ISSN 2251-7480

بررسی جذب و تجمع کادمیوم در نهال‌های سه‌ماهه آکاسیا ویکتوریا (*Acacia victoriae*)

خدیجه خرمن‌دار[۱*] و علی مهدوی[۲]

۱*) کارشناس ارشد بیابان‌زدایی؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه ایلام؛ ایلام؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: khermandar625@yahoo.com

۲) دانشیار؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه ایلام؛ ایلام؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۸ تاریخ پذیرش:۱۳۹۵/۰۶/۰۳

چکیده

امروزه آلودگی محیط به فلزات سنگین در نتیجه فعالیت‌های بشر به‌عنوان یکی از چالش‌های مهم در ارتباط با حفاظت منابع آب و خاک است. گیاه پالایی روشی است که در آن از گیاهان برای جذب آلاینده‌ها استفاده شده و می‌تواند به‌طور بالقوه برای احیای آب‌ها و خاک‌های آلوده به‌فلزات سنگین به‌کار رود. پژوهش حاضر با هدف بررسی توانایی نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae* در تجمع کادمیوم در اندام‌های خود (شاخساره و ریشه)، انتقال آن از بخش ریشه به‌شاخساره و درک اثر تجمع کادمیوم در برخی از صفت‌های مورفولوژی این گونه اجرا گردید. برای این منظور ۱۲ نهال سه‌ماهه *A.victoriae* در چهار غلظت (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) کادمیوم برای یک دوره ۴۵ روزه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش جذب کادمیوم، ارتفاع، زی‌توده و مقاومت گیاه در مقایسه با نمونه‌های شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند و علائم سمیت کادمیوم در غلظت بالا به‌صورت کلروز، نکروز و کاهش تعداد برگ‌ها، کاهش انشعابات و تغییر رنگ ریشه‌ها قابل ملاحظه بود. همچنین تجمع کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه با افزایش غلظت کادمیوم افزایش یافتند و میزان تجمع کادمیوم در بافت ریشه نسبت به‌اندام‌های هوایی در همه تیمارها بیشتر بود. به‌طوری که در ریشه، ساقه و برگ‌های این گونه به‌ترتیب، بیش‌از ۷۲ درصد (۱۹۴۳۳/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کم‌تر از ۱۷ درصد (۴۶۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌تر از ۱۱ درصد (۲۸۵۳/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کادمیوم، در غلظت ۱۰۰میلی‌گرم بر لیتر تجمع یافتند. فاکتور تجمع زیستی ریشه و ساقه، فاکتور انتقال، ضریب غنی‌سازی و شاخص جذب نیز به‌ترتیب ۱۸۴/۹۰، ۷۱/۲۰، ۰/۳۹، ۰/۰۱۴، ۷۶۹۷/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بالاترین غلظت تخمین زده شد. در واقع *A.victoriae* با تجمع کادمیوم در ریشه‌ها این توانایی را دارد که از انتقال این فلز به‌بخش‌های هوایی و بروز سمیت در گیاه جلوگیری کند. بنابراین می‌توان از این گونه بیابانی به‌منظور پالایش خاک‌های آلوده به‌کادمیوم، به‌روش تثبیت گیاهی بهره برد.

کلید واژه‌ها: آلودگی خاک؛ تثبیت گیاهی؛ زی‌توده؛ شاخص جذب؛ کادمیوم

مقدمه

آکاسیا ویکتوریا (*Acacia victoriae*) گونه‌ای از تیره بقولات (*Mimosaceae*) می‌باشد که به‌صورت درخت یا درختچه وجود دارد و ویژه مناطق خشک و گرمسیری است. این گونه قابلیت رشد در شرایط نامناسب محیط را دارد و بسیار مقاوم است. ارتفاع این درخت به‌حدود ٤-٣ متر می‌رسد و در مناطقی که باران ناچیز است ولی خاک دارای آب تحت الارضی در عمق ٦-٤ متری است، به‌خوبی مستقر می‌شود. در برخی از ماه‌های سال وجود یک نم‌باران برای آن‌ها بسیار حیاتی است، به‌طوری که با جذب همین مقدار رطوبت می‌تواند خود را از تنش خشکی نجات دهد. درختان بالغ این گونه ٤-٢ کیلوگرم بذر در یک فصل میوه‌دهی مطلوب تولید می‌کنند، که

بذرهای آن سخت هستند و قبل از کشت باید خراش داده شوند. این بذرها به‌رنگ قهوه‌ای تیره و براق می‌باشند که ۱۱۰۰۰-۶۶۰۰ دانه آن یک کیلوگرم وزن دارند. بذرکاری آکاسیا در بارندگی بیش‌از ۲۵۰ میلی‌متر می‌تواند موفقیت آمیز باشد و حتی تجدید حیات طبیعی آن را تحت تاثیر قرار دهد. این گونه تحمل دامنه گسترده‌ای از خاک‌ها را دارد و در خاک‌هایی با pH=۵-۹ شکوفا می‌شود. آکاسیا در محیط‌هایی با فصول طوفانی، سبز و خرم است و در دمای متوسط سالیانه ۲۸-۱۸ درجه سانتی‌گراد قابلیت رشد دارد. همچنین با کاهش دما و رطوبت خاک شروع به‌گلدهی می‌کند (خرمن‌دار، ۱۳۹۲). این گونه ۳۰-۲۰ سال عمر می‌کند و با هرس توانایی ترمیم مجدد را دارد و می‌تواند برای حذف مواد آلاینده گیاهی آمادگی پیدا کند (Mahdavi *et al.*, 2014). همچنین تحمل بالایی به حداکثر دما، چرای شدید دام و آتش سوزی دارد و می‌توان از این گونه به‌منظور تثبیت اراضی شنی، ایجاد نوار جنگلی، علوفه مناسب برای تعلیف دام‌ها، پیشگام در احیاء اراضی و مقابله با بیابان‌زایی استفاده کرد. از طرفی این گونه در خاک‌های سبک و شنی و بر روی تپه‌های ماسه‌ای به‌خوبی قادر به رشد است که همین ویژگی منجر به آن شده است تا این گونه بیابانی از اهمیت بسیاری در رابطه با کویر و تثبیت ماسه‌های روان در مناطق کویری برخوردار باشد. آکاسیا در روند اصلاح خاک‌ها نیز نقش ویژه‌ای دارد و با گره‌هایی که در اطراف ریشه‌های ظریف خود دارد به‌عنوان تثبیت کننده نیتروژن در خاک نقش مهمی در افزایش حاصلخیزی خاک دارد و با اتکا بر این سیستم ریشه‌ای خاص قادر به تامین آب مورد نیاز خود از اعماق زمین است.

استفاده از *A.victoriae* با توجه به‌ریشه‌های عمیق و سازگاری با شرایط محیطی، به‌عنوان یک گونه مناسب برای کاهش آلودگی‌های محیطی در مناطق مختلف برون شهری و صنعتی که در معرض آلودگی‌های مواد آلی و غیرآلی قرار دارند، می‌تواند موثر باشد (خرمن‌دار، ۱۳۹۲).

فلزات سنگین از مهم‌ترین این آلاینده‌ها هستند که در نتیجه تشدید فعالیت‌های بشر از جمله کشاورزی مدرن، ترافیک، فعالیت‌های صنعتی و معدن در خاک‌های بسیاری از مناطق جهان تجمع یافتند (Mahdavi *et al.*, 2014). این فلزات در غلظت کم برای رشد گیاهان ضروری‌اند اما در غلظت‌های بالا سمی هستند. چون خاک‌های آلوده شده توسط فلزات سنگین منجر به آسیب‌های اکولوژیکی، بهم خوردن تعادل محیطی و مشکلات سم‌شناسی در مناطق مختلف به‌خصوص در مناطق خشک با خاک شور می‌شوند (Nagaraju *et al.*, 2015).

کادمیوم یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین است که به‌عنوان یک عنصر کمیاب، از دو طریق طبیعی (سنگهای رسوبی) و مصنوعی (فاضلاب‌های آلوده، حشره‌کش‌ها و کودهای فسفاته) وارد محیط زیست می‌شود و به‌دلیل میل ترکیبی کم با فازهای تثبیت کننده خاک (اکسیدها و کلات‌ها) دارای قابلیت جذب زیادی توسط گیاه است که پس از ورود به‌گیاه توانایی انتقال به‌بخش‌های هوایی را دارد و موجب ایجاد اختلال در فرآیندهای متابولیکی گیاه می‌شود (Yadav, 2010). غلظت کادمیوم در خاک‌های غیر آلوده کم‌تر از ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. اما میزان آن به ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز می‌رسد که این مسئله به مواد مادری خاک بستگی دارد. همچنین میانگین غلظت این فلز در دانه‌های حبوبات، علف‌ها و بقولات به‌ترتیب بین، ۰/۲۲-۰/۰۱۳، ۰/۲۷-۰/۰۷ و ۰/۲۸-۰/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Nazar *et al.*, 2012). کادمیوم با سمیت بالا و نیمه عمر ۳۰-۱۰ سال، در غلظت کم برای گیاهان سمی نیست اما موجب کندی رشد ریشه و تقسیم سلولی در آن‌ها می‌شود و در غلظت بالا بر روی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه تاثیر دارد (Umadevi and Avudainayagam, 2013). به‌طوری که علائم مختلفی از آسیب آن در غلظت‌های بالا مانند، ممانعت از رشد، کاهش فتوسنتز، قهوه‌ای شدن

ریشه‌ها و در نهایت مرگ گیاهان مختلف گزارش شده است (El-Kafafi and Rizk, 2013).

علت این امر آن است که کادمیوم انحلال بالایی در آب دارد و این مسئله به‌طور معنی‌داری موجب آلودگی خاک می‌شود. البته سمیت فلز کادمیوم در گیاهان مختلف به‌نوع گونه گیاهی و غلظت آن نیز بستگی دارد. این فلز آلاینده همچنین در متابولیسم نیتروژن، عملکرد اعضای مختلف گونه‌های گیاهان و بیوسنتز کلروفیل نیز نقش ایفا می‌کند (Al-Khateeb and Al-Qwasemeh, 2014).

بنابراین با توجه به‌اهمیت فلز کادمیوم به‌عنوان یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌های محیطی و تأثیر آن بر موجودات زنده، توجه به مسئله آلودگی این فلز و واکنش گونه‌های مختلف گیاهی در رویارویی با غلظت‌های گوناگون آن حائز اهمیت است. از طرفی فهم پاسخ‌های مورفولوژی گونه‌های مقاوم در برابر این آلودگی‌ها به‌فهم آثار سمیت و معرفی بهتر آن‌ها کمک می‌کند. چون مطالعات مختلف نشان می‌دهد که گیاهان در برابر آلودگی فلزات سنگین رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. به‌طوری که برخی از آن‌ها حساس و برخی دیگر متحمل هستند و می‌توانند مقادیر زیادی از این فلزات را جذب نمایند. در واقع گیاهان در مواجه شدن با فلزات سنگین از سه سازوکار عمده برای مقاومت در برابر سمیت آن‌ها استفاده می‌کنند. دسته اول گیاهان شاخص[1] هستند که فلزات را در بخش‌های مختلف ذخیره می‌کنند و علائم ناشی از سمیت فلزات (زرد شدن، چروکیدگی و پیری زودرس برگ‌ها) در این گیاهان مشاهده می‌شود. دسته دوم گیاهان اجتناب کننده[2] می‌باشند که این گروه از گیاهان با استفاده از سازوکار تثبیت گیاهی[3] از ورود فلز به‌شاخساره جلوگیری می‌کنند. در این دسته از گیاهان غلظت فلزات در بخش ریشه بیش‌تر از اندام‌های هوایی است و دسته سوم گیاهان انباشتگر[4] هستند که آن‌ها با به‌کارگیری سازوکار گیاه جذبی[5] توانایی جذب و تجمع فلزات سنگین در آلودگی‌های کم تا زیاد را دارند (Memon *et al.*, 2009). در این تحقیق علت انتخاب گونه بیابانی *A.victoriae* توانایی بالای آن در سازگاری و تحمل شرایط سخت محیطی و سیستم ریشه‌ای خاص این گونه است.

هدف از این پژوهش نیز بررسی توانایی نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae* در تجمع و انتقال کادمیوم در اندام‌های مختلف و همچنین درک اثر تجمع کادمیوم در برخی از صفت‌های مورفولوژی این گونه بود تا چگونگی سازوکار آن در برابر سمیت کادمیوم مورد ارزیابی قرار گیرد. فرضیه این تحقیق با توجه به‌سیستم ریشه‌ای خاص این گونه، آن است که ریشه‌ها توانایی بیشتری در جذب کادمیوم نسبت به‌اندام‌های هوایی دارند. در این راستا در این پژوهش تلاش شده است تا با بررسی میزان مقاومت و جذب کادمیوم در گونه *A.victoriae* در صورت حصول نتایج مطلوب، آن را به‌عنوان گونه مناسب، به‌منظور احیا و پاک‌سازی خاک‌ها و اراضی آلوده با این فلز پیشنهاد کرد. چون تعیین پتانسیل جذب آلاینده‌ها به‌وسیله گونه‌های مختلف یکی از مهم‌ترین پرسش‌های مدیران اجرایی در بحث جذب آلاینده‌ها است و همچنین با توجه به‌اینکه مناطق آلوده صنعتی، پتروشیمی و نیروگاه‌ها اکثراً در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند، می‌توان با کمک گونه‌های مقاوم این مناطق، عمل زدودن کادمیوم از خاک این مناطق را موثرتر و موفق‌تر انجام داد.

مواد و روش

این پژوهش به‌صورت کشت گلدانی، در نهالستان گروه منابع طبیعی دانشگاه ایلام انجام شد. در ابتدای این تحقیق بذرهای سالم و درشت گونه بیابانی *A.victoriae* از بذرهای چروکیده و نابارور جدا شدند و پس از عمل ضد عفونی، بذرها در گلدان‌هایی پلاستیکی (به‌ارتفاع ۲۰

[1] Metal Indicator
[2] Metal Excluders
[3] Phytostabilization
[4] Metal Accumulator
[5] Phytoextraction

سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر) که هم حجم و به‌رنگ مشکی بودند، به‌نسبت ۱:۱:۲ (کود حیوانی خشک شده، شن- ماسه و خاک) با ظرفیت ۲٫۵ کیلوگرم خاک خشک مزرعه، با بافت سیلت- لومی کاشته شدند.

خاک مورد استفاده در این تحقیق برای همه گلدان‌ها از یک منبع تامین شد. به‌صورتی که این خاک از باغ گیاه‌شناسی دانشگاه ایلام از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت و به‌آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شد. پس از خشک شدن، خاک از الک ۲ میلی‌متری به‌منظور حذف ضایعات عبور داده شد و با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شدند (جدول ۱).

آبیاری گلدان‌ها نیز به‌صورت یک روز در میان و بر مبنای ٦٠ درصد ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده صورت گرفت. بعد از گذشت سه‌ماه گلدان‌ها از محیط تحت کنترل نهالستان به‌محیط باز انتقال داده شدند و نهال‌ها به‌مدت ۱۰روز در محل آزمایش به‌منظور سازگار شدن با شرایط جدید قرار گرفتند و پس از سپری شدن مدت مورد نظر در شرایط طبیعی محیط اعمال تیمار بر روی آن‌ها انجام شد. بدین صورت که تعداد ۱۲ گلدان (نهال‌هایی که از نظر خصوصیات ظاهری مانند، ارتفاع، شادابی، تعداد برگ و ... تقریباً یکسان بودند برای این تحقیق انتخاب شدند) با نمک کادمیوم($CdCl_2.\ 2.5H_2O$) با درصد خلوص بیش‌از ۹۹ درصد از شرکت مرک استفاده شد) در چهار سطح ۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم برای یک دوره ٤٥ روزه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار نهال‌ها تحت تیمار قرار گرفتند.

در این پژوهش مقادیر ذکر شده نمک کادمیوم پس از توزین، در آب مقطر حل شدند و از طریق آبیاری دستی بر روی خاک گلدان‌ها آبیاری انجام گرفت. لازم به‌ذکر است که آبیاری به‌مقدار مشخص و متناسب با وزن خاک انجام شد. بدین صورت که آلاینده مذکور به‌صورت یک روز در میان و به‌مقدار مساوی برای هر گلدان (به‌غیر از گلدان‌های شاهد) براساس ٦٠ درصد ظرفیت زراعی خاک (۵۰۰ میلی‌لیتر) انجام گرفت، تا اطمینان حاصل شود که محلول به‌طور کامل جذب گیاه می‌شود و هیچ محلولی از انتهای گلدان‌ها خارج نمی‌گردد. البته برای اطمینان در زیر هر گلدان سینی پلاستیکی قرار داده شد تا چنانچه بخشی از محلول از گلدان‌ها خارج شد، در سینی‌ها جمع گردد و مجدداً به‌گلدان‌ها بازگردانده شود. همچنین طی این مدت هرگونه نشانه مورفولوژی سمیت کادمیوم در تیمارهای مختلف ثبت شد و کنترل علف‌های هرز با دست انجام گرفت و آفت و بیماری خاصی نیز در آن‌ها مشاهده نشد.

پس از پایان دوره اعمال تیمار، تعدادی از صفت‌های مورفولوژی گیاه مانند، ارتفاع ریشه، ساقه و کل گیاه، قطر یقه، تعداد برگ، وزن‌تر و خشک اندام‌های گیاه (برگ، ساقه، ریشه و کل)، شاخص‌های ارزش تحمل[1] و مهار رشد[2] (Mahdavi and Khermandar, 2015) اندازه‌گیری شدند. در مرحله برداشت گیاه به‌طور کامل از خاک خارج و همه اندام‌های مختلف گیاه (برگ، ساقه و ریشه‌ها) از یکدیگر جدا شدند و به‌منظور زدودن آلاینده‌های سطحی با آب دوبار تقطیر شستشو آن‌ها انجام شد.

جدول۱. نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق

اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	سدیم (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)	نیتروژن کل (%)	بافت خاک	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)
۷٫۲	۳٫۵۹	۱۲	٤۲	۱٫٤٤	۲٫٤۸	۰٫۱٦٤	سیلت- لومی	۵	٤۱	۵٤

[1] Tolerance Index (TI)
[2] Grade of Growth Inhibition (GGI)

قابل ذکر است که برداشت ریشه‌ها با دقت انجام شد تا هیچ ریشه‌ای در خاک باقی نماند و همه زیست‌توده ریشه‌ها برداشت شود. سپس وزن‌تر اندام‌های مختلف گیاه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شدند. بعد از این مرحله نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه آون به‌مدت ٤٨ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک نمونه‌ها توزین شد. سپس ۰/۱گرم از نمونه‌های پودر شده هر یک از اندام‌های گیاه، به‌نسبت ۱:۲:۸ با اسید نیتریک، اسید سولفوریک و اسید پرکلریدریک هضم شدند (Moreira *et al.*, 2011). در نهایت میزان غلظت کادمیوم در بخش‌های مختلف گیاه با استفاده از دستگاه جذب اتم مدل (CTA-2000 AAS) قرائت شد. البته برای این امر ابتدا محلول‌های استانداردی با غلظت‌های مختلف کادمیوم تهیه شدند و قبل از اندازه‌گیری نمونه‌ها، محلول‌های استاندارد مذکور به منظور رسم منحنی واسنجی به‌دستگاه تزریق و منحنی واسنجی کادمیوم حاصل شد که با استفاده از آن غلظت مجهول هر محلول تعیین شد. همچنین به‌منظور تعیین پتانسیل گیاه، فاکتور انتقال[1](Mahdavi *et al.*, 2014)، شاخص جذب[2]، ضریب غنی‌سازی[3](خرمن‌دار، ۱۳۹۲) و تجمع زیستی[4](Mahdavi and Khermandar, 2015) محاسبه شدند. تجزیه آماری داده‌های حاصل از این پژوهش نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. آزمون‌های تجزیهٔ واریانس یک‌طرفه ANOVA و مقایسه میانگین‌ها به‌روش LSD درسطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثرغلظت‌های مختلف کادمیوم برصفت‌های مورفولوژی نهال‌های سه‌ماهه آکاسیا ویکتوریا (*A.victoriae*)

نتایج آزمون تجزیه واریانس کادمیوم مشخص کرد که صفت‌های مورفولوژی مورد بررسی در نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae* در سطح احتمال ۱درصد ($P<0.01$) معنی‌دار می‌باشند (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسهٔ میانگین‌های صفت‌های ارزیابی شده در این گونه (جدول ٤) روند کاهشی این صفت‌ها را نشان داد. کاهش در پارامترهای رویشی و مقاومت گونه با افزایش غلظت کادمیوم، می‌تواند به‌علت تسریع در شستن مواد غذایی در کاربرد با فلز کادمیوم (Subin and Steffy, 2013) و یا تغییر در متابولیسم گیاه باشد (Hussain *et al.*, 2012). همچنین این ماده سمی بر روی ساختار و مورفولوژی گیاه اثر می‌گذارد و منجر به‌کاهش ارتفاع گیاه، آسیب به ریشه‌ها، جلوگیری از فعالیت سلول‌ها، متابولیسم نیتروژن و مواد ضروری در گیاه می‌شود، در نتیجه رشد و زی‌توده آن کاهش می‌یابد (Gubrelay *et al.*, 2013).

براساس نتایج، ارتفاع ریشه، ساقه و کل گیاه در دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با شاهد و غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) دارد. اما در ارتفاع ساقه بین دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و افزایش کادمیوم به‌ترتیب سبب کاهش ۷۵، ٦٦ و ۷۰ درصدی ارتفاع ریشه، ساقه و کل گیاه در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با شاهد شد، که نشان دهنده اثر منفی کادمیوم در رشد گیاه است (جدول ٤).

بنابراین می‌توان عنوان کرد جلوگیری از رشد، پاسخ معمول گیاهان مختلف به‌تنش فلزات سنگین و همچنین به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم مقاومت گیاه نسبت به‌این فلزات است. به‌طوری که مقاومت گیاه به‌تنش فلزات سنگین بر اساس جلوگیری از رشد طولی ریشه یا ساقه تخمین زده می‌شود. در واقع این بی‌نظمی‌ها در رشد دلیل کاهش زی‌توده گیاه است که این مسئله به‌طور معمول در غلظت‌های بالای انواع فلزات سنگین مشاهده می‌گردد(Amira and Qados, 2015). از طرفی پارامترهای طول ریشه و ساقه معمولاً برای نشان دادن سمیت در گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mondal *et al.*, 2013).

[1] Translocation Factor (TF)
[2] Uptake Index (UI)
[3] Enrichment Coefficient (EC)
[4] Bio Concentration Factor (BCF)

جدول۲. تجزیهٔ واریانس صفت‌های مورفولوژی[۷] ارزیابی شده در بررسی میزان جذب کادمیوم توسط نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae*

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات							
		RL	SL	PL	D	LN	LMW	SMW	RMW
تیمار	۳	۲۱۰٫۱۰**	۱۷۷٫۹۰**	۷۷۱**	۱٫۹۸**	۵۵۳۹٫۴۲**	۱٫۵۱**	۱٫۴۴**	۲٫۴۵**
خطا	۸	۱۱٫۸۳	۱۴٫۳۳	۲۶٫۳۳	۰٫۱۴	۱۲۳٫۸۳	۰٫۰۶	۰٫۱۳	۰٫۰۸

** معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد

ادامه جدول ۲. تجزیهٔ واریانس صفت‌های مورفولوژی ارزیابی شده در بررسی میزان جذب کادمیوم توسط نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae*

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات						
		TMW	LDW	SDW	RDW	TDW	TI	GGI
تیمار	۳	۱۵٫۷۹**	۰٫۷۸**	۰٫۶۴**	۱٫۸۹**	۹٫۲۷**	۳۴۵۲٫۹۰**	۰٫۰۲**
خطا	۸	۰٫۱۳	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۱۸	۰٫۱۹	۱۲۷٫۴۰	۰٫۰۰

** معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد

جدول۳. تجزیهٔ واریانس میزان جذب[۸]، نسبت انتقال، ضرایب جذب و فاکتور انتقال کادمیوم توسط نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae*

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات						
		Leaf	Stem	Root	S/R	L/R	L/S	
تیمار	۳	۴۳۴۷۷۴۴٫۴۰**	۱۱۵۵۷۱۳۳٫۳۳**	۲۳۶۲۱۶۳۸۸٫۸۸**	۰٫۱۷**	۰٫۱۰**	۰٫۳۷**	
خطا	۸	۵۶۲۴۱٫۷۰	۲۶۰۳۵۸٫۳۳	۱۹۲۴۱۶۶٫۶۷	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۳	

** معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد

ادامه جدول۳. تجزیهٔ واریانس میزان جذب، نسبت انتقال، ضرایب جذب و فاکتور انتقال کادمیوم توسط نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae*

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		TF	UI	EC	BCF_{root}	BCF_{air}
تیمار	۳	۰٫۵۰**	۱۰۷۳۴۷۳۵۱٫۱۰**	۰٫۰۰**	۴۰۹۴۴٫۶۰**	۳۵۴۷۲٫۳۶**
خطا	۸	۰٫۰۱	۳۳۸۵۷۴۸٫۸۳	۰٫۰۰	۹۹۹٫۳۷	۲۴٫۹۶

** معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد

۸ و۷- طول ریشه (RL)، طول ساقه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN)، وزن‌تر برگ (LMW)، وزن‌تر ساقه (SMW)، وزن‌تر ریشه (RMW)، وزن‌تر کل (TMW)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک کل (TDW)، شاخص ارزش تحمل (TI)، شاخص مهار رشد (GGI)، جذب برگ (Leaf)، جذب ساقه (Stem)، جذب ریشه (Root)، میزان انتقال ساقه به‌ریشه (S/R)، میزان انتقال برگ به‌ریشه (L/R)، میزان انتقال برگ به‌ساقه (L/S)، فاکتور انتقال (TF)، شاخص جذب (UI)، ضریب غنی سازی (EC)، فاکتور تجمع زیستی ریشه (BCF_{root})، فاکتور تجمع زیستی اندام هوایی (BCF_{air}).

علت کاهش بیش‌تر طول ریشه نسبت به‌ساقه گیاه با افزایش غلظت کادمیوم در این گونه آن است که ریشه گیاه اولین اندامی است که ارتباط مستقیم با آلودگی فلز موجود در خاک را دارد (Subin and Steffy, 2013) و همچنین به‌علت سمیت بیش‌تر کادمیوم در ریشه نسبت به‌ساقه است. چون این فلز در پلاسمای سلول‌های ریشه تجمع می‌یابد و منجر به‌کند شدن تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها می‌شود (Mondal *et al.*, 2013). برخی نیز کاهش بیش‌تر طول ریشه نسبت به‌ساقه را به دلیل تغییر در روابط آبی گیاه، جذب عناصر و نفوذپذیری غشای پلاسما توسط فلز کادمیوم می‌دانند که در طویل شدن سلول‌ها اثر می‌گذارد، در نتیجه منجر به‌توقف رشد گیاه می‌شود. چون این فلز آلاینده به‌عنوان دلیل ایجاد خشکی فیزیولوژیکی در گیاه شناخته شده است. البته میزان تغییرات در ویژگی‌های رشدی یک گونه به‌نوع واریته‌های آن گونه در مقاومت به‌فلز آلاینده کادمیوم بستگی دارد (Hayat *et al.*, 2011). ممانعت از رشد ریشه توسط کادمیوم در نتیجه کمبود جذب مواد مغذی و آب است که این امر منجر به آن می‌شود تا نسبت کمی از آن‌ها در گیاه انتقال یابند، در نتیجه رشد ساقه گیاه نیز کاهش می‌یابد (El-Kafafi and Rizk, 2013). چون کادمیوم در جذب و انتقال عناصر ضروری، کلسیم، فسفات، پتاسیم، نیترات، سولفات و آهن اثر گذاشته و منجر به تاثیر منفی در رشد گیاه می‌شود (Tito *et al.*, 2014).

محققانی از جمله، Kaswani و Kidwa (۲۰۱٦)؛ Zafar و Javed (۲۰۱٦)؛ Abraham و همکاران (۲۰۱۵)؛ Hu و همکاران (۲۰۱۵)؛ Naz و همکاران (۲۰۱۵ Aslam و همکاران (۲۰۱٤)؛ Tito و همکاران (۲۰۱٤)؛ Gubrelay و همکاران (۲۰۱۳)؛ Mondal و همکاران (۲۰۱۳)؛ Subin و Steffy (۲۰۱۳)؛ Wang و همکاران (۲۰۱۲)؛ Hayat و همکاران (۲۰۱۱)؛ Auda و Ali (۲۰۱۰)؛ Ghani (۲۰۱۰)، دریافتند که با افزایش کادمیوم طول ریشه، ساقه و کل گیاه کاهش یافتند و کاهش طول ریشه گیاهان بیش‌تر از ساقه آن‌ها بود. شاخص ارزش تحمل گیاه نیز در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با شاهد و غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) دارد و با افزایش غلظت کادمیوم کاهش ۷٤ درصدی این شاخص در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با نمونه شاهد حاصل شد (جدول ٤)، که نشان دهنده اثر منفی غلظت بالای کادمیوم درمیزان مقاومت و طول ریشه گیاه است، چون اثر سمیت کادمیوم در ریشه‌های گیاهان بیش‌تر از اندام‌های هوایی آن‌ها است. در نتیجه، این امر منجر به‌کاهش شاخص ارزش تحمل در گیاهان می‌شود (Chen *et al.*, 2011). بنابراین پتانسیل رشد ریشه گیاهان، شاخص تحمل آن‌ها را نسبت به‌فلزات سنگین مختلف مشخص می‌کند (Subin and Steffy, 2013). محققانی از جمله، Nagaraju و همکاران (۲۰۱۵)؛ Subin و Steffy (۲۰۱۳)؛ Wang و همکاران (۲۰۱۲)، نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم ارزش تحمل گیاه کاهش می‌یابد. تعداد برگ‌ها و قطر یقه نیز در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد و غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) دارند و با افزایش کادمیوم به‌ترتیب کاهش ۸٦ و ۷۸ درصدی تعداد برگ و قطر یقه در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) نسبت به نمونه‌های شاهد یافت شدند (جدول ٤).

کاهش در تعداد برگ‌ها ممکن است به‌دلیل تنش بالای فلز کادمیوم باشد که منجر به‌حساسیت و مرگ برگ‌های قدیمی و ظهور علائم آسیب در برگ‌های جوان می‌شود، در نتیجه تعداد برگ‌های گیاهان کاهش می‌یابد (Faizan *et al.*, 2011). محققانی ازجمله، Al-Khateeb و Al-Qwasemeh (۲۰۱٤)؛ Ano و همکاران (۲۰۱۳)؛ Faizan و همکاران (۲۰۱۱) ؛ Ghani (۲۰۱۰)، نشان دادند که با افزایش غلظت فلز کادمیوم تعداد برگ‌های گیاه کاهش می‌یابند. کاهش قطر یقه گیاه با افزایش کادمیوم نیز با نتیجه، Naz و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد.

جدول٤. مقایسهٔ میانگین‌های صفت‌های مورفولوژی ارزیابی شده در بررسی میزان جذب کادمیوم در نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae* (تیمارها برحسب میلی‌گرم برلیتر)

تیمار	صفت‌های ارزیابی شده						
	$RL^{(cm)}$	$SL^{(cm)}$	$PL^{(cm)}$	$D^{(mm)}$	LN	$LMW^{(gr)}$	$SMW^{(gr)}$
۰	٢٤٫٦٧ ±٤٫٠٤^{a}	٢٥٫٦٧ ±٥٫٠٣^{a}	٥٠٫٣٣±٨٫٣٩^{a}	٢٫٢٩ ±٠٫٥٦^{a}	١١١٫٦٧ ±١٤٫٠٥^{a}	٢٫٠٥ ±٠٫٢٨^{a}	٢٫٣٧ ±٠٫٤٧^{a}
١٠	٢٢٫٦٧ ±٣٫٥١^{a}	٢٢٫٣٣±٣٫٠٥^{a}	٤٥ ±٣٫٦١^{a}	٢٫٠٥ ±٠٫٣١^{a}	١٠١٫٣٣ ±١٥٫٣٠^{a}	١٫٨٧ ±٠٫٣٨^{a}	٢٫٠٦ ±٠٫٤٨^{a}
٥٠	١٤٫٦٧ ±٤٫٠٤^{b}	١٤٫٣٣ ±٤٫٥١^{b}	٢٩ ±٤٫٥٨^{b}	١٫٢٣ ±٠٫٢٩^{b}	٦٤٫٦٧ ±٧٫٦٤^{b}	١٫٣٥ ±٠٫١٠^{b}	١٫٣٥ ±٠٫١٩^{b}
١٠٠	٦٫٣٣ ±١٫٥٣^{c}	٨٫٦٧ ±١٫٥٣^{b}	١٥ ±١^{c}	٠٫٥١ ±٠٫٢٦^{c}	١٦٫٦٧ ±٢٫٥٢^{c}	٠٫٤٧ ±٠٫١٤^{c}	٠٫٨٤ ±٠٫٢٣^{b}

ادامه جدول٤. مقایسهٔ میانگین‌های صفت‌های مورفولوژی ارزیابی شده در بررسی میزان جذب کادمیوم در نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae* (تیمارها برحسب میلی‌گرم برلیتر)

تیمار	صفت‌های ارزیابی شده							
	$RMW^{(gr)}$	$TMW^{(gr)}$	$LDW^{(gr)}$	$SDW^{(gr)}$	$TDW^{(gr)}$	$TI^{(\%)}$	GGI
۰	٢٫٩٠±٠٫٢٦^{a}	٧٫٣٢ ±٠٫٣٩^{a}	١٫٣١ ±٠٫٢٠^{a}	١٫٤٨±٠٫٢٩^{a}	٤٫٨٦ ±٠٫٥٥^{a}	١٠٠ ±٠^{a}	٠ ±٠^{a}
١٠	٢٫٧٢ ±٠٫٣٧^{a}	٦٫٦٥ ±٠٫٣٤^{a}	١٫١٥±٠٫٢١^{a}	١٫٣١ ±٠٫١٨^{a}	٤٫٤٨ ±٠٫٦٠^{a}	٩١٫٩٢ ±١٤٫٢٤^{a}	٠٫٠٢± ٠٫٠٣^{a}
٥٠	١٫٨٢ ±٠٫٣١^{b}	٤٫٥٢ ±٠٫٣١^{b}	٠٫٧٥ ±٠٫٠٩^{b}	٠٫٨٢ ±٠٫١٠^{b}	٢٫٧٨ ±٠٫٢٠^{b}	٥٩٫٤٨ ±١٦٫٤٠^{b}	٠٫٠٩± ٠٫٠١^{b}
١٠٠	٠٫٩٤ ±٠٫١٩^{c}	٢٫٢٥ ±٠٫٣٨^{c}	٠٫١٦ ±٠٫٠٥^{c}	٠٫٤٦ ±٠٫٣١^{b}	١٫٠٢ ±٠٫٣١^{c}	٢٥٫٦٨ ±٦٫٢٠^{c}	٠٫١٦ ±٠٫٠١^{c}

وجود یک حرف مشترک عدم اختلاف معنی‌داری بین تیمارها (در سطح ۱ درصد)

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین‌های میزان جذب، نسبت انتقال، ضرایب جذب و فاکتور انتقال کادمیوم در نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae* (تیمارها برحسب میلی‌گرم برلیتر)

تیمار	عوامل ارزیابی شده						
	$Leaf^{(mg/kg)}$	$Stem^{(mg/kg)}$	$Root^{(mg/kg)}$	$S/R^{(mg/kg)}$	$L/R^{(mg/kg)}$	$L/S^{(mg/kg)}$
۰	-	–	–	–	–	–
١٠	١١٥٠ ±٢١٠٫٧٠^{a}	١٥٥٠ ±٢١٦٫٦٠^{a}	٢٧٦٦٫٦٧ ±٥٥٠٫٧٠^{a}	٠٫٥٧ ±٠٫١٣^{a}	٠٫٤٣ ±٠٫١٢^{a}	٠٫٧٧ ±٠٫٢٥^{a}
٥٠	١٨٨٣٫٣٣ ±٣٠٩٫٢٥^{b}	٢٨٣٣٫٣٣ ±٣٧٠٫٧٠^{b}	١١٩٠٠ ±١٥١٣٫٣٠^{b}	٠٫٢٥ ±٠٫٠٦^{b}	٠٫١٦ ±٠٫٠٤^{b}	٠٫٦٨ ±٠٫١٧^{a}
١٠٠	٢٨٥٣٫٣٣ ±٢٩١٫٤٣^{c}	٤٦٣٠ ±٩٢٥٫٨٠^{c}	١٩٤٣٣٫٣٣ ±٢٢٥٩٫١٠^{c}	٠٫٢٤ ±٠٫٠٥^{b}	٠٫١٥ ±٠٫٠٣^{b}	٠٫٦٤ ±٠٫١٧^{a}

ادامه جدول ۵. مقایسهٔ میانگین‌های میزان جذب، نسبت انتقال، ضرایب جذب و فاکتور انتقال کادمیوم در نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae* (تیمارها برحسب میلی‌گرم برلیتر)

تیمار	عوامل ارزیابی شده				
	$TF^{(mg/kg)}$	$UI^{(mg/kg)}$	EC	BCF_{root}	BCF_{air}
۰	-	–	–	–	–
١٠	٠٫٩٩ ±٠٫٢٠^{a}	١٢٠٩٨٫٥٣ ±١٦٣٥٫٣٠^{a}	٠٫٠٠٤ ±٠٫٠٠٠^{a}	٢٦٢٫٩٧ ±٥٢٫٠٢^{a}	٢٥٦٫٩٠ ±٠٫٩٥^{a}
٥٠	٠٫٤٠ ±٠٫١٠^{b}	١٣١٧٣٫٢٣ ±١٩٣٦٫٣٠^{a}	٠٫٠١١ ±٠٫٠٠١^{b}	٢٢٦٫٤٥ ±٢٨٫٨٠^{ab}	٨٩٫٧٥ ±٧٫٥٣^{b}
١٠٠	٠٫٣٩ ±٠٫٠٦^{b}	٧٦٩٧٫٧٣ ±٢٦٦٨٫٣٠^{b}	٠٫٠١٤ ±٠٫٠٠١^{c}	١٨٤٫٩٠ ±٢١٫٥٠^{b}	٠٫١٥ ±٠٫٠٣^{b}

وجود یک حرف مشترک عدم اختلاف معنی‌داری بین تیمارها (در سطح ۱ درصد)

وزن‌تر و خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاه نیز در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با شاهد و غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) دارند. اما در وزن‌تر و خشک ساقه بین دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با افزایش غلظت کادمیوم به‌ترتیب کاهش ۷۸، ٦٦، ٦٨ و ۷۰ درصدی وزن‌تر برگ، ساقه، ریشه، کل و همچنین به‌ترتیب کاهش ۸۸، ٦٩، ۸۱ و ۷۹ درصدی وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و کل در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با شاهد حاصل شد (جدول ٤).

کاهش در وزن‌تر و خشک گیاه تحت تاثیر کادمیوم می‌تواند به‌دلیل کاهش در تقسیم و توسعه سلولی و تاثیر درسنتز DND و RNA (Auda and Ali, 2010)، جلوگیری از سنتز کلروفیل و آنزیم‌های مهم مانند آمینواسیدها (Abraham *et al.*, 2015) و یا کاهش سلول‌های مریستمیک، اختلال درتشکیل میکروتوبول‌ها در سلول‌های مریستمیک و کاهش رشد سلول‌ها و گیاه باشد، که این مسئله در نتیجه ارتباط با سمیت فلز کادمیوم است (Amira and Qados, 2015). محققانی از جمله، Kaswani و Kidwa (۲۰۱٦) ؛ Hu و همکاران (۲۰۱۵)؛ Naz و همکاران (۲۰۱۵) ؛Al-Khateeb و Al-Qwasemeh (۲۰۱٤)؛ Aslam و همکاران (۲۰۱٤)؛ Subin و Steffy (۲۰۱۳)؛ Hayat و همکاران (۲۰۱۱)؛ Auda و Ali (۲۰۱۰)؛ Ghani (۲۰۱۰)؛ Hediji و همکاران (۲۰۱۰)، دریافتند که با افزایش غلظت کادمیوم وزن‌تر اندام‌های گیاه کاهش می‌یابند. همچنین محققانی از جمله، Zafar و Javed (۲۰۱٦)؛ Amira و Qados (۲۰۱۵)؛ Kherbani و همکاران (۲۰۱۵)؛ Naz و همکاران (۲۰۱۵)؛ El-Kafafi و Rizk (۲۰۱۳)؛ Subin و Steffy (۲۰۱۳)؛ Umadevi و Avudainayagam (۲۰۱۳)؛ Erdem و همکاران (۲۰۱۲) ؛ Gonzalez و همکاران (۲۰۱۲)؛ Wang و همکاران (۲۰۱۲)؛ Ghani (۲۰۱۰)، نشان دادند که با افزایش کادمیوم وزن خشک اندام‌های گیاه کاهش می‌یابند. شاخص مهار رشد در دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با شاهد و غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) دارد و با افزایش کادمیوم، افزایش ۰/۱٦ شاخص مهار رشد در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با شاهد ملاحظه شد (جدول ٤)، که نشان دهنده کاهش مقاومت گیاه و افزایش تنش وارده به‌گیاه در غلظت بالای کادمیوم است. در واقع کاهش زی‌توده در گیاه نشان دهنده حساسیت گیاه به‌فلزات سنگین است که منجر به آسیب رساندن به عملکرد فیزیولوژیکی گیاه می‌شود (Nagaraju *et al.*, 2015).

چون کادمیوم موجب کمبود عناصر، پتاسیم، منیزیم، منگنز و آهن در گیاه می‌شود که این عناصر در ساختار و عملکرد گیاه بسیار حیاتی هستند. از طرفی اثر معمول سمیت فلز کادمیوم در گیاه، توقف رشد، کلروز برگ‌ها و تغییر در فعالیت‌های بسیاری از آنزیم‌های کلیدی است (Faizan *et al.*, 2011). در این پژوهش علائم سمیت کادمیوم با توقف رشد و کلروز برگ‌ها مشاهده شد که با نتیجه، Gupta و Chakrabarti (۲۰۱۳) همخوانی دارد. با افزایش غلظت کادمیوم همچنین نکروز برگ‌ها، حساسیت و مرگ برگ‌های قدیمی و علائم آسیب به برگ‌های جوان افزایش یافت که با نتیجه Faizan و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد. غلظت بالای فلز کادمیوم همچنین منجر به قهوه‌ای شدن ریشه‌ها شد که این امر در نتیجه چوب پنبه‌ای شدن ریشه‌ها است (Nagaraju *et al.*, 2015).

در نهایت می‌توان گفت کادمیوم عنصر غیرضروری است و از برخی فرآیندهای حیاتی گیاه مانند، فتوسنتز، میتوز و جذب آب جلوگیری می‌کند که با آثار زیان آور در برگ‌ها، پژمرده شدن برگ‌های قدیمی، توقف رشد و قهوه‌ای شدن ریشه‌ها (Aslam *et al.*, 2014)، کلروز و نکروز برگ‌ها و ریشه‌ها و کاهش نسبت تولید سلول‌های جدید همراه است. چون این فلز آلاینده با کاهش جذب عناصر ضروری در گیاهان منجر به‌تاثیر منفی در کلروپلاست و اختلال در باز و بسته شدن روزنه‌های آن‌ها می‌شود (Naz *et al.*, 2015). بنابراین جذب فلز کادمیوم

توسط سلول‌های زنده دلیل تغییرات بسیار جدی در گیاهان است که می‌تواند منجر به‌مرگ سلول‌ها گردد. البته این مسئله به‌کاربرد کادمیوم و زمان در معرض قرار گرفتن بستگی دارد (Hussain *et al.*, 2012).

توانایی نهال‌های سه‌ماهه آکاسیا ویکتوریا (*A.victoriae*) در جذب و انتقال کادمیوم

نتایج آزمون تجزیه واریانس کادمیوم مشخص کرد که میزان جذب در اندام‌ها، شاخص‌ها و فاکتورهای مورد بررسی در نهال‌های سه‌ماهه *A.victoriae* در سطح احتمال ۱ درصد ($P<0.01$) معنی‌دار هستند (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسهٔ میانگین‌های این پارامترها (جدول ۵) نشان داد که میزان جذب کادمیوم در برگ، ساقه و ریشه‌ها در همه تیمارها (۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند و با افزایش غلظت کادمیوم، میزان جذب در همه اندام‌های گیاه به‌صورت خطی افزایش یافت. بیش‌ترین میزان تجمع فلز کادمیوم نیز در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم برلیتر برآورد شد.

به‌طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان جذب کادمیوم در *A.victoriae* به‌ترتیب در ریشه‌ها (بیش‌از ۷۲ درصد) و برگ‌های (کم‌تراز ۱۱ درصد) این گونه بیابانی برآورد شد (۱۹٤۳۳٫۳۳> ٤٦۳۰ > ۲۸۵۳٫۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ریشه> ساقه> برگ). علت این مسئله آن است که ریشه گیاه اولین ارگان در خاک است که از طریق آپوپلاست، فلز کادمیوم را دریافت می‌کنند. در نتیجه مقدار تجمع کادمیوم در ریشه بالاست (Chen *et al.*, 2011). در مقابل علت تجمع بسیار کم کادمیوم در برگ نسبت به‌ریشه این گونه آن است که برگ‌های گیاه به‌سیستم آنتی‌اکسیدانی مجهزاند که از گیاه در مقابل سمیت فلز کادمیوم محافظت می‌کنند. از طرفی دیگر، کاهش تجمع کادمیوم در برگ گیاه نشان دهنده باقی ماندن این فلز در ریشه است (Asgher *et al.*, 2013).

در واقع وجود اختلاف زیاد در تجمع کادمیوم بین ریشه و اندام‌های هوایی گیاهان نشان دهنده محدودیت انتقال کادمیوم از ریشه به‌اندام‌های هوایی است، در نتیجه غلظت فلز کادمیوم در ریشه‌های گیاهان بیش‌تر می‌باشد (Ali *et al.*, 2012). همچنین تجمع بیش‌تر فلز آلاینده کادمیوم در ریشه‌های گیاه نسبت به‌ساقه آن‌ها می‌تواند به ممانعت از سمیت در ساقه نسبت به‌ریشه‌های گیاه منجر شود (Subin and Steffy, 2013). بر اساس نظر محققان توانایی یک گونه در تجمع فلزات سنگین در ریشه و ممانعت از انتقال آن به‌اندام‌های هوایی نشان دهنده مکانیسم مقاومتی گونه مورد بررسی به آن فلز و همچنین قابلیت کاربرد آن گونه در فرآیند گیاه پالایی می‌باشد (Amira and Qados, 2015).

البته جذب فلز توسط گیاه به‌تعدادی از فاکتورهای محیطی، ژنوتیب، نوع و درجه آلودگی، محصول بالای گیاه، ویژگی و کیفیت خاک (Rivelli *et al.*, 2012)، توانایی در سمیت زدایی و مقاومت به آن فلز بستگی دارد (Hancock *et al.*, 2012). محققانی از جمله، Kherbani و همکاران (۲۰۱۵)؛ Naz و همکاران (۲۰۱۵)؛ Mittal و همکاران (۲۰۱٤)؛ Asgher و همکاران (۲۰۱۳)؛ Dai و همکاران (۲۰۱۳)؛ Gupta و Chakrabarti (۲۰۱۳)؛ Mondal و همکاران (۲۰۱۳)؛ Ali و همکاران (۲۰۱۲)؛ Gonzalez و همکاران (۲۰۱۲)؛ Hancock و همکاران (۲۰۱۲)؛ Rivelli و همکاران (۲۰۱۲)؛ Wang و همکاران (۲۰۱۲)، دریافتند که تجمع کادمیوم در ریشه‌های گیاهان نسبت به‌اندام‌های هوایی آن‌ها بیش‌تر است. در بررسی میزان انتقال کادمیوم از ساقه و برگ به‌ریشه و برگ به‌ساقه نیز مشخص شد که با افزایش غلظت کادمیوم این نسبت‌ها کاهش یافتند و اختلاف معنی‌داری در انتقال کادمیوم از ساقه و برگ به‌ریشه در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) با غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) وجود دارد. اما بین این دو غلظت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین میزان انتقال کادمیوم از برگ به‌ساقه در هیچ کدام از تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارد و با افزایش کادمیوم به‌ترتیب کاهش ۵۷، ٦۸ و ۱٦ درصدی میزان انتقال فلز کادمیوم از ساقه به‌ریشه، برگ به‌ریشه و برگ به‌ساقه در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با

غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) ملاحظه شد، که نشان دهنده تجمع غالب کادمیوم در ریشه‌ها است (جدول ۵).

میزان فاکتور انتقال نیز در همه تیمارها کوچک‌تر از یک بود که این امر نشان دهنده توانایی کم در انتقال کادمیوم به اندام‌های هوایی است که بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) با غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری وجود دارد. ولی بین دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و با افزایش کادمیوم کاهش ٦۲ درصدی آن در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) ملاحظه شد. بررسی میزان فاکتور تجمع زیستی ریشه و اندام‌های هوایی گیاه مشخص کرد که در همه غلظت‌ها این فاکتور بزرگ‌تر از یک است که این موضوع نشان دهنده تجمع غالب کادمیوم در ریشه‌ها است.

فاکتور تجمع زیستی ریشه بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) و بین تیمارهای ۱۰ و ۵۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما در فاکتور تجمع زیستی اندام‌های هوایی بین همه تیمارها (۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری وجود دارد و با افزایش غلظت کادمیوم به‌ترتیب کاهش ۳۰ و۷۲ درصدی فاکتور تجمع زیستی ریشه و اندام‌های هوایی در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) تخمین زده شد (جدول ۵).

نتایج حاصل از این تحقیق مشخص کرد که در همه تیمارها فاکتور تجمع زیستی ریشه بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال نیز کوچک‌تر از یک است. بر اساس یافته محققان گونه‌ای که فاکتور تجمع زیستی ریشه آن بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک باشد آن گونه برای هدف تثبیت گیاهی در فرآیند گیاه پالایی مناسب است (Mittal *et al.*, 2014). شاخص جذب نیز که نشان دهنده تاثیر میزان جذب کادمیوم بر زی‌توده گیاه است، با افزایش کادمیوم کاهش یافت که نشان دهنده اثر منفی غلظت بالای فلز کادمیوم بر میزان زی‌توده گیاه است که بر روی شاخص جذب نیز اثر منفی می‌گذارد و در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها دارد (کاهش ۳٦ درصدی این شاخص در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) حاصل شد (جدول ۵). در بررسی ضریب غنی‌سازی ملاحظه شد که همه تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند و با افزایش غلظت کادمیوم افزایش یافتند که این موضوع نشان دهنده افزایش جذب در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت فلز کادمیوم است. به‌طوری که افزایش ۳٫٦ برابری این شاخص در غلظت ۱۰۰ (میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با غلظت ۱۰ (میلی‌گرم بر لیتر) حاصل شد.

در نهایت با توجه به‌نتایج می‌توان عنوان کرد که ریشه‌های نهال‌های سه ماهه *A.victoriae* توانایی بالایی در جذب کادمیوم نسبت به‌اندام‌های هوایی خود دارند که این مسئله می‌تواند به‌سیستم ریشه‌ای خاص این گونه مربوط باشد. در واقع *A.victoriae* با تجمع بیش‌تر فلز کادمیوم در ریشه و ممانعت از انتقال آن به‌اندام‌های هوایی به‌عنوان یک گونه اجتناب کننده محسوب می‌شود که با استفاده از سازوکار تثبیت گیاهی از ورود کادمیوم و بروز سمیت در اندام‌های هوایی گیاه جلوگیری می‌کند. بنابراین خطر ورود فلز کادمیوم به‌زنجیره غذایی از طریق تعلیف برگ‌ها توسط حیوان‌ها بسیار کم است و ریشه‌های این گونه برای احیای مجدد کادمیوم قابل بهره‌برداری است.

نتیجه‌گیری

با توجه به‌این که خانواده بقولات در مقایسه با برخی تیره‌های گیاهی دارای پتانسیل خوبی در جذب فلزات سنگین هستند. می‌توان با شناخت و بررسی میزان جذب و مقاومت گونه‌های مختلف این خانواده در مناطقی که شرایط رویشی آن‌ها فراهم باشد به‌کشت و توسعه آن‌ها اقدام نمود. با توجه به‌نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان چنین استنباط کرد که مسمومیت کادمیوم منجر به‌کاهش رشد، زی‌توده ومقاومت این گونه بیابانی شد. همچنین ریشه‌های *A.victoriae* توانایی بالایی در جذب کادمیوم

نسبت به اندام‌های هوایی داشتند و با استفاده از سازوکار تثبیت گیاهی از ورود کادمیوم به‌اندام‌های‌هوایی جلوگیری کردند.

در واقع این گونه با کاهش رشد و زی‌توده، فلز کادمیوم را در ریشه‌های خود حفظ کرد، تا از ایجاد سمیت در اندام‌های هوایی گیاه جلوگیری کند. از طرفی با توجه به‌اینکه بیشتر مناطق آلوده صنعتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور قرار دارند و با توجه به‌ویژگی‌های این گونه (سازگار با شرایط سخت محیطی، کاشت و نگهداری آسان، کم هزینه بودن و ...) به‌نظر می‌رسد، می‌توان از این گونه که بومی این مناطق است به‌منظور رفع آلودگی از خاک‌های آلوده به‌کادمیوم در این مناطق استفاده کرد.

چون نتایج بیانگر جذب بالای کادمیوم را دارد که نشان دهنده لزوم به‌کارگیری این گونه به‌منظور کاهش آلودگی با فلز کادمیوم در مناطق خطر می‌باشد. البته با توجه به اینکه تاکنون تحقیقی درباره عکس‌العمل‌ها و پتانسیل جذب فلز کادمیوم در این گونه بیابانی انجام نگرفته است، از این رو می‌توان با انجام مطالعات تکمیلی به‌نتایج دقیق‌تری در این زمینه دست یافت و به‌منظور کاربردی شدن نتایج تحقیق حاضر، باید ادامه این تحقیق در عرصه نیز انجام شود.

از طرفی با توجه به‌سیستم ریشه‌ای گسترده و عمیق گونه *A.victoriae* در خاک این گونه بیابانی می‌تواند به جلوگیری از فرسایش خاک، از طریق در برگرفتن فیزیکی دانه‌های خاک به یکدیگر، تثبیت خاک‌های مناطق شیب‌دار، ممانعت از پراکنش آلاینده‌ها و معلق شدن ذرات به‌سایر مناطق کمک کند. در انتها پیشنهاد می‌شود که میزان مقاومت و واکنش‌های مختلف این گونه به فلز کادمیوم در دوره‌های بعدی رشد و سنین بالاتر آن نیز مورد بررسی قرار گیرد. چون عکس‌العمل گیاهان مختلف نسبت به آلودگی محیطی با توجه به‌مرحله رشدی آن‌ها بسیار متفاوت است. البته باید این موضوع را در نظر داشت که مقدار و درجه آلودگی یک فاکتور مهم است و اگر سطوح آلودگی زیاد باشد، سمیت گیاهی شدیدتری رخ دهد که به‌موجب آن گیاه می‌میرد و یا به مواد سمی خطرناک در گیاه تبدیل شود. بنابراین باید برای هر منطقه خاص با توجه به میزان شدت آلودگی واریته مناسب گونه شناخته و به‌کار برده شود.

فهرست منابع

خرمن‌دار، خ. ۱۳۹۲. بررسی پتانسیل جذب آلاینده سرب توسط درختچه بیابانی آکاسیا (Acacia victoriae). پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه ایلام. ۱۰۵ص.

Abraham, K., Ramesh, P. and Damodharam, T. 2015. Effect of cadmium chloride ($CdCl_2$) on biochemical contents of Arachis hypogaea. International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences, 4 (11): 52-69.

Ali, H., Naseer, M. and Anwar-Sajad, M. 2012. Phytoremediation of heavy metals by Trifolium alexandrinum. International Journal of Environmental Sciences, 2 (3): 1459-1469.

Al-Khateeb, W. and Al-Qwasemeh, H. 2014. Cadmium, copper and zinc toxicity effects on growth, proline content and genetic stability of Solanum nigrum L., a crop wild relative for Tomato, comparative study. Physiol Mol Biol Plants, 20 (1): 31-39.

Amira, M.S. and Qados, A. 2015. Phytoremediation of Pb and Cd by native tree species grown in the Kingdom of Saudi Arabia. Indian Journal of Sciences Research and Technology, 3 (1): 22-34.

Ano, A.O., Eke-Okoro, O.N. and Egesi, C.N. 2013. Heavy metals (Cd, Ni and Pb) pollution effects on Cassava (Manihot esculenta Crantz). International Journal of Biodiversity and Conservation, 5 (10): 640-646.

Asgher, M., Khan, M.I.R., Iqbal, N., Masood, A. and Khan, N.A. 2013. Cadmium tolerance in Mustard cultivars: dependence on proline accumulation and nitrogen assimilation. Journal of Functional and Environmental Botany, 3 (1): 30-42.

Aslam, R., Ansari, M.Y.K., Choudhary, S., Bhat, T.M. and Jahan, N. 2014. Genotoxic effects of heavy metal cadmium on growth, biochemical, cyto-physiological parameters and detection of DNA polymorphism by

RAPD in Capsicum annuum L., an important spice crop of India. Saudi Journal of Biological Science, 21 (5): 465-472.

Auda, M.A. and Ali, E.E.S. 2010. Cadmium and zinc toxicity effects on growth and mineral nutrients of Carrot (Daucus Carota). Pakistan Journal of Botaniy, 42 (1): 341-351.

Chen, X., Wang, J., Shi, Y., Zhao, M.Q. and Chi, G.Y. 2011. Effects of cadmium on growth and photosynthetic activities in Pakchoi and Mustard. Botanical Studies, 52: 41-46.

Dai, H.P., Wei, A.Z., Yang, T.X., Gu, T.Q., Zhao, H., Wu, S.Q., Chen, W.Q. and Huo, K.K. 2013. Cadmium uptake, localization and detoxification in Populus×canescens. Journal of Food Agriculture and Environment, 11 (1): 875-877.

El-Kafafi, E.S. and Rizk, A.M. 2013. Effects of cadmium and combined cadmium-zinc concentrations on rooting and nutrient uptake of Cowpea seedlings grown in hydroponic. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 13 (8): 1050-1056.

Erdem, H., Kmay, A., Ozturk, M. and Tutus, Y. 2012. Effect of cadmium stress on growth and mineral composition of two Tobacco cultivars. Journal of Food Agriculture and Environment, 10 (1): 965-969.

Faizan, S., Kauser, S. and Parveen, R. 2011. Varietal differences for cadmium-induced seedling mortality, foliar toxicity symptoms, plant growth, proline and nitrate reductase activity in Chickpea (Cicer arietinum L.). Biology and Medicine, 3 (2): 196-206.

Ghani, A. 2010. Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of Mungbean [Vigna radiata (L.) Wilczek]. World Applied Sciences Journal, 8: 26-29.

Gonzalez, A., Chumillas, V. and Lobo, M.C. 2012. Effect of Zn, Cd and Cr on growth, water status and chlorophyll content of Barley plants (H. vulgare L.). Agricultural Sciences, 4 (3): 572-581.

Gubrelay, U., Agnihotri, R.K., Singh, G., Kaur, R. and Sharma, R. 2013. Effect of heavy metal Cd on some physiological and biochemical parameters of Barley (Hordeum vulgare L.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5 (22): 2743-2751.

Gupta, S. and Chakrabarti, S.K. 2013. Effect of heavy metals on different anatomical structures of Bruguiera sexangula. International Journal of Bioresource and Stress Management, 4 (4): 605-609.

Hancock, M.S.L., Charlotte, E.L., Charneskie, R. and Ruane, G.L. 2012. Effects of cadmium and mycorrhizal fungi on growth, fitness and cadmium accumulation in Flax (Linum Usitatissimum Linaceae). American Journal of Botany, 99 (9): 1445-1452.

Hayat, S., Hasan, S.A. and Ahmad, A. 2011. Growth, nitrate reductase activity and antioxidant system in cadmium stressed Tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivars. Biotechnologie, Agronomie, Societe Environnement, 15 (3): 401-414.

Hediji, H., Djebali, W., Cabasson, C., Maucourt, M., Baldet, P., Pertrand, A., Zoghlami, L.B., Deborde, C., Moing, A., Brouquisse, R., Chaibi, W. and Gallusci, P. 2010. Effects of long-term cadmium exposure on growth and metabolomic profile of Tomato plants. Ecotoxicol Environ Safe, 73: 1965-1974.

Hu, J., Deng, Z., Wang, B., Zhi, Y., Pei, B., Zhang, G., Luo, M., Huang, B., Wu, W. and Huang, B. 2015. Influence of heavy metals on seed germination and early seedling growth in Crambe abyssinica, a potential industrial oil crop for phytoremediation. American Journal of Plant Sciences, 6: 150-156.

Hussain, I., Iqbal, M., Qurat-Ul-Ain, S., Rasheed, R., Mahmood, S., Perveen, A. and Wahid, A. 2012. Cadmium dose and exposure time dependent alterations in growth and physiology of Maize (Zea mays). International Journal of Agiculture and Biology, 14 (6): 959-964.

Kaswan, M. and Kidwai, M.K. 2016. Effects of heavy metals on morphological and physicochemical properties of Mustard- A invitro study. IJCBS Research Paper, 2 (11): 1-4.

Kherbani, N., Abdi, N. and Lounici, H. 2015. Effect of cadmium and zinc on growing Barley. Journal of Environmental Protection, 6: 160-172.

Mahdavi, A. and Khermandar, Kh. 2015. Differential expression of zinc accumulation during two growing seasons of Acacia victoriae. Journal of Forestry Research, 26 (3): 663-671.

Mahdavi, A., Khermandar, Kh., Ahmady-Asbchin, S. and Tabaraki, R. 2014. Lead accumulation potential in Acacia victoriae. International Journal of Phytoremediation, 16 (4): 582-592.

Memon, A.R., Aktoprakligil, D., Ozdemir, A. and Vertll, A. 2009. Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants. Turkish Journal of Botaniy, 25: 111-121.

Mittal, N., Srivastava, A.K. and Bhupendra, K. 2014. Accumulation of heavy metals (cadmium and hexavalent chromium) in accessions of Hordeum vulgare. Journal of Environmental ScienceToxicology and Food Technology, 8 (5): 79-82.

Mondal, N.K., Das, C., Roy, S., Datta, J. and Banerjee, A. 2013. Effect of varying cadmium stress on Chickpea (Cicer arietinum L.) seedlings: An ultrastructural study. Annals of Environmental Science, 7: 59-70.

Moreira, H., Marques, A.P.G.C., Rangel, A.O.S.S. and Castro, P.M.L. 2011. Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese site: prospects for Phytoremediation. Water Air Soil Pollution, 221 (14): 377-389.

Nagaraju, M., Anil Kumar, S. and Manohar Rao, D. 2015. Constitutive effects of distinct heavy metals (Cd, Pb and As) on seed germination and physiological characters of groundnut (Arachis hypogaea L.). International Journal of Advanced Research, 3 (8): 959 -970.

Naz, A., Khan, S., Muhammad, S., Khalid, S., Alam, S., Siddique, S., Ahmed, T. and Scholz, M. 2015. Toxicity and bioaccumulation of heavy metals in Spinach (Spinacia oleracea) grown in a controlled environment. International Journal of Environmental Research Public Health, 12: 7400-7416.

Naz, A., Khan, S., Qasim, M., Khalid, S., Muhammad, S. and Tariq, M. 2013. Metals toxicity and its bioaccumulation in purslane seedlings grown in controlled environment. Natural Science, 5 (5): 573-579.

Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M.I.R., Syeed, S. and Khan, N.A. 2012. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. American Journal of Plant Sciences, 3: 1476-1489.

Rivelli, A.R., Maria, S.D., Puschenreiter, M. and Gherbin, P. 2012. Accumulation of cadmium, zinc and copper by Helianthus annuus L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements. International Journal of Phytoremediation, 14 (4): 320-334.

Subin, M.P. and Steffy, F. 2013. Phytotoxic effects of cadmium on seed germination, Early seedling growth and antioxidant enzyme activities in Cucurbita maxima Duchesne. International Research Journal of Biological Sciences, 2 (9): 40-47.

Tito, G.A., Chaves, L.H.G., Fernandes, J.D., Monteiro, D.R. and Vasconcelos, A.C.F. 2014. Effect of copper, zinc, cadmium and chromium in the growth of Crambe. Agricultural Sciences, 5: 975-983.

Umadevi, M. and Avudainayagam, S. 2013. Effect of cadmium and chromium on fast growing pulp wood tree species. International Journal of Biosciences, 3 (10): 92-104.

Wang, Y., Yan, A., Dai, J., Wang, N.N. and Wu, D. 2012. Accumulation and tolerance characteristics of cadmiumin Chlorophytum comosum: a Popular ornamental plant and potential Cd hyperaccumulator. Environ Monit Assess, 184: 929-937.

Yadav, S.K. 2010. Heavy metal toxicity 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.N. and Javed, F. 2016. In vitro study of interactive effect of cadmium and salicylic acid on growth and biochemical parameters in Tetra and Hexaploid Wheat. International Journal of Agriculture and Biology, 18 (4): 671-676.

ISSN 2251-7480

The study of cadmium uptake and accumulation in *Acacia victoriae* three months old seedlings

Khadijeh Khermandar[1*] and Ali Mahdavi[2]

1[*]) M.Sc. Combat to Desertification, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ilam, Ilam, Iran
[*]Corresponding author email: khermandar625@yahoo.com
2) Associated Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ilam, Ilam, Iran

Received: 17-05-2016 Accepted:24-08- 2016

Abstract
As a result of human activities, metal pollution has become one of the most important challenges in soil and water conservation area today. Phytoremediation utilizes plants to uptake contaminants and can potentially be used to remediate metal contaminated soils and waters. This study was carried out with the aim of assessing the ability of *Acacia victoriae* three months old seedlings in the accumulation of cadmium in their parts (stem and root), transfer it from the roots to the stems and to understand the effect of Cd accumulation on some morphology attributes of the plant. For this purpose, 12 seedlings of *A.victoriae* three months old seedlings were exposed to Cd in 4 different concentrations: 0, 10, 50 and 100 (mg/l) for period 45 days in completely randomized design with 3 replicates per treatment were considered. The results showed significantly reduction of height, biomass and resistance were observed, compared to the control plants and also symptoms of toxicity in the leafs which become thin, yellow and with brwon spots in high concentrations of Cd were notably. Also Cd accumulation in roots and aerial parts increasing trend with increasing Cd supply up to 100 (mg/l) and root tissue concentration regards to Cd concentration was higher than stem tissues concentration at all treatments. Cd were accumulated in the roots, stems and leafs of seedlings, more than 72% (19433.33 mg/kg), under 17% (4630 mg/kg) and under 11% (2853.33 mg/kg) exposed to 100 (mg/l), respectively. Bioconcentration Coefficient root and stem, Translocation Factors, Enrich Coefficient and Uptake Index were determined 184.9, 71.20, 0.39, 0.014, 7697.73 mg/kg in high concentrations of Cd, respectively. Indeed, the results confirmed that *A.victoriae* had the ability to accumulate Cd in the roots so that prevented Cd toxicity symptom. Generally, this desert plant can be used in the process of remediation of Cd soil polluted by way of phytostabilization.

Key words: biomass, cd, phytostabilization, soil pollution, uptake index