



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال دهم، شماره‌ی ۴۰
پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۵۳-۳۹

بهینه سازی نانو ذره مونت موریلونیت در حذف قلع از پساب

سپیده کمال زاده

گروه شیمی و صنایع غذایی - واحد صفادشت - دانشگاه آزاد اسلامی - تهران - ایران

مریم مقدس*

گروه شیمی و صنایع غذایی - واحد صفادشت - دانشگاه آزاد اسلامی - تهران - ایران

moghaddas2015@gmail.com Email:

سیمین عربی

گروه شیمی و صنایع غذایی - واحد صفادشت - دانشگاه آزاد اسلامی - تهران - ایران

چکیده

در این تحقیق کارایی نانوذره مونت موریلونیت به منظور حذف فلز قلع از پساب مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین ویژگی‌های مونت موریلونیت اصلاح شده از روش‌های طیف سنجی زیر قرمز، میکروسکوپ الکترونی روبشی و پراش پرتو ایکس استفاده شد. کلیه آنالیزها توسط روش جذب اتمی صورت گرفته است. تاثیر پارامترهای مختلف بر فرآیند جذب مانند غلظت اولیه یون فلزی، زمان تماس، مقدار جاذب و pH محلول مورد بررسی قرار گرفت. به جهت بهینه‌سازی پارامترهای مختلف موثر بر فرآیند حذف از روش طراحی آزمایش استفاده گردید. نتایج نشان داد که بهترین مدل ایزوترم جذب، مدل لانگمویر بود و جاذب اصلاح شده قابلیت خوبی در حذف یون قلع از محلول آبی دارد. نانو رس خام در شرایط pH=5/5، دمای محیط، مقدار 0/12 گرم در 100 میلی‌لیتر محلول 100ppm، 90 دقیقه زمان تماس برای قلع، غلظت قلع را به 88/5ppm کاهش داد. پس از شست‌وشوی نانو رس به وسیله‌ی اسید سولفوریک 0/1 مولار و انجام آزمایش جذب در شرایط فوق، غلظت قلع به 65ppm کاهش یافت و ظرفیت جذب قلع توسط نانو رس خام و شسته شده به ترتیب 9/6 و 29/7 میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که با مطالعات قبلی نیز مطابقت دارد. در pH غلظت فلز قلع توسط نانو رس اصلاح شده با HQ از 100ppm به 59/4ppm و توسط نانو رس اصلاح شده با SDS به 56/63ppm کاهش یافته و ظرفیت جذب به ترتیب برابر با 33/83 و 36/14 میلی‌گرم بر گرم حاصل شد. مشاهده می‌شود نانو رس اصلاح شده با SDS برای فلز قلع نتایج بهتری را به همراه داشته است. سپس مطالعات مربوط به ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک جذب انجام شد. در مطالعات ایزوترم با ثابت نگه داشتن مقدار جاذب (0/12 گرم)، زمان تماس، دما، pH=5/5 و حجم 100 میلی‌لیتر، مقادیر غلظت‌های اولیه یون فلزی 50، 100 و 200ppm بررسی شد. در واقع نسبت مقدار جاذب به غلظت اولیه یون، پارامتر متغیر این مطالعه بود. بررسی‌های ترمودینامیکی نشان می‌دهد با ثابت نگه داشتن پارامترهایی مانند غلظت اولیه، pH، زمان تماس، مقدار جاذب و حجم محلول در حالت‌های بهینه در دماهای 298، 313 و 333 کلوین، افزایش دما باعث افزایش ظرفیت جذب می‌شود که بیان‌گر گرماگیر بودن واکنش است.

کلیدواژه: نانو ذره مونت موریلونیت، حذف فلزات سنگین، پساب.

مقدمه

امروزه با رشد جوامع بشری و در نتیجه‌ی آن رشد صنایع مختلف، حجم بالایی از مواد آلاینده به محیط زیست وارد می‌شوند و مهم‌ترین بخشی که در محیط زیست توسط این آلاینده‌ها تحت تاثیر قرار می‌گیرد، محیط‌های آبی هستند [۱].

یون‌های فلزات سنگین، مهم‌ترین آلاینده‌ی آب‌ها و پساب‌ها به شمار می‌روند و نگرانی عمومی را برانگیخته‌اند زیرا زیست تجزیه‌ناپذیر بوده و وارد زنجیره‌ی غذایی موجودات زنده شده و آثار مخرب زیادی بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده بجای می‌گذارند. از این رو در سال‌های اخیر فرآیندها و تکنیک‌های گوناگونی برای تصفیه آب‌های حاوی فلزات سنگین مورد مطالعه و آزمون قرار گرفته است [۲]. مطالعات نشان داده‌اند که فلزات Ni، Co، Zn، Pb، Sn، Cr و Hg که جزء فلزات سنگین خطرناک محسوب می‌شوند، بسیار سمی هستند و به طور معمول در آب‌ها و پساب‌ها یافت می‌شوند. بنابراین حذف این فلزات از پساب‌ها امری ضروری است.

فرآیندهای حذف آلودگی پساب‌ها از فلزات شامل رسوب-دهی، الکترو و بینینگ، تبادل یونی، استخراج حلالی می‌باشد. این فرآیندها دارای مشکلات زیادی از جمله عدم حذف کامل فلزات، مصرف بالای مواد شیمیایی، مصرف بالای انرژی و تولید لجن سمی که آن نیز به نوبه خود به عملیات دیگری برای از بین بردن نیاز دارد، است. این کاستی‌ها به استفاده از روشی موثر، کم هزینه و دوستدار محیط زیست برای حل مشکلات پساب‌ها منجر شد. جذب سطحی یک روش کارآمد و مقرون به صرفه برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی است.

جذب به عنوان یک روش مؤثر، کارآمد و اقتصادی برای تصفیه آب مطرح می‌باشد. از آن جا که عملکرد جذب سطحی به طور مستقیم وابسته به کیفیت و مقرون به صرفه

بودن جاذب می‌باشد، در دهه‌ی گذشته بهبود مستمری در توسعه‌ی مؤثر جاذب‌های اصیل مانند کربن فعال، زئولیت‌ها، پرلیت، کانی‌های رسی، چیتوزان، لیگنوسلولزها، مواد معدنی طبیعی، پلیمرهای عامل دار شده و غیره به وجود آمده است. ظرفیت جذب هر جاذب، بسته به خواص فردی جاذب، غلظت آن و حضور یا عدم حضور مواد شیمیایی، متفاوت است [۳]. جذب یک روش فیزیکی شیمیایی برای از بین بردن آلاینده‌های پساب‌ها می‌باشد که در آن مولکول‌ها یا یون‌های حل شده با یک نیروی فیزیکی یا شیمیایی به سطح جاذب می‌چسبند [۴].

جذب به عنوان یک روش مؤثر، کارآمد و اقتصادی برای تصفیه آب مطرح می‌باشد. از آن جا که عملکرد جذب سطحی به طور مستقیم وابسته به کیفیت و مقرون به صرفه بودن جاذب می‌باشد، در دهه گذشته بهبود مستمری در توسعه‌ی مؤثر جاذب‌های اصیل مانند کربن فعال، زئولیت‌ها، پرلیت، کانی‌های رسی، چیتوسان، لیگنوسلولزها، مواد معدنی طبیعی، پلیمرهای عامل دار شده و غیره به وجود آمده است. ظرفیت جذب هر جاذب، بسته به خواص فردی جاذب، غلظت آن و حضور یا عدم حضور مواد شیمیایی، متفاوت است [۵].

متداول‌ترین جاذبی که جهت جذب آلاینده‌های آلی و معدنی از آب و فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته است، کربن فعال می‌باشد زیرا مساحت سطحی و فعالیت سطحی بالایی دارد. مساحت سطحی بالا که ناشی از سائز ذرات کربن می‌باشد، باعث می‌شود به سادگی مقادیر زیادی از ذرات آلاینده سیال را به خود جذب کند.

علاوه بر این جذب با کربن فعال مشکلاتی از قبیل دشواری و پیچیدگی کنترل فرآیند، مصرف مواد گران و خطرناک را نداشته و پسماند سمی به جای نمی‌گذارد. اما در بیش تر موارد محدودیت اصلی این ماده هزینه بالای ساخت، فعال-سازی و احیای آن و دشواری جداسازی آن از پساب‌ها است [۶].

مواد و روش ها

فرآیند جذب برای حذف قلع از محلول های آبی با استفاده از نانومونت موریلونیت اصلاح شده در نقش یک جاذب بسیار قوی به کمک روش ناپیوسته (Batch) انجام گرفت. ۵ پارامتر موثر یعنی غلظت اولیه محلول حاوی فلز سنگین (در محدوده ی ۱۰ تا ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر)، pH (در محدوده ۲ تا ۸)، زمان تماس (در محدوده ی ۵ تا ۱۲۰ دقیقه)، میزان جاذب (در محدوده ی ۰/۱ تا ۰/۷ گرم بر لیتر) و دما (در محدوده ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد) مورد بررسی و بهینه سازی قرار گرفت. بدین ترتیب که در هر مرحله از این فرآیند مقداری نانو مونت موریلونیت اصلاح شده را به ۱۰۰ میلی لیتر محلول سنتزی حاوی غلظت هایی معلوم از قلع ذکر شده اضافه کرده و درون ارلن های ۵۰۰ میلی لیتری ریخته و در دمای اطاق با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه قرار داده شد. زمان تماس محلول ۲ ساعت انتخاب شد. بعد از گذشت این زمان دو فاز را با سانتریفیوژ از یکدیگر جدا کرده و در انتها از جذب اتمی (pH) غلظت های موجود در پساب نهایی را محاسبه کرده و با قرار دادن در روابط زیر راندمان حذف بدست آمد.

$$\text{Remval efficiency}(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{M}$$

C_0 و C_e به ترتیب غلظت های اولیه و تعادلی محلول حاوی یون فلزی (میلی گرم بر لیتر)، V حجم محلول (لیتر)، M مقدار جاذب (گرم) می باشد.

- فعالیت های آزمایشگاهی

در مطالعه ی حاضر برای انجام آزمایش ها از مواد و تجهیزاتی استفاده شد که در ادامه تشریح می شوند. همچنین در مطالعات، جاذب های اصلاح شده توسط آنالیزهای SEM، BET، XRD و FT-IR مشخصه یابی شدند تا ویژگی ها و ترکیبشان تعیین شود.

پیشرفت در علم و مهندسی در مقیاس نانو نشان می دهد که بسیاری از مشکلات کنونی در ارتباط با کیفیت آب می تواند تا حد زیادی با استفاده از مواد جاذب در مقیاس نانو بهبود بخشیده شود. علاوه بر این محصولات تولیدی توسط فناوری نانو باعث کاهش غلظت مقادیر ترکیبات سمی به کم تر از حد ppb در آب می شود، لذا این فن آوری جهت حصول استانداردهای مورد استفاده مشاوران کیفیت آب و بهداشت به کار می رود [۷].

مونت موریلونیت در گروه رس های اسمکتیت قرار دارد. مونت موریلونیت به خاطر پتانسیل بالای جذب آب و بار منفی سطحی خود و در نتیجه انجام عمل تعویض یونی می تواند کاتیون های آلی (مانند آفت کش ها، رنگ بری، مواد فعال سطحی، فول ها، شوینده ها و...) و کاتیون های غیر آلی مانند فلزات سنگین را جذب کند و در مقایسه با سایر خاک های رسی مرجع مانند کوارتز، کربنات کلسیم، کائولینت و ایلیت این عمل را بهتر انجام می دهد و به همین خاطر امروزه در جذب تحقیقات زیادی بر روی آن انجام شده است و مقالات بی شماری به چاپ رسیده است.

مونت موریلونیت را می توان از طریق تخلیص بنتونیت با خلوص بیش از ۹۰٪ تهیه کرد. بسته به نوع کاتیون بین لایه ای موجود در ساختار مونت موریلونیت خواص این نانو ذره تغییر می کند مثلاً وجود سدیم و کلسیم در لایه میانی به ترتیب باعث تورم پذیری بالا و افزایش جذب سطحی در مونت موریلونیت می شود.

امروزه با استفاده از مونت موریلونیت و مونت موریلونیت اصلاح شده، خواص برخی مواد و ترکیبات را بهبود بخشیده و از آن ها در صنایعی مانند پیل سوختی، سیمان، جداسازی، پوشش مخازن و لوله های نفت و گاز، داروسازی و غیره استفاده می شود. مونت موریلونیت به علت خواص ویژه جذبی، قابلیت تصحیح، قیمت ارزان و در دسترس بودن آن می تواند به عنوان جاذب مناسبی در جذب کاتیون ها و فلزات سنگین مطرح شود [۸].

- پراش پرتو ایکس (XRD)

در تحقیق حاضر از مدل EQUINOX 3000 شرکت Inel استفاده شد. این دستگاه دارای منبع تولید پرتو ایکس از جنس مس با طول موج $1/540560$ آنگستروم بوده و به آشکارگری با شعاع انحنای 250 میلی‌متر و $120^\circ = 2\theta$ مجهز است.

- دستگاه اندازه‌گیری pH

برای تنظیم pH از دستگاه ساخت شرکت Metrohm مدل 8۲۷ استفاده شد که امکان اندازه‌گیری pH در محدوده‌ی ۸- تا $22+$ با دقت $0/001$ را داشته و در بازه‌ی دمایی $150-$ تا $150+$ درجه‌ی سانتی‌گراد کارایی دارد.

- دستگاه اندازه‌گیری سطح مخصوص (BET)

به منظور تعیین سطح مخصوص نانوذرات اصلاح شده، از دستگاه BET مدل BELSORP-mini II شرکت Microtrac با امکان تعیین سطح مخصوص بالاتر از $0/01 \text{ m}^2/\text{gr}$ و قطر حفره‌های در بازه‌ی $0/35$ تا 200 نانومتر در محدوده فشار صفر تا 133 کیلوپاسکال استفاده شد.

- دستگاه فراصوت (اولتراسونیک)

نانوذرات پس از ستنز و خشک شدن به شکل پودر در می‌آیند. قبل از شرکت دادن این پودر به عنوان جاذب در آزمایش‌های جذب، لازم است با استفاده از امواج اولتراسونیک، این نانوذرات کاملاً در محلول پراکنده شوند. در اینجا از حمام اولتراسونیک مدل LABORETTE 17 ساخت شرکت Fritsch استفاده شد. این دستگاه امواج فراصوت بین 61 تا 78 دسی‌بل بالا ایجاد می‌کند و مانع از تجمع نانوذرات می‌شود.

- طیف‌سنج جذب اتمی (AAS)

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات باقی‌مانده در محلول از دستگاه AA240FS شرکت Varian استفاده شد.

سپس پس از تعیین pH بهینه آزمون‌های ایزو ترم، سینتیک و ترمودینامیک در شرایط متفاوت برای دو فلز سرب و کبالت انجام شد تا رفتار جذب و عوامل تاثیر گذار بر جذب مشخص شود. به این منظور از آنالیز AAS استفاده شد.

برای انجام عملیات هم‌زنی از دستگاه انکوباتور لرزان ساخت شرکت FineTech مدل SKIR-601 استفاده شد. قابلیت هم‌زنی آن در محدوده‌ی 20 تا 350 دور بر دقیقه بوده و محدوده‌ی دمایی آن 5 تا 60 درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. محلول حاوی فلز و جاذب، در ارلن ریخته شده و با توجه به سرعت هم‌زنی، زمان و دمای مورد نظر، در محفظه‌ی انکوباتور قرار گرفته، فرآیند جذب صورت گرفت.

- آب یون‌زدوده (DI)

با توجه به واکنش‌پذیری بالای نانوذرات، آب یون‌زدوده باید مصرف شود که فاقد هرگونه آلاینده و آنیون یا کاتیون هستند. به این منظور از دستگاه خالص‌ساز و یون‌زدای آب Mili-Q ساخت شرکت MerchMillipore استفاده شد. در هر مرحله از آزمون‌های جذب، آب یون‌زدوده‌ی تازه استفاده شد. مشخصات فنی دستگاه در جدول آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات دستگاه یون‌زدای آب

مشخصه	مقدار
مقاومت در دمای 25 درجه‌ی سانتی‌گراد	$18/2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$
مجموع کربن آلی	کم‌تر از 5 ppb
فیلتر	$0/22$ میکرون
ذرات شناور	کم‌تر از یک ذره در میلی‌لیتر
باکتری	کم‌تر از $0/01 \text{ CFU/mL}$
اندوتوکسین	کم‌تر از $0/001 \text{ EU/mL}$
دبی	بیش از دو لیتر بر دقیقه

فرمولی $180/1 \text{ g/mol}$ و سایر مشخصات زیر، تهیه شد:

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و مکانیکی نانورس (مونت موریلونیت)

چگالی	$0.5/0.7 \text{ gr/cm}^3$
اندازه ذرات	۲-۱nm
مساحت سطحی ویژه	$220-270 \text{ m}^2/\text{gr}$
مقدار هدایت الکتریکی	-۲۵mV
ضریب تبادل کاتیونی (CEC)	۴۸ (Meq/۱۰۰gr)
فاصله خالی بین ذرات	60 \AA
رنگ	زرد کم رنگ
رطوبت	۱-۲٪

جدول ۴- آنالیز شیمیایی نانورس (مونت موریلونیت)

Na ₂ O	۰/۹۸
MgO	۳/۲۹
Al ₂ O ₃	۱۹/۶۰
SiO ₂	۵۰/۹۵
K ₂ O	۰/۸۶
CaO	۱/۹۷
TiO ₂	۰/۶۲
Fe ₂ O ₃	۵/۶۲
LoI	۱۵/۴۵
مجموع	۹۹/۳۴

- تهیهی محلول

تهیهی محلول قلع

در ابتدای کار محلول ۱۰۰۰ ppm از نمک فلز قلع SnCl_2

تهیه شده و در مطالعات استفاده شد.

شیوهی ساختن استوک به صورت زیر است:

به این صورت که مقدار $1/59 \text{ g}$ از نمک آن داخل بالن

حجمی ۱۰۰۰ ppm، با آب دی یونیزه، به حجم رسانده شد.

سپس سایر محلولها با غلظت های متفاوت، از محلول ppm

۱۰۰۰ آن تهیه شد.

این طیف سنج از روش شعله ای استفاده نموده و امکان اندازه گیری هم زمان چهار عنصر را دارد.

- طیف سنج فرسرخ تبدیل فوریه (FT-IR)

برای انجام آزمایش های FT-IR از دستگاه WQF-510A

شرکت RAYLEIGH استفاده شد. این دستگاه امکان

تشخیص طول موج هایی در بازه ی 7800 تا 350 cm^{-1} را با

دقت 0.1 cm^{-1} و رزولوشن 0.85 cm^{-1} را دارد.

- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی مورفولوژی مواد خام و اصلاح شده و تعیین

اندازه آنها از دستگاه SEM مدل EM3900M ساخت

شرکت KYKY استفاده شد. این دستگاه امکان تجهیز به

انواع آشکارسازها، امکان دادن زاویه به نمونه از 5 تا 95

درجه، امکان چرخش نمونه تا 360 درجه و بزرگ نمایی

300000 را دارد.

- مواد شیمیایی

مشخصات کلیه مواد شیمیایی به کار رفته در جدول آورده

شده است:

جدول ۲- مواد شیمیایی به کار رفته

شرکت	نام ماده	ترکیب شیمیایی
Merch	استون	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
Merch	اتانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Merch	کلرید قلع	SnCl_2
Merch	سولفوریک اسید	H_2SO_4
Merch	سدیم هیدروکسید	NaOH
Merch	سدیم دودسیل سولفات (SDS)	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$
Sigma-Aldrich	نانو مونت موریلونیت	$\text{H}_2\text{Al}_2\text{O}_6\text{Si}$
Merch	۸-هیدروکسی کینولین (HQ)	$\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$

- تهیه نمونه نانورس

نمونه ی مونت موریلونیت استفاده شده در این پایان نامه از

شرکت Sigma-Aldrich با فرمول $\text{H}_2\text{Al}_2\text{O}_6\text{Si}$ با وزن

- شست‌وشوی نانو رس

ابتدا نانو مونت‌موریلونیت را با آب دی‌یونیزه شست‌وشو داده شد. به این ترتیب که آب و نانو رس را داخل بشر با هم مخلوط کرده و پس از ته‌نشینی خاک، آب روی آن را تخلیه شد. این عملیات سه مرتبه تکرار شده و آخرین بار پس از ۲۴ ساعت ته‌نشینی آب را تخلیه کرده و با اسید سولفوریک M ۰/۱ شست و شو داده شد. به این ترتیب که پس از اضافه کردن اسید، مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه با هم‌زن مغناطیسی هم زده شد و پس از ته‌نشینی اسید اضافه از ظرف خارج شد.

این عمل دو بار انجام شده و در نهایت به مدت ۲۴ ساعت خاک و اسید با هم در تماس قرار گرفتند و پس از تخلیه‌ی اسید، به مخلوط آب دی‌یونیزه اضافه شد تا pH آن به مقدار خنثی نزدیک شود. در نهایت خاک به مدت ۴۸ ساعت داخل گرم‌کن با دمای ۷۰°C قرار گرفت تا کاملاً خشک شود.

- اصلاح نانورس

در پایان‌نامه‌ی حاضر، از سورفکتانت آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS) و پلیمر کلیت ساز ۸-هیدروکسی کینولین (HQ) برای اصلاح نانو مونت‌موریلونیت استفاده شد.

- اصلاح با SDS

ابتدا مقداری برابر با نصف ظرفیت تبادل کاتیونی نانو مونت‌موریلونیت (CEC)، SDS را ابتدا در آب دی‌یونیزه حل شد. سپس نانو مونت‌موریلونیت را در آب حل کرده و به منظور پراکنده‌سازی ذرات، به مدت ۱۵ دقیقه داخل حمام اولتراسونیک قرار داده شد. دو محلول فوق را با یکدیگر مخلوط کرده و به مدت ۲۴ با هم‌زن مغناطیسی با دور rpm ۲۵۰ تماس داده شدند.

جامد حاصل به وسیله سانتریفوژ با دور rpm ۴۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه جدا شده و با آب دی‌یونیزه شسته شد و در نهایت داخل گرم‌کن با دمای ۷۰°C به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت.

- اصلاح با HQ

برای اصلاح با HQ نیز مانند روش اصلاح با SDS، مقداری معادل با ظرفیت تبادل کاتیونی نانو مونت‌موریلونیت (CEC)، HQ در استون حل شده و برای صورت گرفتن انحلال pH با استیک اسید M ۰/۱ روی ۴ تنظیم می‌شود. سپس نانو مونت‌موریلونیت را در آب حل کرده و به منظور پراکنده سازی ذرات، به مدت ۱۵ دقیقه داخل حمام اولتراسونیک قرار داده شد. دو محلول فوق را با یکدیگر مخلوط کرده و به مدت ۲۴ با هم‌زن مغناطیسی با دور rpm ۲۵۰ تماس داده شدند.

جامد حاصل به وسیله سانتریفوژ با دور rpm ۴۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه جدا شده و با آب دی‌یونیزه به همان شیوه‌ای که ذکر شد، به منظور نزدیک شدن pH به مقدار خنثی، شسته شد و در نهایت داخل گرم‌کن با دمای ۷۰°C به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت.

- آزمون‌های جذب

به منظور بررسی عواملی مانند زمان تماس، pH، دما، غلظت فلزات و مقدار نانو ذرات، آزمون‌های سینتیک، ایزوترم و ترمودینامیک انجام می‌شود. علاوه بر این حداکثر ظرفیت جذب نانوذرات، سرعت واکنش، شرایط حاکم بر فرآیند جذب و گرماده یا گرماگیر بودن واکنش نیز مشخص می‌شود.

- تعیین PH بهینه

به منظور تعیین pH بهینه که گام نخست در مطالعه‌ی فرآیند جذب می‌باشد، در دمای ۲۹۸ درجه‌ی کلون و با سرعت rpm ۲۵۰، مقدار g ۰/۱۲ از جاذب را در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر محلول فلز مورد نظر ریخته و برای فلز قلع ۶۰ دقیقه هم زده می‌شود.

این فرآیند را برای pHهای ۳، ۴ و ۵/۵ انجام می‌شود تا pH بهینه تعیین شود. این مقادیر pH به این علت بررسی شدند که در pHهای کمتر از ۳ به علت بالا بودن غلظت یون پر تحرک H⁺، این یون با کاتیون‌های فلزی برای جذب به روی جاذب

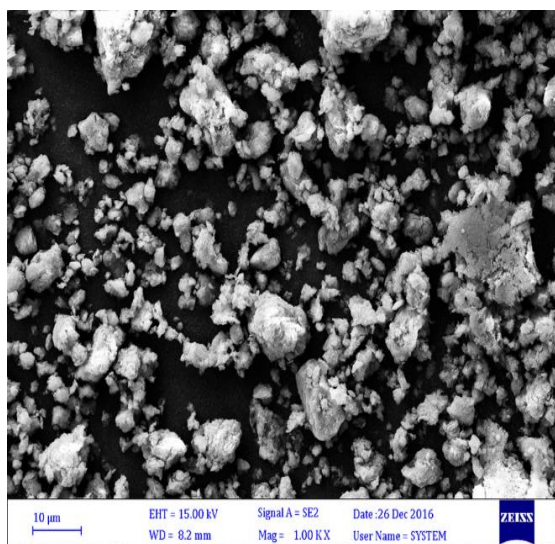
- مطالعات ترمودینامیکی

برای تعیین تاثیر دما روی فرآیند جذب و شناسایی گرماگیر بودن یا گرماده بودن واکنش، مطالعات ترمودینامیکی صورت می گیرد. بنابراین در pH بهینه و سرعت ۲۵۰ rpm مقدار مقدار ۰/۱۲ g از جاذب را در ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر محلول فلز مورد نظر ریخته و برای فلز قلع ۹۰ دقیقه در دماهای ۲۹۸، ۳۱۳ و ۳۳۳ درجهی کلون هم زده می شود سپس جاذب به وسیله سانتریفوژ با دور rpm ۴۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه از محلول جدا شده و جهت تعیین غلظت به AAS ارسال می شود.

یافته ها و بحث

- مورفولوژی SEM

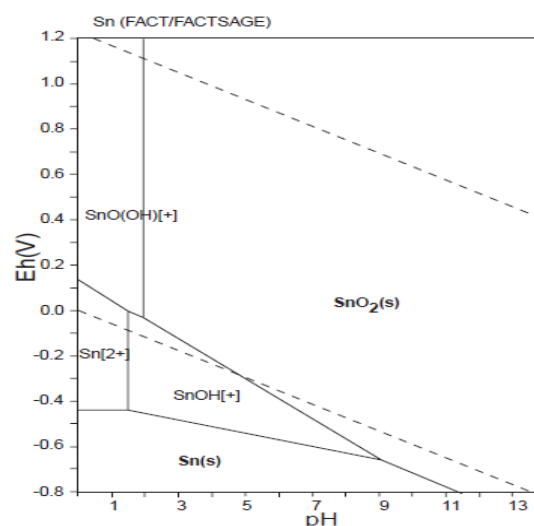
شکل ۲ میکروسکوپ روبشی نانوذرات رس مونت موریلونیت را نشان می دهد که دارای شکل پولکی می باشند. پولکها دارای ضخامت بسیار کمی هستند. به علت اینکه پولکی شکل هستند، تخلخل بالایی نیز دارند.



شکل ۲: تصویر SEM مونتوریلونیت اصلاح شده با SDS

رقابت کرده و ظرفیت جذب را کاهش می دهد. در مقادیر بزرگتر از ۵/۵ نیز معمولاً یونهای قلع به شکل هیدروکسید رسوب می کنند.

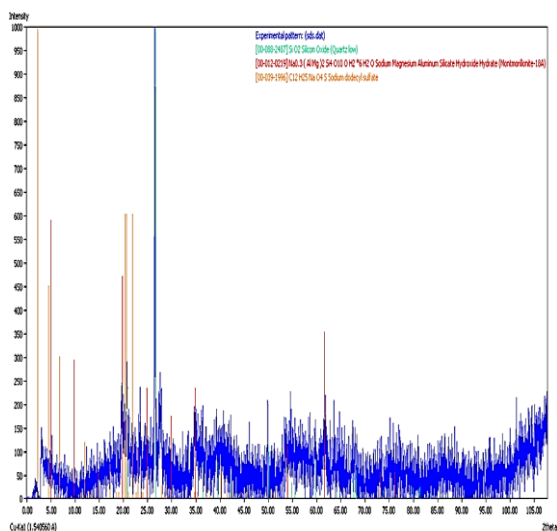
تنظیم pH در این مرحله توسط محلولهای ۰/۱M NaOH و H_2SO_4 صورت گرفت. پس از پایان فرآیند جاذب به وسیله سانتریفوژ با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه از محلول جدا شده و جهت تعیین غلظت به AAS ارسال می شود بدلیل اینکه معمولاً در PH های بالای ۴ قلع به صورت اکسید رسوب می کند در این پروژه PH های بالاتر از ۴ استفاده شده در مطالب آورده نشد.



شکل ۱: دلیل استفاده نکردن از PH های بالا

- ایزوترم جذب

به منظور شناسایی حداکثر ظرفیت جذب، نوع فرآیند و عوامل تعیین کننده آن از مطالعات ایزوترم جذب استفاده می شود. لذا در pH بهینه و دمای ۲۸۰ درجه کلون و سرعت ۲۵۰ rpm مقدار مقدار ۰/۱۲ g از جاذب را در ۱۰۰ میلی لیتر محلول با غلظت های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر ریخته و برای قلع ۹۰ دقیقه هم زده می شود. سپس جاذب به وسیله سانتریفوژ با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه از محلول جدا شده و جهت تعیین غلظت به AAS ارسال می شود.



شکل ۵: نتیجه XRD برای نانومت‌موریلونیت با اصلاح سطح با SDS

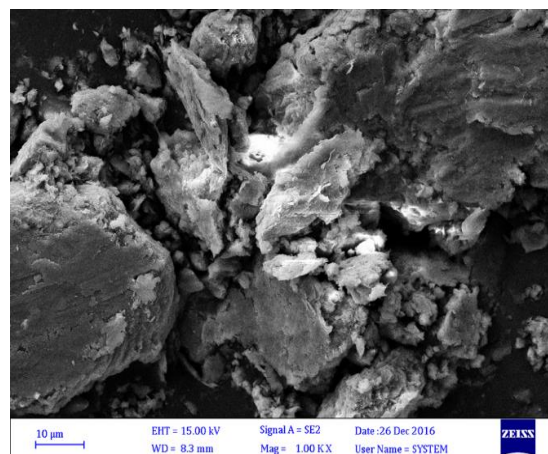
طیف FT-IR -

XRD و SEM برای شناسایی بهتر نانوذره اصلاح شده و تایید نتایج حاصل از FT-IR از نمونه طیف گرفته شد. شکل ۶ و ۷ طیف نانوذره خام و اصلاح شده نشان می‌دهد.

همانطور که قابل مشاهده است، جایگاه اکثر باندهای موجود در ساختار نانوذره بعد از اصلاح با سورفکتانت آنیونی بدون تغییر می‌ماند، که حاکی از حفظ ساختار کریستالی نانومونت موریلونیت بعد از اصلاح است.

در نانومونت موریلونیت خام جایگاه ۳۶۲۰ تا ۳۶۹۸ مربوط به ارتعاشات کششی باند هیدروکسی و جایگاه ۳۴۲۷ در نانومونت موریلونیت خام و اصلاح شده مربوط به هیدروکسی کششی است. جایگاه ۱۶۳۴ تا ۱۶۵۰ مربوط به ارتعاشات خمشی آب است.

جایگاه ۱-۳۳ ارتعاش انبساطی سیلیسیم - اکسیژن را نشان می‌دهد. همچنین ساختار نانوذره خام و اصلاح شده با سورفکتانت به ترتیب در جایگاه‌های ۴۶۷، ۵۲۶، ۶۹۵، ۷۹۸، ۹۱۴ معرف ساختار دگرشکلی Al-OH ساختار انبساطی Si-O ساختار دگرشکلی Si-O ساختار دگرشکلی Al-O-Si و ساختار دگرشکلی Si-O-Fe است.

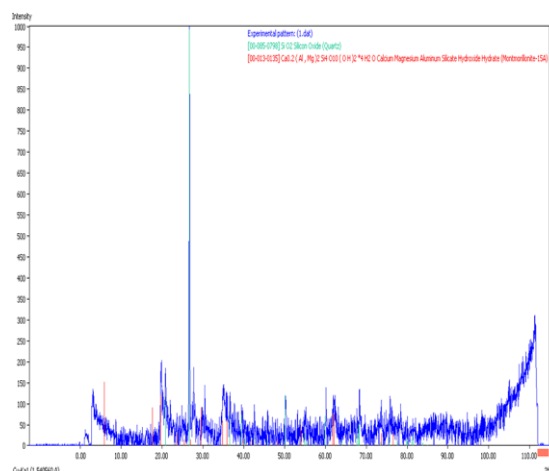


شکل ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذره مونت موریلونیت بدون بهینه سازی

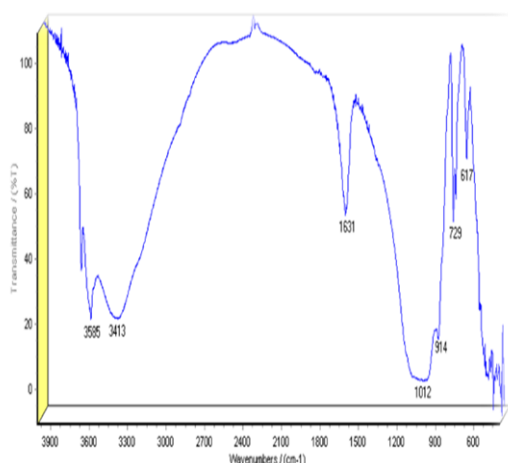
ساختار کریستالی

- ساختار کریستالی XRD

به منظور بررسی ساختار کریستالی نانومونت موریلونیت قبل و بعد از اصلاح و تعیین فاصله بین لایه‌ای ذرات رس از آنالیز طیف (XRD) در محدوده 2θ (۲ تا ۶۰) استفاده شد. همانطور که از شکل ۴-۲ قابل مشاهده است اصلاح نانورس با HQ و SDS سبب افزایش فاصله پایه در ساختار مونت موریلونیت از ۱۷ به ۲۴ گردید. همچنین طیف XRD ساختار نانورس قبل و بعد از اصلاح نشان داد، ساختار کریستالی نانورس بعد از عملیات اصلاح تغییر نداشته است. همانطور که در شکل مشخص است خطوط به هم نزدیک هستند که نشان دهنده ریز بودن ذرات است.



شکل ۴: نتیجه XRD برای نانومت‌موریلونیت بدون اصلاح



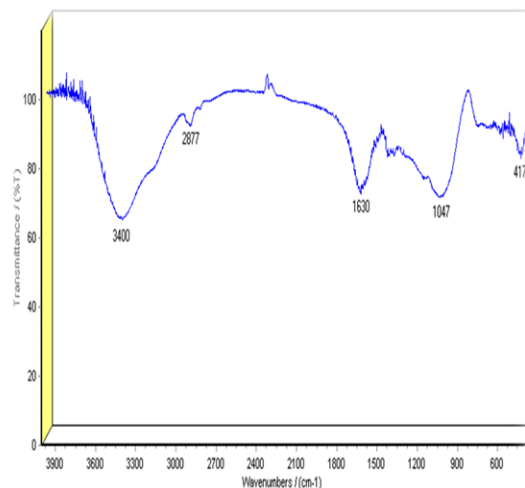
Instrument model=WQF-510 resolution=4 scan times=5

2016/9/26 13:53 nano 6i ASF

شکل ۷: نتیجه آنالیز FT-IR مونتوریلونیت بعد از اصلاح با SDS

- بررسی اثر PH بر روی راندمان حذف pH محلول یکی از مهم ترین فاکتورهای عمل جذب است. pH معمولاً از سه طریق بار سطحی جاذب، درجه یونیزاسیون و تغییر در ماهیت ماده‌ی جذب شونده در طول عمل مؤثر است. پس از اصلاح نانو رس با HQ و SDS، به منظور تعیین pH بهینه، pH های ۳، ۴ و ۵/۵ بررسی شد و مشاهده شد نتایج بهینه در pH=۵/۵ حاصل می‌شود.

بعد از اصلاح سه پیک جدید در جایگاه ۲۹۱۹، ۲۸۵۱ و ۱۴۶۹ در ساختار نانو مونت موریلونیت ایجاد شده که به ترتیب مربوط به CH_3 - غیر متقارن انبساطی و CH_2 - ارتعاش برشی است.



Instrument model=WQF-510 resolution=4 scan times=5

2016/9/25 19:29 nano 2i asf

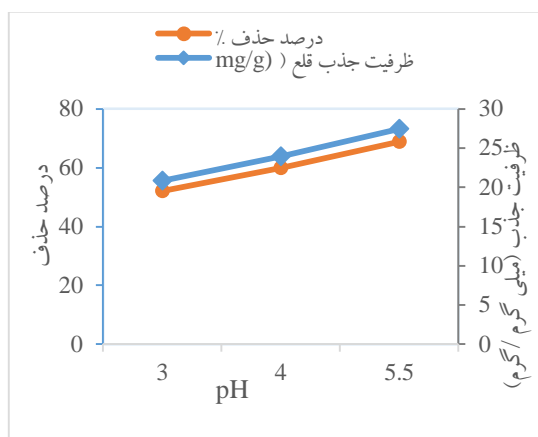
شکل ۶: نتیجه آنالیز FT-IR مونتوریلونیت قبل از اصلاح

جدول ۵- نتایج pH بر راندمان حذف و ظرفیت جذب فلز قلع با نانوذره اصلاح شده با SDS اثر

pH	غلظت اولیه قلع (ppm)	غلظت نهایی قلع (ppm)	ظرفیت جذب قلع (mg/g)	درصد حذف %
۳	۱۰۰	۴۲/۷	۲۲/۹۲	۵۷/۳
۴	۱۰۰	۲۲/۲	۳۱/۱۲	۷۷/۸
۵/۵	۱۰۰	۱۰/۹	۳۵/۶۴	۸۹/۱

جدول ۶- نتایج اثر pH بر راندمان حذف و ظرفیت جذب فلز قلع با نانو ذره اصلاح شده با HQ

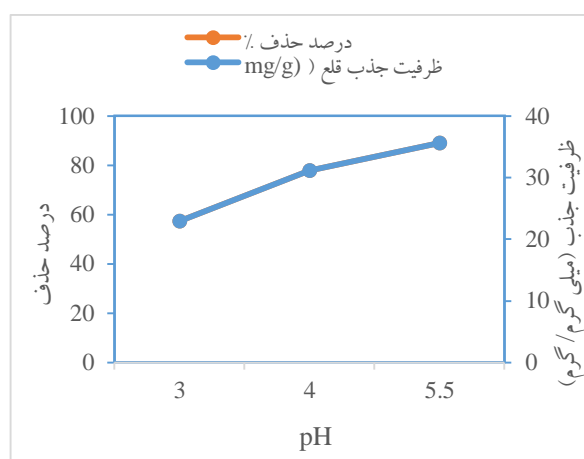
pH	غلظت اولیه قلع (ppm)	غلظت نهایی قلع (ppm)	ظرفیت جذب قلع (mg/g)	درصد حذف %
۳	۱۰۰	۴۷/۹	۲۰/۸۴	۲۵/۱
۴	۱۰۰	۴۰/۱	۲۳/۹۶	۵۹/۹
۵/۵	۱۰۰	۳۱/۴	۲۷/۴۴	۶۸/۸



شکل ۹: اثر محیط آبی بر راندمان حذف و ظرفیت جذب قلع توسط نانو مونت موریلونیت اصلاح شده HQ

- بررسی اثر زمان انجام واکنش بر روی راندمان حذف در مطالعات سینتیکی با ثابت نگه داشتن پارامترهایی مانند غلظت اولیه، pH، دما، مقدار جاذب و حجم محلول در حالت‌های بهینه، زمان تماس‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه بررسی شد و مشاهده شد تقریباً در همه‌ی موارد واکنش پس از ۴۰ دقیقه به تعادل رسیده و از آن به بعد با افزایش زمان تماس، ظرفیت جذب تقریباً ثابت می‌شود. در واقع ظرفیت جذب برای فلز قلع پس از ۹۰ دقیقه، تقریباً ثابت شده و تفاوت چندانی نمی‌کند.

شکل ۸ و ۹ اثر pH های مختلف را در حذف قلع نشان می‌دهد. نتایج این شکل نشان می‌دهد که نانو مونت موریلونیت اصلاح شده در pH های پایین کارایی کم‌تری در حذف قلع دارد. حداقل درصد حذف در pH برابر ۳ یعنی ۵۷/۳ درصد اتفاق افتاده است که در این ظرفیت جذب برابر ۲۲/۹۳ میلی گرم بر گرم بود. با افزایش pH از ۳ تا ۶ میزان درصد حذف و ظرفیت جذب قلع افزایش یافته و به حداکثر خود یعنی به ترتیب pH های پایین تر یون‌های هیدروژن به عنوان رقیب کاتیون‌ها در جذب سطحی ظاهر می‌شوند.



شکل ۸: اثر محیط آبی بر راندمان حذف و ظرفیت جذب قلع توسط نانو مونت موریلونیت اصلاح شده SDS

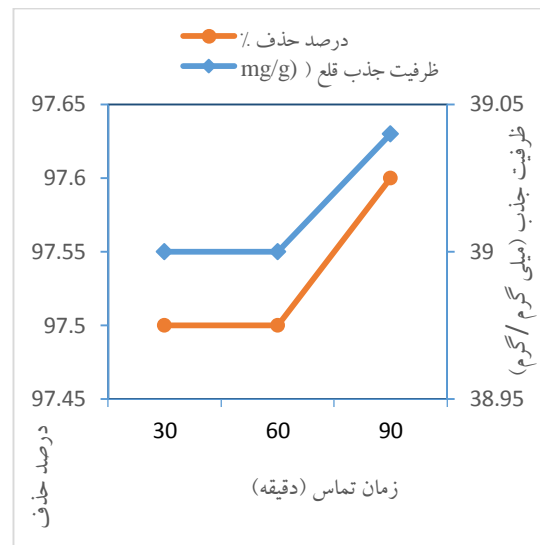
جدول ۷- نتایج زمان تماس بر راندمان حذف و ظرفیت جذب فلز قلع با نانو ذره اصلاح شده با SDS

زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه قلع (ppm)	غلظت نهایی قلع (ppm)	ظرفیت جذب قلع (mg/g)	درصد حذف %
۳۰	۱۰۰	۵	۳۸	۹۵
۶۰	۱۰۰	۲/۵	۳۹	۹۷/۵
۹۰	۱۰۰	۲/۵	۳۹	۹۷/۵
۱۲۰	۱۰۰	۲/۴	۳۹/۰۴	۹۷/۶

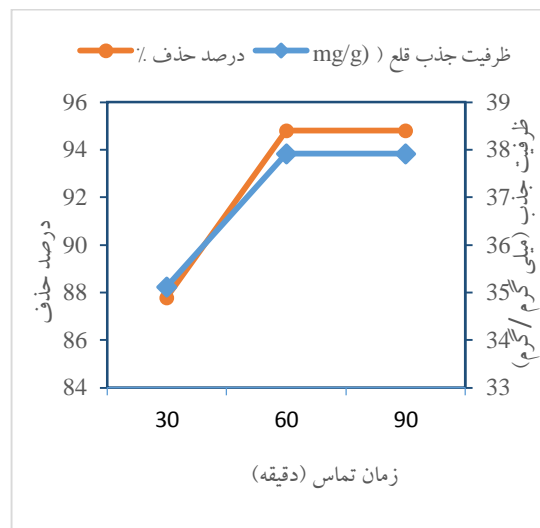
جدول ۸- نتایج زمان تماس بر راندمان حذف و ظرفیت جذب فلز قلع با نانو ذره اصلاح شده با HQ

زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه قلع (ppm)	غلظت نهایی قلع (ppm)	ظرفیت جذب قلع (mg/g)	درصد حذف %
۳۰	۱۰۰	۱۵	۳۴	۸۵
۶۰	۱۰۰	۱۲/۲	۳۵/۱۲	۸۷/۸
۹۰	۱۰۰	۵/۲	۳۷/۹۲	۹۴/۸
۱۲۰	۱۰۰	۵/۲	۳۷/۹۲	۹۴/۸

- بررسی اثر میزان جاذب بر روی راندمان حذف
 شکل ۱۲ تأثیر مقدار جاذب بر درصد حذف و ظرفیت جذب یون‌های قلع توسط نانو مونت موریلونیت را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش مقدار جاذب از ۰/۰۵ تا ۰/۱۲ گرم درصد حذف یون‌های قلع از ۵۶/۶ به ۹۱/۸ درصد افزایش یافته و ظرفیت جذب از ۶۱/۲ به ۹/۴۳ میلی گرم بر گرم کاهش می‌یابد.
 با افزایش میزان جاذب از ۰/۱۲ تا ۰/۱۷ گرم تغییری در راندمان و ظرفیت جذب قلع مشاهده نگردیده است.
 بنابراین جرم ۰/۱۲ گرم جاذب به عنوان جرم بهینه جاذب برای جذب قلع انتخاب گردید. کاهش ظرفیت جذب با افزایش مقدار جاذب عمدتاً به دلیل اشباع نشدن مکان‌های جذب در طی فرآیند جذب و تجمع ذرات در مقادیر بالای جاذبی است که منجر به کاهش مساحت سطح آن می‌شود.
 جدول ۹ نتایج اثر میزان جاذب بر راندمان حذف و ظرفیت جذب قلع را نشان می‌دهد.



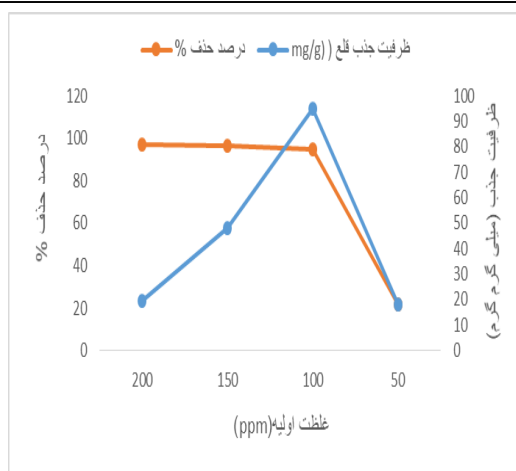
شکل ۱۰: تأثیر زمان‌های مختلف بر راندمان حذف و ظرفیت جذب قلع توسط نانو مونت موریلونیت اصلاح شده با SDS



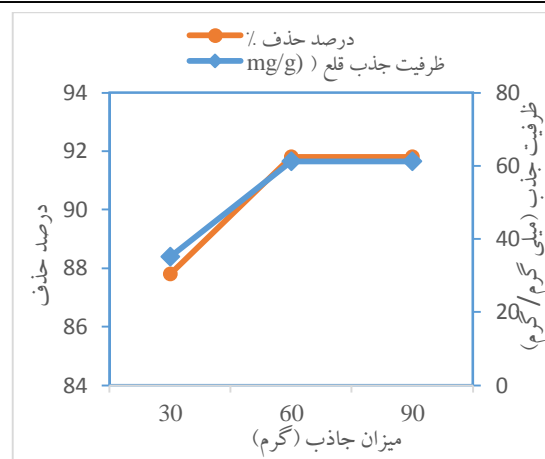
شکل ۱۱: تأثیر زمان‌های مختلف بر راندمان حذف و ظرفیت جذب قلع توسط نانو مونت موریلونیت اصلاح شده با HQ

جدول ۹- نتایج اثر میزان جاذب بر راندمان حذف و ظرفیت جذب قلع

درصد حذف %	ظرفیت جذب قلع (mg/g)	غلظت نهایی قلع (ppm)	غلظت اولیه قلع (ppm)	میزان جاذب (گرم)
۵۶/۶	۹/۴۳	۴۳/۴	۱۰۰	۰/۰۵
۸۷/۸	۳۵/۱۲	۱۲/۲	۱۰۰	۰/۱
۹۱/۸	۶۱/۲	۸/۲	۱۰۰	۰/۱۲
۹۱/۸	۶۱/۲	۷/۲	۱۰۰	۰/۱۷



شکل ۱۳: اثر غلظت اولیه بر راندمان حذف و ظرفیت جذب قلع



شکل ۱۴: تاثیر مقدار جاذب بر درصد حذف و ظرفیت جذب

ایزوترم لانگمور

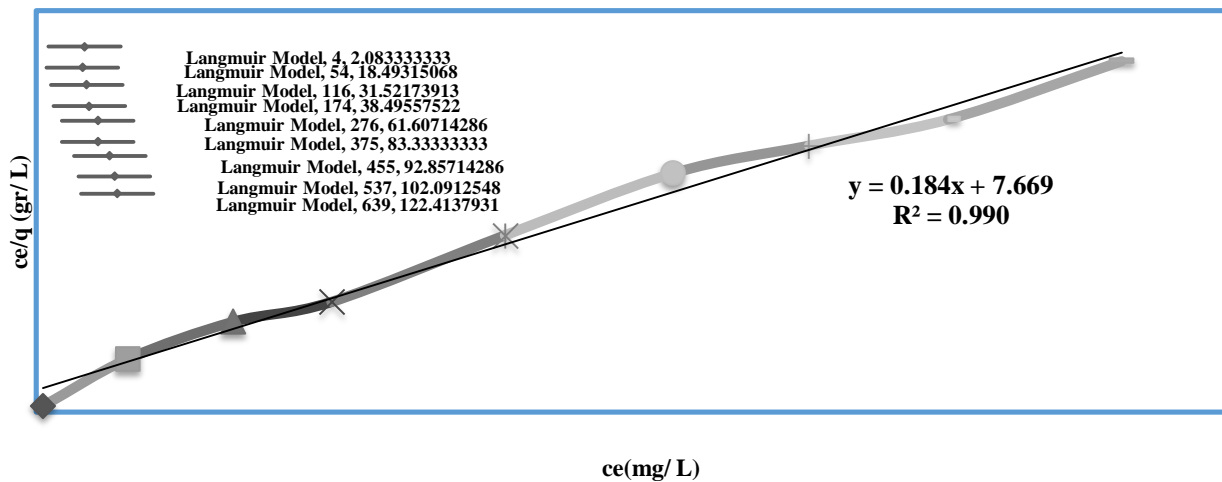
با توجه به این که معادله‌ی لانگمور به نحو گسترده‌ای برای تحلیل فرآیندهای جذب به فرض تک لایه بودن جذب استفاده می‌شود و این مزیت را دارد که به وسیله آن می‌توان بالاترین میزان جذب را به دست آورد بنابراین در ابتدا نتایج مربوط به معادله لانگمور آورده شده است. علاوه بر آن این مدل از یک پشتوانه تئوریک قوی برخوردار بوده و به علت سادگی و سهولت بکارگیری آن بخصوص در محدوده غلظت‌های پایین بیش‌تر بکار می‌رود. در این مدل Q_m و b ثابت‌های لانگمور هستند و b به قدرت پیوندی وابسته است و Q_m حداکثر مقدار ماده‌ای است که می‌تواند توسط یک لایه جذب شود.

بررسی اثر غلظت اولیه بر فرآیند جذب

مشاهده شد با افزایش غلظت اولیه، ظرفیت جذب تا یک مقدار بهینه افزایش یافته و از آن به بعد ثابت می‌شود زیرا تمام مکان‌های فعال جاذب با یون‌های فلزی اشغال شده است. این مقدار بهینه برای فلز قلع و نانو جاذب، در غلظت 200 ppm به دست آمد و ظرفیت جذب در این غلظت برای قلع و جاذب نانو مونت‌موریلونیت اصلاح شده با HQ و SDS به ترتیب برابر با $44/17$ و $47/5$ میلی گرم بر گرم حاصل شد.

جدول ۱۰- نتایج اثر غلظت اولیه بر راندمان حذف و ظرفیت جذب قلع

درصد حذف %	ظرفیت جذب قلع (mg/g)	غلظت نهایی قلع (ppm)	غلظت اولیه قلع (ppm)
۹۶/۸	۱۹/۳۶	۶/۴	۲۰۰
۹۶/۴۸	۴۸/۲۴	۵۲/۸	۱۵۰
۹۴/۸۴	۹۴/۸۴	۵۱/۶	۱۰۰
۲۱/۵۶	۱۷/۹۶	۳۹/۲۲	۵۰



شکل ۱۴: ایزوترم لانگمور برای جذب قلع: غلظت آلاینده‌ها ۹۰۰-۱۰۰ ppm، مقدار جاذب ۵ گرم، دمای محیط، pH طبیعی محلول

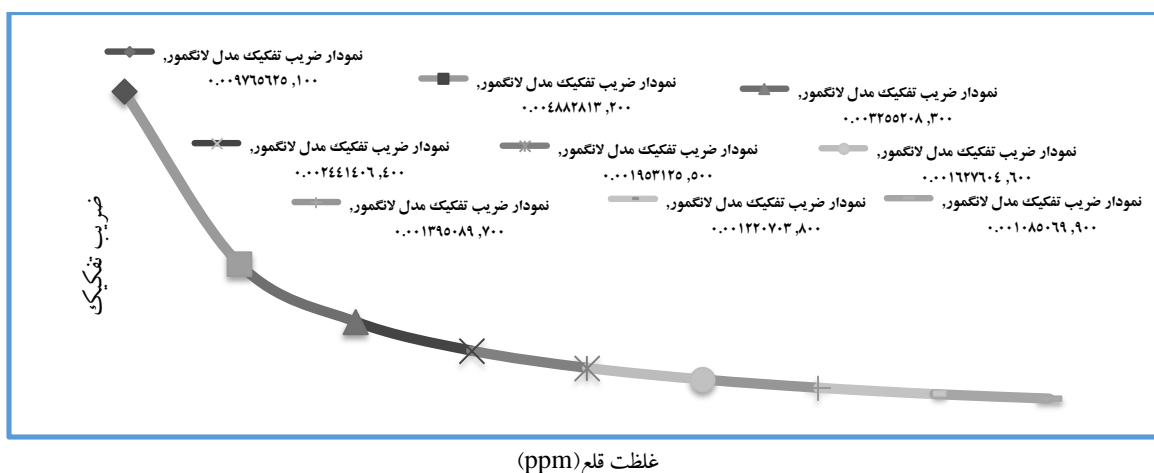
نتایج اغلب این مطالعات مقادیر Q_m کم‌تری را نسبت به مونت موریلونیت نشان داده‌اند. مقدار ضریب تفکیک R_L برای جذب قلع از مقدار ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۹۸/۰/۰۱۰۱ می‌باشد، که در محدوده غلظت ۱۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر قلع، با توجه به نمودار به دست آمده برای ضریب تفکیک، فرآیند جذب قلع بر روی مونت موریلونیت اصلاح شده ارزیابی می‌شود به بیان دیگر با افزایش غلظت قلع در محلول میزان تبعیت فرآیند از ایزوترم لانگمور بیش‌تر شده و فرایند جذب به سمت تک لایه‌ای بودن می‌رود. این نمودار نشان می‌دهد که در غلظت‌های بالا فرآیند جذب از مدل همگن تبعیت بیش‌تری دارد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب همبستگی (R^2) برای جذب قلع ۰/۹۸۶ است که از آنجائی که ایزوترم لانگمور سطح جاذب را به صورت همگن فرض می‌کند، می‌تواند بیانگر توزیع همگن جذب بر روی قلع باشد.

بر اساس جدول ۵ و ۱۰ حداکثر مقدار جذب Q_m برای این فرآیند ۵/۴۳ میلی‌گرم قلع به ازای یک گرم مونت‌موریلونیت و ۶/۲۸ میلی‌گرم قلع به ازای یک گرم نانو مونت موریلونیت می‌باشد، که این مقدار جذب به نسبت تحقیقات مشابه آن مقدار زیادتری است.

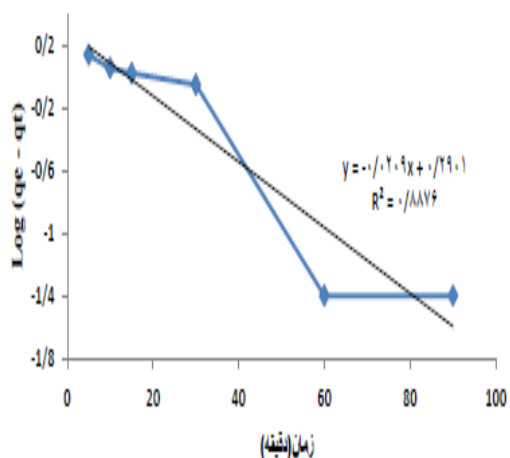
در سال ۲۰۰۵ کون و همکاران نیز به بررسی مدل لانگمور برای جذب Sn بر روی مونت موریلونیت پرداختند نتایج به دست آمده برای Q_m و $95/98 \times 10^{-3}$ میلی‌مول بر گرم است که معادل ۰/۰۰۶۲ میلی‌گرم بر لیتر است [۹].

در سال ۲۰۰۱ آلکان و همکاران مدل لانگمور را برای جذب قلع بر روی مونت موریلونیت پرداختند نتایج به دست آمده برای Q_m در محدود ۷/۹۸ تا ۷ میلی‌گرم بر لیتر بوده است [۹].



شکل ۱۵: ضرب تفکیک برای جذب قلع: غلظت آلاینده‌ها ۹۰۰-۱۰۰ ppm، مقدار جاذب ۵ گرم، دمای محیط، pH طبیعی محلول، حجم محلول ۱۰۰ میلی لیتر

میزان جذب قلع بر ۵ گرم مونت موریلونیت مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقدار جذب برای فلز قلع در زمان‌های آغازین با شدت زیادی افزایش می‌یابد. این نرخ برای قلع در فاصله زمانی حدود ۹۰ تا ۱۲۰ دقیقه کاهش می‌یابد اما همچنان افزایش نشان می‌دهد و برای فلز در زمان ۱۲۰ دقیقه به نرخ ثابتی رسیده است.



شکل ۱۶: نمودار سینتیک جذب شبه مرتبه اول

ایزوترم فرندلیچ

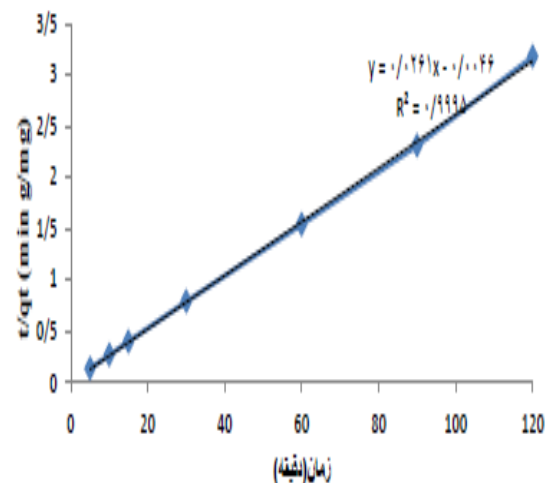
نتایج حاصل از این مدل و پارامترهای آن در نمودار و جدول نشان داده شده است. طبق نتایج حاصل مشاهده می‌شود که مدل فرندلیچ با ضریب همبستگی ۰/۹۷۲ برای قلع نیز فرآیند جذب را توصیف می‌کند. مقدار n در رابطه ۳ توصیف کننده نوع ایزوترم فرندلیچ است به طوری که، $1/n$ بین صفر و یک باشد ($0 < 1/n < 1$) نشان‌دهنده سرباعد بودن ایزوترم فرآیند جذب می‌باشد. مطابق جدول مقدار $1/n$ در این فرآیند ۰/۲۰۴ برای قلع بوده که بیان کننده مطلوب بودن ایزوترم فرندلیچ برای توصیف این جذب می‌باشد. با این وجود به علت کم‌تر بودن ضریب همبستگی نسبت به مدل لانگمور، مدل ایزوترم لانگمور در توصیف این فرآیند جذب ارجحیت دارد. در بررسی کوون و همکاران در سال ۲۰۰۵ مقادیر K_f و n برای جذب روی، به ترتیب ۰/۴۱۵ و ۰/۳۷۳۴ بوده است که باز هم تاییدی بر بالاتر بودن قابلیت جذب سطحی نمونه مونت موریلونیت مورد مطالعه به نسبت مونت موریلونیت در بررسی کوون و همکاران می‌باشد [۱۰].

مطالعات مربوط به ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک جذب انجام شد. در مطالعات ایزوترم با ثابت نگه داشتن مقدار جاذب (۰/۱۲ گرم)، زمان تماس، دما، pH=۵/۵ و حجم ۱۰۰ میلی لیتر، مقادیر غلظت های اولیه یون فلزی ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ppm بررسی شد. در واقع نسبت مقدار جاذب به غلظت اولیه یون، پارامتر متغیر این مطالعه بود.

بررسی های ترمودینامیکی نشان می دهد با ثابت نگه داشتن پارامترهایی مانند غلظت اولیه، pH، زمان تماس، مقدار جاذب و حجم محلول در حالت های بهینه در دماهای ۲۹۸، ۳۱۳ و ۳۳۳ کلوین، افزایش دما باعث افزایش ظرفیت جذب می شود که بیان گر گرماگیر بودن واکنش است.

منابع

- [1] Barakat, M.A., 2011, New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4, 361-377.
- [2] Fu, F., Wang, Q., 2011, Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of environmental management*, 92(3), 407-418.
- [3] Fernández, Y., Marañon, E., Castrillón, L., & Vázquez, I., 2005, Removal of Cd and Zn from inorganic industrial waste leachate by ion exchange. *Journal of hazardous materials*, 126(1), 169-175.
- [4] Singh, D. B., Rupainwar, D. C., Prasad, G., & Jayaprakas, K. C., 1998, Studies on the Cd (II) removal from water by adsorption. *Journal of Hazardous materials*, 60(1), 29-40.
- [5] Mathialagan, T., & Viraraghavan, T., 2002, Adsorption of cadmium from aqueous solutions by perlite. *Journal of Hazardous Materials*, 94(3), 291-303.
- [6] Farrah, H., & Pickering, W. F., 1977, The sorption of lead and cadmium species by clay minerals. *Australian Journal of Chemistry*, 30(7), 1417-1422.
- [7] Ozacar, M., Sengil I.A., 2004, Application of kinetic models to the sorption of disperse dyes onto alunite, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects* 242.105-113.
- [8] Wang, M. S., Guo, S. P., Li, Y., Cai, L. Z., Zou, J. P., Sn., Xu, G., rganic framework with tunable yellow-to-white photoluminescence by variation of excitation light. *Journal of the American Chemical Society*, 131(38), 13572-13573.
- [9] Kwon, J., Yun, S., Kim, S., Mayer, B., Hutcheon, I., Sorption of Sn in aqueous solutions by scoria. *Chemosphere* 65 . 9496 – 942632550.
- [10] Abdel-Ghani N T., Elchaghaby, G. A., Influence of operating conditions on the removal of Sn,Cu, Zn, Cd and Pb ions from wastewater by adsorption. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4 (4): 409-406, 2550.



شکل ۱۷: نمودار سینتیک جذب شبه مرتبه دوم

بر اساس عدد حاصل از R^2 و اینکه باید به عدد یک نزدیک باشد تا میزان همبستگی آن مشخص شود، لذات با توجه به نمودارهای رسم شده بر اساس لگاریتم غلظت اولیه به غلظت در طول زمان و نسبت زمان به غلظت در زمان به زمان، بهترین عملکرد مربوط به معادله شبه مرتبه دوم می باشد.

نتیجه گیری

نتایج نشان می دهند که نانو رس خام در شرایط pH=۵/۵، دمای محیط، مقدار ۰/۱۲ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۱۰۰ ppm، ۹۰ دقیقه زمان تماس برای قلع، غلظت قلع را به ۸۸/۵ ppm کاهش داد. پس از شست و شوی نانو رس به وسیله ی اسید سولفوریک ۰/۱ مولار و انجام آزمایش جذب در شرایط فوق، غلظت قلع به ۶۵ ppm کاهش یافت و ظرفیت جذب قلع توسط نانو رس خام و شسته شده به ترتیب ۹/۶ و ۲۹/۷ میلی گرم بر گرم حاصل شد که با مطالعات قبلی نیز مطابقت دارد. در pH غلظت فلز قلع توسط نانو رس اصلاح شده با HQ از ۱۰۰ ppm به ۵۹/۴ ppm و توسط نانو رس اصلاح شده با SDS به ۵۶/۶۳ ppm کاهش یافته و ظرفیت جذب به ترتیب برابر با ۳۳/۸۳ و ۳۶/۱۴ میلی گرم بر گرم حاصل شد. مشاهده می شود نانو رس اصلاح شده با SDS برای فلز قلع نتایج بهتری را به همراه داشته است. سپس