

## ارزیابی توان گیاه‌پالایی کادمیم در بافت‌های مختلف خاک توسط گونه‌های اقاچیا (*Robinia pseudoacacia* L.)، زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Miller) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Greene)

یحیی خداکرمی<sup>۱\*</sup>، انوشیروان شیروانی<sup>۲</sup>، ژیرار واردانیان<sup>۳</sup> و هرمز سهرابی<sup>۴</sup>

\*- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، آکادمی ملی علوم ارمنستان، ایروان، ارمنستان. پست الکترونیک: khodakarami@gmail.com

۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- استاد، دانشگاه کشاورزی آکادمی ملی علوم ارمنستان، ایروان، ارمنستان

۴- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۱۰

### چکیده

امروزه آلودگی خاک‌ها توسط کادمیم به نگرانی بزرگی تبدیل شده است. گیاه‌پالایی روشی ساده، اقتصادی و سازگار با محیط زیست برای پالایش محیط‌های آلوده به‌شمار می‌آید. در این تحقیق، اثر بافت خاک (رسی، رسی-لومی و لومی-شنی) بر انباشت کادمیم در اندام‌های برگ، ساقه، شاخه و ریشه نهال‌های یک‌ساله گونه‌های اقاچیا (*Robinia pseudoacacia* L.)، زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Miller) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Greene) در قالب طرح فاکتوریل با چهار فاکتور (گونه، اندام، غلظت و بافت خاک) با پایه طرح کاملاً تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت. در پایان فصل رویشی میزان تجمع فلز کادمیم در اندام‌های مورد بررسی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بین سه گونه مورد بررسی برای جذب کادمیم در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین تفاوت معنی‌داری بین میزان جذب توسط اندام‌های سه گونه در سطح اطمینان ۹۹ درصد مشاهده شد. غلظت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز در میزان جذب کادمیم در همین سطح دارای اختلاف معنی‌دار بودند. با توجه به تنظیم بافت خاک مبتنی بر رویشگاه‌های اصلی و همچنین مناطق مناسب کاشت آنها، فاکتور بافت خاک در این مطالعه فاقد اثر معنی‌داری در جذب کادمیم بود. در مجموع، اقاچیا بیشترین میزان جذب نسبت به دو گونه دیگر را به خود اختصاص داد که این امر به دلیل ویژگی‌های ژنتیکی آن است.

واژه‌های کلیدی: اقاچیا، بافت خاک، زبان گنجشک، زیست‌پالایی، سرو نقره‌ای، کادمیم.

### مقدمه

فیزیولوژیک آنها بر موجودات زنده، حتی در غلظت‌های بسیار کم نیز حایز اهمیت هستند و از عوامل مختل‌کننده اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌آیند (Adriana, 2001). امروزه دامنه وسیعی از ترکیبات آلی و معدنی از طریق رخدادهای مصنوعی و طبیعی از قبیل دفع فاضلاب‌های صنعتی و شهری،

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مهمترین مسائل محیط زیست در سرتاسر جهان محسوب می‌شود (Bodar et al., 2006; Assareh et al., 2008; Fotakis & Timbrell, 2006). فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات

مانند مقاومت در برابر حضور فلزات سنگین، سرعت رشد زیاد، سیستم ریشه‌ای عمیق و قدرت رشد در خاک‌های فقیر از مواد غذایی باشند، گزینه مناسبی برای پاکسازی خاک‌های آلوده هستند (Pulford & Watson, 2003). اختلاف بین گیاهان مختلف در جذب کادمیم و آستانه بردباری آنها در مقابل این فلز سمی در ساختار ریشه‌ای آنها خلاصه شده است (Alexander, 2000). Unterbrunner و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی میزان تجمع روی و کادمیم در اندام‌های مختلف گونه‌های صنوبر و توس نشان دادند که با افزایش غلظت روی و کادمیم، روند حرکت و تجمع این دو فلز در ریشه و برگ‌ها افزایش می‌یابد.

کادمیم یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین است که نه تنها در منابع آب و خاک بلکه در هوا نیز پراکنش وسیعی دارد و می‌تواند برای سلامتی انسان مشکلات مختلفی را ایجاد کند. همچنین این عنصر یکی از عناصر غیرضروری برای تغذیه گیاهان به‌شمار می‌آید و به‌دلیل جذب سریع توسط ریشه گیاه، سمیت آن برای گیاهان بیشتر از سایر فلزات سنگین است (Mohamadi *et al.*, 2006). کادمیم نسبت به سایر فلزات سنگین، بین دو تا ۲۰ برابر از سمیت بیشتری برخوردار است (Vassilev *et al.*, 1998). کادمیم محلول با غلظتی بیشتر از ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، برای گیاهان سمی است (Kabata & Pendius, 1992). قرار گرفتن در معرض کادمیم باعث اختلالات فیزیولوژیک بسیار زیادی مانند کاهش رشد، کاهش محتوای کلروفیل و نکروز می‌شود (Root *et al.*, 1975; Prasad, 1995; Kadukova & Kalogerakis, 2007). با مصرف بیشتر از حد کودهای فسفاته، کادمیم توسط گیاهان جذب و از آن طریق وارد زنجیره غذایی دام و انسان می‌شود. بدیهی است که وجود مقدار زیاد این عنصر در جیره غذایی روزانه برای انسان و دام بسیار خطرناک است. پتانسیل گیاهان برای استخراج کادمیم اغلب به غلظت کادمیم در محیط و عملکرد و زی‌توده اندام هوایی گیاهان بستگی دارد. بعضی درختان سریع‌الرشد مانند بید و صنوبر و گیاهانی که زی‌توده زیادی دارند (مانند Brassica, Nicotiana و Helianthus)

استحصال و انتقال فرآورده‌های نفتی، بهره‌برداری از معادن فلزی و فعالیت‌های آتش‌فشانی باعث ورود انواع آلودگی‌ها به اکوسیستم‌های خاکی و آبی می‌شوند. فلزات سنگین در معرض فرآیندهای تخریب نبوده و در محیط زیست باقی می‌مانند، اگرچه زیست‌فراهمی (Bioavailability) این مواد شیمیایی در ارتباط با ترکیب خاک متغیر است (Doumett *et al.*, 2008). آلاینده‌های با منشأ ترکیبات آلی به‌مرور زمان توسط میکروارگانیسم‌های خاک تجزیه می‌شوند، درحالی‌که آلاینده‌های معدنی و از جمله فلزات سنگین نیاز به برداشت فیزیکی و بی‌حرکت شدن در خاک دارند. اغلب فلزات در غلظت‌های بالا سمی هستند و به همین دلیل با تشکیل رادیکال‌های آزاد در خاک موجب تنش اکسیداتیو می‌شوند. فلزات سنگین می‌توانند جایگزین عناصر ضروری در رنگ‌دانه‌ها شوند یا اینکه عملکرد آنزیم‌ها را مختل کنند، بنابراین برای رشد گیاهان نامناسب هستند و با حذف گونه‌های حساس در اکوسیستم، تنوع و غنای آن را کاهش می‌دهند.

تحقیقات نشان داده است که گیاهان می‌توانند در پاکسازی مناطق آلوده بسیار مؤثر واقع شوند. پاکسازی مناطق آلوده توسط گیاهان نسبت به سایر روش‌ها مزایای فراوانی دارد که مهم‌ترین آن، کم‌هزینه بودن آن است. گیاهانی که در این تکنیک به‌کار گرفته می‌شوند، استعداد زیادی برای جذب آلاینده‌های فلزی دارند و بدون آنکه علائم مسمومیت در آنها مشاهده شود، بیشتر از نیاز خود اقدام به جذب آلاینده‌ها می‌کنند. حتی در بیشتر اوقات بدون آنکه به این فلزات نیاز داشته باشند، آنها را در اندام‌های خویش و به‌ویژه بخش هوایی ذخیره می‌کنند (Atashnama *et al.*, 2006).

برای دستیابی به کارایی مناسب در گیاه‌پالایی، گیاهان مورد استفاده باید مقدار زیادی از فلز سنگین را انباشت کرده، بردبار به حضور فلز سنگین در خاک باشند و همچنین توانایی تولید زی‌توده زیادی در خاک آلوده را داشته باشند (McGrath *et al.*, 2002). استفاده از گیاهان علفی یا گونه‌های چوبی با توانایی جذب زیاد که دارای اختصاصاتی

توسط گونه‌های اقاویا، سرو نقره‌ای و زبان‌گنجشک، پس از تهیه ۴۰۵ نهال گلدانی یک‌ساله از سه گونه، سه نوع بافت خاک رسی، رسی-لومی و رسی-لومی-لومی-لومی-لومی در ایستگاه تحقیقاتی البرز کرج (محل اجرای این تحقیق) تهیه شد و نهال‌های مورد نیاز در خاک‌های آماده شده در داخل گلدان‌های پلاستیکی با ظرفیت هفت لیتر در سه تکرار باکاشت شدند.

یک ماه پس از استقرار نهال‌ها در بسترهای جدید (اوایل اردیبهشت)، خاک گلدان‌ها با تیمارهای شاهد، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم محلول نمک کلراید کادمیم به‌طور کاملاً یکنواخت آلوده شدند (۱۰۰ سی‌سی برای هر گلدان) و تا پایان فصل رویشی و آغاز زمان ریزش برگ‌ها عملیات مراقبت و آبیاری مستمر انجام شد. نمونه‌برداری در پایان فصل رویشی (نیمه اول آبان) انجام شد. نمونه‌های برداشت‌شده شامل برگ، ساقه، ریشه و خاک بودند. نمونه‌های گیاهی ابتدا به‌صورت مجزا برای زدودن آلاینده‌های سطحی، با آب مقطر شستشو داده شدند و سپس به مدت ۴۸ ساعت در آن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک شدند و برای هضم آسان توسط آسیاب به‌صورت پودر درآورده شدند.

در مراحل بعد نمونه‌ها به روش هضم، عصاره‌گیری شدند. برای این منظور، نیم گرم از پودر هر نمونه در بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد، سپس چهار میلی‌لیتر اسیدسولفوریک به آن اضافه شد و بشر پس از چند بار تکان دادن به داخل دستگاه Digesdhal انتقال داده شد. پس از پنج دقیقه (مدت زمانی که لازم است تا به دمای دستگاه که ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد است برسد)، ۱۳ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه از قسمت بالای دستگاه به آن اضافه شد و پس از اینکه آب‌اکسیژنه به‌طور کامل مکش شد، نمونه از دستگاه Digesdhal خارج شد. پس از سرد شدن کامل حجم عصاره به‌دست‌آمده با استفاده از آب مقطر دو بار تقطیر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در نهایت عصاره از کاغذ صافی ۰/۲ میکرونی Watman عبور داده شد و درون ظروف تهیه شده به همین منظور برای مرحله بعدی یعنی اندازه‌گیری

گونه‌های مناسب زیست‌پالایی هستند، زیرا میزان تجمع زیاد کادمیم را با عملکرد بیشتر زی‌توده جبران می‌کنند. در تحقیقی که توسط Antonkiewicz و Jasiewicz (۲۰۰۲) در ارتباط با توانایی مقاومت دو کلن *Salix viminalis* نسبت به کادمیم در کشت هیدروپونیک انجام شد، مشخص شد که کلن‌هایی که پس از ۱۴ روز در معرض ۱۵ میکرومولار کادمیم قرار گرفته بودند، در حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش رشد داشتند. همچنین فتوسنتز انجام‌شده در هر دو گیاه نیز به‌طور جدی مختل شد. Aftabtalab (۲۰۰۸) طی بررسی توانایی دو گونه چنار و سرو نقره‌ای در جذب کادمیم و سرب از طریق برگ بیان داشت که میزان جذب سرب و کادمیم در برگ سرو نقره‌ای در آخر مرداد بیشتر از آخر مهر بود، اما این موضوع در چنار برعکس بود که دلیل آن می‌تواند انتقال شیره سلولی در پاییز در سرو نقره‌ای و در چنار کرک‌دار بودن برگ‌ها باشد. همین امر کاشت این دو گونه را در کنار هم برای کاهش آلودگی سرب و کادمیم هوا اثربخش‌تر می‌سازد. علاوه‌براین، میزان جذب سرب و کادمیم در بافت‌های مختلف چنار بیش از سرو نقره‌ای گزارش شد.

در فرآیند گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، استفاده از گیاهان بومی پیامدهای زیست‌محیطی کمتری را برای اکوسیستم‌های طبیعی دربر دارد و با توجه به ضرورت شناخت بیشتر توان این گونه‌ها در جذب و حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی، در این پژوهش ارزیابی و مقایسه توان گونه‌های اقاویا، سرو نقره‌ای و زبان‌گنجشک در جذب کادمیم توسط اندام‌های مختلف آنها مورد بررسی قرار گرفت. در پژوهش پیش‌رو به‌طور ویژه هدف بررسی اثر بافت خاک بر میزان جذب کادمیم، معرفی مناسب‌ترین گونه یا گونه‌ها برای استفاده در مناطق آلوده و تعیین میزان جذب کادمیم و ترسیب آن در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه است.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی نقش بافت خاک در میزان جذب کادمیم

نداشت و بیانگر این است که جذب کادمیم در بافت‌های مختلف خاک برای گونه‌ها یکسان بوده است. اثرات متقابل اندام- گونه، غلظت- گونه، غلظت- اندام و غلظت- اندام- گونه در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شد، بنابراین می‌توان گفت که روند جذب اندام‌های مختلف گونه‌ها متفاوت بوده است. از سوی دیگر، گونه‌های مورد بررسی در غلظت‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی نسبت به جذب کادمیم از خود نشان دادند. همچنین اندام‌های مختلف این گونه‌ها در غلظت‌های مورد استفاده دارای واکنش‌های متفاوتی برای جذب کادمیم بودند. در کل، اثر متقابل سه‌جانبه نیز نشان داد که اندام‌های سه گونه مورد مطالعه در غلظت‌های اعمال شده میزان جذب متفاوتی داشتند، اما اثرات متقابلی که در آنها بافت خاک حضور داشت، معنی‌دار نشد و می‌توان اظهار داشت که روند جذب در گونه‌ها و اندام‌های مختلف آنها در غلظت‌های اعمال شده، در بافت‌های متفاوت خاک مورد بررسی، متفاوت نبود و اثر متقابلی نشان نداد. ضریب تغییرات به‌دست‌آمده معادل ۴/۸۹٪ بود که بیانگر دقت زیاد پژوهش انجام شده است.

میزان کادمیم موجود در آنها ریخته و نگهداری شد (Hosseinzade Monfared *et al.*, 2013). در آخرین مرحله، مقدار کادمیم موجود در نمونه‌های عصاره‌گیری شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin- Elemer (ICP مدل 3110 سنجش شد. این مطالعه در قالب طرح فاکتوریل با چهار فاکتور (گونه، اندام، غلظت و بافت خاک) با پایه طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS19، Mstatc و Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی گونه، اندام و غلظت در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱)، بنابراین بین سه گونه مورد بررسی، برای میزان جذب کادمیم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و همچنین بین اندام‌های مختلف سه گونه نیز میزان جذب تفاوت معنی‌دار داشت. علاوه بر این، غلظت‌های متفاوت اعمال شده نیز در میزان جذب توسط گونه‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نشان دادند. اثر بافت خاک اختلاف معنی‌داری

جدول ۱- تجزیه واریانس میزان جذب کادمیم در اندام‌های مختلف سه گونه مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	اماره F	معنی‌داری
گونه	۲	۱۶۸۳۸/۴۹	۸۴۱۹/۲۴	۳۴۶/۹۷	۰/۰۰۰**
اندام	۳	۷۳۹۱۸/۲۶	۲۴۶۳۹/۴۲	۱۰۱۵/۴۲	۰/۰۰۰**
غلظت	۴	۸۱۰۶۱/۳۹	۲۰۲۶۵/۳۵	۹۱۷/۵۹	۰/۰۰۰**
بافت خاک	۲	۹۹/۰۵	۴۹/۵۲	۲/۰۴	۰/۱۳۱ <sup>ns</sup>
گونه- اندام	۶	۲۸۳۴۵/۶۹	۴۷۲۴/۳۳	۱۹۴/۷۰	۰/۰۰۰**
گونه- غلظت	۸	۴۶۰۵/۰۸	۵۷۵/۶۵	۲۳/۷۲	۰/۰۰۰**
اندام- غلظت	۱۲	۱۰۳۱/۱۲	۸۵/۹۳	۳/۵۴	۰/۰۰۰**
گونه- اندام- غلظت	۲۴	۱۳۶۷/۲۲	۵۶/۹۷	۲/۳۵	۰/۰۰۰**
گونه- بافت خاک	۴	۲۴/۸۶	۶/۲۲	۰/۲۶	۰/۹۰۶ <sup>ns</sup>
اندام- بافت خاک	۶	۱۵۱/۶۹	۲۵/۲۸	۱/۰۴	۰/۳۹۸ <sup>ns</sup>
غلظت- بافت خاک	۸	۱۲۲/۱۴	۱۵/۲۷	۰/۶۳	۰/۷۵۳ <sup>ns</sup>
گونه- اندام- بافت خاک	۱۲	۲۵۶/۵۸	۲۱/۲۸	۰/۸۸	۰/۵۶۶ <sup>ns</sup>
اندام- غلظت- بافت خاک	۲۴	۴۹۱/۹۳	۲۰/۵۰	۰/۸۵	۰/۶۷۸ <sup>ns</sup>
گونه- غلظت- بافت خاک	۱۶	۵۹۱/۸۰	۳۶/۹۹	۱/۵۲	۰/۰۸۸ <sup>ns</sup>
گونه- اندام- غلظت- بافت خاک	۴۸	۱۴۵۱/۴۹	۳۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۱۳۶ <sup>ns</sup>
خطا	۳۶۰	۸۷۳۵/۵۶	۲۴/۲۷		

۴/۸۹

درصد ضریب تغییرات

\*\* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ <sup>ns</sup> غیرمعنی‌دار

بودند. در این بین بیشترین میزان جذب مربوط به ریشه‌های افاقیا بود (گروه a). سرو نقره‌ای با کمترین میزان جذب ریشه‌ای در گروه c قرار داشت و زبان‌گنجشک نیز عملکرد متوسطی داشت. از سوی دیگر، بیشترین میزان نگهداشت کادمیم خاک، مربوط به افاقیا بود و کمترین نگهداشت به زبان‌گنجشک تعلق داشت، اما خاک گلدان‌های سرو نقره‌ای با دو گونه دیگر فاقد اختلاف معنی‌دار بود و در گروه بینابینی (گروه ab) قرار گرفت. به بیان دیگر، میزان ماندگاری کادمیم خاک گلدان‌های حاوی این سه گونه تا حدودی نزدیک به یکدیگر بوده است که گروه‌بندی به‌دست آمده این مسئله را تأیید می‌کند. نکته مهم دیگر این است که روند جذب به‌وسیله ریشه با روند کلی جذب سه گونه مورد مطالعه یکسان بود، اما روند جذب کادمیم توسط برگ با روند کلی جذب سه گونه متفاوت بود و در نتیجه می‌توان گفت که معنی‌دار شدن اثر متقابل گونه-اندام، بیشتر ناشی از اختلاف روند جذب برگ‌های سه گونه بوده است که باعث تغییر رتبه سه گونه از نظر میزان جذب کادمیم شده است.

در جدول ۲ میانگین جذب اندامی و انحراف معیار و همچنین نتایج آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای سه گونه مورد بررسی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مجموع برای میزان جذب کل، افاقیا با بیشترین میزان جذب کادمیم در گروه a قرار گرفت و با دو گونه دیگر اختلاف معنی‌دار نشان داد. سرو نقره‌ای نیز با کمترین میزان جذب در گروه c قرار داشت. زبان‌گنجشک با میزان متوسط جذب کادمیم نیز به‌تنهایی گروه میانی یعنی b را به‌خود اختصاص داد. نتایج مقایسه میانگین به تفکیک اندام‌ها برای سه گونه نشان داد که سرو نقره‌ای بیشترین میزان جذب برگ را داشت و با دو گونه دیگر اختلاف معنی‌داری نشان داد. افاقیا و زبان‌گنجشک از این نظر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

در رابطه با جذب کادمیم توسط ساقه‌های سه گونه مورد بررسی، بیشترین میزان جذب مربوط به ساقه‌های افاقیا بود که با دو گونه دیگر دارای اختلاف معنی‌دار داشت. دو گونه دیگر میزان جذب ساقه‌ای یکسانی داشتند، اما از نظر جذب به‌وسیله ریشه، سه گونه با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌دار

جدول ۲- میانگین جذب اندامی (میلی گرم بر کیلوگرم) و انحراف معیار گونه‌های مورد مطالعه

گونه	برگ	ساقه	ریشه	خاک	مجموع
اقاقیا	۱۰۱/۰۵±۲/۱	۱۲۵/۱۲±۲/۳۵	۱۲۵/۴۷±۲/۴۱	۸۲/۲۵±۱/۷	۱۰۸/۴۶±۰/۲۱
زبان‌گنجشک	۱۰۰/۷۳±۱/۹۴	۱۰۶/۷۹±۱/۹۹	۱۰۷/۰۳±۲/۰۰	۸۰/۹۱±۱/۶۹	۹۸/۸۶±۰/۱۷
سرو نقره‌ای	۱۰۶/۴±۲/۶۳	۱۰۶/۳۳±۲/۴	۸۶/۶۳±۲/۱۲	۸۱/۵۲±۲/۱	۹۵/۲۲±۰/۲۰

یعنی d قرار گرفت و با سایر اندام‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد. می‌توان چنین استنباط کرد که ریشه سه گونه مورد بررسی در جذب کادمیم و انتقال آن به ساقه و برگ دارای عملکرد مناسبی بوده است، به‌طوری‌که مقدار کادمیم باقیمانده خاک گلدان‌ها کاهش معنی‌داری داشته است و سه گونه در جذب کادمیم موجود خاک به نحو مؤثری عمل کرده‌اند. این موضوع در مقایسه میانگین تفکیکی گونه‌ها نیز به‌خوبی مشهود است.

در جدول ۳ میانگین جذب و انحراف معیار سه گونه مورد مطالعه ارائه شد. نتایج آزمون دانکن و روند میزان جذب اندام‌های مختلف به تفکیک گونه‌ها نشان داد که در کل، بیشترین میزان جذب مربوط به ساقه بود که به‌تنهایی در گروه a جای گرفت و با سایر اندام‌ها دارای اختلاف معنی‌داری بود. پس از آن بیشترین میزان جذب مربوط به ریشه‌ها بود که گروه b را به‌خود اختصاص داد. کمترین مقدار جذب نیز مربوط به برگ‌ها بود (گروه c). مقدار کادمیم باقیمانده خاک گلدان‌ها نیز به‌تنهایی در گروه آخر

جدول ۳- میانگین و انحراف معیار جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه

اندام	اقاقیا	زبان‌گنجشک	سرو نقره‌ای	مجموع
برگ	۱۰۱/۰۵±۲/۱	۱۰۰/۷۳±۱/۹۴	۱۰۶/۴±۲/۶۳	۱۰۲/۷۳±۱/۳۰
ساقه	۱۲۵/۱۲±۲/۳۵	۱۰۶/۷۹±۱/۹۹	۱۰۶/۳۳±۲/۴	۱۱۲/۷۵±۱/۵۰
ریشه	۱۲۵/۲۷±۲/۴۱	۱۰۷/۰۳±۲/۰۰	۸۶/۶۳±۲/۱۲	۱۰۶/۳۶±۱/۸۶
خاک	۸۲/۲۵±۱/۷	۸۰/۹۱±۱/۶۹	۸۱/۵۲±۲/۱	۸۱/۵۶±۱/۰۵

در جدول ۴ میانگین جذب و انحراف معیار و همچنین نتایج آزمون دانکن برای بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف کادمیم موجود خاک بر میزان جذب توسط اندام‌های سه گونه مورد مطالعه در غلظت‌های مورد بررسی ارائه شده است. براساس نتایج، مشخص شد که بیشترین میزان جذب در غلظت ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام بود و با سایر غلظت‌های مورد استفاده اختلاف معنی‌داری داشت. بنابراین به‌خوبی می‌توان پی برد که سطوح غلظت‌های مختلف استفاده شده، فاصله معنی‌داری از نظر جذب بوسیله اندام‌های سه گونه با یکدیگر داشته‌اند و به این معنی است که هرچه میزان غلظت کادمیم خاک افزایش پیدا کرده است، میزان جذب آن نیز توسط این سه گونه بیشتر شده است. آنچه در مقایسه میانگین تفکیکی گونه‌ها ملاحظه می‌شود این است که با افزایش غلظت کادمیم، میزان جذب نیز افزایش یافته است. این افزایش

جذب توسط گونه‌ها به‌نحوی بوده است که گروه‌بندی‌های متفاوتی از آزمون دانکن برای سه گونه مورد بررسی بدست آمده است و به‌خوبی می‌توان دلیل معنی‌دار شدن اثر متقابل گونه - غلظت را مشاهده کرد. برای افاقیا مشخص شد که بین میزان جذب در غلظت‌های ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به عبارت دیگر، آستانه جذب برای این گونه ۳۰۰۰ پی‌پی‌ام است و با افزایش غلظت از ۳۰۰۰ به ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم میزان جذب افزایش معنی‌داری نخواهد داشت. برای دو گونه دیگر هرچند که میزان جذب کلی آنها کمتر از افاقیا بود، اما وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت‌های ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، بیانگر این است که این دو گونه دارای آستانه جذب بیشتری برای جذب کادمیم هستند.

جدول ۴- میانگین و انحراف معیار میزان جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) گونه‌های مورد مطالعه در غلظت‌های مختلف

غلظت	اقاقیا	زبان‌گنجشک	سرو نقره‌ای	مجموع
۴۰۰۰	۱۱۹/۸۳±۳/۲۸	۱۱۰/۱۶±۲/۱۸	۱۱۷/۴۲±۲/۴۷	۱۱۵/۸۰±۱/۵۸
۳۰۰۰	۱۱۹/۸۲±۳/۴۲	۱۰۷/۷۰±۲/۰۷	۹۸/۶۵±۱/۹۱	۱۰۸/۷۲±۱/۶۸
۲۰۰۰	۱۱۴/۶۷±۳/۶۶	۱۰۲/۹۲±۲/۰۷	۹۷/۳۰±۲/۱۸	۱۰۴/۹۶±۱/۷۱
۱۰۰۰	۱۰۲/۱۸±۲/۹۶	۹۶/۲۳±۱/۸۹	۹۰/۴۸±۲/۰۶	۹۶/۳۰±۱/۴۲
شاهد	۸۵/۸۰±۲/۶	۷۷/۳۱±۱/۵۸	۷۲/۲۶±۱/۵۹	۷۸/۴۶±۱/۲۵

### بحث

از آنجاکه طراحی هر آزمایشی باید متناسب با شرایط رویشگاهی هر گونه انجام شود، با مروری بر منابع موجود

در مورد رویشگاه‌های گونه‌های مورد مطالعه و همچنین با توجه به بافت خاک مناطق جنگلکاری شده با گونه‌های مذکور در ایران، بافت خاک گلدان‌ها در دامنه مشخصی

غلظت‌های بیشتر ادامه یابد و یا روند جذب کاهشی داشته باشد، می‌توان چنین استنباط کرد که آستانه جذب اقاچیا در همین محدوده ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و برای خاک‌های دارای غلظت‌های با آلودگی بیشتر باید سراغ گونه‌های دیگری رفت. دو گونه دیگر با داشتن میزان جذب کمتر، دارای روند جذب افزایشی بودند و این امر حاکی از دامنه توانایی زیاد آنها در مقایسه با اقاچیا است که با نتایج Unterbrunner و همکاران (۲۰۰۷) در ارتباط با افزایش تجمع روی و کادمیم در برگ و ریشه‌های صنوبر و توس به دنبال افزایش غلظت این دو فلز در خاک، مطابقت دارد.

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تا غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌شود از اقاچیا به‌خوبی برای گیاه‌پالایی کادمیم در خاک‌های با بافت‌های مختلف استفاده کرد، اما در غلظت‌های بیشتر ممکن است که روند جذب کاهش یابد و یا منجر به مرگ گیاه شود که نتیجه‌گیری در این مورد نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد. با توجه به نیازهای اکولوژیک بسیار کم این گونه در مقایسه با سایر گونه‌ها به راحتی می‌توان از آن در پروژه‌های گیاه‌پالایی استفاده کرد.

## References

- Adriana, D.C., 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer Science & Business Media, 867p.
- Aftabtalab, N., 2008. Ability of phytoremediation of Lead and Cadmium by *Platanus orientalis* and *Cupressus arizonica*. M.Sc. Thesis, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 144p (In Persian).
- Alexander, L., 2000. Role of root functions on cadmium uptake by plants – structural aspects of root organization. Department of Plant Physiology, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Bratislava, Slovakia.
- Antonkiewicz, J. and Jasiewicz, C., 2002. The use of plants accumulating heavy metals for detoxification of chemically polluted soils. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 5: 121-143.

تنظیم شد. بنابراین فاکتور بافت خاک در پژوهش پیش‌رو فاقد اثر معنی‌داری در جذب کادمیم بود. Soroush و همکاران (۲۰۰۸) نیز در مطالعات خود به بی‌تأثیر بودن بافت خاک در جذب عناصر خاک از جمله سرب و کادمیم اشاره کرده‌اند. از آنجاکه بافت‌های سبک قابلیت آب‌شویی بیشتر و بافت‌های سنگین‌تر توانایی حفظ عناصر سنگین در خاک را دارا هستند، ممکن است برآیند این دو اثر منجر به عدم تفاوت معنی‌دار بین بافت‌های مختلف شده باشد. در هر حال، نتایج پژوهش پیش‌رو حاکی از آن است که بافت خاک نقش مهمی در جذب آلاینده کادمیم در این سه گونه ایفا نمی‌کند.

در مورد گونه‌ها نیز همان‌طور که نتایج نشان داد، اقاچیا یکی از مقاومترین و همچنین توانمندترین گونه‌های درختی برای جذب کادمیم است و به خوبی می‌تواند مقادیر زیادی از کادمیم را در ساقه و ریشه خود ذخیره کند. این ویژگی در مدیریت منابع خاک آلوده به کادمیم بسیار کارآمد است. این در حالی است که بسیاری از گونه‌های درختی مانند صنوبرها و بیدها، مقادیر زیادی از آلاینده را در پایان فصل رویش به صورت خزان برگ از گیاه خارج می‌کنند (Vandecasteele *et al.*, 2005; Utmazian & Wenzel, 2007; Tlustos *et al.*, 2007). علاوه بر این، در مورد سرو نقره‌ای نیز به دلیل اینکه خزان دائم ندارد و برگ‌ها به طور معمول هر چند سال یکبار خزان می‌کنند، بنابراین امکان ذخیره تجمعی برگ در آن وجود دارد و همین امر نکته مثبتی محسوب می‌شود. هرچند که برای پاکسازی خاک در صورت خزان باید از محیط جمع‌آوری و خارج شود. از سوی دیگر، افزایش میزان جذب در غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم حاکی از توان زیاد هر سه گونه در جذب کادمیم داشت. این مورد علاوه بر اینکه آستانه میرایی زیادی را برای این سه گونه ترسیم می‌کند، پتانسیل بسیار خوب آنها را برای حذف کادمیم از محیط خاک نشان می‌دهد. در عین حال اقاچیا با وجود پتانسیل بیشتر نسبت به دو گونه دیگر در دو غلظت ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در صورتی‌که اگر این امر در

- Development, Karaj, 3p (In Persian).
- Prasad, M.N.V., 1995. Cadmium toxicity and the tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany* 35: 525- 545.
  - Pulford, I.D. and Watson, C., 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environment International*, 29: 529-540.
  - Root, R.A., Miller, R.J. and Koeppe, D.E., 1975. Uptake of cadmium- Its toxicity, and effect on the iron- to- zinc ratio in hydroponically grown corn. *Journal of Environmental Quality*, 4: 473-476.
  - Soroush, F., Mousavi, F., Razmjou, K. and Mostafazadeh Fard, B., 2008. Effect of filter effluent on absorption some elements of soil by the grass in different soils texture. *Journal of Soil and Water (Sciences and Technology of Agricultural)*, 22(2): 285-294 (In Persian).
  - Tlustos, P., Szákova, J., Vyslouzilova, M., Pavlikova, D., Weger, J. and Javorska, H., 2007. Variation in the uptake of arsenic, cadmium, lead and zinc by different species of willows (*Salix* spp.) grown in contaminated soils. *Central European Journal of Biology*, 2: 254-275.
  - Unterbrunner, R., Puschenreiter, M., Sommer, P.A., Wieshammer, G., Tlustos, P., Zupan, M. and Wenzel, W.W., 2007. Heavy metal accumulation in trees growing on contaminated sites in Central Europe. *Environmental Pollution*, 148: 107-114 .
  - Vandecasteele, B., Meers, E., Vervaeke, P., De Vos, B., Quataert, P. and Tack, F.M.G., 2005. Growth and trace metal accumulation of two *Salix* clones on sediment-derived soils with increasing contamination levels. *Journal of Chemosphere*, 58: 995-1002.
  - Vassilev, A., Tsonev, T. and Yordanov, I., 1998. Physiological response of barely plants (*Hordeum vulgare*) to cadmium contamination in soil during ontogenesis. *Environmental Pollution*, 103: 287-293.
  - Utmazian, M.N.D.S. and Wenzel, W.W., 2007. Cadmium and zinc accumulation in willow and poplar species grown on polluted soils. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, 170: 265-272.
  - Assareh, M.H., Shariat, A. and Ghamari-Zare, A., 2008. Seedling response of three *Eucalyptus* species to copper and zinc toxic concentrations. *Caspian Journal of Environmental Science*, 6(2): 97-103.
  - Atashnama, K., Golchin, A. and Esmaeeli, M., 2006. The accumulation of heavy metals in *Medicago*, *Onobrychis* and *Lathyrus*. *Proceedings of the Conference on Soil, Environment and Sustainable Development*, Karaj, 3p (In Persian).
  - Bodar, C.W., Pronk, M.E. and Sijm, D.T., 2006. The European Union risk assessment on zinc and zinc compounds: The process and the facts. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1: 301-319.
  - Doumet, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., Petruzzelli, G. and Del Bubba, M., 2008. Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents, *Chemosphere*, 72: 1481-1490.
  - Fotakis, G. and Timbrell, J.A., 2006. Role of trace elements in cadmium chloride uptake in *hepatoma* cell lines. *Toxicology Letters*, 164: 97-103.
  - Hosseinzadeh Monfared, S., Matinzadeh, M., Shirvany, A., Zahedi Amiri, G., Mousavi Fard, R. and Rostami, F., 2013. Accumulation of heavy metal in *Platanus orientalis*, *Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus rotundifolia*. *Journal of Forestry Research*, 24(2): 391-395.
  - Kabata, A. and Pendius, H., 1992. Trace Elements in soils and plants. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
  - Kadukova, J. and Kalogerakis, N., 2007. Lead accumulation from non-saline and saline environments by *Tamarix smyrnensis* Bunge. *European Journal of Soil Biology*, 43: 216-223.
  - McGrath, S.P., Zhao, F.J. and Lombi, E., 2002. Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. *Advances in Agronomy*, 75: 1-56.
  - Mohamadi, M., Shirvani Mahani, S. and Fotovat, A., 2006. Compared the absorption of zinc and cadmium in radish and cress and study their interactions. *Proceedings of the Conference on Soil, Environment and Sustainable*



**Evaluation of cadmium absorption in different soil textures by black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), round-leaf ash (*Fraxinus rotundifolia* Miller) and Arizona cypress (*Cupressus arizonica* Greene)**

**Y. Khodakarami<sup>1\*</sup>, A. Shirvany<sup>2</sup>, Zh. Vardanyan<sup>3</sup> and H. Sohrabi<sup>4</sup>**

1\* - Corresponding author, Ph.D. Student of Forest Ecology, National Academy Sciences of Armenia, Yerevan, Armenia. E-mail: ykhodakarami@gmail.com

2- Assistant Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Prof., State Agrarian University, National Academy Sciences of Armenia, Yerevan, Armenia

4- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor, Iran

Received: 01.09.2014

Accepted: 08.02.2015

**Abstract**

Soil pollution caused by cadmium has recently become a major concern. Phytoremediation is a convenient, cost-effective and eco-friendly method for remediation of polluted environments. In this study, the effect of soil texture (clay, clay-loam and silty- clay- loam) on the cadmium accumulation by leaves, stems, and roots of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), round-leaf ash (*Fraxinus rotundifolia* Miller) and Arizona cypress (*Cupressus arizonica* Greene) was surveyed. The study was carried out in a complete random-based factorial design with four factors (plant species, plant organs, soil texture and cadmium concentration level). At the end of the growing season, the cadmium concentration in the organs was measured. Analysis of variance showed significant difference ( $P < 0.01$ ) of cadmium absorption amongst the species. Moreover, the three species showed significantly different absorption rate amongst different organs. In addition, different cadmium concentrations (1000, 2000, 3000 and 4000 mg/kg) applied on the species revealed significantly different absorptions. Soil texture was concluded to have no significant effect on cadmium absorption. Furthermore, *R. pseudoacacia* revealed the highest absorption level which was attributed to its genetic specifications.

**Keywords:** *Robinia pseudoacacia*, soil texture, *Fraxinus rotundifolia*, biofiltration, *Cupressus arizonica*, Cadmium.