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

مقاله پژوهشی

بررسی اثر نانو سلنیوم بر جوانه‌زنی بذر گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L. var.cerasiforme) در شرایط آبیاری و تنش آبی

مریم نیسانیان (نویسنده مسئول)[1*]، علیرضا ایرانبخش[2]، رحیم احمدوند[3]، زهرا اوراقی‌اردبیلی[4] و مصطفی عبادی[5]

۱*- 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

٤- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران،
Zahraoraghi@yahoo.com

۵- استادیار، گروه زیست شناسی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران،
mtf.ebadi@gmail.com

تاریخ دریافت: اسفند ۱٤۰۱ تاریخ پذیرش: خرداد ۱٤۰۲

The effect of nano selenium on germination of cherry tomato seeds (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme) under irrigation and water stress conditions

Maryam Neysanian (Corresponding author)[1*], Alireza Iranbakhsh[2], Rahim Ahmadvand[3], Zahra Oraghi Ardebili[4] and Mostafa Ebadi[5]

1*- Ph.D, 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: March 2023 Accepted: June 2023

Abstract

Selenium is a beneficial element with antioxidant properties that increases plant growth and tolerance under environmental stress. This study was conducted to investigate the effect of selenium nanoparticles on some germination characteristics of cherry tomato plant (*Solanum lycopersicum* L. var.cerasiforme) under normal irrigation conditions and water stress in a completely randomized design with application of 4 treatment levels (zero, 2, 4 and 10 Mg/l) and the interaction of selenium on drought (4% PEG) was repeated 3 times. For this purpose, after disinfecting the seeds, they were placed in plates containing filter paper and soluble selenium with certain concentrations (sodium selenate as control of bulk and nano selenium) was added to the seed growth medium every three days. 2 days after the second selenium treatment, water stress was applied with 4% polyethylene glycol. The evaluated traits included percentage and speed germination, root and shoot length, fresh and dry weight of seedlings. The results showed that the highest shoot length, seed germination and fresh weight in 4 Mg/l selenium treatments (sodium selenate and nano selenium) under normal irrigation and water stress conditions and the lowest shoot length, root shoot, seed germination, weight Wet, percentage and germination rate were observed at high concentrations of selenium (10 Mg/l) compared to the control under normal irrigation and water stress conditions. In general, 4 Mg/l selenium treatment increased plant tolerance to drought stress and seedling growth.

Keywords: Drought stress, Germination percentage, Nano Selenium, Seed length.

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
spring 2023, Vol 18, No 1, Pp 59-75

چکیده

سلنیوم عنصری سودمند با خواص آنتی اکسیدانی که سبب افزایش رشد و بردباری گیاهان در شرایط تنش های محیطی می‌شود. این تحقیق جهت بررسی اثر نانو ذره سلنیوم بر برخی خصوصیات جوانه زنی گیاه گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L. var.cerasiforme) تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی بصورت طرح کاملاً تصادفی با اعمال ٤ سطح تیمار شامل (صفر، ۲، ٤ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر) سلنیوم و اثرمتقابل سلنیوم بر خشکی (PEG 4%) با ۳ بار تکرار انجام شد. برای این منظور پس از ضد عفونی کردن بذرها در پلیت های حاوی کاغذ صافی قرار داده شدند و سلنیوم محلول با غلظت های مشخص (سلنات سدیم به عنوان شاهد بالک و نانوسلنیوم) به محیط رشد بذرها، هر سه روزاضافه شد. ۲ روز پس از گذشت دومین تیمار سلنیوم، تنش آبی بوسیله پلی اتیلن گلیکول ٤ درصد اعمال شد. صفات مورد ارزیابی شامل درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک دانه رست بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان طول ساقه‌چه، دانه‌رست و وزن تر در تیمارهای ٤ میلی گرم بر لیتر سلنیوم (سلنات سدیم و نانو سلنیوم) در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی و کمترین میزان طول ساقه چه، ریشه چه، دانه رست، وزن تر، درصد و سرعت جوانه زنی در غلظت بالای سلنیوم (۱۰ میلی گرم بر لیتر) در مقایسه با شاهد در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی مشاهده شد. بطورکلی تیمار ٤ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم سبب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی و رشد گیاهچه گردید.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی، طول دانه‌رست، نانوسلنیوم.

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران
سال۱٤۰۲، دوره۱۸، شماره ۱، صص ۷۵ - ۵۹

مقدمه و کلیات

سلنیوم یک عنصر ضروری برای انسان است و در غلظت های پایین اثرات سودمندی بر متابولیسم سلول های گیاهی و جذب یون ها دارد و سبب افزایش میزان آنزیم های جارو کننده H_2O_2 (به ویژه آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز) و ترکیبات آنتی اکسیدان(مانند آسکوربات، پرولین و گلوتاتیون) می‌شود (Hasanuzzaman *et al*.,2010; Khattab *et al*.,2004; Kaklewski *et al*.,2008) و به همین دلیل میزان H_2O_2 را در گیاهان کاهش می‌دهد(Rı´os *et al*., 2008). با این حال، ضرورت و عملکرد آن برای گونه های گیاهی نامعلوم است. سلنیوم سبب تغییر در رشد گیاه، بیوشیمی و محصول می شود که به چندین عامل تعیین کننده از جمله نوع Se، مراحل آزمایش، مرحله رشد و گونه های گیاهی بستگی دارد. در طیف وسیعی از دوزها، استفاده از سلنیوم سبب افزایش نرخ رشد (Babajani *et al*.,2019a; Sotoodehnia-Korani *et al*., 2020) و سازگاری گیاه را با عوامل محیطی نامطلوب می شود Djanaguiraman *et al*. 2018; Handa *et al*., (2019). از طرف دیگر، شواهدی مبنی بر خطرات مرتبط با غلظت بالای Se وجود دارد (Babajani *et al*.,2019a; Sotoodehnia-Korani *et al*., 2020; Babajani *et al*., 2019b; Nazerirh *et al*., 2018) پاسخ به nSe با پاسخ مربوطه نوع بالک متفاوت است(Sotoodehnia-Korani *et al*., 2020). واکنش متفاوت گیاه به BSe و nSe ممکن است تا حدی به تفاوت سینتیک جذب آنها، صفات فیزیکوشیمیایی متفاوت و تعامل های متفاوت با مولکولهای زیستی نسبت داده شود. در این راستا، مکانیسم جریان BSe (جابجایی فعال از طریق ناقلین سولفات/ فسفات) با nSe (انتشار غیر فعال از طریق کانال های غشایی آکوپورین) متفاوت است (Hu *et al*., 2018). تنش خشکی یا شرایط کم آبی بدون شک حیاتی ترین تنش موثر بر رشد و بهره وری گیاه است (Fahad *et al*., 2017). کاهش جوانه زنی، رشد گیاهچه، طول هیپوکوتیل، رشد رویشی و وزن خشک اندام هوایی/ریشه در محصولات مختلفی از جمله *Pisum sativu* (Okcu *et al*., 2005)، *Medicago sativa* (Manikavelu *et al*, 2006)و *Oryza sativa* تحت تنش خشکی گزارش شده است (Zeid *et al*., 2006). تنش خشکی باعث کاهش رشد گیاه عمدتاً به دلیل اختلال در میتوز و افزایش طول سلول، از دست دادن تورژسانس، آسیب اکسیداتیو و اختلالات متابولیک است (Li *et al*., 2020; Gui *et al*., 2020). تنش خشکی در ابتدا منجر به آسیب اکسیداتیو بوسیله تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که با آسیب رساندن به مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها و لیپیدها، عملکرد سلول گیاهی را تهدید می‌کند (Li *et al*., 2020; Sheteiwy *et al*., 2018) و یکپارچگی غشاء را مختل می کند (Moller *et al*., 2007). سلنیوم سبب بهبود پارامترهای رشد گیاه گوجه بعد از دوره کوتاه استرس درجه حرارت کم و زیاد با افزایش محتوای آب مربوطه (Haghighi *et al*.,2014)، افزایش ارتفاع گیاه ذرت و پر شدن دانه های آن در شرایط تنش خشکی (Sajedi *et al*., 2011)، تحمل گیاه شبدر به پلی اتیلن گلیکول –القا کننده کمبود آب با کاهش پراکسیداسیون لیپید ها و افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان مثل

سوپراکسید دسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز (Wang *et al*., 2012)، افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گیاه کلزا (Zahedi *et al*., 2019)، افزایش پایداری لیپیدهای غشایی در سلول‌های برنج تحت تنش خشکی و تنش گرما به وسیله بهبود عملکرد غشایی (Karmollachaab *et al*., 2015)، افزایش مقاومت گیاه در برابر شرایط تنش محیطی (Zhou *et al*., 2021) وتحمل تنش خشکی با افزایش محتوای آب، اندیکس سطح برگی و سرعت رشد در گندم می شود (Teimouri *et al*.,2013). همچنین گزارش شده است که نانو سلنیوم سبب بهبود تحمل خشکی در توت فرنگی (Zahedi *et al*.,2020) و انار می شود (Zahedi *et al*., 2021). سلنیوم سبب افزایشRWC به دلیل نقش آن در حفظ سیستم کارآمد جذب آب (Kuznetsov *et al*., 2003)، حفظ تعادل آب داخل سلول از طریق بهبود اسمولیت ها و محافظت کنندگان اسمزی می شود (Ahmad *et al*., 2016)، نانوذرات سیلیسیوم نیز کارایی مصرف آب را با اثرگذاری بر خصوصیت مرطوب بودن لوله‌های آوند چوبی و میزان انتقال آب افزایش می‌دهند (Wang *et al*., 2011) و از این رو، سبب تحمل استرس در گیاه می شوند. **فرآیند پژوهش**

در این مطالعه، محلول استوک نانو سلنیوم قرمز ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر، از کمپانی Nanosany مشهد تهیه شد. اندازه نانو ذره ۱۰–۴۰ نانومتر وcm^3 ۳/۸۹ و تقریباً کروی بود. از سلنات سدیم (Na_2So_4) به عنوان منبع بالک استفاده شد. بذر های گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L.var. cerasiforme) از شرکت فلات ایران تهیه شد. نانو ذره سلنیوم در سه غلظت۲، ٤، ۱۰میلی گرم بر لیتر اندازه گیری شد. سلنات سدیم بالک به عنوان کنترل مثبت نیز در سه غلظت ۲، ٤و ۱۰ میلی گرم بر لیتر اندازه گیری شد. بذور بدون تیمار به عنوان کنترل منفی در نظر گرفته شدند. بعد از استریل کردن تعداد مشخصی از بذرها ی گوجه گیلاسی توسط هیپوکلریت سدیم ۵٪ به مدت ۱۰ دقیقه و سه بار آبکشی با آب مقطر آنها به کاغذ صافی های خیس شده توسط آب مقطر منتقل شدند، سپس برای هر سری آزمایش ۲۰ دانه بذر را در۱۵ میلی گرم بر لیتر محلول نانو سلنیوم و محلول سلنات سدیم به صورتی که هر غلظت با محلول هوگلند به غلظت رسانده شده، قرار داده شد. این تیمارها هر سه روز یکبار تکرار شد. پتری دیش ها در دمای ۲۵+۲ درجه سانتی گراد و دوره نوری ۸/۱٦ به ترتیب نور/تاریکی که برای انجام بسیاری از واکنش های متابولیسمی مناسب است قرارگرفتند.

تیمار همزمان نانو و خشکی: جهت تیمار همزمان، از سه غلظت ۲، ٤ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم و ٤٪ PEG (پلی اتیلن گلیکول) استفاده شد. بذور بعد از دومین تیمار با غلظت های مختلف نانوسلنیوم و سلنات سدیم بالک با ٤٪ PEG تیمار داده شدند. جهت تغذیه بذرها از محلول غذایی هوگلند استفاده شد تیمار هر سه روز یکبار اعمال شد. در فاصله بین تیمارها از آب مقطر برای آبیاری نرمال و از ٤٪PEG برای تیمار خشکی و در هر مرحله ۱۵ میلی گرم بر لیتر به هر پتری اضافه شد. بررسی‌ها در پتری دیش

و با کاغذ صافی واتمن صورت گرفت، آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ بار تکرار انجام شد.

اندازه گیری درصد جوانه زنی: بذرها هنگامی جوانه زده در نظر گرفته شدند که ریشه های قابل مشاهده از پوسته خارج شده بود و برای محاسبه جوانه زنی از رابطه زیر استفاده شد:

محاسبه درصد جوانه زنی: تقسیم تعداد بذرهای جوانه زده بر تعداد کل بذرها ضرب در ۱۰۰

$$\text{درصد جوانه زنی} = \frac{\text{تعداد بذرها جوانه زده}}{\text{تعداد کل بذرها}} \times ۱۰۰$$

محاسبه سرعت جوانه زنی: برای محاسبه سرعت جوانه زنی در هر پتری دیش، تعداد بذرهای جوانه زده که روزانه شمارش و یادداشت شده، سپس تقسیم بر روز مربوطه می شود و مجموع آنها برای هر واحد آزمایشی به عنوان سرعت جوانه زنی در نظر گرفته شد.

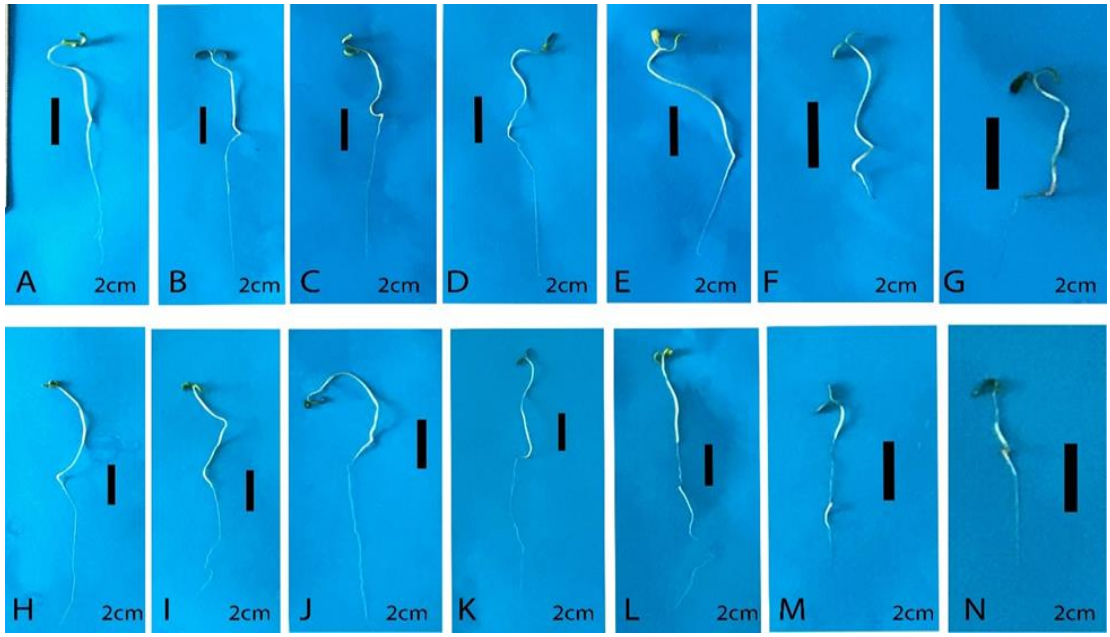
$GR=\sum I$ (تعداد بذرهای جوانه زده تا روز

I =تعداد روزهای مورد نظر پس از شروع آزمایش

بررسی صفات ریخت شناسی قابل مشاهده: بعد از مدت ۱۰ روز، طول ساقه چه ،ریشه چه و کل گیاهچه با استفاده از نرم افزار Image j win64 اندازه گیری شد، سپس وزن تر دانه رست ها به صورت جداگانه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه گیری شدند(Celikel *et al*.,2002). وزن خشک دانه رست ها، پس از ۷۲ ساعت قرار گیری در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد، توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه گیری شد (Celikel *et al*.,2002).

نتایج و بحث

اثر تیمار سلنیوم بر طول ریشه چه، ساقه چه و دانه‌رست در شرایط آبیاری و تنش آبی: اثر تیمارها بر مورفولوژی و رشد اولیه دانه رست ها در پتری دیش های حاوی محلول غذایی هوگلند در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- اثر پرایمینگ بذر گوجه با سلنیوم(نانو سلنیوم و سلنات سدیم) در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در پتری دیش های حاوی محلول غذایی هوگلند و پاسخ دانه‌رست ها به غلظت های مختلف nSe و سلنات سدیم. خط های ترسیمی در هر شکل ۲ سانتی متر است.بخش های مختلف شکل به شرح زیر است:

A: کنترل آبیاری نرمال، B: ۲میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم،C: ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم، D: ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، E: ٤ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم، F: ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، G: ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم.

H: کنترل تنش خشکی، I: ۲میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی،J: ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، K: ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، L: ٤ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، M: ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، N: ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی.

Fig 1- Effect of priming tomato seeds with Selenium (Nano-Selenium and Sodium Selenate) under normal irrigation conditions and drought stress in Petri dishes containing Hoagland's nutrient solution and the response of the seeds to different concentrations of nSe and Sodium Selenate. The drawing lines in each figure are 2 cm. The different parts of the figure are as follows:

A-Control irrigation; B-2 ppm Selante Sodium irrigation; C- 2ppm nano Selenium irrigation; D- 4ppm Selenat Sodium irrigation; E-4ppm nsno Selenium irrigation; F- 10 ppm Selenate Sodium irrigation; G- 10 ppm nano Selenium irrigation; 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.

مقایسه میانگین داده‌ها ($P\leq0.05$) نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال طول ریشه‌چه به ترتیب ۸/۲۲، ۳٤/۵۷، ۷۷/۰٦ و ۸۰/۱۷ درصد در تیمارهای ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم و نانو سلنیوم و ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم و نانو سلنیوم در مقایسه با شاهد کاهش یافت و تنها تیمار ۲ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم و نانو سلنیوم سبب افزایش به ترتیب ۷/۵ و ٦/۰۹ درصدی طول ریشه‌چه در مقایسه با کنترل در شرایط آبیاری شد(شکل۱ و نمودار۱).

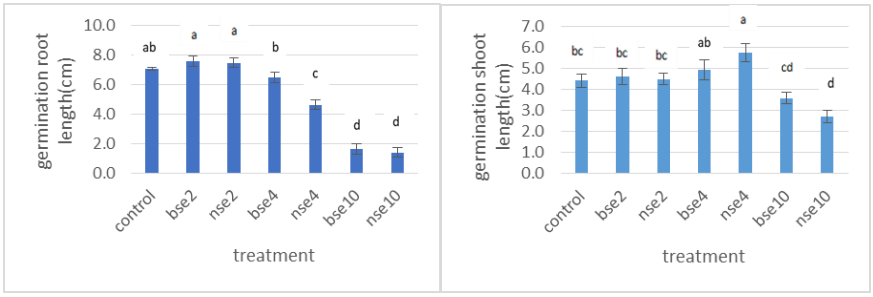
جدول۱- اثر سطوح مختلف نانوذره سلنیوم بر صفات جوانه‌زنی گوجه گیلاسی در شرایط آبیاری نرمال

Table 1- Effect of different levels of Selenium nanoparticles on cherry tomato germination characteristics under normal irrigation conditions

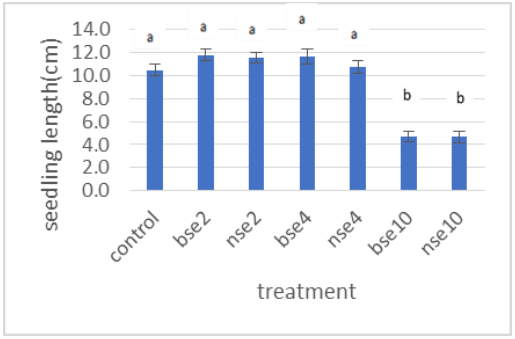
منابع تغییرات	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول دانه‌رست	وزن تر گیاه‌چه	وزن خشک گیاه‌چه
Control	۱۰۰^{a}۰,۰۰±	۲۰,۰۲^{a}۰,۰۱۵±	۵,۵۸^{bc}۰,۳±	۷,۰۶^{ab}۰,۱±	۱۲,٦٤^{a}۰,٤۷±	۰,۰٤٦ ^{a}۰,۰۰±	۰,۹۹×۱۰ $^{-۳ a}$ ۰,۰۰
bSe2	۱۰۰ ^{a}۰,۰۰۵±	۲۰,۰۲ ^{a}۰,۰۱۵±	٤,٦۲^{bc}۰,۳۸±	۷,۵۹^{a}۰,۳۳±	۱۱,۷۸^{a}۰,٤۹±	۰,۰٤٦^{a}۰,۰۰±	۰,۸×۱۰ $^{-۳ b}$۰,۰۰±
nSe2	۱۰۰ ^{a}۰,۰۰±	۲۰,۰۲ ^{a}۰,۰۱±	٤,۵۰^{bc}۰,۲۷±	۷,٤۹^{a}۰,۳۱±	۱۱,۵۵^{a}۰,٤٤±	۰,۰٤۹ ^{a}۰,۰۰±	۰,۸×۱۰ $^{-۳ b}$ ۰,۰۰±
bSe4	۱۰۰ ^{a}۰,۰۰±	۲۰,۰۲ ^{a}۰,۰۱۵±	٤,۹۵^{ab}۰,٤۷±	٦,٤۸^{b}۰,۳٤±	۱۱,٦٦^{a}۰,٦٦±	۰,۰۳۵^{b}۰,۰۰±	۰,۷×$^{۳-}$۱۰^{c}۰,۰۰±
nSe4	۱۰۰ ^{a}۰,۰۰۵±	۲۰,۰۲ ^{a}۰,۰۱±	۵,۷٦^{a}۰,٤۳±	٤,٦۲^{c}۰,۳۳±	۱۰,۷۳ ^{a}۰,۵٦±	۰,۰۳۸^{b}± ۰,۰۰	۰,۷×$^{۳-}$۱۰^{c}۰,۰۰±
bSe10	۹۹,۳۳^{b}۰,۳±	۱۹,۷۹^{b}۰,۰۰±	۳,٦۰^{cd} ۰,۲۷±	۱,٦۲^{d}۰,۳۳±	٤,٦۹^{b}۰,٤۱±	۰,۰۲^{bc}۰,۰۰±	۰,۵۵×$^{۳-}$۱۰^{d}۰,۰۰±
nSe10	۹۸^{c}۰,۰۰±	۱۹,۵۹^{c}۰,۰۰±	۲,۷۱^{d}± ۰,۳۰	۱,٤۰^{d}۰,۳۰±	٤,۷۰^{b}۰,۵۰±	۰,۰۲^{bc}۰,۰۰±	۰,۵×۱۰ $^{-۳e}$۰,۰۰±

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

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



الف- طول ریشه چه (cm) **ب- طول ساقه چه (cm)**



ج- طول دانه رست(cm)

نمودار ۱- اثر تیمار غلظت های مختلف سلنیوم در شرایط آبیاری نرمال بر طول ریشه چه، ساقه چه و طول دانه رست ها در پلیت های حاوی محلول غذایی C: کنترل، bSe2: ۲میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم،nSe2: ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم، bSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، nSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم، bSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، nSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم.

Fig 1- Effect of treatment with different concentrations of selenium under normal irrigation conditions on root length, stem length and grain length of sprouts in plates containing nutrient solution.
C: Control; bSe2: 2 ppm Selante Sodium; nSe: 2ppm Nano Selenium; bSe4: 4ppm Selenat Sodium; nSe4: 4ppm Nano Selenium; bSe10: 10 ppm Selenate Sodium; nSe10: 10 ppm Nano Selenium.

تیمارهای ۲ و ٤ میلی گرم بر لیتر سلنیوم (فرم سلنات و نانو سلنیوم) ($P\leq0.05$) افزایش طول ساقه‌چه و دانه‌رست را در شرایط آبیاری نسبت به شاهد نشان دادند و بیشترین میزان درصد افزایش طول ساقه چه در گروه ٤ نانو سلنیوم (۳۰/۰۲٪) و بیشترین میزان افزایش طول دانه رست در گروه ۲ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم (۱۲/۲۹٪) و ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم(۱۱/۱۵٪) در مقایسه با کنترل مشاهده شد. غلظت بالای نانو سلنیوم (۱۰ میلی گرم بر لیتر) سبب کاهش۳۸/۸۳ درصدی طول ساقه‌چه و غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم به عنوان غلظت مهاری سبب کاهش طول دانه رست ها (۵۵/۳۰ درصد) در مقایسه با کنترل شد(نمودار ۱).

بررسی اثر تیمار سلنیوم بر طول ریشه چه، ساقه چه و دانه‌رست در شرایط تنش خشکی: مقایسه میانگین داده ها ($P\leq0.05$) نشان داد که در شرایط تنش آبی تنها غلظت ٤ میلی گرم بر لیتر سلنیوم طول ساقه چه در مقایسه با کنترل افزایش داد به طوریکه در غلظت ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، ۱۵/۷۷٪ و در غلظت ٤ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم ۱۳/۹۷٪ طول ساقه چه در مقایسه با کنترل افزایش یافت و در غلظت مهاری سلنیوم (۱۰ میلی گرم بر لیتر) طول ساقه چه ۵٦/۲۸ ٪ در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در مقایسه با کنترل کاهش یافت(نمودار۲).

جدول۲- اثر سطوح مختلف نانوذره سلنیوم بر صفات جوانه‌زنی گوجه گیلاسی در شرایط تنش آبی

Table 2- Effect of different levels of Selenium nanoparticles on cherry tomato germination traits under water stress conditions

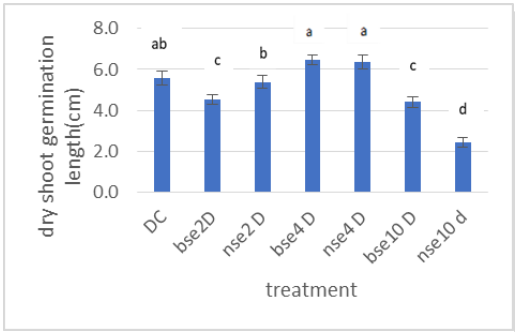
منابع تغییرات	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول دانه‌رست	وزن تر گیاه‌چه	وزن خشک گیاه‌چه
DC	٤,٤۳^{ab}۰,۳۲±	۷,۰٦^{ab}۰,۱±	۱۲,۹۱^{b}۰,٤۷±	۰,۰۲٦^{a}۰,۰۰±	۰,۸×۱۰$^{-۳a}$۰,۰۰±
DbSe2	٤,۵۱^{c}۰,۲٤±	۵,٦۹^{c}۰,۳۵±	۱۰,۳٦^{c}۰,۳۳±	۰,۰۲^{b}۰,۰۰±	۰,٦×۱۰$^{-۳c}$۰,۰۰±
DnSe2	۵,۳۸^{b}۰,۳۲±	۷,۷۳^{b}۰,۳۲±	۱۳,۳۱^{b}۰,۳۹±	۰,۰۲٦^{a}۰,۰۰±	۰,۷×۱۰$^{-۳b}$۰,۰۰±
DbSe4	**٦,٤٦^{a}**۰,۲۱±	**۹,۱٤^{a}**۰,۳۳±	**۱۵,٤۹^{a}**۰,۵۸±	۰,۰۱۷^{c}۰,۰۰±	۰,۵×۱۰$^{-۳d}$۰,۰۰±
DnSe4	٦,۳٦^{a}۰,۳۳±	٦,۲۰^{c}۰,۳٦±	۱۲,۵۸^{b}۰,۳۹±	۰,۰۱۸^{c}۰,۰۰±	۰,۵×۱۰$^{-۳d}$۰,۰۰±
DbSe10	٤,٤۰^{c}۰,۲٤±	۲,٤٦^{d}۰,۲۹±	۷,۳۲^{d}۰,۳۵±	۰,۰۱۵^{cd}۰,۰۰±	۰,٤×۱۰$^{-۳e}$۰,۰۰±
DnSe10	۲,٤٤^{d}۰,۲۳±	۳,٤۰^{d}۰,۲۹±	۵,٤۸^{e}۰,۳۹±	۰,۰۱۲^{d}۰,۰۰±	۰,۲×۱۰$^{-۳f}$۰,۰۰±

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

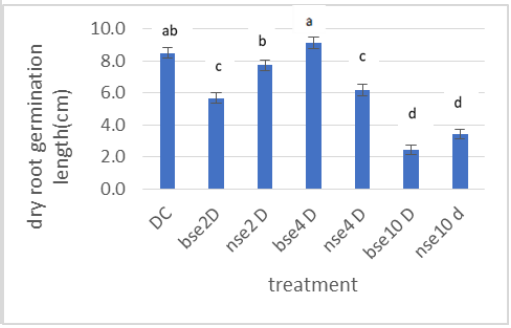
Similar letters in each column indicate no significant difference based on Duncan's multiple range test

DC: کنترل تنش خشکی، DbSe2: ۲میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی،DnSe2: ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، DbSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، DnSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، DbSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، DnSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی.

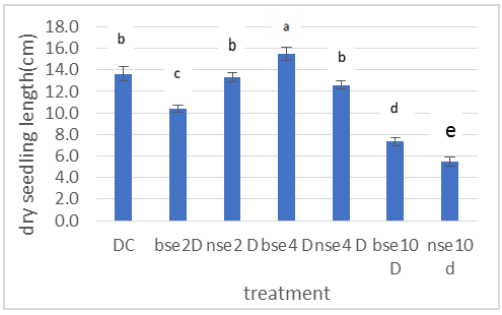
DC: Control of aquatic stress; DbSe2:2 ppm Selenate Sodium aquatic stress; DnSe2: 2 ppm Nano Selenium aquatic stress; DbSe4: 4 ppm Selenate Sodium aquatic stress; DnSe4: 4 ppm Nano Selenium aquatic stress; DbSe10: 10 ppm Selenate Sodium aquatic stress ; DnSe10: 10 ppm Nano Selenium aquatic stress.



و- طول ریشه چه(cm)



د- طول ساقه چه (cm)



ه- طول دانه رست(cm)

نمودار ۲- اثر تیمار غلظت های مختلف سلنیوم در شرایط تنش خشکی بر طول ساقه چه، ریشه چه و دانه رست ها در پلیت های حاوی محلول غذایی

DC: کنترل تنش خشکی، DbSe2: ۲میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی،DnSe2: ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، DbSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، DnSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، DbSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، DnSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی

Fig 2- Effect of treatment with different concentrations of Selenium under drought stress conditions on the length of the stem, root and seeds of the sprouts in the plates containing the nutrient solution

DC: Control of aquatic stress; DbSe2:2 ppm Selenate 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

مشابه نتایج آبیاری، طول ساقه چه، ریشه چه در شرایط تنش آبی تنها در تیمار ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم (۷/۷۸٪) و طول دانه رست ها (۱۳/۵٦٪) در مقایسه با کنترل افزایش یافت و در سایر تیمارها بخصوص در تیمار مهاری ۱۰میلی گرم بر لیتر ، نانو سلنیوم طول ریشه چه ۵۹/۹۱٪ و طول دانه رست ۵۹/۸۳٪ در مقایسه با کنترل کاهش یافت (نمودار۲).

بررسی اثر سلنیوم بر درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط آبیاری نرمال: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، تیمار نانوذره سلنیوم، اثر معناداری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی داشت. غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم سبب کاهش ۰/٦۷ درصدی در صد جوانه زنی و ۱/۱۵درصدی سرعت جوانه زنی و غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم سبب کاهش ۲ درصدی درصد جوانه‌زنی و ۲/۱۵ درصدی سرعت جوانه زنی

نسبت شاهد شد. تیمار ۱۰ میلی گرم بر لیتر سبب بروز آثار سمیت و کاهش شاخص‌های اندازه‌گیری شده گردید.

بررسی اثر سلنیوم بروزن خشک و تر گیاه چه در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی: اثر تیمارهای مختلف بر وزن‌تر گیاه چه در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنیوم (سلنات سدیم ونانو سلنیوم)، سبب کاهش تقریبا ۵۷/۱۸ درصدی و غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم سبب افزایش ٦/٤٢ درصدی وزن‌تر در مقایسه با شاهد شد که نشان‌دهنده نقش تحریکی غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم است. در شرایط تنش آبی بجز غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم که تأثیری بر وزن‌تر گیاه چه نسبت به شاهد نداشت، سایر تیمارها سبب کاهش وزن تر در مقایسه با شاهد شدند(نمودار۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات موردبررسی (شاهد بالک)

Table 3- Variance analysis (mean square) of the investigated traits (bulk Se)

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه زنی	طول ساقه چه	طول ریشه چه	وزن تر گیاه‌چه	وزن خشک گیاه‌چه
آبیاری نرمال	۱	۰,۰۰۰^{ns}	۰,۰۰۰^{ns}	۰,۹۸۹***	۰,۱۲۹*	۰,۰۰۱***	۰,۰۰۰۱٤***
بالک سلنیوم	۲	۰,۸۸**	۰,۱***	۱,٤٤۱***	٦,۱٥٦***	۰,۰۰۱*	۰,۰۰۰۲٦***
آبیاری نرمال با بالک سلنیوم	۲	۰,۰۰۰^{ns}	۰,۰۰۰^{ns}	۰,۰۰۱^{ns}	۰,۷۹^{ns}	۰,۰۰۰*	۰,۰۰۱**
خطا	۱۲	۰,۱۱	۰,۰۰۱	۰,۰۱۱	۰,۲۹	٥,٥٥	۰,۰۰۰
ضریب تغییرات(٪)	–	۰,٤۲	۰,٥٥	۲۷,٥۲٦	٤۱,۷۸	٤۸,۷۷	۲۸,۹٦

ns = غیر معنی‌دار، *،،*** به ترتیب به معنای معنی‌دار بودن در سطح احتمال بین ۵ صدم و یک درصد، بین یک‌هزارم و یک درصد و بین یک‌هزارم و صفر می‌باشد**

ns = non-significant, *,,*** respectively mean significance at the level of probability between 5 hundredths and one percent, between one thousandth and one percent and between one thousandth and zero**

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات موردبررسی (نانو سلنیوم)

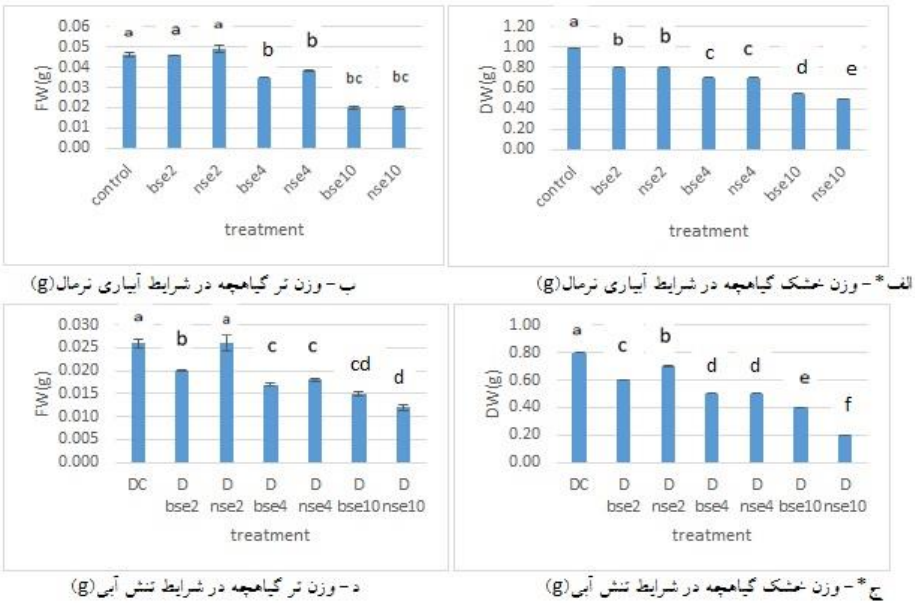
Table 4- Variance analysis (mean square) of investigated traits (Nano Selenium)

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه زنی	طول ساقه چه	طول ریشه چه	وزن تر گیاه‌چه	وزن خشک گیاه‌چه
آبیاری نرمال	۱	۰,۰۰۰^{ns}	۰,۰۰۰^{ns}	۰,٤۸***	۰,۰۳٦^{ns}	۰,۰۰۱***	۰,۰۰۰۱۷٤***
نانو سلنیوم	۲	۸,۰۰***	۰,۳٥۸***	۳,۳٦٥***	۹,۰٥۱***	۰,۰۰۱***	۰,۰۰۰٤۷***
آبیاری نرمال با نانوسلنیوم	۲	۰,۰۰۰^{ns}	۰,۰۰۰^{ns}	۰,۰۳۱^{ns}	۰,۰۰۰^{ns}	۷,۲۲^{ns}	۰,۰۰۰۱٥***

خطا	۱۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۱	۰,۰۰۷	۰,۰۲۷	۵,۰۰	۰,۰۰۰
ضریب تغییرات(٪)	–	۰,۹۷	۱,۰۳	۳۷,۴۲	۴۶,۷۸	۵۲,۴۰	۳۹,۳۰

ns = غیر معنی‌دار، *،،*** به ترتیب به معنای معنی‌دار بودن در سطح احتمال بین ۵ صدم و یک درصد، بین یک‌هزارم و یک درصد و بین یک‌هزارم و صفر می‌باشد**

ns = non-significant, *,,*** respectively mean significance at the level of probability between 5 hundredths and one percent, between one thousandth and one percent and between one thousandth and zero**



نمودار ۳- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر وزن‌تر و خشک گیاه گوجه گیلاسی در شرایط آبیاری نرمال و تنش آب

Fig 3- Effect of different concentrations of selenium on wet and dry weight of cherry tomato plants under normal irrigation and water stress conditions

: کنترل، bSe2: ۲میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم،nSe2: ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم، bSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، nSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم، bSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم، nSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم

DC: کنترل تنش خشکی، DbSe2: ۲میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی،DnSe2: ۲ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، DbSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، DnSe4: ٤ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی، DbSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در تنش خشکی، DnSe10: ۱۰ میلی گرم بر لیتر نانو سلنیوم در تنش خشکی.

***جهت رسم بهتر نمودار وزن خشک تیمارها در ۱۰۰۰ ضرب شده است**

C: Control; bSe2: 2 ppm Selante Sodium; nSe: 2ppm Nano Selenium; bSe4: 4ppm Selenat Sodium; nSe4: 4ppm Nano Selenium; bSe10: 10 ppm Selenate Sodium; nSe10: 10 ppm Nano Selenium

DC: Control of aquatic stress; DbSe2:2 ppm Selenate 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.

***In order to better draw the graph, the dry weight of the treatments has been multiplied by 1000**

اثر تیمارهای مختلف بر وزن خشک گیاه چه در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳). به‌طوری‌که تمام غلظت‌های شاهد بالک و نانو سلنیوم سبب کاهش وزن خشک در مقایسه با شاهد در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی شدند. بیشترین کاهش در شرایط آبیاری نرمال در غلظت۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم بالک و نانو سلنیوم (٤٤/٤٥ و ٤٩/٥٠ درصد) در مقایسه با شاهد مشاهده شد. در

شرایط تنش آبی نیز غلظت های ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم بالک و نانو سلنیوم به ترتیب سبب کاهش ۵۰ و ۷۵ درصدی وزن خشک در در مقایسه با کنترل شدند (نمودار۳). یافته های ما نشان داد که درصد جوانه زنی تحت تاثیر غلظت های پایین سلنیوم قرار نگرفت به طوریکه اختلاف معنا داری مشاهده نشد ولی در غلظت بالای سلنیوم (۱۰ میلی گرم بر لیتر) درصد جوانه زنی در مقایسه با شاهد کاهش یافته بود که همسو با نتایج تحقیقات انجام‌شده به‌وسیله Hoshmandfar و Moraghebi در سال ۲۰۱۱ است، که کاهش جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ تحت تیمار عناصر سنگین کادمیوم، نیکل، مس و روی را گزارش کردند. تیمار عناصر سنگین به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای سبب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی می شود. Shafiq و همکاران در سال ۲۰۰۸ و Aroiee و همکاران نیز در سال ۲۰۰۳، به ترتیب کاهش جوانه‌زنی بذرهای *Leucaena leucocephala* را تحت تیمار ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سرب و کادمیوم و بذرهای خیار را تحت تیمار عناصر سنگین نیکل، کادمیوم گزارش کردند که همسو با نتایج تحقیق اخیر می‌باشد. این کاهش می‌تواند به دلیل تجزیه مواد غذایی ذخیره‌شده دردانه در اثر کاربرد کادمیوم باشد. در بررسی انجام‌شده بر روی گیاه آفتاب‌گردان، پیش تیمار نانو سلنیوم سبب افزایش معنادار جوانه‌زنی شد(Kaur *et al*., 2003). پیش تیمار سلنیوم سبب افزایش میزان اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و تحرک بیشتر مواد ذخیره‌ای در بذر می‌شود که به همین علت درصد جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (Bradford, 1995) که همسو با نتایج تحقیق اخیر نمی‌باشد.

طول ساقه چه و ریشه چه: نتایج ما نشان داد که غلظت های پایین نانو سلنیوم(۲ و ٤ میلی گرم بر لیتر) سبب تحریک رشد و غلظت سمی سلنیوم(۱۰ میلی گرم بر لیتر) سبب مهار رشد گردید و آثار سمیت به صورت قهوه ای شدن مشاهده شد که یافته های ما مطابق با یافته های Babajani و همکاران (۲۰۱۹a)، Sotoodehnia و همکاران (۲۰۲۰) و Safari و همکاران (۲۰۱۸) می‌باشد. کاهش معنادار طول ساقه چه و ریشه‌چه در غلظت بالای کادمیوم *et* (Mihalescu *al*., 2010) و غلظت بالای سرب در گیاه ذرت (Kastori *et al*., 2012) گزارش شد که با نتایج تحقیق اخیر همسو است. Navaz و همکاران در سال ۲۰۱۳، گزارش دادند که پیش تیمار بذرهای گندم با ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میکرو مول سلنات سدیم به مدت یک ساعت سبب افزایش طول ریشه، شاخص تحمل و بیومس گیاه چه گندم شد. Dehghani Bidgoli در سال ۲۰۰۸ گزارش داد که تیمار بذرهای گون گرزی با نانو سلنیوم سبب افزایش طول ریشه‌چه و ساقه چه گردید که با نتایج تحقیق اخیر هم‌خوانی دارد. ممکن است دلیل این موضوع، این باشد که تیمار بذرها با نانو سلنیوم سبب در اختیار گذاشتن نیتروژن برای گیاه شود و ازاین‌رو سنتز اسیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک افزایش یابد و درنتیجه سبب تشکیل پروتوپلاسم و سلول‌های جدید شود و ازاین‌رو طول ساقه چه و ریشه‌چه افزایش یابد. Ahmad و همکاران در سال ۲۰۰۹ کاهش جوانه‌زنی و رشد ساقه چه و ریشه‌چه

بذر آفتابگردان را در غلظت‌های سمی نیکل گزارش دادند که همسو با نتایج این تحقیق در غلظت سمی ۱۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. Radha و همکاران در سال ۲۰۱۰ گزارش دادند که کاهش رشد ریشه‌چه و طول ساقه‌چه در اثر سمیت فلزات سنگین، می‌تواند به دلیل دخالت این عناصر در فرایند تقسیم سلولی و انحرافات و اختلالات کروموزومی و میتوز غیرطبیعی باشد. Kabir و همکاران نیز در سال ۲۰۰۸ کاهش در طول ریشه‌چه و ساقه چه را در گیاه *Thespesia populnea* در اثر سمیت عناصر سنگین سرب و کادمیوم گزارش کردند و بیان داشتند که این کاهش می‌تواند درنتیجه اختلال در فعالیت سلول‌های مریستمی در ناحیه غشای سلولی و برخی آنزیم‌های لپه‌ای و آندوسپرم بذر باشد. همچنین Saffaryazdi و همکاران در سال۲۰۱۲ و Hajiboland و Keivanfar در سال ۲۰۱۲، گزارش دادند که سطوح پایین سلنیوم سبب افزایش رشد و تولید بیومس در گیاه اسفناج می‌شود که با نتایج تحقیق اخیر در غلظت پایین سلنیوم ۲ میلی گرم بر لیتر هم‌خوانی دارد. که می‌تواند به دلیل نقش عنصر سلنیوم بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی‌باشد. Xiaoqin و همکاران در سال ۲۰۰۹ بیان داشتند که احتمالاً سلنیوم در شرایط محدودیت رطوبتی در گندم، از طریق افزایش محتوای پرولین سبب تجمع بیومس می‌شود، همچنین Pennanen و همکاران در سال ۲۰۰۲ نیز بیان داشتند که سلنیوم با تأخیر در کاهش توکرفرول در شرایط آبیاری مطلوب در سیب‌زمینی سبب تجمع بیومس می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده در گندم بهاره توسطKuznetsov و همکاران در سال۲۰۰۳، بیانگر این بود که سلنیوم محتوای آب برگ‌ها را کاهش داده ولی مانع از کاهش رشد گیاه در اثر کمبود آب می‌گردد که با نتایج تحقیق اخیر در غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر سلنیوم در شرایط تنش آبی هم‌خوانی دارد. Sajedi و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱، گزارش نمودند که محلول‌پاشی با سلنیوم عملکرد دانه را در ارقام مختلف گندم دیم به میزان ۷/۵ درصد افزایش می‌دهد.

وزن تر و خشک گیاهچه: Yao و همکاران در سال ۲۰۱۱ گزارش نمودند که افزایش سلنیوم به‌طور معناداری سبب افزایش وزن اندام هوایی و کاهش وزن ریشه شد. Ramos و همکاران در سال ۲۰۱۰ گزارش دادند که درکشت گلدانی بیوماس اندام هوایی کاهو تحت تیمار سلنات و سلنیت سدیم در غلظت‌های ٤ و ٨ به ترتیب به میزان ٥/٦٧ و ٣/٦٩درصد افزایش یافت اما غلظت‌های بالاتر از هر دو ترکیب، بیوماس اندام هوایی را کاهش داد. Aroiee و همکاران نیز در سال ۲۰۰۳، کاهش وزن‌تر و خشک دانه‌رست 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 در سال ۲۰۰۹ بر روی گیاه لوبیا و Sharifi و همکاران در سال ۲۰۱۰ بر روی گیاه عدس بود. Arzoo و همکاران نیز در سال ۲۰۱٤ بیان داشتند که غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر نیکل ابتدا سبب افزایش وزن‌تر و خشک دانه رست *Macrotyloma uniflorum* شد و غلظت ٤٠ و ١٠٠ میلی گرم بر لیتر نیکل سبب

کاهش شدید وزن‌تر و خشک شد که کاملاً یا نتایج تحقیق اخیر هم‌خوانی دارد. مطالعات انجام‌شده بر گونه‌های گیاهی مختلف بیان داشته است که عناصر سنگین بعد از جذب برای گیاهان سمی بوده و با تشکیل کمپلکس‌های پیچیده با گروه‌های جانبی ترکیبات آلی مانند پروتئین‌ها در بسیاری از اعمال سلولی دخالت کرده و درنتیجه از فعالیت‌های ضروری سلول جلوگیری می‌کند و درنهایت اثرات منفی بر بیومس می‌گذارد. در گیاهان تمام استرس‌ها وابسته به استرس اکسیداتیو است که از اولین پاسخ‌های سریع می‌باشد. استرس اکسیداتیو و تولید ROS در گیاهان تحت استرس خشکی یکی از فاکتورهای اصلی مسئول برای آسیب اکسیداتیو برگ‌ها می‌باشد. استرس آبی سبب القای تغییرات در فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود. سلنیوم نیز با توجه به نقش آن در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌تواند بر تحمل خشکی گیاهان مؤثر باشد (Wang *et a*l., 2012). ULHassan و همکاران در سال ۲۰۱۸ وHussein و همکاران در سال ۲۰۱۹ بیان داشتند که غلظت پایین سلنیوم و نانو سلنیوم سبب افزایش وزن‌تر برگ، وزن‌تر ساقه و وزن‌تر ریشه و در غلظت بالا به مقدار قابل‌توجهی سبب کاهش پارامترهای رشد در*Brassica napus* وگیاه بادام‌زمینی شد که کاملاً همسو با نتایج تحقیق اخیر می‌باشد.

در توت فرنگی اسپری برگی نانو سلنیوم با افزایش تولید هورمون اکسین، وزن تر ریشه افزایش یافت و متعاقبا سبب بهبود جذب آب و مواد مغذی شد(Zahedi *et al*., 2019). استفاده سلنیوم در گندم های تحت تنش خشکی، همه صفات به غیر از وزن گیاه و ارتفاع بوته تحت تاثیر اسپری سلنیوم قرار گرفتند، محصول دانه ها در استفاده از سلنیوم افزایش یافت، ولی در سطوح پایین سلنیوم این افزایش مشاهده نشد. اسپری سلنیوم در استرس خشکی اثرات مطلوبی را بر محتوای آب، اندیکس سطح برگی و سرعت رشد محصول داشت و سبب افزایش آنها شد(Teimouri *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری کلی

این مقاله اطلاعات ارزشمندی در مورد مزایای غلظت مناسب نانو سلنیوم برای شاخص های جوانه زنی گیاه گوجه (طول ریشه‌چه، ساقه‌چه، وزن تر و خشک در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی) فراهم آورده است. مسمومیت سلنیوم در غلظت‌های بالا سبب کاهش شاخص‌های مربوط می شود. همچنین در این مقاله، اطلاعات قیاسی در زمینه برتری نانو سلنیوم با همتای بالک در شاخص های جوانه زنی گیاه ارائه شده است. طبق این یافته ها نانو سلنیوم با دوزهای مناسب می تواند رشد گیاه را از طریق مکانیزم هایی مانند سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته تغییر دهد. این تحقیق همچنین اثرات مفید نانو سلنیوم را(غلظت های مناسب) در تحمل کم آبی برای گیاه گوجه فراهم آورده است.

منابع

1) Ahmad, M S A., Hussain, M., Ashraf, M., Ahmad, R. and M Y, Ashraf. 2009. Effect of nickel on seed germinability of some elite sunflower (*Helianthus annus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 41: 1871-1882.

2) 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. Front. *Plant Sci*., https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00347.
3) Aroiee, H., Shekari, L. and A, Mirshekari. 2019. Effects of selenium on damage of heavy metals in germination, growth and antioxidant activities of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(2): 269-286.
4) Arzoo, A., Kumar, S., Ashirbad, N., Kunja, M. and B, Satapathy. 2014. Impact of nickel on germination, seedling growth and biochemical changes of Macrotyloma uniflorum (Lam) verdc. International *Journal of Biosciences*, 5(9): 321-331.
5) 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.
6) 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.
7) Bhardwaj, P., Chaturvedi, A K. and P, Prasad. 2009. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiologicaland biochemical attributes of (Phaselous vulgaris L.). *Nature and Science*, 7(8): 63-75.
8) Bradford, K J. 1995. Water relations in seed germination. In "Seed Development and Germination" (J. Kigel and G. Galili, Eds.). Marcel dekkerinc. New York, 351-369.
9) Celikel, F G. and M S, Reid. 2002. Postharvest handling of stock (Matthiola incana). *Hort Sci*, 37(1): 144-147.
10) Dehghani Bidgoli, R. 2018. 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*, 10(2).
11) Djanaguiraman, M., Belliraj, N., Bossmann, S. and P.V, Prasad. 2018. High temperature stress alleviation by selenium nanoparticle treatment in grain sorghum. *ACS Omega*.; 3(3): 2479–2491.
12) Fahad, S., Ali, A., Bajwa, A., Nazir, U A., Anjum, S., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M Z., Alharby, H., Wu, C., D Wang. and J, Huang. 2017. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. Front. *Plant Sci*, 8: 1147.
13) Gui, Y., Sheteiwy, M S., Zhu, S., Batool, A. and Y, Xiong. 2020. Differentiate effects of non-hydraulic and hydraulic root signaling on yield and water use efficiency in diploid and tetraploid wheat under drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 181, 104287.
14) Haghighi, M., Abolghasemi, R A. and J, Teixeira da Silva. 2014**.** Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment. *Scientia Horticulturae*, 178:231-240.
15) Hajiboland, R. and N, Keivanfar. 2012. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (Brassica napus L.) plants. *Acta Agriculturae Slovenica*, 99(1): 13–19.
16) Handa, N., Kohli, S K., Sharma, A., Thukral, A K., Bhardwaj, R. and E F, Abd_Allah. 2019. Selenium modulates dynamics of antioxidative defence expression, photosynthetic attributes and secondary metabolites to mitigate chromium toxicity in Brassica juncea L plants. *Environ Exp Bot*, 161: 180–192. https:// doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.009.
17) Hasanuzzaman, M., Hossain, M A. and M, Fujita. 2010**.** Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism

stress on seedling growth. *Int. Chickpea and Pigeonpea Newsl*, 10: 18-20.

26) Khattab, N M. 2004. A novel solar-powered adsorption refrigeration module. *Applied Thermal Engineering*, 24: 2747–2760.
27) Kuznetsov, V V., Kholodova, V P. and B A, Yagodin. 2003. Selenium regulates the waterstatus of plants exposed todrought. *Doklady Biolological Science*, 390: 266-268.
28) Li, C., Ji, J., Wang, G., Li, Z., Wang, Y. and Y, Fan. 2020. Over-Expression of LcPDS, LcZDS, and LcCRTISO, Genes from Wolfberry for Carotenoid Biosynthesis, Enhanced Carotenoid Accumulation, and Salt Tolerance in Tobacco. *Front Plant Sci*, 11: p119.
29) Manikavelu, A., Nadarajan, N., Ganesh, S K., Gnanamalar, R P. and R C, Babu. 2006. Drought tolerance in rice: morphological and molecular genetic consideration. *Plant Growth Regul*, 50, 121–138. doi: 10.1007/s10725-006-9109-3
30) Mihalescu, L., Mare-Rosca, O E., Marian, M. and C F, Blidar. 2010. Research on the growth intensity of the Zea mays L. plantlets aerial parts under Cadmium treatment.
31) Moller, I M., Jensen, P E. and A, Hansson. 2007. Oxidative modifications to cellular components in plants. Ann. Rev. *Plant. Biol*, 58, 459–481. doi: 10.1146/annurev.arplant.58.032806.103946
32) Navaz, F., Ashraf, M Y., Ahmad, R. and E A, Waraich. 2013. Selenium (Se) Seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. *Biol.Trace Element. Res*, 151: 284-293.
33) Nazerieh, H., Ardebili, Z O. and A, Iranbakhsh. 2018. Potential benefits and toxicity of nanoselenium and nitric oxide in peppermint. *Acta Agric. Slov*, 111(2): 357-368.
34) Okcu, G., Kaya, M D. and M, Atak. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea and abiotic stress tolerance. *Journal of plant sciences*, 5 (4): 354-375.
18) Hoshmandfar, A. and F, Moraghebi. 2011. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc onseed germination and seedling growth of safflower. African *Journal of Agricultural Research*, 6 (5): 1182-1187.
19) 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). *Front. Plant Sci*, 9: 597.
20) Hussein, H A M., Darwesh, O. B. and B, Mekki. 2019. Environ mentally friendly nano-selenium to improve antioxidant system and growth of groundnut cultivars under sandy soil conditions. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18: 101080.
21) Kabir, M., Iqbal, M Z., Shafigh, M. and Z R, Faroogi. 2008. Reduction in germination and seedling growth of Thespesia populnea L. caused by lead and cadmium treatments. *Pakistan Journal of Botany*, 40(6): 2419-2426.
22) Kaklewski, K., Nowak, J. and M, Ligocki. 2008. Effects of selenium content in green parts of plants on the amount of ATP and ascorbate–glutathione cycle enzyme activity at various growth stages of wheat and oilseed rape. *Journal of Plant Physiology*, 165: 1011-1022.
23) Karmollachaab, A., Bakhshandeh, A., Gharineh, M H., Moradi Telavat, M R. and G, Fathi. 2015. Effect of Silicon application on Morpho-physiological Characteristics, Grain Yield and Nutrient Content of Bread Wheat under Water Stress Conditions. JCPP,4 (14) :133-145.
24) Kastori, R., Petrović, N., Gašić, O. and V, Janjatović. 2012. Uticaj olova na akumulaciju i distribuciju mineralnih materijau soji (*Glycine max*. (L.) Merr). *Proceedings for Natural Sciences, Srpska*, 80: 55–65.
25) Kaur, S A K., Gupta. and N, Kaur. 2003. Priming of chickpea seeds with water and mannitol overcomes the effect of salt

(*Pisum sativum* L.). *Turk. J. Agric. For*, 29, 237–242.

35) Pennanen, A., Xue, T. and H, Hartikainen. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. *J. Appl*. Bot. 76: 66- 76.

36) Radha, J., Srivastava, S., Solomon, S., Shrivastava, A K. and A, Chandra. 2010. Impact of excess zinc on growthparameters cell division, nutrient accumulation, photosynthetic pigments and oxidative stress of sugarcane (Saccharum spp). *Acta Physiology Plant*, 32: 979-986.

37) Ramos, S J., Faquin, V., Guilherme, L R G., Castro, E M., Ávila, FW., Carvalho, G S., Bastos, C E A. and C, Oliveira. 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant Soil Environ*, 56, (12): 584–588.

38) Rı´os, J., Blasco, B., Cervilla, L., Rosales, M., Sanchez-Rodriguez, E., Romero, L. and J M, Ruiz. 2008. Production and detoxification of H_2O_2 in lettuce plants exposed to selenium. *Annals of Applied Biology*, 107-116.

39) Safari, M., Ardebili, Z O. and A, Iranbakhsh. 2018. 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*, 40(6): 117.

40) Saffaryazdi, A., Lahouti, M. and A, Ganjali. 2012. Effect of different concentrations of selenium on morphophysiological characteristics on spinach Spinaciaoleraceae. Journal of *Horticultural Science (Agricultural Science and Technology*), 26 (3): 300-292.

41) Sajedi, N A., Ardakani, M R., Madani, H., Naderi, A. and M, Miransari. 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.

42) Shafiq, M., Iqbal, M Z. and M, Athar. 2008, Effect of lead and cadmium germination and seedling growth of Leucaena leucocephala. *Journal of Environmental Science and Management*, 12(2): 61-66.

43) Sharifi, P., Matlabi, A., Hadi, H. and H, Mohamad Alipor. 2010. 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, http://www.civilica.com/Paper-SACP01-SACP01_269.htm.

44) Sheteiwy, M S., Gong, D., Gao, Y., Pan, R., Hu, J. and Y, Guan. 2018. Priming with methyl jasmonate alleviates polyethylene glycol-induced osmotic stress in rice seeds by regulating the seed metabolic profile. *Environmental and Experimental Botany*, 153: 236–248.

45) Sotoodehnia-Korani, S., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., Majd, A. and Z O, Ardebili. 2020. Selenium nanoparticles induced variations in growth, morphology, anatomy, biochemistry, gene expression, and epigenetic DNA methylation in Capsicum annuum; an in vitro study. *Environmental Pollution*, p114727. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114727.

46) Teimouri, S., Hasanpour, J., 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*, 2(1): 2091-2103.

47) Ulhassan, Z., Ali, S A., Gill, R M., Mwamba, T., Abid, M., Li, L., Zhang, N. and W, Zhou. 2018. 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*, 161: 634–647.

48) Wang, C. 2011. Water-stress mitigation by selenium in Trifolium repens L. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 174: 276–282.
49) 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.
50) Xiaoqin, Y., Jianzhou, C. and. W, Guangyin. 2009. Effects of drought stress and selenium supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings. A*cta Physiologiae Plantarum*, 31: 1031–1036
51) Yao, X J., Chu, X., He. and C, Ba. 2011. Protective Role of selenium in Wheat seedlings Subjected to Enhanced UVB Radiation. Russian. J. *Plant Physiol*, 58: 283–289
52) Zahedi, S M., Abdelrahman, M., Hosseini, M S., Hoveizeh, N F. and L S P, Tran. 2019. Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environ. Poll*, 253: 246–258. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.078.
53) Zahedi, S M., Abdelrahman, M., Hosseini, M S., Hoveizeh, N F. and L S P, Tran. 2020. Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environ Pollut*, 253: 246–258. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.078.
54) Zahedi, S M., Hosseini, M S., Daneshvar Hakimi Meybodi, N. and W, Peijnenburg. 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 Agriculture*, https://doi.org/10.1002/jsfa.11167.
55) Zeid, I M. and Z A, Shedeed. 2006. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biol Plant*, 50: 635–640.
56) Zhou, J., Zhang, C., Du, B., Cui, H., Fan, X., Zhou, D. and J, Zhou. 2021. Soil and foliar applications of silicon and selenium effects on cadmium accumulation and plant growth by modulation of antioxidant system and Cd translocation: Comparison of soft vs. durum wheat varieties. *Journal of Hazardous Materials*, 402: 123546.