فصلنامه علوم محیطی، دوره سیزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴

۱۰۵-۱۱۲

ارزیابی مقاومت و بیش‌اندوزی سرب به وسیله گیاه سلمه‌تره (*Chenopodium album L.*) در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین

نازلی علی‌پور[۱]، مهدی همایی[۲*]، صفورا اسدی کپورچال[۳] و محبوبه مظهری[۴]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران
[۲] استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
[۳] استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت
[۴] استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۱۸

چکیده

مقاومت و جذب آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین به وسیله گیاهان مختلف متفاوت است. چنان‌چه بتوان گیاهان مقاومی یافت که قادر باشند مقداری از آلودگی‌های موجود در آب و یا خاک را کاهش دهند می‌توان از آن‌ها برای آلودگی‌زدایی منابع آلوده استفاده کرد. هدف از این پژوهش بررسی توانایی گیاه شورپسند سلمه‌تره در استخراج گیاهی سرب و تعیین زمان پالایش سرب از خاک‌های سطحی آلوده به وسیله این گیاه بود. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار شاهد، ۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم سرب در هر کیلوگرم خاک و چهار تکرار اجرا گردید. پس از طی دوره رشد، گیاهان برداشت و میزان سرب در ریشه و اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که رابطه‌ای مثبت و غیر خطی بین مقدار سرب تجمع یافته در ریشه و اندام هوایی با غلظت سرب خاک وجود دارد. بیشترین مقدار سرب تجمع یافته در ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۶۴/۷۵ و ۴/۱۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین مقدار ماده خشک در یک سال در تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم نزدیک به ۳۵ تن در هکتار به‌دست آمد و کمترین زمان پالایش هم در تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برابر با ۹ سال بود که در سطح ۵٪ از آلودگی سربی به‌دست آمد. بنابراین با توجه به امکان برداشت سلمه‌تره تا سه بار در سال، توان بالای بیش‌اندوزی و تولید زیست توده فراوان، می‌توان از این گیاه برای پالایش خاک‌های آلوده به سرب استفاده کرد.

کلمات‌کلیدی: استخراج گیاهی، آلودگی خاک، عامل انتقال.

Assessing *Chenopodium album L.* to Tolerate and Phytoextract Lead from Heavy Metal Contaminated Soils

Nazli Alipour,[1]Mehdi Homaee,[2*]Safoora Asadi Kapourchal[3] & Mahboobeh Mazhari[4]

[1]*MSc. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran*
[2]*Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran*
[3]*Assistant Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht*
[4]*Assistant Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj*

Abstract

Tolerance and uptake of heavy metals by plants, differs from one to another species. A plant can be used for decontamination of contaminated soil and waters if it can resist and reduce heavy metals from contaminated resources. The objective of this research was to investigate the capability of halophyte Chenopodium Album L. to phytoextract lead and to determine the clean-up time from contaminated soils. For this purpose, a completely randomized design with six treatments of 0, 150, 300, 600, 900 and 1200 mg Pb/kg soil and four replicates was established. After full development of plants, they were harvested and their lead in roots and shoots were measured. The results indicated a nonlinear positive relationship between the lead concentrations in soil and that accumulated in both roots and shoots. The highest extracted lead which was accumulated in roots and shoots were 64.75 and 4.12 mg/kg, respectively. The highest dry matter of 35 ton/ha produced in one year belonged to 600 mg Pb/kg soil treatment. The minimum clean-up time was nine years in the treatment of 600 mg Pb/kg soil that appeared at the 5% contamination. Since Chenopodium Album L. can be cultivated three times a year, and due to its high biomass and capability of lead accumulation, this plant might be used as a hyper-accumulator to remediate lead from Pb-contaminated soils.

Keywords: Phytoextraction, Soil contamination, Translocation factor.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: mhomaee@modares.ac.ir

۱- مقدمه

فلزات سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌بوم به شمار می‌آیند. در سال‌های اخیر فعالیت‌های صنعتی و معدنی در اطراف شهرها، مراتع و رویشگاه‌ها باعث تنزل سریع و قابل ملاحظه سطح پوشش گیاهی شده است و از سویی پساب‌های حاصل از واحدهای صنعتی و معدنی افزون بر نفوذ و آلوده کردن منابع آب زیرزمینی، منجر به آلودگی آب‌های سطحی نیز شده و بدین ترتیب به عنوان عاملی خطر آفرین برای ورود فلزات سنگین به چرخه غذایی انسان عمل می‌کند. بالا بودن غلظت فلزات سنگین در خاک بر رشد گیاهان تأثیر منفی داشته و باعث توقف رشد یا مرگ گیاه می‌شود. با توجه به رشد روز افزون جمعیت و کمبود منابع آب و خاک، آلودگی‌زدایی و به‌سازی منابع خاک و آب به منظور تولید فرآورده‌های کشاورزی سالم، ضروری است. طبق تحقیقات به عمل آمده، سرب، کادمیوم، قلع و جیوه از مهم‌ترین آلاینده‌های فلزی هستند [۱،۲]. پاک‌سازی سرب از خاک بسیار مشکل بوده و فلز انتقالی در ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متری لایه سطحی خاک قرار گرفته و توسط فرآیندهای جذب سطحی، تبادل یونی، رسوب و کمپلکس با مواد آلی به خاک پیوند داده می‌شود [۳]. در سال‌های اخیر پژوهش‌گران روشی نوین برای زدودن آلودگی از خاک با استفاده از گیاهان معرفی کردند [۴، ۵] که پالایش گیاهی یا پالایش سبز نام گرفته است [۵، ۶، ۷]. یکی از بهترین روش‌های پالایش گیاهی، روش استخراج گیاهی است. در این روش از گیاهان برای استخراج فلزات سنگین از خاک‌های با آلودگی کم تا متوسط استفاده می‌شود [۸]. کارآیی روش استخراج گیاهی با دو عامل اصلی ظرفیت گیاهان بیش‌اندوز در جذب فلز و تولید زیست توده بالا تعیین می‌شود [۹]. گیاهان بیش‌اندوز توانایی بالایی در پالایش خاک داشته و قادر به جذب مقادیر معنی‌داری از فلزات موجود درخاک‌های آلوده می‌باشند. تولید زیست توده بالا ظرفیت نسبتاً پایین تجمع فلز در گیاه را جبران کرده و منجر به تجمع مقدار بالای فلزات سنگین در گیاه می‌شود [۹، ۱۰]. روش استخراج گیاهی محدود به عمق توسعه ریشه گیاه می‌باشد و پالایش خاک توسط آن فرآیندی طولانی بوده و پاک سازی منطقه آلوده ممکن است چندین سال یا بیشتر طول بکشد، در حالی که هنوز آلودگی کاملاً پاک سازی نگردیده است. با توجه به این که حذف کامل فلزات سنگین در خاک لازم نمی‌باشد، بنابراین این روش به تنهایی می‌تواند خاک را پالایش کند، در حالی که برای عناصر رادیو اکتیو که باید به طور کامل از خاک حذف گردند، روش استخراج گیاهی باید با سایر روش‌ها به کار رود [۱۱]. بالاترین مقدار تجمع سرب برای خردل هندی (*Brassica Juncea*) گزارش شده است [۸، ۱۲، ۱۳]. در تحقیقی با عنوان پالایش گیاهی فلزات سنگین به وسیله گیاهان شورپسند، توانایی سه گونه شورپسند *Sporobolus virginicus*، *Spartina patens* و *Atriplex nummularia* در پالایش گیاهی فلزات سنگین مس، نیکل و روی مورد بررسی قرار گرفت. گیاهان شورپسند گیاهانی هستند که به طور طبیعی در محیط‌هایی با شوری زیاد رشد می‌کنند. نتایج نشان داد که گیاهان مورد آزمایش در مقابل این فلزات سنگین دارای مقاومت زیادی بوده و بدون هیچ‌گونه کاهش معنی‌دار در میزان تولیدات گیاهی، قادر به تجمع این عناصر در اندام‌های خود می‌باشند. هم‌چنین از بین این سه گونه گیاهی، *S.Virginicus* موفق به انتقال مس و روی به اندام‌های هوایی خود شد و میزان تجمع این فلزات در این گونه شورپسند، بیشتر از سایر گونه‌ها بود [۱۴]. در ایران نیز پژوهش‌های متعددی به‌منظور بررسی توان گیاه پالایی گیاهان مختلف انجام شده است [۱، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹].

خداوردی‌لو و همایی (۲۰۰۸) برای پالایش سبز خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب نظریه نوینی بر مبنای رفتار خاک و گیاه در برابر آلاینده ارایه کردند که در آن هم‌دمای برون جذبی خاک بیان‌گر رفتار خاک در برابر آلاینده و تغییرات میزان جذب آلاینده به وسیله گیاه، بازتاب رفتار گیاه در برابر آلاینده در نظر گرفته شد و مدل ساده‌ای برای برآورد زمان لازم جهت پالایش آلاینده به دست آمد که در آن مدت زمان لازم برای پالایش سبز سرب از خاک توسط شاهی و اسفناج قابل برآورد بود. لیکن، تئوری ارایه شده قادر به برآورد دقیق زمان لازم برای پالایش سبز کادمیوم از خاک نبوده و فقط برای دست‌یابی به برآوردهای کلی از زمان لازم برای پالایش سبز کادمیوم توسط گیاهان فوق پیشنهاد گردید. داوری و همایی (۲۰۱۲) در تحقیقی به منظور مدل سازی مقدار گیاه پالایی آلاینده‌های نیکل و کادمیوم به‌صورت توأمان از خاک‌های آلوده به این آلاینده‌ها، نتیجه گرفتند به رغم تولید زیست‌توده انبوه و تحمل زیاد کلم زینتی به آلودگی‌های بالای نیکل و کادمیوم در خاک، از این گیاه تنها می‌توان برای پالایش آلودگی کم تا نسبتاً متوسط توأمان این آلاینده‌ها استفاده کرد. مدل پیشنهادی در این تحقیق که از ترکیب تابع ضرب‌پذیر بدون آستانه عملکرد نسبی و غلظت نسبی آلاینده‌ها در گیاه اشتقاق

یافته بود، در برآورد پالایش آلاینده نیکل از خاک کارآیی بالایی داشت.

تحقیقات انجام شده در مورد پالایش گیاهی رو به گسترش است، لذا انجام تحقیقاتی به منظور شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی مناسب برای پالایش گیاهی فلزات سنگین از خاک، لازم و ضروری است. نظر به این که ایران کشوری خشک و نیمه خشک بوده و خاک‌های زیادی با مشکل شوری مواجه هستند، هدف از انجام این پژوهش ارزیابی تحمل گیاه شورپسند سلمه‌تره به عنوان یک گیاه بیش‌اندوز و تعیین مدت زمان پالایش گیاهی سرب از خاک‌های سطحی آلوده توسط این گیاه بود.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای پالایش سبز سرب، گیاه سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) انتخاب گردید. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار و چهار تکرار انجام شد. سطوح آلودگی با توجه به غلظت مجاز سرب در خاک انتخاب شدند، به‌طوری‌که دامنه‌ای از غلظت صفر تا چند برابر غلظت مجاز را در بر گیرند. غلظت مجاز سرب در خاک ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد [۲۰]. اثر مقدار سرب موجود در خاک بر میزان جذب آن توسط گیاه در شش سطح شاهد۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰و ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مورد بررسی قرار گرفت. مقداری خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لازم به آزمایشگاه منتقل گردید. آزمایش‌ها شامل تعیین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج، مواد آلی به روش والکی بلک، بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم ویژه ظاهری به روش سیلندر، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش جایگزینی کاتیون‌ها با استات سدیم و pH با استفاده از دستگاه pH سنج بود (جدول۱).

جدول۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

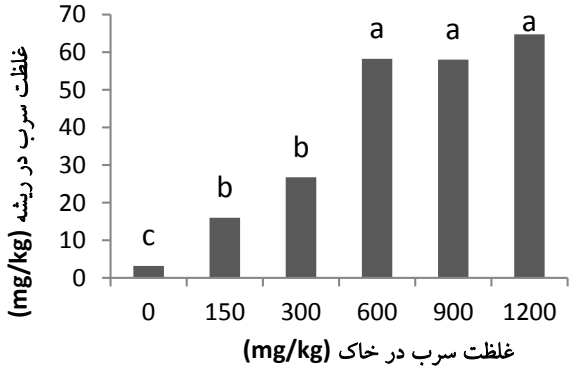
واکنش عصاره اشباع خاک	ماده آلی (%)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m)	جرم ویژه ظاهری خاک (g/cm^3)	بافت خاک	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (Cmolc/kg)
۷/۵۸	۰/۷۰	۶/۷۱	۱/۳۳	SCL	۱۴

برای رسیدن به سطوح آلودگی فوق، نخست مقدار سرب لازم (از منبع نیترات سرب) برای آلوده‌سازی جرم مشخصی از خاک محاسبه و به نمونه‌های خاک اضافه شد. بدین صورت که ابتدا مقدار خاک لازم برای هر یک از تیمارها و تکرارها تهیه و سپس مقدار آلاینده مورد نظر به آرامی و به صورت اسپری به خاک اضافه گردید. طی فرآیند مه پاشی، خاک‌ها به آرامی به‌هم زده شدند تا حداکثر اختلاط لازم بین خاک و آلاینده فراهم شود. سپس خاک‌ها با توجه به جرم ویژه ظاهری $1/33\ g\ cm^{-3}$ در گلدان‌های ۷ کیلوگرمی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر ریخته شد. به منظور نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی، نمونه‌ها در فضای باز و نه در گلخانه نگهداری شدند تا گیاه در شرایط طبیعی‌تری رشد کند. در ته گلدان‌ها سوراخ‌هایی تعبیه شد تا امکان زهکشی فراهم گردد. به منظور حفظ بیلان جرمی آب و آلاینده، آب خروجی از زهکش‌ها مجدداً از بالا به نمونه‌های خاک اضافه گردید. خاک‌های آلوده در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی قرار داده شدند و به مدت ۵۰ روز به‌منظور انجام برهمکنش‌های آلاینده و خاک رها گردیدند تا تعادل لازم بین خاک و آلاینده فراهم شود. سپس، کاشت بذرها در تیمارهای طراحی شده با تراکم کشت ۳۰ بذر در متر مربع انجام شد. آبیاری به گونه‌ای انجام شد که هیچ نوع تنش آبی رخ نداده و رطوبت در حد ظرفیت زراعی حفظ شود. پس از طی دوره رشد رویشی سلمه‌تره، نمونه‌های گیاهی برداشت و با آب مقطر شسته شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند [۲۱، ۲۲]. نمونه‌ها پس از خشک شدن با استفاده از آسیاب برقی با محفظه استیل، آسیاب شده و تا زمان عصاره‌گیری در ظروف پلاستیکی نگهداری شدند. سرب موجود در نمونه‌های گیاه و خاک عصاره‌گیری و به وسیله دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA-670G) اندازه‌گیری شد. غلظت سرب موجود در گیاه به روش اکسیداسیون تر با نسبت حجمی ۴۰، ۴ و ۱ از مخلوط اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید سولفوریک عصاره‌گیری گردید [۲۳، ۲۴]. زمان لازم برای پالایش گیاهی سرب نیز با استفاده از فرمول ارایه شده توسط اسکنور (۱۹۹۷) به دست آمد [۲۵]. در نهایت به‌منظور بررسی قابلیت پالایش سلمه تره و دستیابی به مناسب‌ترین تیمار برای پالایش گیاهی، پارامترهای مقدار جذب و عامل انتقال محاسبه شد. مقدار جذب کل عنصر معیار مناسبی جهت ارزیابی جذب عناصر از خاک محسوب می‌شود و حاصل‌ضرب غلظت فلز در وزن ماده خشک اندام هوایی بوده

و فاکتور انتقال یک فلز یا شبه فلز عبارت از مقدار انباشت فلز در شاخساره به مقدار انباشت آن در ریشه گیاه می‌باشد [۲۶، ۲۷]. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۱۶) و MSTAT-C (نسخه ۲/۱۰) انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۰۷ استفاده گردید.

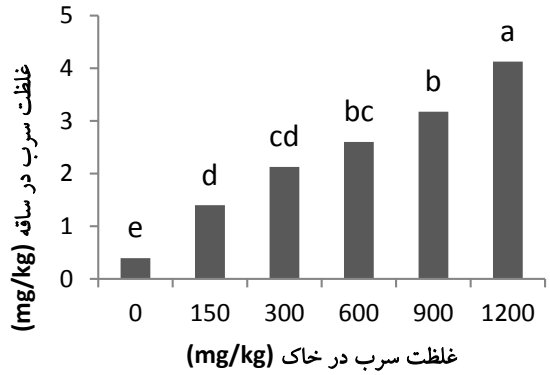
۳- نتایج و بحث

غلظت سرب تجمع یافته در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه سلمه‌تره به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش میزان سرب خاک، میزان جذب و اندوزش آن در ریشه سلمه‌تره افزایش یافته، لیکن این افزایش تا تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم شدت بالایی دارد و پس از آن با افزایش میزان آلودگی از شدت آن کاسته می‌شود. بیشترین مقدار تجمع سرب در ریشه گیاه، ۶۴/۷۵ میلی‌گرم برکیلوگرم بود. با افزایش میزان سرب خاک، غلظت سرب در اندام هوایی گیاه سلمه‌تره نیز افزایش یافته و بیشترین مقدار تجمع سرب در اندام هوایی گیاه، ۴/۱۲۵ میلی‌گرم برکیلوگرم بود. بالاترین میزان جذب در گیاه (ریشه و اندام هوایی) در تیمار ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفته است. در واقع با افزایش میزان آلودگی خاک، سمیت ناشی از فراوانی و یا کاهش جذب سرب توسط گیاه به وقوع نپیوسته و با افزایش غلظت سرب خاک از مقدار جذب آن به وسیله گیاه کاسته نشده و روند افزایشی جذب در گیاه (ریشه و اندام هوایی) حفظ شده است.



شکل۱- رابطه مقادیر مختلف سرب خاک و غلظت آن در ریشه‌های سلمه‌تره*

*ارقام ارایه شده میانگین نتایج حاصل از چهار تکرار می‌باشد. حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P<0.05$ است.



شکل ۲- رابطه مقادیر مختلف سرب خاک و غلظت آن در اندام هوایی سلمه‌تره*

*ارقام ارایه شده میانگین نتایج حاصل از چهار تکرار می‌باشد. حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P<0.05$ است.

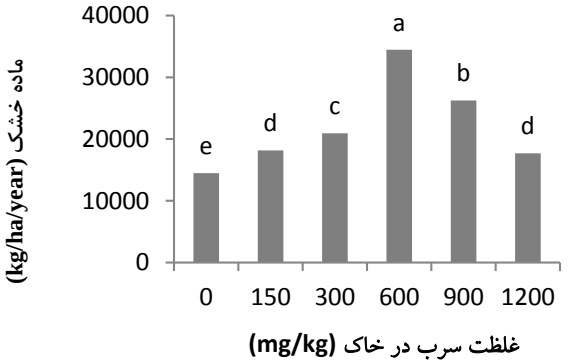
نتایج تجزیه واریانس ارایه شده در جدول ۲نشان داد که بین جذب سرب توسط ریشه و اندام هوایی در سطوح مختلف آلودگی سربی اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری‌که مقدار سرب تجمع یافته در اندام‌های هوایی سلمه‌تره کمتر از مقدار تجمع یافته آن در ریشه‌ها بوده که این با نتایج به‌دست آمده از برخی پژوهش‌های پیشین مانند توان بیش‌اندوزی تربچه برای جذب سرب [۱] و شبدر برسیم برای جذب کادمیوم [۲۲] هم خوانی دارد.

جدول۲- تجزیه واریانس مقادیر مختلف سرب تجمع یافته در ریشه و اندام هوایی گیاه سلمه‌تره

بافت گیاهی		درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
بین گروه‌ها	ساقه	۵	۳۴/۶۲۳	۶/۹۲۵	۲۵/۳۶۱	<۰/۰۰۰۱
	ریشه	۵	۱۳۳۹۵/۱۰۲	۲۶۷۹/۰۲۰	۳۷/۷۳۸	<۰/۰۰۰۱
درون گروه‌ها	ساقه	۱۸	۴/۹۱۵	۰/۲۷۳		
	ریشه	۱۸	۱۲۷۷/۸۱۸	۷۰/۹۹۰		
جمع کل	ساقه	۲۳	۳۹/۵۳۸			
	ریشه	۲۳	۱۴۶۷۲/۹۲۰			

نتایج مقایسات میانگین سرب تجمع یافته در ریشه گیاه سلمه‌تره به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بالاترین میزان جذب در سطح ۱۲۰۰ میلی‌گرم سرب وجود دارد، لیکن تفاوت معنی‌داری بین

میزان تجمع سرب در ریشه سلمه‌تره در سطوح ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم سرب وجود نداشت. هم‌چنین، نتایج مقایسات میانگین سرب تجمع یافته در اندام‌هوایی گیاه سلمه‌تره نیز نشان داد که در سطح ۵٪ بالاترین میزان جذب در سطح ۱۲۰۰ میلی‌گرم سرب بوده و بین این تیمار با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همان‌طور که گفته شد کارآیی روش استخراج گیاهی با دو عامل ظرفیت گیاهان بیش‌اندوز در جذب فلز و تولید زیست توده بالا تعیین می‌شود [۹]. بنابراین با وجودی که این گیاه قادر به اندوزش سرب در کل گیاه (ریشه و اندام‌های هوایی) می‌باشد، لیکن با توجه به کم بودن میزان جذب سرب در اندام هوایی نسبت به ریشه، توانایی آن در فرآیند استخراج گیاهی به میزان ماده خشک گیاهی تولیدی وابسته است. با توجه به این که گیاه سلمه‌تره را می‌توان سه بار در سال برداشت نمود، میزان ماده خشک گیاهی تولیدی در طول یک سال محاسبه گردید. با افزایش میزان سرب خاک، میزان ماده خشک تولیدی افزایش یافته و بیشترین میزان ماده خشک در تیمار۶۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم، نزدیک به ۳۵ تن در هکتار در طول یک سال به دست آمد. در تیمارهای ۳۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز میزان ماده خشک تولیدی بیشتر از ۲۰ تن در هکتار در سال بود که با توجه به این که اکثر گیاهان بیش‌اندوز شناخته شده دارای زیست توده کمی می‌باشند، این مقدار زیست‌توده قابل توجه محسوب می‌شود. این نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل۳- مقدار ماده خشک گیاهی (اندام هوایی) در سطوح مختلف آلودگی سربی*

*ارقام ارایه شده میانگین نتایج حاصل از چهار تکرار می‌باشد. حروف مختلف نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح احتمال $P<0.05$ است

مقادیر عوامل انتقال و مقدار جذب سرب در تیمارهای مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است عامل انتقال در گیاه مورد مطالعه کوچک‌تر از یک بوده و بیانگر انتقال کمتر سرب از ریشه به اندام هوایی می‌باشد. میزان جذب سرب در ریشه گیاه بیش از اندام هوایی بوده و با افزایش غلظت سرب در ریشه از تحرک آن در گیاه کاسته شده و به میزان بیشتری در سلول‌های ریشه و فضاهای بینابینی ترسیب می‌یابد. علت این امر ناشی از تغییر سیستم آوندی ریشه به ساقه در محل یقه گیاه است که به صورت یک فیلتر عمل کرده و موجب تجمع سرب و کند شدن فرآیند انتقال به ساقه می‌شود. با توجه به تشکیل کمپلکس، سرب جذب شده عمدتا در ریشه گیاه باقی مانده و کمتر به اندام هوایی انتقال می‌یابد. در بررسی انجام شده توسط کومار و همکاران (۱۹۹۵) میزان سرب موجود در ریشه کلزا ۱۸ برابر مقدار آن در اندام هوایی بود. به عقیده آن‌ها پیوند محکم سرب به خاک و مواد گیاهی تا حدی تحرک کم سرب را در گیاه و خاک توضیح می‌دهد [۶]. نتیجه تحقیق انجام شده توسط هوآنگ و کونینگام (۱۹۹۶) نیز نشان داد که سرب افزون بر قابلیت زیست فراهمی کم، به طور ضعیفی از ریشه به اندام هوایی انتقال می‌یابد [۲۸]. دنگ و همکاران (۲۰۰۴) در آزمایشی تجمع کادمیوم، سرب، روی و مس را در ۱۲ گونه گیاهی در چین مطالعه کردند، نتایج آن‌ها بیان‌گر آن بود که در بین ۴ عنصر مورد مطالعه،عامل انتقال برای سرب کمترین و برای کادمیوم بیشترین مقدار بود [۲۹].

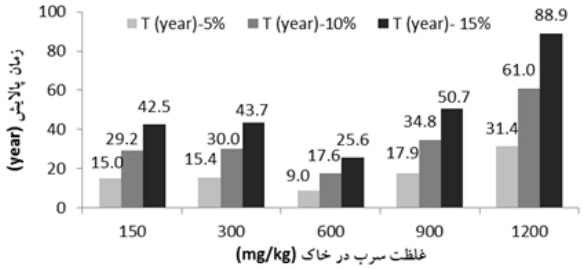
جدول ۳- عامل انتقال و مقدار جذب سرب در سطوح مختلف آلودگی خاک

تیمار	عامل انتقال	مقدار جذب سرب ($g\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)
۰	۰/۱۲	۵/۷۲
۱۵۰	۰/۰۹	۲۵/۴۳
۳۰۰	۰/۰۸	۴۴/۴۹
۶۰۰	۰/۰۴	۸۹/۶۳
۹۰۰	۰/۰۵	۸۳/۳۱
۱۲۰۰	۰/۰۶	۷۲/۹۸

هم‌چنین مقادیر جذب سرب در جدول ۳ نشان می‌دهد که تا تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، روندی افزایشی داشته و دلیل آن افزایش میزان ماده خشک گیاهی است. با کاهش میزان ماده خشک گیاهی در تیمارهای بالاتر، مقدار جذب سرب نیز روند کاهشی داشت. بنابراین، بیشترین مقدار جذب سرب در تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برابر با ۸۹/۶۳ گرم بر هکتار بر سال و

کم‌ترین آن در تیمار شاهد برابر با ۵/۷۲ گرم بر هکتار بر سال به‌دست آمده است. مقایسه میزان سرب تجمع یافته در اندام هوایی گیاه سلمه‌تره با مقادیر سرب استخراجی از اندام هوایی، با در نظر گرفتن میزان ماده خشک گیاهی تولیدی، نشان داده که مقادیر سرب برداشت شده توسط اندام هوایی گیاه به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. به عبارت دیگر، هرچند مقدار تجمع سرب در اندام هوایی کمتر از ریشه گیاه است، لیکن مقدار جذب سرب در اندام هوایی در یک هکتار در سال (حاصل‌ضرب غلظت فلز در وزن ماده خشک اندام هوایی) میزان قابل توجهی می‌باشد که این با نتایج زوآنگ و همکاران (۲۰۰۷) و اید (۲۰۱۱) هم خوانی دارد که بیان می‌کند مقدار بالای زیست توده گیاهی ظرفیت نسبتاً پایین تجمع فلز در گیاه را جبران می‌کند و منجر به تجمع مقدار بالای فلزات سنگین در گیاه می‌شود [۹، ۱۴].

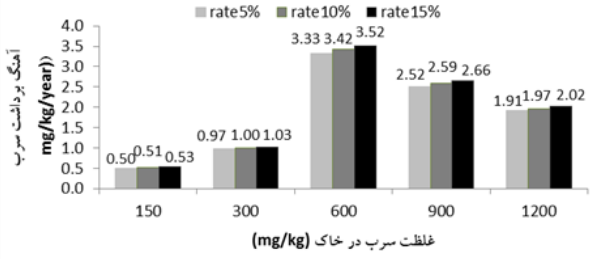
در این پژوهش زمان لازم برای پالایش سرب به میزان ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از هرکدام از سطوح آلودگی محاسبه شد که در شکل ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است زمان‌های محاسبه شده برای پالایش گیاهی سرب، برای اعماق سطحی خاک (عمق ۵ سانتی متری) می‌باشد.



شکل ۴- زمان پالایش سرب برای ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ از سطوح آلودگی خاک

نتایج نشان داد یک رابطه غیرخطی بین زمان پالایش و سطوح مختلف آلودگی سرب وجود داشته و در هر سه سطح، نمودار از روند یکسانی برخوردار است. زمان پالایش از تیمار ۱۵۰ به ۳۰۰ افزایش یافته اما این افزایش چندان قابل توجه نیست. علت این امر ناشی از عدم تفاوت زیاد بین میزان ماده خشک گیاهی (مجموع ریشه و اندام هوایی) در دو تیمار می‌باشد. در تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم این روند افزایشی به هم خورده و مدت زمان پالایش کاهش یافته است و کم‌ترین میزان زمان پالایش در این تیمار دیده می‌شود و علت آن را می‌توان بالا بودن میزان ماده خشک تولیدی در این تیمار نسبت به سایر تیمارها دانست. درواقع این تیمار بالاترین میزان عملکرد جذب گیاهی و در نتیجه بالاترین میزان ثابت سرعت جذب را داشته است. از تیمار ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مجدداً زمان پالایش روند صعودی داشته که طبیعتاً زمان لازم برای پالایش تیمارهای ۹۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به علت وجود آلایندگی بالا، زیاد می‌باشد. با توجه به این که کم‌ترین زمان پالایش در سطح ۵٪ از آلودگی‌های مختلف سرب به دست آمد، می‌توان گفت این گیاه برای پالایش خاک‌هایی که آلودگی سربی آن‌ها در حد پایین تا متوسط می‌باشد، نظیر خاک‌های کشاورزی، کارآیی بیشتری می‌تواند داشته باشد.

آهنگ برداشت سرب از خاک نیز در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از غلظت‌های مختلف سرب، محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۵ آورده شده است. هر سه سطح از روند یکسانی برخوردار می‌باشد، بدین صورت که با افزایش غلظت سرب در خاک از تیمار ۱۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان برداشت (میزان سرب پالایش شده در طول یک سال) در هر سه سطح افزایش یافته است. در تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین میزان شدت برداشت وجود داشته که علت آن بالا بودن مقدار ماده خشک و عملکرد گیاهی می‌باشد و پس از آن در تیمارهای ۹۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مجدداً روند کاهشی دیده می‌شود.



شکل۵- میزان برداشت سرب از خاک در ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از سطوح مختلف آلودگی

با توجه به این که در این پژوهش سطوح آلودگی تا چند برابر غلظت مجاز سرب در خاک در نظر گرفته شد، مسلماً در مقادیر پایین‌تر آلودگی سربی، زمان پالایش گیاهی کاهش چشمگیری خواهد داشت. اگرچه پالایش گیاهی روشی زمان بر بوده و برای پاک سازی محل آلوده چندین سال زمان لازم است تا غلظت آلاینده به طور معنی‌داری کاهش یابد، لیکن این تکنولوژی گیاهی می‌تواند غلظت کل آلاینده را با حداقل قیمت کاهش دهد. از سوی دیگر بسیاری از مناطقی که نیاز به پالایش دارند حداقل در یک بازه زمانی ده ساله آلوده شده‌اند و سال‌ها بلکه ده‌ها سال در شرایط آلودگی که به وسیله انسان ایجاد شده است، باقی مانده‌اند. بنابراین صرف یک یا دو دهه برای پالایش این مناطق زیاد طولانی به نظر نمی‌آید.

۴- نتیجه‌گیری

با افزایش غلظت سرب موجود در خاک، غلظت آن در گیاه سلمه‌تره (ریشه و اندام هوایی) افزایش یافت و این گیاه در بیشترین غلظت اعمال شده آلودگی، دچار کاهش جذب نشد. در واقع هیچ‌گونه سمّیتی تا غلظت ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک برای سلمه‌تره ایجاد نگردید. توانایی این گیاه در فرآیند استخراج گیاهی به میزان ماده خشک گیاهی تولیدی وابسته است، چرا که افزایش زیست توده باعث جذب بیشتر فلز شده و موجب افزایش کارآیی گیاه می‌گردد. با توجه به مقادیر بالای ماده خشک تولیدی توسط سلمه‌تره، از این گیاه می‌توان به عنوان گیاهی مقاوم و بیش‌اندوز برای پالایش خاک‌های آلوده به سرب استفاده نمود. لیکن با توجه به زمان پالایش و این که بیشترین مقدار ماده خشک تولید شده در تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، بیشترین مقدار سرب استخراجی در یک هکتار در سال در تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. بنابراین گیاه سلمه‌تره برای پاک سازی سرب از اعماق سطحی خاک و تا غلظت‌های چندین برابر غلظت مجاز سرب در خاک کارآیی بالایی دارد.

منابع

[1] Asadi Kapourchal S O, Asadi Kapourchal S, Pazira E, Homaee M. Assessing radish (Raphanus sativus L.) potential for phytoremediation of Lead- contaminated soils resulting from air pollution. Soil plant and environment Journal; 2009; 55(5): 202-206.

[2] Asadi Kapourchal S, eisazadeh S, Homaee M. Phytoremediation of cadmium polluted soils resulting from use of phosphorus fertilizers. Proceeding of European Biotechnology Thematic Network Association congress. Istanbul, Turkey, 2011; S 37.

[3] Raskin I, Smith R D, Salt D E. Phytoremediation of metals: Using plants to remove pollutants from the environment. Current Opinion in Biotechnology; 1997; 8 (2): 221-226.

[4] Blaylock M J, Salt D E, Dushenkov S, Zakharova O, Gushsman C, Kapulink Y, Ensley B D, Raskin I. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. Environmental Science and Technology; 1997; 31: 860-865.

[5] Glick B R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotechnology Advances; 2003; 21(5): 383-393.

[6] Kumar P B A N, Dushenkov V, Motto H, Raskin I. Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soils. Environmental Science and Technology; 1995; 29:1232-1238.

[7] Raskin I, Kumar N P B A, Dushenkov S, Salt D E. Bioconcentration of heavy metals by plants. Current Opinion in Biotechnology; 1994; 5 (3):285-290.

[8] Salt D E, Blaylock M, Kumar N P B A, Dushenkov V, Ensley B D, Chet I, Raskin I. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Biotechnology; 1995;13:468-474.

[9] Zhuang P, Yang Q W, Wang H B, Shu W S. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. Water Air and Soil Pollution; 2007;184:235–2.

[10] Sahmurova A, Celik M, Allahverediyev S. Determination of the accumulator plants in Kucukcmece lake (Istanbul). African Journal of Biotechnology; 2010;9(39):6564-6551.

[11] Halim M, Conte P, Piccolo A. Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances. Chemosphere; 2003; 52(1):265-275.

[12] Baker A J M, Brooks R R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements- A review of their distribution, ecology, and phytochemistry. Biorecovery; 1989;1:81-126.

[13] Henry JR. An overview of the phytoremediation of lead and mercury. U.S. environmental protection agency office of solid waste and emergency response technology innovation office. Washington, D.C; 2000.

[14] Eid M A. Halophytic plants for phytoremediation of heavy metals contaminated soil. The Journal of American Science; 2011;7(8):377-382.

[15] Dalalian M, Homaee M. Simulating of Phytoremediation Time of Cadmium and Copper Spiked Soils by Salvia sclarea.Water and Soil Science Journal; 2011;20(4):129-141. [In Persian]

[16] Davari M, Homaee M. Modeling phytoremediation of Ni and Cd from contaminated soils using macroscopic transpiration reduction functions. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, water and soil science Journal; 2010;14(52):75-84. [In Persian]

[17] Davari M, Homaee M. A new yield multiplicative model for simultaneous phytoextraction of Ni and Cd from contaminated soils. Water and Soil Journal; 2012;25(6):1333-1343. [In Persian]

[18] Jafarnejadi A R, Homaee M, Sayyad Gh. A. Large scale spatial variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. Soil and Sediment Contamination Journal; 2011;20(1):93-99.

[19] Mohamadipour F, Asadi Kapourchal S. Assessing land cress potential for phytoextraction of cadmium from Cdcontaminated soils. Water and Soil Resources Conservation; 2012;(2)2:25-35. [In Persian]

[20] Cariny T. The re-use of contaminated land. John Wiley and Sons Ltd. Pub., USA. 1995.

[21] Khodaverdiloo H, Homaee M. Modeling Phytoremediation of Soils Polluted with Cadmium and Lead. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, water and soil science Journal; 2008;11(42):417-426. [In Persian]

[22] Mousavi S M, Ahmadabadi Z, Bahmanyar M A. Investigation the Hyper-accumulative Potential of Creeping Wheat Grass (Agropyronrepens L.) and Berseem Clover (Trifolum Alexanderium L.) in Adsorption of Heavy Metals from Treated Soil with Sewage Sludge. Water and wastewater; 2015;In Press.

[23] Greman H, Velikonja-Bolta S, Vodnik D, Kos B, Lestan D. EDTA enhanced heavy metal phytoextraction: metal accumulation, leaching and toxicity. Plant and Soil; 2001; 235:105-114.

[24] Gupta P K. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Dehli, India; 2000.

[25] Schnoor J L. Phytoremediation. GWRTAC (Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center) Technology Evaluation Report TE-98-01; 1997. P.150.

[26] Kumar N, Bauddh K, Kumar S, Dwivedi N, Singh D P, Barman S C. Accumulation of metals in weed species grown on the soil contaminated with industrial waste and their phytoremediation potential. Ecological Engineering; 2013; 61:491-495.

[27] Sun Y, Zhou Q, Diao Ch. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator Solanum nigrum L. Bioresource Technology; 2008; 99:1103-1110.

[28] Huang J W, Cunningham S D. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. New Phytologist; 1996;145:75-84.

[29] Deng H, Ye Z H, Wong M H. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wet land plant species thriving in critical contaminated. sites in china. Environmental Pollution; 2004;132 (1):29-40.