ارزیابی توان نهال‌های آکاسیا ویکتوریا (*Acacia victoriae*) در جذب فلزهای سنگین سرب و روی

علی مهدوی[1*] و خدیجه خرمن‌دار[2]

[1] دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
[2] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد بیابانزدایی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ایلام

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۴)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر جذب فلزهای سنگین سرب و روی بر نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae* در یک طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با پنج غلظت از محلول نیترات سرب ۰، ۵۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و چهار غلظت از محلول سولفات روی ۰، ۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نهال‌ها تحت تیمار قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها برداشت و برخی از صفت‌های مورفولوژی و مقدار تجمع سرب و روی در اندام‌های مختلف قرائت شد. نتایج کاربرد سطوح سرب نشان داد که برخی از صفت‌های مورد بررسی تحت تأثیر سرب قرار گرفتند. علائم مورفولوژی اثر سرب در نهال‌ها با زرد شدن برگ‌ها، تغییر رنگ ریشه‌ها، کاهش شادابی و زنده‌مانی در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه بود و بیش از ۷۰ درصد (۲۵۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از مجموع سرب جذب‌شده در ریشه‌های این‌گونه تجمع یافت. نتایج کاربرد روی نشان داد که بیشتر صفت‌های بررسی‌شده تحت تأثیر روی قرار گرفتند. علائم مورفولوژی اثر روی در این‌نهال‌ها با کاهش قطر ریشه، ارتفاع و زی‌توده گیاه در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ملاحظه شد و حدود ۸۰ درصد روی (۳۰۴۶٫۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) جذب‌شده در ریشه‌های این‌گونه تجمع یافت. با توجه به‌ضریب تجمع زیستی، عامل انتقال و سیستم ریشه‌ای قوی، *A. victoriae* به‌عنوان گونهٔ تثبیت‌کنندهٔ سرب و روی و براساس مقدار تجمع سرب در اندام هوایی گیاه در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌توان بیان کرد که این‌گیاه خصوصیت بیش‌اندوزی دارد و پس از بررسی‌های تکمیلی می‌توان در فناوری گیاه‌پالایی از آن استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: صفت‌های مورفولوژیک، ضریب تجمع زیستی، عامل انتقال، فراانباشت‌کننده، گیاه‌پالایی.

* نویسندهٔ مسئول شماره تماس : ۰۸۴۳۲۲۲۷۰۱۵ ایمیل: a_amoli646@yahoo.com

مقدمه و هدف

امروزه، آلودگی منابع مختلف به فلزهای سنگین یکی از مشکلات مهم زیست محیطی در سراسر جهان محسوب می‌شود. به‌منظور کاهش آلودگی آلاینده‌های معدنی و فلزهای سنگین، از روش‌های شیمیایی و فیزیکی استفاده می‌شود ولی متأسفانه بیشتر این روش‌ها هزینه‌برند و سبب تخریب خاک و محیط زیست می‌شوند (Singh *et al*., 2012). در سال‌های اخیر، در زمینهٔ فناوری گیاه‌پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آنها با ریزجانداران خاک برای کاهش آلودگی منابع مختلف در محیط استفاده می‌شود، که این روش سازگار با محیط زیست و مقرون به‌صرفه است و به نیروی متخصص نیاز ندارد و موجب اصلاح رویشگاه، رفع آلودگی محیط، حفظ فعالیت زیستی و ساختار فیزیکی خاک می‌شود (Mukhtar *et al*., 2010; Singh *et al*., 2012). تاکنون ۴۵۰-۴۰۰ گونهٔ فراانباشت‌کننده شناخته شده‌اند که توانایی زیادی برای رشد در خاک‌های آلوده دارند و از خانواده‌های: شب‌بو، غلات، فرفیون،کاسنی، نعناع و بقولات هستند (Mahdavi *et al*., 2014).

سرب و روی از مهم‌ترین فلزهای سنگین هستند. مقدار طبیعی سرب در خاک ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است، ولی این‌مقدار در خاک‌های اسیدی غیرآلوده به ۴۰-۱۰و در خاک‌های آلوده به‌بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد (Sharma and Dubey, 2005). همچنین در برخی تحقیق‌ها غلظت آن ۱۰۰۰ برابر بیش از حد طبیعی خود گزارش شده است (Mukhtar *et al*., 2010). این عنصر از نظر زیستی تجزیه‌ناپذیر است و به تجمع در سیستم‌های زیستی تمایل دارد، ولی تأثیر چندانی در واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان ندارد و به‌علت شباهت شیمیایی به عناصر ضروری، امکان جذب آن در گیاه وجود دارد (Lin *et al*., 2009) و همچنین تأثیرات نامطلوبی بر جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و فرایند فتوسنتز دارد که موجب کاهش ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک و تولید زی‌توده، جلوگیری از سنتز کلروفیل، مسمومیت و اختلال در سوخت‌وساز گیاه، کاهش جذب مواد معدنی و عملکرد گیاه، افت کیفیت محصول‌ها و کاهش فعالیت‌های زیستی افزایندهٔ حاصلخیزی خاک می‌شود (Golubev, 2011). در مورد فلز روی، مقدار کل روی در خاک‌ها ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. این‌مقدار در خاک آلوده به‌بیش از ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد. سمیت ناشی از روی معمولاً در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در برگ‌های گیاهان ظاهر می‌شود (Deng *et al*., 2007). این‌عنصر عامل مهمی در تغذیه و فعالیت‌های آنزیمی گیاه است (به‌دلیل تحرک زیاد به‌راحتی توسط ریشهٔ گیاهان جذب می‌شود)، همچنین در سنتز پروتئین، فرایندهای کلروپلاست و هورمون‌های رشد گیاه تأثیر زیادی دارد (Golubev, 2011). روی نوعی ریزمغذی ضروری برای رشدونمو گیاهان محسوب می‌شود، ولی در غلظت‌های زیاد در اثر جایگزینی با عناصر ضروری بر عملکرد و تولید مواد غذایی‌گیاه اثر منفی دارد، همچنین این فلز در خاک‌های کمی اسیدی کاملاً محلول است و کاربرد بیش از حد کودهای فسفاته در کشاورزی از عوامل افزایش آن در خاک است (Golubev, 2011; Tang *et al*., 2009).

مطالعه‌های‌گوناگونی در مورد اثرهای آلودگی سرب و روی بر درختان مختلف صورت گرفته است. در تحقیقی دربارهٔ مقدار جذب سرب و روی در حرا (*Avicennia marina L.*) مشخص شد که غلظت زیادی از این فلزها در دیوارهٔ سلول‌های ریشه تجمع یافتند که سبب محدود شدن انتقال سرب و روی به اندام‌های هوایی گیاه شد (MacFarlane and Burchett, 2000). مقدار جذب سرب و روی در زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior L.*)، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia L.*)، صنوبر (*Populus alba L.*)، افرای شبه‌چناری (*Acer pseudoplatanus L.*) و توسکا (*Alnus glutinosa L.*) مشخص کرد که این فلزها در اندام هوایی تجمع یافتند و صنوبر بیشترین مقدار سرب و روی را در برگ‌های خود انباشت کرد و بیشترین نرخ رشد را در مقابل گونه‌های دیگر داشت

(Mertens *et al*., 2004). در تحقیقی در جنگل‌های مانگرو (*Avicennia marina L.*) مقدار تجمع سرب و روی مشخص کرد که روی در میوه و سرب در ریشه‌ها تجمع یافتند و مقدار روی (۶٫۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیش از سرب بود که دلیلی بر ریزمغذی بودن عنصر روی است (Qiu *et al*., 2011). در تحقیقی بر روی نهال‌های یکسالهٔ *Acacia victoriae L.* به این نتیجه رسیدند که این گیاه یک گونهٔ فراانباشت‌کنندهٔ سرب است و بیشترین تجمع سرب در ریشه‌ها (۳۵۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در برگ‌های (۶۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) این‌گونه صورت گرفت (Mahdavi *et al*., 2014).

درختچهٔ *A. victoriae* از زیرتیرهٔ بقولات (*Mimosoidae*) است،که به‌عنوان تثبیت‌کنندهٔ شن‌های روان و نیز برای توسعهٔ فضای سبز برون‌شهری و پوششی حفاظتی در اطراف مزارع استفاده می‌شود. این گونه اهمیت ویژه‌ای در روند اصلاح خاک‌ها دارد و با گرهک‌هایی که در ریشه‌های خود دارد، موجب تثبیت نیتروژن و در پی آن افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود. علت انتخاب این‌گونه ظرفیت زیاد در سازگاری با شرایط سخت محیطی به‌منظور کشت و احیای آنهاست (Mahdavi *et al*., 2014). هدف از این‌پژوهش بررسی مقاومت نهال‌های سه‌ماههٔ *A. victoriae* به‌فلزهای سرب و روی، تأثیر این فلزها بر برخی از صفت‌های مورفولوژی این گونه، مقدار تجمع این فلزها در اندام‌های‌گیاه و همچنین بررسی پتانسیل کاربرد این‌گیاه در فناوری گیاه‌پالایی است.

مواد و روش‌ها

بذرهای گونهٔ *A. victoriae* درگلدان‌های پلاستیکی (به‌ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۵سانتی‌متر) با ظرفیت ۲/۵ کیلوگرم خاک خشک مزرعه به‌نسبت ۱:۱:۲ (کود حیوانی خشک‌شده، شن- ماسه، خاک) با بافت سیلت- لومی در همهٔ گلدان‌ها کاشته شدند. برخی از خصوصیت‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین آبیاری گلدان‌ها بر مبنای ۶۰ درصد ظرفیت زراعی محاسبه‌شده، صورت گرفت. بعد از گذشت سه ماه گلدان‌ها به محیط انتقال داده شد و پانزده گلدان در پنج غلظت ۰، ۵۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ توسط محلول نیترات سرب و دوازده گلدان در چهار غلظت ۰، ۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ توسط محلول سولفات روی به‌صورت یک طرح کاملاً تصادفی به‌مدت ۴۵ روز تحت تیمار قرار گرفتند. ازآنجا که سن تمام گلدان‌ها یکسان بود (سه‌ماهه) سعی شد گلدان‌هایی که کمترین اختلاف بین آنها از نظر ارتفاع، شادابی، تعداد برگ و غیره وجود داشت به‌منظور اعمال تیمار انتخاب شوند. نمونه‌های شاهد (غلظت صفر) طی این مدت فقط با آب آبیاری شدند و هیچ فلزی به آنها اضافه نشد. پس از پایان دورهٔ اعمال تیمار، تعدادی از صفت‌های مورفولوژی گیاه مانند تعداد برگ، ارتفاع ریشه، ساقه و کل گیاه، قطر یقه (با استفاده از کولیس دیجیتال Digital, L lutron DC-515 Digital caliper Electronic ۱۵سانتی‌متری با دقت ۰٫۰۱ بر حسب میلی‌متر محاسبه شد)، وزن تر و خشک اندام‌های مختلف گیاه (Liu *et al*., 2008)، شاخص ارزش تحمل گیاه[1] (نسبت طول ریشهٔ تیمار به شاهد) (Maldonado *et al*., 2011) و شاخص اندازهٔ مهار رشد گیاه[2] (وزن مادهٔ خشک شاهد منهای وزن مادهٔ خشک تیمار تقسیم بر وزن مادهٔ خشک شاهد) (Mahdavi *et al*., 2014)، ضریب تجمع زیستی[3] (مقدار غلظت فلز در اندام‌ها (هوایی و زیرزمینی) نسبت به مقدار غلظت فلز واردهٔ به خاک) (Maldonado *et al*., 2011)، ضریب غنی‌سازی[4] (مقدار فلز وارد شده به خاک نسبت به مقدار تجمع فلز در اندام‌های هوایی) (Zu *et al*., 2004)، عامل انتقال[5] (مقدار غلظت فلز در اندام هوایی (برگ و ساقه) نسبت به مقدار غلظت فلز موجود در اندام زیرزمینی گیاه است) (Mahdavi *et al*., 2014)،

[1] Tolerance Index (TI)
[2] Grade of Growth Inhibition (GGI)
[3] Bio Concentration Factor (BCF)
[4] Enrichment Coefficient (EC)
[5] Translocation Factor (TF)

علاوه‌بر این، نسبت‌های غلظت این فلزها (سرب و روی)، ساقه به ریشه (S /R) برگ به ریشه (L/R) و برگ به ساقه (L/S) محاسبه شد تا توانایی *A. victoriae* در انتقال فلزها به اندام‌های مختلف بررسی شود. شاخص جذب[1] (حاصل ضرب مقدار وزن مادهٔ خشک در غلظت عنصر در اندام هوایی) اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، برگ، ساقه و ریشه‌های گیاه از هم جدا و شسته شدند و بعد از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه به‌مدت ۴۸ ساعت در آون قرار گرفتند تا خشک شوند، سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شدند. در مرحلهٔ بعد ۰/۱گرم از نمونه‌های پودرشده هر اندام، به‌نسبت ۸:۲:۱ با اسید نیتریک ۶۵ درصد، اسید سولفوریک غلیظ و اسید پرکلریدریک هضم شدند (Moreira *et al*., 2011). در نهایت، غلظت سرب و روی با دستگاه جذب اتم مدل CTA-2000 AAS قرائت شد. تجزیهٔ آماری صفت‌های اندازه‌گیری‌شده با استفاده از نرم‌افزارآماری SPSS انجام گرفت. آزمون‌های تجزیهٔ واریانس یکطرفه ANOVA و مقایسهٔ میانگین‌ها به‌روش LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت و رسم نمودارها هم با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس و چگونگی پاسخ نهال‌ها به فلز سرب

نتایج آزمون تجزیه‌وتحلیل واریانس فلز سرب مشخص کرد که صفت‌های طول ساقه، ارتفاع گیاه، قطر یقه، تعداد برگ، شاخص اندازهٔ مهار رشد گیاه، وزن تر برگ، ساقه و کل، وزن خشک ساقه و کل، مقدار جذب در اندام‌ها، عامل انتقال، شاخص جذب، ضریب تجمع زیستی (زیرزمینی و هوایی) و غنی‌سازی در سطح احتمال ۵ درصد ($P<0.05$) معنی‌دار بود (جدول‌های ۲ و ۳). نتایج مقایسهٔ میانگین‌های صفت‌های ارزیابی‌شدهٔ فلز سرب (جدول‌های ۴ و ۵) نشان داد که ارتفاع کل گیاه در سه غلظت ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و طول ساقه در غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند (افزایش ۲۵ درصد در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، نسبت به شاهد) که نشان‌دهندهٔ تأثیر نیترات سرب در رشد گیاه است. ولی در طول ریشهٔ این‌گونه در هیچ کدام از غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری دیده نشد. بنابراین افزایش غلظت سرب بر ارتفاع کل مؤثر بود. قطر یقه در غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند و با افزایش غلظت سرب، قطر یقه افزایش یافت (افزایش ۸۰ درصد در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، نسبت به شاهد). متوسط تعداد برگ‌های گیاه در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری دارد، به‌طوری که در این غلظت تعداد برگ‌ها کاهش چشمگیری داشت. وزن تر برگ در تیمارهای ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و وزن تر ساقه و کل در دو سطح ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند، ولی وزن تر ریشه در هیچ کدام از سطوح اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند. نتایج به‌دست‌آمده از وزن خشک ساقه، ریشه و کل با نتایج حاصل از وزن تر ساقه، ریشه و کل مطابقت داشت، به‌طوری‌که وزن خشک ساقه و کل در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند (با افزایش غلظت بر مقدار وزن خشک آنها افزوده شد. افزایش ۸۰ درصد وزن تر کل و ۹۵ درصد وزن خشک کل در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد، ولی در وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌داری با شاهد دیده نشد. شاخص تحمل (بر مبنای طول ریشه شاهد و تیمار) در غلظت‌های مختلف سرب اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند، درصورتی‌که شاخص اندازهٔ مهار رشد گیاه (نشان‌دهندهٔ شدت تنش وارد بر گیاه) در همهٔ غلظت‌های سرب اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. کاهش شاخص تحمل و افزایش شاخص اندازهٔ مهار

[1] Uptake Index (UI)

رشد گیاه در غلظت بالای سرب نشان‌دهندهٔ تأثیر منفی سرب در مقدار مقاومت این‌گونه است (جدول ۴). مقدار جذب سرب در ریشه و ساقه‌ها در تمام تیمارهای ۵۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار جذب برگ در غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. نسبت غلظت برگ و ساقه به ریشهٔ سرب (S/R, L/R) با افزایش غلظت سرب کاهش یافت، ولی نسبت غلظت برگ به ساقه (L/S) افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف در نسبت غلظت (L/S, L/R) وجود نداشت. ضریب تجمع زیستی (مقدار جذب در اندام‌ها به‌مقدار محلول وارده شده به خاک) نشان می‌دهد که در همه غلظت‌ها این ضریب بزرگ‌تر از یک است (میانگین ضریب تجمع زیستی ریشه: ۵٫۶ و میانگین ضریب تجمع زیستی اندام هوایی: ۳٫۱ (بدون بعد)). عامل انتقال (مقدار انتقال آلاینده از ریشه به اندام هوایی) در همه تیمارها کوچک‌تر از یک است (میانگین آن، ۰٫۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که نشان‌دهندهٔ تجمع سرب در ریشه‌های این گونه است. ضریب غنی‌سازی (مقدار فلز وارد شده به خاک نسبت به مقدار تجمع فلز در اندام‌های هوایی) با افزایش غلظت آلاینده افزایش یافت و در همهٔ تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشت که نشان می‌دهد با افزایش غلظت سرب، مقدار آن در اندام‌های هوایی افزایش یافته است. شاخص جذب (حاصل‌ضرب وزن مادهٔ خشک در مقدار غلظت عنصر در اندام هوایی) نشان‌دهندهٔ تأثیر مقدار جذب سرب بر زی‌تودهٔ گیاه است که در تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها دارد (جدول ۵).

نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس و چگونگی پاسخ نهال‌ها به فلز روی

در نتایج آزمون تجزیه‌وتحلیل واریانس فلز روی مشخص شد که ارتفاع ساقه، ریشه و کل گیاه، وزن تر و خشک گیاه، قطر یقه، تعداد برگ، ارزش تحمل، شاخص اندازهٔ مهار رشد گیاه، مقدار جذب در اندام‌ها، عامل انتقال، شاخص جذب، ضریب تجمع زیستی (زیرزمینی و هوایی) و غنی‌سازی در سطح احتمال ۵ درصد ($P<0.05$) معنی‌دارند (جدول‌های ۶ و ۷). نتایج مقایسهٔ میانگین‌های صفت‌های ارزیابی‌شده روی در (جدول‌های ۸ و ۹) نشان می‌دهد که تمام صفت‌های مورفولوژی مورد بررسی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری دارند. بنابراین، غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر روی تأثیر منفی بر رشد، عملکرد و زی‌تودهٔ گیاه داشته است. از طرفی کاهش شاخص تحمل و افزایش شاخص اندازه مهار رشد گیاه در غلظت زیاد روی نشان‌دهندهٔ تأثیر منفی روی در مقدار مقاومت این گونه است (جدول ۸). مقدار جذب روی در برگ، ساقه و ریشه‌ها در هر سه غلظت اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند. بررسی نسبت غلظت روی ساقه به ریشه، برگ به ریشه و ساقه به برگ گیاه (S/R, L/R, L/S) نشان می‌دهد که با افزایش غلظت روی مقدار انتقال کاهش یافته است و اختلاف معنی‌داری بین نسبت‌های (S/R, L/R) در تیمار (mg/l)۵۰۰ وجود دارد. ضریب تجمع زیستی در همه غلظت‌ها بزرگ‌تر از یک است (میانگین ضریب تجمع زیستی ریشه: ۶٫۰۳ و میانگین ضریب تجمع زیستی اندام هوایی: ۲٫۴۸ (بدون بعد)) و ضریب تجمع زیستی ریشه در تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری با هم دارند. همچنین عامل انتقال در تمام غلظت‌ها کوچک‌تر از یک است (میانگین آن، ۰٫۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که نشان‌دهندهٔ تجمع روی در ریشه‌های این گونه است و در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها دارد. ضریب غنی‌سازی درتمام تیمارها اختلاف معنی‌داری با هم دارند که نشان‌دهندهٔ افزایش تجمع روی در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت فلز در خاک است. شاخص جذب در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت که نشان‌دهندهٔ تأثیر منفی مقدار جذب روی بر زی‌تودهٔ گیاه است (جدول ۹).

جدول ۱- برخی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

بافت خاک (درصد)			سدیم	پتاسیم	کربن آلی	نیتروژن کل	EC	pH
رس	سیلت	شن	(mg/kg)	(mg/kg)	(درصد)	(درصد)	(dS/m)	
۵	۵۴	۴۱	۱۲	۴۲	۱/۴۴	۰/۱۶۴	۳/۵۹	۷/۲

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس صفت‌های مورفولوژی[۱] ارزیابی‌شده در بررسی مقدار جذب سرب توسط نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae*

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات														
		RL	SL	PL	D	LN	LMW	SMW	RMW	TMW	LDW	SDW	RDW	TDW	TI	GGI
تیمار	۴	۳۸/۶^{ns}	۵۸/۲۳**	۱۵۰/۴**	۰/۴۶۱*	۱۵۹۲/۲۳*	۱/۴۴۰*	۰/۶۸۰**	۰/۰۵۴^{ns}	۴/۲۵**	۰/۱۸۵^{ns}	۰/۱۴۶*	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۷۵۳*	۱۰۷۰/۴^{ns}	۰/۰۹۴**
خطا	۱۰	۱۸/۹۳	۱۰/۴۰	۱۲/۹۳	۰/۰۷۷	۳۸۰/۴۶	۰/۳۶۴	۰/۰۷۸	۰/۰۵۱	۰/۷۸	۰/۱۰۲	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲	۰/۱۹	۴۴۲/۵	۰/۰۱۳

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس مقدار جذب[۲]، نسبت انتقال، ضرایب جذب و عامل انتقال سرب توسط نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae*

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات										
		Leaf	Stem	Root	S/R	L/R	L/S	TF	UI	EC	BCF(root)	BCF(air)
تیمار	۴	۷۱۰۳۷/۹**	۲۰۴۵۰۱/۹**	۲۹۰۹۶۲۴/۱**	۰/۰۷۱**	۰/۰۲۰**	۰/۱۹**	۰/۱۷۵**	۱۴۱۷۲۴۶/۷۶**	۰/۰۳۹**	۷۱/۵۸**	۲۴/۸۳**
خطا	۱۰	۱۶۰۶/۴	۲۷۵۶	۸۴۱۸۷/۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۱۱۲۸۰۲/۲	۰/۰۰۱	۰/۳۹	۰/۲۸

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

۱ و ۲- طول ریشه (RL)، ارتفاع گیاه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN) ،وزن تر برگ (LMW)، وزن‌تر ساقه (SMW)، وزن تـر ریشـه (RMW)، وزن‌تـر کـل (TMW)، وزن خشـک بـرگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک کل (TDW)، ارزش تحمل (TI)، شاخص اندازهٔ مهار رشد گیاه (GGI)، جذب برگ (Leaf)، جذب ساقه (Stem)، جذب ریشه (Root)، نسـبت غلظـت سـاقه بـه ریشـه (S/R)، نسبت غلظت برگ به ریشه (L/R)، نسبت غلظت برگ به ساقه (L/S)، عامل انتقال (TF)، شاخص جذب (UI)، ضریب غنی‌سازی (EC)، ضریب تجمع زیستی ریشه (BCF root) و ضریب تجمع زیستی ساقه (BCF air).

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین‌های صفت‌های مورفولوژی[1] ارزیابی‌شده در بررسی مقدار جذب سرب در نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae* (تیمارها برحسب mg/l)

تیمار	صفت‌های ارزیابی‌شده									
	$SL^{(cm)}$	$PL^{(cm)}$	$D^{(cm)}$	LN	$LMW^{(gr)}$	$SMW^{(gr)}$	$TMW^{(gr)}$	$SDW^{(gr)}$	$TDW^{(gr)}$	GGI
شاهد	۲۲ ±۲/۶^{a}	۴۲ ±۱^{a}	۱/۲۴ ±۰/۱^{a}	۴۶/۷ ±۲۱/۵^{a}	۱/۲ ±۰/۴۵^{a}	۰/۸ ±۰/۴۲^{a}	۲/۳۵±۱/۰۴^{a}	۰/۳۳ ±۰/۲۸^{a}	۱/۰۳ ±۰/۵۵^{a}	۰ ±۰^{a}
۵۰	۲۱ ±۱^{ab}	۳۷ ±۲/۶^{ab}	۱/۵ ±۰/۲۵^{ab}	۱۵ ±۱۳/۷^{ab}	۱/۱۲ ±۰/۹۷^{ab}	۰/۴۸ ±۰/۲۹^{ab}	۱/۸۵ ±۱/۴^{ab}	۰/۳۲ ±۰/۱۴^{ab}	۰/۹۳ ±۰/۳۳^{ab}	۰/۲۴ ±۰/۱۶^{b}
۲۵۰	۲۷/۳ ±۵/۵^{ac}	۵۳ ±۵/۲^{c}	۲/۱ ±۰/۶^{c}	۵۳/۳ ±۱۳^{ac}	۲/۱۱ ±۰/۵۸^{c}	۱/۵ ±۰/۱۲^{c}	۴/۱۹ ±۰/۷۸^{c}	۰/۷۵ ±۰/۳۴^{c}	۱/۹ ±۰/۸۱^{c}	-۰/۲۴ ±۰/۱۴^{c}
۵۰۰	۲۷/۷ ±۳/۵^{cd}	۵۰ ±۴/۶^{cd}	۲/۲ ±۰/۱۶^{cd}	۵۲/۷ ±۳۲/۳^{acd}	۲/۰۶ ±۰/۴۵^{cd}	۱/۶ ±۰/۱۴^{cd}	۴/۱۰ ±۰/۶۳^{cd}	۰/۷۷ ±۰/۱۴^{cd}	۱/۹۹ ±۰/۴۰^{cd}	-۰/۱۰ ±۰/۰۴^{cd}
۱۰۰۰	۳۱/۷ ±۱/۱۵^{cde}	۵۲ ±۱/۷^{ce}	۱/۷ ±۰/۱۸^{cde}	۴/۳ ±۵/۸^{be}	۰/۴۷ ±۰/۴۱^{e}	۱/۱ ±۰/۳۶^{ace}	۱/۸۱ ±۰/۲۴^{abe}	۰/۵۹ ±۰/۱۴^{cde}	۱/۱۸ ±۰/۴۹^{abe}	۰/۰۳ ±۰/۱۳^{cde}

وجود یک حرف مشترک نشانهٔ عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (در سطح ۵ درصد)

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین‌های مقدار جذب[2]، نسبت انتقال، ضرایب جذب و عامل انتقال سرب در نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae* (تیمارها برحسب mg/l)

تیمار	عوامل ارزیابی شده										
	Leaf	Stem	Root	S/R	L/R	L/S	TF	UI	EC	BCF (root)	BCF (air)
شاهد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۵۰	۱۲۶ ±۸/۲^{a}	۲۴۳ ±۵۲/۵^{a}	۶۱۹ ±۲۲/۷^{a}	۰/۳۹ ±۰/۰۷^{ab}	۰/۲ ±۰/۰۱^{a}	۰/۵۳ ±۰/۱^{a}	۰/۵۹ ±۰/۰۷۷^{ab}	۳۵۰/۹ ±۱۴۹/۶^{a}	۰/۰۵ ±۰^{a}	۱۲/۸ ±۱/۰۷^{a}	۷/۴ ±۱/۱^{a}
۲۵۰	۱۸۹ ±۵۲/۲^{a}	۳۴۴ ±۵۰/۷^{b}	۱۰۱۲ ±۶۸/۷^{b}	۰/۳۴ ±۰/۰۷^{abc}	۰/۱۹ ±۰/۰۶^{a}	۰/۵۷ ±۰/۲^{a}	۰/۵۳ ±۰/۰۸^{abc}	۹۸۹/۸ ±۳۴۸/۹^{b}	۰/۱۶ ±۰^{b}	۴/۰۳ ±۰/۲۵^{bc}	۲/۱ ±۰/۱۵^{bc}
۵۰۰	۳۱۱ ±۶۵/۶^{b}	۵۵۰ ±۶۴/۵^{c}	۱۷۷۵ ±۲۰۸/۵^{c}	۰/۳۱ ±۰/۰۳^{abc}	۰/۱۷ ±۰/۰۲^{a}	۰/۵۶ ±۰/۰۷^{a}	۰/۵۴ ±۰/۰۶۶^{ab}	۱۷۲۲/۲ ±۴۶۳/۷^{c}	۰/۲۱ ±۰/۰۳۵^{c}	۳/۲ ±۰/۷۵^{bcd}	۱/۷۴ ±۰/۲۴^{bcd}
۱۰۰۰	۳۹۲ ±۳۰/۵^{c}	۶۶۵ ±۶۵/۵^{d}	۲۵۱۸ ±۴۳۸/۴^{d}	۰/۲۷ ±۰/۰۳^{bc}	۰/۱۶ ±۰/۰۴^{a}	۰/۵۹ ±۰/۰۶^{a}	۰/۴۳ ±۰/۰۶۶^{bc}	۱۲۲۱/۴ ±۴۵۲/۶^{bc}	۰/۲۸ ±۰/۰۳۶^{d}	۲/۵ ±۰/۴۵^{cd}	۱/۰۴ ±۰/۰۶^{cd}

وجود یک حرف مشترک نشانهٔ عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (در سطح ۵ درصد).

۱ و ۲- طول ریشه (RL)، ارتفاع گیاه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN) ،وزن تر برگ (LMW)، وزن‌تر ساقه (SMW)، وزن تر ریشه (RMW)، وزن‌تر کل (TMW)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک کل (TDW)، ارزش تحمل (TI)، شاخص اندازهٔ مهار رشد گیاه (GGI)، جذب برگ (Leaf)، جذب ساقه (Stem)، جذب ریشه (Root)، نسبت غلظت ساقه به ریشه (S/R)، نسبت غلظت برگ به ریشه (L/R)، نسبت غلظت برگ به ساقه (L/S)، عامل انتقال (TF)، شاخص جذب (UI)، ضریب غنی‌سازی (EC)، ضریب تجمع زیستی ریشه (BCF root) و ضریب تجمع زیستی ساقه (BCF air).

جدول ۶- تجزیهٔ واریانس صفت‌های مورفولوژی[1] ارزیابی‌شده در بررسی مقدار جذب روی توسط نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae*

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات														
		RL	SL	PL	D	LN	LMW	SMW	RMW	TMW	LDW	SDW	RDW	TDW	TI	GGI
تیمار	۳	۱۱۵**	۱۲۲/۱۲**	۴۷۳**	۰/۶۱*	۱۱۵۴**	۱/۱۶*	۱/۰۸*	۰/۹۸*	۹/۶۳**	۰/۹**	۱/۰۵**	۰/۶۹*	۷/۸۲**	۱۰۰۷/۲**	۰/۰۰۹**
خطا	۸	۱۷/۵	۱۲	۳۴/۷۵	۰/۱۰۷	۱۴۲	۰/۲۳۵	۰/۲۲۳	۰/۱۱۳	۰/۴۹	۰/۰۹۸	۰/۱۴۳	۰/۱۲۵	۰/۵۲	۵۵/۶۷	۰/۰۰۱

**معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، *معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۷- تجزیهٔ واریانس مقدار جذب[2]، نسبت انتقال، ضرایب جذب و عامل انتقال روی توسط نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae*

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات											
		Leaf	Stem	Root	S/R	L/R	L/S	TF	UI	EC	BCF(root)	BCF(air)
تیمار	۳	۳۶۷۶۷/۷۷**	۱۵۵۰۸۱/۱**	۵۵۰۵۶۹۳/۹۹**	۰/۰۵۹**	۰/۰۲۸**	۰/۳۱۲**	۰/۱۶۵**	۴۴۵۳۲۵۹/۱۶**	۰/۲۱**	۹/۲۱**	۴۱/۱**
خطا	۸	۵۴۴/۱۵	۴۲۳۵/۷۶	۴۳۷۸۴/۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	۰/۰۰۴	۱۳۱۲۷۵/۹۲	۰/۰۰	۰/۰۲۴	۰/۷۶۳

**معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

۱و ۲ - طول ریشه (RL)، ارتفاع گیاه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN) ،وزن تر برگ (LMW)، وزن‌تر ساقه (SMW)، وزن تر ریشه (RMW)، وزن‌تر کل (TMW)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک کل (TDW)، ارزش تحمل (TI)، شاخص اندازهٔ مهار رشد گیاه (GGI)، جذب برگ (Leaf)، جذب ساقه (Stem)، جذب ریشه (Root)، نسبت غلظت ساقه به ریشه (S/R)، نسبت غلظت برگ به ریشه (L/R)، نسبت غلظت برگ به ساقه (L/S)، عامل انتقال (TF)، شاخص جذب (UI)، ضریب غنی‌سازی (EC)، ضریب تجمع زیستی ریشه (BCF root) و ضریب تجمع زیستی ساقه (BCF air).

جدول ۸- مقایسهٔ میانگین‌های صفت‌های مورفولوژی ارزیابی‌شده در بررسی مقدار جذب روی در نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae* (تیمارها برحسب mg/l)

تیمار	صفت‌های ارزیابی‌شده													
	RL (cm)	SL (cm)	PL (cm)	D (mm)	LN	LMW (gr)	SMW (gr)	RMW (gr)	TMW (gr)	LDW (gr)	SDW (gr)	RDW (gr)	TMW (gr)	TI (%)	GGI
شاهد	۳۴ ±۶/۵^{a}	۳۶ ±۲^{a}	۷۰±۶/۱^{a}	۳/۳ ±۰/۴^{a}	۱۴۶ ±۱۲/۵^{a}	۳/۵ ±۰/۶^{a}	۳/۲ ±۰/۶^{a}	۳/۱±۰/۵^{a}	۹/۸ ±۰/۸^{a}	۱/۹ ±۰/۳^{a}	۱/۹۷ ±۰/۲^{a}	۱/۶ ±۰/۳^{a}	۵/۵ ±۰/۱^{a}	۱۰۰±۰^{a}	۰±۰^{a}
۵۰	۳۸ ±۲/۶^{a}	۴۰±۴/۶^{a}	۷۸ ±۷^{a}	۳/۵ ±۰/۳^{a}	۱۳۵ ±۶^{a}	۳/۷ ±۰/۴^{a}	۳/۵ ±۰/۵^{a}	۳/۴ ±۰/۳^{a}	۱۰/۶ ±۰/۷^{ab}	۲/۱ ±۰/۴^{a}	۲/۳ ±۰/۶^{a}	۱/۸ ±۰/۵^{a}	۶/۲ ±۱/۲^{a}	۱۱۲ ±۷/۹^{a}	-۰/۰۲ ±۰/۰۴^{a}
۲۵۰	۴۰ ±۲/۶^{a}	۴۱ ±۲^{a}	۸۱ ±۱^{a}	۳/۶ ±۰/۲^{a}	۱۲۷ ±۹/۲^{a}	۳/۹ ±۰/۶^{a}	۳/۶ ±۰/۳^{a}	۳/۶ ±۰/۳^{a}	۱۱/۱ ±۰/۸^{b}	۲/۲ ±۰/۳^{a}	۲/۴ ±۰/۲^{a}	۲ ±۰/۵^{a}	۶/۶ ±۰/۶^{a}	۱۱۷/۷ ±۷/۴^{a}	-۰/۰۴ ±۰/۰۲^{a}
۵۰۰	۲۶ ±۳/۶^{b}	۲۷ ±۴/۳^{b}	۵۳ ±۷/۲^{b}	۲/۶ ±۰/۴^{b}	۱۰۰ ±۱۷/۱^{b}	۲/۵ ±۰/۳^{b}	۲/۳ ±۰/۴^{b}	۲/۳ ±۰/۲^{b}	۷/۱ ±۰/۴^{c}	۱ ±۰/۳^{b}	۱/۱ ±۰/۴^{b}	۰/۹ ±۰/۱^{b}	۳ ±۰/۴^{b}	۷۶/۳ ±۱۰/۳^{b}	۰/۰۸ ±۰/۰۱^{b}

وجود یک حرف مشترک نشانهٔ عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (در سطح ۵ درصد)

جدول ۹- مقایسهٔ میانگین‌های مقدار جذب، نسبت انتقال، ضرایب جذب و عامل انتقال روی در نهال‌های سه‌ماههٔ *Acacia victoriae* (تیمارها برحسب mg/l)

تیمار	عوامل ارزیابی‌شده											
	Leaf	Stem	Root	S/R	L/R	L/S	TF	UI	EC	BCF (root)	BCF (air)
شاهد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۵۰	۸۵/۵ ±۷/۴^{a}	۱۲۶ ±۱۷/۳^{a}	۴۳۱/۸ ±۷۵/۳^{a}	۰/۳ ±۰/۱^{a}	۰/۲ ±۰/۰۳^{a}	۰/۶۹ ±۰/۱۵^{a}	۰/۵ ±۰/۱۲^{a}	۱۳۰۴/۸ ±۲۰۸/۷^{a}	۰/۰۸ ±۰/۰۱^{a}	۸/۶ ±۱/۵^{a}	۴/۲ ±۰/۱۵^{a}
۲۵۰	۱۶۳ ±۲۷/۷^{b}	۲۴۳/۸ ±۲۶^{b}	۸۴۹/۵ ±۱۱۱/۹^{b}	۰/۲۹ ±۰/۰۱^{a}	۰/۱۹ ±۰/۰۲۵^{a}	۰/۶۷ ±۰/۰۹^{a}	۰/۴۸ ±۰/۰۳^{a}	۲۶۸۷/۸ ±۴۳۷/۱^{b}	۰/۲ ±۰/۰۲۶^{b}	۳/۴ ±۰/۴^{b}	۱/۶۳ ±۰/۲۱^{b}
۵۰۰	۲۵۹/۷ ±۳۶/۸^{c}	۵۳۲/۱ ±۱۲۶/۳^{c}	۳۰۴۶/۲ ±۳۹۶/۱^{c}	۰/۱۷ ±۰/۰۳^{b}	۰/۰۸ ±۰/۰۲^{b}	۰/۵۲ ±۰/۲۲^{a}	۰/۲۶ ±۰/۰۲^{b}	۲۳۸۹/۲ ±۵۳۹^{b}	۰/۱۳ ±۰/۰۲^{c}	۶/۱ ±۰/۷۵^{c}	۱/۶ ±۰/۱۷^{b}

وجود یک حرف مشترک نشانهٔ عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (در سطح ۵ درصد)

بحث

اثر فلزهای سرب و روی بر تولید زی‌تودهٔ نهال‌ها

کاهش رشد، واکنش دامنهٔ گسترده‌ای از گیاهان در خاک‌های مملو از فلزهای سنگین است. این کاهش رشد در گیاهان می‌تواند سبب کاهش زی‌تودهٔ ریشه شود که با شدت یافتن آن، مجموع زی‌تودهٔ تولیدی در گیاه کم می‌شود. این‌کاهش رشد ممکن است به‌دلیل سمیت فلز، تضاد با مواد مغذی گیاه و جلوگیری از نفوذ ریشه در خاک باشد (Begonia *et al*., 1998). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که زی‌توده گونهٔ *A. victoriae* به‌عنوان شاخص عملکرد رشد، در غلظت‌های کمتر (قبل از غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر روی) نه تنها کاهش نداشت، بلکه این فلزهای سنگین تأثیر مثبتی در روند رشد نهال‌ها نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند. این تحریک رشد ممکن است به‌دلیل مقاومت زیاد این گونه در مقابل غلظت‌های به‌نسبت زیاد سرب و روی باشد یا اینکه نیتروژن موجود در نمک سرب سبب افزایش رشد زی‌تودهٔ گیاه شده است (Begonia *et al*., 1998; Mahdavi *et al*., 2014). مطالعه‌های مختلفی همچون Begonia *et al*. (1998); Kadukova *et al*. (2008); Mahdavi *et al*. (2014) گزارش دادند که سطح پایین سرب، سبب رشد و تولید زی‌تودهٔ بیشتر نسبت به شاهد در گیاهان مختلف می‌شود. ولی غلظت زیاد سرب در این گونه اثر منفی در زی‌تودهٔ خشک کل گیاه داشت که با یافته‌های Maldonado *et al*. (2011) و Mahdavi *et al*. (2014) همخوانی دارد. همچنین کاهش زی‌تودهٔ خشک کل گیاه در غلظت زیاد روی با یافته‌های Judith *et al*. (1977) و Sagardoy *et al*. (2009) سازگار است.

اثر فلزهای سرب و روی بر ویژگی‌های رشد طولی و ریشهٔ نهال‌ها

مهار رشد ریشه یکی از آثار اولیهٔ سمیت سرب است (Mahdavi *et al*., 2014)، ولی نتایج نشان داد که سرب تأثیر معنی‌داری در ارتفاع ریشه نداشت که همسو با یافته‌های Roongtanakia and Chairoj (2001) است. طول ریشه در غلظت زیاد روی کاهش یافت که با نتیجهٔ تحقیق Brown and Wilkins (1985) همخوانی دارد. از طرفی این کاهش طول ریشه با کاهش ارتفاع کل گیاه همراه بود. کاهش طول کل گیاه در غلظت زیاد روی با نتایج Judith *et al*. (1977); Sagardoy *et al*. (2009); Tang *et al*. (2009) و همچنین در غلظت زیاد سرب با نتایج Mahdavi *et al*. (2014); Maldonado *et al*. (2011); Mukhtar *et al*. (2010) همخوانی دارد. این کاهش ارتفاع کل ممکن است به‌دلیل کاهش رشد ریشه و کاهش انتقال آب و مواد مغذی به بخش‌های هوایی باشد (Mahdavi *et al*., 2014). همچنین در غلظت به‌نسبت زیاد سرب افزایش ارتفاع ساقه ملاحظه شد که با یافتهٔ Wang *et al*. (2011) همسو است.

سمیت فلزهای سرب و روی برای نهال‌های آکاسیا

روی ماده‌ای ضروری برای گیاهان است و آستانه سمیت آن براساس گونه‌های گیاهی، زمان قرار گرفتن در معرض تنش با روی و ترکیب‌های مواد مغذی در محیط رشد متفاوت است (Soares *et al*., 2001). براساس نظر محققان، اولین نشانهٔ سمیت روی در بیشتر گیاهان، زرد شدن برگ‌های جوان است (Fontes and Cox, 1995)؛ ولی نتایج این پژوهش نشان داد که این نشانه از سمیت روی در برگ‌های این گونه دیده نشد؛ همچنین آسیب جدی به‌گیاه وارد نشد؛ بنابراین این گونه ظرفیت تحمل غلظت زیادتر روی را دارد تا مقدار جذب واقعی در آن مشخص شود. ولی علائم مورفولوژی اثر روی با کاهش قطر ریشه، ارتفاع و کاهش ۵۵ درصدی وزن خشک زی‌تودهٔ کل گیاه در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با نهال‌های شاهد ملاحظه شد که با یافته‌های Marchiol *et al*. (2004) مطابقت دارد. در نهایت کاهش شاخص ارزش تحمل گیاه با نتایج تحقیقات

Mahdavi *et al*. (2014); Wang *et al*. (2011) و افزایش شاخص مهار رشد گیاه با نتیجهٔ Mahdavi *et al*. (2014) همخوانی دارد. علائم سمیت سرب در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با زرد شدن برگ‌ها و ریشه‌ها، کاهش زی‌تودهٔ خشک، کاهش ارتفاع گیاه و کم شدن شادابی و زنده‌مانی مشاهده شد. البته با توجه به‌سن کم نهال‌ها، در صورت ادامهٔ تیمار سرب در غلظت زیاد امکان داشت تمامی نهال‌ها از بین بروند؛ چون مقدار زنده‌مانی کل در پانزده گلدان ۸۵ درصد بود.

پتانسیل جذب و انتقال فلزهای سرب و روی در نهال‌های آکاسیا

ریشه نخستین اندامی است که با عناصر سمی تماس دارد و به‌طور معمول مقدار تجمع فلزها در ریشه‌های گیاه بیشتر از اندام‌های هوایی است (Maldonado *et al*., 2011). این عمل در واقع محافظت بخش‌های هوایی گیاه در برابر سمیت ناشی از این فلزها در غلظت‌های زیاد است و همچنین بیشتر گیاهان تجمع‌کنندهٔ فلزهای سنگین توانایی کمی در انتقال آلاینده از ریشه به اندام‌های هوایی دارند (Sharma and Dubey, 2005). براساس نتایج این پژوهش مشخص شد که ضریب تجمع زیستی اندام زیرزمینی و هوایی فلز سرب و روی در همهٔ تیمارها بزرگ‌تر از یک و عامل انتقال در تمام تیمارها کوچک‌تر از یک است (جدول‌های ۵ و ۹). بر اساس نتایج تحقیقات، گونه‌ای که ضریب تجمع زیستی ریشهٔ آن بزرگ‌تر از یک و عامل انتقال کوچک‌تر از یک باشد، برای تثبیت گیاهی مناسب است (Zacchini *et al*., 2009). از طرفی، مقدار تجمع روی در ریشه ۳۰۴۶٫۲، ساقه ۵۳۲٫۱ و برگ‌ها ۲۵۹٫۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اتفاق افتاد. در واقع مقدار جذب روی در بافت ریشه شش برابر ساقه و دوازده برابر برگ‌ها بود. همچنین بیشترین مقدار تجمع سرب در ریشه ۲۵۱۸، در ساقه ۶۶۵ و در برگ‌ها ۳۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اتفاق افتاد. در واقع مقدار جذب سرب در ریشه چهار برابر ساقه و هفت برابر برگ بود (زیاد بودن مقدار جذب روی نسبت به سرب، ضروری بودن آن را می‌رساند) (جدول‌های ۵ و ۹) با توجه به بیشترین جذب سرب و روی در ریشه‌ها نسبت به اندام‌های هوایی، این گونه پتانسیل زیادی برای تثبیت گیاهی دارد که با نتایج تحقیقات MacFarlane and Burchett (2000); Mahdavi *et al*. (2014); Qiu *et al*. (2011) مطابقت دارد. بر اساس یافته‌های Reeves and Baker (2000) گیاهانی‌که توانایی تجمع بیش از ۰/۱درصد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب و ۱ درصد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی در اندام هوایی خود داشته باشند، گونهٔ فراانباشت‌کننده محسوب می‌شوند. طبق نتایج مشخص شد که *A. victoriae* فراانباشت‌کنندهٔ سرب است. چون در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، نهال‌های سه‌ماههٔ آکاسیا ویکتوریا توانایی تجمع ۱۰۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب را در اندام هوایی از خود نشان دادند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت آلاینده، ضریب غنی‌سازی در اندام‌ها افزایش یافت که نشان‌دهندهٔ توانایی تجمع بیشتر سرب و روی در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت فلزها در خاک است و در تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری با هم دیده شد که با نتیجهٔ Assareh *et al*. (2008) همخوانی دارد. همچنین شاخص جذب قوی‌ترین معیار برای تعیین پتانسیل پالایش گیاه است. در هر دو فلز با افزایش غلظت آلاینده، شاخص جذب کاهش یافت که نشان‌دهندهٔ تأثیر فلزها در زی‌تودهٔ گیاه است. در پایان، با توجه به تجمع زیاد روی و سرب در ریشه‌ها، سیستم ریشه‌ای قوی و بردباری (ارزش این‌گونه مقاومت زیاد در خاک‌های شور و خشکسالی است)، *A. victoriae* پتانسیل تثبیت بالایی برای پاکسازی نواحی آلوده به این‌فلزها را در مناطق خشک دارد. با

توجه به اینکه مقدار انتقال این‌فلزها به‌بخش هوایی کم بود، خطر ورود این‌فلزها به زنجیرهٔ غذایی از طریق تعلیف برگ‌های این گیاه توسط حیوان‌های اهلی هم کم است و ریشهٔ گیاه هم به‌عنوان نوعی سنگ معدن زیستی برای احیای مجدد این فلزها کاربرد دارد.

منابع

Assareh, M.A., A. Shariat, and A. Ghamari Zare, 2008.Seedling response of three Eucalyptus species to copper and zinc toxic concentrations, *Caspian Journal of Environmen Science*, 6(2): 97-103.

Begonia, G.B., C.D. Davis, M.F.T. Begonia, and C.N. Gray, 1998. Growth responses of Indian Mustard (Brassica juncea (L.) Czern.) and its phytoextraction of lead from a contaminated soil, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61(1): 38-43.

Brown, M.T., and D.A.Wilkins, 1985. Zinc tolerance in Betula, *Journal of New Phytologist*, 99: 91-100.

Deng, D.M.,W.S. Shu, J. Zhang, H.L. Zou, Z. Lin, Z.H. Ye, and M.H. Wong, 2007. Zinc and cadmium accumulation and tolerance in populations of *Sedum alferedii*, *Environmental Pollution*, 147: 381-386.

Fontes, R.L.F., and F.R. Cox, 1995. Effects of sulfur supply on soybean plants exposed to zinc toxicity, *Journal of Plant Nutrition*, 18: 1893-1906.

Golubev, I.A., 2011. Handbook of Phytoremediation, Nova Science Publisher, Inc. 840 pp.

Judith, A.R., S.P. Carl, and L.G. Marc, 1977. Zinc, Iron, and Chlorophyll Metabolism in Zinc-toxic Corn, *Journal of Plant Physiology*, 59:1085-1087.

Kadukova, J., E. Manousaki, and N. Kalogerakis, 2008. Pb and Cd Accumulation and Phyto excretion by Salt Cedar (*Tamarix smyrnensis* Bunge), *International Journal of Phytoremediation*, 1(10): 31- 46.

Lin, C.J., L. Liu, T. Liu, L. Zhu, and D. Wang, 2009. Soil amendment application frequency contributes to phytoextraction of lead by sunflower at different nutrient levels, *Environmental and Experimental Botany*, 65(2):410-416.

Liu, J.N., Q.X. Zhou, T. Sun, L.Q. Ma, and S. Wang, 2008. Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd–Pb stress and their metal accumulation characteristics, *Journal of Hazardous Materials*, 151(1) :261-267.

MacFarlane, G.R., and M.D. Burchett, 2000. Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh, *Aquatic Botany*, 68: 45–59.

Mahdavi, A., K. Khermandar, S. Ahmady Asbchin, and R. Tabaraki, 2014. Lead accumulation potential in (*Acacia victoriae*), *International Journal of Phytoremediation*, 16(6): 582–592.

Maldonado, A., E. Favela–Torres, F. Rivera Cabrera, and T.L Volke-Sepulveda, 2011. Lead bioaccumulation in *Acacia farnesiana* and its effect on lipid peroxidation and glutathione production, *Plant and Soil*, 339: 377–389.

Marchiol, L., S. Assolari, P. Sacco, and G. Zerbi, 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil, *Environmental Pollution*, 132:21-27.

Mertens, J., P. Vervaeke, A.D. Schrijver, and S. Luyssaert, 2004. Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment, limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation, *Science of the Total Environment*, 326:209–215.

Moreira, H., A.P.G.C., Marques, A.O.S.S., Rangel, and P.M.L. Castro, 2011. Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese site prospects for Phytoremediation, *Water, Air and Soil Pollution*, 221: 377–389.

Mukhtar, S., H. Bhatti, M. Khalid, M. Anwar, and M. Shahzad, 2010. Potential of sunflower (*Helianthus Annuusl*) for Phytoremediation of Nickle and Lead contaminated water, *Journal of Botany*, 42(6): 4017-4026.

Qiu, Y.W., K.F.Yu, G. Zhang, and W.X. Wang, 2011.Accumulation and partitioning of seven trace metals in mangroves and sediment cores from three estuarine wetlands of Hainan Island, *Journal of Hazardous Materials*, 190(1): 631-638.

Reeves, R.D., and A.J.M. Baker, 2000. Phytoremediation of toxic metals. In: Raskin I, Ensley BD (eds) Using plants to clean up the environment. Wiley, New York, 193 PP.

Roongtanakiat, N., and P. Chairoj, 2001. Metals by vetivergrass Uptak Potential of some heavy, *Natural Science*, 35:46-50.

Sagardoy, R.F., A.F. Morales, N. Lopez Milla, A. Abadıa, and J. Abadıa, 2009. Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics, *Journal of Plant Biology*, 11: 339–350.

Soares, C.R.S., P.H. Grazziotti, J.O.Siqueira, J.G. De Carvalho, and F.M.S. Moreira, 2001.Toxidez de zinco no crescimento e nutricao de Eucalyptus maculata e Eucalyptus urophylla em solucao nutritiva , *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(2):338.348.

Singh, D., A. Tiwari, and R. Gupta, 2012. Phytoremediation of lead from wastewater using aquatic plants, *Journal of Agricultural Technology*, 8(1): 1-11.

Sharma, P., and R.S. Dubey, 2005. Ascorbateperoxides from rice seedling, *Journal of Plant Science*, 167: 541-505.

Tang, Y., Q. Rong, Z. Xiao, W. Ying, and R. Rong, 2009. Lead, Zinc, Cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in Arabis Paniculata Franch, *Environmental and Experimental Botany*, 66:126-1343.

Wang, Y.,T. Jiemin, and D. jie, 2011.Study on adsorption and remediation of heavy metals by poplar and larch in contaminated soil, *African Journal of Biotechnology*, 10(65):14516-14521.

Zacchini, M., F. Pietrini, G.S. Mugnozza,V. Iori, L. Pietrosanti, and A. Massacci, 2009. Metal tolerance accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics, *Water, Air and Soil Pollution*, 197(1-4): 23-34.

Zu, Y.Q., Y. Li, C. Schvartz, L. Langlade, and F. Liu, 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead–zinc mine area,China, *Environment International*, 30: 567–576.

Assessment of the potential of *Acacia victoriae* seedlings in uptake of lead and zinc heavy metals

A. Mahdavi[1*], and K. Khermandar[2]

[1]Assistant Prof., Department of Forest, Faculty of Agriculture, Ilam University, I. R. Iran
[2]M.Sc. in Combat Desertification, Faculty of Agriculture, Ilam University, I. R. Iran

(Received: 8 Jun 2014, Accepted: 25 May 2015)

Abstract

In order to investigate the tolerance and impacts of lead and zinc absorption on *Acacia victoria* three months old seedlings were exposed to $Pb(NO_3)_2$ (in five different concentrations: 0, 50, 250, 500 and 1000 (mg/ L) and $ZnSO_4$ (in 4 different concentrations: 0, 50, 250 and 500 (mg/L) for 45 days.Then, the samples were harvested and some morphological attributes and bioaccumulations of Pb^{2+} and Zn^{2+} in different plant tissues were assessed. Results for lead showed that some attributes were affected by lead. Morphological symptoms of lead effects on the leaves were appeared with thin, yellow and brown spots on the leaves in high concentration (1000 mg/L) and more than 70% of total accumulated lead (2518 mg/kg) were accumulated root tissues. Results for zinc indicated that most of attributes were affected by zinc. Morphological symptoms of zinc effects were observed with decreasing in root diameter, height and biomass in high concentration (500 mg/L) and almost 80% of zinc (3046/2mg/kg) was accumulated in root tissues. With respect to bioaccumulation factor, transfer factor and a strong root system, *A. victoriae* can be suggested as lead and zinc stabilizing and according amount of accumulated lead in above ground parts in high concentration (1000 mg/L) can be considered as lead hyperaccumulators species. Therefore, *A. victoriae* can be used as a suitable species for remediation of lead and zinc contaminated areas after complementary studies.

Keywords: Bioconcentration factor, Hyper accumulator, Morphological traits, hytoremediation, Translocation factor.

[*]Corresponding author Tel: +988412227015 Email: a_amoli646@yahoo.com