

بررسی اثر نانو ذره سلنیوم بر تحمل تنش خشکی در گیاه گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L. var.cerasiforme)

مریم نیسانیان^۱، علیرضا ایرانبخش (نویسنده مسئول)^{۲*}، رحیم احمدوند^۳، زهرا اوراغی اردبیلی^۴ و مصطفی عبادی^۵
۱- دانشجوی دکتری، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، mneysanian@yahoo.com
۲* - استاد تمام، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، Iranbakhsh@iau.ac.ir
۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، Ahmadvandra@gmail.com
۴- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، Zahraoraghi@yahoo.com
۵- استادیار، گروه زیست‌شناسی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران، mtf.ebadi@gmail.com

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۰

Investigation of the effect of selenium nanoparticles on drought stress tolerance in cherry tomato plant (*Solanum lycopersicum* L. var.cerasiforme) Maryam Neysanian¹, Alireza Iranbakhsh (Corresponding author)^{2*}, Rahim Ahmadvand³, Zahra Oraghi Ardebili⁴ and Mostafa Ebadi⁵

1- Ph.D student, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mneysanian@yahoo.com
2*- Professor, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Iranbakhsh@iau.ac.ir
3- Assistant Professor, Department of Vegetables Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education & Extension Organization, Karaj, Iran, Ahmadvandra@gmail.com
4- Associate professor, Department of Biology, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, Zahraoraghi@yahoo.com
5- Assistant Professor, Department of Biology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran, mtf.ebadi@gmail.com

Received: August 2021

Accepted: November 2021

Abstract

This study was performed to investigate the effect of selenium nanoparticles on some morphological and phytochemical properties of cherry tomato plant (*Solanum lycopersicum* L. var.cerasiforme) under drought stress conditions in a completely randomized design with 4 treatments including (0, 2, 4 and 10 mg/l) Selenium and the interaction of selenium on drought (50% of field capacity) was repeated 3 times. For this purpose, first the seeds were planted in pots hydroponically and selenium (sodium selenate as bulk control and nano selenium) was treated weekly as a leaf spray from the 5-6 leaf stage of the plant. After 3 days of the seventh treatment, morphological and phytochemical analyzes were performed. The evaluated traits included shoot and root length, fresh and dry weight of shoot and root, chlorophyll content, content of some elements in leaves and antioxidant enzymes. The results showed that the highest fresh and dry weight of shoots, shoot length and chlorophyll a and b content were observed in the treatment of 4 mg/l nano-selenium compared to the control. The highest content of zinc per leaf was observed in the treatment group of 4 mg/l nano-selenium and the content of selenium in the treatment of 10 mg/l nano-selenium was observed in comparison with the control. The highest activity of antioxidant enzymes catalase and superoxide dismutase was observed in the treatment group of 10 mg/l nano-selenium compared to the control. In general, treatment of 4 mg/l nano-selenium increased plant tolerance to drought stress and growth.

Keywords: Antioxidant enzymes, Chlorophyll, Drought stress, Nano selenium.

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

سال ۱۴۰۰، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۴۱-۲۷

چکیده

این تحقیق جهت بررسی اثر نانو ذره سلنیوم بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیتوشیمی گیاه گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L. var.cerasiforme) تحت شرایط تنش خشکی بصورت طرح کاملاً تصادفی با اعمال ۴ سطح تیمار شامل (صفر، ۲، ۴ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر) سلنیوم و اثر متقابل سلنیوم بر خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۳ بار تکرار انجام شد. برای این منظور ابتدا بذرها در گلدان‌ها به صورت هیدروپونیک کشت شدند و سلنیوم (سلنات سدیم به عنوان شاهد بالک و نانوسلنیوم) به صورت محلول پاشی برگ‌ها از مرحله ۵-۶ برگ گیاه به صورت هفتگی استفاده شد. ۳ روز پس از گذشت هفتمین تیمار، آنالیزهای مورفولوژیک و فیتوشیمی انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل طول بخش هوایی و ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای کلروفیل، میزان برخی عناصر در برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی، طول بخش هوایی و محتوای کلروفیل a و b در تیمار ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم در مقایسه با شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان عنصر روی در برگ، در گروه تیماری ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم و میزان عنصر سلنیوم در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم در مقایسه با شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسید دسموتاز در گروه تیماری ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم در مقایسه با شاهد مشاهده شد. به طور کلی تیمار ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم سبب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی و رشد گردید.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تنش خشکی، کلروفیل، نانوسلنیوم.

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

سال ۱۴۰۰، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۴۱-۲۷

مقدمه و کلیات

خطرات بالقوه کاربردهای بیولوژیکی نانو مواد را تعیین می‌کند (Abbasi *et al.*, 2020a; Abbasi *et al.*, 2020b). تنش خشکی یکی از جدی ترین تنش های محیطی است که رشد، کیفیت، عملکرد و توزیع گونه های گیاهی را در سراسر جهان تحت تاثیر قرار می دهد. قرار گرفتن گیاهان در شرایط آب محدود، سبب ایجاد طیف وسیعی از تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی می شود تا بتواند شرایط استرس زا را تحمل کنند و سبب بهبود عملکرد گیاه شوند. تنش خشکی استرس اسمزی را ایجاد می کند و اغلب با تنش های ثانویه مانند آسیب اکسیداتیو و همچنین تولید مولکول های غیر رادیکال سمی و تجمع بیش از حد گونه های اکسیژن واکنش پذیر (ROS) در سلول ها همراه است. استفاده از NPها به نظر می رسد یک روش جدید در میان روش های پذیرفته شده برای محافظت از گیاهان در برابر تنش های غیرزیستی به منظور کاهش تنش های محیطی زیستی باشد (Zahedi *et al.*, 2020). با وجود اینکه برخی از شاخص های رشد ممکن است تحت تنش کمبود آب کاهش یابد، استفاده از NP باعث تقویت رشد گیاه می شود. یکی از NP های مرتبط در این زمینه نانوسلنیوم (Se-NPs) است. Se-NPها به دلیل سمیت کم، دسترسی زیستی زیاد و فعالیت زیستی بالا، توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Hosnedlova *et al.*, 2018). گونه های گیاهی مختلف در معرض نانو ذرات متفاوتی قرار می گیرند، این ذرات از راه های گوناگونی جذب و متراکم می شوند. محل جذب نانو ذرات بر جذب آنها توسط گیاهان موثر است (Schwab *et al.*

یک عنصر فلزی است که به عنوان یک ریز مغذی اساسی در بدن انسانها و بسیاری از موجودات زنده دیگر شناخته می شود (Djanaguiraman *et al.*, 2018; Zahedi, Hosseini *et al.*, 2019). مرز بین مفید بودن و مضر بودن این عنصر بسیار ظریف است و به فرم شیمیایی این عنصر، غلظت و سایر غلظت های محیط بستگی دارد (Mahn, 2017). در عصر حاضر به ویژه در دو دهه گذشته، استفاده از فناوری نانو و نانومواد در بسیاری از زمینه های زندگی افزایش یافته است. علوم نانو و فناوری نانو در زمینه های مختلف مانند علوم گیاهی و کشاورزی به موفقیت هایی مختلف دست پیدا کرده است (Abbasi *et al.*, 2020a). نانوذرات (NP) می توانند از مجموعه ای مولکول های مصنوعی در اندازه ها و اشکال مختلف سنتز شوند (Zahedi *et al.*, 2020). این خصوصیات بر خواص فیزیکی شیمیایی ذرات و همچنین بر جذبشان در گیاهان و جانوران موثر است. اثر NPها بر کیفیت و یا مقدار محصولات به شدت به خواص ذرات مانند اندازه، شکل، پایداری، ترکیب فیزیکی یا شیمیایی، غلظت ذرات و گیرنده های آنها وابسته است (Kumar *et al.*, 2018). به دلیل خواص فیزیکوشیمیایی بی نظیر و منحصر به فرد نانوذرات، نانو ترکیبات پاسخهای متفاوتی را در سیستم های بیولوژیکی در مقایسه با فرم بالک القا می کنند (Abbasi *et al.*, 2020a; Abbasi *et al.*, 2020b). در این راستا، روش سنتز، غلظت، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و گونه های سیستم های بیولوژیکی عوامل اصلی هستند که مزایا یا

حفظ تعادل آب داخل سلول از طریق بهبود اسمولیت‌ها و محافظت کنندگان اسمزی است (Ahmad *et al.*, 2016). محلول پاشی تیمار ۲۰ گرم در هکتار سلنیوم سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه ذرت شده است. همچنین محلول پاشی سلنیوم در شرایط تنش خشکی موجب افزایش صفاتی از قبیل ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد (Sajedi *et al.*, 2011). نانوذرات سیلیسیوم کارایی مصرف آب را با اثرگذاری بر خصوصیت مرطوب بودن لوله‌های آوند چوبی و میزان انتقال آب افزایش می‌دهند (Wang, 2011).

فرآیند پژوهش

در این مطالعه، محلول استوک نانو سلنیوم قرمز ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، از کمپانی Nanosany مشهد تهیه شد. اندازه نانو ذره ۱۰-۴۰ نانومتر و $3/89 \text{ cm}^3$ و تقریباً کروی بود. از سلنات سدیم (Na_2SO_4) به عنوان منبع بالک استفاده شد. دانه‌های گوجه در گلدان‌های حاوی پرلیت و ورمی کولیت به نسبت ۳ به ۱ قرار گرفتند. جهت تامین مواد مغذی برای گیاه از محلول غذایی هوگلند استفاده شد. وقتی گیاهان در مرحله ۵-۶ برگگی بودند (۳۵ روزگی گیاه) محلول پاشی سلنیوم و نانو سلنیوم در غلظت‌های صفر، ۲، ۴، و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، هفته‌ای یک بار و با ۳ بار تکرار انجام شد. ۷۲ ساعت پس از سومین تیمار سلنیوم و نانو سلنیوم گیاهان در معرض تنش خشکی با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به مدت یک ماه قرار گرفتند. تیمار سلنیوم و نانو سلنیوم همچنان به مدت ۴ هفته بعد از شروع تیمار خشکی ادامه یافت.

(al., 2016). اگرچه نقش Se-NPs در گیاهان به وضوح نشان داده نشده است، مطالعات گذشته نشان داده است که استفاده از Se-NP موجب بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، رشد و عملکرد گیاهان شود. علاوه بر این، افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز و گلوکاتایون پراکسیداز پس از استفاده از Se-NP، آنتی‌اکسیداتیو بودن آن را توضیح می‌دهد (Djanaguiraman *et al.*, 2018). Se-NP رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند و استرس اکسیداتیو را در وابسته به اندازه کاهش می‌دهند (Hosnedlova *et al.*, 2018). مطالعات اخیر اثرات مثبت Se و Se-NPs را بر روی کمیت و کیفیت محصولات میوه نشان داده‌اند. (Zahedi, Abdelrahman *et al.*, 2019, Zahedi, Hosseini *et al.*, 2019). در گیاه شبدر استفاده خارجی از Se می‌تواند تحمل این گیاه را به پلی اتیلن گلیکول القا کننده کمبود آب، افزایش دهد. که این افزایش مربوط به کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مثل سوپراکسید دسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز می‌باشد (Wang, 2012). استفاده سلنیوم در گندم‌های تحت تنش خشکی، همه صفات به غیر از وزن گیاه و ارتفاع بوته تحت تاثیر محلول پاشی سلنیوم قرار گرفت، محصول دانه‌ها در استفاده از سلنیوم افزایش یافت، ولی در سطوح پایین سلنیوم این افزایش مشاهده نشد. محلول پاشی سلنیوم در تنش خشکی اثرات مطلوبی را بر محتوای آب، اندیکس سطح برگگی و سرعت رشد محصول داشت و سبب افزایش آنها شد (Teimouri *et al.*, 2013). سلنیوم همچنین مسئول

فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز: مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی مولار، با $\text{pH}=7/5$ ، متیونین ۱۳mM، نیتروبلوتترازولیوم 0.1mM EDTA، (NBT) 75Mm و ۲ mM ریبوفلاوین است. ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی افزوده شد، با اندازه گیری تغییر جذب در ۵۶۰ نانومتر، میزان احیا NBT اندازه گیری شد. یک واحد فعالیت سوپراکسید دسموتاز به عنوان مقداری از آنزیم تعریف می شود که باعث ۰.۵٪ ممانعت احیا نیتروبلوتترازولیوم شود. در نهایت فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز بر اساس واحد آنزیمی گزارش شد. (Ries and Giannopolitis, 1977)

فعالیت آنزیم کاتالاز: پس از استخراج عصاره پروتئین، مقداری ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با $\text{pH}=7$ و ۰/۳ میلی لیتر آب اکسیژنه ۳٪ را در حمام یخ با ۰/۲ میلی لیتر عصاره آنزیمی مخلوط و پس از ۲ دقیقه تغییرات جذب در طول موج ۵۳۰ نانومتر خوانده شد. (Kar and Mirsha, 1976)

عناصر Zn, Se: محلول خاکستر بر اساس فرایند خشک شدن آماده شد. سپس محلولها برای بررسی عوامل مختلف ارائه شدند.

جهت تهیه خاکستر خشک از کوره الکتریکی استفاده شد، در این روش مقدار مشخصی بافت خشک در بوته چینی ۲-۸ ساعت در ۶۵۰ درجه سانتی گراد قرارداد شدند، خاکستر حاصله در محلول اسیدی حل شد، سپس با آب به حجم معینی رسانیده شد و با کاغذ صافی صاف شد. برای سنجش روی از دستگاه اتمیک ابزریشن استفاده شد (AAS; Varian, Spectr AA.200). پس از استفاده از استانداردهای

بعد از پایان تیمار خشکی ارزیابی های موفولوژیکی و بیوشیمیایی انجام شد.

بررسی صفات ریخت شناسی قابل مشاهده: طول ساقه، طول ریشه با استفاده از نرم افزار Image J win64 اندازه گیری شد، سپس وزن تر ریشه و قسمت هوایی به صورت جداگانه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه گیری شدند (Clickle and Reid, 2002). وزن خشک اندام هوایی و ریشه، پس از ۷۲ ساعت قرار گیری در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد، توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه گیری شد (Clickle and Reid, 2002).

سنجش کلروفیل: دیسک های برگ های تهیه شده از برگ تازه گیاه به وزن ۰/۵ گرم در هاون چینی محتوی ۱/۵ میلی لیتر استون ۸۰٪ ساییده شد و پس از صاف کردن با کاغذ واتمن به مدت ده دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و جذب روشناور بادستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. (Arnon, 1949)

$$chl_a = \frac{12.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}}{a \times 1000 \times w}$$

$$chl_b = \frac{19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}}{a \times 1000 \times w}$$

A_{663} : میزان جذب خوانده شده در طول موج ۶۶۳ نانومتر

A_{645} : میزان جذب خوانده شده در طول موج ۶۴۵ نانومتر

W: وزن تر نمونه برداشت شده به میلی گرم

a_a : طول مسیر عبور نور که معمولاً یک سانتی متر در نظر می گیرند.

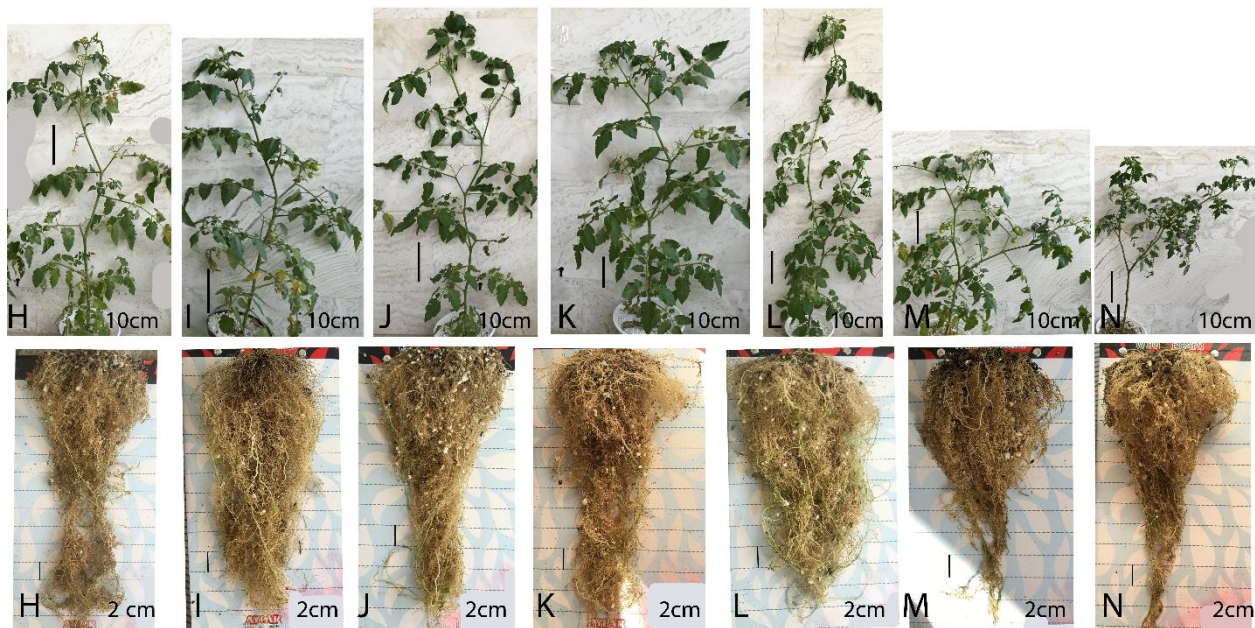
مقایسه با کنترل کمتر بود و فقط در غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، طول ریشه بسیار نزدیک با شاهد مربوطه بود. به طور کلی تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد آبیاری سبب توسعه سیستم ریشه ای و طول ریشه شدند. با این حال کارایی ریشه در غلظت مهاری سلنیوم خوب نبود زیرا که بخش هوایی گیاه رشد خوب و افزایشی را در مقایسه با شاهد نشان نمی داد (شکل ۱).

مربوطه، کالیبراسیون دستگاه رسم شد و مقدار عناصر نمونه ها محاسبه و در نهایت مقدار عناصر اندام بر اساس میلی گرم در بافت خشک محاسبه شد (ایرانبخش و اوراقی اردبیلی، ۱۳۹۳). جهت ارزیابی میزان سلنیوم برگ از دستگاه جذب اتمی مدل Flame/Graphite Furnace AASAA.200; YOUNGLIN AAS 8020 استفاده شد و مقدار سلنیوم در نهایت بر اساس میلی گرم بر بافت خشک محاسبه شد.

نتایج و بحث

تغییرات مورفولوژیک اندام هوایی و سیستم ریشه ای در اثر به کارگیری نانو سلنیم و بالک مربوطه: در شرایط تنش آبی، تنها غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر سلنیوم (نانو و فرم بالک مربوطه) طول ساقه را در مقایسه با کنترل افزایش داد به طوریکه در غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، ۲۰/۶۲٪ و در غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم ۴۲/۰۷٪ طول ساقه در مقایسه با کنترل افزایش یافت و غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم (غلظت مهاری) طول ساقه ۲۴/۵۸٪ را در مقایسه با کنترل کاهش داد. این داده ها نشان می دهد که غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم سبب افزایش تحمل گیاه به شرایط خشکی می شود. خمش در ساقه تیمار شده با نانو سلنیوم بخصوص در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر، به وضوح تولید و انباشت اتیلن را نشان داد (شکل ۱).

همچنین مورفولوژی و توسعه سیستم ریشه با بکارگیری ترکیب نانو سلنیوم وابسته به غلظت بکارگرفته شده و نوع ترکیب (بالک یا نانو) تحت تاثیر قرار گرفت. در تمامی تیمارها طول ریشه در



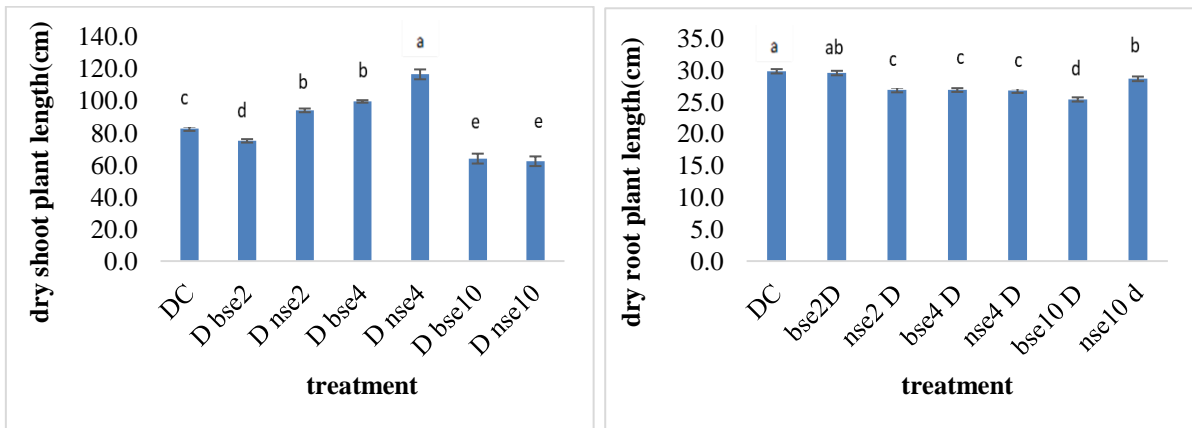
شکل ۱: اثر تیمار گیاه گوجه با سلنیوم (نانو سلنیوم و سلنات سدیم) در شرایط تنش آبی در گلدان‌ها و پاسخ گیاه به غلظت‌های مختلف nse و سلنات سدیم.

اندازه خط‌های ترسیمی در هر شکل بیان شده است. بخش‌های مختلف شکل به شرح زیر است:

H: کنترل تنش خشکی، I: ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، J: ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، K: ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، L: ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، M: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، N: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی.

Fig1: Effect of tomato plant treatment with selenium (nano selenium and sodium selenate) under water stress conditions in pots and plant response to different concentrations of nse and sodium selenate. The size of the drawing lines is expressed in each figure. The different parts of the figure are as follows:

H- control of aquatic stress; I-2 ppm Selenat sodium aquatic stress; J- 2 ppm nano selenium aquatic stress; K- 4 ppm selenate sodium aquatic stress; L- 4 ppm nano selenium aquatic stress; M- 10 ppm selenate sodium aquatic stress ; N- 10 ppm nano selenium aquatic stress.



ب- طول ساقه گیاه

الف- طول ریشه گیاه

نمودار ۱: اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر طول بخش هوایی و طول ریشه گوجه گیلانی در شرایط تنش آبی

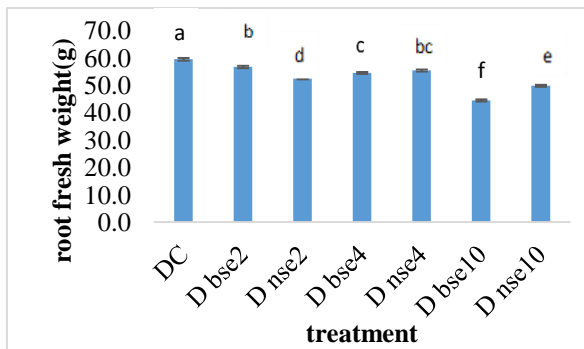
DC: کنترل تنش خشکی، Dbse2- ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، Dnse2- ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، Dbse4- ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، Dnse4- ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، Dbse10- ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، Dnse10- ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی.

Fig1: Effect of different concentrations of selenium on shoot length and root length of cherry tomatoes under water stress

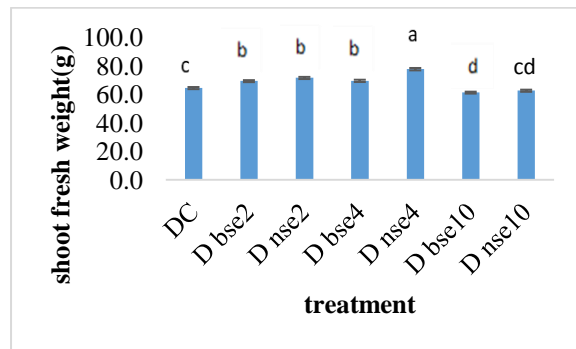
DC - control of aquatic stress; Dbse2-2 ppm Selenat sodium aquatic stress; Dnse2- 2 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse4- 4 ppm selenate sodium aquatic stress; Dnse4- 4 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse10- 10 ppm selenate sodium aquatic stress ; Dnse10- 10 ppm nano selenium aquatic stress.

(۱۸/۲۴٪) در مقایسه با شاهد مشاهده شد. در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم وزن خشک بخش هوایی در مقایسه با شاهد ۱۷/۵۸ درصد کاهش یافت (نمودار ۲). وزن تر و خشک ریشه در شرایط تنش آبی در هیچ کدام از تیمارها در مقایسه با شاهد ($p \leq 0.05$) افزایشی را نشان نداد، بطوریکه غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم بیشترین کاهش در وزن تر (۱۶/۷۰٪) و وزن خشک (۲۵/۲۶٪) ریشه را در مقایسه با کنترل نشان داد (نمودار ۲).

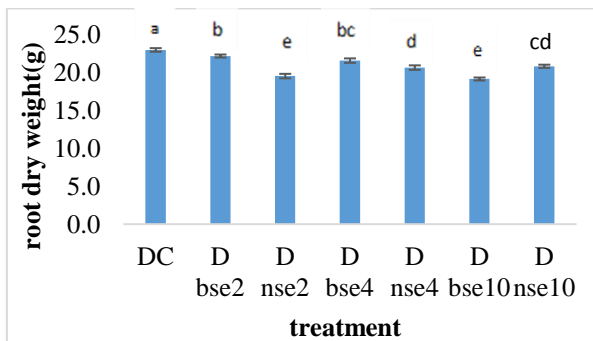
تغییرات وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در اثر بکارگیری نانو سلنیم و بالک مربوطه: در شرایط تنش آبی غلظت‌های ۲ و ۴ میلی گرم بر لیتر سلنیوم (نانو و سلنات سدیم) سبب افزایش وزن تر بخش هوایی ($p \leq 0.05$) در مقایسه با شاهد شدند، به طوری که بیشترین افزایش در گروه ۴ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم (۲۰/۵۹٪) در مقایسه با کنترل مشاهده شد. غلظت مهاری ۱۰ میلی گرم بر لیتر نیز سبب کاهش وزن تر بخش هوایی در مقایسه با شاهد شد. بیشترین کاهش (۴/۹۴٪) در گروه ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد (نمودار ۲). وزن خشک بخش هوایی در شرایط تنش آبی تنها در غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم و ۴ میلی گرم بر لیتر (سلنات بالک و نانو سلنیوم) در مقایسه با کنترل ($p \leq 0.05$) افزایش یافت به طوریکه بیشترین میزان افزایش در گروه ۴ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم



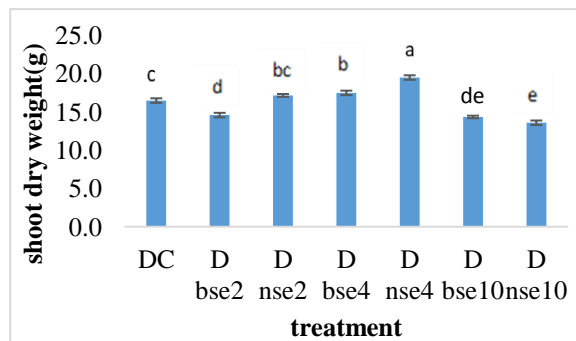
ب- وزن تر ریشه



الف- وزن تر ساقه



د- وزن خشک ریشه



ج- وزن خشک ساقه

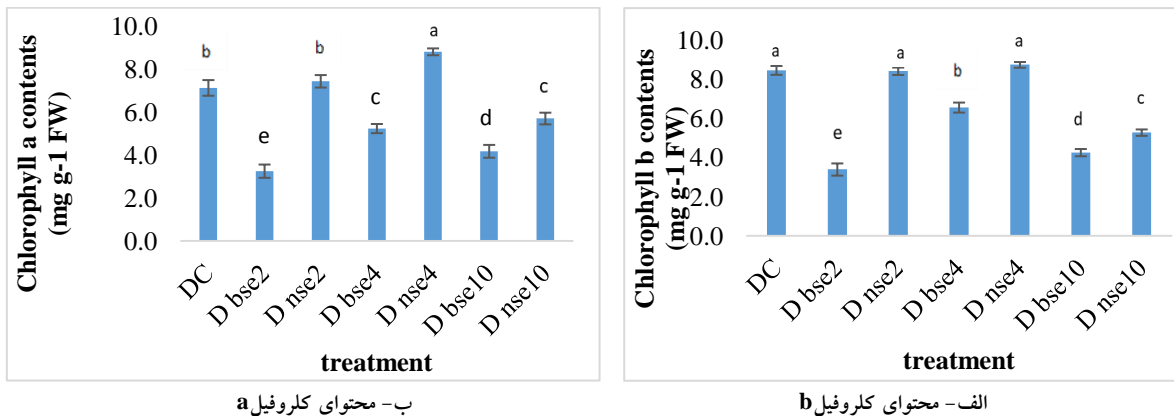
نمودار ۲: اثر غلظت‌های مختلف سelenium بر وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه گیلاسی در شرایط تنش آبی
 DC: کنترل تنش خشکی، Dbse2: ۲ میلی‌گرم بر لیتر سولفات سدیم در تنش خشکی، Dnse2: ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو سelenium در تنش خشکی، Dbse4: ۴ میلی‌گرم بر لیتر سولفات سدیم در تنش خشکی، Dnse4: ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سelenium در تنش خشکی، Dbse10: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات سدیم در تنش خشکی، Dnse10: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو سelenium در تنش خشکی.

Fig2: Effect of different concentrations of selenium on fresh and dry weight of shoots and roots of cherry tomatoes under water stress

DC - control of aquatic stress; Dbse2-2 ppm Selenat sodium aquatic stress; Dnse2- 2 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse4- 4 ppm selenate sodium aquatic stress; Dnse4- 4 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse10- 10 ppm selenate sodium aquatic stress ; Dnse10- 10 ppm nano selenium aquatic stress.

محتوای کلروفیل a (به ترتیب ۴/۳۶ و ۶۲/۲۳ درصد) و غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سelenium نیز سبب بهبود محتوای کلروفیل b (۳/۳۲٪) در مقایسه با شاهد شد (نمودار ۳).

تغییرات میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر به کارگیری نانو سelenium و بالک مربوطه: در شرایط تنش آبی، مقایسه میانگین داده‌ها ($P \leq 0.05$) نشان داد که تیمار ۲ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سelenium سبب بهبود



ب- محتوای کلروفیل a

الف- محتوای کلروفیل b

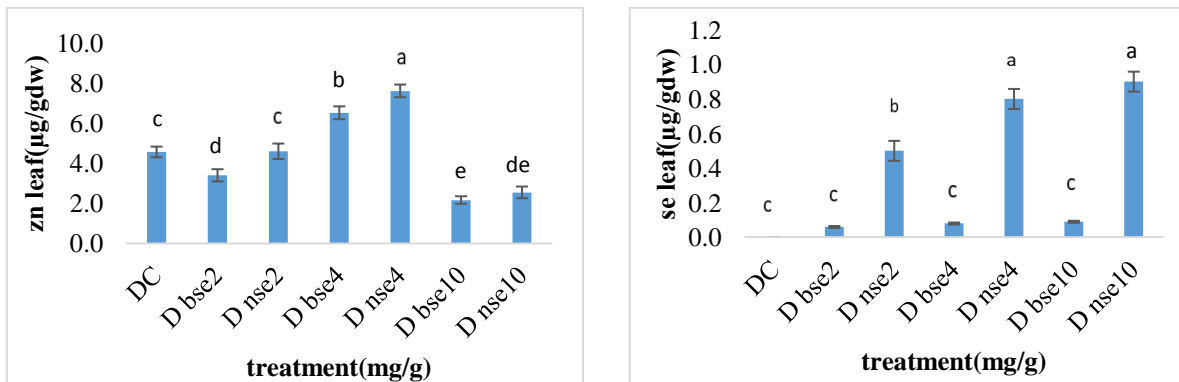
نمودار ۳: اثر سلنیوم (نانو سلنیوم و سلنات سدیم) بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش آبی

DC: کنترل تنش خشکی، Dbse2: ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، Dnse2: ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، Dbse4: ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، Dnse4: ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، Dbse10: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، Dnse10: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی.

Fig 3: Effect of selenium (nano selenium and sodium selenate) on photosynthetic pigment content under water stress
DC - control of aquatic stress; Dbse2-2 ppm Selenat sodium aquatic stress; Dnse2- 2 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse4- 4 ppm selenate sodium aquatic stress; Dnse4- 4 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse10- 10 ppm selenate sodium aquatic stress ; Dnse10- 10 ppm nano selenium aquatic stress.

مقایسه با شاهد مشاهده شد (نمودار ۴). میزان عنصر سلنیوم برگ در شرایط تنش آبی در تمامی تیمارها در مقایسه با کنترل افزایش یافت ($P \leq 0.05$)، این افزایش در گروه نانو سلنیوم خیلی بیشتر از گروه سلنات سدیم بود چنانچه غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم میزان سلنیوم برگ را در شرایط تنش آبی ۹۰ درصد در مقایسه با کنترل افزایش داد (نمودار ۴).

عناصر روی و سلنیوم در برگ: مقایسه میانگین داده‌ها ($P \leq 0.05$) نشان داد که در شرایط تنش آبی تیمارهای ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم و ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم و نانو سلنیوم سبب افزایش میزان روی برگ در مقایسه با کنترل شدند، به طوریکه بیشترین افزایش مقدار روی برگ در غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلنیوم ۶۶/۹۵ درصد در



ب- محتوای روی برگ

الف- محتوای سلنیوم برگ

نمودار ۴: اثر سلنیوم بر محتوای عناصر روی و سلنیوم در برگ گیاه گوجه گیلاسی در شرایط تنش آبی

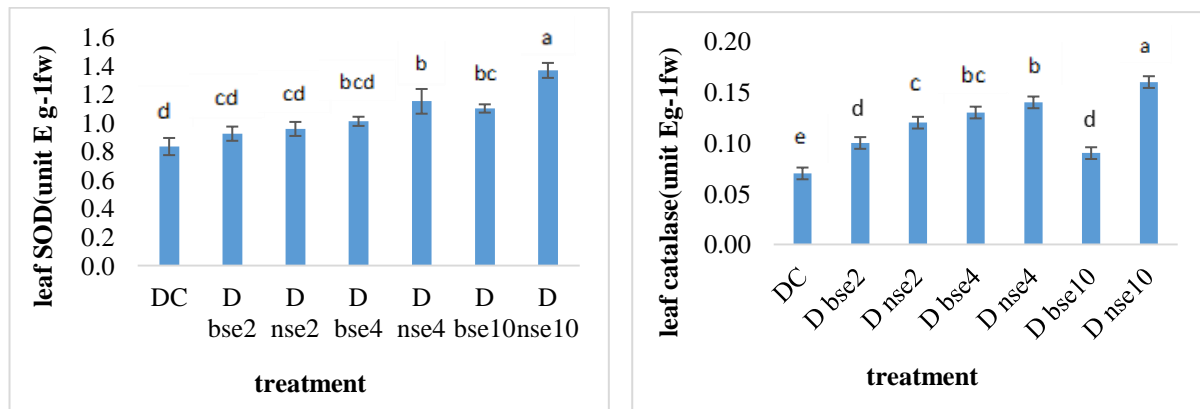
DC: کنترل تنش خشکی، Dbse2: ۲ میلی گرم بر لیتر سولفات سدیم در تنش خشکی، Dnse2: ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، Dbse4: ۴ میلی گرم بر لیتر سولفات سدیم در تنش خشکی، Dnse4: ۴ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، Dbse10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر سولفات سدیم در تنش خشکی، Dnse10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی.

Fig 4: Effect of selenium on zinc and selenium content in cherry tomato leaves under water stress.

DC - control of aquatic stress; Dbse2- 2 ppm Selenat sodium aquatic stress; Dnse2- 2 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse4- 4 ppm selenate sodium aquatic stress; Dnse4- 4 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse10- 10 ppm selenate sodium aquatic stress ; Dnse10- 10 ppm nano selenium aquatic stress.

تیمارهای nSe نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشتند. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در بین غلظت‌های تیمار bSe مربوط به غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر (۰.۸۵/۷۱٪) بود. از مقایسه بین غلظت‌های مختلف تیمار نانوسلنیوم نیز مشخص شد، که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز بین سه غلظت نانوسلنیوم مربوط به ۱۰ میلی گرم در لیتر این تیمار بوده است که دو برابر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در مقایسه با شاهد است (نمودار ۵).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپر اکسید دسموتاز و کاتالاز: نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز در هر سه غلظت تیمارهای bSe و nSe نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشتند ($p \leq 0.05$). بیشترین فعالیت آنزیم در بین غلظت‌های تیمار nSe مربوط به غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر (۰.۶۳/۸۵٪) مشاهده شد (نمودار ۵). در شرایط تنش آبی فعالیت آنزیم کاتالاز در هر سه غلظت



ب- فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز

الف- فعالیت آنزیم کاتالاز

نمودار ۵: اثر سلینیوم بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپر اکسید دسموتاز و کاتالاز در شرایط تنش آبی

DC: کنترل تنش خشکی، Dbse2: ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلینات سدیم در تنش خشکی، Dnse2: ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلینیوم در تنش خشکی، Dbse4: ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلینات سدیم در تنش خشکی، Dnse4: ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلینیوم در تنش خشکی، Dbse10: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلینات سدیم در تنش خشکی، Dnse10: ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو سلینیوم در تنش خشکی.

Fig 5: Effect of selenium on the activity of antioxidant enzymes superoxide dismutase and catalase under water stress
DC - control of aquatic stress; Dbse2-2 ppm Selenat sodium aquatic stress; Dnse2- 2 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse4- 4 ppm selenate sodium aquatic stress; Dnse4- 4 ppm nano selenium aquatic stress; Dbse10- 10 ppm selenate sodium aquatic stress ; Dnse10- 10 ppm nano selenium aquatic stress.

افزایش یافت ولی در سطوح پایین سلینیوم این افزایش مشاهده نشد. محلول‌پاشی سلینیوم در تنش خشکی اثرات مطلوبی را بر محتوای آب، اندیکس سطح برگ و سرعت رشد محصول داشت و سبب افزایش آنها شد (Teimouri *et al.*, 2013). سلینیوم همچنین مسئول حفظ تعادل آب داخل سلول از طریق بهبود اسمولیت‌ها و محافظت کنندگان اسمزی است (Ahmad *et al.* 2016). محلول‌پاشی برگ سلینیوم (سلینات و نانو سلینیوم) سبب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای مواد مغذی (Se, K, Ca, Fe) برگ و خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی انار در شرایط تنش خشکی می‌شود (Zahedi *et al.*, 2021). در تحقیق کلت و همکاران (۱۳۹۳) بر روی اثر نانوذرات سیلیس بر رشد و میزان جذب فسفر و پتاسیم گیاه ریحان سبز *Ocimum basilicum* در شرایط تنش شوری، مشاهده شد که استفاده از نانوذرات سیلیس در مقایسه با کود سیلیس معمولی

محلول‌پاشی برگ سلینیوم بخصوص در فرم نانو نه تنها سبب بهبود رشد و وزن تر گیاه و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود، بلکه متابولیسم، عناصر مغذی و میزان آنزیم آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دسموتاز و کاتالاز را بهبود می‌بخشد و سبب کاهش آسیب‌های تنش آبی می‌گردد. مطابق با نتایج حاصل، استفاده از نانو سلینیوم سبب کاهش اثرات تنش‌های آبیوتیک مثل شوری در برنج (Taha *et al.*, 2021)، استرس نمکی در توت‌فرنگی (Soleymanzadeh *et al.*, 2020)، عناصر سنگین در *Raphanus sativus* (Amirabad *et al.*, 2020)، تنش خشکی در *Solanum lycopersicum* (Rady *et al.*, 2020) و استرس خشکی در Canola می‌شود (Ahmad *et al.*, 2021). همچنین استفاده سلینیوم در گندم‌های تحت تنش خشکی، همه صفات به غیر از وزن گیاه و ارتفاع بوته، تحت تاثیر محلول‌پاشی سلینیوم قرار گرفتند، محصول دانه‌ها در استفاده از سلینیوم

اکسیدان مثل سوپراکسید دسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز است (Wang, 2012). همچنین در گیاه آفتابگردان، گیاهان تحت تنش خشکی و سطوح سلنیوم، افزایش قابل توجهی در کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز در مقایسه با گیاهان کنترل داشتند. در این زمینه گیاهان با سطوح بالاتر سلنیوم مقاومت بیشتری را به شرایط استرس آبی نشان دادند و میزان محصول و وزن خشک دانه‌ها در هنگام برداشت بیشتر بود که نشان دهنده این می‌باشد که استرس آبی منجر به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و استرس اکسیداتیو می‌شود، حذف ROS ها بوسیله سیستم جاروب کننده مخصوصا بوسیله SOD, CAT و GPX به خوبی انجام می‌شود و آسیب به غشا در سطوح بالاتر سلنیوم کنترل می‌گردد (Soleimanzadeh, 2012).

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که بین غلظت‌های مورد استفاده سلنیوم و نانو سلنیوم، محلول پاشی برگ با غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر، نانو سلنیوم بیشترین تاثیر را در بهبود وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول بخش هوایی، محتوای کلروفیل برگ و میزان برخی عناصر در برگ دارد. از طرفی غلظت مهاری ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم سبب کاهش رشد و کاهش وزن تر و خشک و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دسموتاز در گیاه گوجه‌گیلاسی تحت شرایط تنش آبی می‌شود.

منابع

موجب افزایش رشد و عملکرد، افزایش ارتفاع، افزایش جذب فسفر، افزایش پتاسیم و افزایش مقاومت گیاه ریحان به تنش شوری می‌شود که مشابه نتایج تحقیق اخیر در استفاده سلنیوم در شرایط تنش خشکی می‌باشد. مطالعات متعددی اثرات محافظت کننده سلنیوم در غلظت‌های پایین را در شرایط تنش گیاهان نشان داده اند (Babajani *et al.*, 2019, 2019, 2019). علاوه بر این، اثربخشی قابل توجهی از سلنیوم در بهبود عملکرد فتوسنتز در گونه‌های مختلف گیاهی مانند توت فرنگی (Zahedi, Abdelrahman *et al.*, 2019)، ماش (Alam *et al.*, 2019) و تربچه (Amirabad *et al.*, 2020) مشهود است. مطابق با نتایج ما، سلنیوم اثرات سودمندی را از طریق مکانیسم‌های فیزیولوژیکی از جمله تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی و آنزیمی دارد که سبب بهبود کارایی فتوسنتز (Li *et al.*, 2020) و حمایت از ساختارهای فتوسنتزی (Neysanian *et al.*, 2020; Nazerieh *et al.*, 2018) می‌شود. محلول پاشی برگ نانو سلنیوم سبب کاهش اثرات منفی ناشی از خشکی از طریق کاهش تجمع H_2O_2 ، کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و فراتنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Zahedi *et al.*, 2021). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش خشکی با افزایش سطوح سلنیوم افزایش می‌یابد که مطابق با نتایج، در گیاه شبدر استفاده خارجی از Se تحمل این گیاه را به پلی اتیلن گلیکول القا کننده کمبود آب، افزایش داد. که دلیل آن، کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و فعالیت آنزیم‌های آنتی

- 8) Amirabad, S.A., Behtash, F. and Vafae, Y. 2020. Selenium mitigates cadmium toxicity by preventing oxidative stress and enhancing photosynthesis and micronutrient availability on radish (*Raphanus sativus* L.) cv. Cherry Belle. *Environ Sci Pollut Res.*; 27:12476–12490. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07751-2>
- 9) Arnon Daniel, I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plantphysiology* 24: 1-15.
- 10) Babajani, A., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z.O. and Eslami, B. 2019. 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.
- 11) Celikel, F.G. and Reid, M.S. 2002. Postharvest handling of stock (*Matthiola incana*). *Hort Sci.* 37(1): 144-147.
- 12) Djanaguiraman, M., Belliraj, N., Bossmann, S. and Prasad, P.V. 2018. High temperature stress alleviation by selenium nanoparticle treatment in grain sorghum. *ACS Omega.* 3(3): 2479–2491.
- 13) Elkelish, A.A., Soliman, M.H., Alhaithloul, H.A. and El-Esawi, M.A. 2019. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. *Plant Physiol Biochem.* 137: 144–153. FAOSTAT, 2001. <http://faostat.fao.org/>
- 14) Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Peng, Q., Baron, M., Melcova, M., Opatrilova, R., Zidkova, J., Bjørklund, G., Sochor, J. and Kizek, R. 2018. Nano-selenium and its nanomedicine applications: a critical review. *Int J Nanomedicine* 10: 2107-2128.
- 15) Kar, M. and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activity during rice leaf senescence. *Plant physiology.* 57:315-319.
- 16) Kumar, A., Gupta, K., Dixit, S., Mishra, K. and Srivastava, S. 2018. A review on positive and negative impacts of (۱) ایرانبخش، ع.، اوراقی اردبیلی، ز. ۱۳۹۳. اصول، مفاهیم و روش‌های آزمایشگاهی در زیست شناسی. انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماهشهر. صفحه ۱۱۵.
- (۲) کلت، م.، علیپور، ز. ت.، اشرف، ش. ۱۳۹۳. اثر نانو ذرات سیلیس بر رشد و میزان جذب فسفر و پتاسیم گیاه ریحان سبز (*Ocimum basilicum*)، تحت تنش شوری، کنفرانس علوم و فناوری نانو، گرگان.
- 3) Abbasi, B., Iqbal, J., Ahmad, R., Zia, L., Kanwal, S. and Mahmood, T. 2020a. Bioactivities of Geranium wallichianum Leaf Extracts Conjugated with Zinc Oxide Nanoparticles *Biomolecules.* 10(1): 38. <https://doi.org/10.3390/biom10010038> PMID: 31888037.
- 4) Abbasi, B.A., Iqbal, J., Zahra, S.A., Shahbaz, A., Kanwal, S. and Rabbani, A. 2020b. Bioinspired synthesis and activity characterization of iron oxide nanoparticles made using Rhamnus Triquetra leaf extract. *Mater Res Express.* 6(12):p1250e7. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab664d>
- 5) Ahmad, P., Abdel, Latif A.A., Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Gucel, S. and Tran, L.S.P. 2016. Nitric Oxide Mitigates Salt Stress by Regulating Levels of Osmolytes and Antioxidant Enzymes in Chickpea, *Front. Plant Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00347>
- 6) Ahmad, Z., Anjum, S., Skalicky, M., Waraich, E.A., Muhammad Sabir Tariq, R., Ayub, M.A., Hossain, A., Hassan, M.M., Brestic, M., Sohidel Islam, M. and Habib-Ur-Rahman, M. 2021. Selenium Alleviates the Adverse Effect of Drought in Oilseed Crops Camelina (*Camelina sativa* L.) and Canola (*Brassica napus* L.). *Molecules*, 26(6), p.1699.
- 7) Alam, M.Z., McGee, R., Hoque, M.A., Ahammed, G.J. and Carpenter-Boggs, L. 2019. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Selenium and Biochar on Photosynthetic Pigments and Antioxidant Enzyme Activity under Arsenic Stress in Mung Bean (*Vigna radiata*). *Front Physiol.*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00010> PMID: 30740057

- nanomaterials in plants—Critical review. *Nanotoxicology* 10 (3):257-278.
- 25) Soleimanzadeh, H. 2012. Response of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) To Selenium Application under Water Stress. *World Applied Sciences Journal* 17 (9): 1115-1119.
- 26) Soleymanzadeh, R., Iranbakhsh, A., Habibi, G. and Oraghi Ardebili, Z. 2020. Selenium nanoparticle protected strawberry against salt stress through modifications in salicylic acid, ion homeostasis, antioxidant machinery, and photosynthesis performance. *Acta Biol Cracovien Ser. Bot.*, 62: 33–42.
- 27) Taha, R.S., Seleiman, M.F., Shami, A., Alhammad, B.A. and Mahdi, A.H. 2021. Integrated Application of Selenium and Silicon Enhances Growth and Anatomical Structure, Antioxidant Defense System and Yield of Wheat Grown in Salt-Stressed Soil. *Plants*, 10(6), p.1040
- 28) Teimouri, S., Hasanpour, J. and Tajali, A.A. 2013. Effect of Selenium spraying on yield and growth indices of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress condition. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research* Volume 2, Issue 6: 2091-2103.
- 29) Wang, C. 2011. Water-stress mitigation by selenium in *Trifolium repens* L., *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 276–282.
- 30) Wang, Z., Xie, X., Zhao, J., Liu, X., Feng, W., White, J.C. and Xing, B. 2012. Xylem-and phloem-based transport of CuO nanoparticles in maize (*Zea mays* L.). *Environmental science & technology* 46 (8):4434-4441.
- 31) Yin, H., Qi, Z., Li, M., Ahammed, G.J., Chu, X. and Zhou, J. 2019. Selenium forms and methods of application differentially modulate plant growth, photosynthesis, stress tolerance, selenium content and speciation in *Oryza sativa* L. *Ecotox Environ Safe.* 169: 911–917.
- 32) 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-nanoparticles. nanotechnology in agriculture. *Int J Environ Sci Technol* 16: 2175-2184.
- 17) Li, C., Ji, J., Wang, G., Li, Z., Wang, Y. and Fan, Y. 2020. 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.* 11: p119.
- 18) Mahn, A. 2017. Modelling of the effect of selenium fertilization on the content of Bio active compounds in broccoli heads. *Food Chemistry* 233: 492–499.
- 19) Nazerieh, H., Ardebili, Z.O. and Iranbakhsh, A. 2018. Potential benefits and toxicity of nanoselenium and nitric oxide in peppermint. *Acta Agric. Slov.* 111(2): 357-368.
- 20) Neysanian, M., Iranbakhsh, A., Ahmadvand, R., Oraghi Ardebili, Z. and 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.
- 21) Ries, S.K. and Giannopolitis C.N. 1977. Superoxid dismutaze in higher plants. *Plantphysiology* .59:309-314.
- 22) Rady, M.M., Belal, H.E., Gadallah, F.M. and Semida, W.M. 2020. Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266, p.109290.
- 23) Sajedi, N.A. Ardakani, M.R. Madani, H. Naderi, A. and Miransari, M. 2011. The effect of selenium and other micronutrients on the antioxidant activity and yield of corn (*zea mays* L. under drought stress. *Physiol. Mol. Biol. Plants* 17(3):215-222.
- 24) Schwab, F., Zhai, G., Kern, M., Turner, A., Schnoor, J.L. and Wiesner, M.R. 2016. Barriers, pathways and processes for uptake, translocation and accumulation of

- Environ. Poll. 253:246–258.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.078>
- 33) Zahedi, S.M., Hosseini, M.S., Meybodi, N.D.H and Teixeira da Silva, J.A. 2019. Foliar application of selenium and nano-selenium affects pomegranate (*Punica granatum* cv. Malase Saveh) fruit yield and quality, *South African Journal of Botany*, 124, 350–358.
- 34) Zahedi, S.M., Karimi, M. and Teixeira da Silva, J.A. 2020. The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops. *J Sci Food Agric* 100: 25-31.
- 35) Zahedi, S.M., Hosseini, M.S., Daneshvar Hakimi Meybodi, N. and Peijnenburg, W. 2021. Mitigation of the effect of drought on growth and yield of pomegranates by foliar spraying of different sizes of selenium nanoparticles. *Journal of the Science of Food and Agricultur*.