

وضعیت تری‌هالومتان‌های آب شرب مناطق تهران و مقایسه آن با آب شرب خارج از محدوده آب و فاضلاب شهری

چکیده

در این مطالعه وضعیت آب شرب مناطق گوناگون تهران از نظر تری‌هالومتان‌ها در فصل بهار و تابستان سال ۱۳۸۸ در مناطق مختلف تهران بررسی و ارزیابی شده است. تری‌هالومتان‌ها (THMs) جزء اصلی‌ترین گروه تشکیل‌دهنده محصولات جانبی ناشی از گندزدایی آب آشامیدنی به‌وسیله کلر محسوب می‌شوند. خطر بروز سرطان و عوارض سوء بهداشتی در کبد، کلیه و نیز سیستم اعصاب مرکزی از عوارض این مواد هستند. در این تحقیق، از ۶ منطقه آب و فاضلاب تهران و یک منطقه خارج از محدوده آب و فاضلاب شهری نمونه‌برداری شده است. با توجه به این‌که آب شرب در ۶ منطقه آب و فاضلاب تهران از منابع مختلفی از جمله آبهای سطحی (سد امیرکبیر و سد لتیان) و منابع زیر زمینی (بیش از سیصد و پنجاه حلقه چاه فعال) تأمین می‌شود، بنابراین، غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب در هر یک از مناطق به‌طور جداگانه اندازه‌گیری و ارزیابی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب مناطقی که از آبهای سطحی تأمین می‌شوند (مناطق شمالی تهران) بیشتر از غلظت تری‌هالومتان‌ها نسبت به مناطقی است که از آبهای زیرزمینی تغذیه می‌شوند (مناطق جنوب و جنوب غربی شهر تهران). میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها در کل شهر تهران در فصل بهار و تابستان برای کلروفورم $2/49 \text{ ppb}$ ، برمودی کلرومتان $2/08 \text{ ppb}$ ، دی‌برموکلرومتان $0/95 \text{ ppb}$ و برموفورم $0/15 \text{ ppb}$ است. با توجه به نتایج به‌دست آمده کلروفورم بیشترین و برموفورم کمترین غلظت را در نمونه‌های آب دارند، البته غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب تهران کمتر از حد مجاز 80 ppb تعریف شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا است.

کلید واژه

تری‌هالومتان‌ها، آب شرب تهران، محصولات جانبی فرایند تصفیه آب، گاز کروماتوگرافی

سر آغاز

باعث افزایش تشکیل تری‌هالومتان‌های برم‌دار می‌شود. یکی از روش‌های مؤثر برای کنترل تشکیل تری‌هالومتان‌ها استفاده از آمونیاک است. با افزودن آمونیاک به آب به جای کلر آزاد، کلرامین در آب باقی می‌ماند و تشکیل تری‌هالومتان‌ها در محیطی که کلرامین باشد، متوقف می‌شود. کلروفورم مایعی بی‌رنگ و فراز است که به طور گسترده به عنوان حلالی عمومی، در سیستم‌های خنک کننده، پلاستیک‌ها و مواد دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ATSDR، 1989). کلروفورم به سرعت به وسیله شش‌ها و سیستم گوارشی^۱، از طریق پوست جذب بدن می‌شود. کلروفورم به شدت در بدن مورد متابولیسم قرار گرفته و باعث تولید دی‌اکسیدکربن می‌شود. محل اصلی متابولیسم این ماده در کبد و کلیه است. دفع کلروفورم به صورت

تری‌هالومتان‌ها (THMs) محصولات جانبی فرایند گندزدایی در تصفیه آب هستند که در آن کلر با مواد آلی طبیعی حاصل از تجزیه میکروارگانیسم‌ها، جلبک‌ها، گیاهان، کودهای شیمیایی، و غیره ترکیب شده و باعث تولید تری‌هالومتان‌ها می‌شوند. تری‌هالومتان‌هایی که بیشتر در منابع آب تصفیه شده مشاهده می‌شوند عبارتند از کلروفورم، برمودی کلرومتان و دی‌برموکلرومتان و برموفورم. تری‌هالومتان‌ها به علت خطرناک و آثار سوء بهداشتی و سمی بودن بسیار بالا و مدت زمان تماس طولانی و مستمر با انسان حائز اهمیت فراوان هستند. عوامل مختلفی در تشکیل تری‌هالومتان‌ها نقش دارند. در محیط‌های قلیایی احتمال تشکیل تری‌هالومتان‌ها بیشتر است و وجود یون برم در آب نیز،

آب شهرهایی مانند اهواز، اصفهان و بندر عباس در بعضی از ماههای سال چندین برابر بیش از حد مجاز گذارش شده است (ترا بیان، ۱۳۷۷)

مواد و روش‌ها

ناحیه مورد مطالعه

در این مطالعه، وضعیت آب شرب مناطق تهران در بهار و تابستان ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفته است. تهران دارای ۶ منطقه آب و فاضلاب شهری است و هر منطقه از منابع آبهای سطحی و چاههای زیرزمینی برای تأمین آب شرب خود استفاده می‌کند. تهران دارای ۵ تصفیه‌خانه است که آب آن از سد امیرکبیر، سد لتیان، سد لار و بیش از سیصد و پنجاه حلقه چاه زیرزمینی فعال تأمین می‌شود (شرکت آب و فاضلاب تهران، ۱۳۸۸). آبهای سطحی به وسیله پنج تصفیه‌خانه دریافت می‌شود و پس از انجام مراحل تصفیه به شبکه آب‌رسانی وارد می‌شوند. متأسفانه آب چاهها در بیشتر موارد فقط کلرزی می‌شوند و سپس وارد شبکه آب رسانی می‌شوند. در نمونه‌برداری‌هایی که در این تحقیق انجام گرفت از هر شش منطقه آب و فاضلاب، سه محل که هر یک از مخزنی جداگانه تغذیه می‌شوند انتخاب و از آب شرب آن سه تکرار نمونه‌برداری شد. سه نقطه نیز خارج از محدوده آب و فاضلاب شهری اما داخل محدوده شهر تهران (منطقه ۲۲ و ۲۳ شهرداری) برای مقایسه نتایج انتخاب گردید و از هر نقطه نیز سه نمونه تکراری گرفته شد که در این تحقیق منطقه ۷ نامگذاری شده است. آب شرب در مناطق ۱ و ۲ و ۳ غالباً از منابع سطحی که توسط تصفیه‌خانه‌ها تصفیه شده‌اند، تأمین می‌شود، اما آب شرب در مناطق ۴ و ۵ و ۶ غالباً از آبهای زیرزمینی تأمین می‌گردد که در زمان‌های پربابی درصد آب سطحی آن افزایش می‌یابد. در منطقه ۷ که خارج از محدوده آب و فاضلاب شهری (توابع) قرار دارد، ۱۰۰٪ آب شرب آن از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود (شرکت آب و فاضلاب تهران، ۱۳۸۸).

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری‌ها طبق روش سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA) با رعایت نکات زیر انجام شده است:

- ۱- استفاده از ظروف شیشه‌ای، ۲- استفاده از نگهدارنده (سدیم تیوسولفات)، ۳- اندازه‌گیری دمای نمونه در زمان نمونه‌برداری، ۴- حمل نمونه‌ها در ظروف یخ در دمای 4°C ، ۵- پر بودن ظروف نمونه‌برداری و عدم حضور حباب داخل نمونه، ۶- رعایت زمان ماندن یک هفته برای انجام آنالیز. در هر محل نمونه‌برداری، اجازه داده شد تا آب شیر برای حدود ۴ الی ۵ دقیقه جریان یابد. با این عمل بی‌شک

تغییر شکل یافته، به صورت CO_2 از طریق شش‌ها انجام می‌گیرد (ATSDR, 1997). برموفرم و برمودی‌کلرومتان از دیگر محصولات جانبی گندزدایی هستند که از نظر سرطانزایی در گروه B_2 قرار دارند. اصلی‌ترین راه تماس انسان با برموفرم از طریق بلعیدن آب آلوده به این ماده است (ATSDR, 1990). برموفرم به سهولت توسط سیستم گوارشی و سیستم تنفسی بدن جذب می‌شود. برموفرم در بافت‌های گوناگون پخش می‌شود و بالاترین میزان آن در بافت‌های چربی و خون یافت شده است (Parra, et al., 1986). این ترکیب در کبد به وسیله اکسیدکننده سیتوکروم P-450 تغییر شکل می‌یابد تا بتواند از سیستم بدن دفع شود (Stevens, and Anders, 1979). برموفرم و مواد تولید شده از آن اصولاً به وسیله شش‌ها و مقداری نیز از طریق ادرار دفع می‌شوند (Mink, et al., 1986). در انسان خوردن تصادفی آن باعث سستی (بی‌حالی)، سردرد و سرگیجه و در دوزهای بالاتر سبب انحطاط و تنزل سیستم اعصاب مرکزی، کما و مرگ می‌شود.

میزان دوز تخمین زده شده برای مرگ یک کودک ۱۰ الی ۲۰ کیلوگرمی mg/kg ۲۵۰-۵۰۰ است. در تماس قرار گرفتن با بخار برموفرم باعث سوزش ناحیه تنفسی، گلو و حلق و نای و همچنین ریزش بزاق می‌شود (Von-Oettingen, 1985). در حیوانات، کبد، کلیه‌ها و سیستم عصبی مرکزی اولین ارگان‌هایی هستند که مورد مسمومیت با برموفرم قرار می‌گیرند. اصلی‌ترین عامل مرگ بعد از خوردن برموفرم، آسیب رسیدن به سیستم عصبی مرکزی است (Chu, et al., 1980). خوردن g/kg ۱ از آن در موش سبب بیقراری، بی‌حالی و بیهوشی در LD_{50} مقدارهای می‌شود و مقادیر g/kg ۱/۱۴ الی g/kg ۱/۵۵ برای جانوران جونده از g/kg ۱/۱۴ الی g/kg ۱/۵۵ است (Bowman, Heironimus, & Allen, 1979). عامل شیب^۲ و واحد ریسک^۳ برای برموفرم $10^{-3} \times 7/90 \text{ (mg/kg/day)}$ و $10^{-7} \times 2/3 \text{ (}\mu\text{g/l)}$ است و برای تماس تنفسی عامل شیب و واحد ریسک به ترتیب $10^{-3} \times 3/90 \text{ (mg/kg/day)}$ و $10^{-6} \times 1/1 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}$ است (USEPA, IRIS, 2009).

حداکثر غلظت مجاز تری‌هالومتان‌ها در آب شرب 80 ppb توسط EPA تعیین شده است (CDPH, 2008). در برخی مطالعات انجام گرفته در ایران برای سنجش غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی شهر تهران در سال ۱۳۷۳، ۲۵ درصد از نمونه‌ها دارای غلظت بیش از حد مجاز ترکیبات تری‌هالومتان بوده است. همچنین در سال ۱۳۷۶ مطالعه دیگری در همین زمینه بر روی آبهای آشامیدنی تعدادی از شهرهای بزرگ انجام شد، که غلظت این گروه آلاینده‌ها در

ستون کروماتوگراف گازی (GC) *Gas Chromatograph* هدایت شدند. مواد آلی فرار در نمونه‌ها توسط دستگاه GC جداسازی شده و با شناساگر (MS) *Mass Spectrometer* مورد شناسایی و اندازه‌گیری قرار گرفتند. آنالیز این ترکیبات با دستگاه GC/MS طبق روش شماره ۵۲۴/۲ سازمان حفاظت محیط زیست امریکا انجام شد. حد تشخیص این روش با دستگاه استفاده از گاز کروماتوگراف و طیف سنج جرمی برای تری‌هالومتان‌ها، $0.05 \mu\text{g/L}$ است.

بحث و بررسی

ارزیابی تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی تهران بر اساس جمع‌بندی داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده بررسی شد. در جدول شماره (۱) میزان غلظت کلروفرم در فصل بهار و تابستان، ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفته است. بالاترین میانگین غلظت کلروفرم در مناطق ۲ و ۱ مشاهده شد که میزان آنها در جدول شماره (۱) قابل مشاهده است. میانگین غلظت کلروفرم در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب $2/93 \text{ ppb}$ ، $3/12 \text{ ppb}$ ، $2/66 \text{ ppb}$ ، $2/78 \text{ ppb}$ ، $1/60 \text{ ppb}$ و $1/84 \text{ ppb}$ است. گستره غلظت‌های کلروفرم در شش ماه اول سال از N.D (کمتر از حد تشخیص) در منطقه ۷ الی $9/90 \text{ ppb}$ در منطقه ۱ مشاهده شده است و میانگین غلظت کلروفرم در این دو فصل در شهر تهران $2/49 \text{ ppb}$ است در صورتی که میانگین غلظت کلروفرم در خارج از محدوده آب و فاضلاب شهر تهران 0.14 ppb است.

جدول شماره (۱): میانگین غلظت کلروفرم (CHCl_3) در آب شرب تهران (بهار و تابستان ۱۳۸۸)

میانگین غلظت کلروفرم (μL)	میانگین فروردین	میانگین اردیبهشت	میانگین خرداد	میانگین تیر	میانگین مرداد	میانگین شهریور	میانگین بهار و تابستان
منطقه ۱	۷/۹۵	۴/۳۰	۴/۰۶	۳/۶۶	۳/۱۶	۳/۰۴	۴/۳۶
منطقه ۲	۵/۵۰	۳/۶۹	۵/۳۷	۶/۰۷	۲/۴۳	۳/۲۲	۴/۳۸
منطقه ۳	۱/۹۸	۵/۵۳	۲/۴۲	۲/۹۳	۱/۷۸	۱/۹۱	۲/۷۶
منطقه ۴	۱/۹۶	۵/۱۸	۳/۴۹	۴/۱۷	۱/۹۲	۲/۴۲	۳/۱۹
منطقه ۵	۱/۶۶	۱/۹۸	۱/۴۰	۱/۲۸	۱/۰۳	۰/۸۷	۱/۳۷
منطقه ۶	۱/۴۴	۱/۱۳	۱/۷۴	۱/۲۸	۰/۴۷	۱/۳۲	۱/۲۲
منطقه ۷	N.D	N.D	۰/۱۷	۱/۲۳	۰/۴۴	۰/۱۰	۰/۱۴
میانگین شهر تهران	۲/۹۳	۳/۱۲	۲/۶۶	۲/۷۸	۱/۶۰	۱/۸۴	۲/۴۹

N.D=Not Detected (کمتر از حد تشخیص)

کلروبرومتان به ترتیب در مناطق ۲، ۱ و ۳ مشاهده شد. میانگین غلظت دی کلروبرومتان در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب $2/29 \text{ ppb}$ ، $2/27 \text{ ppb}$ ، $2/70 \text{ ppb}$ ، $1/20 \text{ ppb}$ و $1/43 \text{ ppb}$ است. گستره غلظت‌های مشاهده شده برای دی کلروبرومتان از محدوده N.D در منطقه ۷ الی $2/49 \text{ ppb}$

آب مورد آزمایش در لوله‌های داخل ساختمان به صورت راکد نمی‌ماند. سپس با استفاده از دماسنج، دمای آب در زمان نمونه‌برداری اندازه‌گیری و در برهه میدانی درج شد. آب شیر با جریانی آرام و ملایم در ظروف شیشه‌ای ریخته شدند تا ظروف از آب لبریز شده و هیچ فضای آزادی در بالای شیشه‌ها باقی نماند. از سدیم تیوسولفات در شیشه‌های نمونه‌برداری برای جلوگیری از تشکیل بیشتر THMs در نمونه‌ها در زمان حمل و نگهداری در آزمایشگاه استفاده شد.

مواد

مواد استفاده شده در این مطالعه عبارتند از: کلروفرم، دی کلروبرومتان، دی برمکلرومتان، بروموفرم و متانول که به عنوان حلال برای شست‌وشوی ظروف و سرنگ‌ها مورد استفاده قرار گرفت. تمام مواد و استانداردهای به کار رفته از شرکت مرک آلمان خریداری شده‌اند که دارای خلوص بسیار بالایی هستند.

روش آنالیز

تری‌هالومتان‌های موجود در نمونه‌های آب به وسیله دستگاه GC/MS مورد آنالیز قرار گرفتند. برای استخراج این ترکیبات از دستگاه Purge and Trap استفاده شد. ۵ میلی‌لیتر از نمونه آب به‌طورمستقیم به دستگاه Purge and Trap تزریق شد. نمونه به مدت ۱۰ دقیقه با گاز N_2 پرچ شده و مواد فرار و تری‌هالومتان‌های موجود در نمونه از آب خارج و در ستون جاذب جمع‌آوری شدند. با حرارت دادن ستون جاذب کلیه مواد فرار واجذب شده و به داخل

میانگین غلظت کلروفرم آب شرب شهر تهران کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا بوده است و ۱۸ برابر بیشتر از نمونه آب شرب خارج از محدوده آب و فاضلاب شهری است. در جدول شماره (۲) میزان غلظت دی کلروبرومتان در فصل بهار و تابستان نشان می‌دهد. بالاترین میانگین غلظت دی

غلظت دی کلروبروموتان آب شرب تهران کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا بوده، اما ۱۳ برابر بیشتر از نمونه آب شرب خارج از محدوده آب و فاضلاب شهری است.

۶/۴ در منطقه ۲ بوده است. میانگین غلظت دی کلروبروموتان در فصل بهار و تابستان ۱۳۸۸ در آب شرب تهران، ۲/۰۸ ppb است، در صورتی که میانگین غلظت دی کلروبروموتان در خارج از محدوده آب و فاضلاب تهران، ۰/۱۶ ppb اندازه گیری شده است. میانگین

جدول شماره (۲): غلظت دی کلروبروموتان (CHCl₂Br) در آب شرب مناطق تهران، بهار و تابستان ۱۳۸۸

میانگین غلظت دی کلروبروموتان (µ/L)	میانگین فروردین	میانگین اردیبهشت	میانگین خرداد	میانگین تیر	میانگین مرداد	میانگین شهریور	میانگین بهار و تابستان
منطقه ۱	۴/۷۶	۴/۲۳	۴/۱۳	۳/۵۷	۱/۹۰	۲/۲۲	۳/۴۷
منطقه ۲	۵/۲۳	۳/۴۰	۴/۲۶	۴/۸۷	۱/۸۲	۲/۲۲	۳/۶۳
منطقه ۳	۲/۳۸	۴/۳۴	۴/۲۹	۳/۳۶	۱/۷۴	۱/۶۷	۲/۹۶
منطقه ۴	۱/۷۹	۲/۴۰	۳/۶۲	۳/۹۸	۱/۴۸	۱/۹۱	۲/۵۳
منطقه ۵	۱/۲۶	۱/۱۷	۱/۵۱	۱/۲۴	۱/۰۲	۰/۹۲	۱/۱۹
منطقه ۶	۰/۶۱	۰/۳۴	۰/۸۱	۰/۹۷	۰/۱۷	۰/۸۶	۰/۶۳
منطقه ۷	N.D	N.D	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۱۶
میانگین شهر تهران	۲/۲۹	۲/۲۷	۲/۷۰	۲/۶۰	۱/۲۰	۱/۴۳	۲/۰۸

ND= Not Detected

۰/۰۱ و ۰/۰۸ ppb است. گستره غلظت های مشاهده شده در این شش ماه از محدوده N.D الی ۱/۱۱ ppb است. میانگین غلظت برموفرم در دو فصل بهار و تابستان ۱۳۸۸ در آب شرب شهر تهران ۰/۱۵ ppb است، در صورتی که میانگین غلظت برموفرم در خارج از محدوده آب و فاضلاب شهر تهران ۰/۳۴ ppb مشاهده شده است.

میانگین غلظت برموفرم آب شرب شهر تهران کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا بوده است. نمودار شماره (۱) مبین غلظت چهار تری هالومتان (کلروفورم، دی کلروبروموتان، دی برموکلوئمتان و برموفرم) در بهار ۱۳۸۸ است. میانگین غلظت کلروفورم، ۲/۹۰ ppb، برمودی کلرومتان ۲/۴۲ ppb، دی برموکلوئمتان، ۱/۰۷ ppb و غلظت برموفرم، ۰/۱۸ ppb است. با توجه به نتایج به دست آمده، کلروفورم بیشترین و برموفرم کمترین غلظت را در نمونه های آب دارند.

نمودار شماره (۲) غلظت چهار تری هالومتان (کلروفورم، دی کلروبروموتان، دی برموکلوئمتان و برموفرم) را در تابستان سال ۱۳۸۸ ارائه می دهد. در فصل تابستان میانگین غلظت کلروفورم، ۰/۷۸ ppb، دی کلروبروموتان، ۱/۷۴ ppb، دی برموکلوئمتان، ۰/۳۰ ppb و غلظت برموفرم، ۰/۳۰ ppb است. با توجه به نتایج به دست آمده، کلروفورم بیشترین و برموفرم کمترین غلظت را در نمونه های آب دارند.

در جدول شماره (۳) میزان غلظت دی برموکلوئمتان در فصل بهار و تابستان ذکر شده است. بالاترین غلظت دی برموکلوئمتان به ترتیب در مناطق ۱ و ۲ مشاهده شده است. میانگین غلظت دی برموکلوئمتان در ماه های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۱/۶۸ ppb، ۰/۶۸ ppb، ۰/۸۶ ppb، ۰/۳۴ ppb، ۱/۴۳ ppb و ۰/۴۳ ppb است. گستره غلظت های مشاهده شده در این شش ماه از محدوده N.D در منطقه ۷ الی ۵/۵ ppb در منطقه ۱ است. میانگین غلظت دی برموکلوئمتان در فصل بهار و تابستان ۱۳۸۸ در آب شرب تهران، ۰/۹۵ ppb است، در صورتی که میانگین غلظت دی برموکلوئمتان در خارج از محدوده آب و فاضلاب شهر تهران، ۰/۲۷ ppb است. میانگین غلظت دی برموکلوئمتان آب شرب تهران کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا بوده، اما ۳/۵ برابر بیشتر از نمونه آب شرب خارج از محدوده آب و فاضلاب شهری است.

در جدول شماره (۴) میانگین غلظت برموفرم در شش ماه اول ۱۳۸۸ نشان داده شده است. بالاترین غلظت برموفرم به ترتیب در مناطق ۵ و ۴ مشاهده شد و میانگین غلظت برموفرم در ماه های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۰/۳۶ ppb، ۰/۰۶ ppb، ۰/۱۱ ppb، ۰/۳۰ ppb، ۰/۳۶ ppb

جدول شماره (۳): غلظت دی‌برموکلرومتان (CHBr₂Cl) در آب شرب تهران، بهار و تابستان ۱۳۸۸

میانگین غلظت دی‌برومو کلرومتان (μ/L)	میانگین فروردین	میانگین اردیبهشت	میانگین خرداد	میانگین تیر	میانگین مرداد	میانگین شهریور	میانگین بهار و تابستان
منطقه ۱	۳/۱۹	۱/۰۰	۱/۱۹	۱/۶۶	۰/۵۰	۰/۷۴	۱/۳۸
منطقه ۲	۳/۰۲	۱/۱۹	۰/۶۴	۱/۷۳	۰/۵۳	۰/۶۳	۱/۲۹
منطقه ۳	۱/۳۳	۰/۹۰	۱/۷۴	۱/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۶	۱/۱۲
منطقه ۴	۱/۸۶	۰/۷۴	۰/۹۰	۲/۲۷	۰/۶۲	۰/۷۸	۱/۱۹
منطقه ۵	۱/۷۱	۰/۷۳	۰/۸۸	۱/۳۸	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۹۵
منطقه ۶	۰/۶۴	۰/۱۷	۰/۴۲	۰/۶۹	۰/۱۳	۰/۴۹	۰/۴۳
منطقه ۷	۰/۰۱	N.D	۰/۲۸	۰/۶۹	۰/۱۷	۰/۵۰	۰/۲۷
میانگین شهر تهران	۱/۶۸	۰/۶۸	۰/۸۶	۱/۴۳	۰/۴۳	۰/۶۰	۰/۹۵

ND= Not Detected

جدول شماره (۴): غلظت برموفرم (CHBr₃) در آب شرب مناطق شهر تهران، بهار و تابستان ۱۳۸۸

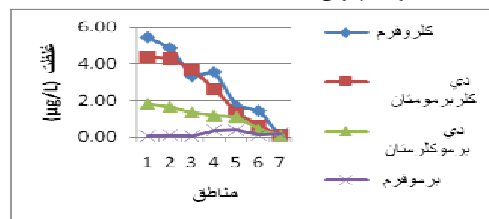
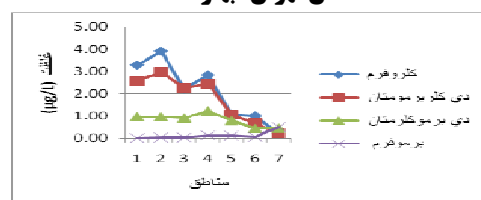
میانگین غلظت برموفرم (μ/L)	میانگین فروردین	میانگین اردیبهشت	میانگین خرداد	میانگین تیر	میانگین مرداد	میانگین شهریور	میانگین بهار و تابستان
منطقه ۱	۰/۱۴	۰/۰۱	N.D	۰/۰۴	N.D	N.D	۰/۰۳
منطقه ۲	۰/۳۰	N.D	N.D	۰/۰۹	N.D	N.D	۰/۰۷
منطقه ۳	۰/۱۲	N.D	N.D	۰/۰۹	N.D	N.D	۰/۰۴
منطقه ۴	۰/۹۹	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۳۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۲۵
منطقه ۵	۰/۶۵	۰/۳۱	۰/۱۷	۰/۳۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۲۵
منطقه ۶	۰/۲۰	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۹
منطقه ۷	۰/۰۹	N.D	۰/۴۷	۱/۰۱	۰/۰۳	۰/۴۷	۰/۳۴
میانگین شهر تهران	۰/۳۶	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۱۵

ND= Not Detected

نتیجه‌گیری

با توجه به اعداد به دست آمده غلظت THMS در مناطق شمالی تهران بیشتر از مناطق جنوبی شهر است. اطلاعات گرفته شده از شرکت آب و فاضلاب شهری تهران نشان می‌دهد که منابع آب شرب شمال شهر تهران بیشتر از آبهای سطحی تأمین می‌شود. در صورتی که در مناطق جنوبی شهر تهران اکثر منابع از چاههای زیرزمینی است. بالا بودن غلظت کربن آلی در آبهای سطحی می‌تواند دلیل اصلی بالا بودن غلظت ترکیبات تری‌هالومتان‌ها در مناطق شمالی تهران باشد. کمترین غلظت‌ها در منطقه بیرون از محدوده آب و فاضلاب تهران مشاهده شده است که به عنوان منطقه ۷ در این تحقیق معرفی شده است. با توجه به این‌که تمام منابع تأمین آب شرب در منطقه ۷ از چاههای زیرزمینی است، بنابراین نتایج به دست آمده کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. در ضمن نسبت تری‌هالومتان‌های برم‌دار مانند برموفرم به کل تری‌هالومتان‌ها در مناطقی که از آبهای زیر زمینی استفاده می‌کنند به دلیل بالاتر بودن احتمالی غلظت برم در آبهای زیر زمینی، بیشتر از مناطقی است که از آبهای سطحی استفاده می‌کنند. غلظت متوسط کل تری‌هالومتان‌ها در

نمودار شماره (۱) و نمودار شماره (۲) نشان می‌دهد که غلظت تری‌هالومتان‌ها در فصل بهار بیشتر از فصل تابستان است و کلروفورم بیشترین غلظت و برموفورم کمترین غلظت را در فصل بهار و تابستان در آب شرب تهران دارند.

**نمودار شماره (۱): میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب****مناطق تهران، بهار ۱۳۸۸****نمودار شماره (۲): میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب****مناطق تهران تابستان ۱۳۸۸**

می‌رسد. شایان ذکر است که با توجه به وجود صدها هزار چاه فاضلاب خانگی، صنعتی و تجاری در تهران، احتمال آلودگی آبهای مناطق زیرزمینی به سایر آلاینده‌های آلی بسیار زیاد است. بررسی و اندازه‌گیری این آلاینده‌ها از قبیل ترکیبات هیدروکربن‌های کلردار مثل PCE، TCE، DCE و غیره بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

یادداشت‌ها

- 1-Gastrointestinal System
- 2-Slope factor
- 3-Unit-risk
- 4-Holding time

آب شرب تهران کمتر از حد مجاز ۸۰ppb تعیین شده توسط آژانس سازمان حفاظت محیط زیست امریکاست. اما همین غلظت‌ها نیز می‌تواند باعث افزایش احتمال ریسک سرطان در جمعیت تهران شود. بنابراین بررسی و ارائه راهکار برای کاهش غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب تهران بسیار ضروری به نظر می‌رسد. کاهش غلظت کل کربن آلی موجود در منابع تأمین‌کننده آب شرب یکی از بهترین راه‌های کاهش غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب است. ارزیابی خطرهای ریسک سرطان برای غلظت‌های تری‌هالومتان موجود در آب شرب تهران نیز بسیار ضروری به نظر

منابع مورد استفاده

شرکت آب و فاضلاب تهران. ۱۳۸۸. <http://tww.tpww.co.ir>

ترابیان، ع. ۱۳۷۷. بررسی احتمال وجود تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی کشور و راههای حذف آن، بهداشت ایران، دوره ۷: شماره ۱-۲، ص ۳۵-۴۲

ATSDR, 1989. Toxicological Profile for Bromodichloromethane (Final Report). NTIS Accession No. PB90-167461. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Atlanta, GA.

ATSDR, 1997. Toxicological profile for Chloroform. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, GA.

ATSDR, 1990. Toxicological profile for bromoform and chlorodibromomethane. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, GA:

Bowman, R.E., M.P., Heironimus, J.R., Allen. 1978. Correlation of body burden with behavioral toxicology in monkeys. Pharmacol Biochem Behav. 1978; 9: 49-56.

CDPH, .2008. California Department of Public Health, (Electronic Data base). Available on line: www.cdph.ca.gov

Chu, I. and et al. 1980. Subacute toxicity and mutagenicity . Bull. Environ. Contam. Toxicol., 25, 400-403.

Mink, F.L., J.T., Brown and J., Rickabaugh. 1986. Absorption, distribution, and excretion of ¹⁴C-trihalomethanes in mice and rats. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 37: 752-758.

Parra, P. and et al. 1986. Analysis, accumulation and central effects of trihalomethanes. I. Bromoform. Toxicol. Environ. Chem. 24: 79-91.

Stevens, J.L., M.W., Anders. 1979. Metabolism of haloforms to carbon monoxide – III. Studies on the mechanism of the reaction. Biochem. Pharmacol. 28: 3189-3194.

USEPA, (IRIS). 2009. Integrated Risk Information System (IRIS). (Electronic data base). Available on line: <http://www.epa.gov/iris/2009>.

Von-Oettingen, W. F. 1985. Bromoform and the Halogenated Aliphatic, Olefinic, Cyclic, Aromatic, and Aliphatic-Aromatic Hydrocarbons Including the Halogenated Insecticides, their Toxicity and Potential Dangers, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Washington, DC.