Journal of Urban Management & Environmental Engineering

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.2, No.1; 2024.pp: 82-89

Research paper

(Received Feb. 25, 2024 Accepted Apr. 15, 2024)

# The ability of the *Erodium cicutarium* plant to absorb lead from lead-contaminated soils

Kobra Mahdavian*[1]

[1] *Department of Biology, Faculty of Science, Payame Noor University, Tehran, Iran*

## Abstract

Mining activities and metal extraction are major factors in soil pollution, and generally surface soils around mines contain high amounts of these metals. The purpose of this research is to investigate the ability of lead absorption by *Erodium cicutarium* plant from lead contaminated soils. After identifying the collected plant samples, the samples were prepared for relevant analysis. Then, the amount of lead element, electrical conductivity, pH was measured and the ability of plant samples to absorb and accumulate lead was investigated by calculating the bioconcentration factor (BCF) and displacement factor (TF). According to the results, the total amount of lead in the soil ranges from 377 to 1250 $mg^{-1}kg$ of dry weight. Also, it can be seen that the exchangeable amount of lead elements in the soil ranges from 4 to 15 $mg^{-1}kg$ of dry weight. The average pH of the soil samples ranged from 6.8 to 7.1. Also, the results showed that the highest average amount of lead in *Erodium cicutarium* plant is 1516 $mg^{-1}kg$ in the roots, 110 $mg^{-1}kg$ in the aerial parts and 637 $mg^{-1}kg$ in the soil. Plants with bioconcentration factor (BCF) greater than one and displacement factor (TF) less than one are suitable for plant stabilization. Investigations showed that the bioconcentration factor in *Erodium cicutarium* plant is 2.3 and the transfer factor is 0.2. Therefore, according to the results, the plant shows BCF more than one and TF less than one. Therefore, *Erodium cicutarium* plant is a suitable species for phytoremediation in the form of plant stabilization of lead.

**Keywords:** Lead, phytoremediation, *Erodium cicutarium, displacement factor*

*Corresponding Author: Kobra Mahdavian
Email: k.mahdavian@pnu.ac.ir
Phone:03433353612

Doi: 10.48306/jumee.2024.445717.1038

**نشریه علمی مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست**

**آدرس نشریه:**https://jumee.kgut.ac.ir

سال دوم/شماره اول/بهار ۱۴۰۳/صفحه ۸۲-۸۹

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۲/۶/ ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۲/۲

# توانایی گیاه نوک لک لکی در جذب سرب از خاک‌های آلوده به سرب

کبری مهدویان*[۱]

*[۱] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران*

**چکیده**

فعالیت‌های معدن‌کاوی و استخراج فلزات از عوامل عمده در آلودگی خاک‌ها هستند و عموما خاک‌های سطحی در اطراف معادن حاوی مقادیر بالایی از این فلزات هستند. هدف از انجام این تحقیق بررسی قابلیت جذب سرب توسط گیاه نوک لک لکی از خاک‌های آلوده به سرب می‌باشد. پس از شناسایی نمونه‌های گیاهی جمع آوری شده، نمونه‌ها جهت انجام آنالیزهای مربوطه آماده گردید. سپس مقدار عنصر سرب و pH اندازه‌گیری شد و توانایی نمونه‌های گیاهی برای جذب و تجمع سرب به وسیله محاسبه فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) و فاکتور جابجایی (TF) بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصله مقدار کل سرب در خاک محدوده‌ای از ۳۷۷ تا ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود مقدار قابل تبادل عناصر سرب در خاک محدوده‌ای از ۴ تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک می‌باشد. میانگین pH نمونه‌های خاک محدوده‌ای از ۶/۸ تا ۷/۱ تعیین شد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میانگین مقدار سرب در گیاه نوک لک لکی ۱۵۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ریشه‌ها، ۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در اندام‌های هوایی و ۶۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک وجود دارد. گیاهانی با فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) بیشتر از یک و فاکتور جابجایی (TF) کمتر از یک برای تثبیت گیاهی مناسب هستند . بررسی‌ها نشان داد که فاکتور تغلیظ زیستی در گیاه نوک لک لکی ۲/۳ و فاکتور انتقال ۰/۲ می‌باشد. بنابراین بر طبق نتایج گیاه BCF بیشتر از یک و TF کمتر از یک را نشان می‌دهد. لذا گیاه نوک لک لکی، گونه‌ای مناسب برای گیاه پالایی به صورت تثبیت گیاهی سرب می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** سرب، گیاه پالایی، نوک لک لکی، فاکتور انتقال

*نویسنده مسئول: کبری مهدویان

ایمیل:k.mahdavian@pnu.ac.ir

شماره تماس:۰۳۴۳۳۳۵۳۶۱۲

Doi: 10.48306/jumee.2024.445717.1038

## ۱-مقدمه

فلز سنگین به فلزاتی گفته می‌شود که دارای چگالی بیشتر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشند. از دیدگاه علم زیست شناسی و به ویژه فیزیولوژی گیاهی، فلزات سنگین، عناصری فلزی و یا شبه فلزی می باشند که اثرات سمی بر رشد گیاهان دارند و شامل عناصری مانند مس، روی، آرسنیک، نیکل، منگنز، آهن، کبالت، کادمیوم، سرب و... می‌باشند (۱).

فلز سنگین سرب، فلزی آبی - خاکستری رنگ با نماد Pb و دارای عدد اتمی ۸۲، چگالی ۱۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و جرم اتمی ۲۰۷/۲ بوده و متعلق به گروه ۱۴ جدول تناوبی و دوره ششم جدول تناوبی می‌باشد (۲). سرب یکی از فلزات سنگین و آلاینده محیط زیست می‌باشد که برای گیاهان و دیگر موجودات زنده از جمله انسان به شدت سمی است (۳، ۴). مقدار سرب در خاک‌های غیرآلوده به طور متوسط ۲۰ میکروگرم بر گرم گزارش شده است. سرب در طبیعت به صورت سولفید، سولفات، کربنات و نمک‌های سرب یافت می‌شود. نیترات و استات سرب نمک‌های محلولی هستند (۵).

فلزات سنگین در اثر آلودگی‌های صنعتی نظیر معدن کاوی و فرایندهای ذوب فلزی، آلودگی‌های کشاورزی شامل استفاده ازحشره کش‌ها و فاضلاب‌های شهری و آلودگی‌های شهری حاصل استفاده از فلز سنگین در مواد سوختی، رنگ‌ها و دیگر مواد در خاک افزایش می‌یابند. امروزه مشخص شده است که آلودگی خاک با عناصری نظیر نیکل، مس، سرب و روی به دلیل فعالیت‌های معدنی باعث نابودی گیاهان حساس می‌گردد (۶). اصلی‌ترین عامل موثر بر جذب فلزات سنگین میزان در دسترس بودن فلز جهت جذب توسط گیاه می‌باشد. میزان در دسترس بودن فلزات سنگین در خاک توسط فرایندهای زیستی، شیمیایی، فیزیکی، و کنش متقابل بین این فرایندها تنظیم می‌شود. بنابراین pH بر روی حلالیت عناصر، خواه فلزات سنگین و خواه عناصر غذایی ضروری تاثیر دارد و عموما اظهار شده که در pH ۶/۵ دسترسی گیاهان به عناصر ضروری حداکثر و اثرات سمی فلزات در حداقل خود می‌باشد (۷).

گیاهان با استفاده از دو استراتژی؛ اجتناب و تحمل در برابر سمیت یون‌های فلزی مقاومت می‌کنند (۸). در راهبرد اجتناب ، ریشه‌ها به عنوان موانعی برای حرکت فلزات سنگین در سیستم خاک- ریشه عمل می‌کنند. برای مثال در این راهبرد جذب فلزات سنگین به واسطه تشکیل میکوریز کاهش می‌یابد و یا ظرفیت دیواره‌های سلولی ریشه برای ایجاد پیوند با فلزات افزایش می‌یابد (۹). در راهبرد تحمل گیاه از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی معینی استفاده می‌کند که آن را قادر می‌سازد در حضور مقادیر بالایی از فلزات که برای گیاهان سمی هستند به فعالیت‌های عادی خود ادامه دهد. گیاهان موجود روی خاک‌های فلزدار قادر به جلوگیری از جذب فلز به طور کامل نمی‌باشند و فلزات در مقادیر متفاوتی در بافت‌های گیاهان تجمع می‌یابند. بنابراین در اینجا راهبرد گیاهان بیشتر تحمل است و نه اجتناب (۸). تعداد کمی از گیاهان قادر به تحمل غلظت‌های بالای فلزات سنگین در خاک می‌باشند. چنین گیاهانی که فلزات را در غلظت‌های بالا در اندام‌های هوایی نسبت به ریشه خود و بدون بروز هر گونه علائم سمیت تجمع می‌دهند، گیاهان بیش تجمع دهنده نامیده می‌شوند. گیاهانی که بتوانند بیش از ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب در وزن خشک را در اندام‌های هوایی خود تجمع دهند به عنوان بیش تجمع دهنده سرب محسوب می‌شوند (۱۰). در حالیکه این غلظت‌ها برای گیاهان معمولی کشنده می‌باشد. میانگین غلظت سرب در برگ اکثر گیاهان روئیده بر خاک‌های معمولی کمتر از ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم است (۱۱). گونه‌های گیاهی بیش تجمع دهنده سرب شامل *Armeria maritima*، *Polycarpaea synandra* و *Thlaspi caerulescen* هستند (۱۲). همچنین مطالعات نشان داد که گیاه نوک لک لکی جز گیاهانی است که در تثبیت گیاهی سرب نقش دارد (۱۳).

گیاهان لوبیی و نی برای گیاه پالایی معادن سرب در جنوب چین استفاده شده اند (۱۴). چندین گزارش از غلظت‌های سرب در گیاهان رشد کرده بر روی خاک‌های معدنی وجود دارد. برای مثال، Yoon و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که غلظت‌های سرب در محدوده‌ای از غیر قابل شناسایی تا ۴۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با بیشترین مقدار در اندام هوایی *Gentiana pennelliana Fern* وجود دارد (۱۵). همچنین Stoltz و Greger (۲۰۰۲) محدوده‌ای از ۳/۴ تا ۹۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب را در ریشه‌های گونه‌های مختلف گیاهی گزارش کردند (۱۶). محققان دریافتند که از بین گیاهان مختلف مورد مطالعه، علف مرغ به دلیل میزان جذب سرب و بیوماس زیاد یک گیاه بسیار مناسب جهت پاکسازی خاک‌های آلوده به فلز سنگین سرب خواهد بود (۱۷).

چهار زیرمجموعه گیاه پالایی برای حذف فلزات سنگین؛ استخراج گیاهی، تثبیت گیاهی ، فیلتراسیون ریشه‌ای و تبخیر گیاهی نامیده می‌شوند (۱۸). وجود مقادیر سمی فلزات سنگین در محیط زیست گیاهان باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک شده و می‌تواند موجب کاهش توان رشد گیاه و در حالت شدیدتر باعث از بین رفتن گیاه شود. گیاهان حساس در چنین شرایطی آسیب دیده و از بین می‌روند در حالی که گیاهان مقاوم در این شرایط همچنان به رشد و تولید مثل خود ادامه می‌دهند. علائم سمیت سرب در گیاه شامل

جلوگیری از رشد، کلروز و سیاه شدن سیستم ریشه می‌باشد. سرب در غلظت‌های کم مانع از رشد ریشه و بخش‌های هوایی گیاه می‌شود (۱۹).

*Erodium cicutarium* که با نام های لک لک معمولی یا لک لک ساقه قرمز نیز شناخته می شود، گونه ای از گیاهان گلدار از خانواده گل شمعدانی است که بومی اروپا، شمال آفریقا و آسیا است (۲۰). هدف از انجام این تحقیق بررسی قابلیت جذب سرب توسط گیاه نوک لک لکی از خاک‌های آلوده به سرب می‌باشد.

## ۲-مواد و روشها

شهرستان کوهبنان یکی از شهرستان های شمال استان کرمان است. نمونه گیری در اردیبهشت ۱۴۰۲ از سه مکان آلوده به سرب با شش تکرار در اطراف معادن سرب شرق کوهبنان انجام شد. گیاهان نوک لک لکی منطقه ۱ در مجاورت آلودگی های ناشی از معادن قرار دارند، فاصله منطقه ۱ تا ۲ حدود ۶ کیلومتر و فاصله منطقه ۱ تا ۳ حدود ۱۰ کیلومتر است. نمونه‌های گیاه نوک لک لکی پس از جمع‌آوری شسته و خشک شدند و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نمونه های خاک از ناحیه اطراف ریشه گیاهان (۱۰ تا ۲۰ سانتی متری) جمع آوری شد. سپس غلظت عنصر سرب، مس اندازه گیری شد.

برای اندازه گیری مقدار عناصر در خاک از روش Reeves و همکاران (۱۹۹۹) استفاده شد. نمونه‌ها ابتدا با غربالی به قطر ۲ میلی‌لیتر غربال شد. ۵ گرم از نمونه‌ها در هاون چینی ساییده شد و در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد برای ۴۸ ساعت تا حصول وزن ثابت در آون خشک گردید. سپس ۰/۵ گرم از خاک حاصل (سه تکرار برای هر نمونه) در لوله آزمایش ضخیم ریخته و به هر لوله ۱۰ میلی لیتر از مخلوط اسید کلریدریک ۳۷٪ و اسید نیتریک ۶۵٪ به نسبت ۳ به ۱ اضافه شد. لوله‌ها برای مدت ۱۲ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد و پس از آن ۲ ساعت در حمام شنی و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا خاک به خوبی تجزیه شود. پس از سرد شدن، محلول حاصل در بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری با استفاده از کاغذ صافی (واتمن شماره ۴۰) صاف شد و با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم رسید (۲۱). مقدار عنصر سرب توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی آنالیز گردید. روش مورد استفاده برای تعیین مقادیر قابل تبادل عناصر بر گرفته از روش Faucon و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد (۲۲). مقادیر عنصر سرب در این محلول ها توسط طیف سنج جذب اتمی آنالیز گردید. pH خاک توسط pH متر اندازه‌گیری شد (۲۱).

توانایی نمونه‌های گیاهی برای جذب و تجمع سرب به وسیله محاسبه فاکتور تغلیظ زیستی و فاکتور جابجایی بررسی می‌گردد. فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) سرب از خاک به گیاه به صورت نسبت مقدار فلز در ریشه به مقدار فلز کل خاک در نظر گرفته شد. همچنین فاکتور جابجایی (TF) سرب، روی و نقره به صورت نسبت مقدار فلز در بخش هوایی گیاه به مقدار فلز در ریشه گیاه در نظر گرفته شد. بنابراین گیاهانی با فاکتور جابجایی (TF) و فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) بیشتر از یک برای استخراج گیاهی به کار برده می‌شوند، در حالیکه گیاهانی با فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) بیشتر از یک و فاکتور انتقال (TF) کمتر از یک برای تثبیت گیاهی مناسب هستند.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. برای مقایسه داده ها از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و آزمون دانکن با ۶ تکرار استفاده شد.

## ۳-نتایج و بحث

مقدار عنصر سرب در حالت کل و قابل تبادل (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) خاک‌های جمع آوری‌شده در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله مقدار کل سرب به ترتیب از ۳۷۷ تا ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک می‌باشد. مقدار قابل تبادل عناصر سرب در خاک به ترتیب ۴ تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک می‌باشد. میانگین pH نمونه‌های خاک محدوده‌ای از ۶/۸ تا ۷/۱ تعیین شد.

غلظت فلز سرب در خاک، ریشه و اندام هوایی گیاه نوک لک لکی در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، بیشترین میانگین مقدار سرب در گیاه ۱۵۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ریشه‌ها، ۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در اندام‌های هوایی و ۶۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک وجود دارد (شکل ۱).

گیاهانی با فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) بیشتر از یک و فاکتور جابجایی (TF) کمتر از یک برای تثبیت گیاهی مناسب هستند . بررسی‌ها نشان داد که فاکتور تغلیظ زیستی در گیاه نوک لک لکی ۲/۳ و فاکتور انتقال ۰/۲ می‌باشد (شکل ۲). بنابراین بر طبق نتایج گیاه BCF بیشتر از یک و TF کمتر از یک را نشان می‌دهد. لذا گیاه نوک لک لکی ، گونه‌ای مناسب برای گیاه پالایی به صورت تثبیت گیاهی سرب می‌باشد.

فلزات سنگین از مهمترین ترکیبات غیرآلی آلوده کننده محیط زیست محسوب می‌شوند. فعالیت‌های معدن‌کاوی و استخراج فلزات از عوامل عمده در آلودگی خاک‌ها هستند و عموما خاک‌های سطحی در اطراف معادن حاوی مقادیر بالایی از این فلزات هستند. گزارش‌های بسیاری از کشورهای مختلف وجود دارد که حاکی از آلودگی خاک‌های اطراف معادن با فلزاتی نظیر مس، کبالت، سرب، روی و نقره می‌باشد. به عنوان مثال طی مطالعاتی در ترکیه مقدار سرب در معادن سرب و روی Balya در حدود ۲۵۰۰۰ تا ۶۷۰۰۰ میکروگرم بر گرم اندازه‌گیری شد (۲۳). گزارش‌های مختلفی دلالت بر آلودگی خاک‌های سطحی در اطراف معادن دارند (۲۴،۲۵). pH به صورت قابل توجهی بر روی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اثر می‌گذارد، زیرا در pH پایین یون هیدروژن محکم تر از سایر کاتیون‌ها به ذرات خاک پیوند می‌شود و باعث در دسترس قرار گرفتن سایر کاتیون‌ها می‌شود. بنابراین در شرایط اسیدی میزان در دسترس بودن فلز برای جذب توسط گیاه بیشتر می‌شود (۲۶). در مورد سرب و روی نیز با افزایش pH خاک کمتر جذب گیاه می‌شوند زیرا روی در pH بالاتر از ۷/۷ به صورت $Zn(OH)_2$ درآمده و در pH بالاتر نیز $Zn(OH)_3$ تشکیل می‌شود. سرب نیز در pH بالا به صورت هیدروکسید فسفات یا کربنات رسوب می‌کند و احتمال تشکیل کمپلکس‌های آلی سرب نیز وجود دارد (۲۷). غلظت‌های فلزی در گیاهان مابین گونه‌های گیاهی تغییر می کند (۲۰). چندین گزارش از غلظت‌های سرب در گیاهان رشد کرده بر روی خاک‌های معدنی وجود دارد. برای مثال، Yoon و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که غلظت‌های سرب در محدوده‌ای از غیر قابل شناسایی تا ۴۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با بیشترین مقدار در اندام هوایی *Gentiana pennelliana Fern* وجود دارد (۱۵). گیاهانی که فاکتور جابجایی (TF) و فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) بیشتر از یک را نشان دادند مناسب برای استخراج گیاهی هستند در حالیکه گیاهانی با فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) بیشتر از یک و فاکتور انتقال (TF) کمتر از یک برای تثبیت گیاهی مناسب هستند (۱۵).

برای گیاه پالایی معادن سرب اهمیت دارند به دلیل اینکه این گیاهان توانایی جذب مقادیر بالای سرب را در ریشه یا بخش هوایی خود دارا هستند. بنابراین در این روش گیاهان با جذب مقادیر بالایی از فلزات سنگین موجب کاهش غلظت فلز در خاک می‌گردند (۲۸). بنابراین بر طبق نتایج به دست آمده گیاه نوک لک لکی مناسب جهت گیاه پالایی گیاه پالایی به صورت تثبیت گیاهی سرب می‌باشد.

جدول ۱- خصوصیات نمونه‌های جمع آوری شده از منطقه آلوده به سرب

| محل | تعداد نمونه‌ها | pHخاک | ECخاک ($ms\ cm^{-1}$) | سرب کل ($mg\ kg^{-1}$) | سرب قابل تبادل ($mg\ kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6 | 6.8±0.4 | 2.5±1.2 | 1250±10.2 | 15.0±6.3 |
| 2 | 6 | 6.9±0.1 | 3.8±0.2 | 1118.3±16.3 | 9.7±1.9 |
| 3 | 6 | 7.1±0.3 | 1.3±0.1 | 377.3±21.4 | 4.0±3.2 |

شکل۱- میانگین غلظت سرب در خاک، ریشه و اندام هوایی گیاه نوک لک لکی.

شکل۲- میانگین فاکتور تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال گیاه نوک لک لکی.

## ۴-نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که میانگین غلظت سرب در ریشه‌ها نسبت به خاک و اندام هوایی بالاتر است. همچنین فاکتور تغلیظ زیستی ۲/۳ و فاکتور انتقال ۰/۲ می باشد و بر طبق نتایج گیاه نوک لک لکی BCF بیشتر از یک و TF کمتر از یک را نشان می‌دهد. لذا گیاه نوک لک لکی، گونه‌ای مناسب برای گیاه پالایی به صورت تثبیت گیاهی سرب می‌باشد.

## ۵-تشکر و قدردانی

نگارنده از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه پیام نور به دلیل حمایت مالی از پژوهش حاضر، صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

## ۶-منابع و مراجع

1. Auburn, A., Heavy metal soil contamination. Urban Technical Note, 2000. 3: p.1-7. https://semspub.epa.gov/work/03/2227185.pdf

2. WHO., Lead-environmental aspects. Environmental health criteria, Geneva, 1989. 85. DOI: 10.1177/146642409011000129

3. Shahid, M., E. Ferrand, E. Schreck, and C. Dumat, Behavior and impact of zirconium in the soil–plant system: plant uptake and phytotoxicity. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 2013. 221: p.107–127. DOI: 10.1007/978-1-4614-4448-0_2

4. Soriano, A., S. Pallarés, F. Pardo, A. B. Vicente, T. Sanfeliu, and J. Bech, Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area. Journal of Geochemical Exploration, 2012. 113: p.36–44. DOI: 10.1016/j.gexplo.2011.03.006

5. Kabata-Pendias, A., Trace Elements in Soils and Plants. Fourth ed. CRC Press, Boca Raton, FL. 2011. DOI: 10.1201/b10158

6. Shen, Z.G., X.D. Li, C.C. Wang, H.M. Chen, and H. Chua, Lead phytoextraction from contaminated soil with high-biomass plant species. Journal of Environmental Quality, 2002. 31: p.1893–1900. DOI: 10.2134/jeq2002.1893

7. Wong, M.H., Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. Chemosphere, 2003. 50: p. 775-780. DOI: 10.1016/s0045-6535(02)00232-1

8. Baker, A.J.M, Metal tolerance. New Phytologist, 1987. p. 106: 93-111. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1987.tb04685.x

9. Harmens, H., Physiology of zinc tolerance in Silene vulgaris. Ph.D. thesis, Vrije Universiteit Amsterdam. Febodruk, Enschede. The Netherlands, 1993. P. 95.

10. Van der Ent, A., A.J.M. Baker, R.D. Reeves, A.J. Pollard, and H. Schat, Hyperaccumulators of metal and metalloid elements: facts and fiction. Plant and Soil, 2013. 362: p.319-334. DOI: 10.1007/s11104-012-1287-3

11. Reeves, R.D., Hyperaccumulation of trace elements by plants, In: Phytoremediation of metal-contaminated soils (eds. Morel, J. L. et al.). Springer, Printed in the Netherlands, 2006. p. 25-52. DOI: 10.1007/1-4020-4688-X_2

12. Krämer, U., Metal hyperaccumulation in plants. Annual Review of Plant Biology, 2010. 61: p. 517-534. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112156

13. Mahdavian, K., S. M. Ghaderian, and M. Torkzadeh-Mahani, Accumulation and phytoremediation of Pb, Zn, and Ag by plants growing on Koshk lead–zinc mining area, Iran. Journal of soils and sediments, 2017. 17: p. 1310-1320. DOI: 10.1007/s11368-015-1260-x

14. Srivastava, J., S.J.S. Kalra, and R. Naraian, Environmental perspectives of Phragmites australis (Cav.) Trin. Ex. Steudel. Applied Water Science, 2014. 4: p. 193–202. DOI: 10.1007/s13201-013-0142-x

15. Yoon, J., X. Cao, O. Zhou, and L.Q. Ma, Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment, 2006. 368: p. 456–464. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.01.016

16. Stoltz, E., and M. Greger, Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. Environmental and Experimental Botany, 2002. 47: p. 271–80. DOI: 10.1016/S0098-8472(02)00002-3

17. Liu, J.R.M., C.H. Shu, and D. Choi, Phytoremediation of cadmium contamination: over expression of metallotioneine in transgenic tobacco plant, Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz, 2000. 43: p. 126-130. DOI: 10.1007/s001030050023

18. Henry, J.R., An overview of the phytoremediation of lead and mercury. U. S. Environmental Protection Agency, 2000. P. 55. https://semspub.epa.gov/work/03/2095110.pdf

19. Kopittke, P.M., C.J. Asher, R.A. Kopittke, and N.W. Menzies, Prediction of Pb speciation in concentrated and dilute nutrient solutions. Environmental Pollution, 2008. 153(3): p. 548-554. DOI: 10.1016/j.envpol.2007.09.012

20. Mensing, S., and R. Byrne, Pre-mission invasion of Erodium cicutarium in California. Journal of Biogeography. 1998. 25 (4): p. 757–762. DOI:10.1046/j.1365-2699.1998.2540757.x. S2CID 84221304.

21. Reeves, R.D., A. J. M. Baker, A. Borhidi, and R. Berazain, Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Cuba. Annals of Botany, 1999. 83: p. 29-38. https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0786

22. Faucon, M.P., M.N. Shutsha, and P. Meerts, Revisiting copper and cobalt concentrations in supposed hyperaccumulators from SC Africa: influence of washing and metal concentrations in soil. Plant and Soil, 2007. 301: p. 29-36. DOI: 10.1007/s11104-007-9405-3

23. Reeves, R.D., A.R. Kruckeberg, N. Adiguzel, and U. Kramer, Studies on the flora of serpentine and other metalliferous areas of western Turkey. South African Journal of Science, 2001. 97: p. 513-517. DOI: 10.10520/EJC97257

24. Malaisse, F., A.J.M. Baker, and S. Ruelle, Diversity of plant communities and leaf heavy content at Luiswishi copper/cobalt mineralization, upper Katanga, Dem. Rep. Congo, Biotechnologie Agronomie. Societe et Environnement, 1999. 3: p.104-114.

25. Wenzel, W.W, and F. Jockwer, Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralized soils of the Austrian Alps. Environmental pollution, 1999. 104: p. 145-155. DOI: 10.1016/S0269-7491(98)00139-0

26. Garcia-Miragaya, J., and A.L. Page, Sorption of trace quantities of cadmium by soils with different chemical and mineralogical composition. Water, Air, Soil Pollutant, 1978. 9: p. 289-299. DOI: 10.1007/BF00280677

27. Marschner, H., Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, 1988. p. 674.

28. Quezada-Hinojosa, R., K.B. Föllmi, F. Gillet, and V. Matera, Cadmium accumulation in six common plant species associated with soils containing high geogenic cadmium concentrations at Le Gurnigel, Swiss Jura Mountains.Catena, 2015. 124: p. 85-96. DOI: 10.1016/j.catena.2014.09.007