

توانایی گونه‌های توت سفید (*Morus alba*) و سپیدار (*Populus alba*) در تثبیت و برداشت فلزات سنگین

مریم رفعتی*^۱، نعمت ا... خراسانی^۲، فرهنگ مراقبی^۳ و انوشیروان شیروانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

^۲ استاد دانشکده محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

^۳ استادیار گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرری، ایران

^۴ استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۲۲، تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۱۱/۱۰)

چکیده

امروزه آلودگی خاک به فلزات سنگین در نتیجه فعالیت‌های بشر یکی از مشکلات جدی محیط زیست محسوب می‌شود. گیاه‌پالایی فنی است که در آن از گیاهان برای جذب آلاینده‌ها استفاده شده و می‌تواند بطور بالقوه برای احیای خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بکار رود. این مطالعه به منظور بررسی توانایی برداشت و تثبیت گیاهی دو گونه توت سفید (*Morus alba*) و سپیدار (*Populus alba*) انجام یافته است. بدین منظور، غلظت‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم و ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل به خاک اضافه شده و بعد از سپری شدن یک فصل رویش، از ریشه، ساقه، برگ و خاک مربوط به هر گلدان به منظور تعیین مقدار کل فلزات سنگین موجود در آنها، نمونه‌گیری شد. نتایج حاصل از محاسبه ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال نشان داد که، هیچ یک از این دو گونه برای تثبیت گیاهی کادمیوم، کروم و نیکل با داشتن ضریب تجمع زیستی ریشه کوچک‌تر از یک و فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک مناسب نبودند. از طرفی سپیدار با دارا بودن ضریب تجمع زیستی اندام‌های هوایی بزرگ‌تر از یک در کلیه تیمارهای مورد بررسی کادمیوم و ۲۴۰ و ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل و همچنین توت سفید با داشتن مقدار بیشتر از یک این پارامتر در تمامی تیمارهای مورد مطالعه نیکل، برای برداشت عناصر مذکور مناسب هستند.

واژه‌های کلیدی: برداشت گیاهی، تثبیت گیاهی، ضریب تجمع زیستی، فاکتور انتقال، گیاه‌پالایی

مقدمه

فلزات سنگین عناصری با جرم اتمی بیشتر از ۵۵/۸ گرم بر مول هستند که غیر قابل تجزیه زیستی بوده و تمایل به تجمع در سامانه‌های زیستی دارند و زمانی که مقدار آنها بیش از حد مجاز باشد، خطراتی را برای سلامتی انسان ایجاد می‌کنند (Torresday et al., 2005). این فلزات به طور طبیعی به میزان کم در خاک‌ها وجود دارند، اما فعالیت‌های مختلف صنعتی و کشاورزی مانند معدن‌کاوی، پسماندهای صنایع، ساخت افشانه‌ها و استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی موجب افزایش مقدار آنها در خاک می‌گردد (Abdullahi et al., 2009).

گیاه پالایی^۱ یک روش زیستی اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است که در آن از گیاهان برای کاهش، حذف، تجزیه و ساکن‌سازی آلاینده‌ها به ویژه نوع انسان ساخت آن استفاده می‌شود. این روش در سال‌های اخیر به دلیل داشتن هزینه کمتر، سازگار بودن با محیط زیست، حفظ حاصلخیزی خاک، استفاده به صورت درجا^۲ و حفظ زیبایی منطقه توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Wang et al., 2011). گیاه‌پالایی فلزات سنگین به سه گروه عمده تقسیم می‌شود: (۱) برداشت گیاهی^۳؛ فلزات سنگین از خاک برداشته شده و در اندام‌های هوایی گیاهان (ساقه و برگ) انباشته می‌شوند، (۲) تثبیت گیاهی^۴؛ فلزات سنگین در ریشه گیاهان نگهداری می‌شوند و (۳) فیلترسازی ریشه‌ای^۵؛ که در آن از ریشه گیاهان برای جذب، تمرکز و ته نشینی فلزات از محیط های آلوده آبی استفاده می‌شود (Marques et al., 2008; Sebastini et al., 2004). گونه‌های مختلفی قادر به جذب فلزات سنگین از محیط خود هستند اما در این بین درختان صفات ویژه‌ای دارند. به عنوان مثال، زیتوده زیادی تولید می‌کنند، سیستم ریشه‌ای توسعه یافته‌ای برای جذب فلزات سنگین از خاک دارند، نسبت به گونه-

های زراعی و مرتعی منابع غذایی برای چهارپایان نیستند و میزان تبخیر و تعرق زیاد آنها موجب افزایش جریان آب در درخت و انتقال فلزات به اندام‌های هوایی می‌گردد (Castiglione et al., 2006; Sebastini et al., 2004). این رو، دو گونه درختی توت سفید و سپیدار به دلیل گسترش فراگیر در سطح تهران و کرج و قدرت سازگاری زیاد با محیط‌زیست منطقه، همچنین دسترسی آسان همراه با قیمت ارزان نهال‌های آنها، جهت بررسی توانایی تثبیت و برداشت گیاهی فلزات کادمیوم، کروم و نیکل از خاک انتخاب شدند. شهرستان کرج با میانگین بارندگی سالانه ۲۵۱/۲ میلی‌متر، میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۱ سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر دارای اقلیم نیمه خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان معتدل است. میزان تجمع فلزات سنگین در منابع مختلف برای گونه سپیدار (Robinson et al., 2000; Madejon et al., 2004; Borghi et al., 2007; Dominguez et al., 2007; Robinson et al., 2007; Dominguez et al., 2008) و توت (Prince et al., 2000; Wang et al., 2002; Wang et al., 2003; Ashfagh et al., 2009) مورد بررسی قرار گرفته است. اما در ایران، مطالعه‌ای بر روی قدرت جذب فلزات مذکور توسط دو گونه سپیدار و توت صورت نگرفته است. اهداف این بررسی عبارتند از: تعیین مقدار تجمع کادمیوم، کروم و نیکل در اندام‌های گیاهی اعم از ریشه، ساقه و برگ، تعیین نسبت تمرکز فلزات در ریشه به خاک، اندام‌های هوایی به خاک و اندام‌های هوایی به ریشه و ارزیابی امکان استفاده از گونه‌های مورد نظر برای تثبیت یا برداشت گیاهی.

مواد و روش‌ها

عملیات گلخانه‌ای

نهال‌های یک ساله این دو گونه در اسفند ۱۳۸۸، از نهالستان اداره منابع طبیعی شهرستان کرج، با ارتفاع ۱۱۰±۱۰ سانتی‌متر برای سپیدار و ۸۰±۱۰ سانتی‌متر

¹ Phytoremediation

² In-situ

³ Phytoextraction

⁴ Phytostabilization

⁵ Rhizofiltration

نمونه‌های خاک هر گلدان پس از خشک شدن در فضای آزاد، برای بدست آوردن وزن ثابت به مدت ۲۴ ساعت در ۳۰ درجه سانتی‌گراد آون قرار گرفته، از الک ۲ میلی متری عبور داده شده و با استفاده از ۶ میلی‌لیتر اسید سولفوریک و ۱۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه در دستگاه Digesdahl (Hach Co., USA)، در دمای 440°C هضم گردیدند (Brainina et al., 2004; Awofolu, 2005). کلیه نمونه‌های اندام‌ها پس از شستشو با آب معمولی، آب مقطر و قرارگیری در آون به مدت ۴۸ ساعت در ۷۰ درجه سانتی‌گراد، پودر گردیده و در دستگاه Digesdahl با استفاده از ۴ میلی‌لیتر اسید سولفوریک و ۱۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه در دمای 440°C عصاره‌گیری شدند (Brainina et al., 2004; Wei et al., 2009). در پایان مقدار کل فلزات سنگین مورد نظر در تمامی عصاره‌های بدست آمده، با استفاده از دستگاه ICP (GBC, Australia)، اندازه‌گیری شد.

محاسبه ضریب تجمع زیستی^۱ و فاکتور انتقال^۲

ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال، مشخص کننده توانایی گیاهان برای تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های خود بوده که این پارامترها با استفاده از غلظت فلز در ریشه/مقدار فلز در خاک (ضریب تجمع زیستی ریشه)، غلظت فلز در اندام‌های هوایی/مقدار فلز در خاک (ضریب تجمع زیستی اندام‌های هوایی) و غلظت فلز در اندام‌های هوایی/غلظت فلز در اندام زیرزمینی (فاکتور انتقال) محاسبه گردیدند (Cheraghi et al., 2010; Zacchini et al., 2008).

تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مستقل برای هر تیمار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از دستگاه ICP با استفاده از نرم افزار Excel و Spss (۱۷) صورت گرفته و از آزمون Games-Hawel

برای توت انتخاب شدند. در انتخاب نهال‌های یک گونه سعی بر آن بود تا همگی علاوه بر داشتن سن یکسان دارای سیستم ریشه‌ای و قطر مشابهی بوده و بدون شاخه و برگ باشند. سپس در گلدان‌های پلاستیکی حاوی حدود ۱۰ کیلوگرم خاک کاشته شدند. خاک مورد نیاز از مخلوط کردن خاک طبیعی نهالستان با ماسه و کود حیوانی (به نسبت حجمی ۳:۱:۱) بدست آمد. ۵ نمونه از این خاک قبل از قرارگیری در گلدان‌ها جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، به آزمایشگاه ارسال شد. گلدان‌ها پس از پر کردن در فضای آزاد قرار گرفته و سه مرتبه در هفته با آب چاه آبیاری شدند. در اواخر اردیبهشت پس از جوانه‌زنی کلیه برگ‌ها، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم و ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل در فرم نمک‌های نیترات محلول، در طول سه هفته به خاک گلدان‌ها اعمال شد. سپس گیاهان در مدت زمان یک فصل رویش تا خزان کامل برگ‌ها، در فضای آزاد نهالستان اجازه رشد یافتند. در زمان اعمال تیمارها نیز بارندگی در منطقه صورت نپذیرفت. هر گلدان با یک فلز تیمار شد تا از اثرات متقابل فلزات سنگین بر یکدیگر جلوگیری گردد. همچنین یک گلدان برای هر گونه به عنوان شاهد (بدون اضافه کردن تیمار) در نظر گرفته شد که تعداد کل گلدان‌های مورد آزمایش برای هر گونه با در نظر گرفتن تعداد سه تکرار برای هر تیمار، ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. نمونه‌گیری از اندام‌ها در آبان ماه صورت پذیرفت. در آن هنگام برگ‌ها به صورت تصادفی از کلیه قسمت‌های تاج پوشش گرفته شده و پس از بیرون آوردن پیکره کامل گیاه از خاک، از قسمت‌های مختلف ریشه، ساقه و عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری خاک هر گلدان نمونه‌گیری به عمل آمد. نمونه‌های برگ، ریشه، ساقه و خاک هر گلدان جهت بدست آوردن نمونه‌های همگن با یکدیگر مخلوط شدند.

عملیات آزمایشگاهی

^۱ Bioconcentration factor

^۲ Translocation factor

فاکتور انتقال در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند که گونه توت برای برداشت فلز نیکل و سپیدار برای برداشت فلزات کادمیوم و نیکل از خاک مناسب بوده در حالی که هیچ یک از این گونه‌ها برای تثبیت فلزات مورد نظر در خاک مناسب نیستند.

بحث و نتیجه‌گیری

بیشترین مقدار فلزات سنگین بین اندام‌های مختلف گونه سپیدار در برگ‌ها وجود داشت که این مقادیر برای کادمیوم، کروم و نیکل به ترتیب ۱۳/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار ۸۰، ۱۵/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار ۲۴۰ و ۶۱/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار ۱۲۰ بود. طبق نظر (Kabata-pendias and Pendias (1984) غلظت‌های ۵-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، ۵-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم و ۱۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل برای برگ‌های گیاهان سمی است که مقادیر تجمع یافته فلزات مورد نظر در برگ‌های سپیدار در این پژوهش، در محدوده سمی آنها در برگ قرار دارد. پژوهش‌های انجام شده توسط (Dominguez et al. (2007) ، (Martens et al. (2007) و (Fischerova et al. (2005) ، نشان داد که بیشترین مقدار کادمیوم در برگ‌های *P. alba* در مقایسه با دیگر اندام‌ها یافت می‌شود.

نیز برای مقایسه میانگین غلظت عناصر در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

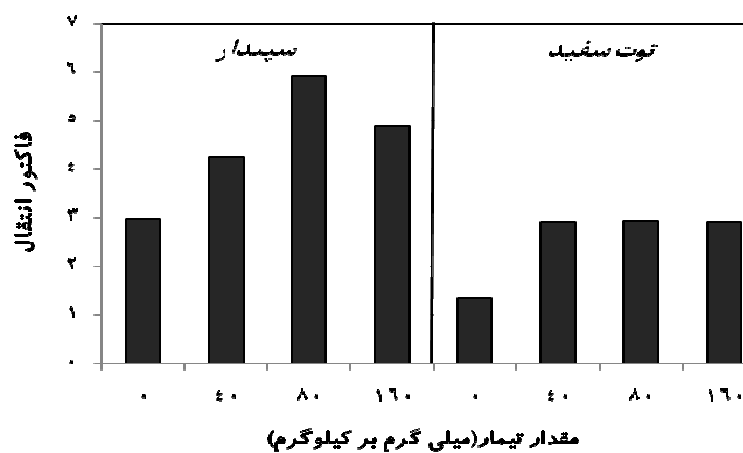
همانطور که جدول ۱ نشان می‌دهد، خاک اولیه برای کاشت نهال‌ها دارای بافت لومی با میانگین هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب ۱/۲ میلی-زیمنس بر سانتی‌متر و ۱۶/۵ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم، مواد آلی به میزان ۱/۲ درصد و اسیدیته ۷/۵ بوده که این خاک در ردیف خاک‌های شور قرار نگرفته و میزان اسیدیته آن نیز برای رشد گیاهان مناسب است.

جدول ۲ میزان تجمع فلزات سنگین کادمیوم، کروم و نیکل را در اندام‌های مختلف دو گونه نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، میزان کلیه عناصر تجمع‌یافته در برگ‌های توت با مقدار آنها در ریشه در تمامی تیمارها، اختلاف معنی‌دار داشته در حالی که در برگ‌های سپیدار، در سطوح شاهد و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، این تفاوت مشاهده نمی‌گردد. در مورد مقدار انباشت این عناصر در ساقه نیز باید گفت که، تنها در تیمارهای ۶۰ و ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم در گونه سپیدار و ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل در گونه توت، اختلاف معنی‌داری بین میزان تجمع این عناصر در ریشه با ساقه مشاهده می‌گردد، اما اختلاف بین ساقه و برگ در اکثر تیمارها معنی‌دار است. مقادیر ضریب تجمع زیستی و

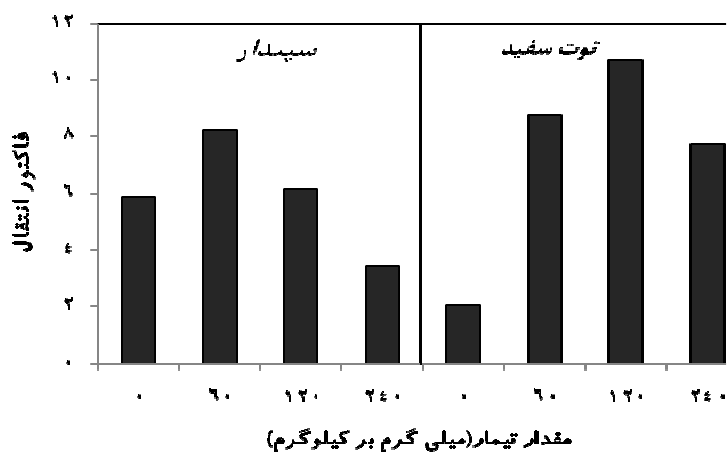
جدول ۱- خصوصیات خاک اولیه

مقدار	ویژگی
۷/۵	اسیدیته
۱/۲	هدایت الکتریکی (میلی زیمنس / سانتی متر)
۱۶/۵	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی‌والان / ۱۰۰ گرم)
لوم	بافت
۱/۲	مواد آلی (%)
۱۵	نیتروژن (%)
۹/۸	فسفر (میلی گرم / کیلوگرم)
۳۴۰	پتاسیم (میلی گرم / کیلوگرم)

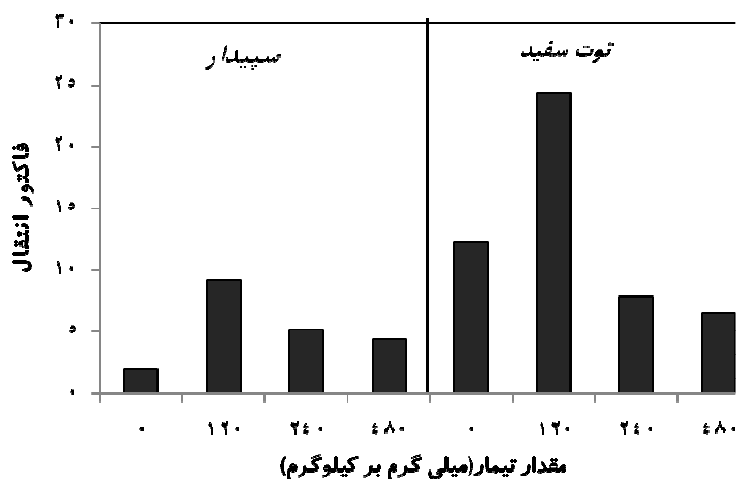
اعداد نشان داده شده میانگین ۵ تکرار هستند.



(الف)

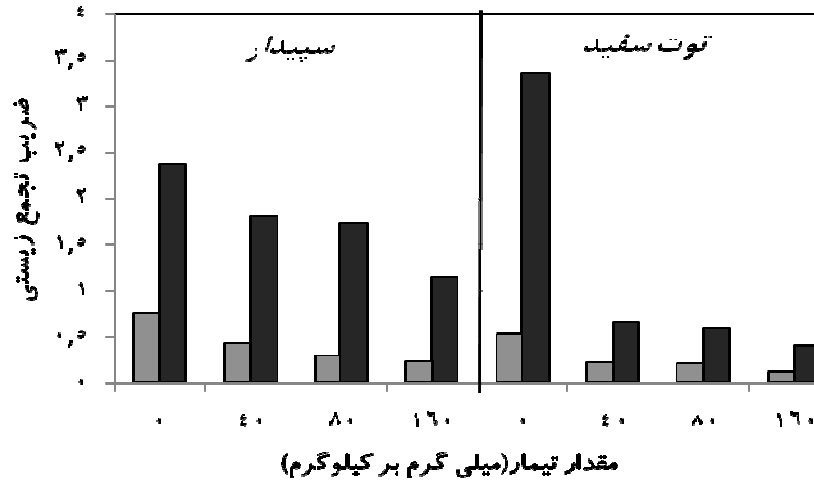


(ب)

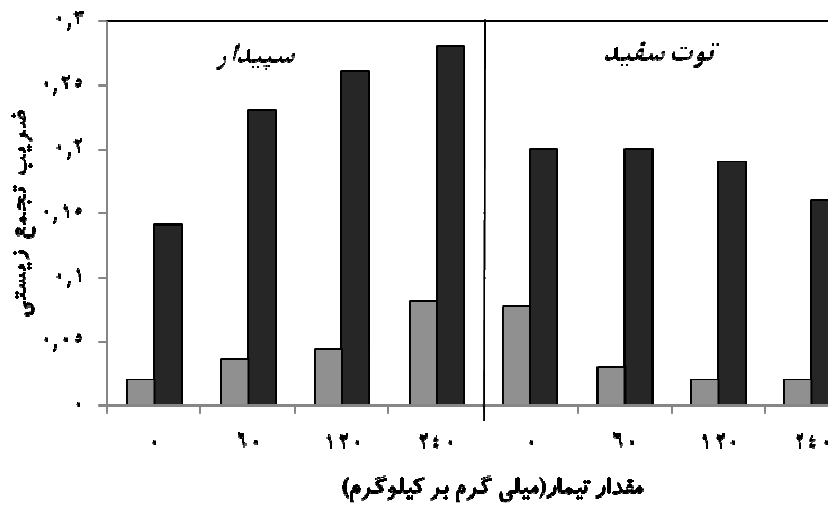


(ج)

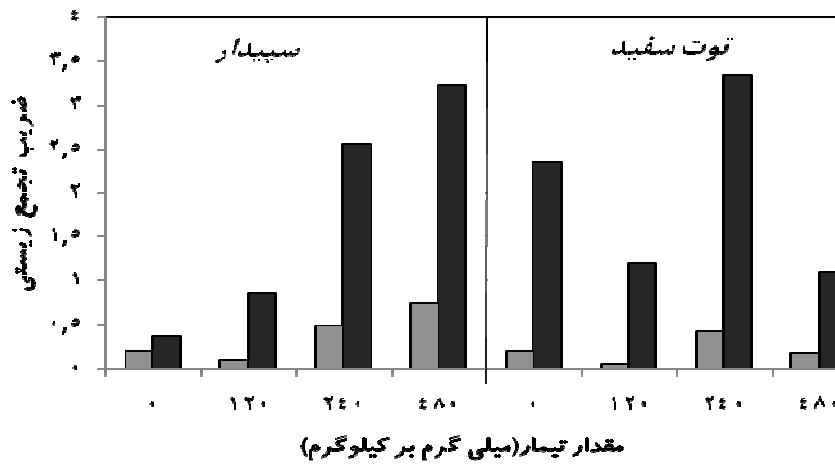
شکل ۱_ مقادیر فاکتور انتقال در گونه‌های توت و سپیدار برای فلزات سنگین کادمیوم (الف)، کروم (ب) و نیکل (ج). داده‌های نشان داده شده میانگین سه تکرار در هر تیمار است



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲- مقادیر ضریب تجمع زیستی ریشه (ستون خاکستری) و اندام هوایی (ستون سیاه رنگ) در گونه‌های توت و سپیدار برای فلزات سنگین کادمیوم (الف)، کروم (ب) و نیکل (ج). داده‌های نشان داده شده میانگین سه تکرار در هر تیمار است.

جدول ۲_ مقدار کل فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در اندام های مختلف سپیدار و توت سفید

عنصر	تیمار (میلی گرم بر کیلوگرم)	سپیدار			توت سفید		
		ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ
کادمیوم	۰ (شاهد)	3/68±0/11 a	3/96±0/13 a	4/56±0/19 a	1/18±0/25 a	10/44±0/81 b	
	۴۰	4/40±0/53 a	2/96±0/26 a	8/87±2/40 a	1/58±0/20 a	3/22±0/17 b	
	۸۰	2/90±0/46 a	3/11±0/18 a	13/97±2/08 b	1/53±0/21 a	3/64±0/51 b	
کروم	۱۶۰	2/98±1/02 a	4/46±0/27 ab	10/07±1/52 b	2/01±0/57 ab	3/43±0/28 b	
	۰ (شاهد)	0/98±0/32 a	0/34±0/20 a	5/42±0/04 b	2/74±0/53 a	7/30±1/70 b	
	۶۰	1/79±0/46 a	0/36±0/33 b	14/33±2/55 c	0/90±0/32 a	6/25±1/40 b	
نیکل	۱۲۰	1/88±0/77 a	1/75±0/58 a	9/81±0/41 b	1/37±0/43 a	5/86±1/14 b	
	۲۴۰	4/56±1/40 a	0/37±0/12 b	15/39±2/55 c	2/79±0/88 ab	5/44±0/55 b	
	۰ (شاهد)	5/7±1/51 a	5/01±1/32 a	12/17±0/86 b	6/10±1/59 a	84/45±10/07 b	
نیکل	۱۲۰	10/34±2/99 a	10/16±0/85 a	61/96±10/74 b	21/06±3/04 b	110/18±14/16 c	
	۲۴۰	12/27±1/44 a	10/68±2/70 a	52/99±6/72 b	5/50±0/61 a	81/12±10/32 b	
	۴۸۰	16/47±3/20 a	16/00±1/97 a	56/33±3/85 b	7/02±2/04 a	50/46±2/84 b	

داده های نشان داده شده میانگین سه تکرار در هر تیمار همراه با مقادیر انحراف از معیار آنها است. در هر ردیف و برای هر گونه، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری ندارند.

های (Wang (2002) و Prince (2000) مغایرت دارد. این پژوهشگران در بررسی های خود نشان دادند که توت سفید بیشترین مقدار کادمیوم را در ریشه خود در مقایسه با برگ ها انباشته می کند. Ashfagh et al. (2009) نیز بیشترین مقدار تجمع فلز روی را در برگ های توت سفید اندازه گیری کرد.

بر اساس یافته های Cheraghi et al. (2010) و Zacchini et al. (2008)، گونه ای که دارای ضریب تجمع زیستی در ریشه بزرگتر از یک و فاکتور انتقال کوچکتر از یک باشد، برای تثبیت گیاهی و گونه ای که دارای ضریب تجمع زیستی در اندام های هوایی بزرگتر از یک باشد، برای برداشت گیاهی مناسب است. نتایج این قسمت بیان می کند که گونه های توت و سپیدار در تمامی سطوح مورد بررسی (شامل شاهد و تیمارهای اضافه شده عناصر به خاک)، دارای فاکتور انتقال بیشتر از یک و ضریب تجمع زیستی ریشه کمتر از یک بوده، بنابراین این گونه ها

اما نتایج آزمایش های Pulford et al. (2001) در سال مشخص کرد که بیشترین مقدار کروم در ریشه دو زیر گونه سپیدار به نام های *P. euroamericana* و *P. trichocarpa* در مقایسه با دیگر اندامها وجود دارد. Robinson et al. (2000) و McGee et al. (2006) نیز نشان دادند که برگ های *P. alba* به طور معمول مقادیر بیشتری کادمیوم و روی را نسبت به ریشه و ساقه در خود جمع می کند.

در گونه توت سفید نیز بیشترین مقدار تجمع فلزات سنگین کادمیوم (۱۰/۴۴ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد)، کروم (۷/۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد) و نیکل (۱۱۰/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار ۱۲۰) باز هم در برگ ها وجود داشت که طبق نظر Kabata-pendias and Pendias (1984) در محدوده سمی کادمیوم و کروم در برگ های گیاهان و بالاتر از این محدوده برای نیکل قرار دارد. نتایج بررسی اخیر با یافته-

برای تثبیت عناصر کادمیوم، کروم و نیکل مناسب نیستند. اما گونه سپیدار با داشتن ضریب تجمع زیستی اندام‌های هوایی بیشتر از یک در تمامی سطوح مورد مطالعه کادمیوم (مقادیر ۲/۳۷، ۱/۸۰، ۱/۷۴ و ۱/۱۵ به ترتیب برای تیمارهای ۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سطوح ۲۴۰ و ۴۸۰ نیکل (مقادیر ۲/۵۶ و ۳/۲۲ به ترتیب برای تیمارهای ۲۴۰ و ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای برداشت این دو عنصر از خاک در تیمارهای مذکور مناسب است (شکل ۲ الف و ۲ ج). در گونه توت سفید، مقدار ضریب تجمع زیستی در اندام‌های هوایی برای کلیه تیمارهای مورد بررسی نیکل (مقادیر ۲۰/۳۴، ۱/۲، ۳/۳۴ و ۱/۱۰ به ترتیب برای دوزهای ۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تنها تیمار شاهد کادمیوم (مقدار ۳/۳۶) بیشتر از یک بوده که این موضوع نیز مشخص کننده توان برداشت نیکل و کادمیوم از خاک توسط گونه توت در تیمارهای عنوان شده از این عناصر است (شکل ۲ الف و ۲ ج). همچنین هیچ یک از این دو گونه برای برداشت کروم از خاک، با داشتن ضریب تجمع زیستی این عنصر به مقدار کمتر از یک در اندام‌های هوایی، مناسب نبود (شکل ۲ ب).

نتایج حاصل از ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال بیان کننده این موضوع است که سپیدار در تمامی تیمارهای مورد بررسی کادمیوم و ۲۴۰ و ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل و توت در تمامی تیمارهای نیکل و تیمار شاهد کادمیوم، گونه‌های برداشت کننده هستند. بررسی‌های انجام شده توسط Dominguez و Zacchini et al. (2008) و et al. (2007) نشان داد که، فاکتور انتقال، ضریب تجمع زیستی در اندام‌های هوایی و ضریب تجمع زیستی در برگ‌ها برای گونه *P. alba* به ترتیب ۱۰، ۵، ۲ و ۲ است. همچنین Migeon et al. (2009)، سه هیبرید از سپیدار به نام‌های *P. tremula* × *P. P. deltoides* × *P. nigra* و *P. tremuloides* × *P. trichocarpa* × *P. deltoids* با ضریب تجمع زیستی به ترتیب ۱/۳۹، ۲/۲۶ و ۱/۹۸ در برگ‌ها را به عنوان انباشت‌کنندگان کادمیوم در نظر گرفتند. نکته دیگر قابل توجه این است که مقادیر ضریب تجمع زیستی

کادمیوم در اندام‌های هوایی سپیدار، از تیمار شاهد به سمت ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (شکل ۲ الف) در حال کاهش بوده و احتمال دارد که در غلظت‌های بالاتر از ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، گیاه سپیدار انباشت کننده این عنصر نباشد. بنابراین قضاوت درباره اینکه آیا این گونه در غلظت‌های بالاتر از ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل برداشت کننده است و یافتن آستانه انباشت گیاهی برای نیکل بین تیمارهای ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیاز به بررسی بیشتری دارد. همچنین با توجه به شکل ۲ الف ضریب تجمع زیستی عنصر کادمیوم در اندام‌های هوایی توت از تیمار شاهد به سمت ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم شدت افت کرده (به زیر عدد یک رسیده) و با اضافه کردن سایر تیمارهای کادمیوم نیز همچنان در حال کاهش است. این نتایج احتمال دافع بودن^۱ گیاه توت را برای تیمارهای اضافه شده کادمیوم به خاک بیان می‌کند که البته تصمیم‌گیری درباره این موضوع و اینکه آیا گونه توت در غلظت‌های بالاتر از ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل همچنان برداشت کننده است، نیاز به آزمایش‌های بیشتری دارد. در پایان با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت که، تجمع کادمیوم، کروم و نیکل در محدوده سمی فلزات مورد نظر در برگ‌های این دو گونه بدون نشان دادن علائم مسمومیت، به همراه توانایی تولید زیتوده بالا، رشد سریع، جوانه زنی آسان و سیستم ریشه‌ای توسعه یافته آنها، دلایلی هستند که علاوه بر داشتن ضریب تجمع زیستی بیشتر از یک در تمامی تیمارهای مورد بررسی کادمیوم و نیکل، گونه‌های سپیدار و توت را به ترتیب برای برداشت کادمیوم و نیکل از خاک مناسب می‌سازد. اما از آنجایی که با خزان برگ‌ها و پوسیدن آنها، فلزات سنگین مورد نظر وارد خاک می‌شوند، این تجمع در برگ‌ها می‌تواند به ورود دوباره فلزات به خاک و دسترسی گیاهان به آنها منجر گردد که البته این موضوع به نوع پیوند تشکیل دهنده فلزات با خاک به هنگام

^۱ Excluder

پوسیدن برگها (سست، سولفیدی یا آلی فلزی) بستگی خواهد داشت (Robinson *et al.*, 2007).

References

- Abdullahi, M.S., Uzairu, A., Okunola, O.J., 2009. Quantitative determination of heavy metal concentration in onion leaves. *Int. J. Environ. Res.* 3(2), 271-274.
- Ashfagh, M., Afzal, W., Hanif, M. A., 2009. Effect of Zn (II) deposition in soil on mulberry- silk worm food chain. *African Journal of Biotechnology* 9(11), 1665-1672.
- Awofolu, O. R., 2005. A survey of trace metals in vegetation, soil and lower animal along some selected roads in Metropolitan city lagos. *Environ Monitor Assess* 105, 431-447.
- Borghi, M., Tognetti, R., Monteforti, G., Sebastiani, L., 2007. Response of two poplar species (*Populus alba* and *Populus x canadensis*) to high copper concentration. *J. Environmental and Experimental Botany* 62, 290-299.
- Brainina, Kh. Z., Stozhko, N. Yu., Belysheva, G. M., Inzhevato, O. V., Kolyadina, L. I., Cremisini, C., 2004. Determination of heavy metals in wines by anodic stripping voltammetry with thick-film modified electrode. *Analytica. Chemical. Acta* 514, 227-234.
- Castiglione, S., Franchin, C., Fossati, T., Lingua, G., Torrigiani, P., Biondi, S., 2006. High zinc concentrations reduce rooting capacity and alter metallothionein gene expression in white poplar (*Populus alba* L. cv. Villafranca). *Chemosphere* 67, 1117-1126.
- Dominguez, M. T., Maranon, T., Murilli, J. M., Schulin, R., 2007. Trace elements accumulation in woody plants of the Guadiamar valley, SW Spain: a large – scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution* 152, 50-59.
- Dominguez, M. T., Madejon, P., Maranon, T., Murillo, J. M., 2008. Afforestation of a trace element pollution area in SW Spain: woody plants performance and trace element accumulation. *Eur. J. Forest. Res.* 129, 47 – 59.
- Fischerova, Z., Tlustos, P., Szakova, J., Sichorova, K., 2005. A comparison of phytoremediation capacity of selected plant species for given trace elements. *Environmental Pollution* 144, 93-100.
- Kabata-pendias, A., Pendias, H., 1984. Trace elements in soils and plants. CRC, Florida, 448 pp.
- Madejon, P., Maranon, T., Murillo, J. M., Robinson, B., 2004. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests. *Environmental Pollution* 132, 145- 155.
- Marques, A., Moreira, H., Rangel, A., Castro, P., 2008. Arsenic, lead and nickel accumulation in *Rubus ulmifolis* growing in contaminated soil in Portugal. *J. hazard mater* 165, 174-179.
- Martens, J., Nevel, L. V., Schrijver, A. D., Piesschaert, F., Oosterbaan, A., Tack, F. M., 2007. Tree species effect on the redistribution of soil metals. *Environmental Pollution* 149, 173-181.
- McGee, C. J., Fernandez, I. J., Norton, S. A., Stubbs, C., 2006. Cd, Ni, Pb, and Zn concentration in forest vegetation and soils in Maine. *Water Air Soil Pollut* 180, 141-153.
- Migeon, A., Richard, P., Guinet, F., Chalot, M., Blaudez, D., 2009. Metal accumulation by woody species on contaminated sites in the north of France. *Water Air Soil Pollut* 204, 89-101.
- Prince, W., Sentilkumar, P., Subburam, V., 2000. Mulberry- silk worm food chain- A template to assess heavy metal mobility in terrestrial ecosystems. *Environ Monitor Assess* 69, 231-238.
- Pulford, I. D., Watson, C., McGregor, S. D., 2001. Uptake of chromium by trees: prospects for phytoremediation. *Environmental Geochemistry and Health* 23, 307-311.
- Robinson, B., Mills, T., Fung, L., Green, S. R., Clothier, B.E., 2000. Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation. *Plant and soil* 227, 301-306.
- Robinson, B. H., Green, R., Chancerel, B., Mills, T. M., Clothier, B. E., 2007. Poplar for phytomanagement of boron contaminated sites. *Environmental Pollution* 150, 225- 233.
- Sebastiani, L., Scebba, F., Tognetti, R., 2004. Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides* × *maximowiczii*) and I-214 (*P. × euramericana*) exposed to industrial waste. *Environmental and Experimental Botany* 52, 79- 88.
- Torresday, J. L., Videau, J. R. P., Rosa, G. D., Parsons, J., 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X- ray absorption spectroscopy. *Coordination chemistry Reviews* 249, 1797- 1810.

-
- Wang, K. R., 2002. Tolerance of cultivated plants to cadmium and their utilization in polluted farmland soils. *Acta. biotechnol* 22, 189-198.
 - Wang, K. R., Gong, H., Wang, Y., Vanderzee, S.E., 2003. Toxic effect of cadmium on *Morus alba* L. and *Bombyx mori* L. *Plant and Soil* 261, 171- 180.
 - Wang, Y., Yan, A., Dai, J., wang, N., Wu, D., 2011. Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in *Chlorophytum comosum*: a popular ornamental plant and potential Cd hyperaccumulator. *Environ Monit Assess*, in press.
 - Wei, S., Zhou, Q., Xiao, H., Yang, C., hu, Y., ren, L., 2009. Hyperaccumulative property comparison of 24 weed species to heavy metal using a pot culture experiment. *Environ Monit Assess* 152, 299-307.
 - Zacchini, M., Pietrini, F., Mugnozza, G., Iori, V., 2008. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. *Water Air Soil Pollut* 197, 23-34.

Phytoextraction and Phytostabilization Potential of Cadmium, Chromium and Nickel By *Populus alba* and *Morus alba* Species

M. Rafati*¹, N. Khorasani², F. Moraghebi³ and A. Shirvany⁴

¹Department of Environmental Sciences, Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

²Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran

³Department of Biology, Islamic Azad University, Shahrerey Branch, Tehran, I.R. Iran

⁴Department of Forestry and Forest Economic, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran

(Received: 12/12/2011 , Accepted: 29/01/2012)

Abstract

As a result of human activities, Metal pollution has become one of the most serious environmental problems today. Phytoremediation utilizes plants to uptake contaminants and can potentially be used to remediate metal-contaminated sites. A pot experiment was conducted to compare the phytoextraction and phytostabilization potential of two plant species (*Populus alba* and *Morus alba*) for some elements. Thus, Cd (40, 80, and 160 mg/kg), Cr (60, 120, and 240 mg/kg) and Ni (120, 240, and 480 mg/kg) were added to the soil, shoots and roots of studied species. Associated soil samples were collected and analyzed by measurement of total concentration of Cd, Cr and Ni and then bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) calculated for each element. Our results show that none of the plants were suitable for phytostabilization of studied elements with root $BCF < 1$ and $TF > 1$. In addition, *Populus alba* with the shoot $BCF > 1$ for Cd in all studied treatments and Ni in 240 and 480 mg/kg treatments were suitable for phytoextraction while *Morus alba* was suitable for phytoextraction of Ni with the shoot $BCF > 1$ in all studied treatments.

Keywords: Bioconcentration, Phytoextraction, Phytoremediation, Phytostabilization, Translocation