Archive of SID

Journal of Health

Vol. 11, No. 3, Summer Supp. 2020, Pages 299-310

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

Feasibility Study of Using Adsorbent Plants to Remove Heavy Metals from Wastewater of Petrochemical Industry (Razi Case Study of Tehran)

Adelkhah A[1], Babaei Semiromi F*[2], Alipour S[3]

1. Master Science Student, Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment Science and Research Branch, Islamc Azad University, Tehran, Iran
2. Asistant Professor, Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment Science and Research Branch, Islamc Azad University, Tehran, Iran
3. Ph.D. of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment Science and Research Branch, Islamc Azad University, Tehran, Iran

**** Corresponding author.*** Tel: +9891225306736, Fax: +988138380509, E-mail: Farzam.Babaier@gmail.com

Received: Oct 2, 2019 Accepted: Apr 14, 2020

ABSTRACT

Background & objectives: Since many plants have high efficiency in absorbing heavy elements, the use of phytoremediation is of great importance. The purpose of this study is to identify native plants that absorb heavy metals. Also, the possibility of using them in phytoremediation technology in soils contaminated with heavy metals (around the petrochemical industry of Razi fertilizer in Tehran province) was investigated according to the transfer factor.

Methods: This is a library and laboratory research, in which, first sampling of wastewater and plants contaminated with sewage of Razi fertilizer petrochemical industry was done. Secondly, the concentration of heavy elements of lead, zinc and cadmium was measured. Then, healthy plants which were not contaminated with the wastewater of Rzai fertilizer petrochemical industry were exposed to the wastewater of this industry and the transfer factor was calculated for all three elements.

Results: The results showed that Achillea willhelmsii, Stipa barbata, and Aconthophyllum microcephallam had the highest concentration of heavy metals uptake with concentrations of 103.7, 237.3 and 0.9 mg / kg, for lead, Zinc and cadmium respectively and are good options for refining soil in the area. Heavy metal transfer factor was also higher in Aconthophyllum microcephallam, Amaranthus retrofiexus and Achillea willhelmsii compared to others.

Conclusion: The aerial parts of plants had a great ability to absorb heavy elements compared to their roots. Adsorption concentration and transfer factor of heavy elements absorbed by healthy plants and contaminated with wastewater were different. Healthy plants had a high ability to absorb heavy elements.

Keywords: Phytoremediation; Heavy Metal; Wastewater; Transfer Factor; Petrochemical Industry

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

امکان سنجی استفاده از گیاهان جاذب جهت حذف فلزات سنگین از فاضلاب صنعت پتروشیمی (مطالعه موردی رازی تهران)

آنیتا عادل خواه[۱]، فرزام بابایی سمیرمی[۲*]، صدرالدین علیپور[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. استادیار گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد واحد علوم وتحقیقات، تهران، ایران
۳. دانش آموخته رشته مدیریت محیط زیست در مقطع دکترا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۲۲۵۳۰۶۷۳۶ فکس: ۰۸۱۳۸۳۸۰۵۰۹ ایمیل: farzam.babaie@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: باتوجه به اینکه بسیاری از گیاهان کارایی بالایی در جذب عناصر سنگین دارند، استفاده از گیاه پالایی از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از انجام این پژوهش شناسایی گیاهان بومی جاذب فلزات سنگین و و بررسی امکان استفاده از آنها در فناوری گیاه پالایی خاک های آلوده به فلزات سنگین با توجه به فاکتور انتقال بود که در اطراف صنعت پتروشیمی کود رازی استان تهران انجام شد.

روش کار: این تحقیق از نوع کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی بود. برای انجام این پژوهش ابتدا از فاضلاب و گیاهان آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی کود رازی نمونه گیری به عمل آمد و غلظت عناصر سنگین سرب، روی و کادمیوم تعیین گردید. سپس گیاهان سالمی که آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی کود رازی نشده بودند، در معرض فاضلاب این صنعت قرار گرفتند و برای هر سه عنصر فاکتور انتقال محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان داد که گیاهان بومادران، استپی ریش‌دار و چوبک با داشتن غلظت ۱۰۳/۷، ۲۴۷/۳ و ۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک، بیشترین میزان غلظت جذب عناصر سنگین به ترتیب برای سرب، روی و کادمیوم داشته و گزینه‌های مناسبی برای پالایش خاک در منطقه می‌باشند. فاکتور انتقال فلزات سنگین در چوبک، تاج خروس و بومادران نیز بیشتر از سایر گیاهان بدست آمد.

نتیجه‌گیری: اندام هوایی گیاهان توانایی زیادی در جذب عناصر سنگین نسبت به ریشه آنها دارند. غلظت جذب و فاکتور انتقال عناصر سنگین جذب شده توسط گیاهان سالم و آلوده به فاضلاب متفاوت بوده و گیاهان سالم قابلیت بالایی در جذب عناصر سنگین دارند.

واژه‌های کلیدی: گیاه پالایی، فلزت سنگین، فاضلاب، فاکتور انتقال، صنعت پتروشیمی

دریافت: ۹۸/۷/۱۰ **پذیرش:** ۹۹/۱/۲۶

مقدمه

برخی فلزات سنگین در حد مقادیر کم برای سلامتی مفید است (۱)، لیکن در غلظت‌های بالا تهدیدی برای حیات موجودات زنده محسوب می‌شوند (۳،۲). جذب زیستی جایگزین مناسبی برای روش‌های فیزیکی و شیمیایی برای حذف فلزات سمی از پساب‌ها است (۵،٤). پیشرفت روزافزون صنایع در دهه اخیر مهمترین عامل آلودگی محیط زیست بوده و پساب‌های آلوده صنایع پتروشیمی باعث ورود مقادیر زیادی فلزات سنگین مانند کروم، کادمیوم، نیکل،

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

کبالت، روی و سرب به محیط زیست می‌گردد (۷،۶). تراکم فلزات سمی در محیط، اثرات زیان‌باری در سلامت انسان و حیوانات داشته و موجب برهم‌خوردن تعادل و نظم اکوسیستم می‌شود (۹،۸). تصفیه زیستی، جانشین و یا دست کم مکمل مناسبی برای دیگر روش‌های تصفیه است (۱۱،۱۰) و در همین رابطه بسیاری از گیاهان می‌توانند برای حذف فلزات سنگین از سیستم‌های پساب، مفید باشند (۱۲). استفاده از جاذب‌های زیستی از جمله گیاهان، راهکاری مناسب در حذف آلاینده‌ها و پاکسازی آب‌های آلوده است (۱۵-۱۳). گستره متنوعی از گیاهانی مانند نی لویی، عدسک آبی، سنبل آبی و برخی سرخس‌های آبزی به عنوان جاذب‌های زیستی عمل می‌کنند (۱۶). در تحقیقی قدرت جذب برگ گیاه ارغوان برای فلزات سنگین به‌ترتیب به صورت $Ni < Cu < Pb$ ارائه شده و اظهار شده است که برگ گیاه ارغوان می‌تواند به عنوان جاذبی ارزان و در دسترس می‌تواند با راندمان بالا جهت حذف فلزات سنگین از پساب‌های با آلودگی متوسط بکار برده شود (۱۷). نتایج تحقیق امام جمعه و همکاران (۱۸) در خصوص تصفیه فاضلاب بهداشتی با استفاده از سیستم‌های ترکیبی بی‌هوازی و گیاه پالایی نشان داده است که استفاده از سیستم ترکیبی بی‌هوازی و گیاه پالایی درصد حذف هر یک از پارامترهای TSS و COD در حدود ۸۰ درصد و درصد حذف کل کلیفرم‌ها و نماتود روده‌ای توسط این سیستم به ترتیب ۹۹/۹۹ و ۱۰۰ درصد بوده است. اختلاف معنی‌داری بین جذب کادمیوم توسط سه گیاه شاهی، کاهو و گوجه فرنگی در خاک آلوده به کادمیوم وجود دارد و بیشترین مقدار جذب مربوط به گوجه فرنگی و کمترین جذب مربوط به کاهو گزارش شده است (۱۹). هرچند میزان ضریب انتقال کادمیوم به کاهو به نسبت دو گیاه دیگر کمتر است، لیکن میزان مصرف سرانه کاهو برای هر نفر بسیار بیشتر از شاهی است، که در مدیریت آبیاری با پساب آلوده باید این نکته در نظر گرفته شود.

میرغفاری (۲۰) مطالعه‌ای در زمینه بررسی غلظت سرب در تعدادی از گونه‌های گیاهی طبیعی اطراف معدن سرب و روی ایران‌کوه در اصفهان انجام داد. در این تحقیق، غلظت سرب در خاک و پنج گونه گیاهی (شامل کلاه میرحسن[1]، خارگونی[2]، جاز[3]، گاوپونه[4] و گیس پیرزن[5]) در اطراف معدن سرب و روی ایران‌کوه واقع در جنوب غربی اصفهان اندازه‌گیری گردید که تفاوت غلظت سرب در اندام هوایی گونه‌های گیاهی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و در ریشه فاقد تفاوت معنی‌دار بود. اسلامی و همکاران (۲۱) در تحقیقی به بررسی حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی با استفاده از فناوری زیست‌پالایی پرداخته و اظهار می‌دارند که به منظور انجام موثر آلودگی‌زدایی توسط فناوری زیست‌پالایی، می‌بایست کارایی این فرآیند با توجه به دامنه غلظت متفاوت یون‌های فلزی تعیین گردد. همچنین می‌بایست در انتخاب ارگانیسم‌هایی که در مطالعات، بهترین عملکرد را در زیست پالایی فلزات مختلف و ترکیبات آن را داشته‌اند، صورت پذیرد. استفاده از فرآیندهای زیست پالایی برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی فلزات سنگین، بسیاری از محدودیت‌های بزرگ سایر روش‌های فیزیک و شیمیایی را نداشته و از نظر اقتصادی نیز مطلوب‌تر است (۷). برای افزایش کاربرد فناوری جذب زیستی در صنعت، باید برنامه‌ریزی‌هایی شود که در آن فرآیندهای احیاء زیست‌توده‌ها و سپس تبدیل فلز بازیابی شده به شکل قابل مصرف آن توسعه یابد (۲۳،۲۲). بررسی منابع نشان داد که پسماندهای کشاورزی پتانسیل خوبی برای حذف آلاینده‌های مورد نظر دارند. از میان منابع مورد بررسی، در مورد فلزات سنگین، بیشترین کارایی جذب مربوط به سبوس برنج، پوست سبز پسته و

[1] Acantholimon sp
[2] Noea mucronata
[3] Scariola orientalis
[4] Stachys inflata
[5] Stipa barbata

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

پوست پرتقال با کارایی بیش از ۹۹ درصد جذب و کمترین آن مربوط به پوست انار با ۵۵ درصد حذف می‌باشد (۲٤). تاتی[1] و همکاران (۲۵) ظرفیت جذب فلزات سنگین توسط ذرات خاک اره را مورد آزمایش قرار دادند و مشاهده کردند که با افزایشpH پساب، مقدار جذب اولیه افزایش می‌یابد و سایر عوامل مؤثر بر مقدار جذب را غلظت، زمان تماس و اندازهٔ ذرات ذکر کردند.

امروزه با حذف فلزات سنگین موجود در پساب‌ها علاوه بر اینکه می‌توان به بازیافت این عناصر و کاهش مصرف مواد خام اولیه کمک کرد، می‌توان از پساب برای آبیاری در زمینه‌ای کشاورزی استفاده نمود (۲۷،۲۶)، زیرا تقریباً ۹۹ درصد از فاضلاب‌ها را آب تشکیل می‌دهد. شرکت پتروشیمی رازی یکی از شرکت‌هایی صنایع پتروشیمی استان تهران است که تولیدکننده کود شیمیایی در سطح وسیع بوده و آلودگی زیست محیطی زیادی به همراه دارد. هدف از این پژوهش بررسی امکان استفاده از گیاهان بومی منطقه بعنوان جاذب جهت حذف فلزات سنگین کادمیوم، سرب و روی از فاضلاب‌های صنعت پتروشیمی تولیدکننده کود شمیایی شرکت رازی بوده است.

روش کار

جهت شناسایی گونه‌های بومی گیاهی، از گیاهان موجود در اطراف شرکت پتروشیمی رازی نمونه‌برداری انجام و با استفاده از فلور ایران، جنس و گونه آنها تعیین شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در گیاهان آلوده به فاضلاب، از روش خاکستر استفاده شد. داده‌های حاصله در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، با نرم افزار آماری SPSS تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح ۱٪ انجام گرفت. برای بررسی میزان جذب عناصر سنگین کادمیوم، سرب و روی در گیاهان جاذب زیستی، از گیاهانی که آلوده به فاضلاب نشده بودند، استفاده شد. بدین منظور، گیاهانی که سالم بودند و به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی آلوده نشده بودند به مدت ۱۰ روز در معرض نمونه فاضلاب قرار داده شدند و پس از ۱۰ روز ریشه و اندام هوایی آنها در آون خشک شده و میزان عناصر سنگین کادمیوم، سرب و روی جذب شده اندازه‌گیری شدند. برای بررسی میزان انتقال فلزات از ریشه به اندام هوایی، فاکتور انتقال از تقسیم غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت آن در ریشه تعیین گردید.

گیاهان جاذب زیستی را با فلزات سرب، کادمیوم و روی محلول در ارلن تماس داده و میزان جذب این فلزات سنگین در زمان‌های ۰، ۵، ۸۰، ۱۵۰، ۲۵۰، ۱۲۰۰ و ۱٤۰۰ دقیقه بوسیله دستگاه جذب اتمی سری ۲٤۰ اندازه‌گیری شد. برای انجام ایزوترم جذب سطحی، از غلظت اولیه فلز سنگین سرب و نیکل بین ۰/۰۱ تا ۱ میلی مول بر لیتر استفاده گردید. توده گیاهان جاذب زیستی با این غلظت فلزات تماس داده شد. میزان توده گیاهان جاذب زیستی استفاده شده برای جذب این سه فلز سنگین در این نوع آزمایش ۱ گرم بود که ۵ درصد کل حجم محلول استفاده شده را شامل می‌شد (حجم محلول ۲۰ میلی لیتر). گیاه جاذب زیستی در دمای ۳۷ و ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شده و سپس داخل محلول سوسپانسیون قرار داده شد (محلول حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر و pH=۵ تحت هم زدن ۳۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ ساعت بود). سپس ۱۰ میلی لیتر از محلولی که حاوی فلزات سرب، کادمیوم و روی بود به این محلول سوسپانسیون اضافه گردید و به مدت ۳ ساعت عمل هم زدن انجام گرفت. بعد از این مرحله کل این محلول با دستگاه سانتریفوژ به مدت ۱۰ دقیقه با ۱۲۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. بعد از این مرحله ۱۰ میلی لیتر از محلول را برداشته و پس از عبوردادن از فیلتر نانومتری سرنگی، میزان عناصر سنگین سرب،

[1] Taty

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

کادمیوم و روی آن با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

در آزمایشی نمونه‌های حاوی محلول فلز سرب و روی و کادمیوم با pHهای مختلف تهیه گردید. میزان جذب عناصر کادمیوم، سرب و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی در pHهای مختلف مشخص گردید. یکی دیگر از روش‌های تعیین میزان جذب عناصر سنگین توسط گیاهان جاذب زیستی روش رهاسازی بوسیله اسیدنیتریک است. بدین منظور ۱ گرم از گیاهان جاذب زیستی در محلول ۶ میلی‌مولار فلزات سنگین سرب و نیکل با pH=۵ قرار داده شد. سپس در محلول اسید نیتریک ۰/۱ مولار به مدت ۳۰ دقیقه در ارلن همزده شد. مجدداً، این محلول حاوی اسید نیتریک به مدت ۱۰ دقیقه با دستگاه سانتریفوژ با چرخش ۱۲۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. این عمل سانتریفوژ کردن سه بار تکرار شد که هر بار از سانتریفوژ کردن نمونه ای از محلول برداشته می‌شد و میزان جذب عناصر سنگین سرب و روی و کادمیوم آن با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری می‌شد.

تعادل جذب و مدل‌های آن

معادله عمومی جذب فلز بر روی جاذب زیستی به صورت معادله ۱ می‌باشد. در این معادله در نهایت ظرفیت جذب با استفاده از وزن توده گیاهان جاذب زیستی، حجم محلول فلزی، غلظت اولیه فلز، غلظت نهایی (تعادلی) فلز بدست می‌آید.

$$m.q_e = (C_0 - C_e)V \qquad (۱)$$

در این معادله m: وزن جاذب زیستی (mg)، q_e: ظرفیت جذب در حالت تعادل (MM^{-1})، V: حجم محلول (L^3)، C_0: غلظت اولیه فلز محلول (ML^{-3})، C_e: غلظت محلول به حالت تعادل (ML^{-3}) می‌باشد.

در ادامه ایزوترم جذب کادمیوم، سرب و روی توسط گیاهان جاذب زیستی از معادله لانگمویر (معادله ۲) مورد بررسی قرار گرفت.

$$q_e = q_m b_L C_e / 1 + b_L C_e \qquad (۲)$$

C_e: غلظت عنصر مورد نظر در محلول در حالت تعادل (گرم بر لیتر)، q_e: غلظت عنصر مورد نظر روی جاذب در حالت تعادل (میلی‌گرم بر گرم)، q_m: حداکثر غلظت عنصر مورد نظر (میلی‌گرم برگرم)، bL: ثابت تعادل وابسته به انرژی جذب زیستی (لیتر بر گرم).

فاکتور انتقال

در این پژوهش از فاکتور انتقال برای محاسبه رابطه‌های بین عناصر سنگین در سیستم خاک و گیاه استفاده شد. فاکتور انتقال به طور عموم به عنوان نسبت غلظت فلز در گیاه به غلظت بخش قابل دسترس همان فلز در خاک (C_{sail}) تعریف می‌شود (۲۸). غلظت عناصر سنگین در اندام هوایی و ریشه گیاه بر حسب وزن خشک محاسبه شده است. فاکتور انتقال نمایه‌ای است که موفقیت انتقال عناصر را از ریشه به اندام هوایی مشخص می‌کند و در گیاهان بیش اندوز بالاتر از یک است. این فاکتور در گیاهان منطقه مطالعه، تعیین گردید. بعد از اندازه‌گیری میزان سرب، روی و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه، از تقسیم کردن غلظت هر عنصر در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه، فاکتور انتقال برای هر عنصر و هرگونه گیاهی بدست آمد.

یافته‌ها

بررسی غلظت فلزات سنگین شامل کادمیوم، سرب و روی در اندام هوایی و ریشه گیاهان سالم و آلوده (جدول ۱) نشان می‌دهد که غلظت عناصر سرب و روی در اندام هوایی و ریشه گیاهان بومی و حتی زراعی بالا می‌باشد. این امر نشان‌دهنده انتقال فلزات سنگین در گیاهان از ریشه به اندام هوایی و خطر انتقال از طریق زنجیره غذایی به سایر موجودات می‌باشد. بر این اساس در حالی که حد طبیعی فلز سرب در گیاه، حداکثر ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است، این عنصر در ریشه و اندام هوایی گیاهان بومی، بسیار بالاتر از حد طبیعی مشاهده شد. میزان غلظت

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

اندازه‌گیری شده در نمونه فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی برای کادمیوم، سرب و روی به ترتیب برابر ۱۰/٤، ٤۰۱/۶ و ۱۲۳٤/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. بررسی غلظت فلزات در گیاهان آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی نشان داد که میزان جذب سرب و روی بیشتر از کادمیوم است. در بین فلزات سنگین، میزان سرب در اندام هوایی بومادران با میانگین ۱۱۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به سایر گیاهان در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است و پس از آن اندام هوایی ماهور با میانگین ۸۹/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و در اندام هوایی گندم با میزان یک، در پایین‌ترین سطح، قرار دارد. در مورد عنصر کادمیوم اندام هوایی بومادران با میانگین ۳ و پس از آن ریشه بومادران با میانگین ۲/٤ و اندام هوایی سلمه تره نیز در پایین‌ترین سطح غلظت (۰/۱) قرار دارند و در نهایت غلظت روی در اندام هوایی بومادران با میانگین ۳۸۷/۶ و پس از آن ریشه استپی ریش‌دار با میانگین ۲۹۲/۶ و ریشه سلمه تره با میانگین ۳۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در پایین‌ترین سطح قرار دارد. میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گیاهان آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی در نمودارهای ۱ تا ۳ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی و ریشه گیاهان سالم و آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی

نام و نام علمی گیاه	اندام گیاه	میزان جذب سرب*		میزان جذب روی		میزان جذب کادمیوم	
		گیاه سالم	گیاه آلوده	گیاه سالم	گیاه آلوده	گیاه سالم	گیاه آلوده
گون (Astaragalus sp)	ریشه	۱۳/۸	۱۱/٤	۷۸/٤	۵۹/۷	۰/۳	۰/۲
	اندام هوایی	۱۵	۱۳/۲	۶۱/۷	۵۳/۱	۰/٤	۰/۳
تاج خروس (Amaranthus retrofiexus)	ریشه	٤/۵	۳/۱	٤۶	٤۳/٤	۰/۱	۰/۰۹
	اندام هوایی	۲/٤	۱/۹	۶۶/۵	۵۷/۶	۰/۲	۰/۱۵
گل ماهور (Verbascum speciosum)	ریشه	۲۶/۷	۲٤/۱	۱۳۱/۵	۱۲۳/۲	۰/۶	۰/٤۳
	اندام هوایی	۸۹/۲	۸٤/۳	۲۷۵	۲۶۰/۲	۰/۷	۰/۵۶
استپی ریش دار (Stipa barbata)	ریشه	۷۹/۱	۷۲/۶	۲۹۲/۶	۲۷٤/۳	۱	۰/۷
	اندام هوایی	۲۱/۳	۱۸/۷	۹۸/۲	۹۱/۸	۰/۲	۰/۱
گاو چاق کن (Scariola orientalis)	ریشه	۷/۳	۵/۸	٤۵/۲	۳۸/۷	۰/٤	۰/۳
	اندام هوایی	۱۶	۱٤/۵	۶۱/۹	۵٤/۵	۰/۶	۰/٤
فرفیون (Euphorbia macrocephallam)	ریشه	۲۹/۲	۲۷/٤	۸۹/۹	۸۲/۱	۰/۵	۰/۳
	اندام هوایی	۶۵/۷	۶۲/۳	۲۱٤/۳	۲۰۹/۶	۰/۸	۰/۶
چوبک (Aconthophyllum microcephallam)	ریشه	۸/۵	۶/۱	٤۱/۱	۳۵/۱	۰/۳	۰/۱۹
	اندام هوایی	۵۰	٤۷/٤	۱۰۸/۳	۱۰۱/۵	۱/۳	۰/۹
بومادران (Achillea willhelmsii)	ریشه	۲۳/۱	۲۰/۳	۱۲۱/۲	۱۱۶/۸	۲/٤	۱/۹
	اندام هوایی	۱۱۰/۱	۱۰۳/۷	۳۸۷/۶	۳۷٤/۷	۳	۲/۵
کاسنی (Cichorium intybus)	ریشه	۳۵/۱	۳۲/۶	۱۳۳/۵	۱۲۹/۱	۰/۲	۰/۱
	اندام هوایی	۸/۲	۶/۹	٤۶/۶	٤۲/۸	۰/۳	۰/۲
گندم (Triticum sp)	ریشه	۷۵/۸	۷۳/۱	۲۲۷/۶	۲۲۰/۲۶	۱	۰/۸
	اندام هوایی	۱	۰/۷	٤۹	٤۷/۵	۰/۲	۰/۱
سلمه تره (Chenopodium album)	ریشه	۲/۶	۱/۸	۳۲/۳	۲۹/۲	۰/۲	۰/۱
	اندام هوایی	٤	۳/۲	۹۵/۱	۹۲/٤	۰/۱	۰/۷

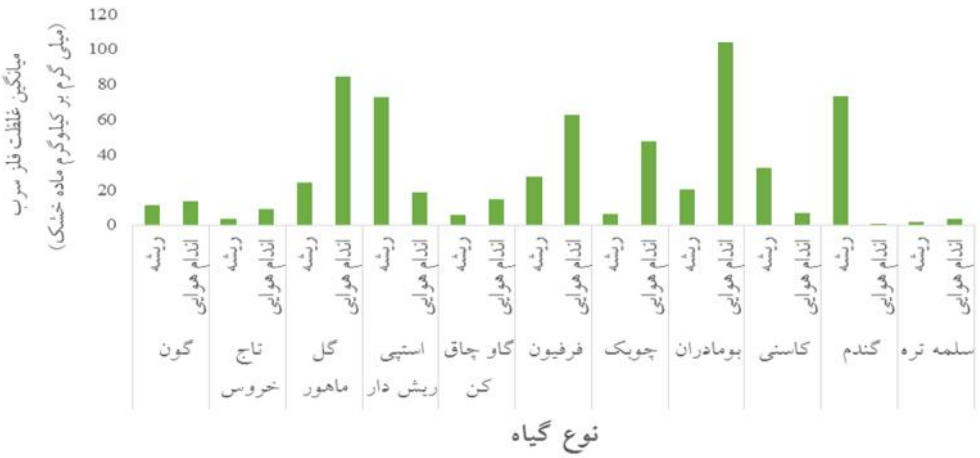
* اعداد بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک است.

www.SID.ir

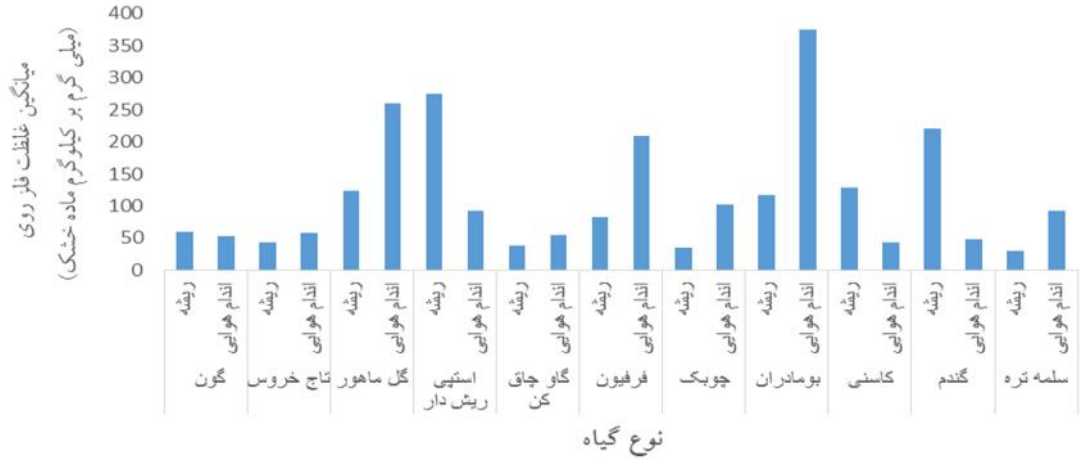
Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

همانطور که در جدول ۱ آمده است، اندام هوایی گیاهان بومادران و ماهور به ترتیب با غلظت ۱۰۳/۷ و ۸٤/۱ بیشترین توانایی جذب عنصر سرب را داشته است. ریشه گندم و استپی ریش‌دار به ترتیب با غلظت جذب ۷۳/۱ و ۷۲/۶ بیشترین قابلیت را در جذب عنصر سنگین سرب دارد (نمودار ۱). بنابراین استفاده از این دو گیاه نیز می‌تواند خاک‌های آلوده به این عنصر را پالایش دهد و استفاده ترکیبی از این دو گیاه می‌تواند در خودپالایی خاک‌های آلوده به فاضلاب حاوی عنصر سرب موثر باشد. اندام هوایی گیاهان بومادران و گل ماهور ریش‌دار به ترتیب با غلظت جذب ۳۷۳/۷ و ۲۶۰/۲ بیشترین توانایی جذب فلز روی را دارا است، ریشه گیاه استپی ریش‌دار و گندم به ترتیب با غلظت جذب ۲۷٤/۳ و ۲۲۰/۲۶ بیشترین قابلیت را در جذب عنصر سنگین روی دارند (نمودار ۲). این امر نشان می‌دهد که اندام هوایی این دو گیاه توانایی بالقوه‌ای در جذب فلز روی دارند و استفاده ترکیبی از این دو گیاه می‌تواند در خودپالایی خاک‌های آلوده به فاضلاب حاوی عنصر روی موثر باشد. اندام هوایی گیاهان بومادران و چوبک به ترتیب با غلظت ۲/۵ و ۰/۹ بیشترین توانایی را در جذب عنصر کادمیوم دارا هستند. اندام هوایی این دو گیاه توانایی بالقوه‌ای در جذب عنصر سنگین کادمیوم دارد و استفاده ترکیبی از این دو گیاه می‌تواند در خودپالایی خاک‌های آلوده به فاضلاب حاوی عنصر کادمیوم موثر باشد.



نمودار ۱. میانگین غلظت فلز سرب در اندام هوایی و ریشه گیاهان آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی



نمودار ۲. میانگین غلظت فلز روی در اندام هوایی و ریشه گیاهان آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

نمودار ۳. میانگین غلظت فلز کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گیاهان آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی

فاکتور انتقال (TF) فلزات سنگین برای گیاهان آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی در جدول ۲ آمده است. بر این اساس در مورد سرب، فاکتور انتقال گون، گاو چاق کن، ماهور، فرفیون، چوبک، بومادران و سلمه تره بیش از یک است. بیشترین فاکتور انتقال مربوط به چوبک و بومادران به ترتیب ۵/۹ و ٤/۸ بوده است. فاکتور انتقال در مورد عنصر کادمیوم در گیاه چوبک به میزان ٤/۳ محاسبه گردید. بیشترین میزان فاکتور انتقال در مورد عنصر روی نیز در چوبک و بومادران بترتیب ٤/٤ و ۳/۲ محاسبه شد. به عبارت دیگر برای گیاه پالایی فلز سرب، چوبک و بومادران بیشترین کارایی و برای تثبیت فلز در ریشه استپی ریش‌دار و گندم بیشترین کارایی را داشتند. برای گیاه پالایی فلز روی، چوبک و بومادران و برای استفاده در فرایند تثبیت فلز، استپی ریش‌دار و گندم بیشترین کارایی را داشتند. در مورد فلز کادمیوم، بومادران و تاج خروس در گیاه پالایی و در تثبیت فلز بومادران موفق تر از سایر گیاهان بوده است.

جدول ۲. فاکتور انتقال فلزات سنگین برای گیاهان آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی

نام و نام علمی گیاه	سرب*	روی	کادمیوم
گون (Astaragalus sp)	۰/۹۶	۰/۵	۰/۹
تاج خروس (Amaranthus retrofiexus)	۰/۳	۱	۱/۵
گل ماهور (Verbascum speciosum)	۲/۸	۱/۶	۰/۸
استپی ریش دار (Stipa barbata)	۰/۱۸	۰/۲	۰/۱٤
گاو چاق کن (Scariola orientalis)	۱/۹	۰/۹	۱
فرفیون (Euphorbia macrocephallam)	۱/۸	۱/۷	۱
چوبک (Aconthophyllum microcephallam)	٤/۲	۳/۱	۳/۶
بومادران (Achillea willhelmsii)	۳/۵	۲/۷	۰/۸
کاسنی (Cichorium intybus)	۰/۱	۰/۱۸	۱
گندم (Triticum sp)	۰/۰۰۸	۰/۱	۰/۱۲
سلمه تره (Chenopodium album)	۱	۱	۰/۳

* اعداد بدون بعد هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲، مشاهده می‌شود که فاکتور انتقال فلز سرب برای گیاهان (آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی) چوبک و بومادران به‌ترتیب ٤/٢ و ٣/٥ بیشترین ضریب انتقال عنصر سرب را داشته‌اند. این امر نشان می‌دهد که این دو گیاه توانایی بالقوه‌ای در انتقال عنصر سنگین سرب دارند و استفاده ترکیبی از این دو گیاه می‌تواند در خودپالایی خاک‌های آلوده به فاضلاب حاوی عنصر سرب موثر باشد. فاکتور انتقال فلز روی برای گیاهان (آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی) چوبک و بومادران به‌ترتیب با غلظت ۳/۱ و ۲/۷ بیشترین غلظت انتقال عنصر روی را داشتند. این امر نشان می‌دهد که این دو گیاه توانایی بالقوه‌ای در انتقال عنصر سنگین روی دارند و استفاده ترکیبی از این دو گیاه می‌تواند در خودپالایی خاک‌های آلوده به فاضلاب حاوی عنصر روی موثر باشد. فاکتور انتقال فلز کادمیوم برای گیاهان (آلوده به فاضلاب صنعت پتروشیمی رازی) چوبک و تاج خروس به ترتیب با غلظت ۳/۶ و ۱/۵ بیشترین غلظت انتقال عنصر کادمیوم را داشتند. این امر نشان می‌دهد که این دو گیاه توانایی بالقوه‌ای در انتقال عنصر سنگین کادمیوم دارند و استفاده ترکیبی از این دو گیاه می‌تواند در خودپالایی خاک‌های آلوده به فاضلاب حاوی عنصر کادمیوم موثر باشد.

فاکتور انتقال فلز سرب برای گیاهان سالم چوبک و بومادران به ترتیب با غلظت ۵/۹ و ٤/٨ بیشترین غلظت انتقال عنصر سرب و همچنین با غلظت ٤/٤ و ۳/۲ بیشترین غلظت انتقال برای عنصر روی را داشتند. این امر نشان می‌دهد که این دو گیاه توانایی بالقوه‌ای در انتقال عنصر سنگین سرب و روی دارند و استفاده ترکیبی از این دو گیاه می‌تواند در خودپالایی خاک‌های آلوده به فاضلاب حاوی عنصر سرب و روی موثر باشد. با توجه به نتایج مندرج شده در جدول ۲ مشاهده می‌شود که فاکتور انتقال فلز کادمیوم برای گیاهان سالم چوبک و تاج خروس به ترتیب با غلظت ٤/٣ و ۲ بیشترین غلظت انتقال عنصر کادمیوم را داشتند. این امر نشان می‌دهد که این دو گیاه توانایی بالقوه‌ای در انتقال عنصر سنگین کادمیوم دارند و استفاده ترکیبی از این دو گیاه می‌تواند در خودپالایی خاک‌های آلوده به فاضلاب حاوی عنصر کادمیوم موثر باشد.

بحث

ریشه بسیاری از گیاهان قادر به حذف فلزاتی مانند کادمیم، سرب، روی نیکل و دیگر فلزات سنگین از آب‌های آلوده است. اکسیژن حاصل از فتوسنتز گیاهان در تصفیه زیستی پساب‌ها موثرند. اصولاً برای داشتن کارایی لازم جهت انجام گیاه پالایی باید میزان تولید زیست توده گیاهی و قدرت جذب فلزات سنگین آن بالا باشد. ضمناً دوره رویشی آن نیز حتی‌الامکان کوتاه باشد. از آن جایی که بسیاری از گیاهان بومی و غیربومی دارای یک یا چند خصوصیت عمده مورد نیاز برای استفاده در گیاه پالایی نیستند، شناخت و مطالعه بیشتر بر روی این روش و راه‌های افزایش کارایی گیاه‌پالایی از اهمیت بالایی برخوردار است (۳۱-۲۹). نتایج حاصل از تجزیه خاک‌های اطراف شرکت کود رازی نشان داد که میزان آلودگی خاک به سرب و کادمیوم و روی بالاتر از حد متوسط این فلزات در خاک‌های دنیا است و این نشان‌دهنده بروز آلودگی‌های زیست محیطی در منطقه و امکان انتقال آن به محصولات غذایی است. بنابراین کاشت و برداشت گیاهان زراعی که مورد استفاده مستقیم انسان می‌باشد، باید با احتیاط بیشتر انجام شود و حتی‌المقدور از کشت آنها خودداری شود. تحقیقات نشان داده برخی از فلزات سنگین مانند کادمیوم بر اثر جذب عناصر غذایی و فتوسنتز، باعث کاهش غذاسازی و تقلیل عملکرد محصولات می‌شود. بر این اساس، کادمیوم مانع از جذب عناصر نیتروژن، فسفر در بذر شد. استفاده از گیاهان در فناوری گیاه پالایی با

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

درنظرگرفتن چند خصوصیت عمده از جمله نسبت فاکتور انتقال بالاتر از یک در اندام هوایی نسبت به ریشه و تولید زیست توده گیاهی بالا عملی می‌باشد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که باتوجه به غلظت پایین برخی فلزات در خاک اطراف شرکت کود رازی، میزان جذب این فلزات در گیاهان نیز کم بوده ولی نسبت فاکتور انتقال فلز کادمیوم، سرب و روی در برخی از گیاهان سالم که در معرض فاضلاب صنعت پتروشیمی کود رازی قرار گرفته بودند، از جمله چوبک به‌ترتیب برابر با ٤/٣، ٥/٩ و ٤/٣ بوده است که این میزان نشانگر مقادیر بالای فاکتور انتقال است. بنابراین این گیاه توانایی بالایی برای جذب فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه دارد. این نتایج با نتایج پژوهش امینی و همکاران (۳۲) مطابقت دارد. همچنین گیاهان چوبک، فرفیون و تاج خروس با داشتن بیشترین میزان فاکتور انتقال فلز سرب، می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای پالایش خاک محسوب شوند. از سوی دیگر فاکتور انتقال فلز روی در چوبک و بومادران بیشتر از سایر گیاهان بود. نتایج پژوهش نشان داد که اندام هوایی گیاهان توانایی زیادی در جذب عناصر سنگین نسبت به ریشه آنها دارند. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش میرغفاری (۲۰) نیز همخوانی دارد. همچنین نتایج پژوهش با نتایج عابدی کوپایی و همکاران (۱۹) هم‌راستا می‌باشد. از تفاوت‌های این پژوهش با پژوهش‌های مذکور، استفاده توام اندام هوایی و ریشه گیاه در جذب عناصر سنگین است که در این تحقیق مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفت. همچنین در این پژوهش به صورت توام از گیاهان سالم و آلوده به فاضلاب جهت بررسی میزان توانایی آنها در جذب عناصر سنگین استفاده شد، ولی در پژوهش‌های انجام شده توسط میرغفاری (۲۰) و عابدی کوپایی و همکاران (۱۹) تنها اندام هوایی گیاهان مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند. همچنین تنوع گیاهان در این پژوهش بیشتر بود و از گیاهان بومی جهت بررسی جذب عناصر سنگین سرب و روی و کادمیوم استفاده شد. باتوجه به نتایج حاصله و میزان آلودگی خاک اطراف شرکت رازی، هیچ یک از گونه‌های بومی شناسایی شده جزو گیاهان بیش‌اندوز طبقه‌بندی نمی‌شوند، اما برخی گونه‌های مورد اشاره دارای ضریب انتقال فلز بیشتر از یک بوده و طبیعتاً می‌توان با انجام مطالعات بیشتر از برخی از این گیاهان جهت احیاءِ پوشش گیاهی در اطراف شرکت کود رازی و مناطق آلوده با رعایت نکات احتیاطی نظیر جلوگیری از تغذیه توسط دام، اقدام نمود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در خصوص جذب زیستی عناصر سنگین سرب و روی و کادمیوم توسط گیاهان بومی اطراف صنعت پتروشیمی کود رازی استان تهران انجام گرفت و در نهایت نتایج نشان داد که اندام هوایی و ریشه گیاهان توانایی زیادی در جذب عناصر سنگین دارند. طبق نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل آزمایشات، مشاهده گردید که گیاه بومادران و ماهور، استپی ریش‌دار، تاج خروس، چوبک و گندم بالاترین میزان جذب عناصر سنگین را داشتند. نتایج پژوهش همچنین نشان داد که گیاهان سالمی که در معرض فاضلاب پتروشیمی قرارگرفته بودند توانایی زیادی نسبت به گیاهان آلوده به فاضلاب در جذب عناصر سنگین داشتند. این امر نشان می‌دهد که استفاده از گیاهان سالم در جذب عناصر سنگین بسیار مفید است، لذا می‌توان گیاهان را در اطراف صنعت مورد نظر کشت داده و جهت تصفیه خاک‌های آلوده به فاضلاب صنعت مورد نظر به کار برد. با توجه به نتایج بدست امده، بیشترین جذب توسط اندام هوایی مربوط به گیاه بودمادران و چوبک؛ و بیشترین جذب توسط ریشه مربوط به گیاهان استپی ریش‌دار و گندم بود. همچنین نتایج نشان داد که گیاهان سلمتره و گاوچاق‌کن کمترین جذب را در اندام‌های هوایی خود داشتند. لیکن گیاه چوبک و بومادران و تاج خروس

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

بیشترین میزان فاکتور انتقال عناصر سنگین را داشتند. این امر نشان می‌دهد که این دو گیاه بیشتر توسط اندام‌های خود عناصر سنگین را جذب می‌کنند. همچنین نتایج نشان داد که گیاهان استپی ریش دار و گندم کمترین فاکتور انتقال عناصر سنگین از ریشه به اندام هوایی خود را داشتند. این امر نشان‌دهنده این است که برخی گیاهان بیشتر توسط اندام هوایی و برخی بیشتر توسط ریشه خود عناصر سنگین را جذب می‌کنند. همچنین اندام برخی از گیاهان نسبت به جذب برخی عناصر سنگین قابلیت بیشتری داشته و بالعکس نسبت به برخی عناصر سنگین قابلیت کمتری دارند. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که برای پالایش خاک‌های آلوده به فاضلاب عناصر سنگین و همچنین تصفیه زیستی عناصر سنگین از فاضلاب صنعت پتروشیمی کود رازی بایستی این گیاهان بصورت ترکیبی استفاده شوند تا قابلیت جذب و تصفیه بالا برود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کارشناسان صنعت پتروشیمی رازی که صمیمانه در انجام این پژوهش همکاری کردند، اساتید محترم گروه مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی و افرادی که صبورانه و صادقانه در پژوهش شرکت نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1- Chowdhury S, Jafar Mazumder M.A, Al-Attas O, Husain T. Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. Science of the Total Environment. 2016; 569-570: 476-488.

2- Huang J, Yuan F, Zeng G, Li X, Gu Y, Shi L, Liu W, Shi Y. Influence of pH on heavy metal speciation and removal from wastewater using micellar-enhanced ultrafiltration. Chemosphere. 2017; 173: 199-206.

3- Xia Z, Baird L, Zimmerman N, Yeager M. Heavy metal ion removal by thiol functionalized aluminum oxidehydroxide nanowhiskers. Applied Surface Science. 2017; 416: 565–573.

4- Hasanzadeh R, Moghadam P.N, Bahri-Laleh N, Sillanpaa M. Effective removal of toxic metal ions from aqueous solutions: 2-Bifunctional magnetic nanocomposite base on novel reactive PGMA-MAn copolymer@Fe3O4 nanoparticles. Journal of Colloid and Interface Science. 2017; 490: 727–746.

5- Fatehi MH, Shayegan J, Zabihi M. A review of methods for removing heavy metal from aqueous media.Iranian Journal of Ecohydrology. 2018; 5(3): 855-874

6- Shokrian F, Solaimani K, Nematzadeh Gh, Biparva P, Feasibility of water salinity reduction by rice husk and shell as bio sorbent. Journal of Irrigation and Water Engineering. 2017; 7(3): 93-106

7- PourMoghaddam, H, Zafarzadeh, A, The Effect of Chemical Fertilizers on Increase of Cadmium, Lead and Zinc Concentration in Isfahan Agricultural Fields, Journal of Environmental Health Engineering. 2016; 4(2): 126-138. [In Persian]

8- Aoshima K. Itai-itai disease: Renal tubular osteomalacia induced by environmental exposure to cadmium-historical review and perspectives. Soil Science and Plant Nutrition. 2016; 62(4): 319-326.

9- Ahmady-Asbchin, S, Bahrami, AM, Nickel biosorption by immobilized of Bacillus sp. from aqueous solutions. Advances in Environmental Biology. 2011;7: 1656-1662.

10- Fan H.L, Zhou S.F, Jiao W.Z, Qi G.S, Liu Y.Z. Removal of heavy metal ions by magnetic chitosan nanoparticles prepared continuously via high-gravity reactive precipitation method. Carbohydrate Polymers. 2017; 174: 1192–1200.

11- Azimi A, Azari A, Rezakazemi M, Ansarpour M. Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review. ChemBioEng Reviews. 2017; 4(1): 1–24.

12- Kadirvelu, K, Kavipriva, M, Karthika, C, Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions, Bioresource Technology. 2012; 87(1):129-132.

13- Taseidifar M, Makavipour F, Pashley R.M, Mokhlesur Rahman A.F.M. Removal of heavy metal ions from water using ion flotation. Environmental Technology & Innovation. 2017; 8: 182–190.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir at 9:09 IRST on Tuesday January 19th 2021

14- Tran T.K, Chiu K.F, Lin C.Y, Leu H.J. Electrochemical treatment of wastewater: Selectivity of the heavy metals removal process. International Journal of Hydrogen Energy. 2017; 42(45): 27741-27748.
15- Lu H, Wang Y, Wang J. Recovery of Ni^{2+} and pure water from electroplating rinse wastewater by an integrated two-stage electrodeionization process. Journal of Cleaner Production. 2015; 92: 257-266.
16- Moini, M, The Role of Plants in Water and Wastewater Removal, Second National Seminar on the Management of Wastewater in Water Resources Management. 2011 [In Persian]
17- Nabi_Bidandi Gh, Aghajani Yasini A, Zahedi A., Abbasi M, Biosorbent Use in Heavy Metal Removal from Wastewater, Second National Conference on Water and Wastewater Operation Approach, Tehran University of Water and Power Engineering, Water Engineering Company Country wastewater. 2008 [In Persian]
18- Emamjoumeh, MM, Jamali, HA, Moradnia M, Mousavi Sh, Karimi, Z, Sanitary Wastewater Treatment Using Combined Anaerobic and Phytoremediation Systems, Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2016; 26(138): 140-150[In Persian]
19- AbediKopai J, Matin N, Javaheri_Tehrani M, Adsorption of Cadmium by Three King, Lettuce and Tomato Plants in Cadmium Contaminated Soil, Science and Technology of Greenhouse Culture, Sixth Year. 2015; 21. [In Persian]
20- Mirghafari N, Investigation of Pb Concentration in a Number of Natural Plant Species around Irankuh Lead and Zinc Mine in Isfahan ", Journal of Resources 2015, 58(3): 635-642 [In Persian]
21- Eslami1 A, Nemati R, Removal of Heavy metal from aqueous environments using Bioremediation technology – review, Journal of Health in the Field. 2005; 3(2):44-54.[In Persian]
22- Ojedokun A.T, Bello O.S. Sequestering heavy metals from wastewater using cow dung. Water Resources and Industry. 2016; 13: 7–13.
23- Edward W. Wilde, John R. Beneman, Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae, Biotechnology Advances. 2018; 11(4):781-812.
24-Niknam MS, Shahbazi Af, Farajloo J, Application and Efficiency of Agricultural Wastes in Removing Heavy Metals and Dyes from Water and Wastewater: Optimal Absorption Studies, Journal of Human and Environmental Issues. 2014; 31:24-38. [In Persian]
25-Taty C, Fauduet, H, Porte C, Delacroix A, Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of Pinus sylvestris, Journal of Hazardous Materials. 2010; 105(1-3):121-142.
26- Vunain E, Mishra A.K, Mamba B.B. Dendrimers, mesoporous silicas and chitosan-based nanosorbents for the removal of heavy-metal ions: a review. International Journal of Biological Macromolecules. 2016; 86: 570–586.
27- Markovic S, Stankovic A, Lopicic Z, Lazarevic S, Stojanovic M, Uskokovic D. Application of raw peach shell particles for removal of methylene blue. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2015; 3: 716-724.
28- Mahdavi A, Khermandar Kh, Ahmady-Asbchin S, and Tabaraki R, Lead accumulation potential in Acacia victoriae. International Journal of Phytoremediation. 2014; 16 (4): 582–592.
29- Peng W, Li H, Liu Y, Song S. A review on heavy metal ions adsorption from water by graphene oxide and its composites. Journal of Molecular Liquids. 2017; 230: 496–504.
30- Gerbino E, Carasi P, Araujo-Andrade C, Elizabeth Tymczyszyn E, Gomez-Zavaglia A. Role of S-layer proteins in the biosorption capacity of lead by Lactobacillus kefir. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2015; 31: 583–592.
31- Fatehi M.H, Shayegan J, Zabihi M, Goodarznia I. Functionalized magnetic nanoparticles supported on activated carbon for adsorption of Pb (II) and Cr(VI) ions from saline solutions. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2017; 5: 1754-1762.
32- Amini FL, Mirghafari N, Eshghi_Malayeri, B, Investigation of nickel concentration of soil and number of natural plant species around lead and zinc mine in blacksmiths in Hamadan province, Environmental Science and Technology. 2008; 13(1) [In Persian]

www.SID.ir