

بررسی روشهای تصفیه آب و فاضلاب در کشورهای توسعه یافته (مطالعه موردی ایالات متحده آمریکا)

مجید اسم حسینی^{*}، سیما صولتی فر^{*}، امیر میرزائزاد^{**}، نادر صولتی فر^{**}

^{*} گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

^{**} دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه ارومیه

حدود ۴۰ میلیون مایل مکعب آب روی کره زمین موجود است که اقیانوسها حدود ۹۷ درصد آن را شامل می‌شوند. ۳ درصد بقیه آب‌های آزاد هستند: (الف) برف و یخ روی سطح کره زمین حدود ۲/۲۵ درصد و (ب) آب زیرزمینی قابل استفاده در حدود ۳ درصد و (ج) آب آزاد سطحی کمتر از ۵ درصد.

آب‌های دریایی و زیرزمینی نمک‌گیری شده

تجدید آب از فاضلابها

یکی از عمده‌ترین اقدامات ایالات متحده، «مدیریت جامع و واحد» آب است که با محوریت هماهنگی‌های اجتماعی، زیست‌محیطی و تکنیکی انجام گرفته است. مصوبه و دستور آب پاکیزه (CWA) و آب آشامیدنی سالم (SDWA) در حفاظت آب، علاوه بر این که اهرم فشاری برای حفاظت مقسم‌های آبی است، مأموریت‌های حوزه مدیریت آب آشامیدنی را تسهیل می‌کند.

آب سطحی، مزایا و معایب

بزرگترین مزیت استفاده از آب سطحی به عنوان یک منبع آبی آنست که به آسانی قابل دسترس بوده و در استفاده از آن نیازی به آموزش و ابزار پیچیده نیست. اغلب منابع آبی سطحی در ایالات متحده از چندین دهه قبل مورد استفاده بوده‌اند و اطلاعات عمده در زمینه کیفیت و کمیت آنها موجود است. آب‌های سطحی عموماً نرم ترند و با توجه به این مزیت، تصفیه آنها مستلزم صرف انرژی و هزینه کمتری است و بدین جهت در این کشور مورد توجه بوده است. همچنین در ایالات متحده، سیستم ۶۰۰۰ واحد آبی

در ایالات متحده میانگین بارندگی در حدود ۲/۶ فوت (حجم ۵۹۰۰ کیلومتر مکعب) است. از این میزان، حدود ۷۱ درصد (معادل ۴۲۰۰ کیلومتر مکعب) تبخیر می‌شود و ۲۹ درصد به صورت جویبار جاری می‌شود. آب آزاد قابل استفاده صرف تولید، تهیه خوراک، مصارف خانگی و عمومی ضروری، تولید انرژی هیدروالکتریکی و کنترل سیلاب می‌گردد. صنعت و آبیاری حدود نیمی از این مقدار را مصرف می‌کند که معادل ۳/۴ درصد یا ۲۰۰ کیلومتر مکعب بر سال را شامل می‌شود. البته مقدار مصرف عمومی آب در ایالات متحده در حال افزایش است. برای مثال در سال ۱۹۷۵ میلادی ۴۰ میلیارد گالن آب آزاد مورد استفاده قرار گرفته بود که در سال ۱۹۹۰ میلادی به ۴۵۵ میلیارد گالن رسید و در سال ۲۰۰۲ به ۷۲۵ میلیارد گالن افزایش یافت.

منابع اولیه آب آزاد شامل موارد زیر بوده‌اند:

آب جمع‌آوری شده از بارش در مخازن و منابع آب آبهای زیرزمینی چشمه‌ها، چاه‌های آرتزین و حفاری شده آب‌های سطحی دریاچه‌ها، رودها و جویبارها

توسط آب‌های سطحی تغذیه شده و برای جمعیتی حدود ۱۵۵ میلیون نفر آب شرب تامین می‌کند. توجه به آب‌های زیرزمینی نیز ناشی از لزوم ذخیره آب چند ده میلیون نفر است.

عمده‌ترین عیب معنی‌دار در استفاده از آب سطحی به عنوان منبع آبی، پتانسیل بالای آلودگی پذیری آن است. این آلودگی عمدتاً هم از سوی میکروارگانیسم‌هایی است که مولد بیماری‌های آبی هستند و هم از جانب موادی شیمیایی است که از سطوح جدا شده و وارد رودخانه‌ها و جویبارها می‌شوند. در ایالات متحده طی ۱۹۷۱-۱۹۸۵، ۵۰۲ نوع بیماری آبی شیوع یافته و ۱۱۲۲۸ مورد مبتلا به آنها گزارش شده است و نیز طی ۱۹۹۱-۱۹۹۸، ۲۱۰۰ مورد آلودگی به بیماری‌های ویروسی با منشأ آبی یافت شده است که نشان دهنده آلودگی‌پذیری زیاد آب‌های سطحی است. عیب دیگر اغلب آب‌های سطحی کدورت آنهاست که ناشی از شناور شدن رسوبات است. هر قدر که کدورت آب افزایش می‌یابد، هزینه پالایش و زمان عمل روی آن نیز افزایش یافته که از نظر اقتصادی فاکتور نامطلوبی محسوب می‌شود.

آب زیرزمینی (سیستم‌های چاهی)

در گذشته حفاری چاه‌های عمودی آبی فقط جهت دسترسی به آب انجام می‌گرفت. امروزه اغلب در آمریکا، این امر شامل انجام مراحل پیچیده و گام به گام به شکل هفت مرحله است:

گام ۱: کاربری - بسته به موقعیت و نحوه خروج و نوع میزان منبع ذخیره، متفاوت است.

گام ۲: موقعیت مناسب - بعد از تعیین نوع کاربری، محل از نظر زمین‌شناختی محلی و سایر عوارض بررسی می‌شود تا از مناسب بودن آن اطمینان حاصل شود.

گام ۳: حفاری - بعد از طی گام‌های ۱ و ۲، نوبت حفاری است.

گام ۴: گزارشهای مهندسی مقدماتی - بعد از حفر چاه، نتایج به صورت مستند ثبت می‌شوند و بررسی‌های مهندسی در جهت بهره‌برداری از منبع آبی به صورت عملی انجام می‌شود. در این مرحله با استفاده از پمپ تعیین می‌شود که آیا چاه حفر شده توان تامین آب مورد نیاز را خواهد داشت. برای این کار پمپاژ آب به مدت ۶ ساعت با دبی برابر یا بیشتر از کاربری مورد نظر انجام می‌گیرد. سطح تراز باید با سرعتی جبران شود که طی ۲۴ ساعت بعد از توقف پمپاژ به حالت عادی برگردد. سپس نمونه‌گیری انجام شده و آب از نظر زیست‌باکتریایی و کیفیت شیمیایی آزموده می‌شود.

گام ۵: ارائه مستندات برای اقدام و بهره‌برداری - با استفاده از نتایج، نسبت به بهره‌برداری اقدام می‌شود.

گام ۶: مجوز احداث - اگر محل تأیید گردد، مجوز احداث صادر می‌شود.

گام ۷: مجوز کاربری - بعد از آماده‌سازی محل و تجهیزات، مجوز کاربری و ورود به چرخه کاری صادر می‌شود.

تجهیزات مورد استفاده بر حسب نوع چاه و شرایط بهره‌برداری در مرجع شماره ۳ به تفصیل آورده شده است.

عمده منابع سیستم تامین آب در ایالات متحده، آب‌های زیرزمینی است. آب‌های زیرزمینی فاقد پاتوژن و هر ماده سمی آلی و معدنی هستند. علاوه بر آن، بدون رنگ و ذرات معلق (یعنی بدون کدورت) بوده و دارای طعم و مزه مطلوبی هستند. اما بدلیل قرار داشتن در معرض فرایندهای بی‌هوازی، حاوی نمک‌های هستند.

امر تصفیه آب در ایالات متحده، شامل کنترل موارد زیر است:

آلودگی‌های باکتریایی

هیدروژن سولفید

آب سخت

آب خورنده (Corrosive)

آهن و منگنز

بر اساس تجربه و با استناد به ویراست هشتم "Manual of Water Utility Operations" انجمن کاربری آب تگزاس، تصفیه آب شامل فرایندهای زیر است:

حذف زباله‌ها از آب رودخانه‌ها و مخازن آبی

لایروبی منابع جهت جلوگیری از تجزیه بی‌هوازی که به کاهش ورود آهن و منگنز از ذرات ریز به محلول آب منجر خواهد شد و ممکن است مستلزم حذف متوالی در عملیات تصفیه باشد. هیدروژن سولفید و سایر ترکیبات بو و طعم‌دار معمولاً طی لایه‌بندی تشکیل می‌یابد که نیاز به لایروبی را دوچندان می‌کند.

تصفیه شیمیایی مخازن آبی جهت کنترل رشد جلبک و سایر رویندهای آبی که مشکل طعم و بو ایجاد می‌کنند.

آب‌های سطحی عموماً نرم ترند و با توجه به این مزیت، تصفیه آنها مستلزم صرف انرژی و هزینه کمتری است و بدین جهت در این کشور مورد توجه بوده است. همچنین در ایالات متحده، سیستم ۶۰۰۰ واحد آبی توسط آب‌های سطحی تغذیه شده و برای جمعیتی حدود ۱۵۵ میلیون نفر آب شرب تامین می‌کند. توجه به آب‌های زیرزمینی نیز ناشی از لزوم ذخیره آب چند ده میلیون نفر است.

پیش‌لایروبی جهت حذف لجن‌ها پیش از فرایند تصفیه

هوادهی برای حذف گازهای ایجاد کننده بو و طعم مانند هیدروژن سولفید و سایر گازهای محلول یا اجزای فرار و اکسید کردن آهن و منگنز (هر چند که منگنز یا غلظت‌های بالای آهن در واحدهای هوادهی حذف نمی‌شوند). اکسیداسیون شیمیایی آهن، منگنز، سولفید و ترکیبات دارای بو و مزه و پیش‌ماده‌های آلی که ممکن است هنگام افزایش کلر به آب، تری‌هالومتان تشکیل داده باشند.

استفاده از جاذب جهت حذف مزه و بو

تخمین زده می‌شود که بیش از ۱۴۰ بیلیون دلار هزینه لازم است تا یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در ایالات متحده احداث یا تجهیز شود و با این که کیفیت سایر گونه‌های آب در واحدها بهبود یابد تا تحت استانداردهای لازم به فعالیت خود ادامه دهند.

تکنیک‌های حذف آهن و منگنز و گندزدایی

دقریزاسیون و دمگانیزاسیون عمدتاً از طریق هوادهی منجر به رسوب‌گیری شیمیایی این دو یون از محلول آبی می‌شوند که برای این مقصود از پتاسیم پرمنگنات یا کلر نیز استفاده شده است. تکنیک‌های عمده در این زمینه عبارتند از رسوب‌گیری، اکسیداسیون، مبادله یون، جدایش و هوادهی. رسوب‌گیری آهن و منگنز از آب در واحدهای تصفیه آب با تنظیم pH بوسیله

افزودن آهک یا سایر مواد شیمیایی در حدود ۱۱-۱۰ صورت می‌گیرد و با استفاده از صافی‌های شنی رسوبات حاصل جداسازی می‌شوند و برای ادامه کار، دوباره pH به ۸/۵ تقلیل داده می‌شود.

اکسیداسیون یکی از متداول‌ترین روش‌های حذف آهن و منگنز است. برای این امر از اکسیدان‌های هوا، کلر و پتاسیم پرمنگنات استفاده می‌شود. با استفاده از این اکسیدان‌ها، آهن و منگنز از درجه اکسایش پائین، به درجه اکسایش بالاتر- که در آب نامحلول تر است- اکسید می‌شوند. هر کدام از این مواد معایب و مزایایی دارند و از نظر عمل، اندکی با همدیگر تفاوت دارند. در این میان کلر اهمیت فراوانی دارد، چرا که هم گندزد است (برای مواد زنده درون آب و کنترل رشد باکتری‌ها در سیستم تصفیه و هم برای کنترل میزان آهن و منگنز (به صورت پرکلرین) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ایالات متحده از دی‌اکسید کلر جهت حذف بو و طعم اولیه ناشی از ترکیبات فنولی در مخازن آبی استفاده شده است.

با افزودن کلر، مواد آلی آب‌های سطحی و زیر زمینی توانایی تشکیل THMها را می‌یابند. آب‌های زیرزمینی به دلیل اسیدی بودن، نیازمند تنظیم pH در ۷-۶/۵ هستند به همین خاطر هنگام استفاده از کلر به عنوان اکسیدان، برای تنظیم pH از آهک، سودا یا سود سوزآور استفاده می‌شود. سود سوزآور سمی است و استفاده از آن در صنعت مستلزم دقت فراوان است. کلر به صورت کلسیم هیپوکلریت نیز در ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفته است.

مبادله یون که برای نرم کردن آب‌های سخت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد از طریق جذب آهن و منگنز از محلول عمل می‌کند. با عبور آب از میان رزین، یون‌های نامطلوب درون آب جذب رزین شده و با یون‌های کم مزاحمت جایگزین می‌شوند. زمانی هم که غلظت یون در آب پائین است و قابل اکسید شدن نیز نیست، از جدایش استفاده می‌کنند.

برای از بین بردن باکتری‌های بی‌هوازی از گندزداها استفاده می‌شود. اوزون را می‌توان با توجه به هدف مورد نظر، از قسمت‌های مختلفی و در حین مراحل متفاوتی به سیستم تصفیه وارد نمود. البته تاثیرگذاری آن به عنوان ماده گندزدا تحت کنترل pH نیست و با آمونیاک برهم کنشی ندارد. اوزوناسیون پرهزینه‌تر از کلریناسیون و حتی استفاده از UV به عنوان ضدعفونی کننده است و آیتم عملیاتی گرانی محسوب می‌شود. از آنجایی که اوزون هیچ بقایای مؤثری از خود در سیستم بر جای نمی‌گذارد لذا برخی مواقع از آن به عنوان عامل تصفیه‌ای بعد از کلریناسیون بهره‌گیری می‌شود. در گندزدایی متوالی، از اوزون به عنوان گندزدای اولیه و از کلر یا مونوکلرآمین به عنوان گندزدای ثانویه استفاده شده است. پیش‌گندزدایی با اوزون سرعت غیر فعال‌سازی را افزایش داده و فاز تاخیر در مونوکلرآمین یا کلر زنی را حذف می‌کند.

در افزایش متوالی اوزون و کلر، اثر افزایشی با افزایش pH کاهش می‌یابد. در مورد مکانیسم تاثیر اوزوناسیون مطالعات متعددی صورت گرفته است که در مرجع شماره ۲ این مقاله آورده شده‌اند. البته اوزوناسیون بعد از کلریناسیون دارای فرآورده‌های فرعی سمی موتاژنیک کارسینوژنی است. برومات یکی از آنهاست که ناشی از تاثیر اوزون مولکولی و رادیکال هیدروکسیل (آلدئید و کتواسیدهای ناشی از واکنش اوزون با مواد آلی) بر یون برومید است و تولید کارسینوژن را می‌نماید. منبع عمده برم در ایالات متحده چاه‌های آرکانزاس،

اوهایو و میشیگان (از ۰/۲ تا ۰/۴ درصد) است. تری هالومتان (THM) و هالواستیک اسید نیز ناشی از تاثیر اوزون بر مواد آلی موجود در آب است. روشن شده است که اوزوناسیون فاضلاب‌های شهری منجر به تولید ترکیبات موتاژنیک می‌شود که می‌توان این مواد را با استفاده از کربن فعال تصفیه نمود. در ایالات متحده اولین تصفیه‌خانه اوزوناسیون در ویتینگ ایندیانا در سال ۱۹۴۱ برای کنترل مزه و بو راه‌اندازی شد و امروزه نیز به همین منظور به فعالیت خود ادامه می‌دهد. علاوه بر ایندیانا در استراسبورگ و پنسیلوانیا نیز از اوزون برای آب آشامیدنی استفاده می‌شود. استفاده از اوزون برای آب آشامیدنی در ایالات متحده کمتر از مصرف در اروپا است. هزینه انرژی اوزوناسیون بیشتر از هزینه انرژی برای کلریناسیون است. تکنولوژی اوزون را کد مانده و توسعه آن برای تصفیه آب و فاضلاب متوقف شده است. البته از طریق اوزوناسیون می‌توان رنگ ناشی از کروماژن‌ها را از بین برد. چرا که رنگ آب عمدتاً ناشی از حضور گونه‌های آلی است که طول موج منطقه مشخصی از نور مرئی را جذب می‌کنند. شیمی اوزوناسیون، مکانیسم حذف رنگ با استفاده از اکسید کردن ماده کروماژن را مشخص می‌کند و با مطالعه منبع ورود آن می‌توان مواد احتمالی باقی در محیط را تعیین و در جهت حذف آن اقدام نمود.

در ایالات متحده، کلریناسیون برای اولین بار در سال ۱۹۰۸ میلادی برای تصفیه فاضلاب شهری در جرسی سیتی نیوجرسی جهت گندزدایی استفاده شده است. البته مخلوط اکسیدان‌های اشاره شده نیز مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعه آزمایشگاهی نشان داده است که این روش بسیار مؤثرتر از کلر زنی است.

گندزدایی با کمک پرتو UV که اثرات ضد میکروبی آن از اوایل قرن بیستم روشن شده است نیز معایب و مزایایی دارد. مزایای آن عبارتند از این که ویروس‌ها و باکتری‌های آب آشامیدنی (و با دوز بالاتر، پروتوزوئاها) نابود می‌شوند، محصولات فرعی موتاژنیک کارسینوژنیک و نامطلوب ندارد، مشکلات طعم و مزه ایجاد نمی‌کند و نیاز به افزایش مواد شیمیایی را از بین می‌برد و مهمتر این که فضای کاری کوچکتری نیاز دارد. با این همه، دارای معایبی نیز هست که عبارتند از این که دارای بقایای مؤثر نخواهد بود و بنابراین نیازمند پیش‌گندزدایی با کلر است، تعیین دوز آن مشکل بوده و در کدورت‌های بالا، اثر گندزدایی کمتری دارد، نگهداری لامپ UV مشکل است، احتمال واکنش‌های پاتوژنیک میکروبی وجود دارد و هزینه گندزدایی UV که برای رقابت با کلریناسیون لازم است دوز را ایجاد کرد. محققان دریافتند که UV بعد از اوزوناسیون بهترین تکنولوژی برای پیش‌تصفیه است چرا که علاوه بر حذف کامل رنگ، منجر به حذف مواد آلی باقیمانده نیز می‌شود. البته از تابش خورشید و گندزدایی با اشعه الکترونی نیز استفاده شده است.

دو روش مورد استفاده است: (الف) فرایند مبادله یون و (ب) فرایند مبادله کاتیونی

فرایند مبادله یون نرمی آب‌های سخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمدتاً از رزین‌ها در جایگزینی یون سدیم به جای کلسیم و منیزیم آب سخت استفاده می‌شود. در مبادله کاتیونی، کلیه یون‌های ایجادکننده سختی با قرار گرفتن در معرض رزین مبادله‌گر کاتیونی از آب حذف می‌شوند و سختی آب به صفر می‌رسد. در آب نهایی، معادل یون‌های، و موجود در آب اولیه، حضور

خواهد داشت که اگر غلظت بالایی داشته باشد برای افراد دارای پرهیز نمک مشکل ساز است ولی در کل نسبت به آب اولیه دارای کیفیت مطلوب تری است.

خورندگی آب

یک روش مورد استفاده برای کاهش خاصیت خورندگی ذاتی آب افزودن مواد شیمیایی است که انتخاب آن وابسته به الف: کاربری آب، (ب) مقدار مورد استفاده و (ج) قیمت مواد شیمیایی است.

روش مورد استفاده دیگر، همانند مورد حذف آهن و منگنز، استفاده از هوادهی است که می تواند کربن دی اکسید محلول در آب را تا ۵ میلی گرم در لیتر کاهش دهد و عواقب خورندگی ناشی از حضور آن را به حداقل برساند. حفاظت کاتدی، روش دیگری است که برای کنترل خورندگی

مورد استفاده قرار می گیرد و در آن با برقراری جریان الکتریکی خارجی، یون درون محلول آبی عکس عمل خورندگی را انجام می دهد. این عمل با هضم شدن یک الکتروود فلزی (آند منیزیم) برای جلوگیری از خوردگی لوله و مخزن انجام می گیرد. آسترپوشی و رنگ کاری نیز از اقدامات مورد استفاده در کنترل خورندگی هستند. پایپ های پلاستیکی، بتن، روی و منیزیم، پلی اتیلن، اپوکسی و لعاب کاری

قیری موارد مورد استفاده در جلوگیری از خوردگی هستند. لوله های مختلفی از مواد مقاوم در برابر خوردگی نیز مورد استفاده قرار می گیرند که عبارتند از PVC، آلومینیوم، نیکل، سیلیکون، برنج، برنز، استیل ضد زنگ و بتن مسلح.

بهینه سازی فرایندها

ابزارهای طراحی فرایندهای شیمیایی شکل یافته بر اساس کامپیوتر بیش از چهار دهه است که در امر آنالیز، ارزیابی و بهینه سازی این فرایندها مورد استفاده قرار گرفته و به خوبی پاسخگوی نیازها بوده است. علی رغم پیشرفت های چشمگیر در عرصه کاربری کامپیوتریک فرایندهای شیمیایی، مدل سازی فرایندها در زمینه زیست محیطی و بالاخص تصفیه آب و فاضلاب، به دلیل درگیر بودن با سیستم های بیولوژیکی، بسیار مشکل است. چرا که بستره سیستم پیچیده بوده و شامل هم زیستی میکروارگانیسم ها، ترکیبات محلول و نامحلول آلی و معدنی است که پیشگویی سیستم بر اساس قواعد ترمودینامیکی و میکروترانسپورتهای را با مشکل مواجه ساخته و کار طراحی و مدل سازی کامپیوتری را دشوار می گرداند. علاوه بر اینها، مدل سازی در زمینه هایی ممکن شده است که به اندازه کافی پشتوانه علمی شیمیایی و بیولوژیکی داشته باشد مهندسان Intelligen, Inc برنامه های کامپیوتری تحت عنوان EnviroPro Designer را به صورت تجاری طراحی کرده اند که شبیه ساز فرایندهای مربوط به عملیات زیست محیطی است و در آن تمهیدات خاصی شامل تعیین و تنظیم مقدار مواد شیمیایی خطرناک (همچون VOCها و فلزات سنگین) در نظر گرفته شده و مقادیر مجاز هر کدام بر اساس تعیین آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده لحاظ شده است. این برنامه به پایگاه داده ها متصل است که امکان دسترسی به خواص ترمودینامیکی (جرم مولکولی، نقطه جوش، فشار و حجم بحرانی، فشار بخار، ثابت های قانون هنری، چگالی و ... و نیز COD, TOC, BOD/COD, TSS و ... برای چهار هزار ماده شیمیایی را در خود دارد. از آنجایی که نرم افزار

جهت کاربری های گسترده طراحی شده است.

نتیجه گیری

به نظر می رسد که سه فاکتور (و به ترتیب اولویت) در بهره برداری از یک منبع آبی قابل استفاده، برای ایالات متحده مورد توجه بوده است:

(۱) تکنولوژی و هزینه مورد استفاده با توجه به جمعیت تحت پوشش و در نظر گرفتن توجیه اقتصادی بر پایه جمعیت تحت پوشش از یک منبع و توانایی بهره برداری مالی از آن

(۲) بهداشت عمومی

(۳) سلامت زیست محیطی

برای موقعیت های مجتمع تر انسانی (که شمار زیادی را شامل نمی شود)، اولویت دوم بر اول مقدم شمرده شده است. در زمینه آب آشامیدنی، به نظر

می رسد که دید ایالات متحده نسبت به آب های زیرزمینی نه تنها به عنوان منبع تامین آب است بلکه به عنوان ذخیره آبی که هم نیاز کنونی را مرتفع می کند و هم توان برطرف کردن نیازهای آتی را دارد نیز هست. عمده اقدامات ایالات متحده حین عملیات تصفیه آب، با توجه به نوع منبع تامین کننده آن، در ابتدا حذف مواد آلی و معدنی کروماژن است که توسط فرایندهای شیمیایی و

با بکارگیری مواد شیمیایی از جمله اوزون و نیز تابش پرتو UV و اشعه پراثری الکترونی صورت می گیرد و منجر به شکستن و اکسید شدن این مواد شیمیایی می شود. به منظور گندزدایی عمدتاً از کلر (و به صورت کمتر، از اوزون) به صورت مشتقات مختلف آن استفاده شده است. برخی مشتقات کلر علاوه بر این که خاصیت گندزدایی دارند، از بین برنده بو و طعم نیز هستند. حضور یون فلزات (به خصوص فلزات سنگین) به عنوان یک عامل سمی در آب های ایالات متحده که ناشی از حضور صنایع مختلف و آلاینده های آنهاست مستلزم اتخاذ روندی عملی در جهت حذف یا کاهش غلظت بوده است. برای این منظور از رسوب دهنده های شیمیایی و تنظیم استفاده می شود. مهمترین ماده شیمیایی مورد استفاده، اوزون بوده و از هوادهی نیز جهت اکسایش به درجات بالاتر استفاده شده است. جهت کنترل نیز (جز در برخی مقاصد ویژه) از آهک و آمونیاک استفاده شده است. در استفاده ترتیبی از گندزداها، بعد از اوزوناسیون، از کلر و مونوکلروآمین استفاده می شود. برای از بین بردن سختی آب نیز از رزین های مبادله کننده یون استفاده می شود و به کمک آن، یون فلزات با (عمدتاً) سدیم جایگزین می شود. برای کاهش اثر خورندگی آب در ابتدا از هوادهی و در ادامه از مواد شیمیایی استفاده می شود. جهت جلوگیری از خورندگی آب نیز ابزار و تجهیزات در معرض تماس با آب از جنس پلاستیک انتخاب شده و از حفاظت کاتدی استفاده می شود. پوشش های لازم به صورت پلیمری نظیر پلی اتیلن انتخاب شده و مخازن نیز به صورت بتنی، رنگ کاری شده و یا قیراندود مورد استفاده قرار گرفته اند. طراحی و استفاده از نرم افزارهایی همچون EnviroPro Designer در این راستا بوده است و با بهینه سازی شرایط، بازدهی بیشتر را به همراه داشته و احتمال تعدیل هزینه های اقتصادی را نیز به دنبال دارد.

منابع در آرشيو نشریه موجود است.

برای از بین بردن باکتری های بی هوازی از گندزداهایی نظیر ازن، کلر و اشعه UV استفاده می شود. ازن از همه گرانتر است و PH و آمونیاک بر آن موثر نیست.