اثر غلظت محلول و اندازه ذرات زئولیت بر جذب نیکل، کادمیم و سرب از محلول آبی

مریم آسمان رفعت[۱]، سید حسن طباطبائی[۱*]، مسعود نوشادی[۲] و حبیب‌اله بیگی هرچگانی[۳]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۱۲/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۵/۲۲)

چکیده

یکی از راه‌های کاهش فلزات سنگین از محلول‌های آبی، استفاده از زئولیت است. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کاربرد زئولیت در حذف چند فلز از محلول با غلظت‌های مختلف است. این پژوهش در قالب یک طرح آزمایشی کرت‌های خردشده با ۴۵ تیمار و ۳ تکرار در محل دانشگاه شیراز در تابستان ۱۳۹۰ انجام شد. تیمارهای پژوهش شامل ۵ غلظت آلاینده و ۳ اندازه مختلف زئولیت (۰/۰۷۵ ، ۰/۲ و ۰/۴۲۵ میلی‌متر) بوده‌اند. برای سرب غلظت‌های۴۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و برای نیکل و کادمیم غلظت‌های ۴، ۶، ۱۵، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف، معنی‌دار بوده است و با افزایش غلظت آلاینده، فرآیند جذب عناصر سنگین توسط زئولیت به‌صورت خطی افزایش یافته است. بیشترین مقدار جذب سرب در غلظت ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و برابر با ۵۹/۹۷ میلی‌گرم به‌ازای مصرف یک گرم زئولیت بوده است و کمترین میزان جذب سرب مربوط به غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و برابر ۱/۸۲ میلی‌گرم به‌ازای مصرف یک گرم زئولیت بوده است. بیشترین مقدار جذب نیکل مربوط به غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و برابر با ۱/۹۲ میلی‌گرم و کمترین میزان جذب نیکل مربوط به غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر و برابر ۰/۱۶ میلی‌گرم به‌ازای مصرف یک گرم زئولیت بوده است. بیشترین مقدار جذب کادمیم نیز مربوط به غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و برابر با ۱/۸۷ میلی‌گرم و کمترین میزان جذب کادمیوم در غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر و برابر ۰/۱۸ میلی‌گرم به‌ازای مصرف یک گرم زئولیت رخ داده است. هم‌چنین، اثر اندازه‌های مختلف زئولیت نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که برای هر سه فلز سنگین سرب، نیکل و کادمیم، اثر اندازه زئولیت معنی‌دار نبوده است.

واژه‌های کلیدی: جذب، زئولیت، عناصر سنگین، محلول آبی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tabatabaei@agr.sku.ac.ir

مقدمه

امروزه در سراسر جهان، صنعت و فناوری با سرعت روزافزون در حال پیشرفت هستند، اما در این راستا مشکلات و مسائلی ایجاد می‌شوند که مستقیم یا غیرمستقیم، معلول این پیشرفت‌ها می‌باشند. ازجمله این مشکلات، دفع پسماند از محصولات مصرفی و مواد مضر خارج‌شده از کارخانجات و صنایع تولیدی است. عوارض ناشی از ورود این‌گونه مواد به محیط زیست، انسان را برآن داشته تا علاوه بر تلاش برای دفع مواد مضر موجود در محیط زیست، اقدام به‌وضع و تصویب قوانین و مقرراتی در جهت محدود کردن کارخانجات و واحدهای تولیدی در مورد تخلیه فاضلاب‌های آلوده‌کننده به محیط زیست نماید (۱).

خصوصیات فاضلاب‌های صنعتی در هر صنعت خاص، متفاوت می‌باشند و درنتیجه، فرایندهای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی نیز متفاوت هستند. پساب‌های صنعتی در مقایسه با فاضلاب‌های شهری، خاصیت خورندگی بیشتری دارند؛ خاصیت قلیایی یا اسیدی زیادتری دارند؛ امکان وجود موجودات زنده در آنها کمتر است و امکان وجود مواد و ترکیبات شیمیایی و سمی در آنها بیشتر است (۴). هم‌چنین، این فاضلاب‌ها به‌دلیل بالا بودن غلظت مواد نامناسب برای محیط زیست در آنها، برخلاف فاضلاب‌های شهری که به‌طور خام در آبیاری قابل استفاده هستند، برای استفاده در آبیاری احتیاج به تصفیه دارند (۱۱). از روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب می‌توان به‌روش الکترودیالیز، اسمز معکوس، ته‌نشینی، تبخیر و استفاده از نیزارهای مصنوعی اشاره کرد که هرکدام، مزایا و معایب خاص خود را دارا می‌باشد (۲).

زئولیت‌ها که در مناطق مختلف دنیا در سنگ‌های رسوبی و خاکسترهای آتشفشانی کشف شده‌اند، کاربردهای مختلفی در تصفیه آب، صنعت ساختمان‌سازی، کشاورزی و اصلاح خاک دارند. زئولیت‌های طبیعی، منابع فراوان و ارزان‌قیمتی هستند که شامل بلورهای آبدار آلومینیوم سیلیکات می‌باشند و دارای منافذی هستند که توسط آب و کاتیون‌های قلیایی پر شده‌اند. به‌همین دلیل، قدرت تبادل کاتیونی بالایی دارند و از آنها برای تصفیه آب استفاده می‌شود (۱۸). کانی‌های زئولیت طبیعی از واحدهای چهاروجهی AlO_4 و SiO_4 تشکیل شده‌اند که به‌وسیله اتم‌های اکسیژن به یکدیگر پیوند خورده‌اند (۵). بافت، ساختمان و ترکیب شیمیایی این کانی‌ها آنها را منابع بالقوه‌ای برای کاربرد در زمینه‌های گوناگون ساخته است (۳). زرپوس و همکاران (۲۱) بیان کردند که زئولیت در حذف عناصری مثل کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی مؤثر است. در آزمایشی دیگر، اثر زئولیت کلینوپتیلولیت روی جذب عناصر مختلف بررسی شد و اثر آن روی جذب سرب و کادمیم از همه بهتر بود و بعد از آن، به‌ترتیب، مس، کادمیم و کروم قرار گرفتند. در دماهای بالاتر، سایت‌های جذب زئولیت منظم‌تر می‌شوند و فرآیند جذب افزایش می‌یابد (۷).

ودیاستوتی و همکاران (۱۹) بیان کردند که توسط کلرید پتاسیم و کلرید سدیم می‌توان زئولیت‌ها را احیا ساخت. برای این منظور می‌توان از ۲۰ تا ۲۵ گرم در لیتر کلرید پتاسیم در پی‌اچ ۴ تا ۴/۵ استفاده نمود. وینگنفلدر و همکاران (۲۰) پژوهش‌هایی را روی چهار عنصر آهن، روی، کادمیم و سرب انجام دادند و اثر جاذب زئولیت را بر میزان جذب آن‌ها بررسی کردند و مشاهده نمودند که حداکثر میزان جذب توسط زئولیت برای عنصر سرب در پی‌اچ برابر با ۶ و برای کادمیم در پی‌اچ برابر با ۸ صورت گرفته است. مینسوا و همکاران (۱۴) با پژوهش روی زئولیت و عناصر روی، سرب و کادمیم و بررسی اثر غلظت‌های مختلف، به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت، میزان جذب افزایش می‌یابد. هدف از این پژوهش، بررسی اثر غلظت محلول و تأثیر کاربرد زئولیت و اندازه آن، به‌منظور کاهش سه فلز سنگین سرب، نیکل و کادمیم از یک محلول آبی است.

مواد و روش‌ها

زئولیت مورد نظر از معدن سمنان تهیه شد (جدول ۱) و در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه شیراز خرد گردید و

جدول۱. مشخصات و درصد مواد تشکیل‌دهنده زئولیت سمنان

زئولیت	SiO_2	Al_2O_3	CaO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	MgO	TiO_2	MnO	P_2O_5	LOI	CEC
سمنان	۶۶/۵	۱۱/۸	۱/۳	۲/۱	۲	۱/۳	۰/۸	۰/۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۱۲	۱۰۰

LOI: درصد ترکیبات دیگر در مواد تشکیل دهنده زئولیت به‌غیر از عناصری که در جدول ذکر شده است.

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی است.

به‌منظور تعیین دانه‌بندی از الک‌های متوالی عبور داده شد. درنهایت، زئولیت با سه اندازه ۰/۰۷۵، ۰/۲ و ۰/۴۲۵ میلی‌متر برای انجام این پژوهش آماده گردید.

بر اساس پژوهش‌های طباطبایی و همکاران (۲)، دمیرباس و همکاران (۱۰)، هوی و همکاران (۱۲) و اسپرینسکی (۱۶) قسمت اعظم جذب معمولاً در زمان ماندگاری ۹۰ دقیقه انجام می‌گیرد. بنابراین، زمان ماند در این پژوهش، ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد. در مطالعه‌ی حاضر، مقدار معینی از نمک فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیم در حجم معینی آب مقطر حل گردید تا غلظت مورد نظر به‌دست آید. سپس دو گرم زئولیت کلینوپتیلولیت در سه اندازه (۰/۰۷۵، ۰/۲ و ۰/۴۲۵ میلی‌متر) در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ریخته شد و در شیکر قرار داده شد. بعد از طی ۹۰ دقیقه، فاز محلول به روش صاف کردن توسط کاغذ صافی از فاز جامد جدا شد و غلظت فاز محلول توسط دستگاه جذب اتمی خوانده شد و سپس مقدار جذب از معادله زیر به‌دست آمد:

$$AR = (C_2 - C_1) / w \qquad [۱]$$

که در آن، AR میزان جذب عناصر سنگین در واحد وزن سوپر جاذب، C_1 غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)، C_2 غلظت ثانویه (میلی‌گرم بر لیتر) و w وزن زئولیت می‌باشند. این اندازه‌گیری‌ها برای هر سه اندازه زئولیت اشاره‌شده در بالا انجام شد.

غلظت‌های مختلف آلاینده به شرح زیر انتخاب شدند: برای آلاینده سرب، بر اساس پژوهش سرکویز و همکاران (۸) غلظت‌های ۴۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر درنظر گرفته شد. هم‌چنین، براساس مطالعه آلوارز- آیوسو و همکاران (۶) غلظت‌های ۴، ۶، ۱۵، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر برای نیکل و کادمیم انتخاب شدند. غلظت‌های متفاوت مزبور برای هرکدام از فلزات سنگین، در تماس با زئولیت قرار داده شدند و میزان جذب هر یک از عناصر در مقابل غلظت‌های مختلف رسم گردید و رابطه بین آنها تعیین شد.

نتایج و بحث

ابتدا اثر غلظت و سپس اثر اندازه‌های مختلف زئولیت برای سه عنصر سرب، نیکل و کادمیم مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به شرح زیر می‌باشند.

سرب

در جدول ۲ نتایج تحلیل آماری غلظت‌های مختلف آلاینده بر میزان جذب سرب، نیکل و کادمیم آمده است. طبق این جدول، میزان غلظت محیط جذب روی مقدار سرب، نیکل و کادمیم جذب‌شده توسط زئولیت معنی‌دار است ($P<۰/۰۱$). هم‌چنین اثر خطا برروی آزمایش‌ها معنی‌دار نبود و بنابراین، نتایج مورد قبول می‌باشند. شکل ۱ اثر غلظت‌های مختلف آلاینده سرب برمیزان جذب سرب توسط یک گرم زئولیت را نشان می‌دهد. براساس این شکل، حداکثر جذب به‌میزان ۵۹/۹۷ میلی‌گرم در گرم زئولیت در تیمار ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و حداقل جذب به‌میزان ۱/۸۲ میلی‌گرم در گرم زئولیت در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است. براساس آزمون مقایسه میانگین‌ها (آزمون دانکن) تمامی ۵ تیمار غلظت سرب با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. سرکویز و همکاران (۸) نشان دادند که تا

جدول۲. تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سرب، نیکل و کادمیم بر میزان جذب آنها توسط زئولیت

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین	F
تیمار (غلظت سرب محلول)	۲۱۹۰۹۰۷/۸	۴	۵۴۷۷۲۶/۹	۱۵۱۱۴۶/۶**
خطا	۱۴۴/۹	۴۰	۳/۶	
کل	۲۱۹۱۰۵۲/۸	۴۴		
تیمار (غلظت نیکل محلول)	۱۷۸۲/۹	۴	۴۴۵/۷	۲۶۲۹/۸**
خطا	۶/۷	۴۰	۰/۱۶۹	
کل	۱۷۸۹/۷	۴۴		
تیمار(غلظت کادمیوم محلول)	۱۶۶۱/۳	۴	۴۱۵/۳	۲۱۲۶/۵**
خطا	۷/۸۱۲	۴۰	۰/۱۹۵	
کل	۱۶۶۹/۱	۴۴		

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns: معنی‌دار نیست.

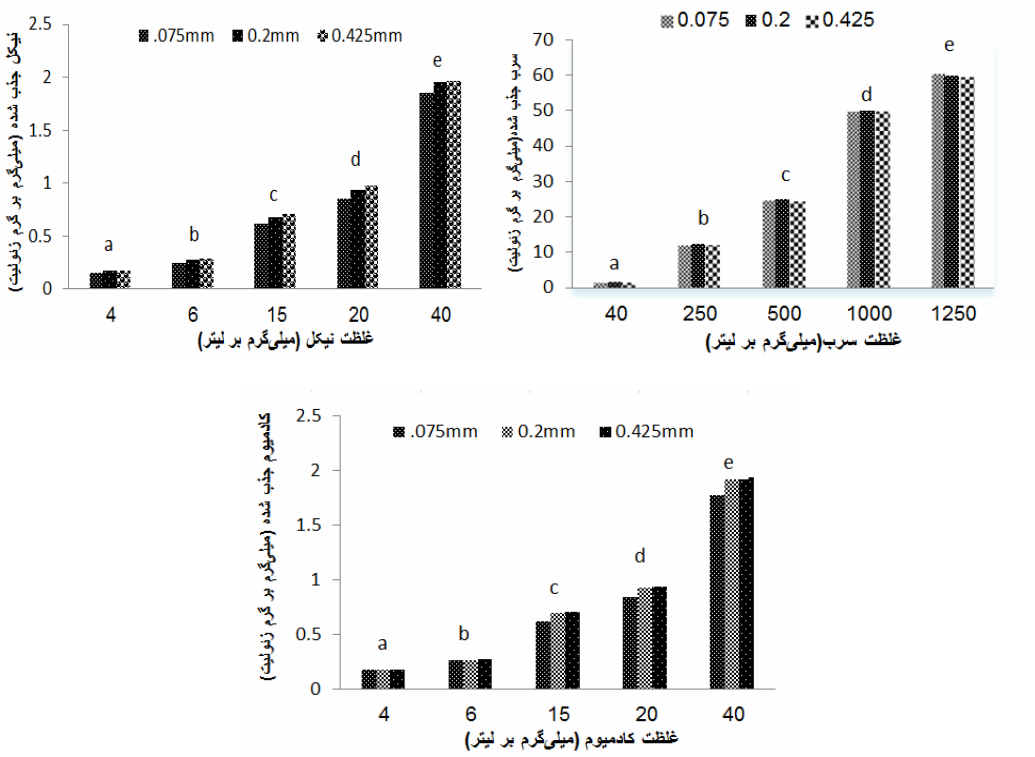
غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، تغییرات خطی هستند و از ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، شدت تغییرات آن کمتر شده، ولی هنوز روند آن افزایشی است و بعد از آن، تغییرات ثابت می‌شوند. میزان جذب در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۶۶/۳ میلی‌گرم به‌ازای یک گرم زئولیت بوده است. در غلظت ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان جذب به ۷۰/۴ میلی‌گرم بر گرم زئولیت رسیده است. با افزایش غلظت، به‌دلیل ازدیاد یون‌های قابل تبادل، سایت‌های خالی زئولیت پر می‌شوند و افزایش غلظت تا جایی که سایت خالی وجود دارد باعث افزایش فرآیند جذب می‌شود و از آن به‌بعد روند ثابتی خواهد داشت و با افزایش غلظت از آن حد مشخص، جذب ثابت خواهد ماند.

نیکل

شکل ۱ اثر غلظت‌های مختلف آلاینده نیکل بر میزان جذب نیکل توسط یک گرم زئولیت را نشان می‌دهد. براساس این شکل، مقدار حداکثر جذب به‌میزان ۱/۹۲ میلی‌گرم در گرم زئولیت در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر و حداقل جذب در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر به‌مقدار ۰/۱۶ میلی‌گرم در گرم زئولیت اندازه‌گیری شده است. تمامی ۵ تیمار غلظت نیکل با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. بر طبق مطالعاتی که آلوارز-آیوسو و همکاران (۶) انجام دادند، تا غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، تغییرات خطی بوده است و تا غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، روند تغییرات آن ثابت می‌شود. میزان جذب در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، ۱/۸ میلی‌گرم در لیتر به‌ازای یک گرم زئولیت بوده است. همان دلایلی که در افزایش میزان جذب سرب با افزایش غلظت آلاینده بیان شد، دراینجا نیز صادق است.

کادمیم

شکل ۱ اثر غلظت‌های مختلف آلاینده کادمیم برمیزان جذب آن توسط یک گرم زئولیت را نشان می‌دهد. براساس این شکل، مقدار حداکثر جذب به‌میزان ۱/۸۷ میلی‌گرم بر گرم زئولیت در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر و حداقل جذب در تیمار ۴ میلی‌گرم بر لیتر به‌مقدار ۰/۱۸ میلی‌گرم بر گرم زئولیت اندازه‌گیری شده است. براساس آزمون مقایسه میانگین‌ها تمامی ۵ تیمار غلظت کادمیوم با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. برطبق مطالعاتی که آلوارز-آیوسو و همکاران (۶) انجام دادند، تا غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، تغییرات خطی بوده است و تا غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر، روند تغییرات آن کمتر شده است، ولی هنوز



شکل ۱. اثر غلظت‌های مختلف سرب، نیکل و کادمیم بر میزان جذب آن در سه اندازه زئولیت

روند آن افزایشی است و بعد از آن ثابت می‌شود. میزان جذب در غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر ۳/۸ میلی‌گرم در لیتر به ازای دو گرم زئولیت بوده است و از آن به بعد ثابت می‌شود. در این پژوهش، روند تغییر غلظت افزایشی و در دامنه غلظت مذکور، تغییرات آن خطی بوده است. همان دلایلی که در افزایش میزان جذب سرب با افزایش غلظت آلاینده بیان شد، در اینجا نیز صادق است.

هیو و همکاران (۱۲) تحقیقاتی را روی زئولیت جهت حذف پنج عنصر کبالت، کرم ، نیکل، مس و روی انجام دادند، آن‌ها نشان دادند که میزان جذب عناصر سنگین از روابط لانگمولر تبعیت می‌کند و به‌صورت $Cu^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Ni^{2+}$ است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در این تحقیق نیز ترتیب جذب به‌صورت $Pb^{2+} > Cd^{3+} > Ni^{2+}$ به‌دست آمد که کمترین میزان جذب برای نیکل مشاهده گردید. اومار و همکاران (۱۵) تحقیقاتی را روی دو عنصر مس و روی توسط زئولیت طبیعی و آتشفشانی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت، راندمان جذب کاهش یافت به‌طوری که برای مس بیشترین میزان جذب مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و برابر با ۹۲٪ و کمترین میزان جذب مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و برابر با ۵۰٪ درصد بوده است. برای عنصر روی بیشترین میزان جذب مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و برابر با ۹۹٪ و کمترین میزان جذب مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و برابر با ۵۸٪ بوده است.

مینسوا و همکاران (۱۴) روی زئولیت و عناصر روی، سرب و کادمیوم تحقیقاتی را انجام دادند و اثر غلظت‌های مختلف را بررسی کردند. میزان جذب برای سرب در غلظت۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر ۲۷ میلی‌گرم در لیتر به‌ازای هر گرم زئولیت بوده و برای روی و کادمیوم در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌ازای هر گرم زئولیت بوده است. آنها هم‌چنین اثر ترکیبی عناصر مختلف را نیز بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که وقتی چند عنصر در محلول وجود داشته باشد، جذب آنها به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، چون

جدول۳. تجزیه واریانس اثر اندازه‌های مختلف زئولیت بر میزان جذب سرب، نیکل و کادمیم

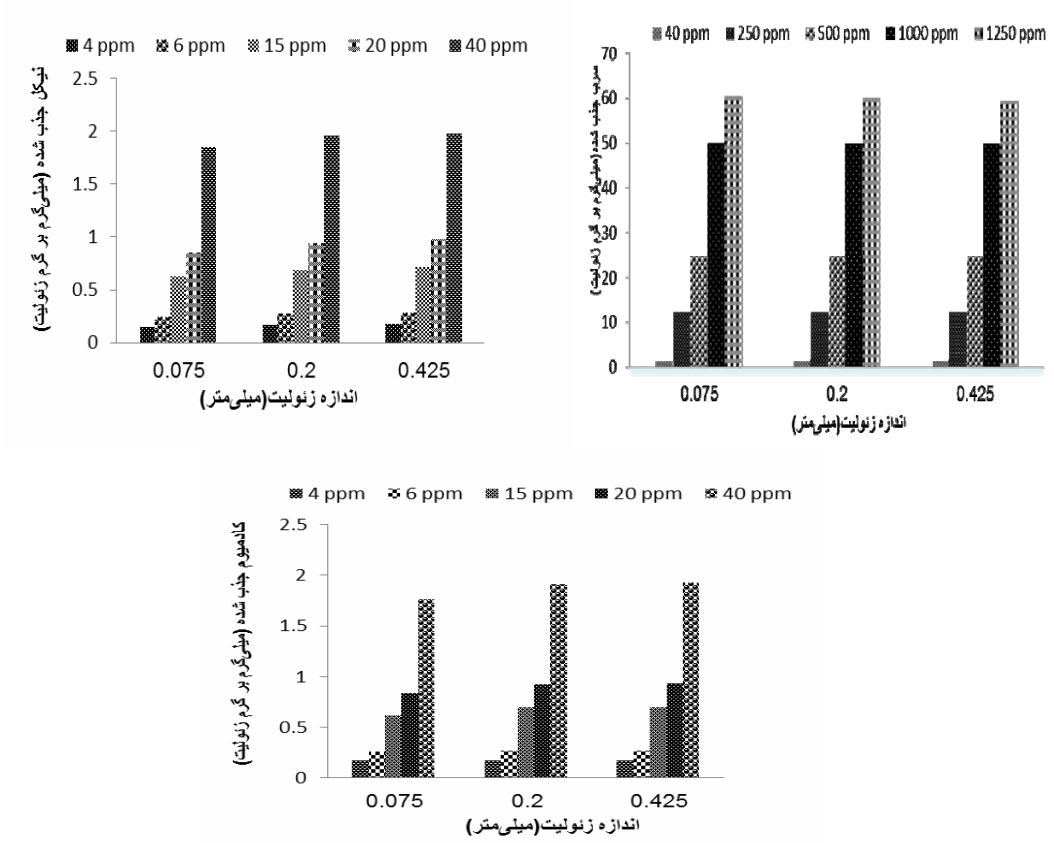
منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین	F
تیمار (اندازه زئولیت) و سرب	۴۷/۳	۲	۲۳/۶	۰/۰۰۰^{ns}
خطا	۲۱۹۱۰۰۵/۴	۴۲	۵۲۱۶۶/۷	
کل	۲۱۹۱۰۵۲/۸	۴۴		
تیمار (اندازه زئولیت) و نیکل	۵/۲	۲	۲/۶	۰/۰۶۱^{ns}
خطا	۱۷۸۴/۵	۴۲	۴۲/۴	
کل	۱۷۷۸۹/۷	۴۴		
تیمار(اندازه زئولیت) و کادمیم	۴/۴۴۷	۲	۲/۲۳۷	۰/۰۵۶^{ns}
خطا	۱۶۶۴/۶۵۸	۴۲	۳۹/۶۳۵	
کل	۱۶۶۹/۱۳۲	۴۴		

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns: معنی‌دار نیست.

یون‌ها در رقابت باهم قرار می‌گیرند.

در تحقیق حاضر براساس شکل ۱ میزان جذب برای سرب در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر ۱۲ میلی‌گرم در لیتر به‌ازای هر گرم زئولیت بوده و برای غلظت نیکل و کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر ۲ میلی‌گرم بر لیتر به‌ازای هر گرم زئولیت بوده است. به‌نظر می‌رسد پائین بودن توانائی جذب زئولیت به‌کار رفته در این تحقیق نسبت به‌تحقیق مینسوا و همکاران (۱۴) باعث شده که میزان جذب در غلظت مساوی، پائین تر باشد. در کل نتایج تحقیق حاضر، اگرچه محدوده متفاوتی از غلظت را به‌کار گرفته ولی روند تغییرات جذب با نتایج اومار و همکاران (۱۵) و مینسوا و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر اندازه‌های مختلف زئولیت بر میزان جذب سرب، نیکل و کادمیم آمده است. طبق این جدول، تأثیر اندازه‌های مختلف زئولیت روی جذب سرب، نیکل و کادمیم توسط زئولیت معنی‌دار نیست. هم‌چنین اثر خطا بر روی آزمایش‌ها معنی‌دار نبود و بنابراین نتایج، مورد قبول می‌باشند.

شکل ۲ اثر اندازه‌های مختلف زئولیت بر میزان جذب سرب، نیکل و کادمیوم را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، مقدار جذب سرب، نیکل و کادمیوم در هر یک از اندازه‌ها تقریباً یکسان است. سزاران و همکاران (۹) بیان کردند که اندازه ذرات زئولیت تأثیر مهمی بر میزان جذب دارد و دلیل آن را افزایش سطح تماس زئولیت با عناصر سنگین و افزایش زمان تماس دانسته‌اند. طباطبایی و لیاقت (۱۷) بیان کردند که کاهش اندازه ذرات در زئولیت باعث افزایش میزان جذب می‌شود و دلیل آن‌را افزایش خلل و فرج ریز در این ذرات نسبت به ذرات بزرگ‌تر دانسته‌اند. در پژوهش‌هایی که توسط لیوا و همکاران (۱۳) صورت گرفته است، کاهش اندازه ذرات زئولیت، اثر کمی بر جذب داشته است و به‌عبارتی، میزان جذب متأثر از اندازه



شکل ۲. اثر اندازه‌های زئولیت در غلظت‌های مختلف سرب، نیکل و کادمیم بر میزان جذب آنها

ذرات نبوده است. کاهش اندازه ذرات در این پژوهش هم اثر معنی‌داری بر میزان جذب نداشته است، زیرا کاهش اندازه ذرات باعث افزایش سطح ویژه خارجی می‌گردد، درحالی‌که ظرفیت جذب مربوط به‌سطوح داخلی بوده است. بنابراین، چون با کاهش اندازه ذرات، تغییر چندانی بر میزان سطوح داخلی ایجاد نمی‌شود؛ درنتیجه، اندازه ذرات بر میزان جذب بی‌تأثیر بوده است.

نتیجه‌گیری

با افزایش غلظت هر سه عنصر در محلول، میزان جذب توسط زئولیت افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار جذب سرب، نیکل و کادمیوم مربوط به غلظت ۱۲۵۰، ۴۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر است، که به‌ترتیب برابر با ۵۹/۹۷، ۱/۹۲ و ۱/۸۷ میلی‌گرم بر گرم زئولیت می‌باشد.

کمترین مقدار جذب سرب، نیکل و کادمیوم مربوط به غلظت ۴۰، ۴ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر است، که به‌ترتیب برابر با ۱/۸۲، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ میلی‌گرم بر گرم زئولیت می‌باشد. ریزی و درشتی ذرات زئولیت، اثری روی جذب سرب، نیکل و کادمیم ندارد البته این نتیجه در محدوده اندازه ذرات مورد آزمایش معتبر است و احتمالاً برای اندازه دیگر ذرات نتایج متفاوتی به‌دست خواهد آمد. در این تحقیق ترتیب جذب به‌صورت $Pb^{2+} > Cd^{3+} > Ni^{2+}$ به‌دست آمد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تحصیلات تکمیلی دانشگاه شهرکرد که هزینه این پژوهش را متقبل شده‌اند کمال تشکر را می‌نماید. هم‌چنین از مدیر محترم گروه مهندسی آب دانشگاه شیراز به‌خاطر در اختیار گذاشتن آزمایشگاه و وسایل لازم قدردانی به‌عمل می‌آورد.

منابع مورد استفاده

۱. سیاحی، غ. ۱۳۷۸. حذف بیولوژیکی سیانور از فاضلاب صنایع فولادسازی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. طباطبایی س. ح.، م. توسلی و ع. لیاقت. ۱۳۸۱. ارزیابی خصوصیات مهم فیزیکی سه نوع فیلتر زئولیتی به‌منظور حذف فلزات سنگین فاضلاب. مجله آب و فاضلاب ۶۸:۷۰ -۴۲.

۳. کاظمیان، ح.، و ح. فقیهان. ۱۳۷۷. بررسی امکان استفاده از زئولیت جهت حفظ وافزایش رطوبت خاک. نهمین همایش کمیته ملی آبیاری- زهکشی ایران، ۱-۲ آبان ۱۳۷۷، تهران.

۴. منزوی، م. ۱۳۶۷. *تصفیه فاضلاب شهری*. انتشارات دانشگاه تهران.

5. Akbar, S., S. Khatoon, R. Shehnaz and T. Hussian. 1999. Natural zeolite structures classification, orgin, occurrence and importance. Sci. Intl. 11(1): 73-78.
6. Alvarez-Ayuso, E., A. Garcia-Sanchez and X. Querol. 2003. Purification of metal. Water Res. 37: 4855–4862.
7. Babel, S. and T. Kurniawan. 2002. Low cost adsorbant for heavy metals uptake from contaminated water (A review). J. Hazardous Materials 97:219–243.
8. Ćurković, L., S. Cerjan-Stefanović and T. Filipan. 1996. Metal ion exchange by natural and modified zeolites. Water Res. 31(6):1379-1382.
9. Czárán, E., A. Mészáros-Kis, E. Domokos and J. Papp. 1988. Separation of ammonia from waste water using clinoptilolite as ion exchanger. Nuclear and Chem. Waste Manage. 8(2):107-113.
10. Demirbas, A., E. Pehlivan, F. Gode, T. Altun and G. Arslan. 2005. Adsorption of Cu(II), Zn(II), Ni(II), Pb(II), and Cd(II) from aqueous solution on Amberlite IR-120 synthetic resin. J. Colloid and Interface Sci. 282: 20–25.
11. Eckenfelder, W. 1998. Industrial water pollution control. Water Res. J. 31: 621-633.
12. Hui, K., H. Chai and S. Kot. 2005. Removal of mixed heavy metal ions in waste water by zeolite 4A and residual products from recycled coal fly ash. J. Hazardous Materials 127:89–101.
13. Leyva-Ramos, R., G. Aguilar-Armenta, G. Gonsales-Gutierrez, L. V. Guerrero, R. M. Coronado and J. Mendosa-Barron. 2004. Ammonia exchange on Clinoptilolite from mineral deposits located in Mexico. J. Chem. Technol. Biotechnol. 79:651-657.
14. Minceva, M., L. Markovska. and V. Meshko. 2007. Removal of Zn, Cd and Pb from binary aqueous solution by natural zeolite and granulated activated carbon. Macedonian J. Chem. and Chemical Eng. 26:125–134.
15. Omar E., A. Abdel Salam, A. Neama B. Reiad M. Maha and A. ElShafei. 2011. Study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents. J. Adv. Res. 2:297–303.
16. Sprynskyy, M. 2009. Solid–liquid–solid extraction of heavy metals (Cr, Cu, Cd, Ni and Pb) in aqueous systems of zeolite–sewage sludge. J. Hazardous Materials 161:1377–1383.
17. Tabatabaei, S. H. and A. Liaghat. 2004. Use of zeolite to control heavy metal in municipal waste water applied for irrigation. J. Ion Exchange 15(2):1-7.
18. Wang, Sh. and Y. Peng. 2010. Natural zeolites effective adsorbents in water and waste water treatment. Chem. Eng. J. 156:11–24.
19. Widiastuti, N., H. Wu, B. An and D. Zhang. 2008. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. Desalination 218: 271–280.
20. Wingenfelder, U., C. Hansenc, G. Furrer and S. Schulin. 2005. Removal of heavy metals from mine waters by natural zeolites. Environ. Sci. and Technol. 39: 4606-4613.
21. Zorpas A. A., I Vassilis, M. Loizidou and H. Grigoropoulou. 2002. Particle size effects on ptake of heavy metals from sewage sludge compost using natural zeolite clinoptilolite. J. Colloid and Interface Sci. 250(1):1-4.