بررسی تغییرات گوجه فرنگی گلخانه‌ای تیمار شده با عنصر مفید به شکل فلزی و نانوفلزی

رضا ابوالقاسمی و مریم حقیقی*

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ١٣٩٤/٠٢/٢٢، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٤/١٢/١٢)

چکیده:

تحقیقات محدودی در خصوص اثر عنصر سودمند سلنیوم بر رشد و خواص فیزیولوژیکی سبزیجات موجود است. جهت بررسی اثر این عنصر و مقایسه اثر آن با نانوذرات آن آزمایشی در محیط هیدروپونیک در گلخانه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان در زمستان ١٣٩١ اجرا شد. این تحقیق به صورت آزمایش کاملاً تصادفی طرح ریزی شد. سلنیوم در غلظت های ٢/٥، ٥ و ١٠ میلی مولار و نانوسلنیوم در غلظت های ١، ٤، ٨ و١٢ میکرومولار به محلول غذایی اضافه شد و محلول غذایی پایه به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. جهت مقایسه اثر استفاده فرم فلزی و نانو این عنصر صفات رویشی، فعالیت فتوسنتزی و آنتی اکسیدانی گوجه فرنگی اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که سلنیوم در غلظت ٥ و ١٠ میلی مولار باعث بهبود صفات قطر ساقه و سبزینگی شد. نانوسلنیوم در غلظت ٨ میکرومولار بر صفات حجم ریشه، وزن تر ریشه، مقدار آب نسبی شاخساره، آنتی اکسیدان کل موثر بود درحالیکه صفات فتوسنتزی، دی اکسید کربن زیر روزنه، دمای برگ، هدایت مزوفیلی در غلظت ٤ میکرومولار نانوسلنیوم بیشترین مقدار را داشت. کارایی مصرف آب فتوسنتزی و فتوسنتز با افزودن سلنیوم در هر دو فرم فلزی و نانو کاهش یافت و فنول برگ تغییر معنی داری نداشت. بطور کلی به نظر می رسد سلنیوم به فرم فلزی بر صفات رویشی و به فرم نانو بر تغییرات فتوسنتزی و آنتی اکسیدانی موثرتر بود و استفاده از سلنیوم در غلظت ٥ میلی مولار و نانوسلنیوم در غلظت ٤ میکرومولار جهت افزایش رشد گوجه فرنگی قابل توصیه است.

واژه های کلیدی : سلنیوم، عناصر مفید، نانوسلنیوم، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه:

عنصر سودمند سلنیوم با عدد اتمی ٣٤ در گروه ششم جدول تناوبی قرار گرفته است و تحقیقاتی مبتنی بر ضرورت وجود این عنصر در گیاهان انجام شده است (Lyons *et al*., 2003). برخی گونه‌ها مقدار زیادی سلنیوم را در خود جمع می‌کنند، در حالی که بسیاری از گونه‌های گیاهی نسبت به وجود مقادیر زیاد سلنیوم در خاک و آب حساس بوده و سلنیوم برای آن ها عنصری سمی محسوب می‌شود (Lyons *et al*., 2003). میزان حد مفید و حد سمیت سلنیوم بسیار نزدیک است و نگرانی در مورد امکان سمیت سلنیوم، یک نگرانی دائم است (Kabata-Pendis, 2011). اکثر گیاهان حاوی مقادیر نسبتاً کم سلنیوم، در حدود ٢٥ میکروگرم بر کیلوگرم هستند. به ندرت میزان آن از ١٠٠ میکروگرم بر کیلوگرم تجاوز می‌کند. با این وجود برخی گیاهان توانایی بالایی در انباشتن سلنیوم نشان می‌دهند. ممکن است غلظت سلنیوم در آن‌ها به سطوح بسیار بالایی برسد که برای انسان و حیوانات سمی می‌باشد (Kabata-Pendis, 2011).

تحقیقات نشان داد که سلنیوم موجب افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی در برخی گیاهان شده و مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد (Lyons *et al*, 2008). تیمار

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: hatamniya60@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]

با سلنیوم فعالیت آنتی اکسیدانی را در کلم بروکلی افزایش داد (Anna *et al*., 2005) و باعث افزایش مقاومت نشاءهای گوجه‌فرنگی به تنش خشکی شد (Mirza and Fujita, 2011). تیمار سلنیوم با افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و پروکسیده شدن لیپیدها، اثر تنش سرمایی در خیار را کاهش داد (Liu, 2009).

تولید ذرات نانو و کاربرد آن در علوم مختلف در حال افزایش است و به رغم تولید روزافزون آن بررسی‌های محدودی در خصوص اثرات این مواد بر رشد گیاه وجود دارد. نانوذرات با داشتن سطح به حجم بالا قابلیت نفوذ و اثرگذاری بیشتری در غلظت‌های کم دارند و به عنوان کود مورد استفاده قرار می‌گیرد اما تحقیقات محدودی اثر نانوذرات مختلف را بر رشد و فیزیولوژی گیاهان مورد بررسی قرار داده است. بطور مثال بهبود رشد ریشه و افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز، بهبود فتوسنتز و رشد گیاه اسفناج بوسیله کاربرد نانوتیتانیوم گزارش شده است (Lee, 2010).

نانوسلنیوم در حجم زیاد و با درصد خلوص بالا جهت استفاده در صنعت تولید می شود که قابلیت استفاده به عنوان کود در کشاورزی را نیز دارد لذا بررسی امکان استفاده از آن و مقایسه اثر آن با فرم فلزی سلنیوم قبل از توصیه آن ضروری است هرچند تحقیقات زیادی در خصوص اثرات سلنیوم بر تغذیه انسان صورت گرفته است و استفاده از مکمل‌های غذایی و غنی‌سازی گیاهان از طریق افزایش این عنصر به محیط رشد گیاه توصیه شده است (Anna *et al*., 2005) اما تحقیقات اندکی در خصوص اثر این عنصر بر رشد و فیزیولوژی گیاه و میزان مناسب جهت رشد گیاه صورت گرفته است. لذا در این آزمایش سعی شده است اثر غلظت های مختلف سلنیوم و نانوسلنیوم بر ویژگی های رشدی، مورفولوژیکی و فتوسنتزی گوجه فرنگی در محیط هیدروپونیک با حذف اثرات پیچیده خاک بررسی می شود.

مواد و روش‌ها:

به منظور بررسی اثرات سلنیوم و نانوسلنیوم بر خصوصیات رشدی و فتوسنتزی گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) رقم J-N 3 در محیط کشت هیدروپونیک آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در شرایط محیطی کنترل شده گلخانه دانشگاه صنعتی اصفهان (عرض جغرافیایی ۱۸ ۷ ۲۳ شمالی، عرض جغرافیایی ۲ ۵۳ ۵۱ جنوبی) انجام شد. نشائهای گوجه‌فرنگی در مخلوطی از پیت و پرلایت ۱:۱حجمی پرورش داده شدند. گیاهچه‌های ٤-۳ برگی، به سیستم آبکشت (ظروف یک لیتری) همراه با هوا رسانی توسط پمپ هوا (هر ساعت ۱۵ دقیقه هوا رسانی می‌شد) انتقال یافتند. سطح محلول غذایی در داخل ظروف به میزان ثابت نگه داشته شد. به منظور جلوگیری ازنفوذ نور به محلول، اطراف ظروف با پلاستیک مشکی ضخیم پوشانده شد. ترکیب محلول غذایی بر حسب میلی‌گرم در لیتر به این قرار بود: نیتروژن (۷۰)، فسفر (۵۰)، پتاسیم (۲۰)، کلسیم (۲۰)، منیزیم (۵۰)، آهن (۲/۸)، منگنز (۰/۸)، روی (۰/۳)، مس (۰/۳)، بر (۰/٦) و مولیبدن (۰/۰۵). یک هفته پس از استقرار گیاه در محلول غذایی تیمارهای آزمایش به صورت محلول غذایی پایه به عنوان شاهد، ۲/۵، ۵، ۱۰ میلی مولار سلنیوم (از منبع سلنیت سدیم) و ۱، ٤ ، ۸ و ۱۲ میکرومولار نانوسلنیوم به محلول غذایی پایه اضافه شد. خصوصیات نانوسلنیوم تهیه شده از پژوهشکده نانو دانشگاه شیراز در جدول۱ آورده شده است. قابل ذکر است به دلیل اثرگذاری بالای ذرات نانو در مقایسه با فرم فلزی میزان غلظت مورد استفاده آن بسیار کمتر و از محاسن استفاده از آن است. غلظت سلنیوم طبق (خاوری‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹)، (Clarke and Mccaig, 1982b) و غلظت نانوسلنیوم برطبق پیش تیمار انجام شده توسط نویسندگان و میزان نانوکودهای دیگری که در سبزیجات استفاده شده (Fargasova *et al*, 2006) انتخاب گردیده است.

در پایان آزمایش بررسی فاکتورهای رشدی و فتوسنتزی انجام شد. اندازه‌گیری صفات فتوسنتزی از جمله میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ ($\mu molCO_2 m^{-2} s^{-1}$) و میزان تعرق ($mmol\ m^{-2} s^{-1}$) و میزان CO_2 درون روزنه ای (میکرومول بر مول) از دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز مدل (Li-Cor, Li-3000, USA) استفاده گردید. به این منظور قسمت میانی برگ‌های بالغ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]

جدول ۱- خصوصیات نانو سلنیوم

خصوصیات ساختاری	
Thermogravimetric analysis (TGA)	۵/۰±۰/۰۲
Inductively coupled plasma (ICP)	٤/۹±۰/۰۹
اندازه(nm)[1]	۲۰-۳۵
درصد خلوص (%)[2]	۹۸
سطح فعال(m^2g^{-1})[3]	٤٦۱

1-Estimated with electron microscopes such as SEM, AFM, and TEM.
2- Evaluated by methods such as TGA, ICP, etc.
3-Estimated by nitrogen adsorption isotherms.
SEM= Scanning electron microscopy
AFM= Atomic force microscopy
TGA= Thermogravimetric analysis
ICP= Inductively coupling plasma

در داخل محفظه شیشه‌ای قرار گرفت و داده‌ها هر ٦۰ ثانیه یادداشت گردید. هدایت مزوفیلی (میلی مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه) از تقسیم کردن فتوسنتز به غلظت دی‌اکسید کربن درون روزنه‌ای بدست آمد. به منظور تعیین کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مول H_2O) میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم شد (Doshi *et al*,2008). کارایی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازاء هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد. امکان افزیش توانایی گیاه جهت حفظ آب و مقاومت نسبی به تنش تحت تاثیر سلنیوم و نانوسلنیوم صفات مقدار نسبی آب برگ و مقدار آب حفظ شده گیاه شاخص ثبات غشا و فعالیت آنتی اکسیدانی و فنول محاسبه شد.

تعداد سه برگ مشابه از هر گیاه انتخاب و با استفاده از دستگاه SPAD (مدل Minolta-502) شاخص سبزینگی برگ ها اندازه گیری شد.

جهت تعیین مقدار نسبی آب برگ (Relative Water Content) به طور تصادفی برگ های تازه گیاه انتخاب و به اندازه یک سانتی متر جدا و وزن شد (W_I) این قطعات برگ در آب مقطر در محل تاریک در دمای چهار درجه سلسیوس قرار داده شد و پس از ٢٤ساعت دوباره وزن شد (W_f) و سپس وزن خشک این قطعات پس از قرار دادن در آون با دمای ٦۰ درجه سلسیوس به مدت ٢٤ ساعت اندازه گیری شد(Mohsenzadeh *et al*, 2006) و از فرمول زیر جهت محاسبه مقدار نسبی آب بافت استفاده شد (Mohsenzadeh *et al*, 2006):

$$RWC = \frac{Wi-Wd}{Wf-Wd}\times 100$$

جهت تعیین مقدار آب حفظ شده در گیاه (Excised leaf water retention)، به روش (Clarke and Mccaig 1982) عمل شد:

$$ELWR = \{1- [(FW -WW)/FW]\} \times 100$$

که در این فرمول FW : وزن برگ تازه و WW : وزن برگ پس از پنج ساعت جدا شدن از گیاه در دمای آزمایشگاه می‌باشد.

برای تعیین شاخص ثبات غشا (MSI) نیز از هر تیمار ۰/۱ گرم برگ جدا شد، یک بار توسط آب معمولی، سپس دو بار توسط آب مقطر شسته شد، در لوله آزمایش قرار داده شد و به میزان ثابت آب مقطر به هرکدام اضافه شد. در حمام آب گرم در دمای ٤۰ درجه سلسیوس بمدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. توسط EC متر هدایت الکتریکی اولیه اندازه گیری شد. دوباره به لوله ها باز گردانده شد و آب مقطر به میزان ثابتی ریخته و بمدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس در حمام آب گرم قرار داده و EC ثانویه اندازه گیری شد و توسط فرمول زیر محسبه گردید (Sairam and Srivastava, 1993) :

$$MSI= [1- (C_1/C_2)] \times 100$$

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدان کل (Mohsenzadeh

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]

۰/۱ میلی لیتر از عصاره گیاهی (۰/۲ گرم پودر برگ) در محلول متانولی DPPH استفاده شد. میزان آنتی اکسیدان در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه گیری و از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Oktay *et al*, 2003):

درصد ممانعت = OD کنترل – OD نمونه / OD کنترل

کنندگی آنتی اکسیدان

برای اندازه گیری فنلاز معرف فولین استفاده شد، سپس جذب کمپلکس تشکیل شده با طول موج ۷٦۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه گیری شد (Raven, 2003).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری Statestix 8 و مقایسه میانگین ها با کمک آزمون LSD ($P<0.05$) انجام گرفت.

جهت محاسبه اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر رشد گیاه، شاخص های حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره و قطر ساقه اندازه گیری شد. بلافاصله پس از خارج کردن گیاه از ظروف کشت، حجم ریشه به روش تغییر حجمی آب بر حسب میلی‌لیتر برآورد گردید. برای اندازه گیری وزن تر ریشه و شاخساره، بوته‌ها با اسکالپل از محل طوقه جدا شده و وزن تر هر قسمت جداگانه با ترازو وزن شد و یادداشت گردید. سپس به منظور اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌ها و شاخساره‌ها، هر یک جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند و به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در خشک کن قرار گرفتند و پس از طی این مدت وزن خشک با ترازو اندازه‌گیری و یادداشت گردید. قطر ساقه نیز توسط کولیس در پایان آزمایش اندازه گیری شد.

نتایج :

اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر تغییرات رشدی گیاه گوجه فرنگی:

جدول ۲ نشان می دهد که بیشترین میانگین قطر ساقه در غلظت های بالای سلنیوم (۵ و ۱۰ میلی مولار) و نانوسلنیوم (۸ و ۱۲ میکرومولار) وجود دارد. کمترین میانگین قطر در شاهد دیده شد که در مقایسه کاربرد نانوسلنیوم و سلنیوم، سلنیوم قطر ساقه را افزایش بیشتری داد. حجم ریشه نیز به طور مشابهی در غلظت های بالاتر سلنیوم و نانوسلنیوم افزایش یافت و تیمار ۸ میکرومولار نانوسلنیوم باعث افزایش ۷۲/٤ درصدی حجم ریشه نسبت به شاهد شد (جدول ۲).

تیمارهای سلنیوم و نانوسلنیوم بر فاکتورهای وزن خشک ریشه تاثیر معنی‌دار نداشت و داده‌ها آورده نشده است. بیشترین وزن تر ریشه در غلظت ۸ میکرومولار نانوسلنیوم افزایش ۲۸/۹ درصد نسبت به شاهد داشت (جدول ۲). سلنیوم و نانوسلنیوم اثرات چشمگیری بر وزن تر شاخساره و ریشه نداشت و کمترین وزن تر ریشه در غلظت ۱ میکرومولار نانوسلنیوم مشاهده شد. بیشترین وزن تر شاخساره در غلظت ۲/۵ میلی مولار سلنیوم که ٤٤/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته و کمترین آن در غلظت ۱ میکرومولار نانوسلنیوم که ۳۵/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش مشاهده شد (جدول ۲). همانطور که در جدول مشاهده می‌شود تفاوت معنی‌داری بین سایر تیمارها مشاهده نشد.

بیشترین شاخص سبزینگی درتیمار ۵ و۱۰ میلی مولار سلنیوم بود که ۷۳ درصد افزایش نسبت به شاهد و کمترین شاخص سبزینگی در تیمار شاهد دیده شد. فاکتور مقدار نسبی آب شاخساره نشان داد که غلظت ۸ میکرومولار نانوسلنیوم بیشترین، یعنی ۱۳٤ درصد نسبت به شاهد و غلظت ۱۲ میکرومولار نانوسلنیوم و ۲/۵ میلی مولار سلنیوم کمترین تاثیر را بر مقذار نسبی آب بافت داشت.

طبق جدول ۳ بیشترین مقدار آب حفظ شده، در تیمار شاهد مشاهده شد و کمترین میزان در تیمار ۵ میلی مولار سلنیوم مشاهده شد.

اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر تغییرات فتوسنتزی گوجه‌فرنگی:

با توجه به جدول ۳ تعرق در هیچکدام از تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. میزان فتوسنتز در تیمارهای مختلف تفاوت معنی داری نداشت و فقط در غلظتهای ۸ و ۱۲ میلی مولار سلنیوم کاهش یافت (شکل ۱).

بیشترین میزان دی اکسید کربن زیر روزنه در تیمار ٤ میکرومولار نانوسلنیوم با ۸/۷ درصد افزایش نسبت به شاهد وکمترین میزان در تیمار ۵ میلی مولار سلنیوم با ۷/۸ درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]

جدول۲- اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر خصوصیات رشدی گوجه فرنگی

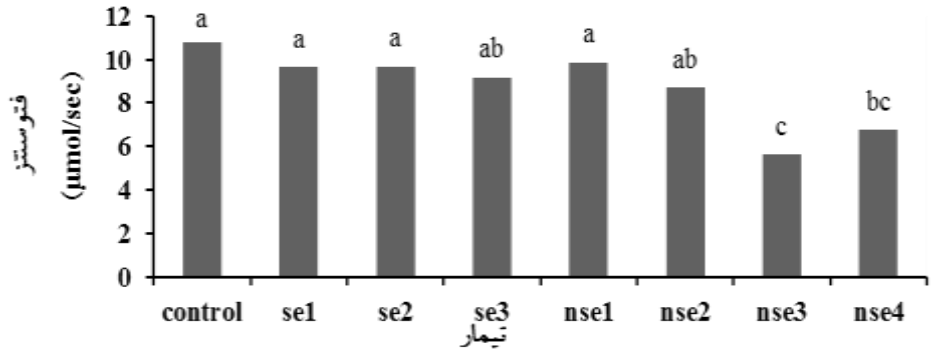
تیمار	قطر ساقه (میلیمتر)	حجم ریشه (میلی لیتر)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر شاخساره (گرم)
شاهد	۳ d	۲/۰۳ bc	۲/۸۰ ab	۳/۵٤ ab
۲/۵ میلی مولارسلنیوم	۵/۵ c	۲ bc	۳/۲۰ ab	۵/۱۱ a
۵ میلی مولارسلنیوم	۸/۷ a	۲/۵۰ abc	۲/٦۱ abc	۳/۸۹ ab
۱۰ میلی مولارسلنیوم	۸/۵ a	۳ ab	۳/۲۹ ab	٤/٦۹ ab
۱ میکرومولارنانوسلنیوم	۵/۷ bc	۱/۵۰ c	۱/۵۰ c	۲/۲۸ b
٤ میکرومولار نانوسلنیوم	۵ cd	۲ bc	۲/۳۳ bc	٤/٤۹ ab
۸ میکرومولارنانوسلنیوم	۷/۵ ab	۳/۵۰ a	۳/٦۱ a	٤/۷۷ ab
۱۲میکرومولارنانوسلنیوم	۷/۵ ab	۳ ab	۳/۹۱ ab	٤/۰۱ ab

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال ۱ درصد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

جدول۳- اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر تعرق، کلروفیل، مقدار آب نسبی برگ، مقدار آب حفظ شده در گیاه، آنتی اکسیدان و فنول گوجه فرنگی

تیمار	تعرق (میلی مول)	سبزینگی (میلی گرم)	مقدار آب نسبی برگ (درصد)	مقدار آب حفظ شده در گیاه (درصد)	آنتی اکسیدان (میکرومول)	فنول برگ (میلی گرم بر گرم)
شاهد	٤/۳۳ a	۲۰/۷۵ c	۳۳/۵۰ e	۷۸/۵۱ a	۷٤/٦ ab	۰/۷٤۲ a
۲/۵ میلی مولارسلنیوم	٤/۷۸ a	۲۱/۷۰ c	۲۸/۳۰ f	۷۰/۸۰ ab	٦۲/۹ ab	۰/۷۳۲ a
۵ میلی مولارسلنیوم	٤/۵۷ a	۳۵/۷٦ a	٤۸/۸۰ d	٤۸/۰۵ c	٦۵/٤ ab	۰/۷٤۱ a
۱۰ میلی مولارسلنیوم	۵/۸۱ a	۳۵/۹۰ a	٦۱/۰۱ c	٦۱/٤۵ abc	۵۵/٤ b	۰/۷۲۸ a
۱ میکرومولارنانوسلنیوم	٤/۸٦ a	۲۹/۸۱ ab	۳۳/۳۰ e	۷٤/۹۰ a	۷٤/۵ ab	۰/۷٤۱ a
٤ میکرومولار نانوسلنیوم	۵/٤٦ a	۲۳/۸۸ bc	٦۸/۷۰ b	٦٦/٦۵ abc	٦۰/۵ ab	۰/۷۳۳ a
۸ میکرومولارنانوسلنیوم	۵/۰۱ a	۲۹/٦۳ ab	۷۸/۵۰ a	٤۹/۸۵ bc	۸۲ a	۰/۷٤۰ a
۱۲ میکرومولارنانوسلنیوم	۵/۸۱ a	۲۵/۳۳ bc	۲۸/۵۰ f	٦۹/۳۵ abc	۷۱/٤ ab	۰/۷۳۰ a

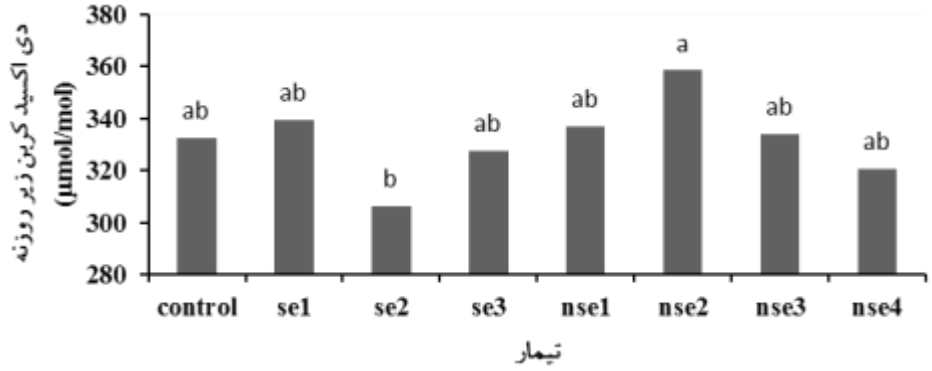
میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد.



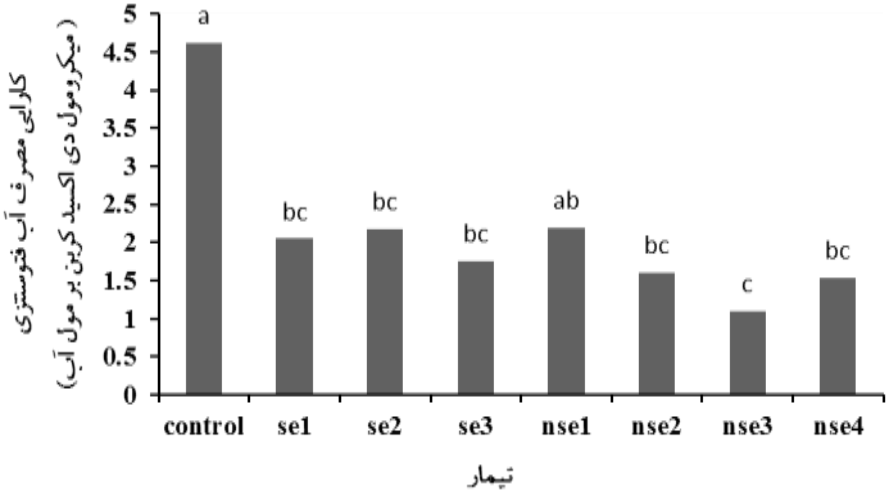
شکل ۱- اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر فتوسنتز. Control شاهد بدون سلنیوم و نانوسلنیوم، (Se1)۲/۵ میلی مولارسلنیوم، (Se2)۵ میلی مولارسلنیوم، (Se3)۱۰ میلی مولارسلنیوم، (nSe1)۱ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe2)٤ میکرومولار نانوسلنیوم، (nSe3)۸ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe4)۱۲ میکرومولار نانوسلنیوم.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]



شکل ۲- اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر دی اکسید کربن زیر روزنه. Control شاهد بدون سلنیوم و نانوسلنیوم، (Se1)۲/۵ میلی مولارسلنیوم، (Se2)۵ میلی مولارسلنیوم، (Se3)۱۰ میلی مولارسلنیوم، (nSe1)۱ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe2)٤ میکرومولار نانوسلنیوم، (nSe3)۸ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe4)۱۲ میکرومولار نانوسلنیوم.



شکل۳-اثرسلنیوم ونانوسلنیوم بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی. Control شاهد بدون سلنیوم و نانوسلنیوم، (Se1)۲/۵ میلی مولارسلنیوم، (Se2)۵ میلی مولارسلنیوم، (Se3)۱۰ میلی مولارسلنیوم، (nSe1)۱ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe2)٤ میکرومولار نانوسلنیوم، (nSe3)۸ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe4)۱۲ میکرومولار نانوسلنیوم.

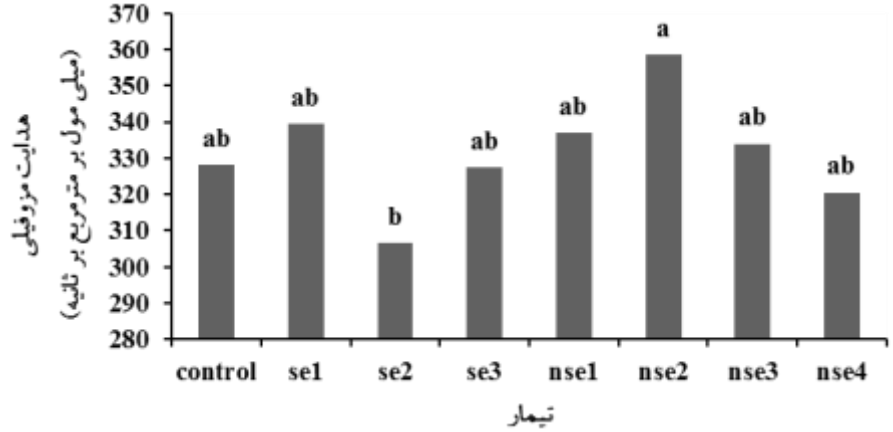
کاهش نسبت به شاهد مشاهده شد. در سایر تیمارها تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۲).

بالاترین میزان مصرف آب فتوسنتزی در تیمار شاهد مشاهده شد و سایر تیمارها با تفاوت معنی داری کاهش یافت و به کمترین میزان خود در ۸ میکرومولار نانوسلنیوم رسید (شکل۳). هدایت مزوفیلی در ۵ میلی مولار سلنیوم نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ٤).

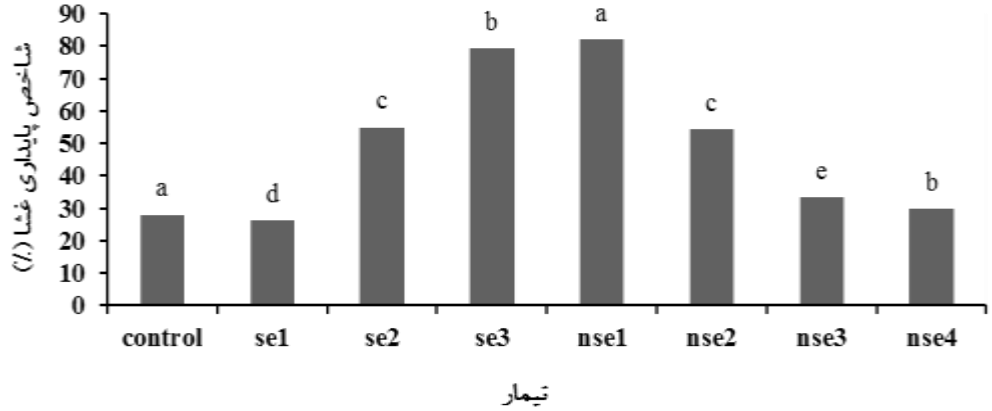
اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر و شاخص ثبات غشاء تغییرات آنتی اکسیدان و فنول گوجه فرنگی: بالاترین شاخص ثبات غشاء در تیمار شاهد و ۱ میکرومولار نانوسلنیوم مشاهده شد. کمترین میزان در ۸ میکرومولار نانوسلنیوم که ٦۱/۷ درصد نسبت به شاهد کاهش مشاهده شد. تیمارهای ۱۰ میلی مولار سلنیوم و ۱۲ میکرومولار نانوسلنیوم تفاوت معنی داری را نشان ندادند. همچنین در تیمارهای ۵ میلی مولار سلنیوم و٤ میکرومولار نانوسلنیوم تفاوتی دیده نشد. با افزایش غلظت سلنیوم روند افزایشی را در ثبات غشاء شاهد هستیم که این حالت در غلظت‌های نانو مشاهده نمی شود (شکل ۵). اما در سایر تیمارها تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی، در تیمار ۸ میکرومولار نانوسلنیوم و کمترین میزان را در تیمار ۱۰ میلی مولار سلنیوم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]



شکل ٤-اثرسلنیوم ونانوسلنیوم برهدایت مزوفیلی. Control شاهد بدون سلنیوم و نانوسلنیوم، (1Se)۲/۵ میلی مولارسلنیوم، (Se2)۵ میلی مولارسلنیوم، (Se3)۱۰ میلی مولارسلنیوم، (1nSe)۱ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe2)٤ میکرومولار نانوسلنیوم، (nSe3)۸ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe4)۱۲ میکرومولار نانوسلنیوم.



شکل ۵-اثرسلنیوم ونانوسلنیوم برشاخص پایداری غشا. Control شاهد بدون سلنیوم و نانوسلنیوم، (1Se)۲/۵ میلی مولارسلنیوم، (Se2)۵ میلی مولارسلنیوم، (Se3)۱۰ میلی مولارسلنیوم، (1nSe)۱ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe2)٤ میکرومولار نانوسلنیوم، (nSe3)۸ میکرومولارنانوسلنیوم، (nSe4)۱۲ میکرومولار نانوسلنیوم.

بود و اختلاف معنی داری بین تیمارهای سلنیوم و نانوسلنیوم مشاهده نشد (جدول ۳). فنول برگ بین تیمارهای سلنیوم و نانوسلنیوم اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۳).

بحث:

اثرسلنیوم ونانوسلنیوم بر تغییرات رشدگوجه‌فرنگی : در اغلب موارد سلنیوم رشد گیاه و همین طور ماده خشک گیاهی را کاهش می‌دهد که بسته به غلظت به کار رفته و سن گیاه متفاوت است. با این حال در برخی موارد سلنیوم رشد گیاه را بهبود داده است (Germi and Joze, 2005). همانطور که در آزمایش حاضر مشاهده شد سلنیوم و نانوسلنیوم تاثیر چشمگیری بر وزن تر و خشک ریشه و شاخساره گوجه فرنگی نداشت اما قطر را بهبود بخشید. پراساد وهمکاران (Prasad *et al*, 2008) بعد از افشانش۱۵۰ میلی لیتر سلنیوم روی سورگوم مشاهده کردند که وزن خشک شاخساره بطور معنی‌داری افزایش نشان داد. محققین (Helal Ragab 2010 and Abd El-Fatah) غلظتهای صفر ، ۲۵ ، ۵۰ ، ۱۰۰ میلی‌گرم سلنیوم را روی نخودفرنگی اعمال کردند و مشاهده کردند که ارتفاع گیاه، وزن خشک و سطح برگ در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بیشتر بود. Barbara (2009) مشاهده کرد که وزن خشک ریشه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]

خیار در تیمار ۱۰ میکرومولار ۹٤ درصد افزایش یافت. نتایج خاورینژاد و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که سلنیوم بر وزن خشک کل گیاه گوجه فرنگی اثر معنی داری نداشت، اما به طور معنی داری وزن خشک ریشه را کاهش داد. در تحقیق حاضر بیشترین وزن تر شاخساره گوجه فرنگی در غلظت ۲/۵ میلی مولار سلنیوم مشاهده شد. این درحالی است که بین بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بر حسب اطلاع نویسندگان، تحقیقی در خصوص اثر نانوسلنیوم بر خصوصیات رشدی گیاه جهت مقایسه با نتایج این آزمایش صورت نگرفته است و این تحقیق اولین گزارش در این خصوص است. تفاوت مشاهده شده در نتایج اثر سلنیوم بر سورگوم، نخود فرنگی و خیار با نتایج مشاهده شده در گوجه فرنگی احتمالا به دلیل تفاوت در رقم، غلظت های بکار رفته و مدت زمان آن تیمار می باشد.

Chang-Quan (2011) تیمارهای خشکی را روی چمن، با غلظت ۵ میلی مولار سلنیوم اعمال کرد، نتایج نشان داد سلنیوم باعث افزایش وزن تر برگ و مقدار نسبی آب بافت شد که در این آزمایش بیشترین وزن تر شاخساره تحت تاثیر تیمار ۲/۵ میلی مولار سلنیوم و بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار ۸ میکرومولار نانو سلنیوم مشاهده شد.

اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر تغییرات فتوسنتزی گوجه فرنگی: گزارشات متناقضی در خصوص اثر سلنیوم بر رنگیزه های فتوسنتزی وجود دارد. سلنیوم غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی همچون سبزینگی و کارتنوئیدها را کاهش میدهد (Lefsrud *et al*, 2006). سطوح مختلف سلنیوم (به شکل سلنیت) میزان رنگیزه های فتوسنتزی همچون سبزینگی، کارتنوئیدها و گزانتوفیل ها و نیز نرخ تشکیل سبزینگی را به ترتیب در قهوه و ذرت کاهش داده است (Mazzafer, 1998 and Karuna, 1996). از طرفی Mjanaguiraman و همکاران (۲۰۰٤) در مورد اعمال سلنیوم بر روی میزان سبزینگی سویا نشان دادند که با کاهش غلظت سلنیوم میزان سبزینگی افزایش می‌یابد. اما در گوجه فرنگی با افزایش غلظت سلنیوم سبزینگی افزایش یافت.

Megermi (2008) غلظت ۱۰ میلی گرم سلنیوم را روی دو کولتیوار سیب زمینی (بارد و آدورا) در شرایط خشکی اعمال کرد و نشان داد که سلنیوم باعث کاهش میزان تعرق در سیب زمینی رقم بارد میشود. همچنین میزان نسبی آب بافت در شرایط معمولی بیشتر از شرایط تنش با حضور سلنیوم بوده و از ۱۰۰ درصد به ۸۰ درصد رسیده است. در تحقیق حاضر تفاوت معنی داری در میزان تعرق تیمارها مشاهده نشد. طبق تحقیق Helal Ragab and Abd El-Fatah (2010) در غلظتهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ میلی گرم بیشترین میزان فتوسنتز در تیمار ۵۰ میلی‌گرم مشاهده شد. در مورد میزان فتوسنتز گوجه فرنگی، کلیه تیمارهای سلنیوم و غلظتهای پایین نانوسلنیوم ۱ و ٤ میکرومولار اثرات مطلوبی بر فتوسنتز داشت.

اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر تغییرات فعالیت آنتی اکسیدان و فنول درگوجه‌فرنگی: Chang-Quan (2011) در تحقیق خود نشان داد که در شرایط تنش خشکی، سلنیوم باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی شبدر سفید می‌شود. در واقع سلنیوم از این آسیبهای ناشی از تنش جلوگیری کرده است. Mjanaguiraman و همکاران (۲۰۰٤) افزایش ۸۰٪ در میزان فعالیت آنتی اکسیدان با اعمال تیمار سلنیوم را نشان داد. در این تحقیق تفاوت معنی داری بین فعالیت آنتی اکسیدان تیمارها نشان نداد، بیشترین میزان در تیمار ۸ میکرومولار نانوسلنیوم و کمترین میزان در۱۰ میلی مولار سلنیوم قابل ذکر بود. احتمالا سلنیوم تحت تاثیر تنش به عنوان یک عامل کاهنده تنش باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی می شود. Valle و همکاران (۱۹۹۳) طی آزمایشی غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ میکرومولار را اعمال کرد و مشاهده کرد که میزان فنول کل در غلظت ۲/۵ میکرومولار سلنیوم نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بوده است. در مورد میزان فنول نیز تفاوت معنی‌داری بین هیچکدام از تیمارها دیده نشد.

نتیجه گیری کلی:

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که سلنیوم بر ویژگی‌های قطر ساقه، وزن تر شاخساره، سبزینگی، فنول و نانوسلنیوم بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]

ویژگی‌های حجم ریشه، وزن تر ریشه، مقدار آب نسبی شاخساره، آنتی اکسیدان کل، دی اکسید کربن زیر روزنه، دمای برگ، هدایت مزوفیلی مؤثرتر بود و سلنیوم به شکل فلزی و نانو بر صفات وزن خشک ریشه، تعرق، فنول اثر معنی‌داری نداشت. سلنیوم ۸ میلی مولار باعث افزایش ۷۲/٤، ۲۸/۹ و ۹/۹ درصدی حجم ریشه، وزن تر ریشه و فعالیت آنتی اکسیدانی نسبت به تیمار شاهد شد. اما بطور کلی به نظر می رسد در شرایط غیر تنش استفاده از سلنیوم و نانوسلنیوم تغییرات چشمگیری بر رشد و تغییرات فتوسنتزی نداشت که از نظر اقتصادی قابل توصیه در کشت های گلخانه‌ای باشد.

منابع:

خاوری نژاد، ر. ع. گوشه گیر، ز.و سعادتمند، س. (۱۳۸۹) بررسی اثرات برهمکنش سلنیوم ومولیبدن بر محتوی رنگیزه های فتوسنتزی برگ گوجه فرنگی. فصلنامه پژوهش های علوم گیاهی ۱۷: ۱٤-۲۳.

Anna, S. and Finley, J. (2005) Aqueous extracts of selenium-fertilized broccoli increase selenoprotein activity and inhibit DNA single-strand breaks, but decrease the activity of quinonereductase in Hepa1c1c7 cells. Food and Chemical Toxicology Journal 44:695-703.

Barbara, H. (2009) Beneficialeffects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. BiologicalTrace Element Research 132:259-269.

Chang-Quan, W. (2011). Water-stress mitigation by selenium in *Trifoliumrepens*L. Plant Nutrition.174: 276-282.

Clarke, J. M. and Mccaig, T. N. (1982b) Excised leaf water retentioncapacity as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. Plant Science 62: 571-576.

Doshi, R., Braida, W., Christodoulatos, C., Wazne, M. and O'connor, G. (2008) Nano aluminum: Transport through sand columns and environmental effects on plant and soil communities. Environmental Science and Technology 106: 296-303.

Fargasova, A., Pastierova, J. and Svetkova, K. (2006) Effect of Se-metal pair combinations(Cd, Zn, Cu, Pb) on photosynthetic pigments production and metal accumulation in *Sinapsis alba* L. seedlings. Plant Soil Environmental 52: 8-15.

Germi,M. and Joze, O. (2005). Selenium treatment affected respiratory potential in*Erucasativa*. Acta Agriculture Slovenica. 85: 329-335.

HelalRagab, M. and Abd El-Fatah, M. A. (2010) Protective role of selenium on development and physiological responses of *Viciafaba*. Vegetable Science 16:174-183.

Kabata-Pendis, A. (2011) Trace elements in soils and plant. 4ndEd. Portland Press Res, New York.

Karuna, S. (1996) Effect of selenite and selenate on plant uptake and translocation of mercury by tomato (*Lycopersicum esculentum*). Plant and Soil 183: 233-238.

Lee, C. W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y., Braam, J. and Alvarez, P. J. J. (2010) Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabodopsis thaliana*. Environmental Journal of Chemistry Toxicity. 29:669-675.

Lefsrud, M. G., Kopsella, D. E., Kopsella, D. A., Randle, D. E. and Kale, W. M. (2006) Carotenoids are unaffected by, whereas biomass production, element a concentrations, and selenium accumulation respond to changes in selenium fertility. Agriculture and Food Chemistry 54: 764-1771.

Liu, J. (2009) Effects of Exogenous Silicon on the Activities of Antioxidant Enzymes and Lipid Per oxidation in Chilling-Stressed Cucumber Leaves. Agriculture Science. 8: 1075-1086.

Lyons, G. H., Stangoulis, J. and Graham, R. (2003) High-selenium wheat:biofortification for better health. Nutrition science 16: 45-60.

Lyons, G. H., Genc, Y., Soole, K., Stangoulis, J. C. R., Liu, F. and Graham, R. D. (2008) Selenium increases seed production in Brssica. Plant and Soil 318: 73-80.

Mazzafer, P. (1998) Growth and biochemical alterations in coffee due to selenite toxicity. Plant and Soil. 201: 189-196.

Megermi, M. (2008)The response of two potato cultivars on combined effects of selenium and drought. Acta agriculture 91: 121-137.

Mirza, H. and Fujita, M. (2011) Selenium pretreatment upregulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. Biological Trace Element Research 143:1758-1776.

Mjanaguiraman, M., Durga Devi, D., Arun, K., Shanker, A., Annie, K., Sheeba, J. and Bangarusamy, U. (2004) Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil 272: 77-86.

Mohsenzadeh, S., Malboobi, M., Razavi, A., Farrahani, K. and Aschtiani S. (2006) Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit. Environmental and Experimental Botany56: 314-322.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]

Oktay, M., Gulcin, I. and Kufrevioglu, O. I. (2003) Determination of *in vitro* antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. Science Direct 36: 263-271.

Prasad, P. V., Pisipati, S. R., Mutava, R. N. and Tuinstra, M. R. (2008) Sensitivity of Grain Sorghum to High Temperature Stress during Reproductive Development. CropScienc 48:1911-1917.

Raven, J. A. (2003). Cycling silicon: the role of accumulation in plants. New Physiology 158:419-30.

Sairam, R. and Srivastava, G. (2002) Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Science 162: 897-904.

Valle, G., Mcdowell, R. and Wilknson, N. S. (1993) Selenium concentration of Bermuda grass after spraying with sodium selenate. Communication in Soil Science and Plant Analysis 24: 1763-1768.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.7.5]