

کلیاتی پیرامون

کیفیت و تصفیه آب

## سرآغاز

بنا بر اعلام دفتر برنامه‌ریزی ملل متحد، در سال ۲۰۵۰ تقاضای جهانی آب در مقایسه با سال ۲۰۰۰، به تقریب دو برابر خواهد شد و به نظر نمی‌رسد چرخه‌ی طبیعی آب قادر باشد تمامی نیازهای آبی را در دهه‌های آینده برآورده سازد. این در حالی است که روند تقلیل کیفیت آب‌ها هم چنان استمرار دارد. حتا در مناطقی که آب کافی برای تامین نیازها وجود دارد، بسیاری از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و سفره‌های زیرزمینی به شدت آلوده شده و یا خواهند شد. مطابق تعریف سازمان جهانی بهداشت «آب آشامیدنی» آبی است که برای مصرف انسانی و تمامی کاربری‌های خانگی مناسب باشد. در آینده برای برآورده ساختن مستمر چنین آبی با درجه‌ی بالایی از کیفیت که ویژگی‌های آن متناسب با کاربری‌های تعریف شده به ویژه آشامیدن باشد، افزون بر نیاز به تأسیسات کارآمدتر تصفیه، نگهداشت و توزیع آب، نیازمند مدیریت زاینده‌های گوناگون انسانی، کشاورزی و صنعتی تخلیه شده به منبع آب متناسب با توان خودپالایی آن است. در حقیقت تأمین سلامت آب مجموعه‌ای زنجیروار از حلقه‌های به هم پیوسته‌ی مدیریت حوضه‌ی آبریز، مدیریت زاینده‌های انسانی، صنعتی و کشاورزی، فرایندها و تأسیسات تصفیه و سالم‌سازی، تأسیسات نگهداشت و توزیع و کنترل عملکرد صحیح آن‌ها است و پرواضح است که هرگونه کاستی در زیرساخت‌ها و عملکرد هر یک از حلقه‌های برشمرده، ضمن اعمال فشار مضاعف و ناخواسته بر سایر اجزا، نیل به هدف غایی تأمین مستمر آب آشامیدنی سالم را دشوار و گاه ناممکن می‌سازد. نگاه عمیق‌تر به موضوع کنترل کیفیت آب از حوزه‌ی آبریز تا دورترین مصرف‌کنندگان شهری و روستایی، به وضوح می‌نماید که کیفیت آب و کنترل آن، افزون بر جنبه‌های فنی و تخصصی درون و برون سازمانی، رویکردی اجتماعی و یکی از معیارهای قضاوت مشترکان از عملکرد سازمان‌های متولی آب است.

## کیفیت و مفهوم آن

در نگاه فیلسوفان، کیفیت، احساس مبتنی بر قیاس است و اساس آن بر پذیرش و مقبولیت نهاده شده است و محصول مشترک سه وجه وجودی انسان (دانش، اخلاق و اندیشه) دانسته شده است. احساس رضایت از کالا یا خدمتی، به معنای پذیرش کیفیت آن است. در این نگاه، کیفیت، احساسی است که در مواجهه با پدیده‌ها در ما شکل می‌گیرد و میلی است که «بد» را پس می‌زند و «نیکو» را طلب می‌کند. در نگاه صنعتی، کیفیت، دارایی راهبردی و ملاک اعتباری بخشی سازمان‌ها است. می‌دانیم که خدمات آب و فاضلاب با شش مؤلفه‌ی کمیت، کیفیت، پوشش، استمرار، قیمت و رضایتمندی، در معرض قضاوت و داوری است. عامل کیفیت، افزون بر جایگاه ویژه خود، در تحقق رضایتمندی مشترکان نیز نقش آفرین است و حوزه‌ی کارکرد آن منابع تأمین، تأسیسات انتقال، پالایش، ذخیره‌سازی و توزیع آب را تا محل مصرف آن شامل می‌شود.

## املاح آب و ارزش تغذیه‌ای آن‌ها

اطلاعات علمی پیرامون عارضه‌های ناشی از آشامیدنی آب فاقد املاح، بر پایه‌ی داده‌های مشاهده‌ای و تجربی منتج از حیوانات آزمایشگاهی، داوطلبان، توزیع آب فاقد املاح حاصل از دستگاه‌های آب شیرین‌کن در اجتماعات انسانی و نوزدانی که غذای آن‌ها با آب مقطر تهیه شده است، می‌باشد. به دلیل محدودیت اطلاعات، قضاوت درخصوص عارضه‌های بهداشتی محتمل، از یافته‌های اپیدمیولوژیک در مقایسه‌ی اجتماعات با مصرف آب حاوی املاح کم (سبک) و املاح زیاد نیز بهره گرفته شده است. بر این اساس عارضه‌های بهداشتی محتمل مستقیم و غیرمستقیم مترتب بر مصرف آب با محتوی املاح کم به شرح زیر خلاصه شده است:

- تأثیر مستقیم بر عشاء مخاطی روده‌ها، خون‌سازی و سایر فعالیت‌های بدن
- عدم جذب کلسیم و منیزیم
- جذب اندک سایر عناصر تغذیه‌ای
- از دست رفتن کلسیم، منیزیم و سایر عناصر تغذیه‌ای از ماده‌ی غذایی، در آماده‌سازی غذا
- افزایش احتمالی جذب فلزات سنگین ناشی از لوله‌های حامل آب
- تقویت احتمالی رشد مجدد باکتری‌ها

از خوراندن آب با محتوی املاح محلول اندک (TDS کمتر از ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) به موش‌های صحرایی در یک دوره‌ی یک ساله نتایج زیر به دست آمده است:

- افزایش جذب آب و متعاقب آن افزایش حجم ادرار و مایعات خارج سلولی
  - افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلرور در سرم خون
  - افزایش دفع یون‌های سدیم و کلرور از بدن به حدی که عدم جبران آن‌ها از طریق مواد غذایی منجر به تعادل منفی این عناصر در اندام‌ها شده است.
  - کاهش حجم و تعداد گلبول‌های قرمز و سایر هماتوکریتها
  - کاهش ترشح آلدسترون، تری‌ایوتری یونین
  - افزایش ترشح کورتیزول
  - تغییرات مرفولوژی در کلیه مشتمل بر آتروفی گلومرول‌ها و کاهش انتقال خون به نفرون‌ها
- در یک کتاب آلمانی با عنوان "حقایق درباره‌ی آب"<sup>۱</sup> چنین آمده است: "آب در بدن همیشه حاوی الکترولیت‌هایی نظیر سدیم و پتاسیم است و غلظت آن‌ها توسط بدن کنترل می‌شود. جذب آب در اپیتلیال روده از طریق انتقال سدیم انجام می‌شود. در صورتی که آب خالص و فاقد املاح آشامیده شود، الکترولیت‌ها ابتدا از جدار روده به آب بلعیده شده اضافه می‌شوند و به دلیل آن که بدن هیچ گاه آب را به طور خالص دفع نمی‌کند، مقادیری از املاح بدن همراه آب دفع می‌شود. به این ترتیب آشامیدن آب فاقد املاح منجر به کاهش الکترولیت‌های بدن خواهد

---

<sup>1</sup> Shoking truth about water

شد.<sup>2</sup> در دواطلبانی که آب محتوی املاح کم (TDS کم‌تر از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) مصرف کرده‌اند، عارضه‌های زیر مشاهده شده است:

- افزایش ادرار (به طور میانگین ۲۰ درصد)
- افزایش حجم آب در فضای بین سلولی
- افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم در سرم خون
- افزایش دفع یون‌های سدیم و پتاسیم، کلرور، کلسیم و منیزیم از بدن

از مطالعات اخیر در روسیه چنین استنباط می شود که آشامیدن آب حاوی مواد معدنی کم، احتمال<sup>۲</sup> ابتلا به فشار خون<sup>۳</sup> و بیماری‌های عروقی کرونر قلب، زخم معده و اثنی عشر، گواتر، عارضه‌های حاملگی و عارضه‌های متعدد در نوزادان و اطفال نظیر یرقان، کم‌خونی و آسیب‌های ساختاری در رشد را فزونی می‌بخشد. مکانیسم تأثیر مصرف آب حاوی املاح کم (TDS کم‌تر از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) بر انسان چنین اعلام شده است: با ورود آب حاوی املاح کم به روده‌ها، گیرنده‌های اسمزی<sup>۴</sup> دستگاه گوارش فعال می‌شود. متعاقب آن با آزاد شدن سدیم از جدار روده، ضمن کاهش فشار اسمزی، محتوی سدیم خون نیز افزایش می‌یابد. با تغییر در فشار اسمزی خون، حجم مایع بین سلولی و انتقال آب از گلبول‌های قرمز و سایر سلول‌ها به فضای بین سلولی افزایش می‌یابد. این امر سبب فعال شدن گیرنده‌های فشاری<sup>۵</sup> و حجمی در جریان خون شده که در نهایت سبب کاهش ترشح هورمون‌های آلدوسترون و ADH و افزایش دفع سدیم و ادرار خواهد شد.

شست و شو، آماده سازی و طبخ مواد غذایی به ویژه گوشت، حبوبات و سبزی‌ها در آب‌های سبک (آب با محتوی املاح کم) سبب از دست رفتن بخش قابل توجهی از عناصر ضروری آن‌ها خواهد شد. تقلیل ۶۰ درصد کلسیم و منیزیم، ۶۶ درصد مس، ۷۰ درصد منگنز و ۸۶ درصد کبالت در مواد غذایی طبخ شده با آب‌های سبک مشاهده شده است. طبخ مواد غذایی در آب‌های سخت، نه تنها تقلیل عناصر تغذیه‌ای بسیار اندک خواهد بود، بلکه در مواردی، افزایش محتوی کلسیم ماده ی غذایی طبخ شده نیز گزارش شده است.

## آب و بیماری‌های قلبی

هر چند که اعتقاد برخی از محققان در منشاء وراثتی ابتلا به بیماری‌های قلبی، به ویژه در کشورهای ثروتمند، را نباید از نظر دور داشت، اما نقش رژیم غذایی و محتوی املاح آن، به ویژه کلسیم و منیزیم، در پیشگیری و ممانعت از بروز و شیوع این بیماری قرن بارز و انکارناپذیر است. موارد متعددی از ارتباط معکوس مصرف کلسیم و منیزیم در رژیم غذایی با مرگ و میر ناشی از بیماری‌های عروقی قلب از مناطق مختلف جهان، به ویژه در اروپا و ایالات متحده گزارش شده است.

<sup>2</sup> Risk factor

<sup>3</sup> Hypertension

<sup>4</sup> Osmoreceptors

<sup>5</sup> Baroreceptor

دکتر کوبایاشی برای نخستین بار در سال ۱۹۵۷ ارتباط بین کیفیت شیمیایی آب و خطر ابتلا به بیماری‌های عروقی را بررسی کرد و آن را "فاکتور آب" نامید. از آن زمان تاکنون اگرچه در نتایج تعداد زیادی از پژوهش‌های میدانی و مطالعات اپیدمیولوژیک، به ارتباط معنی‌دار آماری بین مصرف آب‌های سخت و کاهش موارد ابتلا به بیماری‌های قلبی اشاره شده است، اما هیچ یک از آن‌ها نتوانسته است، چگونگی این تاثیر را به وضوح بیان دارد. برخی از متخصصان تغذیه بر این عقیده‌اند که هرچند آب آشامیدنی مهمترین منبع ورود کلسیم و منیزیم به بدن به شمار نمی‌رود، اما اهمیت و تاثیرگذاری جذب این عناصر از آب به دلیل سهولت جذب آن‌ها از طریق آب مهم‌تر از مواد غذایی است. آشامیدن آب سخت سبب جذب کلسیم به میزان ۱۸۰-۱۷۵ میلی گرم در روز می‌شود.

استنتاج‌های تجربی اخیر، محتوی کلسیم آب سخت را به عنوان عامل محافظ در برابر بیماری‌های قلبی معرفی می‌کند. نتایج شش مطالعه طی سال‌های ۱۹۶۵-۱۹۷۳ حاکی از آن است که در زنان و مردانی که از مکمل‌های کلسیم با دز روزانه‌ی ۱-۲ گرم (اغلب به صورت کربنات) در رژیم غذایی بهره برده‌اند، غلظت کلسترول خون کاهش یافته است. کلسیم علاوه بر آن که از اجزای مهم در ساختمان استخوان‌ها و دندان‌ها به شمار می‌رود و در انعقاد خون و قابلیت تحریک پذیری اعصاب ماهیچه‌ای (neuromuscular) بسیار مؤثر است، سبب بهبود عملکرد سامانه‌ی مایوکاردیال و انقباض پذیری بهتر قلب و ماهیچه‌ها نیز خواهد شد.

برخی دیگر از محققان جذب مقادیر اندک منیزیم (کم‌تر از ۱۸۶ میلی گرم در روز) را عامل افزایش احتمال ابتلا به بیماری‌های قلبی دانسته و یادآور شدند که این عنصر نه تنها سبب بهبود متابولیسم کلسترول و ممانعت از بی‌نظمی ضربان قلب می‌شود، بلکه به عنوان کوفاکتور (Cofactor) در فعال شدن بیش از ۳۰۰ آنزیم در بدن ایفای نقش می‌کند. علاوه بر آن منیزیم عامل مؤثر در تبادل عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم از غشاء سلولی و سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک به شمار رفته و متابولیسم ATP و گلیکوزن در حضور آن انجام می‌شود. تأثیر این عنصر در قابلیت تحریک‌پذیری ماهیچه‌ها و انقباض آن‌ها نیز به اثبات رسیده است.

در گزارش‌های پژوهشگران ارتباط اپیدمیولوژیک ۳۴ عنصر با بیماری‌های قلبی و متابولیسم کلسترول و سایر چربی‌ها معرفی شده است. از این تعداد ۱۲ عنصر با تقلیل و یا افزایش مس، سبب تغییرات گسترده‌ی ساختاری (آناتومی) و آسیب‌های فیزیولوژیک در دستگاه قلبی-عروقی بدن می‌شوند. اگرچه اثرگذاری ۳۴ عنصر گفته شده بر بیماری‌های قلبی به وضوح مشخص نشده است، اما تاکنون سه فرضیه‌ی زیر در این خصوص ارایه شده است:

- تأثیر بر آنزیم‌ها، هورمون‌ها و مولکول‌های پیغام‌بر: در ترکیب بیش از ۲۷ درصد از آنزیم‌های شناخته شده‌ی بدن، عناصر معدنی وجود دارد و (یا) فعال شدن آن‌ها نیازمند عناصر معدنی است. گفته می‌شود کروم سبب ازدیاد ترشح انسولین، مس اثرگذار بر متابولیسم غده‌ی پروستات و فقدان روی سبب کاهش تی‌مولین می‌شود.
- واکنش‌های پیچیده‌ی بین عناصر: روی مانع از جذب و مصرف مس شده و محتوی کلسترول پلاسما را افزایش می‌دهد. سرب دفع ادراری مس را بیشتر می‌کند. بنا به نظر پیکل هارینگ و همکاران (۱۹۹۴)، عنصر قلع نیز اثر مشابه سرب در تقلیل میزان مس در بدن دارد.
- اثر کلسیم بر تغییر میزان جذب و مصرف عناصر: در آب و مواد غذایی، کلسیم و به میزان کمتر منیزیم، علاوه بر نقش تغذیه‌ای، عامل ضد سمیت (Antitoxic) نیز به شمار می‌روند. این عناصر مفید از جذب عناصر سمی نظیر

کادمیوم و سرب از روده به خون از طریق واکنش با آن‌ها و تشکیل ترکیبات غیرقابل جذب و یا رقابت با عناصر سمی در اشغال باندهای جذبی جلوگیری می‌کنند. پژوهش‌های انجام شده بر روی موش‌های صحرایی حاکی از آن است که با افزایش محتوی کلسیم رژیم غذایی، میزان کلسترول خون کاهش و در کبد مقادیر مس و روی به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. در حالی که دریافت اندک کلسیم روزانه، سبب افزایش جذب و ماندگاری کادمیوم در بدن خواهد شد.

آشامیدن آب‌های با محتوی جامدات محلول ۵۰ و حتی ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز مشاهده شده است. بر این اساس گروه تحقیق کارشناسان سازمان جهانی بهداشت در سال ۱۹۸۰، حداقل TDS آب آشامیدنی را ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار مناسب (Optimom) آن را در آب‌های سولفاته و کلروره در محدوده‌ی ۲۰۰ تا ۴۰۰ و دامنه‌ی آن را در آب‌های بی‌کربناته ۵۰۰-۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر توصیه کرده‌اند. پیشنهاد این گروه تحقیق بر پایه‌ی تجربه‌های میدانی حاصل از اندازه‌گیری متغیرهای تغییرات وزن بدن، متابولیسم نیتروژن و سایر عناصر پایه‌ی تغذیه‌ای، فعالیت آنزیم‌ها، خونسازی و تنظیم آن، محتوی املاح معدنی در خون و بافت‌ها، هماتوکریت و فعالیت آنزیم ADH در افراد داوطلب، سگ و موش صحرایی بوده است.

گروه تحقیق کارشناسان سازمان جهانی بهداشت، علاوه بر TDS، حداقل محتوی کلسیم آب‌های نمک‌زدایی شده را ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دانسته‌اند. این غلظت پایه بر این اساس که اغلب عوارض بحرانی بدن، ناشی از تغییرات هورمونی در متابولیسم کلسیم و فسفات رخ می‌دهد و با لحاظ داشتن حد اشباع املاح معدنی در بافت استخوان به دست آمده است. این گروه حداقل غلظت یون بی‌کربنات در آب‌های نمک‌زدایی شده را، برای حفظ جنبه‌های زیبایی‌شناختی و پذیرش عمومی و کاهش خورندگی آب، ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر پیشنهاد کرده‌اند.

از سال ۱۹۸۰ به بعد پژوهش‌های علمی برای تعیین حداقل و مقدار مناسب املاح معدنی در آب‌های نمک‌زدایی شده همچنان ادامه یافت. به عنوان نمونه نتایج دو بررسی اپیدمیولوژیک جداگانه در چهار شهر در منطقه‌ی جنوب سیبری که در آن‌ها ۴۶۰ و ۵۱۱ زن با محدوده‌ی سنی ۲۰-۴۹ سال، آب‌های با غلظت‌های متفاوت کلسیم و منیزیم مصرف کرده‌اند، نشان داد که موارد ابتلا به بیماری‌های قلبی - عروقی، فشارخون بالا، سردرد و سرگیجه و بیماری‌های استخوانی در شهرهایی که محتوی کلسیم آب ۳ و ۱۸ و مقدار منیزیم آن ۲/۴ و ۵ میلی‌گرم در لیتر بوده است، به مراتب بیشتر از مناطقی است که از آب‌های حاوی ۲۲ و ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم و ۱۱/۳ و ۲۶/۲ میلی‌گرم بر لیتر منیزیم نوشیده‌اند.

Lutai و همکاران (۱۹۹۲) یک مطالعه‌ی اپیدمیولوژیک پیرامون ارتباط محتوی املاح آب با شیوع بیماری‌ها بر روی دو گروه جمعیتی که آب با کیفیت‌های متفاوت مصرف می‌کردند انجام دادند. این پژوهش در ناحیه‌ی Ust-Ilim روسیه بر روی تمامی گروه‌های جمعیتی مشتمل بر ۷۶۸۵ نفر بزرگسال، ۵۶۲ کودک، ۱۵۸۲ زن باردار و نوزاد انجام شده است. در یک گروه آب مصرفی حاوی املاح معدنی کم (میانگین شاخص‌های  $TDS=134$ ،  $Ca=18/7$ ،  $Mg=4/9$  و  $HCO_3=86/4$  میلی‌گرم بر لیتر) و در گروه دیگر آب با محتوی املاح معدنی بیشتر (میانگین شاخص‌های  $TDS=385$ ،  $Ca=29/5$ ،  $Mg=8/3$  و  $HCO_3=243/7$ ) مصرف کرده‌اند. در این مطالعه غلظت عامل‌های سولفات، کلرور، سدیم، پتاسیم، مس، روی، منگنز و مولیبدان در آب آشامیدنی و تمامی عادت‌های تغذیه‌ای، شرایط

اجتماعی و کیفیت هوا در هر دو گروه جمعیتی تحت مطالعه یکسان بوده است. نتایج این بررسی نشان داد که در جمعیتی که آب با محتوی املاح معدنی کم مصرف می‌کردند، موارد ابتلا به گواتر، فشارخون، بیماری‌های عروق کرونر قلب، زخم معده و اثنی‌عشر، عفونت کیسه‌ی صفرا و نفريت به مراتب بیشتر از جمعیتی است که از آب با محتوی املاح بیشتر استفاده کرده‌اند. علاوه بر آن موارد افزون‌تر کندی رشد و رشد غیرعادی در کودکان، ادم (خیر) و کم‌خونی در زنان باردار همراه با موارد بیشتر مرگ و میر نوزادان در جمعیتی که از آب با محتوی املاح کم مصرف کرده‌اند، مشاهده شده است. کمترین میزان ابتلا به بیماری‌ها و عارضه‌های یاد شده در آشامیدن آب حاوی ۹۰-۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم، ۳۵-۱۷ میلی‌گرم بر لیتر منیزیم و TDS حدود ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شده است. براین اساس محققان این پژوهش، آبی با چنین کیفیتی را از لحاظ فیزیولوژیک مناسب دانسته‌اند.

بر این مبنا و بر پایه‌ی یافته‌های علمی ارایه شده در کنفرانس بازنگری رهنمودهای کیفیت آب آشامیدنی سازمان جهانی بهداشت که در سال ۲۰۰۳ در دفتر اروپایی این سازمان برگزار گردید، حداقل و مقدار مناسب کلسیم، منیزیم و سختی آب آشامیدنی به شرح زیر پیشنهاد شده است:

- منیزیم: حداقل ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و دامنه‌ی مقدار مناسب آن ۳۰-۲۰ میلی‌گرم بر لیتر
- کلسیم: حداقل ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر با دامنه‌ی مطلوب ۸۰-۴۰ و بهترین مقدار مناسب آن ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر
- سختی کل: حداقل دامنه‌ی مناسب ۴-۲ میلی‌مول بر لیتر (۴۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم)

## سختی آب آشامیدنی

آب، یکی از فراوان‌ترین ترکیبات کره‌ی زمین است که هیچ‌گاه خالص در طبیعت یافت نمی‌شود، زیرا نظر به قدرت حلالیتی که دارد در حین جریان در سطح یا زیر زمین، املاح موجود در مسیر خود را کم و بیش در خود حل می‌کند در مقایسه با آب‌های سطحی، میزان املاح محلول و از جمله سختی آب‌های زیرزمینی به دلیل تماس بیشتر آب با خاک از یک سو و از دیگر سو کندی جریان‌های زیرزمینی به مراتب بیشتر است. سختی آب از ترکیبات به خصوصی تشکیل نشده و مجموعه‌ای از کاتیون‌ها و آنیون‌ها را شامل می‌شوند. به طور کلی کیفیت وجود املاح چند ظرفیتی و یا به عبارت ساده‌تر، وجود املاح فلزات قلیایی خاکی و گاهی اوقات آلومینیوم و آهن در آب را سختی گویند. سختی آب در درجه‌ی اول به املاح کربنات و بی‌کربنات کلسیم (سختی کربناتی یا موقت که در اثر حرارت از بین می‌رود) و در مرحله‌ی بعد به املاح کلرو و سولفات کلسیم و منیزیم (سختی غیرکربناتی یا دائم که بر اثر حرارت از بین نمی‌رود) مربوط می‌باشد. به دلیل فراوانی املاح کلسیم و منیزیم، سختی آب به طور عمده ناشی از حضور کلسیم و منیزیم در آب است. هر چند که فلزات چند ظرفیتی دیگری نیز نظیر روی، منگنز، باریوم، استرانسیم، آهن و آلومینیوم در محتوی سختی آب حضور دارند. اغلب ترکیبات کلسیم در آب خالص به آسانی حل نمی‌شوند، اما در حضور دی‌اکسید کربن قالبیت انحلال آن‌ها در آب افزایش می‌یابد. از این رو منابع آبی که حاوی ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم باشند، فراوانند. بر خلاف کلسیم، بسیاری از نمک‌های منیزیم به آسانی در آب حل می‌شوند و به طبع آن اغلب منابع آب به طور معمول دارای ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر منیزیم می‌باشند.

کلسیم و منیزیم که عامل اصلی سختی آب هستند در همه‌ی غذاها وجود دارند. به طوری که مهم‌ترین منبع ورود کلسیم و منیزیم به بدن، مواد غذایی است. یک رژیم متداول غذایی روزانه، حاوی ۱۰۰۰ میلی‌گرم کلسیم و ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم منیزیم است که ۳۰ تا ۳۵ درصد آن جذب بدن می‌شود. بر طبق برآورد انجام شده در صورتی که غلظت کلسیم در آب آشامیدنی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم) در مدت یک هفته تنها ۲۸۰۰ میلی‌گرم کلسیم از طریق آشامیدن آب جذب بدن می‌شود، در صورتی که طی این مدت ۷۰۰۰ میلی‌گرم کلسیم از طریق غذا جذب بدن می‌شود. به عبارت دیگر در طی یک هفته، تنها ۲۹ درصد از کلسیم جذب شده در بدن از طریق آشامیدن آب است، در حالی که در همین مدت ۷۰ درصد کلسیم از مواد غذایی جذب بدن می‌شود. در میان مواد غذایی، فرآورده‌های لبنی غنی از کلسیم می‌باشند، در حالی که منیزیم اغلب در گوشت و فرآورده‌های گیاهی یافت می‌شود.

بر طبق طبقه‌بندی سازمان جهانی بهداشت در سال ۱۹۸۴، آب سخت به آبی اطلاق می‌شود که سختی آن در حدود ۱۲۰ تا ۱۸۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم باشد. سازمان بهداشت جهانی یادآور می‌شود که سختی آب بستگی به عادت مصرف‌کننده داشته و سختی ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم را به عنوان رهنمود پیشنهاد کرد. این سازمان در رهنمودهای کیفی آب آشامیدنی خود در سال ۱۹۹۶ و پس از آن و همچنین سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (EPA) هیچ استاندارد برای حداکثر مجاز سختی ذکر نکرده است. بر طبق استاندارد تعیین شده از سوی موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، حداکثر مطلوب سختی آب آشامیدنی ۱۵۰ و حداکثر مجاز آن ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم تنها بر پایه‌ی جوانب فنی و اقتصادی آب تعیین شده است.

## سختی آب از دیدگاه بهداشتی

از دیدگاه بهداشتی، سختی آب آشامیدنی نه تنها مخاطره‌آمیز نبوده، بلکه رابطه‌ی آماری بین سختی آب آشامیدنی و کاهش موارد بیماری‌های قلب و عروق گزارش شده است. به طوری که تا سال ۱۹۸۵، از حدود ۱۷ مقاله منتشر شده از سوی سازمان بهداشت جهانی موید وجود ارتباط معنی‌دار آماری بین سختی آب و کاهش موارد ابتلاء بیماری‌های قلب و عروق می‌باشد در این رابطه بالا بودن میزان کلسیم، لیتوم، منیزیم، کروم، وانادیوم و سلنیوم در آب‌های سخت را یکی از عوامل موثر در کاهش مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی و عروقی می‌دانند. گروهی دیگر از صاحب‌نظران ممانعت سختی آب از رسوب کلسترول در جدار رگ‌ها را در کاهش مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی و عروقی موثر دانسته‌اند. از این روی سازمان جهانی بهداشت متذکر شده است که میزان مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی و عروقی نزد افرادی که از آب سبک استفاده می‌کنند به مراتب بیشتر از افرادی است که از آب سخت بهره می‌برند. باید توجه داشت که آب‌های آشامیدنی که حاوی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم باشند (معادل ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم) بسیار کمیاب هستند. این در حالی است که سه تئوری معرف سنگ‌سازی: تئوری هسته‌ای<sup>۶</sup> و تئوری داربست سنگی<sup>۷</sup> و تئوری ممانعت‌کننده‌های کریستالیزاسیون<sup>۸</sup> هیچ یک سختی آب را متهم

<sup>6</sup> Nucleation theory

اصلی در پیدایش سنگ کلیه و مجاری ادراری معرفی نمی‌کنند. به طور کلی و با استناد به مقاله‌های تحقیقاتی، هفده عامل مهم کاهش حجم ادرار، pH قلیایی ادرار، افزایش کلسیم، اگزالات، اسید اوریک، گلوکز آمینوگلیسین، ویتامین B<sub>۱</sub>، کاهش ممانعت کننده‌های کریستالیراسیون (منیزیم، پیروفسفات، نیتрат، موکوپروتئین‌ها و پپتیدها)، مصرف زیاد پروتئین‌های حیوانی، مصرف طولانی ویتامین C به مقدار بیش از ۵ گرم در روز، افزایش میزان سلنیوم مواد غذایی، گرمی هوا، کمی مصرف آب، سطح درآمد، شغل (در مشاغل که تحرک افراد کم است، احتمال ابتلا به سنگ کلیه و مجاری ادراری نیز بیش‌تر است)، رژیم‌های غذایی، گروه خونی (میزان ابتلا در گروه خونی A و O بیش‌تر است) و عامل‌های ژنتیکی در تولید سنگ کلیه موثر هستند.

در ایران بر طبق آمار منتشر شده از سوی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، استان‌های خوزستان، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی به ترتیب مقام‌های اول تا سوم را از نظر ابتلا به سنگ کلیه و مجاری ادراری دارند.

---

<sup>7</sup> Stone matrix theory

<sup>8</sup> Inhibitor of crystallization theory

## سختی آب از نظر اقتصادی

از دیدگاه اقتصادی، سختی آب با ایجاد رسوب نامحلول، مانع از کف کردن صابون شده و باعث افزایش مصرف صابون می‌شود. به این ترتیب که صابون‌های سدیمی با یون‌های فلزی چند ظرفیتی (عامل‌های مولد سختی) ترکیب شده و املاح نامحلول تولید می‌کنند و تا زمانی که این املاح در آب وجود دارند، صابون در آب کف نمی‌کند و در نتیجه میزان مصرف صابون افزایش می‌یابد. در این حالت صابون خاصیت شویندگی نداشته و به صورت رسوب از محلول خارج می‌شود. به طور متوسط هر یک میلی گرم سختی آب، در حدود ۲۵ میلی گرم صابون اضافی لازم دارد

رسوب حاصل از سختی آب بر روی ظروف، دستشویی، شیرآلات و البسه باقی مانده و پوسته‌ای سفید رنگی به نام لک‌های آب<sup>۹</sup> ایجاد می‌کند و در نتیجه البسه به خوبی شسته نمی‌شود و شخص احساس ناراحتی می‌کند. افزون بر آن سختی آب با ایجاد پکتات کلسیم نامحلول در پختن حبوبات در آب اشکال ایجاد می‌کند. کربنات کلسیم بر اثر گرم کردن به صورت رسوبی شیری رنگ و سخت در دستگاه‌های گرم‌کننده رسوب کرده و باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود و در درازمدت ممکن است خطر انفجار ایجاد کند. یک پوسته‌ای حاصل از کربنات کلسیم بر روی سطوح یک آبگرمکن به صورت عایق حرارتی عمل کرده و به تقریب ۱۰ درصد بر مصرف انرژی می‌افزاید. رسوب حاصل از سختی آب سبب کاهش ظرفیت انتقال جریان آب شده و در دراز مدت ممکن است سبب انسداد مجاری و لوله‌های آب گرم شود.

سختی آب در فعالیت برخی از صنایع نظیر یخ سازی، تولید نوشابه، کاغذ سازی و رنگ سازی اختلال ایجاد می‌کند. به عنوان نمونه در صنایع نوشابه‌سازی سختی آب نباید از ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم تجاوز کند. در غیر این صورت سختی بیش از ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر باعث می‌شود که اسیدهایی را که برای معطر کردن آشامیدنی به کار می‌رود خنثی شده و کدورت و تیرگی نوشابه‌ها در پی دارد. کیفیت آب مورد نیاز برخی از صنایع در مآخذ ۷ آمده است. از این رو در صنایع برای جلوگیری از زیان اقتصادی ناشی از سختی آب، سختی را به یکی از روش تبادل یونی<sup>۱۰</sup> استفاده از آهک و کربنات سدیم<sup>۱۱</sup> و یا الکترودیالیز<sup>۱۲</sup> کاهش داده و یا حذف می‌کنند.

از لحاظ سهولت بهره‌برداری و هزینه‌ی ساخت و نگهداری، دو روش تبادل یون و استفاده از آب آهک و کربنات سدیم، نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت بیشتری داشته و اغلب از این دو روش برای حذف و یا کاهش سختی آب در صنایع استفاده می‌شود. باید توجه داشت که آب‌های سبک اغلب خورنده بوده و فلزات سنگینی نظیر کادمیوم، مس، سرب و روی در آن‌ها یافت می‌شود. در صورتی که سختی آب در حدود ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم باشد، تعادلی از لحاظ خوردگی و تشکیل رسوب و پوسته ایجاد خواهد شد. نهایت آن که بر اساس مقاله‌ها و تحقیقات انجام شده، مضرات و معایب سختی به طور عمده از دیدگاه اقتصادی بوده و از دیدگاه بهداشتی، سختی آب نه تنها ایرادی ندارد، بلکه هم چنان که اشاره شد فواید زیادی را نیز به آن نسبت می‌دهند.

<sup>۹</sup> Water spots

<sup>۱۰</sup> Ion exchange process

<sup>۱۱</sup> Lime-soda-process

<sup>۱۲</sup> Electrodialysis

## آن چه پیرامون نیترات باید بدانیم؟

در موضوع افزایش محتوای نیترات در آبخوان زیرزمینی، ابتدا باید توجه داشت که در تحلیل کیفیت شیمیایی آب، پیش از آن که عوارض بهداشتی و بیماری‌زایی نیترات مطرح باشد، شاخص بودن آن مورد توجه است. بر خلاف آب‌های سطحی، سرعت حرکت املاح شیمیایی آب در لایه‌های خاک، به همان سرعت جریان آب نیست و هر یک از املاح همراه آب، حسب ماهیت و وزن مولکولی، سرعت‌های متفاوتی دارند که در متون علمی از آن به نام «ضریب تاخیر»<sup>۱۳</sup> تعبیر می‌شود. از آن جا که ضریب تاخیر نیترات، نزدیک به عدد یک (۰/۹۸) است، از آن به عنوان شاخصی برای تعیین و رهگیری راهیابی پساب‌های آلوده به آبخوان استفاده می‌شود.

با استناد به گزارش کاشف<sup>۱۴</sup> از طبقه‌بندی مواد شیمیایی در آب‌های زیرزمینی در حالت طبیعت ارایه داده است؛ نیترات در گروه ترکیبات ثانویه با دامنه‌ی مقادیر متعارف ۱۰-۰/۱ میلی گرم بر لیتر قرار دارد. به این معنا که هرگاه هیچ گونه پسابی به آبخوان زیرزمینی راه نیافته باشد، مقادیر نیترات آن حداکثر تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر خواهد بود و مقادیر بیش‌تر آن، به منزله‌ی راهیابی پساب به درون آبخوان است.

با استناد به مطالب مندرج در صفحه‌ی ۴۱۸ رهنمود سازمان جهانی بهداشت برای کیفیت آب آشامیدنی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱، نیترات به آسانی از طریق سبزی‌ها، گوشت و آب جذب می‌شود و بیش از ۹۰ درصد آن از طریق ادرار دفع می‌شود. در انسان ۲۵ درصد از نیترات جذب شده، وارد بزاق دهان شده و ۲۰ درصد آن تحت تاثیر باکتری‌های (فلور میکروبی) دهان به نیتريت احیا می‌شود. حتا در غیاب منابع ورود نیترات به بدن، تجزیه‌ی پروتئین‌ها در دستگاه گوارش نیز نیترات تولید می‌کند و از این طریق روزانه ۶۲ میلی گرم نیترات از راه ادرار از بدن دفع می‌شود. مطالعه‌ی کرایوم<sup>۱۵</sup> و همکاران در سال ۱۹۸۱ نشان می‌دهد که میانگین جذب روزانه‌ی نیترات در انسان از طریق آب و مواد غذایی، از ۴۳ تا ۱۳۱ میلی گرم بر لیتر متغیر است. مجموع نیترات جذب شده در بدن انسان با توجه به مقادیر دفع آن از طریق ادرار، بین ۳۹ تا ۲۶۸ میلی گرم در روز برآورد شده است. مقادیر بالاتر آن به میزان مصرف روزانه‌ی سبزی و سایر مواد غذایی غنی از نیترات وابسته است. در حالتی که محتوای نیترات آب کم‌تر از ۵۰ میلی گرم بر لیتر باشد، سبزی‌ها به ویژه کرفس، سیب‌زمینی، کاهو، اسفناج و سبزی‌های ریشه‌دار با اختصاص ۸۶ درصد از مجموع روزانه‌ی نیترات، به عنوان مهم‌ترین منبع ورود نیترات به بدن شناخته شده‌اند و فرآورده‌های گوشتی و آب آشامیدنی به ترتیب در مقام‌های دوم و سوم جای می‌گیرند. در صورتی که محتوای نیترات آب به بیش از ۵۰ میلی گرم بر لیتر افزایش یابد، آب آشامیدنی مهم‌ترین منبع نیترات به بدن خواهد بود. مطالعه‌ی بوچارد<sup>۱۶</sup> در سال ۱۹۹۲ مویده آن است که در رژیم‌های غذایی با محتوای نیترات ۵۰ میلی گرم بر لیتر، بیش از ۷۰ درصد از جذب نیترات بدن مربوط به آب است.

بر خلاف برخی اظهار نظرها که کم‌تر از منطق کارشناسی برخوردار بوده است، جذب و دفع نیترات از بدن به سهولت انجام می‌شود و نه تنها مشکل بهداشتی برای غالب افراد ایجاد نمی‌کند، بلکه بر اساس گزارش نورمن و

<sup>13</sup> Retardation Coefficient

<sup>14</sup> A. I. Kashef

<sup>15</sup> F. Craun

<sup>16</sup> D. Bouchard

همکاران<sup>۱۷</sup> در سال ۲۰۰۹، نیترات عامل تنظیم فشار خون و بهبود دهنده‌ی کارکرد دستگاه قلب و عروق است و شماری از داروهای منتسب به دستگاه گردش خون نیز، حاوی مقادیر قابل توجهی نیترات هستند. تنها در افرادی که اسیدیته‌ی معده‌ی آن‌ها به دلیل مصرف داروهای ضد اسید که مانع از ترشح اسید معده می‌شوند، نوزادان با سن کم‌تر از ۳ ماه و افراد مبتلا به عفونت‌های معده‌ی -روده‌ای<sup>۱۸</sup>، احیای میکروبی نیترات به نیتريت روی می‌دهد. در این حالت نیتريت با تبدیل آهن دو ظرفیتی به نوع سه ظرفیتی، هموگلوبین (Hb) خون را به متهموگلوبین (Mb) تبدیل می‌کند. حتی در این حالت نیز غلظت متهموگلوبین خون توسط دو آنزیم به نام‌های دیافوراز و NADH Cytochrome (b5) reductase که از گلبول‌های قرمز ترشح شده و سبب احیای متهموگلوبین به هموگلوبین می‌شوند، در حد یک درصد غلظت هموگلوبین خون ثابت نگه داشته می‌شود. کمبود این دو آنزیم، به صورت اکتسابی و تحت عامل‌های گوناگون محیطی نیز، سبب ایجاد بیماری متهموگلوبینمیا می‌شود.

در این بیماری که نخستین بار توسط یک پزشک آمریکایی به نام دکتر کوملی<sup>۱۹</sup> در دهه‌ی ۱۹۴۰ میلادی و در کودکانی که با شیر خشک تهیه شده از آب حاوی ۹۰ تا ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر نیترات تغذیه شده بودند، با نشانه‌های تیرگی رنگ پوست، تغییر رنگ لب‌ها از قرمز به قهوه‌ای شکلاتی، کاهش دمای بدن، مشکل در تنفس و گریه‌های زیاد و غیرطبیعی، به همراه نقص در وزن‌آوری نوزادان گزارش شد، فقدان و یا کمبود وراثتی آنزیم NADH Cytochrome (b5) reductase می‌تواند عامل ایجاد بیماری متهموگلوبینمیا باشد. افزون بر آن، اشکال غیرطبیعی هموگلوبین که به هموگلوبین (HbM) و به صورت M<sub>hydePark</sub> , M<sub>boston</sub> , M<sub>iwater</sub> معروف هستند نیز عاملی برای ابتلای فرد به بیماری متهموگلوبینمیا محسوب می‌شوند. مروری بر مستندات علمی نشان می‌دهد که در مقایسه با بزرگسالان، هموگلوبین خون اطفال، به ویژه نوزادان، به حداقل پنج دلیل، برای تبدیل به متهموگلوبین مستعدتر است و به همین سبب حد ۵۰ میلی گرم بر لیتر نیترات که در رهنمود سازمان جهانی بهداشت آمده است، بر پایه‌ی ایجاد عارضه‌ی متهموگلوبین در نوزادان با سن کم‌تر از سه ماه که با شیر خشک تغذیه می‌شوند، استوار است. در این گروه سنی به دلیل عدم تکمیل سامانه‌ی آنزیمی بدن، بالاتر بودن pH معده و بالا بودن نسبت وزن آب جذب شده به وزن بدن، به عنوان گروه مستعد و آسیب‌پذیر شناخته شده‌اند. پر واضح است که در افراد بزرگسالی که مشکلات گوارشی نداشته و از داروهایی که مانع از ترشح اسید معده می‌شوند، استفاده نمی‌کنند؛ متعاقب آشامیدن آب با محتوای نیترات بیش از ۵۰ میلی گرم بر لیتر، دچار عارضه‌ی متهموگلوبینمیا نمی‌شوند. در عین حال در بزرگسالان، عارضه‌های نیترات و ابتلا به بیماری دیابت نوع یک، به تقریب یکسان و مشابه گزارش شده است. در بزرگسالان، نیترات می‌تواند با تشکیل ترکیبات N-Nitroso سبب ایجاد سرطان به ویژه سرطان تخمدان و طحال در زنان شود. مصرف برخی داروها نظیر آنتی‌بیوتیک‌های گروه سولفانامید، تماس طولانی با گاز اکسید نیتروژن که از آگزوز اتومبیل‌ها، دود سیگار، سوختن چوب و مانند آن متصاعد می‌شود نیز عوارضی شبیه نیترات دارند.

بررسی مقادیر نیترات در استاندارد سایر کشورها نشان می‌دهد که به استثنای کشور تانزانیا، هیچ کشوری، مقادیر بیش‌تر از ۵۰ میلی گرم بر لیتر نیترات را در استاندارد ملی خود لحاظ نکرده‌اند. حتی در سال ۱۹۹۹ در ایالات متحده،

<sup>17</sup> G. H. Norman et al.

<sup>18</sup> Gastrointestinal Infection

<sup>19</sup> D. Comly

استاندارد ویژه‌ای برای آب شرب کودکان تدوین شد که بر مبنای آن، مقادیر نیترات و نیتريت در آب آشاميدنی کودکان تا سن ۱۲ سال ۴/۵ ميلي گرم بر حسب يون نیترات، تعيين شده است. شبهه‌ی ایجاد شده در گفت و گوه‌ی رسانه‌ای پيرامون عبارت:

however, it may be used if medical authorities are increasingly vigilant when the nitrate concentration is between 50 and 100 mg/liter, provided that the water is known and is confirmed to be microbially safe.

که در پاراگراف چهارم صفحه‌ی ۱۹۶C رهنمود سازمان جهانی بهداشت و عینا در صفحه‌ی ۱۵ کتابچه‌ی

### "Nitrate and nitrite in drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality"

از انتشارات سازمان جهانی بهداشت آمده است، اظهار می‌دارد که: "در حالتی که نیترات آب در مقادیر ۵۰-۱۰۰ ميلي گرم بر لیتر باشد، متولیان بهداشتی باید دقت نظر بیش‌تری بر سلامت میکروبی آب داشته باشند." این عبارت برخلاف آن چه در برخی اظهارنظرها آمده است، هیچ‌گاه به معنای آن نیست که سازمان جهانی بهداشت، آشامیدن آب‌های با محتوای ۵۰-۱۰۰ ميلي گرم بر لیتر نیترات را مجاز دانسته است، بلکه صرفا هشداري است که به دلیل این که مقادیر بالای نیترات، از پساب‌های آلوده به فضولات دامی و یا انسانی نشأت می‌گیرد، همزمان با محتوای نیترات بالای آب، آلودگی میکروبی آن نیز محتمل است.

نیترات، به یکی از سه روش تبادل یون، زدایش بیولوژیکی و جدا سازی غشایی از آب حذف می‌شود و به منظور برآورد و پیش‌بینی غلظت آن در آبخوان زیرزمینی مناطقی که فاقد شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب هستند و فاضلاب آن‌ها از طریق چاه‌های جذبی دفع می‌شود، از رابطه‌ی زیر می‌توان بهره جست:

$$C = \frac{1000 \times a \times A \times f}{0.365 \times A \times U + 10 \times I}$$

در این رابطه:

C : غلظت نیترات در لایه‌ی آبدار زیرزمینی (برحسب ميلي گرم بر لیتر N-NO<sub>3</sub>)

a : سرانه‌ی سالانه‌ی نیتروژن دفع شده (برحسب کیلوگرم) (مقدار آن حدود ۵ کیلوگرم در سال است).

A : تراکم جمعیت در منطقه (برحسب نفر در هکتار)

f : ضریب رسیدن نیترات به لایه‌ی آبدار (این نسبت نشان دهنده‌ی شرایط توالته‌ها و میزان حساسیت آبخوان است. مقدار آن در آبخوان‌های کم عمق هوازی، در محدوده‌ی ۰/۲ تا ۰/۶ است. در سفره‌های کارستیک و آهکی، به تقریب تمامی نیتروژن دفع شده، اکسید و به آبخوان راه می‌یابد).

U : سرانه‌ی تولید فاضلاب (برحسب لیتر بر روز)

I : ضریب نفوذپذیری خاک (برحسب ميلي متر بر سال)

## آن چه پیرامون آرسنیک باید بدانیم؟

نکته‌های زیر با هدف ارتقای آگاهی‌های عمومی و تخصصی کارکنان، به منظور آگاهی و اشراف بیش‌تر و بهتر آنان پیرامون جوانب بهداشتی و اثرگذاری عنصر آرسنیک، بر سلامت و حضور مؤثر و اثرگذار در تصمیم‌سازی‌های پیرامون آن و با استناد به مراجع علمی معتبر گردآوری و تدوین شده است. بیش‌تر یادآور می‌شود تصمیم‌گیری در خصوص تصفیه و زدایش آرسنیک از تمامی و یا بخشی از منابع آبی شهرها و روستاهایی که محتوی آرسنیک برخی منابع آبی آن‌ها، در مقادیر بیش از حدود مجاز استاندارد ملی (۱۰ میکروگرم بر لیتر) اعلام شده است، منوط به دو رکن است. نخست آگاهی از آخرین یافته‌های علمی معتبر و تایید شده پیرامون اثرگذاری و جوانب بهداشتی آرسنیک در حالت‌های گوناگون تماس انسان با آب (گوارشی، استنشاقی و تماسی) و پرهیز از اظهارنظرهای شتابزده و بدون پشتوانه‌ی علمی و کارشناسی و دوم: طرح موضوع در نشست‌ها و نهادهای مرتبط با آب‌رسانی، به منظور همراهی و اخذ پشتیبانی آن‌ها در اجرای تصمیم نهایی.

در این زمینه لازم است موضوع، راه‌کارها و تمهیدهای پیش‌بینی شده و متصور آن در شورای بهداشت استان، با رای‌های ادله‌ی نظری (علمی) و اجرایی کافی و وافی طرح و با اخذ نظر و تاییدیه‌ی مقام‌های ارشد ذی‌مدخل استانی، اقدام لازم صورت گیرد.

مؤکداً یادآور می‌شود قضاوت در خصوص کیفیت آب و سلامت و یا آلودگی آن، به ترجیح، باید توسط گروه خبرگان و یا فردی که کاملاً به ابعاد گوناگون موضوع محاط بوده و دارای تجربه‌ی کافی و تخصص در زمینه‌های کنترل کیفیت، بهداشت و اپیدمیولوژی می‌باشد، با بهره‌گیری از رشته‌های تخصصی دیگر، بالاخص فنی، مهندسی و اقتصادی انجام شود و سهولت کنترل، حذف و یا کاهش عامل آلاینده و هزینه‌های مرتبط با آن، در یک طرف و اثرات و پیامدهای سوء بهداشتی آن در وقوع و افزایش موارد بیماری در طرف دیگر، حکیمانه مورد تجزیه و تحلیل و ارزیابی قرار گیرد.

۱. به طور کلی در آب‌های زیرزمینی که آبخوان آن در تماس با رسوبات حاوی سولفاید و سنگ‌های رسوبی مشتق شده از سنگ‌های آتشفشانی قرار دارد، محتوی آرسنیک آب بالا است و زمانی که مقدار آرسنیک در آب آشامیدنی، بیش‌تر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر باشد، مهم‌ترین منبع ورود آرسنیک به بدن، آب آشامیدنی خواهد بود.

۲. تماس انسان با عنصر آرسنیک به دو شکل معدنی و آلی متصور است. نوع آلی آن که عمدتاً از طریق مواد غذایی دریایی به ویژه میگو وارد بدن می‌شود، به دلیل قابلیت حلالیت کم‌تر در مایعات بدن، کم‌تر در روده جذب می‌شود و در نتیجه از سمیت کم‌تری برخوردار است. نوع معدنی آرسینک به ویژه نوع سه ظرفیتی آن، به نام آرسینک تری‌اکساید (با نام تجاری آرسین) ( $AsH_3$ ) که حالت گازی آرسینک است، سمی‌ترین حالت آرسینک به شمار می‌رود، به طوری که استنشاق این گاز بی‌رنگ و بی‌بو، در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در هر لیتر هوا، بلافاصله و در غلظت ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، پس از ۳۰ دقیقه، از طریق جذب پوستی و انحلال در بافت چربی پوست، سبب مرگ می‌شود. نوع معدنی پنج ظرفیتی آرسینک که اغلب در ترکیب با سایر عناصر مانند آرسنات سرب وجود دارد، قابلیت انحلال کم‌تر و مالاً از سمیت کم‌تری برخوردار است.

۳. آرسنیک پس از ورود به بدن از طریق گلوبولین و گلبول‌های قرمز خون، در مدت حدود ۲۴ ساعت در کبد، طحال و ریه‌ها انباشته می‌شود. این عنصر در ترکیب با پروتئین‌های حاوی گروه‌های سولفیدریل نیز در بدن منتقل می‌شود و تماس طولانی مدت با غلظت‌های بالای آن، منجر به تراکم آن در استخوان‌ها، بافت‌های کراتینی بدن، مو و انگشتان خواهد شد. در کبد، آرسنیک معدنی با تبدیل به متیل آرسنیت و سپس دی‌متیل آرسنیت، بلافاصله از طریق ادرار دفع می‌شود.

آرسنیک راه یافته به بدن پس از ۳ تا ۵ روز از طریق کلیه دفع می‌شود. در زنان شیرده، مقادیر اندکی از آن، از طریق شیر، از بدن خارج و به نوزاد منتقل می‌شود. انتقال آرسنیک از طریق جفت به جنین، سبب مرده‌زایی و سقط جنین خواهد شد.

۴. محققان عارضه‌های آرسنیک بر انسان را به دو دسته‌ی سمیت حاد<sup>۲۰</sup> و سمیت مزمن<sup>۲۱</sup> تقسیم‌بندی کرده‌اند. سمیت حاد آرسنیک که عمدتاً منتج از تماس با اشکال معدنی این عنصر و به ویژه گاز آرسین است، مرگ آنی (بلافاصله مرگ در تماس با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر گاز آرسین)، مشکل در تنفس (گرفتگی گلو) و بلع، بوی سیر دهان، احساس تشنگی شدید، دردهای شدید روده‌ای، اسهال و تهوع، گرفتگی عضلات، بی‌نظمی در ضربان قلب و سرانجام کُما و مرگ را شامل می‌شود. سمیت مزمن آرسنیک که بیش‌تر از طریق تماس با آب آشامیدنی روی می‌دهد، تظاهرات بالینی گوناگونی هم چون بوی سیر در تنفس، تعریق زیاد، تغییر در رنگ دانه‌های پوست، ضعف و تحلیل ماهیچه‌ها، خارش دست و پا، بیماری عروق خارجی، قانقاریا (که از آن به بیماری پای سیاه<sup>۲۲</sup> نام برده می‌شود) و سرطان پوست، ریه، کلیه و مثانه را به همراه دارد. یکی از بیماری‌های رایج ناشی از سمیت مزمن آرسنیک، آرسنیکوزیس<sup>۲۳</sup> است که بر اثر تماس طولانی مدت (۵ تا ۲۰ سال) با این عنصر ایجاد می‌شود.

سازمان جهانی بهداشت (WHO) در رهنمود سال ۲۰۱۷ خود برای کیفیت آب آشامیدنی، عارضه‌های زیر را منتج از تماس طولانی مدت با آب آشامیدنی حاوی غلظت‌های بالای آرسنیک بر شمرده است:

- مشکلات پوستی (نظیر تغییر رنگ پوست، ضخیم، شاخی شدن و زخم شدن کف پا) و سرطان پوست (شکل شماره‌ی ۱).
- سرطان کلیه، کبد و مثانه.
- ضایعه در عروق خونی به ویژه در ناحیه‌ی پا و گردن.
- به احتمال دیابت، فشار خون بالا و مشکلاتی در تولید مثل.

<sup>20</sup> Acute Toxicity

<sup>21</sup> Chronic Toxicity

<sup>22</sup> Black foot disease

<sup>23</sup> Arsenicosis

۵. به استناد مطالب مندرج در بولتن شماره ۷۸ سازمان جهانی بهداشت، جذب آرسنیک از طریق پوست، جزیی و حداقل است. از این رو شست و شوی دست، استحمام، شست و شوی لباس و سایر کاربری‌های مانند آن با آب حاوی آرسنیک خطر سلامتی ویژه‌ای را متوجه انسان نمی‌سازد.

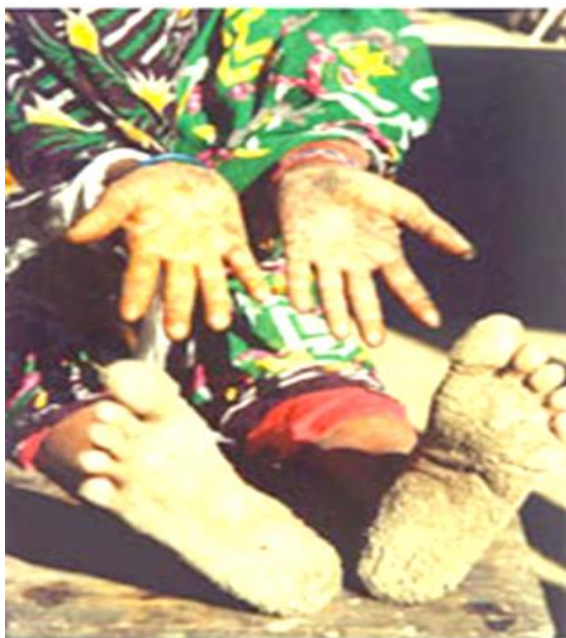
Absorption of arsenic through the skin is minimal and thus hand-washing, bathing, laundry, etc. with water containing arsenic do not pose human health risks.

(R: Bulletin of the World Health Organization, Volume 78,(9): page 1096)

این سازمان در بولتن شماره ۷۸ خود آورده است: "تنها در کشور چین (استان تایوان) بیماری عروق خونی منجر به قانقاریا که به نام "بیماری پای سیاه"<sup>۲۴</sup> شناخته می‌شود، مشاهده شده است. این بیماری از سایر مناطق جهان گزارش نشده و احتمالاً سوء تغذیه در ایجاد این بیماری مؤثر است."

In China (Province of Taiwan) exposure to arsenic via drinking-water has been shown to cause a severe disease of the blood vessels, which leads to gangrene, known as 'black foot disease'. This disease has not been observed in other parts of the world, and it is possible that malnutrition contributes to its development.

(R: Bulletin of the World Health Organization, Volume 78,(9): page 1096)



شکل شماره ۱: تصویرهایی از عارضه‌های پوستی آرسنیک

<sup>24</sup> Black foot disease

۶. هر چند بر اساس طبقه‌بندی سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA) و انجمن بین‌المللی سرطان‌زایی، قابلیت سرطان‌زایی عنصر آرسنیک تایید و در گروه نخست (A) عامل‌های سرطان‌زا قرار دارد و تغلیظ بیولوژیکی<sup>۲۵</sup> و تجمع‌پذیری بیولوژیکی<sup>۲۶</sup> آن به اثبات رسیده است، با این حال با استناد به منابع معتبر و از منظر اپیدمیولوژیک، تمرکز و تأکید صرف بر عبارت "سرطان‌زا بودن یک عامل" در قضاوت پیرامون زدایش و یا تقلیل آن از آب و سایر مواد غذایی کفایت نمی‌کند. بلکه باید با رویکرد به روش‌های ارزیابی خطر<sup>۲۷</sup> و مدل‌ها، جدول‌ها و فرمول‌های آن، نرخ ابتلاء به سرطان ناشی از مقادیر آرسنیک در آب، با استفاده از اطلاعات پایه (طول عمر شخص، مدت تماس، میزان آب مصرفی، جمعیت شهر و...) در مقایسه با نرخ سرطان‌های گزارش شده از مجموع سایر عامل‌ها، بررسی و ضرورت حذف و یا کاهش آرسنیک از آب و هزینه‌های مرتبط با آن، حکیمانه مورد تجزیه و تحلیل و ارزیابی قرار گیرد.

## نکته‌هایی پیرامون مواد آلی در آب

کیفیت و توان یک عامل شیمیایی در ایجاد اثر سوء، "سمیت" گفته می‌شود. شناسایی سمیت مواد شیمیایی در آب آشامیدنی، به دو دسته‌ی سمیت حاد یا مزمن و سرطان‌زایی انجام می‌شود. مواد آلی در آب از سه منبع سرچشمه می‌گیرد:

- تجزیه و تخریب مواد آلی طبیعی در آب
- فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی
- فراورده‌های ناشی از واکنش‌هایی که به هنگام گندزدایی آب روی می‌دهد.

در مورد گروه اول می‌توان به ترکیباتی با منشاء نفتی و بقایای میکروارگانیزم‌ها اشاره کرد. آلاینده‌هایی مانند آفت‌کش‌ها و حلال‌هایی مانند تری‌کلروبنزن و تتراکلرواتیلن در گروه دوم جای دارند. بیش‌تر مواد آلی که دارای اثرات سوء بهداشتی هستند در این گروه قرار می‌گیرند. گروه سوم، آلاینده‌هایی هستند که طی مراحل تصفیه‌ی آب حاصل می‌شوند و عمدتاً فراورده‌هایی جانبی حاصل از گندزدایی را در بر می‌گیرند. از مهم‌ترین این ترکیبات، گروه تری‌هالومتان‌ها هستند که سرطان‌زا نیز می‌باشند تری‌هالومتان‌ها برای اولین بار در دهه‌ی ۷۰ میلادی شناسایی شدند و این مسئله ضرورت تحقیق در مورد تشکیل این مواد در اثر فرآیند تصفیه را بیش‌تر می‌کند.

یکی از بحث‌های رایج زیست محیطی، افزایش دغدغه‌ها پیرامون سرنوشت ترکیبات ساخت بشر نظیر ترکیبات هالوژنه است. این ترکیبات شامل هیدروکربن‌های کلرینه فرار و تری‌هالومتان‌ها هستند که عمومی‌ترین آلاینده‌های آب به شمار می‌آیند. هیدروکربن‌های کلره به طور گسترده‌ای در صنایع و پروژه‌های تجاری استفاده می‌شوند. این استفاده گسترده می‌تواند منجر به ورود آن‌ها به محیط زیست و آلوده کردن آب‌های سطحی و زیرزمینی شود. اکثر هیدروکربن‌های کلرینه شده یک یا دو اتم کربن دارند. این ترکیبات به علل زیر مورد توجه قرار می‌گیرند.

<sup>25</sup> Bioconcentration

<sup>26</sup> Biomagnification

<sup>27</sup> Risk Assessment

۱. چنین ترکیباتی به راحتی به شکل بخار در می آیند و در نتیجه، سریع تر از سایر آلاینده ها در محیط پخش می شوند.
۲. حضور بعضی از ترکیبات در اتمسفر خطر جدی برای سلامتی انسان تلقی می شود.
۳. این ترکیبات باعث افزایش هیدروکربن های فعال در اتمسفر می شوند که می تواند منجر به تشکیل اکسیدانت های فتوشیمیایی شود. از مهم ترین این ترکیبات می توان به تری کلرو اتیلن، تتراکلرواتیلن، ۱ و ۲-دی کلرواتان، تتراکلرومتان و ۱ و ۱-دی کلرواتیلن اشاره کرد.

طبق گزارش آژانس ثبت مواد سمی و بیماری ها، تری کلرواتیلن (TCE) بزرگ ترین آلاینده ی آلی گزارش شده در آب های زیرزمینی است. این ماده به طور عمده، به صورت بخار، برای زدودن چربی، گریس و فسفر از قسمت های فلزی خودرو و به عنوان حلال استفاده می شود. همچنین در ترکیب چسب ها وجود دارد. منابع آب آشامیدنی که از آب های زیرزمینی آلوده تامین می شوند، ممکن است حاوی تری کلرواتیلن باشند. مطالعات اپیدمیولوژیک اخیر نشان می دهد که قرار گرفتن در معرض تری کلرواتیلن باعث بروز چندین نوع سرطان در انسان به خصوص در کلیه، کبد و سیستم لنفاوی و نخاع می شود. تری کلرواتیلن به سرعت از طریق خون به تمام بافت های بدن منتشر می شود و محصولات حاصل از متابولیسم آن را می توان در بزاق دهان و عرق یافت. از تری کلرواتیلن به عنوان ماده ی بیهوشی نیز استفاده می شود. مطالعات نشان می دهد که تری کلرواتیلن به سرعت می تواند از جفت عبور کرده و در خون بدن نوزاد پس از تولد نیز مشاهده شود.

تری کلرو اتیلن در خشک شویی ها کاربرد فراوانی دارد. برخی مطالعات اپیدمیولوژیک ارتباط بین قرار گرفتن در معرض تری کلرو اتیلن و افزایش ریسک سقط جنین، وجود اسپرم های غیرطبیعی و بالا رفتن میزان مرگ و میر، به علت انواع گوناگون سرطان نظیر سرطان کبد را در میان کارگران خشک شویی ها نشان می دهد. افزایش ابتلا به تومور کبد در انسان به علت استنشاق یا بلعیدن تری کلرواتیلن، در نتایج به دست آمده از آزمایش های بیولوژیکی سرطان شناسی که از بررسی تومورهای بافت سلولی کبد موش به دست آمده، تایید می شود.

یکی دیگر از ترکیبات آلی فرار خطرناک تترا کلرید کربن است. انسان از طریق بلعیدن، استنشاق و پوست تحت تاثیر این ماده قرار می گیرد. قرار گرفتن در معرض این ماده از طریق بلع یا بوییدن در غلظت های بالا، دستگاه اعصاب مرکزی را تحت تاثیر قرار داده و علائمی نظیر سرگیجه، سردرد، بی قراری و پریشانی و در بعضی موارد ناتوانی در تنفس، کما و مرگ را ایجاد می نماید. تبخیر، اصلی ترین مکانیسم ورود تترا کلرید کربن از خاک و آب به اتمسفر است. قرار گرفتن در محیط آلوده به تترا کلرید کربن به طور مکرر یا به مدت طولانی ممکن است منجر به سیروز کبدی یا آسیب های کلیوی شود.

دی کلرو اتان در کارخانه های تولید وینیل کلرید و در سنجش آزمایشگاهی، تترا کلرو اتیلن، تری کلرو اتیلن، ۱ و ۱-دی کلرو اتان و وینیل کلراید و هم چنین به عنوان حلال و در ساختار رنگ ها و چسب ها استفاده می شود. شواهدی وجود دارد که ۱ و ۲-دی کلرو اتان از سطح آب و خاک تبخیر می شود. البته در خاک ها، به غیر از تبخیر، ممکن است نفوذ به آب های زیرزمینی نیز رخ دهد.

مطالعات ایزاکسن و همکاران در سال ۱۹۸۵ نشان می‌دهد که بین ترکیبات آلی فرار در آب آشامیدنی و سرطان، بر اساس سن و جنس انسان رابطه وجود دارد. این تحقیقات نشان داد که وابستگی وثیقی بین قرار گرفتن در معرض ۱ و ۲-دی کلرواتان و سرطان راست روده و روده‌ی بزرگ در مردان وجود دارد.

## کلرzeni آب و فاضلاب

گندزدایی و کلرzeni آب آشامیدنی با هدف‌های گوناگونی هم چون کنترل طعم و بو، ممانعت از رشد جلبک‌ها در تاسیسات، بهبود عملکرد صافی‌ها، زدایش آهن و منگنز، حذف سولفید هیدروژن و رنگ حاصل از مواد آلی، بازگرداندن و حفظ ظرفیت خطوط انتقال و چاه‌ها و از همه مهم‌تر، کنترل و حفاظت از کیفیت میکروبی آب در شبکه‌های توزیع از طریق انهدام عامل‌های میکروبی بیماری‌زا، کنترل میکروارگانیسم‌های مزاحم و ممانعت از رشد مجدد میکروبی در شبکه‌های آب‌رسانی به انجام می‌رسد. نیل به موفقیت در این امر، تمهیدهای ویژه‌ای از حوضه‌ی آبریز تا مصرف‌کننده را طلب می‌کند و نخستین شرط تحقق آن، پیش‌بینی تمهیدهای مدیریتی و فنی برای ممانعت و یا تقلیل ورود آلاینده‌ها به آب، از طریق حفاظت و تحدید حریم منابع آب است.

در رویکردهای نوین مدیریت کیفیت آب نیز، حفاظت منابع آب، به کارگیری فرآیندهای مناسب تصفیه و حفاظت از آب تولید شده در مراحل ذخیره‌سازی و توزیع و سرانجام گندزدایی آب، به عنوان راهبردهای نیل به سلامت آب آشامیدنی اعلام و برای کنترل کیفیت آب در منابع تأمین، شاخص‌های کدورت، میزان جذب اشعه‌ی فرابنفش، رشد جلبک‌ها، رنگ، هدایت الکتریکی، میزان جریان و زمان ماند آب، رخدادهای هواشناسی و اقدام‌های حفاظتی نظیر فنس‌کشی و یا جداره‌سازی دیواره‌ی چاه، در تصفیه‌خانه‌ها، شاخص‌های غلظت و زمان تماس عامل گندزدا، pH، کدورت، رنگ و در شبکه‌های توزیع، شاخص‌های کلر باقی‌مانده، پتاسیل اکسیداسیون-احیا، کدورت، میزان جذب نور و گرفتگی غشایی، اشريشیاکلی گرم‌پای، شمارش جمعیت میکروبی (HPC) و فشار آب توصیه شده است.

به دلیل مزایای متعدد کلرzeni در تحقق سلامت میکروبی آب، سازمان جهانی بهداشت تزریق گاز کلر و مشتقات آن به آب را در مقادیری که باقی‌مانده‌ای در محدوده‌ی ۰/۲ تا ۰/۸ میلی گرم بر لیتر در شرایط عادی و در حالت‌های اضطراری و بحران‌ها تا حد یک میلی گرم بر لیتر ایجاد کند، توصیه و به صراحت اعلام کرده است که: "پیامدهای بهداشتی ناشی از فرآورده‌های جانبی کلرzeni، در مقایسه با عدم کفایت انجام آن، بسیار جزیی است و کلرzeni آب بدون توجه به کنترل فرآورده‌های جانبی حاصل از آن باید انجام شود". این سازمان با لحاظ داشتن جوانب بهداشتی و اثرگذاری کلر بر سلامت انسان و با فرض آن که تمامی کلر ورودی به بدن از طریق آب آشامیدنی باشد، مقدار ۵ میلی گرم بر لیتر کلر در آب آشامیدنی را فاقد اثرات زیان‌آور برای انسان اعلام کرده است. مطالعه‌های اپیدمیولوژی محققان نیز نشان می‌دهد که احتمال ابتلا به سرطان ناشی از فرآورده‌های جانبی کلرzeni، بسیار اندک و هر چند از طریق محاسبات ارزیابی ریسک<sup>۲۸</sup> قابل محاسبه است، اما به عنوان یک رهنمود کلی در استخرهای شنا ۲۵ و در آب آشامیدنی، ۶ در میلیون است.

سازمان جهانی بهداشت بر این باور است در صورتی که آب از منابع حفاظت شده برداشت شود و معیار میانه‌ی کدورت آب آن، از یک واحد در مقیاس NTU و در یک نمونه‌ی منفرد از ۵ واحد فراتر نرود، در صورتی که محتوی باکتری شاخص کلیفرم در مقادیر کمتر از ۲۰ عدد در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه باشد، کلرزنی صحیح، تنها فرآیند تصفیه‌ی لازم، برای تولید آب آشامیدنی خواهد بود. در هر صورت، توجه به کیفیت آب، پیش از کلرزنی آن، شرط لازم برای موفقیت در کلرزنی آب است. به عنوان یک رهنمود کلی و برای آگاهی بیش‌تر مدیران، مقایسه‌ی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در جدول شماره‌ی ۱ ارائه شده است.

کلرزنی فاضلاب نیز همانند آب، با هدف‌های گوناگونی هم چون جلوگیری از ایجاد تعفن و تازه نگه داشتن فاضلاب، پیشگیری از بالا آمدن<sup>۲۹</sup> لجن، کنترل پدیده‌ی بالکینگ لجن، حذف سیانور و سرانجام گندزدایی پساب انجام می‌شود. در مورد اخیر، سازمان جهانی بهداشت بر این عقیده است که کلرزنی پساب فاضلاب‌ها به دلایل متعددی هم چون وجود مواد آلی و در نتیجه اضمحلال کلر، حضور آمونیاک و سایر ترکیبات نیتروژن‌دار در پساب که نیاز به کلر را افزایش می‌دهد، حضور ذرات معلق که مانع از دسترسی کلر به میکروارگانیسم‌ها می‌شود و سرانجام لزوم تنظیم کلرویناتور، متعاقب نوسانات کمی و کیفی پساب، دشوار است و به صراحت اظهار می‌دارد که: "دستیابی به کیفیتی از پساب کلرینه شده که همواره شاخص‌های بهداشتی را تأمین کند، به تقریب ناممکن و غیراقتصادی است؛" اما با این حال، در شرایط خاص، موفقیت در کلرزنی پساب را منوط به نیل به شاخص‌های BOD کمتر از ۲۰ و به ترجیح کمتر از ۱۰، COD کمتر از ۴۰ و TSS کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر دانسته و آن را موکول به انتهای زنجیره‌ی تصفیه‌ی پیشرفته‌ی فاضلاب کرده است.

محققان برای محاسبه‌ی میزان تزریق کلر به پساب، تزریق ارقام ۲۵-۶ میلی‌گرم بر لیتر را برای فاضلاب خام، ۲۰-۵ میلی‌گرم بر لیتر را برای پساب ته‌نشین شده و خروجی سپتیک تانک و ۸-۲ میلی‌گرم بر لیتر را برای پساب فرآیند لجن فعال توصیه و مقدار دقیق آن را مشروط به آگاهی از کیفیت میکروبی پساب و نیازمندی‌های تصفیه که در رابطه‌ی اصلاح شده‌ی چیک-واتسون<sup>۳</sup>  $(N/N_0 = (1 + 0.23Ct)^{-3})$  منعکس است، دانسته‌اند.

جدول شماره ۱: مقایسه‌ی متغیرهای کیفیت در آب‌های سطحی و زیرزمینی

| مشخصات                        | آب‌های سطحی                                                                | آب‌های زیرزمینی                                               |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| دما                           | بر حسب فصل متغیر است                                                       | به نسبت ثابت                                                  |
| کدورت                         | متغیر                                                                      | جزیی                                                          |
| مواد معلق                     | در غلظت‌های متفاوت                                                         | کم                                                            |
| رنگ                           | به جز آب‌های سبک و اسیدی، از مواد معلق به خصوص رس و جلبک ناشی می‌شود       | از مقادیر زیاد جامدات محلول، ناشی می‌شود                      |
| املاح معدنی                   | بر حسب نوع خاک، میزان بارش و ورود پساب‌ها متفاوت است                       | به تقریب ثابت و از آب‌های سطحی در همان ناحیه بیش‌تر است       |
| آهن و منگنز محلول (دو ظرفیتی) | معمولا صفر، به جز کف دریاچه‌ها و برکه‌ها در حالت اوتریفیکاسیون             | اغلب وجود دارد                                                |
| خورنده                        | معمولا صفر                                                                 | در غلظت‌های متنوعی یافت می‌شود                                |
| اکسیژن محلول                  | اغلب در حدود غلظت اشباع وجود دارد. در آب‌های بسیار آلوده، غلظت آن صفر است. | معمولا وجود ندارد                                             |
| سولفید هیدروژن                | اغلب وجود ندارد                                                            | اغلب وجود دارد                                                |
| آمونیاک                       | فقط در آب‌های آلوده یافت می‌شود                                            | اغلب وجود داشته بدون آن که نشانه‌ای از آلودگی میکروبی آب باشد |
| نیتрат                        | عموما در غلظت‌های کم                                                       | غلظت آن گاهی زیاد است                                         |
| سیلیکات                       | معمولا در غلظت‌های متوسط                                                   | غلظت آن اغلب زیاد است                                         |
| آلاینده‌های ریز معدنی و آلی   | بسته به نوع آلودگی در غلظت‌های متغیر یافت می‌شوند                          | معمولا صفر، آلودگی اتفاقی می‌تواند سبب حضور آن‌ها شود         |
| موجودات زنده                  | باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزئرها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و سایر موجودات عالی      | اغلب باکتری‌های آهن                                           |
| اوتروفیکاسیون                 | اغلب وجود داشته و با افزایش دما، سرعت آن افزایش می‌یابد                    | وجود ندارد                                                    |

## تصفیه و بهبود کیفیت آب

تغییر ویژگی‌های کیفیت آب، از حالتی که در بسترهای آبی یافت می‌شود، به همخوانی با معیارها و شاخص‌های مندرج در استاندارد ملی، اغلب نیازمند اعمال فرآیندهای تصفیه است. در حقیقت تصفیه‌ی آب، پلی بین کیفیت موجود و کیفیت مطلوب آب است که در سازه‌هایی ویژه و به کمک فرآیندهایی خاص به انجام می‌رسد. معیارهای انتخاب و یا تغییر و به روز آوری واحدها و فرآیندهای تصفیه‌ی آب، افزون بر جنبه‌های اقتصادی و راهبری، متأثر از عامل‌های زیر است:

- نوع و غلظت آلاینده‌ها در آب خام
- توانایی و دقت لوازم و تجهیزات شناسایی و تعیین مقدار عامل‌های کیفیت آب
- نوع منبع آب (سطحی و یا زیرزمینی) و حضور مواد آلی با منشأ طبیعی و اولیه در آن
- فرآیندها و تأسیسات تصفیه‌ای که در گذشتهٔ احداث و بهره‌برداری شده است

بسیاری از آلاینده‌ها، در واحدها و فرآیندهای گوناگون تصفیه، با کارآمدی مناسب از آب جدا می‌شوند. در این حالت، انتخاب فرآیند مناسب، با رویکرد به جوانب اقتصادی و راهبری تأسیسات باید انجام شود. به عنوان نمونه، فرآیندهای غشایی قادر به زدایش گسترده‌ی وسیعی از آلاینده‌های آب، با کارآمدی مناسب هستند و حال آن که ممکن است فرآیندهای ساده‌تر و ارزان‌تر نیز در زدایش همان آلاینده‌ها، از کارآمدی مشابه برخوردار باشند. در شرایط متعارف تصفیه‌خانه‌ی آب، واحدها و فرآیندهای گوناگونی هم چون انعقاد و لخته‌سازی، ته‌نشینی، صاف‌سازی، صافی کرانولی کربنی<sup>۳۰</sup> (GAC) و کلرزنی به کار گرفته می‌شود. هر یک از این واحدها، در تقلیل و یا زدایش بخشی از آلاینده‌ها از آب سهمیم هستند. از این رو به دلایل فنی و اقتصادی، ترکیب دو یا چند فرآیند در زدایش آلاینده‌ها مؤثرتر خواهد بود. در هر صورت، ارزیابی اثرگذاری هر فرآیند بر هر آلاینده، بر پایه‌ی نتایج آزمایشگاهی و یا پایلوت‌های مرتبط که در هر دوی آن‌ها، آب خام تصفیه‌خانه جریان دارد، باید انجام شود. در آزمون‌های یاد شده، زمان کافی برای تأثیر عامل‌های جوی و تغییرات موقت بار آلاینده و سایر عامل‌های اثرگذار بر عملکرد فرآیند باید لحاظ شود.

برای آشنایی بیش‌تر و بهتر و به عنوان یک دیدگاه کلی، رهنمود انجمن مهندسان ساختمان ایالات متحده برای انتخاب فرآیندهای تصفیه‌ی آب در جدول شماره‌ی ۲ به همراه مشخصات عمومی مواد شیمیایی مورد استفاده در صنعت آب و فاضلاب در جدول شماره‌ی ۳ ارائه شده است.

<sup>30</sup> Granular activated carbon (GAC)

جدول شماره ی ۲: رهنمود انجمن مهندسان ساختمان ایالات متحده برای انتخاب فرآیندهای تصفیه ی آب

| عامل            | آشغالگیر درشت | آشغالگیر ریز | میکرو استینر | کلرزی مقدماتی | ذخیره سازی آب خام | ته نشینی اولیه | هوادهی | لخته سازی | انعقاد و ته نشینی | صافی ماسه ای تند | صاف سازی با بستر | صافی ماسه ای کند | کلرزی نهایی | سوپر کلرزی و کلرزدایی | سبک سازی با آهک- | صافی جذب کربنی | توزیع مواد شیمیایی | نمک زدایی |
|-----------------|---------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|----------------|--------|-----------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-----------------------|------------------|----------------|--------------------|-----------|
| آشغال های شناور | E             | E            | O            | -             | -                 | -              | -      | -         | -                 | -                | -                | -                | -           | -                     | -                | -              | -                  | -         |
| جلبک            | -             | -            | O            | O             | -                 | -              | -      | -         | E                 | E                | O                | -                | -           | -                     | -                | -              | -                  | -         |
| کدورت           | -             | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | -         | O                 | O                | -                | -                | -           | -                     | E                | -              | -                  | -         |
|                 | O             | O            | -            | -             | -                 | -              | -      | O         | E                 | E                | O                | O                | E           | -                     | -                | -              | -                  | -         |
|                 | O             | O            | -            | -             | -                 | -              | -      | O         | E                 | E                | -                | -                | E           | -                     | -                | -              | O                  | -         |
|                 | O             | O            | -            | -             | -                 | -              | -      | O         | E                 | E                | -                | -                | E           | -                     | -                | -              | O                  | -         |
|                 | O             | O            | -            | -             | -                 | -              | -      | O         | E                 | E                | -                | -                | E           | -                     | -                | -              | O                  | -         |
|                 | O             | O            | -            | -             | -                 | -              | -      | O         | E                 | E                | -                | -                | E           | -                     | -                | -              | O                  | -         |
| رنگ             | -             | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | O         | O                 | O                | -                | -                | E           | -                     | -                | -              | -                  | -         |
|                 | -             | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | E         | E                 | E                | -                | -                | -           | -                     | -                | -              | -                  | -         |
| طعم و بو        | -             | -            | O            | -             | -                 | O              | -      | -         | -                 | -                | -                | -                | -           | -                     | E                | -              | -                  | -         |

جدول شماره ی ۲ : (ادامه)

| عامل                       | آشغالگیر درشت | آشغالگیر ریز | میکرو استینر | کلرزی مقدماتی | ذخیره سازی آب خام | ته نشینی اولیه | هوادهی | لخته سازی | انعقاد و ته نشینی | صافی ماسهیی تند | صافسازی با بستر | صافی ماسهیی کند | کلرزی نهایی | سوپر کلرزی و | سبک سازی با آهک- | صافی جذب کربنی | توزیع مواد شیمیایی | نمک زدایی |
|----------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|----------------|--------|-----------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|----------------|--------------------|-----------|
| کربنات کلیسم               | > ۲۰۰ mg/L    | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | -         | E                 | E               | -               | -               | -           | -            | E                | -              | -                  | -         |
|                            | < ۰/۳ mg/L    | -            | -            | O             | -                 | -              | O      | -         | -                 | O               | -               | -               | -           | -            | -                | -              | -                  | -         |
| آهن و منگنز                | ۰/۳-۱ mg/L    | -            | -            | -             | -                 | -              | O      | -         | E                 | E               | -               | -               | -           | -            | -                | -              | -                  | -         |
|                            | > ۱ mg/L      | -            | -            | E             | -                 | -              | E      | -         | E                 | E               | -               | -               | -           | -            | -                | O              | -                  | -         |
| کلراید                     | ۰-۲۵۰ mg/L    | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | -         | -                 | -               | -               | -               | -           | -            | -                | -              | -                  | -         |
|                            | ۲۵۰-۶۰۰ mg/L  | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | -         | -                 | -               | -               | -               | -           | -            | -                | -              | -                  | O         |
|                            | >۶۰۰ mg/L     | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | -         | -                 | -               | -               | -               | -           | -            | -                | -              | -                  | E         |
| باکتری کلیفرم<br>MPN/100mL | ۰-۲۰          | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | -         | -                 | -               | -               | -               | E           | -            | -                | -              | -                  | -         |
|                            | ۲۰-۱۰۰        | -            | -            | -             | -                 | -              | -      | -         | E                 | E               | -               | -               | E           | -            | -                | -              | -                  | -         |
|                            | ۱۰۰-۵۰۰       | -            | -            | -             | O                 | -              | -      | -         | E                 | E               | -               | -               | E           | -            | -                | -              | -                  | -         |
|                            | >۵۰۰          | -            | -            | -             | E                 | O              | O      | -         | E                 | E               | -               | -               | E           | -            | -                | -              | -                  | -         |
| اختیاری: O                 | ضروری: E      |              |              |               |                   |                |        |           |                   |                 |                 |                 |             |              |                  |                |                    |           |

جدول شماره ی ۳ : مشخصات عمومی مواد شیمیایی مورد استفاده در صنعت آب و فاضلاب

| ردیف | نام شیمیایی        | فرمول                                                                                                                               | نام تجارتي                  | مورد استفاده               |
|------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| ۱    | کربن فعال          | C                                                                                                                                   | کربن فعال                   | کنترل طعم و بو             |
| ۲    | سولفات آلومینیوم   | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$                                                                             | آلوم - فیلتر آلوم           | انعقاد                     |
| ۳    | ایندروس آمونیاک    | $\text{NH}_3$                                                                                                                       | آمونیاک                     | کنترل بو و خوردگی          |
| ۴    | بتونیت             | $\text{H}_2\text{O} (\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{MgO}) + \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ | رس                          | کمک منعقد کننده            |
| ۵    | هیدروکسید کلسیم    | $\text{Ca}(\text{OH})_2$                                                                                                            | آهک هیدراته                 | نرم کننده، کمک منعقد کننده |
| ۶    | اکسید کلسیم        | CaO                                                                                                                                 | Quick lime ,<br>Burped lime | نرم کننده، کنترل خوردگی    |
| ۷    | هیپوکلریت کلسیم    | $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$                                                                                | پرکلرین ، H.T.H.            | گندزدایی                   |
| ۸    | کلر                | $\text{Cl}_2$                                                                                                                       | کلرگازی - کلرمایع           | کنترل بو، گندزدایی         |
| ۹    | دی اکسید کلر       | $\text{ClO}_2$                                                                                                                      | دی اکسید کلر                | کنترل طعم و بو، گندزدایی   |
| ۱۰   | سولفات مس          | $\text{CuSO}_4$                                                                                                                     | بلو ویتریول                 | کنترل جلبک ها              |
| ۱۱   | دی کلرو نفتو کیتون |                                                                                                                                     |                             | کنترل جلبک ها              |

جدول شماره ی ۳: (ادامه)

| ردیف | نام شیمیایی             | فرمول                                                 | نام تجارتي                | مورد استفاده             |
|------|-------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| ۱۲   | کلرور فریک              | $\text{FeCl}_3$                                       | اینروس کلرورفریک          | انعقاد                   |
| ۱۳   | سولفات فریک             | $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | فریک فلوک                 | انعقاد                   |
| ۱۴   | سولفات فروس             | $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$             | Green Vitriol<br>Copperas | انعقاد همراه با آهک      |
| ۱۵   | کربنات کلسیم            | $\text{CaCO}_3$                                       | لایم استون                |                          |
| ۱۶   | سولفات کلسیم            | $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$             | ژیس                       |                          |
| ۱۷   | هیدرواکسید کلسیم-منیزیم | $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgO}$             | آهک دولومیت               |                          |
| ۱۸   | اسید کلریدریک           | $\text{HCl}$                                          | اسید موراتیک              |                          |
| ۱۹   | هگزا دکانول             | $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | ستیل الکل                 | کنترل تبخیر آب مخازن     |
| ۲۰   | هیدروژن فلوراید         | $\text{HF}$                                           | اسید فلوریدریک            | فلوراسیون                |
| ۲۱   | اوزن                    | $\text{O}_3$                                          | -                         | گندزدایی، کنترل طعم و بو |

جدول شماره ی ۳ : (ادامه)

| ردیف | نام شیمیایی         | فرمول                                           | نام تجار تی            | مورد استفاده         |
|------|---------------------|-------------------------------------------------|------------------------|----------------------|
| ۲۲   | آلومینات سدیم       | $\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ | سودا آلوم              | انعقاد               |
| ۲۳   | کلرید سدیم          | $\text{NaCl}$                                   | سنگ نمک                | احیای رزین های یونی  |
| ۲۴   | سدیم هگزا متافسفات  | $(\text{NaH}_2\text{PO}_3)$                     | کالگون                 | کنترل خوردگی         |
| ۲۵   | هیدروکسید سدیم      | $\text{NaOH}$                                   | کاستیک سودا            | نرم کننده و تعدیل pH |
| ۲۶   | هیپوکلریت سدیم      | $\text{NaClO}$                                  | آب ژاول - کلر مایع     | گندزدایی             |
| ۲۷   | سدیم پنتا کلرو فئات | $\text{NaC}_6\text{Cl}_5\text{O}$               | ناتوبرت                | کنترل علف های هرز    |
| ۲۸   | سدیم سیلیکو فلوراید | $\text{Na}_2\text{SiF}_6$                       | فلوئور سدیم            | فلوراسیون            |
| ۲۹   | سولفیت سدیم         | $\text{Na}_2\text{SO}_3$                        | سولفات، هیدرازین       | حذف اکسیژن           |
| ۳۰   | کربنات سدیم         | $\text{Na}_2\text{CO}_3$                        | سودا اش                | نرم کننده و تعدیل pH |
| ۳۱   | اسید سولفوریک       | $\text{H}_2\text{SO}_4$                         | ویتریول ، روغن ویتریون | خنثی سازی و تعدیل pH |
| ۳۲   | هیپوکلریت سدیم      | $\text{NaClO}$                                  | آب ژاول                | گندزدایی             |
| ۳۳   | هیپوکلریت پتاسیم    | $\text{KClO}$                                   | آب لابرک               | گندزدایی             |

