اثرسیلیسیم بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.) در شرایط تنش سرب

اکرم رهبری[۱]، بهروز اسماعیل‌پور[۱]، حمیده فاطمی[۱] و علی اشرف سلطانی طولارود[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، [۲] گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰۵/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٦/۱۱/۱۸)

چکیده

سیلیسیم یکی از عناصر مفید برای گیاهان محسوب می شود، مطالعات جدید نشان داده که این عنصر نقش بسیار مهمی در مقاومت گیاهان به تنش های محیطی از جمله تنش فلزات سنگین دارد. به منظور بررسی اثر سیلیسیم بر افزایش تحمل به آلودگی سرب بر گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.) رقم ورامین، آزمایشی در سال‌های ۹۵-۱۳۹٤ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ٤ تکرار در شرایط گلخانه‌ی تحقیقاتی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل سرب در چهار سطح(صفر، ٤۰۰، ٦۰۰و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) از منبع $Pb(NO3)_2$ و محلول‌پاشی سیلیسیم در دو سطح صفر و ۱ میلی‌مولار بود. در این آزمایش صفاتی نظیر ارتفاع بوته، وزن خشک بخش هوایی، تعداد برگ، وزن خشک ریشه، ثبات غشاء و مقدار نسبی آب برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل bو کلروفیل کل، پرولین، کربوهیدرات کل، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز، غلظت سرب و کلسیم در بخش هوایی گیاه شویداندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تنش سرب اثر کاهنده معنی‌داری بر روی شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری شده گیاه شوید داشت.بیشترین میزان وزن خشک ریشه، قطر ساقه، مقدار نسبی آب برگ مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار سیلیسیم در شرایط بدون تنش سرب و بیشترین میزان پرولین، کربوهیدرات کل، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیدازمربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار سیلیسیم در سطح ۱۰۰۰میلی‌گرم بر کیلو گرم سربود. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد کهبرای افزایش شاخص‌های رشد محصول شوید در شرایط تنش سرب، می‌توان محلول-پاشی گیاه شوید با سیلیسیم را توصیه نمود.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات، کلروفیل

مقدمه

با افزایش مصرف آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی، تجمع فلزات سنگین در خاک در طول زمان افزایش پیدا کرده است. در نتیجه کیفیت خاک تنزل کرده و تهدید ایجاد شده در مورد امنیت غذایی از طریق آلودگی فلزات سنگین هم اکنون توجه زیادی را به خود جلب کرده است. گزارش‌های متعددی نشان می‌دهد که فلزات سنگین از نظر زیستی تجزیه‌پذیر نیستند و تجمع بیش از حد این فلزات در خاک‌های کشاورزی می‌تواند برای سلامت عمومی مخاطره‌آمیز باشد. فلزات سنگینی از قبیل سرب وکادمیوم که نقش بیولوژیکی ناشناخته و سمیت بالایی برای گیاهان دارند (Rubio, 2012). سرب از جمله عناصر غیر ضروری برای رشد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: bsmaielpoor2008@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

گیاهان است. سرب هیچ عملکرد فیزیولوژیکی شناخته شده‌ای در بدن انسان ندارد، اما اثرات زیانبار آن بر روی فرآیندهای بیوشیمیایی اساسی بدن شناخته شده است (Cheng *et al.*, 2006). سرب از نظر فراوانی در پوسته زمین کمتر از مس و روی است و سی و یکمین عنصر فراوان در پوسته زمین می باشد. دامنه طبیعی غلظت سرب در گیاهان از ۰/۲ تا ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم و حد بحرانی آن۳۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Lin *et al.*, 2009). از جمله فرآیندهایی که تحت تأثیر تنش ناشی از فلزات سنگین قرار می گیرد فتوسنتز است. مطالعات متعددی بازدارندگی فتوسنتز در گیاهان مختلف رشد یافته تحت تنش سرب را گزارش کرده اند. کاهش فتوسنتز توسط سرب ممکن است از طریق بازگشایی روزنه، آسیب به سازماندهی فراساختاری کلروپلاست، تغییر در متابولیت های فتوسنتزی، ممانعت از ساختن یا تجزیه رنگیزه های فتوسنتزی و از طریق کاهش غلظت عناصر ضروری ایجاد شود (Reddy *et al.*, 2005) . همچنین وجود این عنصر در محیط رشد گیاه اثرات نامطلوب متفاوتی را ایجاد کرده است که شامل کاهش پتانسیل آبی، اختلال در تغذیه معدنی گیاه، تغییر در تراوایی غشا سلولی، کاهش در مقادیر هورمونی گیاه و فعالیت های انتقال الکترون، بازدارندگی در رشد ریشه، ایجاد کلروز یا زردی، توقف رشد ساقه، بازدارندگی یا افزایش فعالیت آنزیمی و کاهش در سنتز (DNA) می‌باشد (Sharma and Dubey, 2005) گزارشات نشان داده است که از جمله پاسخ های عمومی گیاهان در برابر فلزات سنگین تغییرات سطحی پرولین و القاء فعالیت آنزیم های سیستم ضداکسیداسیون از جمله پراکسیداز و پراکسیداز می باشد (Van Assche & Clijsters, 1990). بررسی تنش غلظت‌های متفاوت از سرب در گیاه کلزا، افزایش غلظت سرب، میانگین طول ریشه و ساقه، سطح پهنک برگ، وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی را در این گیاه را کاهش داد (Kosobrukhov, 2004 ; Ma *et al.*, 2006). همچنین (Lin *et al.*, 2009) در تحقیق خود گزارش کردند که تنش سرب در ذرت موجب کاهش طول ریشه و ساقه و کاهش تولید زیست‌توده در این گیاه گردید

یک راهکار کاهش اثرات سمیت فلزات سنگین، محلول-پاشی گیاه با سیلیسیم می‌باشد. سیلیسیم عنصر فراوان در خاک بعد از اکسیژن محسوب می‌شود (Richmond *et al.*, 2003). میزان سیلیسیم در گیاهان ۰/۱ تا ۱۰ درصد وزن خشک گیاه است که با برخی از عناصر ضروری پرمصرف برابری می‌کند (Hodson *et al.*, 2005). سیلیسیم مانع ازانتقال فلزات ازریشه به بخش هوایی، تقسیم یون‌های فلزی دردرون گیاه وتحریک سیستم آنتی‌اکسیدان درگیاهان می‌شود (Shi *et al.*, 2010). عنصر سیلیسیم بعد از جذب توسط ریشه به بخش هوایی گیاه انتقال می‌یابد و روی دیواره سلول‌ها به صورت پلی‌مر هیدراته، سیلیکای بی‌شکل، لایه دوتایی سیلیکا- کوتیکول و لایه دوتایی سیلیکا- سلولز در سطح برگ و ساقه ته نشین می‌شود و از شدت تعرق می‌کاهد .طبق بررسی (Liu *et al.*, 2013) سیلیسیم موجب کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از فلزات سنگین مانند روی، آرسنیک و کادمیوم در گیاهان شده است.

شوید (*Anethum graveolens*) گیاهی از خانواده چتریان (Umbellifereae) است. شوید به عنوان سبزی و هم طعم دهنده و معطر کننده در صنایع غذایی و فرآورده‌های آرایشی، بهداشتی مورد استفاده قرارمی‌گیرد(پیوست، ۱۳۸٦). با توجه به مصرف زیاد شوید به عنوان یک سبزی و گیاه دارویی و کاشت آن در مزارع سبزی در نواحی اطراف شهرها و افزایش آلودگی ناشی از سوخت‌های وسایط نقلیه و همچنین استفاده از آب‌های نامتعارف در پرورش این گیاه و نقش احتمالی سیلیسیم در کاهش تنش ناشی از عناصر سنگین، پژوهش حاضر با اهداف تأثیر تنش فلز سنگین سرب بر شاخص های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شوید و تأثیر تغذیه گیاه شوید با سیلیسیم بر کاهش اثر سمیت فلز سنگین سرب در این گیاه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر سیلیسیم بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شوید در شرایط تنش سرب، آزمایشی درگلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

جدول۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت خاک	ماده آلی (٪)	سرب (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهک (٪)	pH	هدایت الکتریکی Ec (dS m^{-1})
٤٦	٢٤	٣٠	لومی شنی	١٣/٩٢	٠/١٦٥	٥/٧	٧/٩١	٣/٧٨

در سال‌های ۹۵- ۱۳۹٤ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل آلودگی با نیترات سرب در غلظت‌های صفر (شاهد)، ٤۰۰، ٦۰۰ و ۱۰۰۰میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و سیلیسیم (متاسیلیکات سدیم) در دو غلظت صفر (شاهد) و ۱ میلی‌مولار بودند. خاک مناسب جهت کشت شوید از مزرعه‌ای واقع در اطراف شهرستان اردبیل تهیه شد برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این آزمایش شامل بافت خاک به روش هیدرومتری(Gee & Orr, 2002)، کربن آلی از روش واکلی بلک (Nelson & Sommers, 1982)، pH خاک در گل اشباع و با استفاده از دستگاه pH متر (McKeon, *et al.*, 2007)، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع و میزان آهک (Nelson & 1982) Sommers, تعیین شد، که در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای آلوده نمودن خاک در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی حاوی مخلوط خاک، ماسه و کود حیوانی به نسبت (٤۰:٤۰:۲۰ درصد) توسط محلول نیترات سرب(Pb(NO3)2)) به طور یکنواخت به وسیله دست انجام شد و به طور کامل با توده خاک مخلوط گردید. به منظورایجاد تعادل میان خاک و آلاینده، نمونه‌ها به مدت چهار ماه تر و خشک گردید تا به شرایط آلودگی دراز مدت و طبیعی نزدیک‌تر شود. به علت وجود نیترات سرب در تیمارهای بدون سرب مقدار لازم کود آمونیم محاسبه و لحاظ شد. پس از گذشت این مدت، خاک‌های آلوده شده در گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ کیلوگرمی با ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر و قطر دهانه‌ی ۲۷ سانتی‌متر ریخته شدند. بذور شوید در عمق ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متری کشت گردید، تعداد ۳۰ عدد بذر شوید در هر گلدان کاشته شد. پس از جوانه‌زنی، گیاهچه‌ها به تعداد ۲۰ عدد در هر گلدان کاهش یافتند. گلدان‌های کشت شده تحت شرایط کنترل شده در گلخانه با حداکثر دمای روزانه ۲۲ تا ٢٤درجه سانتیگراد و دمای شبانه حداقل ۱۸ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی ٦۰ درصد قرار داده شدند و در فواصل زمانی دو روز یک بار با آب مقطر آبیاری شدند. برای تهیه محلول ۱ میلی‌مولار سیلیسیم حدود ۰/۳۲۷ گرم از ماده متاسیلیکات سدیم ۵ آبه $Na_2SiO_35H_2o$ در ۱/۵ لیتر آب حل شده و سپس در فصل رشد (یک ماه پس از کاشت) در بخش هوایی گیاه شوید اسپری گردید، به طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند. برای اعمال شرایط یکسان گیاهان شاهد نیز با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. در طول آزمایش عملیات داشت شامل آبیاری و مبارزه با بیماری انجام شد.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه: حدود ۳ ماه پس از کاشت خصوصیات ریختی شامل تعداد برگ، تعداد ساقه، ارتفاع بوته، وزن‌تر و خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، قطر ساقه و حجم ریشه اندازه‌گیری شد. محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967)، شاخص ثبات غشا به روش ردمن و همکاران (Redman *et al.*, 1986)، محتوای نسبی آب از روش ریچی و همکاران (Ritchie *et al.*, 1990)، میزان پرولین برگ‌ها با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973)، استخراج و اندازه‌گیری قندها از روش ایریگوئن و همکاران (Irigoyen *et al.*, 1992)، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز با استفاده از روش کار و میشرا (Kar and Mishra, 1976)اندازه گیری شد و میزان عنصر سرب اندام رویشی به روش عصاره گیری با اسید انجام و با دستگاه جذب اتمی (Atomic absorbtion spectrometer) قرائت شد.

تجزیه آماری: داده‌های حاصل از این آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه آماری قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

انجام شد.

نتایج

شاخص‌های ریخت شناسی: تجزیه واریانس اثر تنش سرب و سیلیسیم بر گیاه شوید نشان داد که فاکتور سرب، بر شاخص تعداد برگ، ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر تاثیرگذار بود، ولی فاکتور سیلیسیم و اثر متقابل این دو فاکتور بر شاخص‌های فوق معنی‌دار نبود و فاکتور سرب و سیلیسیم و اثر متقابل این دو فاکتور بر شاخص وزن خشک ریشه بر این شاخص در سطح احتمال ۱ درصد تاثیرگذار بود (جدول ۲).

تعداد برگ: مقایسه میانگین اثر تنش سرب نشان داد که بیشترین تعداد برگ (۵/۱۲) در تیمار شاهد بود که با غلظت ٤۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرمسرب اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین آن (٤/۱۲) نیز در سطح چهارم سرب، یعنی غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرمبود که با همه تیمارها به جز تیمار ٦۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرماختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). این نتایج نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان با سیلیسیم نتوانسته تعداد برگ را به طور معنی‌داری افزایش دهد (جدول ٤).

ارتفاع ساقه: مقایسه میانگین اثر تنش سرب نشان داد که بیشترین ارتفاع ساقه (۵۹/۷۳سانتی‌متر) در تیمار شاهد بود که با غلظت ٤۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرمسرب اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین آن (۵۵/٦۲سانتی‌متر) نیز در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرمبود که با همه تیمارها اختلاف معناداری داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سیلیسیم بر ارتفاع ساقه نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان با سیلیسیم ارتفاع ساقه را افزایش نداده است(جدول ٤).

وزن خشک ساقه: با توجه به جدول مقایسه میانگین اثر تنش سرب بر وزن خشک ساقه می‌توان دریافت که با افزایش غلظت سرب وزن خشک ساقه به طور معناداری کاهش یافت به طوری‌که بیشترین و کمترین وزن خشک ساقه (به ترتیب ۰/٦٤ و ۰/۳٦ گرم) به ترتیب در تیمار شاهد و غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرمسرب حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معناداری نشان داد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تغذیه با سیلیسیم نیز نشان داد که در گیاهان محلول‌پاشی شده با سیلیسیم وزن خشک ساقه به طور معناداری افزایش پیدا نکرده است (جدول ٤).

وزن خشک ریشه: نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آزمایشی در صفت وزن خشک ریشه نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه (۰/٦ گرم) ایجاد شده در تیمار شاهد و محلول‌پاشی شده با سلیکون حاصل گردید که با تمامی تیمارها اختلاف معناداری داشت. کمترین میزان وزن خشک ریشه نیز (۰/۳۱ گرم) در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرمسرب و بدون سیلیسیم حاصل شد، که با سایر تیمارها دارای اختلاف معناداری بود (جدول ۵).

در تحقیق حاضر، بررسی نتایج حاصل از سطوح مختلف تنش سرب بر گیاه شوید، باعث کاهش در مقدار شاخص‌های رشد گیاه گردید که در بالاترین سطح تنش یعنی غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام سرب، این کاهش رشد در گیاه شوید معنی‌دار بود. نتایج حاصل از سایر پژوهش‌ها در رابطه با کاهش زیست توده در گیاه شوید در پژوهش حاضر هم‌سویی دارد. (آغاز و همکاران،۱۳۹۱) اثر فلز سنگین سرب بر کاهش رشد گیاهچه در گیاه شوبد *(Anethum graveolens L.)* را گزارش نمودند. همچنین این یافته با یافته های (کیابی و همکاران، ۱۳۹۲) در تطابق است، آنها نشان دادند که تنش سرب به طور معناداری میزان شاخص‌های رشدی گیاه جعفری *(Petroselinum crispum L.)* را کاهش داده است. سرب به دلیل انباشت زیاد در بخش‌های سطحی خاک به راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و با جذب از طریق ریشه‌ها موجب تغییر در برخی فرایندهای متابولیکی گیاه و اختلال در رشد و نمو آنها می‌شود (Parsadoost *et al.*, 2007).

در پژوهش حاضر، کاربرد سیلیسیم موجب بهبود بسیاری از شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی در گیاه شوید گردید. سیلیسیم می‌تواند به دو روش بر وضعیت تغذیه ای گیاه تأثیر بگذارد، نخست این که سبب تقویت ویژگی‌های محافظتی گیاه در برابر آفات، بیماری‌ها و شرایط نامطلوب شده و دیگر آن که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

جدول۲- تجزیه واریانس تأثیر سیلیسیم و سرب بر شاخص‌های ریختی و بیوشیمیایی شوید

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد برگ	ارتفاع گیاه	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	محتوای نسبی آب برگ	ثبات غشا	کلروفیل a	کلروفیل b
تنش سرب	۱	۱/۵۳**	۰۳/۶۸**	۰/۱٤**	۰/۰۸**	۲۲٤۰/۵٦**	۲۲۱۳/٤٤**	۳۹/٦۸**	۲/٦۱**
سیلیسیم	۳	۰/۲۸^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰٤^{ns}	۰/۰۱**	۳۰/٤۷**	۱/۵٤^{ns}	۲/٦۲**	۰/٦۷**
سرب×سیلیسیم	۳	۰/۰۳^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰٤**	٦/٦۹^{ns}	۱/۸**	۰/۵۲**	۰/۲٦**
اشتباه آزمایش	۲٤	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰۲	۲/٤۵	۰/۳۷	۰/۰۱	۰/۰۳
ضریب تغییرات		۹/٦۸	۱/٦۷	٤/٤۲	۳/۱۹	۲/۵۲	۰/۸۷	۱/٦۷	۷/۷۷

***، ** و ns به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.**

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کلروفیل کل	کاروتنوئید	کربوهیدرات کل	فعالیت آنزیم پراکسیداز	فعالیت آنزیم کاتالاز	غلظت سرب بخش هوایی	غلظت کلسیم بخش هوایی
تنش سرب	۱	٦۲/٤۹**	٦/۷٤**	۰/۱*	۰/۰٤*	۰/۰۰۰۳*	۵۹/۸۸**	۰/۲٦**
سیلیسیم	۳	۵/۹۷**	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۷*	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۰۰۱*	۳/۱۵^{ns}	۰/۰۰٦^{ns}
سرب×سیلیسیم	۳	۰/۱۹*	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۵٤/۸۵^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
اشتباه آزمایش	۲٤	۰/۰٤	۰/۰۱	۰/۰۳۰۰	۰/۰۰۰۰٦	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹	۸/۳
ضریب تغییرات		۲/٤۵	۵/۲۲	۳/۲٤	۲	۷/٦٦	۱/۹۷	۸/۱۱

***، ** و ns به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.**

جدول۳- مقایسه میانگین اثرات تنش سرب بر شاخص‌های مورفولوژیک شوید

تیمار (ppm)	تعداد برگ	ارتفاع گیاه (cm)	وزن- خشک ساقه (gr)	محتوای نسبی آب (درصد)	کاروتنوئید (mg/g)	کربوهیدرات (µg/g)	پرولین (mMgr^{-1}DW)	پراکسیداز (µ mol d^{-1}mg^{-1} protein)	کاتالاز	غلظت سرب بخش هوایی (mgkg^{-1})	غلظت کلسیم بخش هوایی (mgkg^{-1})
شاهد	۵/۱۲^{a}	۱۹/۷۳^{a}	۰/٦٤^{a}	۸۰/٤۲^{a}	۰/۱٤^{a}	۰/۰۹^{c}	۰/۳^{d}	۲۸	۰/٦^{c}	۰/۰۷^{c}	۱۵۸/٦۸^{a}
٤۰۰	٤/۷۵^{ba}	۱۹/۵۷^{a}	۰/٦۲^{a}	۷۰/۹۸^{b}	۰/۱۳^{a}	۰/۰۹٤^{c}	۰/۳۳^{c}	۳۹^{c}	۰/۹^{b}	۰/٤۲^{b}	۱٤۹/۵٤^{b}
٦۰۰	٤/۳۷^{bc}	۱۷/۳۷^{b}	۰/۵٤^{b}	۵۳/٤۱^{c}	۰/۱۱^{b}	۰/۱۹^{b}	۰/٤۵^{b}	٤٦^{b}	۰/۱^{a}	۰/۵^{a}	۱٤۰/۵٤^{c}
۸۰۰	٤/۱۲^{c}	۱۵/٦۲^{c}	۰/۳٦^{c}	٤۳/۹۳^{d}	۰/۰۹^{c}	۰/۳۷^{a}	۰/۸٤^{a}	٤۸^{a}	۰/۱۲^{a}	۰/۵۲^{a}	۱۳٦/۲۷^{d}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون LSD نشان نمی‌دهد.

از راه بهبود وضعیت آب و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و گیاه و حفظ عناصر در شکل قابل استفاده به وسیله گیاه، سبب ارتقای حاصلخیزی خاک گردد. تأمین سیلیسیم کافی، مقاومت گیاه به تنش های زیستی و غیرزیستی را افزایش می‌دهد (Michalska and Asp, 2001).

در تحقیق حاضر سیلیسیم باعث افزایش معنی دار ارتفاع، وزن تر و خشک، تعداد برگ در گیاه شوید گردید. طبق تحقیقات صورت گرفته سیلیسیم بر رشد، ارتفاع، عملکرد و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

جدول ٤ - مقایسه میانگین اثرات سیلیسیم بر شاخص‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی شوید

تیمار	تعداد برگ	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه (gr)	محتوای نسبی آب (درصد)	کاروتنوئید (mg/g)	کربوهیدرات (µg/g)	پرولین ($mMgr^{-1}DW$)	پراکسیداز	کاتالاز
								(μ mol $d^{-1}mg^{-1}$ protein)	
شاهد	٤/٥^{a}	١٨/٠٥^{a}	٠/٥٢^{a}	٦١/٠٧^{b}	٢/٠٢^{a}	٠/١٧^{b}	٠/٤٦^{b}	٣٩^{b}	٠/٩^{b}
غلظت ١ میلی مولار سیلیسیم	٤/٦٨^{a}	١٨/١^{a}	٠/٥١^{a}	٦٣/٠٣^{a}	٢/٠٣^{a}	٠/٢^{a}	٠/٤٩^{a}	٤٢^{a}	١^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک در سطح احتمال ٥ درصد تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون LSD نشان نمی‌دهد.

جدول٥ - مقایسه میانگین اثرات متقابل سرب و سیلیسیم بر شاخص‌های ریختی و بیوشیمیایی

غلظت سرب (ppm)	سیلیسیم	وزن خشک ریشه گرم	ثبات غشاء (٠/٠)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
				(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		
صفر	بدون محلول‌پاشی	٠/٥^{c}	٨١/٦^{a}	٨/٣٧^{b}	٢/٨٣^{b}	١١/٢١^{b}
	با محلول‌پاشی	٠/٦^{a}	٨١/٨٤^{a}	٨/٦٧^{a}	٣/٣٦^{a}	١٢/٠٣^{a}
٤٠٠	بدون محلول‌پاشی	٠/٤٨^{c}	٧٧/٧٨^{c}	٦/٩٥^{c}	٢/٨٧^{b}	٩/٨٣^{c}
	با محلول‌پاشی	٠/٥٢^{b}	٧٩/٦^{b}	٨/٤٩^{b}	٢/٧٧^{b}	١١/٢٧^{b}
٦٠٠	بدون محلول‌پاشی	٠/٤^{d}	٧٢/٧٧^{d}	٤/٨٥^{e}	٢/٠١^{c}	٦/٨٧^{e}
	با محلول‌پاشی	٠/٣٩^{d}	٧٢/٤٨^{d}	٥/٣٧^{d}	٢/١^{c}	٧/٤٨^{d}
١٠٠٠	بدون محلول‌پاشی	٠/٣١^{f}	٤٥/٩٢٩^{e}	٢/٧٣^{j}	١/٢٦^{d}	٤^{j}
	با محلول‌پاشی	٠/٣٤^{e}	٤٥/٢٧^{e}	٣/٠٢^{f}	٢/٠٩^{c}	٥/١٢^{f}

حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری در سطح احتمال ٥ درصد تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون LSD نشان نمی‌دهد.

همچنین فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان مختلف، اثرات مثبت بیشماری را دارا می‌باشد و وضعیت آبی گیاه را بهبود می‌بخشد (Gong *et al.*, 2008). همچنین گزارش شده است که با افزودن سیلیسیم به محلول غذایی در محیط کشت صفات وزن خشک ریشه و شاخساره، طول ریشه و ارتفاع خیار (*Cucumis sativus* L) نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت.

مقدار نسبی آب برگ: تاثیر تنش سرب بر شاخص مقدار نسبی آب برگ حاکی از آن بود که گیاهان مربوط به تیمار شاهد بیشترین مقدار نسبی آب برگ (٨٠/٤٢ درصد) را داشته که با تمامی تیمارها اختلاف معناداری داشت، و گیاهان کشت شده در خاک تحت تیمار ١٠٠٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب نیز، کمترین مقدار نسبی آب برگ (٤٣/٣٩ درصد) را داشتند که با تمام تیمارها اختلاف معناداری نشان دادند(جدول ٣). با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین بیشترین مقدار نسبی آب برگ (٦٣/٠٣) در گیاهان محلول‌پاشی شده با سیلیسیم بوده و کمترین مقدار نسبی آب برگ (٦١/٠٧) در گیاهان شاهد مشاهده شد(جدول ٤). بررسی اثر تنش سرب بر شاخص ثبات غشا نشان داد که بیشترین میزان این شاخص در تیمار شاهد حاصل شد و با افزایش سطح تنش سرب میزان ثبات غشا کاهش پیدا کرده است. سرب موجب اختلال در ساختار غشای سلولی و ناپایدار شدن غشای سلولی می‌شود و در نهایت به انتشار محتویات درون سلول به خارج آن منجر می‌شود (Azooz *et al.*, 2011).

ثبات غشاء: نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آزمایشی در صفت ثبات غشاء نشان داد که بیشترین ثبات غشاء (٨١/٨٤ درصد) ایجاد شده در تیمار تیمار ١٠٠٠ میلی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

گرم بر کیلوگرم سرب و بدون محلول‌پاشی شده با سلیکون حاصل گردید که با تیمار محلول‌پاشی شده همین تیمار اختلاف معناداری نداشت، ولی با تمامی تیمارها اختلاف معناداری نشان داد. کمترین میزان ثبات غشاء نیز (٤٥/٢٩ درصد) در تیمار شاهد سربو محلول‌پاشی سیلیسیم حاصل شد، که با تیمار بدون محلول‌پاشی شده از همین تیمار اختلاف معناداری نداشت در حالی که با سایر تیمارها دارای اختلاف معناداری بود(جدول ۵). براساس نتایج به دست آمده، در مقایسهٔ بین تیمارهای سرب و تیمار شاهد، کمترین مقدار محتوای نسبی آب در تیمار ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام سرب بود (Parta *et al*., 2004; Akinci *et al*., 2010). نتایج مشابهی را گزارش دادند و بیان کردند که در حالت کلی با افزایش غلظت سرب، محتوای نسبی آب برگ گیاهان کاهش می‌یابد. بسیاری از فلزات سنگین فعالیت پروتئین‌های کانالی آب را در گیاهان تغییر می‌دهند، روزنه‌های برگ را می‌بندند و درنتیجه جریان آب در گیاه را متوقف می‌سازند (Sharma and Dubey, 2010). همچنین محلولپاشی سیلیسیم، کاهش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی را به خود اختصاص داد و بیشترین آن در عدم محلول پاشی به دست آمد. طبق گزارش‌های پژوهشگران با کاربرد سیلیسیم در محیط رشد گیاه باعث کاهش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی سلول‌های برگ شده و ساختار کلروپلاست‌ها را که آسیب زیادی در اثر سمیت تنش دیده، بهبود می‌بخشد. یعنی سیلیسیم روی ساختار و کارکرد غشاء پلاسمایی موثر است، نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری پایداری غشاء سلولی تحت شرایط تنش نشان در خیار (*Cucumis sativus* L) نشان می‌دهد که سیلیسیم ممکن است بوسیله کاهش در نفوذپذیری غشاء سلولی و همچنین ممانعت از پراکسید شدن غشاء پلاسمایی و پایداری آن در شرایط تنش باعث کاهش اثر سمیت شده و رشد گیاه را بهبود می‌دهد. همچنین مکانیزم احتمالی برای رشد بهتر محصول در حضور سیلیسیم در شرایط تنش ممکن است به علت افزایش کارایی مصرف آب و بهبود محتوای رطوبت نسبی گیاه در حضور سیلیسیم باشد (Zhu *et al*., 2004).

کلروفیلa، b و کلروفیل کل: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش سرب و تغذیه با سیلیسیم بر شاخص میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a و b و کل به ترتیب (٨/٦٧ ، ٣/٣٦ و ١٢/٠٣ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان پرورش یافته در شرایط بدون تنش سرب (شاهد) که با سیلیسیم محلول پاشی شده بودند حاصل گردید که با سایر تیمارها اختلاف معناداری داشت. کمترین میزان کلروفیل a و b آن نیز به ترتیب (٢/٧٣ ، ١/٢٦ و ٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سطح چهارم تنش (١٠٠٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بدون محلول پاشی سیلیسیم مشاهده شد که با تمامی تیمارها اختلاف معناداری نشان داد(جدول ۵). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میزان کلروفیل کل برگ ها همراه با افزایش غلظت نیترات سرب در محیط کاهش معنی‌داری داشته است. گزارش شده است که افزایش تخریب کلروفیل در گیاهان تیمار شده با سرب ناشی از افزایش فعالیت کلروفیلاز می‌باشد (Piotrowska *et al*., 2010). همچنین به دلیل جایگزین شدن سرب در کلروفیل گیاهان به جای منیزیم منجر به کاهش کلروفیل و کاهش فتوسنتز می‌شود (Marciol *et al., 2004*). نتایج نشان داد که محلول پاشی سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل در گیاه شوید گردید. در همین راستا افزایش در میزان کلروفیل در این بررسی با پژوهش‌های صورت گرفته در گیاه گندم مطا بقت دارد (Gong *et al*., 2005). همچنین اثر مثبت سیلیسیم در پارامترهای مربوط به فتوسنتز تحت تنش فلزات سنگین در خیار توسط فنگ و همکاران (Feng *et al*., 2010) گزارش گردید. سیلیسیم بر محتوای کلروفیل برگ در گیاه گوجه فرنگی و افزایش تبادلات گازی و فتوسنتز در گیاهان گوجه‌فرنگی رشد یافته در شرایط تنش گردید (Haghighi and Al-aghabary *et al*., 2004 ; Pessarakli, 2013). طی تحقیقات صورت گرفته نشان دادند که در صورت افزایش غلظت فلزات سنگین، غلظت CO_2 در فضای بین سلولی در برگ گوجه‌فرنگی به طور معنی‌داری افزایش یافت و محققین عوامل موثر در کاهش فتوسنتز در اثر مصرف فلز را در نتیجه افزایش غلظت CO_2 درفضای بین سلولی، کاهش تثبیت CO_2 کاهش شاخص کلروفیل و جلوگیری از مراحل مختلف چرخه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

کالوین اعلام نمودند. از این رو به احتمال زیاد افزایش فعالیت چرخه کالوین در اثر افزایش آنزیم رابیسکو، کمبود سوبسترای لازم برای چرخه را به دنبال داشته که در پی آن ساخت رنگدانه های فتوسنتزی و در راس آنها محتوای کلروفیل در واحد سطح برگ بای تامین انرژی لازم، افزایش یافته است (Dong *et al*., 2005).

کاروتنوئیدها: با توجه به جدول تجزیه واریانس تاثیرتنش سرب بر میزان کاروتنوئیدها در در سطح یک درصد معنی‌دار شد در صورتیکه محلول پاشی سیلیسیم و اثر متقابل سرب و سیلیسیم اثر معنی‌دارینداشتند(جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش سرب بر شاخص میزان کاروتنوئیدها نشان داد که بیشترین میزان این شاخص (۲/۹۲میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان پرورش یافته در شرایط بدون تنش سرب (شاهد) حاصل گردید که با تیمار ٤۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معناداری نداشت. کمترین آن (۰/۷۱میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سطح (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که با تمامی تیمارها اختلاف معناداری نشان داد ولی با تیمار ٦۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معناداری نشان نداد(جدول ۳).

کربوهیدرات کل: نتایج مقایسه میانگین اثر تنش سرب بر شاخص میزان کربوهیدرات کل نشان داد که بیشترین میزان این شاخص (۰/۳۷ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرمسرب به دست آمد که با تیمار شاهد و سایر تیمارها اختلاف معناداری داشت و کمترین آن (۰/۰۹ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در تیمار شاهد حاصل شد که با غلظت ٤۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرمسرب تفاوت معناداری نداشت ولی اختلاف آن با سایر تیمارها معنادار بود(جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر تغذیه با سیلیسیم بر میزان کربوهیدرات کل نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان با سیلیسیم توانست میزان کربوهیدرات کل (۰/۲ میکروگرم بر گرم وزن تازه) را با اختلاف معناداری نسبت به شاهد افزایش دهد(جدول ٤). بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات کل در گیاه شوید، بیانگر افزایش معنی‌دار این شاخص تحت تأثیر سرب مازاد در گیاه شوید است. در شرایط تنش‌زای محیطی گیاهان متابولیسم قندها را افزایش می‌دهند. با کاهش انتقال آب به برگ‌ها و اختلال در سرعت تعرق برگ باعث تغییرات فراساختاری در اندامک‌های سلول و تغییر در رفتار آنزیم‌های کلیدی از جمله مسیر متابولیسم قند می‌شود. با تجمع قندهای محلول، گیاه ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه سلول در شرایط محیطی تحت تنش، در حد مطلوب نگه می‌دارد (Verma and Dubey, 2001).

میزان پرولین: بیشترین میزان پرولین (۰/۸٤میکروگرم بر گرم وزن تازه) در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب به دست آمد که با تیمار شاهد و سایر تیمارها اختلاف معناداری داشت و کمترین آن (۰/۳ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در تیمار شاهد حاصل شد که اختلاف آن با سایر تیمارها معنادار بود(جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر تغذیه با سیلیسیم بر میزان پرولین نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان با سیلیسیم توانست میزان پرولین (۰/٤۹ میکروگرم بر گرم وزن تازه) را با اختلاف معناداری نسبت به شاهد افزایش دهد (جدول ٤). در این پژوهش میزان پرولین تحت تنش سرب افزایش یافت. این افزایش در میزان پرولین بیشتر در سطح ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام سرب مشاهده گردید. که این افزایش در میزان پرولین با تحقیقات (کیابی و همکاران، ۱۳۹۲) همسو است آنها گزارش کردند، میزان پرولین با افزایش غلظت سرب در گیاهی جعفری (*Petroselinum crispum L.*) افزایش یافته است. در شرایط تنش فلزات سنگین مقدار آمینواسیدهای گیاه به ویژه پرولین تغییر می‌کند (Zhang *et al*., 2009). اسیدآمینه پرولین باعث محافظت از گیاه در مقابل صدمات می‌گردد (Wang *et al*., 2009). تحت تنش فلزات سنگین افزایش غلظت پروتئین کل نشان دهنده افزایش اسید آمینه پرولین است. راه کار بیشتر گیاهان در واکنش به تنش فلزات سنگین افزایش تولید پرولین می‌باشد. تحریک تولید پرولین از گلوتامیک اسید و افزایش مقدار آن در گیاه در خاک‌های آلوده به سرب توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (Andrade *et al*., 2009). همچنین سیلیسیم باعث افزایش میزان پرولین در گیاه شوید شد، به گونه ای که بیش ترین میزان پرولین در تیمار تنش ۱۰۰۰ پی پی ام سرب همراه با محلول پاشی سیلیسیم حاصل شد. که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

با بررسی‌های انجام شده توسط (کیابی و همکاران، ۱۳۹۲) همسویی دارد. نقش پرولین در هنگام تنش، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها، جلوگیری از تجزیه ماکرومولکول‌ها، دخالت در استحکام دیواره ی سلولی و پاکسازی هیدروکسیل‌های تولیدی تحت تنش در گیاه است. به نظر می‌رسد سیلیسیم با افزایش میزان پرولین این وظایف را شدت می‌بخشد (Haddad and Moshiri, 2011) که با نتایج ما مطابقت دارد. تجمع پرولین تحت شرایط تنش ممکن است به دلیل کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات یا افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز باشد (Sharma and Kuhad, 2006). پرولین نقش محافظت کنندگی آنزیم‌های سیتوزولی و ساختار سلولی را بر عهده دارد لذا پرولین در شرایط تنش، در سلول انباشت می‌شود (اکبری مقدم، ۱۳۹۱). تانوا و همکاران (Tanoua *et al*., 2009) افزایش در میزان فعالیت آنزیم‌های برگی همزمان با تحریک ایزوفرم‌های مربوطه تحت شرایط تنش را گزارش دادند. کاربرد سیلیسیم باعث افزایش جذب کربن خالص، سرعت هدایت روزنه‌ای و مقدار تعرق در گیاهان تیمارشده نسبت به گیاهان شاهد شد (Mittal *et al*., 2014 ; Polanco *et al*., 2012).

فعالیت آنزیم پراکسیداز: بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۴۸میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در سطح چهارم تنش (غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب) بوده که با سایر تیمارهای سرب اختلاف معناداری نشان داد و کمترین آن (۲۸ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در تیمار شاهد به دست آمد(جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر تغذیه با سیلیسیم بر میزان پراکسیداز نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان با سیلیسیم توانست میزان پراکسیداز (۴۲ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) را با اختلاف معناداری نسبت به شاهد افزایش دهد(جدول ٤).

فعالیت آنزیم کاتالاز: با توجه به جدول تجزیه واریانس فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش سرب، سیلیسیم در سطح پنج درصد معنی‌دار استو اثرات متقابل تنش سرب و سیلیسیم معنی‌دار نیست (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش سرب بر این شاخص نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۱۲ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب بوده که با غلظت ٦۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب اختلاف معناداری نداشت اما با تیمارهای شاهد و ٤۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب اختلاف معناداری نشان داد و کمترین آن (۰/٦ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در تیمار شاهد به دست آمد(جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر تغذیه با سیلیسیم بر میزان کاتالاز نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان با سیلیسیم توانست میزان کاتالاز (۱ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) را با اختلاف معناداری نسبت به شاهد افزایش دهد(جدول٤). اثر تنش سرب بر شاخص فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در تحقیق حاضرنشان داد که بیشترین میزان شاخص‌های اندازه‌گیری شده در تیمار ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام سرب حاصل شد. طی تحقیقات صورت گرفته افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک جذب عناصر غذایی برای رشد گیاه را کاهش می‌دهد که ممکن است به دلیل ممانعت از فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیداز و کاتالاز باشد که از طریق تنش فلز سنگین ایجاد می‌شود (Di Gregorio *et al*., 2006). در این زمینه نتایج محققان نشان داد که در پاسخ به تنش فلزات سنگین، سیستم‌های دفاعی گیاهان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و پراکسیداز تولید می‌کنند (Groppa *et al*., 2007). در کلم پیچ(*Brassica oleracea*)و اسفناج (*Spinacia oleracea*) افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌هایی چون کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در اثر تنش فلزات سنگین نشان داده شده است (Pandey *et al*., 2009; Posmyk *et al*., 2008). طی آزمایشات صورت گرفته در این تحقیق محلول پاشی سیلیسیم فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را به طور معنی‌داری تحت تنش سرب افزایش داد. نتایج مشابهی در برخی ارقام اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) گزارش گردید (Gong *et al*., 2005). افزایش در فعالیت این آنزیم‌ها از جمله پاسخ های عمومی به انواع تنش های اکسیدکننده می باشد و گزارش شده است که پراکسیداز نقش کلیدی در تحمل به تنش دارند. همچنین میتال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

و همکاران در آزمایشی نشان دادند که بهبود عملکرد فعالیت کلزا تحت تنش، مربوط به افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در اثر محلول‌پاشی با سیلیسیم بوده است (Mittal *et al.*, 2012). این آنزیم قادر است بدون نیاز به عامل احیاء کننده تبدیل کند و H_2O_2 موجود در سلول را به H_2O و O_2 تبدیل کند(Turkan *et al.*, 2005). کاتالاز علاوه بر اینکه H_2O_2 را از محیط حذف میکند کمبود اکسیژن حاصل از واکنش ملر را نیز جبران می‌نماید (Arora *et al.*, 2000).

غلظت سرب در بخش هوایی شوید: با توجه به جدول تجزیه واریانس غلظت سرب در تنش سرب در سطح یک درصد معنی‌دار شد در صورتیکه محلول پاشی سیلیسیم و اثر متقابل سرب و سیلیسیم معنی‌دار نیست (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش سرب بر این شاخص نشان داد که بیشترین میزان سرب ($۰/۵۲ mgkg^{-1}$) در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب بوده که با غلظت ٦۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب اختلاف معناداری نداشت اما با تیمارهای شاهد و ٤۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب اختلاف معناداری نشان داد و کمترین آن ($۰/۰۷ mgkg^{-1}$) در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۳).

غلظت کلسیم در بخش هوایی شوید: با توجه به جدول تجزیه واریانس غلظت کلسیم در تنش سرب در سطح یک درصد معنی‌دار شد در صورتیکه محلول پاشی سیلیسیم و اثر متقابل سرب و سیلیسیم معنی‌دار نیست (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش سرب بر شاخص غلظت کلسیم نشان داد که بیشترین میزان کلسیم (۱۵۸/٦۸) در تیمار شاهد به دست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معناداری داشت. و کمترین میزان(۱۲٦/۲۷) در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب بوده که با سایر غلظت های سرب اختلاف معناداری داشت (جدول ۳). که نسبت به تیمار شاهد حدود ۲۱ درصد کاهش نشان داد

گزارش شده است که جذب سرب باعث کاهش غلظت کاتیون های کاتیون (Zn^{2+}، Mn^{2+}، Mg^{2+}، Ca^{2+} و Fe^{2}) در برگهای گیاهان *Z. mays* (Seregin *et al.* 2004)، *Brassica oleracea* (Sinha *et al.* 2006). سرب باعث عدم تعادل در تغذیه بافت های گیاهی می شود .در اغلب موارد سرب ورود کاتیون هایی نظیر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن و روی را به درون سیستم ریشه‌ای متوقف می‌سازد (Kabatapendias and Pendias 1992). نشان داده شده است که در ذرت جذب کلسیم در حضور سرب کاهش می‌یابد که با نتایج ما در مورد کلسیم هم خوانی دارد (Walker *et al.*, 1997). به طور مشابه، Azmat و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که یک رابطه معکوس بین تجمع یون‌های Pb^{2+} و Ca^{2+} وجود دارد و به دلیل شباهت یونی میان آنها، Pb در فرآیندهای فیزیولوژیکی خاص جایگزین Ca می‌شود. Brunet و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که ریشه *Lathyrus sativus L.* در معرض تنش سرب حاوی کلسیم بسیار کمتری نسبت به گیاهان شاهد است. و کاهش مقدار Ca را با جایگزینی یون های کلسیم توسط یون های Pb توضیح می دهد که دارای ارتباط بالایی با پکتین در دیواره های سلولی است. کاهش در محتویات Ca در گیاهان تحت تأثیر Pb نیز در سایر گونه ها مانند گونه های ذرت، گوجه فرنگی و خردل مشاهده شده است (Sharma and Dubey, 2005). و این می‌تواند ناشی از مهار کلسیم توسط یون های Pb باشد (Wojas *et al.*, 2007) و یا جایگزینی یون های کلسیم با یون های Pb باشد (Habermann *et al.*, 1983).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد که تنش ناشی ازسرب باعث کاهش رشد و تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه شوید می شود. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که گیاهانی که با سیلیکون محلول‌پاشی شده بودند از سمیت سرب حفاظت شده بودند و هنچنین رشد بهتری داشتند که این امر احتمالاً نقش سیلیکون را در افزایش مقاوت گیاهانی که تنش سرب را تحمل کرده اند، آشکار می کند. همچنین این ماده با بالا بردن محتوای تنظیم کننده اسمزی (پرولین) و حفظ تعادل آبی سلول از کاهش شدید محتوای نسبی آب برگ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

جلوگیری کرد که این امر سبب پایداری ساختار سلول در برابر تنش سرب شد.

منابع

آغاز، م.، بنده حق، ع.، تورچی، م و قاسمی گلعذانی، ک. (۱۳۹۱) شاخص های رشد گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens*) تحت تنش سرب، دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

اکبری مقدم، ع. (۱۳۹۱) تسهیم ماده خشک و عکس العملهای مورفوفیزیولوژیکی ارقام گندم تحت تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد .پایان نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.

پیوست، غ . (۱۳۸٦) سبزیکاری، چاپ ششم، رشت: انتشارات دانش پذیر.

کیابی، ش.، راهنورد، آ و سیدموسوی، ا. (۱۳۹۲)، بررسی تأثیر سرب بر پارامترهای رشد، مقدار پروتئین و پرولین، فعالیت آنتی اکسیدانی و انباشت فلز در گیاه جعفری (*Petroselinumcrispum L.*) ، اولین همایش منطقه ای گیاهان دارویی شمال کشور، گرگان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان.

Akinci, I. E., Akinci, S. and Yilmaz, K. (2010) Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to lead toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll and water content. African Journal of Agriculture Research 5: 416-423.

Al-aghabary K., Zhu, Z. and Shi Q. (2004) Influence of silicon supply on chlorophyll content, nchlorophyll flurescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal of Plant Plant Nutrition 27: 2101–2115.

Andrade, S. A. L., Gratao, P. L., Schiavinato, M. A., Silveira, A. P. D., Azevedo, R. A. and Mazzafera, P. (2009). Zn uptake, physiological response and stress attenuation in mycorrhizal jack bean growing in soil with increasing Zn concentrations. Chemosphere 75: 1363-1370.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23:112-121.

Arora, A., Byrem, T. M., Nair, M. G. and Strasburg, G. M. (2000) Modulation of liposomal memberane fluidity by flavonoids and isoflavonoids. Archives of Biochemistry and Biophysics 373: 102-109.

Azooz, M. M., Youssef, M. M. and Al-Omair, M. A. (2011) Comparative evaluation of zinc and lead and their synergistic effects on growth and some physiological responses of Hassawi Okra (*Hibiscus esculentus*) seedlings. American Journal of Plant Physiology 6: 269-282

Bates, I., Waldern, R. and Tear, I. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 93: 205- 207.

Brunet, J., Repellin A., Varrault, G., Terryn, N. and Zuily-Fodil Y. (2008) Lead accumulation in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus* L.): a novel plant for phytoremediation systems? Comtes Rendus Biologies 331: 859-864.

Cheng S. and Huang, C. (2006) Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal of Applied and. Science Engineering.3, 243-252.

Di Gregorio, S., M., Barbafieri, S., Lampis, A.M., Sanangelantoni, E., Tassi, E. and Vallini, G. (2006) Combined application of Triton X-100 and Sinorhizobium sp. Pb002 inoculum for the improvement of lead phytoextraction by *Brassica juncea* in EDTA amended soil. Chemosphere 63: 293-299.

Dong J , Wu, F. and Zhang, G. (2005) Effect of cadmium on growth and photosynthesis of tomato seedlings. Journal of Zhejiang University Science 6: 974-980.

Feng, J., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Yang, F. and Xu, H. (2011) Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. Scientia Horticulturae 123: 521–530.

Gee G. W. and Orr, D. (2002) Particle- size analysis.Soil Science Society of America. Madison 16: 255- 293.

Gong, H., X. Zhu, K. Chen, W. Suomin, and C. H. Zhang. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science 169: 313-321.

Gong, H. J., Chen, K. M., Zhao, Z. G., Chen, G. C. and Zhou, W. J. (2008) "Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages". *Biological plantarum*, 523: 592-596.

Groppa, M. D., Tomaro, M. L. and Benarides, M. P. (2007) Polyamines and heavy metal stress: the antioxidantbehavior of spermine in Cadmium and Copper treated wheat leaves. Bioresource Technology 98: 3149-3153.

Habermann E., Crowell K. and Janicki, P. (1983). Lead and other metals can substitute for Ca^{2+} in calmodulin. Archive of Toxicology 54: 61–70.

Haddad R.V. and Moshiri Z. (2011) Silicon impact on increasing drought tolerance in barley leaf stage two. Modern genetics 5: 47-58.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

Haghighi, M. and Pessarakli, M. (2013) Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientiae Horticulturae 161: 111–117.

Hodson, M. J., White, P. J., Mead, A. and Broadley, M. R. (2005) Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. Annual of Botany 96:1027-46.

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60.

Kabata - Pendis, A. and Pendias, H. (1992) Trace elements in soils and Plant. 2nd edn. CRC. Press, Boca Raton, London.

Kar, M, and Mishra, D. (1976) Catalase, Peroxidase, and Polyphenoloxidase activities during Rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Kosobrukhov A. and knyazeva, I. (2004).Plantago majorplants responses to increase content of lead insoil: growth and photosynthesis. Plant Growth Regultion 42: 145- 151.

Lin, C.J., Liu, L., Liu, T., Zhu, L., Sheng, D. and Wang, D. (2009) Soil amendment application frequencycontributes to phytoextraction of lead bysunflower at different nutrient levels. Environmental and Experimental Botany 65: 410-416.

Liu, J., Zhang, H., Zhang, Y. and Chai, T. (2013) Silicon attenuates cadmium toxicity in *Solanum nigrum* L. by reducing cadmium uptake and oxidative stress. Plant Physiology and Biochemistry 68: 1–7.

Ma, J. F. and Yamaji, N. (2006).Silicon uptake and accumulation in higher plants. Plant Science 11: 392-397.

Marciol, L., Assolari S. and Sacco P. (2004) Phytoextraction of heavy metals by Canola (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. Environmental Pollution 132: 21-24.

Mc knon, M., Hermle, S., Günthardt-Goerg, M. S. and Schulin, R. (2007) Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. Plant and Soil 297: 171-183.

Michalska, M. and Asp, H. (2001) Influence of Lead and Cadmium on growth, heavy metal uptake and nutrient concentration on three lettuce cultivars grown in hydroponic culture. Communication in Soil Science and Plant Analyses 32: 571–583.

Mittal, S., Kumari, N. and Sharma, V. (2012) Differential response of salt stress on *Brassica juncea*: Photosynthetic performance, pigment, proline, D1and antioxidant enzymes.Plant Physiology and Biochemistry 54: 17-26.

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1982) Total carbon, organic carbon and organic matter: *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney) Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties 9: 539-579.

Pandey, N., Pathak, G. C., Pandey, D. K. and Pandey, R. (2009) Heavy metals, Co, Ni, Cu, Zn and Cd produce oxidative damage and evoke differential antioxidant responses in spinach. Brazilian Journal of Plant Physiology 21: 103-111.

Parsadoost, F., Bahreininejad, B., Safarisanjani, A. and Kaboli, M. (2007) Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankooh polluted soils. Pajuhesh Sazandegi 75: 54-63.

Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B. and Sharma, A. (2004) Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. Environmental and Experimental Botany 52: 199-223.

Piotrowska, A., Bajguz, A., Godlewska-Z-Ylkiewicz, B. and Zambrzycka, E. B. (2010) Changes in growth, biochemical components, and antioxidant activity in aquatic plant Wolffia arrhiza (Lemnaceae) exposed to cadmium and lead. Arch Environmental Contamination and Toxicology 58:594-604.

Polanco, L. R., Rodrigues, F. A., Nascimento, K. J. T., Cruz, M. F.A., Curvelo, C. R. S., DaMatta, F. B. M. and Vale F. X. R. (2014) Photosynthetic gas exchange and antioxidative system in common bean plants infected by *Colletotrichumlindemuthianum* and supplied with silicon. Tropical Plant Pathology, 39: 35-42.

Posmyk, M. M., Kontek, R. and Janas, K. M. (2008) Antioxidant Enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress. Ecotoxicology and Environmental Safety 72: 596-602.

Azmat, R. Haider, S., Nasreen, H., Aziz, F. and RiazA, M. (2009) Viable alternative mechanism in adapting the plants to heavy metal environment Pakistan Journal of Botany 41: 2729-2738

Reddy, A. M., Kumar, S.G., Jyonthsnakumari, G., Thimmanaik, S. and Sudhakar, C. (2005) Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegram (*Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc.) and bengalgram (*Cicer arietinum* L.). Chemosphere 60: 97–104.

Redman, R., Haraldson, J. and Gusta, L. (1986) Leakage of UV- absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody spicies. Physiologia Plantarum 67: 87- 91.

Ritchie, S. and Nguyen, H. (1990) Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotype differing in drought resistance. Crop Science 30: 105- 111.

Richmond k. E, and Sussmsn, M. (2003) Got silicon?the non-essential beneficial plant nutrient.Current opinion in plant bilology 6:268-272.Romero-Aranda M. R., Jurado, O., and Cuartero, J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Journal of Plant Physiology 163: 847-855.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

Rubio, C., Lucas, J. R. D., Gutiérrez, A. J., Glez-Weller, D., Pérez Marrero, B., Caballero, J. M., Revert, C. and Hardisson, A. (2012) Evaluation of metal concentrations in mentha herbal teas (*Mentha piperita* L. Mentha pulegium L and Mentha species) by inductively coupled plasma spectrometry. Journal of pharmaceutical and biomedical analysis 71: 11-17.

Seregin, I.V, Shpigun, L.K.and Ivanov, V. B. (2004) Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. Russian Journal of Plant Physiology 51:525–533.

Sharma, P. and Dubey, R. S. (2005) Lead toxicity in plants. Plant Physiology 17: 35-52.

Sharma, K. D. and Kuhad, M.S. (2006) Influence of Potassium level and soil moisture regime on biochemical metabolites of Brassica Species. Brassica Journal 8: 71-74.

Shi, G. R., Cai, Q. S. and Liu, C. F. (2010) Silicon alleviates cadmium toxicity inmpeanut plants in relation to cadmium distribution and stimulation of antioxidative enzymes. Plant Growth Regultion 61:45–52.

Sinha, P., Dube, B., Srivastava, P., Chatterjee, C. (2006) Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. Chemosphere 65:651–656.

Tanoua, G., Molassiotis, A. and Diamantidis, G. (2009) Hydrogen peroxide-and nitric oxide-induced systemic antioxidant prime-like activity under NaCl-stress and stress-free conditions in citrus plants. Journal of Plant Physiology 166: 1904-1913.

Turkan, I., Bor, M., Ozdermir, F. and Koca, H. (2005) Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant P. acutifolius Gray and drought-sensitive P. vulgaris L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Science 168: 223-231.

Van Assche, F. and Clijsters**.** H. (1990) A biological test system for the evaluation of the phytotoxicity of metalcontaminated soils. Environmental Pollution 66: 157-172.

Verma, S. and Dubey, R. S. (2001) Effect of Cd on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice.Biologia plantarum 44: 117 – 123.

Walker, W. M., Miller, J.E. and Hassett, J. J. (1977) Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium, and phosphorus concentration in young corn plants. Soil Science 124 145–151.

Wang, F., Zeng, B., Sun, Z. and Zhu, C. (2009) Relationship between proline and Hg2+-induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 56: 723-731.

Wojas S., Ruszczyńska, A., Bulska, E., Wojciechowski, M. and Antosiewicz D. M. (2007) Ca^{2+}-dependent plant response to Pb2+ is regulated by LCT1. Environmental Pollution 147: 275–286.

Zhang, H. H., Tang, M. and Zheng, C. (2010) Effect of inoculation with AM fungi on lead uptake, translocation and stress alleviation of *Zea mays* L. seedlings planting in soil with increasing lead concentrations. European Journal of Soil Biology 46: 306-311.

Zhu, Z, Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J. (2004) Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Science 167: 52.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]

Effect of silicon nutrition on growth, physiological and biochemical characteristics of dill *(Anethum graveolens* L) under Pb stress conditions.

Akram Rahbari[1], Behrooz Esmaielpour[1*], Hamideh Fatemi[3] and Ali Ashraf Soltani Toolarood[2]

[1]Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University

[2] Department of Soil Science, College of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University

(Received: 02/08/2017, Accepted: 07/02/2018)

Abstract

Silicon is one of the beneficial elements for plants; recent studies have shown that this element plays a very important role in plant resistance to environmental stresses, including heavy metal stress. To evaluate the effect of silicon foliar spraying on increasing tolerance to lead contamination in dill (Anethum graveolens L) a factorial experiment based on completely randomized design with four replications was conducted in greenhouse condition in 2015-2016. Experimental factors included soil contamination by lead (0, 400, 600 and 1000 mg/kg soil) from (Pb (NO3)2 source and silicon (From $Na_2SiO_3$5H2o source) levels 1 mM and control (spraying with water). During this experiment, traits such as plant height, plant dry weight, leaf number, lateral branch number, root dry weight, electrolyte leakage, leaf relative water content, photosynthetic pigments, proline, total carbohydrates and catalase and peroxidase enzymes activity, concentration of lead and calcium concentration in the plant's shoot were measured.The results showed that lead stress had a significant reduction effect on the measured growth parameters of the plnat.The highest root dry weight, stem diameter, leaf relative water content was obtained in the control plants which were treated by 1 mM silicon. The highest value for proline and carbohydrates production, catalase and peroxidase enzymes activity were obtained by combination of spraying with 1 mM of silicon at under 1000 ppm lead contamination. In general, the results of this study showed that the foliar application of silicon can be advised for improving growth of dill plants under lead contamination stress conditions.

Key words: Antioxidant enzymes, Carbohydrate, Photosynthetic pigments, Proline, Chlorophyll

***Corresponding author, Email: bsmaielpoor2008@gmail.com**

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.7.1]