

## ارزیابی توانایی کانی سپیولیت در کاهش آبشویی سرب و روی از ستون‌های خاک

سعید حجتی<sup>۱\*</sup>، احمد لندی<sup>۲</sup> و هیام آل‌کثیری<sup>۳</sup>

\*<sup>۱</sup>- نویسنده مسئول: استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران (s.hojati@scu.ac.ir)

<sup>۲</sup>- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران

<sup>۳</sup>- کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی - محیط زیست، اهواز، خوزستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۲

### چکیده

سبب صنایع مختلف حاوی مقادیر قابل توجهی فلزات سنگین هستند که پس از ورود به خاک و آبشویی از آن می‌توانند آلودگی آب‌های زیرزمینی را باعث شوند. مطالعات اندکی در رابطه با تاثیر کاربرد کانی‌های رسی در ممانعت از آبشویی این عناصر صورت گرفته است؛ لذا این مطالعه با هدف بررسی کارایی کانی سپیولیت به عنوان یک جاذب قوی و ارزان قیمت در جلوگیری از آبشویی عناصر سرب و روی از ستون‌های خاک در شرایط آزمایشگاهی صورت پذیرفت. بدین منظور ۴۰۰ میلی‌لیتر محلول‌هایی که حاوی غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر عناصر سرب و روی بودند از یک ستون شنی از پیش اشباع شده که حاوی مقادیر مختلفی از کانی سپیولیت (۲، ۴، ۶ و ۸ درصد) در دو اندازه کوچکتر از ۲ میکرون و ۲۰ تا ۵۰ میکرون بودند با دبی ۱/۲ لیتر در ساعت عبور داده شد و غلظت سرب و روی در محلول‌های خروجی (۲۰ میلی‌لیتری) با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کاربرد کانی سپیولیت آبشویی عناصر سرب و روی را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد؛ هم‌چنین با افزایش میزان کاربرد کانی سپیولیت از ۲ به ۸ درصد و کاهش اندازه ذرات کانی فوق از ۲۰ تا ۵۰ میکرون به ریزتر از ۲ میکرون، آبشویی عناصر سرب و روی از ستون‌های مورد مطالعه کاهش می‌یابد؛ لیکن میزان سرب آبشویی شده در مقایسه با روی بسیار کمتر است. در کل به نظر می‌رسد که استفاده از کانی سپیولیت می‌تواند راهکار مناسبی در جهت کاهش انتقال عناصر سرب و روی به آب‌های زیرزمینی باشد.

کلید واژه‌ها: سپیولیت، آلودگی، سرب، آبشویی

### مقدمه

روی در صنعت اهمیت قابل توجهی دارد و در صنایعی مانند اتومبیل‌سازی و تهیه لوازم الکترونیکی، ماشین‌آلات سبک، خمپاره‌ها و فشنگ‌ها، باطری‌سازی، کشتی‌سازی و پوشش سقف‌ها استفاده می‌شود. افزایش روی در بدن انسان معمولاً با سردرد، تهوع، دردهای مزمن و اسپاسم گوارشی همراه است. آلودگی روی در محیط زیست اغلب با سرب همراه است؛ زیرا روی از عناصری است که همراه با سرب در معادن یافت می‌شود

اخیراً رفع آلودگی از محیط زیست مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. فلزات سنگین مانند سرب، جیوه، کبالت، کادمیوم، کروم و نیکل به دلیل اثرات سمی و خطرناکی که بر سلامت انسان و محیط زیست می‌گذارند؛ بیش از سایر فلزات مورد توجه بوده‌اند (پوتگیتر و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶).

### حجتی و همکاران: ارزیابی سیپولیت در کاهش آب‌شویی...

همکاران<sup>۱</sup>، (۲۰۰۱) اشاره نمود. در این راستا، کانی‌های رسی سیلیکاتی می‌توانند به دلیل ارزان بودن و دسترسی آسان به منابع آن‌ها، گزینه خوبی برای کاهش و یا حذف آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها محسوب شوند. گارسیا-سانچز و همکاران<sup>۷</sup> (۱۹۹۹) در مطالعه‌ای که بر روی توانایی کانی‌های مختلف رسی در حذف آلودگی فلزات سنگین از خاک‌های منطقه گواداریا در اسپانیا انجام دادند، به توانایی قابل توجه کانی‌های گئوتیت در حذف آلاینده‌های آرسنیک و همچنین زئولیت در حذف آلاینده‌های تیتانیوم، روی، کادمیوم و کبالت اشاره نمودند. توران و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۱) نیز توانایی کانی ایلیت را در حذف آلاینده‌های عناصر مس و روی مثبت ارزیابی نمودند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش pH از ۲ به ۷ مقدار جذب عناصر مس و روی از محلول‌های آبی افزایش می‌یابد.

کانی سیپولیت از جمله کانی‌های فراوان در مناطق خشک دنیا است که اخیراً ذخایر قابل توجهی از آن در کشور شناسایی و گزارش شده است (حجتی و خادمی، در حال چاپ). به دلیل ویژگی‌های ساختاری، این کانی دارای خصوصیات منحصر به فردی است که از آن جمله می‌توان به تخلخل و سطح ویژه زیاد، جذب کنندگی قوی و ویژگی‌های رئولوژیکی منحصر به فرد این کانی اشاره نمود. فرمول ساختمانی این کانی که از جمله کانی‌های سیلیکاتی تری اکتاهدرل و آبدار است به صورت  $Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$  می‌باشد. هر واحد ساختمانی در این کانی از دو صفحه تتراهدرال در اطراف و یک صفحه اکتاهدرال غنی از منیزیوم در مرکز تشکیل شده است. جایگزینی هم‌شکل سیلیسیم در لایه‌های چهار وجهی این کانی به وسیله یون‌های آلومینیوم، با ایجاد بار منفی مکان‌های مناسبی را برای جذب کاتیون‌ها به وجود می‌آورد. همچنین به

و به همین جهت بهره‌برداری سرب در طبیعت با رهاسازی روی همراه است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). سرب از نظر انتشار، فراوان‌ترین و سمی‌ترین عنصر سنگین در محیط زیست است. منبع اصلی آلاینده‌های سرب، فاضلاب خروجی حاصل از فرآیندهای صنعتی است؛ لیکن ترکیبات سرب عمدتاً در نتیجه بهره‌برداری از معادن، صنایع باتری سازی، سوخت‌های فسیلی (به صورت تترااتیل و تترااتیل سرب)، رنگ‌سازی، صنایع شیشه و لعاب و حشره‌کش‌ها وارد محیط زیست می‌شود. از مهم‌ترین اثرات آلاینده‌های سرب در انسان می‌توان بروز اختلال در سیستم اعصاب، کاهش ارتباط عصبی، اختلالات گوارشی، صدمه بر کلیه‌ها، کم‌خونی، ایجاد مسمومیت برای سیستم تولید مثلی و مشکلات رفتاری نام برد (روزادا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸).

سبب صنایع مختلف معمولاً حاوی مقادیر قابل توجهی فلزات سنگین است (میرباقری و همکاران، ۱۳۸۹) که پس از ورود به خاک می‌تواند آلودگی آن را باعث شده و بدین ترتیب سلامت انسان را تحت تاثیر خود قرار دهند. از جمله مهم‌ترین این صنایع می‌توان به صنایع تولید کودهای شیمیایی، کارخانجات تولید باتری، صنایع تولید وسایل الکترونیکی، صنایع آبکاری فلزات، صنایع دارویی، صنایع رنگرزی و فعالیت‌های معدن‌کاری اشاره نمود (پونگیت و همکاران، ۲۰۰۶).

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در رابطه با عوامل موثر در کاهش آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به تاثیرات کاربرد مواد آلی (باستا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱)، اکسیدهای آهن و منگنز (چلوپکا و آدریانو<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷)، آهک (منج و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰)، کانی‌های رسی (آلوارز-آیوسو و گارسیا-سانچز<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳a و b) و پلیمرها (لیندیم و

6- Lindim *et al.*

7 - Garcia-Sanchez. *et al.*

8- Turan *et al.*

1- Rozada *et al.*

2- Basta *et al.*

3- Chlopecka *et al.*

4- Mench *et al.*

5- Alvarez-Ayuso and Garcia-Sanchez

کانی مورد مطالعه با استفاده از روش استات آمونیوم در  $\text{pH} = 7$  (سامر و میلر<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶) و سطح ویژه آن با استفاده از روش BET<sup>۴</sup> اندازه‌گیری شد (کارتر و همکاران<sup>۵</sup>، ۱۹۹۶).

### آماده‌سازی ستون‌های آبشویی

ستون‌های مورد مطالعه در این آزمایش از جنس پلی‌اتیلن با قطر داخلی ۶۴ میلی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بودند که تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری توسط ۴۰۰ گرم شن کوارتزی با توزیع اندازه ذرات (کوچکتر از ۱ میلی‌متر) پر شده بود.

علت انتخاب شن در پژوهش حاضر در واقع فراهم آوردن شرایطی برای ایجاد حداکثر مقدار آب‌شویی عناصر از خاک است. در این پژوهش مشابه با مطالعه موسوی و اسدی (۱۳۹۰) جهت جلوگیری از خروج ذرات شن در طول مدت انجام آزمایش در بالا و پائین هر ستون از پشم شیشه استفاده شد. لازم به توضیح است که مطالعات اولیه نشان داد که جذب فلزات روی و سرب توسط پشم شیشه ناچیز و قابل اغماض و صرف‌نظر کردن می‌باشد. در ستون‌های مورد مطالعه مقادیر مختلفی از کانی سپیولیت (۲، ۴، ۶ و ۸ درصد) که پیش‌تر در اندازه‌های کوچکتر از ۲ میکرون و ۲۰ تا ۵۰ میکرون آماده شدند به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گرفت؛ بدین صورت که نمونه‌های کانی و شن ابتدا با یکدیگر مخلوط و سپس در ستون‌های مورد مطالعه اضافه شدند. مطالعات آب‌شویی در شرایط جریان اشباع و با استفاده از ۴۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر عناصر سرب و روی صورت گرفت؛ بدین صورت که ابتدا ستون‌های شن مورد مطالعه با استفاده از آب دی‌یونیزه از پایین اشباع شده و آنگاه حجم ۴۰۰ میلی‌لیتر از محلول‌های فوق در شرایط با بار ثابت آبی به

دلیل ناپیوستگی صفحات سیلیکاتی بیرونی تعداد قابل توجهی گروه‌های عامل سیلانول (Si-OH) در سطح این کانی دیده می‌شود (گالان<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶).

بر اساس بررسی‌های انجام شده تا به حال مطالعه‌ای در رابطه با امکان سنجی استفاده از کانی‌های رسی بویژه سپیولیت در جلوگیری از آب‌شویی عناصر سنگین در ایران صورت نگرفته است؛ لذا این مطالعه با هدف امکان‌سنجی استفاده از کانی سپیولیت (به عنوان جاذب) در کاهش آب‌شویی سرب و روی از ستون‌های خاک تحت تاثیر عوامل مختلف مانند اندازه ذرات جاذب و مقدار جاذب انجام پذیرفت.

### مواد و روش‌ها

به منظور انجام مطالعات جذب، از محلول‌هایی که به صورت مصنوعی و در شرایط آزمایشگاهی تهیه شدند و حاوی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر عناصر روی و سرب بود، استفاده گردید؛ برای تهیه این محلول‌ها از ترکیبات کلرور روی و کلرور سرب (ساخت کمپانی مرک) استفاده شد.

### آماده‌سازی نمونه‌های کانی

سپیولیت مورد استفاده در این پژوهش از معدنی در شهرستان فریمان تهیه گردید. پیش از استفاده، کانی مورد مطالعه ابتدا با اعمال تیمارهای مناسب (آب اکسیژنه جهت حذف ماده آلی و استات سدیم با پ-هاش ۵ برای حذف آهک) خالص‌سازی شد و سپس در مطالعات جذب مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های کانی‌های خالص‌سازی شده ابتدا بر اساس قانون استوکز<sup>۲</sup> و با استفاده از سانتیفریوژ در اندازه‌های کوچکتر از ۲ میکرون و ۲۰ تا ۵۰ میکرون جداسازی و سپس سطح آن‌ها با استفاده از محلول ۰/۰۵ مولار  $\text{CaCl}_2$  از کلسیم اشباع شد. جدول ۱ برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی این کانی را نشان می‌دهد. ظرفیت تبادل کاتیونی در

3- Summer and Miller

4- Brunauer-Emmett-Teller

5- Carter *et al.*

1- Galan

2- Stocks' law

حجتی و همکاران: ارزیابی سیپولیت در کاهش آب‌شویی...

می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده تاثیر کلیه فاکتورهای آزمایشی شامل مقدار جاذب، اندازه ذرات جاذب و اثر متقابل بین این عوامل معنی‌دار است. به عبارت دیگر، کلیه پارامترهای آزمایشی بر فرآیند جذب عناصر سرب و روی در مطالعه حاضر تاثیرگذار می‌باشند.

شکل ۱ تغییرات غلظت عناصر سرب و روی آب‌شویی شده از ستون‌های خاک را در برابر حجم محلول خروجی از ستون‌های خاک نمایش می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود در کلیه تیمارهای آزمایشی به استثنای تیمار شاهد (شن کوارتزی) با افزایش حجم محلول خروجی مقدار آب‌شویی شده عناصر سرب و روی نیز افزایش می‌یابد؛ لیکن میزان سرب آب‌شویی شده در مقایسه با روی بسیار کمتر است (شکل ۱). آلوارز-آیوسو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۳b) نیز افزایش آب‌شویی عناصر سرب، روی، کادمیوم و مس را با افزایش حجم محلول خروجی گزارش نمودند. افزایش میزان آب‌شویی عناصر سرب و روی با افزایش حجم محلول خروجی را در واقع می‌توان به پر شدن تدریجی مکان‌های فعال جاذب در کانی سیپولیت و کاهش چگالی بار سطحی و در نتیجه تمایل کمتر این کانی به جذب عناصر سرب و روی نسبت داد. در همین ارتباط، آب‌شویی کمتر عنصر سرب در مقایسه با روی می‌تواند با توجه به ساختار کانی‌های مورد مطالعه و شعاع هیدراته یون‌های  $Zn^{2+}$  و  $Pb^{2+}$  توجیه گردد. بر این اساس اگر ابعاد کانا‌های تشکیل دهنده ساختار متخلخل کانی سیپولیت از ابعاد کاتیون‌های سرب و روی کوچکتر باشند، جذب این عناصر بر روی مکان‌های تبادل در کانی‌های مورد مطالعه ضعیف‌تر است. مقایسه شعاع هیدراته یون‌های سرب (۴/۰۱ آنگستروم) و روی (۴/۳۰ آنگستروم) (جدول ۳) نیز نشان می‌دهد که فرآیند جذب سرب توسط کانی سیپولیت سریعتر از یون روی می‌باشد.

ستون‌های خاک اضافه گردید. در نهایت غلظت روی و سرب در هر ۲۰ میلی‌لیتر عصاره جمع‌آوری شده از زه آب خروجی با استفاده از دستگاه جذب اتمی -Perkin Elmer مدل ۲۰۰ Analyst تعیین گردید.

میزان جذب عناصر مورد مطالعه توسط هر کانی ( $Q_e$ ) با استفاده از رابطه (۱) تعیین گردید (گارسیا-سانچز و همکاران، ۱۹۹۹):

$$Q_e = \frac{[(C_0 - C_e)] \cdot V}{M} \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $C_e$  عبارتست از غلظت تعادلی فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم در لیتر،  $C_0$  عبارتست از غلظت اولیه فلزات سنگین در پساب مورد مطالعه بر حسب میلی‌گرم در لیتر،  $V$  عبارتست از حجم عصاره اولیه بر حسب لیتر و  $M$  نیز عبارتست از مقدار جاذب مورد استفاده.

کلیه آزمایش‌ها با ۳ تکرار در دمای آزمایشگاه (۲۷ درجه سانتی‌گراد) و با دبی ثابت ۱/۲ لیتر در ساعت انجام شد. در مطالعه حاضر به این دلیل که توزیع اندازه ذرات مورد استفاده در ستون جاذب از یک هشتم قطر داخلی ستون‌های آب‌شویی کوچکتر می‌باشد می‌توان از وجود جریان‌های ترجیحی صرف نظر نمود (کولسون و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱).

### تجزیه‌های آماری

کلیه تجزیه‌های آماری و مقایسات میانگین داده‌ها با استفاده از نرم افزار SYSTAT (نسخه شماره ۸) و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار Origin (نسخه شماره ۷) انجام شد.

### نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر آب‌شویی عناصر سرب و روی توسط کانی سیپولیت را نشان

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی کانی سپیولیت مورد استفاده در مطالعه

اندازه		خصوصیت
۲۰-۵۰ میکرون	<۲ میکرون	
۱۱/۸	۱۳/۱	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول در کیلوگرم)
۱۷۹/۹	۳۲۱/۳	سطح ویژه (متر مربع در گرم)

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر مقدار و اندازه ذرات کانی سپیولیت بر آبشویی روی و سرب از ستون‌های خاک

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
<b>روی</b>			
۱۴۳۴/۳**	۳۶۲/۰	۳	مقدار کانی
۲۶۷/۹**	۶۷/۶	۱	اندازه ذرات کانی
۸/۶**	۲/۲	۳	مقدار کانی × اندازه ذرات کانی
-	۰/۲۵	۱۶	خطا
<b>سرب</b>			
۱۲۰۰/۷**	۵۴/۴	۳	مقدار کانی
۹۰۶/۱**	۴۱/۱	۱	اندازه ذرات کانی
۱۴/۳**	۰/۶۵	۳	مقدار کانی × اندازه ذرات کانی
-	۰/۰۵	۱۶	خطا
-	-	۲۳	کل

\*\* نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۳- انرژی هیدراتاسیون و شعاع یونی فلزات سرب و روی (آستاگیری و همکاران، ۲۰۰۴)

کاتیون	شعاع هیدراته (آنگستروم)	شعاع غیرهیدراته (آنگستروم)	انرژی هیدراتاسیون (کیلوژول/مول-یون)
روی	۴/۳۰	۰/۷۴	-۱۹۶۹/۲
سرب	۴/۰۱	۱/۳۲	-۱۴۳۵/۶

حجتی و همکاران: ارزیابی سیپولیت در کاهش آب‌شویی...

سرب و روی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. به نحوی که با کوچکتر شدن ذرات جاذب در حد رس (کوچکتر از ۲ میکرون) توانایی کانی سیپولیت در ممانعت از آب‌شویی عناصر سرب و روی به طور متوسط و به ترتیب ۲/۷ و ۳/۵ درصد افزایش می‌یابد. کاهش آب‌شویی عناصر سرب و روی در نتیجه کاربرد ذرات ریزتر را می‌توان به دلیل تراکم بیشتر بارالکتریکی در واحد سطح کانی و افزایش سطح ویژه ذرات جاذب با کوچکتر شدن اندازه آنها توجیه نمود. آلوارز-آیوسو و گارسیا-سانچز (b) (۲۰۰۳) و مالاندرینو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۶) نیز تاثیر دانه‌بندی ذرات جاذب را بر حذف فلزات سرب، روی و کادمیوم بررسی و ارتباط معکوسی بین اندازه ذرات جاذب و میزان جذب آلاینده‌ها گزارش نمودند.

همچنین با افزایش میزان کاربرد کانی مورد مطالعه، میزان آب‌شویی روی و سرب از ستون‌های خاک کاهش می‌یابد؛ به گونه‌ای که در نتیجه کاربرد مقدار ۸ درصد کانی سیپولیت میزان آب‌شویی شده عناصر سرب و روی به طور قابل توجهی در زهاب خروجی کاهش می‌یابد. کاهش مقدار آب‌شویی شده عناصر مورد مطالعه در نتیجه افزایش مقدار کاربرد کانی سیپولیت می‌تواند به دلیل افزایش میزان مکان‌های فعال جاذب در سوسپانسیون‌های مورد مطالعه باشد. توران و همکاران (۲۰۰۵)، پوتگیت و همکاران (۲۰۰۶) و حمیدپور و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۰) نیز افزایش میزان جذب عناصر سرب و کادمیوم را با افزایش مقدار کاربرد کانی‌های زئولیت، پالیگورسکیت و بنتونیت گزارش نمودند.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه کاربرد کانی سیپولیت منجر به کاهش آب‌شویی عناصر سرب و روی از ستون‌های خاک شد؛ همچنین بر اساس نتایج پژوهش حاضر با افزایش سطح کاربرد کانی سیپولیت و کاهش اندازه

جذب سطحی کاتیون‌های فلزی همچنین با توانایی آنها در تبدیل به تشکیل کمپلکس‌های کئوردیناسیون داخل شعاع هیدراته افزایش می‌یابد. برای مجموعه‌ای از فلزات که دارای بار الکتریکی مشابه هم هستند، تمایل به ایجاد این کمپلکس‌ها با کاهش شعاع هیدراته افزایش می‌یابد (ویرادوس سانتوس و ماسینی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). بر این اساس، شعاع هیدراته  $Pb^{2+}$  از شعاع هیدراته یون  $Zn^{2+}$  کوچکتر است (جدول ۳) و لذا با سهولت بیشتری توسط مکان‌های تبادلی کانی‌های سیپولیت جذب می‌گردد. اردم و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) نیز در مطالعه‌ای توانایی یک نمونه کانی زئولیت را در حذف فلزات سنگین بررسی و بین میزان جذب سطحی عناصر کبالت، روی، مس و منگنز و شعاع هیدراته یون‌های مذکور ارتباط معکوسی مشاهده نمودند. همچنین نتایج این مطالعه (شکل ۱) نشان می‌دهد که حداکثر آب‌شویی عناصر سرب و روی از ستون‌های حاوی کانی سیپولیت به عنوان جاذب در برخه‌های<sup>۳</sup> اول تا سوم صورت گرفته است و پس از آن میزان آب‌شویی شده عناصر مذکور رو به کاهش می‌گذارد. آلوارز-آیوسو و گارسیا-سانچز (a و b) (۲۰۰۳) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمودند. در تیمار شاهد به دلیل عدم وجود مکان‌های فعال جاذب میزان آب‌شویی شده عناصر سرب و روی در طول مدت انجام آزمایش ثابت و تقریباً مشابه با غلظت اولیه محلول‌های آزمایشی است (شکل ۱).

### تاثیر مقدار و اندازه ذرات جاذب بر آب‌شویی

#### عناصر روی و سرب

شکل ۲ تاثیر اندازه ذرات و مقدار جاذب را بر میزان آب‌شویی شده عناصر سرب و روی از ستون‌های خاک نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با کوچکتر شدن اندازه ذرات جاذب، میزان آب‌شویی شده عناصر

1- Vieira dos Santos and Masini

2- Erdem *et al.*

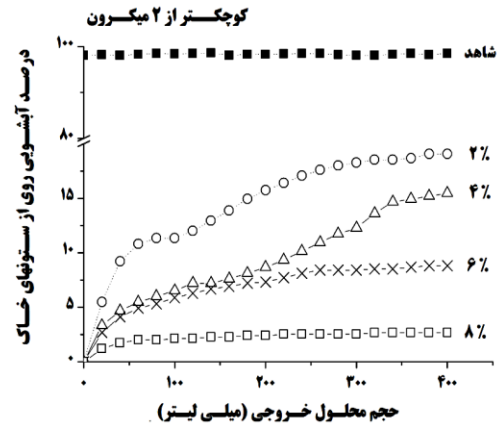
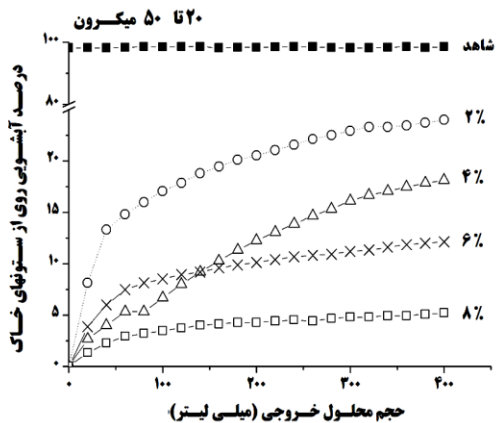
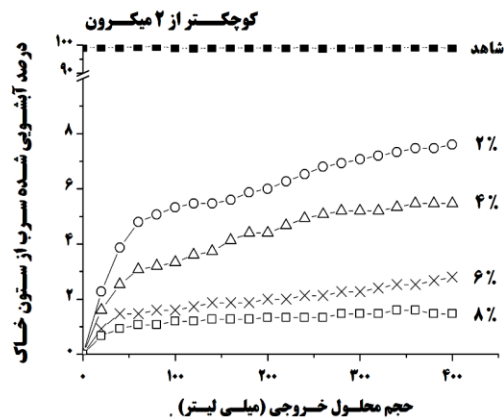
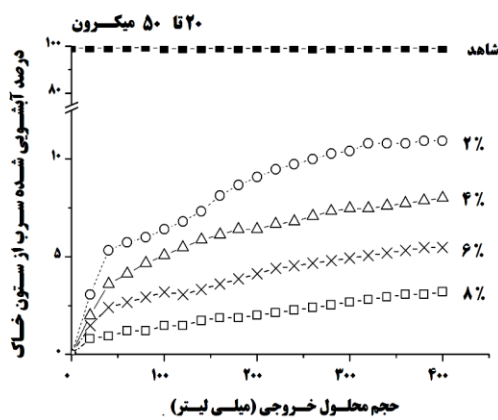
3-Leaching fractions

4- Malandrino *et al.*

5- Hamidpour *et al.*

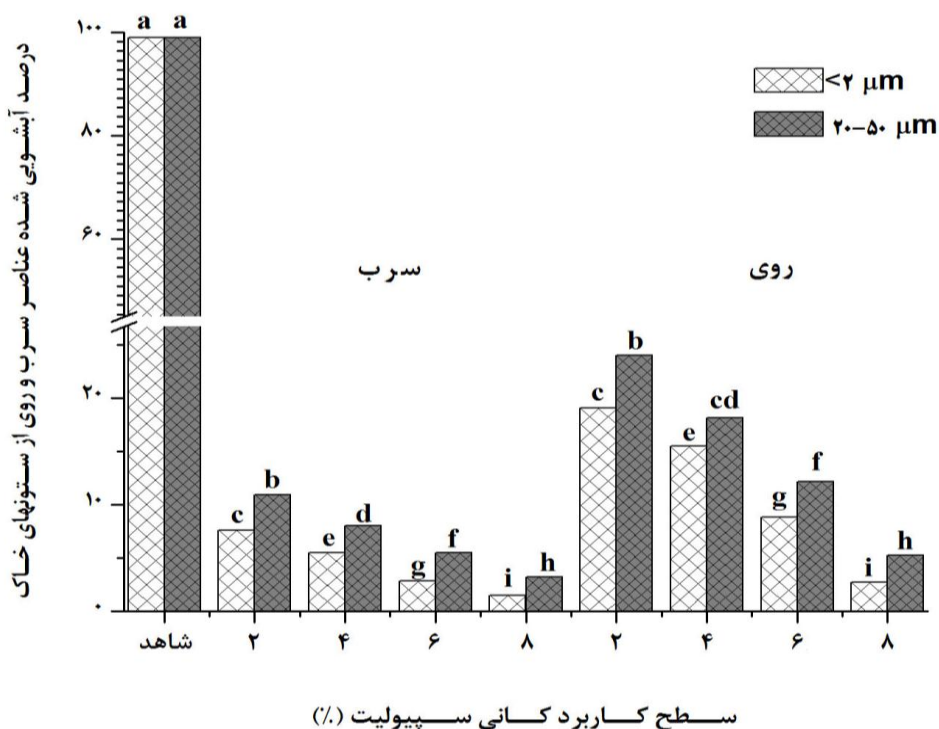
است؛ لیکن عناصر جذب شده توسط کانی ممکن است به مرور و در طول زمان آزاد شده و آلودگی محیط زیست را باعث شوند. بر این اساس و به منظور کنترل موثرتر این آلاینده‌ها پیشنهاد می‌شود مطالعات تکمیلی دیگری در رابطه با امکان و اجذب این عناصر از کانی‌های مورد مطالعه نیز صورت بگیرد.

ذرات این کانی‌ها تا حد رس (کوچکتر از ۲ میکرون) میزان آب‌شویی عناصر سرب و روی از خاک به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد؛ لذا به‌نظر می‌رسد که استفاده از کانی سپولیت در خاک‌های درشت بافت (شنی) می‌تواند به عنوان اصلاح‌کننده‌ای مناسب جهت ممانعت از آب‌شویی عناصر سرب و روی به کار گرفته شود. با این حال با وجود آنکه کانی سپولیت آب‌شویی عناصر سرب و روی را از ستون‌ها خاک به تاخیر انداخته



شکل ۱- تغییرات میزان آب‌شویی شده عناصر سرب و روی در تیمارهای مختلف

حجتی و همکاران: ارزیابی سیپولیت در کاهش آب‌شویی...



شکل ۲- تاثیر اندازه و مقدار کاربرد کانی سیپولیت بر آب‌شویی سرب و روی از ستونهای خاک

(در مورد هر عنصر حروف غیر مشابه نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

قدردانی نمایند. به‌علاوه، از جناب آقای دکتر غلامعباس صیاد به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان در مراحل طراحی ستونهای آب‌شویی تشکر و قدردانی می‌نماید.

### سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (طرح پژوهشی ۹۰۰۱۰۶۵) و دانشگاه شهید چمران اهواز که هزینه‌های انجام این پژوهش توسط ایشان پرداخت شده است

### منابع

- اسماعیلی ساری، ع. ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست. انتشارات نقش مهر، ۷۶۷ ص.
- حجتی، س. و خادمی، ح. در حال چاپ. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی ذخایر سیپولیت شمال شرق ایران. مجله علوم زمین.
- موسوی، س. ع. و اسدی، ح. ۱۳۹۰. حذف نیترات از آب زیرزمینی با استفاده از ستون جاذب حاوی رزین Purolite A-400. نشریه دانش آب و خاک، ۲۱(۴): ۳۴-۷.
- میرباقری، س. ا.، شمس، س.، هاشمی، س. ح. و ه. شمس. ۱۳۸۹. حذف نیکل دوظرفیتی از فاضلاب صنایع آبکاری با استفاده از اسمز معکوس. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۲(۱): ۱۱-۱.



- 5- Alvarez-Ayuso, E., and Garcia-Sanchez, A. 2003a. Palygorskite as a feasible amendment to stabilize heavy metal polluted soils. *Environmental Pollution*, 125, 337-344.
- 6- Alvarez-Ayuso, E., Garcia-Sanchez, A. 2003b. Sepiolite as a feasible soil additive for the immobilization of cadmium and zinc. *The Science of the Total Environment*, 305, 1-12.
- 7- Asthagiri, D., Pratt, L.R., Paulaitis, M.E., and Rempe, S.B. 2004. Hydration structure and free energy of biomolecularly specific aqueous dictations, including  $Zn^{2+}$  and first transition row metals. *Journal of American Chemical Society*, 126 (4): 1285-1289.
- 8- Basta, N.T., Gradwohl, R., Snethen, K.L., and Shroder, J.L. 2001. Chemical immobilization of zinc, lead and cadmium in smelter contaminated soils using biosolids and rock phosphate. *Journal of Environmental Quality*, 30: 1222-1230.
- 9- Carter, D. L., Mortland, M. M, and Kemper, W.D. 1996. Specific surface. In Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. Pp: 413-423.
- 10- Chlopecka, A., and Adriano, D. C. 1997. Influence of zeolite, apatite, and Fe-oxide on Cd and Pb uptake by crops. *The Science of the Total Environment*, 207: 195-206.
- 11- Coulson, J.M., Richardson, J.F., Backhurst, J.R., and Harker, J.H. 1991. *Chemical Engineering, Vol. 2, Particle Technology and Separation Processes*. 4<sup>th</sup> Edition, Butterworth-Heinemann, Bath, UK.
- 12- Erdem, E., Karapinar, N., and Donat, R. 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280: 309-314.
- 13- Galan, E., 1996. Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays. *Clay Minerals*, 31: 443-453.
- 14- Garcia-Sanchez, A., Alastuey, A., and Querol, X. 1999. Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of polluted soils. *The Science of the Total Environment*, 242: 179-188.
- 15- Hamidpour, M., Kalbasi, M., Afyuni, M., and Shariatmadari, H. 2010. Kinetic and isothermal studies of cadmium sorption onto bentonite and zeolite. *International Agrophysics*, 24: 253-259.
- 16- Lindim, C., de Varennes, A., Torres, M.O., and Mota, A.M. 2001. Remediation of sandy soil artificially contaminated with cadmium using a polyacrylate polymer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 1567-1574.
- 17- Malandrino, M., Abollino, O., Giacomino, A., Aceto, M., and Mentasti, E. 2006. Adsorption of heavy metals on vermiculite: influence of pH and organic ligands. *Journal of Colloid and Interface Science*, 299: 537-546.

- 18- Mench, M.J., Manceau, M., Vangronsveld, J., Clijsters, H., and Mocout, B. 2000. Capacity of soil amendments in lowering the phytoavailability of sludge-borne zinc. *Agronomie*, 20: 383-397.
- 19- Potgieter, J.H., Potgieter-Vermaak, S.S., and Kalibantonga, P.D. 2006. Heavy metals removal from solution by palygorskiteclay. *Minerals Engineering*, 19: 463-470.
- 20- Rozada, F., Otero, M., Moran, A., and Garcia, A.I. 2008. Adsorption of heavy metals onto sewage sludge-derived materials. *Bioresource Technology*, 99: 6332-6338.
- 21- Summer, M.E., and Miller, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Bartels, J. M., and Bigham, J.M. (eds.), *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. Soil Science Society of America and America Society of Agronomy, Madison, WI, USA. Pp: 1201-1231.
- 22- Turan, M., Mart, U., Yuksel, B., and Celik, M. 2005. Lead removal in fixed bed columns by zeolite and sepiolite. *Chemosphere*, 60: 1487-1492.
- 23- Turan, N.G., Eevli, S., and Mesci, B. 2011. Adsorption of copper and zinc ions on illite: determination of optimal conditions by the statistical design of experiments. *Applied Clay Science*, 52: 392-399.
- 24- Vieira dos Santos, A.C., and Masini, J.C. 2007. Evaluating the removal of Cd(II), Pb(II) and Cu(II) from a wastewater sample of coating industry by adsorption onto vermiculite. *Applied Clay Science*, 37: 167-174.