abstract

Selenium is a beneficial element with antioxidant properties that increases plant growth and tolerance to abiotic stresses. In order to investigate the effect of Nano Selenium solution treatments on Cherry Tomato plant growth, treatments including Sodium Selenate (bulk) and Selenium nanoparticles were applied at four levels (0 as control, 2, 4 and 10 ppm). The experimental results showed that interaction between Selenium nanoparticles and all studied traits (fresh weight, dry weight, anatomical indices of roots and stems and leaves, chlorophyll content) were significantly different at 1% level. Treatments caused morphological changes in stems, roots and leaves compared to controls. The highest increase in root and leaf diameter was observed in group four Nano Selenium (21.55 and 1.1%) compared to the control. All treatments reduced stem diameter compared to control. An increasing trend of root and stem central cylinder thickness was observed in proportion to the concentration compared to the control. Both Nano-Selenium and bulk Selenate reduced the differentiation of xylem vessels in leaves compared to the controls. The results of studied morphological and anatomical traits indicated that the use of two levels of Nano-Selenium concentrations, 2 and 4 ppm, improved the growth parameters, in contrast, application of 10 ppm Nano-Selenium concentration reduced the growth parameter, the content of plant pigments in comparison with the control sample. Over ally, the results showed that Selenium treatment in appropriate amounts can contribute to the optimal yield of cherry tomatoes and increase plant growth and pigmentation and affect tissue differentiation and organ development.

Keywords: Anatomy, Morphology, Cherry Tomato, Nano Selenium.