مجله پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱، شماره ۴، صفحه ۲۸۴-۲۷۱، (۱۳۹۴)

مقدار جذب عناصر روی، مس، کادمیوم و سرب در برگ چندگونهٔ چوبی

طه مجیدی*[۱]، مهدی طاهری[۲]، فرهاد آقاجانلو[۳]، احمد موسوی[٤]، محمد شجاعی[٥]، محمد تکاسی[٦]، پرویز مرادی[۷] و فاطمه حیدری[۱]

۱- کارشناسی ارشد جنگلداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان، ایران.
۲- استادیار تغذیهٔ گیاهی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان، ایران.
۳- مربی پژوهشی مرتعداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان، ایران.
٤- مربی پژوهشی گیاهشناسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان، ایران.
٥- کارشناس منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان، ایران.
٦- کارشناس ارشد تجزیه خاک و گیاه، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان، ایران.
۷- استادیار بیوتکنولوژی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹٤/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹٤/۱۱/۲٦

چکیده

شهرک صنعتی روی در فاصله پنج کیلومتری جنوب شهر زنجان یکی از منابع آلوده‌کننده محیط است. در این مقاله به بررسی بهترین گونه چوبی جاذب عناصر سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب و وسعت آلودگی پرداخته شده است. در منطقه شاهد، داخل محدوده شهرک صنعتی روی و در شعاع‌های ۰-۱، ۱-۳ و ۳-۵ کیلومتری نمونه‌های برگ تعداد شش گونه چوبی اقاقیا، زبان‌گنجشک، سپیدار، تبریزی، رُز و بید جمع‌آوری شد. مقدار غلظت عناصر مورد بررسی اندازه‌گیری و سپس تجزیه آماری در قالب طرح اسپلیت پلات بر اساس طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. نتایج نشان داد که مقدار آلودگی به روی، کادمیوم و سرب در شعاع پنج کیلومتری هم چنان دیده می‌شود. آلودگی مس زیر حدّ بحرانی بود. ولی مقدار آلودگی به فلز سرب در محدوده شهرک صنعتی بسیار تهدید کننده است. بهترین گونه برای گیاه‌پالایی روی و کادمیوم گونه سپیدار تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: درختان غیرمثمر، فلزات سنگین، گیاه‌پالایی.

* نویسنده مسئول: Email: t.majidi@areo.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

برای ایجاد اشتغال در جامعه و استفاده از منابع معدنی موجود، فعالیت در بخش معدن یک ضرورت است. زندگی انسان بدون استفاده از منابع طبیعی تجدیدناپذیر به‌منظور تأمین مواد اولیه برای کارخانه‌ها، اگر نگوییم ناممکن، بلکه بسیار مشکل خواهد بود. البته، تمام این فعالیت‌ها دارای عواقبی برای جامعه نیز بوده و خواهد بود. از این‌رو مشکلات کنونی جهان صنعتی آلودگی منابع آب و خاک است.

عناصر فلزی به‌طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارند و در اثر فعالیت‌هایی مانند معدن‌کاوی، صنعت، کشاورزی، ترافیک و ... نیز آزاد شده و وارد چرخه حیات گیاهی و جانوری می‌شوند. عناصر فلزی سرب، روی و مس از طریق مصرف آفت‌کش‌ها در کشاورزی وارد گیاهان می‌شوند، علاوه بر سرب و مس در اثر مصرف کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی فلز کادمیوم نیز وارد محیط می‌شود (FAO, 2015). برخی از عناصر فلزی سنگین به مقدار بسیار کم در جیره غذایی برای کارکرد و متابولیسم جانداران حیاتی هستند، ولی مقدار بیش از حدّ مجاز آن‌ها مشکلاتی برای سلامتی گیاهان و جانوران و در نهایت برای انسان ایجاد می‌کنند. فلزات مس و روی جزء عناصر کم‌مصرف و کادمیوم و سرب از عناصر غیرضروری برای متابولیسم به شمار می‌آیند (Pilon-Smit, 2005).

سرب یکی از فلزات سنگین بسیار سمّی است که از فاضلاب صنعتی یا هوا (Kumar *et al.*, 2013) وارد محیط‌زیست شده و از طریق گیاهان وارد زنجیره غذایی انسان می‌شود. سرب پس از ورود به بدن انسان به‌طور مستقیم وارد خون می‌شود. حدود ۹۵ درصد سرب جذب شده در استخوان‌ها و دندان‌ها رسوب می‌کند. درصورتی‌که از حد مجاز بیش‌تر شود موجب آسیب‌رسانی به کلیه‌ها، سیستم عصبی و مغز خواهد شد. فشار خون بالا، عدم رشد ذهنی و بدنی کودکان از مثال‌های عوارض وجود سرب در بدن است (Singh *et al.*, 2012).

کادمیوم زیاد در گیاهان سبب ایجاد مشکلاتی در رشد گیاه می‌شود که آسیب رساندن به اندام فتوسنتز کننده و کاهش مقدار کلروفیل، کاهش رشد و مرگ گیاه را به دنبال دارد. مس و کادمیوم در دیواره سلول‌های ریشه، واکوئل‌های سلول‌های پوست و سلول‌های محافظ برگ تجمع پیدا می‌کنند (Sarma, 2011). از طرفی دیگر، نشان داده شده که در برخی موارد وجود کادمیوم زیاد در محیط رشد مانع جذب بعضی ترکیبات آهن در گیاهان می‌شود (Fodor *et al.*, 2005).

فلزات سنگین به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از راه مصرف مواد غذایی به بدن انسان وارد می‌شوند؛ زیرا گیاهان زراعی فلزات سنگین را جذب می‌کنند. از موارد انباشت سرب در برگ و ساقه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) (Mudgal *et al.*, 2010)، ذخیره روی در اندام‌های کُلزا (*Brassica napus* L.) و سرب در کلم معمولی (*Brassica oleracea* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (Khokhar *et al.*, 2012)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Kadirvel and Jegadeesan, 2014)، چغندر لبوئی (*Beta vulgaris* var. *canditiva* L.)، کدوتنبل (*Cucurbita pepo* L. convar. *Giromontiana* Greb.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و یونجه (*Medicagi sativa* L.) (Poniedziałek *et al.*, 2010) را نام برده‌اند. گونه‌های توت سفید (*Morus alba* L.) و لیمو شیرین (*Citrus lemon* (L.) Burn. f.) را نیز از گونه‌های جاذب مواد آلاینده نام برده‌اند (Kumar *et al.*, 2013).

مقدار ۱۰۰–۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فلز روی و مقدار ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فلز مس در اندام‌های

Archive of SID

www.SID.ir

گیاهی برای فعالیت گیاهان ضروری است. مقادیر بیش از این در سوخت‌وساز گیاه مشکل ایجاد می‌کند (Aksoy and Demirezen, 2006). حداکثر مقدار مجاز سرب ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و برای کادمیوم ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است (Sharma and Prasad, 2010).

عمل گیاه‌پالایی، استفاده از گیاهان سبز به‌منظور پاک‌سازی خاک و آب از آلودگی است. استخراج فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان در طی جذب فلز از راه ریشه و انتقال آن به دیگر قسمت‌های گیاه ممکن می‌شود. سپس با برداشت گیاه از مقدار غلظت آن فلز در محیط آلوده کاسته می‌شود (Singh *et al.*, 2012; Sarma, 2011).

از میان روش‌های مختلف پاک‌سازی، روش گیاه‌پالایی به دلیل هزینه اجرایی کم‌تر و عدم تأثیر مخرب بر محیط‌زیست و کمک به زیباسازی محیط (Sarma, 2011) در اولویت قرار دارد. همچنین در گیاه‌پالایی، نیازی به تخریب و انتقال خاک نیست و انتقال مواد آلاینده به جوّ صورت نمی‌گیرد (Moosavi and Seghatoleslami, 2013).

گونه‌های درختی همیشه‌سبز و بومی با نیاز آبی کم و مقاوم به آلودگی که برگ بزرگ، پوست زبر، تنه مستقیم و فرم زیبا دارند برای پالایش آلاینده‌های جوّی مناسب به شمار می‌آیند (Kumar *et al.*, 2013). همچنین گونه‌هایی که نسبت به مقدار بالای اسیدیته و قلیائیت، خشکی یا غرقاب بودن محیط مورد نظر مقاوم هستند و تولید زی‌توده زیاد (Sarma, 2011) دارند نیز از مثال‌های گونه‌های مناسب برای گیاه‌پالایی محسوب می‌شوند. حدود ۷۵۰ گونه گیاهی آبزی و خشکی‌زی جاذب مواد آلاینده شناسایی شده‌اند (Sarma, 2011). از میان گیاهان پهن‌برگ مناسب برای گیاه‌پالایی در نقاط مختلف دنیا مانند ایران می‌توان، به کرچک (*Ricinus communis* L.) و استبرق (*Calotropis gigantean* R. Br.) (Kumar *et al.*, 2013) اشاره کرد. استفاده از گونه‌های خانواده صنوبر شامل جنس صنوبر (*Populus* L.) و بید (*Salix* L.) نیز در مناطقی که مشکل آب وجود نداشته باشد، مفید است. به‌طوری‌که صنوبرها برای پاک‌سازی محیط از گوگرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Pilon-Smit, 2005). همچنین گونه زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.) به‌عنوان درختی مناسب برای پالایش آلودگی در مناطق شهری مورد استفاده قرار گرفته است (Aksoy and Demirezen, 2006).

عناصر فلزی سنگین بیشتر در برگ گیاهان تجمع پیدا می‌کنند (Subhashini and Swamy, 2013). در بررسی توان جذب کادمیوم توسط گونه‌های جنس صنوبر و بید در محیط کشت آبی، سطح کل برگ گونه‌های صنوبر تحت تأثیر کادمیوم به‌شدت کاهش می‌یابد، درحالی‌که سطح کُل برگ برای برخی از هم‌گروه‌های (Clones) بید تحت تأثیر کادمیوم تغییری نمی‌کند. همچنین تعداد انشعابات ریشه در گونه‌های بید در مقایسه با گونه‌های صنوبر در محیط آلوده به کادمیوم نیز تغییر نمی‌یابد. از طرفی رشد طولی ریشه در برخی هم‌گروه‌های صنوبر و بید با کاهش همراه بوده است (Zacchini *et al.*, 2009).

در پژوهشی دیگر به‌منظور پاک‌سازی محیط از آلودگی ناشی از آلاینده‌های نفتی با کاشت تعداد شش گونه درختی نشان داده‌اند که مقدار جذب عنصر روی و مس در برگ گونه پده (*Populus euphratica*) نسبت به بقیه گونه‌های مورد بررسی بیشتر بوده است، درحالی‌که گونه شیشم (*Dalbergia sisso*) بالاترین مقدار جذب فلز کادمیوم را داشته است. گونه‌های *Acacia stenophylla* و پده بهترین جاذب برای عنصر سرب بوده‌اند (Keneshtloo and Eghtesadi, 2011).

Archive of SID

www.SID.ir

کارخانه‌های مختلف در شهرک صنعتی روی، در فاصله یک کیلومتری جاده زنجان- بیجار و در حدود ۵ کیلومتری جنوب شهر زنجان واقع است. روستاها، باغات، باغشهرها، مزارع آبی و دیم و دامداری‌های زیادی در اطراف شهرک صنعتی وجود دارند که تولیدات آن‌ها در بازار زنجان و شهرهای اطراف عرضه می‌شود.

هدف این مقاله بررسی مقدار جذب عناصر فلزی مس، روی، کادمیوم و سرب توسط برخی گونه‌های چوبی غیرمثمر موجود تا شعاع پنج کیلومتری در اطراف شهرک صنعتی روی بود. در این راستا یافتن بهترین گونه بومی جاذب عناصر آلاینده مورد بررسی و اثبات آلایندگی شهرک صنعتی روی بود.

مواد و روش‌ها

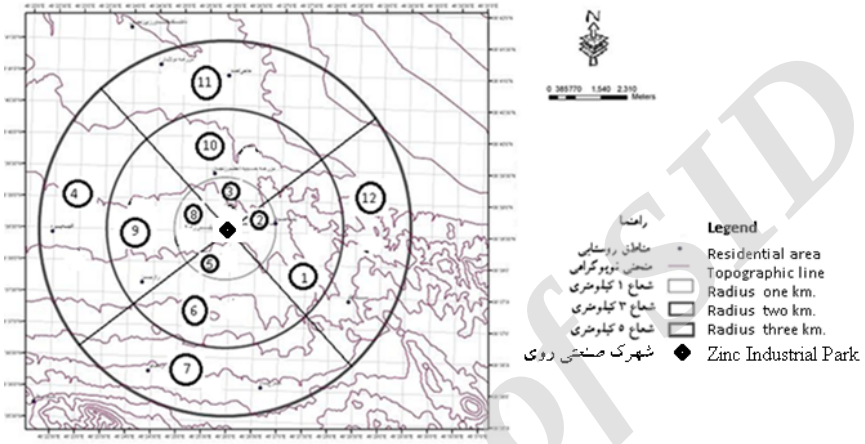
وجود معدن سرب و روی در استان موجب توسعه صنایع وابسته به آن شده است. به‌طوری در نقاط زیادی شرکت‌های مختلف به‌صورت مجتمع‌های صنعتی ایجاد شده است. یکی از این مجتمع‌ها شهرک صنعتی تخصصی روی است. این شهرک در عرصه‌ای با مساحت ۱۷۱ هکتار در قالب ۱۱٤ فقره قرار داد به شرکت‌ها واگذار شده که ۸۵ واحد از آن‌ها فعالیت دارند. تعداد ۲۷۸۷ نفر در این شهرک صنعتی مشغول به کار هستند. این شهرک دارای سیستم جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه است (Karimi, 2014).

برای انجام این تحقیق، منطقه مورد بررسی اطراف شهرک صنعتی به سه شعاع ۰-۱، ۱- ۳ و ۳-۵ کیلومتری تقسیم شد. با لحاظ کردن چهار جهت اصلی جغرافیایی در داخل شعاع‌های سه‌گانه فوق، تعداد ۱۲ منطقه مشخص شدند. به این ترتیب مناطق ۱۲گانه داخل محدوده یک تا پنج کیلومتری اطراف شهرک صنعتی با شماره ۱-۱۲ کُدگذاری شدند. مناطق ۲، ۳، ۵ و ۸ در داخل شعاع اول، مناطق ۱، ٦، ۹ و ۱۰ در داخل شعاع دوم و مناطق ٤، ۷، ۱۱ و ۱۲ در داخل شعاع سوم قرار داشتند. منطقه داخل محدوده شهرک صنعتی، نیز به‌عنوان آلوده‌ترین منطقه، با شماره صفر و منطقه شاهد، روستای ابدال (خارج از محدوده نقشه ارائه شده در شکل ۱) در فاصله بیش از ۳۰ کیلومتر از شهرک صنعتی روی، با شماره ۱۳ کُدگذاری شدند (شکل ۱). تعداد پنج گونه درختی غیرمثمر شامل: زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.)، تبریزی (*Populus nigra* L.)، سپیدار (*Populus alba* L.)، بید (*Salix* sp. L.) و اقاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) و یک گونه درختچه رُز (*Rosa* sp. L.) برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. دلیل انتخاب این گونه‌ها، وجود تعداد کافی از آن‌ها برای نمونه‌برداری بود. در پایان فصل رشد قبل از زرد شدن برگ‌ها، در داخل هر منطقه مورد بررسی از برگ‌های کاملاً رشد کرده گونه‌ها نمونه‌ها جمع‌آوری شد. با توجه به اینکه استقرار گونه‌های مورد بررسی به‌صورت بسیار پراکنده بود، در داخل هر منطقه از پنج پایه درخت یک نمونه تهیه شد. فلزات سنگین مورد بررسی شامل روی (Zn)، مس (Cu)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) بود. در کل تعداد ٦۲ نمونه برگ کاملاً رشد یافته از وسط شاخه جمع‌آوری شد. هم چنان‌که در جدول ۱ مشخص شده در برخی مناطق به‌علت نبودن گونه‌های مورد نظر نمونه‌ای برداشت نشده است؛ مانند منطقهٔ ۵ که تهیه نمونه از هیچ‌کدام از گونه‌ها ممکن نبود. برخی از گونه‌ها در یک یا چند منطقه مورد بررسی وجود نداشتند و در نتیجه، نمونه‌ای برای آن‌ها مورد آزمایش قرار نگرفت (جدول ۱). پس از شستن برگ‌ها و خشک‌کردن آن‌ها، اقدامات لازم برای آماده‌سازی و تعیین مقدار فلزات مورد نظر به روش زیر انجام شد (Emami, 1996): در این مقاله از روش هضم تر برای

Archive of SID

www.SID.ir

اندازه‌گیری فلزات مورد بحث در گیاه استفاده شد. برای اکسیداسیون تر از مخلوط اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید سولفریک برای اندازه‌گیری عناصر به ترتیب ارائه شده اقدام شد: ۱) تهیه مقدار ۲ گرم ماده گیاهی و انتقال آن به بالن هضم، ۲) اضافه کردن سه اسید فوق و ٤ دانه ساچمه شیشه‌ای (نگهداری مخلوط به مدت یک شب)، ۳) حرارت دادن نمونه‌ها به مدت ٤٠ دقیقه تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد. بعد از تقطیر شدن درجه حرارت به ۲۰۵ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. ادامه هضم تا ۱ ساعت دیگر، ٤) بعد از خنک شدن مقدار ۲۰ میلی‌لیتر آب و ۲ میلی‌لیتر نیتریت سدیم اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. حجم نمونه را به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس نمونه از صافی عبور داده شد.



شکل ۱- نقشه موقعیت مناطق دوازده‌گانه و شاهد برای جمع‌آوری نمونه‌های برگ گونه‌های درختی و درختچه‌ای

Figure 1. The location of twelve areas and control on the map for collecting leaf samples of trees and shrub species

جدول ۱- وضعیت برداشت نمونه‌های برگ در مناطق مختلف

Table 1. The areas where leaf samples were taken

شاهد Control	مناطق اطراف شهرک صنعتی Areas next to the Industrial Park												داخل محدوده شهرک صنعتی Within Industrial Park	گونه‌ها Species
13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*1	تبریزی *Populus nigra* L.
*		*		*		*	*				*		*	سپیدار *Populus alba* L.
*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	بید *Salix* sp.
*		*	*	*		*	*		*	*	*	*		رُز *Rosa* sp.
*	*	*		*	*		*		*				*	اقاقیا *Robinia pseudoacacia* L.
*	*			*		*	*		*		*	*	*	زبان‌گنجشک *Fraxinus excelsior* L.

۱: وجود علامت ستاره (*) به معنی برداشت نمونه است.

1- A star indicates the sample was taken.

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه داده‌ها در محیط نرم‌افزار SAS 9.0 در قالب طرح آماری اسپلیت پلات بر اساس بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. به‌طوری‌که عرصه بین ۰-۱، ۱-۳ و ۳-۵ کیلومتری تعداد سه بلوک و هر یک از این بلوک‌ها نیز به چهار پلات تقسیم شدند. به این ترتیب، هر پلات در یکی از چهار جهت اصلی جغرافیایی قرار داشت (شکل ۱). تمام مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن و در سطح ۵ درصد انجام شد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه ضریب تغییر داده‌ها بیش از ۲۵ بود، ابتدا داده‌های روی و مس با استفاده از تابع لگاریتم (log(x)) و داده‌های کادمیوم و سرب نیز به ترتیب با فرمول log(x) + 3 و log(x) + 3.5 تبدیل داده شدند. سپس تجزیه واریانس داده‌های تبدیل شده انجام شد.

نتایج

تجزیه واریانس مقدار جذب عناصر

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده شده در جدول ۲ مشاهده می‌شود که از نظر مقدار انباشت عنصر روی منابع تغییر شعاع، جهت و گونه دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند. از نظر انباشت عنصر مس تنها اختلاف معنی‌دار برای شعاع × جهت و گونه دیده شد. برای عنصر کادمیوم اختلاف آماری معنی‌دار برای منابع تغییر شعاع و شعاع × جهت مشاهده شد. در مورد سرب هیچ‌گونه اختلاف معنی‌دار آماری برای منابع تغییر دیده نشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس انباشت عناصر روی، مس، کادمیوم و سرب (برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم) در برگ گونه‌های چوبی غیرمثمر (اعداد داده شده میانگین مربعات است)

Table 2. Analysis of variance of adsorption (in ppm.) of elements Zn, Cu, Cd and Pb in the leaves of woody non-fruit-bearing species (Data are mean squares)

سرب Pb	کادمیوم Cd	مس Cu	روی Zn	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variations
1.75ns	3.91*	0.70ns	2.84**	2	شعاع Radius
2.54 ns	1.45ns	0.29ns	1.43*	3	جهت Aspect
1.56 ns	2.36*	0.41*	0.68ns	6	شعاع × جهت Radius × Aspect
0.34 ns	0.72ns	0.39*	1.34*	5	گونه Species
0.93 ns	0.66ns	0.21ns	0.20ns	14	جهت × گونه Aspect × Species
1.12 ns	0.77ns	0.35ns	0.55ns	9	شعاع × گونه Radius × Species
1.70	0.69	0.09	0.26	10	خطا Error
23.73	23.61	14.46	9.81		ضریب تغییر CV

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد؛ ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد؛ ns فاقد اختلاف معنی‌دار.

*significant at level 5%; ** significant at level 1%; ns Not significant

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه میانگین جذب عناصر

در جدول ۳ مقدار میانگین جذب عناصر روی، مس و کادمیوم توسط برگ گونه‌ها در مناطق ۱۲گانه به همراه جذب آن‌ها در منطقه شاهد و داخل محدوده شهرک صنعتی داده شده است. با توجه به مقایسه میانگین جذب عناصر توسط برگ گونه‌ها (جدول ۳) مشاهده شد که از نظر جذب فلز روی چهار گروه قابل تشخیص است. به‌طوری‌که گونه سپیدار با بیشترین میانگین مقدار جذب برابر با ۱۲۱۵/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه a و بعد از آن درخت بید با مقدار جذب ۷٦٤/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه b و زبان‌گنجشک، اقاقیا و تبریزی به ترتیب با مقدار جذب ۵۰۰/۳۸، ٤٦۹/۹٦ و ٤٦٦/٤۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه c قرار دارند. رُز با کمترین مقدار جذب (۲٤۹/۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در گروه d قرار دارد. از نظر مقدار جذب مس در برگ گونه‌ها دو گروه a و b وجود دارد که به ترتیب گونه بید و اقاقیا در آن‌ها قرار دارند. یک گروه میانی هم (ab) وجود دارد که در برگیرنده بقیه گونه‌ها است. در مورد مقدار جذب کادمیوم دو گروه متمایز تشخیص داده شد. در گروه a گونه سپیدار با جذب ۱۲/۵٦ میلی‌گرم در کیلوگرم، گونه بید با مقدار جذب ۸/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه ab (این گونه حد واسط بین دو گروه a و b بود) و گونه‌های تبریزی، اقاقیا، زبان‌گنجشک و رُز به ترتیب با مقدار جذب ٦/۰۲، ۵/۰۹، ۳/۹۲ و ۲/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه b قرار دارند. از نظر مقدار جذب سرب توسط برگ همه گونه‌ها در یک گروه قرار داشتند. باوجود این بالاترین مقدار جذب برابر با ۳۳/۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به گونه اقاقیا است.

جدول ۳– مقایسه میانگین جذب عناصر روی، مس، کادمیوم (برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم) در برگ گونه‌های غیرمثمر چوبی به روش دانکن

Table 3. Means comparison of adsorption of elements Zn, Cu and Cd (in ppm.) in leaves of non-fruit-bearing woody species using Duncan method

کادمیوم Cd	مس Cu	روی Zn	گونه Species
3.92b	8.10ab	500.38c	زبان‌گنجشک، *Fraxinus excelsior* L.
12.56a	8.92ab	1215.13a	سپیدار، *Populus alba* L.
6.02b	11.43ab	466.42c	تبریزی، *Populus nigra* L.
5.09b	7.21b	469.96c	اقاقیا، *Robinia pseudoacacia* L.
2.57b	11.65ab	249.09d	رُز، *Rosa* sp.
8.08ab	12.93a	764.05b	بید، *Salix* sp.

میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک ستون، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

Means with the same letter(s) in each column indicate no statistically significant difference.

مقایسه میانگین جذب در شعاع‌های مختلف

مقایسه میانگین مقدار جذب عناصر در شعاع‌های اول، دوم و سوم به همراه میانگین جذب شاهد و داخل محدوده شهرک صنعتی در جدول ٤ داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای جذب فلز روی سه گروه متمایز وجود دارد. در گروه a که فقط محدوده شهرک صنعتی را شامل می‌شود، میانگین مقدار جذب ٤٦۵۵/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است. در گروه b فقط شعاع اول با میانگین مقدار جذب ٤۷۳/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و شعاع‌های دوم، سوم و شاهد به ترتیب با

Archive of SID

www.SID.ir

میانگین جذب ۱۹۰/۵۹، ۱۶۳/۵۹ و ۶۸/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه c قرار دارند. در مورد جذب مس دو گروه تشخیص داده شد. در گروه a با بیشترین میانگین جذب برابر ۱۷/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به داخل شهرک صنعتی است. شعاع‌های اول، دوم، سوم و شاهد به ترتیب با مقدار جذب ۱۰/۱۱، ۹/۴۶، ۹/۷۱ و ۹/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه b قرار می‌گیرند. برای جذب کادمیوم دو گروه تشخیص داده شد. در گروه a داخل شهرک صنعتی با میانگین جذب ۴۳/۳۳، میلی‌گرم در کیلوگرم شعاع‌های اول، دوم، سوم و شاهد به ترتیب با میانگین مقدار جذب ۵/۷۵، ۳/۰۱، ۱/۸۰ و ۰/۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه b هستند. برای مقدار جذب سرب سه گروه وجود داشت. داخل شهرک صنعتی در گروه a با مقدار جذب ۱۳۹/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، شعاع اول با میانگین مقدار جذب ۴۱/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه b و شعاع‌های دوم، سوم و شاهد به ترتیب با میانگین مقدار جذب ۱۱/۱۸، ۱۰/۳۲ و ۰/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه c قرار دارند.

جدول ٤- مقایسه میانگین مقدار جذب عناصر روی، مس، کادمیوم و سرب (برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم) در شعاع‌های اول، دوم و سوم، داخل شهرک صنعتی و منطقه شاهد

Table 4- Means comparison of adsorption of elements Zn, Cu, Cd and Pb (in ppm.) within first, second, and third radii, within Industrial Park and control area

شعاع Radius	روی Zn	مس Cu	کادمیوم Cd	سرب Pb
داخل شهرک صنعتی Within Industrial Park	4655.32a	17.88a	43.33a	139.32a
شعاع اول First radius	473.13b	10.77b	5.75b	41.84b
شعاع دوم Second radius	190.59c	9.46b	3.01b	11.18c
شعاع سوم Third radius	163.59c	9.71b	1.80b	10.32c
شاهد Control	68.25c	9.66b	0.30b	0.57c

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with the same letter(s) in each column indicate no statistically significant difference.

مقایسه میانگین جذب در جهت‌های مختلف

مقایسه میانگین مقدار جذب عناصر در چهار جهت برای میانگین جذب روی تعداد شش گروه تشخیص داده شد. در گروه a داخل محدوده شهرک صنعتی با میانگین جذب ٤٦٥٥/٣٢ میلی‌گرم در کیلوگرم، در گروه b، جهت شمالی با میانگین مقدار جذب ٣٤٤/٧٥ میلی‌گرم در کیلوگرم، جهت غربی با میانگین جذب ۲۷۷/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه bc، جهت شرقی در گروه bcd با میانگین مقدار جذب ۲۲۷/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار دارند. جهت جنوبی نیز با میانگین مقدار جذب ١٢٦/٦٦ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه cd و شاهد با میانگین جذب ٦٨/٢٥ میلی‌گرم در کیلوگرم در گروه d قرار دارند. در مورد میانگین جذب مس تنها دو گروه تشخیص داده شد. در گروه a که داخل شهرک

Archive of SID

www.SID.ir

صنعتی را شامل می‌شود، دارای میانگین مقدار جذب ۱۷/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم است. جهت‌های شرقی، شمالی، شاهد و غربی به ترتیب با میانگین مقدار جذب ۱۲/٤۰ ۹/۷۰، ۹/٦٦ و ۹/٤٦ میلی‌گرم در کیلوگرم مجموعاً در گروه b قرار دارند. در مورد جذب کادمیوم تنها دو گروه تشخیص داده شد. در گروه a، داخل شهرک صنعتی، دارای میانگین مقدار جذب ٤۳/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم است. جهت‌های جغرافیایی شرقی، غربی، شمالی، جنوبی و شاهد به ترتیب دارای میانگین مقدار جذب بین ٤/۵۹، ۳/۷۲، ۲/۸۵، ۱/٤٤ و ۰/۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مجموعاً در گروه b قرار دارند. بر اساس میانگین جذب سرب نیز دو گروه تشخیص داده شد. در گروه a، داخل شهرک صنعتی، دارای میانگین مقدار جذب ۱۳۹/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است. جهت‌های جغرافیایی شرقی، شمالی، غربی، جنوبی و شاهد به ترتیب دارای میانگین مقدار جذب ۲۱/۸۱، ۲۱/۰۵، ۱۹/٦۷، ۱۱/۵۹ و ۰/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم مجموعاً در گروه b قرار دارند. اصلی جغرافیایی به همراه میانگین جذب شاهد و داخل محدوده شهرک صنعتی در جدول ۵ داده شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین مقدار جذب عناصر روی، مس، کادمیوم و سرب (ppm) در داخل شهرک صنعتی، چهار جهت اصلی جغرافیایی و شاهد

Table 5- Means comparison of adsorption of elements Zn, Cu, Cd and Pb (ppm) within Industrial Park, four main geographical aspects, and control

سرب Pb	کادمیوم Cd	مس Cu	روی Zn	جهات جغرافیایی Aspects
139.32a	43.33a	17.88a	4655.32a	داخل شهرک صنعتی Within Industrial Park
21.05b	2.85b	9.70b	344.75b	شمالی Northern
19.67b	3.72b	9.46b	277.32bc	غربی Western
21.81b	4.59b	12.40ab	227.98bcd	شرقی Eastern
11.59b	1.44b	7.09b	126.66cd	جنوبی Southern
0.57b	0.30b	9.66b	68.25d	شاهد Control

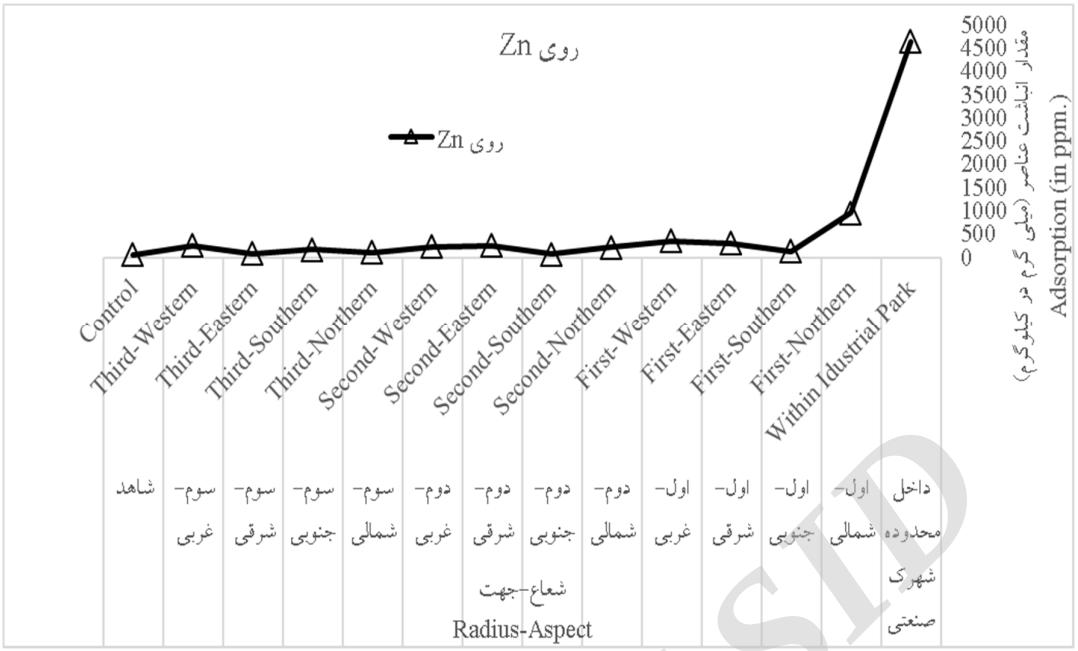
میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with the same letter(s) in each column indicate no statistically significant difference.

همچنان که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مقدار انباشت عنصر روی در جهت غربی شعاع اول، جهت غربی و شرقی شعاع دوم، جهت غربی شعاع سوم نسبت به بقیه موارد بالاتر است. درحالی‌که اُلگوی مشخصی برای عناصر مس، کادمیوم و سرب (شکل ۳) قابل تشخیص نیست و مقدار تغییرات در شعاع و جهات نامنظم است. باوجود این، در همه موارد مقدار انباشت در داخل محدوده شهرک صنعتی برای تمام عناصر بسیار بالاتر و در منطقه شاهد بسیار پایین‌تر است.

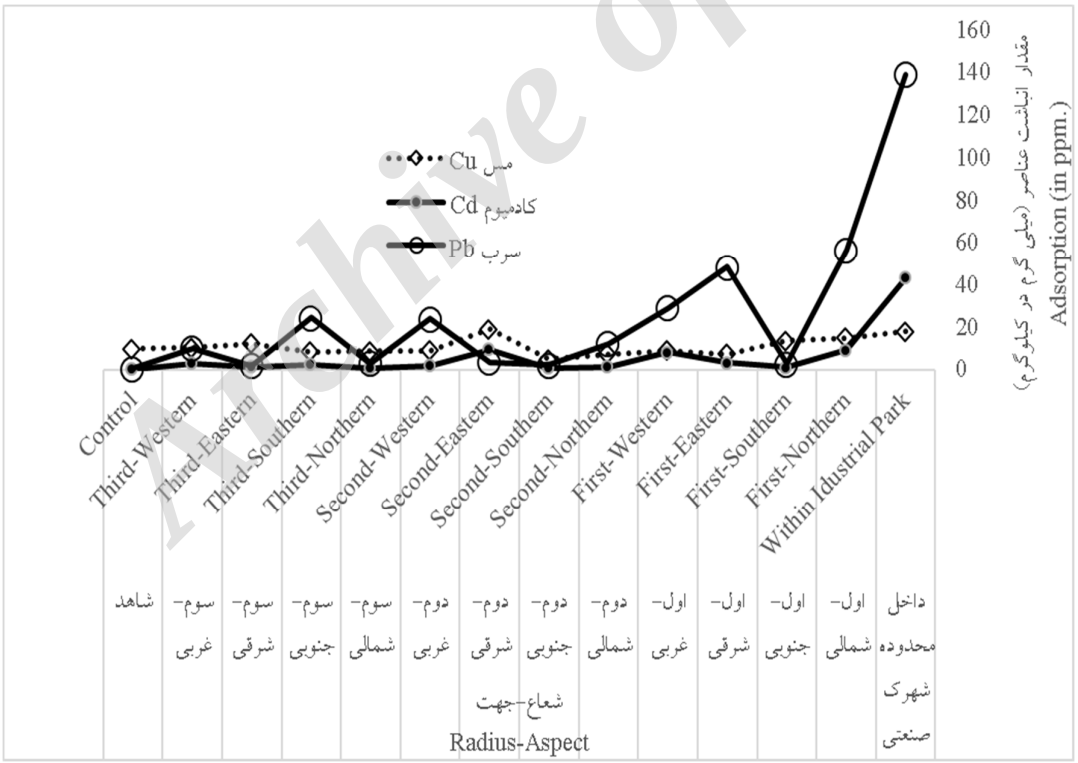
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- تغییرات انباشت عنصر روی (برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم) برای منبع تغییر شعاع × جهت

Figure 2. Adsorption fluctuations of element Zn (in ppm.) for radius × aspect source of variation



شکل ۳- تغییرات انباشت عناصر مس، کادمیوم و سرب (ppm) برای منبع تغییر شعاع × جهت

Figure 3. Adsorption fluctuations of elements Cu, Cd and Pb (ppm) for radius × aspect source of variation

Archive of SID

www.SID.ir

بحث

با توجه به یافته‌ها آلوده‌ترین منطقه داخل محدوده شهرک صنعتی است به‌طوری‌که برای فلز روی، کادمیوم و سرب مقدار آلودگی به ترتیب ٤٦/٥٥، ٢٨/٨٨، ١/٣٩ برابر حدّ بحرانی (Aksoy and Demirezen, 2006) است. اما مقدار مس زیر حدّ بحرانی است. از طرفی دیگر هیچ‌گونه آلودگی در منطقه شاهد مشاهده نشد. بدین ترتیب با دور شدن از شهرک صنعتی کاهش مقدار آلودگی وجود دارد. در نتیجه، وجود عناصر آلاینده در محدوده مورد بررسی به دلیل عدم رعایت استانداردهای لازم برای جلوگیری از انتشار مواد از طرف شرکت‌های صنعتی است؛ که البته با توجه به حدّ مجاز ارائه شده برای سرب (٠/١ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کادمیوم (٠/٠٥ میلی‌گرم در کیلوگرم) توسط منابع رسمی (Anonymous, 2015)، لزوم توجه به این نکته که دو عنصر اخیر هیچ‌گونه مصرفی در سوخت‌وساز گیاهان و جانوران ندارند، حتی وجود مقادیر جزئی کادمیوم و سرب را می‌توان غیرمجاز شمرد.

نتایج نشان داد تا فاصله ٥ کیلومتری آلودگی به فلز روی همچنان بالاتر از حدّ بحرانی است. در پژوهشی روی شعاع آلودگی نشان داده شد که مقدار آلودگی گوگرد و فلزات سنگین تا شعاع پنج کیلومتری به‌شدت کاهش یافته به‌طوری در شعاع ده کیلومتری از منبع آلاینده وضعیت به حالت عادی تبدیل می‌شود (Cicek and Koparal, 2004). در صورتی حد بالای تحمل آلودگی به فلز روی، یعنی ١٠٠ میلی‌گرم در کیلوگرم (Aksoy and Demirezen, 2006) را در نظر بگیریم، مقدار فلز روی ٣/٤٤ برابر حدّ بحرانی است. آلودگی در جهت شمالی بیشتر از دیگر جهت‌های جغرافیایی است. در جهت شمالی روستاها، باغات میوه، مزارع کشاورزی، باغشهرها و دامداری‌های زیادی وجود دارد که در داخل محدوده مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نتیجه، محصولات کشاورزی این ناحیه به‌شدت در معرض آلودگی فلز روی هستند. بر اساس مقدار مطلق جذب عنصر روی در داخل شهرک صنعتی (که داده‌های آن در این مقاله ارائه نشده) دو گونه سپیدار و بید به ترتیب با جذب ٧٦٣٥/٤٠ میلی‌گرم در کیلوگرم و ٥٥٥٢/٦٠ میلی‌گرم در کیلوگرم عملکرد بهتری دارند. با توجه به اینکه این دو گونه آب‌دوست هستند در قسمت‌هایی از عرصه‌های آلوده که مشکل آب وجود نداشته باشد قابل توصیه هستند. در غیر این صورت، گونه اقاقیا با نیاز آبی پایین‌تر و مقدار جذب مطلق ٢٩٣٣/٣٠ میلی‌گرم در کیلوگرم توصیه می‌شود.

از نظر مقدار آلودگی عنصر مس به غیر از داخل محدوده شهرک صنعتی که به حدّ بحرانی (٢٠ میلی‌گرم در کیلوگرم) نزدیک است، جای نگرانی وجود ندارد. از نظر انتخاب گونه برای جذب مس نمی‌توان گونه خاصی از میان گونه‌های مورد بررسی را پیشنهاد کرد، زیرا همه گونه‌ها کم و بیش عنصر مس را جذب می‌کنند.

آلودگی به عنصر کادمیوم تا شعاع پنج کیلومتری همچنان دیده می‌شود. در داخل محدوده شهرک صنعتی مقدار آلودگی در خوش‌بینانه‌ترین حالت (حدّ مجاز ١/٥ میلی‌گرم در کیلوگرم)، ٢٨/٨ برابر حدّ بحرانی است و در شعاع پنج کیلومتری این مقدار به ١/٢ برابر حدّ بحرانی کاهش پیدا می‌کند. فعالیت شهرک صنعتی در همه جهات جغرافیایی به‌صورت یکسان موجب آلودگی شده است، ولی مقدار آلودگی در بخش شرقی (به‌علت وزش باد غالب در تمام فصول سال از سمت غرب به شرق (Anonymous, 2007)) به نسبت بالاتر است. در این رابطه بهترین گونه جذب‌کننده، با مقدار جذب مطلق ٨٠/٩٧

Archive of SID

www.SID.ir

میلی‌گرم در کیلوگرم در داخل محدوده شهرک صنعتی، سپیدار است.

از نظر آلودگی به عنصر سرب تا محدوده پنج کیلومتری مقدار آلودگی نگران کننده است. از نظر جذب عنصر سرب تفاوتی بین گونه‌های مورد بررسی وجود ندارد. بااین‌حال، گونه اقاقیا با مقدار جذب مطلق ۱٤۸/۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در داخل محدوده شهرک صنعتی، گونه مناسب‌تری است.

به‌این‌ترتیب، مشخص شد که فعالیت شهرک صنعتی روی عامل آلودگی محیط به عناصر سنگین است؛ و آلودگی به سرب، کادمیوم و روی جای نگرانی دارد. از نظر مقدار مس هنوز جای نگرانی نیست. از طرفی دیگر گونه‌های چوبی بومی قادر به انباشت مقدار بالایی از عناصر مورد بررسی هستند که برای پاک‌سازی محیط، در صورت انتقال شهرک به مکانی مناسب‌تر، می‌توان در ایجاد جنگلکاری از آن‌ها استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق به پیشنهاد و هماهنگی اداره کُل حفاظت محیط‌زیست استان زنجان انجام شده و کُل هزینه آن توسط استانداری زنجان تأمین شده است. جا دارد از کلیه افرادی که در این راستا نهایت همکاری را داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

References

- Aksoy, A. & D. Demirezen, 2006. *Fraxinus excelsior* as a biomonitor of heavy metal pollution, *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(1): 27-33.
- Anonymous. 2015. General standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995), *CODEX Alimentarius*. 59 p.
- Anonymous. 2007. Land use studies of Zanjan province, Governor General Office of Zanjan province, 114 p. (In Persian)
- Cicek, A. & A.S. Koparal, 2004. Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tunçbilek Thermal Power Plant, *Chemosphere*, 57(8):1031-1036.
- Emami, A., 1996. Plant Material analysis methods, Agriculture Ministry Press, Tehran, 128 p. (In Persian)
- FAO, 2015. CIFA Technical Paper 25. Available from http://www.fao.org/docrep/008/v3640e/v3640e00.HTM#TOC. Accessed 11th November 2015.
- Fodor, F., L. Gáspár, F. Morales, Y. Gogorcena, J.J. Lucena, E. Cseh, K. Kröpel, J. Abadías & E. Sárvári, 2005. Effects of two iron sources on iron and cadmium allocation in poplar (*Populus alba*) plants exposed to cadmium, *Tree Physiology*, 25(9): 1173–1180.
- Kadirvel, K.K. & M. Jegadeesan, 2014. Mercury and cadmium accumulation in selected weed plants: Implications for phyt-oremediation, *Asian Journal of Plant Science and Research*, 4(5):1-4.
- Karimi, J., 2014. An Introduction to the Industrial Parks in Zanjan province, Iran Small Industries and Industrial Parks Organization (ISIPO) Press, Zanjan, 22 p. (In Persian)
- Keneshloo, H. & A. Eghtesadi, 2011. The effect of afforestation in reduction oil pollution (heavy metals), *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*, 64(2):185-197. (In Persian)
- Khokhar, A.L., M.T. Rajput, B. Ahmed & S. Tahir, 2012. Checklist of flowering plants used in phytoremediation found in Sindh, Pakistan, *Sindh University Research Journal-SURJ (Science Series)*, 44 (3): 497-500.
- Kumar, S.R., T. Arumugam, C. Anandakumar, S. Balakrishnan & D. Rajavel, 2013. Use of Plant Species in Controlling Environmental Pollution-A. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2(2):52:63
- Moosavi, S.G. & M.J. Seghatoleslami, 2013. Phytoremediation: A review, *Advance in Agriculture and Biology*, 1(1):5-11.
- Mudgal, V., N. Madaan & A. Mudgal, 2010. Heavy metals in plants: phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. *Agriculture and Biology Journal*

Archive of SID

www.SID.ir

of North America, 1(1): 40-46. ISSN 2151-7525.
- Pilon-Smits, E., 2005. Phytoremediation, *Annual Review of Plant Biology*, *56*, 15-39.
- Poniedziałek, M., A. Sękara, E. Jędrszczyk & J. Ciura, 2010. Phytoremediation efficiency of crop plants in removing cadmium, lead and zinc from soil, *Folia Horticulturae Annual*, 22(2): 25-31.
- Sarma, H., 2011. Metal hyperaccumulation in plants: A review focusing on phytoremediation technology, *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2): 118-138.
- Sharma, S. & F.M. Prasad, 2010. Accumulation of Lead and Cadmium in soil and vegetable crops along major highways in Agra (India), *Electronic Journal of Chemistry*, 7(4): 1174-1183.
- Singh, D., A. Tiwari & R. Gupta, 2012. Phytoremediation of lead from wastewater using aquatic plants, *Journal of Agricultural Technology*, 8(1): 1-11.
- Subhashini, V. & A.V.V.S. Swamy, 2013. Phytoremediation of Cadmium and Chromium from contaminated soils using *Physalis minimalinn*, *American International Journal of Research in Formal, Applied & Natural Sciences*, 3(1):119-122.
- Zacchini, M., F. Pietrini, G.S. Mugnozza, V. Iori, L. Pietrosanti & A. Massacci, 2009. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with Cadmium in hydroponics, *Water, Air, and Soil Pollution*, 197 (1-4): 23–34.

Archive of SID

www.SID.ir

A study on the adsorption of zinc, copper, cadmium and lead elements in leaves of some woody species

T. Majidi[1*], M. Taheri[2], F. Aqajanlou[3], A. Mousavi[4], M. Shojaei[5], M. Tokasi[6], P. Moradi[7], F. Heidari[1]

1- MSc in Forestry, Agricultural and Natural Resources Research & Education Center, Zanjan, I.R. Iran.
2- Assistant professor of plant nutrition, Agricultural and Natural Resources Research & Education Center, Zanjan, I.R. Iran.
3- Research instructor of rangeland management, Agricultural and Natural Resources Research & Education Center, Zanjan, I.R. Iran.
4- Research instructor of Botanical, Agricultural and Natural Resources Research & Education Center, Zanjan, I.R. Iran.
5- Expert of Natural Resources, Agricultural and Natural Resources Research & Education Center, Zanjan, I.R. Iran.
6- M.Sc. of analysis of soil and plant, Agricultural and Natural Resources Research & Education Center, Zanjan, I.R. Iran.
7- Assistant Professor of biotechnology, Agricultural and Natural Resources Research & Education Center, Zanjan, I.R. Iran.

Received: 12.10.2015 Accepted: 26.02.2016

Abstract

Using plant species to adsorb pollutants is one of the common methods of environmental cleanup. Zinc Industrial Park within five kilometers south of Zanjan city is a source of environmental contamination. In this paper, some woody species absorbing heavy metals including copper, zinc, cadmium, and lead, and the extent of the contamination were investigated. In the control area, within Zinc Industrial Park boundaries, and the radii of 0-1, 1-3, and 3-5 kilometers from Zinc Industrial Park leaf samples of six woody species including black locust, ash, white poplar, black poplar, rose, and willow were collected. Heavy metals concentrations were measured and statistical analysis was carried out under the assumption of split-plot design based on completely randomized block design. The results showed that high contamination levels of zinc, cadmium and lead are detectable in a radius of five kilometers from Zinc Industrial Park. Copper contamination level was below the critical level. But the amount of lead pollution within the Zinc Industrial Park is threatening. The best species for phytoremediation of Cadmium and Zinc is white poplar.

Keywords: Non-fruit trees, Heavy metals, Phytoremediation.

[*] Corresponding author: Email: t.majidi@areo.ir

Archive of SID

www.SID.ir