مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۸- شماره ۱ - سال ۱۴۰۲
www.ElitesJournal.ir

زئولیت‌های طبیعی و زئولیت‌های مصنوعی

ابوالفضل جمشیدی‌پور

دانشجوی دکتری زمین شناسی گرایش رسوب شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

abolfazljamshidipour1994@gmail.com

ارسال: فروردین ماه ۱۴۰۲ پذیرش: فروردین ماه ۱۴۰۲

چکیده

در این پژوهش به زئولیت‌های مصنوعی، تفاوت آن با زئولیت‌های طبیعی، روش‌های سنتز و فواید آن نسبت به زئولیت‌های طبیعی پرداخته شده است. زئولیت یک تکتوآلومینوسیلیکاتهای هیدراته است. زئولیت‌های طبیعی هیدروترمال هستند و منشأ عمدتاً آتشفشانی دارند. بدلیل ساختار خاص بلوری آن، این کانی دارای اختصاصات خاصی از جمله چگالی کم و حجم زیاد فضاهای آزاد، درجه تبلور بالا و امکان جذب مولکول‌ها و یون‌ها اشاره نمود. زئولیت‌های طبیعی بدلیل وجود کانال‌های خیلی کوچک برای مصارف صنعتی مناسب نیستند. از طرفی تولید زئولیت‌های مصنوعی با چالش‌های فروانی روبرو است. از مهم ترین روش تولید زئولیت های مصنوعی می توان به سنتز هیدروترمال، روش نمک مذاب، روش فیوژن، فعال سازی قلیایی، سنتز به کمک مایکروویو، سنتز با دیالیز اشاره نمود. از فواید بسیار شاخص کانی زئولیت می‌توان به جاذب مناسب برای زباله‌های رادیو اکتیو و اندازه منافذ بزرگتر در ساختار بلوری آن اشاره نمود.

کلیدواژه: زئولیت صنعتی، زئولیت طبیعی، روشهای سنتز، ساختار بلوری.

۱– مقدمه

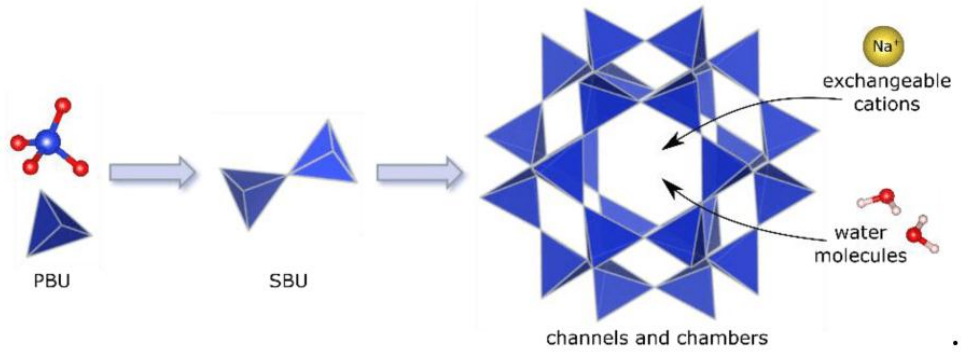
زئولیت‌ها را می‌توان به دو صورت تعریف کرد. آنها تکتوآلومینوسیلیکاتهای هیدراته با فرمول کلی هستند [۱-۲]:

$$M_xM'_yN_z\,[T_mT'_n\ldots O_{2(m+n)-\varepsilon}\,(OH)_{2z}]\,(OH)_{br}\,(aq)_p\cdot qQ$$

که در آن M، M’ به ترتیب کاتیون‌های قابل تعویض و غیر قابل تعویض هستند. N کاتیونهای غیرفلزی هستند (به طور کلی در هنگام گرم شدن قابل جدا شدن هستند). (aq) نشان دهنده آب با پیوند شیمیایی (یا دیگر لیگاندهای قوی اتم‌های T) است. Q مولکول‌های سوربات هستند. T و T’ Si و Al هستند، اما می‌توانند Be، B، Ga، Ge و P و غیره نیز باشند. این فرمول به‌ویژه هنگام توصیف زئولیت‌های طبیعی کاربردی [۲] اما همچنین برای زئولیت‌هایی که از مواد طبیعی یا ضایعات سنتز شده‌اند، به دلیل ترکیب شیمیایی پیچیده‌شان مفید هستند. از سوی دیگر، زئولیت‌ها را می‌توان به صورت گرافیکی تر، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، به عنوان پلیمرهای معدنی بلورین متشکل از چهار وجهی $[SiO_4]$ و $[AlO_4]$ تعریف کرد که دارای ساختار پر از یون‌ها و مولکول‌های آب و همچنین دارای آزادی حرکت زیادی هستند.

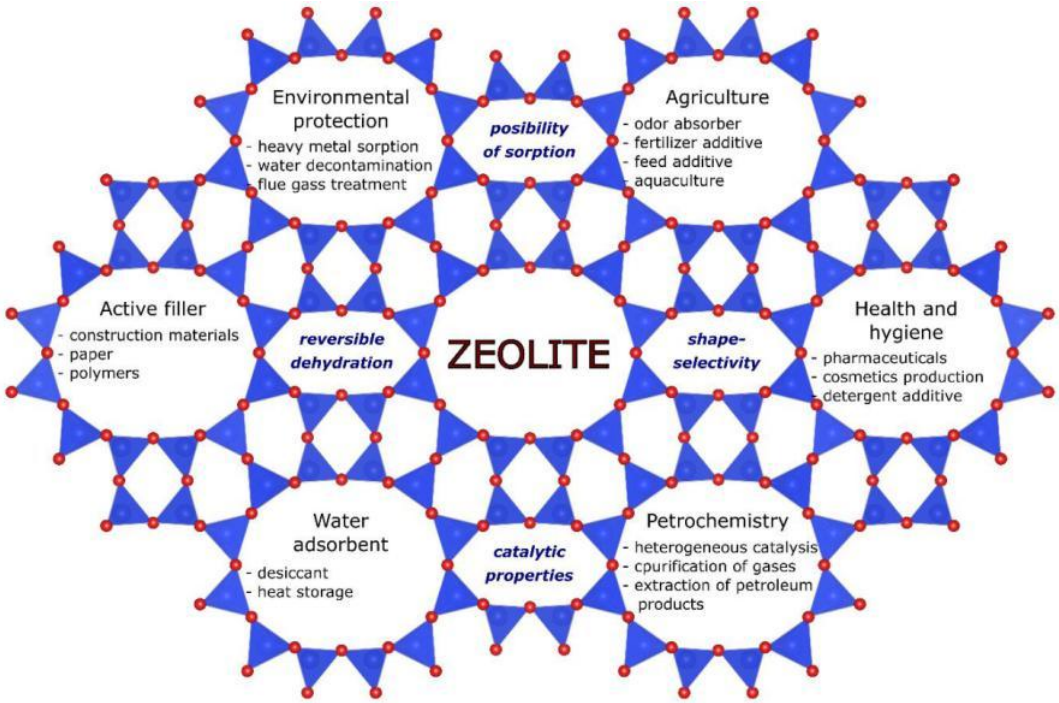
ساختار خاص زئولیت‌ها تعدادی ویژگی منحصر به فرد به آنها می‌دهد. مهمترین کاربردهای بالقوه شامل [۳]: ۱- چگالی کم و حجم زیاد فضاهای آزاد؛ ۲- وجود کانال‌ها و محفظه‌هایی با ابعاد کاملاً مشخص (شکل انتخابی)؛ ۳- درجه بالای هیدراتاسیون و وجود به

اصطلاح "آب زئولیتی"؛ ۴- درجه کریستالی بالا؛ ۵- امکان جذب مولکول‌ها و یون‌ها؛ ۶- ظرفیت تبادل یونی؛ ۷- خواص کاتالیزوری است.



شکل ۱- شماتیک ساختار بلوری زئولیت [۲]

این خواص که توسط زئولیت‌ها ایجاد می‌شود، علاقه زیادی را در بین شیمیدانان، فناوران و کانی شناسان برانگیخته است. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، کاربردهای جامعی از این نوع کانی وجود دارد. هدف از این پژوهش مرور و بررسی آخرین یافته‌ها و کاربردها و روش‌های تولید زئولیت‌های صنعتی در سالیان اخیر است.



شکل ۲- کاربردهای زئولیت [۲]

۲- زئولیت‌های طبیعی (Natural Zeolites)

زئولیت‌های طبیعی هیدروترمال هستند و منشأ عمدتاً آتشفشانی دارند. آنها می‌توانند هم در شکل‌های متبلور یافت شده در سنگ‌های آذرین و دگرگونی و هم در دانه‌هایی با قطر کوچکتر که در سنگ‌های رسوبی انباشته شده اند، رخ دهند [۲]. رسوبات کف اقیانوس نسبتاً عظیم و غنی از زئولیت هستند، اما این رسوبات تاکنون برای انسان غیرقابل دسترس است. با این حال، این کانی‌ها ممکن است اجزای مهم توس یا خاک رس را نیز تشکیل دهند. چنین احتباس سطحی رسوبات زئولیت و در نتیجه استخراج نسبتاً ساده با استفاده از روش روباز (Opencast)، شرایط عالی را برای استفاده گسترده‌تر از آنها ایجاد می‌کند. در اینجا لازم به ذکر است که زئولیت‌های موجود در طبیعت و دارای اهمیت عبارتند از: کلینوپتیلولیت. موردنیت؛ شابازیت.

۳- مثال‌های کاربردی

زئولیت‌های طبیعی گزینش پذیری بالایی برای یون‌های فلزات سنگین [۴] و یون‌های آمونیوم [۵] دارند. بنابراین زئولیت‌ها کاربردهای مهمی در حفاظت از محیط زیست و کشاورزی پیدا کرده اند. تصفیه فاضلاب از یون‌های فلزات سنگین [۶] یا ایزوتوپ‌های رادیواکتیو [۷] می‌تواند در ستون‌های جذب پر از زئولیت انجام شود. یون‌های آمونیوم موجود در زباله‌های شهری، صنعتی و کشاورزی نیز می‌توانند به روشی مشابه حذف شوند [۸]. در کشاورزی، زئولیت‌ها را می‌توان به عنوان حامل ترکیبات شیمیایی کشاورزی، در تصفیه خاک و استخرهای پرورش ماهی و به عنوان افزودنی خوراک استفاده کرد [۲].

از سوی دیگر، زئولیت‌های طبیعی کاربرد محدودی در صنعت دارند، زیرا همانطور که قبلاً ذکر شد، خواص آنها کاملاً به ساختار کریستالی آنها بستگی دارد. نقطه ضعف اصلی این است که قطر کانال بسیار کوچک است (در مورد کلینوپتیلولیت که رایج ترین در طبیعت است، ۰.۳۰-۴ نانومتر است [۷])، که اجازه جذب مولکول‌های بزرگتر و را نمی دهد.

۴- زئولیت‌های مصنوعی (Synthetic Zeolites)

زئولیت‌ها به عنوان کانی‌هایی با منشاء طبیعی شناخته شده اند، اما در حال حاضر بیش از صد نوع مختلف از ساختارهای زئولیت شناخته شده است که می‌توان آنها را به صورت مصنوعی به دست آورد [۷]. در شرایط طبیعی، زئولیت‌ها در نتیجه واکنش خاکستر آتشفشانی با آب دریاچه‌های اصلی تشکیل می‌شوند. این روند ممکن است چندین هزار سال به طول انجامید. در شرایط آزمایشگاهی، می‌توان تلاش کرد تا فرآیندهای هیدروترمال را با استفاده از دما یا فشار بالا و با استفاده از مواد خام طبیعی و/یا سیلیکات‌های مصنوعی تقلید کرد. واکنش سنتز به تجهیزات مناسب، بسترهای تمیز دهنده و انرژی نیاز دارد. در نتیجه ممکن است قیمت محصول بسیار بیشتر از قیمت زئولیت طبیعی باشد. بنابراین، تحقیقات اغلب بر جستجوی بسترهای ارزان‌تر و در دسترس برای تولید زئولیت‌ها تمرکز می‌کنند، در حالی که تلاش می‌کنند هزینه‌های خود واکنش را کاهش دهند. روندهای کنونی در تحقیق در مورد سنتز زئولیت‌ها بر اساس جنبه‌های زیست محیطی شکل می‌گیرد که به معنای استفاده از مواد خام طبیعی یا ضایعاتی برای این منظور است.

۵- بسترها و محصولات

حامل‌های طبیعی سیلیس، مانند کانی‌های رسی (کائولین [۹] ،هالویزیت [۱۰])، شیشه‌های آتشفشانی (پرلیت [۱۱]، پومیس [۱۲] یا دیاتومیت‌ها [۱۳])، در سنتز زئولیت استفاده می‌شوند. از سوی دیگر، زئولیت‌ها به طور گسترده ای از مواد زائد آلومینوسیلیکات، مانند خاکستر آتش فشانی (۱۴)، یا ضایعات پرلیت منبسط شده [۱۵] به دست می‌آیند.

البته سنتز با استفاده از مواد خام با ترکیب شیمیایی پیچیده به محصول خلوص ۱۰۰٪ نمی دهد و زئولیت‌های به دست آمده از این طریق از بسیاری از کاربردهای تجاری مهم حذف می‌شوند. با این حال، استفاده از مواد خام طبیعی برای تولید زئولیت‌ها در مقایسه با استفاده از بسترهای مصنوعی دارای مزایای اقتصادی است.

۶- روشهای سنتز

قدیمی ترین کار در مورد سنتز آلومینوسیلیکات‌ها در شرایط هیدروترمال به دهه ۱۹۵۰ قرن گذشته باز می‌گردد [۱۶]. آنها نشان می‌دهند که با حرارت دادن مواد خام آلومینوسیلیکات در صورت وجود محلول‌های قلیایی در عرض چند ساعت یا چند روز بسته به نوع مواد اولیه و شرایط فرآیند (دما، فشار) محصول نهایی را می‌توان بدست آورد. امروزه روش‌های مختلفی برای سنتز زئولیت‌ها شناخته شده است. از مهم ترین آنها می‌توان به: ۱- سنتز هیدروترمال (در فشار طبیعی یا بالا)؛ ۲- روش نمک مذاب [۱۷]؛ ۳- روش فیوژن [۱۸].؛ ۴- فعال سازی قلیایی [۱۹]؛ ۵- سنتز به کمک مایکروویو [۲۰]؛ ۶- سنتز با دیالیز [۲۱] اشاره نمود.

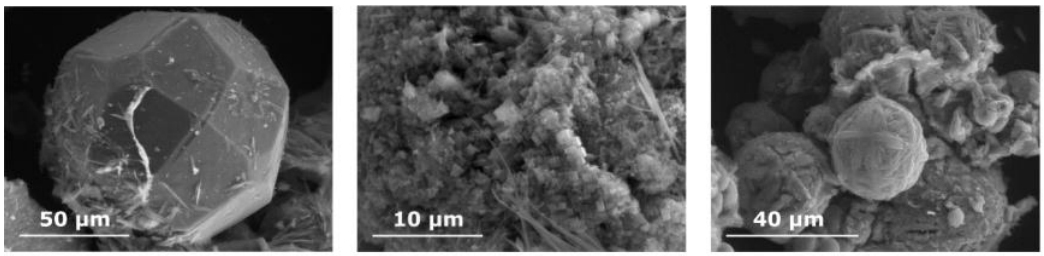
روش اول نسبتاً رایج است. این فرآیند به طور کلی منعکس کننده شرایط طبیعی است که در آن سنگ‌های حاوی کانی‌های زئولیت تشکیل شده اند. سنتز هیدروترمال (۸۰ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد) زئولیت‌ها نیاز به تامین اجزایی دارد که منبع Si و Al هستند و به دنبال آن درمان با محلول قلیایی (PH> 8.5) انجام می‌شود. واکنش‌هایی که طی آن فرآیندهایی مانند انحلال، تراکم، ژلاتینه شدن

و کریستالیزاسیون [۲۲] در اتوکلاوها انجام می‌شود، اغلب در فشار بالا هستند. کنترل مناسب پارامترهای فرآیند به نفع شکل گیری محصولات مورد نظر است.

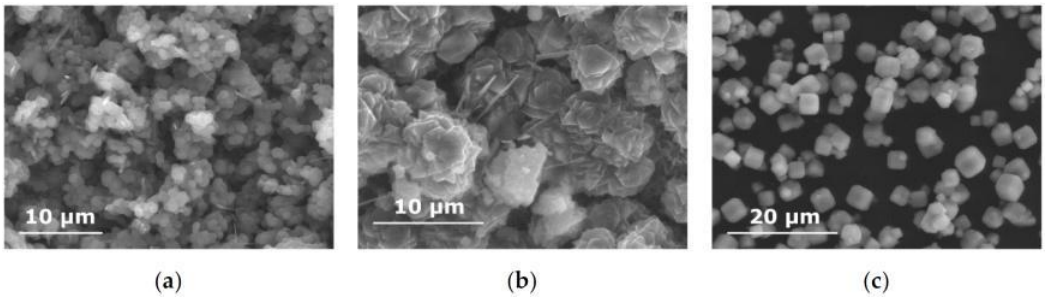
هزینه تخمینی مواد زئولیت به دست آمده با روش‌های فوق بین زئولیت طبیعی و مصنوعی است. با این حال، با در نظر گرفتن این واقعیت که هزینه‌های ذخیره سازی و استفاده از زباله احتمالاً افزایش می‌یابد، اجرای یکی از این فناوری‌ها ممکن است مقرون به صرفه ترین راه حل باشد.

۷- محصولات زئولیتی شدن

زئولیت‌های مصنوعی، مانند زئولیت‌های طبیعی، از نظر ساختار و خواص متنوع هستند. این تحت تأثیر ترکیب مواد خام و شرایط سنتز است. همانطور که در بالا ذکر شد، تبلور انواع مختلف زئولیت‌ها تابعی از پارامترهایی مانند زمان واکنش، دما و فشار، و همچنین ترکیب شیمیایی مخلوط واکنش، از جمله غلظت معرف‌ها است [۲۳]. نوع فازهای تشکیل شده در چنین سیستم‌هایی نسبتاً شناخته شده است. در دماهای بالا و فشار بالا، عمدتاً آنالسیم، همانطور که در شکل a۳ نشان داده شده است، زئولیت Na-P1، همانطور که در شکل b۳ نشان داده شده است، و هیدروکسی سودالیت، همانطور که در شکل c۳ نشان داده شده است، در نسبت‌های کمی مختلف بسته به پارامترهای سنتز به دست می‌آیند. در دماهای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد، زئولیت X، همانطور که در شکل a۴ نشان داده شده است، زئولیت Na-P1، همانطور که در شکل b۴ نشان داده شده است، و هیدروکسیدالیت را می‌توان بدست آورد. علاوه بر این، زئولیت A را می‌توان در سیستم‌های واکنش با نسبت بالایی از آلومینیوم (Si/Al < 1)، همانطور که در شکل c۴ نشان داده شده است، به دست آورد. یک روش همجوشی که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد منجر به سنتز سودالیت و کانکریت می‌شود. از نقطه نظر عملی، زئولیت‌هایی با اندازه منافذ بزرگتر مفیدتر هستند. از این رو، برای به دست آوردن مواد با خواص جذب خوب، مهم است که پارامترهای فرآیندی را انتخاب کنیم که تشکیل زئولیت X یا زئولیت Na-P1 را تقویت می‌کنند. امکان به دست آوردن سایر فازهای زئولیت را می‌توان با افزودن قالب‌های آلی تنظیم کرد که هزینه‌های فرآیند بالاتری را ایجاد می‌کند. یک رویکرد اکولوژیکی مهم، برنامه ریزی شرایط سنتز به گونه ای است که تولید فاضلاب بسیار قلیایی را محدود کند.



شکل ۳- ریزساختارهای زئولیت به دست آمده در شرایط هیدروترمال در فشار بالا [۲۴]:
(a) آنالسیم. (b) زئولیت Na-P1. (c) هیدروکسی‌سودالیت.



شکل ۴- ریزساختارهای زئولیت به دست آمده در شرایط هیدروترمال در دماهای پایین (کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد) [۲۴]:
(a) زئولیت X. (b) زئولیت Na-P1. (c) زئولیت A.

۸- فواید زئولیت مصنوعی

مطالعات علمی متعدد مزایای زئولیت‌های مصنوعی را در مقایسه با زئولیت‌های طبیعی تایید می‌کند. کارایی زئولیت‌های طبیعی در حذف زباله‌های رادیواکتیو از محیط (رادیونوکلئیدهای Cs و Sr) کمتر از زئولیت‌های مصنوعی است [۲۵]. زئولیت‌های مصنوعی همچنین ظرفیت جذب بسیار بالاتری برای یون‌های فلزات سنگین (مانند Cd^{2+}، Pb^{2+}، Zn^{2+}، Cu^{2+}، Ni^{2+}، Cr^{3+}) نسبت به زئولیت‌های طبیعی نشان می‌دهند [۲۶].

یکی دیگر از مزیت‌های زئولیت‌های مصنوعی نسبت به نمونه‌های طبیعی، اندازه منافذ بسیار بزرگتر است. این امکان جذب مولکول‌های بزرگتر را فراهم می‌کند که دامنه کاربردهای بالقوه را افزایش می‌دهد. به عنوان مثال، مشخص شد که زئولیت‌های مصنوعی دو برابر ظرفیت جذب روغن بیشتری نسبت به کلینوپتیلولیت طبیعی دارند، بنابراین زئولیت‌های مصنوعی جایگزین امیدوارکننده‌ای برای جاذب‌های معدنی طبیعی برای پاکسازی نشت‌های نفتی در زمین هستند. علاوه بر این، زئولیت‌های با اندازه منافذ کوچک‌تر، که به‌عنوان کاتالیزور استفاده می‌شوند، از انسداد منافذ و در نهایت مسمومیت و غیرفعال‌شدن می‌شوند، در حالی که زئولیت‌های با کانال‌های بزرگ به هم پیوسته در واکنش‌ها برای مدت طولانی‌تری پایدار می‌مانند [۲۷].

در طول سنتز زئولیت‌ها، محتوای Al را می‌توان تنظیم کرد. زئولیت‌های با نسبت Si/Al پایین بسیار قطبی‌تر هستند و بنابراین ظرفیت جذب قوی‌تری از خود نشان می‌دهند. زئولیت‌های با محتوای سیلیکون بالا نیز با قدرت بیشتر مراکز فعال مشخص می‌شوند که آنها را برای کاربردهای کاتالیزوری ارتقا می‌دهد. از سوی دیگر، زئولیت‌های سیلیسی بالا ویژگی سطحی همگن‌تری دارند و خواص آبگریز از خود نشان می‌دهند. آنها در واکنش‌هایی استفاده شده اند که در آن آب حاصل، محل‌های اسیدی کاتالیزورها را مسموم می‌کند [۲۸].

لازم به ذکر است که زئولیت‌های مصنوعی بدون معایب نیستند. مشکل نگران‌کننده این است که زئولیت‌های مصنوعی بیشتر به شکل پودر کریستالی ریزدانه و بسیار پراکنده هستند (تک بلورها اندازه‌ای تا چند میکرون دارند) که مطمئناً استفاده از آنها را محدود می‌کند. برای زئولیت‌های طبیعی، پس از استخراج کانسار، معمولاً از فرآیندهای جداسازی مانند خرد کردن و تشکیل گلوله برای به دست آوردن زئولیت‌ها به شکل قابل استفاده استفاده می‌شود. در مقابل، انواع مصنوعی را می‌توان به شکل گرانول‌های سخت و مقاوم در برابر سایش استفاده کرد. گزارش‌های زیادی در رابطه با دریافت گرانول‌های زئولیت وجود دارد، اما در اکثر موارد هنوز در کاربردهای عملی استفاده نمی شود.

۹- نتیجه گیری

در توافق با شواهد علمی ارائه شده در مقالات مرتبط تاکنون، می‌توان به طور کلی بیان کرد که هم سنگ‌های رسوبی حاوی زئولیت‌ها و هم زئولیت‌های سنتز شده از مواد خام آلومینوسیلیکات ممکن است برای بسیاری از صنایع از جمله کشاورزی و حفاظت از محیط زیست مفید تلقی شوند. زئولیت‌های مصنوعی اصلی ترین مواد جایگزین برای مواد طبیعی هستند. زئولیت‌های مصنوعی می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی را برای بسیاری از کاربردها تنظیم کنند و از نظر کیفیت یکنواخت‌تر از معادل طبیعی خود هستند. با این حال، اظهار نظر قطعی در مورد کاربردها و مزایای دقیق زئولیت‌های بر پایه خاک رس و ضایعات باید به دقت برای هر ماده خاص مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد، زیرا مکانیسم‌های عمل با خواص فیزیکی و شیمیایی ماده خاص مرتبط است.

۱۰- منابع

1. Meier, W. M. (1986). Zeolites and zeolite-like materials. Pure and Applied Chemistry, 58(10), 1323-1328.

2. Rehakova, M., Čuvanová, S., Dzivak, M., Rimár, J., Gaval'Ová, Z., 2004, Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type, Curr. Opin. Solid State Mater. Sci., 8(6), 397-404.

3. Ciciszwili, G. W., Andronikaszwili, T. G., Kirow, G. N., & Filizowa, L. D. (1990). Zeolity naturalne. WNT, Warszawa.

4. Gorimbo, J., Taenzana, B., Muleja, A. A., Kuvarega, A. T., & Jewell, L. L. (2018). Adsorption of cadmium, nickel and lead ions: Equilibrium, kinetic and selectivity studies on modified clinoptilolites from the USA and RSA. Environmental Science and Pollution Research, 25(31), 30962-30978.

5. Vassileva, P., & Voikova, D. (2009). Investigation on natural and pretreated Bulgarian clinoptilolite for ammonium ions removal from aqueous solutions. Journal of hazardous materials, 170(2-3), 948-953.

6. Belousov, P., Semenkova, A., Egorova, T., Romanchuk, A., Zakusin, S., Dorzhieva, O., ... & Krupskaya, V. (2019). Cesium sorption and desorption on glauconite, bentonite, zeolite, and diatomite. Minerals, 9(10), 625.

7. Ivanova, E., Karsheva, M., & Koumanova, B. (2010). Adsorption of ammonium ions onto natural zeolite. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 45(3), 295-302.

8. Prasetyoko, D., Santoso, M., Qoniah, I., Leaw, W. L., Firda, P. B., & Nur, H. (2020). A review on synthesis of kaolin-based zeolite and the effect of impurities. Journal of the Chinese Chemical Society, 67(6), 911-936.

9. Biel, O., Rożek, P., Florek, P., Mozgawa, W., & Król, M. (2020). Alkaline activation of kaolin group minerals. Crystals, 10(4), 268.

10. Rujiwatra, A. (2004). A selective preparation of phillipsite and sodalite from perlite. Materials Letters, 58(14), 2012-2015.

11. Burriesci, N., Crisafulli, M. L., Saija, L. M., & Polizzotti, G. (1983). Hydrothermal synthesis of zeolites from rhyolitic pumice of different geological origins. Materials Letters, 2(1), 74-78.

12. Garcia, G., Cardenas, E., Cabrera, S., Hedlund, J., & Mouzon, J. (2016). Synthesis of zeolite Y from diatomite as silica source. Microporous and Mesoporous materials, 219, 29-37.

13. Kunecki, P., Panek, R., Wdowin, M., Bień, T., & Franus, W. (2021). Influence of the fly ash fraction after grinding process on the hydrothermal synthesis efficiency of Na-A, Na-P1, Na-X and sodalite zeolite types. International Journal of Coal Science & Technology, 8(2), 291-311.

14. Król, M., Mozgawa, W., Morawska, J., & Pichór, W. (2014). Spectroscopic investigation of hydrothermally synthesized zeolites from expanded perlite. Microporous and mesoporous materials, 196, 216-222.

15. Barrer, R. M., & White, E. A. D. (1952). 286. The hydrothermal chemistry of silicates. Part II. Synthetic crystalline sodium aluminosilicates. Journal of the Chemical Society (Resumed), 1561-1571.

16. Park, M., Choi, C. L., Lim, W. T., Kim, M. C., Choi, J., & Heo, N. H. (2000). Molten-salt method for the synthesis of zeolitic materials: I. Zeolite formation in alkaline molten-salt system. Microporous and Mesoporous Materials, 37(1-2), 81-89.

17. Zhang, M., Zhang, H., Xu, D., Han, L., Niu, D., Tian, B., ... & Wu, W. (2011). Removal of ammonium from aqueous solutions using zeolite synthesized from fly ash by a fusion method. Desalination, 271(1-3), 111-121.

18. Rożek, P., Król, M., & Mozgawa, W. (2019). Geopolymer-zeolite composites: a review. Journal of cleaner production, 230, 557-579.

19. Querol, X., Alastuey, A., López-Soler, A., Plana, F., Andrés, J. M., Juan, R., ... & Ruiz, C. R. (1997). A fast method for recycling fly ash: microwave-assisted zeolite synthesis. Environmental Science & Technology, 31(9), 2527-2533.

20. Tanaka, H., Eguchi, H., Fujimoto, S., & Hino, R. (2006). Two-step process for synthesis of a single phase Na–A zeolite from coal fly ash by dialysis. Fuel, 85(10-11), 1329-1334.

21. Cundy, C. S., & Cox, P. A. (2005). The hydrothermal synthesis of zeolites: Precursors, intermediates and reaction mechanism. Microporous and mesoporous materials, 82(1-2), 1-78.

22. Gonthier, S., Gora, L., Güray, I., & Thompson, R. W. (1993). Further comments on the role of autocatalytic nucleation in hydrothermal zeolite syntheses. Zeolites, 13(6), 414-418.

23. Król, M. (2020). Natural vs. synthetic zeolites. Crystals, 10(7), 622.

24. Lonin, A. Y., Levenets, V. V., Neklyudov, I. M., & Shchur, A. O. (2015). The usage of zeolites for dynamic sorption of cesium from waste waters of nuclear power plants. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 303(1), 831-836.

25. Kozera-Sucharda, B., Gworek, B., & Kondzielski, I. (2020). The simultaneous removal of zinc and cadmium from multicomponent aqueous solutions by their sorption onto selected natural and synthetic zeolites. Minerals, 10(4), 343.

26. Nizami, A. S., Ouda, O. K. M., Rehan, M., El-Maghraby, A. M. O., Gardy, J., Hassanpour, A., ... & Ismail, I. M. I. (2016). The potential of Saudi Arabian natural zeolites in energy recovery technologies. Energy, 108, 162-171.

27. Corma, A. (2003). State of the art and future challenges of zeolites as catalysts. Journal of Catalysis, 216(1-2), 298-312.

Natural Zeolites and Synthetic Zeolites

Abolfazl Jamshidipour

Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

abolfazljamshidipour1994@gmail.com

Abstract

In this research, synthetic zeolites, their differences from natural zeolites, synthesis methods, and their benefits compared to natural zeolites have been discussed. Zeolite is a hydrated tectoaluminosilicate. Natural zeolites are hydrothermal and of mainly volcanic origin. Due to its special crystal structure, this mineral has special features such as low density and the large volume of free spaces, high crystallization degree and the possibility of absorbing molecules and ions. Natural zeolites are not suitable for industrial use due to the presence of very small channels. On the other hand, the production of synthetic zeolites faces many challenges. Hydrothermal synthesis, molten salt method, fusion method, alkaline activation, microwave-assisted synthesis, and dialysis synthesis are among the most important production methods of synthetic zeolites. One of the most significant benefits of zeolite mineral is the suitable absorber for radioactive waste and the larger pore size in its crystalline structure.

Keywords: synthetic zeolite, natural zeolite, synthesis methods, crystal structure.