

## بررسی آلودگی زدایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، یک پژوهش موردی

رامین سلماسی<sup>۱\*</sup>

[raminsalmasi@yahoo.com](mailto:raminsalmasi@yahoo.com)

حمیدرضا پیروان<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۲۰

### چکیده

**زمینه و هدف:** آبیاری زمین‌های زیر کشت سبزی‌های خوراکی به وسیله پساب‌های آلوده، موجب می‌شود که فلزات سنگین در این گیاهان انباشته شوند. تثبیت فلزات سنگین در محل با استفاده از اصلاح‌گرهای معدنی، روشی است که برای کاهش جذب فلزات به‌وسیله گیاهان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، در پژوهش حاضر، بررسی کارآیی پنج نوع اصلاح‌گر معدنی، برای تثبیت فلزات سنگین خاک‌های کشاورزی اطراف شهرستان تبریز که با پساب‌های آلوده آبیاری می‌شوند، مد نظر بوده است.

**روش بررسی:** به نیم گرم از پنج اصلاح‌گر کلسیت، ایلیت، همتایت، زئولیت و بنتونیت و ۱۰ نمونه خاک برداشت‌شده از خاک‌های واقع در شمال غرب شهرستان تبریز، محلول‌های حاوی عناصر کادمیوم، سرب، نیکل، مس و روی اضافه شد. بعد از دو ساعت قرار دادن در دستگاه تکان‌دهنده، غلظت این پنج عنصر در محلول‌های صاف شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. با استفاده از آزمون دانکن، مقایسه میانگین‌ها انجام و در نهایت، اصلاح‌گرهای بهینه در این رابطه مشخص شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد تفاوت آشکاری بین مواد اصلاح‌گر از لحاظ میزان جذب پنج عنصر وجود دارد، به‌طوری‌که بیشترین میزان جذب عناصر کادمیوم، نیکل و روی مربوط به کلسیت؛ بیشترین میزان جذب عناصر سرب و مس مربوط به همتایت و برای هر پنج عنصر کمترین میزان جذب مربوط به ایلیت بوده است. کلسیت، زئولیت، بنتونیت و همتایت ظرفیت جذب بالاتر معنی‌داری در سطح پنج درصد برای عناصر کادمیوم، نیکل و روی نسبت به تمام خاک‌های مورد آزمایش داشتند. در مورد سرب، بالاترین میزان جذب با استفاده از اصلاح‌گرهای کلسیت و همتایت (بدون تفاوت معنی‌دار با همدیگر) انجام شد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** کلسیت، همتایت و زئولیت بالاترین میزان جذب مس را داشتند، در حالی که بیشترین میزان جذب این عنصر در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار با دو ماده اصلاحی دیگر، بوسیله همتایت انجام گرفت. کلسیت و همتایت مشترک بین پنج اصلاح‌گر بودند که در صورت اضافه شدن به ۱۰ نمونه خاک مورد آزمایش، توانستند باعث افزایش معنی‌دار (در سطح پنج درصد) ظرفیت جذب پنج آلاینده کادمیوم، مس، روی، نیکل و سرب شوند و بدین وسیله کاهش جذب عناصر یاد شده در گیاهان زیر کشت مناطق کشاورزی اطراف شهرستان تبریز را موجب شوند.

**واژه‌های کلیدی:** آلاینده، پاک‌سازی، تثبیت، خاک، کارآیی.

۱- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران\* (مسوول مکاتبات).

۲- دانشیار گروه مهندسی پژوهشی حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

## **Investigating the Remediation of Soils Polluted with Heavy Metals as a Case Study**

**Ramin Salmasi**<sup>1\*</sup>

[raminsalmasi@yahoo.com](mailto:raminsalmasi@yahoo.com)

**Hamid Reza Pyrowan**<sup>2</sup>

Admission Date: September 11, 2012

Date Received: April 8, 2012

### **Abstract**

**Background and Objective:** Irrigation of the vegetables by polluted wastewater leads to accumulation of heavy metals in these plants. Heavy metals fixation in-situ using inorganic amendments is a method for reducing heavy metals absorption by plants. The goal of this study is to determine the efficiency of five types of amendments in heavy metals fixation in the waste-water-irrigated soils around Tabriz city.

**Method:** For this purpose, solutions containing Cd, Pb, Cu, Ni, and Zn were added to 0.5 g of five amendments including calcite, hematite, zeolite, illite, and bentonite and to 10 soil samples taken from the northwest of Tabriz city. After shaking for 2 hours, concentration of these five elements in the solutions filtered by atomic absorption instrument was determined. The mean percentages of these elements were compared and the best amendments were determined by Duncan method.

**Findings:** There were significant differences among the amendments in terms of heavy metals retention. Calcite had the highest Cd, Ni, and Zn absorption capacities; hematite had the highest Cu and Pb absorption capacities; and illite had the least absorption capacity for the five elements. Calcite, zeolite, bentonite, and hematite showed a significantly higher Cd, Ni, and Zn absorption capacity (5%) as compared to the 10 soil samples. The highest Pb absorption capacity by calcite and hematite (without significant differences) were observed.

**Discussion and Conclusion:** Calcite, hematite, and zeolite had the highest absorption of Cu. However, the highest absorption of Cu belonged to hematite with a significant difference of 5% as compared to the other two amendments. Among the five amendments, calcite and hematite showed a similar results and led to a significant increase in absorption capacity (by 5%) for the five pollutants when added to the 10 studied soil samples. These amendments led to the reduced absorption and accumulation of the mentioned elements in the plants cultivated in the agricultural lands around Tabriz city.

**Keywords:** Fixation, Remediation, Soil, Pollutant, Efficiency

---

1-Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran\*(Corresponding Author).

2-Associate Professor, Soil and Water Engineering Research Department, Soil Conservation and Watershed Management Institute, Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tehran, Iran

## مقدمه

کاربرد پساب‌های شهری و صنعتی در خاک‌های کشاورزی، باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود. همچنین، این پساب‌ها منبع با ارزشی از مواد آلی و عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف بشمار می‌روند (۱). با این وجود، پساب‌ها شامل آلاینده‌هایی نظیر فلزات سنگین، ترکیبات آلی ناخواسته و پاتوژن‌ها و دیگر مواد زیان آور هستند که کاربرد آن‌ها را در زمین‌های کشاورزی محدود می‌کند (۲) در میان این عوامل، اغلب مقدار فلزات سنگین در خاک است که تعیین کننده اصلی محدودیت کاربرد پساب‌ها در خاک‌های کشاورزی بشمار می‌رود (۳).

روش‌های کنونی پاک‌سازی خاک‌های آلوده علاوه بر پرهزینه بودن، ممکن است خطرات اضافی برای کاربران داشته باشند و نیز پسماندهای ثانویه تولید نمایند. یکی از راه‌های مهار فلزات سنگین، استقرار و تثبیت آن‌ها در محل بر اساس کاهش تحرک و ایزوله نمودن آن‌ها بوسیله کاربرد مواد اصلاح کننده، می‌باشد. مواد اصلاح‌گر این توانایی را دارند که از تحرک و فراهمی فلزات در خاک، به‌وسیله فرآیندهایی مانند جذب سطحی، رسوب، تشکیل کمپلکس یا ترکیبی از این فرآیندها، بکاهدند (۲). در نتیجه این کار، اثرات زیان بار فلزات سنگین بر روی پذیرنده‌های محیط زیست مانند ریز جانداران، گیاهان، حیوانات و منابع آب کاهش می‌یابد. یافته‌های پژوهشی در رابطه با کارایی اصلاح‌گرهای بوکسیت، زئولت طبیعی و آهک در تثبیت سرب، کادمیوم و روی در خاک‌های آلوده (۴) نشان داد افزودن این اصلاح‌گرها در سطح پنج درصد باعث کاهش حلالیت فلزات سنگین شده است. اضافه شدن واکنش خاک‌ها به عنوان ساز و کار اصلی این بی تحرک‌سازی در موارد آهک و بوکسیت ارزیابی شد. در یک آزمایش گلخانه‌ای در خصوص نقش آهک، کمپوست و اکسید روی بر روی کاهش جذب کادمیوم به وسیله گندم (۵) نتایج نشان داد هر سه این اصلاح‌گر به طور معنی‌داری منجر به کاهش جذب کادمیوم به وسیله گندم شد. از غلظت کادمیوم قابل حل، می‌توان غلظت این عنصر را در گیاه گندم پیش‌بینی نمود. در بررسی ظرفیت جذب فلزات سنگین

به وسیله کانی‌های گوناگون، گارسیا سانچز و همکاران (۶) به این نتیجه رسیدند که زئولیت مصنوعی توانایی بالایی در نگهداشت کاتیون‌های یک و دو ظرفیتی دارد. یافته‌های پژوهش کلویکا و آدریانو (۷) بر روی چهار نوع خاک به منظور بررسی اثر کانی‌های زئولیت و آپاتیت بر روی کادمیوم، سرب و روی در بافت ذرت نشان داد میزان سرب در برگ‌های این گیاه کاهش ۵۰ درصدی نشان داد و در خاک تیمار شده با آپاتیت، کادمیوم به میزان ۲۰ درصد کاهش داشت. اثر افزودن زئولیت مصنوعی بر روی میزان کادمیوم در کاه (۸) منجر شد که میزان این عنصر در برگ‌ها و ریشه‌های آن به ترتیب ۸۵ و ۴۵ درصد کاهش پیدا کند. جلیلی و جلالی (۹) نشان دادند تیمار آهک به طور موثری باعث کاهش تحرک مس و سرب شده است و علت آن را مربوط به افزایش واکنش خاک حاصل از اضافه شدن آهک گزارش نمودند. بسیاری از خاک‌های زیرکشت سبزیجات منطقه شمال غرب شهر تبریز، به دلیل کمبود منابع آب با پساب‌های شهری و صنعتی بخش‌های گوناگون این شهر آبیاری می‌شوند. در بعضی از اراضی زیرکشت، از لجن این پساب‌ها به عنوان کود بهره‌گیری می‌شود. پیامد کاربرد این پساب‌ها و لجن آن‌ها، انباشت فلزات سنگین در خاک‌های این مناطق می‌باشد (۱۰) که با توجه به جذب این فلزات به‌وسیله گیاهان که به‌طور عمده سبزیجات خوراکی را شامل می‌شود، می‌تواند گیاهان را به این آلاینده‌ها آلوده سازد. برای کاهش مخاطرات زیست محیطی ناشی از آلودگی فلزات سنگین در این خاک‌ها، لازم است روش‌های ارزان قیمت پاک‌سازی خاک که مناسب برای کاربرد در خاک‌های سطحی بوده و باعث تخریب ساختمان و حاصل‌خیزی خاک نشود، بکارگرفته شود. در پژوهش حاضر، هدف این است که بر اساس بررسی‌های آزمایشگاهی، کارایی اصلاح‌گرهای معدنی گوناگون برای جذب فلزات سنگین موجود در خاک‌ها تعیین شود. اصلاح‌گری که جذب بالاتری از آلاینده‌ها را داشته باشد، به وسیله گیاهان کمتر جذب می‌شود و به این ترتیب زیان کمتری متوجه آن‌ها و مصرف کنندگان خواهد شد. برای این منظور از خاک‌های

آبیاری شده با پساب موجود در اطراف شهرستان تبریز استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

از مناطق کشاورزی واقع در شمال غرب شهرستان تبریز (منطقه اسپیران)، ۱۰ نمونه خاک از قسمت‌های سطحی (۵-۱۵ سانتی متر) هر نمونه به میزان حدود دو کیلوگرم که زیر کشت نبود، ولی در مجاورت اراضی زیرکشت قرار داشت، برداشت شد. بر اساس نقشه خاک منطقه، خاک‌های آن منطقه حالت همگنی داشتند و تغییرات کمی در آن‌ها وجود داشت، در نتیجه به ۱۰ نمونه خاک اکتفا شد. در آزمایشگاه بر روی نمونه‌های خاک آزمایش‌های واکنش خاک در گل اشباع با بکارگیری دستگاه پی‌اچ متر، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش باور، میزان آهک به روش تیتراسیون و میزان مواد آلی به روش وایکلی بلک انجام شد (۱۱ و ۱۲). بعد از آن، از روش‌های آزمایشگاهی برای تعیین ظرفیت جذب فلزات سرب، کادمیوم، نیکل، روی و مس با استفاده از اصلاح‌گرهای مختلف و نمونه‌های خاک، استفاده شد. به این صورت که نیم‌گرم از اصلاح‌گرهای معدنی آهک، زئولیت، اکسیدهای آهن، اکسید منگنز، بنتونیت و نمونه‌های خاک برداشت شده از زمین‌های مختلف در پنج تکرار درون فلاسک ریخته شد و به آن‌ها، ۵۰ میلی لیتر محلول یک هزارم مولار از عناصر سرب، کادمیوم، نیکل، مس و روی اضافه شد. غلظت‌های یاد شده معادل در حدود ۵۰ سال آبیاری با آب آلوده این مناطق می‌باشد که بر اساس غلظت متوسط از پیش اندازه‌گیری شده، محاسبه شده است. بعد از این که نمونه‌ها در تکان دهنده رفت و برگشتی به مدت دو ساعت قرار گرفت، از صافی عبور داده شده و غلظت این عناصر با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin Elmer مدل ۵۶۰ با دقت در حد پی‌پی‌ام اندازه‌گیری شد. اختلاف بین میزان کل فلز اضافه شده و میزان اندازه‌گیری شده در محلول صاف شده، مقدار جذب فلز را نشان می‌دهد که به صورت درصد محاسبه شد.

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شد. با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف، وضعیت نرمال بودن توزیع داده‌ها (درصد جذب فلزات بوسیله پنج نوع اصلاح‌گر و ۱۰ نمونه خاک) بررسی شد و از طریق آنالیز واریانس، اختلاف تیمارها بررسی شد. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار، با استفاده از آزمون دانکن مقایسه میانگین تیمارها انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری واکنش خاک، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و مقادیر آهک و مواد آلی ۱۰ نمونه خاک برداشت شده از منطقه در جدول (۱) ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشخص است، خاک‌های مورد استفاده در این بررسی از لحاظ ویژگی‌ها، متنوعند. واکنش آن‌ها در بازه قلیایی ضعیف تا قلیایی، هدایت الکتریکی از ۰/۱۹ تا ۰/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر، ظرفیت تبادل کاتیونی از ۱۲/۵ تا ۲۴/۷ سانتی‌مول بر کیلوگرم، میزان کربنات کلسیم معادل از ۱۲۰ تا ۲۳۵ گرم بر کیلوگرم و میزان مواد آلی از ۱۷/۱ تا ۳۷/۵ سانتی‌مول بر کیلوگرم متغیر است. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های میزان جذب عناصر، از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد همه داده‌ها در سطح پنج درصد دارای توزیع نرمال می‌باشند. در جدول (۲)، مقایسه میانگین داده‌های آزمایش درصد جذب فلزات با استفاده از پنج نوع اصلاح‌گر و ۱۰ نمونه خاک مورد آزمایش ارائه شده است. همان‌گونه که داده‌های این جدول نشان می‌دهد، بیشترین میزان جذب عناصر کادمیوم، نیکل و روی با تفاوت معنی‌دار (در سطح پنج درصد) نسبت به سایر اصلاح‌گرها با استفاده از کلسیت انجام شده است. در مورد سرب و مس، بیشترین جذب، هماتیت بوده است. داده‌های جدول (۲) به صورت نمودار در شکل (۲) که درصد جذب کادمیوم، نیکل، سرب، روی و مس توسط خاک‌ها و اصلاح‌گرها را نشان می‌دهد، ارائه شده است.

جدول ۱ - برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد آزمایش

Table 1. Some physico-chemical properties of studied soils

شماره خاک	واکنش خاک	رسانندگی الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار بر کیلوگرم)	ماده آلی (درصد)	کربنات کلسیم معادل (گرم بر کیلوگرم)
۱	۹/۱	۰/۳	۲۰/۲	۳۷/۵	۲۰۰
۲	۸/۷	۰/۴	۱۴/۴	۲۷/۳	۱۵۰
۳	۹/۴	۰/۲	۱۹/۷	۱۳/۶	۱۷۰
۴	۹/۴	۰/۴	۲۲/۲	۳۰/۸	۱۶۰
۵	۹/۴	۰/۲	۲۱/۷	۱۷/۱	۱۲۰
۶	۸/۹	۰/۲	۱۲/۵	۲۳/۹	۱۴۰
۷	۹/۲	۰/۲	۲۴/۷	۲۷/۳	۱۸۵
۸	۹/۳	۰/۲	۲۲/۲	۱۸/۸	۱۷۸
۹	۹/۴	۰/۵	۲۱/۰	۱۷/۲	۲۱۰
۱۰	۹/۵	۰/۲	۲۳/۱	۲۰/۵	۲۳۵

جدول ۲-مقایسه میانگین داده های آزمایش درصد جذب فلزات بوسیله پنج نوع اصلاح گر و ۱۰ نمونه خاک

Table 2. Comparison of mean data of metals adsorption percentage by five amendments and 10 soil samples

مقایسه میانگین ها					اصلاح گر و نمونه خاک
روی	مس	نیکل	سرب	کادمیوم	
۹۴/۷ <sup>ab</sup> ۲±/۱	۸۲/۵ <sup>bc</sup> ۰±/۶	۷۸/۰ <sup>a</sup> ۰±/۰	۸۴/۰ <sup>a</sup> ۲±/۶	۹۱/۰ <sup>a*</sup> ۱±/۰	کلسیت
۹۱/۷ <sup>ab</sup> ۲±/۱	۸۵/۰ <sup>bc</sup> ۱±/۱	۶۷/۷ <sup>c</sup> ۱±/۱	۷۰/۰ <sup>c</sup> ۲±/۱	۸۶/۷ <sup>b</sup> ۲±/۵	زئولیت
۹۳/۳ <sup>ab</sup> ۰±/۶	۷۴/۰ <sup>d</sup> ۱±/۲	۷۵/۰ <sup>b</sup> ۱±/۰	۷۴/۰ <sup>b</sup> ۳±/۰	۷۳/۰ <sup>ef</sup> ۳±/۰	بنتونیت
۸۶/۷ <sup>cd</sup> ۳±/۲	۷۰/۰ <sup>e</sup> ۰±/۳	۵۶/۷ <sup>gh</sup> ۱±/۵	۵۵/۳ <sup>e</sup> ۴±/۰	۷۱/۰ <sup>fg</sup> ۲±/۶	اپلیت
۹۱/۷ <sup>b</sup> ۰±/۶	۹۰/۵ <sup>a</sup> ۰±/۲	۷۵/۳ <sup>b</sup> ۱±/۱	۶۴/۳ <sup>d</sup> ۲±/۵	۹۲/۷ <sup>a</sup> ۲±/۱	هماتیت
۸۶/۳ <sup>d</sup> ۲±/۹	۸۵/۰ <sup>bc</sup> ۱±/۵	۵/۰ <sup>h</sup> ۱±/۰	۴۴/۰ <sup>i</sup> ۲±/۶	۸۷/۷ <sup>b</sup> ۰±/۶	۱
۷۶/۰ <sup>g</sup> ۳±/۵	۸۱/۳ <sup>d</sup> ۰±/۲	۵۷/۳ <sup>gh</sup> ۲±/۱	۴۸/۰ <sup>h</sup> ۱±/۰	۸۵/۳ <sup>b</sup> ۳±/۰	۲
۷۱/۱ <sup>h</sup> ۲±/۱	۸۵/۰ <sup>bc</sup> ۲±/۱	۵۷/۰ <sup>gh</sup> ۱±/۰	۳۸/۳ <sup>j</sup> ۰±/۶	۷۹/۷ <sup>c</sup> ۱±/۵	۳
۷۰/۳ <sup>h</sup> ۱±/۵	۷۷/۰ <sup>e</sup> ۱±/۳	۵۵/۰ <sup>h</sup> ۲±/۰	۵۱/۳ <sup>fgh</sup> ۰±/۶	۶۷/۳ <sup>h</sup> ۰±/۶	۴
۷۰/۱ <sup>h</sup> ۱±/۵	۷۶/۶ <sup>e</sup> ۰±/۴	۶۳/۳ <sup>d</sup> ۱±/۰	۵۱/۳ <sup>fgh</sup> ۱±/۵	۶۸/۶ <sup>gh</sup> ۱±/۵	۵
۷۸/۳ <sup>fg</sup> ۱±/۵	۷۳/۰ <sup>e</sup> ۰±/۵	۵۹/۳ <sup>ed</sup> ۲±/۱	۴۷/۷ <sup>gh</sup> ۱±/۵	۷۱/۷ <sup>gh</sup> ۱±/۱	۶
۶۹/۰ <sup>h</sup> ۱±/۰	۷۹/۵ <sup>fg</sup> ۱±/۲	۶۱/۰ <sup>de</sup> ۰±/۶	۵۴/۰ <sup>ef</sup> ۱±/۰	۷۵/۳ <sup>de</sup> ۱±/۵	۷
۹۰/۰ <sup>bc</sup> ۱±/۰	۸۳/۱ <sup>d</sup> ۲±/۱	۶۱/۳ <sup>de</sup> ۰±/۶	۵۴/۰ <sup>ef</sup> ۱±/۰	۷۵/۳ <sup>de</sup> ۱±/۵	۸
۸۱/۰ <sup>ef</sup> ۲±/۰	۶۵/۴ <sup>ef</sup> ۰±/۳	۵۸/۳ <sup>ef</sup> ۰±/۶	۵۲/۰ <sup>efg</sup> ۱±/۰	۷۱/۳ <sup>fg</sup> ۰±/۶	۹
۸۲/۰ <sup>e</sup> ۲±/۶	۶۶/۰ <sup>ef</sup> ۲±/۱	۵۷/۳ <sup>fgh</sup> ۲±/۱	۵۵/۷ <sup>e</sup> ۱±/۰	۷۱/۰ <sup>fg</sup> ۱±/۰	۱۰

در جذب پنج عنصر، هم به ویژگی‌های سطح جذب کننده و هم به خصوصیات یون در فاز محلول بستگی دارد. از ویژگی‌های سطح جذب کننده می‌توان نوع مکان های تبدالی (پرانرژی در مقایسه با کم انرژی)، تراکم بار الکتریکی در واحد سطح، مکان فضائی بار الکتریکی، امکان تشکیل کمپلکس‌های سطحی محیط داخلی از طریق ایجاد پیوندهای کووالانس با سطح و از خصوصیات یون در فاز محلول می‌توان درصد عنصر به صورت کمپلکس محلول و نوع این کمپلکس‌ها و شعاع یونی عنصر را نام برد (۱۴).

یافته‌های ریپیکا و همکاران (۱۵) نیز نشان داد عناصر کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی بر روی سطوح مونتموریلونیت جذب بالاتری نسبت به دو کانی ایلیت و پایدلیت داشته‌اند که با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد. همچنین، زیون و همکاران (۱۶) برای جذب این پنج عنصر بر روی سطوح دارای بار دائمی مونتموریلونیت، ترتیب  $Pb > Cu > Ni = Zn = Cd$  را بدست آوردند. در حالی که برای سطوح حاوی بار موقت این کانی، ترتیب  $Pb >> Cu > Zn > Cd > Ni$  را ارائه نمودند.

در مورد هماتیت، افزایش جذب سرب نسبت به کادمیوم و نیکل، به تمایل بیشتر سرب برای جذب بر روی سطوح اکسیدهای فلزات نسبت به کادمیوم و نیکل ربط داده شده است. تمایل زیاد سرب به جذب بر روی سطوح اکسیدهای فلزات ناشی از ثابت هیدرولیز بالای آن و در نتیجه تمایل زیاد این عنصر به هیدرولیز می‌باشد (۱۷). افزایش جذب نیکل نسبت به کادمیوم با استفاده از بنتونیت توسط پالس و هنریچ (۱۸) گزارش شده است. افزایش جذب سرب نسبت به کادمیوم بر روی سطوح ایلیت در یافته‌های پژوهش زاپارو و میلر (۱۹) آمده است.

### جذب عناصر سنگین به وسیله خاک‌ها و مواد

#### اصلاح‌گر

یافته‌های جدول (۱) نشان می‌دهد کلسیت، زئولیت، بنتونیت و هماتیت دارای ظرفیت جذب بالاتر معنی‌دار در سطح پنج درصد برای عناصر کادمیوم، نیکل و روی نسبت به تمام خاک-

های مورد آزمایش می‌باشند. در بین این چهار اصلاح‌گر، کلسیت بالاترین ظرفیت جذب را دارد. ولی ظرفیت جذب ایلیت تفاوت چندانی با خاک‌ها ندارد. بنابراین، می‌توان مطرح نمود که افزودن چهار ماده اصلاحی یاد شده به تمام ۱۰ نوع خاک مورد آزمایش، افزایش ظرفیت جذب کادمیوم، نیکل و روی این خاک‌ها را باعث می‌شود و بیشترین افزایش مربوط به کلسیت است که با یافته‌های فریمن و همکاران (۲۰) مطابقت دارد.

آهک اضافه شده به خاک‌های آلوده با کادمیوم، منجر به کاهش ۷۵ درصدی این عنصر در ریشه‌های جو و ۵۰ درصد کاهش در ریشه‌های توتون شد (۲۱). علاوه بر آن، میزان سرب نیز در گیاهان یاد شده کاهش معنی‌داری پیدا نمود. در پژوهش دیگری، محققین یادشده، نقش آهک را در کاهش جذب سرب موجود در گیاهان جو و توتون بدست آوردند. اضافه کردن ایلیت تأثیری در افزایش جذب این خاک‌ها نداشت.

در مورد سرب، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد بالاترین میزان جذب به وسیله اصلاح‌گرهای کلسیت و هماتیت (بدون تفاوت معنی‌دار با همدیگر) انجام شده است. کلسیت، هماتیت و زئولیت بالاترین میزان جذب مس را داشته، در حالی که بیشترین میزان جذب این عنصر با اختلاف معنی‌دار با دو ماده اصلاحی دیگر، به وسیله هماتیت انجام شده است. کربنات‌ها و اکسیدهای آهن اصلاح‌گرهای اساسی برای تثبیت مس در خاک‌ها طبق پژوهش کامپیت و همکاران (۲۲) شمرده شدند و ساز و کارهای نگهداشت این عنصر را رسوب کربنات‌ها و هیدروکسیدهای مس، تبادل یونی و تشکیل کمپلکس بر روی سطوح هیدروکسیدهای آهن، دانستند. در یک پژوهش گلخانه-ای برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده به مس و کادمیوم (۲۳) مشخص شد ترکیبی از اکسید آهن و کمپوست در کاهش جذب مس به وسیله جو موثر بوده است. همین ترکیب و نیز مخلوط زئولیت و اکسید آهن برای کاهش جذب کادمیوم در این گونه خاک‌ها، نقش بسزایی داشته است.

اخوت و همکاران (۲۴) نقش معنی‌دار بنتونیت طبیعی را در جذب سرب و کادمیوم موجود در خاک‌های آلوده، نشان دادند. در مورد نقش زئولیت در توانایی تثبیت کنندگی بالای عناصر،

2. Sherameti, I. 2006. Soil heavy metals, Springer Verlag.
3. Iskandar, I.J. 1989. Environmental restoration of metal contaminated soils, CRC Press.
4. Garau, L. 2002. In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: chemical assessment. *Env. Poll.*, 118:435-443.
5. Tse-Ming, L. 2004. Effect of chemical amendments on the concentration of Cd and Pb in long-term contaminated soils. *Chemosphere*, 57: 1459-1471.
6. Garcia-Sanchez, A., A. Alastuey and X. Querol. 1999. Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of polluted soils. *Sci. Total Env.*, 242:179-188.
7. Chlopeka, B. and N. Adriano. 1997. Effects of amendments on heavy metal contents in maize. *Soil Sci.*, 140:230-237.
8. Gworek, B. 1992. Lead inactivation in soils by zeolite. *Plant Soil*, 143:71-79.
9. Jalili, A., M. Jalali. 2009. Effects of organic and Chemical amendments on reduction of heavy metals transport in a polluted soil. *11h Soil Sci. Con.*, 23-26 (In Persian).
10. Taghipour, H. 2009. Investigation of soil pollution of around of Tabriz city. Final report of Health and Nutrition Faculty, Medical Sci. of Tabriz university (In Persian).
11. Page, A.L., R. H. Miller, D.R. Keeny, D.E. Baker and J.D. Roads. 1965. Methods of soil analysis, Part 1. 2ed, Agronomy Monog. 9, ASA, Madison, WI.
12. Klute, A., D.R. Nielson and R.D. Jackson. 1965. Methods of soil analysis, Part 2. 2ed, Agronomy Monog. 9, SA, Madison, WI.
13. Zachara J.M., C.E. Cowan and C.T. Resch. 1991. Sorption of divalent metals

یافته‌های کورول و همکاران (۲۵) نقش زئولیت را در کاهش آبشویی کادمیوم، مس، نیکل و روی نشان داد که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. در پژوهش حمیدپور و همکاران (۲۶)، در خصوص تحرک و فراهمی عناصر سرب و کادمیوم در گیاه ذرت نشان داده شد غلظت این دو عنصر در ریشه‌ها و ساقه‌های ذرت موقعی که در بستر زئولیتی رشد یافته‌اند، کمتر از موقعی است که در بستر بنتونیتی بودند. در نتیجه توانایی جذب سرب و کادمیوم به وسیله زئولیت بیشتر از بنتونیت بود. یافته‌های پژوهش محمود آبادی و همکاران (۲۷) در ارزیابی گلخانه‌ای کاهش سمیت سرب با کاربرد زئولیت بر روی گیاه سویا نشان داد کاربرد سرب تنها در خاک، باعث افزایش معنی-دار غلظت این عنصر در گیاه و کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره و کاربرد توام سرب و زئولیت، کاهش معنی‌دار غلظت سرب و افزایش وزن خشک ریشه و شاخساره شد. همچنین، گارسیاسانچز و همکاران (۶) نیز تاثیر زئولیت در خروج آلاینده‌های کاتیونی از خاک‌های آلوده را نشان دادند. یافته‌های پژوهشی جوورک (۸) نقش زئولیت مصنوعی در کاهش میزان کادمیوم در ۸۵ درصد از برگ‌های کاهو و ۴۵ درصد ریشه‌های این گیاه را به اثبات رساند.

در مجموع، می‌توان مطرح نمود در بین پنج اصلاح‌گر مورد استفاده در این پژوهش، کلسیت و هماتیت مشترک بین این پنج اصلاح‌گر هستند که در صورت اضافه شدن به ۱۰ نوع خاک مورد آزمایش در این پژوهش (در حدود ۱۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، می‌توانند باعث افزایش ظرفیت جذب در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار پنج فلز کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی در این خاک‌ها شوند. بدین وسیله کاهش جذب و انباشت عناصر یاد شده در گیاهان زیر کشت مناطق کشاورزی اطراف شهرستان تبریز را موجب شده و از مخاطرات ناشی از انباشت این فلزات می‌کاهند.

## Reference

1. Prasad, M.N.V. 2008. Trace elements as contaminated and nutrients, Wiley & Sons, Inc.

- mimicked in situ remediation study of metal contaminated soils with emphasis on cadmium and lead. *J. Environ. Qual.*, 23:58-63.
22. Kumpiene, J., A. Lagerkvist and C. Maurice. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments- A review. *Waste Mana.*, 12:215-225.
23. Gadepalle, V.P. 2009. Remediation of Cu and Cd in contaminated soils using compost with inorganic amendments. *Water, Air, Soil Poll.*, 196:355-368.
24. Okhovvat, A., J. Mohammady. 2009. Investigation of bentonite effect in Pb and Cd adsorption. 11h *Soil Sci. Con.*, 40-43 (In Persian).
25. Querol, X., A. Alastuey and N. Moreno. 2006. Immobilization of heavy metals in polluted soils by addition of zeolite material. *Chemosphere*, 62:171-180.
26. Hamidpour, M., M. Afyuni, M. Kalbasi, A.H. khoshgoftarmanes and V.J. Inglezakis. 2010. Mobility and plant availability of Cd and Pb adsorbed on zeolite and bentonite. *Applied Clay Science*, 48:342-348 (In Persian).
27. Mahmoodabady, M. R., B. Atarody, Gh. Hadarabady, M. H. Sabery. 2009. 11h *Soil Sci. Con.*, 77-80 (In Persian).
- on calcite. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 55:1549-1562.
14. Sposito, G. 1989. *The Chemistry of soils*, Oxford University Press.
15. Rybicka, E,W. Calmano and A. Breeger. 1995. Heavy metals sorption/desorption on competing clay minerals. *Applied Clay Science*, 9:369-381.
16. Xueyuan G. J. Evans, and S. J. Barabash, 2010. Modeling the adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn onto montmorillonite. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 74:5718-5728.
17. Chubin, R.G. 1981. Adsorption of Pb onto soil constituents. *J. Env. Qual.*, 10:225-228.
18. Puls, R.W. and L.B. Hinrich. 1998. Sorption of Cd, Ni, and Zn by kaolinite and montmorillonite suspensions. *SSSA*, 25:1289-1292.
19. Zapparro, M. and K. Miller. 2001. Lead, cadmium and calcium selectivity coefficients on montmorillonite, kaolinite and illite. *J. Env. Qual.*, 3:250-252.
20. Freedman, Y.E., M. Magaritz and G.L. Long,. 1994. Interaction of metals with mineral surfaces in natural groundwater environment. *Chemical Geology*, 116:111-121.
21. Mench, M.J., V.L. Didier, M. Löffler, A. Gomez and P. Masson. 1994. A