

زدایش مس و نیکل از محلول‌های آبی به وسیله بنتونیت طبیعی

عباس اسماعیلی*^۱، سیمین ناصری^۲، امیرحسین محوی^۲، رضا آتش‌دهقان^۳

خلاصه

سابقه و هدف: آزاد شدن و پراکندگی فلزات سنگین در محیط می‌تواند خطرات جدی برای انسان‌هایی که در معرض تماس با آنها می‌باشند را فراهم آورد. فلزات سنگین دارای خاصیت تجمع در سیستم‌های بیولوژیکی بوده و غیر قابل تجزیه میکروبی می‌باشند و از درجه سمیت بالایی برخوردار هستند، بنابراین توسعه روش‌های جدید و نو به‌جای گزینه‌های قدیمی فیزیکی و شیمیایی برای حذف و جداسازی آنها از آب‌ها و پساب‌ها ضروری است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق جذب مس (Cu^{2+}) و نیکل (Ni^{2+}) از محلول‌های آبی در دمای $27 \pm 1^\circ\text{C}$ بر روی بنتونیت طبیعی مورد مطالعه قرار گرفته است. تأثیر pH، غلظت اولیه فلزات، مقدار جاذب و زمان تماس، به روش ناپیوسته (Batch) بررسی گردید. تمامی محلول‌های فلزات دو ظرفیتی و در غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از نمک‌های نترات آنها تهیه و غلظت آنها به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. داده‌های جذب به دو روش کمی و کیفی تجزیه و تحلیل شدند. در روش کیفی از دسته‌بندی گیل و در روش کمی از ایزوترم‌های لانگمایر و فروندلیچ استفاده شد.

یافته‌ها: داده‌های جذب بیشتر از معادله فروندلیچ پیروی می‌کنند به طوری که ضرایب همبستگی برای مس و نیکل به ترتیب بزرگتر از ۰/۹۸ و ۰/۹۹ می‌باشد. با افزایش غلظت فلز درصد جذب کاهش اما میزان جذب به ازاء واحد وزن جاذب افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهند که ظرفیت جذب بنتونیت طبیعی با افزایش pH افزایش می‌یابد. جذب مس نسبت به نیکل بیشتر است.

نتیجه‌گیری: بنتونیت طبیعی می‌تواند به‌عنوان یک ماده مناسب در حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی و آب‌ها به ویژه در غلظت‌های پایین این فلزات مطرح باشد.

واژه‌های کلیدی: زدایش، بنتونیت طبیعی، مس، نیکل، فلزات سنگین، پساب

*۱- استادیار گروه پزشکی اجتماعی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان (نویسنده مسئول)

۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳- مجتبع مس سرچشمه کرمان، امور تحقیقات، واحد تحقیقات آب و محیط زیست

مقدمه

از ابتدای دهه ۱۹۷۰ توجه روز افزونی بر روی تاثیر فلزات سنگین بر سلامت انسان و اکوسیستم‌های زیست محیطی شده است. به عنوان مثال مطالعات مختلف نشان داده است که تجمع بیش از حد این فلزات می‌تواند تاثیرات نامطلوبی بر روی کارکرد ارگانسیم‌های مختلف بدن نظیر کبد، کلیه، سیستم خون ساز، سیستم اعصاب، دستگاه گوارش و پوست داشته و باعث ایجاد سرطان در بافتهای مختلف بدن گردد [۲]. افزایش غلظت فلزات سنگین در پساب بسیاری از فرآیندهای صنعتی (صنایع فلزی، معادن، آبکاری فلزات، زه‌آب‌های اسیدی معادن) و شهری باعث اثرات نامطلوب زیست محیطی شده است [۱۹، ۵]. آلودگی محیط زیست به وسیله فلزات سنگین یک مشکل اساسی و جدی است زیرا این قبیل فلزات قادر هستند در سیستم‌های اکولوژیکی تجمع یابند و با افزایش تدریجی غلظت آن‌ها باعث ایجاد آثار سوء و نامطلوب متعددی در آن سیستم‌ها می‌شوند، بنابراین غلظت این آلاینده‌ها بایستی تا سطح استانداردهای وضع شده کاهش یابد و چنانچه از نظر اقتصادی با ارزش هستند می‌باید آنها را بازیابی و مورد استفاده مجدد قرار داد [۱۷].

روش‌های مختلف و متعددی برای حذف و جداسازی یون‌های فلزات سنگین از محلول‌های آبی وجود دارد. از مهمترین روش‌ها می‌توان به رسوب‌دهی شیمیایی، تعویض یونی، اسمز معکوس، فرآیندهای غشایی، تبخیر، استخراج با حلال و جذب با کربن فعال و انواع کانی‌های معدنی و غیر معدنی اشاره نمود [۱۹، ۴].

اغلب این روش‌ها دارای معایبی از قبیل گرانی دستگاهها و عملیات، تولید لجن یا سایر مواد زائد سمی، نیاز به انرژی و فضای زیاد می‌باشند. رسوب‌دهی شیمیایی فلزات که به روش سنتی حذف فلزات سنگین از پسابها و آب‌ها معروف است دارای محدودیت‌ها و معایب متعددی است، پاره‌ای از این محدودیت‌ها عبارتند از: نیاز به مواد شیمیایی، نیاز به حذف عوامل مزاحم (مانند عوامل

کمپلکس‌کننده و لیگاندها^۱)، تولید حجم زیاد لجن همراه با درصد بالایی از آب که گاهی آگیری از آن کار بسیار مشکلی است، وجود اختلاف در pH بهینه رسوب‌دهی فلزات در پساب‌هایی که دارای مخلوطی از فلزات می‌باشند، بنابراین هیچگاه نمی‌توان در خروجی واحدهای تصفیه غلظت فلزات را در حد استانداردهای تعیین شده از سوی سازمانهای بین‌المللی و ملی رساند، از طرفی با توجه به قوانین سخت و شدید برای تصفیه، تخلیه و دفع فاضلاب‌ها به محیط زیست بایستی فاضلاب‌های حاوی مواد سمی بخصوص فلزات سنگین قبل از دفع به محیط زیست مورد تصفیه قرار بگیرند [۴، ۵].

جذب فلزات سنگین از محلول‌های آبی موضوع بسیاری از تحقیقات در سالهای اخیر می‌باشد. تلاش‌هایی برای تولید و توسعه مواد ارزان قیمت برای حذف و کنترل آلودگی ناشی از فلزات سنگین از محلول‌های آبی از قبیل پساب‌های صنعتی و طبیعی (زه آب اسیدی معادن) صورت گرفته است. طیف چنین موادی بسیار گسترده و وسیع بوده و از طرفی ضایعات صنعتی و کشاورزی و از سوی دیگر انواع مختلفی از مواد معدنی و آلی را در برمی‌گیرد. حتی گاهی اوقات میکروارگانسیم‌های زنده و غیر زنده برای این منظور استفاده شده‌است [۲۷، ۲۱].

توانایی کانی‌های معدنی در حذف فلزات سنگین توسط چندین محقق گزارش شده است. از مهمترین کانی‌های معدنی که در این تحقیقات استفاده شده است، می‌توان به کائولن^۲، بنتونیت^۳، ژئوتیت^۴ و ورمیکولیت^۵ اشاره کرد. عوامل متعددی در فرآیند حذف و جذب فلزات به وسیله کانی‌های معدنی، از قبیل فرم شیمیایی فلزات (درجه اکسیداسیون)، نوع فلز، نوع کانی، غلظت فلز، مقدار

- 1- Ligands
- 2- Kaolin
- 3- Bentonite
- 4- Geotite
- 5- Vermiculite

جاذب، pH، حضور یا عدم حضور عوامل کمپلکس‌کننده و غیره نقش دارند [۱۶، ۱].

در این تحقیق بنتونیت طبیعی به علت ارزان بودن و فراوانی در ایران و همچنین استفاده از آن در تحقیقات مشابه به عنوان جاذب انتخاب شده است [۱۳، ۱۰].

بنتونیت طبیعی یک کانی معدنی است که عمدتاً از ماده‌ای به نام مونت موریلونیت^۱ تشکیل شده است و ساختار شیمیایی آن را اکسیدهای فلزی به ویژه اکسید سیلیس تشکیل می‌دهد [۱۳، ۱۰].

هدف از این تحقیق تعیین اثر عواملی از قبیل غلظت فلز، زمان تماس، مقدار جاذب و pH در راندمان فرآیند جذب مس و نیکل بوسیله یک نوع بنتونیت طبیعی از محلول‌های آبی بود.

مواد و روش‌ها

مطالعه فوق یک مطالعه تجربی است، که در مرکز تحقیقات و توسعه مجتمع مس سرچشمه کرمان انجام شده است. جاذب یک نوع بنتونیت طبیعی است که از منطقه سیرجان واقع در استان کرمان جمع‌آوری گردید. نمونه‌های مورد استفاده ابتدا توسط دستگاه‌های نمونه کوبی خرد و در دمای آزمایشگاه و در معرض جریان هوا به مدت دو هفته خشک و سپس با الک ۵۰ مش الک گردیده و ذرات زیر الک (ذرات با مش کمتر از ۵۰) برای انجام آزمایشات انتخاب شدند. ترکیب شیمیایی و ساختار زمین شناختی آن توسط آزمایشات تر^۲ و هم‌چنین X-Ray Diffraction و Ray Fluorescence مشخص و تعیین گردید (جدول ۱) [۱۴].

محلول‌های استاندارد فلزات مس و نیکل بوسیله حل کردن مقادیر مشخص (۱/۹ و ۲/۱ گرم در یک لیتر به ترتیب برای مس و نیکل) از نمک‌های نیترات مس و نیکل با افزودن چند قطره اسید نیتریک و سپس آب مقطر

بدون یون^۳ تهیه شدند. غلظت محلول‌های استاندارد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (ppm) به عنوان محلول مادر^۴ در نظر گرفته شد و برای تهیه محلول‌های با غلظت کمتر، از این محلول استفاده شد. در ضمن نمک‌های نیترات و محلول‌های تنظیم pH (NaOH, HNO₃) از شرکت مرک خریداری شدند. در تمامی آزمایشات از روش ناپیوسته^۵ استفاده شد. تمامی آزمایشات در فلاسک‌های ته صاف درب دار به حجم ۳۰۰ میلی لیتر و در دمای ۲۷±۱°C (دمای محیط آزمایشگاه) با استفاده از شیکر چرخشی (با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه) انجام شد یک محلول با حجم ۵۰ میلی لیتر و با غلظت معین و مشخص (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) از فلزات مس و نیکل و در یک pH ثابت (۳/۰±۰/۱) به هر یک از فلاسکها اضافه و سپس مقادیر مختلفی از بنتونیت طبیعی (از ۰ تا ۲۴ میلی‌گرم بر لیتر) به آنها افزوده شد. بعد از دو ساعت عمل اختلاط به منظور رسیدن به زمان تعادل، سوسپانسیون را توسط کاغذ صافی با باند آبی صاف و غلظت فلزات در محلول زیر صافی را به روش جذب اتمی^۶ با دستگاه مدل varian975 اندازه‌گیری شد [۹]. برای تعیین اثر غلظت فلز به هر یک از فلاسک‌ها محلول‌هایی با غلظت مختلف (۱۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از هر یک از فلزات اضافه و با ثابت نگه‌داشتن تمامی شرایط ذکر شده در بالا بعد از ۲ ساعت عمل اختلاط سوسپانسیون را توسط کاغذ صافی با باند آبی صاف و غلظت فلزات در محلول زیر صافی به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد [۹].

بر اساس آنچه در بالا گفته شد اثر پارامترهای pH، زمان تماس، غلظت فلز و مقدار جاذب با ثابت نگه‌داشتن تمامی پارامترها و تغییر دادن تنها یکی از آنها مورد بررسی قرار گرفت.

- 3- deionized
- 4- Stock solution
- 5- Batch
- 6- Atomic Absorbption Spectroscopy

- 1- Morolonit
- 2- Wet

در تمامی آزمایش‌ها شرایطی از قبیل: اندازه ذرات کوچکتر از ۵۰ مش، pH برابر با ۳/۰±۰/۱، دما ۲۷±۱°C سرعت اختلاط ۱۵۰ دور در دقیقه، زمان تماس ۵ ساعت، حجم محلول در هر یک از فلاکس‌ها ۵۰ میلی لیتر و غلظت فلزات ۵۰ میلی گرم در لیتر ثابت بود به جز در حالتی که در آن پارامتر به عنوان متغیر انتخاب شده بود. انتخاب pH در محدوده ۶-۱ به دلیل محلول بودن فلزات در ناحیه اسیدی است و به منظور به حداقل رساندن اثر فرایند رسوب دهی فلزات می‌باشد [۵].

برای محاسبه میزان جذب هر یون فلزی به وسیله جاذب از فرمول زیر استفاده شد [۸].

$$q_e = (C_0 - C_e)V/W \text{ (mg/g)} \quad (1)$$

q_e : مقدار فلز جذب شده به ازاء واحد وزن جاذب،
 C_0 (mg/l): غلظت اولیه فلز در محلول،
 C_e (mg/l): غلظت تعادلی فلز در محلول،
 V (ml): حجم محلول و
 w (gr): وزن جاذب.

داده‌های جذب را می‌توان توسط ایزوترم‌های جذب توصیف و تجزیه و تحلیل نمود. توصیف ایزوترم‌های جذب به دو روش کمی و کیفی انجام می‌شود. در توصیف کمی مهمترین ایزوترم‌ها عبارتند از: ایزوترم‌های لانگمایر و فروندلیچ که در این ایزوترم‌ها با استفاده از بررسی درجه همبستگی و ثابت ایزوترم‌ها، می‌توان به توانایی و ظرفیت جاذب در حذف یون‌های فلزات سنگین از آبها و پساب‌ها پی برد. در روش اول اگر q_e (mg/g) مقدار فلز جذب شده به ازاء واحد وزن جاذب و C_e (ppm) غلظت تعادلی فلز در محلول باشد، ایزوترم جذب فروندلیچ عبارت خواهد بود با [۸،۱۰].

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (2)$$

$$\text{Log } q_e = \text{Log } k_f + 1/n \text{ Log } C_e \quad (3)$$

K_f و n ثابتهای ایزوترم جذب فروندلیچ هستند، که به ترتیب ظرفیت جذب و انرژی جذب را نشان می‌دهند. معادله لانگمایر بکاربرده شده برای جذب تعادلی عبارت است از:

$$C_e/q_e = 1/Q_0 b + C_e/Q_0 \quad (4)$$

Q_0 و b ثابتهای لانگمایر هستند، که بستگی به ظرفیت جذب و انرژی جذب دارند.

در توصیف کیفی ایزوترم‌های جذب از روشی به نام دسته بندی گیل^۱ استفاده می‌شود، در این روش منحنی q_e (mg/g) مقدار فلز جذب شده به ازاء واحد وزن جاذب را بر حسب غلظت تعادلی فلز در محلول (C_e) رسم می‌کنند، حال چنانچه جاذب تمایل زیادی برای جذب یون مورد نظر داشته باشد از نوع H و چنانچه در حد متوسط باشد از نوع L می‌باشد [۱۰،۸].

نتایج

آنالیز شیمیائی بنتونیت طبیعی در جدول ۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود قسمت عمده این کانی از اکسیدسیلیس (SiO_2) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) تشکیل شده است و درصد کمی از این کانی شامل اکسیدهای سدیم، پتاسیم، آهن و منیزیم می‌باشد. همچنین، در ساختار معدن شناختی این ماده معدنی کانی‌هایی از قبیل کوارتز، ایلیت و مونت موریلونیت نیز موجود می‌باشد.

ایزوترم‌های فروندلیچ در نمودار ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود که رسم لگاریتمی q_e بر حسب C_e یک خط راست با شیب $1/n$ و عرض از مبدا $\text{Log } K_f$ می‌باشد. همان‌طور که گفته شد C_e (ppm) غلظت تعادلی فلز در محلول و q_e (mg/g) میزان فلز جذب شده از محلول در حالت تعادل می‌باشد. رسم C_e/q_e بر حسب C_e یا به عبارت دیگر ایزوترم‌های لانگمایر در نمودار ۲ نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای ۱ و ۲، ضرایب همبستگی (جدول ۲)، برای مس ($R^2 > 0.98, R^2 > 0.93$) به ترتیب برای ایزوترم لانگمایر و فروندلیچ) و نیکل ($R^2 > 0.99, R^2 > 0.98$) به

ترتیب برای ایزوترم لانگمایر و فروندلیچ) بدست آمده است.

جدول ۱: آنالیز شیمیایی بنتونیت طبیعی

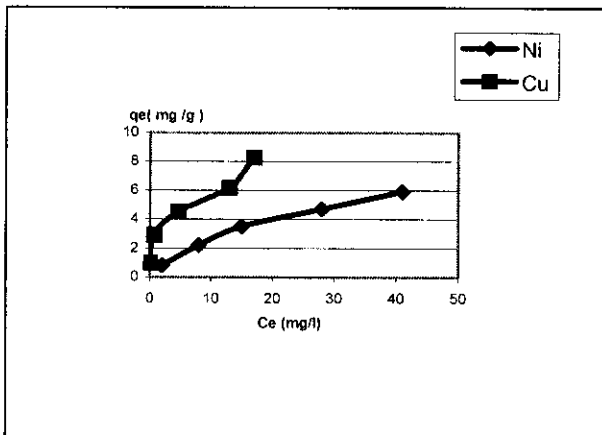
ترکیب شیمیایی	درصد وزنی
SiO ₂	۶۴/۰
Al ₂ O ₃	۶/۵
Fe ₂ O ₃	۲/۲
CaO	۳/۶
MgO	۳/۰
Na ₂ O	۲/۲
K ₂ O	۰/۵
LOI*	۱۰/۰

*LOI : Loss on Ignition

جدول ۲: ضرایب همبستگی و ثابت ایزوترم‌های لانگمایر و فروندلیچ

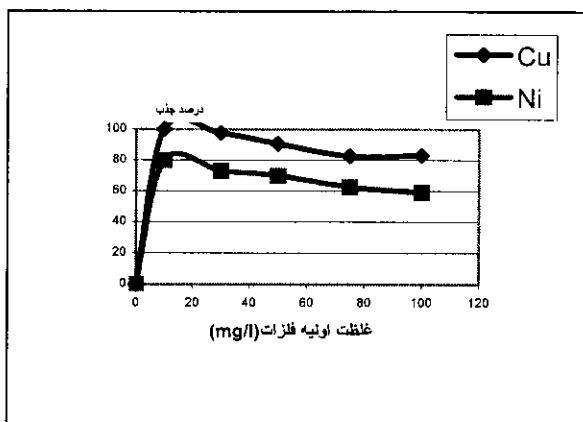
Metal	Freunlich Isotherm			Langmuir Isotherm		
	k _f	n	R ²	Q ₀	b	R ²
Cu ²⁺	3.18	3.73	0.98	8.02	0.61	0.93
Ni ²⁺	0.53	1.51	0.99	8.90	0.04	0.98

نمودار ۳، ایزوترم‌های جذب یون‌های مس و نیکل را نشان می‌دهد. با توجه به شکل فوق با افزایش غلظت تعادلی فلزات در محلول مقدار جذب یون‌های مس و نیکل به ازاء واحد وزن جاذب افزایش می‌یابد.

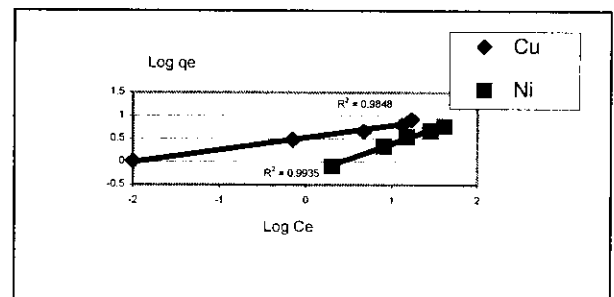


نمودار ۳: ایزوترم جذب یون‌های مس و نیکل به وسیله بنتونیت طبیعی. شرایط: غلظت جاذب برابر با ۱۰ گرم بر لیتر، زمان تماس ۵ ساعت و pH برابر با ۳

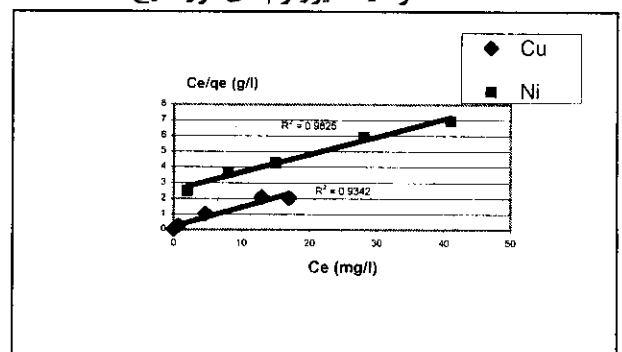
نمودار ۴ اثر غلظت جاذب را در میزان جذب یون‌های مس و نیکل نشان می‌دهد. با توجه به شکل فوق با افزایش غلظت ماده جاذب درصد جذب یون‌های مس و نیکل افزایش می‌یابد، به طوری که در غلظت ۱۸ گرم بر لیتر جاذب، جذب مس ۹۹/۴ درصد و جذب نیکل ۷۴ درصد می‌باشد.



نمودار ۴: اثر غلظت اولیه یون‌های مس و نیکل بر میزان جذب آنها به وسیله بنتونیت طبیعی. شرایط: غلظت جاذب برابر با ۱۰ گرم بر لیتر، زمان تماس ۵ ساعت و pH برابر با ۳.

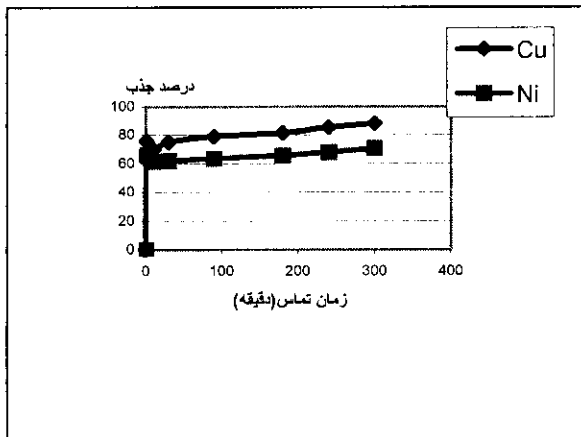


نمودار ۱: ایزوترم‌های فروندلیچ



نمودار ۲: ایزوترم‌های لانگمایر

اثر زمان تماس در نمودار (۷) نشان داده شده است. با توجه به شکل فوق در زمانهای اولیه جذب فلزات مس و نیکل به بالاتر از ۸۰ درصد می‌رسد.



نمودار ۷: اثر زمان تماس بر میزان جذب یونهای مس و نیکل به وسیله بنتونیت طبیعی. شرایط: غلظت جاذب برابر با ۱۰ گرم بر لیتر، غلظت اولیه فلزات برابر با ۵۰ میلی گرم بر لیتر و pH برابر با ۳.

بحث

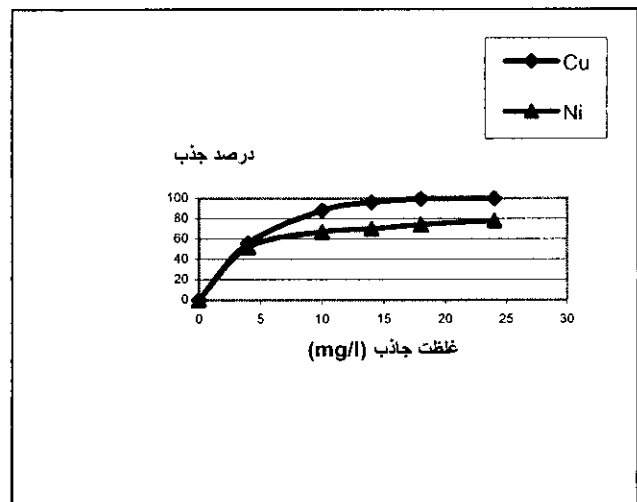
خواص بنتونیت استفاده شده در این تحقیق مشابه بنتونیتی است که Jia-Junke در تحقیقی که بر روی جذب فلزات سنگین به وسیله بنتونیت طبیعی انجام داده است می‌باشد [۱۳].

با توجه به نمودارهای ۱ و ۲ و ضرایب همبستگی بدست آمده (جدول ۲)، جذب مس و نیکل بیشتر از معادله جذب فروندلیچ ($R^2 > 0.98$ و $R^2 > 0.99$) به ترتیب برای مس و نیکل (پیروی می‌کنند. همچنین بر اساس دسته‌بندی Gile (شکل ۳) جذب مس و نیکل توسط بنتونیت به ترتیب از نوع H و L می‌باشد. نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان می‌دهند که بنتونیت طبیعی از قابلیت بالایی در حذف و جذب فلزات سنگین از محلولهای آبی برخوردار است. به طوری که می‌توان ۹۹/۹ درصد مس را جذب نمود و ترتیب جذب به صورت $Cu^{2+} > Ni^{2+}$ می‌باشد.

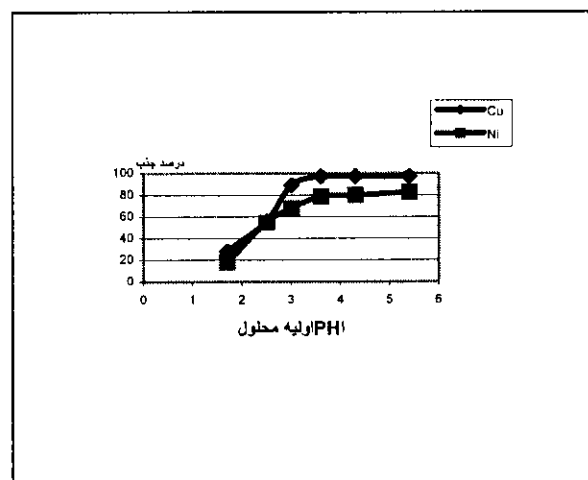
در تحقیقی که بر روی جذب کادمیم و روی از محلولهای آبی به وسیله بنتونیت طبیعی و فعال شده انجام

نمودار ۵ درصد جذب را بر حسب غلظت اولیه یونهای مس و نیکل نشان می‌دهد، همان طوری که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت یونهای مس و نیکل درصد جذب کاهش می‌یابد، اما میزان جذب به ازاء واحد وزن جاذب (mg/g) افزایش می‌یابد.

نمودار ۶ اثر pH را در جذب یونهای مس و نیکل نشان می‌دهد. با توجه به شکل فوق در محدوده pH ۳-۴ درصد جذب فلزات به حداکثر می‌رسد به طوری که در pH = ۳/۶ جذب مس در حد ۹۷/۲ می‌باشد.



نمودار ۵: اثر غلظت جاذب بر میزان جذب یونهای مس و نیکل به وسیله بنتونیت طبیعی. شرایط: غلظت اولیه فلزات برابر با ۵۰ میلی گرم بر لیتر pH برابر با ۳ و زمان تماس ۵ ساعت.



نمودار ۶: اثر pH اولیه محلول یونهای مس و نیکل بر میزان جذب به وسیله بنتونیت طبیعی. شرایط: غلظت جاذب ۱۰ گرم بر لیتر، غلظت اولیه فلزات برابر با ۵۰ میلی گرم بر لیتر و زمان تماس ۵ ساعت.

گردید نشان داده شد که جذب کادمیم و روی به ترتیب از نوع H و L است و داده‌های جذب بیشتر توسط معادله لانگمایر قابل توصیف هستند [۱۰].

در پژوهشی دیگر که بر روی جذب یون‌های سرب، مس، کادمیم، روی و کروم بوسیله لجن کوره ذوب انجام شده است، داده‌های جذب به دو روش کمی و کیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند و مشخص شد که داده‌های جذب بیشتر از نوع H (بر اساس دسته بندی گیل) بوده و از معادله لانگمایر پیروی می‌کنند [۱۴]. بر اساس پژوهش انجام شده بر روی جذب فلزات مس (Cu^{2+})، سرب (Pb^{2+}) و نیکل (Ni^{2+}) توسط بنتونیت روند جذب به صورت $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Ni^{2+}$ گزارش شده است [۱۱].

در مطالعه دیگری که بر روی جذب Pb^{2+} و Cu^{2+} به وسیله سرباره کوره ذوب انجام گردیده است، گزارش شد که فرآیند جذب از ایزوترمهای لانگمایر و فروند لیچ پیروی می‌کنند و ضریب همبستگی (R^2) بین ۰/۹۷ و ۰/۹۹ ذکر شده است [۱۸].

با افزایش غلظت فلزات روند جذب برای هر دو فلز ثابت بوده به طوری که در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر جذب مس و نیکل به ترتیب ۹۹/۹ درصد و ۸۰ درصد می‌باشد. اما در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر هر یک از فلزات درصد جذب به ترتیب ۸۳ و ۵۹ می‌باشد. این نتایج مشابه نتایجی است که سایر محققین در کارهای خود گزارش کرده اند [۱۵، ۱۳].

جذب فلزات در pHهای پایین ناچیز بوده و با افزایش pH میزان جذب افزایش می‌یابد، به طوری که در $pH=1/7$ درصد جذب مس و نیکل به ترتیب در حدود ۲۸ درصد و ۱۸ درصد اما در $pH=3/6$ به ترتیب ۹۷/۲

درصد و ۸۲/۸ درصد می‌باشد. شکل منحنی‌ها سیگموئیدی است، به طوری که مشابه نتایج گزارش شده توسط سایر محققین می‌باشد [۷]. نتایج پژوهشی نشان می‌دهد که جذب مس (Cu^{2+}) بوسیله ۲ نوع خاک با افزایش pH، افزایش می‌یابد [۳].

داده‌های بدست آمده از آزمایش‌ها نشان می‌دهند که زمان رسیدن به تعادل نسبتاً بالا است. همان طوری که در نمودار ۷ مشاهده می‌شود بعد از حدود ۲۵۰ دقیقه درصد جذب یون‌های مس و نیکل به حداکثر می‌رسد و نشان می‌دهد که مکان‌های جذب به راحتی در دسترس یون‌های فلزی قرار نمی‌گیرد. در تحقیقی که بر روی جذب یون‌های روی، مس و نیکل به وسیله سرباره کوره ذوب انجام شد، زمان تعادل ۲۴۰ دقیقه گزارش شده است [۷]. در تحقیق دیگری که بر روی جذب فلزات مس، روی، نیکل، سرب و کادمیم با استفاده از لجن کوره ذوب صورت پذیرفته، زمان تعادل ۵ ساعت گزارش شده است [۱۴].

پژوهش حاضر نشان داد که بنتونیت طبیعی می‌تواند به طور موثری در حذف و جذب مس و نیکل از آب و پساب در مقیاس وسیعی بکار رود. حذف جذب مس و نیکل به وسیله این ماده معدنی طبیعی تابعی از زمان تماس، غلظت جاذب، غلظت اولیه فلزات و pH اولیه محلول‌ها (آب و پساب) می‌باشد. همچنین داده‌های جذب بیشتر از معادله ایزوترم فروندلیچ پیروی می‌کنند.

با توجه به نتایج بدست‌آمده در این تحقیق، پیشنهاد می‌شود از این نوع بنتونیت‌های طبیعی که به فراوانی در کشور وجود دارد در حذف فلزات سنگین به روش شناورسازی جذب^۱ استفاده شود.

- [1] Benjamin MM, Hayes K F, Leckic J O: Removal of toxic Metals from power-generation waste streams by Adsorption and coprecipitation, *Journal WPCF*, 1982; 11(54): 1472 - 1480.
- [2] Brown P A, Gill S A, Allen S J: Metal removal from wastewater using peat, *Wat Res.* 2000; 34 (16): 3907-3916.
- [3] Caryey P L., McLaren R G, Adams J A: sorption of cupric, dichromate and arsenate ions in some new zealand soils, *Water, Air and Soil Pollut.* 1996; 189-203.
- [4] Chen WY, Anderson PR. Holsen TM: recovery and recycle of metals from wastewater with a magnetite-based adsorption process, *Research journal WPCF*, 1991; .63(7): 954-964.
- [5] Cimino G, Passerini A, Toscano G: Removal of toxic cations and Cr(VI) from aqueous solution by hazelnut shell, *Wat. Res.* 2000; 34(11): 2955-2962.
- [6] Dimitrova S.V. Mehandgiev D. R: Lead removal from aqueous solution by granulated blast-furnace slag, *Wat. Res.*, 1998; 32(11): 3289-3292.
- [7] Dimitrova SV: Metal sorption on blast-furnace slag, *Wat. Res.*, 1996; 30(1): PP. 228-232.
- [8] Echeverria JC, Morera MT, Mazkieran C. Garrido jj: Competitive sorption of heavy metal by soils isotherms and fractional factorial experiments, *Environmental Pollution*, 1998; 101, PP: 275-284.
- [9] Gaines BJ. Applied water and spentwater chemistry, Van Nostrand Reinhold, 1993; New York.
- [10] Gonzalez-pradas E, Villafranca M, Canton F, Socias M: Adsorption of cadmium and zinc from aqueous solution on natural and activated bentonite, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 1994; 59, PP: 289-295.
- [11] Jang A, Chio YS, Kim In S: Batch and column tests for the development of an immobilization technology for toxic heavy metals in contaminated soils of closed mines, *Wat. Sci. Tech.*, 1998; 37(8): 81-88.
- [12] Johnson, B: Effect of pH, temperature and concentration on the adsorption of cadmium on goethite, *Environ. Sci. technol*, 1990; 24: 112- 118.
- [13] Ke JJ: Adsorption of heavy metals on bentonite clay mineral, minerals, metals and environment, M. T., Anthony, Ed. IMM, Manchester UK, 1992; 420-426.
- [14] Lopez-Delgado A, Perez C, Lopez FA: Sorption of heavy metals on blast furnace sludge, *Wat. Res.*, 1998; 32(4): 989-996.
- [15] Manju GN, Anirudhan TS. Treatment of arsenic (III) containing wastewater by adsorption on hydrotalcite, *Indian J. Environ. Hlth.*, 2000; 42(1): 1-8.
- [16] Orumwense F. F. O: Removal of lead from water by adsorption on a kaolintic clay, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 1996; 65: 363-369.
- [17] Strivastava S K, Gupta VK, Mohen D: Removal of lead and chromium by activated slag-A blast-furnace waste, *Journal of Environmental Engineering*, 1997; 461-468.
- [18] Urkovi L, Cerjan-Stefanovi rastovean-mioe A: Batch Pb^{2+} and Cu^{2+} removal by electric furnace slag, *Wat. Res.*, 2001; 35(14): 3436-3440.
- [19] Zouboulis A, I. Matis KA: Removal of metal ions from dilute solutions by sorptive flotation, *Critical. Review in ENV.* 1997.

Removal of Copper and Nickel from Aqueous Solutions by Natural Bentonite

A. Esmaili^{*1}, S. Nasseri², H. Mahvi², R. Atash-Dehghan³

1. Assistant Professor of Health, Dept. of Social Medicine, Rafsanjan University of Medical Sciences, Rafsanjan, Iran

2. Dept. of Environmental Health Engineering, University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3. Water & Environment Research , R&D Division, Sarcheshmeh Copper Complex, Iran

Background: Release of heavy metals and their dispersal in the environment may cause tragic effects on the exposed population. Heavy metals are non-biodegradable, highly toxic which have bioaccumulation properties in living organisms. Therefore, the development of new technology is required to treat wastewaters as an alternative to classical physico-chemical processes.

Materials and Methods: Adsorption of copper (Cu^{2+}) and nickel (Ni^{2+}) from aqueous solutions at $27\pm 1^\circ\text{C}$ by natural bentonite was studied. The effect of pH, metals' concentration, sorbent dosage and contact time were studied in batch experiments. All divalent metal cation solutions were prepared from nitrate salts with 50 mg/L initial concentration and metals concentration determined by atomic absorption spectrophotometry.

Results: Adsorption data were described by qualitative and quantitative methods. In qualitative method Gile's classification and in quantitative method Langmuir and Frundlich isotherm equations were used. Adsorption data was better fitted to Frunlich equation model, with correlation coefficient $R^2 > 0.98$ and $R^2 > 0.99$ for copper and nickel respectively. The increase in initial metal ions concentration decreased the percentage of adsorption and increased the capacity of metals' uptake per unit of the sorbent (mg/g). Results indicated that the adsorption capacity of natural bentonite increased with an increase in the pH. The uptake of copper was found to be greater than that of nickel.

Conclusion: The results of this experiment showed that natural bentonite can be considered as a good substance for removal of heavy metals from industrial wastewater, specially in their low concentrations .

Keywords: Removal, Natural Bentonite, Copper, Nickel, Heavy Metals, Wastewater

**Corresponding author, tel:(0391) 8220019*

Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences and Health Services, 2002, 2(1): 22-30