اثرات پیش تیمار بذر شوید با سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش فلزات سرب و کادمیم

سمیه سلطان‌زاده پرمهر[۱]، حسن ملکی لجایر[۲*]، موسی ترابی گیگلو[۳]، بهروز اسماعیل‌پور[۳]، اسماعیل چمنی[۵]، یونس پوربیرامی هیر[۳]

[۱]کارشناس‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۲]استادیار، گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشکین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۳]استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۴]دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۵]استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۲/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۱۴

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر سالیسیلیک‌اسید در رفع تنش فلزات سرب و کادمیم در گیاهچه‌های گیاه شوید بود. دو آزمایش مجزا در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. بذور با غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید پیش تیمار شده، سپس در شرایط آلودگی با غلظت‌های صفر، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌گرم در لیتر فلز سرب و غلظت‌های صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر فلز کادمیم کشت شدند. نتایج نشان داد بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۵/۵ درصد)، بیشترین مقدار سرعت جوانه‌زنی (۴۴/۱)، بیشترین وزن خشک گیاه (۵۵ میلی‌گرم)، بیشترین میزان شاخص وزنی (۳۳۰۳/۵)، بیشترین میزان پرولین (۲۱/۲میکروگرم برگرم وزن تازه) و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با بیشترین غلظت سالیسیلیک‌اسید (۲ میلی‌مولار) حاصل شدند. همچنین با افزایش میزان تنش و پیش‌تیمار با سالیسیلیک‌اسید، محتوی پرولین و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز افزایش یافتند. نتایج این پژوهش نشان داد که پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید ممکن است با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تحت تنش فلزات سنگین باعث افزایش تحمل گیاه نسبت به سمیت این فلزات شده است. به نظر می‌رسد پیش تیمار بذور قبل از کشت با موادی مانند سالیسیلیک‌اسید می‌تواند در بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: سالیسیلیک‌اسید، پرولین، تنش فلزات سنگین، شاخص‌های جوانه‌زنی

مقدمه

فلزات سنگین، فلزاتی با چگالی بیش از پنج گرم بر سانتی‌مترمکعب هستند (Duruibe et al., 2007). این فلزات با تأثیر بر آنزیم‌ها در گیاه، جذب آب و مواد مغذی را از طریق ریشه محدود می‌کنند، روند فتوسنتز را مختل می‌کنند، باعث ایجاد تغییرات مورفولوژیک در گیاهان و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شوند (Singh and Kalamdhad, 2011). فلزات سنگین به دلیل تجمع در بافت‌ها و اندام‌های موجودات زنده برای سلامتی جانداران و انسان‌ها خطرناک هستند (Kukrer, 2017).

*نویسنده مسئول: malekih135@gmail.com

کادمیم از جمله فلزات سنگین و غیر ضروری برای گیاه است که بر رشد و نمو گیاهان اثر منفی دارد. این فلز به علت سمیت و تحرک زیاد، یک آلاینده اساسی به شمار می‌رود (Benavides et al., 2005). مقادیر بالای کادمیم به دلیل ایجاد اختلالات متابولیسمی، تولید انواع اکسیژن فعال را در سلول افزایش داده و منجر به وقوع تنش اکسیداتیو در گیاه می‌گردد (Goncalvez et al., 2007).

از سوی دیگر سرب به‌عنوان یکی از فلزات سنگین خطرناک در خاک و هواست که مقدار کمی از آن می‌تواند مشکلات زیستی ایجاد کند (Krzeslowska et al., 2009). سرب علاوه بر سمیت زیادی که برای انسان دارد، اثرات نامطلوبی نیز بر جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و فرآیند فتوسنتز دارد. همچنین سرب باعث کاهش طول ریشه، کاهش تولید زیست‌توده، جلوگیری از سنتز کلروفیل و نیز تخریب سلول و آسیب به کروموزوم، کاهش جذب مواد معدنی و عدم تعادل در جذب آب و تغییر ساختمان و نفوذپذیری غشاهای سلولی می‌شود (Estrella-Gomez et al., 2009).

فلزات سنگین از راه‌های مختلف وارد محیط زیست می‌شوند. این آلاینده‌ها به هوا، خاک و در نهایت اکوسیستم‌های آبی وارد می‌شوند (Aazami and Taban, 2018). آب‌های سطحی، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها اغلب به‌وسیله پساب‌های شهری، فاضلاب‌های صنایع و کشاورزی به فلزات سنگین آلوده می‌شوند (Ahmad and Sarah, 2015). گیاه شوید با نام *Anethum graveolens* و نام انگلیسی Dill از تیره چتریان است. منشأ این گیاه، مدیترانه و آسیای غربی می‌باشد (Nazish et al., 2008). اجزای اصلی این گیاه شامل اسانس، پروتئین‌ها، کربوهیدرات، فیبر و عناصر معدنی مانند کلسیم، فسفر، منیزیم، سدیم، ویتامین A و نیاسین می‌باشد (Stavri and Gibbons, 2005).

پیش‌تیمار بذر روشی موثر در بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در شرایط وجود تنش‌های محیطی می‌باشد (Ghiyasi et al, 2015)، در این پژوهش از سالیسیلیک‌اسید برای پیش تیمار بذر استفاده شد که در مطالعات متعدد به عنوان یک مولکول پیام رسان مهم در پاسخ به تنشهای زیستی و غیر زیستی مورد تأکید قرار گرفته است (Le Thanh et al., 2017). سالیسیلیک‌اسید یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید[2] به گروهی از ترکیبات فنلی تعلق دارد که به‌عنوان یک مولکول مهم برای تعدیل پاسخ‌های گیاه به تنش‌های محیطی شناخته شده است، این ترکیب به‌عنوان یک پیام‌رسان داخلی گیاهی باعث افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش‌ها می‌شود. مشخص شده است که سالیسیلیک‌اسید در شکوفا شدن جوانه‌ها، نفوذپذیری غشاء، تنفس میتوکندری، بسته شدن روزنه‌ها، انتقال مواد، فتوسنتز، سرعت رشد و جذب یون‌ها تأثیرگذار است. اثر سالیسیلیک‌اسید در جلوگیری از تنش‌های زیستی (Alvarez. 2000) و غیر زیستی مثبت است (Tissa et al., 2000). اثرات مثبت سالیسیلیک‌اسید در افزایش شاخص‌های رشد و جوانه‌زنی قبلا نیز گزارش شده است (Espanany and Fallah, 2016). لذا این مطالعه به منظور بررسی کاربرد سالیسیلیک‌اسید به صورت پیش‌تیمار بذرها در کاهش اثرات ناشی از تنش فلزات سنگین اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. بذور از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. جهت اعمال پیش تیمار آبی، ابتدا بذور در آب مقطر به مدت‌های ۲۴ ساعت در انکوباتوری با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد خیسانده شدند. سپس بذور پیش تیمار شده در محیط آزمایشگاه در دمای ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. برای اعمال پیش تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید در غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲

1. $C_7H_6O_3$

میلی مولار) تهیه گردیدند. سپس در هر غلظت، بذور به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتوری با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بذور پیش تیمار شده در محیط آزمایشگاه در دمای ۲۰ تا ۲۲ درجه خشک شدند. جهت انجام آزمون جوانه‌زنی، ابتدا چهار تکرار ۵۰ بذری به‌طور تصادفی از هر نمونه جدا گردیده و در داخل پتری دیش روی کاغذ صافی به روش بالای کاغذ کشت شد. به این صورت که از هر تیمار و تکرار، بذور ضدعفونی شده با قارچ‌کش بنومیل، به پتری دیش‌های حاوی دو لایه کاغذ صافی انتقال یافتند. سپس جهت انجام آزمون جوانه‌زنی برای اعمال سطوح تنش کادمیم و سرب به ترتیب در غلظت‌های صفر (آب مقطر، S1)، ۱۰ (S2)، ۲۰ (S3)، ۳۰ (S4) و ۴۰ (S5) میلی‌گرم کادمیوم در لیتر و در غلظت‌های صفر (آب مقطر، S1)، ۲ (S2)، ۴ (S3)، ۶ (S4) و ۸ (S5) میلی‌گرم سرب در لیتر از محلول‌های موردنظر به هر پتری دیش اضافه شد. نمونه‌ها به ژرمیناتوری با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. تعداد بذور جوانه‌زده به‌صورت روزانه تا ۱۰ روز شمارش گردیده، ظهور ریشه‌چه به‌اندازه ۲ میلی‌متر به‌عنوان معیاری برای جوانه‌زنی بذرها در نظر گرفته شد. در پایان آزمایش، تعداد جوانه‌های نرمال، غیر نرمال و درصد جوانه‌زنی آن‌ها تعیین گردید (Ellis and Roberts, 1980).

گیاهچه‌های نرمال با استفاده از خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در پایان، جهت تعیین وزن خشک، ریشه‌چه و ساقه‌چه‌های گیاهچه‌های نرمال از هر تیمار و تکرار به‌صورت جداگانه در پاکت‌های کاغذی ریخته شده و در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. پس از پایان مدت مذکور، نمونه‌های هر پاکت با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند. پس از پایان دوره ۱۰ روزه آزمایش، اندازه‌گیری طول گیاهچه‌های نرمال و وزن خشک گیاهچه‌های نرمال، شاخص طولی و وزنی قدرت محاسبه شد.

(میانگین وزن خشک mg) × جوانه‌زنی استاندارد (٪)= شاخص وزنی قدرت

(میانگین طول گیاهچه cm) × جوانه‌زنی استاندارد (٪)= شاخص طولی قدرت

۱۰۰× (تعدادکل بذرها/ تعداد بذرهای جوانه زده در روز آخر) = درصد جوانه زنی

و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

در این فرمول $\overline{R}$ میانگین سرعت جوانه‌زنی، D تعداد روزهای سپری‌شده از شروع آزمایش و n تعداد بذور جوانه‌زده در روز موردنظر می‌باشد.

$$\overline{R} = \frac{\sum n}{\sum D.n}$$

اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی: اندازه‌گیری مقدار پرولین با استفاده از معرف ناین هیدرین براساس روش پیشنهادی Bates (۱۹۷۳) انجام گرفت. در این روش از معرف ناین هیدرین و اسیداستیک گلاسیال برای اندازه‌گیری پرولین استفاده شد جذب نوری محلول در طول موج ۵۲۰ نانومتر با اسپکترومتر مدل PG Instruments ItdT80+UV/VI S قرائت گردید و نتایج برحسب میکرو مول بر گرم وزن تازه گزارش گردید.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD): بافر H_2O_2 به مقدار ۱۴۸۵ میکرو لیتر و بافر گایاکول به همان مقدار در دمای پایین (ظرف حاوی یخ) باهم مخلوط گردید و به آن ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه و منحنی جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل PG Instruments ItdT80+UV/VIS قرائت شد. در محلول بلانک به‌جای عصاره آنزیمی، ۳۰ میکرولیتر از بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۷) استفاده شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از فرمول قانون بیر لامبرت و با ضریب خاموشی گایاکول پراکسیداز $۲۶/۶\mu M^{-}cm^{-1}$ محاسبه شد و فعالیت آنزیم درنهایت برحسب µMol/g FW.min بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): سنجش فعالیت آنزیم از طریق اندازه‌گیری تجزیه آب‌اکسیژنه توسط اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر برای مدت‌زمان ۱ دقیقه انجام شد، بلانک (با حجم نیم میلی‌لیتر) حاوی ۱۴۸۵ میکرو لیتر از بافر شماره ۲ (بافر اندازه‌گیری حاوی بافر پتاسیم فسفات، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار و H_2O_2 ۱۰ میلی‌مولار است) و ۱۵ میکرو لیتر بافر فسفات، نمونه (با حجم۱/۵ میلی‌لیتر)، حاوی ۱۴۸۵ میکرو لیتر از بافر شماره ۲ و ۱۵ میکرو لیتر از عصاره آنزیمی و پس از بهم‌زدن (یعنی با گذاشتن پارافیلم بر روی سل، یک‌بار سل را سروته می‌کنند) سرعت واکنش آنزیمی به‌صورت تغییرات جذب بر زمان (OD/min) در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر برای یک دقیقه ثبت گردید. فعالیت آنزیمی با ضریب خاموشی $40 \mu M^{-1}cm^{-1}$ محاسبه شد. داده‌های آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS ۹/۱ تجزیه آماری شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول‌های ۱ و ۲) نشان داد که در آزمایش اول یعنی بررسی اثر پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش سرب، اثر ساده سالیسیلیک‌اسید بر تمامی صفات (به جز سرعت جوانه‌زنی و محتوی پرولین) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده سرب نیز به جز وزن خشک، شاخص وزنی و پرولین بر تمامی صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در آزمایش دوم که اثر پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید همراه با تنش کادمیم بررسی شد. اثر ساده سالیسیلیک‌اسید و تنش کادمیوم بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌جز درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل سالیسیلیک‌اسید و فلز سرب روی گیاه شوید بر صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک، شاخص طولی و شاخص وزنی و آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد و روی صفات پرولین و آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل سالیسیلیک‌اسید و فلز کادمیم بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

درصد جوانه‌زنی: همانطور که در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است، بیشترین درصد جوانه‌زنی (۶۶ درصد) در آزمایش اول در گیاهان تیمار شده با ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید در شرایط بدون تنش سرب بدست آمد. در حالی که کمترین مقدار (۴۰/۷۵ درصد) در تیمار صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) و ۸ میلی‌گرم سرب حاصل شد. در آزمایش دوم بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۵/۵ درصد) در بذور پیش تیمار شده با ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و در شرایط بدون تنش کادمیم مشاهده شد. کمترین درصد جوانه‌زنی (۵۰/۵ درصد) در غلظت‌های صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم به‌دست آمد. می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید بر روند جوانه‌زنی در شرایط تنش و بدون تنش مؤثر بوده و با افزایش غلظت آن در تمامی تیمارها فاکتور درصد جوانه‌زنی نیز افزایش یافته است. نتایج تحقیق حاضر اهمیت این ترکیب فنلی را در مرحله جوانه‌زنی هنگام مواجهه با تنش ناشی از فلزات سنگین نشان می‌دهد. سالیسیلیک‌اسید احتمالا با افزایش سطوح هورمون‌های اکسین و سایتوکنین در بذرها، که در تحریک جوانه‌زنی موثرند، موجب بهبود جوانه‌زنی می‌شود (Badar et al., 2008).

سرعت جوانه‌زنی: بیشترین سرعت جوانه‌زنی در آزمایش اول (۳۲/۳۵) در تیمار ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و بدون تنش سرب حاصل شد و کمترین سرعت جوانه‌زنی (۲۰/۰۸۳) در تیمار صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) و ۸ میلی‌گرم تنش سرب بدست آمد. به طور مشابهی در آزمایش دوم نیز بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۴۴/۱۴۱) در تیمار ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و بدون تنش کادمیم به‌دست آمد. در حالی که کمترین مقدار این

شاخص (۲۱/۱۲) در گیاهچه های بدون پیش تیمار در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر از کادمیم ثبت شد (جداول ۳ و ۴). این نتایج نشانگر نقش منفی و مخرب فلز سرب و کادمیم در کاهش سرعت جوانه‌زنی و نقش مثبت پیش‌تیمار با سالیسیلیک‌اسید است که کاربرد سالیسیلیک‌اسید بر روی گیاه خیار با افزایش جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد گزارش شده است (Kumar et al., 2010).

جدول ۱- تجزیه واریانس برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی تحت پیش تیمار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش سرب در گیاهچه‌های شوید.

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن خشک	شاخص طولی	شاخص وزنی	پرولین	پروکسیداز	کاتالاز
سالیسیلیک اسید	۳	۳۱۷/۵۱**	۲۵/۶۱^{ns}	۰/۰۰۱۰۶**	۱۶۷۰۸/۲۲**	۵۳۲۷۷۳۸/۹۸**	۱۳/۹۸^{ns}	۰/۰۰۰۲۴**	۰/۰۰۰۰۸**
سرب	۴	۲۴۶/۰۱**	۸۶/۶۶**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۶۸۸۱۳/۵۲**	۴۲۶۲۴۴/۶۸^{ns}	۵/۲۸۳^{ns}	۰/۰۰۰۲۱**	۰/۰۰۰۱۲**
سالیسیلیک اسید×سرب	۱۲	۱۰۰/۷۵**	۳۸/۳۷**	۰/۰۰۰۴**	۲۷۲۱۲**	۱۶۵۸۱۵۶/۷۱**	۷۱/۱۹*	۰/۰۰۰۰۴۱*	۰/۰۰۰۲۱**
خطای آزمایش	۵۷	۲۸/۱۰	۱۳/۴	۰/۰۰۰۰۵	۱۷۰۶/۶۷	۳۹۵۴۰۷/۲۰	۹/۵۴	۰/۰۰۰۰۲۰	۰/۰۰۰۰۰۲۳
ضریب‌تغییرات (درصد)	–	۹/۷۲	۱۳/۶۶	۲۸/۵۴	۱۲/۵	۴۲/۴۹	۲۰/۵۸	۳۰/۴۷	۱۹/ ۹۲

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی تحت پیش تیمار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کادمیم در گیاهچه‌های شوید

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه زنی	سرعت جوانه زنی	وزن خشک	شاخص طولی	شاخص وزنی	پرولین	پروکسیداز	کاتالاز
سالیسیلیک اسید	۳	۲۵/۰۱^{ns}	۳۲۷/۵۷**	۰/۰۱۹**	۵۱۹۷۶/۸۱**	۸۹۲۵۰۸۸۰/۱۰**	۴۵/۲۳**	۰/۰۰۰۲۸**	۰/۰۰۰۲۹**
کادمیم	۴	۲۱۴/۲۰**	۶۷/۶۴^{ns}	۰/۰۰۶۵**	۳۹۱۴۲/۱۳**	۶۱۸۸۱۴۰۵/۹۰**	۱۳/۲۶**	۰ /۰۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۲۱**
سالیسیلیک اسید× کادمیم	۱۲	۲۳۰/۲۸**	۱۶۸/۵۸**	۰/۰۰۴۵**	۲۸۰۸۳/۷۰**	۴۱۵۴۳۹۰۸/۸۰**	۵۸/۷۱**	۰/۰۰۰۰۷۸**	۰/۰۰۰۲۳**
خطای آزمایش	۵۷	۱۸/۰۲	۳۳/۹۹	۰/۰۰۱۷	۱۷۷۴/۰۱	۲۰۶۸۵۱۱	۲/۴۹	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۴۴
ضریب تغییرات (درصد)	–	۶/۶۹	۱۸/۳۰	۱۴/۵۲	۹/۴۹	۷/۷۱	۱۰/۸۱	۱۸/۸۶	۲۰/۰۳

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

وزن خشک گیاه: بیشترین وزن خشک گیاه (۵۵ میلی‌گرم) از غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و بدون تنش سرب به‌دست آمد و کمترین مقدار (۱۰ میلی‌گرم) از غلظت صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) حاصل شد. در آزمایش دوم نیز، بیشترین وزن خشک گیاه (۳۹/۳۷ میلی‌گرم) از غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و بدون تنش کادمیم ثبت شد و کمترین مقدار (۲۲/۵ میلی‌گرم) از غلظت صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم حاصل شد (جداول ۳ و ۴). این نتایج نشانگر تأثیر زیاد سالیسیلیک‌اسید و همچنین عنصر سرب و کادمیم بر وزن خشک گیاه می‌باشد. فلزاتی مثل کادمیم و سرب از طریق تأثیر بر پمپ‌های پروتونی و اختلال در آنها سبب کاهش رشد ناشی از کاهش تقسیم سلولی و طویل شدن سلول می‌شوند (Liu and Huang, 2004). در مقابل

سالیسیلیک‌اسید با اثر بر سیستم رشد گیاه به بهبود رشد گیاه کمک کرده است همانطوری که در پژوهشی مشابه، تیمار با سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش وزن خشک گیاه شوید دربرابر تنش فلز کادمیم گشته است (Espanany and Fallah, 2016) و نیز افزایش رشد ساقه‌ها و ریشه‌های گیاه سویا در اثر تیمار سالیسیلیک‌اسید گزارش گردیده است (Delavari et al., 2010).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر پیش تیمار سالیسیلیک اسید بر روی جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی گیاه شوید تحت تنش فلز سنگین سرب

سالیسیلیک اسید (میلی‌مولار)	غلظت سرب (میلی گرم در لیتر)	درصد جوانه‌زنی	وزن کل گیاه (میلی‌گرم)	شاخص طولی	شاخص وزنی	سرعت جوانه‌زنی	پرولین (میکروگرم برگرم وزن تازه)	پراکسیداز (تغییرات در جذب میلی گرم وزن تازه)	کاتالاز (تغییرات در جذب میلی گرم وزن تازه)
	۰	۶۰/۲۵^{abc}	۳۱^{bcd}	۴۳۸/۲۹^{ab}	۱۷۰۹/۵$^{b-f}$	۲۸/۳۳۲^{abc}	۱۰/۵۹۷^{d}	۰/۰۰۸^{f}	۰/۰۰۱۳۳۳^{i}
	۲	۵۵/۵$^{b-f}$	۲۹/۵$^{b-e}$	۳۷۸/۵۳^{bcd}	۱۶۴۷$^{b-f}$	۲۷/۵۱^{abc}	۱۴/۷۷۳$^{a-d}$	۰/۰۱^{ef}	۰/۰۰۳^{ghi}
۰	۴	۴۷/۵$^{f-i}$	۲۳/۷۵^{de}	۳۴۲/۰۱^{cde}	۱۱۲۷$^{d-g}$	۲۷/۲۲۵^{abc}	۱۵/۴۰۵$^{a-d}$	۰/۰۱۰۶۶۷^{ef}	۰/۰۰۵^{efg}
	۶	۴۵^{hi}	۱۷/۲۵^{efg}	۱۷۷/۷۱^{h}	۸۷۸^{efg}	۲۶/۶۱$^{a-d}$	۱۶/۲۴۸^{ab}	۰/۰۱۱^{ef}	۰/۰۰۶^{ef}
	۸	۴۰/۷۵^{i}	۱۰^{g}	۱۰۹/۶۹^{i}	۴۴۶/۸^{g}	۲۰/۰۸۳^{e}	۱۶/۴۷۹^{ab}	۰/۰۱۷۶۶۷$^{b-e}$	۰/۰۲۳۶۶۷^{b}
	۰	۶۰/۵^{abc}	۲۵/۵^{cde}	۴۰۹/۴۲^{b}	۱۵۹۸$^{b-f}$	۲۸/۰۹۹^{abc}	۱۴/۹۴۳$^{a-d}$	۰/۰۱^{ef}	۰/۰۰۱۳۳۳^{i}
	۲	۵۷$^{b-e}$	۲۳/۵^{de}	۳۵۸/۳۸^{bc}	۱۲۵۳/۵$^{c-g}$	۲۷/۹۴۵^{abc}	۱۴/۹۶۶$^{a-d}$	۰/۰۱^{ef}	۰/۰۰۲۶۶۷^{ghi}
۰/۵	۴	۵۰/۵$^{d-h}$	۲۰/۵$^{d-g}$	۳۷۹/۲۴^{bcd}	۹۷۷^{efg}	۲۷/۰۶۳^{abc}	۱۵/۷۰۶$^{a-d}$	۰/۰۱۲^{def}	۰/۰۰۳۶۶۷$^{f-i}$
	۶	۴۹/۵$^{e-h}$	۱۱/۲۵^{fg}	۳۳۳/۶۲^{cde}	۶۵۸/۵^{fg}	۲۲/۹۱۴^{cde}	۱۶/۲۶۲^{ab}	۰/۰۱۷۳۳۳$^{b-e}$	۰/۰۰۶^{ef}
	۸	۴۶/۵^{ghi}	۱۰/۷۵^{fg}	۳۱۶/۸۸^{def}	۵۰۹^{g}	۲۰/۸۸۶^{de}	۱۶/۶۹۲^{ab}	۰/۰۲۰۳۳۳^{bcd}	۰/۰۱۰۳۳۳^{d}
	۰	۶۲^{ab}	۳۱/۲۵^{bcd}	۴۳۶/۶۸^{ab}	۲۰۵۸^{bcd}	۲۹/۷۲۵^{ab}	۱۰/۹۷۶^{cd}	۰/۰۱^{ef}	۰/۰۰۲۳۳۳^{ghi}
	۲	۵۹/۵^{abc}	۳۰^{bcd}	۳۵۷/۲^{bcd}	۱۸۰۴$^{b-e}$	۲۹/۷۹۶^{ab}	۱۳/۴۹۴$^{a-d}$	۰/۰۰۹۶۶۷^{ef}	۰/۰۰۶۳۳۳^{ef}
۱	۴	۵۶$^{b-f}$	۲۶/۷۷^{cde}	۳۰۱/۳۷^{ef}	۱۴۵۱$^{c-g}$	۲۸/۹۲۲^{abc}	۱۴/۱۳$^{a-d}$	۰/۰۱^{ef}	۰/۰۰۶۶۶۷^{e}
	۶	۵۵$^{b-g}$	۲۵/۲۵^{cde}	۲۶۸/۱۷^{f}	۱۴۴۷/۵$^{c-g}$	۲۷/۰۴۹^{abc}	۱۴/۲۶۵$^{a-d}$	۰/۰۱۳^{def}	۰/۰۰۶۶۶۷^{e}
	۸	۵۲/۵$^{c-h}$	۲۳/۷۵^{de}	۲۰۳/۳۴^{gh}	۱۲۷۲$^{c-g}$	۲۰/۸۸۱^{de}	۱۶/۳۶۳^{ab}	۰/۰۲۲۶۶۷^{abc}	۰/۰۱۵^{c}
	۰	۶۶^{a}	۵۵^{a}	۴۸۷/۵۹^{a}	۳۳۰۳/۵^{a}	۳۲/۳۵۱^{a}	۱۱/۹۴۲^{bcd}	۰/۰۱۳۳۳۳^{def}	۰/۰۰۲۳۳۳^{ghi}
	۲	۶۰^{abc}	۴۱/۲۵^{b}	۳۷۶/۶۳^{bcd}	۲۵۹۷/۵^{ab}	۳۱/۵۳۶^{a}	۱۵/۷۹۱$^{a-d}$	۰/۰۱۴۳۳۳$^{c-f}$	۰/۰۰۱۶۶۷^{hi}
۲	۴	۵۸/۷۵$^{a-d}$	۳۶/۷۵^{bc}	۳۴۰/۹۸^{cde}	۲۳۰۴/۵^{bc}	۲۷/۷۵۶^{ab}	۱۶/۱۱۳^{abc}	۰/۰۲۲۳۳۳^{abc}	۰/۰۰۴۳۳$^{e-h}$
	۶	۵۶$^{b-f}$	۲۱/۲۵$^{d-g}$	۲۸۹۷/۲۴^{ef}	۱۳۱۹$^{c-g}$	۲۷/۰۷۲^{ab}	۱۶/۷۵۷^{ab}	۰/۰۲۴^{ab}	۰/۰۱۷۳۳۳^{c}
	۸	۵۲$^{c-h}$	۲۲^{def}	۲۵۸/۲۹^{fg}	۱۲۳۲$^{d-g}$	۲۳/۹۲$^{b-e}$	۱۸/۲۶۸^{a}	۰/۰۲۹۶۶۷^{a}	۰/۰۲۸۶۶۷^{a}

در هر یک از سطوح، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر صفت تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

جدول ٤- مقایسه میانگین تأثیر پیش تیمار سالیسیلیک اسید بر روی جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی گیاه شوید تحت تنش فلز سنگین کادمیم

سالیسیلیک (میلی‌مولار)	غلظت کادمیم (میلی‌گرم در لیتر)	درصد جوانه‌زنی	وزن کل گیاه (میلی‌گرم)	شاخص طولی	شاخص وزنی	سرعت جوانه‌زنی	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تازه)	پراکسیداز (تغییرات در جذب میلی‌گرم وزن تازه)	کاتالاز (تغییرات در جذب میلی‌گرم وزن تازه)
	۰	۷۴^{ab}	۳۰/۱۷۵$^{b-e}$	۴۷۴/۹۸^{b}	۲۱۷۷۶^{b}	۴۰/۵۷۷^{ab}	۹/۷۵۷^{j}	۰/۰۰۸^{i}	۰/۰۰۱۱^{g}
	۱۰	۶۷/۵^{bcd}	۲۹$^{b-f}$	۴۷۶/۲۶^{b}	۱۸۸۷۳$^{d-g}$	۳۵/۵۸۹$^{a-d}$	۱۰/۷۹۳^{ij}	۰/۰۱۰۶۶۷$^{f-i}$	۰/۰۰۵^{efg}
۰	۲۰	۶۱/۲۵^{def}	۲۴/۵۵^{ef}	۴۴۹/۳۵^{bc}	۱۶۰۳۷^{hij}	۲۸/۷۸۹$^{c-f}$	۱۱/۴۸۲$^{g-j}$	۰/۰۱۳$^{e-i}$	۰/۰۰۶^{ef}
	۳۰	۵۵^{fg}	۲۲/۶۲^{f}	۳۷۵/۵۱$^{d-h}$	۱۵۱۲۰^{ijk}	۲۶/۳۶۷^{def}	۱۱/۶۶۱$^{g-j}$	۰/۰۱۴۳۳۳$^{e-h}$	۰/۰۰۸۳۳۳^{e}
	۴۰	۵۰/۵^{g}	۲۲/۵^{f}	۳۱۱/۸۸^{h}	۱۲۸۴۲^{i}	۲۱/۱۲۱^{f}	۱۳/۷۷۷^{efg}	۰/۰۱۸۳۳۳^{de}	۰/۰۱۶۳۳۳^{d}
	۰	۷۲^{abc}	۳۱/۷۷۵^{bcd}	۵۶۹/۸۳^{a}	۲۱۵۱۶^{b}	۳۷/۳۲۷^{abc}	۱۱/۷۲۱$^{g-j}$	۰/۰۰۸۳۳۳^{gh}	۰/۰۰۲^{fg}
	۱۰	۶۷/۵^{bcd}	۳۱/۴$^{b-e}$	۵۵۱/۰۵^{a}	۲۰۵۹۳^{bcd}	۳۵/۲۰۲$^{a-d}$	۱۱/۱۰۱^{hij}	۰/۰۱۵^{ef}	۰/۰۰۲^{fg}
۰/۵	۲۰	۶۷/۵^{bcd}	۲۶/۴۲۵$^{c-f}$	۳۸۱/۰۹$^{c-f}$	۱۶۹۳۸$^{f-i}$	۳۲/۰۹۵$^{b-e}$	۱۲/۳۵۶$^{f-i}$	۰/۰۱۶۳۳۳^{ef}	۰/۰۰۳۶۶۷^{fg}
	۳۰	۵۸/۵^{ef}	۲۶/۱۷۵$^{c-f}$	۳۴۱/۱۵$^{e-h}$	۱۳۳۲۵^{kl}	۳۰/۳۵$^{c-f}$	۱۸/۲۹۲^{bc}	۰/۰۱۷۶۶۷^{de}	۰/۰۰۸۳۳۳^{e}
	۴۰	۵۴/۵^{fg}	۲۴/۷۲۵^{def}	۳۲۰/۰۹^{gh}	۱۳۹۹۴^{jkl}	۲۶/۹۵۲^{def}	۱۹/۷۹۷^{ab}	۰/۰۱۹۳۳۳^{cde}	۰/۰۱۵^{d}
	۰	۶۷/۵^{bcd}	۳۱/۸۵^{bcd}	۵۴۹/۷۲^{a}	۲۰۸۷۴^{bcd}	۳۵/۰۹$^{a-d}$	۱۲/۴۶۲$^{f-i}$	۰/۰۰۸۶۶۷^{ghi}	۰/۰۰۲۴۳۳^{fg}
	۱۰	۶۶/۵^{cd}	۳۰/۹۲۵$^{b-e}$	۴۴۹/۸۱^{bc}	۱۹۶۷۵$^{b-d}$	۲۸/۴۳۶$^{c-f}$	۱۴/۵۴۲^{def}	۰/۰۱۹۳۳۳^{cde}	۰/۰۰۵۳۳۳^{ef}
۱	۲۰	۶۲/۵^{de}	۳۰/۰۷۵$^{b-e}$	۳۹۲/۵$^{c-f}$	۱۹۱۵۶$^{c-f}$	۲۵/۸۲۷^{def}	۱۵/۲۸۴^{de}	۰/۰۲۴۶۶۷^{bc}	۰/۰۰۶^{ef}
	۳۰	۶۱^{def}	۲۶/۲۲۵$^{c-f}$	۳۵۷/۲۵$^{e-h}$	۱۷۰۸۸$^{f-i}$	۲۵/۸۷۶^{def}	۱۸/۱۲۸^{bc}	۰/۰۲۵^{bc}	۰/۰۱۵۶۶۷^{d}
	۴۰	۵۷^{efg}	۲۵/۶۵$^{c-f}$	۳۲۷/۹۵^{fgh}	۱۶۷۷۳^{ghi}	۲۲/۳۹۴^{ef}	۱۸/۳۵۳^{bc}	۰/۰۲۶۶۶۷^{b}	۰/۰۱۴۶۶۷^{d}
	۰	۷۵/۵^{a}	۳۹/۳۷۵^{a}	۵۶۸/۲۵^{a}	۲۸۶۰۵^{a}	۴۴/۱۴۱^{a}	۱۲/۸۱۱$^{e-i}$	۰/۰۱۳۳۳۳$^{e-i}$	۰/۰۰۳۶۶۷^{fg}
	۱۰	۶۸^{bcd}	۳۵/۲۲۵^{ab}	۵۶۶/۲۹^{a}	۲۱۲۹۹^{bc}	۴۱/۲۴^{ab}	۱۳/۵۷۹$^{e-h}$	۰/۰۱۴۶۶۷^{efg}	۰/۰۱۴۳۳۳^{d}
۲	۲۰	۶۷/۵^{bcd}	۳۲/۵^{bc}	۵۶۳/۷۵^{a}	۲۱۱۵۸^{bcd}	۳۹/۹۸۵^{ab}	۱۶/۲۳^{cd}	۰/۰۲۳۶۶۷^{bcd}	۰/۰۲۱^{c}
	۳۰	۵۸^{ef}	۳۱/۱۵$^{b-e}$	۴۴۱/۲۹^{bcd}	۱۹۱۰۰$^{c-f}$	۳۲/۰۷۱$^{b-e}$	۱۸/۸۱۹^{b}	۰/۰۲۶^{b}	۰/۰۲۵^{b}
	۴۰	۵۶^{efg}	۲۷/۸۵$^{c-f}$	۴۰۶/۲۹^{cde}	۱۷۷۳۶$^{e-h}$	۲۷/۶۲۴$^{c-f}$	۲۱/۲۲۵^{a}	۰/۰۳۲۶۶۷^{a}	۰/۰۳۵^{a}

درهریک از سطوح، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر صفت تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر ندارند.

شاخص طولی: با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جداول۳ و ۴) بیشترین مقدار شاخص طولی در آزمایش اول از تیمار با غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و در شرایط بدون تنش عنصر سرب حاصل شده است و کمترین آن در تیمار با غلظت صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) و ۸ میلی‌گرم در لیتر سرب به‌دست آمده است که با تمام تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. در آزمایش دوم بیشترین مقدار این شاخص (۵۶۹/۸۳) در غلظت‌های ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و بدون تنش کادمیم حاصل شد و کمترین مقدار (۳۱۱/۸) در غلظت‌های صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم بدست آمد. نتایج حاکی از آن است که عناصر سرب و کادمیم مانع از رشد و افزایش طول گیاهان می‌شود ولی سالیسیلیک‌اسید موجب بهبود این اثر منفی می‌شود و تأثیر مخرب سرب و کادمیم را کاهش می‌دهد که احتمال داده می‌شود سالیسیلیک‌اسید طویل شدن و تقسیم سلولی را به

همراه اکسین تنظیم می‌نماید. سالیسیلیک‌اسید میزان تقسیم سلولی مریستم راسی ریشه‌های اولیه را که منجر به افزایش رشد طولی می‌شوند را افزایش می‌دهند (Shakirova et al., 2003). در پژوهشی نیز بیان شد که کاهش طول ریشه تحت تنش سرب بدلیل کاهش تقسیم سلولی ناحیه مریستمی، در پیاز (*Allium Cepa*) حاصل شده است که با نتایج بدست آمده از این تحقیق همسویی دارد (Kranner and Colville, 2010).

شاخص وزنی: جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که در آزمایش اول بیشترین مقدار شاخص وزنی (۳۳۰۳/۵) در غلظت‌های ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و بدون تنش سرب حاصل شد و کمترین مقدار این شاخص (۴۴۶/۸) در غلظت‌های صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) و ۸ میلی‌گرم در لیتر سرب به‌دست آمد و در آزمایش دوم بیشترین شاخص وزنی (۲۸۶۰۵) در غلظت‌های ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و بدون تنش کادمیم حاصل شد و کمترین مقدار این صفت (۱۲۸۴۲) شد که در غلظت‌های صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (عدم مصرف) و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم به‌دست آمد که این نتایج با یافته‌های (Khodary, 2004) که بیان کرده بود وزن خشک ریشه و اندام هوایی نیز به دلیل مسمومیت با سرب و توقف رشد کاهش می‌یابد همسویی دارد. در مقابل، افزایش در شاخص‌های رشد در گیاهان تحت تنش فلزات سنگین در پاسخ به سالیسیلیک‌اسید ممکن است با افزایش میزان کلروفیل، تغییرات در مواد معدنی و نقش حفاظتی غشاها مرتبط باشد که تحمل گیاه را در برابر آسیب افزایش می‌دهد (Belkhadi et al., 2010) که این نتیجه روی گیاه برنج و ذرت نیز مشاهده شده است (Krantev et al., 2008).

پرولین: با توجه به داده‌های حاصل از مقایسه میانگین (جداول ۳ و ۴) بیشترین میزان پرولین در آزمایش ناشی از تنش سرب (۱۸/۲۶ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در غلظت‌های ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و ۸ میلی‌گرم در لیتر سرب به‌دست آمد و کمترین میزان (۱۰/۵۹ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در نمونه شاهد حاصل شد، در آزمایش دوم بیشترین میزان (۲۱/۲۲۵ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در غلظت‌های ۲ میلی مولار سالیسیلیک‌اسید و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم ثبت شد و کمترین مقدار این شاخص (۹/۷۵۷ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در نمونه شاهد (نمونه بدون تیمار) حاصل شد. پرولین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. همچنین پرولین مانند یک آنتی‌اکسیدان قوی این توانایی را دارد که از مرگ سلول‌ها در برابر تنش‌های محیطی جلوگیری کند (Chen and Dickman, 2005). در همین رابطه تنش باعث افزایش معنی‌دار در تجمع میزان پرولین شده است. سالیسیلیک‌اسید با اثر بر فعالیت آنزیم‌های مسیر سنتز پرولین، احتمالا موجب افزایش تولید این اسیدآمینه می‌شود و از این طریق تحمل گیاه به شرایط تنش را ارتقاء می‌دهد (Li et al., 2017).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت: داده‌های به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین (جداول ۳ و ۴) نشان داد که در هر دو آزمایش انجام شده روی گیاه شوید با افزایش میزان تنش و همچنین میزان پیش‌تیمار سالیسیلیک‌اسید، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نیز افزایش می‌یابند. به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز (۰/۰۳۲۶۶۷ میکرومولار گایاکول بر دقیقه برگرم وزن تر) و بیشترین مقدار آنزیم کاتالاز (۰/۰۳۵ میکرو مولار هیدروژن پراکسید بر دقیقه برگرم وزن تر) هر دو در غلظت‌های ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم به‌دست آمدند و کمترین مقدار مشترک آنزیم پراکسیداز (۰/۰۰۸ میکرو مولار گایاکول بر دقیقه برگرم وزن تر) در تیمارهای شاهد هر دو آزمایش حاصل شد و کمترین مقدار آنزیم کاتالاز (۰/۰۰۱۱ میکرو مولار هیدروژن پراکسید بر دقیقه برگرم وزن تر) در نمونه شاهد آزمایش حاصل از تنش کادمیم حاصل شد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، همزمان با افزایش غلظت سرب و کادمیم افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز مشاهده شد، این نتایج با یافته‌های

(Root et al., 2003) مطابقت دارد. طیف وسیعی از مکانیسم‌های حفاظتی در گیاهان وجود دارد که برای حذف ROS پیش از آنکه باعث تخریب بخش‌های حساس سلولی شوند انجام وظیفه می‌کنند. کاتالاز به‌عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدان H_2O_2 را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کند (Verma and Dubey, 2003) نقش پراکسیداز نیز به‌عنوان آنزیم تنش در گیاهان به‌طور گسترده‌ای پذیرفته‌شده است. افزایش فعالیت پراکسیداز تحت تیمار سرب به رهاسازی پراکسیداز موجود در دیواره سلولی مرتبط می‌باشد (and Reddy, 1990; Subhashini Gaspar, 1982) به‌طوری‌که گزارش شده است سرب فعالیت پراکسیدازی را در سویا و گیاهان دیگر القا کرده است (Verma and Dubey, 2003). سالیسیلیک‌اسید به واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، موجب ارتقاء توان آنتی‌اکسیدان‌های سلولی و سنتز پروتئین‌های جدید شده و از این طریق از گیاه محافظت میکند (Pasala et al., 2016).

نتیجه‌گیری کلی

سالیسیلیک‌اسید به‌عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در واکنش گیاه به تنش‌های محیطی شناخته شده است و تیمار شوید در سطوحی از تنش‌های فلزات سرب و کادمیم با محلول سالیسیلیک‌اسید باعث حفاظت بیشتر بوته‌های شوید شده و افزایش مقاومت گیاه به تنش را بدنبال داشته است همچنین سبب بهبود شاخص‌های رشد گردید. بیشترین تجمع و مقدار محتوی پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در تنش حاصل از فلز کادمیم به‌دست‌آمد که نشانگر مقاومت بیشتر گیاه به این تنش در مقایسه با تنش فلز سرب می‌باشد و همچنین می‌توان به سمیت بیشتر فلز سرب پی برد.

منابع

Aazami, J. and Taban, P. 2018. Monitoring of Heavy Metals in Water, Sediment and Phragmites australis of Aras River along the Iranian-Armenian Border. Iranian Journal of Toxicology. 12 (2): 1-6. (In Persian).

Ahmad, A. and Sarah, A. 2015. Human health risk assessment of heavy metals in fish species collected from catchments of former tin mining. International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology. 2(4): 9-21.

Alvarez, M.E. 2000. Salicylic acid in the machinery of hypersensitive cell death and disease resistance. Programmed Cell Death in Higher Plants. 44: 429-442.

Badar, N., Arshad, M. and Farooq, U. 2008. Characteristics of Anethum graveolens (*Umbelliferae*) Seed Oil: Extraction. Composition and Antimicrobial Activity. 10(3): 329–332.

Bates, L.S. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

Belkhadi, A., Hediji, H., Abbes, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chaïbi, W. and Djebali, W. 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in *Linum usitatissimum* L. Ecotoxicology and Environmental Safety. 73(5):1004-1011.

Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L. 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazilian journal of plant physiology. 17(1): 21-34.

Chen, C. and Dickman, M.B. 2005. Proline suppresses apoptosis in the fungal pathogen Colletotrichum trifolii. proceedings of the National Academyof Scineces of the united States of America. 102: 3459-3464.

Delavari, P.M., Baghizadeh, A., Enteshari, SH., Kalantari, KHM., Yazdanpanah, A. and Mousavi, E.A. 2010. The Effects of salicylic acid on some of biochemical and morphological characteristic of *Ocimum basilicucm* under salinity stress. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 4(10): 4832-4845.

Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C. and Egwurugwu, J.N. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects . International of Journal Physical Sciences. 2: 112-118.

Ellis, R.H. and Roberts, E.H. 1980. The quantification of aging and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology. 9: 373-409.

Espanany, A., and Fallah, S. **2016**. Seed germination of dill (*Anethum graveolens* L.) in response to salicylic acid and halopriming under cadmium stress . Iranian Journal. Plant Physiology. 6(3): 1701-1713.

Estrella-Gómez, N., Mendoza-Cózatl, D., Moreno-Sánchez, R., González-Mendoza, D., Zapata-Pérez, O., Martínez-Hernández, A. Santamaría, J.M. 2009. The Pb-hyperaccumulator aquatic fern *Salvinia minima* Baker, responds to Pb^{2+} by increasing phytochelatins via changes in *SmPCS* expression and in phytochelatin synthase activity. Aquatic Toxicology. 91(4): 320-328.

Gaspar, T., Penel, C. and Thorpe, T. 1982. A survey of their biochemical andphysiological roles in higher plants. Geneva. Switzerland: Univ Geneva. 83-88.

Ghyasi, M., Amirnia, R., Fazelimanesh, M. and Tajbakhsh, M. 2015. The effect of seed priming with different concentrions of ascorbic asid on germination and vigor of cumin (*Cumin cyminum* L.) under saline conditions. Journal of agricultural science. 48(4): 179-185. (In Persian).

Goncalvez, J., Beker, A., Cargnelutti, D., Tabaldi, L.R., Morsch, V., Nicoloso, F. Schetinger, M. 2007. Cadmium toxicity causes oxidative stress and induces response of the antioxidant system in cucumber seedling. Brazilian Journal Plant Physiology. 19: 223-232.

Khodary, S.E.A. **2004.** Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate. International Journal of Agriculture & Biology. 1: 5-8.

Kranner, I. and Colville, L. 2010. Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. Environ. Exp. Botany. 3: 2-11.

krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. and Popova, L. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. J. Plant Physiology. 165: 920–930.

Krzeslowska, M., Lenartowska, M., Mellerowicz, E., Samardakiewicz, S. and Wozny, A. 2009. Pectinous cell wall thickenings formation – a response of moss protonemata cells to lead. Environ. Exp. Botany. 65: 119–131.

Kukrer, S. 2017. Pollution, source and ecological risk assessment of trace elements in surface sediments of Lake Aktaş, NE Turkey. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 23 (7): 1629-1644.

Kumar, S.P., Kumar, C.V. and Bandana, B. 2010. Effects of salicylic acid on seedling growth and nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus L.*). Journal of Stress Physiology & Biochemistry.6 (3): 102-113.

Le Thanh, T., Thumanu, K., Wongkaew, S., Boonkerd, N., Teaumroong, N., Phansak, P. and Buensanteai, N. 2017. Salicylic acid-induced accumulation of biochemical components associated with resistance against Xanthomonas oryzae pv. oryzae in rice. Journal of Plant Interactions. 12: 108-120.

Li, Z., Yu, J., Peng, Y. and Huang, B. 2017. Metabolic pathways regulated by abscisic acid, salicylic acid and γaminobutyric acid in association with improved drought tolerance in creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). Physiologia plantarum. 159: 42-58.

Liu, X. and Huang. B. 2004. Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping. Crop Science. 40(2): 503-510.

Nazish, B., Muhammad, A. and Umer, F. 2008. Characteristics of *Anethum graveolens* (Umbelliferae) seed oil: Extraction, composition and antimicrobial activity. International Journal Agriculture and Biology. 10(3):329-332.

Pasala, R.K., Khan, M.I.R., Minhas, P.S., Farooq, M.A., Sultana, R., Per, T.S., Deokate, P.P., Khan, N.A. and Rane, J. 2016. Can plant bio-regulators minimize crop productivity losses caused by drought, heat and salinity stress An integrated review. Journal of Applied Botany and Food Quality. 22: 89.

Root, R. A., Dixit, S., Campbell, K. M., Jew, A.D., Hering, J.G. and O'Day, P.A. 2003. Arsenic sequestration by sorption processes in high-iron sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta. *71* (23): 5782-5803.

Sharikova, F., Sakhabutdinova, A., Bezrukova, M., Fatkhutdinova, R. and Fatkhudinova, D. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Science. 164: 317-322.

Singh, J. and Kalamdhad, A.S. 2011. Effects of Heavy Metals on Soil, Plants, Human Health and Aquatic Life Health and Aquatic Life. International Journal of Research in Chemistry and Environment. 1(2): 15–21.

Stavri, M. and Gibbons, S. 2005. The anti-mycobacterial constituents of dill (*Anethum graveolens*). Phototherapy Research. 19: 938-941.

Subhashini, K. and Reddy, G.M. 1990. Effect of salt stress on enzyme activities in callus cultures of tolerant and susceptible rice cultivars. Indian Journal of Experimental Biology. 28: 277-279.

Tissa, S., Darren, T., Eric, B. and Kinsley, D. 2000. Acetyl salicylic acid (*aspirin*) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regul. 30: 157-161.

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

Journal of Seed Research, Vol. 10, No. 4, Winter 2021

Effects of savory (*Satureja Hortensis)* of seed pre-treatment with salicylic acid and silicon nanoparticles under lead heavy metal stress

S. Soltanzadeh-pormehr[1], H. Maleki-lajayer[2*], M. torabi-giglou[3], B. Esmaeilpour[4], E, Chamani[5], Y. Pourneyrami Hir[3]

[1]M.Sc., Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Plant and Medicinal Plants, Meshkinshahr Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

[3]Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

[4]Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

[5]Professors, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Abstract

The aim of this study was to assess the effects of seed priming with salicylic acid and silicon nano-particles on germination, growth and physiological properties of savory seedling under lead contamination. Seeds were pre-treated with different concentrations of salicylic acid (0, 0.5, 1 and 2 mM) and silicon nano- particles (0, 0.05, 0.1 and 0.15 mM). Then, seeds were cultured on paper towel contaminated with 0, 2, 4 and 8 mg/l of lead. Results showed that the highest seed germination percentages (74.75 %), Weight index (1403, 5) and germination rate (87.7) were obtained in seed pretreated with salicylic acid. While the highest shoot dry weight (7, 25 mg), length index (865.7) as well as prolin content and peroxidase and catalase activities were recorded in seeds pretreated with nano-silicon particles. Results also indicated that increasing lead concentration decreased seed germination rate and percentage, shoot dry weight, weight and length indices, whereas increased prolin content and enzymes activity. It can be concluded that seed pre-treatment might optimized vegetative parameters by increasing prolin content and antioxidant enzymes activity.

Keywords: Heavy metals, Prolin, Growth indices, Nano-particles

[*]Corresponding author; malekih135@gmail.com