



# بنتونیت

## خاک صدکاره

مازیار نظری، عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آشتیان  
مزگان خجو، دبیر زمین‌شناسی آموزش و پرورش تهران، منطقه ۱۵

### چکیده

بنتونیت یک ماده معدنی از گروه رس‌هاست که با توجه به ویژگی‌های گوناگونی که دارد، امروزه نقش مهمی در صنعت ایفا می‌کند. نوع خاصی از بنتونیت فعال طبیعی از دیرباز با نام «گل سرشور» برای ما ایرانیان شناخته شده بوده و از خواص چربی‌زدایی و پاک‌کنندگی آن آگاهی داشته‌ایم. پس از کشف نفت، بنتونیت به‌عنوان یکی از اجزای اصلی تهیه گل حفاری در کنار صنایع نفتی و حفاری‌های چاه‌های آن برای زمین‌شناسان نامی آشنا شد. اما کاربردهای بی‌شمار دیگری در طی قرن گذشته برای این ماده معدنی موسوم به «خاک صدکاره» پیدا شده که آگاهی از آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. مهم‌ترین مصارف بنتونیت پس از تهیه گل حفاری، تهیه ماسه ریخته‌گری، گندله‌سازی مواد معدنی و خوراک حیوانات اهلی، تصفیه شربت، آب و روغن، رنگ‌زدایی از روغن‌های حیوانی، نباتی و معدنی و سرانجام استفاده از آن به‌عنوان جاذب آب و روغن و پرکننده است. نگاهی دوباره به بنتونیت و کاربردهای آن زمانی اهمیت ویژه می‌یابد که بدانیم کشورمان از ذخایر قابل توجهی از انواع بنتونیت برخوردار است. اما در حال حاضر بهره‌برداری و استفاده از آن تنها منحصر به نوع سدیم‌دار آن در صنعت تهیه گل حفاری است.

**کلیدواژه‌ها:** بنتونیت، کانی‌شناسی، بنتونیت کلسیم، بنتونیت سدیم، خاک اسیدی، گل حفاری، ماسه ریخته‌گری، گندله‌سازی، کاتالیزور، تولید بنتونیت

مهم‌ترین مصارف  
بنتونیت پس از تهیه  
گل حفاری، تهیه  
ماسه ریخته‌گری،  
گندله‌سازی مواد  
معدنی و خوراک  
حیوانات اهلی،  
تصفیه شربت، آب و  
روغن، رنگ‌زدایی از  
روغن‌های حیوانی،  
نباتی و معدنی و  
سرانجام استفاده از  
آن به‌عنوان جاذب  
آب و روغن و پرکننده  
است

**بنتونیت یکی از خاک‌های صنعتی است که مخلوطی نسبتاً پیچیده از چندین کانی رسی به حساب می‌آید و خاستگاه‌های متنوع شکل‌گیری آن ارائه تعریفی ثابت از بنتونیت را به عنوان یک خاک صنعتی دشوار می‌کند**

پیروکسن‌ها و زیرکن همراه بنتونیت و بافت موروثی توف یا خاکستر آتش‌فشانی این نظریه را تأیید می‌کرد. اما این تعریف نمی‌توانست ذخایر عظیم بنتونیت با ساخت رسوبی و خاستگاه مبهم یا فاقد بقایای آتش‌فشانی را شامل شود.

### کانی‌شناسی بنتونیت

براساس تعریف جامعی که در سال ۱۹۷۲ در کنفرانس بین‌المللی AIPEA در مادرید اسپانیا مطرح شد، بنتونیت نوعی خاک رس است که بدون در نظر گرفتن خاستگاه آن، عمدتاً از کانی‌های خانواده اسمکتیت تشکیل شده است. با این تعریف، بنتونیت مخلوطی از چندین کانی رسی است که عمده آن‌ها عبارت‌اند از:

مونتموریونیت (Montmorillonite)	$m[Mg_x(Si_4O_{10})(OH)_y][P(Al,Fe)_z(Si_4O_{10})(OH)_w].nH_2O$
بیدلیت (Beidellite)	$Al_2[Si_4O_{10}][OH]_2.nH_2O$
نونترونیت (Nontronite)	$(Fe, Al)_2[Si_4O_{10}][OH]_2.nH_2O$
ساپونیت (Saponite)	$[(Mg, Al, Fe)_2(OH)_2(Si, Al)_4O_{10}]$
هکتوریت (Hectorite)	$Mg_2(Al_{1/3}Na_{1/3})Si_4O_{10}(Fe,OH)_2$
ساکونیت (Sauconite)	$[(Zn, Mg, Al, Fe)_2(OH)_2(Si, Al)_4O_{10}]$
تالک (Talc)	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
پیروفیلیت (Pyrophyllite)	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$
آتاپولژیت (Attapulgite) (پالیگورسکیت)	$(Mg, Al)_2Si_4O_{10}(OH).4H_2O$

این گروه از کانی‌های رسی از نظر شیمیایی سیلیکات‌های آبدار آلومینیم هستند. البته برخی از آن‌ها علاوه بر آلومینیم فلزاتی چون منیزیم و آهن دارند و حتی برخی بدون آلومینیم‌اند. فرمول شیمیایی اغلب آن‌ها از توانایی تبادل و تعویض کاتیونی برخوردار است و این ویژگی، فرمول شیمیایی آن‌ها را باز و تغییرپذیر می‌کند. نسبت Si/Al در ترکیب این گروه از رس‌ها یکسان نیست و مقدار آب ساختاری، آهن، منیزیم، کلسیم و سایر فلزات قلیایی نیز در ترکیب آن‌ها متفاوت است. در نتیجه فرمول شیمیایی آن‌ها نیز گویای خواص فیزیکی مشابه نیست و ساختار آن‌ها بیشتر از فرمول شیمیایی‌شان اهمیت دارد.



### مقدمه

هزاران سال پیش از آنکه نایت<sup>۱</sup> زمین‌شناس نام بنتونیت را برای خاک رسی که از شیل‌های بنتون در کوه فورت بنتون واقع در چهارصد کیلومتری شمال رودخانه راک به دست می‌آمد انتخاب کند، انسان با خواص رنگ‌بری، چربی‌زدایی و پاک‌کنندگی نوعی از بنتونیت فعال طبیعی آشنایی داشت. گل سرشوی از دیرباز نامی آشنا برای ایرانیان بوده و از خواص آن در مصارف بهداشتی، صنایع غذایی و نساجی بهره‌مندی برده‌اند.

بنتونیت یکی از خاک‌های صنعتی است که مخلوطی نسبتاً پیچیده از چندین کانی رسی به حساب می‌آید و خاستگاه‌های متنوع شکل‌گیری آن ارائه تعریفی ثابت از بنتونیت را به عنوان یک خاک صنعتی دشوار می‌کند. نخستین بار در اوایل قرن بیستم چندین زمین‌شناس بنتونیت را خاکی مرکب از یک شبه رس متبلور معرفی کردند که حاصل شیشه‌زدایی از توف و خاکسترهای آتش‌فشانی و تبلور آن‌هاست. وجود کانی‌های آذرین متبلور مانند فلدسپات‌ها، کوارتز، بیوتیت،

## بنتونیت فعال طبیعی علاوه بر مونت‌موریونیت دارای مقادیری آتاپولزیت، ایلیت، نانترونیست و کائولینیت است

گروه فوق بدون در نظر گرفتن پیروفیلیت، آتاپولزیت و تالک، گروه اسمکتیت نامیده می‌شود. بنابراین گروه اسمکتیت گروهی از کانی‌های رسی است که مونت‌موریونیت کانی اصلی آن را تشکیل می‌دهد و واژه اسمکتیت، هم به خود کانی مونت‌موریونیت و هم به گروه مونت‌موریونیت گفته می‌شود.

کانی اصلی این گروه، مونت‌موریونیت است که دارای دو نوع سدیم‌دار و کلسیم‌دار است. ساپونیت، اسمکتیت منیزیم‌دار، اسمکتیت لیتیم-منیزیم‌دار و هکتوریت جزء کانی‌های اصلی این گروه‌اند. به دلیل دانه‌ریز بودن کانی‌های رسی به دست آوردن اطلاعات ساختاری آن‌ها مانند بقیه کانی‌های ساده نیست.

ساختار عمومی گروه مونت‌موریونیت از دو ورقه سیلیکاتی تتراندردی تشکیل شده که یک ورقه اکتاندردی را در میان گرفته‌اند و می‌توان فرمول کلی  $\text{Si}_x\text{Al}_y\text{O}_p(\text{OH})_q \cdot n\text{H}_2\text{O}$  را برایشان در نظر گرفت. این ترکیب به صورت تئوریک از ۶۶/۷ درصد  $\text{SiO}_2$ ، ۲۸/۳ درصد  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و ۵ درصد  $\text{H}_2\text{O}$  تشکیل شده است. جانشینی مقادیر مختلف  $\text{Al}^{3+}$  به جای  $\text{Si}$  و سایر کانی‌های فلزی به جای  $\text{Al}^{3+}$  در لایه اکتاندردی موجب جذب کاتیون‌های فلزی گوناگون تا رسیدن به توازن بارهای الکتریکی می‌شود و تنوع چشمگیری در ترکیب شیمیایی کانی‌های این گروه به وجود می‌آورد.

با توجه به آنچه گفته شد فرمول کلی بنتونیت را می‌توان به صورت  $\text{M}(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_x(\text{Al}, \text{Si})_y\text{O}_p(\text{OH})_q \cdot n\text{H}_2\text{O}$  در نظر گرفت که در آن  $\text{M} = \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}, \text{K}, \text{Li}$  است. مقادیر  $\text{Mg}$ ،  $\text{Fe}$ ،  $\text{Al}$  داخل پرانتز تثبیت شده و  $n$  تعداد مولکول آب ساختاری را نشان می‌دهد.

بنتونیت فعال طبیعی علاوه بر مونت‌موریونیت دارای مقادیری آتاپولزیت، ایلیت، نانترونیست و کائولینیت است. در بیشتر بنتونیت‌های فعال طبیعی یا رس‌های جاذب نسبت  $\text{Si}/\text{Al}$  بالا و بین ۴ تا ۶ است. هم‌چنین این بنتونیت‌ها حاوی مقادیر بالایی سیلیس آبدار هستند که ممکن است در خاصیت رنگ‌زدایی بنتونیت مؤثر باشند. برخی از بنتونیت‌ها با اینکه فاقد هرگونه اسید آزاد در ترکیب خود هستند، خاصیت اسیدی و قدرت جذب مواد قلیایی را دارند.

بنتونیت سدیم  
گل‌های حفاری، ماسه ریخته‌گری، گندله‌سازی، غذای حیوانات، نیازهای مهندسی عمران.

بنتونیت سدیم  
گل‌های حفاری، ماسه ریخته‌گری، گندله‌سازی، غذای حیوانات، نیازهای مهندسی عمران.

بنتونیت سدیم  
گل‌های حفاری، ماسه ریخته‌گری، گندله‌سازی، غذای حیوانات، نیازهای مهندسی عمران.

بنتونیت سدیم‌دار که در آن  $\text{M} = \text{Ca}$  است. ظرفیت تورمی بنتونیت‌های کلسیم‌دار در مقایسه با بنتونیت‌های سدیم‌دار کمتر و تنها اندکی از رس‌های معمولی بیشتر است. این رس در آب به صورت گلوله‌های ریز یا دانه‌های بهم چسبیده درمی‌آید.

بنتونیت معروف به خاک اسیدی (Acid Earth) که در آن بخشی از فلزات قلیایی و قلیایی خاکی ( $\text{Na}$ ،  $\text{K}$ ،  $\text{Mg}$ ،  $\text{Ca}$ ) سایت  $\text{M}$  با  $\text{H}$  جانشین شده است. این هیدروژن در محیط محلول قابلیت تعویض با کاتیون‌های قلیایی را دارد. این خاصیت موجب می‌شود این خاک با اینکه فاقد خاصیت اسیدی است بتواند عناصر قلیایی محیط را جذب کند و موجب خنثی شدن بازها شود.

کاربرد این بنتونیت‌ها به‌طور خلاصه به شرح زیر است.  
بنتونیت کلسیم  
در ماسه ریخته‌گری، جاذب‌های روغن و گریس، فیلتر کردن و تصفیه، غذای دام و حیوانات اهلی.

بنتونیت سدیم  
گل‌های حفاری، ماسه ریخته‌گری، گندله‌سازی، غذای حیوانات، نیازهای مهندسی عمران.

بنتونیت سدیم  
گل‌های حفاری، ماسه ریخته‌گری، گندله‌سازی، غذای حیوانات، نیازهای مهندسی عمران.

### کاربردهای بنتونیت

کاربردهای فراوان انواع بنتونیت‌ها به شدت

مصرف عمده خاک  
اسیدی به‌عنوان جاذب  
برای نفت و گریس است  
و در پوشش کف لانه  
حیوانات اهلی و خانگی  
نیز از این دانه‌ها استفاده  
می‌شود، چون علاوه بر  
گرم و نرم بودن در کف  
لانه، فضولات حیوانات را  
جذب می‌کند

است. در این میان ایالات متحده بزرگ‌ترین مصرف کننده در این صنعت به‌شمار می‌رود، به‌طوری که در سال ۱۹۸۱ به تنهایی حدود ۹۴۰ هزار تن، یعنی نصف مصرف دنیای غرب را به خود اختصاص داده است.

#### ماسه ریخته‌گری

ماسه به‌تنهایی قابلیت چسبندگی ندارد. اگر قالب‌های ریخته‌گری با ماسه خالص ساخته شوند قبل یا در موقع ریخته‌گری از هم پاشیده می‌شوند. برای جلوگیری از این نقیصه از خاصیت چسبندگی بنتونیت استفاده می‌شود. به ماسه‌های ریخته‌گری مقداری بنتونیت که از ۱۵ درصد تجاوز نمی‌کند، می‌افزایند. این ماسه‌های بنتونیت‌دار برای فرم دادن فلزات و آلیاژها به‌صورت ریخته‌گری بارها مورد استفاده قرار می‌گیرند. فاصله زمانی استفاده مجدد ممکن است از یک ساعت کمتر باشد و چون فلزات با دمای بالایی داخل قالب ریخته می‌شوند، ممکن است باعث از بین بردن خواص مطلوب بنتونیت که به آن خاصیت چسبندگی

از نوع سدیک یا تورم‌پذیر است. بنتونیت کلسیم یا خاک اسیدی به‌ندرت برای این کار مصرف می‌شود.

برای این کار آن‌ها را به‌صورت گل (مخلوط ساده بنتونیت با آب) که به گل وانیلاً معروف است درمی‌آورند و در چاه‌ها و گمانه‌های حفاری تزریق می‌کنند تا دیواره آن‌ها را به‌صورت ژل بپوشاند، ترک و شکاف‌های دیواره گمانه‌ها را پر کند و موجب کاهش آب تزریقی در گمانه شود. لیزی و سیلان آن (در اثر جریان‌یابی) حرکت دستگاه حفاری را در گمانه‌های آسان‌تر می‌کند.

در گمانه‌هایی که نزدیکی دریا یا در میان سازندهای آبدار حفر می‌شوند، تزریق بنتونیت به‌تنهایی یا مخلوط با مواد دیگر مانع نفوذ بیش از حد آب به داخل این گمانه‌ها می‌شود.

بیشترین کاربرد بنتونیت برای گل حفاری در فاصله بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۸۱ در سال ۱۹۸۱ بوده است، چنان‌که کشورهای غربی در این سال حدود ۱/۸ میلیون تن بنتونیت در چاه‌های نفت مصرف کردند که اغلب از نوع سدیک بوده

رس‌های مونت‌مورینونی  
در برخی از صنایع  
کشاورزی کاربرد دارند  
که عبارت‌اند از: تهیه  
سموم کشاورزی به‌عنوان  
ناقل، کودهای کشاورزی  
برای حاصل‌خیزی خاک  
و گلوله‌سازی غذای  
حیوانات

مصرف ایالات متحده در سال برای مصرف در لانه حیوانات اهلی و خانگی باشد.

### بی‌رنگ کننده (رنگ‌زدایی یا سفید کردن)

از بنتونیت به‌طور وسیع در رنگ‌زدایی روغن‌ها استفاده می‌شود و هدف از آن، تصفیه‌سازی و حذف بعضی مواد از روغن است که البته وجود این مواد در محصول نهایی روغن مطلوب نیست.

رنگ‌زدایی در مورد همه انواع روغن‌های حیوانی، نباتی و معدنی انجام می‌شود. روغن‌هایی از قبیل تخم‌کتان، سویا، نارگیل و غیره نیز با بنتونیت رنگ‌زدایی و خالص می‌شوند تا در ساخت صابون، رنگ‌ها و محصولات خوراکی به‌کار روند. ضد عفونی کردن، هیدروژن‌زدایی، خنثی‌سازی و رنگ‌زدایی روغن نیز با بنتونیت انجام می‌شود.

برای تصفیه روغن، مقدار ۰/۵ تا ۳۰ درصد وزنی آن از خاک استفاده می‌شود، ولی به‌هنگام فیلتر کردن آن اگر این خاک به اندازه کافی فعال نشده باشد ممکن است مقداری از روغن را در خود نگه دارد. خاک‌هایی که بدین منظور به‌کار می‌روند یا به‌صورت طبیعی فعال‌اند (خاک طبیعی فعال) یا پس از فعال‌سازی شیمیایی یا فیزیکی به‌صورت فعال درمی‌آیند. برای این منظور سه نوع خاک فعال کاربرد دارد: ۱. خاک‌های طبیعی فعال؛ ۲. خاک‌های فعال‌شده بنتونیتی؛ ۳. بوکسیت فعال‌شده.

رس‌های طبیعی فعال در طبیعت به‌همان صورت که در صنعت به‌کار می‌روند وجود دارند و احتیاج به فعال کردن اسیدی ندارند. پلاستیسیته این خاک‌ها زیاد نیست، آب فراوان دارند و ساختمان آن‌ها ورق‌شکل است و با از دست دادن آب به‌زبان می‌چسبند که این از ویژگی‌های بارز آن‌هاست.

بنتونیت‌های فعال‌شده نیز از خاک‌های بنتونیتی که توانایی فعال شدن با اسید معدنی را دارند به روش مخصوص تهیه می‌شوند و قدرت رنگ‌بری آن‌ها چندین برابر رس‌های طبیعی فعال است. این خاک‌ها به‌ویژه برای ساختن کاغذهای کاربن بدون کربن به‌کار می‌روند.

بوکسیت‌های فعال‌شده نیز از حرارت دادن ماده معدنی بوکسیت به‌دست می‌آیند و فقط برای تصفیه روغن‌های نفتی و به‌صورت دانه‌ای به‌کار می‌روند.

بیشتر گلیسرین‌هایی که از گیاهان یا حیوانات به‌دست می‌آیند باید قبل از مصرف بی‌رنگ شوند. برای این منظور از رس‌های رنگ‌زدا با دو

می‌دهد شوند. چون سطحی که در تماس مستقیم با فلز است بیشترین صدمه را می‌بینید، در بعضی ریخته‌گری‌ها قالب دو قسمتی تهیه می‌کنند و فقط بنتونیت قسمت رویی را ترمیم می‌کنند. هرچه این قسمت نرم‌تر و صاف‌تر باشد محصول ریخته‌گری هموارتر است و احتیاج به سوهان‌کشی و پرداخت کمتری خواهد داشت. بنابراین باید خاک‌هایی به‌کار گرفته شوند که با ماسه سازگاری بهتری داشته باشند. به‌طوری کلی بنتونیت‌های سدیم‌دار با ماسه سازگارترند. در مواردی که بنتونیت سدیم‌دار در دسترس نباشد از بنتونیت‌های کلسیم‌دار استفاده می‌شود و افزودن کربنات سدیم به آن‌ها خاصیت چسبندگی می‌بخشد. اصولاً هر نوع ریخته‌گری بر حسب نوع فلز، حجم قالب و مقدار تولید برای خود مشخصه‌هایی از نظر مقاومت در برابر حرارت و غیره برای بنتونیت قائل است.

### گندله‌سازی در صنعت فولاد

از خاصیت چسبانندگی بنتونیت برای گلوله کردن سنگ آهن کنسانتره استفاده می‌شود. برای این منظور بنتونیت را به‌صورت مرطوب با کنسانتره سنگ آهن مخلوط می‌کنند و از روی یک صفحه مدور گردان عبور می‌دهند. در اثر نیروی گریز از مرکز و غلتیدن مخلوط، دانه‌های گردنخودی شکلی از آن حاصل می‌شود. این دانه‌های نخودی‌شکل که گندله نامیده می‌شوند، در کوره پخته و مقاوم می‌شوند تا هنگام ذوب خرد نشوند. بنتونیتی که بدین منظور به‌کار می‌رود از نوع چسبنده بوده و باید مقاومت کافی در حالت تر و خشک داشته باشد. برای آزمایش مقاومت در حالت تر و خشک، آن‌ها را روی یک صفحه گردان پرتاب می‌کنند و درصد خرد شدن و میزان مقاومت آن‌ها را اندازه می‌گیرند.

### دانه‌های جاذب

مصرف عمده خاک اسیدی به‌عنوان جاذب برای نفت و گریس است و در پوشش کف لانه حیوانات اهلی و خانگی نیز از این دانه‌ها استفاده می‌شود، چون علاوه بر گرم و نرم بودن در کف لانه، فضولات حیوانات را جذب می‌کند.

مشخصه‌هایی از نظر سختی و سفتی برای رس‌های جاذب ارائه نشده است و اغلب از موارد ارزان قیمت استفاده می‌کنند. معمولاً «بنتونیت مصرفی در این صنعت به‌صورت دانه‌ای (غیر پودر) در بازار عرضه می‌شود. شاید ۵۵ تا ۷۰ درصد

**بنتونیت به‌صورت گل در نیازهای مهندسی عمران در پی‌ریزی‌های هابه‌صورت دیواره‌های ساختمان، شمع کوبی، دوغاب کردن و روان‌سازی مصالح بنایی به‌کار می‌رود. هم‌چنین در کارهای مختلف تونل‌سازی نیز کاربرد دارد**

**مقادیر ناچیز  
بنتونیت در  
جذب روغن و  
گریس در صنایع  
رنگ سازی، تولید  
کاغذ، محصولات  
آرایشی،  
حشره کش ها و در  
صنایع سرامیک  
به کار می رود**

اقدام به تصفیه روغن می کنند تا ارزش افزوده را از آن خود کنند.

این موضوع به ویژه در مورد مالزی که بزرگترین تولیدکننده روغن نخل دنیاست، صد درصد صدق می کند. روغن نخل بخش بزرگی از دانه های روغنی اقتصادی و مفید دنیاست.

از یک هکتار نخل روغنی هر سال بین ۴ تا ۵ تن روغن خوراکی به دست می آید، گرچه مصارف شیمیایی آن نیز در حال افزایش است. تولید روغن نخل کشورهای آسیایی (اندونزی، مالزی، فیلیپین، سنگاپور و تایلند) حدود ۶ میلیون تن روغن خام نخل، یعنی ۷۰ درصد تولید روغن دنیاست. تولید روغن هسته خرما نیز در آسیا بیشتر از سایر نقاط دنیاست. در سال ۱۹۸۷ مقدار روغن شلغم ۲/۲ میلیون تن و روغن خرما ۷۰۰ تن بوده است.

تحقیقات زیادی در حال انجام است تا بتوانند روغن نخل را به صورت یک غذای ویژه با ارزش در آورند و به کشورهای توسعه یافته صادر کنند تا از افت قیمت آن جلوگیری شود.

در طول عمل فیلتره کردن ۲۰ تا ۳۰ درصد روغن نخل از بین می رود. هر چه روغن های نباتی افزایش مصرف داشته باشند تقاضا برای خاک بی رنگ کننده نیز افزایش می یابد و هر چه کشورهای تولید کننده روغن خود به رنگ زدایی و تصفیه روغن اقدام کنند، الگوی عرضه و تقاضای دنیا برای بنتونیت بیشتر به هم خواهد خورد، مصرف خاک بی رنگ کننده در کشورهای مهم صنعتی پایین می آید و در کشورهای تولید کننده روغن بالا خواهد رفت. در روغن های اصلی معدنی هم مونت مورینیت و هم آتاپولژیت برای فیلتر کردن روغن به کار می روند. انواع روغن های اصلی معدنی که بدین وسیله تصفیه می شوند عبارت اند از: نفت، روغن سوخت، روغن های روان ساز (روغن موتورها)، واکس ها و گریس ها.

روغن های معدنی روان ساز<sup>۳</sup> را برای تصفیه باید تا ۳۰۰ درجه در خلأ حرارت داد. ناگفته نماند که جدا کردن کامل اجزای موجود در روغن های مخصوص توربین ها و عایق های الکتریکی با اسید سولفوریک قوی و سپس تصفیه آن با خاک انجام می گیرد.

خاک های فعال شده سفید کننده برای احیای روان سازها اهمیت دارد، ولی این امر به سادگی تصفیه سایر روغن ها در ۸۰ تا ۱۱۰ درجه سانتی گراد نیست. در این مورد روغن ها را با اسید سولفوریک می آمیزند تا ناخالصی های آن ها با اسید ترکیب و به صورت رسوب از روغن جدا شود.

روش تصفیه فیزیکی با بخار و شیمیایی استفاده می شود. در تصفیه فیزیکی ناخالصی های روغن را با تبخیر کردن آن قبل از سفید کردن جدا می کنند و سپس با اسید سولفوریک یا اسید سیتریک و ۵/۰ تا ۲ درصد خاک بی رنگ کننده فعالی آن را بی رنگ می کنند. این عمل در زمانی معادل ۱۰ تا ۱۵ دقیقه و در ۹۰ درجه سانتی گراد در خلأ انجام می شود. از این روش بیشتر برای بی رنگ کردن روغن نخل استفاده می شود، ولی گاه روغن ذرت، سویا، شلغم روغنی، چربی دانه های روغنی و چربی های حیوانی را با این روش بی رنگ می کنند. در روش شیمیایی نمک ها و صمغ را به کمک اسید جدا می کنند یا روغن خنثی شده با قلیا را برای جدا کردن هر نوع اسید چرب آزاد با آب می شویند و سپس خاک فعال شده به آن اضافه می کنند و به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه در ۹۰ درجه سانتی گراد و در خلأ (برای روغن نخل در ۱۴۰ درجه سانتی گراد) نگه می دارند. کیفیت خاک فعال شده بسته به رنگی است که انتظار دارند روغن رنگ مزبور را به خود بگیرد و معمولاً مقدار این خاک ۲۵/۰ تا ۲ درصد است.

به روغن های بزرگ و سویا که مصارف فنی دارند، مشابه روغن های خوراکی خاک می افزایند و ۲۰ تا ۳۰ دقیقه آن را در ۸۰ تا ۱۱۰ درجه سانتی گراد حرارت می دهند.

برای تهیه صابون های سفید کننده معمولاً لازم است که روغن ها و چربی های مورد استفاده را قبل از تبدیل به صابون سفید کنند و بدین منظور روغن و چربی ها را با ۲ تا ۴ درصد خاک سفید کننده به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه در ۹۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد حرارت می دهند و سپس فیلتر می کنند.

بیشترین مصرف این خاک برای سفید کردن در روغن های نباتی و پس از آن روغن نخل است که سالانه حدود ۱۰ میلیون تن روغن نخل تولید می شود. تولیدکنندگان عمده روغن نباتی کشورهای آرژانتین، برزیل، کانادا، چین، هند، اندونزی، ایتالیا، مالزی، نیجریه، فیلیپین، ایالات متحده و روسیه هستند.

در گذشته روغن های خام در کشورهای مصرف کننده (کشورهای صنعتی) رنگ زدایی و تصفیه می شدند و روغن خام از کشورهای تولید کننده به همان صورت خام خریداری و به صورت فله به کشورهای صنعتی حمل می شد، ولی در حال حاضر کشورهای تولید کننده خود

سپس بنتونیت فعال شده را به روغن اضافه می‌کنند و ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه حرارت می‌دهند و از داخل آن بخار رد می‌کنند و آن‌گاه خاک مصرف‌شده را با فیلتر جدا می‌کنند. مقدار خاک مورد نیاز برای این عمل ۳ تا ۵ درصد وزن روغن است.

#### مصارف کشاورزی

رس‌های مونت‌موریونیتی در برخی از صنایع کشاورزی کاربرد دارند که عبارت‌اند از: سموم کشاورزی به‌عنوان ناقل و کودهای کشاورزی برای حاصل‌خیزی خاک، که مصرف آن در این موارد از کشوری به کشور دیگر و از سالی به سال دیگر با توجه به تغییرات آب‌وهوایی در تغییر است.

#### گندله‌سازی غذای حیوانات

بنتونیت‌های سدیم و کلسیم، هر دو برای گلوله کردن و تشکل غذاهای خشک حیوانی به‌ویژه در آمریکا به کار می‌روند. سپیولیت، کائولن، آتاپولزیت و مواد آلی چسباننده چون لیگنوسولفات<sup>۴</sup> نیز بدین منظور به کار می‌روند. وقتی بنتونیت به اندازه ۲/۵ درصد کل وزن ماده به غذای حیوانات اضافه شود، شیر گاوها را افزایش می‌دهد و در غذای پرندگان خانگی و بوقلمون نیز کیفیت و کمیت تخم‌مرغ را بالا می‌برد.

در سال ۱۹۸۸ محققان دانشگاه نیوانگلند استرالیا متوجه شدند که اضافه کردن ۱۸ گرم بنتونیت به آب شرب گوسفندها پشم آن‌ها را به اندازه ۲ گرم در روز افزایش می‌دهد. به‌همین دلیل اعلام داشتند که بنتونیت از نظر افزایش تولید پشم پتانسیل خوبی دارد و اضافه کردن آن به آب آبیاری برای ترمیم چراگاه‌ها و ترمیم تغذیه نیز مؤثر است و از مرگ‌ومیر بره‌ها جلوگیری می‌کند.

#### مواد سمی

سموم به‌صورت گرد یا محلول روغنی تهیه می‌شوند. مونت‌موریونیت‌ها یکی از چندین نوع پودری هستند که در فرمول سموم گردی یا دانه‌ای شکل قابل حل در آب وجود دارند. خاصیت مونت‌موریونیت در این سموم ناقل است و برای علف‌کشی و دفع آفات نباتی به کار می‌رود و مصرف آن به‌همین جهت در آمریکا در سال ۱۹۸۵ حداکثر ۱۴۹۰۰۰ تن بوده است. آتاپولزیت نیز بدین منظور به کار رفته است و حدود ۳ درصد مصرف کل مونت‌موریونیت آمریکا را تشکیل می‌دهد. بنتونیت سدیم و کلسیم به‌دلیل گران‌تر بودن کمتر

از خاک مونت‌موریونیت اسیدی و آتاپولزیت مصرف می‌شوند.

در ژاپن بنتونیت برای تهیه حشره‌کش مصرف می‌شود و در سال ۱۹۸۳ مقدار آن ۴۶۹۰۰ تن (یعنی حدود ۱۳ درصد کل مصرف بنتونیت ژاپن) گزارش شده است.

آمار مصرفی در اروپا در این‌باره داده نشده و به احتمال زیاد به‌دلیل وجود بارندگی شدید در فصول سمپاشی به‌نظر می‌رسد که کشورهای اروپایی از سموم گردی استفاده نمی‌کنند، بلکه از سموم روغنی بهره می‌گیرند. اندازه ذرات بنتونیت ناقل ۰/۵ تا ۴ میکرون است و مقدار آن در حشره‌کش‌های گردی نیز شاید ۱ درصد باشد ولی معمول آن ۵ تا ۱۰ درصد است. انتخاب نوع ناقل مربوط به عوامل فنی از قبیل اندازه ذرات، قابلیت تر شدن با آب و قیمت آن است. با توجه به کنترل‌های محیط‌زیستی شدید، میزان استفاده از سم‌های گردی شکل پایین آمده است.

از مونت‌موریونیت، آتاپولزیت و سپیولیت در بریتانیا برای تهیه دانه‌های حشره‌کش (نه به‌صورت گرد) استفاده می‌شود.

بعضی کشورها به‌جای مصرف بنتونیت از دیاتومیت و باطله‌های زغال‌سنگ استفاده می‌کنند. دیاتومیت ماده خوبی است، ولی گران‌تر از رس‌هاست.

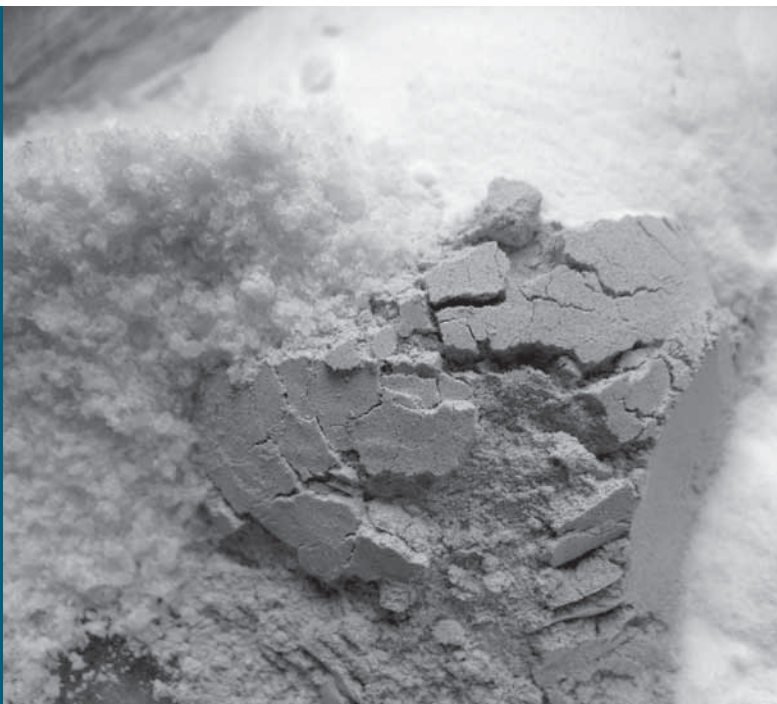
#### کودها

در کودها نیز مونت‌موریونیت به‌عنوان ناقل کاربرد دارد، گرچه مقدار مصرف آن در این صنعت زیاد نیست، ولی به‌هرحال مصرف دارد، به‌طوری که در آمریکا حدود ۲ درصد کل مصرف بنتونیت را تشکیل می‌دهد. خاک مونت‌موریونیت اسیدی بیشتر از همه انواع مصرف می‌شود.

آتاپولزیت نیز کم‌وبیش در آمریکا بدین منظور مصرف می‌شود و در سال‌های ۱۹۸۰ مقدار مصرف آن حدود ۴۳۰۰۰ تا ۵۶۰۰۰ تن در سال بوده است.

#### نیازهای مهندسی عمران

بنتونیت به‌صورت گل در نیازهای مهندسی عمران در پی‌ریزی‌ها به‌صورت دیواره‌های ساختمان، شمع کوبی، دوغاب کردن و روان‌سازی مصالح بنایی به کار می‌رود. هم‌چنین در کارهای مختلف تونل‌سازی نیز کاربرد دارد. گل‌های محتوی ۴ تا ۸ درصد بنتونیت برای



دو غاب کردن به کار می‌روند. این گل مانع حرکت آب در داخل خاک می‌شود. هم‌چنین از حرکت آب در داخل شکاف‌ها و درزه‌های سنگ و ساختمان‌های با بنای سنگی جلوگیری می‌کند. برای مثال می‌توان در صورت تزریق گل از جریان آب در شن‌های ساحلی جلوگیری کرد. هم‌چنین مانع نفوذ آب استخر به آن طرف دیواره‌ها می‌شود و در صورتی که به داخل ماسه‌ها تزریق شود احتیاج به دیواره‌سازی ندارد و سدی در مقابل آب خواهد شد. بنتونیت به‌عنوان روان‌ساز در حفر گمانه‌ها و در مصالح ساختمانی برای بتن و شفته‌ریزی به کار می‌رود.

اگر گل بنتونیتی دو دوغاب‌های بنتونیتی به‌تنهایی به کار روند، ممکن است زل‌های تشکیل‌شده در اثر لرزش شکسته شوند و به هم بریزند. برای جلوگیری از این کار باید بنتونیت را با سیمان یا سیلیکات‌های اصلی مخلوط کرد.

یکی از مصارف عمده بنتونیت در مهندسی عمران تهیه بتن‌های پلاستیک است. اختلاط آن با سیمان یا بتون دوامی بیشتر از سنگ نسوز سخت بدان می‌بخشد و از ترکیدن آن جلوگیری می‌کند. بتون پلاستیکی را برای ساختن دیواره‌های غیرقابل نفوذ در استخرهای بزرگ آب و هم‌چنین در اطراف کارگاه‌های شیمیایی به کار می‌برند.

### کاتالیزور

بنتونیت نیز همچون مواد آلی مختلف دارای خاصیت کاتالیزوری است، ولی این خاصیت در همه انواع آن به یک اندازه نیست. این خاصیت همراه با خواص دیگر نقش مهمی در استفاده صنعتی از این خاک‌ها دارد که از آن جمله تهیه گازوئیل و بعضی از روغن‌های بی‌رنگ است. تولید موفقیت‌آمیز کاتالیزورهای خاکی برای تجزیه و رقیق کردن نفت<sup>۵</sup> و تهیه گازوئیل اهمیت ویژه‌ای دارد. انواع خاک‌هایی که بدین منظور استفاده می‌شوند عبارت‌اند از: مونت‌موریونیت، هالووزیت و کانولینیت. آهن موجود در چنین مونت‌موریونیتی باید خیلی کم باشد.

### مصالح ساختمانی

بنتونیت در بعضی از مصالح ساختمانی از جمله آجرها، سیمان پرتلند، مخلوط با گچ، لوله‌های فاضلاب و رنگ‌های ساختمانی به کار می‌رود. اطلاعات مربوط به این مصارف برای بهبود بخشیدن به کیفیت مواد مذکور جزو اسرار شرکت‌ها

به حساب می‌آید و آماری از این نظر ارائه نمی‌شود.

### سایر مصارف

علاوه بر کاربردهای فوق، بنتونیت کاربردهای دیگری نیز در بعضی صنایع دارد که آماری از آن‌ها در دست نیست.

این کاربردها به شرح زیر است:

سرامیک‌های بدنه سفید دارای مقادیر قابل توجهی مونت‌موریونیت و مقداری خاک رس‌های نوع دیگر هستند.

**تصفیه آب:** این مصرف محدود است و بیشتر اختصاص به جمع کردن خمیرهای کاغذ از آب‌های کثیف و آلوده دارد.

بنتونیت به خصوص از نوع سدیم در جوش کاری برای کمک به خارج کردن قسمت ذوب شده به کار می‌رود.

زل‌های بنتونیتی برای تغلیظ صابون‌هایی چون صابون لیتیموم و کلسیم و سدیم به کار می‌رود. مقدار ۵ تا ۱۰ درصد بنتونیت به روغن‌های معدنی مخصوص تهیه گریس در حرارت‌های بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه می‌افزایند تا غلظت آن‌ها را بالا ببرند.

در داروسازی و خمیرهای زیبایی نیز انواعی از بنتونیت مصرف می‌شود، مثل کرم‌ها، پودرهای پا و بدن، کرم‌های صورت و گل‌های درمانی. برای این



کاربردها بنتونیت سدیم بر بنتونیت کلسیم برتری دارد.

در کاغذسازی برای غیرشفاف کردن کاغذهای نازک و کاغذهای کپی دار بدون کاربن نیز بنتونیت به کار می‌رود.

هم‌چنین این ماده به‌عنوان ناقل در تهیه انواعی از مرکب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بنتونیت برای تهیه مدادهای گرافیتی به‌عنوان چسباننده نیز کاربرد دارد.

در معادن زغال‌سنگ برای جلوگیری از خودسوزی زغال‌سنگ روی سنگ‌زغال و هم‌چنین دیواره حائل کارگاه‌های استخراج‌شده دوغاب بنتونیت پاشیده می‌شود تا از نفوذ هوا و در نتیجه خودسوزی آن جلوگیری به‌عمل آید. هم‌چنین به قسمت آتش‌گرفته نیز دوغاب و پودر بنتونیت برای مسدود کردن هوای ورودی به آن قسمت پاشیده می‌شود.

برای تعویق انداختن آتش‌سوزی به‌ویژه در آتش‌سوزی جنگل‌ها بنتونیت به‌صورت پودر مرطوب روی درخت‌های سالم پاشیده می‌شود.

بنتونیت نوع سدیم‌دار متورم‌شونده در بسیاری از پاک‌کننده‌های منسوجات به‌کار برده می‌شود. به‌عنوان پرکننده یا چسباننده در ترکیب عایق‌های الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از بنتونیت کلسیم‌دار یا انواع متورم‌شونده آن در ساختن حباب چراغ‌ها استفاده می‌شود.

سایر موارد کاربرد بنتونیت عبارتند از: آب‌بندی و درزگیری برکه‌های آب.

استخرهای مواد لبنی، فاضلاب، مواد غذایی و غیره. تصفیه آب و فاضلاب.

حوضچه‌های نگه‌داری مایعات خطرناک و غیر خطرناک.

جاذب کلیه بوهای طبیعی. حمام مواد معدنی و سمی به‌عنوان جاذب.

پاک‌سازی ماسک‌های زیبایی صورت به‌منظور جذب ناخالصی‌ها.

تزییق به درون ترک‌ها و شکستگی‌ها برای جلوگیری از ورود آب به تأسیسات.

مقادیر ناچیز بنتونیت در جذب روغن و گریس در صنایع رنگ‌سازی، تولید کاغذ، محصولات آرایشی، حشره‌کش‌ها و در صنایع سرامیک به‌کار می‌رود.

فرایند ساخت الکل. تولید برخی از صابون‌ها.

کنترل گرد و غبار. ضدآب کردن پی و سازه‌های زیرزمینی.

تثبیت درازمدت خاک.

پاک‌کنندگی روده بزرگ.

مصارف خوراکی و درمانی.

پوشش عایق مخازن و لوله‌های فاضلاب خانگی. روان‌ساز و پرکننده در عملیات شمع‌کوبی مهندسی عمران.

هکتوریت (مونت‌موریونیت منیزیم و لیتیوم) در رنگ‌سازی به‌عنوان مواد پرکننده به‌کار می‌رود.

در صنعت پرورش کرم ابریشم. جدا کردن لجن‌های اسیدی از روغن‌های صنعتی.

### شکل‌گیری ذخایر بنتونیت

به‌طور کلی کانی‌های رسی حاصل تخریب مکانیکی و شیمیایی سنگ‌ها هستند. شکل‌گیری بنتونیت و کانی‌های سازنده آن نیز بر همین اصل استوار است. اما شیوه‌های گوناگون تأثیر عوامل تخریب مکانیکی و شیمیایی روندهای گوناگون شکل‌گیری بنتونیت را در پنج گروه زیر جای می‌دهد.

۱. بنتونیت‌های حاصل از فرسایش و هوازدگی آب و هوایی سنگ‌های آتش‌فشانی و سایر سنگ‌های آذرین؛

۲. بنتونیت‌های حاصل از هوازدگی سنگ‌های اولیه و سپس حمل شدن به یک محیط رسوبی و نهشته شدن در آنجا؛

۳. بنتونیت به‌صورت برجای مانده روی سنگ مادر هوازده؛

۴. بنتونیت حاصل از دگرسانی گرمایی گسترده سنگ‌های آتش‌فشانی یا آذرآواری؛

۵. بنتونیت‌های دارای منشأ نامشخص و مبهم.

### بنتونیت در ایران

ذخایر و منابع بنتونیت ایران در شش ناحیه متمرکز شده‌اند:

۱. ناحیه بنتونیتی سمنان-تروند

ذخایر بنتونیت واقع در این محدوده از نظر کیفیت بسیار مرغوب و از دیدگاه حجم ذخیره قابل توجه‌اند. از معادن فعال بنتونیت این ناحیه می‌توان به معادن رشم و سوسن‌دار اشاره کرد.

۲. ناحیه بنتونیتی البرز-آذربایجان

ذخایر بنتونیت این ناحیه بیشتر وابسته به

**بنتونیت نیز همچون مواد آلی مختلف دارای خاصیت کاتالیزوری است، ولی این خاصیت در همه انواع آن به یک اندازه نیست. این خاصیت همراه با خواص دیگر نقش مهمی در استفاده صنعتی از این خاک‌ها دارد که از آن جمله تهیه گازوئیل و بعضی از روغن‌های بی‌رنگ است**

**ذخایر بنتونیت  
ایران مرکزی عمدتاً  
در سازندهای  
آذرآواری و  
توف‌های  
آتش‌فشانی  
تشکیل شده‌اند که  
در گستره زمانی-  
مکانی وسیعی  
در حد فاصل  
ائوسن تا ائوسن  
بالایی، الیگوسن  
و میوسن (؟)  
تشکیل شده‌اند.  
با این همه در این  
زون کانسارهای  
پراکنده‌ای نیز به  
چشم می‌خورند  
که از دیدگاه  
چینه‌شناسی قابل  
ردیابی نیستند**

نخست تاسوم تولید بنتونیت را در اختیار داشته‌اند. ایران با همین میزان تولید بنتونیت نیازهای داخلی خود را برطرف می‌کند، اما با داشتن بیش از یک صد معدن و اندیس شناخته شده بنتونیت و داشتن نزدیک به ۲۴/۴ میلیون تن ذخیره قطعی بنتونیت با تولید ۱۹۳/۰۰۰ تن بنتونیت در سال ۱۳۸۳ تنها سهمی معادل ۱/۸ درصد از تولید جهانی را در اختیار دارد و در مقام دوازدهمین تولیدکننده این ماده معدنی قرار گرفته است. در همین سال ایران ۱۱۸/۰۰۰ تن بنتونیت صادر و ۹۴۰ تن از همین ماده معدنی را وارد کرده است.

### نتیجه‌گیری

بنتونیت یکی از مواد معدنی است که از دیرباز ویژگی‌های سودمندش برای ایرانیان شناخته شده بوده، اما با وجود کاربردهای نوین صنعتی که در دو قرن اخیر برای انواع آن تعریف شده، بهره‌برداری از ذخایر متعدد و گوناگون بنتونیت کشور تنها محدود به ذخایر بنتونیت سدیم و عمدتاً برای مصرف در تهیه گل حفاری است. ایران با دارا بودن پتانسیل اقتصادی بهره‌برداری از ذخایر عظیم بنتونیت خود می‌تواند جایگاهی به مراتب بالاتر را در میان تولیدکنندگان این ماده معدنی داشته باشد. صنعت فراوری بنتونیت کلسیم‌دار، تولید بنتونیت فعال و نیز توجه به سایر کاربردهای بنتونیت یکی از افق‌های سودآور صنعت کانی‌های غیرفلزی کشور است که باید مورد توجه قرار گیرد.

دگرسانی رسوبات آذرآواری ائوسن هستند. کیفیت و حجم ذخایر واقع در بخش البرز در مقایسه با آذربایجان چشم‌گیرتر است. معدن بنتونیت فاجان، گویچ و اوشار از مهم‌ترین ذخایر بنتونیت فعال در این ناحیه‌اند.

۳. ناحیه بنتونیتی خاور ایران  
ذخایر بنتونیت واقع در این ناحیه که از دیدگاه جغرافیایی عمدتاً در استان خراسان جنوبی قرار دارند از کیفیت مرغوب و حجم ذخیره قابل توجهی برخوردارند. معدن خوشاب، گل‌کن و گناباد در این ناحیه واقع شده‌اند.

۴. ناحیه بنتونیتی ایران مرکزی  
ذخایر بنتونیت ایران مرکزی عمدتاً در سازندهای آذرآواری و توف‌های آتش‌فشانی تشکیل شده‌اند که در گستره زمانی- مکانی وسیعی در حد فاصل ائوسن تا ائوسن بالایی، الیگوسن و میوسن (؟) تشکیل شده‌اند. با این همه در این زون کانسارهای پراکنده‌ای نیز به چشم می‌خورند که از دیدگاه چینه‌شناسی قابل ردیابی نیستند. کانسارهای مهریجان در استان اصفهان، سیاه‌کوه در استان تهران و چاه‌کم در طبس از مهم‌ترین این ذخایرند.

۵. ناحیه بنتونیتی تفرش- تکاب  
این ناحیه که در راستای محور تفرش- ساوه- آوج- جنوب زنجان تا تکاب کشیده شده یک افق بنتونیتی شده از نوع استراتیفرم با سن الیگوسن را شامل می‌شود که ذخایر آن از کیفیت خوب اما حجم متغیر برخوردارند.

۶. ناحیه بنتونیتی زاگرس  
ذخایر بنتونیت این ناحیه عمدتاً از نوع رسوبی‌اند و ذخایر مناسب کوچک و بزرگی را شامل می‌شوند، اما به دلیل شرایط استخراج زیرزمینی شان در حال حاضر بهره‌برداری از آن‌ها مقرون به صرفه نیست. ذخایر بنتونیت مانیان جهرم و سپیدان فارس از ذخایر بنتونیت این ناحیه به شمار می‌روند.

### تولید بنتونیت در ایران و جهان

براساس آمار مرکز آمار ایران (۱۳۸۲) و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، تولید جهانی بنتونیت در سال ۲۰۰۷ میلادی ۱۱/۸ میلیون تن بوده که از این مقدار ایالات متحده با ۵ میلیون تن، یونان با ۱/۱ میلیون تن و ترکیه با ۱ میلیون تن مقام‌های

#### پی‌نوشت‌ها

1. Knight
2. Vanilla
3. Lubriator
4. Lignosolphate
5. Cracking

#### منابع

۱. قربانی م. (۱۳۸۶)، زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، نشر آریز زمین، ص ۳۸۵-۳۸۱ و ۴۱۶-۴۱۵.
۲. حجازی م. و قربانی م. (۱۳۷۳)، بنتونیت- ژئولیت (زمین‌شناسی ایران، جلد ۱۵)، سازمان زمین‌شناسی کشور.
۳. برزنف س. (۱۳۷۳)، مواد خام غیرفلزی، ترجمه علی میرزائیان، مرکز انتشارات صنعت فولاد، ص ۱۹۸-۱۶۷.
۴. حسینی ع. (۱۳۶۶)، مواد اولیه فراورده‌های نسوز، انتشارات امیرکبیر، ص ۶۰-۱.
5. www.texassodiumbentonite.com
6. www.optaminerals.com
7. www.cetoo.com/cn/bentonite.htm
8. www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/clays/claysmybo4.pdf