



چالش‌ها و تحولات تصفیه آب، گذشته، حال و آینده



دکتر افشین ابراهیمی

استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، و مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

در اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم، مهم‌ترین چالش پیش‌روی مهندسی در حیطه تصفیه آب، کنترل بیماری‌های عفونی انتقال یافته از آب بود. در سراسر دنیا بیماری‌های عفونی بیداد می‌کرد و بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی و درمانی مملو از بیمارانی بود که با علائمی مانند دل درد و دل پیچه، اسهال، تب و مانند این‌ها مراجعه می‌نمودند. آمار بیماری‌های عفونی مانند تیفوئید^۱ سال به سال افزایش می‌یافت؛ به طوری که در فاصله سال‌های ۱۸۸۵ تا ۱۹۰۵ از حدود ۲۰۰۰ مورد به نزدیک ۱۰۰۰۰ مورد ابتلا افزایش یافت. سال‌ها بود که پزشکان و کارشناسان بهداشتی و درمانی در شناسایی علل و راه انتقال آن‌ها سردرگم بودند. در سال ۱۹۰۶ با ارائه فرآیند فیلتراسیون شنی^۲ تحول نوبنی در راستای کنترل این بیماری و بیماری‌های مشابه دیگر حاصل شد. به‌ناگاه آمار بیماری‌هایی مانند تیفوئید با روندی قابل توجه طی ۹ سال به حدود ۱۰۰۰ مورد ابتلا کاهش یافت! کاربرد کلر در ضدعفونی آب‌ها در سال ۱۹۱۳ تحول شگرف دیگری در عرصه تصفیه آب بود. سال ۱۹۴۵ یعنی پایان جنگ جهانی دوم مصادف شد با کاهش در حدود یک لوگ در موارد ابتلا به تیفوئید (حدود ۱۰۰ مورد)!!

نگاهی به تخصص دانش‌آموختگان آن دوران که عمدتاً بر روی فیلتراسیون شنی کند و کلرزی متمرکز می‌شد نیز گویای این مطلب است که بحث آلودگی‌های میکروبی، مشکل اساسی سیستم‌های تصفیه و آبرسانی بوده است. رویکرد مهندسی مسئول تصفیه آب آن دوران به غیر از حذف عوامل بیماری‌زای بیولوژیکی، صرف حذف آن دسته از عوامل آلاینده‌ی دیگری می‌شد که در بیشتر موارد اثرات بهداشتی خاصی نداشتند. به‌عنوان مثال آهن و منگنز اگرچه در دسته فلزات سنگین قرار می‌گیرند لیکن معمولاً در غلظت‌هایی فراتر از حدود مجاز^۳ خود،

اثرات مهمی هم‌چون ایجاد رنگ روی البسه و تأسیسات دارند! با این وجود، در دهه ۱۹۹۰ بحث قدیمی آلودگی‌های میکروبی منابع آب مجدداً مورد توجه قرار گرفت به طوری که رویکرد دهه‌های قبلی متخصصین این صنعت را دستخوش تغییراتی نمود. از جمله دلایل این عقب‌گرد تکنیکی را می‌توان به اعلام و اجرای قانون تصفیه آب‌های سطحی^۴ و قانون کل کلیفرم^۵ در سال ۱۹۸۹ توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا و اصرار و نظارت بر اجرای دقیق آن‌ها و همچنین بروز برخی بیماری‌های جدید منتقله از آب شامل ژیاوردیازیس^۶ و کریپتوسپوریدیوزیس^۷ مربوط کرد. البته ذکر این نکته خالی از لطف نیست که بدانیم شعار سال ۲۰۱۱ سازمان جهانی بهداشت نیز تحت عنوان "مقاومت ضد میکروبی: اگر هیچ عملی امروز انجام ندهیم، هیچ درمانی برای فردا نخواهیم داشت"، نیز به نوعی گویای برگشت و شیوع مجدد بیماری‌هایی است که سال‌ها پیش به واسطه مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها تحت کنترل انسان درآمده است؛ اما به دلیل مقاوت میکروبی دوباره شاهد بروز مواردی از این بیماری‌های عفونی مانند فلج اطفال^۸، سل^۹، آبله^{۱۰} و مانند آن‌ها هستیم.

در همین حال مرکز کنترل بیماری‌های آمریکا^{۱۱} نیز فهرستی از ۱۰ عامل بیماری‌زای اصلی در این کشور را ژیاوردیا، لژیونلا^{۱۲}، نوروویروس‌ها^{۱۳}، شیگلا^{۱۴}، کمپیلوباکتر^{۱۵}، مس، سالمونلا^{۱۶}، هیپاتیت A^{۱۷}، کریپتوسپوریدیوم، اشریشیاکلی^{۱۸}، و فلوراید مازاد گزارش کرده است که نشان می‌دهد به غیر از دو مورد آلاینده شیمیایی "مس و فلوراید مازاد"، غالب عوامل بیماری‌زا را عوامل بیولوژیکی تشکیل می‌دهند. نکته قابل توجه در مورد عوامل بیولوژیکی و بیماری‌های منتهی آن‌ها، بروز واکنش سریع بدن در مقابل ورود آلودگی و نیاز به بستری شدن و حتی مرگ است.

در همین حال، چالش بحث‌برانگیز دیگری که در دهه‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ به وجود آمد هزینه اثربخشی فرآیندهای مورد استفاده بود. به طوری که سبب شد طی سال‌های بعد با ارتقای فرآیندها و ارائه روش‌های هزینه اثربخش‌تری مانند فرآیندهای زلال‌سازی پربار، بهبود فرآیند ته‌نشینی، فرآیندهای فیلتراسیون پر بار و ساخت و ارائه پکیج فرآیندهای تلفیقی، هزینه تمام شده تصفیه به‌ازای مترمکعب آب هرچه بیشتر کاهش یابد.

در سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ براساس تحقیقات صورت گرفته در دنیا، مهندسی تصفیه آب و متولیان آبرسانی، با چالش جدید دیگری روبرو شدند: "اثرات بهداشتی بالقوه با مصرف دراز مدت آلاینده‌های آلی کم‌مقدار".

همان‌طور که می‌دانیم، از گذشته تا به امروز طیف وسیعی از آلاینده‌های خطرناک شامل آلاینده‌های معدنی و آلی که در اثر

کفپوش‌ها، رزین‌ها، مبلمان، دستگاه‌های الکترونیکی مانند تلفن همراه، تبلت، مایعات اطفای حریق و مانند آن‌ها و همچنین مصرف خودسرانه داروها، مکمل‌های غذایی، هورمون‌ها و داروهای اعصاب، روزانه شاهد ورود آلاینده‌های مختلفی به محیط‌زیست و منابع آب هستیم؛ به طوری که هر از چند گاهی شاهد معرفی ترکیبی نوظهور از سوی سازمان‌های قانون‌گذار در حیطه محیط‌زیست مانند سازمان جهانی بهداشت و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده هستیم. امروزه بخشی از این ترکیبات را تحت‌عنوان ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌زیر می‌شناسیم، که برطبق تعریف یا در کار هورمون‌های غدد درون‌ریز بدن پستانداران و از جمله انسان تداخل می‌کنند، یا به‌جای این ترکیبات عمل می‌کنند. اثراتی مانند تداخلات هورمونی، بیش‌فعالی، بلوغ زودرس، تشکیل توده‌های خوش خیم و به‌خصوص بدخیم (سرطان‌های مختلف)، اختلالات عصبی، تغییر جنسیت و موارد بسیاری دیگر که در این مقال نمی‌گنجد، تنها نمونه کوچکی از اثرات این ترکیبات بر انسان است. در این‌جا جا دارد به این نکته توجه شود که اطلاق واژه ترکیبات نوظهور ضرورتاً به معنی جدید بودن این ترکیبات نیست. بسیاری از آن‌ها از سالیان بسیار دور یعنی از زمانی که در محیط‌های تجاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در محیط‌زیست وجود داشته‌اند. مثلاً داروها که برای درمان بیماری‌های مختلف استفاده می‌شوند سالیان زیادی است که استفاده شده‌اند و مقادیر بسیار زیادی از این ترکیبات به انحاء مختلف به محیط‌زیست وارد می‌شوند. اما یکی از مهم‌ترین دلایل نوظهور بودن این ترکیبات، افزایش توانایی سنجش آن‌ها با تجهیزات سنجشی پیشرفته‌ای است که در دسترس انسان قرار گرفته است. به‌کارگیری تکنیک‌های نوین و پیشرفته استخراج، جداسازی و سنجش، سبب کاهش حدود تشخیص ترکیبات مذکور شده است.

نگاهی به فرآیندهای تصفیه آب مورد استفاده در کشور که عمدتاً مربوط چند دهه پیش هستند، نشان می‌دهد که رویکرد عمده طراحان این فرآیندها بر حذف همان آلودگی‌های بیولوژیکی و کدورت به عنوان شاخصی برای زیبایی ظاهری آب بنا نهاده شده است. این در حالی است که به‌دلیل خشکسالی چندین ساله در کشور و خشک شدن برخی منابع آب سطحی تغذیه‌کننده این تصفیه‌خانه‌ها و تغییر منبع آب از سطحی به زیرزمینی، بسیاری از فرآیندهای موجود از کمترین کارایی در تصفیه‌خانه‌های آب برخوردارند و عمدتاً بلااستفاده مانده‌اند و برای عبور جریان به‌کار برده می‌شوند. هرچند از دیدگاه استانداردهای اولیه (استاندارد ۱۰۵۳ کیفیت آب ایران) که حفظ سلامت عمومی مردم در آن‌ها

تولید و مصرف مواد شیمیایی مختلف در بخش‌های مختلف خانگی، صنعت، و کشاورزی خواسته یا ناخواسته به محیط‌زیست، منابع آب سطحی و زیرزمینی و نهایتاً به بدن موجودات زنده بخصوص پستانداران و انسان وارد شده‌اند، شناخته شده است. در پاسخ به این چالش، موجی از استانداردها، رهنمودها و قوانین از سوی سازمان‌های قانون‌گذار در سراسر دنیا وضع گردیده است که این روند همچنان ادامه دارد.

اما آیا صرفاً با تصویب و اجرای استانداردهای کیفی سخت‌گیرانه می‌توان به آب با کیفیت برای مصرف‌کنندگان دست یافت؟ پاسخ به این سوال طبیعتاً منفی است. به‌عنوان نمونه، آرسنیک یکی از ترکیباتی است که در گذشته توجه کمتری به آن می‌شد. رهنمود قبلی سازمان جهانی بهداشت برای این ترکیب ۵۰ میکروگرم در لیتر آب بوده است. براساس این رهنمود، تا چند سال پیش در کشوری مانند ایران، صرفاً برخی منابع آب زیرزمینی استان‌هایی مانند گلستان، کردستان، سیستان و بلوچستان و آذربایجان غربی در زمینه بالا بودن غلظت آرسنیک، نامطلوب گزارش می‌شدند. لکن پس از اعلام رهنمود جدید ۱۰ میکروگرم در لیتر به‌دلیل مشخص شدن اثرات زیان‌بار آن بر سلامت انسان، به یک‌باره شاهد بالاتر بودن از حدود مجاز این ترکیبات در بسیاری از منابع استان‌های مختلف کشور هستیم! که این مسأله متولیان صنعت آب کشور را با چالش اساسی روبرو ساخته است؛ چراکه تاسیسات تصفیه موجود توانایی برآورده ساختن این رهنمود را ندارند!

ذکر این نکته در این‌جا خالی از لطف نیست که سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا^{۱۹} که یکی از سازمان‌های پیش‌رو در زمینه وضع مقررات و قوانین محیط‌زیستی در آمریکا و حتی در دنیا محسوب می‌شود، از سال ۱۹۹۸ فهرستی از آلاینده‌های منتخب آب^{۲۰} آشامیدنی که در سیستم‌های آبرسانی عمومی شناخته شده یا پیش‌بینی می‌شوند و در حال حاضر مشمول مقررات آب آشامیدنی این سازمان نیستند را ارائه می‌دهد. این سازمان تاکنون چهار لیست در این زمینه در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۰۵، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۶ ارائه داده است و در حال حاضر برای تهیه فهرست پنجم نیز فراخوانی نموده است. به این امید که فهرستی از آخرین ترکیباتی که تولید و در فعالیت‌های روزانه انسانی در بخش‌های مختلف خانگی، صنعتی و کشاورزی مصرف می‌شوند، تهیه و مورد بررسی بیشتر محققین در سرتاسر دنیا قرار گیرند.

با توجه به تولیدات صنعتی جدید و مصرف فرآورده‌های آن‌ها در بخش خانگی، از قبیل تجهیزات و تزئینات دکور خانگی،

- 6- Giardiasis
- 7- Cryptosporidiosis
- 8- Polio
- 9- Tuberculosis
- 10- Smallpox
- 11- CDC: Centers for Disease Control and Prevention
- 12- Legionella Pneumophila
- 13- Norovirus
- 14- Shigella
- 15- Campylobacter
- 16- Salmonella
- 17- Hepatitis A
- 18- E-coli
- 19- US-EPA
- 20- CCL: Contaminant Candidate List
- 21- THMs
- 22- VOCs

مدنظر است فرآیندهای مذکور توجیه‌پذیر هستند، اما به‌نظر می‌رسد به‌دلیل عدم شناخت کافی و خطرات ناشی از این‌گونه ترکیبات، وضع استاندارد برای بسیاری از آن‌ها همچنان مغفول مانده است و دست‌اندرکاران مسائل آب را با خلأهای قانونی روبرو نموده است. پر واضح است که عدم توجه به ترکیبات نوپدید و خطرات دراز مدت منتسب به این ترکیبات در آینده می‌تواند اثرات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست و انسان از خود برجای بگذارد.

با عنایت به مطالب گفته شده امید است پیشنهادات زیر از سوی مسئولین کلان کشور مورد بررسی و در دستور کار قرار گیرد:

۱. تأمین مالی اجرای برنامه ایمنی آب و اجرای کامل و دقیق آن در تمامی شهرها؛
۲. گنجاندن برخی ترکیبات شاخص از آلاینده‌های نوپدید در برنامه روتین پایش کیفیت آب مانند تری‌هالومتان‌ها^۱، ترکیبات آلی فرار^۲، برخی آفت‌کش‌های کلره و فسفره، محصولات محافظت شخصی، داروهای پرمصرف، و متابولیت‌های آن‌ها؛
۳. اجرای برنامه پایش بیولوژیکی آلاینده‌ها در بافت‌های بدن انسان به‌منظور برنامه‌ریزی برای ارتقای فرآیندهای تصفیه آب در آینده؛
۴. ارزیابی خطر آلاینده‌های انتقال‌یافته از آب به‌منظور برآورد خطرات احتمالی حاصل برای انتخاب فرآیندهای تصفیه آب؛
۵. بازنگری مبانی طراحی تصفیه‌خانه‌های موجود و امکان‌سنجی اضافه کردن واحدهای تصفیه تکمیلی از قبیل ستون‌های کربن فعال، رزین‌های تبادل یونی، فرآیندهای غشایی یا ارتقای فرآیندهای موجود به‌عنوان مثال استفاده از انعقاد پیشرفته، سه‌لایه کردن فیلترهای شنی موجود و استفاده از برخی مصالح جدید بستر فیلتر به‌منظور ارتقای فرآیند و غیره؛
۶. اصلاح و به‌روزرسانی دستورالعمل‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی و شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور برای طراحی تصفیه‌خانه‌های آب جدید و الزام طراحی واحدهای حذف برای آلاینده‌های ویژه و نوظهور.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Typhoid
- 2- Sand Filters
- 3- Maximum Contaminant Level
- 4- SWTR: Surface Water Treatment Rule
- 5- TC: Total Coliform Rule