

## بررسی کانی‌شناختی و ترکیب شیمیایی بنتونیت، در جهت

### فعال‌سازی آن به روش شیمیایی

فرهاد محمدتراب، امیرحسین کوهساری

دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه یزد

پست الکترونیکی: [fintorab@yazduni.ac.ir](mailto:fintorab@yazduni.ac.ir)

(دریافت مقاله ۱۳۸۱/۵/۵ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۱/۹/۲۷)

**چکیده:** مونت‌موریلونیت اصلی‌ترین کانی تشکیل دهنده بنتونیت است که به خاطر سرشت تورم‌پذیری و تعلیق‌پذیری بالا، این ماده دارای خاصیت کلوئیدی است، به گونه‌ای که با جذب آب حجم آن چندین برابر افزایش یافته و متورم می‌شود. لذا مهمترین مصرف آن در تهیه گل حفاری است. از طرف دیگر در اثر فرایندهای فعال‌سازی، یعنی با گرم کردن و شستشوی آن با اسید، سطح مخصوص و قدرت اسیدی این ماده بالا می‌رود و قابلیت جذب رنگدانه‌ها در آن به شدت افزایش می‌یابد. لذا از آن به منظور تصفیه روغن‌های خوراکی و صنعتی به وفور استفاده می‌شود.

در این پژوهش نشان خواهیم داد که علاوه بر نقش ترکیب کانی‌شناختی نمونه بنتونیت، غلظت برخی از اکسیدهای اصلی در ترکیب کانی مونت‌موریلونیت نیز تأثیر مستقیمی در فرایند فعال‌سازی دارد که می‌توان به غلظت  $MgO$  و  $O_2Al_3$  اشاره کرد. در این خصوص نقش دما، غلظت اسید، و زمان فعال‌سازی نیز در این فرایند اهمیت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** بنتونیت، مونت‌موریلونیت، فعال‌سازی، رنگ‌زدایی، تورم‌پذیری.



## Mineralogical studies of bentonite, Implications for activation using chemical methods

F. Mohammad Torab, A.H. Kohsari

Department of Mining Engineering, Yazd University

E-mail: [fmatorab@yazduni.ac.ir](mailto:fmatorab@yazduni.ac.ir)

(received: 27/7/2002, received in revised form: 18/12/2002)

**Abstract:** Montmorillonite is the main bentonite forming mineral which has special characteristics such as suspension, swelling and colloidal properties. It can absorb water to become larger in volume.

Good absorbents are extensively used in industry either simply dried or after chemical activation. The chief consumer of these clays is the oil refining industry which uses them to purify fractionation products of suspended matter and as drilling muds.

This study on bentonite shows that mineralogical composition and concentration of  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  in montmorillonite are the most important characteristics for chemical activation of bentonite.

In addition to above factors, the temperature, acid concentration and time are also considered for activation.

**Keywords:** *Bentonite, Montmorillonite, Activation, Bleaching, Swelling.*

## مقدمه

بنتونیت یک ماده طبیعی است که از تجمع چند کانی رسی و تعدادی کانی غیررسی تشکیل می‌شود و از قدرت شکل‌پذیری و تعلیق‌پذیری بالایی برخوردار است. مهمترین کانی تشکیل دهنده آن کانی مونت‌موریلونیت است.

بنتونیت دارای خاصیت تورم‌پذیری بالایی است و آب را بخوبی در شبکه خود جذب می‌کند و گاه تا هشت برابر حجم اولیه قابلیت تورم دارد. در این حالت چسبناک و ژلاتینی می‌شود و غالباً چرب است. رنگ بنتونیت اغلب سفید مایل به خاکستری و گاهی شیری یا مغز پسته‌ای است که با از دست دادن رطوبت کم رنگ‌تر می‌شود.

به طور کلی بنتونیت در اثر تخریب و تجزیه و یا دگرسانی توفهای آذر آواری و خاکسترهای آتشفشانی نوع اسیدی با شرایط مکانی مناسب تشکیل می‌شود [۱]. بنتونیت فعال شده به دلیل دارا بودن سطح مخصوص و قدرت اسیدی سطحی بالا، به عنوان خاک رنگبر در صنایع روغن نباتی و تصفیه روغن‌های صنعتی کاربرد فراوانی دارد و مهمترین کاربرد آن در صنعت است. بررسی کانی‌شناختی و ترکیب شیمیایی بنتونیت و ارتباط آن با فرایند فعال‌سازی به منظور مصرف آن در صنعت، موضوع اصلی این مقاله است که در زیر به آن می‌پردازیم.

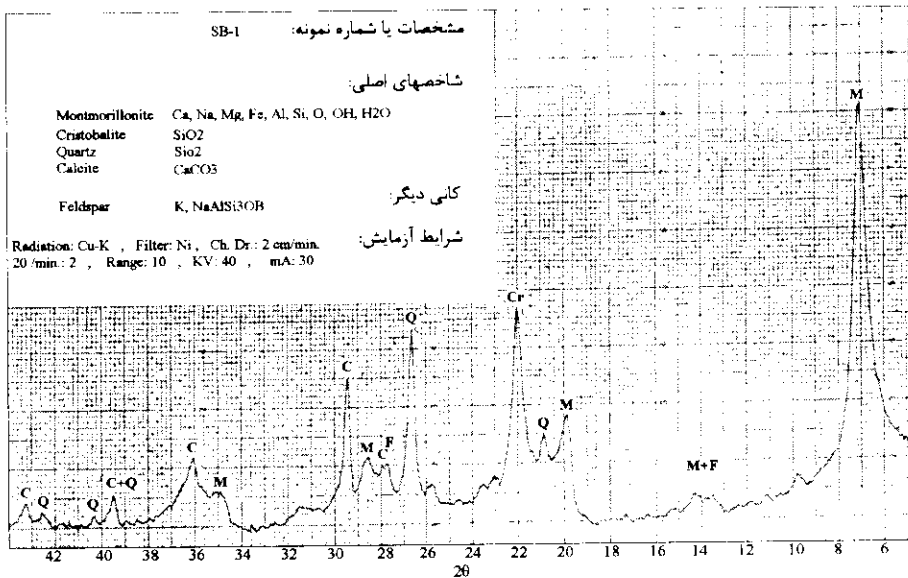
کانی‌شناختی و ترکیب شیمیایی بنتونیت را مجموعه‌ای از کانیه‌ها تشکیل می‌دهد که مهمترین کانی موجود در آن مونت‌موریلونیت است و کانیه‌های فرعی دیگری مثل کوارتز، کلسیت، کریستوبالیت و فلدسپات نیز آن را همراهی می‌کنند. به منظور مطالعه کانی‌شناختی و ترکیب شیمیایی دقیق بنتونیت، تعداد ۷ نمونه از ذخایر مختلف بنتونیت موجود در استان یزد و اطراف آن برداشت شدند که در جدول ۱ محل برداشت نمونه‌ها مشخص شده است. در نمونه برداری‌های انجام شده سعی شد تا نمونه‌ها با حجم زیاد تهیه شوند که معرف کل کانسار باشند، و سپس با انجام آزمایش‌های مختلف XRD و XRF ترکیب کانی‌شناختی و شیمیایی این نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱ نمونه‌های برداشت شده از معادن و ذخایر مختلف موجود در استان یزد و اطراف.

شماره نمونه	نام ذخیره یا معدن	محل نمونه برداری
SB-1	معدن بنتونیت مهرجان (استان اصفهان)	افق پایین معدن
SB-2	معدن بنتونیت مهرجان (استان اصفهان)	افق بالای معدن
SB-3	بنتونیت ساغند (جاده یزد-طبس)	ترانشه اکتشافی
SB-4	معدن بنتونیت زرین اردکان	سینه کار شمال معدن
SB-5	معدن بنتونیت زرین اردکان	سینه کار جنوبی معدن
SB-6	بنتونیت رباط پشت بادام (جاده یزد-طبس)	چاهک اکتشافی
SB-7	بنتونیت رباط پشت بادام (جاده یزد-طبس)	ترانشه اکتشافی

**الف - بررسی های کانی‌شناختی به روش XRD**

برای تجزیه کیفی نمونه‌ها و شناسایی کانیهای اصلی و فرعی موجود در آنها، تعداد ۷ نمونه یاد شده تحت بررسی پراش پرتو ایکس (XRD) قرار گرفتند. در شکل ۱ نمونه‌ای از نمودار پراش پرتو ایکس نمونه SB-1 را نشان می‌دهد. در جدول ۲ خلاصه بررسیهای کانی‌شناختی برای تعداد ۷ نمونه یاد شده آورده شده‌اند. در این جدول کانیهای موجود در هر نمونه به ترتیب فراوانی براساس شدت قله مربوطه دیده می‌شوند. [۲]



شکل ۱ نمونه‌ای از نمودار پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه SB-1 (M: مونت موریلونیت، Q: کوارتز، Cr: کریستوبالیت، C: کلسیت، F: فلدسپات).

جدول ۲ کانی‌های موجود در نمونه‌های بنتونیت به ترتیب فراوانی (کانی‌های اصلی/کانی‌های فرعی).

شماره نمونه	کانی‌های موجود در نمونه (کانی‌های اصلی/کانی‌های فرعی)
SB-1	مونت موریلونیت، کریستوبالیت، کلسیت/فلدسپات
SB-2	مونت موریلونیت، کوارتز/کریستوبالیت، کلسیت، فلدسپات، هالیت
SB-3	کوارتز، مونت موریلونیت، هالیت/کریستوبالیت، کلسیت، فلدسپات، زئیس
SB-4	کوارتز، مونت موریلونیت، فلدسپات/ایلیت، هماتیت، کلسیت، هالیت
SB-5	کوارتز، مونت موریلونیت/کلسیت، ایلیت، کریستوبالیت، فلدسپات
SB-6	مونت موریلونیت/فلدسپات، کوارتز، کریستوبالیت
SB-7	مونت موریلونیت، کلسیت، کوارتز، کریستوبالیت/فلدسپات، ایلیت

ب - بررسی ترکیب شیمیایی و تعیین اکسیدهای سازای نمونه به منظور تجزیه کمی نمونه‌ها و تعیین درصد اکسیدهای اصلی سازای نمونه از روش فلورسانسی پرتو ایکس (XRF) استفاده شد. در جدول ۳ درصد اکسیدهای اصلی موجود در هر یک از نمونه‌ها به تفکیک درج شده‌اند. [۲]

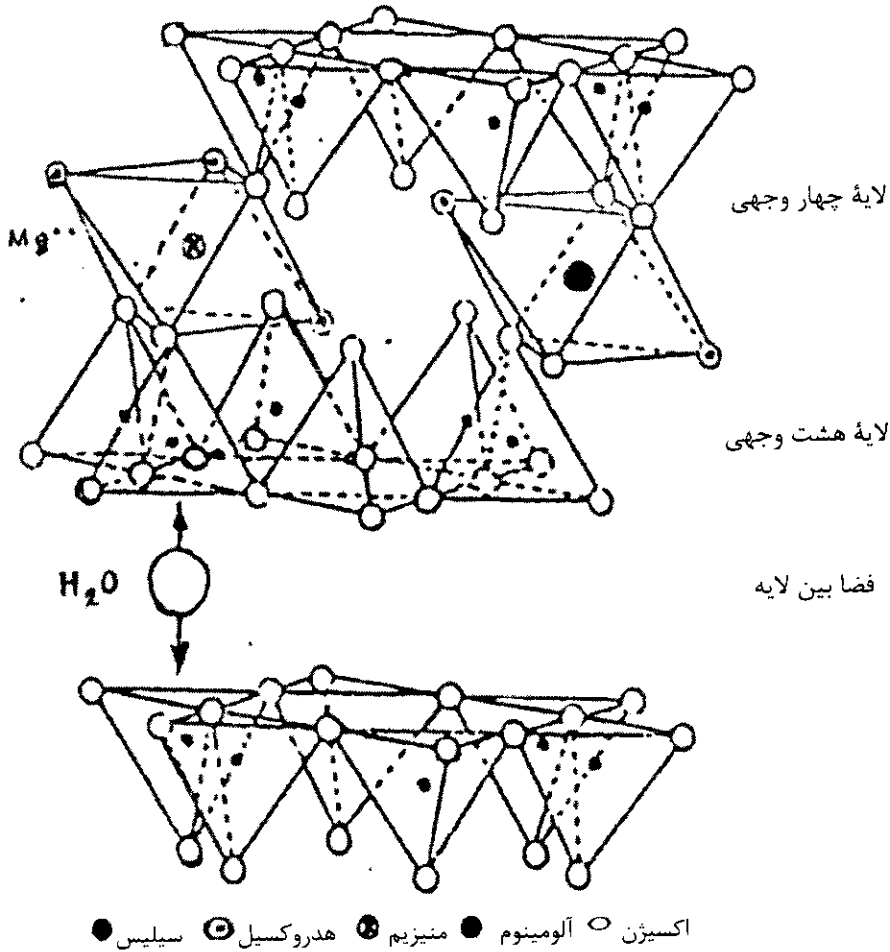
جدول ۳ درصد اکسیدهای موجود در نمونه‌های بنتونیت.

Total	L.O.I	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	شماره نمونه
۹۸,۸۰	۱۳,۴۹	۰,۷۸	۱,۹۶	۲,۰۷	۴,۴۳	۱,۱۷	۱۳,۲	۶۱,۷	SB-1
۹۸,۶۱	۱۲,۲۷	۰,۴۵	۲,۶۷	۲,۷۸	۱,۵۹	۱,۷۵	۱۵,۱	۶۲,۰	SB-2
۹۵,۷۱	۱۴,۷۱	۰,۵۸	۳,۸۸	۲,۵۳	۲,۱۴	۱,۴۷	۱۳,۲	۵۷,۲	SB-3
۹۷,۶۲	۸,۲۳	۴,۷۰	۲,۲۲	۲,۴۴	۲,۲۳	۴,۱۰	۱۷,۷	۵۶,۰	SB-4
۹۷,۵۲	۱۲,۹۲	۱,۶۶	۲,۷۵	۳,۰۲	۳,۵۵	۳,۵۲	۱۴,۴	۵۵,۷	SB-5
۹۸,۸۷	۱۵,۴۵	۰,۲۳	۳,۵۶	۴,۸	۰,۳۵	۲,۹۸	۱۷,۵	۵۴,۰	SB-6
۹۸,۳۰	۱۷,۴۸	۰,۴۵	۲,۳۴	۴,۶	۸,۸	۱,۵۳	۱۲,۲	۵۰,۹	SB-7

ساختار و شبکه بلوری مونت‌موریلونیت: واحد ساختاری مونت‌موریلونیت یک لایه هشت‌وجهی آلومینیومی است که در میان دو لایه چهار وجهی سیلیسی ساندویچ شده است. در سیلیس چهار وجهی، یون  $Si^{4+}$  در وسط و چهار یون اکسیژن در چهار رأس هرم قرار دارند. قاعده چهاروجهی به سمت بیرون لایه قرار دارد و رأس آن به سمت مرکز آلومینیوم هشت وجهی است. در هشت وجهی، یون آلومینیوم در وسط و چهار یون اکسیژن و دو یون هیدروکسیل در شش رأس هشت وجهی قرار دارند. هر چهار وجهی با یک یون اکسیژن مشترک به چهار وجهی کنارخود متصل شده است. همچنین هر چهار وجهی با یک یون اکسیژن به واحدهای هشت وجهی متصل می‌شود (شکل ۲). ضخامت تقریبی لایه چهار وجهی  $4/6$  آنگستروم و لایه هشت وجهی  $5/5$  آنگستروم است. مونت‌موریلونیت در سیستم تک میل متبلور می‌شود و فرمول ساده آن به صورت  $O_8Si_4Al_{20}(OH)_4$  است. اما چون همیشه مقداری آب جذب شده دارد، فرمول شیمیایی دقیق تر آن  $O_2,nH_4(OH)_{20}O_8Si_4Al$  است [۳].

علاوه بر این با توجه به خاصیت تبادل یونی مونت‌موریلونیت، یونهای  $Mg^{2+}$  و  $Fe^{2+}$  قادر به جانشین شدن به جای  $Al^{3+}$  هستند، بنابراین فرمول شیمیایی آن به سادگی فرمول بالا نیست، لذا فرمولهای مختلفی از مونت‌موریلونیت ارائه می‌شوند. به دلیل جانشینی‌های مذکور، بارالکتریکی منفی در شبکه پدید می‌آید که برای خنثی شدن این بارالکتریکی، واحد بار الکتریکی مثبت به صورت یک کاتیون قلیایی و یا قلیایی خاکی (سدیم، پتاسیم، کلسیم،

منیزیم و...) آبدار می‌تواند خود را در فضای بین لایه‌ها جایگزین کند و در حقیقت پیوند میان لایه‌های سه واحدی مونت موریلونیت به وسیله همین کاتیونها برقرار می‌شود [۴].



شکل ۲: نمایش سه بعدی شبکه مونت موریلونیت [۳]

نقش آب در ساختار بنتونیت: آب در ساختار بنتونیت به دو صورت مختلف وجود دارد:

الف- آب مولکولی که در بین لایه‌ها تمرکز یافته و به راحتی قابل جدا شدن است و در دمای ۱۰۰-۱۵۰ °C تبخیر می‌شود. این نوع آب در شکل پذیری، تعلیق پذیری، چسبندگی و تورم پذیری بنتونیت نقش اساسی دارد.

ب- آب یونیده به صورت H<sup>+</sup> و OH<sup>-</sup> که ظرفیتهای مثبت و منفی را کامل می‌کند و پیوند دهنده سطوح بالا و پایین شبکه مونت موریلونیت است. لذا بعد C<sub>0</sub> ساختاری مونت موریلونیت با توجه به تعداد ملکولهای آب جذب شده متغیر است، به گونه‌ای که در حالت

عادی  $C_0 = 15,2 \text{ \AA}$  است در حالی که در  $400^\circ\text{C}$  کلیه آب جذب شده میان بلوری از دست می‌رود و میزان  $C_0$  به  $9,6 \text{ \AA}$  کاهش می‌یابد [۵].

خاصیت تورم پذیری بنتونیت: با توجه به نوع کاتیون موجود در فضای میان لایه‌ای، خواص فیزیکی و شیمیایی بنتونیت تغییر می‌کند و براین اساس به صورت زیر تقسیم بندی می‌شود: الف- بنتونیت با ظرفیت تورم پذیری زیاد: این بنتونیت که کاتیون میان لایه‌ای آن اغلب سدیم و گاهی پتاسیم است قابلیت جذب آب زیادی را دارد و در آب به صورت ژل در آمده و حجیم می‌شود و به مدت نامحدود معلق می‌ماند. پالپ کلونیدی بنتونیت سدیم‌دار به عنوان گل حفاری به دلیل خاصیت تورم پذیری و ژله‌ای بالا در حفر چاههای عمیق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ب- بنتونیت با ظرفیت تورم پذیری کم: این بنتونیت که کاتیون میان لایه‌ای آن کلسیم است، تورم پذیری کمی دارد و معمولاً به صورت فعال شده به عنوان خاک رنگبر استفاده می‌شود. به علاوه بنتونیت‌هایی که یون تعویض پذیر آنها منیزیم است نیز دارای خاصیت تورم‌پذیری کمی هستند [۵].

تعیین نسبت تورم پذیری نمونه‌ها: برای تعیین نسبت تورم پذیری، ۷ نمونه بنتونیت موجود به طریق زیر عمل شدند. مقدار ۳ گرم از نمونه خاک را به همراه ۱۰۰ cc آب در یک بشر ریخته و با همزن به خوبی هم‌زدیم تا مخلوط یکنواخت تهیه شود. سپس مخلوط حاصل را در یک استوانه مدرج به حجم ۱۰۰ cc ریخته و آن را برای مدتی راکد گذاشتیم تا در طول زمان معین ته‌نشین شود. ارتفاع ته‌نشست پس از طی زمان لازم به عنوان نسبت تورم‌پذیری گزارش می‌شود که یک کمیت نسبی است (جدول ۴) [۲].

جدول ۴ نتایج آزمایش تورم پذیری نمونه های بنتونیت.

شماره نمونه	نسبت تورم‌پذیری (cc)
SB-1	۹۰
SB-2	۹۵
SB-3	۱۵
SB-4	۵۰
SB-5	۴۵
SB-6	۳۵
SB-7	۴۰

چنانکه در جدول بالا دیده می‌شود، تورم پذیری نمونه‌های مورد مطالعه کاملاً متفاوت است که این مسئله به ترکیب کانی‌شناختی بنتونیت‌های موجود و نوع کانی‌رسی (مونت‌موریلونیت) موجود در آنها (سدیم‌دار یا کلسیم‌دار) ارتباط دارد. دو نمونه اول دارای نسبت تورم‌پذیری بالایی هستند، لذا بهترین کاربرد آنها در تهیه ترکیب کلوئیدی گل حفاری است. ولی این دو نمونه در فرایند فعال‌سازی پاسخ مناسبی نداده‌اند، و نیز به دلیل ایجاد تورم پذیری بالا در مرحله پالایش نیز ایجاد اشکال کرده اند [۲].

**فعال‌سازی بنتونیت:** فرایندهای شیمیایی و فیزیکی روی بنتونیت به منظور افزایش سطح مخصوص و قدرت اسیدی سطح را که موجب افزایش قدرت رنگبری و کاتالیزستی آن می‌شود اصطلاحاً فعال‌سازی می‌گویند. این فرایندها شامل گرمادهی و فروشست یا شستشوی اسیدی است [۶].

**الف - تأثیر گرما بر شبکه بلوری مونت‌موریلونیت:** چنانکه اشاره شد، فضای بین لایه‌های سه واحدی مونت‌موریلونیت با کاتیونهای آبدار اشغال شده است. از طرف دیگر وجود بعضی از یونهای آلی نیز در این فضاها تأیید شده است [۶]. این کانی تحت تأثیر گرما تا دمای  $400^{\circ}\text{C}$  کلیه ملکولهای آب هیدراته خود را از دست می‌دهد و علاوه بر این یونهای آلی موجود نیز از فضای بین لایه‌ها خارج می‌شوند که در نتیجه این فرایند، بنتونیت قابلیت جذب رنگدانه‌ها را پیدا می‌کند. لازم به یادآوری است که سطح فعال مونت‌موریلونیت با گرمادهی تا دمای  $400^{\circ}\text{C}$  افزایش می‌یابد و هر قدر دما از این مقدار بالاتر رود، شبکه بلوری مذکور استحکام خود را از دست می‌دهد، به طوری که در دماهای بالاتر از  $600^{\circ}\text{C}$  شبکه بلوری دچار درهم ریختگی شده و لایه‌های سه واحدی مونت‌موریلونیت از بین می‌روند. این عمل باعث از بین رفتن سطوح و فضای بین لایه‌ها شده و عملاً سطح فعال رس را به شدت کاهش می‌دهد [۶].

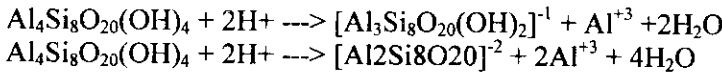
**ب- تأثیر اسیدهای معدنی بر شبکه بلوری مونت‌موریلونیت:** قرار گرفتن بنتونیت در محیط حاوی  $\text{H}^+$  موجب می‌شود که این یون با کاتیونهای سدیم، پتاسیم، و کلسیم که در فضای بین لایه‌های شبکه مونت‌موریلونیت قرار دارند، جانشین شود. علاوه بر این، بخشی از کاتیونهای آلومینیوم یا منیزیم نیز از درون ساختار شبکه خارج می‌شوند. در این صورت شبکه‌ای تشکیل می‌شود که از یک طرف دارای خلل و فرج بی‌شمار بوده و از طرف دیگر روی آن بار مثبت توزیع شده است. به عبارت دیگر سطح مخصوص و قدرت اسیدی سطح شبکه افزایش یافته است.

در حین خارج شدن  $\text{Al}^{3+}$  از درون شبکه بلوری، واحدهای هشت‌وجهی آلومینیم به واحدهای چهاروجهی تبدیل می‌شوند. این تبدیل بار شبکه را منفی می‌سازد که به منظور ایجاد تعادل بار الکتریکی، یونهای هیدروژن اسیدی در سطح شبکه بلوری جذب می‌شوند. فعال شدن

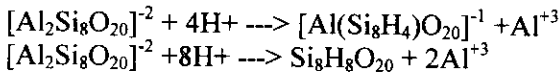


تا زمانی ادامه می‌یابد که تقریباً نصف اتمهای آلومینیوم موجود خارج شود و از آن به بعد ادامه فروشست روی واحدهای چهار وجهی باعث فروریختگی ساختار شبکه بلوری شده و در آن صورت قدرت رنگبری کاهش می‌یابد. به همین دلیل است که برای فعال‌سازی به منظور رنگبری باید شرایط بهینه تعیین شود.

معادلات زیر تغییراتی را که در حین استخراج با اسید در مونت موریلونیت به شکل ایده‌آل صورت گرفته، نشان می‌دهد [۶].



رابطه دوم نشانگر آن است که نیمی از آلومینیوم ساختار مونت موریلونیت استخراج شده است و این بیشترین فعال‌سازی است. با ادامه استخراج با اسید، بقیه آلومینیومهای شبکه نیز خارج می‌شوند. در صورتی که تمام اتمهای آلومینیوم خارج شوند، محصول نهایی دی سیلیسیک اسید است که بازدهی رنگزدایی آن بسیار ناچیز است [۶].



آزمایش فعال‌سازی بر روی نمونه‌های بنتونیت: عمل فعال‌سازی شامل مراحل است که به ترتیب روی ۷ نمونه موجود انجام شد. این مراحل شامل فعالیتهای زیر است [۲]:  
 خردایش نمونه‌ها - تهیه پالپ - فعال‌سازی با اسید و گرما - شستشو - پالایش - خشک‌کردن - خردایش دوباره - آزمایش رنگبری.

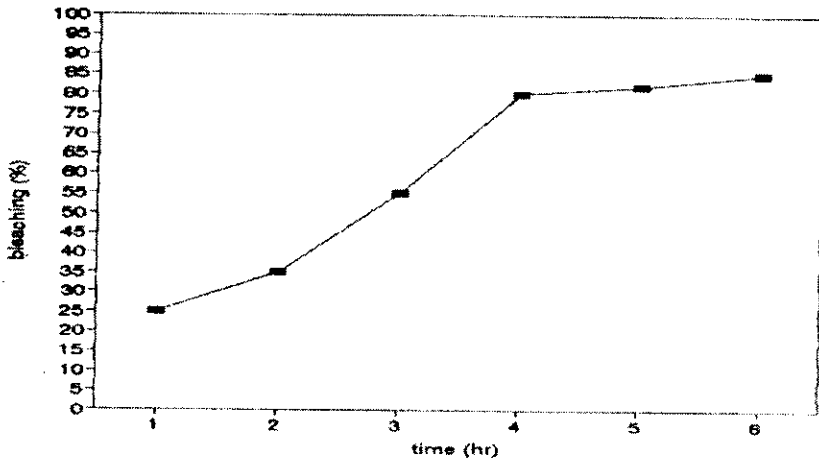
نخست در یک بشر با نسبت آب به خاک مشخص با افزودن مقداری خاک بنتونیت به آب آن را به مدت یک ساعت به هم زدیم تا پالپ یکنواختی تهیه شود. سپس عمل اصلی فعال‌سازی تحت غلظت اسید سولفوریک مشخص، دما و زمان معین انجام گرفت. بدین ترتیب که بشر را درون حمام آب گرم قرار داده و به مقدار مشخصی اسیدسولفوریک غلیظ به آن اضافه کردیم و در طول زمانهای مختلف به هم زدیم تا فعال‌سازی صورت گیرد. سپس در زمانهای مختلف از پالپ مذکور نمونه گیری شد و آزمایش رنگبری روی آن صورت گرفت. بدین منظور نمونه‌های برداشت شده در زمانهای مختلف و جدا از هم را کد گذاشته شدند تا بنتونیت آنها ته نشین شود. سپس آب اسیدی روی آن تخلیه شد و پالپ ته‌نشین شده را با فیلترپرس آزمایشگاهی، پالاش کردیم. در این صورت لایه‌ای کیک مانند روی کاغذ صافی تشکیل شد. کیک به دست آمده در خشک‌کن در دمای ۱۱۰°C خشک و آنگاه محصول بنتونیت فعال شده دوباره پودر شده و مورد آزمایش رنگبری قرار گرفت. [۲]

## آزمایش رنگبری نمونه‌ها

به منظور بررسی میزان رنگبری نمونه‌های بنتونیت موجود، پیش و پس از فعال‌سازی به صورت زیر عمل شد. در این دستورالعمل از ۱ درصد خاک رنگبراستفاده شده است [۲]. مقدار ۴۹/۵ گرم روغن سویا را گرما دادیم و در دمای ثابت ۹۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار ۰/۵ گرم خاک رنگبر (بنتونیت) به آن اضافه کرده و به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط خاک و روغن به هم زده شد. سپس با استفاده از کاغذ صافی محصول پالایش یافته در یک لوله آزمایش قرار گرفت. روغن مورد آزمایش روغن پیش از عملیات رنگبری در کارخانه بوده است. به جای روغن سویا می‌توان آزمایش رنگبری را بر روی اسید فسفریک رنگبری نشده نیز انجام داد [۲]. برای محاسبه میزان رنگبری بنتونیت و تأثیر آن بر روغن از دستگاه بیناب- نورسنج استفاده کردیم و میزان رنگبری نمونه‌ها با نمونه‌های استاندارد رنگبری شده مقایسه شد. شکل ۳، نمونه‌ای از نمودار آزمایش رنگبری روی نمونه SB-6، و جدول ۵ بیشترین درصد رنگبری هریک از نمونه‌ها را پیش و پس از فعال‌سازی نشان می‌دهد.

جدول ۵ نتیجه آزمایش رنگبری نمونه‌های بنتونیت پیش و پس از فعال‌سازی.

حداکثر درصد رنگبری		شماره نمونه
پس از فعال‌سازی	پیش از فعال‌سازی	
٪۳۵	٪۰	SB-1
٪۴۰	<٪۵	SB-2
٪۶۰	<٪۵	SB-3
٪۳۰	٪۰	SB-4
٪۸۰	<٪۵	SB-5
٪۸۵	٪۵	SB-6
٪۴۵	<٪۵	SB-7



شکل ۳ نمونه‌ای از نمودار تغییرات رنگبری (نمونه SB-6) در زمانهای مختلف فعال‌سازی.

#### بحث و برداشت

کانی مونت‌موریلونیت اصلی ترین کانی تشکیل دهنده بنتونیت است که باعث ایجاد خاصیت تورم‌پذیری، تعلیق‌پذیری و حالت کلوئیدی در آن می‌شود. اغلب خاکهای بنتونیتی بطور طبیعی فعال نیستند و با انجام یک فرایند شیمیایی، فعالیت آنها به طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

در پژوهش انجام شده، نمونه شماره ۶ (SB-6) پس از فرایند فعال‌سازی به خوبی فعال شده و بیشترین خاصیت رنگزدایی را پیدا کرده است. با توجه به ترکیب کانی‌شناختی این نمونه، کانی مونت‌موریلونیت اصلی‌ترین کانی تشکیل دهنده نمونه است، و سهم کانیهای دیگر در ترکیب آن بسیار ناچیز است. لذا این نمونه از خلوص بالایی برخوردار است. همچنین با توجه به ترکیب شیمیایی آن، درصد MgO در این نمونه از سایر نمونه‌ها بالاتر است و این خود می‌تواند راهنمای خوبی در این زمینه باشد، زیرا عنصر منیزیم تنها عنصری است که در ارتباط مستقیم با ترکیب مونت‌موریلونیت بوده و در هیچ یک از کانیهای دیگر موجود در نمونه یافت نشده است. از طرف دیگر بالا بودن درصد  $Al_2O_3$  در این نمونه نیز می‌تواند به عنوان راهنمای مفیدی مورد استفاده قرار گیرد.

در مورد نمونه‌هایی که درصد کلسیت در آنها بالاست، فرایند فعال‌سازی با مشکل مواجه بوده است زیرا بخش اعظمی از اسید مصرفی، صرف ترکیب با کلسیت و تولید گاز  $CO_2$  می‌شود، لذا علاوه بر مصرف بسیار زیاد اسید، فرایند فعال‌سازی را نیز مختل می‌کند.

نمونه‌هایی که از درصد تورم‌پذیری بالایی برخوردارند (نمونه‌های SB-1 و SB-2) در فرایند پالایش به منظور فعال‌سازی، ایجاد مشکل کرد، لذا برای فعال‌سازی مناسب نیستند. ولی به دلیل تورم‌پذیری بالا و ایجاد خاصیت ژله‌ای و کلوئیدی شدید، از مناسب‌ترین نمونه‌ها جهت مصرف در گل حفاری محسوب می‌شوند.

در مورد اغلب نمونه‌ها شرایط بهینه فعال‌سازی دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و مدت زمان ۴ ساعت به دست آمدند. شاید بتوان با افزایش غلظت اسید و دما، زمان فعال‌سازی را کاهش داد. به هر حال شرایط بهینه تابع ترکیب شیمیایی و کانی‌شناختی نمونه‌ها است که از نمونه‌ای به نمونه‌ای دیگر تغییر می‌کند.

### مراجع

- [۱] کریم پور، محمدحسین، کانیها و سنگهای صنعتی، انتشارات جاوید (۱۳۶۸).
- [۲] کوهساری، امیرحسین، محمدتراب، فرهاد، بررسی روش تولید بنتونیت فعال از بنتونیت‌های معدن/استان یزد، طرح پژوهشی دانشکده مهندسی معدن دانشگاه یزد (۱۳۷۸).
- [3] Brindly G.W., *Crystal Structures of clay Minerals and their X-ray identification*, Mineralogical Society Monograph, No. 5, London (1980).
- [۴] حجازی، مجتبی، قربانی، منصور، مجموعه زمین شناسی ایران (بنتونیت، زئولیت)، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۳).
- [5] Mills G.A., Holmes J., Cornelivus E.B., *Acid Activation of some Bentonite Clays*, Thehoudry laboratory Pennsylvania (1946).
- [6] Frenkl M., *Surface Acidity of Montmorilonite*, Clay and Clays Minerals, **22** (1974) 435-441.