

انجمن پژوهش‌های علمی و فناوری خراسان

سال یازدهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۸۲، از صفحه ۱۵ تا ۲۷

مجله  
بلور شناسی  
و کانی شناسی  
ایران

## ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی و کاربرد بنتونیت‌های ده‌محمد، چاه‌کم-۱، چاه‌کم-۲ و شیرگشت (خراسان و یزد)

محمدحسن کریم‌پور<sup>۱</sup>، علی اکبر راشد<sup>۲</sup>، حمید ارتضاً<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

۲- سازمان صنایع و معادن خراسان.

(دریافت مقاله ۱۳۸۱/۶/۲۵ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۱/۱۰/۱۰)

چکیده: بنتونیت‌های معادن شیرگشت، ده‌محمد، چاه‌کم-۱ و چاه‌کم-۲ به طور سیستماتیک نمونه برداری شدند. ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی و مصارف آنها در صنعت ریخته‌گری مورد بررسی قرار گرفت. معدن بنتونیت ده‌محمد با ۳۰۰۰۰۰ تن ظرفیت ذخیره، بزرگترین ذخیره را دارد. ترکیب کانی شناسی شامل ۷۵ تا ۹۵ درصد مونت‌موریلونیت، ۵ تا ۲۵ درصد کریستوبالیت، صفر تا ۳ درصد کلسیت و کمتر از ۱/۵ درصد هالیت است. اندیس ژله نمونه خام (۲۴ ساعت) ۲۰ تا ۳۰ است. بنتونیت از نوع سدیم‌دار و برای صنعت ریخته‌گری مناسب است. معدن بنتونیت شیرگشت دارای ۱۳۵۰۰۰ تن ذخیره است. ترکیب کانی شناسی شامل ۷۴ تا ۹۲ درصد مونت‌موریلونیت، ۸ تا ۲۸ درصد کریستوبالیت، ۳ تا ۱۰ درصد کلسیت و اکثراً هالیت ندارند و فقط در یک نمونه تا ۱/۵ درصد هالیت شناسائی شد. اندیس ژله نمونه خام (۲۴ ساعت) ۱۴ تا ۲۲ و بنتونیت از نوع سدیم‌دار و بعضی از بخشها برای صنعت ریخته‌گری مناسب است. میزان ذخیره معدن بنتونیت چاه‌کم-۱ و ۲ به ترتیب ۷۳۰۰۰ و ۶۲۵۰۰ تن است. ترکیب کانی‌شناسی شامل ۶۰ تا ۸۰ درصد مونت‌موریلونیت، ۱۵ تا ۳۵ درصد کریستوبالیت-کوارتز، ۱ تا ۵ درصد کلسیت و ۱ تا ۵ درصد هالیت است. اندیس ژله بنتونیت خام (۲۴ ساعت) ۰ تا ۲۵ و بنتونیت‌ها از نوع سدیم‌دار هستند. بالا بودن میزان هالیت مانع از استفاده مستقیم بنتونیت‌های چاه‌کم-۱ و ۲ در صنعت ریخته‌گری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بنتونیت، مونت‌موریلونیت، ریخته‌گری و خراسان.



## Mineralogy, chemical composition and application of bentonite from Deh Mohammad, Shirgesht, and Chah Cam 1 and 2 (Khorasan-Yazd, Iran)

M.H. Karimpour<sup>1</sup>, A.A. Rashed<sup>2</sup>, H. Erteza<sup>2</sup>

1- Department of Geology Ferdowsi University of Mashhad Iran.

E-mail: mhkarimpour@yahoo.com

2- Industrial and Mines Institute of Khorasan Government.

(received: 16/9/2002 , received in revised form: 31/12/2002)

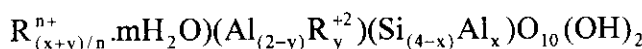
**Abstract:** Mineralogy and chemical composition of Deh Mohammad, Shirgesht, Chah Cam-1 and Chah Cam-2 bentonite deposits were studied in detail. Tests for foundry moulds uses carried out on raw and processed. Deh Mohammad with 300000 tons reserve is the biggest deposit. Deh Mohammad consists of 75 – 95% montmorillonite, 5 - 25% cristobalite, 0 - 3% calcite, and less than 1.5% halite. The colloidal index for raw bentonite (24 hour) is 20 – 30. Based on chemical composition, Deh Mohammad is Na-bentonite and is good for foundry moulds. Shirgesht has about 135000 ton bentonite. It contains of 74 – 92% montmorillonite, 8 - 28% cristobalite, 3 - 10% calcite, and 0 - 1.5% halite. The colloidal index for raw bentonite (24 hour) is 14 - 22. Based on chemical composition, Deh Mohammad is Na-bentonite and in most part is good for foundry moulds. The bentonite reserve at Chah Cam 1 and 2 mines are 73000 and 62500 ton 60 - 80% montmorillonite, 15 – 35 % quartz- cristobalite, 1 - 5% calcite, and 1 - 5% Halite. The colloidal index for raw bentonite (24 hour) is 0 - 20. Based on chemical composition, Deh Mohammad is Na-bentonite. The colloidal index of some samples are good for foundry use but high halite content is a problem, therefore this bentonite must be mixed with a bentonite having low or no halite such as Shirgesht.

**Keywords:** *Bentonite, Montmorillonite, Foundry, Khorasan.*

## مقدمه

ایرانیان از قدیم بنتونیت را می‌شناختند و با بعضی از خواص آن از جمله شستشوی لباس و به عنوان ماده تمیز کننده استفاده می‌کردند. واژه بنتونیت را نخستین بار در سال ۱۸۹۸ دانشمندی به نام نایت به کار برده است. این واژه از اصطلاح محلی شیل‌های بنتون واقع در ایالت وایومینگ آمریکا گرفته شده است.

مهمترین بخش بنتونیت را کانی‌های گروه اسمکتیت تشکیل می‌دهند. اسمکتیت شامل دسته‌های دی‌اکتاهدرال و تری‌اکتاهدرال است. کانی‌های دسته‌های دی‌اکتاهدرال شامل مونت-موریلونیت، بیدلیت و نانترونیت و سری تری‌اکتاهدرال شامل هکتوریت و ساپونیت است. فرمول کلی دی‌اکتاهدرال عبارت است از [۱]:

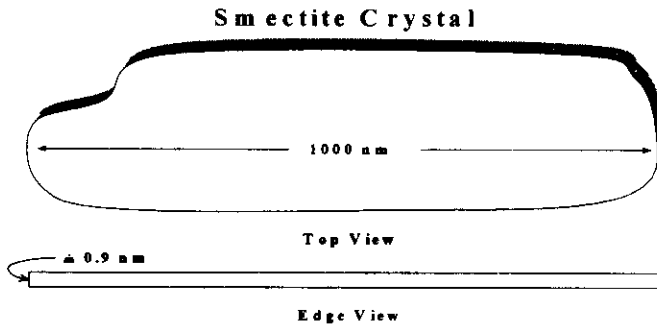


در فرمول بالا  $R^{n+}$  کاتیون بین لایه‌ای و  $mH_2O$  تعداد مولکول‌های آب بین لایه‌ای است. در موقعیت تتراهدرال  $Al^{+3}$  به جای  $Si^{+4}$  و در موقعیت اکتاهدرال  $Al^{+3}$  به مقدار جزئی توسط  $Fe^{+3}$  و گاهی توسط  $Mg^{+2}$  و  $Fe^{+2}$  و دیگر کاتیون‌های دو ظرفیتی جانشین می‌شود.

کانی مونت‌موریلونیت از جمله مهم‌ترین کانی بنتونیت‌ها بشمار می‌رود. فرمول کلی مونت‌موریلونیت  $(OH)_2.xH_2O [Si_4O_{10}] A_{0.3}(Al_{1.3}Mg_{0.7})$  است که در آن A شامل کاتیونهای  $K^+$ ،  $Na^+$  یا  $0.5Ca^{2+}$  در کانی مونت‌موریلونیت، جانشین کاتیونها در موقعیت اکتاهدرال شده‌اند، بدین معنی که سدیم و کلسیم به جای یکدیگر نشسته‌اند [۲].

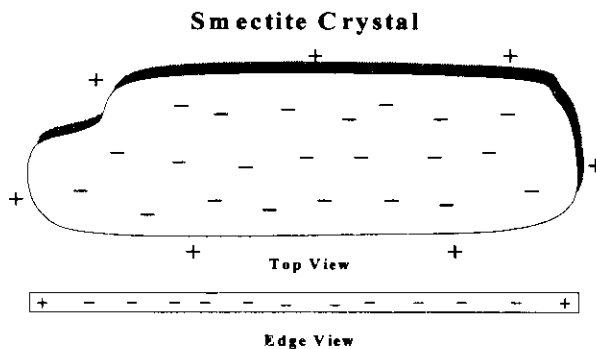
از خواص مهم کانی‌های مونت‌موریلونیت، جانشینی یونی، خاصیت شکل‌پذیری، انبساط-انقباض و رنگبری آنها را می‌توان نام برد. میزان هر یک از این خواص به ترکیب شیمیایی و ساختار کانی بستگی دارد. در کانی مونت‌موریلونیت سدیم‌دار، میزان شکل‌پذیری و انبساط و انقباض، از نوع کلسیم‌دار آن بیشتر است. ابعاد شبکه مونت‌موریلونیت-سدیم و کلسیم از ۹٫۶ آنگستروم در حالت معمولی به ۲۰ آنگستروم در صورتی که رطوبت محیط صد درصد باشد، افزایش خواهد یافت. میزان جذب و تورم مونت‌موریلونیت سدیم‌دار چندین برابر حجم آن است، به طوری که حالت ژله‌ای، پلاستیکی و چسبندگی به خود می‌گیرد [۳ تا ۵].

اندازه بلور، شکل و بار الکتریکی ذرات از جمله موارد مهمی هستند که موجب خواص و کاربری متفاوت مونت‌موریلونیت‌ها می‌شوند. بلورهای مونت‌موریلونیت مسطح هستند. ابعاد سطح تا ۱۰۰۰ نانومتر (۱۰۰۰۰۰ انگستروم) و ضخامت تا ۰٫۹۲ نانومتر است (شکل ۱). بنابراین بلور مونت‌موریلونیت دارای سطح فوق‌العاده زیاد است و یک گرم آن در حدود ۸۰۰ متر مربع مساحت دارد. گستردگی و بالا بودن مساحت سطح مونت‌موریلونیت موجب افزایش تماس آب و در نتیجه میزان بسیار کم مونت‌موریلونیت در آب می‌تواند موجب افزایش در میزان غلظت آب شود.

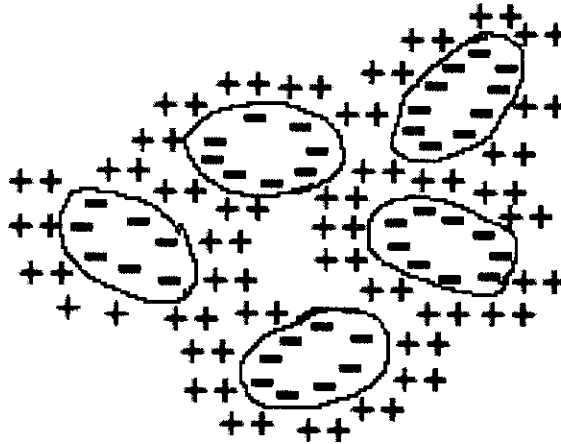


شکل ۱ نمایش ابعاد مونت موریلونیت در سطح و در ضخامت [۶].

هر بلور مونت موریلونیت در مجموع دارای بار منفی است، بنابراین می‌تواند کاتیون‌های بار مثبت نظیر سدیم و کلسیم را جذب نماید (شکل ۲). لبه‌های مونت موریلونیت‌ها به میزان محدود دارای بار مثبت بوده و لذا قادرند آنیون‌های با بار منفی و ملکول‌ها را نیز جذب کنند. کاتیون‌های واقع در سطح مونت موریلونیت به سهولت قابل جانشینی با کاتیون‌های دیگر هستند که به این قابلیت ظرفیت جانشینی کاتیونی گفته می‌شود (cation exchange capacity). مونت موریلونیت به دلیل بار منفی وقتی که در آب قرار می‌گیرد تحت تاثیر نیروی الکترواستاتیک حاصل از این بار منفی سطح مونت موریلونیت و بار مثبت کاتیون‌های آب به حالت تعلیق باقی مانده و حالت ژله یا کلوئیدی به خود می‌گیرد (شکل ۳)، و غلظت آب با ایجاد حالت کلوئیدی افزایش می‌یابد. چنانچه محلول به حرکت درآید (با همزدن) سم‌نگیری ذرات رس به هم می‌خورد و غلظت محلول کاهش خواهد یافت. با برقراری حالت سکون، غلظت به حالت اولیه باز می‌گردد. مونت موریلونیت‌های نوع سدیم‌دار قابلیت تورم بیشتری از نوع کلسیم‌دار دارند.



شکل ۲ نمایش بار کانی مونت موریلونیت [۶].



شکل ۳ نمایش حالت کلونیدی ذرات مونت‌موریلونیت [۶].

بنتونیت‌ها با توجه به نوع کانی مونت‌موریلونیت، در صنایع مختلف استفاده می‌شوند که مهمترین آنها از نوع سدیم‌دار به قرار زیرند. در حفاریهای نفت و گاز و مواد معدنی دیگر به عنوان گل حفاری، در تهیه قالب‌های ریخته‌گری به دلیل خاصیت پلاستیکی و چسبندگی آن، برای تهیه گندوله آهنی در صنعت، به منظور عایق بندی و کنترل کانالهای انتقال آب، سموم آفات نباتی در کشاورزی و فرایندهای زیست محیطی و در مسایل بهداشتی به عنوان ماده شوینده. نوع کلسیم‌دار آن به دلیل قابلیت مناسب جانشینی کاتیونی‌اش در تصفیه مواد و رنگبری به کار برده می‌شود.

#### موقعیت و خصوصیات

معادن بنتونیت چاه‌کم-۱ و ۲ در ۱۵ کیلومتری شمال شرق عشق آباد طبس واقع شده‌اند. بنتونیت چاه‌کم درزون گسلی با امتداد شمالی- جنوبی در ریولیت‌ها و آندزیت‌ها تشکیل شده است. تناوب سنگ آهک، شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا در زیر سنگ‌های آتشفشانی واقع شده‌اند. بنتونیت چاه‌کم-۱ دارای ۱۲۰۰ متر طول، ۱۵ متر عرض و ۳ متر ضخامت است. میزان ذخیره آن ۷۳۰۰۰ تن است. میزان ذخیره چاه‌کم-۲ در حدود ۶۲۵۰۰ تن است. معدن بنتونیت ده‌محمد در ۵۵ کیلومتری بشرویه در مسیر جاده بشرویه به طبس و در روستای ده‌محمد قرار دارد. توف‌های ائوسن در محیط دریاچه‌ای آکالن موجب تشکیل بنتونیت شده است. ذخیره قطعی بنتونیت ده‌محمد ۳۰۰۰۰۰ تن محاسبه شده است. معدن بنتونیت شیرگشت در فاصله ۵۳٫۵ کیلومتری شمال شهرستان طبس و در نزدیکی ده‌محمد قرار دارد. توف‌ها در محیط

۵۳ کیلومتری شمال شهرستان طبس و در نزدیکی ده‌محمد قرار دارد. توف‌ها در محیط دریاچه درون قاره‌ای در اوایل دوران سوم موجب تشکیل بنتونیت شده است. میزان ذخیره معدن شیرگشت ۱۳۵۰۰۰ تن تعیین شد.

### روش مطالعه

نمونه‌برداری منظم و سیستماتیک از چاهک و ترانشه‌هایی که در زونهای بنتونیت‌دار حفر شده بودند انجام شد. جرم هر نمونه در حدود ۱۵ کیلوگرم و از ۴ معدن جمعاً ۷۲ نمونه برداشت شد. نمونه‌ها ابتدا خشک و سپس با سنگ‌شکن خورد و در آسیاب گلوله‌ای پودر شدند. تعداد ۷۲ نمونه با استفاده از روش فلورسان پرتو ایکس (XRF) برای اکسیدهای اصلی تجزیه شدند. کانی‌ها با دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) بررسی شدند. میزان کلر، کربنات و سولفات با استفاده از روشهای متداول اندازه‌گیری شد. درصد مونت‌موریلونیت با استفاده از محلول متیلن بلو تعیین شد. درصد کلسیت، ژپس و هالیت با استفاده از روشهای متداول شیمی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. آزمایشهای مربوط به کاربرد بنتونیت‌ها در صنایع ریخته‌گری شامل اندیس ژله در ۸ و ۲۴ ساعت، اندیس تورم و تعیین درصد مونت‌موریلونیت نیز انجام شد.

به منظور اندازه‌گیری اندیس ژله، جرم معینی از بنتونیت (بین ۰/۱ تا ۱ گرم) را در حجم مشخصی از آب مقطر به صورت سوسپانسیون در می‌آورند. مواد داخل لوله آزمایش نباید بعد از ۸ ساعت و ۲۴ ساعت برگردد. این آزمایش با افزایش میزان بنتونیت تکرار می‌شود تا محلول سوسپانسیون به لوله آزمایش برنگردد. با مشخص شدن وزن بنتونیت اندیس ژله تعیین می‌شود. اندیس ژله مناسب برای ریخته‌گری ۱۸ (۸ ساعت) و ۲۲ (۲۴ ساعت) است.

### ترکیب کانی‌شناسی، ژئوشیمی و بررسی کاربرد در ریخته‌گری

ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی برگزیده بنتونیت منطقه ده محمد در جدول ۱ گزارش شده است. میزان مونت‌موریلونیت آنها بین ۷۵ تا ۹۵ درصد و کریستوبالیت ۵ تا ۲۰ درصد است. میزان کربنات کلسیم این گروه غالباً کمتر از ۳ درصد و فقط چند نمونه بیش از ۳ درصد مشاهده شد. همچنین میزان هالیت در مجموع کمتر از ۱/۵ درصد است (جدول ۱). از خصوصیات مهم این بنتونیت بالا بودن درصد مونت‌موریلونیت و غنی بودن آن از سدیم را می‌توان نام برد. برای تعیین میزان درصد  $\text{CaO}$  و  $\text{Na}_2\text{O}$  مونت‌موریلونیت، سهم کانی‌های هالیت و کلسیت باید مشخص شود، و باقی‌مانده مربوط به مونت‌موریلونیت می‌شود. لذا براساس میزان  $\text{CaO}$  کل نمونه نمی‌توان بنتونیت سدیم‌دار را از نوع کلسیم‌دار تشخیص داد. به عنوان مثال نمونه DT2-1 حاوی  $\text{CaO} = 5.55\%$  و  $\text{Na}_2\text{O} = 2.85\%$  است. اگر براساس این داده‌ها قرار است تصمیم‌گیری شود این نمونه یک بنتونیت کلسیم‌دار می‌تواند باشد. اما لازم به یادآوری

و باقی مانده سهم مونت‌موریلونیت است. براین اساس مونت‌موریلونیت حاوی  $CaO = ۱,۲۵$  و  $Na_2O = ۱,۹۸$  و بنتونیت از نوع سدیم‌دار است. در جدول ۱ میزان  $CaO$  و  $Na_2O$  کل نمونه و مونت‌موریلونیت گزارش شده است. میزان  $MgO$  بین  $۲,۵$  تا  $۵$  درصد و  $TFeO$   $۱,۵$  تا  $۲$  درصد و فاقد  $K_2O$  است. اندیس ژله بنتونیت خام  $۲۰$  تا  $۳۰$  و اندیس تورم  $۱۰$  تا  $۱۸$  است (جدول ۱). بنتونیت‌های مناسب برای ریخته‌گری بایستی اندیس ژله آنها از  $۲۰$  بیشتر باشد. بنتونیت‌های منطقه ده محمد به دلیل سدیک بودن و بالا بودن میزان مونت‌موریلونیت ( $۷۵$  تا  $۹۵$ ) و اندیس ژله مطلوب برای ریخته‌گری مناسب‌اند.

ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی بنتونیت‌های منطقه شیرگشت در جدول ۲ گزارش شده است. میزان مونت‌موریلونیت بین  $۷۴$  تا  $۹۲$  درصد متغیر است. کوارتز به میزان  $۸$  تا  $۱۸$  درصد، کلسیت  $۳$  تا  $۱۰$  درصد و هالیت فقط در یک نمونه و به میزان  $۱,۳$  درصد شناسایی شدند. بر اساس میزان  $CaO = ۰,۵$  و  $Na_2O = ۳,۸-۲,۵$  (درصد) محاسبه شده برای مونت‌موریلونیت، بنتونیت‌های منطقه شیرگشت از نوع سدیم‌دار است. میزان  $MgO$  حدود  $۳$  درصد

جدول ۱ ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی، اندیس ژله و تورم بنتونیت منطقه ده محمد [۷].

|                                      | DT1-1 | DT1-8 | DT2-1 | DT2-2 | DT2-3 | DT2-4 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $SiO_2$                              | ۶۳,۶۷ | ۶۴,۸۳ | ۵۹,۱۸ | ۶۸,۴۴ | ۶۶,۰۱ | ۵۵,۷۴ |
| $Al_2O_3$                            | ۰,۳   | ۱۱,۷۷ | ۱۲,۶۵ | ۱۳,۷۶ | ۱۳,۷۲ | ۱۷,۴۳ |
| $TiO_2$                              | ۰,۲۷  | ۰,۲۴  | ۰,۲۴  | ۰,۲۴  | ۰,۲۸  | ۰,۳۳  |
| $TFeO$                               | ۱,۶۷  | ۱,۳۹  | ۱,۱۲  | ۱,۵۱  | ۱,۵۵  | ۲,۱۷  |
| $MgO$                                | ۳,۱۰  | ۲,۵۷  | ۲,۸۵  | ۲,۷۷  | ۳,۰۲  | ۵,۰۴  |
| $CaO$                                | ۰,۴۸  | ۰,۶۸  | ۵,۵۷  | ۰,۵۵  | ۱,۲۵  | ۰,۷۳  |
| $Na_2O$                              | ۳,۵۲  | ۲,۶۷  | ۱,۹۸  | ۲,۹۱  | ۳,۳۷  | ۳,۱۷  |
| $K_2O$                               | -     | -     | -     | -     | -     | ۰,۱   |
| L.O.I                                | ۱۴,۳۳ | ۱۵,۸۱ | ۱۶,۳۸ | ۹,۸۰  | ۱۰,۷۶ | ۱۵,۲۵ |
| مونت موریلونیت                       | ۸۲-۸۵ | ۷۸-۸۲ | ۷۰-۷۵ | ۸۰-۸۴ | ۷۵-۸۰ | ۹۵    |
| کریستوبالیت                          | ۱۴    | ۱۷-۲۰ | ۱۵-۱۲ | ۱۳-۱۵ | ۱۵-۲۰ | ۵     |
| کلسیت                                | ۰,۱   | -     | ۹     | -     | ۱,۴   | -     |
| هالیت                                | ۱     | -     | -     | ۱     | ۲,۵   | -     |
| $CaO$ مونت موریلونیت                 | ۰,۴۸  | ۰,۶۸  | ۱,۲۵  | ۰,۵۵  | ۰,۴۶  | ۰,۷۳  |
| $Na_2O$ مونت موریلونیت               | ۳,۱۱  | ۲,۶۷  | ۱,۹۸  | ۲,۵   | ۲,۲۲  | ۳,۱۷  |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه خام)        | ۲۵    | ۲۵    | ۱۸    | ۲۵    | ۲۰    | ۳۰    |
| اندیس تورم ۵ گرمی                    | ۱۸    | ۱۷,۴  | ۹,۴   | ۱۷    | ۱۴,۴  | ۱۶,۸  |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه فراوری شده) | ۲۷    | ۳۳    | ۲۷    | ۲۷    | ۲۵    | ۴۰    |

و  $\text{TFeO}$  ۱٫۵ تا ۲٫۸ درصد و  $\text{K}_2\text{O}$  ۰٫۴ تا ۰٫۱ درصد است. اندیس ژله بنتونیت خام ۱۴ تا ۲۲ و اندیس تورم ۱۳ تا ۲۰ است (جدول ۲). با فرآوری، اندیس ژله اکثر نمونه‌ها به بیش از ۲۰ افزایش یافت، بنابراین بنتونیت‌های اکثر مناطق شیرگشت برای ریخته‌گری مناسب‌اند. ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی بنتونیت‌های منطقه چاه‌کم-۱ در جدول ۳ گزارش شده است. میزان مونت‌موریلونیت بین ۷۵ تا ۸۰ درصد متغیر است. کوارتز و کریستوبالیت به میزان ۱۵ تا ۲۵ درصد و کلسیت نیز در اکثر نمونه‌ها یافت می‌شود و به میزان ۱ تا ۵ درصد برآورد شده است. هالیت در تمامی نمونه‌ها به میزان ۱ تا ۶ درصد شناسایی شد. براساس میزان ۱٫۴ تا ۰٫۳  $\text{CaO}$  و ۳ تا ۱٫۵  $\text{Na}_2\text{O}$  (درصد) محاسبه شده مونت‌موریلونیت، بنتونیت‌های منطقه چاه‌کم-۱ از نوع سدیم‌دار است. میزان  $\text{MgO}$  در حدود ۲ تا ۲٫۸ درصد و  $\text{TFeO}$  ۱٫۸ تا ۲٫۳ درصد و  $\text{K}_2\text{O}$  ۰٫۴-۰٫۱ درصد است. اندیس ژله بنتونیت‌های خام این منطقه بین ۰ تا ۲۰ و اکثراً کمتر از ۱۵ و اندیس تورم ۸ تا ۱۵ است. اندیس ژله اکثر نمونه‌های بنتونیت فرآوری شده به بیش از ۲۰ افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۲ ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی، اندیس ژله و تورم بنتونیت منطقه شیرگشت [۷].

| در صد                                | ST3-1 | ST4-1 | ST6-1 | ST7-1 | ST7-3 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\text{SiO}_2$                       | ۵۸٫۹۷ | ۵۹٫۲۵ | ۶۱٫۷۶ | ۶۰٫۷۰ | ۵۴٫۰۲ |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$              | ۱۷٫۸۸ | ۲۰٫۱۹ | ۱۵٫۲۲ | ۱۴٫۰۹ | ۱۶٫۲۷ |
| $\text{TiO}_2$                       | ۰٫۴۶  | ۰٫۵۱  | ۰٫۳۳  | ۰٫۲۸  | ۰٫۴۷  |
| $\text{TFeO}$                        | ۲٫۷۷  | ۲٫۸۶  | ۲٫۲۳  | ۱٫۸۲  | ۲٫۳۵  |
| $\text{MgO}$                         | ۳٫۶۳  | ۳٫۸۵  | ۳٫۲۴  | ۲٫۶۷  | ۳٫۱۵  |
| $\text{CaO}$                         | ۲٫۵۷  | ۰٫۵۲  | ۴٫۱۵  | ۳٫۴۸  | ۶٫۱۲  |
| $\text{Na}_2\text{O}$                | ۳٫۰۵  | ۳٫۷۸  | ۳٫۱۶  | ۳٫۰۶  | ۳٫۱۷  |
| $\text{K}_2\text{O}$                 | ۰٫۱۸  | ۰٫۰۷  | ۰٫۴۱  | ۰٫۲۷  | ۰٫۳۷  |
| L.O.I                                | ۱۰٫۴۵ | ۸٫۹۳  | ۹٫۴۶  | ۱۳٫۶۱ | ۱۴٫۱۴ |
| مونت موریلونیت                       | ۷۵    | ۹۲    | ۸۰    | ۷۴    | ۷۰    |
| کوارتز                               | ۱۵    | ۸     | ۱۶    | ۱۵    | ۱۸    |
| کلسیت                                | ۳٫۷   | -     | ۶٫۵   | ۵٫۴   | ۱۰    |
| هالیت                                | -     | -     | -     | ۱٫۳   | -     |
| $\text{CaO}$ مونت موریلونیت          | ۰٫۵۷  | ۰٫۵۲  | ۰٫۵۱  | ۰٫۴۵  | ۰٫۵۲  |
| $\text{Na}_2\text{O}$ مونت موریلونیت | ۳٫۰۵  | ۳٫۷۸  | ۳٫۱۶  | ۳٫۰۶  | ۳٫۱۷  |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه خام)        | ۱۴    | ۲۲    | ۲۰    | ۲۰    | ۱۶    |
| اندیس تورم ۵ گرمی                    | ۱۴    | ۲۰    | ۱۳٫۶  | ۱۶    | ۱۴٫۸  |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه فرآوری شده) | ۱۸    | ۲۵    | ۲۵    | ۲۲    | ۲۰    |



جدول ۳ ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی، اندیس ژله و تورم بنتونیت منطقه چاه‌کم-۱ [۷].

| در صد                                | CIT1-3 | CIT1-5 | CIT2-1 | CIT2-8 | CIT2-9 | CIT2-11 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| SiO <sub>2</sub>                     | ۶۴,۴۲  | ۶۵,۴۵  | ۵۹,۷۲  | ۶۷,۳۹  | ۷۱,۴۴  | ۶۸,۳۴   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | ۱۳,۹   | ۱۳,۵۷  | ۱۴,۹۸  | ۱۳,۲۷  | ۱۳,۳   | ۱۳,۰۶   |
| TiO <sub>2</sub>                     | ۰,۲۳   | ۰,۱۸   | ۰,۳    | ۰,۲۱   | ۰,۲۱   | ۰,۲۴    |
| TFeO                                 | ۲,۰۵   | ۱,۸۵   | ۲,۰۷   | ۲,۱۶   | ۱,۹۵   | ۲,۳۴    |
| MgO                                  | ۲,۴    | ۲,۱۷   | ۲,۸۸   | ۲,۰۱   | ۱,۸۹   | ۲       |
| CaO                                  | ۲,۷۸   | ۱,۲۷   | ۳,۸۹   | ۲,۰۳   | ۱,۴۴   | ۲,۱۱    |
| Na <sub>2</sub> O                    | ۲,۸۶   | ۴,۴۸   | ۳,۲۳   | ۳,۰۲   | ۲,۸۱   | ۳,۴۵    |
| K <sub>2</sub> O                     | ۰,۰۴   | ۰,۱۷   | ۰,۳۵   | ۰,۲۸   | ۰,۲۶   | ۰,۴۲    |
| L.O.I                                | ۱۱,۲۳  | ۱۱,۸۳  | ۱۳,۵۴  | ۱۰,۵۸  | ۷,۶۶   | ۸       |
| مونت موریلونیت                       | ۷۴     | ۸۰     | ۷۵     | ۸۰     | ۸۰     | ۸۰      |
| کریستوبالیت-کوارتز                   | ۲۴     | ۲۲     | ۷-۱۷   | ۱۷     | ۱۶     | ۱۶      |
| کلسیت                                | ۲,۶    | ۱      | ۵      | ۲,۵    | ۲,۵    | ۳       |
| هالیت                                | ۳      | ۶      | ۱,۶    | -      | ۱,۵    | ۱       |
| CaO مونت موریلونیت                   | ۱,۳۳   | ۰,۸    | ۰,۷    | ۰,۶۳   | ۰,۳    | ۱,۲۷    |
| Na <sub>2</sub> O مونت موریلونیت     | ۱,۴۸   | ۱,۷۲   | ۲,۴۹   | ۳,۰۲   | ۲,۲۵   | ۳       |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه خام)        | ۱۴,۵   | ۲۰     | ۱۴,۵   | ۱۶,۵   | ۲۰     | .       |
| اندیس تورم ۵ گرمی                    | ۹,۴    | ۱۵     | ۱۰,۵   | ۱۴,۵   | ۱۵,۴   | ۸,۴     |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه فراوری شده) | ۳۰     | ۲۵     | ۲۷     | ۳۰     | ۲۲     | ۱۶,۵    |

با توجه به اندیس ژله، بنتونیت فراوری شده منطقه چاه‌کم-۱ برای ریخته‌گری می‌تواند مناسب باشد. اما بالا بودن میزان هالیت (موجب بروز مشکل در مقاومت غالب ریخته‌گری می‌شود) استفاده از این بنتونیت در ریخته‌گری را مشکل می‌کند. مخلوط آن با بنتونیت سدیم‌دار بدون هالیت می‌تواند مناسب باشد.

ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی بنتونیت‌های منطقه چاه‌کم-۲ در جدول ۴ گزارش شده است. میزان مونت‌موریلونیت بین ۶۰ تا ۸۰ درصد متغیر است. کوارتز و کریستوبالیت به میزان ۱۵ تا ۳۵ درصد و کلسیت نیز در اکثر نمونه‌ها به میزان ۱ تا ۵ درصد یافت می‌شود. هالیت و  $\text{Na}_2\text{O}$  ۰,۵ تا ۳,۳٪ محاسبه شده مونت‌موریلونیت، بنتونیت‌های منطقه چاه‌کم-۲ از نوع سدیم‌دار است. میزان MgO در حدود ۲ تا ۲,۷ درصد و TFeO ۱,۸۶ تا ۳,۲۳ درصد و  $\text{K}_2\text{O}$  ۰,۰۴ تا ۰,۲۵ درصد است. اندیس ژله بنتونیت خام ۱۴ تا ۲۵ و اندیس تورم ۱۲ تا ۱۶ است. اندیس ژله نمونه‌های فراوری شده بین ۱۷ تا ۳۳ است. اندیس ژله نمونه‌های خام و فراوری شده چاه کم-

۲ بیشتر از چاه‌کم-۱ است. بالا بودن میزان هالیت مشابه چاه‌کم-۱، استفاده از این بنتونیت در صنعت ریخته‌گری با مشکل مواجه می‌سازد. مخلوط آن با بنتونیت سدیم‌دار بدون هالیت می‌تواند مناسب باشد.

جدول ۴ ترکیب شیمیایی، کانی شناسی، اندیس ژله و تورم بنتونیت منطقه چاه‌کم-۲ [۷].

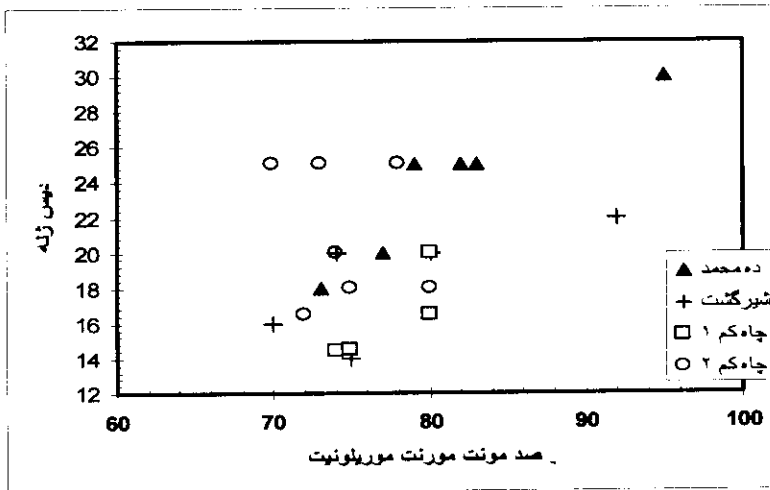
| در صد                            | C2T1-3 | C2T1-6 | C2T1-11 | C2T1-13 | C2T1-18 | C2T2-2 |
|----------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| SiO <sub>2</sub>                 | ۹۸٫۶۴  | ۱۳٫۶۷  | ۴۳٫۶۶   | ۳۳٫۶۹   | ۵۸٫۶۸   | ۵۴٫۶۵  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | ۸۲٫۱۳  | ۲۴٫۱۳  | ۴۶٫۱۲   | ۳۲٫۱۴   | ۱۴      | ۱۲٫۱۴  |
| TiO <sub>2</sub>                 | ۱۵٫۰   | ۱۳٫۰   | ۱۴٫۰    | ۱۵٫۰    | ۱۸٫۰    | ۱۵٫۰   |
| TfeO                             | ۸۶٫۱   | ۸۹٫۱   | ۸۲٫۱    | ۲۳٫۲    | ۸۸٫۱    | ۲      |
| MgO                              | ۲۷٫۲   | ۰٫۷۲   | ۶۸٫۱    | ۹۶٫۱    | ۱۴٫۲    | ۱۵٫۲   |
| CaO                              | ۴۳٫۱   | ۹۸٫۰   | ۷٫۲     | ۳۳٫۱    | ۳۳٫۲    | ۲۳٫۲   |
| Na <sub>2</sub> O                | ۱۸٫۳   | ۸۸٫۲   | ۱۱٫۲    | ۵٫۳     | ۸۶٫۲    | ۳۸٫۳   |
| K <sub>2</sub> O                 | ۱۲٫۰   | ۰٫۷۰   | ۰٫۸۰    | ۰٫۵۰    | ۲۱٫۰    | ۱۲٫۰   |
| L.O.I                            | ۱۵٫۱۲  | ۵۷٫۱۱  | ۵۵٫۱۲   | ۱۱٫۷    | ۸۷٫۷    | ۳۶٫۱۰  |
| مونت موریلونیت                   | ۸۰     | ۷۰-۷۵  | ۶۲-۶۷   | ۷۰-۷۵   | ۷۰-۷۵   | ۷۷-۸۰  |
| کریستوبالیت                      | ۱۲-۱۷  | ۲۰-۲۳  | ۳۰-۳۵   | ۲۰-۲۵   | ۲۲-۲۷   | ۱۳-۱۶  |
| کلسیت                            | ۵٫۰    | -      | ۴       | ۷٫۰     | ۳       | ۳      |
| هالیت                            | ۵٫۱    | ۵٫۰    | -       | ۴٫۳     | ۷٫۱     | ۳      |
| مونت موریلونیت CaO               | ۱۵٫۱   | ۹۸٫۰   | ۴۶٫۰    | ۹۴٫۰    | ۷٫۰     | ۵۵٫۰   |
| مونت موریلونیت Na <sub>2</sub> O | ۵۴٫۲   | ۶٫۲    | ۱۱٫۲    | ۲       | ۲       | ۰٫۹۲   |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه خام)    | ۱۸     | ۲۵     | ۲۵      | ۵٫۱۶    | ۲۰      | ۲۵     |
| اندیس تورم ۵ گرمی                | ۴٫۱۶   | ۱۵     | ۱۵      | ۶٫۱۳    | ۱۲      | ۶٫۱۳   |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه فراوری) | ۲۲     | ۳۰     | ۳۳      | ۱۸      | ۲۲      | ۳۳     |

ادامه جدول ۴ ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی، اندیس ژله و تورم بنتونیت منطقه چاه کم-۲.

| در صد                            | C2T2-4 | C2T4-1 | C2T4-4 | C2T4-5 | C2T6-1 | C2T8-1 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>                 | ۴۸,۶۴  | ۶۸     | ۹,۶۹   | ۹,۶۵   | ۴۵,۶۳  | ۴,۷۳   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | ۳,۱۵   | -۵,۱۳  | ۸,۱۳   | ۸,۱۲   | ۱۵     | ۵۷,۱۲  |
| TiO <sub>2</sub>                 | ۲,۰    | ۱۵,۰   | ۱۵,۰   | ۱۸,۰   | ۲۲,۰   | ۱۴,۰   |
| TFeO                             | ۵,۲    | ۹,۱    | ۱,۲    | ۹۵,۱   | ۴۵,۲   | ۸۶,۱   |
| MgO                              | ۲      | ۸۲,۱   | ۱۴,۲   | ۹,۱    | ۷۳,۲   | ۲۲,۲   |
| CaO                              | ۵۱,۲   | ۱۲,۲   | ۸۷,۰   | ۳۲,۳   | ۶,۱    | ۶۱,۰   |
| Na <sub>2</sub> O                | -۵,۴   | ۶۷,۲   | ۸۴,۲   | ۱۹,۲   | ۳۳,۲   | ۴۷,۲   |
| K <sub>2</sub> O                 | ۲,۰    | ۱۲,۰   | -۸,۰   | ۲۴,۰   | ۲۷,۰   | -۹,۰   |
| L.O.I                            | ۷۵,۸   | ۱۴,۱۰  | -۸,۸   | ۷۶,۱۰  | ۹۳,۱۱  | ۶,۶    |
| مونت موریلونیت                   | ۷۲-۷۶  | ۷۰-۷۴  | ۷۰-۷۵  | ۶۸-۷۲  | ۷۷-۸۰  | ۷۱-۷۵  |
| کریستوبالیت                      | ۱۷-۲۰  | ۲۲-۲۶  | ۲۰-۲۷  | ۲۲-۲۷  | ۱۵-۲۲  | ۲۰-۲۷  |
| کلسیت                            | ۴      | ۳      | -      | ۵      | ۲      | -      |
| هالیت                            | ۸,۱    | -      | ۱      | ۵,۰    | ۵,۰    | ۱      |
| ژیپس                             |        | جزئی   | -      | -      | -      | -      |
| CaO مونت موریلونیت               | ۴۵,۰   | ۵,۰    | ۸۷,۰   | ۵۲,۰   | ۴۱,۰   | ۶۱,۰   |
| Na <sub>2</sub> O مونت موریلونیت | ۲۶,۳   | ۶۷,۲   | ۵۱,۲   | ۵,۲    | ۱۵,۲   | ۱,۲    |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه خام)    | ۱۸     | ۲۰     | ۲۰     | ۲۰     | ۲۰     | ۱۴     |
| اندیس تورم ۵ گرمی                | ۸,۱۳   | ۶,۱۲   | ۴,۱۴   | ۴,۱۳   | ۸,۱۱   | ۱۲     |
| اندیس ژله (۲۴ ساعت نمونه فراوری) | ۲۰     | ۲۷     | ۲۲     | ۲۵     | ۲۵     | ۵,۱۶   |

## بحث و برداشت

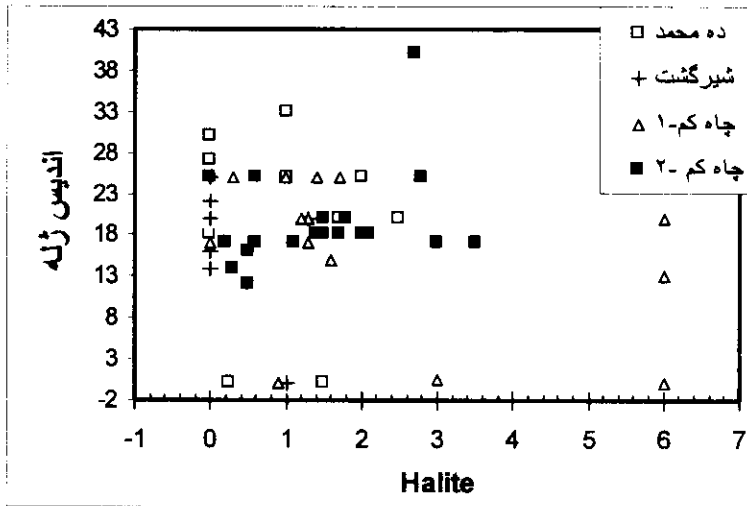
در چهار معدن بنتونیت مورد مطالعه، بیشترین میزان مونت‌موریلونیت در بنتونیت ده‌محمد و به میزان ۷۵ تا ۹۵ درصد و شیرگشت ۷۴ تا ۸۰ درصد و یک مورد تا ۹۲٪ وجود دارد (شکل ۴). کمترین میزان مونت‌موریلونیت در بنتونیت‌های معادن چاه کم ۱ و ۲ و به میزان ۶۰ تا ۷۷ درصد اندازه‌گیری شد. رابطه مستقیم بین اندیس ژله و میزان درصد مونت‌موریلونیت در بنتونیت‌های هر منطقه دیده شد (شکل ۴). علاوه بر درصد مونت‌موریلونیت، میزان سدیم مونت‌موریلونیت نقش مهم و مثبت بر اندیس ژله دارد. بنابراین بنتونیت‌های سدیم‌دار در مقایسه با بنتونیت‌های کلسیم‌دار از اندیس ژله و تورم بیشتری برخوردارند.



شکل ۴ نمایش دامنه تغییرات اندیس ژله (بنتونیت خام ۲۴ ساعت) و درصد مونت‌موریلونیت.

عوامل مهم دیگری نیز اندیس ژله را کنترل می‌کنند که با مطالعه بیشتر باید مشخص شوند. چند نمونه از بنتونیت‌های مناطق ده‌محمد و چاه‌کم-۲ دارای اندیس ژله ۲۵ هستند در صورتی که میزان فراوانی مونت‌موریلونیت آنها نسبتاً متفاوت است (شکل ۴)، ضمناً تغییراتی در میزان  $Na_2O$  آنها مشاهده نمی‌شود. اندیس ژله بنتونیت‌های منطقه چاه‌کم-۲ با ۷۰ تا ۷۸ درصد مونت‌موریلونیت معادل بنتونیت‌های ده‌محمد با ۷۸ تا ۸۳ درصد مونت‌موریلونیت است (شکل ۴). بنابراین بخشی از بنتونیت‌های چاه‌کم-۲ اندیس ژله بهتر از ده‌محمد دارند.

میزان هالیت بنتونیت قابل مصرف در صنایع ریخته‌گری باید کمتر از ۱/۵ درصد باشد. در شکل ۵ میزان هالیت نمونه‌های مختلف بنتونیت‌های مورد مطالعه ترسیم شده‌اند. بنتونیت‌های مناطق چاه‌کم-۱ و ۲ در مجموع دارای بیشترین میزان هالیت، و بنتونیت‌های شیرگشت کمترین مقدار را دارا هستند. به منظور کاهش میزان هالیت در بنتونیت‌های مناطق چاه‌کم-۱ و ۲ می‌توان آنها را با بنتونیت‌های شیرگشت مخلوط نمود.



شکل ۵ نمایش دامنه تغییرات اندیس ژله (بنتونیت خام ۲۴ ساعت) و درصد هالیت.

#### مراجع

- [1] Newman A.C.D, *Chemistry of clays and clay minerals*, Mineralogical Society Monograph No. Longman Scientific & Technical (1987) p.480.
- [2] *Australian Clay Minerals Home Page*, CLAY Minerals (2002).
- [3] Nebergall R, *Bentonite in Mexico a changing & rising market*, Industrial Minerals Feb. (1998) pp.47-55.
- [4] Komadel J, Buidak, J. Madejova, V. Sucha and F. Elsass, *Effects of non-swelling layers on the dissolution of reduced-charged montmorillonite in hydrochloric acid*, Clay Minerals **31**(1996) pp. 333-345.
- [5] Rhodes C.N, Brown D.R, *Surface properties and porosities of silica and acid-treated montmorillonite catalyst support: influence on activities of supported ZnCl<sub>2</sub> catalysts*, Journal of Chemical Society, Faraday Transaction **89** (1993) pp.1387-1391.
- [6] Manahan Stanley E, *Environmental Chemistry*, 5<sup>th</sup> ed., Lewis Publishers/CRC Press (1991).

[۷] کریم‌پور محمدحسین، تجزیه کانی‌شناسی، ژئوشیمی و مطالعه آزمایش‌های کاربرد ریخته‌گری ۷۲ نمونه بنتونیت از معادن ده‌محمد، شیرگشت، چاه کم ۱ و چاه کم ۲، گزارش طرح تحقیقاتی و مطالعاتی، اداره کل معادن و فلزات خراسان (۱۳۷۸) ص ۱۰۲.