



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی



## نقش مواد معدنی گوناگون بر کاهش جذب کادمیوم، سرب، نیکل، مس و روی به وسیله گیاهان زیرکشت زمین‌های آبیاری شده با پساب‌های آلوده

رامین سلماسی<sup>۱\*</sup>، آریتا بهبهانی‌نیا<sup>۲</sup>، علیرضا استاد رحیمی<sup>۳</sup>

- ۱- بخش تحقیقات آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
- ۲- گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، رودهن، ایران
- ۳- گروه تغذیه، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

### اطلاعات مقاله: چکیده

**زمینه و هدف:** تثبیت فلزات سنگین در محل با به‌کارگیری مواد معدنی، روشی است که برای کاهش پویایی این فلزات بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس در پژوهش حاضر، کارایی پنج نوع مواد معدنی برای تثبیت فلزات سنگین خاک‌های کشاورزی اطراف شهرستان تبریز که با پساب‌های آلوده آبیاری می‌شوند بررسی شده است.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۱۸  
تاریخ ویرایش: ۹۸/۰۴/۱۰  
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۵  
تاریخ انتشار: ۹۸/۰۶/۱۳

**روش بررسی:** به  $0.5\text{ g}$  از پنج ماده کلسیت، ایلیت، هماتیت، زئولیت و بنتونیت و ۱۰ نمونه خاک برداشت شده از خاک‌های واقع در شمال غرب شهرستان تبریز، محلول‌های حاوی عناصر کادمیوم، سرب، نیکل، مس و روی اضافه شد. بعد از قرار دادن محلول‌ها در دستگاه شیکر، غلظت این پنج عنصر در محلول‌های صاف شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین‌ها با بهره‌گیری از آزمون دانکن انجام گرفت.

**واژگان کلیدی:** تثبیت، انباشت، پویایی، جذب، کارایی

**یافته‌ها:** بیشترین میزان جذب عناصر کادمیوم (۹۱ درصد)، نیکل (۷۸ درصد) و روی (۹۴/۷ درصد) مربوط به کلسیت، بیشترین میزان جذب عناصر سرب (۹۴/۳ درصد) و مس (۹۰/۵ درصد) مربوط به هماتیت و برای هر پنج عنصر کمترین میزان جذب مربوط به ایلیت بوده است. کلسیت، زئولیت، بنتونیت و هماتیت نسبت به خاک‌های مورد آزمایش ظرفیت جذب بالاتر و معنی‌داری برای عناصر کادمیوم، نیکل و روی داشتند.

**نتیجه‌گیری:** از بین مواد معدنی مورد بررسی، کلسیت و هماتیت دو ماده معدنی بودند که در صورت اضافه شدن به ۱۰ نمونه خاک مورد آزمایش، توانستند باعث افزایش معنی‌دار ظرفیت جذب عناصر کادمیوم، مس، روی، نیکل و سرب شوند و بدین‌وسیله کاهش جذب و انباشت عناصر یاد شده در گیاهان زیرکشت مناطق کشاورزی اطراف شهرستان تبریز را موجب شوند.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

raminsalmasi@yahoo.com

## مقدمه

پس از آب و هوا، خاک سومین بخش عمده محیط زیست به شمار می‌رود و افزون بر این که پایگاه موجودات خشک‌زی به‌ویژه جوامع انسانی است، محیط منحصر به فردی برای زندگی انواع حیات به‌ویژه گیاهان به‌شمار می‌رود (۱). خاک به سه شیوه بر روی سلامت انسان و جانوران تاثیر می‌گذارد: نخست، توانایی ایجاد مسمومیت مستقیم انسان و جانوران به وسیله خاک آلوده است. این اثر پیامد فعالیت‌های صنعتی، کاربرد نادرست یا رهاسازی ترکیبات شیمیایی کشاورزی، ترکیبات شیمیایی صنعتی یا زباله‌های پرتوزا است. دوم، با دامنه گسترده‌تر رابطه بین سلامتی خاک و انسان/جانور که اثر غیرمستقیم است، اثری است که خاک بر روی کیفیت آب و هوا دارد. سومین اثر خاک بر روی سلامتی انسان و جانور، که مانند اثر پیشین غیرمستقیم است، اثر بر روی کیفیت گیاهانی است که مورد تغذیه آنها قرار می‌گیرند. علت این اثر ممکن است حضور عواملی مانند فلزات سنگین و آفت‌کش‌ها یا نبود تعادل ترکیبات تغذیه‌ای گیاه مانند ویتامین‌ها، پروتئین‌ها و عناصر معدنی باشد (۲، ۳). جهت مهار افت کیفیت خاک ناشی از فلزات سنگین، از شیوه‌های بهسازی منابع آب و خاک بهره‌گیری می‌شود. یکی از این شیوه‌ها، کاربرد مواد شیمیایی جهت کاهش پویایی آلاینده‌های فلزی است. کاهش پویایی یک نوع فرایند پاک‌سازی به‌شمار می‌رود که فلزات سنگین زهری خیلی پویا را به‌شکل پایدار از جنبه فیزیکی - شیمیایی تغییر می‌دهد و به موجب آن از پویایی و آسیب زیست‌محیطی آنها می‌کاهد (۴).

کارساز بودن برخی از فرآورده‌های شیمیایی برای کاهش پویایی آلاینده‌هایی مانند فسفر، ازت، فلزات سنگین و کربن آلی توسط پژوهشگران ارزیابی شده است (۵-۸). انتخاب افزودنی‌های شیمیایی، به فراهمی، نوع آلاینده و قیمت آن وابسته است (۹). با در نظرگیری قیمت به عنوان عامل اصلی، به‌کارگیری مواد فرعی صنعتی یا زائدات صنعتی که از کارخانه‌های منطقه‌ای هم هستند، گزینه مناسبی است. کاربرد این زائدات صنعتی برای اهداف پالایش این بهره را نیز دارد که موجب کاهش مواد دربرگیرنده این آلاینده‌ها می‌گردد

(۱۰). فرآورده‌های گوناگون آهن، کلسیم و آلومینیوم‌دار جهت کاهش پویایی آلاینده‌هایی مانند فسفر، کربن آلی و فلزات سنگین و نیز جهت پایدار کردن خاک و بهبود وضعیت تغذیه‌ای کاربرد دارند (۱۱، ۱۲).

جهت بررسی نقش اصلاح‌گرهای معدنی بنتونیت، پومیس، زئولیت و لیکا جهت تثبیت درجای کادمیوم و سرب، Sefidgar Shahkolahi (۱۳) به این نتیجه رسید کاربرد سطح پنج درصد زئولیت موجب بیشترین کاهش غلظت کادمیوم در برگ، ساقه و ریشه ذرت گردیده است. Eivazi (۱۴) جهت کاهش پویایی کروم موجود در خاک با بهره‌گیری از اکسید آهن و منگنز، به این نتیجه رسید کارایی این روش ۵۸/۷۷ درصد بوده است. یافته‌های پژوهشی در رابطه با کارایی افزودنی‌های بوکسیت، زئولیت طبیعی و آهک در تثبیت سرب، کادمیوم و روی در خاک‌های آلوده (۱۵)، نشان داد افزودن آنها در سطح پنج درصد باعث کاهش حلالیت فلزات سنگین شده است. کاهش اسیدیته خاک‌ها به‌عنوان ساز و کار اصلی این کاهش پویایی در موارد آهک و بوکسیت ارزیابی شد. در یک آزمایش گلخانه‌ای در خصوص نقش آهک، اکسید روی و کمپوست بر روی کاهش جذب کادمیوم به‌وسیله گندم (۱۶)، یافته‌ها نشان داد هر سه این مواد افزودنی به‌طور معنی‌داری منجر به کاهش جذب کادمیوم به‌وسیله گندم شده است و از غلظت کادمیوم محلول در خاک، غلظت این عنصر در گیاه گندم قابل پیش‌بینی بود. در بررسی ظرفیت جذب فلزات سنگین به وسیله کانی‌های گوناگون، Garcia-Sanchez و همکاران (۱۷) به این نتیجه رسیدند که زئولیت مصنوعی توانایی بالایی در نگهداشت کاتیون‌های یک و دو ظرفیتی دارد. یافته‌های پژوهش Chlopeka و همکار (۱۸) 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 داشته است و در خاک تیمار شده با آپاتیت، کادمیوم به میزان ۲۰ درصد کاهش داشت. اثر افزودن زئولیت مصنوعی بر روی میزان کادمیوم در کاه (۱۹) منجر شد که میزان این عنصر در برگ‌ها و ریشه‌های آن به

قسمت‌های سطحی (۵-۱۵ cm) که زیر کشت قرار نداشتند با این وجود در مجاورت زمین‌های زیر کشت بودند، برداشت شد. براساس نقشه خاک منطقه، خاک‌های این 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 به کارگیری دستگاه pH متر (۲۱)، رسانندگی الکتریکی در عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج (۲۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش Bower (۲۳)، میزان آهک به روش تیتراسیون (۲۴) و میزان مواد آلی به روش Walkley و Black (۲۵) انجام شد. بعد از آن، از روش‌های آزمایشگاهی برای تعیین ظرفیت جذب مواد معدنی و نمونه‌های برای فلزات سرب، کادمیوم، نیکل، روی و مس خاک بهره گرفته شد. به این صورت که ۰/۵ g از مواد معدنی شامل آهک، زئولیت، اکسیدهای آهن، اکسید منگنز، بنتونیت و نمونه‌های خاک در پنج تکرار درون فلاسک ریخته شد و به آنها mL ۵۰ محلول ۰/۰۱ M از عناصر سرب، کادمیوم، نیکل، مس و روی اضافه گردید. این غلظت‌ها به‌طور تقریبی معادل ۵۰ سال آبیاری با آب آلوده این مناطق است که براساس غلظت میانگین از پیش اندازه‌گیری شده محاسبه گردیده است. بعد از اینکه نمونه‌ها در شیکر رفت و برگشتی به مدت h ۲ قرار گرفتند، از صافی عبور داده شده و غلظت عناصر با بکارگیری دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. اختلاف بین میزان کل فلز اضافه شده و میزانی که در محلول صاف شده اندازه‌گیری گردیده است، مقدار جذب فلز را نشان می‌دهد و به‌صورت درصد محاسبه شد.

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS, 25 انجام گردید. با بهره‌گیری از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، وضعیت نرمال بودن توزیع داده‌ها (درصد جذب فلزات بوسیله پنج نوع ماده و ۱۰ نمونه خاک) بررسی شد. پس از اطمینان از وضعیت نرمال بودن داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها با انجام آزمون دانکن برای جذب پنج فلز سنگین بین مواد معدنی و خاک‌ها و با تجزیه واریانس یک‌طرفه اختلاف تیمارها بررسی شد.

ترتیب ۸۵ و ۴۵ درصد کاهش پیدا کند. Jalili و همکار (۲۰) نشان دادند تیمار آهک به‌طور موثری باعث کاهش پویایی مس و سرب شده است و دلیل آن را افزایش واکنش خاک حاصل از اضافه شدن آهک مربوط دانسته‌اند. یکی از مناطقی که غلظت بالای فلزات سنگین در خاک‌های آنجا ناشی از کاربرد پساب‌های آلوده است و می‌تواند سبزیجاتی را که در آن خاک کشت می‌شوند را با مخاطراتی مواجه سازد منطقه شمال غرب شهر تبریز است.

بسیاری از خاک‌های زیر کشت سبزیجات منطقه شمال غرب شهر تبریز به دلیل کمبود منابع آب، با پساب‌های شهری و صنعتی بخش‌های گوناگون این شهر آبیاری می‌شوند. در برخی از خاک‌های زیر کشت، از لجن این پساب‌ها به‌عنوان کود بهره‌گیری می‌شود. پیامد کاربرد این پساب‌ها و لجن آنها، انباشت فلزات سنگین در خاک‌های این مناطق است 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، به کار گرفته شود.

در پژوهش حاضر، هدف این است که براساس بررسی‌های آزمایشگاهی، کارایی مواد معدنی گوناگون برای جذب فلزات سنگین موجود در خاک‌ها تعیین شود. ماده معدنی که جذب بالاتری از آلاینده‌ها را داشته باشد، به‌وسیله گیاهان کمتر جذب می‌شود و به‌این ترتیب زیان کمتری متوجه آنها و مصرف‌کنندگان خواهد شد. برای این منظور از خاک‌های آبیاری شده با پساب‌های آلوده موجود در اطراف شهرستان تبریز بهره‌جویی شد.

## مواد و روش‌ها

از مناطق کشاورزی واقع در شمال غرب شهرستان تبریز (منطقه اسپیران) ۱۰ نمونه خاک به‌طور تصادفی از

## یافته‌ها

یافته‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری واکنش خاک، رسانندگی الکتریکی، توانایی دادوستد کاتیونی و مقادیر آهک و مواد آلی ۱۰ نمونه خاک برداشت شده از منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است، خاک‌های مورد استفاده در این بررسی از لحاظ ویژگی‌ها متنوعند. واکنش آنها در بازه قلیایی ضعیف تا قلیایی، رسانندگی الکتریکی از ۰/۱۹ تا ۰/۵۶ ds/m، توانایی دادوستد کاتیونی از ۱۲/۵ تا ۲۴/۷ cmol<sup>+</sup>/kg، میزان کربنات کلسیم معادل از ۳۷/۵ g/kg تا ۱۲۰ g/kg و میزان مواد آلی از ۱۷/۱ تا ۳۷/۵ 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

هستند.

در جدول ۲، مقایسه بین پنج نوع ماده معدنی و ۱۰ نمونه خاک مورد آزمایش در میانگین درصد جذب فلزات ارائه شده است. همان‌گونه که داده‌های این جدول نشان می‌دهد، بین مواد معدنی از لحاظ میزان جذب پنج عنصر، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. به‌طوری‌که کلسیت بیشترین میزان جذب عناصر کادمیوم (۹۱ درصد)، نیکل (۷۸ درصد) و روی (۹۴/۷ درصد)؛ هماتیت بیشترین میزان جذب عناصر سرب (۹۴/۳ درصد) و مس (۹۰/۵ درصد) و برای هر پنج عنصر، کمترین میزان جذب مربوط به ایلیت بوده است. در این پژوهش، بیشترین میزان جذب بر روی کلسیت بین سه عنصر کادمیوم، نیکل و روی، مربوط به روی بوده است و بعد از آن کادمیوم قرار دارد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

| شماره خاک | واکنش خاک | رسانندگی الکتریکی (ds/m) | توانایی دادوستد کاتیونی (cmol <sup>+</sup> /kg) | ماده آلی (g/kg) | کربنات کلسیم معادل (g/kg) |
|-----------|-----------|--------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| ۱         | ۹/۱       | ۰/۳                      | ۲۰/۲                                            | ۳۷/۵            | ۲۰۰/۰                     |
| ۲         | ۸/۷       | ۰/۴                      | ۱۴/۴                                            | ۲۷/۳            | ۱۵۰/۰                     |
| ۳         | ۹/۴       | ۰/۲                      | ۱۹/۷                                            | ۱۳/۶            | ۱۷۰/۰                     |
| ۴         | ۹/۴       | ۰/۴                      | ۲۲/۲                                            | ۳۰/۸            | ۱۶۰/۰                     |
| ۵         | ۹/۴       | ۰/۲                      | ۲۱/۷                                            | ۱۷/۱            | ۱۲۰/۰                     |
| ۶         | ۸/۹       | ۰/۲                      | ۲۱/۷                                            | ۱۷/۱            | ۱۲۰/۰                     |
| ۷         | ۹/۲       | ۰/۲                      | ۲۴/۷                                            | ۲۷/۳            | ۱۸۵/۰                     |
| ۸         | ۹/۳       | ۰/۲                      | ۲/۲۲                                            | ۱۸/۸            | ۱۸۷/۰                     |
| ۹         | ۹/۴       | ۰/۵                      | ۲۱/۰                                            | ۱۷/۲            | ۲۱۰/۰                     |
| ۱۰        | ۹/۵       | ۰/۲                      | ۲۳/۱                                            | ۲۰/۵            | ۲۳۵/۰                     |

جدول ۲- مقایسه پنج نوع ماده معدنی و ۱۰ نمونه خاک در میانگین درصد جذب فلزات مورد آزمایش

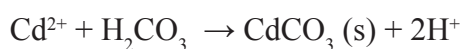
| مقایسه میانگین‌ها        |                          |                          |                          |                          | ماده معدنی و نمونه |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| روی                      | مس                       | نیکل                     | سرب                      | کادمیوم                  | خاک                |
| ۹۴/۷ <sup>a</sup> ± ۲/۱  | ۸۲/۵ <sup>a</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              |
| ۸۱/۷ <sup>b</sup> ± ۲/۱  | ۸۵/۰ <sup>a</sup> ± ۱/۱  | ۶۷/۷ <sup>b</sup> ± ۱/۱  | ۷۰/۰ <sup>b</sup> ± ۲/۱  | ۸۶/۷ <sup>b</sup> ± ۲/۵  | زنولیت             |
| ۸۳/۳ <sup>b</sup> ± ۰/۶  | ۷۴/۰ <sup>ab</sup> ± ۱/۲ | ۶۵/۰ <sup>b</sup> ± ۱/۰  | ۷۴/۰ <sup>bc</sup> ± ۳/۰ | ۷۳/۰ <sup>c</sup> ± ۳/۰  | بتونیت             |
| ۸۶/۷ <sup>b</sup> ± ۳/۲  | ۷۰/۰ <sup>b</sup> ± ۰/۳  | ۵۶/۷ <sup>c</sup> ± ۱/۵  | ۵۵/۳ <sup>c</sup> ± ۴/۰  | ۷۱/۰ <sup>c</sup> ± ۲/۶  | ایلیت              |
| ۸۱/۷ <sup>b</sup> ± ۰/۶  | ۹۰/۵ <sup>c</sup> ± ۰/۲  | ۷۵/۳ <sup>a</sup> ± ۱/۱  | ۹۴/۳ <sup>d</sup> ± ۲/۵  | ۸۲/۷ <sup>b</sup> ± ۲/۱  | هماتیت             |
| ۸۶/۳ <sup>b</sup> ± ۲/۹  | ۸۵/۰ <sup>a</sup> ± ۱/۵  | ۵۰/۰ <sup>c</sup> ± ۱/۰  | ۴۴/۰ <sup>c</sup> ± ۲/۶  | ۸۷/۷ <sup>b</sup> ± ۰/۶  | ۱                  |
| ۷۶/۰ <sup>bc</sup> ± ۳/۵ | ۸۱/۳ <sup>a</sup> ± ۰/۲  | ۵۷/۳ <sup>c</sup> ± ۲/۱  | ۴۸/۰ <sup>e</sup> ± ۱/۰  | ۸۵/۳ <sup>b</sup> ± ۳/۰  | ۲                  |
| ۷۱/۱ <sup>c</sup> ± ۲/۱  | ۸۵/۰ <sup>a</sup> ± ۲/۱  | ۵۷/۰ <sup>c</sup> ± ۱/۰  | ۵۸/۳ <sup>f</sup> ± ۰/۶  | ۷۹/۷ <sup>bc</sup> ± ۱/۵ | ۳                  |
| ۷۰/۳ <sup>c</sup> ± ۱/۵  | ۷۷/۰ <sup>ab</sup> ± ۱/۳ | ۵۵/۰ <sup>c</sup> ± ۲/۰  | ۵۱/۳ <sup>ef</sup> ± ۰/۶ | ۶۷/۳ <sup>d</sup> ± ۰/۶  | ۴                  |
| ۷۰/۱ <sup>c</sup> ± ۱/۵  | ۷۶/۶ <sup>ab</sup> ± ۰/۴ | ۶۳/۳ <sup>b</sup> ± ۱/۰  | ۵۱/۳ <sup>ef</sup> ± ۱/۵ | ۶۸/۶ <sup>d</sup> ± ۱/۵  | ۵                  |
| ۷۸/۳ <sup>bc</sup> ± ۱/۵ | ۷۳/۰ <sup>ab</sup> ± ۰/۵ | ۵۹/۳ <sup>bc</sup> ± ۲/۱ | ۴۷/۷ <sup>e</sup> ± ۱/۵  | ۷۱/۷ <sup>c</sup> ± ۱/۱  | ۶                  |
| ۶۹/۰ <sup>c</sup> ± ۱/۰  | ۷۹/۵ <sup>ab</sup> ± ۱/۲ | ۶۱/۰ <sup>bc</sup> ± ۰/۶ | ۵۴/۰ <sup>ef</sup> ± ۱/۰ | ۷۵/۳ <sup>c</sup> ± ۱/۵  | ۷                  |
| ۸۰/۰ <sup>b</sup> ± ۱/۰  | ۸۳/۱ <sup>a</sup> ± ۲/۱  | ۶۱/۳ <sup>bc</sup> ± ۰/۶ | ۵۴/۰ <sup>ef</sup> ± ۱/۰ | ۷۵/۳ <sup>c</sup> ± ۱/۵  | ۸                  |
| ۸۱/۰ <sup>b</sup> ± ۲/۰  | ۶۵/۴ <sup>d</sup> ± ۰/۳  | ۵۸/۳ <sup>bc</sup> ± ۰/۶ | ۵۲/۰ <sup>ef</sup> ± ۱/۰ | ۷۱/۳ <sup>c</sup> ± ۰/۶  | ۹                  |
| ۸۲/۰ <sup>b</sup> ± ۲/۶  | ۶۶/۰ <sup>d</sup> ± ۲/۱  | ۵۷/۳ <sup>bc</sup> ± ۲/۱ | ۵۵/۷ <sup>ef</sup> ± ۱/۰ | ۷۱/۰ <sup>c</sup> ± ۱/۰  | ۱۰                 |

\*اعدادی که دارای دست کم یک حرف یکسان باشند در پایه آماری ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

### بحث

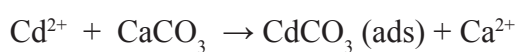
#### مقایسه مواد اصلاحی در جذب عناصر:

جذب بالای کادمیوم به وسیله کلسیت نسبت به سایر اصلاح گرها به این علت است که این عنصر علاوه بر جذب شیمیایی، بر روی سطوح کلسیت به صورت زیر رسوب تشکیل می دهد (واکنش (۱) (۲۶):



(۱)

واکنش جذب شیمیایی که در اثر آن یون کادمیوم جانشین یون کلسیم در سطوح کریستالی کلسیت می گردد نیز به صورت زیر است (واکنش (۲):



(۲)

نتایج پژوهش Zachara و همکاران (۲۷) جذب بالای عناصر کادمیوم، نیکل و روی را بر روی سطوح کلسیت نشان داد و بالاترین میزان جذب مربوط به عنصر روی بود. اکسیدهای آهن مانند هماتیت به دلیل داشتن وسعت سطح فعال و بالا و بی‌شکل بودن، برای جذب و ناپویاسازی فلزات سنگین مناسب هستند (۲۸، ۲۹). 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 است (۳۰). یافته‌های Rybicka و همکاران (۳۱) نشان داد عناصر کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی بر روی سطوح مونتموریلونیت جذب بالاتری نسبت به دو کانی ایلیت و بایدلیت داشته‌اند که با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد. همچنین، Xueyuan و همکاران (۳۲) برای جذب این پنج عنصر بر روی سطوح دارای بار دائمی مونتموریلونیت، ترتیب  $Pb > Cu > Ni = Zn = Cd$  را به دست آوردند. در حالی که برای سطوح حاوی بار موقت این کانی، ترتیب  $Pb >> Cu > Zn > Cd > Ni$  را ارائه نمودند. افزایش جذب نیکل نسبت به کادمیوم با استفاده از بنتونیت توسط Puls و همکار (۳۳) گزارش شده است. افزایش جذب سرب نسبت به کادمیوم بر روی سطوح ایلیت در یافته‌های پژوهش Zaparro و همکار (۳۴) آمده است.

#### مقایسه خاک‌ها در جذب عناصر:

کربنات کلسیم به نسبت بالا در خاک‌های مورد آزمایش باعث شده است که واکنش خاک‌ها کلیایی شود (جدول ۱). کمترین میزان این ویژگی، در خاک‌های پنج و شش دیده می‌شود و همین عامل باعث شده است که نسبت به سایر خاک‌ها جذب کمتر عناصر مورد بررسی، در این دو خاک دیده شود. آهک باعث افزایش جذب فلزات از طریق کاهش غلظت یون هیدروژن و بالا رفتن یون‌های بار منفی می‌شود. رسوب فلزهای سنگین اثر دیگر افزایش واکنش خاک ناشی از آهک است (۳۵). کربن آلی محلول خاک‌ها می‌توانند نقش مهمی در پویاسازی

سرب داشته باشند (۳۶). خاک شماره ۱ نسبت به سایر خاک‌ها دارای مواد آلی بالاتری است که باعث گردیده است با پویاسازی سرب، کمترین (با اختلاف معنی‌دار) میزان جذب سرب را نسبت به سایر خاک‌ها داشته باشد.

بالتر بودن توانایی دادوستد کاتیونی (به عبارت دیگر ظرفیت بافری بالا) در خاک شماره ۷ نسبت به سایر خاک‌ها، باعث شده است که با وجود آهک و مواد آلی بالا در این خاک، فلزات سنگین جذب بالایی نسبت به سایر خاک‌ها نداشته باشند. همین موضوع در خاک شماره ۹ دیده می‌شود که در آن رسانندگی الکتریکی به نسبت بالا باعث کاهش اثر آهک در جذب فلزات گردیده است (۳۷).

آهک اضافه شده به خاک‌های آلوده به کادمیوم، منجر به کاهش ۷۵ درصدی این عنصر در ریشه‌های جو و ۵۰ درصدی کاهش در ریشه‌های توتون شد. علاوه بر آن، میزان سرب نیز در گیاهان یاد شده کاهش معنی‌داری پیدا نمود (۳۸). در پژوهش دیگری (۳۹) نقش آهک در کاهش جذب سرب موجود در گیاهان جو و توتون به دست آورده شد. اضافه کردن ایلیت تأثیری در افزایش جذب این خاک‌ها نداشت.

در مورد سرب، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد بالاترین میزان جذب به وسیله افزودنی‌های 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 افزودنی دیگر، به وسیله هماتیت انجام شده است. کربنات‌ها و اکسیدهای آهن افزودنی‌های اساسی برای تثبیت مس در خاک‌ها طبق پژوهش Kumpiene و همکاران (۴۰) شمرده شدند که سازوکارهای نگهداشت این عنصر را رسوب کربنات‌ها و هیدروکسیدهای مس، تبادل یونی و تشکیل کمپلکس بر روی سطوح هیدروکسیدهای آهن دانسته‌اند. در یک پژوهش گلخانه‌ای برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده به مس و کادمیوم (۴۱) 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 چهار ماده افزودنی 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 Freedman و همکاران (۴۶) هم‌راستا است.

### نتیجه‌گیری

در بین پنج ماده معدنی مورد استفاده در این پژوهش، کلسیت و هماتیت مشترک بین این پنج ماده معدنی هستند که در صورت اضافه شدن به ۱۰ نوع خاک مورد آزمایش در این پژوهش (در حدود ۱۰,۰۰۰ kg/ha)، می‌توانند باعث افزایش ظرفیت جذب در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار برای فلزات کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی این خاک‌ها شوند و 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 بکاهند.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی نقش اصلاح‌گرهای معدنی مختلف در کاهش مخاطرات آلاینده‌های فلزی زمین‌های کشاورزی پذیرنده پساب‌های آلوده واقع در اطراف شهرستان تبریز" مصوب دانشکده بهداشت و تغذیه دانشگاه تبریز با کد ۶۲۸۰۹ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی تبریز اجرا شده است.

### References

1. Pierce FJ, Frye W. *Advances in Soil and Water Conservation*. New York: Taylor and Francis; 2018.
2. Adriano D. *Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks*

این گونه خاک‌ها نقش بسزایی داشته است. Okhovvat و همکاران (۴۲) نقش معنی‌دار بنتونیت طبیعی را در جذب سرب و کادمیوم موجود در خاک‌های آلوده نشان دادند. در مورد نقش زئولیت در توانایی تثبیت‌کنندگی بالای عناصر، یافته‌های Querol و همکاران (۴۳) نقش زئولیت را در کاهش آبشویی کادمیوم، مس، نیکل و روی نشان دادند که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. در پژوهش Hamidpour و همکاران (۴۴)، 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 Mahmodabadi و همکاران (۴۵) در ارزیابی گلخانه‌ای کاهش سمیت سرب با کاربرد زئولیت بر روی گیاه سویا نشان داد کاربرد سرب تنها در خاک، باعث افزایش معنی‌دار 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، Garcia-Sanchez و همکاران (۱۹) نیز تاثیر زئولیت در خروج آلاینده‌های کاتیونی از خاک‌های آلوده را نشان دادند. یافته‌های پژوهشی Gworek (۱۷) نقش زئولیت مصنوعی در کاهش میزان کادمیوم در ۸۵ درصد از برگ‌های کاهو و ۴۵ درصد ریشه‌های این گیاه را به اثبات رساند.

یافته‌های جدول ۲ نشان می‌دهد کلسیت، زئولیت، بنتونیت و هماتیت دارای ظرفیت جذب بالاتر و معنی‌دار در سطح ۵ درصد برای عناصر کادمیوم، نیکل و روی نسبت به تمام خاک‌های مورد آزمایش هستند. در بین این چهار ماده، کلسیت بالاترین ظرفیت جذب را دارد. ولی ظرفیت جذب ایلیت تفاوت چندان زیادی با خاک‌ها ندارد. از این رو می‌توان مطرح نمود که افزودن

- of Metals. New York: Springer-Verlag. 2001.
3. Osman K. *Management of Soil Problems*. New York: Springer; 2018.
4. Kabata-Pendias A, Pendias H. *Trace Elements in*

- Soils and Plants. Boca Raton: CRC Press; 2015.
5. Agyei N, Strydom C, Potgieter J. The removal of phosphate ions from aqueous solution by fly ash, slag, ordinary Portland cement and related blends. *Cement and Concrete Research*. 2002;32(3):1889-97.
  6. Alvarez-Ayuso E. Palygorskite as a feasible amendment to stabilize heavy metal polluted soils. *Environmental Pollution*. 2003;125(2):337-44.
  7. Alvarez-Ayuso E. Sepiolite as a feasible soil additive for the immobilization of cadmium and zinc. *Science of the Total Environment*. 2003;305(4):1-12.
  8. Anderson D, Tuovinen O, Ostrokowski FA. Use of soil amendments to reduce soluble phosphorus in dairy soils. *Ecological Engineering*. 1995;5(3):229-46.
  9. Bouwer H. Agricultural contamination: problems and solutions. *Water and Environmental Technology*. 1989;1(2):292-97.
  10. USEPA. National water quality inventory. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency; 2002. Report No.: 841R02001.
  11. Yu J, Shainberg LT, Mamedov I, Levy J. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum. *Soil Science Society of American Journal*. 2003;67(35):630-36.
  12. Zhu B, Alva A. Trace metal and cation transport in a sandy soil with various amendments. *Soil Science Society of American Journal*. 1993;57(8):723-27.
  13. Sefidgar Shahkolahi S. Study of efficiency of different amendments for Pb and Cd immobilization in a polluted lime soil [dissertation]. Gorgan: Gorgan University; 2018 (in Persian).
  14. Eivazi B. Immobilization of heavy metals by using of Mn and Fe nanoparticles [dissertation]. Tehran: Tarbiat Modares University; 2017 (in Persian).
  15. Garau L. In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: chemical assessment. *Environmental Pollution*. 2002;118(5):435-43.
  16. Tse-Ming L. Effect of chemical amendments on the concentration of Cd and Pb in long-term contaminated soils. *Chemosphere*. 2004;57(3):1459-71.
  17. Gworek B. Lead inactivation in soils by zeolite. *Plant and Soil*. 1992;143(2):71-79.
  18. Chlopeka B, Adriano N. Effects of amendments on heavy metal contents in maize. *Soil Science*. 1997;140(2):230-37.
  19. Garcia-Sanchez A, Alastuey A, Querol X. Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of polluted soils. *Science of the Total Environment*. 1999;242(2):179-88.
  20. Jalili A, Jalali M. Effects of organic and chemical amendments on reduction of heavy metals transport in a polluted soil. 11th Soil Science Conference; 2009; Tehran (in Persian).
  21. Thomas Sims J. pH determination. In: Sparks DL, editor. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison: Soil Science Society of America; 1996. p. 403-14.
  22. Rhoads JD. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. I In: Sparks DL, editor. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison: Soil Science Society of America; 1996. p. 423-30.
  23. Bower HJ. Cation exchange capacity. In: Sparks DL, editor. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison: Soil Science Society of America; 1996. p. 380-401.
  24. Sims H. Lime determination. In: Sparks DL, editor. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison: Soil Science Society of America; 1996. p. 330-39.
  25. Walkley L, Black LA. Organic mater. In: Sparks DL, editor. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison: Soil Science Society of America; 1996. p. 375-90.
  26. Mahar A, Ping W. Immobilization of lead and cadmium in contaminated soil using amendments: A review. *Pedosphere*. 2015;25(4):555-68.
  27. Zachara J, Cowan MCE, T. RC. Sorption of divalent metals on calcite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991;55(4):1549-62.
  28. Bolan N, Kunhikrishnan A. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils - To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*.

- 2014;266(2):141- 66.
29. Khan F, Khan FJ. In-situ stabilization of heavy metals in agriculture soils irrigated with untreated wastewater. *Journal of Geochemical Exploration*. 2015;3(1):1-7.
30. Chubin RG. Adsorption of Pb onto soil constituents. *Journal of Environmental Quality*. 1981;10(2):225-28.
31. Rybicka E, Calmano W, Breeger A. Heavy metals sorption/desorption on competing clay minerals. *Applied Clay Science*. 1995;9(2):369-81.
32. Xueyuan G, Evans J, Barabash SJ. Modeling the adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn onto montmorillonite. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 2010;74(2):5718-28.
33. Puls RW, Hinrich LB. Sorption of Cd, Ni, and Zn by kaolinite and montmorillonite suspensions. *Soil Science Society of American Journal*. 1998;25(2):1289-92.
34. Zaparro M, Miller K. Lead, cadmium and calcium selectivity coefficients on montmorillonite, kaolinite and illite. *Journal of Environmental Quality*. 2001;3(1):250-52.
35. Tica D, Udovic M, Lestan D. Immobilization of potentially toxic metals using different soil amendments. *Chemosphere*. 2011;85(4):577-83.
36. Houben D. Heavy metal immobilization by cost-effective amendments in a contaminated soil: Effects on metal leaching and phytoavailability. *Journal of Geochemical Exploration*. 2012;123:87-94.
37. Komarek M, Vanek A, Ettler V. Chemical stabilization of metals and arsenic in contaminated soils using oxides--a review. *Environ Pollution*. 2013;172:9-22.
38. Mench MJ, Didier VL, Löffler M, Gomez A, Masson P. A mimicked in situ remediation study of metal contaminated soils with emphasis on cadmium and lead. *Journal of Environmental Quality*. 1994;23(1):58-63.
39. Mench MJ, Didier VL, Löffler M, Gomez A, Masson P. Lead remediation of soils with lime. *Journal of Environmental Quality*. 1995;25(1):51-59.
40. Kumpiene J, Lagerkvist A, Maurice C. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments- A review. *Waste Management*. 2008;12(4):215-25.
41. Gadepalle VP. Remediation of Cu and Cd in contaminated soils using compost with inorganic amendments. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2009;196(3):355-68.
42. Okhovvat A, Mohammady J. Investigation of bentonite effect in Pb and Cd adsorption. 11th Soil Science Conference; 2009; Tehran (in Persian).
43. Querol X, Alastuey A, Moreno N. Immobilization of heavy metals in polluted soils by addition of zeolite material. *Chemosphere*. 2006;62(3):171-80.
44. Hamidpour M, Afyuni M, Kalbasi M, Khoshgof-tarmanes AH, Inglezakis VJ. Mobility and plant availability of Cd and Pb adsorbed on zeolite and bentonite. *Applied Clay Science*. 2010;48(3):342-48.
45. Mahmodabady MR, Atarody B, Hadarabady G, Sabery MH. 11th Soil Science Conference; 2009; Tehran (in Persian).
46. Freedman YE, Magaritz M, Long GL. Interaction of metals with mineral surfaces in natural groundwater environment. *Chemical Geology*. 1994;116(2):111-21.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Comparison of different inorganic amendments on decreasing of Cd, Pb, Ni, Cu, and Zn sorption by wastewater-irrigated plants

R Salmasi<sup>1,\*</sup>, A Behbahaninia<sup>2</sup>, AR Ostadrahimi<sup>3</sup>

1- Department of Watershed Research, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tabriz, Iran

2- Department of Environment, Agricultural faculty, Islamin Azad University, Roudehen branch, Roudehen, Iran

3- Department of Nutrition, Health and Nutrition Faculty, Medical University of Tabriz, Tabriz, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 07 April 2019

**Revised:** 01 July 2019

**Accepted:** 06 July 2019

**Published:** 04 September 2019

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Heavy metals fixation in-situ by using inorganic amendments is a method for immobilization of polluted soils. The goal of this research was to determine efficiency of five amendments for heavy metals fixation of waste-water-irrigated soils around Tabriz city.

**Materials and Methods:** Cadmium, Pb, Cu, Ni, and Zn- containing solutions were added to 0.5 gram of five amendments including calcite, hematite, zeolite, illite, and bentonite. 10 soil samples from around of Tabriz city were taken. After shaking the samples, the concentrations of the five elements were determined in the filtered solution by using atomic absorption instrument. Retention capacity percentages of these elements were calculated, and the best amendments were determined by using Duncan method.

**Results:** There were differences of heavy metals retention between amendments. Calcite had the highest retention of Cd (91%), Ni (78%), and Zn (94.7%); hematite had the highest Cu (90.5%) and Pb (94.3%); and illite showed the lowest retention of the 5 elements. Calcite, zeolite, bentonite, and hematite had significant higher retention capacities of Cd, Ni, and Zn in compared to 10 the soil samples.

**Conclusion:** Among the studied amendments, retention capacities of calcite and hematite for the five elements were higher than the remaining ones for addition to the soil. These two amendments can cause low uptake and low accumulation of the elements in agricultural crops in polluted soils.

**Keywords:** Stabilization, Accumulation, Mobility, Sorption, Efficiency

**\*Corresponding Author:**

raminsalmasi@yahoo.com

Please cite this article as: Salmasi R, Behbahaninia A, Ostadrahimi AR. Comparison of different inorganic amendments on decreasing of Cd, Pb, Ni, Cu, and Zn sorption by wastewater-irrigated plants. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(2):247-56.