

تصفیه آب به روش تبادل یونی

نویسنده: محمد فرهادپور

مقدمه

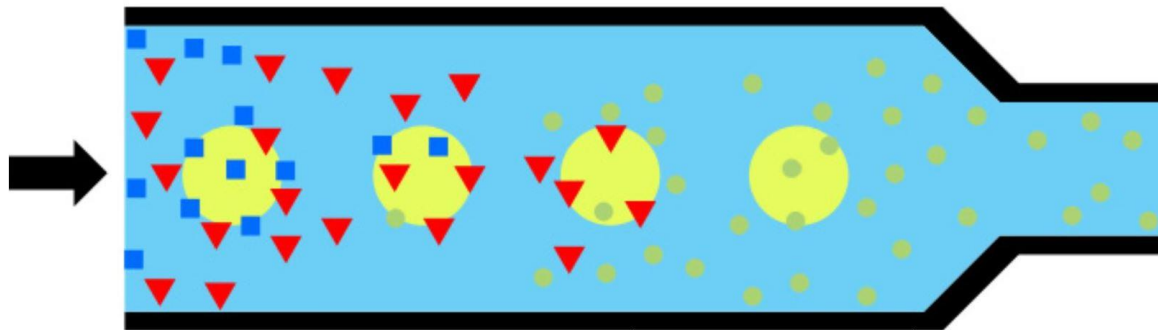
برای تصفیه آب روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها روش تبادل یونی⁽¹⁾ است. با استفاده از این روش می‌توان سختی آب را کاهش داد، کاتیون یا آنیون‌های خارجی را از آب حذف کرد، قلیائیت آب را کاهش داد، آب موجود در صنایع فلزی را بازیابی مجدد کرد، نیترات و سولفات را از آب حذف نمود، بازیابی و یا جداسازی مواد دارویی را انجام داد و کاربردهای دیگری که در آن یونی از آب گرفته شود.

۱- روش تبادل یونی به چه صورت است؟

تبادل یونی همانطور که از اسمش پیداست فرآیندی است که در آن محور اصلی تبادل یون است. اما چه یونی و چگونه؟ در این فرآیند که یکی از اشکال پدیده جذب سطحی است، یون غیرمطلوب از آب توسط یک ماده تبادل‌گر یون (که می‌تواند رزین‌های متخلخل یا بعضی از نانومواد باشد) با یونی دلخواه تبادل می‌شود. برای مثال می‌توانید به شکل ۱ نگاه بکنید.

¹ Ion Exchange

آب همراه با
یون‌های
نامطلوب
کلسیم و
منیزیم



شکل ۱- شماتیکی از فرآیند تبادل یونی

مطابق شکل ۱ مشاهده می‌کنید که آب دارای یون‌های نامطلوب کلسیم و منیزیم است که عوامل اصلی سختی آب هستند. ماده تبادله‌گر یون نیز بر روی سطح خود دارای یون‌های سدیم است. با عبور سیال (آب دارای یون‌های نامطلوب) از فاز جامد (ماده تبادله‌گر یون حاوی یون‌های سدیم در سطح)، یون‌های نامطلوب (کلسیم و سدیم) به جای یون‌های سدیم بر روی سطح ماده تبادله‌گر یون می‌نشینند. در اثر این فرآیند یون‌های کلسیم و منیزیم از آب حذف می‌شود و به جای آن یون سدیم وارد آب می‌شود و سختی آب گرفته می‌شود.

در طی این فرآیند، ماده تبادله‌گر یون، یون‌های سدیم سطحی‌اش را از دست می‌دهد و با کلسیم و منیزیم اشباع می‌شود. در نتیجه نیاز به فرآیند تکمیلی‌ای است که یون‌های کلسیم و منیزیم از سطح تبادله‌گرهای یونی جدا شوند و به جای آنها مجدداً یون‌های سدیم بشینند. در این فرآیند تبادل گرهای یونی مجدداً قابل استفاده می‌شوند. به این فرآیند، چرخه‌ی شستشوی معکوس برای احیا تبادل گرهای یون گفته می‌شود. برای مثال جهت قرارگیری یون‌های سدیم بر روی تبادل گر یون، از محلول آب نمک برای احیا استفاده می‌شود. در اثر این فرآیند، تبادل گرهای یون به مدت حدودی ۲۰ - ۳۵ دقیقه در محلول آب نمک قرار می‌گیرد تا به مرور یون‌های سدیم

به جای یون‌های مذکور بر روی سطح قرارگیرند. قابل ذکر است که اگر این مدت زمان کمتر باشد، احیا به صورت کامل صورت نمی‌گیرد و ظرفیت تبادل یونی برای مراحل بعدی کاهش می‌یابد.

این روش محدودیت TDS² دارد. منظور از TDS کل مواد جامد محلول در آب است. واحد آن ppm است و مقدار مطلوب آن را آب آشامیدنی چیزی در حدود ۳۰-۹۰ ppm است. این روش برای آب‌هایی با TDS بیشتر از ۷۰۰ راندمانش پایین می‌آید و برای TDS‌های بیشتر از ۲۰۰۰ تاثیر کم‌رنگ‌تری دارد چراکه ظرفیت تبادل یونی آن کمتر از میزان یون‌های موجود در آب خواهد بود.

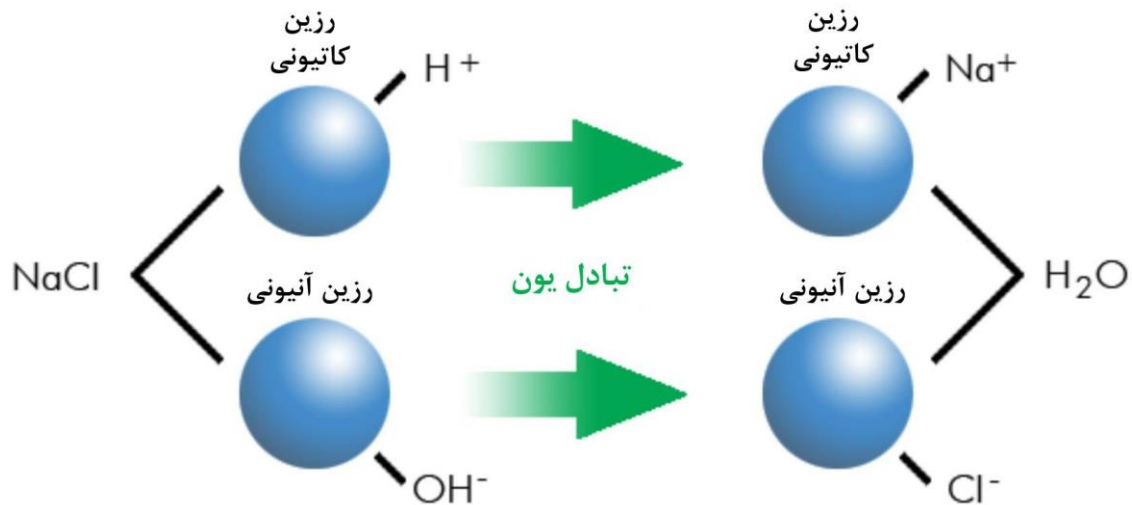
۲- مواد مورد استفاده به عنوان تبادل‌گرهای یون

تبادل‌گرهای یونی معمولاً از رزین‌های متخلخلی هستند که سطح ویژه بالا و قابلیت جذب و واجذب یون‌ها را دارند. همچنین می‌توانند از بعضی از نانوساختارها مثل زئولیت‌ها یا نانوصفحات رسی باشند.

در رابطه با رزین‌های تبادل‌گر یون، آنها را به دو دسته رزین‌های کاتیونی و رزین‌های آنیونی دسته‌بندی می‌کنند. رزین‌های کاتیونی تبادل‌کننده یون‌های مثبت و رزین‌های آنیونی تبادل‌گر یون‌های منفی اند. رزین‌های کاتیونی معمولاً پایه سدیمی (مشابه مثال مربوط به شکل ۱) یا پایه هیدروژنی اند که به ترتیب کاتیون‌های نامطلوب را با یون سدیم یا یون هیدروژن مبادله می‌کنند. رزین‌های آنیونی نیز معمولاً یا پایه هیدروکسیلی یا کلریدی هستند که به ترتیب آنیون‌های نامطلوب را با یون هیدروکسیل یا یون کلر تبادل می‌کنند.

برای مثال در شکل ۲، عملکرد رزین کاتیونی پایه هیدروژنی و رزین کاتیونی پایه هیدروکسیلی نمایش داده شده است. مطابق شکل ۲ با قرارگیری این دو نوع رزین تبادل‌گر یون در آب نمک، به مرور رزین‌های کاتیونی، یون سدیم را جذب و یون هیدروژن را آزاد می‌کنند. رزین‌های آنیونی نیز یون‌های کلر را جذب و یون‌های هیدروکسیل را آزاد می‌کنند.

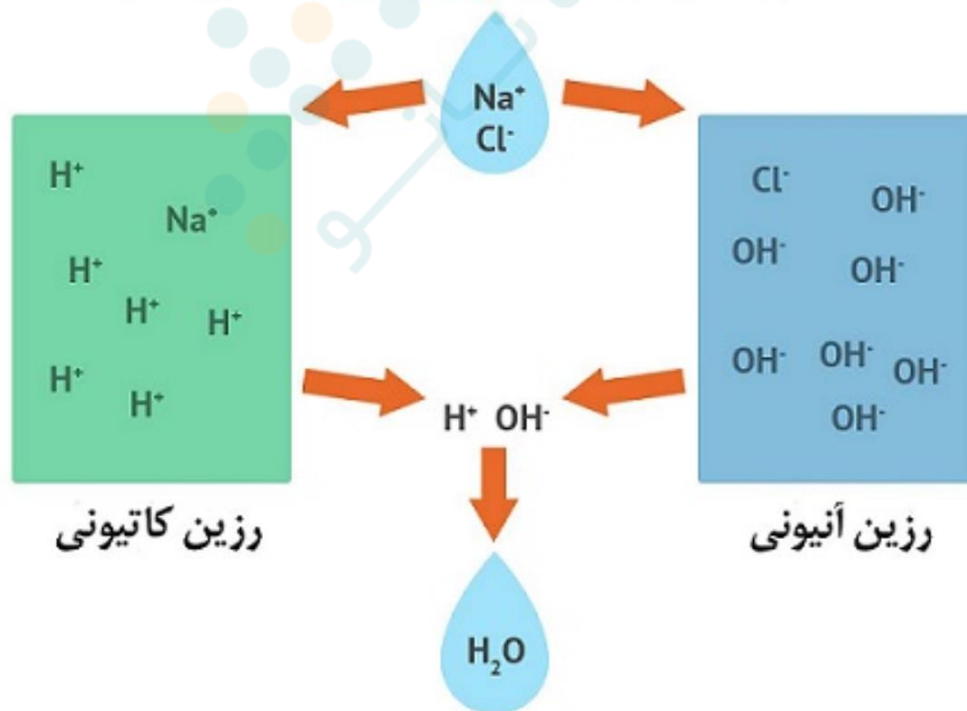
² Total dissolved solids



شکل ۲- شماتیک عملکرد تبادل گر کاتیونی پایه هیدروژن و تبادل گر آنیونی پایه هیدروکسید در تصفیه محلول آب نمک

موارد گفته شده به شماتیک دیگری نیز در شکل ۳ نشان داده شده است.

مکانیسم تبادل یونی در تصفیه آب



شکل ۳- شماتیک تبادل گرهای یون کاتیونی و آنیونی در جداسازی یونهای کلر و سدیم از آب

همچنین از نانوموادى همچون زئولیت‌ها، نانوصفحات رسی، نانولوله‌های کربنى، گرافن و نانوذرات سیلیکا ميتوان به عنوان تبادلى گر یون استفاده نمود. همچنین می‌توان از نانومواد دیگری همچون نانوذرات نقره، نانوذرات اکسیدروی، نانوذرات اکسید آهن و نانوذرات آلومینا نیز در ممبران‌های تبادلگريونى استفاده نمود تا خصوصياتى همچون پایداری مکانیکی و شیمیایی ممبران یا قابلیت تبادل یون آن بهبود یابد یا با خواصى همچون فوتوکاتالیستی یا آنتى باکتریالى توأم شود.

نانوموادى همچون زئولیت، گرافن، نانولوله‌های کربنى، نانوصفحات رسی و نانوذرات سیلیکا داراى سطح بسیار زیادى هستند و این یکی از دلایل استفاده از آنها به عنوان تبادلى گر یون است. این مواد با دارا بودن سطح ویژه بسیار زیاد توانایی قراردادن مقادیر بالای از یون در سطح خود را دارا می‌باشند. همچنین نیاز است تا این نانومواد قابلیت قرارگیری یون‌ها بر روی سطحشان و تبادل آن با سایر یون‌ها و همینطور احیا مجدد را دارا باشند. برای مثال ميتوان به زئولیت‌ها اشاره کرد که با توجه به بار سطحی و اندازه حفراتی که دارند کاتیون‌های خاصى را درون ساختارشان قرار می‌دهند. حال اگر کاتیون نامطلوب در آب نیز از لحاظ اندازه و بار قابلیت تبادل با زئولیت را داشته باشد، تبادلگری یون انجام می‌شود و آب از یون نامطلوب تهی می‌شود. نانوصفحات رسی نیز با توجه به ساختارشان همواره داراى کاتیون‌هایی در بین ساختار صفحات خود هستند که قابلیت تبادل یونى بالایی با محیط محلولی خواهند داشت. همچنین می‌توان با عاملدار سازی نانولوله کربنى یا گرافن با گروه‌های عاملی خاص آنها را به گونه‌ای مهندسى کرد که تبادلگری یون انجام بدهند. البته از این مواد در موارد بسیاری به عنوان یک افزودنى در رزین تبادلگريون ميتوان استفاده نمود تا عملکرد بهبود پیدا کند.

۳- کاربردها

- حذف سختی آب: این مورد مهمترین کاربرد این روش است. به این فرآیند اصطلاحاً نرم کردن آب می‌گویند.
- حذف کاتیون‌ها و آنیون‌های نامطلوب از آب
- بازیابی مجدد آب در صنایع فلزی: حضور یون‌های فلزی در آب علاوه بر مشکلاتی که برای سلامتی انسان خواهند داشت باعث خوردگی در لوله‌های فلزی می‌شود.
- حذف نیترات و سولفات از آب
- بازیابی و جداسازی مواد دارویی و ...

منابع

- [1]. Alabi, Adetunji, et al. "Review of nanomaterials-assisted ion exchange membranes for electromembrane desalination." *npj Clean Water* 1.1 (2018): 10.
- [2]. Zagrodni, Andrei A. *Ion exchange materials: properties and applications*. Elsevier, 2006.
- [3]. Harland, Clive E. *Ion exchange: theory and practice*. Royal Society of Chemistry, 2007.