



## جداسازی اجزای بنتونیت به منظور دستیابی به نانو مونت‌موریلونیت

وحید رضا اوحدی<sup>\*</sup>، محمد امیری

دانشکده مهندسی، گروه عمران، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(دریافت مقاله: ۹۰/۵/۸، نسخه نهایی: ۹۰/۹/۲)

**چکیده:** با استفاده از فناوری نانو، امکان دستیابی به ویژگی‌هایی از مواد فراهم می‌شود، به طوری که این ویژگی‌ها در مواد با ابعاد بزرگتر قابل مشاهده نیستند. رس‌های بنتونیتی به طور گسترده از کانی رسی مونت‌موریلونیت (بیش از ۷۶٪) و مقدار کمتری از کانی‌های دیگر تشکیل شده‌اند. مونت‌موریلونیت خالص با ابعاد نانو دارای کاربردهای صنعتی متنوعی است که تهیه آن نیز عموماً پرهزینه و زمان بر است. این پژوهش با هدف ارائه روشی برای جداسازی بخشی با ابعاد نانو مونت‌موریلونیت از بنتونیت انجام شده است. روند جداسازی اجزا از طریق آزمایش‌های تعیین اندازه‌ی ذرات به روش لیزری (PSA)، پراش پرتو ایکس (XRD)، تعیین سطح ویژه (SSA) و بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) در هر مرحله آنالیز شدند. از مهمترین نتایج این پژوهش می‌توان به دستیابی به نانوذرات رسی با سطح ویژه  $522.58 \text{ (m}^2/\text{g)}$  و میانگین قطر  $6.13$  میکرومتر اشاره کرد. نانوذرات تولیدی در این روش از درجه‌ی خلوص مناسبی برخوردار بوده به طوری که با توجه به نتایج آزمایش‌های ریزساختاری XRD، SEM و PSA، نمونه‌ی نانو مونت‌موریلونیت به دست آمده نسبت به نمونه نانو مونت‌موریلونیت صنعتی کلوزایت  $\text{Na}^+$  دارای خلوص بیشتر و میانگین قطر ذرات کوچکتری است. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نمونه‌ی نانورس استخراج شده فاقد کربنات و کوارتز است و سطح مخصوص آن حدود ۲۵٪ نسبت به بنتونیت افزایش یافته است. روش پیشنهادی برای استخراج نانو مونت‌موریلونیت از بنتونیت به واسطه‌ی کم هزینه بودن و نیز به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی در مراحل خالص‌سازی، نمونه مناسبی برای کاربردهای اجرائی و پژوهشی بوده و امکان استفاده از این نانو رس را در بخش‌های مختلف صنعت فراهم می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** نانورس؛ بنتونیت؛ مونت‌موریلونیت؛ کلوزایت  $\text{Na}^+$ ؛ XRD؛ SEM؛ SSA.

### مقدمه

اصولاً، کاربرد فناوری نانو از کاربرد عناصر پایه ریشه می‌گیرد. هر کدام از این عناصر پایه، ویژگی‌های خاصی دارند که استفاده از آن‌ها در زمینه‌های مختلف، موجب خواص جدیدی می‌شود. از جمله کاربردهای نانوذرات می‌توان به تجزیه و جذب آلاینده‌های محیط زیست اشاره کرد. به طور کلی عناصر پایه با دو رویکرد «بالا به پایین» و «پایین به بالا» قابل ساخت‌اند. در رویکرد بالا به پایین برای تولید محصول، یک ماده‌ی توده‌ای را شکل‌دهی و اصلاح می‌کنند. در حقیقت در این روش، یک ماده‌ی بزرگ را انتخاب کرده و با کاهش ابعاد و شکل‌دهی آن،

هنگامی که اندازه‌ی ذرات در حدود  $10^{-9}$  متر می‌شود، فعالیت شیمیایی مواد به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. این موضوع سبب افزایش شکل‌پذیری مواد و آشکار شدن خواص مفید و جدیدی برای مواد می‌شود. برخی از این ویژگی‌ها که موجب شهرت نانومواد شده‌است، به شرح زیرند [۱]. (۱) اندازه‌ی ذرات در حدود  $10^{-9}$  متر. (۲) افزایش قابل توجه در سطح مخصوص. (۳) آشکار شدن خواص مفید و جدید مواد. (۴) افزایش سختی و شکل‌پذیری مواد. (۵) افزایش فعالیت بسیار زیاد شیمیایی مواد.

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۸۱۲۴۵۹۲، نمابر: ۰۸۱۱) ۸۲۲۱۳۱۶، پست الکترونیکی: vahidouhadi@yahoo.ca

به یک محصول با ابعاد نانو می‌رسیم (این کار اغلب، نه همیشه، شامل حذف بعضی از مواد به شکل ضایعات است). [۱-۴].

نانومواد را در حالت متراکم نشده، اصطلاحاً نانوپودر<sup>۱</sup> می‌نامند. در اینحالت اندازه‌های دانه‌های آن‌ها حداقل در یک بُعد و یا معمولاً در سه بُعد، در گستره‌ی ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است [۵]. یکی از نانومواد که در امور تجاری کاربرد فراوان دارد، نانوذرات رسی است. نانورس‌ها، پودرهای رسی‌ای هستند که به مقدار زیادی پالایش شده و به‌عنوان یک افزودنی برای افزایش مقاومت، مقابله در برابر پرتو فرابنفش، افزایش مقاومت گرمایی، بازدارنده‌ی شعله، جذب آلاینده‌های موجود در محیط زیست و در بعضی مواقع خواص ضد باکتری استفاده می‌شوند. حضور نانورس باعث ایجاد پیوندهای قوی یونی در محصولات ترکیبی و ایجاد کیفیت بهتر در مواد ترکیبی می‌شود. پیوند یونی و حتی پراکندگی صفحات در محصول از تحرک زنجیره‌ای مولکول‌ها جلوگیری کرده و موجب افزایش دوام ابعادی، پیچیدگی گرمایی و خواص مکانیکی در محصول می‌شود. نانوذرات رسی به صورت گسترده در صنعت پلاستیک‌سازی استفاده می‌شوند و کاربردهای زیادی در تولید لوازم آرایشی، داروسازی، محیط زیست، تصفیه‌ی آب، سفال‌گری و پوشش‌ها دارند. در ضمن نانوذرات رسی به‌عنوان یک جسم مرکب ایمن معدنی شناخته شده‌اند [۲، ۵، ۶].

فناوری نانو موجب پیشرفت‌های شگرفی در صنایع مختلف شده است، یکی از محصولات مهم و کاربردی نانومواد در صنایع مختلف، نانورس‌ها هستند. فرایندهای رایج تولید نانو رس عموماً شامل فرایندهای شیمیائی پرهزینه و نسبتاً پیچیده بوده که در برخی موارد بر ویژگی‌های پایه‌ی رس نیز تأثیر می‌گذارد. بر این اساس در این پژوهش سعی شده‌است تا با استفاده از روشی مکانیکی، بخش مونت‌موریلونیتی نمونه بنتونیت از آن جدا شده و با دستیابی به مونت‌موریلونیت با ابعاد نانو، ضمن عدم استفاده از افزودنی‌های شیمیائی، امکان استفاده از ویژگی‌های نانو رس مونت‌موریلونیت فراهم شود. ویژگی‌های نمونه‌ی مونت‌موریلونیت استخراج شده با ویژگی‌های نمونه‌ی نانو رس صنعتی کلوزایت<sup>۲</sup> Na<sup>+</sup> مقایسه و بررسی شدند.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از نمونه رسی بنتونیت و نانورس صنعتی کلوزایت<sup>۲</sup> Na<sup>+</sup> استفاده شد. نمونه‌ی رسی بنتونیت، با نام تجاری "بنتونیت فلات ایران"، از شرکت "ایران باریت" تهیه شده‌است.

این بنتونیت به‌صورت پودری سفید مایل به شیری دیده می‌شود. نانو رس صنعتی مورد استفاده در این پژوهش که با نام تجاری "کلوزایت<sup>۲</sup> Na<sup>+</sup>" عرضه می‌شود، از شرکت "تولید رس جنوب آمریکا"<sup>۳</sup> خریداری شده‌است.

فرایند جداسازی مونت‌موریلونیت از بنتونیت به صورت که در زیر توضیح داده شد انجام گرفت. در مرحله‌ی اول نمونه‌هایی به روش تعادل سوسپانسیون اشباع خاک<sup>۴</sup> در نسبت آب به خاک ۵۰ به ۲ (۲ گرم بنتونیت/ ۵۰ سانتی مترمکعب آب) تهیه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت با لرزاننده‌ی الکتریکی کاملاً هم زده شد و با سرعت ۳۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه مرکز گریز شدند. در انتهای فرایند مرکز گریزی، بخشی از نمونه همچنان رسوب نکرده و در فاز آبگون به صورت معلق قرار می‌گرفتند. این بخش آبگون حاوی پولک‌های رسی از بخش تنشین شده در لوله مرکز گریز جدا شده و به مدت یک الی دو هفته در گرمخانه‌ی با دمای ۵۰±۱ درجه سیلسیوس خشک شد. نمونه‌های خشک شده در گرمخانه به‌طور کامل آسیاب شده و به‌صورت همگن در آورده شدند. در بخش دوم مرحله‌ی اول، نمونه‌های تهیه شده در مرحله‌ی اول، این بار به صورت نمونه‌های به روش تعادل سوسپانسیون اشباع خاک در نسبت آب به خاک ۵۰ به ۱ (بخش رسوب نکرده بنتونیت در مرحله‌ی ۱/ آب) تهیه شده و به مدت چهار روز، روزانه هشت ساعت با لرزاننده‌ی الکتریکی کاملاً هم زده شدند، سپس با سرعت ۳۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه مرکز گریز شده و بخش رسوب نکرده نمونه، جدا شده و به مدت یک الی دو هفته در گرمخانه با دمای ۵۰±۱ درجه سیلسیوس خشک شد. نمونه‌های خشک شده در گرمخانه به‌صورت کامل آسیاب شده و به صورت همگن در آورده شدند. این فرایند پنج بار تکرار شد تا ذرات ماسه، لای و کربنات خاک به‌صورت کامل از آن جدا شوند. لازم به یاد آوری است که در مرحله‌ی نهایی، نمونه‌های خشک شده با آسیاب ساچمه‌ای به نسبت وزنی ۱ به ۱۰ وزن نمونه، به وزن گلوله‌ی ساچمه‌ای آسیاب شدند. نمونه‌ی رسی که به این ترتیب تهیه و تحت عنوان نمونه ی اس-۱ ال-بی (SLB) نام‌گذاری شد (شکل ۱).

در پایان هر مرحله برای تهیه‌ی نمونه‌های پرتو ایکس (XRD) و تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) از نمونه‌های فوق یک گرم خاک خشک با دقت ۰٫۰۰۱ گرم وزن

2- Southern Clay Products

3- Batch Equilibrium Test

1- Nanopowder

نئون هلیوم با قدرت (طول موج) ۶۳۲٫۸ نانومتر قرار داده شد و جدایش صورت گرفت. با توجه به تئوری فران حوفمن قطر ذرات با استفاده از معادله‌ی (۱) محاسبه شد، و نمودارهای انباشتی قطر ذرات تعیین و ترسیم شدند. دستگاه مورد استفاده در این فرایند ساخت آلمان و شرکت فریچ بوده است.

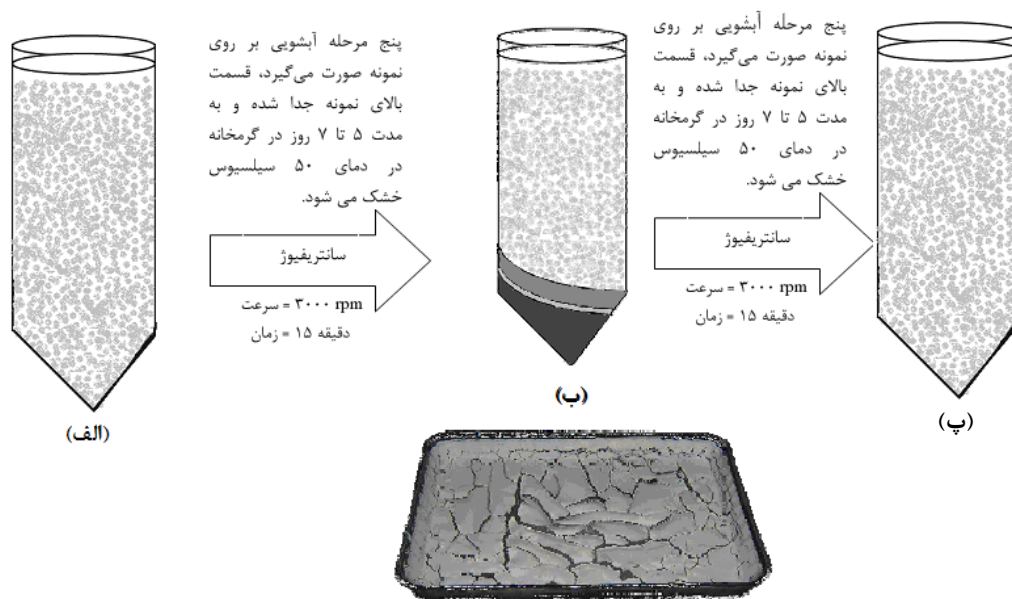
$$D = (1.22 \times F \times \lambda) / (R0) \quad (1)$$

D = قطر ذرات  
R0 = شعاع حلقه دستگاه  
 $\lambda$  = طول موج = ۶۳۲٫۸ نانومتر  
F = فرکانس

در بخش دیگر این پژوهش، رفتار نمونه‌ی حاصل از فرایند جداسازی (نانورس SLB) و دو نمونه مرجع بنتونیت و نانورس کلوزایت  $Na^+$  بررسی شدند. بخش اعظم آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش بر اساس استاندارد ASTM، استاندارد EPA و دستورالعمل‌های ژئوتکنیک زیست محیطی دانشگاه مک گیل کانادا صورت گرفت [۹-۱۱]. برای تعیین درصد کربنات خاک، از روش عیارسنجی استفاده شد [۱۲]. اندازه‌گیری سطح مخصوص خاک (SSA) نیز با استفاده از محلول EGME صورت گرفت [۱۳]. برای تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC)، از روش باریم کلراید استفاده شد [۱۴]. نمونه‌های پراش پرتو ایکس و تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز روی لام‌های شیشه‌ای بنا بر دستورالعمل [۱۵، ۷، ۸] تهیه شدند. در جدول (۱) برخی از ویژگی‌های فیزیکی و ژئوتکنیک زیست-محیطی مورد نیاز در این پژوهش برای نمونه‌ها آورده شده‌اند.

شده و در مرکز گریز ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس پس از اضافه کردن ۵۰ میلی‌لیتر از الکترولیت مورد نظر (آب مقطر) به خاک، این سوسپانسیون به مدت سه ساعت با لرزاننده‌ی الکتریکی کاملاً هم زده شد. آنگاه پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با هدف اطمینان از حصول شرایط تعادل، این سوسپانسیون دوباره به مدت سه ساعت با لرزاننده‌ی افقی کاملاً هم زده شد، و نمونه‌ها در حدود ۱۲۰ ساعت دیگر نگهداری شدند تا سیستم کاملاً همگن شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۶۰ دقیقه با لرزاننده دوباره هم زده شدند. در نهایت بین ۵ تا ۷ قطره از این سوسپانسیون روی اسلاید شیشه‌ای ریخته شد و پس از خشک شدن، با پراش پرتو ایکس مدل Siemens-Diffract meter D8 Advance مورد آزمایش قرار گرفتند [۷، ۸]. همچنین برای بررسی ساختار و ریخت‌شناسی، نمونه‌ها به وسیله‌ی یک دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل (TESCAN-510-SEM-01) آنالیز شدند.

برای تعیین توزیع اندازه‌ی ذرات نمونه‌ها، از تحلیلگر PSA استفاده شد. در این روش با استفاده از پرتو لیزری نئون - هلیوم و با سیستم‌تر، توزیع ذرات را تعیین کردیم. در این روش، نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای آزمایشگاهی با توجه به حل نمونه به‌صورت سوسپانسیون (الکل یا آب) در آورده شدند. سپس این ترکیب را به‌مدت تقریباً یک دقیقه در یک دستگاه فراصوتی قرار داده شد. آنگاه نمونه‌ها با پمپ مرکز گریز، بین دو اتاقک شیشه‌ای شناور شدند. و در پایان نمونه زیر تابش پرتو لیزری



شکل ۱ فرایند جداسازی مکانیکی اجزای بنتونیت.

جدول ۱ مشخصات فیزیکی و ژئوتکنیک زیست محیطی نمونه‌های نانورس SLB، کلوزایت  $\text{Na}^+$  و نمونه‌ی رسی بنتونیت.

Physical and geo-environmental engineering properties	Bentonite	SLB	Cloisite® $\text{Na}^+$
pH (1:10 ; soil : water)	9.9	10.00	10.03
Carbonate content (%)	8±0.5	0±0.5	0
Organic content (%)	0	0	6
Organic Modifier	-	-	-
Modifier Concentration	-	-	-
Surface area ( $\text{m}^2/\text{kg} \cdot 10^{-3}$ )	416.5±5	522.58±5	524.8±5
CEC ( $\text{cmol} / \text{kg soil}$ ) $\text{Na}^+$	48.80	49.61	47.02
$\text{Ca}^{+2}$	14.55	6.68	2.68
$\text{Mg}^{+2}$	1.46	1.38	0.58
$\text{K}^+$	0.42	0.42	0.88
Total:	65.23	58.09	51.16
$G_s$	2.79	2.85	2.86
Classification	CH	CH	CH
Mineral composition in decreasing abundance	Montmorillonite, Calcite, Quartz	Montmorillonite	Montmorillonite

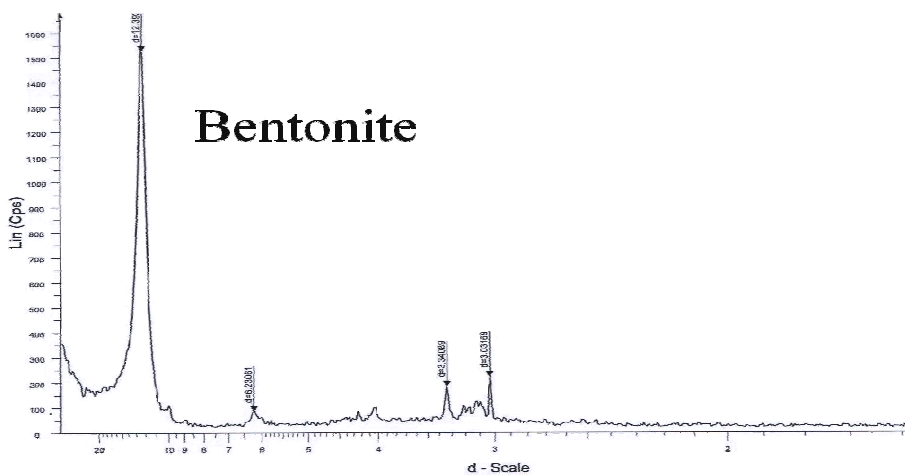
### بحث و بررسی

یکی از روش‌های بررسی رفتار ریز ساختار خاک‌های رسی و ارزیابی نقش کانی‌های مختلف بر رفتار آن‌ها، استفاده از پراش اشعه ایکس است.

شدت قله‌های XRD برای یک کانی مشخص در یک نمونه‌ی ترکیبی از چند کانی، متناسب با ضریب جذب کانی-های متفاوت موجود در نمونه، صورت می‌گیرد. بنابراین، با اندازه‌گیری شدت قله‌ها و استفاده از استانداردهای داخلی، می‌توان میزان حضور کانی‌های متفاوت موجود در نمونه را بررسی کرد.

در این پژوهش پس از جداسازی مکانیکی، بر اساس روش یاد شده، معلوم شد که در اثر فرایند جداسازی نمونه رسی بنتونیت، کانی‌های کوارتز و کربنات موجود در بنتونیت در محلول سوسپانسیون بنتونیت-آب مقطر ته‌نشین شده است. از سوی دیگر کانی اصلی تشکیل دهنده‌ی بنتونیت یعنی مونت

موریلونیت در اثر فرایند جداسازی در آبگونی به صورت معلق باقی می‌ماند. علت اصلی رسوب دو کانی کوارتز و کربنات را می‌توان به بزرگتر بودن قطر ذرات این دو کانی و شکل آن‌ها نسبت داد. به عبارتی در حالی که چگالی ویژه‌ی این دو کانی از نمونه کانی مونت‌موریلونیت کمتر است ولی بر اساس قانون استوکس، سرعت و روند رسوب ذرات خاک بر اساس قطر اجزای تشکیل دهنده‌ی آن‌ها صورت می‌گیرد. در این پژوهش با بررسی نتایج پراش پرتو ایکس به ارزیابی درستی عملکرد روش پیشنهادی در جداسازی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی نمونه بنتونیت پرداخته شد. در شکل (۲)، پراش پرتو ایکس نمونه بنتونیت نشان داده شد. قله اصلی نمونه در موقعیت  $d_{001} = 12.00 \text{ \AA}$  دارای شدت ۱۵۵۰ Cps بوده‌است که به کانی مونت‌موریلونیت، و نیز قله‌ی  $3.34 \text{ \AA}$  به کانی کوارتز موجود در نمونه بنتونیت و قله‌ی نظیر  $d = 3.03 \text{ \AA}$  مربوط به کانی کربنات وابسته‌اند.



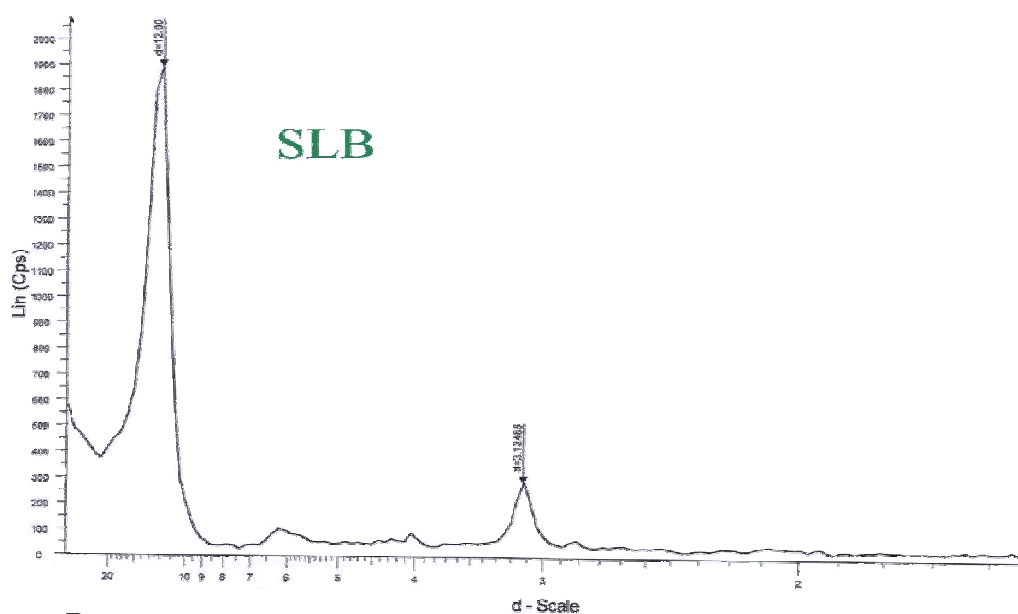
شکل ۲ پراش پرتو ایکس نمونه رسی بنتونیت مرجع.

کربنات نمونه SLB را که حاکی از فقدان کربنات در این نمونه است (جدول ۱) تأیید می‌کند.

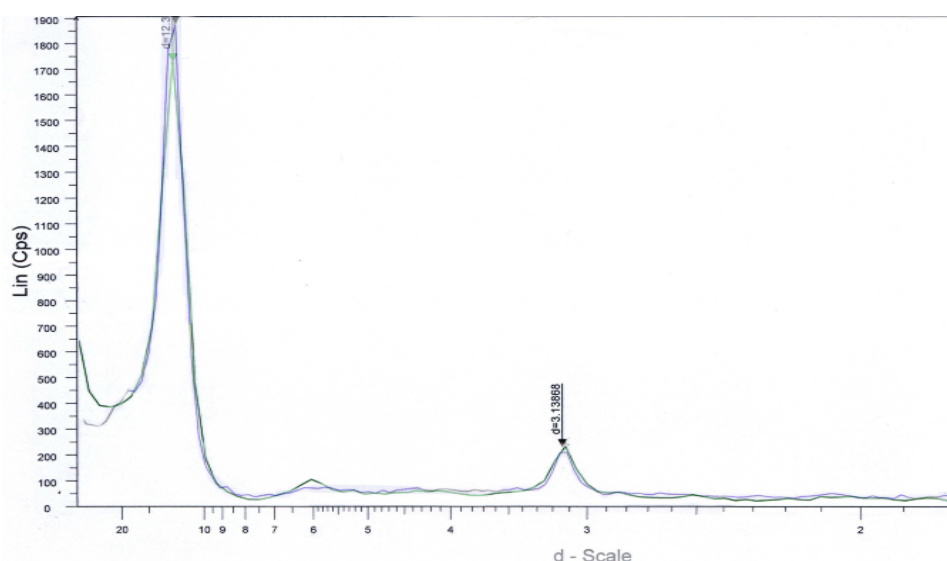
به‌منظور مقایسه‌ی ویژگی‌های ریزساختاری نمونه‌ی SLB با نمونه‌ی کلوزایت  $\text{Na}^+$ ، طیف پراش پرتو ایکس این نمونه نیز تعیین شد. در شکل ۴ تصویر توأم طیف‌های پراش پرتو ایکس این دو نمونه مشاهده می‌شود. برازش بسیار مناسب موقعیت قله‌های اصلی و شدت آن‌ها حاکی از موفقیت روش پیشنهادی در این پژوهش برای حصول نانو رس مونت‌موریلونیت بوده‌است. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۴) شدت قله‌ی اصلی نظیر مونت‌موریلونیت در طیف پرتو ایکس نمونه SLB حدود ۲۵۰ Cps بیش از نمونه نانورس کلوزایت  $\text{Na}^+$  است. شباهت رفتاری پراش پرتو ایکس دو نمونه به‌عنوان تأیید کننده‌ی تولید نانورس آزمایشگاهی، حتی با خلوص بیشتر نسبت به نانورس صنعتی کلوزایت  $\text{Na}^+$  است.

به‌منظور حصول اطمینان بیشتر از درستی نتایج به‌دست آمده روی دو نمونه فوق آزمایش تعیین گستره‌ی قطر ذرات به روش لیزری (PSA) انجام شد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۲) و منحنی‌های ارائه شده در شکل‌های (۵-الف)، (۵-ب) و (۵-پ)، کاهش تقریباً ۲۵٪ قطر ذرات نمونه SLB نسبت به نمونه‌ی بنتونیت به خوبی دیده می‌شود. از سوی دیگر می‌توان مشاهده کرد که قطر ذرات نانورس آزمایشگاهی SLB تقریباً ۵۰٪ کوچکتر از قطر ذرات نمونه‌ی نانورس صنعتی کلوزایت  $\text{Na}^+$  است. نتایج تعیین کلی طول گستره‌ی قطر ذرات نمونه‌ها در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

پس از فرایند جداسازی، نمونه‌ی SLB زیر تابش پرتو ایکس قرار گرفت. بر اساس طیف پرتو ایکس ارائه شده در شکل (۳)، در اثر فرایند جداسازی، کانی کوارتز و کربنات موجود در نمونه بنتونیت بر اساس قانون استوکس رسوب کرده و از نمونه حذف شده‌است. چنانکه در پراش پرتو ایکس نمونه SLB مشاهده می‌شود (شکل ۳)، قله‌های نظیر  $12.00 \text{ \AA}$  و  $3.12 \text{ \AA}$  که دارای شدت قابل توجهی هستند به کانی مونت‌موریلونیت وابسته‌اند. از سوی دیگر در حالی که موقعیت قله‌ها ثابت است ولی شدت نظیر قله‌ی اصلی در حدود ۲۵۰ Cps افزایش یافته‌است. این افزایش موجب افزایش مساحت زیر سطح نمودار نسبت به نمونه‌ی بنتونیت شده‌است. از این‌رو بنا بر آنالیز کمی نمونه‌ها [۸]، در یک مقایسه نسبی می‌توان گفت میزان یا به عبارتی خلوص کانی مونت‌موریلونیت موجود در نمونه نانورس SLB نسبت به نمونه‌ی بنتونیت افزایش یافته‌است. افزایش سطح مخصوص نمونه‌ی SLB نسبت به نمونه‌ی بنتونیت تأیید کننده‌ی این برداشت است (جدول ۱)، به نحوی که در نمونه SLB با افزایش خلوص کانی مونت‌موریلونیت و خارج شدن لای، کوارتز و کربنات موجود از نمونه، سطح مخصوص بیش از ۲۵٪ نسبت به نمونه‌ی بنتونیت افزایش یافته‌است. بر اساس نتایج بررسی‌های قبلی [۱۰]، نمونه‌ی بنتونیت مورد بررسی دارای ۷۶٪ مونت‌موریلونیت است. افزایش حدود ۲۵٪ در سطح مخصوص نمونه SLB تأیید کننده‌ی خلوص صد درصدی نمونه مونت‌موریلونیت استخراج شده از بنتونیت است. همچنین نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس در شکل ۳، نتایج تعیین درصد



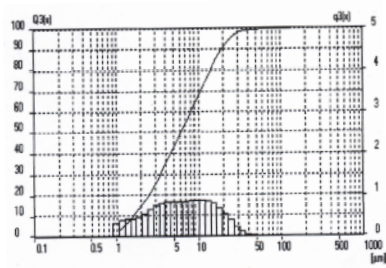
شکل ۳ پراش پرتو ایکس نمونه رسی SLB.



شکل ۴ مقایسه‌ی منحنی پراش پرتو ایکس نمونه‌ی مونت‌موریلونیت SLB و نانو مونت‌موریلونیت کلوزایت  $\text{Na}^+$ .

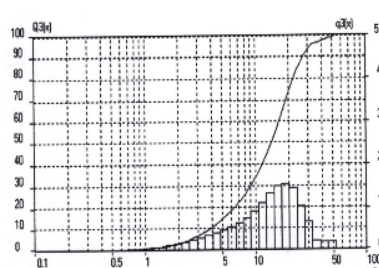
جدول ۲ تعیین انباشت گستره‌ی قطر ذرات نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از روش PSA.

قطر ذرات					
	$\leq 1.0\%$	$\leq 3.0\%$	$\leq 5.0\%$	$\leq 7.0\%$	$\leq 9.0\%$
Bentonite	4.03 $\mu\text{m}$	12.69 $\mu\text{m}$	24.97 $\mu\text{m}$	37.52 $\mu\text{m}$	54.83 $\mu\text{m}$
Cloisite® $\text{Na}^+$	3.78 $\mu\text{m}$	9.04 $\mu\text{m}$	13.90 $\mu\text{m}$	19.00 $\mu\text{m}$	27.04 $\mu\text{m}$
SLB	1.61 $\mu\text{m}$	3.47 $\mu\text{m}$	6.13 $\mu\text{m}$	10.46 $\mu\text{m}$	19.01 $\mu\text{m}$



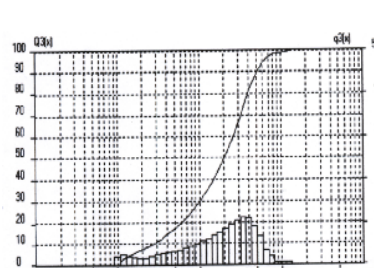
شکل (۵-پ). تعیین گستره‌ی قطر

ذرات نمونه نانو رس آزمایشگاهی SLB



شکل (۵-ب). تعیین گستره‌ی قطر

ذرات نمونه‌ی نانورس صنعتی کلوزایت  $\text{Na}^+$



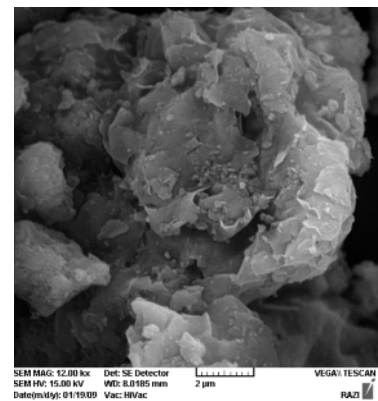
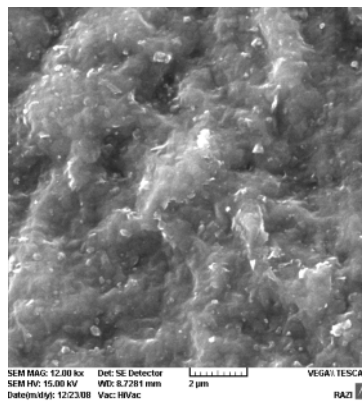
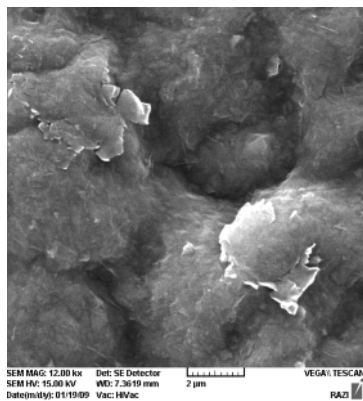
شکل (۵-الف). تعیین گستره‌ی قطر

ذرات نمونه بنتونیت

دیده می‌شود. عدم حضور دو کانی کوارتز و کربنات تأیید کننده‌ی نتایج پراش پرتو ایکس و رسیدن به خلوص حدود ۱۰۰٪ در نمونه مونت‌موریلونیت استخراج شده از بنتونیت است. همچنین بر اساس شکل (۸) در نمونه‌ی نانورس صنعتی کلوزایت  $\text{Na}^+$  ساختار لایه‌ای مشاهده می‌شود. از نکات قابل توجه که در تصاویر SEM به خوبی دیده می‌شود، خلوص چشمگیر و همگنی مناسب‌تر نمونه‌ی SLB نسبت به نانورس صنعتی کلوزایت  $\text{Na}^+$  است، که در آزمایش XRD و PSA نیز دیده می‌شود.

از سوی دیگر به‌منظور بررسی روند تغییرات نمونه‌ها طی فرایند جداسازی، در هر مرحله تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) از نمونه‌ها تهیه شد. چنانکه بر اساس ریخت-شناسی نمونه رسی بنتونیت در شکل (۶) دیده می‌شود، نمونه‌ی رسی بنتونیت دارای ساختار لایه‌ای است، و ناهمگنی این نمونه، ناشی از وجود کربنات و کوارتز در این نمونه است. از طرف دیگر در نمونه‌ی بنتونیت ذرات کوارتز نیز قابل مشاهده است. از سوی دیگر در نمونه‌ی نانورس SLB (شکل (۷)) با افزایش خلوص، ساختار کانی مونت‌موریلونیت به‌صورت متراکم





شکل ۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نمونه‌ی رسی بنتونیت با بزرگنمایی ۱۲۰۰۰ برابر  
 شکل ۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نمونه رسی (SLB) با بزرگنمایی ۱۲۰۰۰ برابر  
 شکل ۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نمونه نانورس کلوزایت  $\text{Na}^+$  با بزرگنمایی ۱۲۰۰۰ برابر

## برداشت

نتایج به دست آمده در این پژوهش را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

(الف) در نمونه‌ی رسی بنتونیت، با استفاده از فرایند جداسازی مکانیکی، دستیابی به نانوذرات مونت موریلونیت انجام شد.

(ب) با توجه به نتایج بررسی‌های ریزساختاری SEM، XRD و PSA، نمونه‌ی نانو مونت موریلونیت SLB نسبت به نمونه‌ی نانو مونت موریلونیت صنعتی کلوزایت  $\text{Na}^+$  دارای خلوص بیشتر و میانگین قطر ذرات کوچکتری است.

(ج) نانورس SLB فاقد کربنات و کوارتز است و سطح ویژه‌ی آن در حدود ۲۵٪ نسبت به بنتونیت افزایش یافته‌است.

(د) بواسطه‌ی افزایش ۲۵٪ سطح ویژه در نانورس SLB نسبت به نمونه‌ی بنتونیت، در فرایند عبور آلودگی در خاک، احتمال رخداد بیشتری برای برهمکنش آلودگی و خاک وجود دارد. از این منظر به نظر می‌رسد نمونه‌های نانو مونت موریلونیت قابلیت بیشتری در جذب آلودگی داشته باشند.

روش پیشنهادی استخراج نانو مونت موریلونیت از بنتونیت به واسطه‌ی کم هزینه بودن و نیز به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیائی در مراحل خالص‌سازی، روشی مناسب تلقی می‌شود. خصوصاً آنکه عدم استفاده از مواد شیمیائی در فرایند جداسازی امکان استفاده از این نانو رس را در بخش‌های مختلف صنعت فراهم می‌کند.

## مراجع

- [1] Lines M. G., "Nanomaterials for practical functional uses", Journal of Alloys and Compounds 449, (2008) pp 242–245.
- [2] Bhushan B., "Springer Handbook of Nanotechnology", Springer, (2004) pp: 1222.
- [3] Wilson M., Kannangara K., Smith G., Simmons M., "Nanotechnology Basic Science and Emerging Technologies," First published in Australia by University of New South Wales Press Ltd; (2002) pp.263.
- [4] Chen Y., Fitzgerald J., Chadderton LT., Chaffron L., Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials 2–6 (1999) 375–80.
- [5] Guozhong C., Glen E.F., "Environmental Applications of Nanomaterials Synthesis, Sorbents and Sensors", Imperial College Press (2007) pp.507.
- [6] Yuan G., "Natural and Modified Nanomaterials as Sorbents of Environmental Contaminants", Journal of Environmental Science and Health, Part A, Volume 39, Issue 10 (2005) pp: 2661 – 267
- [7] Ouhadi V.R., Yong R.N., "Experimental and theoretical evaluation of impact of clay microstructure on the quantitative mineral evaluation by XRD analysis," Elsevier Appl. Clay Sci. J. 23. (2003) pp 141-148.
- [8] Ouhadi V.R., "Study of transformation of clay minerals in the interaction process with additives

- [12] Hesse P.R., "A textbook of soil chemical analysis", William Clowes and Sons, (1971) 519p.
- [13] Eltantawy, Arnold I.N., Eltantawy and Arnold, P.W., "Reappraisal of ethylene glycol mono-ethyl ether (EGME) method for surface area estimation of clays", Soil Sci. 24, (1973) pp. 232–238.
- [14] Handershot W. H., Duquette M., "A simple barium chloride method for determining cation exchange capacity and exchangeable cations", Soil Sci. Soc. Am. J. 50, (1986) pp. 605–608.
- [15] Ouhadi V.R., Amiri M., "Geo-environmental Behaviour of Nanoclays in Interaction with Heavy Metals Contaminant", Amirkabir J, Civil, 42, 3, (2011) pp 29-36.
- by use of scanning electron microscope and XRD and its relation to mechanical behaviour", Iran. J. Crystallogr. Mineral.10 (1), (2002) 87–97.
- [9] American Society for Testing and Materials, (1992). ASTM, 1992 American Society for Testing and Materials, ASTM, Annual Book of ASTM Standards, P.A., Philadelphia V.4, 08.
- [10] Ouhadi V.R., Yong R.N., Sedighi M., "Influence of heavy metal contaminants at variable pH regimes on rheological behaviour of bentonite," Elsevier Appl. Clay Sci. J. 23. (2006) pp 217-231.
- [11] EPA "Process design manual, land application of municipal sludge, Municipal Environmental Research Laboratory," EPA-625/1-83-016, U.S. Government Printing Offices, New York.(1983).