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

مجید اسم حسینی[۱*]، سیما صولتی فر[۲]، امیر میرزانژاد[۳]، نادر صولتی فر[٤]

۱- استادیار گروه شیمی دانشگاه ارومیه

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی معدنی دانشگاه ارومیه

۳- دانشجوی کارشناسی شیمی کاربردی دانشگاه ارومیه

۴- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت : ۸٦/۹/۱۷ ***تاریخ پذیرش : ۸۷/۲/۱۸***

چکیده

آب و منابع آبی در دنیای امروز جزو ارزشمندترین دارایی‌های ممالک به شمار می‌رود. عمده دغدغه‌های جوامع تامین غذا، آب و انرژی است. از این میان غذا به دلیل امکان متعدد در تامین آن و انرژی به دلیل دستیابی به منابع نو به نحوی قابل مرتفع‌سازی است و تنها آب است که در صورت نبود منابع، جوامع را دچار مشکل می‌سازد. از این رو برنامه‌ریزی جهت صرفه‌جویی در مصرف و حفظ منابع موجود در اولویت قرار دارد. از طرف دیگر وقوع خشکسالی‌های متعدد و افزایش روز افزون جمعیت، نیاز به آب آشامیدنی سالم و تصفیه آب و بهره‌گیری مناسب‌تر در مصارف صنعتی و کشاورزی را ضروری نموده و پیشرفت تکنولوژی در جهت استفاده از روش‌های صنعتی و تجزیه‌ای جهت تصفیه آب و کاهش هزینه‌ها به امری اجتناب ناپذیر تبدیل گردیده است. از آن جمله می‌توان به ستون‌های کروماتوگرافی، رزین‌ها و مبادله کننده‌های یونی جهت نرم‌سازی و گرفتن سختی آب، همچنین فرایندهای کلریناسیون و فلورایداسیون، صاف‌کردن و ته‌نشینی با روش‌های پیشرفته و استفاده از گندزداهای موثر و نیز روش‌های صنعتی پیشرفته و استفاده از میکروپروسسورها جهت کنترل تصفیه اشاره کرد. در مطالعه حاضر، فرایند های تصفیه در کشورهای توسعه یافته با مطالعه موردی ایالات متحده آمریکا مورد بررسی قرار گرفته و مزایا و معایب هر یک از این روش‌ها از منظرهای مختلف بیان گردیده است. مطالعاتی از این دست می‌تواند راهگشای بهره‌گیری از تجارب اخیر جهانی در استفاده از تکنولوژی تصفیه آب در ایران جهت به دست آوردن آب شرب سالم و مناسب با کاهش اتلاف زمان و هزینه باشد.

واژگان کلیدی: تصفیه آب و فاضلاب، کشورهای توسعه یافته، ایالات متحده آمریکا، UV، کلریناسیون.

مقدمه

حدود ۴۰ میلیون مایل مکعب آب روی کره زمین موجود است که اقیانوس‌ها حدود ۹۷٪ آن را شامل می‌شوند. ۳٪ بقیه آب‌های آزادند: (الف:) برف و یخ روی سطح کره زمین حدود ۲/۲۵٪ و (ب:) آب زیرزمینی قابل استفاده در حدود ۰/۳٪ و (ج:) آب آزاد سطحی کمتر از ۰/۵٪. در ایالات متحده میانگین بارندگی در حدود ۲/۶ فوت (حجم ۵۹۰۰ کیلومترمکعب) است. از این میزان، حدود ۷۱٪ (معادل ۴۲۰۰ کیلومترمکعب) تبخیر می‌شود و ۲۹٪ 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٪ یا ۲۰۰ کیلومترمکعب بر سال را شامل می‌شود. البته مقدار مصرف عمومی آب در ایالات متحده در حال افزایش است. برای مثال در سال ۱۹۷۵ میلادی ۴۰ بیلیون گالن آب آزاد مورد استفاده قرار گرفته بود که در سال ۱۹۹۰ میلادی به ۴۵۵ بیلیون گالن رسید و در سال ۲۰۰۲ به ۷۲۵ بیلیون گالن افزایش یافت. منابع اولیه آب آزاد شامل موارد زیر بوده‌اند [۳]:

- آب جمع‌آوری شده از بارش در مخازن و منابع آب
- آبهای زیرزمینی چشمه‌ها، چاه‌های آرتزین و حفاری شده
- آب‌های سطحی دریاچه‌ها، رودها و جویبارها
- 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، ماموریت‌های حوزه مدیریت آب آشامیدنی را تسهیل می‌کند [۳].

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 توسط آب‌های سطحی تغذیه شده و برای جمعیتی حدود ۱۵۵ میلیون نفر آب شرب تامین می‌کند [۱]. 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 ۱۱۱۲۲۸ مورد مبتلا به آنها گزارش شده است و نیز طی ۱۹۹۱-۱۹۹۸، ۲۱۰۰ مورد آلودگی به بیماری‌های ویروسی با منشاء آبی یافت شده است [۱] که نشان دهنده آلودگی‌پذیری زیاد آب‌های سطحی است. عیب دیگر اغلب آب‌های سطحی کدورت آنهاست که ناشی از شناورشدن رسوبات است. هرقدر 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 مراحلی پیچیده و گام به گام به شکل هفت مرحله است [۳]:

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: گزارشات 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 تائید 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 [۳]. 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 Mn^{2+} و Fe^{2+} هستند [۸]. 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.
- 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 یا این که کیفیت سایر گونه‌های آب در واحدها بهبود یابد تا تحت استانداردهای لازم به فعالیت خود ادامه دهند [۶].

تکنیک‌های حذف آهن و منگنز و گندزدایی

دفرّیزاسیون و دمنگانیزاسیون 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 نامحلول‌تر است- اکسید می‌شوند [۳و۸]. 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 گندزداست (برای مواد زنده درون آب و کنترل رشد باکتری‌ها در سیستم تصفیه) [۱] و هم برای کنترل میزان آهن و منگنز (به صورت پرکلرین) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ایالات متحده از دی‌اکسیدکلر جهت حذف بو و طعم اولیه ناشی از ترکیبات فنولی در مخازن آبی استفاده شده است[۲].

با افزودن کلر، مواد آلی آبهای سطحی و زیر زمینی توانایی تشکیل TTHMها را می‌یابند. آب‌های زیرزمینی به دلیل اسیدی بودن، نیازمند تنظیم pH در ۷-۶/۵ اند 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 ($Ca(OCl)_2$) نیز در ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفته است[۲].

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 [۳].

برای از بین بردن باکتری‌های بی‌هوازی از گندزداها استفاده می‌شود [۸]. 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 (Driedger و همکاران، ۲۰۰۱). 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 برجای 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 کلرزنی را حذف می‌کند (Rennecker و همکاران، ۲۰۰۰). در افزایش متوالی اوزون و کلر، اثر افزایشی با افزایش pH کاهش می‌یابد (Driedger و همکاران، ۲۰۰۰). در مورد مکانیسم تاثیر اوزناسیون مطالعات متعددی صورت گرفته است که در مرجع شماره ۲ این مقاله آورده شده‌اند. البته اوزوناسیون بعد از کلریناسیون دارای فراورده‌های 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 BrO_3^- را می‌نماید. منبع عمده برم در ایالات متحده چاه‌های آرکانزاس، اوهایو و میشیگان (از ۰/۲ تا ۰/۴ درصد) است [۲]. 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 (Monarca و همکاران، ۲۰۰۰) 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 راکد مانده و توسعه آن برای تصفیه آب و فاضلاب متوقف شده است [۲]. 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 [۷]. 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 جرسی‌سیتی نیوجرسی جهت گندزدایی استفاده شده است[۲]. البته مخلوط اکسیدان‌های اشاره شده نیز مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعه ازمایشگاهی نشان داده است که این روش بسیار مؤثرتر از کلرزنی است (Venczel و همکاران، ۱۹۹۷). گندزدایی با کمک پرتو UV (که اثرات ضدمیکروبی آن از اویل 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، پروتوزوئان‌ها) نابود می‌شوند، محصولات فرعی موتاژنیک کارسینوژنیک و نامطلوب ندارد، مشکلات طعم و مزه ایجاد نمی‌کند و نیاز به افرایش 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 $40\,\mathrm{mW\cdot s/cm^2}$ را ایجاد کرد) بالاست. Huang و همکاران 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 [۴]. البته از تابش خورشید و گندزدایی با اشعه الکترونی نیز استفاده شده است[۲].

تصفیه آب سخت

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

فرایند مبادله یون برای 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 ایجاد کننده سختی با قرار گرفتن در معرض رزین مبادله‌گر کاتیونی از آب حذف می‌شوند و سختی آب به صفر می‌رسد [۳] (در آب نهایی، معادل یون‌های Ca^{2+}، Mg^{2+} و Fe^{3+} موجود در آب اولیه، Na^{+} حضور خواهد داشت که اگر غلظت بالایی داشته باشد برای افراد دارای پرهیز نمک مشکل‌ساز است ولی در کل نسبت به آب اولیه دارای کیفیت مطلوب‌تری 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 می‌تواند کربن‌دی‌اکسید محلول در آب را تا ۵ میلی‌گرم 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 می‌گیرد و در آن با برقراری جریان الکتریکی خارجی، یون درون محلول آبی عکس عمل خورندگی را انجام می‌دهد. این عمل با هضم شدن یک الکترود فلزی (آند منیزیم) برای جلوگیری از خوردگی لوله و مخزن انجام می‌گیرد. آسترپوشی و رنگ‌کاری نیز از اقدامات مورد استفاده در کنترل خورندگی هستند. پایپ‌های پلاستیکی، بتن، روی و منیزیم، پلی‌اتیلن، اپوکسی و لعاب‌کاری قیری موارد مورد استفاده در جلوگیری ازخوردگی هستند. لوله‌های مختلفی از مواد مقاوم در برابر خوردگی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارتند از PVC، آلومینیوم، نیکل، سیلیکون، برنج، برنز، استیل ضدزنگ و بتن مسلح [۲و۳].

بهینه‌سازی فرایندها

ابزارهای طراحی فرایندهای شیمیایی شکل یافته بر اساس کامپیوتر بیش از چهار دهه است که در امر آنالیز، ارزیابی و بهینه‌سازی این فرایندها مورد استفاده قرار گرفته و به خوبی پاسخگوی نیازها بوده‌است. علی‌رغم پیشرفت‌های چشمگیر در عرصه کاربری کامپیوتریک فرایندهای شیمیایی، مدل‌سازی فرایندها در زمینه زیست‌محیطی و بالاخص تصفیه آب و فاضلاب، به دلیل درگیر بودن با سیستم‌های بیولوژیکی، بسیار مشکل است. چرا که بستره سیستم پیچیده بوده و شامل هم زیستی میکروارگانیسم‌ها، ترکیبات محلول و نامحلول آلی و معدنی است که پیشگویی سیستم بر اساس قواعد ترمودینامیکی و میکروترانسپورتی را با مشکل مواجه ساخته و کار طراحی و مدل‌سازی کامپیوتری را دشوار می‌گرداند. علاوه بر اینها، مدل‌سازی در زمینه‌هایی ممکن شده است که به اندازه کافی پشتوانه علمی شیمیایی و بیولوژیک داشته باشد مهندسان .Intelligen, Inc برنامه‌ای کامپیوتری تحت عنوان EnviroPro Designer را به صورت تجاری طراحی کرده اند که شبیه‌ساز فرایندهای مربوط به عملیات زیست‌محیطی 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 داده‌ها متصل است که امکان دسترسی به خواص ترمودینامیکی (جرم مولکولی، نقطه جوش، فشار و حجم بحرانی، فشار بخار، ثابت‌های قانون هنری، چگالی و ... و نیز COD، TOC، BOD_5/COD، TSS و ...) برای چهارهزار ماده شیمیایی را در خود دارد[۵]. از آنجایی که نرم‌افزار جهت کاربری‌های گسترده طراحی شده است لذا نحوه بکارگیری آن برای اهدافی مختلف، طی مقالاتی مانند آنچه در مرجع شماره ۵ این مقاله آورده شده است ارائه گردیده و می‌گردد. با

مراجعه به چنین مقالاتی، پتانسیل بالای نرم‌افزارهایی این چنین جهت طراحی و مطالعه به کمک شبیه‌سازی فرایندهای مختلف بیوشیمیایی روشن می‌گردد.

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد که سه فاکتور (و به ترتیب اولویت) در بهره‌برداری 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 بهره‌برداری مالی از آن

(۲) بهداشت عمومی

(۳) سلامت زیست محیطی

برای موقعیت‌های مجتمع‌تر انسانی (که شمار زیادی را شامل نمی‌شود)، اولویت دوم بر اول مقدم شمرده شده است. در زمینه آب آشامیدنی، به نظر می‌رسد که دید ایالات متحده نسبت به آب‌های زیرزمینی نه تنها به عنوان منبع تامین آب است بلکه به عنوان ذخیره آبی که هم نیاز کنونی را مرتفع می‌کند 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 پرانرژی الکترونی صورت می‌گیرد و منجر به شکستن و اکسید شدن این مواد شیمیایی می‌شود. 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 آب‌های ایالات متحده (که ناشی از حضور صنایع مختلف و آلایندگی آنهاست) مستلزم اتخاذ روندی عملی در جهت حذف یا کاهش غلظت بوده است. برای این منظور از رسوب‌دهنده‌های شیمیایی و تنظیم pH استفاده می‌شود. مهمترین ماده شیمیایی مورد استفاده، اوزون (O_3) بوده و از هوادهی نیز جهت اکسایش به درجات بالاتر استفاده شده است. جهت کنترل pH 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 می‌شود. برای از بین بردن سختی آب نیز از رزین‌های مبادله کننده یون استفاده می‌شود و به کمک آن، یون فلزات با (عمدتاً) سدیم جایگزین می‌شود. برای کاهش اثر خورندگی آب در ابتدا از هوادهی و در ادامه از مواد شیمیایی استفاده می‌شود. جهت جلوگیری از خورندگی آب نیز ابزار و تجهیزات در معرض تماس با آب از جنس پلاستیک انتخاب شده و

از حفاظت کاتدی استفاده می‌شود. پوشش‌های لازم به صورت پلیمری نظیر پلی‌اتیلن انتخاب شده و مخازن نیز به صورت بتنی، رنگ‌کاری شده و یا قیراندود مورد استفاده قرار گرفته‌اند. طراحی و استفاده از نرم‌افزارهایی همچون EnviroPro Designer در این راستا بوده است و با بهینه سازی شرایط، بازدهی بیشتر را به همراه داشته و احتمال تعدیل هزینه‌های اقتصادی را نیز به دنبال دارد.

تقدیر و تشکر

پژوهشگران بررسی حاضر، مراتب تشکر و قدردانی خود را از دکتر فیروز قادری پاکدل اعلام می‌دارند.

مراجع:

1- Bitton, G, "Wastewater Microbiology", Wiley-Liss, John Wiley & Sons Inc. Publication, 3rd Ed., 2005.

2-Cheremisinoff, P. N., "Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies", Butterworth-Heinemann, 2002.

3- Frank, R. Spellman, "The Science of Water", CRC Press, Taylor & Francis Group, 2nd Ed., 2008.

4-Huang, C. R.; Lin, Y. K.; Shu, H. Y., "Wastewater decolorization and TOC-reduction by sequential treatment ", Am. Dyest. Rep., 1994, 83(10).

5-Petrides, D.; Cruz, R.; Calandranis, J., Willy Verstraete, "Optimization of Wastewater Treatment Facilities Using Process Simulation", Computers Chem. Engng, 1998, Vol. 22.

6- Sincero, P.; Sincero, A., "Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater", CRC Press, IWA Publishing, 2003.

7-Vandevivere C. Philippe; Bianchi R.; Verstraete W., "Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies", J. Chem. Technol. Biotechnol. 1998, Vol 72.

8-Wright, J., "Environmental Chemistry", Routledge, Taylor & Francis Group, 1st Ed., 2003