آزادراه‌های مولکولی!
داستان پیدایش نسل برتر صافی‌ها

مهدیه سالاریا

اشاره

... آرامشی که فریاد سکوت در فضا می‌ریزد و تعمق در آنچه می‌بینیم و در اختیار داریم را برمی‌انگیزد... این، هدیه‌ای است که پناه بردن به طبیعت به ما می‌بخشد، خواه پهنهٔ زرین و سراسر خشک کویر باشد، خواه گوشه‌ای از ساحل خلیج‌فارس؛ جایی‌که خروش امواج، در ساحلی سپید فرو می‌نشیند؛ یک ساحل مملو از مرجان... یک پهنهٔ مالامال از زیبایی... و آرامشی ناتمام!

کلیدواژه‌ها

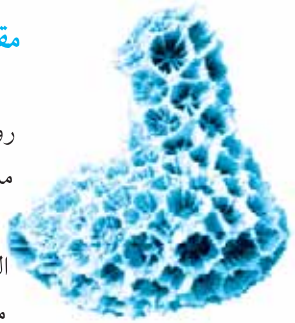
الک، غربال مولکولی، زئولیت، خالص‌سازی

مقدمه

طبیعت همواره الهام‌بخش انسان برای رسیدن به رفاه و آسایش بوده است. چنان‌که بشر برای گسترش روش‌های جدید و کاراتر از گذشته، از نیروهای طبیعی بهره گرفته و چه بسیار برای تهیهٔ ابزار مورد نیاز خود از منابع آن استفاده کرده است.

مرجان‌های دریایی جانورانی هستند که در آب‌های گرم زندگی می‌کنند و ساختار آن‌ها منبع الهام برای ساخت الک‌هایی به‌دست انسان بوده است که امروزه، در صنایع گوناگون برای خالص‌سازی و جداسازی اجزاء در حد مولکولی کاربرد گسترده دارند.

مرجان‌ها جانورانی گِل‌مانند با بازوهایی گسترده‌اند که در میان آن‌ها، دهانه یا حفره‌ای وجود دارد. ساختار بدنی آبکش‌مانند این جانور، الک‌ها یا صافی‌ها را به‌خاطر می‌آورد که وسیله‌ای معمول برای جداسازی اجزای یک مخلوط از یکدیگر به‌شمار می‌روند. این روش جداسازی، بر تفاوت اندازهٔ اجزای موجود در یک نمونه، تکیه دارد. امروزه برای جداکردن اجزا در حد نانو، نیاز به الک‌هایی است که حفره‌هایی بسیار ریز داشته باشند و در مسیر پاسخ‌گویی به این نیاز است که، الک‌ها یا غربال‌های مولکولی معرفی شده‌اند.



تاریخچه

دگرگونی در ساختار الک‌ها و معرفی غربال‌های مولکولی به ٦ دهه پیش بازمی‌گردد. در سال ۱۷۵٦، یک معدن‌شناس سوئدی به نام کرونستد[1] موفق به کشف استیلبیت[2] ـ یک مادهٔ معدنی ـ شد. بلورهای این ماده در اثر گرم شدن، پف می‌کرد و آب از آن‌ها خارج می‌شد. از این‌رو، کرونستد نام زئولیت را برای این‌گونه مواد برگزید که واژه‌ای برگرفته از دو بخش یونانی بود: zeo به معنی جوشیدن، و lithos به معنی سنگ. به این ترتیب زئولیت‌ها به‌عنوان طبقه‌ای جدید از مواد معدنی معرفی شدند که شامل آلومینو سیلیکات‌های آبدار از فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی، با فرمول تجربی به این قرار بودند:

$$M_{\frac{2}{n}}O.Al_2O_3.ySiO_2.\omega H_2O$$

که در آن، n ظرفیت کاتیون است، y مقداری از ۲ تا ۲۰۰ دارد و ω تعداد مولکول‌های آبی است که زئولیت موردنظر را همراهی می‌کند.

سنگ معدن سیلیکاتی لوینیت که با دو فرمول شیمیایی به این شرح در دسترس است:

$(Na_2, Ca, K_2)Al_2Si_4O_{12}.6H_2O$ ؛ levy-Na

$(Ca, Na_2, K_2)Al_2Si_4O_{12}.6H_2O$ ؛ levy-Ca

مرجان‌های دریایی جانورانی هستند که در آب‌های گرم زندگی می کنند و ساختار آن‌ها منبع الهام برای ساخت الک‌هایی به‌دست انسان بوده است که امروزه، در صنایع گوناگون برای خالص‌سازی و جداسازی اجزاء در حد مولکولی کاربرد گسترده دارند

برتری این کاتالیزگرها بر انواع دیگر، کاهش احتمال خوردگی و اثرهای سمّی، دسترسی و تهیهٔ آسان، و حذف فراورده‌های ناخواسته و جنبی در جریان واکنش‌ها را دربرمی‌گیرد

پس از آن، حدود ۱۰۰ سال طول کشید تا خواص و توانایی ارزندهٔ زئولیت‌ها در جذب/ واجذب برگشت‌پذیر آب شناسایی شود. از سال ۱۷۷۷ تا دههٔ ۱۸۰۰، ویژگی‌های این مواد آن‌ها را در دهه‌های بعد در زمرهٔ مواد تجاری همیشگی و ماندنی قرار داد، به این ترتیب مشخص شد که: زئولیت‌ها از دید ساختاری، پلیمرهای معدنی بلوری‌اند که در سه بعد گسترش یافته‌اند، با بدنه‌ای از واحدهای چهار پیوندی AlO_4 و SiO_4 که با هم، در یک چهاروجهی، یون‌های اکسیژن را به اشتراک گذاشته‌اند. هر چهاروجهی حامل یک بار منفی است که با بار یک کاتیون خنثی می‌شود. با این ساختار، حفره‌هایی به شکل شیار یا قفس در بلور ایجاد می‌شود که می‌توانند ۱، ۲ یا ۳ بعدی باشند. کاتیون معمولاً در این حفره‌ها تحرک دارد و به‌راحتی می‌تواند جای خود را به کاتیون‌های دیگر بدهد. حدود ۵۰ درصد حجم بلور را آب تشکیل می‌دهد که با گرمادادن، به‌طور برگشت‌پذیر از آن خارج می‌شود.

با کسب این اطلاعات، سنت کلاری دویل[3] در سال ۱۸٦۲ ساخت یک زئولیت به نام لوینیت[4] را از راه هیدروگرمایی، گزارش داد. در سال ۱۸۹٦، فریدل[5] متوجه شد که ساختار زئولیت‌های بدون آب، قالب‌هایی اسفنج‌مانند دارند و چنانچه در ظرف حاوی الکل،

بنـزن یا کلروفرم قرار بگیرند، ایـن مایع‌ها را به خود جذب می‌کنند. این ویژگی به‌سـرعت مورد بررسـی قرار گرفت تا در سـال ۱۹۰۹، گراندجین[6] مشـاهده کرد که کابازیت[7] بـدون آب می‌تواند آمونیاک، هیـدروژن و مولکول‌های دیگـر را از هوا جذب کند. سـرانجام در سـال ۱۹۲۵ همین مشاهده ثابت کرد که بلورهای کابازیت بدون آب می‌توانند به‌سرعت آب، اتانول، متانول و فورمیک‌اسید را جذب کنند. در پی این یافته‌ها به‌سـرعت، مقاله‌های فراوانی دربارهٔ توانایی جذب و تعویض یون زئولیت‌ها منتشر شد.

۲۰۰ سـال پس از آنکه کرونستد، زئولیت را کشف کرد مشخص شد که این مواد معدنی طبیعی به مقدار اندک در حفره‌های سنگ‌های آذرین وجود دارند و از این‌رو، استخراج آن‌ها برای کاربردهای تجاری به‌صرفه نیسـت. بنابراین از اواخر دههٔ ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۲، بررسـی‌ها به یافتن منابع قابل اسـتفاده زئولیت‌ها جلب شد و به کشف زئولیت‌ها در رسوبات غرب ایالات متحده انجامید.

در ۱۹۳۲، مک‌بیـن[8] عبارت غربـال مولکولی[9] را در تعریف مواد جامد حفره‌داری پیشـنهاد کرد که در مقیاس مولکولی می‌توانند نقش یک غربال را از خود نشـان دهند. در همین دهه برای نخسـتین‌بار، طبقه‌بندی زئولیت‌ها براسـاس اندازهٔ مولکولی آن‌ها از سوی ریچارد بارر[10] انجام گرفت. کار بارر در زمینهٔ سنتز زئولیتی شبیه به موردنیت[11]، الهام‌بخش رابرت میلتون[12] شد که در بخش جداسازی شرکت یونیون کارباید[13] کار می‌کرد.

وی تصمیم گرفت به سنتز زئولیت‌هایی بپردازد که در خالص‌سازی هوا سودمند بودند. به این ترتیب بود که میلتون همراه دونالد بِرِک[14]، طی سـال‌های ۱۹۴۹ تا ۱۹۵٤ موفق به سـاخت زئولیت‌های X، Y و A شد. در پی کشـف این زئولیت‌ها، شرکت یونیون کارباید آن‌ها را به‌عنوان موادی کارا برای جداسـازی و خالص‌کردن، روانهٔ بازار کرد. نخسـتین کاربرد این زئولیت‌ها به خشک کردن گازهای خنک کننده و شیرین‌کردن گاز طبیعی اختصاص داشت که از طبیعت آب‌دوستی زئولیت‌هـا در این زمینه بهره گرفته می‌شـد. از این پس اسـتفاده از زئولیت‌هـا در صنعت، سـرعتی چشـمگیر گرفت. در سـال ۱۹۵۹ فرایندی برای جداسـازی هیدروکربن‌های خطی از انواع شـاخه‌دار، از سـوی یونیون کارباید ارائه شد که بر استفاده از زئولیت‌ها به‌عنوان

زئولیت‌ها از دید ساختاری، پلیمرهای معدنی بلوری‌اند که در سه بعد گسترش یافته‌اند، بـا بدنه‌ای از واحدهای چهار پیونـدی AlO_4 و SiO_4 که با هم، در یک چهاروجهی، یون‌های اکسیژن را به اشتراک گذاشته‌اند

سنگ معدن سیلیکات کلسیم، کابازیت، که در شبکهٔ بلوری تری کلینیک متبلور می شود و فرمول آن به این قرار است:

$(CaK_2Na_2)_2.[Al_2Si_4O_{12}]_2.12H_2O$

غربال‌های مولکولی گزینش‌پذیر تکیه داشت. در همین سال نوعی زئولیت Y، به‌عنوان کاتالیزگر برای واکنش‌های ایزومری، از همین شرکت به بازار راه یافت و چندی نگذشت که شرکت نفت موبیل[15]، از زئولیت X به‌عنوان کاتالیزگر برای کراکینگ هیدروکربن‌ها بهره گرفت. همچنین زئولیت‌هایی با نام تجاری میکروتله[16]، در همین دهه توسط شرکت شیمیایی دیویسون تولید شد.

سرانجام در ۱۹۷۴، هنکل[17] عنوان کرد که به‌جای فسفات‌ها در مواد شوینده، می‌توان از زئولیت A استفاده کرد. این پیشنهاد از آنجا موردپسند قرار گرفت که فسفات‌ها از دید زیست‌محیطی مشکلاتی پدید آورده بودند. در اواخر قرن بیستم، شرکت یونیون کارباید تولید زئولیت‌های مؤثر در جداسازی براساس روش تعویض یون را نیز به فراورده‌های خود افزود و تا سال ۲۰۰۸ تقریباً ۳۶۷/۰۰۰ زئولیت Y به‌عنوان کاتالیزگر، در فرایند کراکینگ به‌کار گرفته شد.

زئولیت‌ها ظرفیت جذب بسیار بالا در برابر یون‌های خاص دارند و از انتشار مواد پرتوزای مراکز هسته‌ای جلوگیری می‌کنند

گذشته از زئولیت‌های سنتزی، از انواع طبیعی نیز به‌عنوان پرکننده در کاغذ، سرامیک و بتون، در کودها و سازگارکننده‌های خاک‌های کشاورزی استفاده می‌شود

کلام پایانی

موادی که روزی تنها مورد توجه زمین‌شناسان بودند در مدت ۶۰ سال، چنان با علاقه در صنایع گوناگون مورد بررسی و استفاده قرار گرفتند که اکنون عنوان یکی از ارزشمندترین خانواده مواد تجاری را از آنِ خود کرده‌اند. این اقبال، از ساختار ویژهٔ زئولیت‌ها ناشی می‌شود که در سایهٔ آن، ویژگی‌های بی‌مانند و سودمندی را از جمله گزینش‌پذیری در جذب مواد و تعویض یون به این مواد می‌بخشد.

همچنین در محیط‌هایی که H^+، به‌عنوان کاتیون حضور دارد زئولیت‌ها نقش کاتالیزگرهای اسیدی و جامد را بسیار خوب اجرا می‌کنند. برتری این کاتالیزگرها بر انواع دیگر، کاهش احتمال خوردگی و اثرهای سمّی، دسترسی و تهیهٔ آسان، و حذف فراورده‌های ناخواسته و جنبی در جریان واکنش‌ها را دربرمی‌گیرد.

اکنون تقریباً در هر مرحله از پالایش نفت خام، یک زئولیت به‌عنوان کاتالیزگر، محافظ کاتالیزگر یا یک جاذب حضور دارد. برخی از زئولیت‌ها از جمله موردنیت و کلینوپتیلولیت برای جذب آمونیاک از هوا و بوی نامطبوع از محیط به‌کار می‌روند. گذشته از زئولیت‌های سنتزی، از انواع طبیعی نیز به‌عنوان پرکننده در کاغذ، سرامیک و بتون، در کودها و سازگارکننده‌های خاک‌های کشاورزی استفاده می‌شود.

به این ترتیب با آنکه از حیات زئولیت‌ها چندی نمی‌گذرد پیشرفت تاریخی و دامنه‌داری را برای خود در بخشی با نام غربال‌های مولکولی، در تاریخ علم رقم زده‌اند. موادی که با ساختار متخلخل خود در مرجان‌های دریایی، شاید فقط جالب و زیبا به‌نظر می‌رسند، هم‌اکنون با ایفای نقش به‌عنوان سنگ‌بنای بسیاری از فعالیت‌های صنعتی، تحسین و شگفتی بیننده را برمی‌انگیزند.

1. Cronstedt 2. stilbite 3. Deville, St. C. 4. levynite 5. Friedel
6. Grandjean 7. chabazite 8. McBain 9. molecular sieve
10. Barrer, R. 11. mordenite 12. Milton, R. M.
13. Union Carbide 14. Breck, D.W. 15. Mobil 16. microtrap
17. Henkel

1.www.wiley-vch.de/books/sample
2.books.google.com/books?isbn=3527325050-co1