

## بررسی نقش بنتونیت، ایلیت، همتایت، زئولیت و کلسیت بر کاهش جذب فلزات

### سنگین در زمین‌های آبیاری شده با پساب‌های آلوده در شهرستان تبریز

رامین سلماسی<sup>۱</sup>، منصوره مهدوی<sup>۲</sup>، علیرضا استاد رحیمی<sup>۳</sup>

۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، Raminsamasi@yahoo.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

۳- دانشیار مرکز تحقیقات تغذیه دانشگاه علوم پزشکی تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۱۱/۲۷ تاریخ تصویب: ۹۳/۱/۲۹

#### چکیده

تثبیت فلزات سنگین در محل با استفاده از اصلاح گرهای معدنی، روشی است که جهت پاک سازی خاک های آلوده بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس در پژوهش حاضر، هدف این است که کارایی ۵ نوع اصلاح گر معدنی، جهت تثبیت فلزات سنگین موجود در خاک های کشاورزی اطراف شهرستان تبریز که با پساب های آلوده آبیاری می شوند تعیین شود و اصلاح گر یا اصلاح گرهای بهینه جهت این مورد پیشنهاد گردد. به نیم گرم از ۵ اصلاح گر کلسیت، ایلیت، همتایت، زئولیت و بنتونیت و ۱۰ نمونه خاک گرفته شده از خاک های کشاورزی اطراف شهرستان تبریز، محلول های حاوی عناصر کادمیوم، سرب، نیکل، مس و روی اضافه گردید. بعد از شکر کردن، غلظت این ۵ عنصر با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. و پس از انجام محاسبات، درصد جذب فلزات تعیین گردید و در نهایت، اصلاح گرهای بهینه در این رابطه مشخص گردیدند. تفاوت آشکاری بین مواد اصلاح گر از لحاظ میزان جذب ۵ عنصر وجود داشت. بطوری که بیشترین میزان جذب عناصر کادمیوم، نیکل و روی مربوط به کلسیت؛ بیشترین میزان جذب عناصر سرب و مس مربوط به همتایت؛ و برای هر ۵ عنصر کمترین میزان جذب مربوط به ایلیت بوده است. کلسیت، زئولیت، بنتونیت و همتایت ظرفیت جذب بالاتر معنی داری در سطح ۵ درصد برای عناصر کادمیوم، نیکل و روی نسبت به تمام خاک های مورد آزمایش داشتند. در مورد سرب، بالاترین میزان جذب توسط اصلاح گرهای کلسیت و همتایت (بدون تفاوت معنی دار با همدیگر) انجام گرفت. کلسیت، همتایت و زئولیت بالاترین میزان جذب مس را داشتند در حالی که بیشترین میزان جذب این عنصر با اختلاف معنی دار با دو ماده اصلاحی دیگر، توسط همتایت انجام گرفت. دو اصلاح گر کلسیت و همتایت مشترک بین ۵ اصلاح گر بودند که در صورت اضافه شدن به ۱۰ نوع خاک مورد آزمایش در این پژوهش، توانستند در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار، باعث افزایش معنی دار ظرفیت جذب ۵ آلاینده کادمیوم، مس، روی، نیکل و سرب شوند و بدین وسیله کاهش جذب و انباشت عناصر یاد شده در گیاهان زیر کشت مناطق کشاورزی اطراف شهرستان تبریز را موجب گردند.

واژگان کلیدی: اصلاح گر، فلزات سنگین، خاک، گیاهان، تبریز

#### مقدمه

آلی و عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف بشمار می روند [1]. با این وجود، شامل آلاینده هایی مانند فلزات سنگین، ترکیبات آلی ناخواسته و پاتوژن ها و دیگر مواد

کاربرد پساب های شهری و صنعتی در خاک های کشاورزی، باعث بهبود ویژگی های فیزیکی خاک می گردد. همچنین این پساب ها منبع با ارزشی از مواد

خطرات اضافه‌ای برای کاربران داشته باشند و نیز پسماندهای ثانویه تولید نمایند.

ضمن اینکه روش‌های مهندسی اعمال شده در این زمینه اغلب برای محیط زیست تهاجمی بوده و مانع بازگشت محیط زیست به حالت اولیه و طبیعی خود می‌گردند. روش‌های جدید پاک‌سازی در محل (که به واردت و هزینه پایینی نیاز دارند) جهت پاک‌سازی خاک و مقبولیت جامعه باید بطور فوری بکار گرفته شوند. این اواخر، توانایی روش‌های تثبیت و استخراج فلزات سنگین توسط گیاهان جهت نیل به اهداف یاد شده مورد توجه قرار گرفته است.

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 مانند مواد آلی، اکسیدهای آهن، و مواد قلیایی این توانایی را دارند که از تحرک و فراهمی فلزات در خاک، بوسیله فرایندهایی مانند جذب سطحی، رسوب، تشکیل کمپلکس یا ترکیبی از این فرایندها، بکاهند [3]. در نتیجه این کار، اثرات زیان بار فلزات سنگین بر روی پذیرنده‌های محیط زیست مانند ریز جانداران، گیاهان، حیوانات و منابع آب کاهش می‌یابد. بسیاری از خاک‌های زیر کشت سبزیجات حاشیه شهر تبریز، بدلیل کمبود منابع آب با پساب‌های شهری و صنعتی بخش‌های مختلف این شهر آبیاری می‌شوند.

در بعضی از زمین‌های زیر کشت، از لجن این پساب‌ها بعنوان کود بهره‌گیری می‌شود. پیامد کاربرد این پساب‌ها و لجن آن‌ها، انباشت فلزات سنگین در خاک‌های این مناطق می‌باشد که با توجه به جذب این فلزات توسط گیاهان زیر کشت که بطور عمده سبزیجات

زیان آور هستند که کاربرد آن‌ها را در زمین‌های کشاورزی محدود می‌کند [2].

در میان این عوامل، اغلب مقدار فلزات سنگین در پساب است که تعیین کننده اصلی جهت محدودیت کاربرد پساب‌ها در خاک‌های کشاورزی بشمار می‌رود. فلزات سنگین بدلیل ویژگی‌های منحصر بفرد خود از جمله تجزیه ناپذیری زیستی و حرارتی و نیز آبشویی نیافتن از قسمت‌های سطحی خاک، باعث آلودگی‌های زیست محیطی می‌گردند. بر خلاف هیدروکربن‌های نفتی و لاشبرگ‌ها که وجودشان در خاک قابل رویت می‌باشد، فلزات سنگین می‌توانند بدون جلب توجه با غلظت‌های زیاد در قسمت‌های سطحی خاک انباشت گردند و تاثیراتی بر زندگی و سلامت انسان حیوان داشته باشند. بررسی‌ها نشان داده حتی بعد از اینکه اضافه شدن فلزات سنگین به خاک متوقف شد، استمرار زمان آلودگی آن‌ها ممکن است صدها یا هزارها سال طول بکشد. خاک‌ها به عنوان یک صافی ترکیبات شیمیایی عمل نموده و می‌توانند باعث جذب و نگهداری فلزات سنگین موجود در پساب‌ها گردند. ولی زمانی که بدلیل بار زیاد آلاینده‌ها یا تغییرات واکنش خاک (pH)، از ظرفیت‌شان برای نگهداری فلزات رها شده و سمی کاسته می‌شود، این فلزات می‌توانند به آب‌های زیرزمینی یا محلول خاک وارد شوند و جذب گیاهان گردند.

میزان فلزات سنگین بی تحرک شده در محیط خاک تابعی از واکنش خاک، مقدار رس و مواد آلی، ظرفیت داد و ستد کاتیونی و ویژگی‌های دیگر خاک است که مدیریت آلودگی یک خاک را منحصر به آن خاک می‌سازد [2]. روش‌های کنونی پاک‌سازی خاک‌های آلوده بسیار پرهزینه می‌باشند. بعلاوه این روش‌ها ممکن است

میزان آهک و میزان مواد آلی نمونه‌های خاک در آزمایشگاه تعیین گردید [3,14].

بعد از آن، از روش‌های آزمایشگاهی جهت تعیین ظرفیت جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل، روی و مس توسط اصلاح‌گرهای مختلف و نمونه‌های خاک، استفاده گردید. به این صورت که نیم گرم از اصلاح‌گرهای معدنی آهک، زئولیت، اکسیدهای آهن، اکسید منگنز، بتونیت و نیز نمونه‌های خاک گرفته شده از زمین‌های مختلف در ۵ تکرار درون فلاسک ریخته شد و به آن‌ها، ۵۰ میلی لیتر محلول ۰۰۱ مولار از عناصر سرب، کادمیوم، نیکل، مس و روی اضافه شد. بعد از اینکه نمونه‌ها در تکان دهنده رفت و برگشتی قرار گرفتند، صاف شده و غلظت این عناصر با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin Elmer مدل ۵۶۰ اندازه‌گیری گردید.

اختلاف بین میزان کل فلز اضافه شده و میزان اندازه‌گیری شده در محلول صاف شده، مقدار جذب فلز را نشان می‌دهد که بصورت درصد محاسبه گردید.

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS به این صورت انجام گرفت که ابتدا از طریق آزمون کولموگرو-اسمیرنوو، نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها (درصد جذب فلزات توسط ۵ نوع اصلاح‌گر و ۱۰ نمونه خاک) مشخص شد و از طریق آنالیز واریانس، اختلاف تیمارها بررسی گردید و در صورت وجود اختلاف معنی دار، با استفاده از آزمون دانکن مقایسه میانگین تیمارها انجام گرفت.

خوراکی را شامل می‌شوند می‌تواند گیاهان را به این آلاینده‌ها آلوده سازد.

جهت کاهش مخاطرات زیست محیطی ناشی از آلودگی فلزات سنگین در این خاک‌ها، لازم است از روش‌های ارزان قیمت پاک‌سازی خاک که مناسب برای کاربرد در خاک‌های سطحی بوده و باعث تخریب ساختمان و حاصل خیزی خاک نمی‌شوند، بهره برداری شود که ضمن مناسب بودن برای استفاده در خاک‌های سطحی، باعث تخریب ساختمان و کاهش حاصل خیزی خاک نگردند. در پژوهش حاضر، هدف این است که کارایی اصلاح‌گرهای معدنی مختلف برای جذب فلزات سنگین موجود در این خاک‌ها بر اساس بررسی‌های آزمایشگاهی تعیین شود تا بدین وسیله مشخص گردد کدامیک در صورت اضافه شدن به خاک‌های منطقه، با نگهداشت مقادیر زیاد این آلاینده‌ها، مانع جذب آنها توسط گیاهان می‌گردند و به این ترتیب زیان کمتری متوجه گیاهان زیر کشت این خاک‌ها و مصرف کنندگان آن‌ها خواهد شد.

برای این منظور از خاک‌های آبیاری شده با پساب موجود در اطراف شهرستان تبریز به عنوان نمونه خاک، استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

از مناطق کشاورزی اطراف تبریز، ۱۰ نمونه خاک که زیر کشت نبودند گرفته شد. واکنش خاک (pH)، هدایت الکتریکی، ظرفیت دادو ستد کاتیونی (CEC)،

		روش تحقیق
ZPb= 0.948	PPb= 0.33	<p>نتایج بدست آمده از اندازه گیری واکنش خاک، هدایت الکتریکی، ظرفیت داد و ستد کاتیونی و مقادیر آهک و مواد آلی ۱۰ نمونه خاک گرفته شده از منطقه، در جدول ۱ می باشد.</p> <p>همانطور که در این جدول مشخص است، خاک های مورد استفاده در این بررسی از لحاظ ویژگی ها، متنوعند.</p> <p>واکنش آن ها در بازه قلیایی ضعیف تا قلیایی، هدایت الکتریکی از ۰/۱۹ تا ۰/۵۶ دسی زیمنس بر متر، ظرفیت داد و ستد کاتیونی از ۱۲/۵ تا ۲۴/۷ سانتی مول بار بر کیلوگرم، میزان کربنات کلسیم معادل (۱) ۱۲۰ تا ۲۳۵ گرم بر کیلوگرم و میزان مواد آلی (۱۱) ۱۷/۱ تا ۳۷/۵ سانتی مول بار بر کیلوگرم متغیر است.</p> <p>آزمون کولموگرو- اسمیرنوو نشان داد که میزان جذب ۵ عنصر سرب، کادمیوم، نیکل، مس و روی توسط نمونه های خاک و اصلاح گر ها، از توزیع نرمال برخوردار می باشد.</p> <p>در جدول ۲، مقایسه میانگین داده های آزمایش درصد جذب فلزات توسط ۵ نوع اصلاح گرو ۱۰ نمونه خاک مورد آزمایش آورده شده است.</p>
ZCu= 1.115	PCu=0.95	
ZCd= 1.325	PCd= 0.06	
ZZn= 1.325	PZn= 0.2	
ZNi= 1.445	PNi= 0.06	
<p>همانگونه که داده های جدول ۲ نشان می دهند، بیشترین میزان جذب عناصر کادمیوم، نیکل و روی با تفاوت معنی دار نسبت به سایر اصلاح گر ها توسط کلسیت انجام گرفته است.</p> <p>در مورد سرب و مس بیشترین جذب، هماتیت بوده است.</p> <p>در شکل ۱، درصد جذب کادمیوم، نیکل، سرب، روی و مس توسط خاک ها و اصلاح گر ها آورده شده است.</p>		

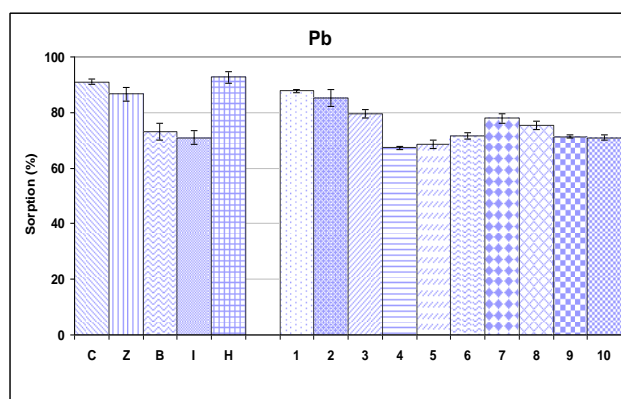
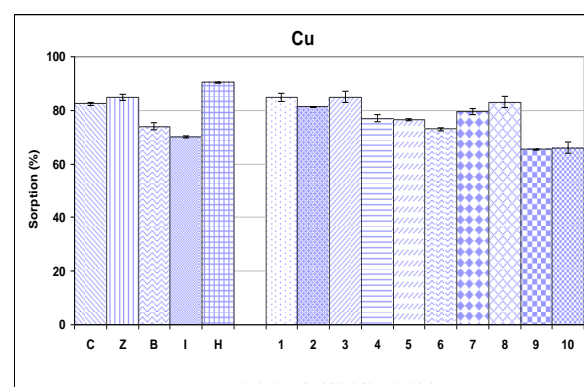
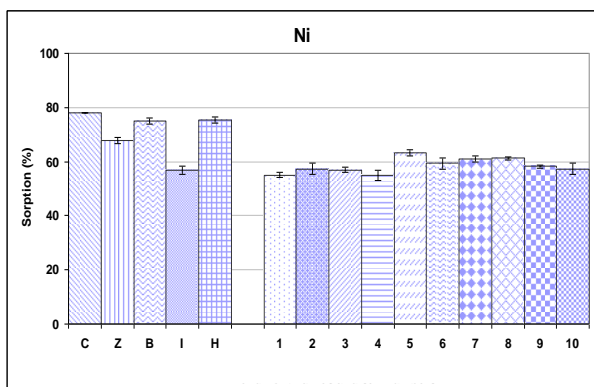
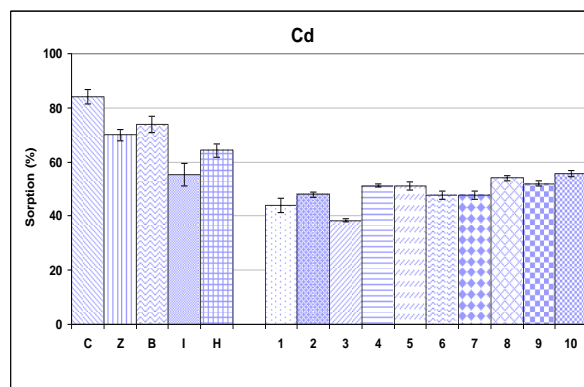
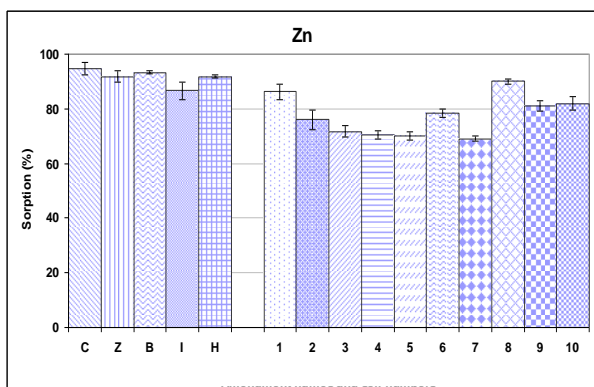
جدول ۱ - برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

نمونه خاک های برداشت شده	واکنش (بدون واحد)	توانایی رسانایی الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	ظرفیت دادو ستد کاتیونی (سانتی مول بار بر کیلوگرم)	ماده آلی (گرم بر کیلوگرم)	کربنات کلسیم معادل (گرم بر کیلوگرم)
۱	۹/۱۴	۰/۳۱	۲۰/۲	۳۷/۵	۲۰۰
۲	۸/۷۳	۰/۳۸	۱۴/۴	۲۷/۳	۱۵۰
۳	۹/۴۲	۰/۲۰	۱۹/۷	۱۳/۶	۱۷۰
۴	۹/۴۱	۰/۴۰	۲۲/۲	۳۰/۸	۱۶۰
۵	۹/۴۰	۰/۲۱	۲۱/۷	۱۷/۱	۱۲۰
۶	۸/۹۶	۰/۲۰	۱۲/۵	۲۳/۹	۱۴۰
۷	۹/۲۲	۰/۲۱	۲۴/۷	۲۷/۳	۱۸۵
۸	۹/۳۳	۰/۲۰	۲۲/۲	۱۸/۸	۱۷۸
۹	۹/۴۳	۰/۵۶	۲۱/۰	۱۷/۲	۲۱۰
۱۰	۹/۵۴	۰/۱۹	۲۳/۱	۲۰/۵	۲۳۵

جدول ۲- مقایسه میانگین داده‌های آزمایش درصد جذب فلزات توسط ۵ نوع اصلاح گر و ۱۰ نمونه خاک

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

\* میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی دار در سطح ۰.۰۵٪ می باشند.



شکل ۱- نمودارهای درصد جذب کادمیوم، نیکل، سرب، روی و مس توسط خاک‌ها و اصلاح‌گرها  
 (ک=کلسیت، ز=زنولیت، ب=بتونیت، ا=ایلیت، ه=هماتیت و ۱، ۲، .....، ۱۰ شماره نمونه های خاک هستند.)

## بحث

در زمین های کشاورزی اطراف شهرستان تبریز، مدت زمان درازی است که از فاضلاب های انتقالی از بخش های مختلف این شهر، بهره جویی می شود. لجن این فاضلاب ها نیز بعنوان کود کاربرد دارد. پیامد کاربرد این فاضلاب ها، انباشت فلزات سنگین در خاک ها و جذب آن ها بوسیله سبزیجات زیر کشت می باشد. در پژوهش حاضر، کارآیی اصلاح گر های معدنی گوناگون نسبت به خاک های منطقه در جذب ۵ فلز سنگین کادمیوم، نیکل، سرب، روی و مس در راستای کاهش جذب این فلزات بوسیله گیاهان منطقه بررسی شده است.

## مقایسه جذب نسبی مواد اصلاحی مختلف

بر اساس داده های بدست آمده از جدول ۲، ملاحظه می شود که تفاوت آشکاری بین مواد اصلاح گر از لحاظ میزان جذب ۵ عنصر وجود دارد. بطوریکه کلسیت بیشترین میزان جذب عناصر کادمیوم، نیکل و روی؛ هماتیت بیشترین میزان جذب عناصر سرب و مس؛ و برای هر ۵ 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 در درجه بعدی، کادمیوم قرار دارد. نتایج پژوهش Zachara و همکاران [21]. نیز جذب بالای این سه عنصر را بر روی سطوح کلسیت نشان دادند با این تفاوت که بالاترین میزان جذب را روی بدست آوردند. این تفاوت ها در جذب ۵ عنصر، هم به خصوصیات

سطح جذب کننده مانند نوع مکان های تبدالی (پرنرژی در مقایسه با کم انرژی)، تراکم بار الکتریکی در واحد سطح، مکان فضائی بار الکتریکی، امکان تشکیل کمپلکس های سطحی محیط داخلی از طریق ایجاد پیوندهای کووالانس با سطح بستگی دارد و هم به خصوصیات یون در فاز محلول مانند درصد عنصر بصورت کمپلکس محلول و نوع این کمپلکس ها و شعاع یونی عنصر وابسته است [19] یافته های پژوهش Rybicka و همکاران [3] نیز نشان داد که عناصر کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی بر روی سطوح مونتموریلونیت جذب بالاتری نسبت به دو کانی ایلیت و بدلیت داشته اند که با یافته های این پژوهش همخوانی داشته است. Xueyuan و همکاران برای جذب این ۵ عنصر بر روی سطوح دارای بار دائمی مونتموریلونیت، این ترتیب را بدست آوردند:



در حالی که برای سطوح حاوی بار موقت این کانی، ترتیب زیر 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 می باشد [۱].



آهک را در کاهش جذب سرب موجود در گیاهان جو و توتون بدست آورد.

اضافه کردن ایلیت تأثیری در افزایش جذب این خاک‌ها نداشت. در مورد سرب، یافته‌های پژوهش ما نشان می‌دهند که بالاترین میزان جذب توسط اصلاح‌گرهای کلسیت و هماتیت (بدون تفاوت معنی‌دار با همدیگر) انجام گرفته است.

کلسیت، هماتیت و زئولیت بالاترین میزان جذب مس را داشته‌اند در حالی که بیشترین میزان جذب این عنصر با اختلاف معنی‌دار با دو ماده اصلاحی دیگر، توسط هماتیت انجام گرفته است. Kumpiene و همکاران [10] کربنات‌ها و اکسیدهای آهن را اصلاح‌گرهای اساسی برای تثبیت مس در خاک‌ها برشمردند و ساز و کارهای نگهداشت این عنصر را رسوب کربنات‌ها و اکسی‌هیدروکسیدهای مس، تبادل یونی و تشکیل کمپلکس بر روی سطوح اکسی-هیدروکسیدهای آهن، دانستند. در یک پژوهش گلخانه‌ای پیرامون پاک‌سازی خاک‌های آلوده به مس و کادمیوم [5]، یافته‌ها نشان دادند که ترکیبی از اکسید آهن و کمپوست در کاهش جذب مس توسط جو موثر بوده‌اند. همین ترکیب و نیز مخلوط زئولیت و اکسید آهن برای کاهش جذب کادمیوم در این گونه خاک‌ها، نقش بسزایی داشته است.

Puls و همکاران [15] افزایش جذب نیکل نسبت به کادمیوم توسط بتونیت را گزارش نموده‌اند. افزایش جذب سرب نسبت به کادمیوم بر روی سطوح ایلیت توسط Zapparro و Miller گزارش شده است [22].  
**مقایسه جذب نسبی کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی توسط خاک‌ها و مواد اصلاح‌گر**

یافته‌های جدول ۱ در مورد کادمیوم، نیکل و روی نشان می‌دهند که کلسیت، زئولیت، بتونیت و هماتیت دارای ظرفیت جذب بالاتر معنی‌داری در سطح ۵ درصد این سه عنصر نسبت به تمام خاک‌های 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 گفت که افزودن ۴ ماده اصلاحی یاد شده به تمام ۱۰ نوع خاک مورد آزمایش، افزایش ظرفیت جذب کادمیوم، نیکل و روی این خاک‌ها را باعث می‌گردد و بیشترین افزایش مربوط به کلسیت می‌باشد که با یافته‌های Freeman و همکاران [4] همخوانی دارد. Mench و همکاران [12] نشان دادند که آهک اضافه شده به خاک‌های آلوده با کادمیوم، منجر به کاهش ۷۵٪ میزان این عنصر در ریشه‌های جو و ۵۰٪ کاهش در ریشه‌های توتون رشد یافته در این خاک‌ها گردیده است. علاوه بر آن، میزان سرب نیز در گیاهان یاد شده کاهش معنی‌داری پیدا نمود. یافته‌های پژوهش Mench و همکاران [12]، نیز نقش

## نتیجه گیری

بیشترین تفاوت جذب عناصر کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی در بین سه ماده زئولیت، ایلیت و هماتیت و کمترین تفاوت در بین کلسیت و سدیم بنتونیت دیده می شود. در بین پنج ماده اصلاح گر کلسیت، زئولیت، بنتونیت، ایلیت و هماتیت، دو مورد کلسیت و هماتیت بیشترین در صد جذب عناصر کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی و ایلیت کمترین درصد جذب این پنج عنصر را داشته است. بنابراین می توان گفت دو اصلاح گر کلسیت و هماتیت مشترک بین این پنج ماده هستند که در صورت اضافه شدن به ۱۰ نوع خاک مورد آزمایش در این پژوهش، می توانند در سطح ۵٪ اختلاف معنی دار، باعث افزایش ظرفیت جذب پنج فلز سنگین 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 گردند و بدینوسیله از مخاطرات ناشی از انباشت این فلزات بکاهند. و در بین این دو ماده، کلسیت به علت وفور و قیمت مناسبی که دارد نسبت به هماتیت ارجحیت دارد. بنابراین کلسیت به عنوان بهترین ماده برای افزودن به خاک های دارای ظرفیت کم جذب این پنج عنصر پیشنهاد می شود.

## منابع

- 1- Iskandar, I. J., 1989. Environmental Restoration of Metal Contaminated Soils, CRC press, 356P.
- 2 - Sherameti, I., , 2006. Soil Heavy Metals, Springer Verlag, 567P.

Okhoovat و همکاران [13]. نقش معنی دار بنتونیت طبیعی را در جذب سرب و کادمیوم موجود در خاک های آلوده، نشان دادند. در مورد نقش زئولیت در توانایی تثبیت کنندگی بالای عناصر، یافته های Querol [16] و همکاران نقش زئولیت را در کاهش آبشویی کادمیوم، مس، نیکل و روی نشان داد که با یافته های این پژوهش همخوانی دارد. Hamidpour و همکاران در یک بررسی انجام گرفته پیرامون تحرک و فراهمی عناصر سرب و کادمیوم در گیاه ذرت [2]، بدست آوردند که غلظت این دو عنصر در ریشه ها و ساقه های ذرت موقعی که در بستر زئولیتی رشد یافته اند، کمتر از موقعی است که در بستر بنتونیتی بودند. در نتیجه توانایی جذب سرب و کادمیوم توسط زئولیت بیشتر از بنتونیت بود. یافته های پژوهش محمود آبادی در ارزیابی گلخانه ای کاهش سمیت سرب با کاربرد زئولیت بر روی گیاه سویا [11]. نشان داد که، 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 معنی دار غلظت سرب و افزایش وزن خشک ریشه و شاخساره گردید. Garcia-Sanchez و همکاران [6]. نیز تاثیر زئولیت در خروج آلاینده های کاتیونی از خاک های آلوده را نشان دادند. یافته های پژوهشی Gworek نقش زئولیت مصنوعی در کاهش میزان کادمیوم در ۸۵٪ از برگ های کاهو و ۴۵٪ ریشه های این گیاه را به اثبات رساند [7].

- 3- Prasad M. N. V., 2008. Trace Elements as Contaminated and Nutrients, Wiley & Sons, Inc., 578P.
- 4- Klute, A., D. R. Nielson, and R. D. Jackson. 1965. Methods of soil analysis, Part 2. 2ed, Agronomy Monog. 9, SA, Madison, WI, 760P.
- 5- Page, A. L., Miller R. H., Keeny, D. R., Baker D. E., and Roads J. D., 1965. Methods of soil analysis, Part 1. 2ed, Agronomy Monog. 9, ASA, Madison, WI., 734P.
- 6 - Zachara, J. M., Cowan C. E., and Resch C. T. 1991. Sorption of divalent Metals on with inorganic amendments. Water, Air, Soil Poll. 196, 355-368pp.
- 7- Sposito, G., 1989. The Chemistry of Soils, Oxford University Press, 350P.
- 8- Rybicka E., Calmano, W., and Breeger, A. 1995. Heavy metals sorption/desorption on competing clay minerals. Applied Clay Science. 9, 369-381pp.
- 9- Xueyuan, G., Evans J., and Barabash S. J. 2010. Modeling the adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn onto montmorillonite. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 74, 5718-5728pp.
- 10- Chubin R. G., 1981. Adsorption of Pb onto soil constituents, *J. Env. Qual.* 10, 225-228pp.
- 11- Puls, R. W., and Hinrich L. B., 1998. Sorption of Cd, Ni, and Zn by kaolinite and montmorillonite suspensions. *SSSA*, 25, 1289-1292pp.
- 12- Zaparro, M., and Miller, K. 2001. Lead, Cadmium, and Calcium selectivity coefficients on montmorillonite, kaolinite and illite. *J. Env. Qual.* 3, 250-252pp.
- 13 - Freedman Y. E., Magaritz, M., and Long G. L. 1994. Inaction of metals with mineral surfaces in natural groundwater environment. *Chemical geology*. 116, 111-121pp.
- 14- Mench, M.J., Didier, V.L., Löffler, M., Gomez, A., and Masson, P. 2008.

