مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۴، بهار ۱۴۰۲ (۱۳۹- ۱۲۷)

تجمع غلظت‌های سرب و روی در گیاه اسپند و اثر آن بر رشد گیاه

کبری مهدویان [۱]*

k.mahdavian@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۴/۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۷**

چکیده

زمینه هدف: وجود مقادیر سمی سرب در محیط زیست گیاهان باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک شده و می‌تواند موجب کاهش توان رشد گیاه و در حالت شدیدتر باعث از بین رفتن گیاه شود. همچنین روی یکی از عناصر ضروری برای گیاهان است اما تجمع بیش از حد روی در بافت‌های گیاهی، باعث تغییر در مراحل رشد گیاه می‌شود. گیاهان حساس در چنین شرایطی آسیب دیده و از بین می‌روند در حالی که گیاهان مقاوم در این شرایط همچنان به رشد و تولید مثل خود ادامه می‌دهند. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر غلظت‌های بالای سرب و روی بر روی پارامترهای رشد، مقدار کلروفیل و کاروتنوئید، تجمع و تحمل گیاه اسپند می‌باشد.

روش بررسی: گیاهان اسپند به مدت ۱۴ روز تحت تیمار غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سرب و غلظت‌های ۰، ۱، ۵، ۱۰،۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در لیتر روی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند افزایش غلظت سرب و روی باعث کاهش طول اندام هوایی، ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه می‌شود اما میزان تجمع سرب و روی در اندام هوایی و ریشه افزایش می‌یابد. همچنین مقدار کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید نیز تحت تیمار غلظت‌های مختلف سرب و روی در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد کاهش یافت.

بحث و نتیجه گیری: بنابراین از این تحقیق می‌توان نتیجه گیری کرد که گیاه اسپند توانایی بالایی در تجمع و تحمل سرب و روی دارد و می‌تواند جهت گیاه پالایی سرب و روی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اسپند، پارامترهای رشد، تجمع سرب و روی.

۱- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

Human and Environment, No. 64, Spring 2023

Accumulation of lead and zinc concentrations in harmal plant and its effect on plant growth

Kobra Mahdavian [1 *]

k.mahdavian@pnu.ac.ir

Admission Date: June 28, 2021 Date Received: May 23, 2020

AbstractBackground and Objectives: Toxic amounts of lead in the environment of plants cause physiological changes and can decrease the growth potential of the plant and in a more severe manner cause the plant to die. Zinc is also an essential nutrient for plants, but excessive accumulation of zinc in plant tissues can alter plant growth stages. In such conditions, susceptible plants are damaged and killed while resistant plants continue to grow and reproduce in these conditions. The aim of this study was to investigate the effect of high concentrations of Pb and Zn on growth, amount of chlorophyll and carotenoid, accumulation and tolerance parameters of harmal.

Material and Methodology: Harmal plants were treated with concentrations of 0, 5, 10, 25, 50, 100 and 200 mg/l for 14 days and concentrations of 0, 1, 5, 10, 20, 40 and 80 mg/l Zn.

Findings: The results showed that increasing lead and zinc concentration decreased shoot length, root length, shoot dry weight and root but increased lead and zinc accumulation in shoot and root. Chlorophyll a, b, total and carotenoid contents also decreased significantly under different concentrations of Pb and Zn compared to the control.

Discussion and Conclusion: Therefore, it can be concluded from this study that harmal has high ability to accumulate and tolerate lead and zinc and can be used for phytoremediation of lead and zinc.

Key words: Harmal, Growth parameters, Lead and Zinc accumulation.

1- Department of Biology, Faculty of Science, Payame Noor University, Tehran, Iran.* (*Corresponding Author*)

مقدمه

فلزات سنگین در اثر آلودگی‌های صنعتی نظیر معدن کاوی و فرایندهای ذوب فلزی، آلودگی‌های کشاورزی شامل استفاده ازحشره کش‌ها و فاضلاب‌های شهری و آلودگی‌های شهری حاصل استفاده از فلز سنگین در مواد سوختی، رنگ‌ها و دیگر مواد در خاک افزایش می‌یابند (۱، ۲). گیاهان با استفاده از دو نوع راهبرد، اجتناب و تحمل در برابر سمیت یون‌های فلزی مقاومت می‌کنند. بدیهی است که گونه‌های مختلف از نظر جذب فلز با یکدیگر تفاوت دارند و برای هر گونه نیز جذب فلز با توجه به نوع آن متفاوت است. تعداد کمی از گیاهان قادر به تحمل غلظت‌های بالای فلزات سنگین در خاک می‌باشند. چنین گیاهانی که فلزات را در غلظت‌های بالا در اندام‌های هوایی نسبت به ریشه خود و بدون بروز هر گونه علائم سمیت تجمع می‌دهند، گیاهان بیش تجمع دهنده نامیده می‌شوند (۳).

گیاهانی که بتوانند بیش از ۳۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی، ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم مس، کبالت و کروم، ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم آرسنیک، نیکل و سرب؛ و برای نقره ۱ میلی گرم بر کیلوگرم در وزن خشک را در اندام‌های هوایی خود تجمع دهند به عنوان بیش تجمع دهنده آن فلز محسوب می‌شوند (۴)، در حالیکه این غلظت‌ها برای گیاهان معمولی کشنده می‌باشد. از کل گونه‌های گیاهان آوندی، حدود ۵۰۰ گونه بیش تجمع دهنده فلز شناسایی شده که بیشتر آنها از خانواده شب بو و به ویژه از جنس *Alyssum* و *Thlaspi* می‌باشند (۵). میانگین غلظت سرب در برگ اکثر گیاهان روئیده بر خاک‌های معمولی کمتر از ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم است. بیش تجمع دهندگی سرب پدیده نادری می‌باشد که ناشی از حلالیت کم ترکیبات سرب و همچنین رسوب سریع آن بوسیله سولفات و فسفات در سیستم ریشه است (۶). گونه‌های گیاهی بیش تجمع دهنده سرب شامل *Armeria maritima*، *Polycarpaea synandra* و *Thlaspi caerulescen* هستند (۵). همچنین گونه‌های گیاهی *Arenaria patula*، *Cardaminopsis halleri*، *Haumaniasturm katangense*، *Thlaspi alpestre* و *Viola calaminaria* بیش تجمع دهنده روی هستند (۷).

وجود مقادیر سمی فلزات سنگین در محیط زیست گیاهان باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک شده و می‌تواند موجب کاهش توان رشد گیاه و در حالت شدیدتر باعث از بین رفتن گیاه شود. گیاهان حساس در چنین شرایطی آسیب دیده و از بین می‌روند در حالی که گیاهان مقاوم در این شرایط همچنان به رشد و تولید مثل خود ادامه می‌دهند. علائم سمیت سرب در گیاه شامل جلوگیری از رشد، کلروز و سیاه شدن سیستم ریشه می‌باشد. سرب در غلظت‌های کم مانع از رشد ریشه و بخش‌های هوایی گیاه می‌شود (۸). همچنین سمیت سرب ممکن است باعث ایجاد ریشه‌های متورم، خمیده، کوتاه و پر از گره شود که افزایش تعداد ریشه‌های ثانویه در واحد طول ریشه را نشان می‌دهد (۸). گیاهان تحت استرس شدید سمیت سرب، علائم آشکار مهار رشد با برگ‌های کمتر، کوچکتر و شکننده‌تر متمایل به ارغوانی تیره را نشان می‌دهند (۹). علاوه بر این، اثر سمیت سرب با توجه به گونه‌های گیاهی متفاوت است، مثلا گونه‌های بیش تجمع دهنده به طور طبیعی سمیت سرب بیشتری را نسبت به گیاهان حساس تحمل می‌کنند. روی به عنوان یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان در غلظت حیاتی خود سبب رشد بیشتر ریشه می‌شود، در حالی که غلظت‌های بالای آن رشد ریشه را مهار می‌کند. قطور شدن ریشه، تغییر رنگ نوک ریشه و جلوگیری از طویل شدن و تقسیم سلول‌های مریستمی ریشه از مهمترین علائم سمیت روی بر ریشه‌ها هستند (۱۰). غلظت‌های بالای سرب در گیاهان موجب تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود، که موجب آسیب به غشای لیپیدی می‌شود که در نهایت منجر به آسیب رساندن به فرایندهای فتوسنتزی، کلروفیل و پارامترهای رشد گیاه می‌شود. بسیاری از محققان نشان داده‌اند که استرس اکسیداتیو باعث عدم تعادل مابین تولید رادیکال‌های آزاد و تولید آنتی‌اکسیدان‌ها برای سمیت‌زدایی می‌شود (۱۱). گیاهان به شیوه‌های مختلفی مانند جذب انتخابی فلز، اتصال فلز به سطح ریشه، اتصال فلز به دیواره سلولی و القای آنتی اکسیدان‌ها به

اثرات سمی فلز سنگین پاسخ می‌دهند. انواع مختلفی از آنتی اکسیدان‌ها از قبیل تیول غیر پروتئینی (NP-SH)، سیستئین، گلوتاتیون، آسکوربیک اسید، پرولین و آنزیم‌های آنتی اکسیدان از قبیل سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، کاتالاز و گلوتاتیون ردوکتاز وجود دارد که ممکن است گیاهان با آن‌ها به فلز سنگین پاسخ دهند. با این حال، واکنش بسته به گونه‌های گیاهی، غلظت فلز و شرایط مواجهه متفاوت خواهد بود (۱۲). حضور فلزات سنگین در محیط در یک غلظت معینی به عنوان عامل تنش‌زای محیطی سبب تحریک سنتز بیشتر کاروتنوئیدها در گیاه می‌شود در حالی‌که، غلظت بالای این ترکیبات از طریق تخریب و بهم ریختگی ساختار کاروتنوئیدها از میزان آن‌ها در گیاه می‌کاهد. اسپند گیاه دارویی چند ساله یا پایا از تیره Zygophylaceae است که در بردارنده مواد ضد میکروبی از نوع فلاونوئیدها و آلکالوئیدها می‌باشد (۱۳). هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر غلظت‌های بالای سرب و روی بر روی پارامترهای رشد، مقدار کلروفیل و کاروتنوئید، تجمع و تحمل گیاه دارویی اسپند می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت کشت بذر اسپند، گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۹ سانتیمتر حاوی مخلوطی از پرلیت ریز و درشت تهیه گردید. در هرگلدان تعداد ۶ عدد بذرگیاه اسپند کاشته شد و ۳ تکرار در هر غلظت از تیمار در نظر گرفته شد. پس از گذشت ۵ روز آبیاری با آب مقطر گیاهچه‌های حاصل به مدت ۴۰ روز با محلول غذایی تغییر یافته ۰/۵ غلظت هوگلند تغذیه شدند. بعد از گذشت ۴۰ روز، گیاهان به دت ۱۴ روز در معرض تیمار سرب (غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰، ۲۵ ، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر $Pb(NO_3)_2$) و روی (غلظت های ۰، ۱، ۵، ۱۰،۲۰، ۴۰۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر $ZnSO_4$) قرار گرفتند. در مورد تیمار سرب محلول آزمایش بدون $NH_4H_2PO_4$ و Fe(Na)-EDTA به دلیل جلوگیری از رسوب فسفات سرب و تشکیل کمپلکس Pb-EDTA ناشی از جایگزینی آهن تهیه گردید. pH محلول غذایی و محلول غذایی حاوی سرب در محدوده ۶/۰-۵/۵ تنظیم شد. محلول‌های غذایی هر هفته با محلول‌های تازه جایگزین گردید و گیاهان در اتاقک کشت با دمای متناوب ۲۵/۲۰ درجه سانتی‌گراد (شب/روز)، تناوب نوری (۱۶ ساعت نور)، شدت نور ۶۵ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه رشد کردند (۱۴). همچنین آزمایش مربوط به هر عنصر به صورت جداگانه صورت گرفته است.

در پایان تیماردهی، طول ساقه و ریشه با استفاده از خط کش اندازه‌گیری شد. طول ساقه از یقه تا قسمت انتهای ساقه و طول ریشه از یقه تا انتهای ریشه در نظر گرفته شد. برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد و مقادیر بر اساس سانتیمتر گزارش شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، اندام هوایی و ریشه گیاه به طور جداگانه به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد و پس از خشک شدن کامل نمونه‌ها، وزن خشک آنها اندازه گیری شد.

تعیین میزان تجمع فلز در بخش هوایی و ریشه گیاه بر اساس روش Reeves و همکاران (۱۹۹۹) اندازه گیری شد (۱۵). به منظور تعیین و اندازه گیری میزان فلز تجمع یافته در بخش هوایی و ریشه گیاه بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ گرم از گیاهان، خشک شده، خرد شده و درون لوله‌های آزمایش شیشه‌ای ریخته شدند. سپس به هر نمونه ۴ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۳۷ درصد، ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد، ۱/۵ میلی لیتر پرکلریک اسید، ۱/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن اضافه شد، سپس نمونه‌ها در بن‌ماری یا حمام شنی در دمای ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار داده شدند. در این مرحله محلول کاملا بیرنگ می‌شود. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود نگهداری شدند. سپس محلول‌ها توسط قیف و کاغذ صافی، صاف شده و حجم محلول به کمک آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار عناصر سرب، روی و نقره موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی (Shimadzu 6200 AAS) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

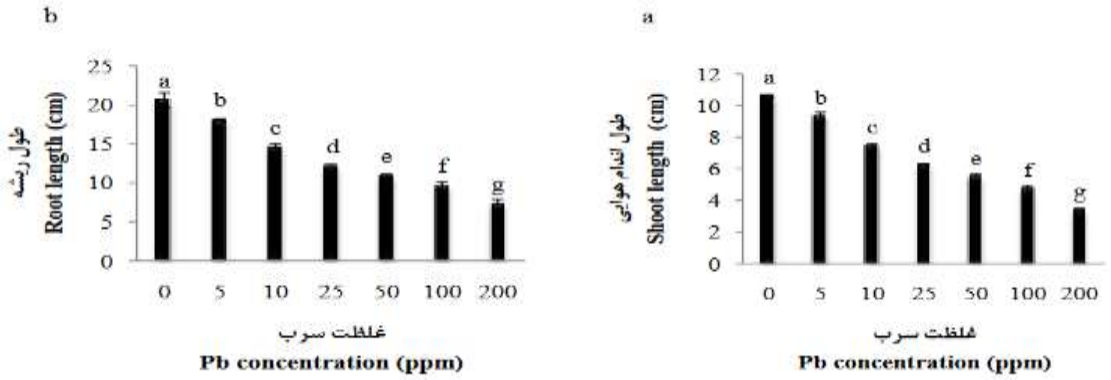
اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام پذیرفت (۱۶).

تجزیه و تحلیل آماری: با توجه به اینکه آزمایش هر عنصر به صورت جداگانه صورت گرفته است، آنالیز آماری در این پژوهش

بر اساس طرح کاملاً تصادفی انجام و برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون دانکن با ضریب اطمینان ۹۵ درصد انجام گردید.

نتایج

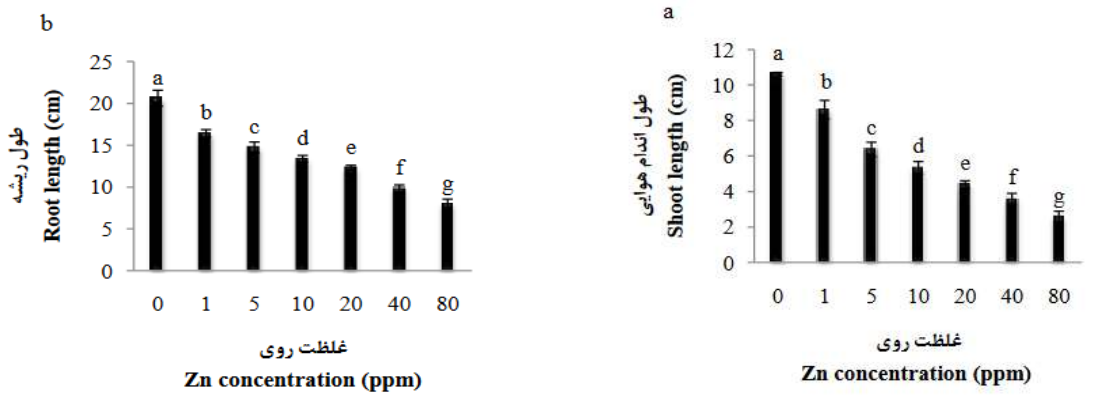
طبق شکل ۱، تیمار سرب باعث کاهش معنی‌دار در سطح ۵ درصد طول اندام هوایی و ریشه گیاه نسبت به شاهد شده است. بیشترین طول اندام هوایی و ریشه در تیمار سرب صفر میلی‌گرم در لیتر و کمترین طول اندام هوایی و ریشه در تیمار سرب ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد.



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف سرب بر طول اندام هوایی (a) و طول ریشه (b) گیاه اسپند. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشترک، بیان کننده تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 1. Effect of different concentrations of lead on shoot length (a) and root length (b) of the harmal plant. The values are the mean of 3 replicates ± standard deviation. Non-common letters indicate a significant difference using Duncan's test.

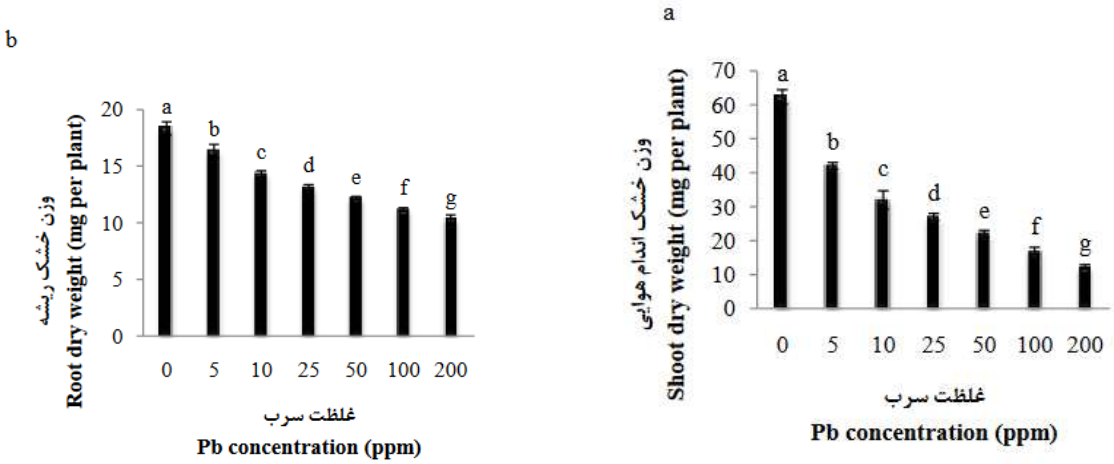
همچنین طبق شکل ۲، تیمار روی باعث کاهش معنی‌دار در سطح ۵ درصد طول اندام هوایی و ریشه گیاه نسبت به شاهد شده است. بیشترین طول اندام هوایی و ریشه در تیمار روی صفر میلی‌گرم در لیتر و کمترین طول اندام هوایی و ریشه در تیمار روی ۸۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد.



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف روی بر طول اندام هوایی (a) و طول ریشه (b) گیاه اسپند. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشترک، بیان کننده تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 2. Effect of different concentrations of zinc on shoot length (a) and root length (b) of the harmal plant. The values are the mean of 3 replicates ± standard deviation. Non-common letters indicate a significant difference using Duncan's test.

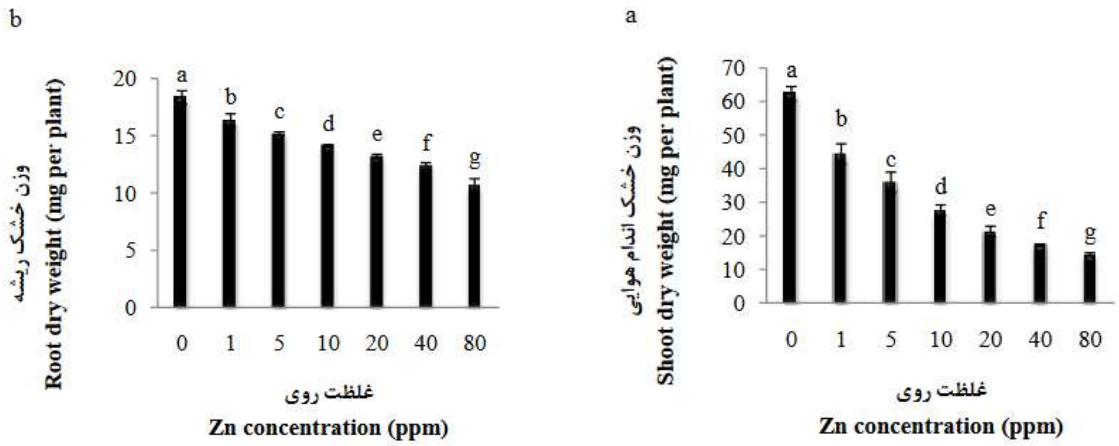
با توجه به شکل ۳ مشخص است که تیمار سرب در تمام غلظت‌ها باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه اسپند نسبت به شاهد شده است. کمترین وزن خشک در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب نسبت به شاهد مشاهده شد.



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف سرب بر وزن خشک اندام هوایی (a) و وزن خشک ریشه (b) گیاه اسپند. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشترک، بیان کننده تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 3. Effect of different concentrations of lead on shoot dry weight (a) and root dry weight (b) of the harmal plant. The values are the mean of 3 replicates ± standard deviation. Non-common letters indicate a significant difference using Duncan's test.

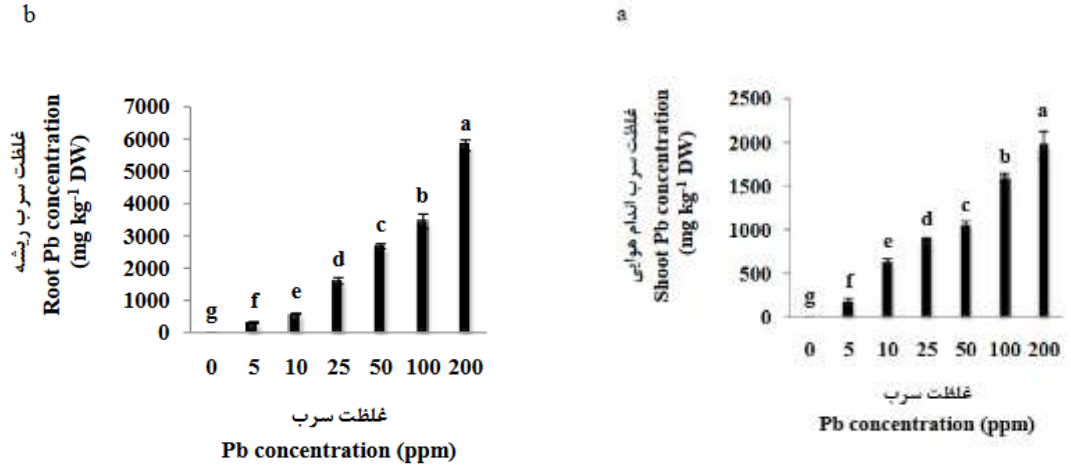
همچنین با توجه به شکل ۴ مشخص است که تیمار روی در تمام غلظت‌ها باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه اسپند نسبت به شاهد شده است. کمترین وزن خشک در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر روی نسبت به شاهد مشاهده شد.



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف روی بر وزن خشک اندام هوایی (a) و وزن خشک ریشه (b) گیاه اسپند. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشترک، بیان کننده تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 4. Effect of different concentrations of zinc on shoot dry weight (a) and root dry weight (b) of the harmal plant. The values are the mean of 3 replicates ± standard deviation. Non-common letters indicate a significant difference using Duncan's test.

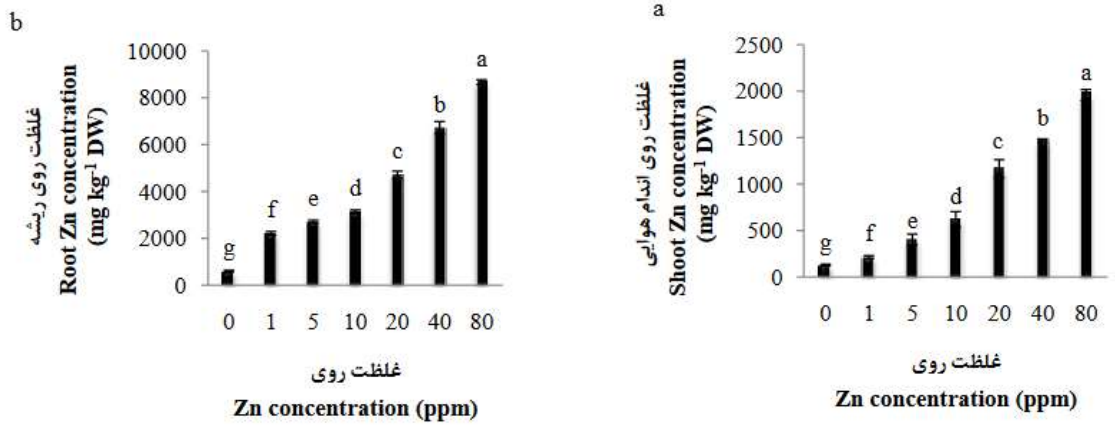
بر اساس شکل ۵؛ تیمار سرب در تمام غلظت‌ها باعث افزایش معنی‌دار غلظت سرب تجمع یافته در اندام هوایی و ریشه نسبت به گیاهان شاهد شده است. بیشترین غلظت سرب اندام هوایی و ریشه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب مشاهده شد.



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف سرب بر محتوای سرب اندام هوایی (a) و محتوای سرب ریشه (b) گیاه اسپند. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشترک، بیان کننده تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 5. Effect of different concentrations of lead on shoot Pb concentration (a) and root Pb concentration (b) of the harmal plant. The values are the mean of 3 replicates ± standard deviation. Non-common letters indicate a significant difference using Duncan's test.

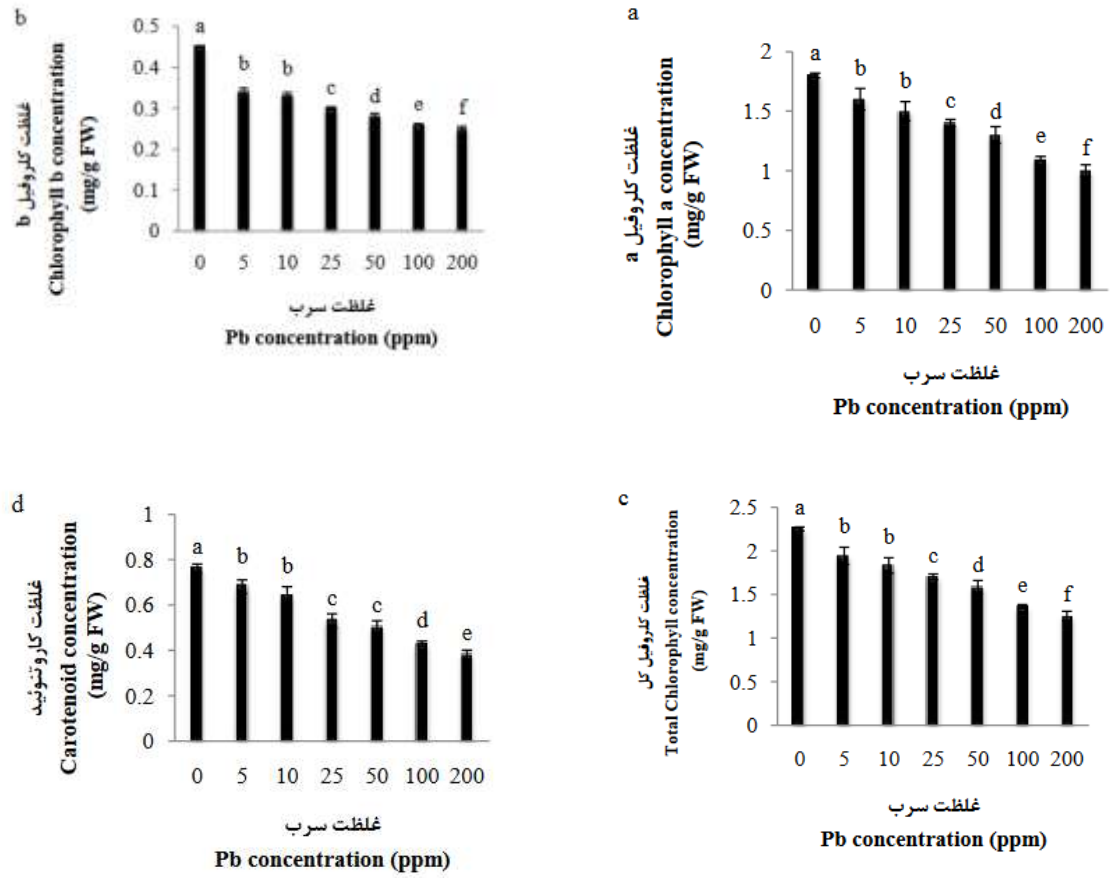
بر اساس شکل ۶؛ تیمار روی در تمام غلظت‌ها باعث افزایش معنی‌دار غلظت روی تجمع یافته در اندام هوایی و ریشه نسبت به گیاهان شاهد شده است. بیشترین غلظت روی اندام هوایی و ریشه در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر روی مشاهده شد.



شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف روی بر محتوای روی اندام هوایی (a) و محتوای روی ریشه (b) گیاه اسپند. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشترک، بیان کننده تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 6. Effect of different concentrations of zinc on shoot Pb concentration (a) and root Pb concentration (b) of the harmal plant. The values are the mean of 3 replicates ± standard deviation. Non-common letters indicate a significant difference using Duncan's test.

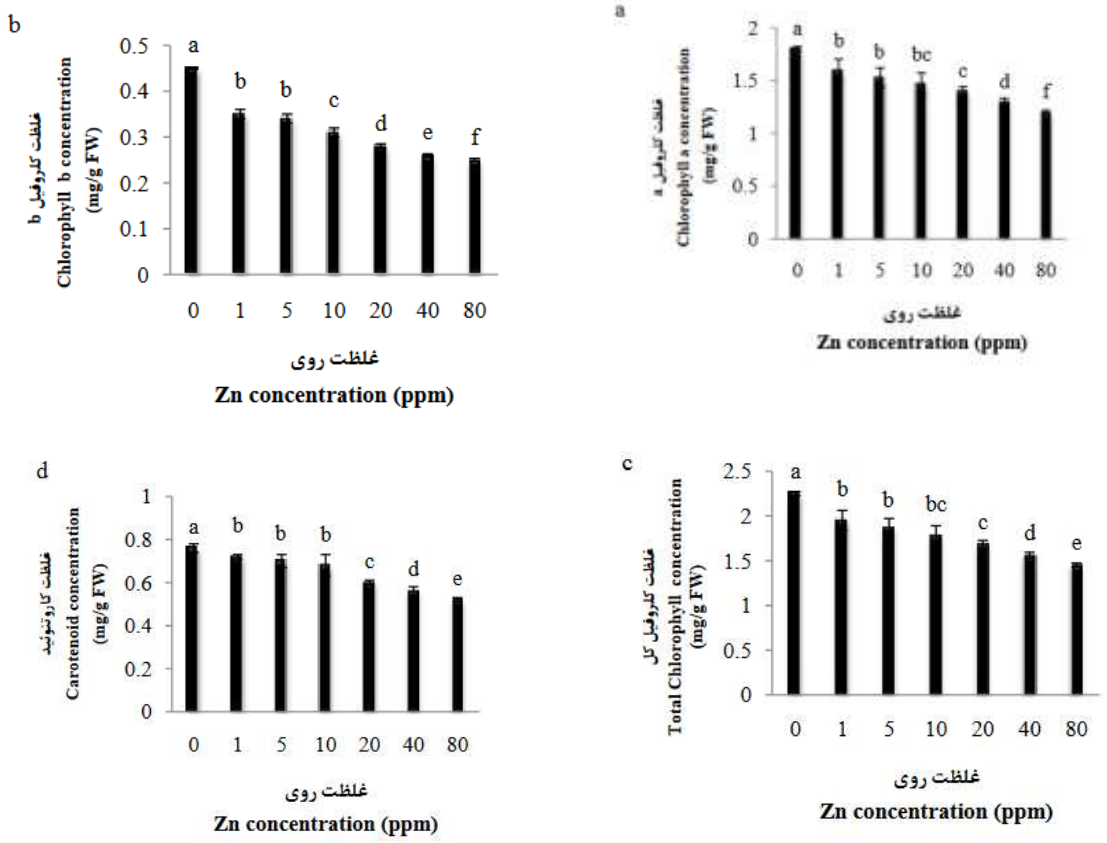
بر اساس شکل ۷؛ تیمار سرب در تمام غلظت‌ها باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید نسبت به گیاهان شاهد شده است. بیشترین مقدار کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهان شاهد و کمترین مقدار آن در تیمار سرب ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شده است.



شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف سرب بر مقدار کلروفیل a (a)، کلروفیل b (b)، کلروفیل کل (c) و کاروتنوئید (d) گیاه اسپند. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشترک، بیان کننده تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 7. Effect of different concentrations of lead on concentration of chlorophyll a (a), chlorophyll b (b), total chlorophyll (c) and carotenoid (d) of the harmal plant. The values are the mean of 3 replicates ± standard deviation. Non-common letters indicate a significant difference using Duncan's test.

بر اساس شکل ۸؛ تیمار روی در تمام غلظت‌ها باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل a، b ، کل و کاروتنوئید نسبت به گیاهان شاهد شده است. بیشترین مقدار کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهان شاهد و کمترین مقدار آن در تیمار روی ۸۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شده است.



شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف روی بر مقدار کلروفیل a (a)، کلروفیل b (b)، کلروفیل کل (c) و کاروتنوئید (d) گیاه اسپند. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشترک، بیان کننده تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Figure 8. Effect of different concentrations of zinc on concentration of chlorophyll a (a), chlorophyll b (b), total chlorophyll (c) and carotenoid (d) of the harmal plant. The values are the mean of 3 replicates ± standard deviation. Non-common letters indicate a significant difference using Duncan's test.

بحث

اولین نشانه قابل مشاهده سمیت سرب، ممانعت از رشد ریشه می‌باشد. در گیاهان مورد بررسی یکسری تغییرات نامطلوب در ظاهر ریشه‌های تیمار شده با سرب مشاهده گردید از جمله قهوه‌ای شدن ریشه، ممانعت از رشد و کاهش بیوماس ریشه. مشابه چنین تغییراتی در تیمار فلزات سنگین از جمله سرب بر روی ریشه بوسیله دیگر محققین نیز مشاهده شده بود (۱۷).

طبق تحقیق حاضر تیمار روی باعث کاهش طول اندام هوایی و ریشه گیاه نسبت به شاهد شده است. این نتایج با گزارش مبنی بر کاهش قابل توجه رشد ریشه گیاه نخود در معرض فلز سنگین روی مطابقت دارند (۱۸). برخی از تحقیقات نشان دادند که، یون روی با اثر بر وضعیت تقسیم سلولی در مناطق مریستمی باعث کاهش رشد ریشه‌ها می‌شود. در هر حال کاهش رشد ریشه در اثر سمیت روی موجب اختلال در جذب و انتقال مواد غذایی ضروری برای گیاه می‌گردد (۱۹). گزارشاتی وجود دارد که، مقدار اضافی روی موجب تجمع عنصر آهن در ریشه شده و از انتقال آن به بخش‌های هوایی جلوگیری می‌کند. این کاهش در محتوای آهن اندام‌های هوایی با تغییرات متابولیسمی و کاهش رشد گیاه در معرض فلز سنگین روی ارتباط دارد. همچنین در برخی گزارشات آمده است، مهار رشد گیاه در اثر سمیت فلز روی

ممکن است به دلیل رقابت این فلز با جذب و انتقال فسفر در گیاه باشد (۲۰).

طبق تحقیق حاضر تیمار سرب در تمام غلظت‌ها باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه اسپند نسبت به شاهد شده است. کاهش بیوماس و طول اندام هوایی در نتیجه حضور فلزات سنگین می تواند به دلیل تاثیر بازدارنده این فلزات بر رشد طولی ریشه و کاهش جذب مواد معدنی باشد. تحقیقات نشان داده است که، افزایش روی منجر به کلروز برگ، قهوه ای شدن ریشه، کاهش وزن تر برگ، ساقه و ریشه شد (۱۸). گزارش شده است که تجمع بالای فلز روی در سیتوزول سلول‌های گیاهی از طریق اختلال در عملکرد طبیعی سلول‌ها و مهار فرآیند تنفس و واکنش‌های انرژی خواه مرتبط با رشد سلول می‌تواند سبب کاهش رشد و نمو ایده‌آل گیاهان شود. Liu و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که وزن خشک گیاه *Phyllostachys pubescens* تحت تاثیر تیمار روی کاهش یافت (۲۱).

بر اساس نتایج حاصل از اثر غلظت‌های مختلف سرب در شرایط هیدروپونیک، مشخص شد که غلظت سرب در ریشه نیز بیشتر از بخش هوایی است (۲۲). مشخص شده است که برخی گیاهان دارای مکانیسمی هستند که انتقال فلزات را به بخش‌های هوایی محدود می‌کنند. همچنین بخش‌های مختلف ریشه به صورت یک سد در برابر انتقال سیمپلاستی و آپوپلاستی سرب عمل کرده، بنابراین انتقال سرب به بخش هوایی محدود می‌شود. گزارش‌های متعددی نشان می‌دهند که گیاهان می‌توانند سرب را از محیط جذب کنند و آن را در ریشه انباشته سازند (۲۳). همچنین مشخص شده است که غلظت‌های بالای روی باعث افزایش تجمع در گیاه نخود شده است (۱۸).

فلزات سنگین عملکرد فتوسیستم‌های I و II را تحت تاثیر قرار داده و با تخریب و تجزیه پروتئین‌های کلروفیلی گیرنده پروتون در فتوسیستم II، ظرفیت گرفتن پروتون و در نتیجه بازده فتوسنتز را کاهش می‌دهند. کاهش نسبت chla/chlb تحت تیمار فلزات سنگین در مطالعات متعدد گزارش شده است (۲۴). سرب رشد برگ، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت‌های آنزیمی برای جذب CO_2 را کاهش داده از طریق مهار بیوسنتز کلروفیل، محتوای کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a و b را کاهش می‌دهد. جایگزینی منیزیم مرکزی کلروفیل با سرب مانع از گرفتن نور و منجر به نقص فتوسنتز می‌گردد (۲۵). Gupta و همکاران (2009) نشان دادند که مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی ذرت در گیاهک‌های رشد یافته هیدروپونیک تحت تنش سرب تنها در صورت مواجهه با غلظت‌های بالای سرب کاهش می‌یابد (۹). همچنین کاهش چشمگیر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در گیاه لوبیا و حرا تحت تیمار سرب نیز گزارش شده است (۲۶). به طور کلی نتایج مطالعات مختلف نشان دادند که تمامی فلزات سنگین به دلایل ذکر شده می‌توانند باعث کاهش میزان کلروفیل شوند (۲۷).

اثرات روی بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدهای گیاه بسته به گونه گیاه مورد نظر و غلظت بکار رفته از فلز متفاوت است. روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل (-SH) باعث سنتز کلروفیل می‌گردد. پورفووبیلینوژن پیش ماده کلروفیل می‌باشد که برای تشکیل این ماده Mg و Zn مورد نیاز است (۲۸). علت کاهش غلظت کلروفیل، بازدارندگی بیوسنتز کلروفیل تحت تاثیر فلزات سنگین است. از علل دیگر کاهش کلروفیل در شرایط تنش فلزات سنگین، تغییر مسیر متابولیسمی به سمت تولید پرولین است، زیرا گلوتامات که پیش‌ساز سنتز کلروفیل و پرولین است، به سمت تولید پرولین می‌رود (۲۹). کاهش مقدار کلروفیل تحت تیمار روی در گوجه‌فرنگی و داتوره نیز گزارش شده است (۳۰).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر غلظت‌های مختلف سرب و روی بر پارامترهای رشد، مقدار کلروفیل و کاروتنوئید، تجمع و تحمل گیاه اسپند مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که افزایش غلظت سرب (۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و روی (۱، ۵، ۱۰،۲۰، ۴۰۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) باعث کاهش طول اندام هوایی، ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، کاهش مقدار کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید می‌شود اما میزان تجمع سرب و روی در اندام هوایی و ریشه افزایش می‌یابد. بنابراین از این تحقیق می‌توان نتیجه گیری کرد که گیاه اسپند

توانایی بالایی در تجمع و تحمل سرب و روی دارد و می‌تواند جهت گیاه پالایی سرب و روی مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نگارنده از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه پیام نور به دلیل حمایت مالی از پژوهش حاضر، صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

References

1. Cheraghi, M., Bigmohammadi, Z., and Shayesteh, K. 2013. Concentration of lead and zinc in greenhouse cucumbers of Hamadan province in 2012, *Quarterly Scientific - Research Journal Food Hygiene* 3(2): 53. (In Persian)
2. Malekmohammadi, S., Behbahaninia, A., and Farahani, M. 2019. Survey of Lead and Zink Pollution in Surface Soils around the Shokouhieh Industrial Estate. *Human & Environment* 17(4): 13-24. (In Persian)
3. Baker, A. J. M. 1981. Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition* 3: 643-654.
4. Van der Ent, A., Baker, A. J. M., Reeves, R. D., Pollard, A. J., and Schat, H. 2013. Hyperaccumulators of metal and metalloid elements: facts and fiction. *Plant and Soil* 362: 319-334.
5. Krämer, U. 2010. Metal hyperaccumulation in plants. *Annual Review of Plant Biology* 61: 517-534.
6. Rotkittikhun, P., Kruatrachue, M., Chaiyarat, R., Ngernsansaruay, C., Pokethitiyook, P., Paijitprapaporn, A., and Baker, A. J. M. 2006. Uptake and accumulation of lead by plants from the Bo Ngam lead mine area in Thailand. *Environmental Pollution* 144: 681-688.
7. Bert, V., Bonnin, I., Saumitou-Laprade, P., Laguerie, P., and Petit, D. 2002. Do *Arabidopsis halleri* from non metallicalous populations accumulate zinc and cadmium more effectively than those from metallicolous populations? *New Phytologist* 155: 47-57.
8. Kopittke, P. M., Asher, C. J., Kopittke, R. A, and Menzies, N. W. 2008. Prediction of Pb speciation in concentrated and dilute nutrient solutions. *Environmental Pollution* 153(3): 548-554.
9. Gupta, D. K., Nicoloso, F. T., Schetinger, M. R. C., and Rossato, L. V. 2009. Antioxidant defense mechanism in hydroponically grown *Zea mays* seedlings under moderate lead stress. *Journal of Hazardous Materials* 172(1): 479-484.
10. Powell, M. J., Davies, M. S., and Francis, D. 1986. The influence of zinc on the cell cycle in the root meristem of a zinc-tolerant and a non-tolerant cultivar of *Festuca rubra* L. *New Phytologist* 102: 419-428.
11. Jashankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., and Beeregowda, K. N. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicology* 7(2): 60-72.
12. Kumar, A., Narasimha, M., and Prasad, V. 2018. Plant lead intractions: Transport, toxicity, tolerance, and detoxification mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 166: 401-418.
13. Cheraghi-Niromand, M., Farzaei, M. H., and Amin, G. 2015. Medicinal properties of *Peganum harmala* L. in traditional Iranian medicine and modern phytotherapy: a review. *Journal of Traditional Chinese Medicine* 35 (1): 104-109.

14. Mahdavian, K., Ghaderian, S. M., and Schat, H. 2016. Pb accumulation, Pb tolerance, antioxidants, thiols, and organic acids in metallicolous and non-metallicolous *Peganum harmala* L. under Pb exposure. *Environmental and Experimental Botany* 126: 21-31.
15. Reeves, R. D., Baker, A. J. M., Borhidi, A., and Berazain, R. 1999. Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Cuba. *Annals of Botany* 83: 29-38.
16. Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *In: Methods in Enzymology*, eds. L. Packer, and R. Douce. New York: Academic Press 350–382.
17. Yang, Y., Jung, J., Song, W., Sun, H., and Lee, Y. 2000. Identification of rice varieties with high tolerance or sensivity to lead and characterization of the mechanism of tolerance. *Plant Physiology* 124: 1019-1026.
18. Ullah, A., Farooq, M., Hussain, M., Ahmad, R., and Wakeel, A. 2019. Zinc seed coating improves emergence and seedling growth in Desi and Kabuli chickpea types but shows toxicity at higher concentration. *International Journal of Agriculture and Biology* 21 (3): 553-559.
19. Jain, R., Srivastava, S., Solomon, S., Shrivastava, A. K., and Chandra, A. 2010. Impact of excess zinc on growth parameters, cell division, nutrient accumulation, photosynthetic pigments and oxidative stress of sugarcane (Saccharum spp.). *Acta Physiologiae Plantarum* 32(5): 979–98.
20. Alloway, B. J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition. Review in: *International Zinc Association* pp. 128.
21. Liu, D., Chen, J., Li, S., Wu, J., Ye, Z., Peng, D., Yan, W., and Lu, K. 2014. Effect of Zn toxicity on root morphology, ultrastructure, and the ability to accumulate Zn in *Moso bamboo* (*Phyllostachys pubescens*). *Environmental Science and Pollution Research* 21: 13615–13624.
22. Bech, J., Roca, N., Barceló, J., Duran, P., Tume, P., and Poschenrieder, C. 2012. Soil and plant contamination by lead mining in Bellmunt (Western Mediterranean Area). *Journal of Geochemical Exploration* 113: 94–99.
23. Liu, T., Liu, S., Guan, H., Ma, L., Chen, Z., and Gu, H. 2009. Transcriptional profiling of Arabidopsis seedlings in response to heavy metal lead (Pb). *Environmental and Experimental Botany* 67(2): 377–386.
24. Cheng, S. 2003. Effect of heavy metals on plants and resistance mechanisms. *Environmental Science and Pollution Research* 10 (4): 256-264.
25. 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(3): 199-223.
26. Aldoobie, N. F., and Beltagi, M. S. 2013. Physiological, biochemical and molecular responses of common bean (*phaseolus vulgaris* L.) plants to heavy metals stress. *African Journal of Biotechnology* 12 (29): 4614-4622.
27. Shu, X., Yin, L. Y., Zhang, Q. F., Wang, W. B. 2012. Effect of Pb toxicity on leaf growth, antioxidant enzyme activities, and photosynthesis in cuttings and seedlings of *Jatropha*

curcas L. *Environmental Science and Pollution Research* 19: 893–902.

28. Beale, S. I. 1999. Enzymes of chlorophyll biosynthesis. Photosynthesis. *Research* 60: 43-73.
29. Prasad, M. N. V. 1997. Trace metals. In: Prasad M. N. V. (Ed) *Plant Ecophysiology*. Wiley, New York, pp 207-249.
30. Cherif, J., Najoua Derbel, N., Nakkach, M., Bergmann, H., Jemal, F., and Lakhdar, Z. 2010. Analysis of in vivo chlorophyll fluorescence spectra to monitor physiological state of tomato plants growing under zinc stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 101: 332–339.