



## Study on the structural changes occurred during the acid activation of Gharenaz bentonite as bleaching earth

M. Ghobadi, A. A. Yuzbashi, M. M. Kashani Motlagh

1-Energy Research Center & Materia, Tehran

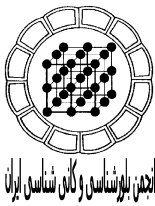
2- Chemistry Department, Iran University of Science & Technology

ghobadimitra@yahoo.com Email:

(Received:10/8/2006, in revised form:24/6/2007)

**Abstract:** Gharenaz bentonite contains montmorillonite as the major mineral constituent and Ca as the major exchangeable cation. In the present study, the structural changes occurred in the course of acid activation of this bentonite was investigated by chemical analysis using ICP-AES and phase analysis using XRD methods. Chemical analysis showed that most of the exchangeable cations i.e.  $K^+$ ,  $Na^+$  and  $Ca^{2+}$ , can be dissolved at low acid concentration whereas the dissolution of the octahedral layer cations, i.e.  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  and  $Al^{3+}$ , depends on the acid concentration. The acid treatment experiments on Gharenaz bentonite by sulfuric acid showed that removal of octahedral cations increases as the acid concentration raises up to 3 normal after which, it remains almost constant. However a further increase in the dissolution of these cations was observed at the acid concentrations more than 5 normal. XRD analysis of the activated samples indicated, i) the elimination of calcite mineral even at low acid concentration. ii) the formation of calcium sulfate (gypsum) and iii) decrease in the intensity of (001) peak of montmorillonite during the activation process, due to the partial destruction of the octahedral layers. In order to evaluate the optimum structural changes, the activated samples was used in bleaching of an edible oil. The results showed that the bentonite activated at 3 normal is most efficient in the bleaching process.

**Keywords:** bentonite, montmorillonite, acid activation, structural changes.



## بررسی تغییرات ساختاری بنتونیت قره ناز در اثر فعال سازی اسیدی در جهت تولید خاک رنگبر

میترا قبادی<sup>۱</sup>، امیر علی یوزباشی<sup>۲</sup>، مهدی کاشانی مطلق<sup>۱</sup>

۱- پژوهشگاه مواد و انرژی، بخش شناخت مواد، تهران

۲- دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

پست الکترونیکی: [ghobadimitra@yahoo.com](mailto:ghobadimitra@yahoo.com)

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۵/۲۰، نسخه نهایی ۱۳۸۶/۴/۲)

**چکیده:** بنتونیت قره ناز استان زنجان حاوی مونت موریلونیت به عنوان اصلی ترین کانی و کلسیم به عنوان اصلی ترین کاتیون تعویض پذیر است. در این کار پژوهشی تغییرات ساختاری این بنتونیت در اثر فعال سازی اسیدی با آنالیز شیمیایی ICP-AES و آنالیز فازی XRD مورد بررسی قرار گرفته است. آنالیز شیمیایی نشان داد که کاتیونهای تعویض پذیر مثل  $K^+$ ،  $Na^+$  و  $Ca^{2+}$  در غلظتهای پایین حل شده در حالیکه خروج کاتیونهای  $Al^{3+}$ ،  $Fe^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  به غلظت اسید وابسته است. در غلظتهای ۳ تا ۵ نرمال، این تغییرات ثابت مانده و ورای غلظت ۵ نرمال، روند افزایشی دوباره در خروج کاتیونهای هشت وجهی، مشاهده شد. الگوهای XRD نمونه های فعال شده نشان داد که: (۱) فاز کلسیت در بهنجاریهای پایین اسید حذف شده است (۲) سولفات کلسیم (ژیپس) ایجاد شده است (۳) کاهش نسبی نیز در شدت قله (۰۰۱) مربوط به فاز مونت موریلونیت در اثر فعال سازی اسیدی که ناشی از انحلال تدریجی کاتیونهای لایه هشت وجهی و تخریب جزئی آن است مشاهده شد. به منظور به دست آوردن تغییرات ساختاری بهینه، نمونه های فعال شده در رنگبری روغن خوراکی استفاده شدند. نتایج نشان داد که نمونه فعال شده در ۳ نرمال برای فرایند رنگبری مناسبترین است.

**واژه های کلیدی:** بنتونیت، مونت موریلونیت، فعال سازی اسیدی، تغییرات ساختاری.

### مقدمه

$Ca^{2+}$  خنثی می شود. به طور کلی جانشینی یک کاتیون در شبکه به جای کاتیون دیگر، با اندازه مشابه به جانشینی هم ریختی مشهور است، و جذب این کاتیونها منجر به ایجاد خاصیت تعویض پذیری کاتیونی بنتونیت ها می شود. خواص بالا باعث می شود تا این کانی قابلیت استفاده به عنوان جاذبی موثر در رنگبری روغنهای خوراکی و صنعتی مورد استفاده قرار گیرد [۳]. برای افزایش قابلیت جذب این رسها، معمولاً آنها را تحت عمل فعال سازی قرار می دهند. فعال سازی اسیدی از عمده فرایندهایی است که امروزه برای افزایش خواص جذبی مطلوب بنتونیت ها استفاده می شود. در نتیجه این فرایند، یون هیدروژن

بنتونیت جزء کانیهای رسی است که به خاطر داشتن خواص ویژه، کاربردهای متعددی در صنایع دارد. ویژگی این رسها به دلیل ساختار کانی اصلی تشکیل دهنده آنها یعنی مونت موریلونیت است. واحد ساختاری این کانی از یک لایه هشت وجهی آلومینیومی بین دو لایه چهار وجهی سیلیسی تشکیل شده است [۲، ۱]. در لایه های هشت وجهی معمولاً یونهایی با ظرفیت کمتر مانند  $Mg^{2+}$  و  $Fe^{2+}$  جایگزین  $Al^{3+}$  می شوند. این جانشینی منجر به عدم توازن الکتریکی می شده که در چنین مواردی بار منفی با جذب کاتیونهای خارجی مانند  $Na^+$ ،  $K^+$  و

توجه به مطالب یاد شده، تغییرات ساختاری ایجاد شده در اثر فعال سازی اسیدی بنتونیت قره ناز به منظور ارزیابی برای استفاده به عنوان خاک رنگبر مورد مطالعه قرار گرفت.

#### مواد و روشها

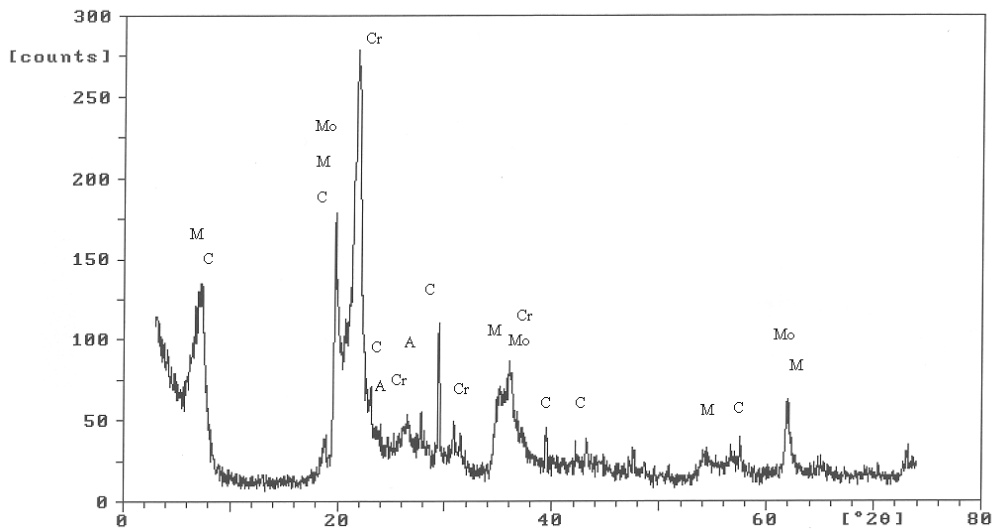
نمونه بنتونیت مورد استفاده در این کار پژوهشی، از معدن قره-ناز استان زنجان است. ترکیب شیمیایی آن که با XRF و ICP-AES (طیف سنجی تابش اتمی در محیط پلاسما القایی) آنالیز و تعیین شده در جدول ۱ ارائه شده است. کانیهای تشکیل دهنده این خاک رس با استفاده از پراش پرتو X، (XRD) به طور کیفی تعیین شد که بنابر الگوی به دست آمده در شکل ۱، شامل فازهای اصلی کریستوبالیت، مونت موریلونیت، کلسیت و فازهای فرعی موسکویت و آلبیت است. از آنجایی که محور C در کانی مونت موریلونیت در اثر واکنش با مولکولهای آلی به ویژه مثل اتیلن گلیکول تا  $17.7A^\circ$  انبساط می یابد و انباشتی از بازتابهای بسیار چشمگیر در صفحه (۰۰۱) در پراش پرتو ایکس ایجاد می کند و همچنین گرما دادن در دمای  $500^\circ C$  باعث می شود که محور C کانی تا حدود  $10^\circ A$  فشرده شود، به منظور شناسایی بهتر نمونه، بنتونیت تحت تاثیر اتیلن گلیکول و گرما قرار داده شد و طیف XRD آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه به دست آمده در شکل ۲ ارائه شده است که به خوبی وجود کانی مونت موریلونیت را تایید می کند [۷].

جانشین یونهای تعویض پذیر شده و بخشی از کاتیونهای لایه هشت وجهی نیز حل می شوند. شکل گیری این تغییرات منجر به ایجاد ساختاری متخلخل و سطح ویژه بسیار بالا و در نهایت قابلیت جذب بیشتر رس می شود [۴].

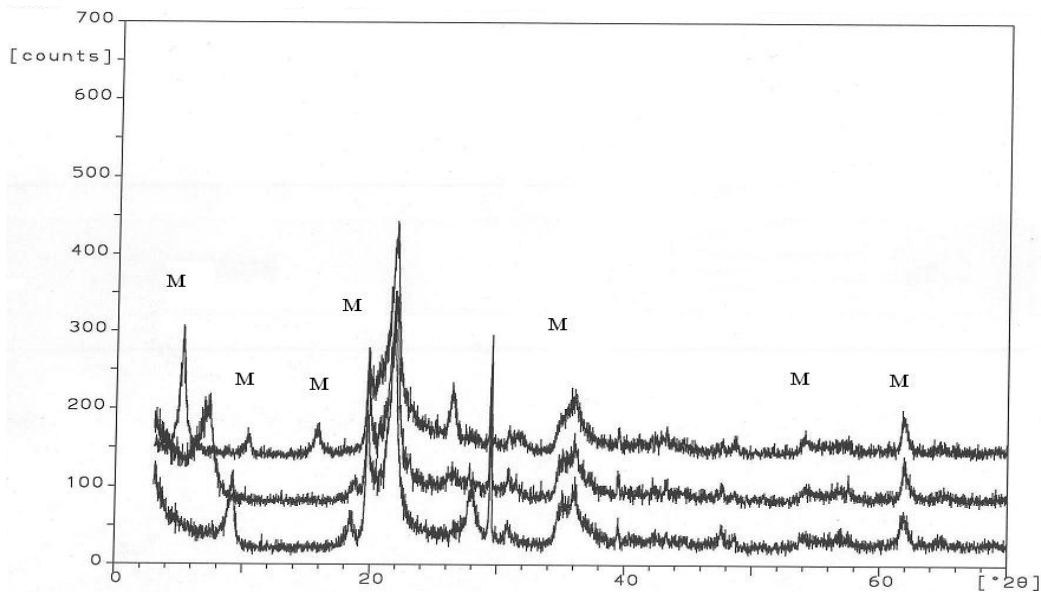
در عمل فعال سازی، معمولاً از اسیدهای سولفوریک یا کلریدریک استفاده می شود. به منظور افزایش بازدهی، فرایندهای فعال سازی بیشتر در دماهای بالا صورت می گیرد. با توجه به اینکه هر یک از بنتونیت ها رفتار متفاوتی را در ارتباط با فعال سازی نشان می دهند، بنابراین لازم است تا ضمن مطالعه عوامل موثر، شرایط بهینه برای رسیدن به بهترین خواص جذبی آنها با توجه به مسائل اقتصادی فراهم آید [۵]. مطالعات گسترده ای برای فعال سازی بنتونیت ها، شناخت عوامل موثر، و ارتباط آنها با ساختار فیزیکی و شیمیایی بنتونیت فعال شده انجام شده است. در بیشتر مراجع مربوط به فعال سازی بنتونیت، عملیات شیمیایی انجام شده با محلول های اسیدی در غلظت های مختلف، منجر به بهبود ساختار تخلخل و توزیع اندازه آنها و نیز افزایش قابل توجه سطح ویژه و در نهایت افزایش گنجایش جذب بنتونیت مورد مطالعه شده است. البته میزان بهینه غلظت اسید مورد مصرف و مقدار آن برای فعال سازی در مورد همه بنتونیت ها الزاماً یکسان نیست که این موضوع بیشتر به دلیل ماهیت ساختاری بنتونیت به ویژه فاز اصلی آن یعنی مونت - موریلونیت است. همچنین نوع کاربرد بنتونیت فعال شده و ناخالصیهای همراه کانی و مقدار آنها نیز از عوامل دیگر در تعیین شرایط بهینه فعال سازی است [۶].

جدول ۱ ترکیب شیمیایی بنتونیت قره ناز.

ترکیب شیمیایی	درصد وزنی
SiO <sub>2</sub>	۶۸٫۹۳
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۱٫۱۴
Na <sub>2</sub> O	۰٫۴۱
K <sub>2</sub> O	۰٫۵۹
CaO	۲٫۶۸
MgO	۲٫۵۴
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱٫۰۸
SO <sub>3</sub>	۰٫۱۳
TiO <sub>2</sub>	۰٫۱۲
L.O.I	۱۵٫۰۶



شکل ۱ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه بنتونیت مورد مطالعه و فازهای شناسایی شده: Cr؛ کریستوبالیت، M؛ مونتموریلونیت، C؛ کلسیت، Mo؛ موسکویت، A؛ آلبیت.



شکل ۲ الگوی پراش پرتو ایکس، از پایین به بالا: نمونه گرما داده شده، نمونه اصلی، نمونه‌ای که تحت تاثیر اتیلن گلیکول قرار گرفته است. M؛ مونتموریلونیت.

از الک ۲۰۰ گذرانیده و خشک شد. عملیات فعال سازی اسیدی با تماس نمونه با محلول های اسید سولفوریک، با غلظت مورد نظر، انجام شد. این مخلوط که نسبت مایع به جامد (V/W) آن ۱۰ بود، به مدت ۳ ساعت در دمای حدود  $90^{\circ}\text{C}$  همزده شد و سپس مخلوط سرد شده صاف و رسوب باقی مانده با آب مقطر شستشو داده شد. محلول به دست آمده برای تعیین

در کلیه آزمایشهای انجام شده از آب مقطر و مواد شیمیایی با خلوص آزمایشگاهی استفاده شد. در آزمایشهای رنگبری، از روغن خام سویای خنثی شده که در کارخانه روغن نباتی ناب برای رنگبری تهیه می شود استفاده شد.

نمونه خام بنتونیت نخست در آب مقطر قرار گرفت و به مدت یک ساعت بهم زده شد تا به صورت تعلیق درآید، سپس

$$\text{درصد رنگبری} = (T_d - T_0 / T_s - T_0) \times 100$$

$T_d$  در معادله بالا = مجموع عبوری (۴۲۴ nm + ۴۷۶ nm) برای روغنی که یک مرتبه با نمونه بنتونیت فعال شده بود وارد عمل شده.

$T_s$  = مجموع عبوری روغنی که یک مرتبه با بنتونیت اسیدی استاندارد وارد عمل شده بود.

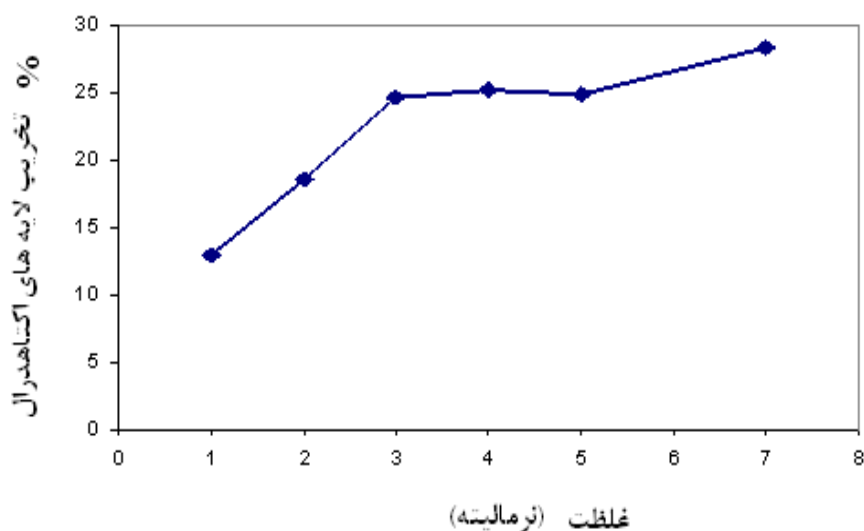
$T_0$  = مجموع عبوری روغن خام خنثی شده که روی آن عملیات رنگبری انجام نشده بود.

با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی محلولهای به دست آمده از فعال سازی نمونه بنتونیت در غلظتهای گوناگون اسید سولفوریک ۱-۵، و ۷ نرمال برای عناصری چون Fe, Mg, Al, Ca, Na, و K، درصد اکسیدهای به جامانده این عناصر در نمونههای فعال شده محاسبه شد و که در جدول ۳ ارائه شده است. تخریب لایه‌های هشت وجهی که بر اساس نسبت مجموع مقادیر اکسیدهای Fe, Mg, Al و در نمونههای فعال شده نسبت به مجموع مقادیر این اکسیدها در نمونه خام محاسبه شد، در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

عناصر باقی مانده به روش ICP-AES آنالیز شد. خاک رس اسیدشویی شده پس از خشک شدن، برای تعیین تغییرات احتمالی به وجود آمده در ترکیب کانی آن به وسیله XRD مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت به منظور به دست آوردن شرایط بهینه برای تهیه خاک رنگبر، نمونه‌های فعال شده در رنگبری روغن خام خنثی شده سوپا به روش استفاده شده در مرجع [۱۰]، مورد آزمایش قرار گرفتند. در آزمایشهای رنگبری از دستگاه روتاری با شرایط یاد شده در جدول ۲ استفاده شد. برای انجام فرایند رنگبری به میزان ۰٫۸۸۴ گرم از هر یک از نمونه‌های فعال شده در غلظتهای متفاوت اسید به همراه ۲٫۴۴ گرم روغن خام رنگبری نشده استفاده شد، و سپس تعلیقهای حاصل خنک و با استفاده از کاغذ صافی پالایش شدند. نمونه‌های رنگبری شده برای تعیین سنجش میزان رنگبری، از طریق طیف سنجی نور مرئی آنالیز شدند. تغییرات حاصل در رنگ روغن با استفاده از طیف سنج نور مرئی (shimadzu ۱۲۴۰) در طول موجهای ۴۲۴ nm و ۴۷۶ nm (این دو طول موج با اصلی‌ترین قله‌های جذبی سرشتی روغن همخوانی دارند) بررسی شد. درصد رنگبری با استفاده از معادله زیر [۹] که در شکل ۵ قدرت رنگبری نمونه‌های فعال شده مشاهده می‌شود، محاسبه شد.

جدول ۲ شرایط اعمال شده در رنگبری روغن نباتی.

شرایط بهینه	دور در دقیقه	دمای حمام	زمان
مقدار عددی	۶۰	۹۰	۱۵(min)



شکل ۳ درصد تخریب لایه‌های هشت وجهی در غلظتهای متفاوت اسیدی.

افزایش می‌یابد. این موضوع در مطالعات زیادی مورد بررسی و تایید قرار گرفته است [۶، ۲]. لازم به یادآوری است که میزان بهینه تخریب لایه هشت وجهی در اثر فعال‌سازی اسیدی در مورد هر بنتونیتی متفاوت است و به همین دلیل است که شرایط بهینه برای هر بنتونیت می‌بایست به طور جداگانه مورد مطالعه قرار گیرد. به منظور مطالعه تغییرات ایجاد شده در ساختار بنتونیت در اثر فعال‌سازی، الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های خام و فعال شده با اسید سولفوریک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج در شکل ۴ ارائه شده‌اند. چنانکه مشاهده می‌شود بیشتر تغییرات ناشی از فعال‌سازی اسیدی شامل، حذف قله‌های وابسته به فاز کلسیت، ظاهر شدن قله‌های به فاز ژپس و در نهایت کاهش نسبی در شدت قله سرشتی فاز مونت موریلونیت به صفحه (۰۰۱) می‌شود. در واقع فاز کلسیت در محیط اسیدی به راحتی حل می‌شود. تشکیل فاز ژپس نیز به علت وجود کلسیم در بنتونیت و استفاده از اسید سولفوریک در فعال‌سازی. لازم به یادآوری است که با افزایش غلظت اسید بنابر آنچه که شکل ۴ نشان می‌دهد، به مقدار فاز ژپس افزوده می‌شود. این موضوع باتوجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ نیز که نشان دهنده افزایش نسبی CaO در غلظت بالای اسیدی است تایید می‌شود.

در نهایت کاهش شدت قله سرشتی کانی مونت موریلونیت با افزایش غلظت اسید نیز ناشی از تخریب لایه هشت وجهی است، هر چند ساختار مونت موریلونیت اصولاً تغییر چشمگیری نکرده است. البته این پدیده در مطالعات انجام شده دیگر نیز مشاهده شده است [۵].

برای ارزیابی این تغییرات ساختاری در پی فعال‌سازی اسیدی و شناسایی شرایط بهینه از نظر خواص سطحی مطلوب در کاربرد بنتونیت فعال شده به عنوان خاک رنگبر، نمونه‌های فعال شده در فرایند رنگبری روغن خوراکی مورد آزمایش قرار گرفتند. چنانکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، فعال‌سازی اسیدی بنتونیت‌ها منجر به افزایش قابلیت رنگبری آنها شده است. این افزایش در غلظت ۳ نرمال به بالاترین حد خود می‌رسد، و پس از آن تغییر محسوسی مشاهده نمی‌شود، و حتی چنین به نظر می‌رسد که غلظتهای بالای اسیدی قابلیت رنگبری را کاهش می‌دهد. بنابراین مناسبترین ساختار از نظر خواص سطحی که منجر به قابلیت رنگبری بهینه روغن می‌شود، در شرایط فعال‌سازی با اسید سولفوریک ۳ نرمال به دست می‌آید.

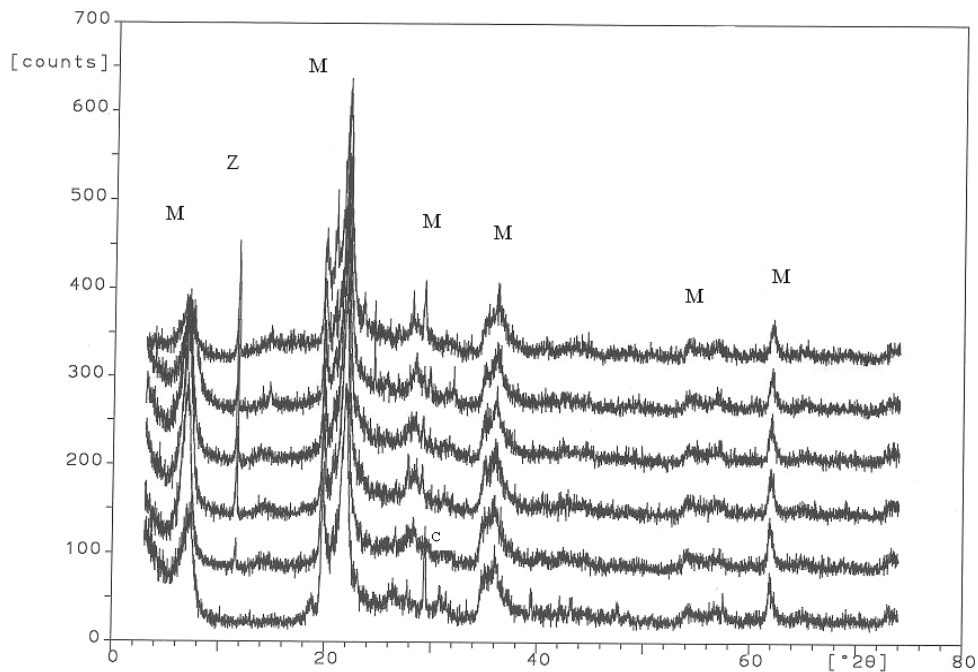
جدول ۳ درصد اکسیدهای موجود در نمونه‌های خام و فعال شده.

غلظت اسید (بهنجار شده)	نمونه خام	۱	۲	۳	۴	۵	۷
نوع اکسید	درصد اکسید						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۰۸	۰۹۶	۰۸۸	۰۸۳	۰۸۲	۰۸۱	۰۷۵
MgO	۲۵۴	۱۹۶	۱۷۹	۱۶۴	۱۶۳	۱۶۲	۱۵۶
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۱۴	۱۰۸۸	۱۰۴۵	۹۶۹	۹۶۵	۹۶۰	۹۳۵
CaO	۲۸۶	۱۵۶	۱۶۰	۱۶۱	۱۶۳	۱۶۵	۱۷۱
Na <sub>2</sub> O	۰۴۱	۰۳۰	۰۳۰	۰۳۰	۰۳۰	۰۳۰	۰۲۹
K <sub>2</sub> O	۰۵۹	۰۴۰	۰۴۰	۰۴۰	۰۴۰	۰۴۰	۰۴۰

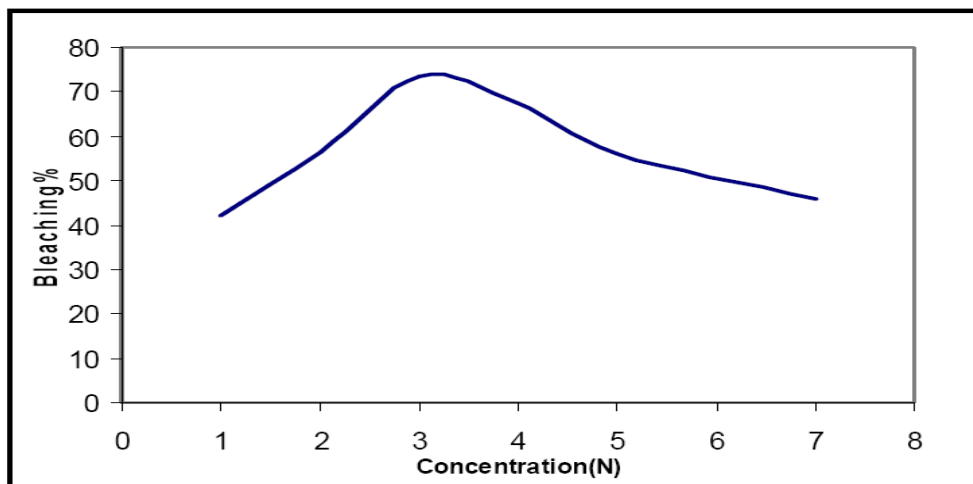
### بحث و بررسی

چنانکه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در صد اکسیدهای سدیم، پتاسیم، و کلسیم پس از کاهش اولیه در بهنجاریهای بالاتر اسید، تقریباً ثابت ماند به خاطر تعویض پذیر بودن کاتیونهای این اکسیدهاست که چون با قدرت نسبتاً کمتری به شبکه متصل هستند آسانتر از کاتیونهای دیگر در معرض حمله اسیدی قرار می‌گیرند [۴]. لازم به یادآوری است که معمولاً کاتیونهای سدیم و پتاسیم آسانتر از کلسیم حل می‌شوند، ولی نتایج ارائه شده در جدول ۲ خلاف این فرضیه را نشان می‌دهند (خروج کمتر سدیم و پتاسیم نسبت به کلسیم). این موضوع می‌تواند ناشی از حضور فازهای فرعی آلپیت و مسکویت بر اساس آنالیز XRD در نمونه بنتونیت باشد. بنابراین بیشتر سدیم موجود به فاز فرعی آلپیت و پتاسیم مسکویت فرعی وابسته هستند که به راحتی حل نمی‌شوند [۸]. در مورد عناصر لایه هشت وجهی یعنی آهن، آلومینیوم، و منیزیم که خروج آنها موجب تخریب این لایه می‌شود، رفتاری متفاوت با کاتیونهای تعویض پذیر نشان می‌دهند. بنابر نتایج به دست آمده جدول ۲، مقدار این عناصر به صورت اکسید تا غلظت ۳ نرمال اسید روند رو به کاهشی را نشان می‌دهد، در محدوده ۳-۵ نرمال اسید مقدار آن تقریباً ثابت مانده و در غلظت‌های بالاتر (۷ نرمال) کاهش اندکی در مقدار آنها مشاهده می‌شود.

در واقع میزان تخریب لایه‌های هشت وجهی به مقدار خروج این کاتیونها از شبکه مونت موریلونیت بستگی دارد و باتوجه به اینکه پیوند کاتیونهای لایه هشت وجهی با شبکه کانی قویتر است، مقاومت بیشتری در مقابل حمله اسیدی از خود نشان می‌دهند، و به همین دلیل است که با افزایش غلظت اسید، میزان کاتیونهای خروجی لایه هشت وجهی



شکل ۴ مقایسه الگوی نمونه خام بنتونیت قره ناز با نمونه‌های فعال شده. غلظتهای به کار رفته برای فعال سازی از پایین به بالا : نمونه خام، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۹۷، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۱، ۲۴۲، ۲۴۳، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۷، ۲۴۸، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۵۷، ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۶۶، ۲۶۷، ۲۶۸، ۲۶۹، ۲۷۰، ۲۷۱، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۲۸۴، ۲۸۵، ۲۸۶، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱، ۲۹۲، ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶، ۲۹۷، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۷، ۳۰۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۳، ۳۱۴، ۳۱۵، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۱۸، ۳۱۹، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۲۳، ۳۲۴، ۳۲۵، ۳۲۶، ۳۲۷، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۰، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳، ۳۳۴، ۳۳۵، ۳۳۶، ۳۳۷، ۳۳۸، ۳۳۹، ۳۴۰، ۳۴۱، ۳۴۲، ۳۴۳، ۳۴۴، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۷، ۳۴۸، ۳۴۹، ۳۵۰، ۳۵۱، ۳۵۲، ۳۵۳، ۳۵۴، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۵۸، ۳۵۹، ۳۶۰، ۳۶۱، ۳۶۲، ۳۶۳، ۳۶۴، ۳۶۵، ۳۶۶، ۳۶۷، ۳۶۸، ۳۶۹، ۳۷۰، ۳۷۱، ۳۷۲، ۳۷۳، ۳۷۴، ۳۷۵، ۳۷۶، ۳۷۷، ۳۷۸، ۳۷۹، ۳۸۰، ۳۸۱، ۳۸۲، ۳۸۳، ۳۸۴، ۳۸۵، ۳۸۶، ۳۸۷، ۳۸۸، ۳۸۹، ۳۹۰، ۳۹۱، ۳۹۲، ۳۹۳، ۳۹۴، ۳۹۵، ۳۹۶، ۳۹۷، ۳۹۸، ۳۹۹، ۴۰۰، ۴۰۱، ۴۰۲، ۴۰۳، ۴۰۴، ۴۰۵، ۴۰۶، ۴۰۷، ۴۰۸، ۴۰۹، ۴۱۰، ۴۱۱، ۴۱۲، ۴۱۳، ۴۱۴، ۴۱۵، ۴۱۶، ۴۱۷، ۴۱۸، ۴۱۹، ۴۲۰، ۴۲۱، ۴۲۲، ۴۲۳، ۴۲۴، ۴۲۵، ۴۲۶، ۴۲۷، ۴۲۸، ۴۲۹، ۴۳۰، ۴۳۱، ۴۳۲، ۴۳۳، ۴۳۴، ۴۳۵، ۴۳۶، ۴۳۷، ۴۳۸، ۴۳۹، ۴۴۰، ۴۴۱، ۴۴۲، ۴۴۳، ۴۴۴، ۴۴۵، ۴۴۶، ۴۴۷، ۴۴۸، ۴۴۹، ۴۵۰، ۴۵۱، ۴۵۲، ۴۵۳، ۴۵۴، ۴۵۵، ۴۵۶، ۴۵۷، ۴۵۸، ۴۵۹، ۴۶۰، ۴۶۱، ۴۶۲، ۴۶۳، ۴۶۴، ۴۶۵، ۴۶۶، ۴۶۷، ۴۶۸، ۴۶۹، ۴۷۰، ۴۷۱، ۴۷۲، ۴۷۳، ۴۷۴، ۴۷۵، ۴۷۶، ۴۷۷، ۴۷۸، ۴۷۹، ۴۸۰، ۴۸۱، ۴۸۲، ۴۸۳، ۴۸۴، ۴۸۵، ۴۸۶، ۴۸۷، ۴۸۸، ۴۸۹، ۴۹۰، ۴۹۱، ۴۹۲، ۴۹۳، ۴۹۴، ۴۹۵، ۴۹۶، ۴۹۷، ۴۹۸، ۴۹۹، ۵۰۰، ۵۰۱، ۵۰۲، ۵۰۳، ۵۰۴، ۵۰۵، ۵۰۶، ۵۰۷، ۵۰۸، ۵۰۹، ۵۱۰، ۵۱۱، ۵۱۲، ۵۱۳، ۵۱۴، ۵۱۵، ۵۱۶، ۵۱۷، ۵۱۸، ۵۱۹، ۵۲۰، ۵۲۱، ۵۲۲، ۵۲۳، ۵۲۴، ۵۲۵، ۵۲۶، ۵۲۷، ۵۲۸، ۵۲۹، ۵۳۰، ۵۳۱، ۵۳۲، ۵۳۳، ۵۳۴، ۵۳۵، ۵۳۶، ۵۳۷، ۵۳۸، ۵۳۹، ۵۴۰، ۵۴۱، ۵۴۲، ۵۴۳، ۵۴۴، ۵۴۵، ۵۴۶، ۵۴۷، ۵۴۸، ۵۴۹، ۵۵۰، ۵۵۱، ۵۵۲، ۵۵۳، ۵۵۴، ۵۵۵، ۵۵۶، ۵۵۷، ۵۵۸، ۵۵۹، ۵۶۰، ۵۶۱، ۵۶۲، ۵۶۳، ۵۶۴، ۵۶۵، ۵۶۶، ۵۶۷، ۵۶۸، ۵۶۹، ۵۷۰، ۵۷۱، ۵۷۲، ۵۷۳، ۵۷۴، ۵۷۵، ۵۷۶، ۵۷۷، ۵۷۸، ۵۷۹، ۵۸۰، ۵۸۱، ۵۸۲، ۵۸۳، ۵۸۴، ۵۸۵، ۵۸۶، ۵۸۷، ۵۸۸، ۵۸۹، ۵۹۰، ۵۹۱، ۵۹۲، ۵۹۳، ۵۹۴، ۵۹۵، ۵۹۶، ۵۹۷، ۵۹۸، ۵۹۹، ۶۰۰، ۶۰۱، ۶۰۲، ۶۰۳، ۶۰۴، ۶۰۵، ۶۰۶، ۶۰۷، ۶۰۸، ۶۰۹، ۶۱۰، ۶۱۱، ۶۱۲، ۶۱۳، ۶۱۴، ۶۱۵، ۶۱۶، ۶۱۷، ۶۱۸، ۶۱۹، ۶۲۰، ۶۲۱، ۶۲۲، ۶۲۳، ۶۲۴، ۶۲۵، ۶۲۶، ۶۲۷، ۶۲۸، ۶۲۹، ۶۳۰، ۶۳۱، ۶۳۲، ۶۳۳، ۶۳۴، ۶۳۵، ۶۳۶، ۶۳۷، ۶۳۸، ۶۳۹، ۶۴۰، ۶۴۱، ۶۴۲، ۶۴۳، ۶۴۴، ۶۴۵، ۶۴۶، ۶۴۷، ۶۴۸، ۶۴۹، ۶۵۰، ۶۵۱، ۶۵۲، ۶۵۳، ۶۵۴، ۶۵۵، ۶۵۶، ۶۵۷، ۶۵۸، ۶۵۹، ۶۶۰، ۶۶۱، ۶۶۲، ۶۶۳، ۶۶۴، ۶۶۵، ۶۶۶، ۶۶۷، ۶۶۸، ۶۶۹، ۶۷۰، ۶۷۱، ۶۷۲، ۶۷۳، ۶۷۴، ۶۷۵، ۶۷۶، ۶۷۷، ۶۷۸، ۶۷۹، ۶۸۰، ۶۸۱، ۶۸۲، ۶۸۳، ۶۸۴، ۶۸۵، ۶۸۶، ۶۸۷، ۶۸۸، ۶۸۹، ۶۹۰، ۶۹۱، ۶۹۲، ۶۹۳، ۶۹۴، ۶۹۵، ۶۹۶، ۶۹۷، ۶۹۸، ۶۹۹، ۷۰۰، ۷۰۱، ۷۰۲، ۷۰۳، ۷۰۴، ۷۰۵، ۷۰۶، ۷۰۷، ۷۰۸، ۷۰۹، ۷۱۰، ۷۱۱، ۷۱۲، ۷۱۳، ۷۱۴، ۷۱۵، ۷۱۶، ۷۱۷، ۷۱۸، ۷۱۹، ۷۲۰، ۷۲۱، ۷۲۲، ۷۲۳، ۷۲۴، ۷۲۵، ۷۲۶، ۷۲۷، ۷۲۸، ۷۲۹، ۷۳۰، ۷۳۱، ۷۳۲، ۷۳۳، ۷۳۴، ۷۳۵، ۷۳۶، ۷۳۷، ۷۳۸، ۷۳۹، ۷۴۰، ۷۴۱، ۷۴۲، ۷۴۳، ۷۴۴، ۷۴۵، ۷۴۶، ۷۴۷، ۷۴۸، ۷۴۹، ۷۵۰، ۷۵۱، ۷۵۲، ۷۵۳، ۷۵۴، ۷۵۵، ۷۵۶، ۷۵۷، ۷۵۸، ۷۵۹، ۷۶۰، ۷۶۱، ۷۶۲، ۷۶۳، ۷۶۴، ۷۶۵، ۷۶۶، ۷۶۷، ۷۶۸، ۷۶۹، ۷۷۰، ۷۷۱، ۷۷۲، ۷۷۳، ۷۷۴، ۷۷۵، ۷۷۶، ۷۷۷، ۷۷۸، ۷۷۹، ۷۸۰، ۷۸۱، ۷۸۲، ۷۸۳، ۷۸۴، ۷۸۵، ۷۸۶، ۷۸۷، ۷۸۸، ۷۸۹، ۷۹۰، ۷۹۱، ۷۹۲، ۷۹۳، ۷۹۴، ۷۹۵، ۷۹۶، ۷۹۷، ۷۹۸، ۷۹۹، ۸۰۰، ۸۰۱، ۸۰۲، ۸۰۳، ۸۰۴، ۸۰۵، ۸۰۶، ۸۰۷، ۸۰۸، ۸۰۹، ۸۱۰، ۸۱۱، ۸۱۲، ۸۱۳، ۸۱۴، ۸۱۵، ۸۱۶، ۸۱۷، ۸۱۸، ۸۱۹، ۸۲۰، ۸۲۱، ۸۲۲، ۸۲۳، ۸۲۴، ۸۲۵، ۸۲۶، ۸۲۷، ۸۲۸، ۸۲۹، ۸۳۰، ۸۳۱، ۸۳۲، ۸۳۳، ۸۳۴، ۸۳۵، ۸۳۶، ۸۳۷، ۸۳۸، ۸۳۹، ۸۴۰، ۸۴۱، ۸۴۲، ۸۴۳، ۸۴۴، ۸۴۵، ۸۴۶، ۸۴۷، ۸۴۸، ۸۴۹، ۸۵۰، ۸۵۱، ۸۵۲، ۸۵۳، ۸۵۴، ۸۵۵، ۸۵۶، ۸۵۷، ۸۵۸، ۸۵۹، ۸۶۰، ۸۶۱، ۸۶۲، ۸۶۳، ۸۶۴، ۸۶۵، ۸۶۶، ۸۶۷، ۸۶۸، ۸۶۹، ۸۷۰، ۸۷۱، ۸۷۲، ۸۷۳، ۸۷۴، ۸۷۵، ۸۷۶، ۸۷۷، ۸۷۸، ۸۷۹، ۸۸۰، ۸۸۱، ۸۸۲، ۸۸۳، ۸۸۴، ۸۸۵، ۸۸۶، ۸۸۷، ۸۸۸، ۸۸۹، ۸۹۰، ۸۹۱، ۸۹۲، ۸۹۳، ۸۹۴، ۸۹۵، ۸۹۶، ۸۹۷، ۸۹۸، ۸۹۹، ۹۰۰، ۹۰۱، ۹۰۲، ۹۰۳، ۹۰۴، ۹۰۵، ۹۰۶، ۹۰۷، ۹۰۸، ۹۰۹، ۹۱۰، ۹۱۱، ۹۱۲، ۹۱۳، ۹۱۴، ۹۱۵، ۹۱۶، ۹۱۷، ۹۱۸، ۹۱۹، ۹۲۰، ۹۲۱، ۹۲۲، ۹۲۳، ۹۲۴، ۹۲۵، ۹۲۶، ۹۲۷، ۹۲۸، ۹۲۹، ۹۳۰، ۹۳۱، ۹۳۲، ۹۳۳، ۹۳۴، ۹۳۵، ۹۳۶، ۹۳۷، ۹۳۸، ۹۳۹، ۹۴۰، ۹۴۱، ۹۴۲، ۹۴۳، ۹۴۴، ۹۴۵، ۹۴۶، ۹۴۷، ۹۴۸، ۹۴۹، ۹۵۰، ۹۵۱، ۹۵۲، ۹۵۳، ۹۵۴، ۹۵۵، ۹۵۶، ۹۵۷، ۹۵۸، ۹۵۹، ۹۶۰، ۹۶۱، ۹۶۲، ۹۶۳، ۹۶۴، ۹۶۵، ۹۶۶، ۹۶۷، ۹۶۸، ۹۶۹، ۹۷۰، ۹۷۱، ۹۷۲، ۹۷۳، ۹۷۴، ۹۷۵، ۹۷۶، ۹۷۷، ۹۷۸، ۹۷۹، ۹۸۰، ۹۸۱، ۹۸۲، ۹۸۳، ۹۸۴، ۹۸۵، ۹۸۶، ۹۸۷، ۹۸۸، ۹۸۹، ۹۹۰، ۹۹۱، ۹۹۲، ۹۹۳، ۹۹۴، ۹۹۵، ۹۹۶، ۹۹۷، ۹۹۸، ۹۹۹، ۱۰۰۰.



شکل ۵ اثر غلظت اسید سولفوریک در نمونه‌های فعال شده بر قدرت رنگبری.

[3] Siti, "Ceramic Technology", Vol.1: Raw Materials. Siti Ceramic Rresearch Center, Italy, 1994  
 [4] Javanovic N., Javanovic J., "Pore structure and adsorption properties of an acid activated bentonite ", Applied Clay Science, 6, 1991, PP. 59-68

مراجع

[1] R. E. Grim., "Clay mineralogy", McGraw-Hill. New York, 2<sup>nd</sup>. Edn  
 [2] R. Francisco, R. V., "Studies on the acid activation of brazilian smectite Quim", Nova, 2001, 24, 345-353

[7] W. E. Worrall, "Clays: Their Nature , Origin and General Properties".

[8] W. Ryan., Properties of Ceramic Raw Materials, 1978.

[9] E.Gonzalez-Paradas, M.Villafrance-Sanchez., J. Tech. Biotechnol. 1993, 57, 213-216

[۱۰] اطلاعات آزمایشگاه کنترل کیفیت، شرکت کشت و توسعه دانه‌های روغنی تهران.

[5] E. Gonzalez-Paradas, M. Villafrance-Sanchez E., Rey- Bueno F., Valverde-Garsia A., Gracia-Rodriguez A., "Evolution of surface properties in bentonite as afunction of acid and heat treatments", J. Chem. Tech. Biotechnol., 52, 1991, PP.211-218.

[6] Pesequera C., et.al., "Passivation of amontmorillonite by the silica created by acid activation", J. Mater. Chem., 2,(9), 1992. PP. 907-911.