

## بررسی فناوری های حذف کلر از آب

حسن ظهیری نیا<sup>۱</sup>، مهدی پورافشاری چنار<sup>۲</sup>، حامد عزیزی نامقی<sup>۳\*</sup>، نازنین عباسی اسکندری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی گروه مهندسی شیمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی شیمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- کارشناس ارشد فرآیندهای آب و فاضلاب شرکت مشاور مهندسیین طوس آب

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گروه مهندسی شیمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

\* hamedazizi6648@gmail.com

### چکیده

یکی از مهمترین مشکلات آب های شور و پساب ها حضور میکروارگانیسم های خطرناک در آنها است که با روش های مختلفی حذف می شوند. استفاده از کلر متداول ترین روش برای حذف این میکروارگانیسم ها است. اگرچه کلر برای جلوگیری از ایجاد بیماری به آب اضافه می شود، ولی همین کلر با اضافه شدن به آب به موادی تبدیل می شود که نه تنها برای سلامتی موجودات و انسان ها، بلکه برای فیلترهای تصفیه آب هم مضر بوده و باعث تخریب آنها می شود. در این مقاله روش های حذف این مواد مثل استفاده از اشعه ماورای بنفش، کربن فعال، دی-اکسید گوگرد، ترکیبات سولفیت، فرآیند MEUF، و غشاهای مقاوم در برابر کلر بررسی شده اند. استفاده از ترکیبات سولفیت یکی از پرکاربردترین و مؤثرترین روش هایی است که به دلیل کنترل فرآیند ساده و بازگردانی راحت آنها در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند.

کلمات کلیدی: کلرزدایی، کربن فعال، ترکیبات سولفیت، MEUF، غشاهای مقاوم

### ۱- مقدمه

قرن هاست که کلرزنی به عنوان روش قابل قبول گندزدایی آب استفاده می شود و مهمترین کشف در زمینه تصفیه آب به شمار می رود. گندزدایی آب آشامیدنی یک مرحله تصفیه اختصاصی برای تخریب یا حذف ارگانیسم های بیماری زا است. سایر کاربردهای کلر شامل کنترل طعم، بو و جلبک ها و حذف آهن، منگنز، سولفید هیدروژن و رنگ است. یک گندزدایی خوب فقط هنگامی مؤثر واقع می شود که برای آبی با کیفیت خوب مصرف شود. مثلاً میزان مواد نامحلول، کدورت و کربن آلی کل (TOC<sup>۱</sup>) باید در آب تا حد امکان کم و ترجیحاً

<sup>۱</sup> Total Organic Carbon

به ترتیب از ۱ mg/L، ۱ NTU و ۲ mg/L کمتر باشد. در کنار این مزیت‌ها، حتی غلظت‌های کم این ماده در آب‌های آشامیدنی و استخرها بسیار سمی و خطرناک بوده و در سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA<sup>۲</sup>) از جمله مواد خطرناک به شمار می‌رود. این ماده که در صنایع شیمیایی و مواد شوینده، صنایع لاستیک‌سازی، صنایع کاغذ و غیره تولید می‌شود، می‌تواند در مدت زمان تماس بالا، باعث سوختگی - های ثانویه شود. حتی در غلظت‌های کم، این ماده باعث سوزش پوست، چشم و امراض ریوی (در صورت استنشاق) می‌شود. کلر مایع در صورت تماس طولانی با دندان‌ها باعث خوردگی می‌شود. وجود کلر به میزان بیش از ۵ ppm در هوا، بینی و چشم‌ها را می‌سوزاند [۲]. همچنین در بحث تصفیه آب از طریق غشاهای اسمز معکوس، هیپوکلریت (OCl<sup>-</sup>) باعث تخریب لایه انتخاب‌گر پلی‌آمید و کاهش بازدهی این غشاهای می‌گردد [۳]. بنابراین جداسازی کلر، مخصوصاً قبل از مصرف آب برای مصارف خاص، ضروری به نظر می‌رسد.

در استاندارد ۱۰۵۳ ایران مقدار توصیه شده کلر آزاد باقی‌مانده پس از نیم ساعت تماس در شرایط عادی حداقل ۰/۵-۰/۸ mg/L در هر نقطه از شبکه انتقال آب و حداقل ۰/۲ mg/L در محل مصرف آب است [۴]. حداقل مجاز کلر آزاد باقی‌مانده در آب آشامیدنی در شرایط اضطراری، همه‌گیری بیماری‌های روده‌ای و بلایای طبیعی باید در حدود ۰/۵-۱ mg/L باشد. طبق گفته سازمان بهداشت جهانی (WHO<sup>۳</sup>) حداکثر مقدار کلر در آب آشامیدنی ۵ mg/L است [۵]. USEPA حداکثر سطح کلر در آب آشامیدنی را ۴ mg/L تعیین کرده است [۶].

## ۲- شیمی کلر

کلر معمولاً به صورت کلر گازی، دی‌اکسید کلر، هیپوکلریت سدیم (عامل سفیدکننده) و هیپوکلریت کلسیم (پودر سفیدکننده) برای ضدعفونی کردن آب به آن اضافه می‌شود. این ترکیبات وقتی در آب حل می‌شوند به اسید هیپوکلرو (HOCl) تبدیل می‌شوند [۷].



همان‌طور که از این واکنش‌ها برمی‌آید گاز کلر pH آب را کاهش می‌دهد. در حالی که هیپوکلریت‌ها pH آب را افزایش می‌دهند. لذا در یک مقدار مساوی کلر اضافه شده به آبی که دارای ظرفیت بافری کم است، کارایی گندزدایی گاز کلر بالاتر از هیپوکلریت‌ها است. HOCl یک اسید ضعیف بدون رنگ با اسیدیته  $pK_a = 7/5$  است که در آب به صورت زیر تجزیه و به یون هیپوکلریت تبدیل می‌شود [۸].



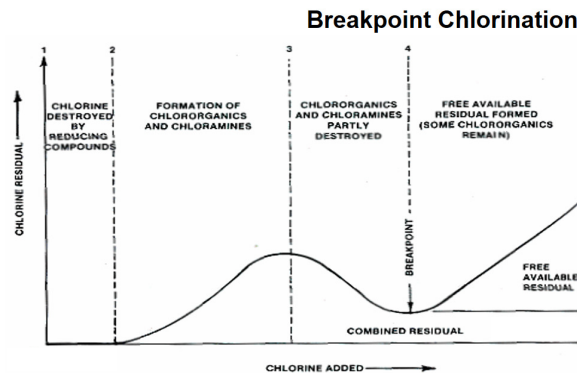
مجموع HOCl و OCl<sup>-</sup> عموماً به عنوان کلر آزاد باقی‌مانده شناخته می‌شوند. در آب‌های با pH=۶/۵-۸/۵، واکنش ناقص است و هر دو گونه (HOCl و OCl<sup>-</sup>) وجود خواهند داشت. غلظت‌های نسبی HOCl و OCl<sup>-</sup> با دما، غلظت اولیه کلر و pH محلول تغییر می‌کند. قدرت اکسیدکنندگی HOCl از OCl<sup>-</sup> بیشتر است. HOCl و OCl<sup>-</sup> به ترتیب در pH=۶ و pH=۷/۵ ترکیب غالب هستند. بنابراین قدرت گندزدایی کلر با افزایش pH کاهش می‌یابد.

هیپوکلریت‌ها اغلب کاملاً ناپایدار هستند. به طور مثال، هیپوکلریت سدیم به عنوان یک جامد در دسترس نیست. کلریت‌ها در نور خورشید تجزیه شده و کلر و اکسیژن را به وجود می‌آورند. به دلیل پایداری کم‌شان، عامل اکسیدکننده بسیار قوی هستند. هنگامی که کلر وارد

<sup>۲</sup> United States Environmental Protection Agency

<sup>۳</sup> World Health Organization

آب می شود در وهله اول (فاصله ۱ تا ۲ در شکل ۱) صرف اکسیداسیون انواع ترکیبات موجود در آب می گردد. کلر با ترکیبات آلی واکنش داده و تری هالومتانها را تولید می کند. همچنین با مواد احیاکننده مانند سولفید هیدروژن، یونهای آهن، یونهای منگنز و نیتريت وارد واکنش می شود. کلر می تواند ترکیبات منگنز را اکسید و آنها را به پرمنگنات تبدیل کند. تا زمانی که نیاز اولیه به کلر برطرف نشود هیچ کلر قابل اندازه گیری موجود نیست. سپس (فاصله ۲ تا ۳) کلر با آمونیاک واکنش داده و کلر ترکیبی باقیمانده تولید می شود. با افزودن مقادیر بیشتر کلر، غلظت کلر باقیمانده به حداکثر مقدار، افزایش می یابد. آمونیاک، که به طور معمول در آبهای طبیعی موجود است، بسته به فاکتورهای متعددی از جمله pH و دما، با یون هیپوکلریت واکنش داده و مونوکلروآمین، دی کلرو آمین و تری کلرو آمین را تشکیل می دهد. افزایش بیش از حد کلر (فاصله ۳ تا ۴) مجدداً باعث کاهش کلر ترکیبی می شود. این وضعیت را نقطه شکست کلرزنی (نقطه ۴) می نامند. در این نقطه کلروآمینها به اکسید نیتروژن، تری اکسید ازت، اسید کلریدریک یا سایر گازها اکسید می شوند و عملاً ارزش ضدعفونی کنندگی خود را از دست می دهند. از نقطه ۴ به بعد کلر تزریقی به آب تماماً خاصیت ضدعفونی دارد و در اثر هیدرولیز به اسید هیپوکلریت و یا یون هیپوکلریت تبدیل می شوند. در عمل سعی می شود غلظت کلر بعد از نقطه شکست در حدود ۱-۰/۵ ppm باشد. شکل ۱ گویای این موضوع است.



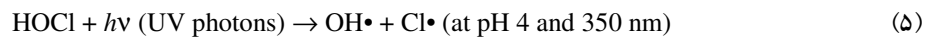
شکل ۱: تغییرات کلر باقیمانده در محیط با افزایش مقدار کلر در خوراک

در صورتی که غلظت کلر بعد از نقطه ۴ بیش از مقدار قابل قبول باشد باید از محیط خارج شود. بنابراین جهت مقابله با اثرات زیانبار کلر در آب، در نقطه مصرف کلر باقیمانده آب را حذف کرده و سپس اقدام به مصرف می شود. در حال حاضر روش های مختلفی برای حذف کلر مازاد از محیط های آبی وجود دارد. این روش ها شامل استفاده از اشعه ماورای بنفش، کربن فعال، دی اکسید گوگرد، ترکیبات سولفیت، فرآیند MEUF و غشاهای مقاوم در برابر کلر می باشند. هدف از این تحقیق بررسی مزایا و معایب روش های فوق و انتخاب بهترین روش با توجه به شرایط و پارامترهای عملیاتی است.

## ۳- روش های حذف کلر

### ۳-۱- اشعه ماورای بنفش

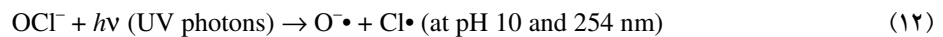
تابش نور خورشید بر اساس طول موج به سه دسته اصلی فرورسرخ (۷۷۰-۱۰۰۰۰۰۰ nm)، نور مرئی (۳۸۰-۷۷۰ nm) و فرابنفش (۱۰۰-۴۰۰ nm) تقسیم بندی می شود. تابش فرابنفش خود به سه دسته UV-A (۳۱۵-۴۰۰ nm)، UV-B (۲۸۰-۳۱۵ nm) و UV-C (۱۰۰-۲۸۰ nm) تقسیم می شود، که UV-C میکروب کش است و ویروس ها، میکروبها و دیگر مواد بیماری زا را با از بین بردن DNA آنها نابود می کند. نور با طول موج ۲۵۴ nm بالاترین قدرت میکروب کشی را دارد. حداکثر میزان تجزیه ی  $HOCl$  و  $OCl^-$  به ترتیب در طول موج های ۲۹۲ nm و ۲۳۶ nm است [۸]. در همین راستا، معادله واکنش تجزیه  $HOCl$  با اشعه فرابنفش در زیر آمده است.



در اینجا ممکن است  $\text{OCl}\cdot$  و  $\text{Cl}\cdot$  با مواد دیگر واکنش داده و مواد جانبی جدیدی را مثل واکنش های زیر تولید کنند.



تجزیه ی  $\text{OCl}^-$ :



یکی از عوامل مهم در تجزیه با این روش غلظت مواد است. هرچه غلظت افزایش باید زمان بیشتری بگذرد و کلرزدایی سخت تر می شود. یکی دیگر از عوامل مقدار pH است. بیشترین کلرزدایی در  $\text{pH} = 6/89$  رخ می دهد. با استفاده از این روش غلظت کلر به میزان زیادی کاهش خواهد یافت. در آزمایشی غلظت از  $1/63 \text{ mg/L}$  به  $0/07 \text{ mg/L}$  با دامنه تابش UV از  $2/85 \mu\text{W/cm}^2$  تا  $866/87 \mu\text{W/cm}^2$  با تغییر گونه های کلر از  $\text{OCl}^-$  یا  $\text{HOCl}$  به  $\text{Cl}^-$  انجام شد. در این روش pH تغییر زیادی نمی کند و حداکثر تغییرات در حدود  $0/1$  افزایش است. اشعه خورشید (UV) نه تنها برای حذف کلر باقی مانده بلکه ضد عفونی کردن آب نیز مؤثر است. اشعه ماورای بنفش خورشید می تواند به عنوان یک ماده ضد عفونی کننده قوی برای از بین بردن ارگانسیم های بیماری زا از آب عمل کند. همچنین، این اشعه باکتری ها، ویروس ها و سایر پاتوژن ها را از طریق غیر فعال کردن DNA آنها از بین می برد.

### ۳-۲- کربن فعال

کلرزدایی با استفاده از فیلتراسیون کربن فعال توسط انجمن کیفیت آب به عنوان روشی قابل قبول برای حفظ آلودگی آب آشامیدنی در محدوده استاندارد USEPA به رسمیت شناخته شده است [۸]. کربن فعال به دو روش برای کلرزدایی مورد استفاده قرار می گیرد. روش اول از کربن فعال پودر شده برای پیش تصفیه، حذف بو و مزه آب استفاده می شود که یک روش معمول برای کلرزدایی نیست. نتایج نشان می دهد که فقط  $10\%$  از کربن فعال در این روش وارد واکنش می شود. روش دوم استفاده از کربن فعال گرانول شده به عنوان فیلترهای معمولی برای جذب آلاینده های آلی و سایر ترکیبات نامطلوب است. کربن فعال طبق رابطه ی زیر با کلر آزاد باقی مانده واکنش می دهد [۹]:



که در آن  $\text{C}\cdot$  کربن فعال و  $\text{CO}\cdot$  اکسید سطح روی کربن است. طبق مطالعات انجام شده کربن فعال همچنین می تواند مونوکلروآمین، دی کلروآمین و گاز کلر را نیز حذف کند:





با این که استفاده از کربن فعال یک روش مؤثر است، اما به دلیل گران بودن و از بین رفتن آن طی کلرزدایی، معمولاً از روش های دیگر استفاده می شود. تنها زمانی از این روش استفاده می شود که بخواهند طعم آب را بهبود داده و کل کلر را از بین ببرند.

### ۳-۳- دی اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>)

SO<sub>2</sub> یک گاز بی رنگ و در عین حال سمی است. علاوه بر سمی بودن، این گاز دارای فشار بخار پایینی نیز هست که باعث می شود ذخیره و نگهداری آن با مشکل مواجه شود. واکنش های SO<sub>2</sub> با آب و ترکیب حاصل با ترکیبات کلر در زیر نشان داده شده است.



همان طور که مشاهده می شود SO<sub>2</sub> در آب به H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> تبدیل شده که با گونه های باقی مانده کلر واکنش می دهد [۹]:



با توجه به معادلات بالا، تمام گونه های کلر باقی مانده توسط SO<sub>2</sub> حذف می شود و اسیدهایی تولید می شوند که می توانند باعث کاهش pH آب شوند. با توجه به این که آب دارای مواد قلیایی کافی است، لذا pH خیلی تغییر نمی کند. SO<sub>2</sub> اضافی ممکن است که باعث مصرف اکسیژن محلول در آب شود:



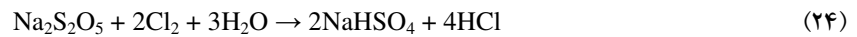
چون و گان<sup>۴</sup> نشان دادند که غلظت سولفیت بیش از ۲/۶ mg/L در پساب تأثیری روی pH ندارد [۱۰]. علاوه بر این، پس از کلرزدایی با SO<sub>2</sub> غلظت اکسیژن محلول از ۴/۸ mg/L به ۶/۱ mg/L افزایش یافت، که احتمالاً به دلیل شدت آشفته گی ایجاد شده ناشی از همزن ها بوده است. با این وجود، از آنجایی که ذخیره SO<sub>2</sub> خطرناک است، در کارهای صنعتی عموماً از ترکیبات سولفیت استفاده می شود.

### ۳-۴- ترکیبات سولفیت (SO<sub>3</sub><sup>-2</sup>)

نظارت بر نرخ خوراک در این سیستم ها به توجه بیشتری و دستگاه های دقیق تری نسبت به SO<sub>2</sub> نیاز دارد. ترکیبات سولفیت جایگزین برای SO<sub>2</sub> عبارتند از: سولفیت سدیم (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)، بی سولفیت سدیم (NaHSO<sub>3</sub>)، متابی سولفیت سدیم (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) و تیوسولفیت سدیم (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). سولفیت سدیم تنها به صورت پودرهای سفید رنگ یا کریستال وجود دارد. کنترل آن به صورت خشک بسیار مشکل است؛ چون یک ماده رطوبت گیر است [۹]. بنابراین هرگز از آن به عنوان یک ماده کلرزدا استفاده نمی کنند. تیوسولفیت سدیم به عنوان یک ماده شیمیایی آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می گیرد و یک عامل رضایت بخش در دستگاه های کلرزدایی نیست؛ زیرا واکنش آن با کلر خیلی آهسته بوده و قابل کنترل نیست. بی سولفیت سدیم به صورت پودر یا دانه های سفید رنگ هست که حلالیت آن در آب در ۲۰ °C برابر

<sup>4</sup> Chen and Gan

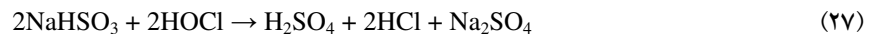
۵۱۵ mg/L است. محلول آبی ۵۴ mg/L بی سولفیت سدیم در دمای ۲۰ °C داری pH = ۳/۵-۵ است [۹]. متابی سولفیت سدیم پودر کرم رنگی است که دارای حلالیت ۶۵۰ g/L در آب در دمای ۲۵ °C است. واکنش متابی سولفیت سدیم با کلر باقی مانده به صورت زیر است:



به صورت تئوری برای حذف ۱ g کلر باقی مانده ۱/۳۴ g متابی سولفیت سدیم لازم است ولی در عمل برای حذف ۱ g کلر ۳ g متابی سولفیت سدیم استفاده می شود. علاوه بر واکنش بالا متابی سولفیت سدیم در آب به بی سولفیت سدیم تبدیل می شود [۷]:



واکنش بی سولفیت سدیم با کلر به صورت زیر است:



برای حذف ۱ g کلر باقی مانده ۱/۴۶ بی سولفیت سدیم لازم است. متابی سولفیت سدیم نباید خود دارای کبالت فعال باشد؛ زیرا خود همین کبالت فعال می تواند فیلترها را از بین ببرد. بی سولفیت سدیم علیه باکتری های هوازی مؤثر است، ولی روی میکروارگانسیم های بی هوازی بی تأثیر است [۷].

### ۵-۳- فرآیند اولترافیلتراسیون بهبود یافته با مایسل (MEUF<sup>5</sup>)

فرآیند MEUF یک فناوری جداسازی جایگزین است که از عوامل فعال سطحی استفاده می کند تا آلاینده های معدنی و آلی را از پساب جدا کند. ترکیبات آلی در هسته های مایسل ها قرار می گیرند و ترکیبات یونی در بخش بیرونی مایسل و به دلیل تداخل الکترواستاتیک با مایسل ها با بار سطحی مخالف، به دام می افتند. مایسل ها (کاتیونی یا آنیونی) دارای پتانسیل الکتریکی بالایی بر روی سطح شان هستند. در نتیجه، برای جداسازی کاتیون های فلزی، عوامل فعال سطحی آنیونی باید مورد استفاده قرار گیرند، در حالی که عوامل فعال سطحی کاتیونی به منظور جداسازی آلاینده های آنیونی مانند نترات ها و فسفات ها به کار می روند. مایسل ها و ترکیباتی که به وسیله آنها به دام می افتند به وسیله یک غشای اولترافیلتراسیون دفع می شوند. ذرات غیر پیوندی و مونومرهای عامل فعال سطحی به همراه آب به آسانی از غشا عبور کرده و به سمت جریان تراوه می روند. در این فرآیند بازده جداسازی آلاینده و شار تراوه به ویژگی ها و مشخصات غشا و آلاینده و همچنین شرایط عملیاتی مختلف وابسته است. ویژگی منحصر به فرد این فرآیند این است که همزمان بازده بالای فرآیند نانوفیلتراسیون و شار بالای فرآیند اولترافیلتراسیون را داراست. از دیگر مزایای این فرآیند این است که به طور نسبی انرژی مصرفی و فشار عملیاتی پایینی دارد.

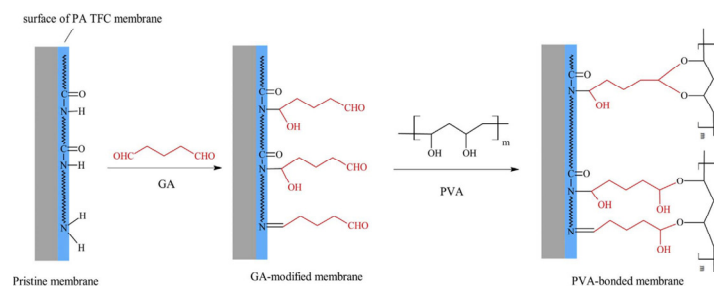
بررسی پتانسیل این فرآیند در حذف کلر فعال آزاد از پساب با استفاده از غشای نانوکامپوزیت پلی اترسولفون/تیتانیوم اولین بار توسط افتاده رحمتی و همکارانش [۱۱] انجام شد. آنها غلظت نانوذرات TiO<sub>2</sub>، زمان، pH، فشار عملیاتی، غلظت عامل فعال سطحی و غلظت کلر خوراکی را بر عملکرد فرآیند MEUF بررسی کردند. نتایج نشان داد که قدرت یونی و pH محلول نقش متفاوت و قابل توجهی در عملکرد فرآیند ایفا می کنند. به طوری که شار تراوه زمانی با افزایش قدرت یونی، کاهش می یابد. در حالی که با افزایش pH، شار تراوه و درصد دفع کلر به ترتیب افزایش و کاهش می یابند. با افزایش فشار عملیاتی و غلظت نانوذرات، بازده دفع افزایش، ولی با افزایش غلظت کلر بازده دفع

<sup>5</sup> Micellar Enhanced Ultrafiltration

کاهش می یابد. همچنین، در مورد غلظت عامل فعال سطحی، پدیده قطبش غلظت مؤثرتر از تشکیل مایسل در عملکرد MEUF است. در مجموع، MEUF توسط غشای نانو کامپوزیت دارای درصد دفع مناسبی از کلر بوده به طوری که در شرایط اسیدی  $pH=2-4$  درصد دفع تقریباً ۷۵٪ بوده است.

## ۳-۶- استفاده از غشاهای مقاوم در برابر کلر

عموماً غشاهایی که در برابر کلر مقاوم هستند با دو هدف ساخته می شوند: اول ساخت لایه های پوششی روی غشا جهت جلوگیری از واکنش کلر باقی مانده با غشا و دوم حذف گروه های حساس به کلر در غشا. در روش اول از لایه های پوششی تشکیل شده روی غشا استفاده می شود. یک پوشش آب دوست که دارای بار خنثی یا مثبت است، به عنوان لایه ی محافظ در برابر حمله ی کلر عمل کرده و گرفتگی غشا را نیز کاهش می دهد تا طول عمر آن افزایش یابد. این پوشش باعث ایجاد یک لایه ی محافظ بسیار نازک بر روی سطح غشای پلی آمیدی می شود که می تواند به صورت شیمیایی از طریق پیوند کووالانسی پایدار شود. پوشش هایی که دارای یک گروه هیدروفیل تخلیه شده اند، مانند هیدروکسیل (به عنوان مثال پلی وینیل الکل (PVA))، منجر به یک غشای خنثی تر می شود و این غشا جذب کمتر و مقاومت بیشتری در برابر انواع کلر را نشان می دهد. شیمی اصلاح سطح از طریق پیوند کووالانسی PVA با غشاهای پلی آمیدی در شکل ۲ نشان داده شده است؛ این روش شامل اصلاح سطحی غشاهای پلی آمیدی با محلول آبی گلو تار آلدهید (GA) و سپس با محلول PVA است [۱۲].



شکل ۲: شمای اتصال کووالانسی مولکول های PVA روی سطح غشای PA با استفاده از GA به عنوان عامل اتصال دهنده [۱۲]

در روش دوم با حذف قسمت های فعال (پیوند N-H)، مقاومت غشاهای پلی آمیدی در برابر کلر آزاد باقی مانده افزایش می یابد. این قسمت های حساس می توانند با استفاده از آمین های ثانویه برای جایگزینی هیدروژن با اتصال آمید (-CONH-) با سایر گونه های شیمیایی که نسبت به کلر مقاوم هستند، حذف شوند. غشاهای ساخته شده بر اساس این آمین ها نسبت به غشاهای ساخته شده از آمین های نوع اول در برابر کلر مقاوم تر و پایداری شار در آنها بهبود یافته است. پس استفاده از آمین های ثانویه یا تبدیل آمین های اولیه به ثانویه توسط جایگزینی N اتصال های آمین های سوم را در غشای پلی آمید ایجاد می کند که باعث می شود غشاها به کلر مقاوم شوند. نتایج نشان می دهد که مقاومت در برابر کلر برای غشاهای پلی آمیدی به طور مؤثر افزایش می یابد، زمانی که ترکیبات دی آمین آروماتیک با Cl یا  $CH_3$  جایگزین می شود [۱۴].

## ۴- نتیجه گیری

در سال های اخیر تحقیقات متعددی بر روی کلر و ترکیبات آن به منظور جلوگیری از رشد میکروارگانیسم ها در محیط های آبی انجام شده است. اما تحقیقی در راستای بررسی معایب و به خصوص روش های حذف کلر و ترکیبات آن از آب در غلظت های مختلف انجام نشده است. بنابراین، در این مقاله روش های مختلف حذف کلر از محیط های آبی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. روش اول استفاده از اشعه ماورای بنفش بود که عموماً برای غلظت های پایین کلر و  $pH=6-7$  در مقیاس آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می گیرد. روش دوم استفاده از فیلترهای کربن فعال است که در دستگاه های کوچک تصفیه آب خانگی مورد استفاده قرار می گیرند. در این روش علاوه بر حذف کلر، طعم و بوی آب هم به مقدار



زیادی بهبود می یابد. روش سوم استفاده از دی اکسید گوگرد است که اخیراً از این روش به دلیل سمی بودن ترکیبات گوگردی و فشار بخار پایین آنها استقبال چندانی نمی شود. روش بعدی استفاده از فرآیند غشایی MEUF که یک روش جداسازی جایگزین بوده و تنها مشکل آن نشت مواد عامل فعال سطحی به درون تراوه می باشد. به همین دلیل این روش هنوز در مقیاس آزمایشگاهی کاربرد دارد. در روش بعدی از ترکیبات سولفیت (مثل بی سولفیت سدیم) استفاده می شود. این مواد باید خود خالص باشند و فلزات سنگین فعال نداشته باشند. یکی از بهترین مزایای این مواد کنترل فرآیند ساده و شیوه بازگردانی راحت آنها است. در نهایت استفاده از فرآیندهای غشایی با غشاهایی است که در برابر کلر مقاوم باشند. نمی توان گفت این غشاها حتماً در برابر کلر به صورت کامل مقاوم هستند؛ ولی طول عمر آنها نسبت به غشاهای معمولی بیشتر است. استفاده از دو روش آخر عموماً در واحدهای بزرگ تصفیه آب (همانند نمک زدایی از آب دریا) کاربرد زیادی دارد. می توان برای بهبود عملکرد غشاها از دو یا حتی چند روش به صورت همزمان در تصفیه خانه های بزرگ استفاده کرد. با این وجود، آنچه در این نوع مسائل از اهمیت ویژه ای برخوردار است هزینه انجام آنها است، که باید مورد بررسی قرار گیرد. ضد عفونی کردن با روش هایی غیر از کلرزنی می تواند راهکاری اساسی برای جلوگیری از این مشکلات باشد.

## منابع و مراجع

- [۱] چالکش امیری، م. ۱۳۹۴. اصول تصفیه آب، انتشارات نگارنده دانش.
- [۲] پیکری، م. مهربانی، ا. ۱۳۸۷. مبانی تصفیه آب، انتشارات ارکان دانش.
- [3] Xu, G.R. Wang, J.N. Li, C.J. 2013. Strategies for improving the performance of the polyamide thin film composite (PA-TFC) reverse osmosis (RO) membranes: Surface modifications and nanoparticles incorporations, *Desalination*, 328: 83–100.
- [4] Drinking water physical and chemical specifications, 5<sup>th</sup> edition, ISIRI 1053.
- [5] World Health Organization, Guidelines for Drinking-Water Quality-Recommendations, 4<sup>th</sup> edition, WHO, 2011.
- [6] 2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, EPA 822-F-18-001.
- [7] Dow, FILMTEC™ Elements Technical Manual, in: FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes: Dow Technical Manual, Dow Water Solutions, 2008, 181.
- [8] Lim, M. Delehomme, C. Capece, J. Removal of Residual chlorine from drinking-water by solar radiation (UV) and activated carbon filtration, *Intelligentsia International Inc.*, and Southern DataStream Inc., April 2008.
- [9] Black, Veatch. Corporation, White's handbook of chlorination and alternative disinfectants, 5<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons. Inc, Jan 2010.
- [10] Chen, C.L. and Gan, H.B. 1981. Wastewater Dechlorination State-of-the-Art Field Survey and Pilot Studies. Cincinnati, OH: Municipal Environmental Research Laboratory, EPA-600/S2-81-169.
- [11] Oftadeh Rahmati, N. Pourafshari Chenar, M. Azizi Namaghi, H. 2017. Removal of free active chlorine from synthetic wastewater by MEUF process using polyethersulfone/titania nanocomposite membrane, *Separation and Purification Technology*, 181: 213–222.
- [12] Gohil, J.M. Suresh, A.K. 2017. Chlorine attack on reverse osmosis membranes: Mechanisms and mitigation strategies, *Journal of Membrane Science*, 541: 108–126.
- [13] Lee, Y.T. Kim, N.W. Shin, D.H. 2010. Polyamide Composite Membrane Having Fouling Resistance and Chlorine Resistance and Method Thereof, in: WO/2010/062016.
- [14] Konagaya, S. Watanabe, O. 2000. Influence of chemical structure of isophthaloyl dichloride and aliphatic, cycloaliphatic, and aromatic diamine compounds polyamides on their chlorine resistance, *Journal of Applied Polymer Science*, 76: 201–207.