علوم و تحقیقات بذر ایران
سال ششم/ شماره دوم/ ۱۳۹۸ (۲۸۶ - ۲۶۹)

DOI: 10.22124/jms.2019.3605

بررسی اثر سلنیم بر خسارات ناشی از عناصر سنگین در جوانه‌زنی، رشد و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهچه خیار (*Cucumis sativus* L.)

حسین آروئی*[۱]، لیلا شکاری[۲]، امین میرشکاری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲

چکیده

سلنیم عنصری سودمند با خواص آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌ویروسی که باعث افزایش رشد و تحمل گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. در این پژوهش تاثیر کاربرد سلنیم در شرایط تنش ناشی از عناصرسنگین در گیاه خیار (*Cucumis sativus* L. رقم Super Dominus) بررسی گردید. به این منظور پژوهشی در دو مرحله آزمایش جوانه‌زنی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام پذیرفت. آزمایش اول با هدف تعیین سطح بهینه تاثیر سلنیم و سطوح آستانه سمیت فلزات سنگین در گیاه خیار با سطوح تیمار سلنیم (۰، ۴، ۶، ۸، ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر از منبع سلنات سدیم) کادمیوم (۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ میکرومولار از منبع کلریدکادمیوم)، نیکل (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ میکرومولار از منبع کلریدنیکل) و سرب (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۱۰۰ میکرومولار از منبع کلریدسرب) صورت پذیرفت. تیمارها در آزمایش دوم شامل دو سطح سلنیم (۰، ۸ میلی‌گرم بر لیتر) و سطوح سمی عناصر سنگین شامل کادمیوم (۰ ، ۲۵ میکرومولار)، نیکل (۰، ۲۰۰ میکرومولار) و سرب (۰، ۱۰۰ میکرومولار) بود. صفات اندازه‌گیری‌شده در این بررسی شامل درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه، شاخص پایداری غشاء سلولی، محتوای نسبی آب بافت، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و سه آنزیم آنتی‌اکسیدانی بود. نتایج نشان داد که حضور عناصرسنگین در محیط کشت باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های جوانه‌زنی بذر خیار گردید، ولی کاربرد سلنیم باعث بهبود در سرعت و درصد جوانه‌زنی، افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن تر و خشک گیاهچه شد. سلنیم باعث افزایش معنی‌دار پایداری غشاء سلولی و کاهش میزان شاخص مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تنش گردید. همچنین تیمار با سلنیم در شرایط سمیت فلزات‌سنگین باعث بهبود چشمگیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در برگ گردید. در کل نتایج نشان داد که سلنیم از طریق بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش خسارات ناشی از سمیت عناصر سنگین در گیاهچه خیار می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: جوانه‌زنی، خیار، سرب، سلنیم، کادمیوم، نیکل

۱- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشجوی دکتری باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
* نویسنده مسئول: aroiee@ferdowsi.um.ac.ir

مقدمه

آلودگی محیط‌زیست و افزایش روند تخریب اکوسیستم-های طبیعی از جمله خاک که جهان کنونی با آن روبه‌روست ناشی از برخورد غیرمسوولانه انسان با محیط‌زیست و استفاده نامناسب از منابع پایه است (Chehegani and Malayeri, 2007). در سال‌های اخیر مناطق گسترده‌ای از اکوسیستم خاکی دنیا تحت تاثیر آلودگی عناصرسنگین قرار گرفته‌اند که می‌توان فلزات سنگین انتقال‌یافته توسط هوا، دود ناشی از اگزوز اتومبیل‌ها، فعالیت‌های صنعتی، مصرف کودهای شیمیایی، آلی، فاضلاب‌های صنعتی و لجن فاضلاب را از مهم‌ترین عوامل این فرایند برشمرد (Jaja and Odoemena, 2004).

فلزات سنگین به‌صورت قراردادی به‌عناصری با خصوصیات فلزی گفته می‌شودکه عدد اتمی آن‌ها بیش‌تر از ۲۰ بوده و چگالی بالاتر از $5\ g/cm^3$ داشته باشند (Yan-de *et al.*, 2007). سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و نیکل (Ni) از مهم‌ترین منابع آلاینده خاک هستند (Kafii *et al.*, 2009) که در صورت تجمع، علاوه بر آثار زیان‌بخش بر اکوسیستم خاکی و ناکارآمدساختن آن برای فعالیت‌های کشاورزی باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی گردیده و با جذب از طریق گیاهان به زنجیره غذایی موجودات زنده از جمله انسان راه می‌یابند (Antoniadis and Alloway, 2001).

رشد و نمو گیاهان از جوانه‌زنی بذر شروع شده و این مرحله، مرحله‌ای بحرانی در چرخه زندگی گیاهان است. برای ادامه حیات، گیاهچه باید بتواند خود را با شرایط محیطی مطابقت داده و در خاک مستقر شود. تحمل شرایط تنش‌زا در طی جوانه‌زنی برای استقرار گیاهانی که در خاک-های آلوده رشد می‌کنند بسیار حیاتی است و اگر گیاهچه بتواند این مرحله را با موفقیت سپری کند شانس زنده‌مانی و استقرار آن زیاد است (Ekiz and Yilmaz, 2003). تجمع فلزات‌سنگین در خاک سبب کاهش جوانه‌زنی گیاه و اختلال در تقسیم و رشد سلول‌ها، تقسیم سلولی منطقه مریستمی و در نتیجه کاهش رشد گیاهچه می‌گردد (Kolelia *et al.*, 2004). سمیت عناصرسنگین به‌عنوان یک تنش غیرزیستی، با برهم‌زدن تعادل بین تولید و تخریب منجر به انباشتگی رادیکال‌های آزاد[1] (ROS) و ایجاد خسارات اکسیداتیو نظیر اکسیداسیون لیپیدهای غشا، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها شده و با مختل‌کردن عملکرد غشا باعث کاهش آب بافت‌های سلولی می‌گردد (Baccouch *et al.*, 2001). سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز، پراکسیدازها (جزئی از سیستم آنزیمی گلوتاتیون، GSH) و ترکیبات غیر آنزیمی می‌باشد (Molassiotis *et al.*, 2005). این ترکیبات آنتی-اکسیدانی موجب حذف رادیکال‌های آزاد در گیاه می‌گردند (Wu *et al.*, 2003). عوامل مهمی که در جذب فلزات توسط گیاه تاثیر دارد عبارتند از: نوع و مقدار کلوئیدهای خاک، غلظت کاتیونی فلز و میزان در دسترس‌بودن آن، حضور کاتیون‌های فلزی رقابت‌کننده، وجود لیگاندهای آلی و معدنی، تغییر شکل فلز در حضور مواد آلی، pH خاک، پتانسیل احیاکنندگی، دما و همچنین مکانیزم‌های جذب (Benavides *et al.*, 2005).

امروزه استفاده از عناصرغذایی به‌عنوان عوامل تاثیرگذار بر جذب و تجمع عناصرسنگین مورد توجه قرار گرفته است، از عناصری چون پتاسیم و روی (Ghasemi *et al.*, 2010)، سیلیسیم (Khodarahmi *et al.*, 2012) آهن و منگنز (Halajnia *et al.*, 2009) نیتروژن و آهن (Amoii *et al.*, 2011) در کاهش جذب و تجمع عناصرسنگین در گیاهان مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، اما بررسی اثر سلنیم در این راستا به‌صورت محدودی مورد مطالعه قرار گرفته است.

سلنیم عنصری شبه فلز است که درگروه ششم جدول تناوبی قرار دارد و دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی و ضدویروسی است که برای سلامت انسان و حیوان ضروری است ولی تاکنون برای گیاهان ضروری شناخته نشده است (safaryazdi *et al.*, 2012; Khoshgoftarmanesh, 2010; Hajiboland and Keivanfar, 2012). در سال-های اخیر نشان داده شده‌است که غلظت‌های پایین سلنیم موجب افزایش رشد، عملکرد (Hawkesford *et al.*, 2007) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در برخی گیاهان شده و

[1] Reactive oxygen species

مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد (Lyons *et al.*, 2008; Soleimanzade, 2012).

همچنین تحقیقات متعددی نشان داده که حضور این عنصر در محیط رشد علاوه بر اثرات مفید بر فعالیت گیاه، بر قابلیت جذب و دسترسی سایر عناصر نیز تاثیرگذار است (Khoshgoftarmanesh, 2010; Khavarinejad *et al.,* 2010; Safaryazdi *et al.,* 2012) مکانیزم اثر سلنیم بر کاهش سمیت ناشی از عناصر سنگین دقیقا شناخته شده نیست، با این حال برخی شواهد نشان می‌دهد که این عنصر بسته به غلظت‌های به‌کاررفته در محیط ریشه می‌تواند جذب و انتقال عناصر سنگین را توسط گیاه کاهش دهد (Lin *et al.,* 2012; Filek *et al.,* 2012). قابل ذکر است که حد مجاز سلنیم بسته به گونه گیاهی، نسبتاً محدود بوده و در غلظت‌های بالا سمی است و باعث زردی و توقف رشد در گیاه می‌گردد (Safaryazdi *et al.,* 2012).

با توجه به استفاده از پساب‌های صنعتی برای آبیاری مزراع صیفی‌جات و امکان حضور عناصر سنگین در آب‌های آبیاری و همچنین کمبود اطلاعات در زمینه تاثیر سلنیم به‌عنوان یک عنصر آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش‌زای حضور عناصر سنگین مختلف، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر این عنصر بر جوانه‌زنی، رشد اولیه و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط حضور غلظت‌های بالای فلزات‌سنگین کادمیوم، سرب و نیکل در گیاه خیار انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در آزمایشگاه دانشگاه یاسوج، در تابستان ۱۳۹۴ اجرا گردید. این بررسی در دو مرحله آزمایش جوانه‌زنی به‌صورت فاکتوریل و درقالب طرح کاملاً تصادفی انجام پذیرفت. آزمایش اول شامل تعیین سطح بهینه سلنیم و آستانه سمیت عناصرسنگین کادمیوم، نیکل و سرب در گیاه خیار بود، تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح سلنیم (۰،۴، ۶، ۸، ۱۰ میلی‌گرم بر لیتراز منبع سلنات سدیم)، کادمیوم (۰، ۱۰ ، ۱۵، ۲۰، ۲۵ میکرومولار از منبع کلریدکادمیوم) نیکل(۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ میکرومولار از منبع کلریدنیکل) و سرب (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۱۰۰ میکرومولار از منبع کلریدسرب) بودند. در آزمایش دوم که به‌منظور بررسی اثر سلنیم بر کاهش خسارات ناشی از سمیت عناصر سنگین مورد مطالعه انجام پذیرفت، پس از آنالیز آماری داده‌های آزمایش اول، غلظت‌های ۰ و ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیم، ۰ و ۲۵ میکرومولار کادمیوم،۰ و ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۰ و ۱۰۰ میکرومولار سرب انتخاب گردید.

در هر دو مرحله آزمایشی از بذر هیبرید F_1 گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) رقم سوپر دامینوس (تولید شرکت سمینس ایتالیا، سال ۲۰۱۴) استفاده گردید که هدف از انتخاب این رقم بررسی تاثیر عناصر سنگین موجود در آب آبیاری بر جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین ارقام تجاری و رایج مزرعه‌ای بود. بذور خیار پس از ضدعفونی روی کاغذ صافی و درون پتری شماره ۸ قرار گرفته و تیمار شدند. از هر تیمار ۳ تکرار و در هر تکرار ۲۵ بذر در هر پتری وجود داشت. بذرهای تیمارشده به‌منظور جوانه‌زنی و رشد تا مرحله دوبرگی به‌مدت ۲۵ روز در محیط ژرمیناتور و با تنظیمات دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۵ ±۷۵ درصد رشد کردند. پتری‌ها به‌صورت روزانه آبیاری شدند و در طول دوره جوانه‌زنی (۱۲روز) تعداد بذر جوانه‌زده به‌صورت روزانه شمارش و درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذرها پس از خروج ریشه‌چه به‌میزان ۲ میلی‌متر، محاسبه گردید. با ثابت‌شدن سرعت رشد، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن تر و خشک گیاهچه اندازه‌گیری گردید. برای سنجش وزن خشک، پس از تعیین وزن تر، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و سپس با ترازوی حساس وزن شدند.

برای سنجش محتوای نسبی آب بافت (RWC)[1] ابتدا وزن تر نمونه‌ها در هر تیمار بلافاصله پس از نمونه‌برداری اندازه‌گیری و سپس در یخچال و دمای چهار درجه سلسیوس درون آب مقطر قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگی اندازه‌گیری شده و برگ‌ها مجددا به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شده و وزن خشک هر نمونه با ترازوی دارای دقت یک ده هزارم محاسبه شد.

[1] Relative Water Contents

رابطه (۱) $RWC = \frac{Wi-Wd}{Wf-WD} \times ۱۰۰$

وزن تازه=Wi، وزن آماس= W_f و وزن خشک نمونه‌های برگی= W_D

به‌منظور سنجش شاخص پایداری غشاء ۰/۱ گرم نمونه برگی تازه از هر تیمار آزمایشی درون لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر غوطه‌ور گردید، سپس در دستگاه حمام آب‌گرم در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفته و هدایت الکتریکی نمونه‌ها به کمک دستگاه EC متر مدل (Jenway) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در حمام آب‌گرم به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شده و مجددا هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری گردید.

رابطه (۲) $MSI = 1 - \frac{EC1}{EC2} \times 100$

EC: هدایت الکتریکی در زمان ۱۰ دقیقه، EC_2: هدایت الکتریکی در زمان ۳۰ دقیقه

اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی به‌وسیله آزمون اسید تیوباربیتوریک (TBAT) با سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید[۱](MDA) انجام شد. ۰/۲ گرم بافت تر گیاهچه در ۵ میلی‌لیتر اسید تری‌کلرواستیک (TCA) ۰/۱ درصد همگن شده سپس عصاره حاصل به فالکون انتقال یافته و به‌مدت ۵ دقیقه در g ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی ۴ میلی‌لیتر اسید تری‌کلرواستیک ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد اسید تیوباربیتوریک بود اضافه شد. مخلوط فوق به‌مدت ۳۰ دقیقه درحمام آب‌گرم (۹۵ درجه سلسیوس) نگهداری گردیدند. سپس مخلوط حاصل بلافاصله درحمام یخ سرد شد و بعد از آن در سرعت g ۶۰۰۰ به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب مایع رویی در طول موج ۵۳۲ نانومتر و ضریب تصحیح ۰/۱۵۵ (μ mol^{-1} cm^{-1}) محاسبه و بر اساس واحد میکرومول بر گرم وزن‌تر (μmol g^{-1} FW) بیان شد (Health and Packer, 1968). ۱۰ روز پس از اعمال تیمارهای آزمایشی، نمونه تازه گیاهی به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی پس از قرار گرفتن در نیتروژن مایع در ۷۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

به‌منظور استخراج عصاره آنزیمی جهت سنجش فعالیت سه آنزیم کاتالاز، گایاکول‌پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز ۰/۵ گرم از بافت گیاهی در ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات‌پتاسیم (pH= ۷/۵ و غلظت ۵۰ میلی‌مولار) حاوی PVP یک درصد، Na_2-EDTA یک میلی‌مولار سائیده شد. سپس عصاره آنزیمی به‌مدت ۳۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور و دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفوژ شد.

سنجش فعالیت آنزیم CAT با استفاده از روش ابی (Abi,1984) انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی-لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۷) محتوی ۰/۲ میلی‌لیتر H_2O_2 ۱ درصد و ۰/۳ میلی‌لیتر عصاره استخراجی بود. فعالیت آنزیم کاتالاز به‌صورت کاهشی در جذب طی ۱ دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر محاسبه شد (۱ m M-1 cm 0436/0= ضریب خاموشی).

سنجش فعالیت APX با استفاده از روش ناکنو و اسدا (Nakano and Asada, 1981) انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۷) محتوی EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، آسکوربات سدیم ۱ میلی-مولار، ۰/۲ میلی‌لیتر H_2O_2 ۱درصد و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره استخراجی بود. فعالیت APX به‌صورت کاهش در جذب H_2O_2 طی ۱ دقیقه درطول موج ۲۴۰ نانومتر محاسبه شد (mM-1cm-18/2 = ضریب خاموشی).

فعالیت آنزیم GPX به‌عنوان نمونه‌ای از پراکسیدازها با استفاده از روش دیکسون و همکاران (Dixon *et al.*, 1975) مورد ارزیابی قرارگرفت. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۷) محتوی ۱ میلی‌لیتر گایاکول ۱ درصد، ۱ میلی‌لیتر H_2O_2 ۱ درصد و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره استخراجی بود. فعالیت GPX به‌صورت کاهش در جذب گایاگول اکسیدشده طی ۱ دقیقه در طول موج ۴۷۰ نانومتر محاسبه شد ($m\ M^{-1}\ cm^{-1}$ ۲۶/۶=ضریب خاموشی).

بررسی نتایج و تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای Statistix ۸ و Excel و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

[۱] Memberance Stability

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه آماری داده‌های مربوط به آزمایش تعیین سطح بهینه سلنیم و آستانه سمیت عناصر سنگین مورد مطالعه نشان دادکه صفات جوانه‌زنی بذور خیار به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر سلنیم قرارگرفتند و به‌طورکلی افزایش غلظت این عنصر تا تیمار ۸ میلی‌گرم بر لیتر باعث بهبود و افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی گردید و سپس در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر شاهد بروز آثار سمیت سلنیم و کاهش شاخص‌های اندازه‌گیری شده بودیم. تیمار عناصرسنگین به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی گردید و متناسب با افزایش غلظت، آثار سمیت ناشی از تنش حضور این عناصر در محیط جوانه‌زنی افزایش یافت به‌نحوی‌که در تیمارهای ۲۵ میکرومولار کادمیوم، ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۱۰۰ میکرومولار سرب بیش‌ترین میزان کاهش در شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده مشاهده گردید (داده‌ها نشان داده نشده است).

نتایج حاصل از این بررسی نشان‌دهنده تاثیر قابل‌ملاحظه تنش ناشی از عناصر سنگین بر درصد جوانه‌زنی بذور خیار بود. حضور عناصرسنگین در محیط کشت باعث کاهش معنی‌دار شاخص جوانه‌زنی بذور گردید (جدول۱)، به‌نحوی‌که تیمار ۲۵ میکرومولار کادمیوم، ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۱۰۰ میکرومولار سرب به‌ترتیب باعث کاهش ۱۰/۶، ۱۷/۷ و ۲۴/۸ درصدی در شاخص درصد جوانه‌زنی بذور نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل۱). در شرایط سمیت عناصر سنگین، افزودن سلنیم باعث کاهش تاثیر منفی این عناصر و افزایش درصد جوانه‌زنی بذور در تمامی تیمارها گردید به‌نحوی‌که کاربرد ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم به‌ترتیب در تیمارهای ۲۵ میلی‌مولار کادمیوم، ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۱۰۰ میکرومولار سرب باعث افزایش ۲۵/۹، ۲۸ و ۲۸ درصدی شاخص درصد جوانه‌زنی نسبت به شرایط تنش این عناصر بدون حضور سلنیم گردید (شکل۱).

جدول ۱ - تجزیه واریانس تاثیر برهمکنش سلنیم و عناصرسنگین بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر خیار

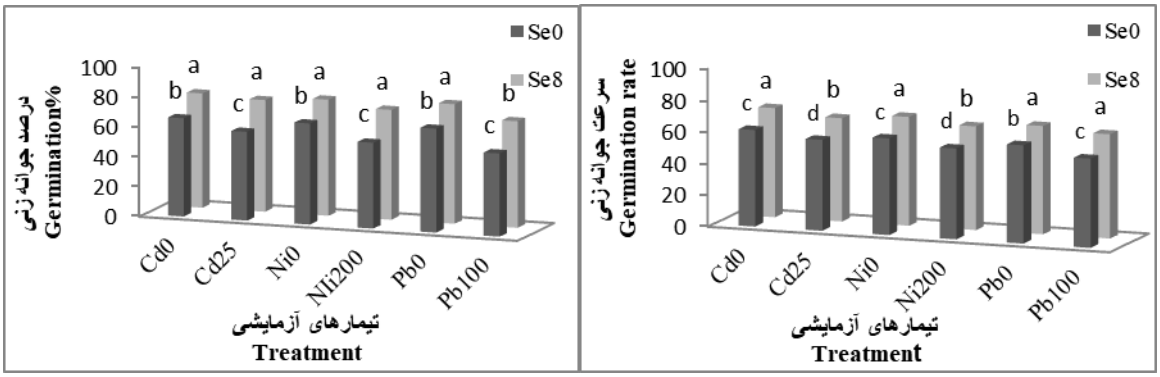
Table 1. Variance analysis of the effect of interaction selenium and heavy metals on seed germination index of cucumber

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS					
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ساقه‌چه Shoot lentgh	طول ریشه‌چه Radicle length	وزن‌تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن‌خشک گیاهچه Seedling dry weight
سلنیمSelenium	1	2058.45*	752.347*	11.9667*	142.210*	0.25317*	8.927E-04*
کادمیومCadmium	1	201.45*	158.050*	4.50187*	3.287*	0.09792*	2.042E-04*
نیکلNickle	1	618.72*	145.487*	3.75947*	1.421*	0.03619*	1.110E-04*
سرب Lead	1	1530.02*	210.422*	3.79688*	5.908*	0.03445*	1.110E04*
سلنیم× کادمیومSe×Cd	1	63.02*	0.053*	0.05558*	0.011*	0.00145*	1.367E-04*
سلنیم× نیکلSe×Ni	1	111.02*	0.416*	0.00113*	1.235*	0.00003*	6.021E-06*
سلنیم× سربSe×Pb	1	77.52*	31.579*	2.315E-05*	0.056*	0.00011*	2.552E-05*
خطاError	30	32.82	13.929	0.08598	0.245	0.00277	2.211E-05
CV ضریب تغییرات		8.28	5.90	8.97	5.25	4.19	6.92

Ns عدم وجود تفاوت معتی‌داری، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns non significant difference * significant differences at $P \leq 5\%$

سرعت جوانه‌زنی نیز به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار عناصرسنگین و سلنیم قرار گرفت (جدول۱). حضور کادمیوم، نیکل و سرب باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب به‌میزان ۷/۱، ۶/۳ و ۱۰/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید ولی افزودن سلنیم درشرایط سمیت این عناصر باعث افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی و بهبود شرایط تنش شد. بیشینه این تاثیر در تیمار ۱۰۰ میکرومولار سرب و به‌میزان ۱۶/۹ درصد نسبت به شرایط تنش این عنصر و عدم حضور سلنیم مشاهده گردید (شکل۱).



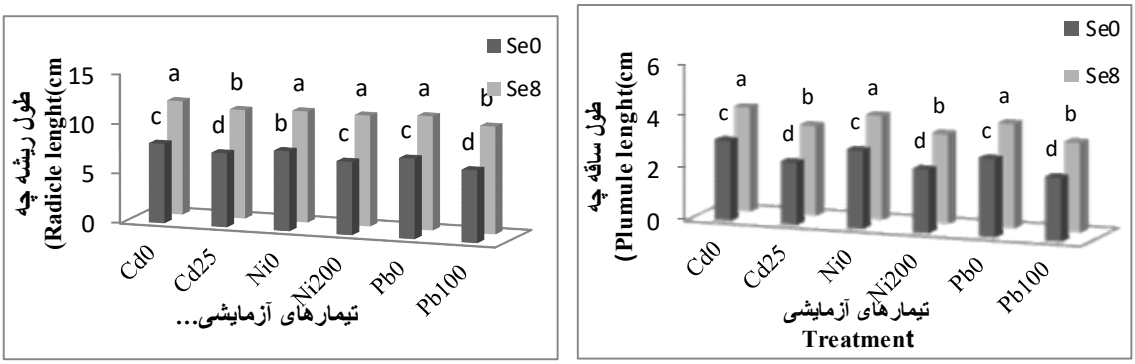
شکل ۱- تأثیر برهمکنش سلنیم (mg/L) و عناصرسنگین کادمیوم، نیکل و سرب (µM) بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر خیار

Figure 1. Interaction effect of Cd, Ni, Pb(µM) and Se (Mg/L) on Germination percentage and Germination rate of Cucumber

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with different letters across treatments are significantly different at P < 0.05 according to the LSD test

بر اساس نتاج حاصل از تجزیه های آماری حضور عناصر-سنگین در محیط جوانه‌زنی باعث کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه شد (جدول۱) به‌نحوی که در حضور ۲۵ میکرومولار کادمیوم، ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۱۰۰ میکرومولار سرب در محیط‌کشت به‌ترتیب کاهش ۲۷/۹، ۲۲/۹ و ۲۹/۷ درصدی در این شاخص مشاهده گردید. کاربرد سلنیم در شرایط تنش باعث افزایش طول ساقه‌چه در گیاهان تحت تیمار نسبت به شرایط تنش و بدون کاربرد سلنیم شد، به‌نحوی که کاربرد ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم در شرایط تنش عناصر کادمیوم، نیکل و سرب به‌ترتیب ۴۳/۶، ۴۰/۷ و ۴۰/۳ درصد افزایش در طول ساقه‌چه را سبب گردید (شکل۲). عناصر-سنگین همچنین باعث کاهش در طول ریشه‌چه در تمامی تیمارهای مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد شدند که کم-ترین طول ریشه‌چه در تیمار ۱۰۰ میکرومولار سرب مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۵ درصد کاهش نشان داد. کاربرد سلنیم در شرایط تنش ناشی از سمیت کادمیوم، نیکل و سرب به‌ترتیب باعث افزایش ۴۷/۷، ۵۱/۱۵ و ۴۷/۹ درصدی نسبت به شرایط تنش و بدون کاربرد سلنیم شد (شکل۲).

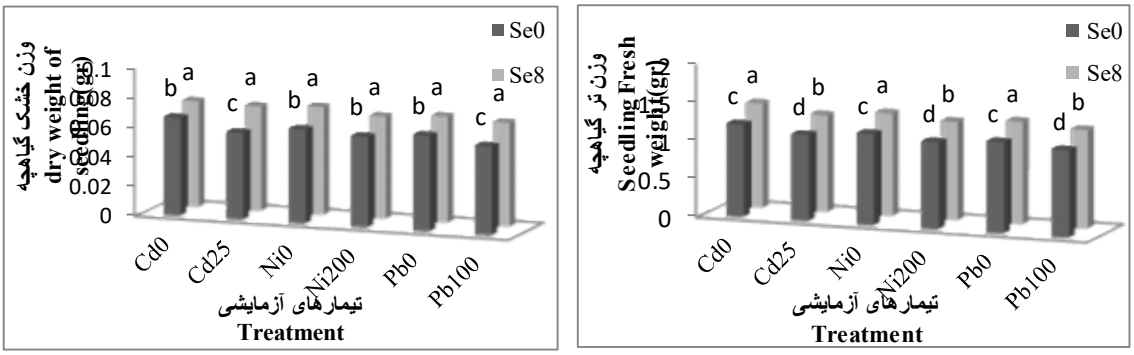


شکل ۲- تأثیر برهمکنش سلنیم (mg/L) و عناصر سنگین کادمیوم، نیکل و سرب (µM) برطول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاهچه خیار

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 2. Interaction effect of Cd, Ni, Pb(µM) and Se (Mg/L) onPlumule and radicle lengh Cucumber seedling Means with different letters across treatments are significantly different at P < 0.05 according to the LSD test.

تحت تأثیر حضور عناصرسنگین در محیط کشت وزن تر و خشک گیاهچه‌های تحت تیمار به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی افزودن ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم به محیط جوانه‌زنی، باعث افزایش در وزن‌تر گیاهچه در گیاهان تحت تنش گردید، به نحوی‌که افزودن ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم در شرایط تنش کادمیوم، نیکل و سرب به‌ترتیب باعث افزایش ۱۱/۴، ۱۳/۲ و ۱۳/۷ درصدی در وزن‌تر گیاهچه گردید (شکل ۳). وزن‌خشک گیاهچه نیز تحت تاثیر افزودن سطح بهینه سلنیم به محیط کشت در شرایط تنش عناصر-سنگین افزایش معنی‌داری یافت. بیشینه این تاثیر در تیمار ۲۵ میکرومولار کادمیوم مشاهده شد که به‌میزان ۲۰ درصد نسبت به وزن‌خشک گیاهچه نسبت به شرایط مشابه و بدون اعمال سلنیم گردید (شکل ۳).



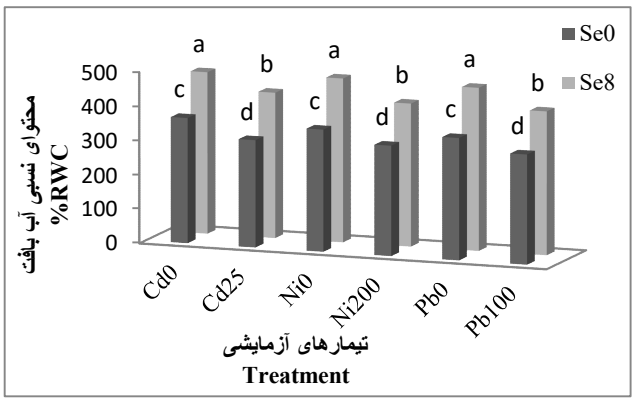
شکل ۳- تأثیر برهمکنش سلنیم (mg/L) و عناصرسنگین کادمیوم، نیکل و سرب (µM) بر وزن تر و خشک گیاهچه خیار

Figure 3. Interaction effect of Cd, Ni, Pb(µM) and Se (Mg/L) on Fresh and Dry weight Cucumber seedling

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with different letters across treatments are significantly different at $P < 0.05$ according to the LSD test.

محتوای نسبی آب گیاهچه خیار در اثر تیمار با کادمیوم، نیکل و سرب کاهش معنی‌داری یافت و کم‌ترین محتوای نسبی آب در برگ گیاهان تیمار ۲۵ میکرومولار کادمیوم مشاهده گردید. کاربرد ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم نیز در شرایط عدم حضور کادمیوم، نیکل و سرب به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار و ۲۹، ۳۴/۱ و ۳۳/۲ درصدی این شاخص نسبت به تیمار شاهد گردید.



شکل ۴- تأثیر برهمکنش سلنیم (mg/L) و عناصرسنگین کادمیوم، نیکل و سرب (µM) بر محتوای نسبی آب بافت گیاهچه خیار

Figure 4. Interaction effect of Cd, Ni, Pb (µM) and Se (Mg/L) on RWC of Cucumber seedling

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with different letters across treatments are significantly different at $P < 0.05$ according to the LSD test.

جدول ۲ - تجزیه واریانس تأثیر برهمکنش سلنیم و عناصرسنگین بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده درگیاهچه خیار

Table 2. Variance analysis of the effect of interaction selenium and heavy metals on some physiological indices in cucumber seedlings

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS					
		محتوای نسبی آب بافت ٪RWC	شاخص پایداری غشاءسلولی ٪MSI	مالون‌دی‌آلدئید MDA (µmol.gr-1.Fw)	کاتالاز CAT (Ug-1W)	گایاکول‌پراکسیداز GPX (Ug-1W)	آسکوربات‌پراکسیداز APX (Ug-1W)
سلنیمSelenium	1	141971*	6706.56*	9.00E-04*	42.6359*	0.00168*	0.00137*
کادمیومCadmium	1	29816*	403.99*	7.803E-04*	3.1373*	0.00348*	0.00118*
نیکلNickle	1	27219*	422.46*	8.321E-05*	2.7337*	0.00126*	0.00192*
سرب Lead	1	25452*	449.95*	1.083E-05*	3.2595*	0.00281*	0.00202*
سلنیم× کادمیومSe×Cd	1	66*	4.62*	3.816E-05*	0.8879*	5.541*	1.470*
سلنیم× نیکلSe×Ni	1	2091*	0.08*	3.486E-05*	1.2284*	1.443*	2.328*
سلنیم× سربSe×Pb	1	1287*	0.05*	9.633E-07*	5.2323*	2.182*	6.139*
خطاError	30	6750	94	5.696E-07	0.3381	1.151	6.907
ضریب تغییراتCV		9.50	4.45	5.89	10.15	7.80	7.28

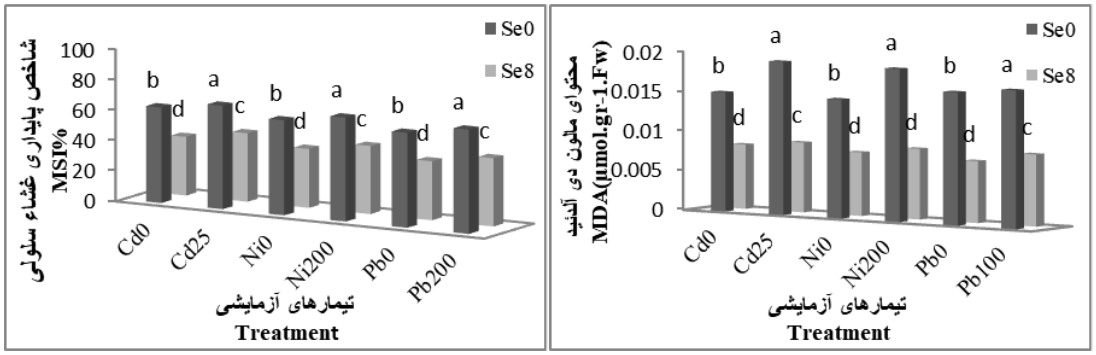
ns عدم وجود تفاوت معنی‌داری* تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns non significant difference * significant differences at P ≤ 5%

افزودن سلنیم در شرایط سمیت عناصرسنگین مورد مطالعه باعث افزایش محتوای نسبی آب گیاهچه گردید و بیشینه این تاثیر در تیمار ۲۵ میکرومولار کادمیوم و به میزان ۳۵/۳ درصد نسبت به شرایط تنش این عنصر بدون حضور سلنیم گردید (شکل۴). حضور عناصرسنگین در محیط رشد باعث کاهش معنی‌دار شاخص پایداری غشاء سلول گردید (جدول۲) به‌نحوی‌که کاربرد ۲۵ میکرومولار کادمیوم، ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۱۰۰ میکرومولار سرب به‌ترتیب باعث افزایش ۸/۲۴، ۹/۳۶ و ۹/۷۸ درصدی نشت یونی در گیاهان تیمارشده نسبت به تیمار شاهد گردید. از سویی دیگر کاربرد سلنیم در سطح تیمار ۸ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش در این شاخص و کاهش میزان نشت یونی گردید. افزودن سلنیم در شرایط تنش کادمیوم، نیکل و سرب باعث افزایش معنی‌دار پایداری غشاء سلولی گردید به‌نحوی‌که به‌ترتیب باعث ۵۱/۱، ۵۲/۶ و ۵۲/۹ درصد کاهش در نشت یونی از غشاء سلولی نسبت به شرایط تنش ناشی از سمیت این عناصرسنگین و بدون حضور سلنیم گردید (شکل۵).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های آماری (شکل۵) محتوای مالون‌دی‌آلدئید برگ گیاهچه خیار در اثر سمیت عناصر سنگین به‌طرز قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت. همچنین داده‌ها نشان دادند که تیمار گیاهان تحت تنش ۲۵ میکرومولار کادمیوم، ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۱۰۰ میکرومولار سرب با ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم تاثیر بسیار چشمگیری در بهبود شرایط تنش این عناصر و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید برگ در مقایسه با گیاهان تحت تنش بدون حضور سلنیم داشت.

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ گیاهچه خیار تحت تاثیر سمیت عناصرسنگین به‌شدت کاهش یافت به‌نحوی‌که به‌ترتیب ۵۰/۳، ۵۱/۹ و ۵۶/۹ درصد کاهش در میزان فعالیت این آنزیم در تیمارهای ۲۵ میکرومولار کادمیوم، ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۱۰۰ میکرومولار سرب نسبت به گیاهان تحت تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل۶). کاربرد غلظت بهینه ۸ میکرومولار سلنیم به‌طور معنی‌داری توانست باعث جبران اثرات مخرب این عناصر سنگین و افزایش در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ گیاهچه گردد که بیش‌ترین تاثیر این غلظت سلنیم در تیمار ۲۵ میکرومولار کادمیوم مشاهده شد (شکل۶). تحت تاثیر سمیت عناصر سنگین کاهش معنی‌داری در میزان فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز برگ مشاهده شد.

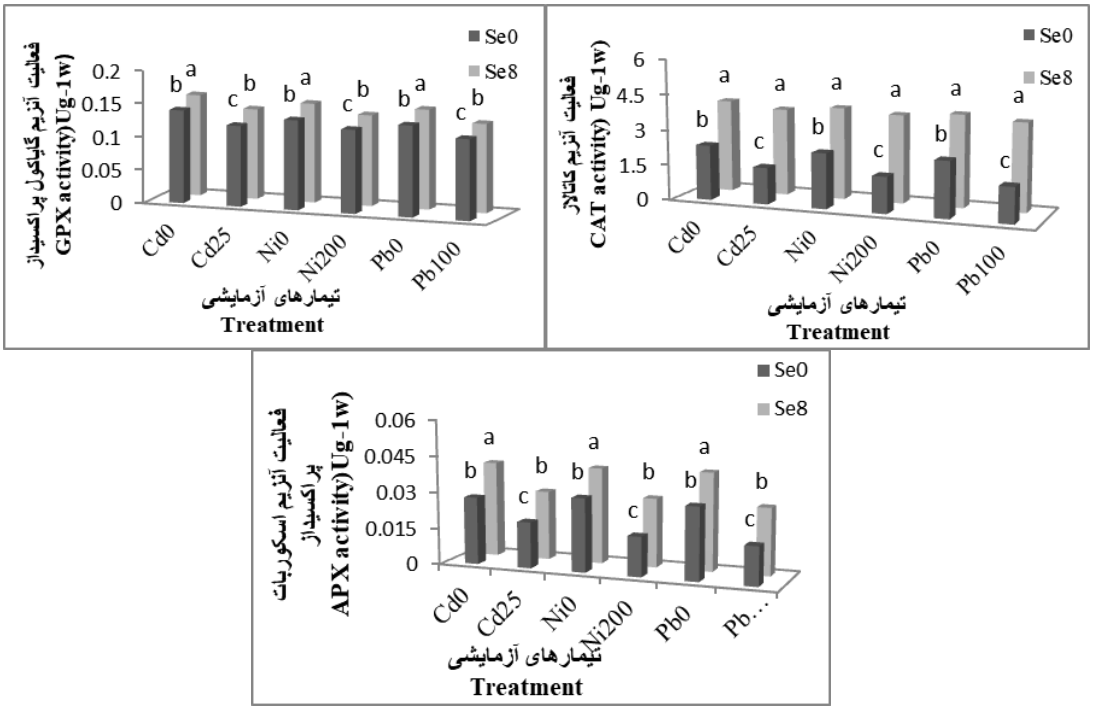


شکل ۵- تأثیر بر همکنش سلنیم (mg/L) و عناصرسنگین کادمیوم، نیکل و سرب (µM) بر شاخص پایداری غشاء سلولی و محتوای مالون‌دی‌آلدئید گیاهچه خیار

Figure 5. Interaction effect of Cd, Ni, Pb (µM) and Se (Mg/L) on MSI and MDA of Cucumber seedling

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with different letters across treatments are significantly different at P < 0.05 according to the LSD test.



شکل ۶- تأثیر بر همکنش سلنیم (mg/L) و عناصرسنگین کادمیوم، نیکل و سرب (µM) بر فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی گیاهچه خیار

Fig 6. Interaction effect of Cd, Ni, Pb (µM) and Se(mg/L) on Antioxidants enzymes activity of Cucumber Seedling

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with different letters across treatments are significantly different at P < 0.05 according to the LSD test.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل۶) نشان داد که تیمار با سلنیم در شرایط تنش ۲۵ میکرومولار کادمیوم، ۲۰۰ میکرومولار نیکل و ۱۰۰ میکرومولار سرب توانست باعث بهبود شرایط تنش و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ گردد به نحوی که افزودن ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰/۶، ۷/۸ و ۸/۸ درصدی در فعالیت این آنزیم گردید.

تیمارهای کادمیوم، نیکل و سرب باعث افت قابل ملاحظه‌ای در میزان فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در برگ گیاهچه‌های تحت تیمارگردید به‌نحوی‌که به‌ترتیب

کاهش ۴۶/۳، ۷۳/۷ و ۷۸/۵ درصدی در فعالیت این آنزیم نسبت به گیاهچه‌های تیمار شاهد مشاهده شد. ولی اعمال ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم به‌ترتیب باعث افزایش ۵۰/۵، ۷۸/۱و ۷۳/۱ درصدی در میزان فعالیت این آنزیم نسبت به شرایط اعمال تنش بدون حضور سلنیم گردید (شکل۶).

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه‌های آماری حضور عناصرسنگین در محیط جوانه‌زنی بذور خیار، باعث کاهش در سرعت و درصد جوانه‌زنی گردید. هوشمندفر و مراقبی (Hoshmandfar and Moraghebi, 2011) کاهش در جوانه‌زنی بذور گلرنگ را در اثر تیمار با عناصر سنگین کادمیوم، نیکل، روی و مس گزارش دادند که با نتایج حاصل از بررسی حاضر مطابقت دارد. شفیق و همکاران (Shafiq *et al.,* 2008) در طی یک بررسی کاهش جوانه‌زنی بذور تحت تیمار با ۱۰۰ پی‌پی‌ام سرب و کادمیوم را مشاهده نمودند و اظهار داشتند که این کاهش می‌تواند به‌دلیل تجزیه مواد غذایی ذخیره‌شده در دانه در اثر کاربرد کادمیوم باشد. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی به‌طورکلی افزودن سلنیم به محیط رشد باعث افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی گردید که بهینه تاثیر این عنصر در تیمار ۸ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که تاثیر معنی‌داری در بهبود شرایط تنش ناشی از سمیت بالای عناصرسنگین گردید. فریاس و همکاران (Frias *et al.,* 2009) بالاترین نرخ جوانه‌زنی (۹۰ درصد) در بذور گیاه لوبیا مصری (*Lupinus angustifolius*) را در اثر تیمار با ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیم گزارش کردند که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر همخوانی دارد. اثر افزایشی سلنیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی که در این بررسی مشاهده گردید می‌تواند به‌دلیل خاصیت تعدیل‌کنندگی این عنصر بر جذب و انتقال عناصر سمی کادمیوم، نیکل و سرب به بافت گیاهچه باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سلنیم با برخی فلزات سنگین ترکیبات نامحلولی تشکیل داده که توسط ریشه‌چه جذب نمی‌گردد یا در صورت حضور این فلزات در بافت‌های گیاهچه با تشکیل این مجموعه‌ها از اثرات سمی این عناصر می کاهد (Frias *et al.,* 2009; Issa and Adam, 1999).

تحت تأثیر غلظت‌های سمی کادمیوم، نیکل و سرب کاهش معنی‌داری در طول ساقه‌چه مشاهده گردید. طول ریشه‌چه نیز تحت تاثیر سمیت این عناصر قرار گرفت و در تمامی تیمارهای آزمایشی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. میهالسکو و همکاران (Mihalescu *et al.,* 2010) کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و همچنین سایر شاخص‌های جوانه‌زنی را به‌طور مستقیم متناسب با افزایش تجمع کادمیوم در گیاه ذرت گزارش دادند که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر همخوانی دارد. کستوری و همکاران (Kastori *et al.,* 2012) کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاه ذرت را در اثر تیمار با غلظت‌های بالای سرب گزارش دادند. احمد و همکاران (Ahmad *et al.,* 2009) کاهش جوانه‌زنی و رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه بذر آفتابگردان را در اثر غلظت‌های سمی نیکل گزارش دادند. رادها و همکاران (Radha *et al.,* 2010) کاهش رشد ریشه‌چه و ارتفاع ساقه‌چه در اثر سمیت عناصر سنگین را ناشی از دخالت این عناصر در فرآیند تقسیم سلولی و در ادامه آن انحرافات و اختلالات کروموزومی و میتوز غیرطبیعی دانستند. کابیر و همکاران (Kabir *et al.,* 2008) کاهش در طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را در گیاهچه پورتیا *Thespesia populnea* در اثر سمیت عناصر سنگین سرب و کادمیوم گزارش نموده و اظهار داشتند که این کاهش می‌تواند در نتیجه اختلال در فعالیت سلول‌های مریستمی در ناحیه غشای سلولی و برخی آنزیم‌ها در کوتیلدون و آندوسپرم بذر باشد. در شرایط عادی و بدون حضور عامل تنش‌زا، در محله جوانه‌زنی بذر سلول‌های مریستمی فعال شده و شروع به تجزیه مواد غذایی کرده و اندوخته غذایی موجود در آندوسپرم را به‌واسطه آنزیم‌های آمیلاز (تبدیل نشاسته به قند) و پروتئاز (تجزیه پروتئین-ها)به‌فرم محلول و قابل‌جذب تبدیل و به ریشه‌های اولیه منتقل می‌کند. ولی در شرایط تنش، حضور بیش از حد مجاز عناصرسنگین در محیط‌رشد و جوانه‌زنی گیاه باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک شده و مانع انتقال مواد مغذی کافی به ریشه‌های اولیه و اندام هوایی می‌گردند و در نتیجه فرایند رشد و افزایش طول گیاه تحت تأثیر سمیت این عناصر قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی افزودن سلنیم در سطح تیمار ۸ میلی‌گرم بر لیتر تاثیر مطلوبی بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در شرایط تنش ناشی از عناصر سنگین مورد مطالعه داشت که این تاثیر افزایشی بر طول ساقه‌چه در شرایط تنش کادمیوم و بر طول ریشه‌چه در شرایط تنش نیکل

مشهودتر بود. افزایش رشد و ارتفاع گیاه را تحت تاثیر سلنیم در شرایط تنش کادمیوم توسط بارینتس و همکاران (Barrientos *et al.,* 2012) نیز گزارش شده است که با نتایج بررسی حاضر مطابقت دارد. بر طبق نظر جاهید و همکاران (Jahid *et al.,* 2001) احتمالا سلنیم با فراتنظیمی فعالیت‌های آنزیم‌های دخیل در سنتز و هیدرولیز نشاسته و پروتیئن باعث فراهم‌شدن سوبسترای لازم برای جوانه‌زنی و رشد گیاه فراهم می‌شود.

با توجه به داده‌های حاصل از تجزیه‌های آماری مربوط به وزن تر و خشک، حضور غلظت‌های سمی کادمیوم، نیکل و سرب در محیط جوانه‌زنی بذور خیار باعث کاهش معنی‌دار در وزن تر و خشک گیاهچه گردید.

نتایج این تحقیق در رابطه با کاهش وزن تر و خشک در گیاهچه‌های تحت تیمار با غلظت‌های سمی کادمیوم در راستای نتایج به دست آمده از مطالعات بهاردواج و همکاران (Bhardwaj *et al.,* 2009) بر روی گیاه لوبیا و شریفی و همکاران (Sharifi *et al.,* 2010) بر روی گیاه عدس بود. آرزو و همکاران (Arzoo *et al.,* 2014) گزارش دادند که وزن تر و خشک گیاه *Macrotyloma uniflorum* تحت غلظت ۲۰ پی‌پی‌ام نیکل ابتدا نسبت به تیمار شاهد افزایش و متناسب با افزایش غلظت این عنصر از ۴۰ – ۱۰۰ پی‌پی‌ام به‌شدت نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر همخوانی دارد. کبیر و همکاران (Kabir *et al.,* 2008) نیز کاهش چشم‌گیر وزن تر و خشک گیاهچه را در اثر تیمار با غلظت‌های بالای کادمیوم و سرب در گیاه *T. populnea* گزارش دادند. مطالعات انجام‌گرفته روی گونه‌های گیاهی متفاوت نشان داده است که عناصر سنگین به‌راحتی از طریق ریشه‌ها جذب می‌شوند. این فلزات برای گیاهان سمی بوده، با تشکیل کمپلکس‌های پیچیده با گروه‌های جانبی ترکیبات آلی مانند پروتئین‌ها در بسیاری از اعمال یاخته‌ای دخالت کرده در نتیجه از فعالیت‌های ضروری یاخته جلوگیری می‌نماید در نهایت از این طریق می‌تواند اثرات منفی بر بیوماس داشته باشد (Blinda *et al.,* 1997). کاربرد غلظت ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم در شرایط تنش ناشی از حضور غلظت های سمی عناصر-سنگین مورد مطالعه در این پژوهش باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه شد. پراساد و همکاران (۲۰۰۸) بعد از اسپری ۱۵۰ میلی‌لیتر سلنیم روی سورگوم مشاهده کردند که وزن خشک شاخساره به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد. باربارا (Barbara, 2009) با اعمال غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰و ۲۰ میکرومولار سلنیم در شرایط تنش شوری بر روی خیار افزایش ۹۴ درصدی در وزن خشک ریشه مشاهده نمودند که با نتایج حاصل از بررسی حاضر همخوانی دارد. در تحقیقات بسیاری تاثیر آنتی-اکسیدانی و بهبوددهندگی سلنیم در شرایط تنش‌های محیطی مشاهده شده است که در تحقیق حاضر می‌تواند دلیلی بر کاهش اثرات مضر غلظت‌های سمی عناصر-سنگین تحت بررسی بر رشد و افزایش وزن در گیاهچه‌ها باشد. در تحقیقی که توسط سالی و مروت (Sally and Mervet, 2011) انجام پذیرفت، نتایج نشان داد که تاثیرگذاری عنصر سلنیم در مقایسه با سایر آنتی‌اکسیدان-های به‌کاررفته در این آزمایش نظیر ویتامین C و ویتامین E بسیار بیش‌تر بوده به طوری‌که این عنصر باعث افزایش چشمگیری در شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه کاهو گردید. همچنین صفاریزدی و همکاران (Saffaryazdi *et al.,* 2012) نیز افزایش رشد را در سطوح پایین سلنیم گزارش کردند که با نتایج بررسی حاضر مطابقت دارد این محققین افزایش رشد و تولید بیوماس در گیاه اسفناج را تاثیر مثبت سلنیم بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی دانستند.

با مقایسه داده‌های حاصل از تجزیه آماری در مورد شاخص پایداری غشاء سلول مشاهده می‌کنیم که سمیت عناصر سنگین باعث کاهش معنی‌دار پایداری غشاءسلولی و همچنین افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید در گیاهان تیمارشده نسبت به گیاهان شاهد گردید. اولین علامت تنش اکسیداتیو ناشی از تنش عناصر سنگین، پروکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی است که به‌دنبال افزایش پروکسیداسیون چربی‌ها، غشاء سلولی تخریب شده و نشت یونی اتفاق می‌افتد و سپس محتوای مالون‌دی-الدئید که شاخصی جهت سنجش میزان آسیب به غشاهای بیولوژیکی است بالا می‌رود (Nakano and Asada, 1981). گزارشات بسیاری مبنی بر افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید، ناشی از پروکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی در اثر تیمار با کادمیوم وجود دارد (Soltani *et al.,* 2006; Khlighi jamalabadi *et al.,* 2008). بهمن‌زیاری و همکاران (Bahmanziari *et al.,* 2012)

در طی بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف نیکل بر پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی گزارش دادند که تیمار ۲۰۰ میکرومولار نیکل بر روی دو رقم خیار باعث افزایش معنی‌داری در پراکسیداسیون چربی‌های غشاء و افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید داشت که با نتایج حاصل از بررسی حاضر همخوانی دارد. اسفندیاری و همکاران (Esfandiari *et al.,* 2012) نیز گزارش دادند که سمیت کادمیوم با تاثیر بر پرکسیداسیون چربی‌ها باعث افزایش در محتوای شاخص مالون‌دی‌آلدئید در گیاه گندم گردید. پاسخ مشابه در گیاهان تیمارشده با دیگر فلزات سنگین، نیز مشاهده شده‌است (Nakano and Asada, 1981). شری و همکاران (Shri *et al.,* 2009) دلیل این امر را افزایش تولید و انباشتگی گونه‌های فعال اکسیژن از جمله سوپراکسید (O_2^-) و پراکسیدهیدروژن در اثر سمیت ناشی از حضور عناصر سنگین در محیط رشد گیاه دانستند. اعمال سلنیم در سطح ۸ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط تنش کادمیوم، نیکل و سرب باعث افزایش معنی‌دار در شاخص پایداری غشاء سلولی گردید. نتایج این بررسی با نتایج حاصل از بررسی داجناگویرمن و همکاران (Dajnaguiraman *et al.,* 2005) و اکلادیوس (Akladious, 2012) مطابقت دارد. داجناگویرمن و همکاران (Dajnaguiraman *et al.,* 2010) افزایش پایداری غشاء سلولی گیاه سورگوم را در اثر تیمار با سلنیم در شرایط تنش‌های محیطی گزارش دادند و دلیل این امر را تاثیر سلنیم بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش میزان گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان تحت تیمار دانستند. کونگ و همکاران (Kong *et al.*, 2005) نیز بهبود عملکرد سیستم غشاء در سلول‌های مزوفیل برگ را به‌واسطه حضور سلنیم در محیط رشد گیاه گزارش دادند. سلنیم از طریق افزایش میزان جذب عنصر مغذی پتاسیم در سلول‌های گیاهی باعث کاهش در میزان نشت یونی و افزایش پایداری غشاء سلولی می‌گردد Kuznetsov (*et al.,* 2003; Saffaryazdi *et al.,* 2012).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در اثر حضور غلظت‌های سمی کادمیوم، نیکل و سرب در محیط کشت میزان محتوای نسبی آب بافت در سلول‌های برگ گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش در میزان نسبی آب بافت در گیاه تربچه و کاهو نیز در اثر سمیت عناصر سنگین گزارش شده است (Farokh *et al.,* 2011; Costa and Moral, 1994). کرانتو و همکاران (Krantev *et al.*, 2006) کاهش محتوای آب نسبی بافت برگ گیاه ذرت را تحت سمیت کادمیوم به‌علت از بین‌رفتن تعادل آب سلول دانستند، که به‌وسیله شاخص RWC مشخص می‌گردد. عناصر سنگین با کاهش طول ریشه، کاهش میزان انتقال مواد از ریشه به شاخساره، کاهش قابلیت تراوایی ریشه، کاهش اندازه و تعداد آوندهای چوبی، افزایش چوب پنبه‌ای شدن و لیگنینی‌شدن ریشه، جلوگیری از تولید ریشه‌های موئین، آسیب به نوک ریشه‌های اصلی (Barcelo and Poschenriedr, 1990) موجب ایجاد اختلال در جذب آب و به هم‌ریختن تعادل آبی در گیاه می‌گردد. تجمع پرولین و آمینواسیدهای آزاد، در پاسخ به تنش عناصرسنگین، دلیل مناسبی برای کاهش در میزان نسبی آب بافت و بوجودآوردن خشکی فیزیولوژیکی در گیاه است (Hasan *et al.,* 2012; Barket Ali *et al.,* 2007). از سویی دیگر نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزودن غلظت بهینه ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم به محیط کشت، شاخص محتوای نسبی آب برگ را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد. بیشینه این تاثیر در گیاهان تحت تنش ۲۵ میکرومولار کادمیوم سلنیم مشاهده شد به‌نحوی‌که محتوای نسبی آب برگ در این تیمار به‌میزان ۱۳درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات حبیبی (Habibi, 2013) بر روی گیاه جو و اسکندری زنجانی و همکاران (Eskandari zanjani *et al.,* 2012) بر روی گیاه کدو همخوانی دارد. طبق نظر کاسنتساو و همکاران (Krantev *et al.,* 2006) عنصر سلنیم دارای قابلیت تنظیم وضعیت آبی گیاه از طریق تحریک رشد ریشه و افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای است.

هان ونس و همکاران (Han-Wens *et al.,* 2010) نیز در طی یک بررسی بیان داشتند که سلنیم در غلظت‌های پایین، تقسیم سلولی را در سلول‌های نوک ریشه بهبود بخشیده و متعاقب آن باعث افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه گیاه می‌گردند. بنابراین همین امر می‌تواند موجب جذب بیش‌تر آب توسط گیاهان تحت تیمار با این عنصر شده و در نهایت با افزایش در میزان آب بافت‌های گیاهی، شاخص محتوای آب برگ را افزایش دهد. گیاهان در مقابله با تنش‌های اکسیداتیو دارای سازکارهای دفاعی

متعددی بوده که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، گایاکول‌پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز از جمله آن‌ها است. پراکسیدهیدروژن تولیدشده در شرایط تنش توسط آنزیم‌های کاتالاز و یا آسکوربات‌پراکسیداز تبدیل به آب و اکسیژن می‌شود (Comba *et al.,* 2010). ایفای نقش مهم آنزیم پراکسیداز در کاهش پراکسید هیدروژن تولیدشده با کمک اسیدآسکوربیک به‌عنوان یک دهنده الکترون صورت می‌گیرد. گایاکول پراکسیدازها (POX) گلیکوپروتئین‌هایی هستند که فنل‌ها را مانند یک دهنده هیدروژن مصرف کرده و علاوه بر کاهش آثار تنش‌های محیطی در فرایندهای نمو، لیگنین‌سازی، بیوسنتز اتیلن، دفاع و التیام زخم‌ها نیز شرکت می‌کنند (Verma and Dubey, 2003; Michalak, 2006). این آنزیم به‌عنوان یک شاخص زیستی مهم جهت بررسی تنش وارده توسط سمیت عناصرسنگین استفاده می‌شود. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که سمیت عناصر سنگین در تمامی تیمارها باعث کاهش معنی‌دار فعالیت این آنزیم‌ها در برگ گیاهچه خیار شد. ماداهاوارائو و اسرستی (MadhavaRao and Srestry, 2000) نیز کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در اثر تیمار با غلظت‌های بالای عناصرسنگین گزارش دادند.

گومسجونیور و همکاران (Gomes-Junior *et al.,* 2006) و دومان و اتورک (Duman and Oturk, 2009) نیز کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله آسکوربات‌پراکسیداز را در اثر تیمار با غلظت‌های سمی عناصرسنگین گزارش دادند. حسن‌الزمان و همکاران (Hasanuzzaman *et al.,* 2011) نیز کاهش چشمگیر فعالیت آنزیم کاتالاز را تحت شرایط تنش کادمیوم گزارش دادند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. در اثر تیمار با ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم افزایش معنی‌داری در میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی برگ گیاهچه‌های تحت استرس کادمیوم، نیکل و سرب مشاهده گردید. نتایج مشابهی توسط لین و همکاران (Lin *et al.,* 2012) در طی بررسی تاثیر تنش کادمیوم بر روی گیاه برنج مشاهده شده‌است. این محققین گزارش دادند که کاربرد سلنیم تاثیر فوق‌العاده‌ای در کاهش خسارات ناشی از تنش عناصرسنگین و کاهش تاثیر سمیت این عنصر بر روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیدازها داشت.

در طی این بررسی نقش محافظتی سلنیم در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از کادمیوم به خوبی نشان داده شد. آن‌ها گزارش دادند که کاربرد سلنیم به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی می‌تواند به‌عنوان شیوه‌ای برای مقابله با رادیکال‌های آزاد موثر باشد (Lin *et al.,* 2012). حسن‌الزمان و همکاران (Hasanuzzaman *et al.,* 2011) نقش سلنیم را در کاهش تنش شوری در گیاه کلزا به‌واسطه نقش محافظتی این عنصر بر کاهش میزان H_2o_2 دانست. نتایج مشابهی توسط دجاناگویرمن و همکاران (Dajanaguiraman *et al.,* 2010) در شرایط تنش حرارتی و اکبولوت و سکیر (Akbulut and Cakir, 2010) در شرایط عدم تنش در گیاه جو گزارش شده‌است.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش اثر سمیت ناشی ازحضور عناصر سنگین در محیط کشت بر جوانه‌زنی، رشد و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در مرحله جوانه‌زنی گیاه می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای آثار مخرب این عناصر در پیکره گیاه باشد از سویی دیگر غلظت‌های بهینه سلنیم می‌تواند باعث بهبود شاخص‌های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه هم در شرایط تنش ناشی از عناصر سنگین و هم در شرایط عدم تنش شود. لازم به‌ذکر است که غلظت بهینه تاثیر این عنصر بسته به‌گونه، رقم و آستانه تحمل گیاهان مختلف، متفاوت بوده و براساس نتایج این بررسی بهینه تاثیر این عنصر در گیاه خیار و رقم مورد مطالعه سوپردامینوس در تیمار ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیم مشاهده گردید.

تشکر و قدردانی

از همکاران آزمایشگاه تکنولوژی بذر در دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

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

Akbulut, M. and Cakir, S. 2010. The effects of se phytotoxicity on the antioxidant systems of leaf tissues in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedling. Plant Physiology and Biochemistry, 48: 160-166. **(Journal)**

Alloway, B.J. 1990. Heavy Metals in Soils. John Wiley and Sons Inc, New York, PP: 20-27. **(Book)**

Amoii, A., Nadafi, K. and Mahvi, A.H. 2011. Effect of chemical additives on the absorption and accumulation of lead and cadmium in the north of native plants. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 21(86): 124-116. (In Persian)**(Journal)**

Antoniadis, N. and Alloway, B.J. 2001. Availability of Cd, Ni and Zn to rye grass in seawage sludge treated soil at different temperatures. Water, Air and Soil Pollution, 132: 201–204. **(Journal)**

Arzoo, A., Kumar, S., Ashirbad, N., Kunja, M. and Satapathy, B. 2014. Impact of nickel on germination, seedling growth and biochemical changes of *Macrotyloma uniflorum* (Lam) verdc. International Journal of Biosciences, 5(9): 321-331. **(Journal)**

Baccouch, S., Chaoui, A. and El Ferjani, E. 2001. Ni toxicity induced oxidative damage in *Zea mays* roots. Journal of Plant Nutriation, 24: 1085-1097. **(Journal)**

Bahman ziari, H., Khoshgoftarmanesh, A.H., Sanaii ostovar, A., Shirvani, M. and Haghighi, M. 2012. Effect of different levels nickel in nutrient solution containing ammonium nitrate on peroxidation of lipids and antioxidant enzyme activity of cucumber leaves. Science and Technology of Greenhouse Culture, 3(12): 91-103. **(Journal)**

Barcelo, L. and Poschenriedr, C. 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: A reaview. Journal of Plant Nutriation, 13: 1-37. **(Journal)**

Bhardwaj, P., Chaturvedi, A.K. and Prasad, P. 2009. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiologicaland biochemical attributes of *(Phaselous vulgaris* L*.).* Nature and Science, 7(8): 63-75. **(Journal)**

Barbara, H. 2009. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. Journal Biological Trace Element Research, 132: 259–269. **(Journal)**

Barket, A., Rani, I., Hayat, S. and Ahmad, A. 2007. Effect of 4-cl-indul-3-aceticacid on seed germination of cicer arientium exposed to cadmium. Acta Botanica Croatica, 66(1): 57-65. **(Journal)**

Barrientos, E.Y., Flores, C.R., Wrobel, K. and Wrobel, K. 2012. Impact of cadmium and selenium exposure on trace elements, fatty acids and oxidative stress in *Lepidium sativum.* Journal of the Mexican Chemical Society, 56(1): 3-9. **(Journal)**

Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L. 2005. Cadmium toxicity in plant. Brazilian Journal of Plant Physiology, 17(1): 21-34. **(Journal)**

Blinda, A., Koch, B., Ramanjulu, S. and Dietz, K.J. 1997. De novo synthesis andaccumulation of apoplast proteins in leaves of heavy metal exposed barley seedlings. Journal Plant Cell and Environment, 20: 969-981. **(Journal)**

Chehegani, A. and Malayeri, B. 2007. Removal of heavy metals by native accumulation plants. International Journal of Agriculture and Biology, 9(3): 462-465. **(Journal)**

Comba, M.E., Benavides, M.P. and Tomaro, M.L. 1998. Effect of salt stress on antioxidant defence system in soybean root nodules. Australian Journal of Plant Physiology, 25: 665-671. **(Journal)**

Costa, G. and Moral, J.L. 1994. Water relation, gas exchenge and amino acide content in Cd-treated lecttuce. Plant Physiology and Biochemistry, 32: 561-570. **(Journal)**

Dajnaguiraman, M., Prasad, P.V.V. and Seppanen, M. 2010. Selenium protect sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defence system. Plant Physiology and Biochemistry, 48: 999-1007. **(Journal)**

Dajanaguiraman, M., Durga Devi, D., Shanker, A.K., Annie Sheeba, J. and Bangarusamy, U. 2005. Selenium an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil, 272: 77–86. **(Journal)**

Dixon, N.E., Gazzola, C., Blakeley, R.L. and Zermer, B. 1975. Jack bean urease (EC 3.5.1.5). A metalloenzyme. A simple biological role for nickel. Journal of the American Chemical Society, 97: 4131-4133. **(Journal)**

Duman, F. and Turk, F. 2009. Nickel accumulation and its effect on biomass, protein content and antioxidative enzymes in roots and leaves of watercress. Journal of Environmental Sciences, 24: 526-532. **(Journal)**

Ekiz, H. and A. Yilmaz. 2003. Determination of the salt tolerance os some barley genotype and the characteristics affecting tolerance .Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27: 253-260. **(Journal)**

Esfandiari, A., Vahdati rad, A., Shekarpor, M. and Shekari, F. 2012. Acetyl-CoA carboxylase activity of the moratorium on the growth and antioxidant system in wheat. Journal of Environmental Research, 25(4): 589-598. **(Journal)**

Eskandari Zanjani, K., Shirani Rad, A.H., Naeemi, M., Moradi Aghdam, A. and Taherkhani, T. 2012. Effects of zeolite and selenium application on some physiological traits and oil yield of medicinal Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under drought stress. Current Research Journal of Biological Science, 4(4): 462-470. **(Journal)**

Farokh, S., Mosa, A.A., Taha, A.A., Ibrahim, H.M. and Gahmary, A.M.E. 2011. Protective effect of humic acid and on Radish (*Raphanuse satvius* L. Var. Sativing*)* plant subjected to cadmium stress. Journal of Stress Phsiology and Biochemistry, 7: 99-116. **(Journal)**

Filek, M., Gzyl-marlcher, B., Zembala, M., Bednarska, E., Laggner, P. and Kriechbaum, M. 2010. Effect of selenium on characteristics of rape chloroplast modified by cadmium. Journal of Plant Physiology, 167: 28-33. **(Journal)**

Frias, J., Gulewicz, P., Martínez-Villaluenga, C., Pilarski, C., Blazquez, E., Jiménez, B., Gulewicz , K. and Vidal-Valverde, C. 2009. Influence of germination with different Selenium solutions on nutritional value and cytotoxicity of Lupin Seeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry*,* 57 (4): 1319–132. **(Journal)**

Ghasemi, Z. and Shahabi, A.A. 2010. Effect of potassium and zinc on physiological and growth characteristics of tomato under cadmium stress in soilless culture systems. Journal of Science and Technology Greenhouse, 1(4): 1-11. **(Journal)**

Gomes-Junior, R.A., Moldes, C.A., Delite, F.S., Gratao, P.L., Mazzafera, P., Lea, P.J. and Azedevo, R.A. 2006. Nelicits a fast antioxidant response in *Coffea arabica* cells. Plant Physiology and Biochemistry, 44: 420-429. **(Journal)**

Habibi, G. 2013. Effect of drought stress and Selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. Acta Agriculturae Slovenica, 101(1): 31–39. **(Journal)**

Hajiboland, R. and Keivanfar, N. 2012. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. Acta Agriculturae Slovenica, 99(1): 13–19. **(Journal)**

Halajnia, A., Lakzaban, A., Haghnia, G.H and Ramezanian, A. 2009. Effect of iron on the absorption cadmium in sunflower and corn. Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology), 23(2): 37-30. **(Journal)**

Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L. and Wei-Jun, K. 2010. Protective role of Selenium on garlic growth under Cadmium stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41: 1195-1204. **(Journal)**

Hassan, I., Iqbal, M., Qurat-ul-Ain, S., Rasheed, R., Mahmood, S., Perveen, A. and Wahid, A. 2012. Cadmium dose and exposure-time dependuct alteration in growth and physiology of maize (*Zea mays*)*.* International Journal of Agriculture and Biology, 14(6): 959-964. **(Journal)**

Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A. and Fujita M. 2012. Exogenous Selenium pretreatment protects rapeseed seedlings from cadmium-induced oxidative stress by upregulating antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems. Biological Trace Element Research, 149: 248–261. **(Journal)**

Hawkesford, M.J. and Zhao, F.J. 2007. Strategies for increasing the selenium content of wheat. Journal of Cereal Science, 46(3): 282-292. **(Journal)**

Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125: 189-198. **(Journal)**

Hoshmandfar, A. and Moraghebi, F. 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. **(Journal)**

Issa, AA. and Adam, M.S. 1999. Influence of selenium on toxicity of some heavy metals in the green alga *Scenedesrnus obliquus.* Folia Microbiologika, 44: 406-410. **(Journal)**

Jahid, A.M., Kumar, S., Thakur, P., Sharma, S., Kau Raman Preet, N., Kaur, D.P., Bhandhari, K., Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 2001. Cadmium. PP. 143-157. In: Kabata-Pendias, A. and H. Pendias (Eds.).Trace Elements in Soils and Plants, 3rd Ed. CRC Press. Boca Raton. FL. **(Handbook)**

Jaja, F.T. and Odoemena, C.S.I. 2004. Effect of Pb, Cu and Fe compounds on the jermination and early seedling growth of tomato variation. Journal of Applied Science and Enviromental Management, 8(2): 51-53. **(Journal)**

Kaffi, M., Borzoii, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoomi, A. and Nabati, G. 2009. Environmental stress in plant physiology. Mashhad University Jihad Publication. **(Book)**

Kabir, M., Iqbal, M.Z., Shafigh, M. and Faroogi, Z.R. 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. **(Journal)**

Kastori, R., Petrović, N., Gašić, O. and Janjatović, V. 2012. Uticaj olova na akumulaciju i distribuciju mi neralnih materijau soji (*Glycine max*.(L.) Merr.). Proceedings for Natural Sciences, Srpska, 80: 55–65. **(Journal)**

Khalighi Jamal Abad, A. and Khara, G. 2008. Effect arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus intraradices* on oxidative stress and some developmental and physiological parameters in wheat under cadmium toxicity Azar2. Iranian Journal of Biology, 21(5): 769-783. **(Journal)**

Khavari nezhad, R., Goshegir, Z. and Saadatmand, S. 2010. Effect of interaction selenium and molybdenum on photosynthetic pigments in tomato leaves *Lycopersicom esculentum* Mill. Journal of Plant Science, 17(1): 23-14. **(Journal)**

Khodarahmi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H. and Mobli, M. 2012. The effect of silicon on reducing damage caused by cadmium toxicity in cucumber (*Cucumis sativa* L.) in the vegetative stage. Journal of Science and Technology of greenhouse Plantation, 3(11): 110-103. **(Journal)**

Khoshgoftarmanesh, A.H. 2010. Advanced topics in plant nutrition. Isfahan, Isfahan University Publication Center. **(Book)**

Kolelia, N., Ekerb, S. and Cakmak, I. 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheatgrown in zinc-deficient soil. Environment Pollution, 131: 453- 459. **(Journal)**

Kong, L., Wang, M. and Dongling, B. 2005. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. Plant Growth Regulation, 45: 155–163. **(Journal)**

Krantev, A., Yordanova, R. and Popova, L. 2006. Salicylic acid decreases decreases Cd toxicity in maize plants. Plant Physiology, Special Issue: 45-52. **(Journal)**

Kuznetsov, V.V., Kholodova, V.P. and Yagodin, B.A. 2003. Selenium regulates the waterstatus of plants exposed todrought. Doklady Biolological Science, 390: 266-268. **(Journal)**

MadhavaRao, K.V. and Srestry, T.V.S. 2000. Antioxidative parameters in the seedlings of pigeon pea (*Cacanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. Plant Science, 157: 113–128. **(Journal)**

Lin, L., Zhou, W., Dai, H., Cao, F., Zhang, G. and Wu, F. 2012. Selenium reduces cadmium uptake an mitigates cadmium toxicity in rice. Journal of Hazardous Materials, 235-236: 343-351. **(Journal)**

Lyons, G.H., Genc, Y., Soole, K., Stangoulis, J.C.R., Liu, F. and Graham, R.D. 2008. Selenium increases seed production in *Brassica*. Plant Soil, 10.1007/s 11104-008-9818. **(Journal)**

Michalak, A. 2006. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. Polish Journal of Environmental Studies, 15: 523-530. **(Journal)**

Mihalescu, L., Mare-Rosca, O.E., Marian, M. and Blidar, C.F. 2010. Research on the growth intensity of the *Zea mays* L. plantlets aerial parts under Cadmium treatment. Analele Universitatii din Oradea, Ed. Universitatii din Oradea, Tom XVII/1. ISSN 1224 – 5119, pp:147-151. **(Book)**

Molassiotis, A., Satipoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G. and Therios, I. 2005. Boron–induced oxidative damage and antioxidant and uncleolytic responses in shoot tips culture of apple rootstock EM9 (Malus domestica Borkh.). Environmental and Experimental Botany, 56: 54-62. **(Journal)**

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 22(5): 867-880. **(Journal)**

Prasad, P.V.V., Pisipati, S.R., Mutava, R.N. and Tuinstra, M.R. 2008. Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress during reproductive development. Crop Science, 48: 1911–1917. **(Journal)**

Radha, J., Srivastava, S., Solomon, S., Shrivastava, A.K. and Chandra, A. 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. **(Journal)**

Rudolf, R.K., Ivana, V., Maksimović, O.T.D. and Marina, I.P. 2012. Effect of lead contamination of maize seed on its biological properties. Proceedings of the National Academy of Sciences, Matica Srpska Novi Sad, № 123, 75-82. **(Conference)**

Saffaryazdi, A., Lahouti, M., Ganjeali, A. and Bayat, H. 2012. Impact of selenium supplementation on growth and selenium accumulation on spinach (*Spinacia oleraceae* L.) plants. Notulae Scientia Biologicae, 4: 95-100. **(Journal)**

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

Sally, A.M. and Mervet, E.S. 2011. Some antioxidants application in relation to lettuce growth, chemical constituents and yield. Australian. Journal of Basic and Applied Sciences, 5(6): 127-135. **(Journal)**

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

Sharifi, P., Matlabi, A., Hadi, H. and Mohamad Alipor, H. 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. **(Conference)**

Shri, M., Kumar, S., Chakrabarty, D., Trivedi, P.K., Mallic, S. and Misra, P. 2009. Effect of arsenic on growth, oxidative stress, and antioxidant system in rice seedlings. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72: 1102-1110. **(Journal)**

Soleimanzadeh, H. 2012. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to selenium application under water stress. World Applied Sciences Journal, 17 (9): 1115-1119. **(Journal)**

Soltani, F., Ghorbangholi, M. and Manochehri Kalantari, K. 2006. Effect of cadmium on photosynthetic pigments, carbohydrates and malondialdehyde in canola (*Brassica napus* L.). Journal of Environmental Research, 19(2): 136-145. **(Journal)**

Verma, S.H. and Dubey, R.S. 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. Plant Science, 164: 645-655. **(Journal)**

Wu, F., Zhang, G. and Dominy, P. 2003. Four barley genotypes respond differently to cadmium: Lipid peroxidation and activities of antioxidant capacity. Environmental and Experimental Botany, 50: 67-78. **(Journal)**

Yan-de, J., Zhen-li, H.E. and Xiao-e, Y. 2007. Role of soil rhizobcteria inphytoremidiation of heavy metal comtaminated soil. Journal of Zhejiang University Science B, 8: 192-207. (In Persian)**(Journal)**

Effects of selenium on damage of heavy metals in germination, growth and antioxidant activities ofcucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling

Hosein Aroiee[1*], Lila Shekari[2], Amin Mirshekari[3]

Received: November 23, 2017 Accepted: February 21, 2018

Abstract

Selenium is a beneficial element with antioxidant and antivirus function and it can increase plant growthand tolerance to environmental stress.Inthis study, the effects of selenium in stress conditions caused by heavy metals cadmium, nickel and lead in cucumber (*Cucumis sativus* L. cv Super Dominus) was investigated.The research was conducted using a completely randomized design with factorial arrangement in three replications for two germination tests .The first experiment was carried out to determine the optimal effectiveness of selenium and heavy metal toxicity threshold levels, Which contains levels of selenium (0, 4, 6, 8, 10 mgL^{-1}) from sodium selenate, cadmium (0, 10, 15, 20, 25 µM) from cadmium chloride, nickel (0, 50, 100, 150, 200 µM) from nickel chloride and lead (0, 20, 40, 60, 100 µM) from lead chloride sources. The second experiment were consisted of two levels of selenium (0, 8 mgL^{-1}) and toxicity threshold levels of heavy metals, including cadmium (0, 25 µM), nickel (0, 200 µM) and lead (0, 100 µM) treatments.The results showed that the germination index was significantly reduced as presence of toxic concentrations of heavy metals in the medium of cucumber seed germination. However, the application of selenium was improves the rate and percentage of germination, increase the length of shoot and root and seedling wet and dry weight in stress condition.Selenium was significantly increased cell membrane stability and decrease malondialdehyde under stress condition. Selenium improved antioxidant activity and increase activity of catalase, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase enzyms in heavy metal toxicity condition .In general, the results of this study showed that the optimum concentration of selenium was reduces symptoms of toxicity due to the presence of heavy metals incucumber seedgermination mediumas improving germination, growth and antioxidant activity.

Keywords: Cadmium; Cucumber; Germination; Lead; Nickel; Selenium

How to cite this article

Aroiee, H., Shekari, L. and Mirshekari, A. 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. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2019.3605

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Ph.D student of Horticulture, Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Yasooj, Yasooj, Iran

*Corresponding author: aroiee@ferdowsi.um.ac.ir