نسخه‌ای که نانواکسیدهای فلزی می‌پیچند

روشی کارآمد در حذف فلزهای سنگین از آب

فرانک منطقی
عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران
اکرم امیدواری
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

نانواکسیدهای فلزی و از جمله نانواکسیدهای آهن، به‌عنوان جاذب‌های سطحی بسیار کارآمد، به‌طور گسترده برای حذف فلزهای سنگین از آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از آنجا که نانواکسیدهای فلزی مغناطیسی به‌راحتی در یک میدان مغناطیسی از آب جدا می‌شوند توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده‌اند. از سوی دیگر، جداسازی و بازیافت این جاذب‌ها از آب، به آسانی امکان‌پذیر است. با چنین برتری‌هایی، استفاده از این ذره‌ها برای بهبود بازده علمی و کاهش هزینه‌ها در جریان پالایش آب ضروری به‌نظر می‌رسد. با این حال، برای توسعهٔ این کاربردها در کاهش آلودگی فلزهای سنگین، کاستی‌هایی وجود دارد که باید برطرف شود.

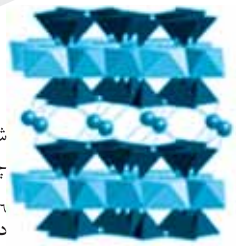
کلیدواژه‌ها

نانوذره مغناطیسی، فلزهای سنگین، جاذب، جذب سطحی، زئولیت، نانواکسید فلزی

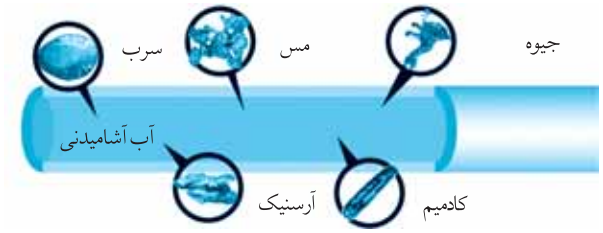
مقدمه

تاکنون روش‌های گوناگونی برای برطرف کردن فلزهای سنگین از آب پیشنهاد شده است که رسوب‌دهی شیمیایی، تبادل یونی، جذب سطحی، صاف کردن غشایی و فناوری‌های الکتروشیمیایی از آن جمله‌اند. در این میان، روش جذب سطحی انعطاف بیشتری در طراحی و عمل داشته است و به علت ویژگی برگشت‌پذیری، امکان تأمین جاذب با استفاده از فرایندهای بازجذب در آن وجود دارد. از این رو، فرایند جذب سطحی یکی از روش‌های اصلی برای حذف فلزهای سنگین به‌شمار می‌رود.

از میان انواع جاذب‌های سطحی که در دسترس قرار دارند می‌توان به نانواکسیدهای فلزی اشاره کرد. کارایی ویژهٔ این ذره‌ها از سطح بزرگ و فعالیت زیاد آن‌ها ناشی می‌شود [۲ و ۱] همچنان‌که اندازهٔ ذره‌ها از میکرومتر به نانومتر کاهش می‌یابد، انرژی



شکل ۱ ساختار بلوری بنتونیت شامل چهاروجهی‌های SiO_4 و هشت‌وجهی‌های AlO_6. کاتیون‌های بین لایه‌ای با کره نشان داده شده‌اند.



سطح آن‌ها زیاد شده، موجب کاهش پایداری آن‌ها می‌شود. برهم‌کنش‌هایی همچون نیروهای وان‌دروالسی- که موجب انباشته شدن نانوذره‌ها می‌شوند- ظرفیت و گزینش‌پذیری زیاد این ذره‌ها را به‌شدت کاهش می‌دهند. برای بهبود کاربرد نانواکسیدهای فلزی، آن‌ها را روی بسترهای متخلخل بزرگ بارگذاری می‌کنند که به این ترتیب جاذب‌های سطحی مرکب به‌دست می‌آیند [۳]. کربن فعال، مواد طبیعی و میزبان‌های مصنوعی از جنس پلیمرها به‌عنوان بستر متخلخل کاربرد فراوان دارند.

بسترهای طبیعی

برای بهبود کارایی نانواکسیدهای فلزی در جذب سطحی فلزهای سنگین، نه‌تنها پژوهش‌های فراوانی روی ویژگی این ذره‌ها- مانند پژوهش بر ریخت‌شناسی[1]، اندازهٔ ذره‌ها، میزان خواص مغناطیسی، ساختار بلوری و سطح ویژهٔ آن‌ها- انجام گرفته است بلکه تولید جاذب‌های ترکیبی در رفع مشکلات ناشی از کاهش فعالیت نانوذره‌ها مورد توجه بوده است. سوار کردن نانوذره‌ها روی بسترهای متخلخل بزرگ، تولید جاذب‌هایی با شکل کنترل شده و کارایی زیاد را امکان‌پذیر می‌کند و مشکلات فنی موجود را- که به‌دلیل انباشتگی ذره‌ها و در نتیجه، دشوار شدن جداسازی آن‌ها ایجاد می‌شود- برطرف می‌کند.

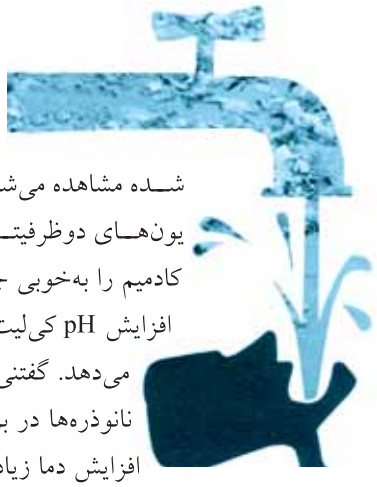
از جمله موادی که به‌عنوان بستر یا میزبان طبیعی برای این منظور به‌کار می‌روند می‌توان ماسه، اکسیدهای فلزی مانند آلومینیم اکسید، کمپلکس منگنز اکسید و بنتونیت را برشمرد. بنتونیت، نوعی خاک رس طبیعی دانه درشت است که واحدهایی از یون‌های سیلیسیم و آلومینیم را دربردارد، شکل ۱. این ساختار باعث ایجاد بار سطحی منفی روی خاک می‌شود. همچنین، بنتونیت با سطح دو خصلتی وابسته به pH، ظرفیت زیاد در تعویض یون و حالت‌های انباشتگی گوناگونی که از خود نشان داده است به‌عنوان یک جاذب بسیار عالی برای جذب فلزهای سنگین از محلول‌های آبی مطرح شده است. [٤]

یک گروه پژوهشی، بنتونیت خام را با آهن اکسید پوشش داد و از آن برای حذف جذبی سرب از محلول‌های آبی استفاده کرد [٤]. در این پژوهش سطح ویژهٔ بنتونیت پوشش داده شده افزایش یافت و ظرفیت جذب آن نسبت به سرب بیشتر شد. نتایج مشابهی نیز در جذب Cr(III) و Zn(II) گزارش شد [٦ و٥]. در تمام نمونه‌های بنتونیت، جذب سرب با افزایش تدریجی pH، افزایش نشان می‌داد زیرا H^+ می‌تواند در اشغال مکان‌های جذب، با Pb^{2+} رقابت کند.

جاذب‌های مغناطیسی بر پایهٔ نانواکسیدهای فلزی

براساس خواص مغناطیسی برخی از نانواکسیدهای آهن، جاذب‌های ترکیبی مغناطیسی برای جداسازی فلزهای سنگین از محیط ساخته شده‌اند. در ساخت برخی از این جاذب‌ها اصلاح شیمی سطح نانو آهن اکسید مغناطیسی از راه عامل‌دار کردن انجام می‌گیرد. به‌نظر می‌رسد اصلاح سطح نانو آهن اکسید مغناطیسی، از انباشتگی واکسایش این ذره‌ها در محیط آبی جلوگیری می‌کند [۸ و ۷]. چنان‌که در شکل ۲ نشان داده شده است، با ایجاد پیوند کووالانسی میان پلی‌آکریلیک اسید (PAA) و نانوذره‌های Fe_3O_4 ، و سپس عامل‌دار کردن آن با گروه آمین، نانو جاذب مغناطیسی جدیدی تهیه می شود. [۹]

با تنظیم اندازهٔ نانوذره‌های مغناطیسی از ۱۰nm به ۲۳nm، در دمای ۳۰۰K، ویژگی فراپارا مغناطیسی از نانوذره‌های یاد



شـده مشاهده می‌شـود. این ذره‌ها می‌توانند یون‌هـای دوظرفیتـی مس، سـرب، نیکل و کادمیم را به‌خوبی جـذب کنند در حالی‌که، افزایش pH کی‌لیت شدن یون‌ها را افزایش می‌دهد. گفتنی است که توانایی جذب نانوذره‌ها در برابر همـهٔ این یون‌ها، با افزایش دما زیاد می‌شود.

پشتیبانی نانوذره‌ها با زئولیت

زئولیت‌ها گزینه‌ای ارزان و مناسـب برای آلاینده‌های آلی و معدنی هستند [۱۰]. زئولیت‌های طبیعی کم‌هزینه‌اند و در حذف آلاینده‌های فلزی به روش تبادل یونی، به‌خوبی عمل می‌کنند.

ظرفیـت جـذب زئولیت‌ها از سـطح ویژهٔ زیـاد و بار منفی خالصی که روی آن‌ها وجود دارد، نتیجه می‌شـود [۱۱]. زئولیت NaY بـا برخـورداری از حفره‌هایی که قطر آن‌هـا به ۰/۷۸ nm می‌رسـد جاذب خوبی در برابر فلزهای سـنگین است. در همین حـال، زئولیت می‌تواند یک میزبان بسـیار خوب برای کپسـول کردن نانوذره‌های آهن اکسید باشد.

نتیجه‌گیری

نانوذره‌های اکسـید فلزی به‌عنوان جذب‌های سطحی بسیار کارا در حذف فلزهای سـنگین از آب و فاضلاب، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این ذره‌ها در آب به شکل توده درمی‌آیند و تمایل آن‌ها به انباشـته شـدن سـبب از بین رفتن کارایی آن‌ها می‌شود. بـرای رفـع ایـن کاسـتی، از روش بارگـذاری نانوذره‌ها روی بسـترهای متخلخل بـزرگ- که به‌عنوان میزبـان عمل می‌کنند- استفاده می‌شود. به این ترتیب جاذب‌های سطحی مرکب معرفی می‌شوند.

در کنـار نانوذره‌های فلـزی معمولی، نانواکسـیدهای فلزی مغناطیسی، توجه فراوانی را به خود جلب کرده‌اند. این ذره‌ها در میدان مغناطیسی می‌توانند به‌راحتی از آب جدا شوند.

1. morphology

1. Henglein, A. *Chem. Rev*. **1989**, *89*, 1861.
2. El-Sayed, M.A. *Acc.chem. Res*. **2001**, *34*, 257.
3. Pradeep, T. *Thin Solid Films*, **2009**, *517*, 6441.
4. Mandavian, A.R.; Mirrahimi, M.A.S. *Chem. Eng. J*. **2010**, *159*, 264.
5. Eren, E. *J. Hazard. Mater*. **2009**, *165*, 63.
6. Sari, A.; Tuzen, M.; Soylak, M. *J. Hazard. Mater*. **2007**, *144*, 41.
7. Illes, E.; Tombacz, E. *Colloids Surf*. A, **2003**, *230*, 99.
8. Illes, E.; Tombacz, E. *J. Colloid Interface sci*. **2006**, *295*, 115.
9. Haung, S.H. *J. Hazard. Mater*. **2009**, *163*, 174.
10. Murry, H.H. a general overview, *Appl. Clay Sci.* **2000**, *17*, 207.
11. Cadena, F.; Rizvi, R.; Peter, R. W. Proceedings 22nd Mid Atlantic Industrial Waste Conference, Drexel University, **1990**, 77.