مقایسه اثرات محلول‌پاشی کلسیم و روی بر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی گلرنگ در جذب برگی و خاکی سرب

پریسا جمشیدی[۱]، مهدی برادران فیروزآبادی[۱*]، حکیمه علومی[۲] و هرمزد نقوی[۳]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، [۲]گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران، [۳]عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۳۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی روی و کلسیم بر صفات فیزیولوژیکی و زراعی گیاه گلرنگ در تنش سرب، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان اجرا شد. تیمارها شامل چهار روش کاربرد سرب (شاهد، کاربرد خاکی سرب، محلول‌پاشی سرب و کاربرد توام خاکی و محلول‌پاشی سرب)، محلول‌پاشی روی در سه غلظت (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی کلسیم در دو سطح (صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد که در تنش سرب، محتوای آب نسبی برگ، عملکرد دانه و عملکرد روغن گیاه گلرنگ کاهش یافت و فعالیت آنزیم پراکسیداز، قندهای محلول، درصد پروتئین دانه و تجمع سرب در برگ و ریشه گیاه افزایش معنی‌داری نشان داد. کاربرد توام خاکی و محلول‌پاشی سرب اثرات منفی بیشتر از جذب برگی و خاکی سرب به تنهایی داشت. در تنش سرب، محلول‌پاشی روی فعالیت آنزیم پراکسیداز، محتوای آب نسبی برگ، قندهای محلول، درصد پروتئین دانه، عملکرد روغن و عملکرد دانه را به طور معنی‌داری افزایش داد در حالی که تجمع سرب در برگ و ریشه کاهش یافت. کاربرد کلسیم سبب افزایش عملکرد روغن و کاهش میزان تجمع سرب در برگ در تیمار تنش سرب گردید. بنابراین به نظر می‌رسد کلسیم و روی به وسیله بهبود واکنش‌های فیزیولوژیکی تاثیر بر سمیت‌زدایی سرب داشتند که منجر به افزایش تحمل گیاه به تنش سرب گردید.

واژه‌های کلیدی: تجمع سرب، درصد پروتئین دانه، عملکرد دانه، فعالیت آنزیم، قندهای محلول

مقدمه

سطح فلزات سنگین بیوسفر به تدریج از زمان شروع انقلاب صنعتی در حال افزایش است که حضور آن در غلظت‌های بیش از حد مجاز در خاک و هوای منطقه موجب آسیب‌رسانی به موجودات زنده و محیط زیست می‌شود (Gisbert *et al.*, 2003). محققین جذب فلز سنگین سرب را توسط درختان در مناطق آلوده به سرب را گزارش کردند (چراغی و همکاران، ۱۳۹۲). فلز سنگین سرب از مهمترین فلزات آلاینده محیط زیست به حساب می‌آید که در فرآیندهای متابولیسمی عنصری غیر ضروری بوده و سبب کاهش رشد و توسعه گیاه می‌شود

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی:mbaradaran@Shahroodut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

(Wu *et al*., 2011). نتایج مطالعات محققین نشان داده است که گیاهان در برابر تنش ناشی از سرب واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Islam *et al*., 2011). فلزات سنگین با ایجاد آسیب‌های غشایی فرآیندهای مختلف سلولی را دچار اختلال می‌کنند(Sharma and Dubey, 2005). آلودگی به سرب در محیط زیست باعث جلوگیری از سنتز کلروفیل، کاهش تجمع ماده خشک در گیاه، کاهش جذب مواد معدنی (Akinci *et al*., 2010) و تغییر در ساختار و نفوذپذیری غشاهای سلولی می‌شود (Estrella-Gomez *et al*., 2009). آثار سمی فلزات سنگین بر گیاهان، ناشی از تولید انواع مختلف اکسیژن فعال مانند سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل می باشد، سیستم آنزیمی و غیر آنزیمی در سلول های گیاهی برای حفاظت در مقابل تنش اکسیداتیو فعال می شود (Abdul Jaleel *et al*., 2010). مطالعات نشان داده است که از جمله پاسخ‌های عمومی گیاهان در برابر فلزات سنگین تغییرات در تجمع قندهای محلول (Ziaei *et al*., 2014) و القاء فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیداسیون از جمله پراکسیداز می‌باشد (Bhuiyan *et al*., 2007).

عنصر غذایی کم مصرف روی بر تحریک فعالیت‌های بیولوژیکی به عنوان مثال فعالیت آنزیمی، سنتز کلروفیل، میزان انتقال تولیدات فتوسنتزی و جذب موادغذایی از ریشه نقش موثری دارد (Kader and Mona, 2013). محققین بیان کردند که با تغذیه برگی روی، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن در واحد سطح افزایش یافت (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین نتایج تحقیقات محققین حاکی از تأثیر مثبت کاربرد محلول‌پاشی کلسیم و روی به دلیل افزایش کارایی جذب این عناصر در تنش‌های محیطی می‌باشد(Chengbin *et al*., 2013). تغذیه مناسب در محیط آلوده به فلز می‌تواند تا حدی به افزایش مقاومت گیاه و سمیت‌زدایی این فلزات موثر باشد. محققین گزارش کردند کاربرد عنصر روی در شرایط تنش سرب، سبب بهبود آسیب‌های سلولی به وجود آمده به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه می شود (Islam *et al*., 2011). تغذیه گیاه با روی، نه تنها اثر آنتاگونیستی با فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی دارد، بلکه همچنین جذب برخی مواد معدنی ضروری به عنوان مثال منگنز و آهن را در گیاه افزایش می دهد(Ondo *et al*., 2012). ورود یون‌های فلزات سنگین به داخل سلول‌های گیاهی از طریق سیستم‌های اختصاص یافته برای جذب کاتیون‌های ضروری گیاه صورت می‌گیرد، جذب بسیاری از فلزات سمی به وسیله کانال‌های کلسیم است. فلزات سنگین سرب و کادمیوم با پروتئین کالمودولین باند می‌شوند و با جذب کلسیم از طریق کانال‌های کلسیم رقابت می‌کنند (Wu and Hendershot, 2010). کاربرد کلسیم جذب و انتقال یون‌های سمی را در گیاه کاهش می‌دهد که از این طریق سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش فلز سنگین می‌شود (Hall, 2002; Siddiqui *et al*., 2011). کلسیم به عنوان پیام آور ثانویه در مسیرهای انتقال سیگنال عمل کرده و تنظیم‌کننده واکنش‌های دفاعی گیاه در شرایط تنش‌های محیطی می‌باشد (Delian *et al*., 2014).

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی است یک ساله از تیره چتریان (Astraceae) که میزان روغن این گیاه در شرایط مساعد بسته به نوع ژنوتیپ تا ٤٥ درصد می‌رسد (کوه نورد و همکاران، ۱۳۹۰). این گیاه بومی ایران بوده و سازگار با شرایط اقلیمی ایران است که می‌تواند در تأمین دانه‌های روغنی مورد نیاز کشور نقش موثری داشته باشد. امروزه آلودگی محیط زیست، به عنوان یکی از مباحث بسیار مهم در زندگی بشر مطرح است. با توجه به این که بیشتر مطالعات در زمینه آلودگی خاک به سرب و سایر فلزات سنگین انجام شده است، در حالی که در مناطق آلوده به فلزات سنگین، بررسی میزان جذب برگی و خاکی سرب و تأثیر آن بر واکنش‌های رشدی گیاه نیز می‌تواند حائز اهمیت باشد. با توجه به نقش‌های فیزیولوژیکی کلسیم و روی ذکر شده در شرایط تنش و عدم تنش، در این تحقیق میزان اثرات بهبود بخش این عناصر را بر میزان سمیت سرب و واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه و در نهایت تأثیر آن بر عملکرد گیاه بررسی شده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات و منابع طبیعی و آموزش کشاورزی کرمان در سال۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتور اول شامل چهار روش کاربرد سرب از منبع استات‌سرب (Pb1= شاهد، Pb2= کاربرد خاکی سرب در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، Pb3= محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سرب، Pb4= محلول‌پاشی سرب در غلظت ۱ میلی‌مولار همراه با کاربرد خاکی سرب در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، فاکتور دوم محلول‌پاشی سولفات‌روی در سه غلظت (Zn1= صفر، Zn2 = ۱۰ و Zn3= ۲۰ میلی‌مولار) و فاکتور سوم محلول‌پاشی کلریدکلسیم در دو سطح (Ca1= صفر، Ca2= ۱۰ میلی‌مولار) بود. در این پژوهش از گیاه گلرنگ رقم گلدشت استفاده شد، که از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. کشت بذر در بیستم مهرماه صورت گرفت. گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر انتخاب و خاک گلدان به نسبت ماسه (دو قسمت) و رس (یک قسمت) تهیه شد. بافت خاک گلدان از نوع شن لومی و اسیدیته خاک نیز برابر ۷/٤ بود. بر اساس نتایج آزمون خاک، میزان نیتروژن کل ۰/۱٦ درصد، فسفر ۸/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم، پتاسیم ۱۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، میزان روی ۱/۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، میزان سرب ۰/۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان کلسیم ۸/۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر بود. قبل از کاشت بر اساس آزمون خاک، کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و کود پتاسیم به صورت سولفات‌پتاسیم تأمین و در گلدان به طور یکنواخت پخش گردید و کود نیتروژن از منبع اوره در سه نوبت، یک سوم قبل از کاشت و باقیمانده به صورت سرک در مرحله رشد سریع ساقه و گلدهی به گلدان‌ها داده شد. برای آلوده کردن خاک، مقدار لازم نمک استات‌سرب برای آلوده کردن جرم مشخصی از خاک محاسبه شد. سپس مقدار نمک محاسبه شده به یک کیلو گرم از خاک افزوده شد و کاملا با آن مخلوط گردید تا پیش ماده‌ای همگن به دست آید. این پیش ماده‌ی آلوده سپس کاملا با توده خاک مخلوط گردید. پس از آن خاک‌های آلوده تقریبا تا رطوبت اشباع آبیاری و به مدت دو هفته رها شدند تا در حد امکان برهم کنش‌های آلاینده و خاک صورت پذیرد و شرایط آلودگی طبیعی‌تر باشد. به منظور محلول‌پاشی سرب، در اوایل مرحله ساقه‌دهی به وسیله مه‌پاش بر بخش هوایی گیاه انجام گردید و به دلیل افزایش جذب برگی ترکیب تریتون ۱۰۰-x با غلظت ۰/۰۱ درصد به محلول اضافه شد. محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات‌روی در فاصله زمانی ده روز پس از تیماردهی سرب اعمال شد و دو هفته بعد از آن از برگ‌های جوان و کاملاً بالغ جهت اندازه‌گیری رنگیزه-های آنزیم پراکسیداز نمونه تهیه شد و بلافاصله در نیتروژن مایع غوطه‌ور گشتند. نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برداشت نهایی زمانی صورت گرفت که کلیه برگها و طبق‌های روی ساقه خشک و قهوه‌ای و دانه‌های وسط طبق نیز خشک و سخت شده بودند و محاسبه عملکرد دانه در نظر گرفته شدند. صفات کیفی دانه از جمله درصد پروتئین دانه به روش کجلدال و روغن دانه با استفاده از دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد. جهت سنجش میزان سرب در برگ و ریشه از روش هضم اسیدی استفاده شد و مقدار سرب گیاهان توسط دستگاه جذب اتمی مدل Spectr AA220 اندازه‌گیری شد. به منظور استخراج عصاره آنزیمی جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها، ۱ گرم از نمونه برگی در بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۵ مولار با اسیدیته ۷/۸، پلی وینیل پیرولیدون ۲٪ و EDTA ۱ میلی‌مولار همگن شدند. ترکیب حاصل در g × ۱۳۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و بخش رویی برای سنجش آنزیم‌های مورد نظر برداشته شد (Bor *et al.*, 2003). برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز از روش Polle و همکاران (۱۹۹۷) استفاده شد، جذب نمونه بر اساس اکسیداسیون گایاکول با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ٤۷۰ نانومتر قرائت شد. جهت سنجش میزان قندهای محلول از روش فنل اسیدسولفوریک Kochert (۱۹۷۸) استفاده شد. میزان جذب به وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۸۵ نانومتر قرائت شد و در انتها میزان قند نمونه‌های برگی با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید. به منظور تعیین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

مقدار آب نسبی برگ، نمونه‌برداری از آخرین برگ توسعه یافته تمامی تیمارهای آزمایشی انجام شد. وزن تر نمونه‌ها بلافاصله در آزمایشگاه با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شده و سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفته و به مدت ۲٤ ساعت در یخچال و در دمای چهار درجه سانتی گراد قرار داده شد. پس از ۲٤ ساعت وزن اشباع برگی اندازه‌گیری شده و برگها مجدداً به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شده و وزن خشک هر نمونه به دست آمد. مقدار نسبی آب برگ (RWC) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{محتوای نسبی رطوبت برگ} = \frac{\text{(وزن تر – وزن خشک)}}{\text{(وزن آماس– وزن خشک)}} \times ۱۰۰$$

تجزیه آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS و رسم شکل‌ها با نرم افزار اکسل و مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده، با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس جدول ۱ بیانگر آن است که تنش سرب تاثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز داشت و میزان فعالیت این آنزیم در جذب خاکی سرب ۰/۵۳، در جذب برگی سرب ۱/۰۹ و در جذب توام خاکی و برگی سرب ۱/٤ ($U\ mg^{-1}$ protein) بود (جدول ۲). جذب برگی روی در شرایط تنش سرب به طور معنی‌داری سبب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد، به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم در شدیدترین سطح آلودگی سرب (کاربرد توام خاکی و محلول‌پاشی سرب) همراه با جذب برگی روی و کمترین آن در شرایط عدم تنش و بدون کاربرد کود مشاهده گردید (جدول ۲). گیاهان مکانیسم‌های متفاوتی در مقابله با تنش‌های اکسیداتیو دارند که می‌توان به ترکیبات آنزیمی و غیر آنزیمی اشاره کرد (Abdul Jaleel *et al*., 2010). بررسی مقدار فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش نشان داد که گلرنگ با فعال کردن سیستم دفاعی سعی در به حداقل رساندن آسیب‌های ناشی از افزایش میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن و حفظ بقاء گیاه دارد. از میان آنزیم های آنتی اکسیدان، آنزیم پراکسیداز نقش مهمی در از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن به ویژه پراکسیدهیدروژن دارد. افزایش غلظت آنزیم-های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش فلزات سنگین توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Bhuiyan *et al*., 2007). براساس نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که عنصر روی می-تواند با فعال‌سازی آنزیم پراکسیداز سبب کاهش تاثیر منفی سمیت سرب در گیاه شود. محققین گزارش کردند که عنصر روی در بیوسنتز آنزیم‌های آنتی اکسیدان در گیاه نقش موثری دارد (Ong *et al*., 213). بنابراین تغذیه گیاه با عنصر روی، موجب فعال‌سازی سیستم‌های دفاعی آنتی اکسیدانی در سلول گیاهی می‌شود و گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده در شرایط تنش را کاتالیز می‌کند که منجر به افزایش تحمل گیاه به تنش سرب می‌شود. یافته‌های Cakmak و همکاران (۲۰۰۰) نشان داد که کمبود روی، فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه ممانعت می‌شود. یون‌های فلزی از جمله روی، مس، منیزیم و منگنز از عناصر غذایی کم مصرفی هستند که کوفاکتور بسیاری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است (Rahimizadeh *et al*., 2007). نتایج حاصل در این پژوهش با گزارش‌های Zafar و همکاران (۲۰۱٤) مبنی بر این که عنصر روی موجب افزایش فعالیت آنتی اکسیدان در شرایط تنش می-شود، مطابقت دارد.

محتوای آب نسبی برگ: تنش ناشی از سرب، کاربرد کلسیم و روی در گیاه گلرنگ اثر معنی‌داری بر محتوای آب نسبی برگ داشت، در حالی که اثرات متقابل آنها از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۱). همانطور که نتایج مقایسه میانگین جدول ۳ نشان می‌دهد با افزایش میزان آلودگی سرب در محیط، محتوای آب نسبی برگ کاهش یافت و میزان آن در جذب خاکی ۷۱/۰۲، در جذب برگی سرب ۵۷/۵۷ و در جذب توام خاکی و برگی سرب ۵۳/۵٤ درصد بود. جذب برگی کلسیم و روی موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با تیمار شاهد گردید، به طوری که در تیمار محلول-پاشی روی (غلظت ۲۰ میلی‌مولار) ۸ درصد و در تیمار کود کلسیم (غلظت ۱۰ میلی‌مولار) ۱۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۳). محققین نیز بیان کردند که با افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تنش سرب، روی، کلسیم و اثر متقابل آنها بر فعالیت آنزیم پراکسیداز، محتوای آب نسبی برگ، قندهای محلول، عملکرد روغن، پروتئین دانه، عملکرد دانه، میزان سرب در برگ و ریشه گیاه گلرنگ

منابع تغییر	df	آنزیم پراکسیداز	محتوای آب نسبی برگ	قندهای محلول	عملکرد روغن	پروتئین دانه	عملکرد دانه	سرب در برگ	سرب در ریشه
تکرار	۲	۰/۰۰۲ ns	۳۰/۳٤ ns	۰/۷۷ ns	۰/۰۱ ns	۰/۷۳ ns	۰/۰۵ ns	۰/۲۳ ns	۱۰/۰۰ ns
سرب (A)	۳	٤/۹۱ **	۳۳۰٦/۸٦ **	۱۷۳۸۸/۳۸ **	۱۹/٤۵ **	۱۰۲/۰۱ **	۵۵/۹۵ **	۳۲۳۹/۷ **	۱۹٦۹٦/٤ **
روی (B)	۲	۰/٤۱ **	۱۳۸/۷۵ **	٤۳۵۸/۹٦ **	۹/٦۹ **	۳۸/۷۸ **	۲۱/٦۲ **	۱۸٤۱/٦ **	۱۳۹۹/۷۱ **
کلسیم (C)	۱	۰/۰۰۱ ns	۲۲۲۹/۸۹ **	۹۷۵/۵۸ **	٤/۷۰ **	۲/۰۰ ns	۲۱/۰٤ **	٤۳۱/۵۵ **	۰/۹۸ ns
A*B	٦	۰/۰۲ **	۱۱/۸۵ ns	۱۱۷/۹۷ **	۰/۸۳ **	۰/۹۹ ns	۰/۹۹ **	۳۰۳/۰۸ **	۳۱٤/۸۹ **
A*C	۳	۰/۰۰۱ ns	۱٤/۰۳ ns	۳۳/٦۹ ns	۰/۳۲ **	۰/۲۸ ns	۰/٤۸ ns	٦۳/۵٤ **	۰/۲۵ ns
B*C	۲	۰/۰۰۰۲ ns	۲/٤۲ ns	٦/۱۸ ns	۰/۱۳ *	۰/۳٦ ns	۰/۹۰ *	۱۵/۱۱ *	۰/۰۵ ns
A*B*C	٦	۰/۰۰۰۵ ns	۹/٤۲ ns	۳۷/۸۵ ns	۰/۰۷ ns	۰/۹۵ ns	۰/٤۱ ns	٤/٦۰ ns	۰/۰٤ ns
خطا	٤٦	۰/۰۰۲	۱٤/٤٦	۲٤/٤۷	۰/۰٤	۰/۵۲	۰/۲٦	۳/۷۲	۱۲/۲
CV (%)	–	٤/٦۷	۵/۷۳	۵/٤۲	۱۰/٤۵	۳/۵۵	۷/۰۵	۱۲/۳٦	۱۰/۵۸

***و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵٪ و یک درصد و ns عدم معنی داری.**

غلظت سرب جذبی توسط گیاه، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (Akinci *et al.*, 2010). به دلیل شباهت یون‌های سرب با کلسیم در باند شدن با محل‌های پیوند کلسیم، این یون سمی با کلسیم رقابت می‌کند (White, 2003). بنابراین ممکن است که سرب با تاثیر منفی بر ساختار غشاء و انعطاف‌پذیری دیوار سلولی و کاهش رشد و سطح جذب ریشه سبب اختلال در جذب عناصر غذایی و آب در گیاه شود. همچنین محققین بیان کردند که تنش سرب با کاهش مقدار ترکیبات نگهدارندهٔ تورژسانس سلولی و اختلال در تنفس و فسفولارسیون اکسیداتیو ممکن است به اختلال در وضعیت آب در گیاه منجر شود (Seregin and Ivanov, 2001). کلسیم از اجزاء مهم غشاء است و در حفظ ساختار و کارکرد غشاء تاثیر بسزایی دارد و میزان نگهداری آب سلول‌ها را افزایش می‌دهد (Levent *et al.*, 2007). نتایج این تحقیق مشابه با سایر گزارشات محققین است مبنی بر این که کاربرد کلسیم سبب افزایش محتوای نسبی آب در بافت گیاهی می‌شود (طباطبائیان، ۱۳۹۳).

قندهای محلول: تنش سرب اثر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول گیاه گلرنگ داشت (جدول۱) و میزان تجمع آن در برگ افزایش یافت، ولی با افزایش غلظت سرب در تیمار کاربرد خاکی همراه با محلول‌پاشی سرب(Pb4) تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی سرب (Pb3) نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از روی در تنش سرب اثرات افزایشی بر میزان قندهای محلول داشت و بیشترین مقدار در جذب روی با غلظت ۲۰ میلی مولار در تیمارهای تنش به دست آمد و در تیمار کاربرد خاکی همراه با محلول‌پاشی سرب تفاوت معنی‌داری بین دو غلظت کاربردی روی مشاهده نشد (جدول ۲). کاربرد کلسیم در شرایط تنش سرب بر میزان تغییرات این صفت معنی‌دار نبود. مطالعه اثر کلسیم در تنش شوری نیز نشان داد که محلول‌پاشی کلسیم تاثیر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول نداشت (عطارزاده و همکاران، ۱۳۹٤). افزایش میزان قندهای محلول می‌تواند در سازگاری گیاه به تنش سرب در گیاه موثر باشد. تجمع یون‌های سمی در گیاه همراه با کاهش آب سلول‌ها، سبب تجمع قندهای محلول در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه می‌شود (نورانی آزاد و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج این مطالعه با گزارشات سایر محققین مبنی بر اینکه تنش فلز سنگین در گیاه منجر به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

جدول۲- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز، قندهای محلول، میزان سرب در برگ و ریشه، عملکرد روغن و عملکرد دانه گیاه گلرنگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش سرب و محلول‌پاشی روی

صفات	شاهد			کاربرد خاکی سرب		
	روی (۰mM)	روی (۱۰mM)	روی (۲۰mM)	روی (۰mM)	روی (۱۰mM)	روی (۲۰mM)
فعالیت آنزیم پراکسیداز (U mg^{-1} protein)	۰/۱۵ ^{i}	۰/۳۸ h	۰/٤۲ ^{h}	۰/۵۳ ^{g}	۰/۸۱ ^{f}	۰/۸۳ ^{f}
قندهای محلول(mg g^{-1} dw)	٤۲/۳۹ ^{h}	۵٦/۷۵ ^{g}	٦۳/۸۰ ^{fg}	٦٦/۲٤ ^{f}	۷٦/۵٤ ^{e}	۸۸/۳۲ ^{d}
عملکرد روغن (g/plant)	۲/۰٦ ^{de}	۳/۲۵ ^{b}	٤/۳۸ ^{a}	۱/۵۵ ^{f}	۲/۱۲ ^{d}	۲/۸۱ ^{c}
عملکرد دانه (g/plant)	۷/۷۲ ^{c}	۸/۹۹ ^{b}	۱۰/٤۵ ^{a}	٦/۹۹ ^{de}	۸/۰۲ ^{c}	۸/۷۲ ^{b}
میزان سرب در برگ (mg kg^{-1}dry weight)	۰/۲۷ ^{i}	۰/۱٦ ^{i}	۰/۱۱ ^{i}	۱٦/۰ ^{e}	۷/٤۷ ^{g}	٤/٤٦ ^{h}
میزان سرب در ریشه(mg kg^{-1}dry weight)	۰/۵۲ ^{h}	۰/٤۸ ^{h}	۰/٤۷ ^{h}	٦۷/٤۵ ^{b}	۵٦/۰۲ ^{c}	٤۵/۸۲ ^{e}

مقادیر، میانگین ۳ تکرار ±STD است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح (P≤ ۰/۰۵) بر اساس آزمون LSD است.

ادامه جدول ۲-

صفات	کاربرد محلول‌پاشی سرب			کاربرد خاکی و محلول‌پاشی سرب		
	روی (۰mM)	روی (۱۰mM)	روی (۲۰mM)	روی (۰mM)	روی (۱۰mM)	روی (۲۰mM)
فعالیت آنزیم پراکسیداز (U mg^{-1} protein)	۱/۰۹ ^{e}	۱/۳ ^{d}	۱/۳۷ ^{c}	۱/٤ ^{c}	۱/٤۷ ^{b}	۱/۵۳ ^{a}
قندهای محلول(mg g^{-1} dw)	۹۷/٦۷ ^{c}	۱۱٦/۷۸ ^{b}	۱۲۸/۹۷ ^{a}	۹۹/۵۷ ^{c}	۱۲۸/۵۷ ^{a}	۱۳۰/۰۵ ^{a}
عملکرد روغن (g/plant)	۱/۰۸ ^{g}	۱/۵۰ ^{f}	۱/۸۵ ^{e}	۰/٤٦ ^{i}	۰/۷۲ ^{h}	۱/۱۸ ^{g}
عملکرد دانه (g/plant)	٦/٤٤ ^{ef}	٦/٦۵ ^{ef}	۷/٤٦ ^{cd}	٤/۱۰ ^{g}	٤/٤۷ ^{g}	٦/۱۵ ^{f}
میزان سرب در برگ (mg kg^{-1}dry weight)	۳۷/۷٦ ^{b}	۱۸/۹۲ ^{d}	۱۱/۷۸ ^{f}	٤۷/۱۰ ^{a}	۲٦/۷۷ ^{c}	۱٦/٤۸ ^{b}
میزان سرب در ریشه(mg kg^{-1}dry weight)	۱۳/۵٤ ^{f}	٦/۹۸ ^{g}	٦/۳۸ ^{g}	۸۲/۲۰ ^{a}	٦٦/۱٦ ^{b}	۵۰/۰۹ ^{d}

مقادیر، میانگین ۳ تکرار ±STD است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح (P≤ ۰/۰۵) بر اساس آزمون LSD است.

افزایش قندهای محلول می‌شود، همسو است (Ziaei *et al.*, 2014). مطالعات انجام شده توسط Sato و همکاران (۲۰۰٤) نشان داد که تجمع قندهای محلول نقش مهمی در تنظیم اسمزی در شرایط تنش دارد. همچنین قندهای محلول می توانند با حفظ سیالیت غشاء از اتصال بین غشاهای مجاور هم در طول دوره تنش ممانعت کند (Ho *et al.*, 2001). بنابراین به نظر می‌رسد که تجمع قندهای محلول در سلول‌های گیاه گلرنگ سبب حفظ متابولیسم گیاه در شرایط تنش سرب می شود. بر اساس نتایج این تحقیق، تغذیه گیاه با روی می‌تواند در افزایش غلظت قندهای محلول در سلول‌های گیاهی نقش داشته باشد. محققین گزارش کردند که روی جزء عناصر ضروری در تشکیل کلروفیل و کربوهیدرات در گیاه می‌باشد (Yadav, 2010). همچنین، این عنصر در هر شش کلاس آنزیم موجود در گیاهان شرکت دارد، بنابراین می‌تواند در سنتز و تولید کربوهیدرات‌ها و سایر واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه در جهت سازگاری گیاهان به تنش‌ها نقش موثری داشته باشد (Marschner, 1995). در بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر تنش خشکی گیاه گلرنگ نیز نتایج نشان داد که کاربرد روی میزان قند محلول در شرایط تنش و عدم تنش به طور معنی داری افزایش داد (عابدی باباعربی و همکاران، ۱۳۹۰).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرهای ساده سطوح مختلف تنش سرب، کود روی و کلسیم بر صفات مورد مطالعه گیاه گلرنگ

تیمارها	محتوای آب نسبی برگ (درصد)	پروتئین دانه (درصد)
تنش سرب (mM)		
شاهد	۸۳/۳۲ a	۱۷/۳٤ d
کاربرد خاکی سرب	۷۱/۰۲ b	۲۰/۲٤ c
محلول‌پاشی سرب	۵۷/۵۷ c	۲۰/۸۵ b
کاربرد خاکی و محلول‌پاشی سرب	۵۳/۵٤ d	۲۳/۱۳ a
کود روی (mM)		
شاهد	٦۳/۸۳ b	۱۹/۰۰ c
۱۰	٦٦/٦۳ a	۲۰/۵۰ b
۲۰	٦۹/۰ a	۲۱/٦۰ a
کود کلسیم (mM)		
شاهد	٦۰/۷۹ b	۲۰/۲۲ a
۱۰	۷۱/۹۳ a	۲۰/۵٦ a

مقادیر، میانگین ۳ تکرار ±STD است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح (P≤ ۰/۰۵) بر اساس آزمون LSD است.

جدول٤- مقایسه میانگین میزان سرب در برگ وریشه، عملکرد روغن و عملکرد دانه گیاه گلرنگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلسیم و روی

صفات	روی (۰mM)		روی (۱۰mM)		روی (۲۰Mm)	
	کلسیم (۰mM)	کلسیم (۱۰mM)	کلسیم (۰mM)	کلسیم (۱۰mM)	کلسیم (۰mM)	کلسیم (۱۰mM)
عملکرد روغن (g/plant)	۰/۹٤ e	۱/٦۲ d	۱/٦۸ d	۲/۱۱ c	۲/۳٤ b	۲/۷۷ a
عملکرد دانه (g/plant)	۵/۵٦ e	۷/۰۷ c	٦/۵٤ d	۷/۵۲ b	۷/۸۲ b	۸/۵۷ a
میزان سرب در برگ (mg/ kg^{-1}dry weight)	۲۸/۲۰ a	۲۲/۳٦ b	۱٦/۲۲ c	۱۰/٤۳ d	۹/۷٤ d	٦/٦۷ e

مقادیر، میانگین ۳ تکرار ±STD است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح (P≤ ۰/۰۵) بر اساس آزمون LSD است.

صفات کیفی دانه (عملکرد روغن و درصد پروتئین دانه): تنش سرب و افزایش غلظت آن اثر معنی‌داری بر صفات کیفی دانه گیاه گلرنگ داشت (جدول ۱)، در بین تیمارهای تنش، کمترین میزان عملکرد روغن در شدیدترین میزان آلودگی سرب (کاربرد خاکی همراه با کاربرد محلول‌پاشی سرب) مشاهده شد (جدول ۲). جذب برگی سرب در مقایسه با جذب خاکی این فلز، اثرات کاهش بیشتری بر میزان عملکرد روغن در گیاه گلرنگ داشت، که به نظر می‌رسد به دلیل مکانیسم‌های مقاومت گیاه در جهت کاهش انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی گیاه باشد که میزان سمیت سرب را در گیاه کاهش می‌دهد و علاوه بر این کاهش میزان روغن در شرایط تنش سرب می‌تواند به علت اثرات تنش بر تسریع در رسیدگی گیاه، کاهش در تولید مواد فتوسنتزی در گیاه و اختلال در انتقال آسیمیلات‌ها به دانه گیاه باشد. محققین بیان کردند که تجمع مقادیر زیادی سرب و کادمیوم در گیاه، با اختلال در انتقال کربن فتوسنتزی و ایجاد سمیت میزان روغن تولیدی در گیاه را کاهش داد (Amirmoradi *et al.*, 2012). همانطور که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، کاربرد کود روی اثر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

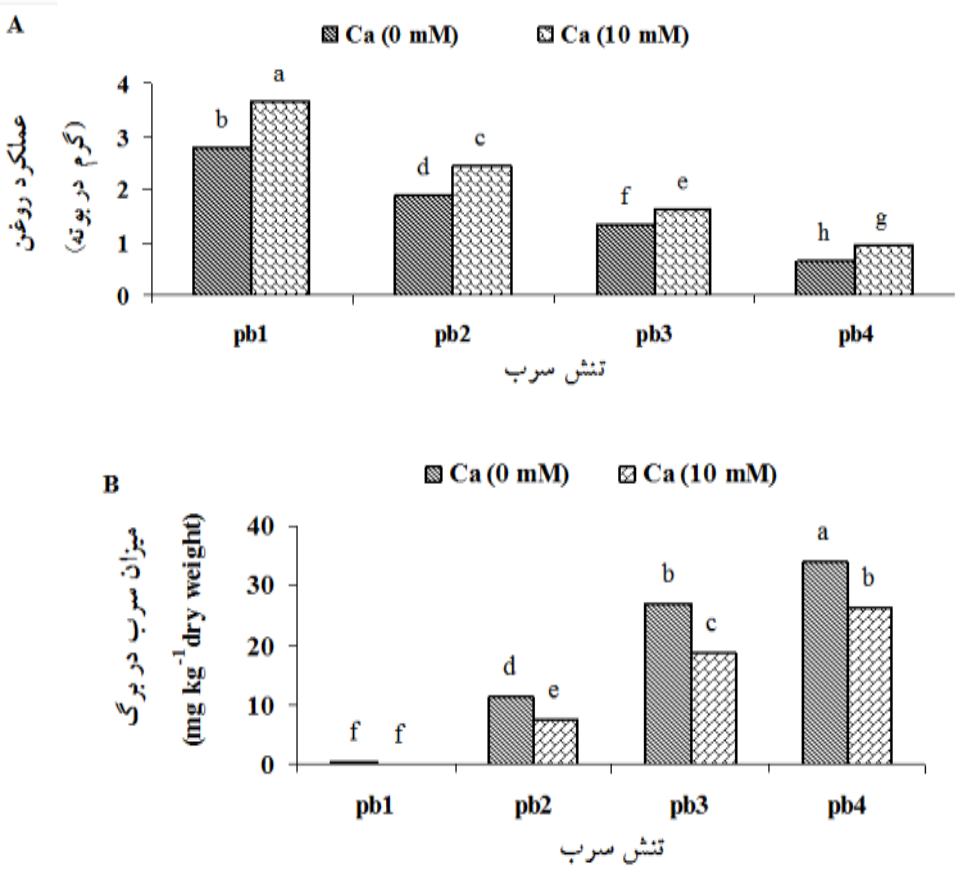
معنی‌داری بر عملکرد روغن در تنش سرب داشت و محلول پاشی روی در غلظت ۲۰ میلی‌مولار میزان عملکرد روغن را در جذب خاکی سرب ۸۱ درصد و در جذب برگی سرب ۷۱ درصد و در شدیدترین میزان آلودگی سرب (کاربرد خاکی همراه با محلول‌پاشی سرب) ۱۵٦ درصد نسبت به تیمار عدم کاربرد کود افزایش داد. همانطور که نتایج مقایسه میانگین (شکل 1A) نشان داد، کاربرد کود کلسیم در جذب خاکی سرب و جذب برگی سرب به ترتیب میزان عملکرد روغن دانه را ۳۰ و ۲٤ درصد نسبت به تیمار عدم کاربرد کود افزایش داد و در شدیدترین میزان آلودگی سرب (کاربرد خاکی همراه با محلول‌پاشی سرب) ٤۵ درصد افزایش داشت. اثر کاربرد توام کود کلسیم و روی نیز اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد داشت و بیشترین مقدار در کاربرد کلسیم (۱۰ میلی مولار) همراه با روی (۲۰ میلی مولار) به دست آمد (جدول ٤). محققین نیز گزارش کردند که کاربرد عناصر کم مصرف به صورت محلول پاشی موجب افزایش درصد روغن دانه در نباتات روغنی گردید (Bybordi *et al.*, 2001) . نتایج مطالعات کوه‌نورد و همکاران (۱۳۹۰)، حاکی از اثر مثبت محلول‌پاشی روی بر افزایش میزان روغن دانه گلرنگ می‌باشد. در بررسی اثر محلول‌پاشی کلسیم بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سورگوم نتایج نشان داد که کلسیم، وزن خشک گیاه و میزان کلروفیل در گیاه را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (صادقی لطف آبادی و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به مشاهدات احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، محلول‌پاشی کلسیم و روی بیشترین تاثیر را بر میزان روغن تولیدی در گیاه کنجد داشت و میزان آن را ٤۸ درصد افزایش داد. بر اساس نتایج می‌توان چنین استنباط کرد که کلسیم و روی از طریق تاثیر مثبت بر تولیدات فتوسنتزی موجب افزایش عملکرد دانه و روغن تولیدی در گیاه می‌شود.

آلودگی به سرب درصد پروتئین دانه را نیز به طور معنی داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۱)، نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که تنش سرب موجب افزایش درصد پروتئین دانه شد و بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب در کاربرد توام خاکی و محلول‌پاشی سرب (Pb4) و تیمار شاهد (Pb4) به دست آمد. جذب برگی روی، درصد پروتئین دانه را نسبت به تیمار عدم کاربرد کود در شرایط عدم تنش افزایش داد و بیشترین مقدار در کاربرد روی با غلظت ۲۰ میلی‌مولار به دست آمد (جدول ۳). کاربرد کلسیم تاثیری بر این صفت نداشت. نتایج این تحقیق نشان داد که با کاهش محتوای روغن، مقدار پروتئین دانه افزایش یافت که مطابق با نتایج سایر محققین است مبنی بر اینکه همبستگی منفی بین میزان پروتئین و میزان روغن دانه ناشی از رقابت آنها در اشغال فضای دانه در شرایط تنش وجود دارد (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹). محققین بیان کردند که در شرایط تنش میزان ذخیره‌سازی هیدروکربن‌ها و پروتئین‌ها کاهش می‌یابد و میزان کاهش هیدروکربن‌ها بیشتر از پروتئین در دانه می‌باشد، لذا درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد (قطاوی و همکاران، ۱۳۹۱). عنصر روی به دلیل تاثیر مثبتی که در سنتز و تولید کلروفیل و جذب بهتر بعضی عناصر مانند نیتروژن دارد، با افزایش فتوسنتز و تولید مواد غذایی بیشتر، موجب تحریک رشد و تجمع پروتئین در دانه می‌شود (قطاوی و همکاران، ۱۳۹۱).

عملکرد دانه: آلودگی به سرب اثرات منفی بر میزان عملکرد دانه داشت (جدول۱)؛ کمترین و بیشترین میزان عملکرد دانه به ترتیب در تیمار کاربرد توام خاکی و محلول پاشی سرب (Pb4) و تیمار شاهد (Pb1) به دست آمد و بین تیمار جذب برگی سرب و خاکی سرب تفاوت معنی‌دار در میزان تغییر عملکرد دانه مشاهد نشد (جدول۳). همان گونه که نتایج مقایسه میانگین جدول ۲ نشان می‌دهد، جذب برگی روی در تیمارهای تنش سبب کاهش اثرات نامطلوب سرب گردید، به طوری که در شدیدترین میزان آلودگی سرب (کاربرد خاکی همراه با محلول‌پاشی سرب) کاربرد کود روی (غلظت ۲۰ میلی‌مولار) میزان عملکرد دانه را ۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. بر اساس نتایج جدول ٤، کاربرد توام کلسیم و روی مقدار عملکرد دانه را نسبت به عدم کاربرد کود افزایش داد و بیشترین مقدار در کاربرد کلسیم (۱۰ میلی مولار) همراه با روی (۲۰ میلی مولار) به دست آمد. بر اساس نتایج این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]



شکل ۱- اثر محلول‌پاشی کلسیم و روی بر عملکرد روغن (A) و میزان سرب در برگ (B) در گیاه گلرنگ. مقادیر میانگین ۳ تکـرار ±STD است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح (P≤ ۰/۰۵) بر اساس آزمون LSD است

تحقیق، در شرایط تنش سرب، کاهش سنتز کلروفیل و تولیدات فتوسنتزی در گیاه موجب کاهش رشد و عملکرد می‌شود. نتایج مطالعات محققین نشان داد که در تنش سرب عدم توسعه و گسترش مناسب سیستم ریشه‌ای باعث کاهش سطوح جذب کنندهٔ مواد غذایی و محتوی آب می‌شود که این امر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، تنفس و فتوسنتز اثر گذاشته و در نهایت موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Sharma and Dubey, 2005). محققین بیان کردند که عنصر روی نقش موثری در رشد و توسعه گیاه و سنتز کلروفیل در شرایط تنش اکسیداتیو دارد (White, 2000; Cakmak, 2000). مطالعات انجام شده توسط Tsuji و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که عنصر روی با تاثیر بر واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سبب سمیت‌زدایی فلز سنگین و بهبود رشد و تولید گیاه شود. روی پس از جذب از راه روزنه‌ها و انتقال به سلولهای برگ در آنها ذخیره شده و در ادامه مراحل رشد توسط ناقل‌های پروتئینی خاصی درون گیاه منتقل می‌شود (Ishimaru *et al*., 2005). عناصر کم مصرف با افزایش فتوسنتز و بهبود دوام سطح برگ باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی می‌شود (قطاوی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به مشاهدات کوه نورد و همکاران (۱۳۹۰)، بیشترین عملکرد دانه در محلول‌پاشی روی در گیاه گلرنگ به دست آمد. نتایج مطالعات محققین حاکی از این است که کلسیم از طریق سنتز کلروفیل سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (صادقی لطف آبادی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین مطالعات انجام شده توسط احمدی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که محلول‌پاشی کلسیم و روی موجب افزایش عملکرد دانه گیاه کنجد شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

غلظت سرب در ریشه و برگ: تاثیر فلز سنگین سرب بر میزان تجمع این یون سمی در جدول ۲ نشان داده شده است. در این تحقیق میزان تجمع سرب در برگ و ریشه با افزایش غلظت سرب در محیط، به خصوص در تیمار کاربرد توام خاکی و محلول‌پاشی سرب، افزایش نشان داد و میزان تجمع سرب در برگ ٤٧/١ و در ریشه ٨٢/٢٠ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک در شدیدترین میزان آلودگی سرب (Pb4) به دست آمد. از طرف دیگر میزان تجمع سرب در ریشه، در تیمار جذب خاکی سرب بیشتر از جذب برگی سرب بود که این تفاوت مشاهده شده ممکن است نتیجه سمیت زدایی سرب به دنبال تجمع اولیه در بافت ریشه و کاهش انتقال سرب به قسمت‌های هوایی گیاه باشد که با نتایج Khudsar و همکاران (٢٠٠٠) همسو است. همانطور که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد در تیمار محلول‌پاشی سرب (Pb3) میزان تجمع سرب در ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد که می‌توان چنین استنباط کرد که بخشی از سرب جذب شده در برگ به ریشه گیاه منتقل شده است که نشان از قابلیت انتقال پذیری سرب به قسمت‌های مختلف گیاه می‌باشد. بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد در مناطق آلوده به سرب، این یون سمی هم از طریق برگ و هم از طریق خاک جذب گیاه می‌شود که اثرات نامطلوبی بر رشد گیاه خواهد داشت. محققین نیز گزارش کردند که در تیمار کاربرد خاکی سرب، بخش زیادی از این عنصر در ریشه‌ها تجمع می‌یابد (نورانی آزاد و همکاران، ١٣٩٠). نتایج این تحقیق نشان داد که تغذیه گیاه با کود روی و کلسیم در شرایط تنش سرب نیز موجب کاهش معنی‌دار در میزان تجمع سرب در برگ و ریشه گیاه گلرنگ گردید، جذب برگی روی در شدیدترین سطح تنش سرب (کاربرد خاکی همراه با محلول-پاشی سرب)، میزان تجمع سرب در برگ و ریشه را به ترتیب ٦٥ و ٤٠ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ٢). همچنین تغذیه گیاه با کود کلسیم میزان غلظت سرب در برگ را در شدیدترین سطح تنش (کاربرد خاکی و محلول‌پاشی سرب) ٢٢ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل 1B)، اما جذب برگی کلسیم بر تجمع سرب در ریشه در شرایط تنش سرب معنی‌دار نبود. کاربرد توام کلسیم و روی سبب کاهش میزان تجمع سرب در برگ گیاه گردید به طوری که بیشترین میزان در شرایط عدم کاربرد کود و کمترین مقدار در کاربرد کلسیم (١٠ میلی مولار) همراه با محلول‌پاشی روی (٢٠ میلی مولار) به دست آمد (جدول ٤). گزارش ارائه شده توسط Zheljazkov و همکاران (٢٠٠٦) نیز حاکی از آن است که تجمع مقادیر بالای سرب در ریشه موجب آسیب‌رسانی به غشا و انتقال آن به بخش‌های هوایی گیاه می‌شود. در مطالعه میزان غلظت سرب در رویشگاه‌های آلوده نتایج نشان داد که میزان جذب سرب در ریشه درختان بیشتر از اندام‌های هوایی بود (خادمی و کرد، ١٣٨٩). نتایج این تحقیق نشان داد که تغذیه گیاهی در شرایط تنش فلز سنگین سرب در کاهش تجمع سرب و انتقال‌پذیری آن به اندام‌های مختلف گیاه نقش موثری دارد. نتایج محققین نشان داد که عنصر روی از طریق تاثیر بر واکنش‌های فیزیولوژکی گیاه و اثرات آنتاگونیستی که با یون سرب در گیاه دارد؛ سبب حفظ بقاء گیاه در شرایط تنش می‌شود (He *et al.*, 2004). همچنین محققین بیان کردند که کلسیم از طریق رقابت با جریان یون فلزی در گیاه جذب و انتقال فلزات سنگین سرب و نیکل را به طور معنی‌داری کاهش داد (Garland and Wilkins, 1981; Siddiqui *et al.*, 2011).

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در محیط آلوده به سرب، جذب برگی و خاکی سرب موجب تجمع این عناصر در بافت‌های گیاه و سبب کاهش عملکرد تولیدی در گیاه می‌شود. در شرایط تنش، تغذیه گیاه گلرنگ می‌تواند از طریق تاثیر بر سیستم دفاعی گیاه در جهت سمیت زدائی رادیکال‌های آزاد و کاهش جذب و انتقال یون‌های سمی موجب افزایش مقاومت و بهبود عملکرد دانه و روغن تولیدی در گیاه گلرنگ شود.

منابع:

احمدی، ج.، سیفی، م. م. و امینی دهقی، م. (١٣٩١) تأثیر محلول‌پاشی ریزمغذی های آهن، روی و کلسیم بر عملکرد دانه و روغن ارقام

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

کنجد، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۵: ۱۱۵-۱۳۰.

چراغی، م.، صفاهیه، ع.، دادالهی سهراب، ع.، غانمی، ک. و دورقی، ع. (۱۳۹۲) تغییرات غلظت فلزات سنگین در اندام‌های گیاه حرا (*Avicennia marina*) و رسوبات رویشگاه بردستان بندر دیر رویشگاه بردستان بندر دیر، مجله علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب ۵: ٤٥-٥٤.

خادمی، ا. و کرد، ب. (۱۳۸۹) نقش گونه‌های درختی پهن برگ (چنار و زبان گنجشک) در کاهش آلودگی ناشی از سرب، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی ۵: ۱-۱۲.

صادقی لطف آبادی، س.، کافی، م. و خزاعی، ح. ر. (۱۳۸۹) بررسی اثرات تعدیل کنندگی کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط تنش شوری، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ٢٤: ۳۸۵-۳۹۳.

طباطبائیان، ج. (۱۳۹۳) بررسی تأثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاه گوجه‌فرنگی، نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی ۲۱: ۱۲۵-۱۳۷.

عابدی باباعربی، س.، موحدی دهنوی، م.، یدوی، ع. و ادهمی (۱۳۹۰) تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ٤: ۷۵-۹۵.

عطارزاده، م.، رحیمی، ا.، ترابی، ب. و دشتی، ح. (۱۳۹٤) تاثیر محلو لپاشی نیترا ت کلسیم، پتاسیم دی هیدروژن فسفات و سولفات منگنز بر تجمع یونی و ویژگی‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط تنش شوری، نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی) ۱۳۳: ۱۰۷-۱٤۲.

قطاوی، ح.، معافپوریان، غ. و بحرانی، ع. (۱۳۹۱) تاثیر محلول‌پاشی سولفات روی و دور آبیاری برعملکرد، اجزای عملکرد و میزان پروتئین ذرت دانه‌ای، مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ٤: ۳۷-٤۸.

کوه نورد، پ.، جلیلیان، ج. و پیرزاد، ع. (۱۳۹۰) اثر محلول پاشی عناصر کم مصرف بر برخی صفات زراعی گلرنگ در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک، مجله دانش زراعت ۳: ۱۵-۲۵.

ناصری، ر.، فصیحی، خ.، حاتمی، ع. و پورسیاه بیدی، م. م. (۱۳۸۹) اثر آرایش کاشت بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد، میزان روغن و پروتئین گلرنگ پاییزه رقم سینا در شرایط دیم، مجله علوم زراعی ایران ۱۲: ۲۲۷-۲۳۸.

نورانی آزاد، ح.، حاجی باقری، م. ح.، کفیل زاده، ف. و نجفیان، م. (۱۳۹۰) مطالعه برخی ویژگی های فیزیولوژیکی و بیوشیمیائی یک رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) به سمیت سرب، نشریه علمی و پژوهشی گیاه و زیست بوم ۲۷: ٦۳-۷٤.

Abdul Jaleel, C., Riadh, K., Gopi, R., Manivannan, P., Ines, J., Al-Juburi, H. J., Chang-Xing, Z., Hong-Bo, S. and Panneerselvam, R. (2009) Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constrains. Acta Physiologia Plantarum 31: 427-436.

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 Agricultural Research 5: 416-423.

Amirmoradi, Sh., Rezvani, P., Moghadam, P., Koocheki. A., Danesh, Sh. and Fotovat, A. (2012) Effect of Cadmium and Lead on Quantitative and Essential Oil Traits of Peppermint (*Mentha piperita* L.). Notulae Scientia Biologicae 4:101-109.

Bhuiyan, N., Liu, W., Liu, G., Selvaraj, G., Wei, Y., King, J. (2007) Transcriptional regulation of genes involved in the pathways of biosynthesis and supply of methyl units in response to powdery mildew attack and abiotic stresses in wheat. Plant Molecular Biology 64: 305-318.

Bor, M., Özdemir, F. and Turkan, I. (2003) The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet (*Beta maritima* L.). Plant Science 164: 77-84.

Bybordi, A., Malakouti, M. J. and Rezai, H. (2001) Effect of Zn, B and Mn with soil application and foliar application methods on seed yield of canola in Miane. Journal Water and Soil Science 12: 158-169.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

Cakmak, I. (2000) Possible role of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist 146: 185–205.

Chengbin, X., Xuemei, L. and Lihong, Z. h. (2013) The effect of calcium chloride on growth, photosynthesis, and antioxidant responses of *Zoysia japonica* under drought conditions. Plos one 8: 1-10.

Delian, E., Chira, A., Badulescu, L. and Chira, L. (2014) Calcium alleviates stress in plants: insight into regulatory mechanisms. AgroLife Science Journal 3: 19-28.

Estrella-Gomez, N., Mendoza-Cozatl, D., Moreno-Sanchez, R., Gonzalez Mendoza, D., ZapataPerez, O., Hernandez, A. M. and Santamaria, 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: 320-328.

Garland, C. J. and Wilkins, D. A. (1981) Effect of calcium on the uptake and toxicity of lead in *Hordeum vulgare* l. and *Festuca ovina* l. New Phytologist 87: 581-593.

Gisbert, G., Ros, R., Haro, A. D, Walker, D. J., Bernal, M. P. and Serrano, R. (2003) A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation. Biochemical and Biophysical Research Communications 303: 440– 445.

Hall, J. L. (2002) Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. Journal Exprimental Botany 53: 1–11.

He, P. P., Lv, X. Z. and Wang, G. Y. (2004) Effects of Se and Zn supplementation on the antagonism against Pb and Cd in vegetables. Environment International 30: 67-72.

Ho, S., Chao, Y., Tong, W. and Yu, S. (2001) Sugar coordinately and differentially regulates growth-and stress-related gene expression via a complex signal transduction network and multiple control mechanisms. Plant Physiology 125: 877-890.

Ishimaru, Y., Suzuki, M., Kobayashi, T., Takahashi, M., Nakanishi, H., Mori, S. and Nishizawa, N. K. (2005) OsZIP-4, a novel zinc-regulated zinc transporter in rice. Journal of Experimenatal Botany 56: 3207-3214.

Islam, E., Liu, D., Li, T., Yang, X., Jin, X., Khan, M. A., Mahmood, Q., Hayat, Y. and Imtiaz, M. (2011) Effect of Pb toxicity on the growth and physiology of two ecotypes of *Elsholtzia argyi* and its alleviation by Zn. Environmental Toxicology 26: 403–416.

Kader, A. and Mona, G. (2013) Effect of Sulfur Application and Foliar Spraying with Zinc and Boron on Yield, Yield Components, and Seed Quality of Peanut (*Arachis hypogaea* L.). Research journal of agriculture and biological sciences. 9: 127-135.

Khudsar, T., Uzzafar, M., Soh, W. Y. and Iqbal, M. (2000) Morphological and anatomical variations of *Cajanus cajan* (Linn.) Huth raised in cadmium-rich soil. Journal of Plant Biology 43: 149-157.

Kochert, G. (1978) Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Hand book of physiological Methods. (Eds Helebust, J. A. and Craigie J. S). Cambridge University press, Cambridge.

Levent Tun, A., Kayab, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, I. and Yagmur, B. (2007) The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. Environmental and Experimental Botany 59: 173–178.

Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press Limited Harcourt Brace and Company, London.

Ondo, J. A., Prudent, P., Menye Biyogo, R., Domeizel, M., Vassalo, L. and Eba, F. (2012) Effects of Cu and Zn supplementation on metal uptake by *Hibiscus sabdariffa*. Research Journal of Chemical Sciences. 2: 45-50.

Ong, G. H., Yap, C. K., Maziah, M. and Tan, S.G. (2013) Synergistic and Antagonistic Effects of Zinc Bioaccumulation with Lead and Antioxidant Activities in *Centella asiatica*. Sains Malaysiana 42: 1549–1555.

Polle, A., Eiblmeier, M., Sheppard, L., Murray, M. (1997) Responses of Antioxidative Enzymes to Elevated Co_2 in Leaves of Beech (*Fagus Sylvatica* L.) Seedlings Grown Under a Range of Nutrient Regimes. Plant, Cell and Environment 20: 1317–21.

Rahimizadeh, M., Habibi, D., Madani, H., Mohammadi, G. N., Mehraban, A. and Sabet, A. M. (2007) The Effect of Micronutrients on Antioxidant Enzymes Metabolism in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Drought Stress. Helia 30: 167-174.

Sato, F., yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Uragami, A. and Tokud, S. (2004) Physiologycal responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. Scientia Horticulture 101: 349-357.

Seregin I. V., Ivanov, V. B. (2001) Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology 48: 523-544.

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H. and Basalah, M. O. (2011) Interactive effect of calcium and gibberellin on nickel tolerance in relation to antioxidant systems in *Triticum aestivum* L. Protoplasma 248: 503-11.

Tsuji, N., Hirayanagi, N., Okada, M., Miyasaka, H., Hirata, K., Zenk, M. H. and Miyamoto, K. (2002) Enhancement of tolerance to heavy metals and oxidative stress in *Dunaliella tertiolecta* by Zn-induced phytochelatin synthesis. Biochemical and Biophysical Research Communications 293: 653–659.

White, P. J. (2000) Calcium channels in higher plants. Biochimica et Biophysica Acta - Biomemberances 1465: 171-189.

Wu, Y. and Hendershot, W. H. (2010) The effect of calcium and pH on nickel accumulation in and rhizotoxicity to pea (*Pisum sativum* L.) rootempirical relationships and modeling. Environmental Pollution. 158: 1850-1856.

Wu, Y., Liang, Q. and Tang, Q. (2011) Effect of Pb on growth, accumulation and quality component of tea plant. Procedia Engineering. 18: 214 – 219.

Yadav, S. K. (2010) Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany 76: 167-179.

Zafar, S., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H. R., Zahedi, H. (2014) Effect of zinc and sulfur foliar applications on physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water deficit stress. International Journal of Biosciences 12: 87-96.

Zheljazkov, V. D., Craker, L. E. and Xing, B. (2006) Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. Environmental and experimental botany 58: 9-16.

Ziaei, N., Rezaiatmand, Z. and ranjbar, M. (2014) Study of aluminum toxicity on photosynthetic pigment, soluble sugars and proline contents in two sunflower varieties. Reserarch on Crop Ecophysiology Journal 9: 105 – 113.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]

Compararison of the effects of zinc and calcium foliar application on agronomical and physiological characteristics of safflower in foliar and soil treatmens of lead

Parisa Jamshidi [1], Mehdi baradaran Firoozabadi [1]*, Hakimeh Oloumi [2] and Hormazd Naghavi[3]

[1]Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[2]Assistant professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran
[3]Assistant professor scientific, soil and water research institute, Agricultural and Natural Resources Research and Education center of Kerman, Kerman, Iran
(Received: 20/06/2016, Accepted: 27/11/2016)

Abstract
To study the effects of foliar application of zinc and calcium on physiological and agronomical characteristics of safflower in lead stress, an experiment was laid out in a factorial based on randomized complete block with three replications at the greenhouse of Agricultural Research center of Kerman. Treatments included four methods of application of lead (control, soil application of lead, foliar application of lead and combined soil and foliar application of lead), zinc foliar in three concentrations (0, 10, 20 mM) and calcium foliar in two levels (0 and 10 mM). The results showed that under lead stress, relative water contents, seed yield and oil yield were decreased and the activity of peroxidase, soluble sugars content, percent of seed protein and lead accumulation in leaf and root showed significant increase. The combined soil and foliar application of lead had more adverse effects on leaves and soil absorption of lead only. In lead stress, zinc foliar significantly increased the activity of peroxidase, relative water contents, soluble sugars content, percent of seed protein, seed yield and oil yield,whereas reduced lead accumulation in leaf and root. In lead stress, calcium application increased oil yield and decreased lead accumulation in leaf. So it seemed that application of calcium and zinc was effective against the toxicity of lead by improvement in physiological processes leading to the tolerance of the plant to lead stress.

Key words: Lead accumulation, Percent of seed protein, Seed yield, Enzymatic activity, Soluble sugars

*Corresponding author: mbaradaran@Shahroodut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.12.5]