

Zinc absorption in two-year old Poplar seedlings (*Populus deltoids*) in the environment

Seyed armin hashemi^{*1}, mahnaz zargham inanlou², Amir Hossein Firouzan³

1-Department of Forestry, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

2-Ph.D student, Department of Forestry, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

3-Department of Forestry, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

ABSTRACT

Background and Aims: Phytoremediation is the use of green plants to reduce contaminant levels such as heavy metals in the environment. Some plants can uptake and store (accumulate) environmental contaminants within their tissue and organs. Due to their sustainability in the environment, heavy metals are of particular significance. This study was, therefore, conducted to evaluate the phytoremediation potential of zinc by *Populus deltoids*.

Materials and Methods: Biennial seedlings of *populous deltoids* were provided from plantations with arrangements made well in advance with the directors of the Department of Natural Resources. Zinc chloride solutions (0, 10, 20 and 40 mg /L) were prepared, added into the soil and the seedlings were thereafter placed in pots. The seedlings were grown for three months exposing to various zinc concentrations. Seedlings aerial organs (stems and leaves) and roots as well as the soil were sampled and analyzed using atomic absorption spectrometry. Analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's multiple comparisons ($P < 0.05$) was performed to test the significance of treatment effects.

Results: The highest level of Zn in aerial organs, root and the soil structure of *Populous deltoids* was 142.86, 85.94, 12.002 mg/kg, respectively. Similarly, the corresponding lowest level of Zn was 44.61, 21.20, and 0.124 mg/kg. The high-zinc (40 mg/L) treated plants showed the lowest levels of 4.14 and 1.03 g/L in aerial organs and root dry weights, respectively. The maximum values of 20.61 and 3.066 were also respectively determined at control experiments.

Conclusions: The results suggest that *Populous deltoids* is an appropriate alternative for phytoremediation of zinc-polluted soils.

*Corresponding Author: Department of Forestry, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Email: ahashemi_2004@yahoo.com

Received: 10 Jan 2016

Accepted: 17 sep 2016

بررسی مقدار جذب فلز روی در نهال‌های دو ساله گونه صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoids*) در محیط زیست

سید آرمین هاشمی^{۱*}، مهناز ضرغام اینانلو^۲، امیرحسین فیروزان^۳

۱. دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاداسلامی لاهیجان، لاهیجان، ایران
۲. دانشجوی دکتری علوم جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاداسلامی لاهیجان، لاهیجان، ایران
۳. استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاداسلامی لاهیجان، لاهیجان، ایران

چکیده

زمینه و هدف: گیاه‌پالایی فناوری استفاده از گیاهان در رفع آلودگی‌ها از جمله فلزات سنگین از محیط و تجمع آن در بافت‌ها و اندامهای گیاه است. آلودگی ناشی از فلزات سنگین به علت پایداری در محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از اجرای این پژوهش بررسی توان زیست‌پالایی روی توسط گونه صنوبر دلتوئیدس است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با اجازه اداره منابع طبیعی، نهال‌های دو ساله گونه درختی صنوبر دلتوئیدس از نهالستان تهیه گردید و محلول کلرید روی با غلظت‌های ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد. سپس محلول به خاک اضافه گردید و نهال‌ها در گلدان گذاشته شد. پس از طی سه ماه از رشد نهال‌ها، نمونه‌های اندام‌های هوایی (برگ و ساقه)، ریشه و خاک نهال‌ها به روش هضم خشک و توسط دستگاه جذب اتمی آنالیز گردید. نتایج با استفاده از آزمون آنالیز واریانس و دانکن مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: بیشترین میزان غلظت فلز روی در اندام هوایی، ریشه و خاک گونه صنوبر دلتوئیدس به ترتیب ۱۴۲/۸۶، ۸۵/۹۴ و ۱۲/۰۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان غلظت فلز روی در اندام هوایی، ریشه و خاک گونه صنوبر دلتوئیدس به ترتیب ۴۴/۶۱، ۲۱/۲۰ و ۰/۱۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. در وزن خشک اندام هوایی و ریشه کمترین مقدار به ترتیب ۴/۱۴ و ۱/۰۳ گرم در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین مقدار به ترتیب ۲۰/۶۱ و ۳/۰۶۶ گرم در غلظت شاهد یا صفر میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری: گونه صنوبر دلتوئیدس مناسب جهت پالایش خاک‌های آلوده به فلز روی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گیاه‌پالایی، صنوبر دلتوئیدس، روی، فلزات سنگین

*نویسنده مسئول: ایران، لاهیجان، دانشگاه آزاداسلامی لاهیجان، دانشکده منابع طبیعی.

مقدمه

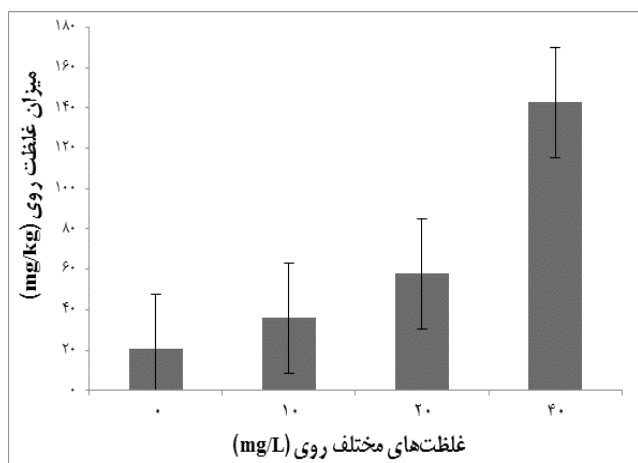
آلودگی فلزات سنگین در جوامع صنعتی یکی از جدیدترین مشکلات محیط زیست در حال حاضر هستند [۱،۲،۳]. بسیاری از فلزات سنگین حتی در غلظت‌های بسیار پایین سمی هستند. روی یکی از موادی است که برای رشد انسان ضروری است و جذب مقدار زیادی از این عنصر موقعی پیش می‌آید که مواد غذایی اسیدی در ظروف گالوانیزه پخت یا نگهداری شوند. حداکثر قدرت تحمل انسان برای این عنصر طبق نظریه FAO حدود ۲۰۰ میلی‌گرم در روز است [۴]. روی در واکنش‌های مربوط به سوخت و ساز موادی از قبیل کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها نقش دارد. این ماده در درون بدن مانند یکی از اجزاء ثابت حداقل ۲۰۰ آنزیمی است که در عمل گوارش و سوخت و ساز شرکت دارند. روی در بدن انسان در غلظت بالا در پروستات و استخوان و کبد پیدا شده است و برخی از عوارض آن شامل تب، تهوع و استفراغ است [۵]. منابع اصلی ورود فلزات سنگین به بیوسفر شامل سوخت‌های فسیلی، معادن ذوب فلزات، فاضلابها و ترکیبات شیمیایی است [۶]. با توجه به ماهیت غیرقابل تجزیه بودن آنها، فلزات سنگین در لایه فوقانی خاک تجمع می‌یابد و برای مدت طولانی باقی می‌ماند، که بدان معنی است که آنها می‌توانند خطری برای تولید مواد غذایی از طریق تجزیه خاک و یک خطر برای سلامتی انسان و حیوان باشند [۷-۹]. مشخص شده است که فلزات اساسی مانند آهن، منگنز، روی، مس، مولیبدن و نیکل توسط گیاهان تجمع و مصرف می‌شوند [۱۰]. با این حال، تجمع بیش از حد این فلزات سنگین برای بسیاری از گیاهان سمی است [۱۱،۱۲]. روش‌های گوناگون اصلاح فیزیکی و شیمیایی ممکن است در ترمیم خاک‌های آلوده مفید باشد، اما معمولاً بسیار گران قیمت هستند [۱۳-۱۵]. گیاه پالایی را استفاده از گیاهان و میکروبی‌های مربوط به آنها برای استخراج، جدا کردن و یا رفع انواع آلاینده‌های زیست محیطی از آب، رسوبات، خاک و هوا تعریف می‌کنند. گیاه پالایی فلزات سنگین، تکنولوژی نوظهوری است و چندین زیرمجموعه از این فناوری در حال توسعه است [۱۶،۱۷]. در سالهای اخیر، گیاه پالایی (Phytoremediation)، توسط محققان زیادی به عنوان یک تکنیک سبز و کم هزینه که نیازی به نیروی متخصص و فناوری خاص ندارد، جهت پاک سازی مکان‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله روی پیشنهاد شده است. در این تکنیک از توانایی گیاهان برای تجمع فلزات سنگین در غلظت‌های بالا در بخش هوایی گیاه استفاده می‌شود [۱۸]. یک گیاه مناسب برای گیاه‌پالایی باید دارای زیست توده بالا، توان جذب زیاد، تکثیر آسان و رشد سریع بوده و همچنین نسبت به شرایط نامساعد محیطی مقاوم باشد [۱۹]. در تحقیق حاضر در حقیقت به دنبال آن هستیم که میزان مقاومت، جذب و انباشتگی نهال‌های صنوبر دلتوئیدس را در

برابر عنصر روی و تأثیر آن بر اندام هوایی و ریشه بررسی کنیم. گونه صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoids*)، به دلیل زیست توده بالا، به عنوان گیاه مناسب برای این تکنیک نام برده شده است. داوری نیز در تحقیق خود تحت عنوان بررسی تجمع فلزات سنگین در بستر، برگ و ریشه درختان حرا در استان بوشهر به این نتیجه رسیدند که همواره میزان نیکل، وانادیوم و روی در رسوب بیش از ریشه و برگ است [۲۰]. شمالی و همکارانش در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که گیاهان سلمه تره، سلمک و تاج خروس، توان بالایی در انباشت روی در زیست توده خود داشتند و کشت آنها در شرایط طبیعی به علت تولید زیست توده بالا و جذب متوسط می‌تواند در زدودن روی از خاک موثر باشد [۲۱]. برونر و همکارانش در پژوهشی در منطقه اروپای مرکزی دریافتند که درختان بید و صنوبر و توس قادر به تجمع مقادیر بالایی از روی در محیط زیست هستند [۲۲]. کاسیا در تحقیق خود نشان داده که وزن خشک برگ‌ها در گیاه *Arabidopsis halleri* (بیش انباشته‌گر کادمیوم) که با غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم تیمار شده بود، به میزان ۲۶ درصد (در مقایسه با شاهد) کاهش یافت [۲۳]. سارما، در بررسی خود تحت عنوان اثر کادمیوم بر برخی پارامترهای فیزیولوژی در اکالیپتوس و همچنین مقایسه تجمع و انتقال کادمیوم نشان داد که جذب این فلز در ریشه بیشتر از مقدار آنها در ساقه و برگ است [۱۳]. مهدوی در مطالعه خود در ارزیابی توان نهال‌های یک ساله نخل زینتی در تجمع فلز آلاینده روی نتیجه گرفت که گونه گیاهی نخل زینتی برای پاک سازی خاک آلوده به فلز روی مناسب است [۲۴]. هدف از این مطالعه، بررسی مقدار جذب فلز روی توسط گونه درختی صنوبر دلتوئیدس در محیط زیست می‌باشد.

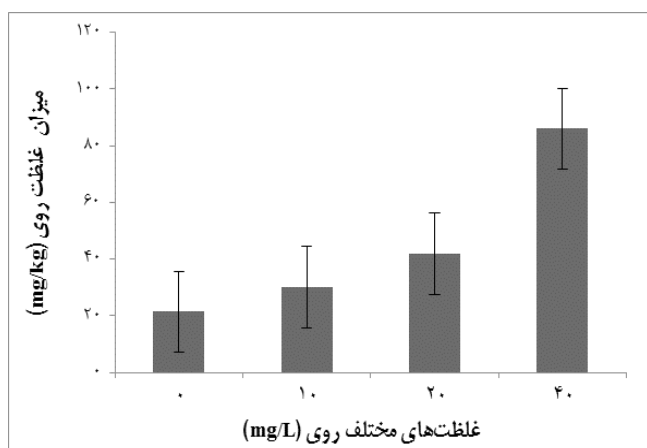
مواد و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق، از میان گونه‌های جنگلی، گونه صنوبر دلتوئیدس انتخاب شد و سپس با اجازه اداره منابع طبیعی، نهال‌های دوساله آن از نهالستان منابع طبیعی تهیه و به گلخانه منتقل و به مدت بیست روز برای سازگاری با شرایط جدید، در آنجا نگهداری شدند. خاک غیرآلوده (خاک طبیعی مورد استفاده در این آزمایش)، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری یکی از نهالستان‌ها تهیه شد. سپس آنها را خشک کرده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکها، طبق روشهای متداول در موسسه تحقیقات خاک و آب کشور اندازه‌گیری شد [۲۵]. مقدار روی در خاکهای تهیه شده از نهالستان در حالت استاندارد ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که با روش اکسایش تر تعیین گردید [۲۶]. برای تهیه خاک آلوده به فلز کلرید روی، پس از تهیه خاک، باید نمک مناسب عنصر روی

مقایسه میانگین فلز روی در بین غلظت‌های مورد بررسی، با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که بین غلظت‌های ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر در سطح احتمال ۹۵ درصد، تفاوت معنی دار وجود دارد. به طوری که در اندام هوایی بیشترین مقدار انباشت فلز روی ۱۴۲/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار انباشت روی ۲۰/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در غلظت شاهد یا صفر میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (شکل شماره ۱) و در ریشه بیشترین مقدار انباشت فلز روی ۸۵/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار انباشت روی ۲۱/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در غلظت شاهد یا صفر میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (شکل ۲) و در خاک نهال‌ها بیشترین مقدار انباشت فلز روی ۱۲/۰۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار انباشت روی ۰/۱۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در غلظت شاهد یا صفر میلی‌گرم در لیتر است (شکل شماره ۳).



شکل ۱- میانگین مقدار انباشت فلز روی در اندام هوایی نهال‌های صنوبر دلتوئیدس



شکل ۲- میانگین مقدار انباشت فلز روی در ریشه نهال‌های صنوبر دلتوئیدس

تهیه می‌شد. بنابراین برای تهیه عنصر روی، از نمک‌های کلرید روی ساخت کارخانه مرک آلمان استفاده شد، کلرید روی، درجه حلالیت مناسبی در آب دارد. سپس در آزمایشگاه محلول کلرید روی با غلظت ۱۰، ۲۰، ۴۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد. در این مطالعه از محلول پاشی بر روی خاک گلدانهای نهال صنوبر با غلظت‌های صفر، ده، بیست و چهل میلی‌گرم عنصر روی در لیتر استفاده شد و مقدار محلول مورد نیاز به تدریج روی خاک اسپری شد و با خاک به صورت کاملاً یکنواخت آلوده گردید و سپس گلدان‌ها با خاک پر شدند. نهال‌های هم سن و هم اندازه به تعداد لازم انتخاب شد و در داخل گلدان کاشته شد، گلدان‌ها در گلخانه نگهداری شده و رطوبت خاک به روش وزنی در حد ظرفیت نگهداری شد. در صورت نیاز آبیاری با آب مقطر انجام شد و پس از طی یک دوره زمانی سه ماهه از رشد نهال‌ها، اندام هوایی و ریشه برداشت و با آب شسته شدند. سپس در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. مقدار روی در نمونه‌های گیاهی پس از هضم نمونه‌ها به روش هضم خشک با دستگاه جذب اتمی مدل Varian-Spectra AA220FS اندازه گیری شد [۲۸،۲۷]. داده‌های بدست آمده از آزمایشات گیاه در نرم افزار SPSS سازماندهی شدند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای آنالیز داده‌ها جهت تعیین میزان تجمع فلز در اندام هوایی، ریشه و خاک گیاه از آزمون آنالیز واریانس و به منظور مقایسه اثر غلظت روی بر اندام هوایی، ریشه و خاک از آزمون Duncan استفاده شد.

یافته‌ها

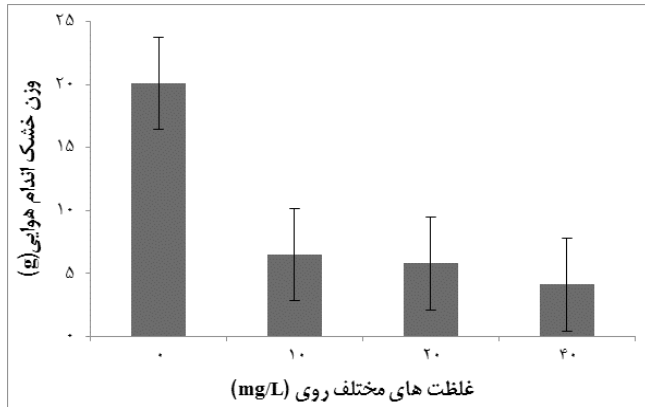
تأثیر غلظت‌های مختلف فلز روی در اندام هوایی، ریشه و خاک نهال‌های صنوبر دلتوئیدس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اثر فلز روی بر اندام هوایی، ریشه و خاک نهال‌ها نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، صحت با ۵ درصد خطا، مقدار فلز روی در اندام هوایی، ریشه و خاک نهال‌ها، بین غلظت‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول شماره ۱).

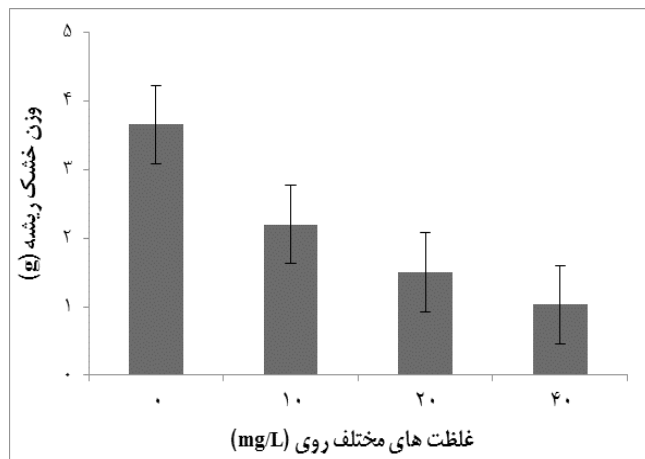
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر اندام هوایی، ریشه و خاک نهال‌های صنوبر دلتوئیدس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		اندام هوایی	ریشه خاک
تیمار	۳	۱۷۳۹/۸۸*	۴۳۳/۷*
خطا	۱۶	۱۴/۳۶	۰/۰۰۷

* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد



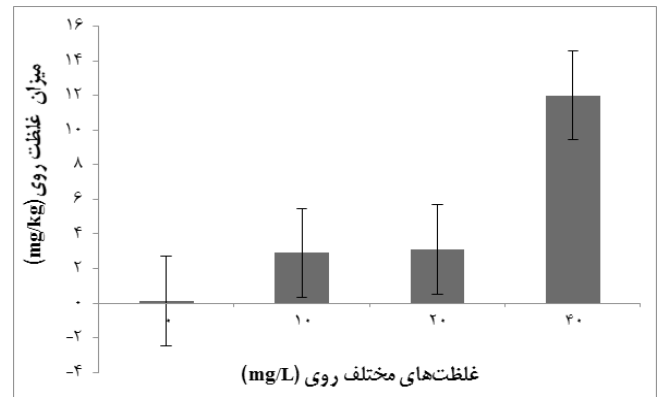
شکل ۴- میانگین مقدار انباشت فلز روی در وزن خشک اندام هوایی نهال های صنوبر دلتوئیدس



شکل ۵- میانگین مقدار انباشت فلز روی در وزن خشک ریشه نهال های صنوبر دلتوئیدس

بحث

اگر یک گیاه مشخص را برای گیاه پالایی فلزات سنگین در نظر گرفته شود، لازم است توان آن گیاه در خاک بخصوصی که قرار است گیاه پالایی در آن صورت گیرد، مورد آزمایش قرار گیرد [۲۴]. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این است که اندام هوایی، ریشه و خاک نهال های صنوبر دلتوئیدس نسبت به انباشت فلز روی در طی غلظت های مختلف تفاوت معنی داری نشان داده است (جدول ۱) و با افزایش غلظت در خاک، مقدار انباشت فلز روی در اندام هوایی و ریشه نهال های صنوبر دلتوئیدس افزایش حاصل نموده است (شکل های شماره ۱ و ۲). لذا می توان بیان داشت که هرچه آلودگی خاکی نسبت به عناصر سنگین بیشتر باشد، احتمال انباشتگی بیشتری از عناصر یاد شده در گیاه وجود دارد. داوری، نیز در تحقیق خود تحت عنوان بررسی تجمع فلزات سنگین در بستر، برگ و ریشه درختان حرا در استان بوشهر به این نتیجه رسیدند که همواره



شکل ۳- میانگین مقدار انباشت فلز روی در خاک نهال های صنوبر دلتوئیدس

تأثیر غلظت های مختلف فلز روی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه نهال های صنوبر دلتوئیدس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های حاصل از اثر فلز روی بر روی وزن خشک اندام هوایی و ریشه نهال ها نشان می دهد که به احتمال ۹۵ درصد صحت بین میانگین وزن خشک نهال ها از نظر مقدار غلظت فلز روی تفاوت معنی داری وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه نهال های صنوبر دلتوئیدس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		ریشه	اندام هوایی
تیمار	۳	۵/۷*	۲۵/۸۸*
خطا	۱۶	۰/۰۹	۰/۳۶

* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

مقایسه میانگین فلز روی در بین غلظت های مورد بررسی، با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که بین غلظت های ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر در سطح احتمال ۹۵ درصد تفاوت معنی داری وجود دارد؛ به طوری که در وزن خشک اندام هوایی کمترین مقدار ۴/۱۴ گرم در غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر و بیشترین مقدار ۲۰/۶۱ گرم در غلظت شاهد یا صفر میلی گرم در لیتر می باشد (شکل شماره ۴) و در ریشه کمترین مقدار وزن خشک ۱/۰۳ گرم در غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر و بیشترین مقدار وزن خشک ۳/۰۶۶ گرم در غلظت شاهد یا صفر میلی گرم در لیتر است (شکل شماره ۵).

کادمیوم) که با غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم تیمار شده بود، به میزان ۲۶ درصد (در مقایسه با شاهد) کاهش یافت [۲۳].

نتیجه‌گیری

در مباحث گیاه پالایی فلزات سنگین، باید به فاکتورهای بردباری گیاه در برابر فلزات، سیستم ریشه‌ای گیاهان، توانایی انتقال از اندام زیرزمینی به اندام هوایی (فاکتور انتقال)، سرعت رشد و زی‌توده بالا توجه نمود. در این تحقیق با توجه به نکات ذکر شده گونه صنوبر دلتوئیدس، گونه‌ای مناسب جهت پالایش خاکهای آلوده به فلز روی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این پروژه از طریق پژوهانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان به شماره قرار داد ۱۷/۲۰/۵/۳۵۰۸ تامین اعتبار شده است، بدین وسیله صمیمانه از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان قدردانی می‌شود.

میزان نیکل، وانادیوم و روی در رسوب بیش از ریشه و برگ است [۲۰]. برونر و همکارانش نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که درختان بید، توس و صنوبر، قادر به تجمع بالایی از فلز روی در برگ و ریشه خود نسبت به ساقه هستند [۲۲]. شریعت در بررسی خود تحت عنوان اثر کادمیوم بر برخی پارامترهای فیزیولوژی در اکالیپتوس و همچنین مقایسه تجمع و انتقال کادمیوم در این مطالعه نشان داد که جذب این فلز در ریشه بیشتر از مقدار آنها در ساقه و برگ است [۲۹]. نتایج مربوط به وزن خشک اندام هوایی و ریشه نهال‌های صنوبر دلتوئیدس نشان داد که با انباشت فلز روی در نهال‌ها، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه کاهش می‌یابد و مقدار انباشت فلز روی در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است (شکل‌های شماره ۴ و ۵). نتایج تحلیل واریانس مطالعه مهدوی نیز نشان داده است که صفاتی مانند وزن تر، وزن خشک و ارتفاع گیاه به طور معنی‌داری تحت تاثیر فلز روی قرار گرفته و در نهال‌های نخل زیتنی چندین برابر جذب فلز روی در ریشه‌ها نسبت به اندام هوایی بیشتر است [۲۴]. کاسیا و همکارانش، در تحقیق خود نشان دادند که وزن خشک برگ‌ها در گیاه *Arabidopsis halleri* (بیش انباشته‌گر

References

- Bhargava A, Carmona FF, Bhargava M, Srivastava S. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management* 2012; 105:103-20.
- Khan S, Cao Q, Zheng Y, Huang Y, Zhu Y. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution* 2008; 152(3):686-92.
- Peuke AD, Rennenberg H. Phytoremediation. *EMBO reports* 2005; 6(6):497-501.
- WHO. Guidelines for Drinking Water Quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization 2004; P: 35-45.
- Karbasie M, Karbasie A, saremie A, Ghorbanzadeh H. The amount of heavy metals in drinking water sources Alashtar city. *Journal of Lorestan University of Medical Sciences* 2010; 12:65-70 (In Persian).
- Memon A, Schröder P. Metal accumulation in plants and its implication in phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research* 2009; 16(2):162-75.
- Kayser A, Wenger K, Keller A, Attinger W, Felix H, Gupta S, et al. Enhancement of phytoextraction of Zn, Cd, and Cu from calcareous soil: the use of NTA and sulfur amendments. *Environmental Science & Technology* 2000; 34(9):1778-83.
- Liu Z. Lead poisoning combined with cadmium in sheep and horses in the vicinity of non-ferrous metal smelters. *Science of the Total Environment* 2003; 309(1):117-26.
- Zhuang P, Zou B, Li N, Li Z. Heavy metal contamination in soils and food crops around Dabaoshan mine in

- Guangdong, China: implication for human health. *Environmental Geochemistry and Health* 2009; 31(6):707-15.
10. Williams LE, Pittman JK, Hall J. Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes* 2000; 1465(1):104-26.
 11. Baker AJ, Walker PL. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects* 1990; 2:155-65.
 12. Stearns JC, Shah S, Glick BR. Increasing plant tolerance to metals in the environment. *Phytoremediation: Methods and Reviews* 2007; 23:15-26.
 13. Sarma H. Metal hyperaccumulation in plants: A review focusing on phytoremediation technology. *Journal of Environmental Science and Technology* 2011; 4(2):118-38.
 14. Douay F, Roussel H, Pruvot C, Loriette A, Fourrier H. Assessment of a remediation technique using the replacement of contaminated soils in kitchen gardens nearby a former lead smelter in Northern France. *Science of the Total Environment* 2008; 401(1):29-38.
 15. Lelie DVD, Schwitzguébel J-P, Glass DJ, Vangronsveld J, Baker A. Peer reviewed: Assessing phytoremediation's progress in the United States and Europe. *Environmental Science & Technology* 2001; 35(21):446A-52A.
 16. Salt DE, Blaylock M, Kumar NP, Dushenkov V, Ensley BD, Chet I, et al. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Nature Biotechnology* 1995; 13(5):468-74.
 17. Pilon-Smits E. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology* 2005; 56:15-39.
 18. Badr N, Fawzy M, Al-Qahtani KM. Phytoremediation: An ecological solution to heavy-metal-polluted soil and evaluation of plant removal ability. *World Applied Sciences Journal* 2012; 16(9):1292-301.
 19. Blaylock MJ, Salt DE, Dushenkov S, Zakharova O, Gussman C, Kapulnik Y, et al. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environmental Science & Technology* 1997; 31(3):860-65.
 20. Davari A, Danehkar A, Khorasani N, Javanshir A. An investigation on accumulation of heavy metals in roots and leaves of *Avicennia Marina* the sediment, Bushehr, the Persian Gulf. *Journal of Natural Environment* 2010; 63(3):267-77 (In Persian).
 21. Rashied Shomalei A, Khodaverdilou H, Samadei A. Plant tolerance and metal uptake of some wild plants in a soil contaminated with zinc. *Journal of Water and Soil* 2012; 26(3):708-17 (In Persian).
 22. Brunner I, Luster J, Günthardt-Goerg MS, Frey B. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution* 2008; 152(3):559-68.
 23. Cosio C, Martinoia E, Keller C. Hyperaccumulation of cadmium and zinc in *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* at the leaf cellular level. *Plant Physiology* 2004; 134(2):716-25.
 24. Mahdavei A, Kharmandar Kh. Zinc accumulation potential in one year old seedlings of ornamental Palm.

- Journal of Environmental Sciences and Technology 2015; 17(1);155-65 (In Persian).
25. Ali Ehyaei M, Behbahanizadeh MD. Methods of soil chemical analysis. Journal of Agricultural Science and Technology 1993; 89(3):20-27 (In Persian).
26. Gupta PK. Soil, plant, water and fertilizer analysis. New Delhi: Agrobio 2007.
27. Wu F, Yang W, Zhang J, Zhou L. Cadmium accumulation and growth responses of a poplar (*Populus deltoids*×*Populus nigra*) in cadmium contaminated purple soil and alluvial soil. Journal of Hazardous Materials 2010; 177(1):268-73.
28. Westerman RL. Soil testing and plant analysis. Soil Science 1991; 152(2):137.
29. Shariat A, Assareh MH, Ghamari-Zare A. Effects of Cadmium on Some Physiological Characteristics of *Eucalyptus occidentalis*. Journal of Water and Soil Science 2010; 53(3):145-53 (In Persian).