

«مقاله‌ی اصیل»

## تعیین غلظت ترکیبات تری‌هالومتان در شبکه‌ی توزیع آب اهواز در طی

سال‌های ۹۰-۱۳۸۹

علی اکبر بابایی<sup>۱</sup>، لیلا عطاری<sup>۲\*</sup>، مهدی احمدی مقدم<sup>۱</sup>، سید نادعلی علوی<sup>۲</sup>،  
کامبیز احمدی انگالی<sup>۳</sup>

### چکیده

زمینه: تری‌هالومتان‌ها جزو عمده‌ترین ترکیبات جانبی کلرزنی آب آشامیدنی هستند که خطرات بالقوه و سرطان‌زایی آنها به اثبات رسیده است. هدف از این مطالعه بررسی غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شهر اهواز می‌باشد.

روش: در این مطالعه که از نوع توصیفی - مقطعی بوده، نمونه‌برداری در مدت زمان ۳۶ هفته و در فصول زمستان، بهار و تابستان (۹۰-۱۳۸۹) از تصفیه‌خانه‌های شماره‌ی ۱ و ۲ شهر اهواز و ۳ نقطه در شبکه توزیع آب انجام گرفت. نمونه‌های آب شرب از نظر ۴ ترکیب تری‌هالومتان با گاز کروماتوگرافی و تکنیک Head Space مورد آنالیز قرار گرفتند. از نرم‌افزار SPSS جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. جهت مقایسه‌ی میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها بین فصول مختلف و بین نقاط نمونه‌برداری از آزمون ANOVA یک‌راهه و برای مقایسه‌ی میانگین غلظت‌ها بین دو شبکه توزیع از آزمون T-Test استفاده شد.

نتایج: در این مطالعه غلظت کل تری‌هالومتان‌ها در فصل زمستان از ۲۰/۵ تا ۸۶ میکروگرم بر لیتر، در فصل بهار از ۱۸/۹۲ تا ۶۶/۰۶ میکروگرم بر لیتر و در فصل تابستان از ۱۷/۳۵ تا ۱۷۴/۷۵ میکروگرم بر لیتر متغیر بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت کل تری‌هالومتان‌ها تنها در ۶ مورد بیشتر از حد مجاز EPA ( $80 \mu\text{g/L}$ ) و تنها در ۳ مورد بیشتر از استاندارد ایران و رهنمود سازمان بهداشت جهانی ( $\sum\text{THM/WHO guideline} \leq 1$ ) می‌باشد. به طور کلی میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها در فصل تابستان ۱/۶ بار بیشتر از بهار و ۱/۴ بار بیشتر از پاییز بود. ترکیبات تری‌هالومتان بر مبنای نسبت به نوع کلرینه غالب بودند.

واژگان کلیدی: تری‌هالومتان، کروماتوگرافی گازی، شبکه‌ی توزیع، آب شرب، اهواز.

۱- مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی - شاپور اهواز، اهواز، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۶۳۹۳۷۳۲

Email: ababaei52@gmail.com

تلفن: ۰۹۱۲۶۷۷۹۲۷۳

Email: ahmadi241@yahoo.com

تلفن: ۰۹۱۶۳۰۳۶۸۴۵

Email: nadali.alavi@gmail.com

تلفن: ۰۹۳۸۹۹۷۶۱۰۴

Email: kzfir@yahoo.com

۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۶۳۹۳۷۳۲

Email: ababaei52@gmail.com

تلفن: ۰۹۱۲۶۷۷۹۲۷۳

Email: ahmadi241@yahoo.com

تلفن: ۰۹۱۶۳۰۳۶۸۴۵

Email: nadali.alavi@gmail.com

تلفن: ۰۹۱۷۶۱۵۴۳۵۶

Email: Atari\_leila@yahoo.com

۳- گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی - شاپور اهواز، اهواز، ایران.

تلفن: ۰۹۳۸۹۹۷۶۱۰۴

Email: kzfir@yahoo.com

\* نویسنده‌ی مسؤول:

لیلا عطاری؛ ایران، اهواز، بلوار گلستان، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، دانشکده‌ی بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط.

تلفن: ۰۹۱۷۶۱۵۴۳۵۶

Email: Atari\_leila@yahoo.com

## مقدمه

کلرومتان، دی‌برموکلرو متان و برموفرم در آب آشامیدنی را به ترتیب: ۳۰۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر در نظر گرفته است. همچنین طبق این رهنمود باید مجموع نسبت غلظت هر تری‌هالومتان به مقدار رهنمود کوچک‌تر مساوی ۱ باشد ( $\sum \text{THM}/\text{WHO guideline} \leq 1$ ) (۶). در آخرین مجموعه ویژگی‌های کیفی آب آشامیدنی ایران (سال ۱۳۸۸) غلظت‌های مجاز جهت تری‌هالومتان‌ها دقیقاً مطابق با رهنمود WHO (World Health Organization) تعیین شد (۷). غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی تحت تأثیر برخی فاکتورها از قبیل دما و pH آب، غلظت و ماهیت مواد آلی طبیعی، غلظت کلر مصرفی، غلظت یون برم و زمان تماس کلر با آب می‌باشد (۸ و ۹).

بر اساس مطالعه‌ای که ترابیان در سال ۱۳۷۳ انجام داد، کیفیت آب خام و خروجی تصفیه‌خانه‌های شهرهای اهواز، بندر عباس، شیراز، اصفهان، مشهد و تهران به مدت ۳ ماه از نظر میزان کل تری‌هالومتان‌ها با روش استخراج مایع-مایع مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی مشخص شد که غلظت تری‌هالومتان‌ها در اهواز و بندر عباس فراتر از حد مجاز است (۱۰).

بر اساس مطالعه‌ای که شمشیری در سال ۱۳۸۶ انجام داد، میانگین غلظت کل تری‌هالومتان‌ها در فصل پاییز در آب خروجی از تصفیه‌خانه شماره‌ی یک ۱۴۲/۴۴ میکروگرم بر لیتر، در پردیس ۱۱۷/۲۹ میکروگرم بر لیتر و در کیانپارس ۱۶۸/۹ میکروگرم در لیتر بود، که این مقادیر بیش از حد مجاز تعیین شده توسط EPA بود (۱۱).

رود کارون به عنوان تنها منبع تأمین آب آشامیدنی شهر اهواز بوده و امروزه بیش از پیش در معرض انواع آلودگی‌ها در اثر ورود فاضلاب‌ها می‌باشد، از سوی دیگر وقوع بحران‌های کم‌آبی در سال‌های اخیر و افزایش غلظت ترکیبات آلی و پیش‌سازهای تری‌هالومتان منجر به افزایش خطر احتمال تشکیل تری‌هالومتان‌ها در طی فرآیند

در اغلب نقاط جهان، کلرزی آب به دلیل مقرون به صرفه بودن و داشتن راندمان قابل قبول در حذف پاتوژن‌ها نسبت به سایر گندزداها، به عنوان یک روش گندزدایی پرکاربرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. اغلب آب‌های سطحی حاوی مواد آلی هستند که این مواد در نتیجه‌ی تجزیه‌ی طبیعی برخی مواد آلی ناشی از فعالیت‌های انسانی و سیستم‌های اکولوژیکی به آب‌های سطحی راه می‌یابند. مواد آلی طبیعی (NOM) به راحتی توسط فرآیندهای متداول تصفیه آب قابل حذف نیستند و بدین طریق به سیستم توزیع آب راه می‌یابند و در اثر واکنش با کلر یا سایر مواد گندزدا، ترکیبات جانبی گندزدایی را تشکیل می‌دهند (۳ و ۱). تری‌هالومتان‌ها اولین و متداول‌ترین این ترکیبات می‌باشند که در آب‌های کلرزی شده یافت شده‌اند و شامل ۴ ترکیب اصلی: کلروفرم ( $\text{CHCl}_3$ )، برمودی کلرومتان ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ )، دی-برموکلرومتان ( $\text{CHClBr}_2$ ) و برموفرم ( $\text{CHBr}_3$ ) می‌باشند. این ترکیبات به علت داشتن پتانسیل اثرات سرطان‌زایی، امروزه باعث دل‌مشغولی و نگرانی مقامات بهداشتی هستند. اخیراً اپیدمیولوژیست‌ها به نتایجی در مورد پیامدهای تولیدمثلی ناشی از تری‌هالومتان‌ها از قبیل تولد زود هنگام نوزادان، مرده‌زایی، سقط جنین و عقب ماندگی رشد داخل رحمی نوزادان (IUGR) (Intra- Uterine Growth Reduction) رسیده‌اند (۴). با توجه به مخاطرات بهداشتی تری‌هالومتان‌ها، U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) در سال ۱۹۷۹ قوانینی را برای کنترل تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی منتشر کرد که طبق این قانون حداکثر مقدار مجاز برای کل تری‌هالومتان‌ها تحت عنوان متوسط مقدار سالانه در آب آشامیدنی  $100 \mu\text{g/l}$  تعیین شد که از سال ۱۹۹۸ تاکنون این مقدار به  $80 \mu\text{g/l}$  تقلیل یافته است (۵). سازمان بهداشت جهانی نیز طبق رهنمودی حداکثر مقدار قابل قبول کلروفرم، برمودی

اصلی شبکه توزیع و از ساختمان‌های عمومی مثل خوار و بار فروشی گرفته شدند. جهت نمونه‌گیری از نمونه‌برداری لحظه‌ای استفاده گردید، به همین منظور شیر آب را به مدت سه تا پنج دقیقه باز گذاشته تا آب مستقیماً از شبکه توزیع بیاید. از قبل محلول تیوسولفات سدیم ۱۰ درصد (۰/۵ میلی‌لیتر به ازای هر ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه) جهت حذف تأثیر کلر باقیمانده بر تشکیل بیشتر THMs به ظروف نمونه‌برداری اضافه شد. سپس ظروف نمونه‌برداری کاملاً از آب پر شد به نحوی که هیچ فضای خالی در بالای ظرف باقی نماند (۱۳). نمونه‌ها بلافاصله جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند و در طول مسیر نیز در کنار جعبه‌های یخ قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از حمل به آزمایشگاه، بلافاصله از نظر هر چهار ترکیب تری-هالومتان، توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل 6890 (ساخت شرکت Agilent آمریکا)، مجهز به دتکتور  $\mu$ ECD با تکنیک Head space آنالیز شدند (۱۴-۱۶)، کالیبراسیون دستگاه از قبل توسط ساخت و تزریق شش سطح غلظتی: ۲/۵، ۶، ۱۵، ۴۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ میکروگرم بر لیتر از هر ترکیب انجام گرفت و مقادیر  $R^2$  برای منحنی کالیبراسیون کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برمکلرومتان و برموفرم به ترتیب: ۰/۹۹۹، ۰/۹۹۹، ۰/۹۹۸ و ۰/۹۹۸ به دست آمد. حد تشخیص روش در این مطالعه برای کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برمکلرومتان و برموفرم به ترتیب: ۰/۱۵، ۰/۱۱، ۰/۱۲ و ۰/۱۵ میکروگرم بر لیتر به دست آمد. درصد بازیابی و دقت روش اندازه‌گیری، نمونه‌های آب اسپایک شده با ۱، ۵ و ۲۵ میکروگرم بر لیتر ترکیبات مختلف کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی-برموکلرومتان و برموفرم با ۷ تزریق در سه روز متفاوت بررسی گردید. درصد ریکواری روش اندازه‌گیری ترکیبات مورد مطالعه به ترتیب: ۹۰-۸۴ درصد، ۹۸/۲-۸۷/۱، ۹۱/۸-۸۳/۱ درصد و ۹۰/۴-۸۴/۴ درصد و انحراف معیار نسبی (RSD) روش اندازه‌گیری برای ترکیبات مختلف به ترتیب: ۶/۶-۳/۷ درصد، ۸/۷-۴/۲ درصد، ۵/۷-۳/۸ درصد و ۶/۲-۲/۷ درصد حاصل گردید.

تصفیه آب گردیده است، به همین دلیل در این مطالعه سعی بر آن شده تا غلظت تری‌هالومتان‌ها در دو شبکه‌ی توزیع آب متعلق به تصفیه‌خانه‌های شماره‌ی ۱ و ۲ شهر اهواز (که تا بیش از ۹۰ درصد آب شرب این شهر را تأمین می‌کنند) در سه فصل زمستان، بهار و تابستان بررسی شود.

## روش

این مطالعه از نوع توصیفی-مقطعی بوده که در بازه‌ی زمانی ۳۶ هفته‌ای (از دی‌ماه ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۰)، انجام گرفت. تعداد نمونه‌ها با توجه به انحراف معیار نمونه‌هایی که قبلاً بررسی شده بود، به کمک معادله پیشنهادی توسط کتاب استاندارد متد، برآورد شد (معادله-۱) (۱۲).

$$N \geq \left( \frac{t.s}{U} \right)^2$$

معادله-۱.

پس از تعیین تعداد نمونه، توالی نمونه‌برداری‌ها نیز به صورت دو هفته یک‌بار تعیین گردید. نقاط مورد نمونه‌برداری در شبکه‌ی توزیع تصفیه‌خانه شماره‌ی ۲، شامل خروجی تصفیه‌خانه (ابتدای شبکه)، دانشگاه و فرهنگ-شهر (انتهای شبکه) و در شبکه‌ی توزیع تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ به دلیل کوتاه‌تر بودن طول شبکه، شامل دو نقطه ابتدا (خروجی تصفیه‌خانه) و انتهای شبکه (کوروش) به عنوان نقاط نمونه‌برداری انتخاب شدند، نقاط نمونه‌برداری در شبکه‌های توزیع، طی مشاوره با کارشناسان شرکت آب و فاضلاب اهواز و بر اساس فاصله از تصفیه‌خانه‌ها انتخاب شدند. در این مطالعه در مجموع ۹۰ مورد نمونه‌برداری و آنالیز انجام گرفت. برای نمونه‌گیری از ظروف شیشه‌ای کدر ۱۰۰ میلی‌لیتری دارای در کاملاً آب بند استفاده شد. این ظروف در چهار مرحله شامل شستشو با دترجنت، استن و سپس در مرحله‌ی سوم با متانول و در آخر نیز با آب مقطر فراوان شستشو داده شدند و در آن ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت خشک گردیدند. در این مطالعه نمونه‌ها از خطوط

شبکه‌ی توزیع تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ از ۱۸/۹۲ تا ۹۹/۵ میکروگرم بر لیتر به دست آمد.

طبق نتایج حاصله در بین ۹۰ نمونه‌ی مورد بررسی، تنها غلظت کل تری‌هالومتان در ۶ نمونه (۶/۶ درصد) بیشتر از حد مجاز تعیین شده توسط EPA ( $80 \mu\text{g/L}$ ) بود که ۵ مورد مربوط به نقاط انتهایی شبکه‌های توزیع تصفیه‌خانه‌های شماره‌ی ۱ و ۲ در فصل تابستان می‌باشد (منقطه‌ی دانشگاه:  $174 \mu\text{g/L}$  و  $152$ ، منقطه‌ی فرهنگ شهر:  $84/97 \mu\text{g/L}$ ،  $99/5$  و  $82/77$ ) و یک مورد مربوط به منقطه‌ی انتهایی شبکه‌ی توزیع تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ در فصل زمستان می‌باشد (کوروش:  $86/26 \mu\text{g/L}$ ) (نمودار ۱ الف)). از ۶ نمونه‌ی ذکر شده، در سه نمونه غلظت کل تری‌هالومتان بیش از حد مجاز پیشنهاد شده توسط مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و رهنمود سازمان بهداشت جهانی ( $\Sigma\text{THM}/\text{WHO} \leq 1$  Guideline) بود که هر ۳ نمونه مربوط به نقاط انتهایی دو شبکه‌ی توزیع در فصل تابستان می‌باشد (دانشگاه:  $1/6$  و  $1/85$ ، کوروش:  $1/06$ ) (نمودار ۱ ب)). طبق نمودار ۲ میانگین غلظت کل تری‌هالومتان‌ها در نقاط مربوط به شبکه‌ی توزیع تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۲ شامل خروجی تصفیه‌خانه، دانشگاه و فرهنگ شهر به ترتیب:  $24/24 \pm 12/42$ ،  $59/97 \pm 40/22$  و  $44/48 \pm 17/41$  میکروگرم بر لیتر و در نقاط مربوط به شبکه‌ی توزیع تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ شامل نقطه‌ی خروجی تصفیه‌خانه و کوروش به ترتیب:  $32 \pm 11/96$  و  $54/05 \pm 22/63$  میکروگرم بر لیتر به دست آمد. میانگین کل تری‌هالومتان‌ها در شبکه‌ی توزیع تصفیه‌خانه‌های شماره‌ی ۱ و ۲ نیز به ترتیب برابر با  $47/56$  و  $43/3$  میکروگرم بر لیتر بود. بر اساس آزمون آماری ANOVA یک‌راهه و مقایسه‌ی میانگین غلظت کل تری‌هالومتان‌ها بین سه فصل تابستان و بهار و زمستان، تنها بین فصل تابستان با بهار و زمستان تفاوت معنادار آماری مشاهده گردید ( $P\text{-value} < 0/05$ )، ولی بین دو فصل بهار و زمستان هیچ‌گونه اختلاف معنادار

درصد‌های بازیابی و RSD ها بیانگر مناسب بودن روش مورد استفاده جهت اندازه‌گیری‌ها بود. ستون مورد استفاده جهت جداسازی این ترکیبات DB-1701 بود. برنامه‌ی دمایی ستون مورد استفاده در این آنالیز شامل ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد به مدت ۱ دقیقه پس از آن دما با سرعت ۵ درجه در دقیقه به ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد رسیده و بلافاصله پس از آن با سرعت ۱۰۰ درجه در دقیقه به ۲۰۰ درجه‌ی سانتیگراد رسیده و به مدت ۳ دقیقه در این دما ثابت ماند. گاز حامل و گاز کمکی هر دو نیتروژن بود که به ترتیب با جریان ۱/۵ میلی لیتر بر دقیقه و ۶۰ میلی‌لیتر بر دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. در خصوص برنامه Head space، دمای آون ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد و مدت زمان نگهداری ویال در آن ۸ دقیقه بود.

نتایج به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Excel و SPSS نسخه‌ی ۱۷ تجزیه و تحلیل گردید. جهت مقایسه‌ی میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها بین نقاط و بین فصول نمونه‌برداری از آزمون ANOVA یک‌راهه و جهت مقایسه‌ی میانگین غلظت‌ها بین دو سیستم توزیع آب مورد مطالعه از آزمون T-Test استفاده شد.

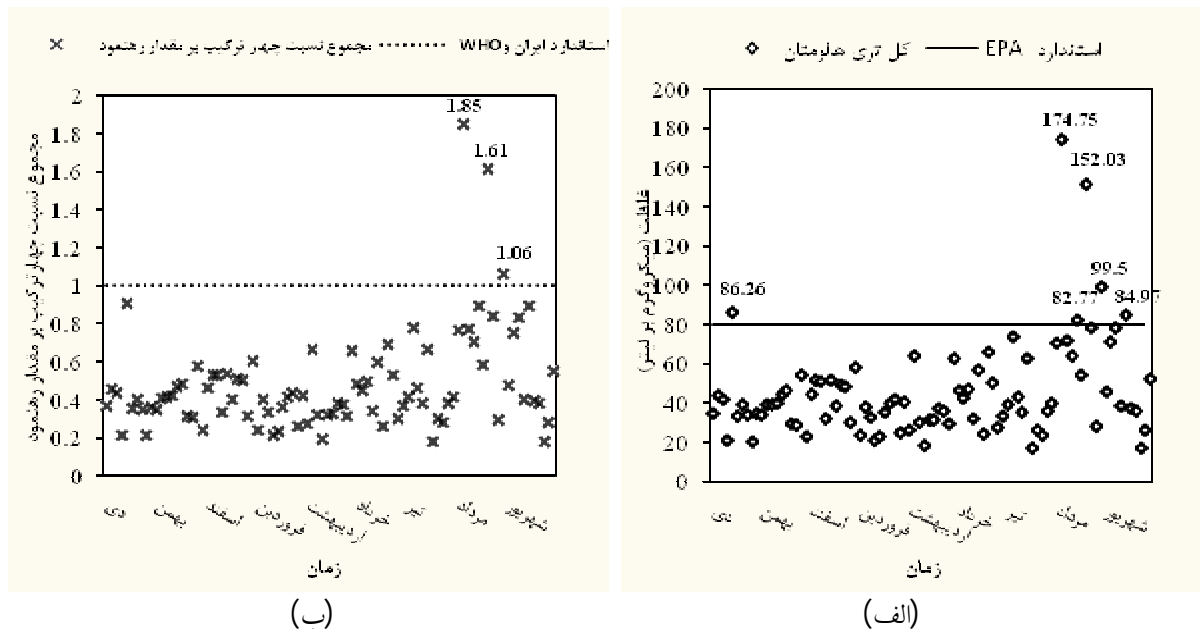
## نتایج

در این مطالعه میانگین غلظت کل تری‌هالومتان‌ها در فصل تابستان  $58/97 \pm 36$  میکروگرم بر لیتر، در فصل بهار  $37/49 \pm 12/8$  میکروگرم بر لیتر و در فصل زمستان  $41/13 \pm 13/24$  میکروگرم بر لیتر بود (جدول ۱).

غلظت کل تری‌هالومتان‌ها در فصل زمستان از  $20/5$  تا  $86$  میکروگرم بر لیتر، در فصل بهار از  $18/92$  تا  $66/06$  میکروگرم بر لیتر و در فصل تابستان از  $17/35$  تا  $174/75$  میکروگرم بر لیتر متغیر بود. همچنین غلظت کل تری‌هالومتان‌ها در طول مطالعه در شبکه‌ی توزیع تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۲، از  $17/35$  تا  $174/75$  میکروگرم بر لیتر و در

تری‌هالومتان‌ها در مدت مطالعه برابر با ۴۵/۸۵ میکروگرم بر لیتر بود، که میانگین غلظت‌ها برای کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی‌برموکلرومتان و برموفرم به ترتیب برابر با: ۱۹/۷±۹/۴۴ و ۱۶/۹۷±۱۱/۰۶، ۶/۵۵±۵/۰۴، ۲/۶۲±۲/۵۸ میکروگرم بر لیتر بود که کلیه‌ی غلظت‌ها کمتر از استاندارد ایران و رهنمود سازمان بهداشت جهانی است.

آماري مشاهده نشد (P-value = ۰/۸). همچنین بر اساس آزمون آماری T-Test در مقایسه‌ی میانگین غلظت کل تری‌هالومتان‌ها بین دو شبکه توزیع تصفیه‌خانه‌های شماره‌ی ۱ و ۲ هیچ‌گونه اختلاف معنادار آماری مشاهده نشد (P-value = ۰/۴۳). نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت ترکیبات تری‌هالومتان برومینه ۴ برابر بیشتر از اجزای کلرینه است (جدول ۱ و نمودار ۲). میانگین کل

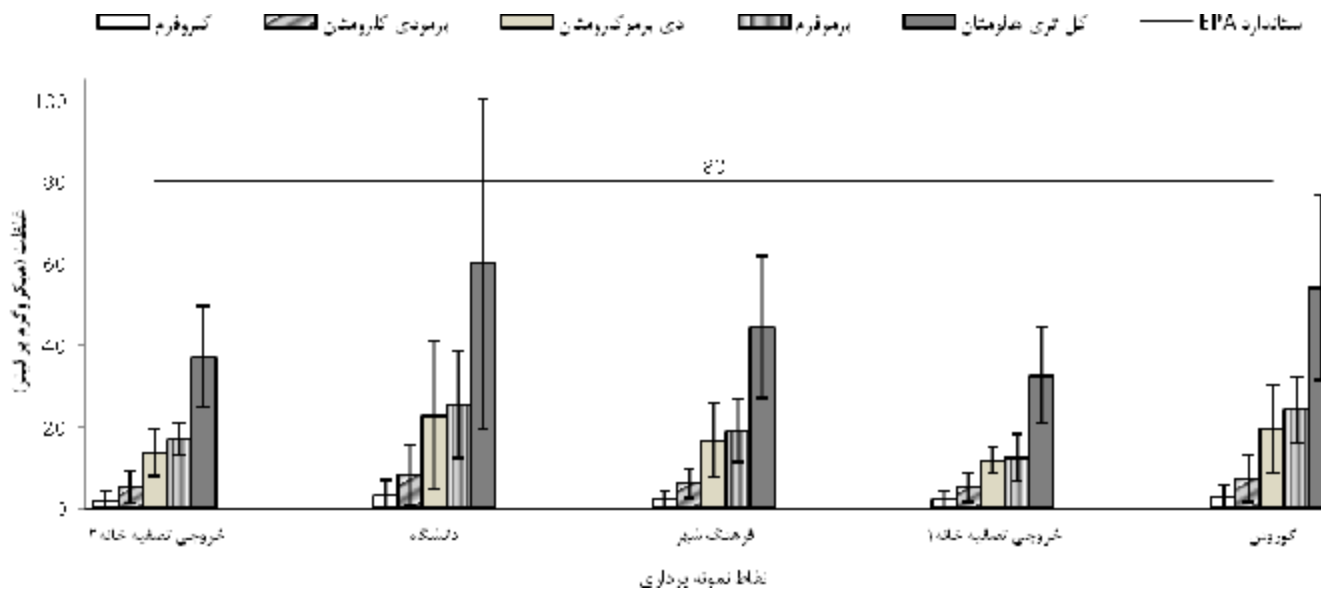


نمودار ۱: مقایسه‌ی غلظت کل تری‌هالومتان در کلیه‌ی موارد نمونه‌برداری در بازه‌ی زمانی مطالعه شده با مقادیر استاندارد، (الف) مقایسه‌ی کل تری‌هالومتان با استاندارد EPA، (ب) مقایسه‌ی کل تری‌هالومتان با استاندارد ایران و رهنمود WHO

جدول ۱: مقایسه‌ی میانگین فصلی غلظت تری‌هالومتان‌ها (µg/L) در آب شرب شهر اهواز

کل تری هالومتان	برموفرم	دی برمواکلرومتان	برمودی کلرومتان	کلروفرم	
41/1 (13)	19 (7/55)	14 (4/64)	5/5 (1/68)	2/55 (0/6)	زمستان n=30
37/49 (12/8)	18/11 (7/07)	13/63 (5/76)	4/3 (1/54)	1/45 (0/99)	بهار n=30
58/97 (36/1)	21/96 (12/58)	23/26 (16/12)	9/88 (7/41)	3/87 (4/018)	تابستان n=30

نکته: مقادیر درون پرانتز مربوط به انحراف معیار داده‌ها می‌باشد.



نمودار 2: تغییرات میانگین غلظت تری هالومتان‌ها در نقاط مختلف شبکه‌ی توزیع آب تصفیه‌خانه‌های شماره‌ی 1 و 2

## بحث

شده، بنابراین سرعت بالای واکنش‌ها باعث مصرف بیشتر کلر و کاهش کلر باقیمانده در شبکه‌ی توزیع می‌شود و از طرفی باعث می‌شود که دز کلر مصرفی در تصفیه‌خانه‌ها جهت تأمین کلر باقیمانده مورد نیاز در طول شبکه‌ی توزیع افزایش داده شود (۱۸ و ۱۹). در مطالعه‌ی حاضر نیز می‌توان به این نتیجه رسید که اختلاف غلظت‌ها می‌تواند مرتبط با تغییرات فصلی در دمای آب باشد، چون با افزایش دمای آب سرعت واکنش‌ها و از طرفی کلر مورد نیاز تصفیه‌خانه افزایش پیدا می‌کند. در رابطه با عدم تفاوت غلظت‌ها بین دو فصل بهار و زمستان می‌توان به این نکته اشاره کرد که احتمالاً در این دو فصل تغییرات چشم‌گیری در دما یا سایر پارامترهای تأثیرگذار بر غلظت تری هالومتان‌ها رخ نداده است.

همچنین در مطالعه‌ی حاضر با افزایش فاصله از تصفیه‌خانه‌ها بر غلظت تری هالومتان‌ها افزوده شده است، مطالعات مختلف در این زمینه نشان داده‌اند که این

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه غلظت تری-هالومتان‌ها در فصل تابستان نسبت به بهار و زمستان بیشتر بود. عندلیب و همکاران در سال ۱۳۹۰، حداکثر و حداقل میزان تری هالومتان‌ها را در آب شرب شهر یزد برابر با ۵۱/۱۴ و ۱/۶ میکروگرم بر لیتر گزارش کردند که به ترتیب مربوط به فصول تابستان و زمستان می‌شد. در این مطالعه همبستگی بالایی بین دما و کلر آزاد باقیمانده با غلظت تری هالومتان‌ها به دست آمد، در صورتی که علت بیشتر بودن غلظت‌ها در فصل تابستان نسبت به سایر فصول را افزایش در دمای آب و غلظت کلر باقیمانده دانستند (۱۷). همچنین تورز (Toroz) و یویاک (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای که با عنوان تغییرات فصلی غلظت تری-هالومتان‌ها در سیستم توزیع آب شهر استانبول انجام دادند، دریافتند که غلظت تری هالومتان‌ها در فصل تابستان ۱/۵ بار بیشتر از همان غلظت‌ها در بهار می‌باشد، چون تغییرات فصلی دمای آب باعث تغییر در سرعت واکنش‌ها

بیشتری به واکنش با یون‌های برم دارند، که این تمایل حتی در غلظت‌های پایین‌تر یون برم نسبت به یون کلر نیز صدق می‌کند و باعث افزایش ترکیبات تری‌هالومتان برمینه نسبت به ترکیبات کلرینه می‌شود (۲۹). در بسیاری از مطالعات ثابت شده که حضور هم‌زمان برمید و کلر در آب طی فرآیند کلرزنی، می‌تواند منجر به تشکیل ترکیبات جانبی برمینه و برمواکلرینه شود (۳۰).

در این مطالعه به دلیل محدودیت در امکانات آزمایشگاهی و هزینه‌بر بودن انجام آزمایش‌ها، بررسی تری‌هالومتان‌ها در فصل پاییز انجام نگرفت، لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی بررسی غلظت‌ها در فصل پاییز و نقاط بیشتری از شبکه‌های توزیع انجام گیرد.

### نتیجه‌گیری

بر اساس این مطالعه غلظت کل تری‌هالومتان‌ها تنها در ۶ مورد بیشتر از حد مجاز EPA ( $80 \mu\text{g/L}$ ) مشاهده شد که این نقاط مربوط به نقاط انتهایی هر دو شبکه‌ی توزیع در فصل تابستان بود و تنها یک مورد مربوط به فصل زمستان بود. تنها در سه مورد از اندازه‌گیری‌ها، غلظت تری‌هالومتان‌ها بیشتر از حد مجاز استاندارد ایران و رهنمود سازمان بهداشت جهانی ( $\sum\text{THM}/\text{WHO} \leq 1$  Guideline) بود. به طور کلی میانگین غلظت‌ها در فصل تابستان  $1/6$  بار بیشتر از بهار و  $1/4$  بار بیشتر از پاییز بود. کمترین و بیشترین غلظت تری‌هالومتان‌ها به ترتیب مربوط به نقاط ابتدای شبکه و انتهایی شبکه می‌باشد. همچنین بین میانگین غلظت کل تری‌هالومتان‌ها در دو شبکه‌ی توزیع شماره‌ی ۱ و ۲ تفاوت معناداری مشاهده نگردید. در این مطالعه ترکیبات تری‌هالومتان برومینه ۴ برابر بیشتر از انواع کلرینه بود که این تفاوت غلظت‌ها می‌تواند مربوط به غلظت یون برم و ماهیت مواد آلی طبیعی در آب باشد. بر اساس نتایج به دست آمده پایش ترکیبات تری‌هالومتان در شبکه‌ی توزیع آب اهواز، به خصوص در فصل تابستان و نقاط انتهایی شبکه‌های توزیع آب باید به طور مداوم انجام گیرد.

تغییرات مکانی در غلظت تری‌هالومتان‌ها می‌تواند مرتبط با زمان ماند آب در شبکه‌ی توزیع باشد (۱۳، ۲۰ - ۲۲). بر این اساس طبق مطالعه‌ای در کانادا (۲۰۰۴)، میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها در انتهای شبکه‌ی توزیع بیشتر از سایر نقاط بوده است (۲۳). همچنین جعفری و همکاران (۱۳۸۷)، کمترین و بیشترین مقدار تری‌هالومتان در شبکه‌ی توزیع شهر لاهیجان را به ترتیب در خروجی تصفیه‌خانه (کمتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر) و انتهای شبکه‌ی توزیع (بالاتر از ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر) گزارش کردند که بیانگر ارتباط بین زمان تماس و تشکیل ترکیبات ناشی از کلرزنی می‌باشد، به طوری که با افزایش مدت زمان تماس، غلظت تری‌هالومتان‌ها بالا می‌رود (۲۰). بنابراین در مطالعه‌ی حاضر نیز بیشتر شدن غلظت‌ها با افزایش فاصله از تصفیه‌خانه را می‌توان به افزایش زمان ماند آب در شبکه‌ی توزیع و از طرفی افزایش زمان تماس بین کلر و مواد پیش‌ساز تری‌هالومتان ارتباط داد و از آنجایی که تری‌هالومتان‌ها بر خلاف هالواستیک اسیدها در واکنش کلر با مواد پیش‌ساز جزء فرآورده‌های نهایی واکنش هستند افزایش زمان تماس بین کلر و مواد پیش‌ساز و به دنبال آن افزایش زمان واکنش باعث افزایش غلظت آنها در شبکه توزیع می‌شود (۱۳ و ۲۴).

غلظت کل تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شهر اهواز نسبتاً پایین می‌باشد که در این میان ترکیبات برمینه نسبت به نوع کلرینه غالب هستند. در برخی مطالعات انجام شده در این زمینه نیز ترکیبات برمینه نسبت به نوع کلرینه اجزا غالب بوده‌اند (۲۵ - ۲۸) که این مطالعات دلیل یک چنین اختلاف غلظتی را با حضور غلظت‌های بالای یون برم در منبع آب مرتبط دانسته‌اند. در مطالعه‌ی حاضر نیز در رابطه با این اختلاف نسبت می‌توان گفت که هر دو عامل، غلظت یون برم در منبع آب و بیشتر بودن بخش غیرهیومیکی (مواد آب دوست) مواد آلی نسبت به بخش هیومیکی (آب گریز) آن در آب می‌تواند باعث به وجود آمدن چنین اختلاف نسبتی شده باشد. چون بخش غیر هیومیکی مواد آلی در حضور هر دو یون برم و کلر تمایل

جندی‌شاپور اهواز تأمین گردیده که نویسندگان مقاله مراتب تشکر و سپاس‌گزاری خود را اعلام می‌دارند. همچنین از پرسنل محترم آزمایشگاه تصفیه‌خانه‌ی آب شماره‌ی ۲ اهواز به خاطر همکاری در آنالیز نمونه‌ها سپاس‌گزاری می‌گردد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد لیلا عطاری می‌باشد، اعتبار مالی این پروژه در قالب طرح تحقیقاتی شماره‌ی U-89305 توسط دانشگاه علوم پزشکی

### References

- 1-Perez Payvon JL, [Herrero Martín S](#), García Pinto C, Moreno Cordero B. Determination of trihalomethanes in water samples: a review. *Anal Chim Acta* 2008;629(1-2):6-23.
- 2-Serodes JB, Rodriguez MJ, Li H, Bouchard C. Occurrence of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City area (Canada). *Chemosphere* 2003;51(4): 253-63.
- 3-Panyapinyopol B, Marhaba TF, Kanokkantapong V, Pavasant P. Characterization of precursors to trihalomethanes formation in Bangkoksourcewater. *J Hazard Mater* 2005;120(1-3):229-36.
- 4-Legay C, Rodriguez MJ, Serodes JB, Levallois P. Estimation of chlorination by-products presence in drinking water in epidemiological studies on adverse reproductive outcomes: a review. *SciTotal Environ* 2010;408(3):456-72.
- 5-US Environmental Protection Agency(USEPA). National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants and Disinfection By products Rule: Final Rule. *Federal Register* 2006;71(2):388-493.
- 6-World Health Organization(WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality, Second addendum. 3rd ed. Geneva: WHO; 2008.
- 7-Industrial research and standard institute of Iran (IRSII). Physical and chemical quality of drinking water. 5th ed. Tehran: IRSII ; 2009. [In Persian].
- 8-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.
- 9-Zhang H, Qu J, Liu H, Zhao X. Isolation of dissolvedorganicmatter in effluents from sewagetreatmentplant and evaluation of the influences on its DBPsformation. *JSepar Purific Technol* 2008;64(1):31-7.
- 10-Torabian A. [Investigation on trihalomethanes concentration in Iran drinking waters and usage a removal method for them]. *Iranian J of Public Health* 1998;27(1-2):35-42 [In Persian].
- 11-Shamshiri, A. Determination of trihalomethanes level in water treatment plants and drinking water of different areas in Ahvaz city [dissertation]. Ahvaz: Ahvaz Jundishapour Medical of Science Univ; 2007. [In Persian].
- 12- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federations (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22<sup>th</sup> ed. Washington D.C. 2002.
- 13-Rodriguez MJ, Serodes JB, Levallois P, Proulx F. Chlorinated disinfection by- products in drinking water according to source, treatment, season, and distribution location. *J Environ Eng Sci* 2007;6(4):355-65.
- 14-Gallard H, Von Gunten U. Chlorination of natural organic matter: kinetics of chlorination and of THM formation. *Water Res* 2002;36(1):65-74.
- 15-Kuivinen J, Johnsson H. Determination of trihalomethanes and some chlorinated solvents in drinking water by headspace technique with capillary column gas-chromatography. *Water Res* 1999;33(5):1201-8.
- 16-Mazloomi S, Mahvi AH, Fazlzade Davil M, Nazmara S, Fazlzade Mazloomi M, Rahmani K, et al. [Trihalometane concentration of Tehran drinking water]. *Proceedings of the 12th environmental health Conference*; 2009 Nov; Tehran, Iran. [In Persian]
- 17-Andalib AH, Ganjidoust H, Ayati B, Khodadadi A. [Investigation of amount and effective factors on trihalomethane production in potable water of Yazd]. *Iranian J Health Environ* 2011;4(2):137-48. [In Persian].
- 18-Toroz I, Uyak V. Seasonal variations of trihalomethanes (THMs) in water distribution networks of Istanbul City. *Desalination* 2005;176(1-3):127-41.
- 19-Rodriguez MJ, Serodes JB. Spatial and temporal evolution of trihalomethanes in three water distribution systems. *Water Res* 2001;35(6):1572-86.
- 20-Jaafari M, Taghavi K, Hasani A. [Survey the THMs value in drinking water in lahijan and suggestion in order to product control after disinfection]. *J Gilan Med Sci Univ* 2008;17(68):1-6. [In Persian].



- 21-Abdullah MP, Yew CH, Ramli MS. Formation, modeling and validation of trihalomethanes (THM) in Malaysian drinking water: a case study in the districts of Tampin, Negeri Sembilan and Sabak Bernam, Selangor, Malaysia. *Water Res* 2003;37(19):4637-44.
- 22-Ye B, Wang W, Yang L, Wei J, E X. Factors influencing disinfection by-products formation in drinking water of six cities in China. *J Hazard Mater* 2009;171(1-3):147-52.
- 23-Rodriguez MJ, Sérodes JB, Levallois P. Behavior of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water distribution system. *J Water Res* 2004;38(20):4367-82.
- 24-Yuefeng FX. [Disinfection byproducts in drinking water: formation, analysis, and control]. Trans by Ahmadi moghadam M, Asgari, A. Tehran: Avaye Ghalam ; 2009. [In Persian].
- 25-Kampioti AA, Stephanou EG. The impact of bromide on the formation of neutral and acidic disinfection by-products (DBPs) in Mediterranean chlorinated drinking water. *Water Res* 2002;36(10):2596-606.
- 26-Garcia-Villanova RJ, Garcia C, Gomez JA, Garcia MP, Ardanuy R. Formation, evolution and modeling of trihalomethanes in the drinking water of a town: II. In the distribution system. *Water Res* 1997;31(6):1405-13.
- 27-Uyak V, Toroz I. Investigation of bromide ion effects on disinfection by-products formation and speciation in an Istanbul water supply. *J Hazard Mater* 2007;149(2):445-51.
- 28-Semerjian L, Dennis J, Ayoub G. Occurrence, formation and speciation of trihalomethanes in drinking waters of Lebanon. Proceedings of the 10<sup>th</sup> international conference on Environmental Science and Technology: 2007 Sep 5-7; Kos Island, Greece.
- 29-Liang L, Singer PC. Factors influencing the formation and relative distribution of haloacetic acids and trihalomethanes in drinking water. *Environ Sci Technol* 2003;37(13):2920-8.
- 30-Tatsuhiko K, Nobuko M. Distribution of bromine/chlorine-containing disinfection by-products in tap water from different water sources in the Hyogo Prefecture. *J Health Sci* 2004;50(3):235-47.

## «Original Article»

**Determination of trihalomethanes concentration in Ahvaz water distribution network in 2011**

Ali Akbar Babaei<sup>1,2</sup>, Leila Atari<sup>\*2</sup>, Mehdi Ahmadi<sup>1,2</sup>, Nadali Alavi<sup>1,2</sup>,  
Kambiz Ahmadi Angali<sup>1,3</sup>

1-Environmental Technologies  
Research Center, Ahvaz Jundishapur  
University of Medical Sciences,  
Ahvaz, Iran.

2-Department of Environmental  
Health Engineering, School of  
Health, Ahvaz Jundishapur  
University of Medical Sciences,  
Ahvaz, Iran.

3-Department of Biostatistics and  
Epidemiology, School of Health,  
Ahvaz Jundishapur University of  
Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

\*Corresponding Author:

Leila Atari; Department of  
Environmental Health Engineering,  
School of Health, Ahvaz Jundishapur  
University of Medical Sciences,  
Ahvaz, Iran.  
Tel: 09176154356  
Email: Atari\_Leila@yahoo.com

**Abstract**

**Background:** Trihalomethanes (THMs) are major group of chlorinated by products, potentially hazardous and carcinogenicity of these compounds was recognized. The purpose of this study was survey on THMs concentration in Ahvaz drinking water.

**Methods:** A descriptive cross-sectional study was based on 36-week sampling program during the winter, spring and summer of 2011 in water distribution network of the No. 1 and No. 2 water treatment plants (WTP1 and WTP2) in Ahvaz city was conducted. Sampling in the distribution networks was taken from finished water and three points of distribution networks. THM species analyses carried out by gas chromatograph system (GC/ $\mu$ ECD) with head space technique. SPSS software was used for data analysis. One-way ANOVA test was used for THMs average comparison between seasons and sampling point and T-test was used for comparison between two distribution networks.

**Results:** In this study, the total THMs determined in winter, spring and summer ranged from 20.5-86 $\mu$ g/L, 18.92-66.06 $\mu$ g/L and 17.35-174.75 $\mu$ g/L respectively.

**Conclusion:** According to this study, only in 6 samples the total THMs concentration exceed the U.S.EPA MCL (80  $\mu$ g/L) and only in 3 samples exceed from the Iran standard and WHO guideline ( $\sum$ THM/WHO guideline $\leq$ 1). Average values of the total THMs in summer were 1.4 and 1.6 times higher than winter and spring respectively. Furthermore, brominated THMs were dominant species.

**Keywords:** trihalomethane, gas chromatography, distribution network, drinking water, Ahvaz.

► Please cite this paper as:

Babaei AA, Atari L, Ahmadi M, Alavi N, Ahmadi Angali K. Determination of trihalomethanes concentration in Ahvaz water distribution network in 2011. *Jentashapir* 2012;3(4):469-478

Received: 08.01.2012

Accepted: 06.06.2012