

اندازه‌گیری تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شبکه توزیع شهر اصفهان طی سال‌های ۹۵-۱۳۹۴

علی دهنوی^۱، غلامحسین عظیمی^۲، محمد سراجی^۳، محمد حسن ربیعی راد^۴

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: پژوهش حاضر با هدف تعیین غلظت برخی از تری‌هالومتان‌ها (THMs یا Trihalomethanes) در آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر اصفهان و مقایسه زمانی و مکانی داده‌ها و همچنین، مقایسه با تحقیقات گذشته انجام گرفت.

روش‌ها: این مطالعه از نوع توصیفی-مقطعی بود و در سال‌های ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. نمونه‌برداری طی ۱۲ مرحله زمانی از ۱۸ نقطه در شبکه توزیع آب شرب صورت گرفت. مقدار THMs مبتنی بر استانداردهای ISO ۱۰۳۰۱ و ISRI-۱۶۴۶۹ و با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی- آشکارساز طیف‌سنجی جرمی (GC-MS یا Gas chromatography-mass spectrometry) تعیین شد. سایر شاخص‌ها از جمله دما، pH و کلر باقی‌مانده نیز در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: از گونه‌های مختلف THMs، فقط کلروفرم در تمام موارد اندازه‌دهنده بود. میانگین غلظت کلروفرم آب شبکه توزیع اصفهان در بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۱۹/۸، ۱۶/۲، ۱۹/۷ و ۱۲/۹ میکروگرم بر لیتر به دست آمد. میانگین غلظت کلر آزاد باقی‌مانده نیز به همان ترتیب ۰/۶، ۰/۶، ۰/۵ و ۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: میانگین غلظت کلروفرم در تابستان در مقایسه با گزارش‌های قبلی، حدود ۲۰ درصد افزایش را نشان می‌دهد که این افزایش، اهمیت پایش مداوم این ترکیبات و اجرایی نمودن راهکارهای کاهش آن برای سال‌های آتی را متذکر می‌شود. در حال حاضر، آب شرب اصفهان کیفیت مناسبی از لحاظ وجود کلر باقی‌مانده و THMs دارد؛ به طوری که استانداردهای معتبر از جمله سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (United States Environmental Protection Agency یا USEPA) و استاندارد محیط زیست ایران را برآورده می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب، تری‌هالومتان‌ها، گندزدایی، کیفیت آب، ایران

ارجاع: دهنوی علی، عظیمی غلامحسین، سراجی محمد، ربیعی راد محمد حسن. اندازه‌گیری تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شبکه توزیع شهر اصفهان طی سال‌های ۹۵-۱۳۹۴. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۷؛ ۱۴ (۳): ۳۲۰-۳۱۴

تاریخ چاپ: ۱۳۹۷/۷/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۶/۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱

یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین گزینه‌های گندزدایی در مقیاس جهانی محسوب می‌شود که از علل اصلی آن می‌توان به اثرگذاری، راندمان بالا، داشتن باقی‌مانده در آب و هزینه‌های کمتر آن در مقایسه با سایر گندزداها اشاره نمود (۵). با این حال، کلر و باقی‌مانده آن با ترکیبات آلی طبیعی موجود در آب در جریان و یا چسبیده به جدار لوله‌ها، واکنش نشان می‌دهد و ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی را تولید می‌کند (۶). THMs به عنوان اصلی‌ترین فرآورده‌های جانبی کلرزنی در آب به طور عمده شامل مونوکلرومتان (CH_2Cl)، دی‌کلرومتان (CHCl_2)، کلروفرم (CHCl_3)، بروموفرم (CHBr_3) و بروموفرم (CHBr_2Cl) است (۸-۶). کلروفرم یکی از مهم‌ترین ترکیبات THM، به سرعت به وسیله شش‌ها و سیستم گوارشی و همچنین، از طریق پوست جذب می‌شود. این ماده به شدت در بدن مورد متابولیسم قرار می‌گیرد و باعث تولید دی‌اکسید کربن می‌شود. محل اصلی متابولیسم این ماده در کبد و کلیه است (۹).

مقدمه

واکنش برخی از گندزداها با مواد آلی طبیعی موجود در آب، باعث تولید صدها ترکیب می‌شود که در اصطلاح به آن‌ها محصولات جانبی گندزدایی (Disinfection by-products یا DBPs) می‌گویند. هالوآستیک اسیدها، تری‌هالومتان‌ها (THMs یا Trihalomethanes)، هالوالدئیدها و... از جمله اصلی‌ترین این ترکیبات به شمار می‌روند (۳-۱). در این بین، THMs یکی از محصولات اصلی فرایند گندزدایی با کلر می‌باشد که به همراه هالوآستیک اسیدها، ۷۰ تا ۸۰ درصد محصولات ثانویه گندزدایی را تشکیل می‌دهد (۳). هدف از گندزدایی آب، علاوه بر ضد عفونی کردن آن، جلوگیری و کنترل رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در شبکه توزیع آب و حفاظت میکروبی از آب در سیستم‌های توزیع است که اغلب با تولید فرآورده‌های جانبی گندزدایی همراه می‌باشد و خاصیت سرطان‌زایی آن‌ها تأیید شده است (۵، ۴). در حال حاضر و با وجود تکنولوژی‌های متنوع گندزدایی، کلرزنی به آب

- ۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
- ۲- دانشیار، گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
- ۳- استاد، گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- ۴- کارشناس ارشد، آزمایشگاه کنترل کیفی مرکزی، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، اصفهان، ایران

Email: a.dehnavi@eng.ui.ac.ir

نویسنده مسؤول: علی دهنوی

پژوهش آن‌ها، بالغ بر ۱۳/۸ میکروگرم بر لیتر و غلظت میانگین کلر باقی‌مانده در این نقاط نیز ۱/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر گزارش گردید (۳).
با توجه به لزوم پایش مداوم کیفیت آب به خصوص از نظر ترکیبات جانی حاصل از گندزدایی با هدف اطمینان از کیفیت آب تولید شده، بررسی THMs به عنوان یکی از ترکیبات جانی حاصل از گندزدایی، در دستور کار تحقیق حاضر قرار گرفت. این موضوع با توجه به عدم بررسی چند ساله از یک طرف و وجود داده‌های قبلی برای مقایسه و بررسی تغییرات زمانی از طرف دیگر، از اهمیت زیادی برای دست‌اندرکاران تولید آب اصفهان بزرگ برخوردار است و به همین دلیل، بررسی کیفی آب شرب اصفهان از نظر THMs در شبکه توزیع شهر اصفهان مد نظر قرار گرفت. علاوه بر این، تعدد نمونه‌برداری و بازه زمانی به نسبت طولانی در نظر گرفته شده برای بررسی THMs، از جمله برتری‌های مطالعه حاضر نسبت به پژوهش‌های گذشته بود.

روش‌ها

تصفیه‌خانه اصفهان با دبی بین ۱۰ تا ۱۲ مترمکعب در ثانیه، آب جمعیتی بیش از ۴ میلیون نفر را در قالب طرح آبرسانی اصفهان بزرگ تأمین می‌نماید. این تصفیه‌خانه که آب آن از رودخانه زاینده‌رود در سد چم آسمان تأمین می‌شود، دارای دو فاز می‌باشد که سیستم گندزدایی یکی از فازها، کلر و فاز دیگر تلیفیک کلر و ازن است. در طرح حاضر، شبکه توزیع آب کلان‌شهر اصفهان با ۱۸ ایستگاه نمونه‌برداری مورد بررسی قرار گرفت که آب آن از تصفیه‌خانه آب اصفهان تأمین می‌گردد. در شکل ۱، پراکنندگی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شبکه توزیع شهر اصفهان در تحقیق حاضر ارائه شده است. نمونه‌برداری از ایستگاه‌های مورد نظر، ۱۲ بار در طی دو سال (۹۵-۱۳۹۴) صورت گرفت؛ به نحوی که فصول مختلف سال تحت پوشش قرار داده شد. بنابراین، در هر سال دو بار نمونه‌برداری در هر فصل انجام شد. تغییرات فصلی برای پوشش دادن تغییرات دمایی، به عنوان یکی از شاخص‌های مهم تأثیرگذار بر تولید THMs مد نظر قرار گرفت. علاوه بر این، الگوی مصرف آب و کیفیت آن نیز تحت تأثیر فصول مختلف می‌باشد. بنابراین در مطالعه حاضر، بررسی تولید و تغییرات THMs نسبت به زمان (فصول) و مکان (شکل ۱) مد نظر بود.

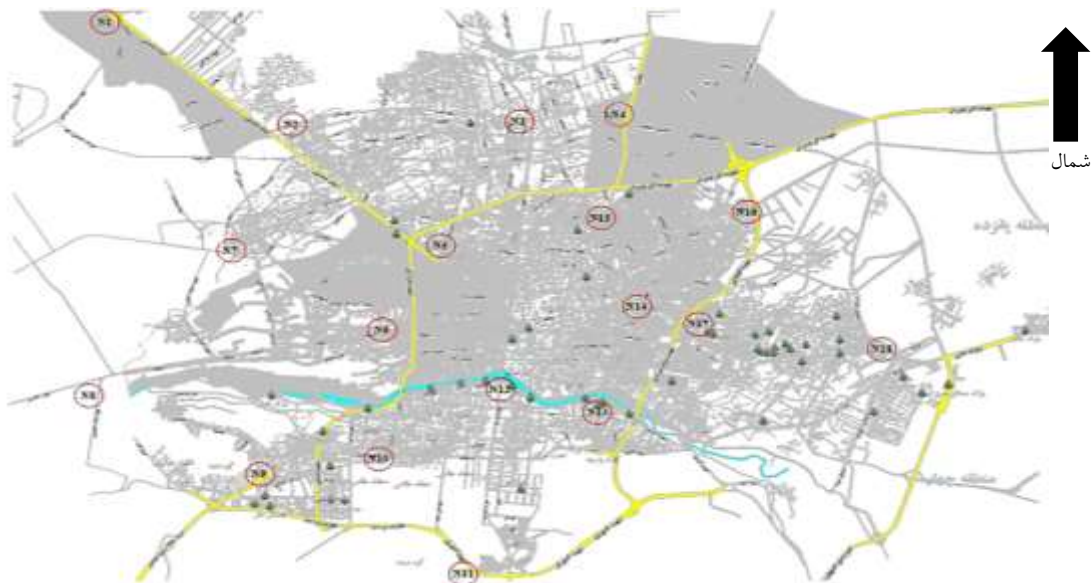
تمام نمونه‌برداری‌ها در ظروف شیشه‌ای قهوه‌ای (تیره) که برای مصارف دارویی استفاده می‌شد، نگهداری گردید. این ظروف کاملاً استریل بود و هیچ ناخالصی آلی نداشت و بنابراین، نیازی به شستشو با درجنت و آب مقطر نداشت. در موقع نمونه‌برداری در هر ایستگاه، شیر آب تا زمانی باز گذاشته می‌شد که دمای آب خروجی آن تثبیت شود. سپس ظروف مورد نظر کامل پر می‌گردید؛ به نحوی که هیچ‌گونه حبابی موقع پر کردن در ظرف تشکیل نمی‌شد. نمونه‌ها تا قبل از رسیدن به آزمایشگاه در کول باکس با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری می‌شد (۱۹، ۱۸، ۳). تمام نمونه‌برداری‌های هر مرحله در یک روز انجام می‌شد و نمونه‌ها در پایان همان روز به آزمایشگاه منتقل می‌گردید و بلافاصله در روزهای بعد، مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار می‌گرفت.

اندازه‌گیری غلظت THMs برای تعیین غلظت THMs، از دستگاه کروماتوگرافی گازی (Gas chromatography یا GC) (مدل ۷۸۹۰، شرکت Agilent، آمریکا) و ستون موبینه DB5-MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر با آشکارساز طیف‌سنجی جرمی

با توجه به مخاطرات بهداشتی THMs، سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (United States Environmental Protection Agency) در سال ۱۹۷۹ قوانینی را برای کنترل آن‌ها در آب آشامیدنی منتشر کرد که طبق این قانون، حداکثر مقدار مجاز برای کل THMs در آب آشامیدنی، ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر تعیین شد که از سال ۱۹۹۸ تاکنون این مقدار به ۸۰ میکروگرم بر لیتر تقلیل یافته است و البته حداکثر مقدار مجاز هدف نیز ۷۰ میکروگرم بر لیتر تعیین نمود (۱۰). سازمان بهداشت جهانی نیز طبق رهنمودی، حداکثر مقدار قابل قبول کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی‌برموکلرومتان و برموفرم در آب آشامیدنی را به ترتیب ۳۰۰، ۶۰ و ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر در نظر گرفته است. همچنین، طبق این رهنمود، باید مجموع نسبت غلظت هر THM به مقدار رهنمود، کوچک‌تر یا مساوی ۱ باشد (۱۱). در آخرین مجموعه استانداردهای کیفی آب ایران (ویرایش پنجم استاندارد ۱۰۵۳) که در سال ۱۳۸۸ منتشر گردید نیز از رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی استفاده شده است (۱۲). نتایج تحقیقات قبلی انجام شده نشان می‌دهد که غلظت THMs در آب آشامیدنی تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون دما، pH، غلظت و ماهیت مواد آلی طبیعی، غلظت کلر مصرفی، غلظت یون برم و زمان تماس کلر با آب می‌باشد (۸، ۱). به عنوان مثال، Powell و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی رابطه مهم بین دما، کل کربن آلی و غلظت اولیه کلر پرداختند که نشان دهنده همبستگی بالای این عوامل در تولید ترکیبات جانی می‌باشد (۱۳). در پژوهش Al Heboob و Istvin و همکاران، با توجه به اثرات دوز بالای کلر بر تشکیل THMs، تشکیل این فرآورده‌های جانی گندزدایی با تغییر کلر تزریقی، دما و مقدار کربن آلی محلول (Dissolved organic carbon یا DOC) مورد بررسی قرار گرفت (۶). نتایج تحقیق Williams و همکاران نشان داد که تشکیل THMs در شبکه توزیع آب دارای کلر، تابعی از فصول سال و نیز موقعیت محل بررسی می‌باشد (۱۴).

در ایران برای اولین بار در تهران، اندازه‌گیری THMs سال ۱۳۷۳ در دستور کار قرار گرفت. نتایج بررسی مذکور نشان داد که در بین حدود ۲۵ درصد از نمونه‌ها، غلظت THMs بیش از حداکثر مقدار مجاز بوده است (۹). همچنین، مطالعه دیگری بر روی آب‌های آشامیدنی تعدادی از شهرهای بزرگ انجام شد که حاکی از بالاتر بودن غلظت این ترکیبات در آب برخی از شهرها از جمله اهواز، اصفهان و بندرعباس در برخی از ماه‌های سال می‌باشد (۱۵). پژوهش‌هایی نیز توسط علیان با همکاری دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان در خصوص بررسی وجود یا عدم وجود THMs در آب شرب اصفهان صورت گرفت. در تحقیق وی، ۹ ایستگاه مد نظر قرار گرفت که بر اساس نتایج به دست آمده، حداکثر غلظت کلروفرم در فلاورجان، میدان جمهوری (دروازه تهران) و خوراسگان به ترتیب معادل ۴/۸۹، ۴/۷۶ و ۴/۲۰ میکروگرم بر لیتر گزارش گردید که اختلاف قابل توجهی با یکدیگر نداشتند (۱۷، ۱۶).

در مطالعه بینا و همکاران که با هدف بررسی غلظت کلروفرم به عنوان محصول اصلی و سمی ناشی از فرایند کلرزنی و همچنین، تعیین غلظت کلر باقی‌مانده کل در شبکه توزیع آب شهر اصفهان و پهنه‌بندی آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic information system یا GIS) انجام گرفت، داده‌های مورد نظر همراه با اطلاعات مکانی تحلیل و نقاط بحرانی مشخص گردید. بدین ترتیب، میانگین کلروفرم در ۳۰ نقطه مورد بررسی



شکل ۱. پراکندگی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شبکه توزیع در شهر اصفهان (N۱ تا N۱۸)

حداکثر ۳۱ میکروگرم در لیتر را نشان داد و سایر THMs مورد بررسی با توجه به روش استاندارد اندازه‌گیری، به طور عمده مقدار اندازه‌دهنده نداشتند (به جز دی‌کلرومومتان).

جدول ۱. نتایج اندازه‌گیری کلروفورم در شبکه توزیع در مرحله ششم نمونه‌برداری

شماره ایستگاه	کلروفورم (میکروگرم بر لیتر)	شماره ایستگاه	کلروفورم (میکروگرم بر لیتر)
N۱	۱۷	N۱۰	۱۷
N۲	۱۹	N۱۱	۱۵
N۳	۱۸	N۱۲	۱۹
N۴	۱۹	N۱۳	۲۳
N۵	۲۳	N۱۴	۱۸
N۶	۲۶	N۱۵	۱۵
N۷	۲۶	N۱۶	۱۶
N۸	۳۱	N۱۷	۲۰
N۹	۱۵	N۱۸	۲۳

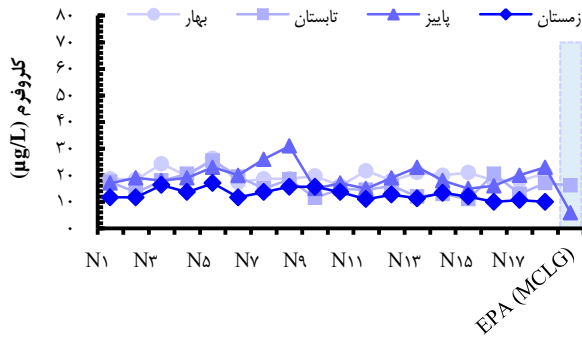
میانگین کلروفورم به تفکیک فصول مختلف برای نقاط مورد نظر در شبکه توزیع و همچنین، MCLG برای کلروفورم بر اساس استاندارد EPA در شکل ۲ (قسمت الف) نشان داده شده است. بر اساس نتایج صحت‌سنجی بر روی نمونه‌های استاندارد و اسپایک شده، بازیابی‌های به دست آمده بالاتر از ۸۰ درصد تعیین گردید.

(MS یا Mass spectrometry) (مدل ۵۹۷۵C، شرکت Agilent، آمریکا) و سیستم اتوماتیک نمونه‌برداری فضای فوقانی (Head-space) مبتنی بر استانداردهای ISO ۱۰۳۰۱-۱۶۴۶۹ و ISIRI-۱۶۴۶۹ استفاده شد. بر اساس این استاندارد، ۱۰ سی‌سی از نمونه آبی با استفاده از یک دیسپنسر یا پیپت، داخل ویال‌های مخصوص ریخته و درب آن بسته شد و آزمایش و سنجش صورت گرفت (ویال‌هایی با درب آلومینیومی و سیتم تفلونی مناسب جهت سیستم اتوماتیک نمونه‌برداری فضای فوقانی). در این روش، نمونه‌ها تا ۲ روز بعد از نمونه‌برداری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گرفت. در تمام مراحل، از نمونه‌های مجهول و استاندارد برای صحت‌سنجی و دقت نتایج استفاده گردید. حد تشخیص و حد کمی اندازه‌گیری برای گونه‌های مختلف THM به ترتیب ۵ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. جهت بررسی صحت داده‌ها و اعتبارسنجی آن‌ها، از نمونه‌های استاندارد در آب مقطر و استاندارد اضافه شده به نمونه‌های واقعی (اسپایک شده) استفاده شد. علاوه بر این، برای بررسی دقت داده‌ها، در هر مرحله حداقل یک نمونه تکراری به کار رفت. در هر مرحله از نمونه‌برداری، برای سه ایستگاه به صورت تصادفی صحت‌سنجی و ارزیابی دقت انجام گرفت.

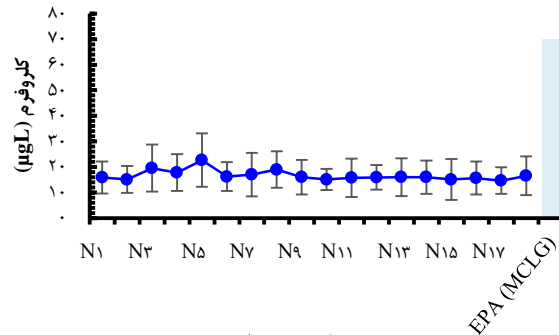
دما در محل و توسط دستگاه پرتابل HQ40D (شرکت HACH، آمریکا) و کلر آزاد باقی‌مانده در هر ایستگاه با استفاده از دستگاه پرتابل Pocket Colorimeter II (شرکت HACH، آمریکا) اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها

در جدول ۱، نتایج خام اندازه‌گیری شده ترکیبات چهارگانه THMs در آب شبکه توزیع در مرحله ششم پایش به عنوان نمونه آورده شده است. از میان ترکیبات چهارگانه THMs اندازه‌گیری شده، کلروفورم تغییرات غلظت از حداقل ۱۵ تا



محل نمونه برداری



محل نمونه برداری

شکل ۲. تغییرات کلروفرم به تفکیک ایستگاه در شبکه توزیع؛ میانگین در فصول مختلف (قسمت الف) و میانگین و انحراف معیار در کل دوره پایش (قسمت ب)

EPA-MCLG: Environmental Protection Agency-Maximum Contaminant Level Goal

و تنها گونه اندازه‌دهنده، کلروفرم بود. به همین دلیل، بررسی‌های آماری در تحقیق حاضر بر روی کلروفرم انجام گرفت. از آنجایی که استاندارد EPA برای کلروفرم، استاندارد سخت‌گیرانه‌تری محسوب می‌شود، مقادیر اندازه‌گیری شده با استاندارد EPA مقایسه گردید. لازم به ذکر است که MCLG استاندارد EPA برای کلروفرم ۷۰ میکروگرم بر لیتر و حداکثر مجاز آن در استاندارد آب ایران، ۳۰۰ میکروگرم بر لیتر عنوان شده است (۱۲، ۱۰).

بر اساس داده‌های شکل ۲ (قسمت الف) که تغییرات غلظت کلروفرم در فصول مختلف را نشان می‌دهد، اول این که نتایج فصول مختلف به هم نزدیک است و دوم این که غلظت کلروفرم در تمام موارد از مقدار حداکثر مجاز هدف (۷۰ میکروگرم بر لیتر بر طبق استاندارد EPA) به مراتب کمتر می‌باشد. علاوه بر این، شکل ۲ (قسمت ب) که میانگین تغییرات غلظت کلروفرم در کل دوره اندازه‌گیری را نشان می‌دهد، به خوبی حدود بالای این ترکیب را که بسیار کمتر از حداکثر مجاز هدف EPA قرار دارد، به تصویر کشید و حاکی از آن است که در آب اصفهان و در دوره پایش، مقادیر کلروفرم بسیار کمتر از حداکثر مجاز هدف معرفی شده EPA می‌باشد. سایر ترکیبات THM مقدار اندازه‌دهنده نداشتند (در تمام موارد به صورت کمتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر گزارش شد) و در تمام موارد نیز کمتر از مقادیر مشابه به عنوان حداکثر مقدار مجاز بود.

مقادیر انحراف استاندارد نسبی حداکثر نیز حدود ۱۵ درصد محاسبه شد که نشان دهنده تکثیرپذیری مناسب در نمونه‌برداری و آنالیز می‌باشد. برای مقایسه بیشتر، میانگین کلروفرم در طول مدت پایش (بدون در نظر گرفتن فصول) به همراه انحراف معیار در شکل ۲ (قسمت ب) برای نقاط مورد نظر ارائه شده است. همچنین، نتایج آزمون Two-way ANOVA برای تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین نتایج فصول (تغییرات زمانی) و نتایج ایستگاه‌های مختلف (تغییرات مکانی)، در جدول ۲ آمده است که نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار برای هر دو آزمون می‌باشد ($P > 0.050$).

بحث

اندازه‌گیری ترکیبات مختلف THM در محدوده طرح که نتایج مرحله ششم آن برای کلروفرم به صورت نمونه در جدول ۱ ارائه شده است، نشان داد که در تمام موارد برای سه ترکیب دی‌کلرومومتان، دی‌بروموکلرومومتان و بروموفرم مقادیر اندازه‌دهنده وجود نداشت (کمتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر) که البته در تمام موارد نیز کمتر از حداکثر مجاز استاندارد آب ایران می‌باشد. مقادیر حداکثر مجاز استاندارد آب ایران برای دی‌بروموکلرومومتان و بروموفرم به ترتیب ۱۰۰ و ۳۰۰ میکروگرم بر لیتر گزارش شده است (۱۲). این موضوع در تمام نمونه‌برداری‌ها تکرار گردید

جدول ۲. نتایج آزمون Two-way ANOVA در چهار فصل و کل ایستگاه‌ها برای کلروفرم در شبکه توزیع

عامل	نوع	سطح	مقادیر
فصل	ثابت شده	۴	بهار، تابستان، پاییز و زمستان
ایستگاه نمونه‌برداری	ثابت شده	۱۸	N۱ تا N۱۸
شاخص‌های آماری			
منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات متوالی	مشارکت (درصد)
فصل	۳	۵۸۴/۴	۴۴/۳۵
ایستگاه نمونه‌برداری	۱۷	۳۱۳/۴	۲۳/۷۸
خطا	۵۱	۴۲۰/۰	۳۱/۸۷
مجموع	۷۱	۱۳۱۷/۷	۱۰۰
مقدار P	آماره F	مجموع میانگین تعدیل شده	مجموع مربعات تعدیل شده
> ۰/۰۰۱	۲۳/۶۵	۱۹۴/۷۹۱	۵۸۴/۴
۰/۰۱۴	۲/۲۴	۱۸/۴۳۳	۳۱۳/۴
-	-	۸/۲۳۵	۴۲۰/۰
-	-	-	-

حدود ۳ واحدی (افزایش ۲۰ درصدی) دارد (۳). تفاوت نتایج میانگین بین داده‌های بررسی حاضر و تحقیق بینا و همکاران (۳) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۰ درصد وجود دارد ($P = ۰/۰۵۶$). این در حالی است که حداکثر و حداقل غلظت کلروفورم در پژوهش حاضر در تابستان به ترتیب ۱۰ و ۳۳ میکروگرم بر لیتر و در تحقیق بینا و همکاران به ترتیب ۱۰ و ۲۸ میکروگرم بر لیتر (۳) عنوان شد. این مقایسه بیان می‌کند که حداکثر مقدار کلروفورم در طی حدود ۵ سال فاصله زمانی بین دو مطالعه، بیش از ۱۴ درصد افزایش داشته است و البته همچنان کمتر از حداکثر مقادیر مجاز استاندارد ایران (۳۰۰ میکروگرم بر لیتر) و EPA (۷۰ میکروگرم بر لیتر) می‌باشد. این افزایش در میانگین و همچنین، غلظت حداکثر کلروفورم، پایش مداوم این ترکیبات و اجرایی نمودن راهکارهای کاهش آن برای سال‌های آینده را گوشزد می‌کند.

یکی از راهکارهای اجرایی کاهش THMs، کاهش پیش‌سازها در آب تصفیه شده است. ابراهیمی و همکاران (۲) و بینا و همکاران (۲۳) ضمن تعیین شرایط بهینه حذف اسیدهیومیک به عنوان عامل اصلی تولید محصولات ثانویه کلرینه توسط نانوکربن فعال و نانوزولیت کلینوپتیلولایت اصلاح شده با سورفاکتانت کاتیونی، به این نتیجه رسیدند که در شرایط بهینه، تا ۹۹ درصد از پیش‌سازها قابل حذف از آب هستند. اگرچه اندازه‌گیری ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی و به ویژه THMs و کنترل غلظت آن‌ها با استفاده از روش‌های حذف و یا کاهش پیش‌سازهای تولیدکننده آن‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است، اما به‌نازگی شاخص‌های وزنی سمیت این گونه ترکیبات نیز مورد توجه قرار گرفته است. Li و Mitch با انجام تحقیقی دریافتند که اگرچه در برخی از موارد ممکن است غلظت ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی در آب کمتر از میزان مجاز تعریف شده بر اساس استانداردها باشد، اما به علت خصوصیات شیمیایی و تنوع این ترکیبات، ممکن است اثرات سمیت بیشتری از خود در آب نشان دهند (۲۴). بنابراین، علاوه بر بررسی غلظت ترکیبات جانبی تولید شده، تعیین اثرات درازمدت آن‌ها از جمله سمیت نیز از اهمیت زیادی برخوردار است که باید مورد توجه دست‌اندرکاران تأمین آب شرب قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری THMs به عنوان محصولات جانبی حاصل از گندزدایی با کلر در شبکه آب آشامیدنی شهر اصفهان نشان داد که کلروفورم تغییرات غلظتی از حداقل ۱۵ میکروگرم در لیتر تا حداکثر ۳۱ میکروگرم در لیتر را در فصول مختلف و ایستگاه‌های نمونه‌برداری مختلف دارد. سایر THMs مورد مطالعه با توجه به روش استاندارد اندازه‌گیری، به طور عمده مقدار اندازه‌دهه نداشتند (به جزء دی‌کلروبرومومتان). علاوه بر این، مقایسه میانگین غلظت کلروفورم تولید شده در شبکه توزیع اصفهان در فصل تابستان ($۱۶/۵ \pm ۲/۸$ میکروگرم بر لیتر) با میانگین ارایه شده در مطالعه بینا و همکاران در همان فصل ($۱۳/۴ \pm ۸/۵$ میکروگرم بر لیتر) (۳)، حکایت از رشد حدود ۳ واحدی (افزایش ۲۰ درصدی) داشت. بررسی آماری بین میانگین داده‌های تحقیق حاضر و تحقیق بینا و همکاران نشان داد که در سطح اطمینان ۹۰ درصد، اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌ها وجود دارد ($P\text{-Value} = ۰.۰۵۶$). این مقایسه نشان می‌دهد که حداکثر مقدار کلروفورم در طی حدود ۵ سال فاصله زمانی بین دو تحقیق، بیش از

نتایج کلروفورم در شبکه توزیع در سطح اطمینان ۹۵ درصد (جدول ۲) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین نتایج فصول مختلف ($P > ۰/۰۱۰$) و ایستگاه‌های پایش شده ($P = ۰/۰۱۴$) وجود دارد. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون Tukey برای ایستگاه‌های شبکه توزیع، میانگین نتایج در هر ایستگاه در کل دوره پایش فقط در دو گروه مجزا جای می‌گیرند و در بسیاری از موارد، هر یک از ایستگاه‌ها به صورت مشترک در هر دو گروه جای گرفتند که بیانگر عدم اختلاف قابل توجه می‌باشد. بررسی‌های بیشتر نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین نتایج ایستگاه N۵ (چهارراه جهاد) با مقدار ۲۳ میکروگرم بر لیتر با میانگین نتایج ایستگاه‌های N۹ (میدان قائمیه)، N۱۰ (فلکه ارتش)، N۱۵ (خیابان لاله) و N۱۷ (خیابان جی) به ترتیب با مقادیر ۱۵/۵، ۱۵/۴، ۱۴/۸ و ۱۵/۴ میکروگرم بر لیتر وجود داشت. نتایج آزمون Tukey در سطح اطمینان ۹۵ درصد حاکی از آن بود که در هر حال، میانگین نتایج ایستگاه N۵ بیشتر از میانگین نتایج ایستگاه‌های مورد بررسی بود و البته از حداکثر مجاز هدف ارایه شده در استاندارد EPA نیز به مقدار قابل توجهی کمتر بود. علت زیاد بودن مقدار در ایستگاه مورد نظر می‌تواند ورود آب به شبکه توسط چاه‌ها در فصول پرمصرف، واقع شدن در انتهای شبکه، ماند بیش از حد آب و... باشد که به بررسی‌های بیشتر با دامنه تحقیقات گسترده‌تر نیاز دارد.

تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون Tukey جهت بررسی اختلاف معنی‌دار در فصول مختلف نشان داد که فصول بهار و پاییز در یک گروه و فصول زمستان و تابستان در گروه‌های متفاوتی قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که تفاوت معنی‌داری بین نتایج فصل‌های تابستان و زمستان شبکه توزیع با نتایج دو فصل دیگر و نیز با یکدیگر مشاهده شد. میانگین غلظت کلروفورم در بهار، تابستان، پاییز و زمستان در شبکه توزیع به ترتیب ۱۹/۸، ۱۶/۲، ۱۹/۷ و ۱۲/۹ میکروگرم بر لیتر به دست آمد؛ در حالی که میانگین دمای آب به همان ترتیب $۳/۶ \pm ۲/۰$ ، $۲/۹ \pm ۲/۳$ ، $۴/۳ \pm ۱/۸$ و $۱۱/۴ \pm ۱/۸$ درجه سلسیوس و میانگین غلظت کلر آزاد نیز $۰/۱۷ \pm ۰/۰۶۶$ ، $۰/۲۳ \pm ۰/۰۵۰$ ، $۰/۲۴ \pm ۰/۱۵$ و $۰/۱۵ \pm ۰/۰۵۶$ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد. نتایج مطالعه Baytak و همکاران در سه منطقه از میر ترکیه نشان داد که غلظت THMs از فصل تابستان به سمت فصل بهار افزایش می‌یابد؛ به طوری که بیشترین مقدار در فصل بهار اندازه‌گیری گردید (۲۰) که با یافته‌های تحقیق حاضر همخوانی داشت. نتایج پژوهش کیانی و همکاران که با هدف اندازه‌گیری کلروفورم در تصفیه‌خانه آب عباس‌آباد شهر همدان بر روی ۸۱ نمونه انجام شد، نشان داد که حداقل و حداکثر غلظت این ترکیب به ترتیب ۳/۴ و ۷/۵۳ میکروگرم بر لیتر می‌باشد (۲۱). از علل بسیار محتمل کم بودن غلظت این ترکیب در مطالعه آن‌ها نسبت به غلظت‌های اندازه‌گیری شده در بررسی حاضر، می‌توان به اندازه‌گیری این ترکیب در محل خروجی تصفیه‌خانه عباس‌آباد (با زمان تماس بسیار کم کلر و پیش‌سازها) به جای اندازه‌گیری در شبکه توزیع شهر و همچنین، کیفیت بهتر آب رودخانه مورد نظر اشاره نمود. فخری و همکاران در تحقیق خود، غلظت کلروفورم در آب شرب مشهد و مازندران را به ترتیب ۳/۵ و ۵۷/۳ میکروگرم بر لیتر گزارش کردند که حاکی از تفاوت شدید این ترکیبات در نقاط مختلف کشور می‌باشد (۲۲).

مقایسه میانگین غلظت کلروفورم تولید شده در شبکه توزیع اصفهان در فصل تابستان ($۱۶/۵ \pm ۲/۸$ میکروگرم بر لیتر) با میانگین ارایه شده در پژوهش بینا و همکاران در همان فصل ($۱۳/۴ \pm ۸/۵$ میکروگرم بر لیتر)، حکایت از رشد

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از طرح تحقیقاتی با شماره ۳۵۵۴، مصوب دانشگاه اصفهان می‌باشد. بدین وسیله از مدیران محترم شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به ویژه همکاران بخش تحقیقات، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید. همچنین، نویسندگان از همه افرادی که در انجام این مطالعه همکاری نمودند، سپاسگزاری می‌نمایند.

۱۴ درصد افزایش داشته و البته همچنان کمتر از حداکثر مقادیر مجاز استاندارد ایران (۳۰۰ میکروگرم بر لیتر) و نیز EPA (۷۰ میکروگرم بر لیتر) است. این افزایش در میانگین و نیز غلظت حداکثر کلروفورم، پایش مداوم این ترکیبات را از یک طرف و اجرایی نمودن راهکارهای کاهش آن‌ها را برای سال‌های آتی از طرف دیگر، گوشزد می‌کند. در حال حاضر، آب شرب اصفهان کیفیت مناسبی از لحاظ وجود کلر باقی‌مانده و THMs دارد؛ به طوری که استانداردهای معتبر از جمله USEPA و استاندارد محیط زیست ایران را برآورده می‌کند.

References

- Mohammadi A, Miri M, Ebrahimi A, Khorsandi H, Nemati S. Monitoring of THMs concentration in Isfahan water distribution system and zoning by GIS, a case study in the center of Iran. Iranian Journal of Health, Safety & Environment 2016; 3(1): 421-7. [In Persian].
- Ebrahimi A, Nemati S, Abdollahnejad A, Faraji M, Mohammadi A. Optimizing removal condition of CBP precursors in water resources by activated Nano-carbon and Nano zeolite using taguchi method. J Health 2018; 8(5): 539-51. [In Persian].
- Bina B, Mohammadi A, Ebrahimi A, Amin MM, Pourzamani H, Nemati Mansor S. Survey of chloroform concentration in the water distribution system of Isfahan, Iran, and zoning by GIS. J Health Syst Res 2012; 8(2): 204-13. [In Persian].
- Uyak V, Toroz I, Meriç S. Monitoring and modeling of trihalomethanes (THMs) for a water treatment plant in Istanbul. Desalination 2005; 176(1): 91-101.
- Di Cristo C, Leopardi A, Quintiliani C, de Marinis G. Drinking water vulnerability assessment after disinfection through chlorine. Procedia Eng 2015; 119: 389-97.
- Al Heboos S, Istvın L. Influence of water quality characters on kinetics of chlorine bulk decay in water distribution systems. Int J Appl Sci Technol 2015; 5(4).
- Sun YX, Wu QY, Hu HY, Tian J. Effects of operating conditions on THMs and HAAs formation during wastewater chlorination. J Hazard Mater 2009; 168(2-3): 1290-5.
- Babaei AA, Atari L, Ahmadi M, Alavi N, Ahmadi Angali K. Determination of trihalomethanes concentration in Ahvaz water distribution network in 2011. Jentashapir 2013; 3(4): 469-78.
- Pardakhti AR, Torabian A. Evaluation of THMs in Tehran's drinking water and comparison with drinking water outside the city water district. J Environ Stud 2010; 36(53): 39-44. [In Persian].
- United States Environmental Protection Agency (EPA). Stage 2 disinfectants and disinfection byproducts rule initial distribution system evaluation. Collingdale, PA, DIANE Publishing; 2006
- World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Geneva, Switzerland: WHO; 2008.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Drinking water-Physical and chemical specifications, No: 1053. Tehran Iran: ISIRI; 2009. [In Persian].
- Powell JC, Hallam NB, West JR, Forster CF, Simms J. Factors which control bulk chlorine decay rates. Water Res 2000; 34(1): 117-26.
- Williams DT, LeBel GL, Benoit FM. Disinfection by-products in Canadian drinking water. Chemosphere 1997; 34(2): 299-316.
- Torabian A. An evaluation of THMS in drinking water and a method of its removal. Iran J Public Health 1998; 37(1-2): 35.
- Alian T. Isfahan drinking water quality assessment from the point of view of the presence or absence of the THMs [Report]. Isfahan, Iran: Water & Waste Water Company of Isfahan Province; 2005. [In Persian].
- Alian T. Isfahan drinking water quality study from the point of view of the presence or absence of trihalomethanes. Proceedings of the 7th National Congress on Environmental Health; 2004 Sep. 14-16; Shahrekord, Iran. [In Persian].
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Routine water sampling method, No: 2348. Tehran, Iran: ISIRI; 1982. [In Persian].
- Greenberg AE, Clesceri LS, Franson MA, Rice EW. Standard methods for the examination of water & wastewater. Washington, DC: American Public Health Association; 2005.
- Baytak D, Sofuoglu A, Inal F, Sofuoglu SC. Seasonal variation in drinking water concentrations of disinfection by-products in IZMIR and associated human health risks. Sci Total Environ 2008; 407(1): 286-96.
- Kiani R, Sobhanardakani S, Cheraghi M. Investigation of trihalomethanes in drinking water of Abbas Abad water treatment plant. Avicenna J Clin Med 2017; 24(1): 72-9. [In Persian].
- Fakhri Y, Mohseni-Bandpei A, Conti GO, Keramati H, Zandsalimi Y, Amanidaz N, et al. Health risk assessment induced by chloroform content of the drinking water in Iran: Systematic review. Toxin Rev 2017; 36(4): 342-51.
- Bina B, Ebrahimi A, Mohammadi A, Amin MM, Pourzamani HR. The Effectiveness of nano zeolite modified by cationic surfactant in the removal of disinfection byproduct precursors from potable water. J Health Syst Res 2012; 7(5): 524-33. [In Persian].
- Li XF, Mitch WA. Drinking water disinfection byproducts (DBPs) and human health effects: Multidisciplinary challenges and opportunities. Environ Sci Technol 2018; 52(4): 1681-9.

Determination of Trihalomethanes Concentrations in the Drinking Water Distribution Network of Isfahan City, Iran, during the Years 2015-2016

Ali Dehnavi¹, Gholamhassan Azimi², Mohammad Saraji³, Mohammad Hassan Rabie-Rad⁴

Original Article

Abstract

Background: The goal of this study was to determine the concentration of trihalomethanes compounds in drinking water distribution network of Isfahan City, Iran, as well as comparison of data with previously reported values.

Methods: This descriptive cross-sectional study was performed during the years 2015-2016. The samples were taken at sampling periods (totally 12 periods) from eighteen sampling points in one working day, based on standard methods. Trihalomethanes were determined based on ISO-10301:1997 and ISRI 16469 standards using gas chromatography-mass spectrometric (GC-MS) method. Other parameters including temperature, pH, and residual chlorine were measured at sampling sites.

Findings: Among the measured concentration of four trihalomethane species, only chloroform showed measurable values. The average concentration of chloroform in Isfahan water distribution network was 19.8, 16.2, 19.7, and 12.9 mg/l in spring, summer, autumn, and winter, respectively. The average concentration of residual free chlorine was 0.6, 0.6, 0.5, and 0.6 mg/l in same seasons, respectively.

Conclusion: The current study reveals that the average concentration of chloroform measured in summer is approximately 20% higher than those reported values at 2013. The appeared trend in concentration of chloroform shows the importance of continuous monitoring of these compounds, and the implementation of their reduction strategies for the coming years. By the way, the quality of Isfahan drinking water respect to the mentioned species and residual chlorine currently passes credible standards as well as the United States Environmental Protection Agency (US-EPA).

Keywords: Water pollution, Trihalomethanes, Disinfection, Water quality, Iran

Citation: Dehnavi A, Azimi G, Saraji M, Rabie-Rad MH. **Determination of Trihalomethanes Concentrations in the Drinking Water Distribution Network of Isfahan City, Iran, during the Years 2015-2016.** J Health Syst Res 2018; 14(3): 314-20.

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, School of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Department of Analytical Chemistry, School of Chemistry, University of Isfahan, Isfahan, Iran

3- Professor, Department of Analytical Chemistry, School of Chemistry, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4- Central Laboratory, Isfahan Water and Wastewater Company, Isfahan, Iran

Corresponding Author: Ali Dehnavi, Email: a.dehnavi@eng.ui.ac.ir