

بررسی غلظت کلروفرم در شبکه توزیع آب شهر اصفهان و پهنه‌بندی آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

بیژن بینا^۱، امیر محمدی^۲، افشین ابراهیمی^۳، محمدمهدی امین^۴، حمیدرضا پورزمانی^۵، سپیده نعمتی منصور^۶

چکیده

مقدمه: این مطالعه با هدف تعیین غلظت کلر باقی‌مانده کل و کلروفرم در شبکه توزیع آب شهر اصفهان و پهنه‌بندی آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic information system یا GIS) انجام گرفت.

روش‌ها: این مطالعه از نوع توصیفی-مقطعی است. کلر باقی‌مانده کل در محل نمونه‌برداری از شبکه توزیع آب اصفهان توسط دستگاه پرتابل و غلظت کلروفرم بعد از انتقال نمونه‌ها در شرایط استاندارد به آزمایشگاه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی (Gas chromatography-mass spectrometry یا GC-MS) اندازه‌گیری شد. برای انجام پهنه‌بندی نتایج به دست آمده از سنجش پارامترهای مورد آنالیز از GIS استفاده گردید.

یافته‌ها: مقادیر حداکثر و حداقل به ترتیب برای کلر باقی‌مانده کل ۳/۳ ppm و غیر قابل تشخیص و برای کلروفرم ۲۸ ppb و ۱۰ ppb است که غلظت‌های به نسبت زیاد کلروفرم بیشتر مربوط به نقاط انتهایی شبکه و حاشیه شهر است. نقاط مرکزی شهر دارای غلظت کمتری از کلروفرم نسبت به سایر نقاط است. دلیل این امر را می‌توان به مصرف بیشتر آب در نقاط مرکزی شهر و راکد ماندن آب در نقاط حاشیه‌ای شهر مربوط دانست.

نتیجه‌گیری: در حال حاضر آب خروجی از تصفیه‌خانه آب شرب اصفهان کیفیت مناسبی از لحاظ وجود کلر باقی‌مانده و محصولات ثانوی گندزدایی دارد. مقادیر آن در محدوده مجاز WHO (World Health Organization) و USEPA (United States Environmental Protection Agency) می‌باشد ولی ضرورت دارد غلظت احتمالی تری هالومتان‌های تولیدی به صورت مستمر اندازه‌گیری شود. همچنین روش‌های مناسب تلفیقی برای کاهش تشکیل این ترکیبات مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب شرب، سرطان‌زا، شهر اصفهان، گندزدایی، THMs

نوع مقاله: تحقیقی

پذیرش مقاله: ۹۰/۱۲/۲۹

دریافت مقاله: ۹۰/۹/۲۴

- ۱- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- ۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول)
Email: a_ebrahimi@hlth.mui.ac.ir
- ۴- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- ۵- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- ۶- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

مقدمه

خصوص ساختار شیمیایی اسید هیومیک و اسید فولویک که پیکره اصلی پیش‌سازهای تری هالومتان را تشکیل می‌دهند، مکانیسم‌های تولید DBPs به درستی شناخته نشده است (۱۱). Rook مطالعات گسترده‌ای در خصوص تولید این ترکیبات و واکنش‌های آن انجام داد که مورد تأیید بسیاری از محققین دیگر نیز است (۱۲). طبق مطالعات این محقق اسید هیپوکلروس (HOCl) هم نوعی منبع هالوژنه کردن گونه‌های Cl الکتروفیلیک می‌باشد. حاصل واکنش اولیه کربناسیون (یک اتم کربن با بار منفی)، یک محصول حد واسط است که سریع هالوژنه می‌شود. در مرحله بعدی ساختار آروماتیک، هالوژنه و باز می‌شود که بر اثر شکستگی، تری هالومتان تشکیل می‌شود. به دنبال این شکستگی، یک شکستگی اکسیداتیو و هیدرولیتیک رخ می‌دهد که حاصل آن HAAs یا هیدرات کلر خواهد بود. شکستگی دیگر هم باعث تولید هالوکتون می‌شود. در صورت حضور برماید، THM برمی‌نهد تولید خواهد شد؛ یعنی برم با کلر رقابت می‌کند و به علت دانسیته الکترونی بالا و باندهای کوچک قوی، به عنوان جزئی واکنش‌دهنده غالب عمل می‌کند (۱۳، ۱۴).

Ristoiu و همکاران میزان تولید THMs را در Cluj-Napoca کشور رومانی اندازه‌گیری کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت THMs در همه نمونه‌ها کمتر از $100 \mu\text{g/L}$ بود (کمتر از حداکثر مقدار استاندارد آب آشامیدنی کشور رومانی) (۱۵). در مطالعه‌ای دیگر Rodriguez و همکاران در شهر کانادا طی ۱۶ فصل، تشکیل THMs در آب شبکه توزیع منطقه Greater Quebec کانادا را بررسی کردند که در فصل تابستان بیشتر نمونه‌ها غلظت بیشتر از حد مجاز یعنی $80 \mu\text{g/L}$ نشان داد (۱۶). مطالعه‌ای سه ساله در ژاپن نشان داد که غلظت تری هالومتان‌ها در همه نمونه‌ها کمتر از $100 \mu\text{g/L}$ بود که در محدوده مجاز کشور ژاپن است (۱۷). جعفری و همکاران با انجام آزمایش‌هایی که مربوط به آب شبکه توزیع شهر لاهیجان بود، غلظت THM را بیشتر از حد استاندارد ایران یعنی بیشتر از $200 \mu\text{g/L}$ به دست آوردند (۱۸). فولادوند و همکاران پتانسیل تشکیل تری هالومتان را برای آب کارون در بدترین شرایط کمتر از 100ppb به دست آوردند (۱۹).

آب‌های سطحی و زیر زمینی که به عنوان منابع آب شرب مورد استفاده قرار می‌گیرند، حاوی مواد آلی محلول (Matter natural organic یا NOMs) هستند که در صورت ترکیب با کلر، پتانسیل تشکیل ترکیبات آلی سرطان‌زا را دارند. گندردایی آب یکی از پیشرفت‌های مهم بهداشت عمومی در قرن ۲۰ میلادی به شمار می‌رود؛ چرا که تا یک صد سال پیش بیماری‌های تیفوئید و اپیدمی‌های وبا عامل اصلی بسیاری از مرگ انسان بوده است (۱). اکسیدکننده‌های شیمیایی مانند ازن، کلر، دی اکسید کلر و مانند این‌ها به طور معمول در فرایندهای تصفیه آب برای گندزدایی، اکسیداسیون و حذف ریز آلاینده‌ها استفاده می‌شوند (۲). با این حال تحت برخی شرایط خاص، این عوامل اکسیدکننده می‌توانند ضمن واکنش با ترکیبات یا ریز آلاینده‌های موجود در آب، به طور بالقوه سبب تشکیل ترکیبات جانبی گندزدایی یا محصولات جانبی آن‌ها شوند (۳-۵). با توجه به این که منابع آب سطحی یکی از عمده‌ترین منابع آب آشامیدنی می‌باشند و کاربرد سیستم‌های کلرزی به عنوان متداول‌ترین روش گندزدایی آب آشامیدنی مطرح است، احتمال تولید محصولات جانبی فرایند گندزدایی با کلر (Disinfection by-products یا DBPs) در آب تصفیه شده افزایش می‌یابد (۶، ۷).

واکنش کلر با مواد آلی طبیعی موجود در آب، باعث تولید DBPs می‌شود. برای DBPs صدها گروه‌بندی مانند گروه‌های هالواستیک اسیدها، هالوالدئیدها، هالوکتون‌ها و نیتروزآمین‌ها، اسیدهای کربوکسیلیک، هالیدهای سیانوزن و غیره برای آن ارایه شده است. یکی از محصولات اصلی فرایند فوق تری هالومتان‌ها (Trihalomethanes) یا THMs می‌باشد که به همراه هالواستیک اسیدها ۷۰ تا ۸۰ درصد محصولات ثانویه گندزدایی را تشکیل می‌دهد (۸، ۹). تری هالومتان‌ها معمولی‌ترین محصول فرعی حاصل از کلرزی آب‌های آشامیدنی است. غلظت آن‌ها از دیگر مواد آلاینده بیشتر و معرف ترکیبات مختلفی هستند که از جایگزینی اتم‌های هالوژن به جای هیدروژن مولکول متان حاصل می‌شوند (۱۰). به علت ناکافی بودن اطلاعات در

نمونه برداری

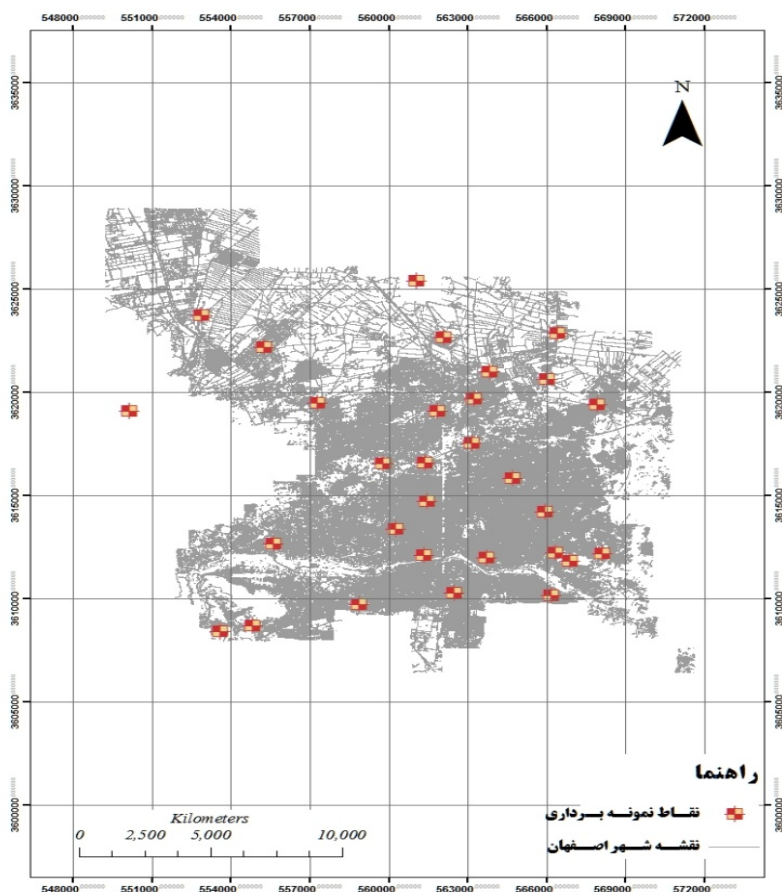
قبل از نمونه برداری، ابتدا ظروف شیشه‌ای به حجم ۲۵ تا ۴۰ میلی‌لیتر را انتخاب و با آب و دترجنت شستشو داده شد. این ظروف در پایان با آب مقطر دوبار تقطیر نیز آبکشی شدند. سپس یک ساعت در دستگاه فور در درجه حرارت 105°C قرار گرفتند تا مواد آلی فرار داخل آن‌ها تبخیر شود. برای نمونه برداری، شیر برداشت را بعد از آماده‌سازی ظروف به مدت ۱۰ دقیقه باز گذاشته تا دمای آب خروجی آن تثبیت شود. سپس ظروف مورد نظر کامل پر گردید (بایستی دقت شود که هیچ گونه حبابی موقع پر کردن در ظرف تشکیل نشود). نمونه‌ها تا قبل رسیدن به آزمایشگاه در درجه حرارت 4°C نگهداری شدند (۲۰). همچنین برای پهنه‌بندی توسط

این مطالعه با هدف تعیین غلظت کلروفرم به عنوان محصول اصلی و سمی ناشی از فرایند کلرزنی (DBPs) و کلر باقی‌مانده کل در شبکه توزیع آب شهر اصفهان و پهنه‌بندی آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام گرفت تا داده‌های مورد نظر همراه با اطلاعات مکانی تحلیل و نقاط بحرانی مشخص شود.

روش‌ها

نوع مطالعه و حجم نمونه

این مطالعه از نوع توصیفی، مقطعی است. منطقه مورد مطالعه، شبکه توزیع آب شهر اصفهان است که به تعداد ۳۰ نمونه از آن در فصل تابستان برداشت شد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده

هر یک از ترکیبات مذکور ایجاد گردید که نتایج حاصل از این عملیات در شکل‌های ۲ و ۳ ارایه شده است.

یافته‌ها

جدول ۱ مقادیر کل کلر و کلروفورم باقی‌مانده ناشی از گندزایی شبکه توزیع آب شهر اصفهان را نشان می‌دهد. میانگین، انحراف معیار به همراه مقادیر حداقل و حداکثر پارامترهای مورد سنجش نیز در جدول ۲ ارایه شده است. پهنه‌بندی غلظت کلروفورم و کلر باقی‌مانده کل نیز در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است.

بحث

بر اساس جدول ۱، غلظت کل کلر باقی‌مانده در نمونه‌های مورد مطالعه مطابق رهنمودهای توصیه شده ایران بود ولی در سه نمونه غلظت پایین‌تر از استاندارد بود. کلر باقی‌مانده کل و مواد آلی محلول، شاخص اصلی تولید محصولات ثانوی کلرینه آب محسوب می‌شوند. از این رو پایش و ارزیابی این دو پارامتر در نقاط مختلف شبکه توزیع آب اهمیت زیادی دارد. بر اساس استاندارد ۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مقادیر مجاز کلروفورم آب شرب در ایران ۳۰۰ ppb می‌باشد که مطابق رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت برای آب شرب در سال ۲۰۰۸ است. لازم به ذکر است که در استاندارد آب شرب سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا، استرالیا، کانادا و انگلیس مقدار مجازی برای کلروفورم به تنهایی ذکر نشده است و بر غلظت مجاز کل تری‌هالومتان تأکید شده است که بایستی کمتر از ۸۰ میکروگرم در لیتر باشد. بایستی توجه شود که کلروفورم محصول ثانویه اصلی کلرزنی محسوب می‌شود و بیش از ۷۰ درصد تری‌هالومتان را شامل می‌شود (۲۱). از طرفی همان گونه که در جدول ۱ دیده می‌شود، غلظت کلروفورم در کلیه نمونه‌ها کمتر از استاندارد مصوب آب شرب ایران به دست آمده است.

GIS و تطبیق غلظت کلروفورم با مناطق نمونه‌برداری، مختصات نقاط مورد نظر توسط دستگاه موقعیت یاب جهانی (Global Positioning System یا GPS) نشانه‌گذاری و بر حسب سیستم مختصات (UTM یا Universal Transverse Mercator) گزارش شد.

اندازه‌گیری کلروفورم و کل کلر

کلروفورم و کلر باقی‌مانده کل نمونه‌هایی که در شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل شدند، طبق رهنمودهای کتاب استاندارد متد (۲۰) و دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا [USEPA (۱۹۹۵) Method ۵۲۴/۲] اندازه‌گیری شد. برای آنالیز کلروفورم از دستگاه طیف‌سنج جرمی (Gas chromatography-mass spectrometry یا GC-MS) مدل N ۶۸۹۰ ساخت شرکت Technology Agilent استفاده شد. آشکارساز مورد استفاده از نوع طیف‌سنج جرمی (MS) با مشخصات تزریق به صورت تکنیک Split با نسبت تزریق ۲ به ۱ و درجه حرارت تزریق 160°C ، حجم تزریق $1500\ \mu\text{L}$ ، گاز حامل هلیوم و نرخ جریان $1\ \text{mL}/\text{min}$ بود. همچنین ستون مورد استفاده از نوع کاپیلاری DB-5-MS، طول ۳۰ متر و قطر 0.25 میلی‌متر بود. در این آنالیز ابتدا با تزریق محلول‌هایی با غلظت مشخص و اخذ کروماتوگرام این ترکیب، منحنی کالیبراسیون دستگاه جهت تعیین غلظت کلروفورم تهیه شد. سپس نمونه‌های مورد نظر به دستگاه تزریق گردید. غلظت کلر باقی‌مانده هم توسط دستگاه پرتابل مدل ۱۲-۵۸۷۰۰ ساخت شرکت HACH در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد.

پهنه‌بندی نتایج با GIS

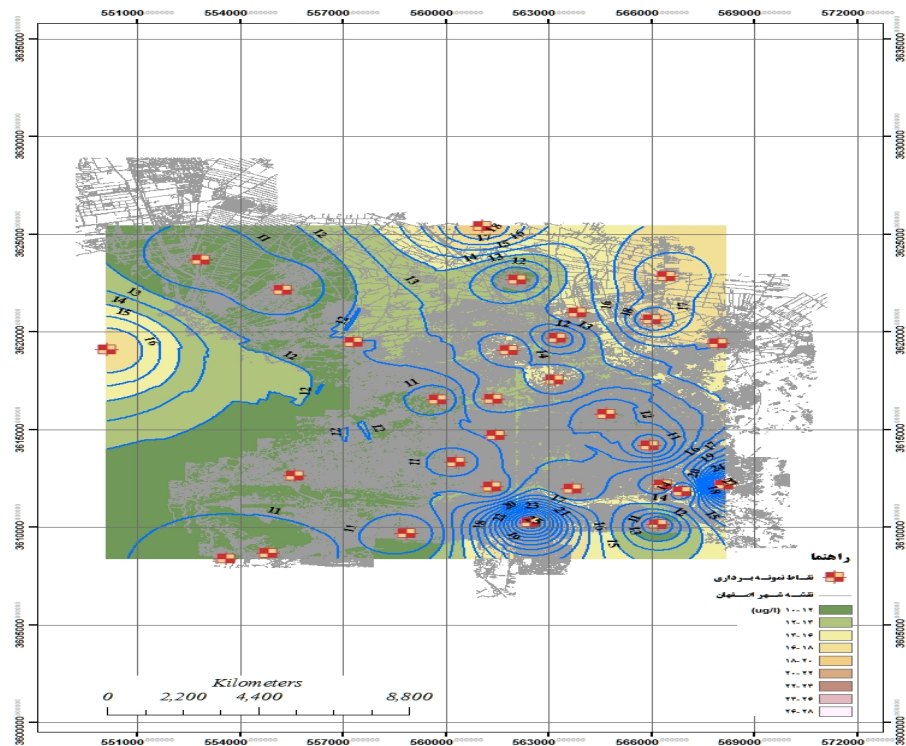
برای انجام عملیات پهنه‌بندی با کمک GIS، نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌های آب از نظر کل کلر باقی‌مانده و غلظت کلروفورم و همچنین طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری، در نرم‌افزار ArcGIS/ArcInfo نسخه ۹/۳ وارد شد. در ادامه با استفاده از تحلیل‌گر فضایی (Spatial analyst) و مدل درونیایی کریجینگ، لایه‌های اطلاعاتی (Raster) برای

جدول ۱: مقادیر کلر باقی مانده و کلروفرم ناشی از گندزدایی شبکه توزیع آب شهر اصفهان

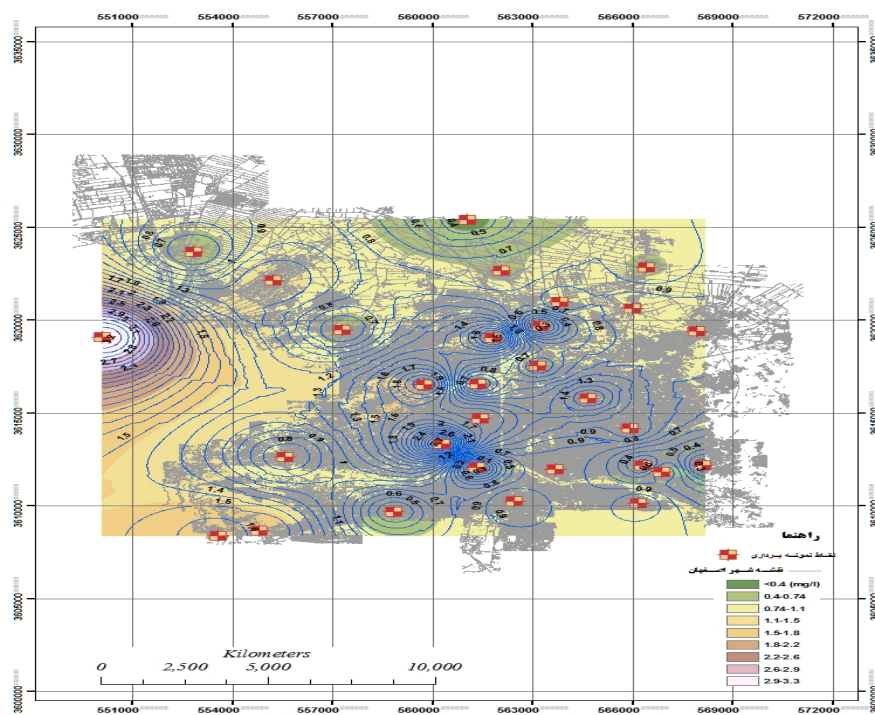
غلظت کلروفرم (ppb)	کلر باقی مانده (ppm)	UTM		آدرس (خیابان)
		X	Y	
۲۶	۱	۳۶۱۰۲۷۶	۵۶۲۴۵۷	چهارباغ بالا
۱۰	۱	۳۶۱۰۱۴۴	۵۶۶۱۵۳	قائم مقام
۱۱	۱/۵	۳۶۱۵۸۰۹	۵۶۴۶۷۴	قدس
۱۶	۱	۳۶۱۹۴۰۵	۵۶۷۹۱۹	شهرداری منطقه ۱۴
۱۹	۱	۳۶۲۰۶۳۲	۵۶۶۰۰۸	برازنده
۱۳	۰/۸	۳۶۱۱۸۳۱	۵۶۶۸۵۹	جاده دولت آباد
۱۵	۱	۳۶۲۰۹۸۱	۵۶۳۸۱۱	بیمارستان غرضی
۱۸	۰/۷	۳۶۲۲۸۴۳	۵۶۶۴۰۰	شهرک صنعتی (ایران خودرو)
۱۱	۰/۷	۳۶۲۲۶۷۰	۵۶۲۰۵۲	شهرک ولی عصر
۱۹	۰/۳	۳۶۲۵۴۰۰	۵۶۱۰۵۰	بزرگراه شاهین شهر
۱۰	۱/۲	۳۶۲۲۱۵۹	۵۵۵۲۳۳	شاپور جدید
۱۰	۰/۶	۳۶۲۳۷۰۹	۵۵۲۸۴۵	آسایشگاه سالمندان
۱۷	۳/۳	۳۶۲۳۷۰۹	۵۵۰۱۰۸	دانشگاه صنعتی
۱۰	۱/۷	۳۶۱۹۰۸۹	۵۵۳۵۹۰	اسلام آباد
۱۰	۱/۶	۳۶۰۸۹	۵۵۴۸۲۴	محدوده نیروگاه
۱۰	۰/۴	۳۶۰۸۴۰۲	۵۵۸۸۵۲	سه راه سیمین
۱۱	غیر قابل تشخیص	۳۶۰۸۶۸۳	۵۶۱۳۱۵	پل فلزی
۱۳	۰/۸	۳۶۰۹۷۱۸	۵۶۳۶۹۰	منوچهری
۱۶	۰/۳	۳۶۱۲۰۷۸	۵۶۶۳۲۶	علامه امینی (مجمع ۲۲ بهمن)
۲۸	۰/۱	۳۶۱۱۹۸۳	۵۶۸۱۱۳	نیرو (مسجد کلمان جی)
۱۰	۱/۱	۳۶۱۲۲۰۲	۵۶۵۹۳۶	فلکه احمدآباد
۱۵	۰/۶	۳۶۱۲۱۸۷	۵۶۳۱۳۸	پل چمران
۱۴	۰/۶	۳۶۱۴۱۸۷	۵۶۱۳۷۵	رباط اول (تعمیرگاه ایران بنز)
۱۵	۱/۹	۳۶۱۷۵۵۰	۵۶۱۸۳۸	رباط دوم (پارک گل محمدی)
۱۱	۰/۱	۳۶۱۶۵۸۷	۵۶۳۲۳۳	انتهای ملک شهر
۱۲	۰/۶	۳۶۱۹۰۸۱	۵۵۷۲۸۳	شهرک قدس
۱۰	۲	۳۶۱۹۶۸۷	۵۵۹۷۵۶	امام خ ساحل
۱۲	۱/۵	۳۶۱۹۴۹۰	۵۶۱۴۳۵	پنج رمضان
۱۰	۲/۸	۳۶۱۶۵۵۲	۵۶۰۲۶۳	سارمیه
۱۲	۰/۷	۳۶۱۲۶۶۵۵۶۲	۵۵۵۵۹۶	آتشگاه

جدول ۲: میانگین، انحراف معیار به همراه مقادیر حداقل و حداکثر کلر باقی مانده و کلروفرم

پارامتر	غلظت کلروفرم (ppb)	کلر باقی مانده (ppm)
میانگین	۱۳/۸	۱/۰۳
انحراف معیار	۴/۵	۰/۷
حداکثر	۲۸	۳/۳
حداقل	۱۰	غیر قابل تشخیص



شکل ۲: پهنه‌بندی غلظت کلر فرم در شبکه توزیع آب شهر اصفهان



شکل ۳: پهنه‌بندی غلظت کلر باقی‌مانده کل در شبکه توزیع آب شهر اصفهان

یکی از کشورهای توسعه یافته محسوب می‌شود و دارای تأسیسات مدرن مجهز به تکنولوژی‌های نوین در زمینه تصفیه، انتقال- توزیع و نگهداری آب می‌باشد. با وجود این مسأله، غلظت غیر مجاز این ترکیبات در شبکه توزیع آب آن گزارش شد. محققین ژاپنی هم در مطالعه‌ای سه ساله نشان دادند که غلظت تری هالومتان‌ها در همه نمونه‌های آنالیز شده کمتر از $100 \mu\text{g/L}$ است که در محدوده مجاز کشور ژاپن می‌باشد (۱۸). می‌توان گفت که منابع آب سطحی کشور کانادا دارای مواد آلی محلول فراوانی است که به راحتی قابل حذف نیستند.

مطالعات انجام گرفته روی شبکه توزیع آب شهر تهران توسط واعظ و مصدقی‌نیا نشان داد که غلظت THMs کمتر از 28 ppb است (۲۳). تحقیقات اخیر روی آب شرب تهران که توسط پرداختی و ترابیان انجام شد، حاکی از آن است که میانگین غلظت تری هالومتان در فصول بهار و تابستان کمتر از 5 ppb است (۲۴). ززولی و همکاران، کربن آلی محلول در شبکه توزیع آب تهران را کمتر از 0.7 mg/L و شاخص SUVA را نیز کمتر از 2.1 L/mg.m گزارش کردند (۲۵) که مؤید گزارش‌های قبلی محققین در خصوص تولید ناچیز THMs در آب شرب تهران می‌باشد. این مطالعه مشابهت زیادی با نتایج مطالعه شهر اصفهان دارد؛ چرا که بر اساس مطالعات محققین، شاخص SUVA در آب ورودی به تصفیه‌خانه اصفهان نیز در محدوده کمتر از 4.5 L/mg.m می‌باشد (۲۶). جعفری و همکاران نیز غلظت THMs شبکه توزیع آب شهر لاهیجان را مورد بررسی قرار دادند. در تعدادی از نمونه‌ها مقادیر غیر مجاز گزارش شد که می‌توان گفت علت احتمالی آن، مقادیر به نسبت بالای کربن آلی محلول در آب و کارکرد نامناسب واحدهای تصفیه‌خانه است (۱۸).

نتایج این مطالعه نشان داد که در حال حاضر آب خروجی از تصفیه‌خانه آب شرب اصفهان کیفیت مناسبی از لحاظ وجود کلر باقی‌مانده و محصولات ثانوی گندزایی دارد و مقادیر آن در محدوده مجاز WHO (World Health Organization) و USEPA (United States Environmental Protection Agency) می‌باشد. در بعضی از تصفیه‌خانه‌های آب ایران و بسیاری از تصفیه‌خانه‌های آب دیگر نقاط جهان، غلظت‌های

بر اساس شکل و جدول ۲ مقادیر حداکثر و حداقل سنجش شده برای کلروفرم به ترتیب 28 ppb و 10 ppb است. از سوی دیگر همان گونه که در جدول ۲ و شکل ۳ نیز دیده می‌شود، مقادیر حداکثر و حداقل برای کلر باقی‌مانده کل به ترتیب $3/3 \text{ ppm}$ و غیر قابل تشخیص اندازه‌گیری شد. این مقادیر حاکی از سالم بودن شبکه توزیع آب شهر اصفهان است و غلظت مواد آلی محلول موجود در آن در زمان نمونه‌برداری در محدوده مناسب بود. شکل ۲ نشان می‌دهد که غلظت‌های به نسبت زیاد کلروفرم بیشتر مربوط به نقاط انتهایی شبکه و حاشیه شهر است و نقاط مرکزی شهر دارای غلظت کمتری از کلروفرم نسبت به سایر نقاط است. دلیل این امر را می‌توان به مصرف بیشتر آب در نقاط مرکزی شهر و راکد ماندن آب در نقاط حاشیه‌ای شهر مربوط دانست. در نتیجه آب در نقاط مرکزی شهر دارای زمان ماند کوتاه‌تری است و قبل از تشکیل ترکیبات جانبی ناشی از کلرزنی، از شبکه خارج و مصرف می‌گردد. همچنین با توجه به مطالعات محققین روی آب ورودی به تصفیه‌خانه آب اصفهان که نشان داد میانگین کربن آلی محلول آن کمتر از 2 mg/L است (۲۲)، بنابراین مقادیر ناچیز کلروفرم تولیدی آن قابل توجیه می‌باشد. انجام آزمون آماری همبستگی Pearson نیز نشان داد که بین کلر باقی‌مانده و کلروفرم رابطه خطی و معنی‌داری وجود ندارد ($r = 0.1$; $P > 0.05$)؛ یعنی در شبکه توزیع آب شهر اصفهان غلظت کلروفرم تابع تغییرات غلظت کلر نمی‌باشد. شاید متفاوت و متعدد بودن نقاط تزریق کلر نیز می‌تواند در این عدم ارتباط نقش داشته باشد. کلر مورد استفاده برای گندزدایی و محصولات ثانوی آن در صورت نامناسب بودن غلظت آن، عوارض ناخوشایندی بر سلامتی انسان می‌تواند داشته باشد. از این رو در اکثر کشورها، تحقیقات مستمری در رابطه با غلظت این ترکیبات و تعیین عوامل دخیل در تولید آن انجام می‌گیرد. نتایج مطالعات محققین کانادایی طی ۱۶ فصل تشکیل THMs در آب شبکه توزیع منطقه Greater Quebec نشان داد که در فصل تابستان غلظت THMs در بیشتر نمونه‌ها بیشتر از حد مجاز آن کشور یعنی $80 \mu\text{g/L}$ است (۱۶). حال آن که کانادا

بخش قابل توجهی از شاخ و برگ گیاهان و مواد آلی دیگر را با خود به همراه می‌آورد. برای کاهش تشکیل این ترکیبات با توجه به اثرات بهداشتی و سرطان‌زایی محرز THMs در آب، استفاده از روش‌های مناسب تلفیقی پیشنهاد می‌شود (۳۷). همچنین مطالعاتی که در رابطه با ارزیابی خطرات ناشی از مصرف آب‌های حاوی مقادیر غیر مجاز این ترکیبات می‌باشد، بایستی مدنظر قرار گیرد.

غیر مجاز تری هالومتان‌ها گزارش شده است (۱۶، ۱۸). با این وجود به علت عدم پایش دائمی و نبود داده‌های وسیع ملی در مورد غلظت THMs در شبکه‌های توزیع آب شرب شهرها، سنجش غلظت احتمالی تری هالومتان تولیدی ضروری است. به ویژه این که آب آشامیدنی شهر اصفهان از آب سطحی رودخانه زاینده رود تأمین می‌شود و رود در مسیر جریان خود از بین مزارع، مراتع و باغات متعدد میوه عبور می‌نماید و

References

- Hoff JC, Geldreich EE. Comparison of the biocidal efficiency of alternative disinfectants. *American Water Works Association* 1981; 73(1): 40-4.
- Bruchet A, Duguet JP, Suffe IH. Role of oxidants and disinfectants on the removal, masking and generation of tastes and odours. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 2004; 3(1): 33-41.
- Bichsel Y, Von Gunten U. Formation of Iodo-Trihalomethanes during Disinfection and Oxidation of Iodide-Containing Waters. *Environ Sci Technol* 2000; 34(13): 2784-91.
- Paim AP, Souza JB, Adorno MA, Moraes EM. Monitoring the trihalomethanes present in water after treatment with chlorine under laboratory condition. *Environ Monit Assess* 2007; 125(1-3): 265-70.
- Kawamura S. *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. New Jersey: John Wiley and Sons; 2000.
- Jung CW, Son HJ. The relationship between disinfection by-products formation and characteristics of natural organic matter in raw water. *Korean Journal of Chemical Engineering* 2008; 25(4): 714-20.
- El-Shafy MA, Grunwald A. THM formation in water supply in South Bohemia, Czech Republic. *Water Research* 2000; 34(13): 3453-9.
- Samios S, Lekkas T, Nikolaou A, Golfinopoulos S. Structural investigations of aquatic humic substances from different watersheds. *Desalination* 2007; 210(1-3): 125-37.
- Samios S, Kousouris L, Tzoumerkas P, Lekkas T, Golfinopoulos S, Nikolaou A. A kinetics study of THMs formation in surface waters supplying Athens. *Desalination* 2007; 213(1-3): 253-62.
- Gopal K, Tripathy SS, Bersillon JL, Dubey SP. Chlorination byproducts, their toxicodynamics and removal from drinking water. *J Hazard Mater* 2007; 140(1-2): 1-6.
- Ates N, Kaplan SS, Sahinkaya E, Kitis M, Dilek FB, Yetis U. Occurrence of disinfection by-products in low DOC surface waters in Turkey. *J Hazard Mater* 2007; 142(1-2): 526-34.
- Chang EE, Chiang PC, Chao SH, Lin YL. Relationship between chlorine consumption and chlorination by-products formation for model compounds. *Chemosphere* 2006; 64(7): 1196-203.
- Rook JJ. Chlorination reactions of fulvic acids in natural waters. *Environ Sci Technol* 1977; 11(5): 478-82.
- Chaidou CI, Georgakilas VI, Stalikas C, Saraci M, Lahaniatis ES. Formation of chloroform by aqueous chlorination of organic compounds. *Chemosphere* 1999; 39(4): 587-94.
- Ristoiu D, Von GU, Mocan A, Chira R, Siegfried B, Haydee KM, et al. Trihalomethane formation during water disinfection in four water supplies in the Somes river basin in Romania. *Environ Sci Pollut Res Int* 2009; 16 (Suppl 1): S55-S65.
- Rodriguez MJ, Vinette Y, Serodes JB, Bouchard C. Trihalomethanes in drinking water of greater Quebec region (Canada): occurrence, variations and modelling. *Environ Monit Assess* 2003; 89(1): 69-93.
- Yamamoto K, Mori Y. Simulating distribution of trihalomethane in tap water in the area receiving a combination of advanced treated water and conventionally treated different source water: 1998, 1999 and 2002 data on Osaka Prefecture and its surrounding cities, Japan. *Bull Environ Contam Toxicol* 2009; 83(5): 677-80.
- Jafari MA, Taghavi K, Hassani AH. Survey of THMs in potable water of Lahijan city. *Journal Of Guilan University Of Medical Sciences* 2008; 17(68): 1-6. [In Persian].

19. Fooladvand M, Ramavandi B, Zandi K, Ardestani M. Investigation of trihalomethanes formation potential in Karoon River water, Iran. *Environ Monit Assess* 2011; 178(1-4): 63-71. [In Persian].
20. Eaton AD, Franson MA. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association; 2005.
21. Fazlzadeh Davil M, Mahvi AH, Mazloumi S, Nabizadeh R, Younesian M, Nazm Ara SH. Concentration of Nazmara S. Concentration of Trihalomethanes in Tehran Drinking Water. *J Health & Hygiene* 2011; 2(2): 45-52. [In Persian].
22. Amin MM, Jaberian B, Saadani M, Hadian R, Bonyadi Nejad GR, Khodabakhshi A. Evaluation of Powdered Activated Carbon Efficiency in Removal of Dissolved Organic Carbon in Water Treatment. *Iran J Health Environ* 2010; 3(2): 135-42. [In Persian].
23. Vaezi F, Mesdaginia A. THMs in treated water of Tehran city. *Iranian J Health* 1991; 21(1-4): 1-10. [In Persian].
24. Pardakhti A, Torabian A. Evaluation of THMs Concentration in Tehran's Drinking Water During the Spring of 2009 and it's Comparison With Drinking Water Outside the City Water District. *Journal of Environmental Studies* 2012; 36(1). [In Persian].
25. Zazouli MA, Nasserli S, Mahvi AH, Mesdaghinia A. Evaluation of organic carbon and disinfection by-product concentration in Tehran network water system. *J Sch Public Health Inst Public Health Res* 2009; 7(3): 51-9. [In Persian].
26. Safary M. Survey efficiency of enhanced coagulation in removal of humic acid of water. *Proceeding of the 12th Environmental Health Seminar*; 2009 Nov 13-15; Tehran, Iran; 2009. [In Persian].
27. Boorman GA. Drinking water disinfection byproducts: review and approach to toxicity evaluation. *Environ Health Perspect* 1999; 107 (Suppl 1): 207-17.

Survey of Chloroform Concentration in the Water Distribution System of Isfahan, Iran, and Zoning by GIS

**Bijan Bina¹, Amir Mohammad², Afshin Ebrahimi³,
Mohammad Mehdi Amin⁴, Hamidreza Pourzamani⁵, Sepideh Nemat Mansor⁶**

Abstract

Background: The goal of this study was to survey the total residual chlorine and chloroform in the water distribution system of Isfahan, Iran, and zoning of obtained results using GIS.

Methods: In this cross-sectional study, total residual chlorine was tested in the sampling points of the water distribution system of Isfahan and chloroform was measured with standard methods and after transferring the samples to a laboratory under standard conditions. Chloroform detection was done by GC-MS. The zoning of obtained results was performed by GIS.

Findings: Total residual chlorine and chloroform concentrations were obtained undetectable to 3.3 ppm and 10-28 ppb, respectively. High range of chloroform concentration was related to the end points of the water distribution system. Moreover, the center of the city had a chloroform concentration less than other points. The reason for these problems could be more water consumption in central points of the city and stagnant water in other areas of the city.

Conclusion: The results of this study showed that the water production of the Isfahan water treatment plant had an acceptable quality in relation to its Cl⁻ and DBPs content, at the sampling time. The obtained concentrations followed the WHO and USEPA guidelines. However, it is necessary to detect probable concentration of THMs production, continuously. Furthermore, by using integrated and appropriate water treatment methods, DBPs can be reduced considerably.

Key words: Carcinogen, Disinfection, Isfahan city, Potable water Trihalomethane

1-Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Environmental Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

2- MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Health and Environmental Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

3-Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Environmental Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author) Email: a_ebrahimi@hlth.mui.ac.ir

4- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Environmental Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

5- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Environmental Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

6- MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School Health and Nutrition, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran