

بررسی پتانسیل پالایش کادمیوم در اندام‌های گوناگون اقاچیا (*Robinia pseudoacacia*) و زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia*)

- ❖ **ندا خواجه‌ئی؛** کارشناس ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **انوشیروان شیروانی؛** استادیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **مجید مخدوم؛** استاد گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **مصطفی خوشنویس؛** مربی پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، کرج، ایران
- ❖ **مریم روحی؛** کارشناس محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

گیاه‌پالایی فناوری استفاده از گیاهان در رفع آلودگی‌ها از جمله فلزات سنگین از محیط و تجمع آن در بافت‌ها و اندام‌های گوناگون گیاه است. در این پژوهش، توانایی دو گونه زبان گنجشک و اقاچیا برای گیاه‌پالایی عنصر کادمیوم بررسی شد. در اسفندماه ۱۳۸۷ تعداد ۹۰ نهال دوساله از این دو گونه در مجتمع تحقیقاتی البرز کرج کشت شد. محلول‌هایی از کلرید کادمیوم در غلظت‌های ۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه و در خردادماه بر روی هر نهال برگ‌پاشی شد. سپس از برگ‌های هر نهال در دو نوبت در سال، یکی در مردادماه و نوبت بعدی در اوایل آبان‌ماه و شروع خزان، نمونه‌هایی برداشت شد. همچنین نمونه‌هایی از سرشاخه‌ها، ریشه، و خاک گلدان‌ها در دی‌ماه همان سال برداشت شد. غلظت کادمیوم در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP تعیین شد و داده‌ها با طرح کاملاً تصادفی بررسی شدند. نتایج نشان داد که اختلاف مقادیر غلظت کادمیوم بین دو گونه در همه اندام‌ها معنی‌دار بود. میزان غلظت کادمیوم در زبان گنجشک در اندام‌های برگ مردادماه، برگ خزان‌شده، و ریشه از اقاچیا بیشتر بود. در ساقه میزان غلظت کادمیوم در اقاچیا بیشتر بود. بنابراین، از لحاظ انباشت کادمیوم، در کوتاه‌مدت (مانند بارش ناگهانی آلاینده) گونه زبان گنجشک ارزشمندتر، و در بلندمدت اقاچیا مناسب‌تر است. بیشترین میزان غلظت در برگ مردادماه زبان گنجشک (۴۶۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود که بر اساس مطالعات پیشین ممکن است این گونه یک بیش‌انباشت‌کننده باشد.

واژگان کلیدی: اقاچیا، برگ، زبان گنجشک، ساقه، کادمیوم، گیاه‌پالایی.

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین در بیوسفر از زمان آغاز انقلاب صنعتی شتاب گرفته و سمیت فلزات سنگین مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی را ایجاد کرده است. پاک‌سازی ضایعات خطرناک با استفاده از فناوری‌های متعارف حداقل ۲۰۰ میلیارد دلار فقط در ایالات متحده هزینه دارد. تهدیدی که فلزات سنگین برای سلامت بشر و جانوران ایجاد می‌کنند با پایداری طولانی مدت آن‌ها در محیط زیست افزوده می‌شود [۱].

کادمیوم (Cd) از فلزات سنگین است که به‌طور طبیعی در خاک وجود دارد. این فلز غیر ضروری و برای بیشتر موجودات زنده خیلی سمی است. سمیت آن ۲ تا ۲۰ برابر بالاتر از بسیاری دیگر از فلزات سنگین است [۲]. متوسط نیمه‌عمر بیولوژیکی^۱ کادمیوم ۱۸ سال است [۱].

کادمیوم استفاده‌های زیادی دارد که یکی از آن‌ها آب‌کاری در قسمت‌هایی از موتور خودرو، هواپیما، رادیو، و تلویزیون است. سایر مصارف آن در باتری‌های کادمیوم و نیکل، در عکاسی، و در ترکیب مواد رنگی است. مسمومیت با کادمیوم ممکن است از طریق رنگ و لعاب ظروف سفالی یا از طریق مواد گیاهی که به کادمیوم آلوده شده‌اند بروز کند. همچنین سوختن و ذوب‌شدن تولیدات و فرآورده‌هایی، که در ساختن آن‌ها کادمیوم به کار رفته، نظیر فولاد، رادیاتور اتومبیل، بطری‌های پلاستیکی، مبلمان، کفپوش، و لاستیک ممکن است منجر به مسمومیت شود [۳].

فناوری گیاه‌پالایی^۲ عبارت است از استفاده از گیاهان در رفع آلودگی‌ها از محیط، که از طریق تجمع فلزات سنگین در بافت‌ها و اندام‌های گوناگون گیاه ممکن است. این روش به‌طور چشمگیری ارزان است [۴].

همچنین یک گیاه بیش‌انباشت‌کننده است؛ در صورتی که ظرفیت انباشت، یعنی کمترین غلظت As، Cu، Ni، Pb، و Co در اندام‌های هوایی آن بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک، ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم Zn و Mn، ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم Cd، و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم Au، باشد [۵].

نتایج مطالعه‌ای در شهر کویت^۳ پاکستان نشان داد که میزان کادمیوم موجود در برگ *Robinia pseudoacacia*، 0.71 ± 0.3 و در برگ *Fraxinus excelsior* غلظت کادمیوم، 0.90 ± 0.4 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین میزان غلظت کادمیوم برگ در فصل رویش بیشتر از فصل خزان بود [۶]. مطالعه‌ای دیگر در شهر دنیزلی ترکیه نیز نشان داد که *Robinia pseudoacacia* L. از نظر همبستگی قوی بین درجه آلودگی محیط و غلظت در برگ‌های گیاه، نشان‌گر مؤثری از کیفیت محیطی در مناطق در معرض آلودگی صنعتی و ترافیکی است [۷]. همچنین در یک مطالعه در بلژیک مشاهده شد که زبان‌گنجشک و افاقیا غلظت‌های بالایی از کادمیوم را در شاخ و برگشان داشتند. در برگ *Fraxinus excelsior* L. میزان غلظت کادمیوم 0.3 ± 0.3 میلی‌گرم در کیلوگرم و در *Robinia pseudoacacia* L. < 0.23 میلی‌گرم در کیلوگرم بود [۸]. در بررسی دیگر در اروپای مرکزی، انباشت چشمگیری از کادمیوم (بالای ۱۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) در برگ‌های *Salix caprea* مشاهده شد [۹]. بررسی بازده گونه‌های *Populus nigra* L. و *maximowiczii* enry نشان داد که این گونه‌ها برای استخراج گیاهی فلز کادمیوم در خاک‌های کشاورزی شدیداً آلوده، مناسب نیستند [۱۰]. از سوی دیگر، در یک مطالعه گلخانه‌ای نشان داده شد که Holm Oak بردباری بالایی در برابر آلودگی خاک به کادمیوم دارد و ریشه آن در جذب این فلز توانایی

1. Biological half-life

نیمه‌عمر بیولوژیکی به فروپاشی توسط فرایندهای بیولوژیکی اشاره دارد. مواد با نیمه‌عمر بیولوژیکی طولانی تمایل دارند که در بدن تجمع یابند و بنابراین باید از آن‌ها اجتناب کرد. مواد با نیمه‌عمر بیولوژیکی کوتاه نیز اگر به شدت در مجاورت انسان قرار گیرند، ممکن است در بدن تجمع یابند؛ حتی اگر بیشتر آن به سرعت از بدن پاک شود. همچنین احتمال اثرات تجمعی مواد شیمیایی که دوام کوتاه‌مدت در بدن دارند، نیز وجود دارد.

2. Phytoremediation

بالایی دارد [۱۱].

برگ مردادماه، برگ خزان شده، ساقه، ریشه، و خاک گلدان در هر نهال بود. از برگ ها در دو نوبت یکی در مرداد (برگ مردادماه) و نوبت بعدی در شروع خزان (برگ خزان شده) نمونه هایی به صورت تصادفی از قسمت های گوناگون نهال برداشت شد. نمونه هایی نیز از سرشاخه ها و ریشه و خاک گلدان ها در دی ماه همان سال برداشت شد. دلیل برداشت نمونه ها در هر مرحله این است که رویش گیاهی و فعالیت شیره گیاهی در فصل مرداد نسبتاً زیاد است. همچنین فصل خزان پایان فصل رویشی و کاهش فعالیت شیره گیاهی است. با در نظر گرفتن مقدار برداشت فلز کادمیوم از طریق برگ و انتقال بسیاری از عناصر موجود در برگ به تنه گیاه و اینکه معمولاً در زمان خزان بخشی از مواد غذایی دریافت شده به وسیله برگ از طریق دم برگ به ساقه انتقال داده می شود، می توان مقدار نهایی غلظت کادمیوم در برگ و سایر اندام های گیاه را ارزیابی کرد. نمونه های برگ، سرشاخه، و ریشه بعد از شست و شو خشک شد. نمونه های خاک نیز در هوای اتاق قرار داده شد تا خشک شود.

شیوه اجرای آزمایشگاهی

تهیه عصاره گیاهی برای ICP

نمونه های برگ و ساقه و ریشه در آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک و سپس آسیاب شد. یک گرم از گیاه پودر شده در بشر ۱۵۰ میلی لیتری ریخته شد و ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک یک به یک به آن اضافه شد و پس از ۱۵ دقیقه روی هیتر در دمای ۹۵ درجه سلسیوس و به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. نمونه ها پس از تغییر رنگ از روی هیتر برداشته شدند تا سرد شوند. در دو مرحله متوالی هر بار ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به نمونه ها اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۹۵ درجه سلسیوس حرارت داده شد. در مرحله بعد، ۲ میلی لیتر آب مقطر بدون یون و ۳ میلی لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد اضافه شد و روی هیتر در حرارت ملایم (دمای ۷۵ درجه سلسیوس) به مدت ۲

دوام بلندمدت بیولوژیکی و باقی ماندن این فلز در خاک، سبب انباشته شدن این فلز در زنجیره غذایی و در نتیجه آثار منفی بالقوه برای سلامتی انسان می شود. نیز با توجه به اینکه درختان متعددی از دو گونه اقاویا و زبان گنجشک به طور وسیع در سطح کشور وجود دارند و جنگل کاری های گسترده ای هم با این دو گونه در سال های اخیر صورت گرفته است، لزوم بررسی توان جذب آلودگی به وسیله آن ها ضروری است و می تواند در اتخاذ سیاست های مدیریتی شهرداری و سازمان جنگل ها و مراتع مؤثر واقع شود. هدف از این مطالعه، مقایسه غلظت کادمیوم در اندام های گوناگون گونه های اقاویا و زبان گنجشک به منظور تعیین مناسب ترین گونه و اندام گیاهی برای تمرکز این آلاینده است. از سوی دیگر، این گونه ها محدوده وسیع جغرافیایی در سرتاسر جهان دارند و نمونه گیری، شناسایی، و کشت آن ها آسان و ارزان است.

مواد و روش ها

شیوه اجرای گلخانه ای

این پژوهش در اسفندماه ۱۳۸۷ در مجتمع تحقیقاتی البرز انجام شد. این مجتمع وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور است که در کرج و در مختصات جغرافیایی ۱۳° ۶۱' ۳۵" شمالی و ۵۰° ۵۹' ۱۶" شرقی واقع شده است. در این مجتمع تعداد ۹۰ نهال دوساله زبان گنجشک و اقاویا با تیمار همسان کشت شد. در هر گونه یک مجموعه ۹ تایی به عنوان شاهد، و چهار مجموعه ۹ تایی برای تیمار کادمیوم بر اساس طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در نظر گرفته شد. بافت خاک نیز به طور عمده لومی بود. با استفاده از نمک کلرید کادمیوم و آب مقطر محلولی در غلظت های ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، و ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر تهیه گردید و در ۱۰ تیرماه ۱۳۸۷ در سه نوبت و در هر نوبت ۱۰۰ میلی لیتر و به طور یکنواخت بر روی هر نهال برگ پاشی شد. صفات مورد نظر اندازه گیری غلظت کادمیوم در

میلی‌متر گذرانده شدند. هر نمونه خاک از الک ۵۰ مش گذرانیده و میزان ۱۰ گرم از هر کدام توزین و میزان ۲۰ میلی‌لیتر محلول DTPA به هر کدام اضافه شد و به مدت یک شب حدود ۳ تا ۴ بار هر دو ساعت یک‌بار به هم زده شد. محلول‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ درون بالون ژوژه تخت صاف و ریخته شدند. در نهایت، نمونه‌ها با قیف بوختر و با استفاده از کاغذ صافی استات سلولز ۰/۲ میکرون صاف شدند [۱۲].

محاسبات نهایی غلظت آلاینده در هر نمونه

مقادیر غلظت با استفاده از فرمول زیر پردازش شد و غلظت واقعی در هر نمونه به دست آمد [۱۳]:

$$\text{میزان غلظت آلاینده در واحد وزن نمونه (میلی‌گرم در کیلوگرم)} = ((A-B) \times V/W) \times (100/DM)$$

A = غلظت در نمونه

B = (Blank) غلظت در شاهد

V = حجم نهایی

W = وزن نمونه

DM = درصد وزن خشک

نتایج برگ خزان‌شده مانند برگ مردادماه بود و نشان‌دهنده آن بود که این دو گیاه تغییری در مکانیسم انباشت خود در زمان خزان برگ به وجود نیاورده‌اند (شکل ۲).

مقادیر غلظت کادمیوم در ساقه اقاکیا و زبان گنجشک در تیمار شاهد و سطح‌های ۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌دار ندارد (شکل ۳).

همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، مقادیر غلظت کادمیوم در ریشه اقاکیا و زبان گنجشک فقط در تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد (شکل ۴).

مقادیر غلظت کادمیوم در خاک گلدان‌های اقاکیا و زبان گنجشک فقط در تیمارهای شاهد و ۲۰۰۰ میلی‌گرم

تا ۵ دقیقه قرار داده شد. سپس حرارت متوقف شد و ۱ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد اضافه و به‌طور ملایم (دمای ۷۵ درجه سلسیوس) حرارت داده شد. نمونه‌ها از روی هیتر برداشته و ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک و ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر اضافه شد. بعد از ۱۵ دقیقه عصاره حاصل با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد و با آب دوبار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد و در نهایت، نمونه‌ها با قیف بوختر و با استفاده از کاغذ صافی استات سلولز ۰/۲ میکرون صاف شدند [۱۲].

عصاره‌گیری خاک برای ICP

نمونه‌های خاک در هاون چینی کوبیده و از الک ۲

تحلیل و بررسی آماری

در نهایت از نمونه‌ها عصاره‌گیری شد و داده‌های حاصل از خواندن با دستگاه ICP پس از محاسبات نهایی و تبدیل به داده‌های واقعی، مورد آزمون‌های نرمال‌بودن و همگنی واریانس‌ها قرار گرفت و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل و بررسی شد.

نتایج

مقایسه میانگین میزان غلظت آلاینده در اندام‌های گوناگون

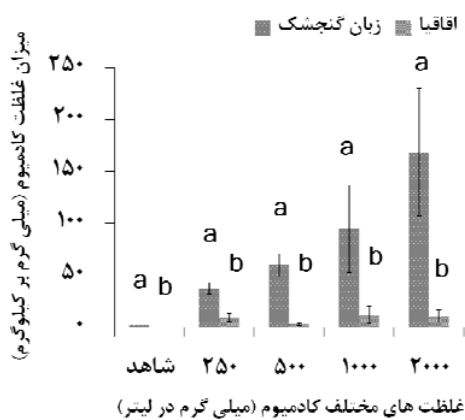
مقادیر غلظت کادمیوم در برگ مردادماه اقاکیا و زبان گنجشک فقط در تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد (شکل ۱).

و زبان گنجشک در اندام های برگ مردادماه، برگ خزان شده، و ریشه معنی دار است (جدول ۲). پس از مقایسه میانگین ها مشخص شد که میزان غلظت کادمیوم در برگ مردادماه، برگ خزان شده، ریشه، و خاک گلدان ها در گونه زبان گنجشک بیشتر است (شکل ۶).

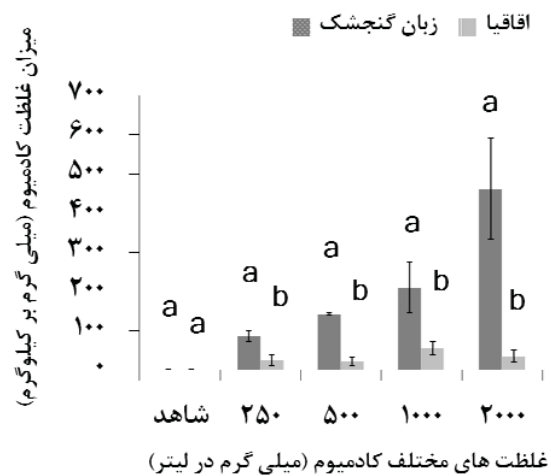
در لیتر اختلاف معنی داری ندارد. این در حالی است که در تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر این مقدار در خاک اطراف ریشه زبان گنجشک بیشتر است (شکل ۵).

مقایسه میانگین میزان غلظت در گونه ها

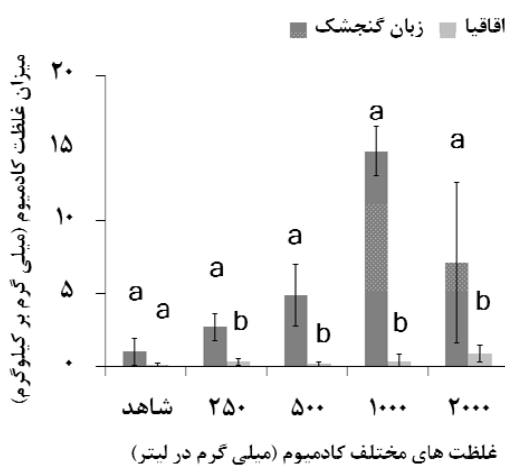
اختلاف میزان غلظت کادمیوم بین دو گونه افاقیا



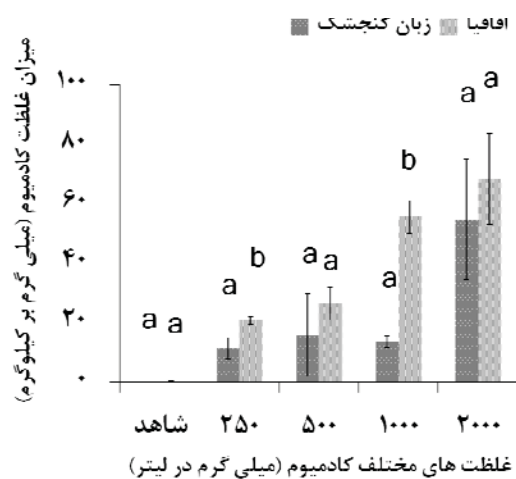
شکل ۲. مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در برگ خزان شده افاقیا و زبان گنجشک در غلظت های گوناگون آلاینده



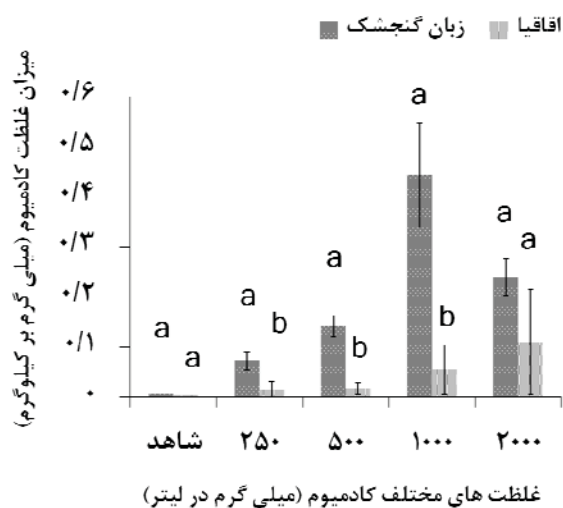
شکل ۱. مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در برگ مردادماه افاقیا و زبان گنجشک در غلظت های گوناگون آلاینده



شکل ۴. مقایسه میانگین میزان غلظت کادمیوم در ریشه افاقیا و زبان گنجشک در غلظت های گوناگون آلاینده



شکل ۳. مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در ساقه افاقیا و زبان گنجشک در غلظت های گوناگون آلاینده



شکل ۵. مقایسه میانگین میزان غلظت کادمیوم در خاک گلدان‌های افاقیا و زبان گنجشک در غلظت‌های گوناگون آلاینده

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس غلظت کادمیوم در اندام‌های گوناگون افاقیا و زبان گنجشک در غلظت‌های گوناگون آلاینده

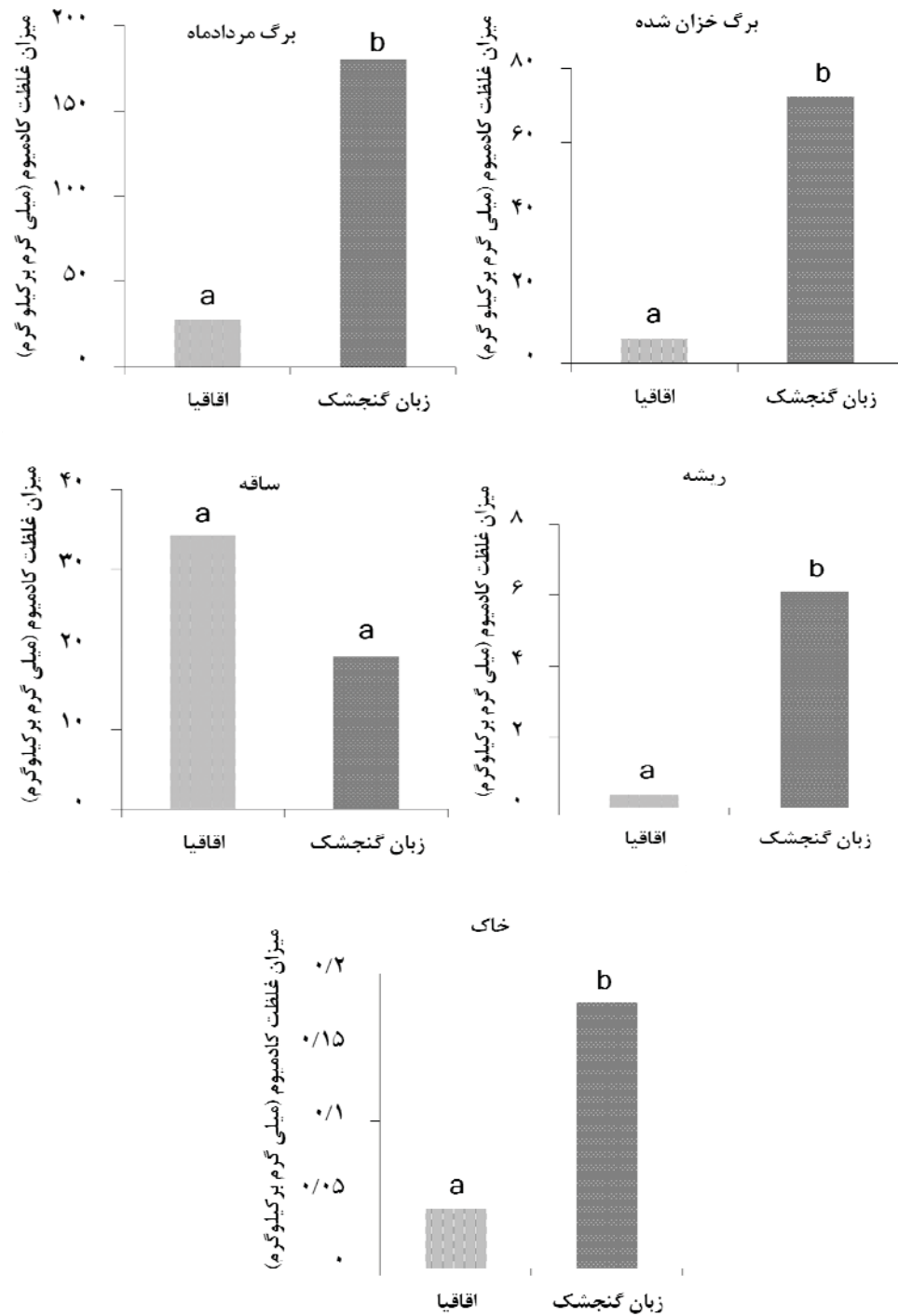
میانگین مربعات صفات مورد مطالعه					درجه آزادی	منبع تغییرات
شاهد	۲۵۰ میلی گرم در لیتر	۵۰۰ میلی گرم در لیتر	۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر	۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر		
۰/۰۸۹ ^{NS}	۰/۵۲۲*	۱/۰۶۷**	۰/۵۰۱**	۱/۹۲۳**	۱	برگ مردادماه
۰/۸۷۸	۰/۰۲۷	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۰۲۷	۱	خطا
۰/۹۸۵*	۰/۶۲۶*	۲/۶۰۲**	۱/۵۶۱*	۲/۳۲۳**	۱	برگ خزان شده
۰/۰۰۱	۰/۰۳۴	۰/۰۲۲	۰/۱۴۷	۰/۰۵۳	۱	خطا
۰/۰۰۳ ^{NS}	۱۳۲/۹۴۰*	۱۶۹/۹۲۵ ^{NS}	۲۶۵۳/۹۰۰**	۲۷۹/۱۹۱ ^{NS}	۱	ساقه
۰/۰۰۱	۷/۳۴۹	۱۱۰/۸۰۶	۱۶/۷۸۴	۳۱۷/۷۰۶	۱	خطا
۰/۴۰۳ ^{NS}	۱/۸۰۹**	۴/۷۹۹**	۱۶/۷۴۸**	۴/۱۶۱*	۱	ریشه
۰/۱۸۶	۰/۰۷۰	۰/۱۳۸	۰/۱۰۰	۰/۵۳۵	۱	خطا
۱/۷۱۵E-5 ^{NS}	۰/۰۰۵*	۰/۰۲۳**	۰/۲۲۷**	۰/۰۲۵ ^{NS}	۱	خاک
۲/۶۰۵E-5	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۱	خطا

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱؛ * تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵؛ NS تفاوت غیرمعنی‌دار

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس میزان غلظت کادمیوم در گونه‌ها

میانگین مربعات صفات مورد مطالعه					درجه آزادی	منبع تغییرات
برگ مردادماه	برگ خزان شده	ساقه	ریشه	خاک		
۴۲۰/۹۳**	۲/۹۲۸**	۱۳۸۳/۷۶ ^{NS}	۲۳/۹۶۳**	۰/۱۷۰**	۱	گونه
۲۵/۳۱۲	۰/۱۰۳	۵۸۰/۸۰۷	۰/۵۸۰	۰/۰۱۴	۲۷	خطا

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱؛ * تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵؛ NS تفاوت غیرمعنی‌دار



شکل ۶. مقایسه میانگین میزان غلظت کادمیوم در برگ مردادماه، برگ خزان شده، ساقه، ریشه، و خاک بین دو گونه ااقابیا و زبان گنچشک

نتیجه‌گیری

با بررسی شکل ۱ مشاهده شد که افزایش سطح غلظت در تیمارها سبب افزایش در غلظت در دو گونه و همچنین افزایش تفاوت انباشت آن‌ها می‌شود و در تمامی موارد پتانسیل انباشت در زبان‌گنجشک بیشتر است و این نشان می‌دهد که گونه‌ی زبان‌گنجشک بر اثر افزایش غلظت آلاینده تحریک‌پذیری بیشتری در انباشت کادمیوم دارد [۶، ۸]. با مقایسه نتایج به دست آمده در شکل‌های ۱ و ۲، همچنین با در نظر گرفتن اینکه هر دو گونه از نظر شرایط اقلیمی، آبیاری، تیمار و... در شرایط مشابهی قرار داشته‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که این دو گیاه تغییری در مکانیسم انباشت خود در زمان خزان برگ به وجود نیآورده‌اند و این نشان می‌دهد که پاسخ فیزیولوژیک دو گونه در مورد آلاینده کادمیوم یکسان است.

با توجه به شکل ۵، مقدار غلظت کادمیوم در خاک گلدان‌های زبان‌گنجشک در مقایسه با اقاچیا بیشتر است. همچنین در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار غلظت کادمیوم در خاک اطراف ریشه‌ی زبان‌گنجشک بیشترین است، که این عامل به ترتیب ممکن است به سبب تفاوت شکل برگ بین دو گونه و همچنین تفاوت شکل برگ در نهال‌های زبان‌گنجشک در این تیمار باشد که موجب شده هنگام محلول‌پاشی مقدار بیشتری محلول به‌طور مستقیم وارد خاک شود. در زبان‌گنجشک برگ‌ها تک‌شانه‌ای با تعداد برگچه کمتر ولی ابعاد بیشتر، و در اقاچیا برگ‌ها دوشانه‌ای و با تعداد برگچه‌های بیشتر و با ابعاد کم‌ترند.

با مقایسه اختلاف غلظت کادمیوم در برگ مردادماه و خزان در دو گونه ملاحظه می‌شود که در هر دو گونه میزان غلظت در برگ مردادماه بیشتر است [۶]. این امر به این سبب است که معمولاً در زمان خزان بخشی از مواد غذایی جذب شده به وسیله برگ از طریق دم‌برگ به ساقه انتقال داده و به این ترتیب از اتلاف آن جلوگیری می‌شود. همچنین میزان غلظت کادمیوم در برگ زبان‌گنجشک بیشتر از اقاچیاست [۶، ۸]. البته با

وجود میزان غلظت کمتر در اقاچیا از آنجا که سرعت رشد در این گونه بیشتر و دارای تاج حجیم‌تر است در نهایت ممکن است زیست‌توده بیشتر باعث انباشت آلاینده بیشتری در این گونه در مقایسه با زبان‌گنجشک شود.

در این پژوهش، میزان غلظت کادمیوم در برگ مردادماه اقاچیا در بالاترین حد آن در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در حدود ۵۵/۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم، در برگ خزان‌شده ۱۱/۹۴ میلی‌گرم در کیلوگرم، در ساقه حدود ۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، و در ریشه نیز حدود ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است. در حالی که میزان غلظت کادمیوم در برگ مردادماه زبان‌گنجشک در بالاترین حد آن در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر حدود ۶۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، در برگ خزان‌شده حدود ۱۶۸/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، در ساقه در حدود ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، و در ریشه در حدود ۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بر این اساس، مقادیر کمی غلظت کادمیوم در اندام‌های درخت زبان‌گنجشک به ترتیب زیر بود:

برگ مردادماه < برگ خزان‌شده < ریشه < ساقه
مقادیر کمی غلظت کادمیوم در اندام‌های درخت اقاچیا به ترتیب زیر بود:

ساقه < برگ مردادماه < برگ خزان‌شده < ریشه
شکل ۶ نشان می‌دهد که میزان غلظت کادمیوم در زبان‌گنجشک در اندام‌های برگ مردادماه، برگ خزان‌شده [۶، ۸]، و ریشه از اقاچیا بیشتر است. در ساقه نیز میزان غلظت کادمیوم در اقاچیا بیشتر است. نتایج این نمودار به این ترتیب شرح داده می‌شود که وقتی باران آلوده می‌بارد، اولین اندام جذب‌کننده برگ است. البته ممکن است درصدی از آن به خاک وارد شود و ریشه هم دریافت‌کننده باشد. از آنجا که شرایط پاشش کردن برای هر دو گونه یکسان بود، می‌توان گفت که زبان‌گنجشک آلاینده را از طریق برگ و ریشه انباشت کرده و با گذشت زمان به ساقه انتقال نداده است. بنابراین، در کوتاه‌مدت (مانند بارش ناگهانی آلاینده)،

آلودگی صنعتی و ترافیکی اند [۷، ۸، ۱۴]. بیشترین میزان غلظت کادمیوم در برگ‌های زبان‌گنجشک ۴۶۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بنابراین، با توجه به مطالعات پیشین این گونه ممکن است یک بیش‌انباشت‌کننده باشد [۵].

مقادیر pH و EC در نمونه‌های خاک تفاوت‌های زیادی را نشان ندادند. بنابراین، تأثیر زیادی در بروز تفاوت‌های موجود در غلظت کادمیوم ندارند. نکته بااهمیت در مورد خاک آن است که اسیدیته تمامی نمونه‌ها بیشتر از ۷/۸ بود که این امر حاکی از کاهش جذب آلاینده از طریق خاک و تمرکز جذب آن از طریق اندام‌های هوایی است، زیرا هرچه اسیدیته خاک بیشتر می‌شود، مقادیر جذب آن به وسیله گیاه از طریق خاک کمتر می‌شود [۱۵].

سپاس‌گزاری

از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع که امکانات اولیه انجام این تحقیق را فراهم کرد و همچنین از مسئولان محترم آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، که در مراحل انجام این تحقیق ما را مورد لطف قرار دادند، نهایت سپاس و قدردانی می‌شود.

گونه زبان‌گنجشک ارزشمندتر است، چون برگ آن بالاترین میزان را در انباشت کادمیوم نشان می‌دهد و با خارج کردن برگ خزان‌شده از محیط می‌توان برای رفع آلودگی اقدام کرد. همچنین از آنجا که میزان بیشتری کادمیوم به ساقه اقاویا تزریق می‌شود، در درازمدت این گونه مناسب‌تر است؛ به این علت که می‌توان ساقه (تنه چوبی) را قطع و از محیط خارج کرد. همچنین از آنجا که تنه حجم بیشتری را در مقایسه با برگ به خود اختصاص می‌دهد، به این ترتیب می‌توان میزان بیشتری از آلاینده را از محیط خارج کرد.

با مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق، مشخص می‌شود که توان گیاه‌پالایی دو گونه اقاویا و زبان‌گنجشک در مورد آلاینده کادمیوم با یکدیگر متفاوت است و گونه زبان‌گنجشک در کل توانایی بیشتری را در انباشت آلاینده نشان می‌دهد [۶، ۸]. همچنین میزان غلظت در هر دو گونه در فصل رویش از فصل خزان بیشتر است [۶].

میزان غلظت فلز کادمیوم در برگ‌های هر دو گونه نشان‌دهنده این است که این گونه‌ها منعکس‌کننده تغییرات محیطی اند و به نظر می‌رسد که آن‌ها نشانگرهای زیستی مؤثری از کیفیت محیطی در مناطق در معرض

References

- [1]. Gisbert, C., Ros, R., De Haro, A., Walker, D.J., Bernal, M.P., Serrano, R., and Navarro-Avino, J. (2003). A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 303: 440–445.
- [2]. Ghosh, M., and Singh, S.P. (2005). A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Environmental Pollution*, 133: 365–371.
- [3]. Moalem, F. (1998). Introduction to heavy metals. *Journal of Environment, Iran Department of Environment*, Volume 10. Number 2. 80 pp.
- [4]. Pulford, I.D, and Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees- a review. *Environment International*, 29: 529–540.
- [5]. Cui, S., Zhou, Q., Chao, L. (2007). Potential hyperaccumulation of Pb, Zn, Cu and Cd in enduring plants distributed in an old smeltery, northeast China. *Environmental Geology*, 51: 1043–1048.
- [6]. Zaidi, M.I., Asrar, A., Mansoor, A., and Farooqui, M.A. (2005). The heavy metal concentration along roadside trees of Quetta and its effects on public health. *Journal of Applied Sciences*, 5 (4): 708-711.
- [7]. Celik, A., Kartal, A.A., Akdogan, A. and Kaska, Y. (2005). Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using Robinia pseudo-acacia L. *Environment International*, 31: 105–112.
- [8]. Mertens, J., Vervaeke, P., Schrijver, A.D., and Luysaert, S. (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.
- [9]. Unterbrunner, R., Puschenreiter, M., Sommer, P., 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.
- [10]. Komarek, M., Tlustos, P., Szakova, J., and Chrastny, V. (2008). The use of poplar during a two-year induced phytoextraction of metals from contaminated agricultural soils. *Environmental Pollution*, 151: 27–38.
- [11]. Domínguez, M.T., Madrid, F., Marañón, T., and Murillo, J.M. (2009). Cadmium availability in soil and retention in oak roots: Potential for phytostabilization. *Chemosphere*, 76: 480–486.
- [12]. Westerman, R.E.L. (1990). *Soil testing and plant analysis*. SSSA. Madison Wisconsin, USA.
- [13]. Emami, A. (1996). *Methodology for plant analysis*. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Press, Soil and Water Research Institute, First volume. Number 982.
- [14]. Gritsan, N.P., and Babiy, A.P. (2000). Hazardous materials in the environment of Dnepropetrovsk Region (Ukraine). *Journal of Hazardous Materials*, 76: 59–70.
- [15]. Mojtahedi, M., and Lessani, H. (1992). *The life of the green plant*, University of Tehran Press, Tehran. 587 pp.