



ضرورت ارتقای تصفیه‌خانه‌های آب سطحی در چارچوب برنامه ایمنی آب به‌منظور کنترل و حذف آلاینده‌های نوظهور



دکتر افشین تکدستان
استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی
جندی شاپور اهواز

آلاینده‌های نوظهور (Emerging Contaminants) مانند بقایای داروها، محصولات مراقبت شخصی، مواد شیمیایی صنعتی و میکروپلاستیک‌ها و غیره تهدیدی جدی برای سلامت عمومی و اکوسیستم‌های آبی هستند که تصفیه‌خانه‌های متداول آب سطحی قادر به حذف کامل آن‌ها نیستند.

بیداری در برابر تهدیدی نامرئی؛ پارادایم جدید در سلامت آب: در دهه‌های گذشته، مدیریت منابع آب عمدتاً بر حذف آلاینده‌های میکروبی و ذرات معلق و کدورت آب متمرکز بود و موفقیت در این امر، سلامت عمومی را به سطح مطلوبی رساند. اما امروزه، به‌ویژه در دهه‌های اخیر منابع آبی ما به‌ویژه منابع آب سطحی با "آلاینده‌های نوظهور" درگیرند؛ ترکیباتی مانند بقایای داروها، هورمون‌ها، مواد شیمیایی مختل‌کننده غدد درون‌ریز و نانوذرات که حتی در غلظت‌های بسیار ناچیز (نانوگرم یا میکروگرم در لیتر)، می‌توانند اثرات بیولوژیکی پایداری بر جای بگذارند.

آلاینده‌های نوظهور در آب‌های سطحی و رودخانه‌های کشور ایران شامل طیف گسترده‌ای از بقایای دارویی و آنتی‌بیوتیک‌ها، هورمون‌ها، مواد شوینده و سورفکتانت‌ها، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های کشاورزی، ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز، فلزات سنگین در مقیاس‌های خاص، میکروپلاستیک‌ها، نانوذرات و برخی ترکیبات صنعتی پایدار هستند که ورود آن‌ها عمدتاً از طریق پساب‌های شهری و خانگی، فاضلاب بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، زه‌آب‌های کشاورزی، پساب صنایع غذایی و شیمیایی،

نفوذ فاضلاب تصفیه‌نشده یا کم‌تصفیه، و شست‌وشوی سطحی ناشی از بارش‌ها به رودخانه‌ها صورت می‌گیرد. در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور، به‌ویژه در پایین‌دست شهرهای بزرگ و مناطق دارای کشاورزی فشرده، این آلاینده‌ها به‌دلیل کمبود تصفیه پیشرفته و رهاسازی پساب‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم وارد رودخانه‌ها شوند و کیفیت منابع آب را تحت تأثیر قرار دهند.

تصفیه‌خانه‌های متداول آب سطحی، که عمدتاً بر فرآیندهای متداول فیزیکی-شیمیایی متکی هستند، برای کنترل این آلاینده‌های نوظهور پیچیده طراحی نشده‌اند. در واقع، بسیاری از این آلاینده‌ها به‌راحتی می‌توانند از سد تصفیه‌خانه آب عبور کرده و به شبکه توزیع آب برسند. این وضعیت، لزوم بازنگری در تصفیه‌خانه‌های آب سطحی به‌ویژه رودخانه‌ها در طراحی زیرساخت‌ها را فریاد می‌زند. اما سوال این‌جا است: چگونه می‌توانیم یک استراتژی جامع برای مواجهه با این تهدیدات متغیر تعریف کنیم؟ پاسخ در پیوند میان «فناوری‌های پیشرفته تصفیه» و «مدیریت ریسک هوشمندانه» نهفته است.

برنامه ایمنی آب (WSP) قطب‌نمای گذار از انفعال به پایداری: سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای پاسخ به چالش‌های پیچیده کیفیت آب، مدل برنامه ایمنی آب (Water Safety Plan - WSP) را معرفی کرده است. WSP برخلاف روش‌های متداول آب سطحی که تنها بر آزمایش‌های نهایی در خروجی تصفیه‌خانه متمرکز داشتند، رویکردی جامع (End-to-End) را از حوزه آبریز تا نقطه مصرف آب به‌دست مصرف‌کننده دنبال می‌کند. در مواجهه با آلاینده‌های نوظهور، WSP به ما کمک خواهد کرد که شناسایی خطرات باید بسیار فراتر از لیست‌های استاندارد باشد. این برنامه بر سه رکن اساسی زیر استوار است:

۱- **ارزیابی ریسک در منبع:** شناسایی کانون‌های ورود آلاینده‌های نوپدید (مانند پساب‌های شهری، بیمارستانی و کشاورزی) به منابع آب از جمله رودخانه‌ها؛

۲- **کنترل عملیاتی:** تعریف نقاط کنترلی حساس که فرآیندهای تصفیه آب باید در آن‌ها برای حذف آلاینده‌های نوظهور ارتقا یابند؛

۳- **پایش مستمر:** استفاده از داده‌های لحظه‌ای برای اطمینان از کارایی سدهای تصفیه.

در واقع، ارتقای تصفیه‌خانه‌ها برای حذف آلاینده‌های نوظهور، یک پروژه سلیقه‌ای نیست، بلکه یک «الزام عملیاتی» است که در استانداردهای WSP تعریف می‌شود. تصفیه‌خانه زمانی «ایمن» محسوب می‌شود که بتواند در برابر نوسانات کیفیت آب ورودی، به‌ویژه در حضور آلاینده‌های مدرن، پایداری یا ظهور خود را حفظ

کند.

است که امنیت آبی را نه فقط در کمیت قطرات آب، بلکه در کنترل آلاینده‌های نوپدید در آب تعریف کنیم. نوآوری در تصفیه آب، تنها راه برای تضمین سلامت نسل‌های آینده در برابر این تهدیدات نامرئی محسوب می‌شود.

به سوی آینده؛ هم‌افزایی فناوری و استراتژی تصفیه‌خانه
آب: با توجه به افزایش تراکم جمعیت و تغییرات کاربری اراضی در اطراف حوضه‌های آبریز، ضرورت وجود فرآیندهای تکمیلی تصفیه در تصفیه‌خانه‌های آب این منطقه بسیار احساس می‌شود. برای ارتقای سطح ایمنی آب شرب در کشور، باید رویکردی ترکیبی اتخاذ شود که شامل افزودن مراحل جذب سطحی با کربن فعال (برای حذف بو، طعم و مواد آلی) و در صورت امکان، پیاده‌سازی سیستم‌های اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) و غیره باشد تا بتوان از تهدیدات شیمیایی نامرئی پیشگیری کرد. در واقع، هدف باید از «تصفیه برای شفافیت و سلامت میکروبی» به سمت «تصفیه برای حذف کامل ترکیبات شیمیایی پیچیده نوظهور» حرکت کند تا استانداردهای جهانی سلامت آب به‌طور کامل محقق شود.

برای پیاده‌سازی موفق WSP و مقابله با آلاینده‌های نوظهور، ما نیازمند «ارتقای فناوری» تصفیه‌خانه‌های آب سطحی هستیم. بهره‌گیری از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)، کربن فعال گرانوله (GAC) در ارتقای فیلتراسیون، کربن فعال پودری (PAC) در ارتقای فرایند انعقاد و لخته‌سازی و غشاهای نانوفیلتراسیون و یا اسمز معکوس و غیره دیگر یک تجمل مهندسی نیست؛ بلکه ابزارهای اجرایی لازم برای تحقق اهداف WSP است. با این حال، کاربرد این تکنولوژی به تنهایی در افزایش پارامترهای کیفی آب شرب کافی نیست. ارتقای تصفیه‌خانه‌ها باید بخشی از یک اکوسیستم مدیریت ریسک باشد. ما باید بپذیریم که امنیت آبی در قرن بیست و یکم، نه فقط در «کمیت قطرات، بلکه در «کنترل آلاینده‌های نوظهور در آب» آن‌ها نهفته است. نوسازی زیرساخت‌ها با تکیه بر استانداردهای بین‌المللی WSP، به ما اجازه می‌دهد تا از مدیریت واکنشی (پس از وقوع آلودگی) به مدیریت پیشگیرانه حرکت کنیم.

این مسیر، هزینه‌های اولیه‌ای به همراه دارد، اما هزینه نادیده گرفتن این آلاینده‌های خطرناک نوپدید در آب، بسیار گزاف‌تر و غیرقابل جبران خواهد بود. وقت آن رسیده است که با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و چارچوب‌های جهانی، اطمینان یابیم که آب جاری در شریان‌های شهرهای مان، نه تنها مناسب، بلکه در برابر تهدیدات نامرئی آلاینده‌های نوظهور آینده نیز ایمن است. این مسئولیت اخلاقی و فنی ما در قبال نسل‌های آینده است. این پیشگفتار، تلاشی است برای ترسیم نقشه راهی که در آن فناوری‌های نوین تصفیه آب، در کنار سیاست‌گذاری‌های هوشمندانه، ضامن پایداری منابع آبی ما باشند. وقت آن رسیده