

## تری‌هالومتان‌ها در آب تصفیه شده تهران

مهندس فروغ واعظی<sup>۱</sup> دکتر علیرضا مصداقی<sup>۱</sup>

واژه‌های کلیدی: فرآورده‌های جانبی گندزدائی، مواد آلی هالوژنه، تری‌هالومتان‌ها

### چکیده

هر منبع آب بعد از گندزدائی با کلر دارای مقادیری از ترکیبات آلی هالوژنه می‌گردد. این مواد اکثراً منسوب به سرطان زائی می‌باشند، از این جمله تری‌هالومتان‌ها در مقایسه با سایر محصولات هالوژنه گرچه از نظر میزان چشمگیر نبوده‌اند، ولی بدلیل سهولت نسبی تشخیص و همچنین اثبات تاثیرات سوء بهداشتی از دیگر ترکیبات ارگانوها لوژنه معروف‌تر هستند. به دلیل وفور نسبی مواد آلی عامل ایجاد تری‌هالومتان در آب به ویژه آب‌های سطحی، قابل پیش بینی است که در آب خروجی از کلیه تصفیه‌خانه‌هایی که کلر را به عنوان گندزدا استفاده می‌کنند، مواد مزبور کم و بیش وجود داشته باشد. بنابه گزارش سازمان بهداشت جهانی میزان تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی کشورهای مختلف از ۲۵ تا ۲۵۰ میکروگرم در لیتر متغیر بوده است. (۱۱). اما علیرغم ضرورت تعیین مقدار این مواد، تاکنون هیچ تلاشی در تصفیه‌خانه‌های کشور در این رابطه صورت نگرفته است. این مطلب که آیا ترکیبات مزبور در آب شرب ما مسئله‌ساز شده‌اند یا نه موضوع این بررسی بوده است.

تصفیه‌خانه انتخاب شده، تصفیه‌خانه شماره یک تهران و زمان بررسی خرداد ماه ۱۳۷۱ بوده است. روش اسپکتروفتومتری به منظور سنجش مجموع تری‌هالومتان‌ها انتخاب شد. این انتخاب صرفاً بدلیل سهولت نسبی و هزینه ناچیز روش در مقایسه با تکنیک‌های نظیر گاز

کروماتوگرافی، اسپکتروفوتومتری جرمی بوده است. علاوه بر آب خروجی از تصفیه خانه مزبور، نقاطی از شبکه آبرسانی نیز مورد نمونه برداری قرار گرفت، تا تاثیر ماند آب در مخازن و شبکه توزیع بر تغییر میزان تری هالومتان‌ها مشخص گردد.

نتایج حاصله نشان داد که کیفیت آب بطور کلی از نقطه نظر مواد آلی در ماه مورد بررسی، مطلوب بوده است. میانگین غلظت تری هالومتان‌ها در نمونه‌های مورد سنجش، ۲۸ میکروگرم در لیتر محاسبه شد و هیچ کدام از نمونه‌های مورد بررسی با توجه به حداکثر مجاز این مواد برای آب شرب، دارای آلودگی نبوده‌اند.

## سرآغاز

تری هالومتان‌ها از جمله محصولات واکنش کلر با مواد آلی موجود در آب محسوب می‌شوند. میزان نسبی آنها در مقایسه با سایر محصولات هالوژنه بوجود آمده از گندزدائی آب با کلر، کمتر از ده درصد ذکر شده است (۴). اما از میان کلیه ترکیبات حاصله از کلریناسیون آب‌های طبیعی، تری هالومتان‌ها بلاشک به علت سهولت نسبی تشخیص و اندازه‌گیری، معروف‌ترین آنها بوده و از این گروه کلروفوم، برمودی کلرومتان، کلرودی برمومتان و برموفوم مهم‌ترین ترکیبات محسوب شده‌اند (۱۱). ایجاد ترکیبات برم‌تری هالومتان را بوجود بروماید در آب خام ارتباط داده‌اند. از آنجائی که غلظت این یون در آب به ویژه آب‌های شیرین سطحی معمولاً کمتر از یک میلی گرم در لیتر است. غلظت ترکیبات برم‌تری هالومتان‌ها را کلروفرم تشکیل می‌دهد (۶). کلیه ترکیباتی که در زمرة فرآورده‌های جانبی کلریناسیون می‌باشند علی‌الخصوص تری هالومتان‌ها مشکوک به سرطان زائی هستند (۴ و ۷). حد ماکزیمم آلاینده<sup>۱</sup> برای مجموع تری هالومتان‌ها در آب خروجی از شیر شبکه با توجه به تاثیرات سوء بهداشتی این ترکیبات ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر مقرر شده است (۱۱).

به علت و فورنسبی ترکیبات بوجود آورنده تری هالومتان در طبیعت (مواد پیش ساز) و باتوجه به این مطلب که فرآیندهای معمول تصفیه قادر به حذف مواد آلی محلول نمی‌باشد

مسلم است که هر منبع آب دارای مواد آلی با ماهیت هیومیک<sup>۱</sup>، بعد از ضد عفونی با کلردارای غلظت های بسیار بیشتری از ترکیبات ارگانوهالوژنه خواهد بود (۳).  
 از آنجائی که گندزدائی با کلر آخرین مرحله تصفیه آب می باشد این مطلب حائز اهمیت است که اولاً عملکرد تصفیه خانه به گونه ای باشد که تا حد امکان از ایجاد تری هالومتان ها و دیگر ترکیبات ارگانوهالوژنه جلوگیری کند و خلوص آب از نظر مواد آلی پیش از انجام گندزدائی مقبول شود. ثانیاً سنجش این مواد به طور مداوم در آزمایشگاه های تصفیه خانه های آب معمول گردد. اهمیت کنترل و تعیین مقدار، با توجه به حد قلیل مقرر شده از این ترکیبات در آب شرب مشخص تر می گردد.

### نمونه گیری و روش بررسی

تعیین مقدار تری هالومتان در آب مستلزم تجهیزات بسیارگران، اتوماتیک و کامپیوتر ایز شده است که هزینه ای بالغ بر صدها هزار دلار می طلبد. در تعدادی از تصفیه خانه های آب معدودی از کشورهای پیشرفته، استفاده از دستگاه های نظیر گاز کروماتوگراف و اسپکتروفوتومتر جرمی سالیان سال است که جهت کنترل این مواد متداول شده اما حتی در این کشورهای ثروتمند امکان تجهیز کلیه تصفیه خانه ها با دستگاه های لازم وجود نداشته است. از این گذشته علاوه بر هزینه زیاد آزمایش، اندازه گیری تری هالومتان ها مستلزم وجود ورزیده ترین افراد شیمیست می باشد (۱۱). در کشور ما نیز تجهیز کلیه تصفیه خانه ها با دستگاه های لازمه و یا تغییر نوع گندزدا با استفاده از موادی غیر از کلر به آسانی امکان پذیر نیست. به این ترتیب ضروری است تا برطرف شدن کلیه مشکلات از روش های ساده تر و کم هزینه تر جهت کنترل میزان تری هالومتان ها در آب مورد مصرف شرب کمک گرفته شود.

یکی از روش های که در تلاش صورت گرفته در مسیر برآورد حدود مواد مزبور پیشنهاد شده است موسوم به روش اسپکتروفوتومتری می باشد. این روش اولین بار در سال ۱۹۸۴ توسط دو محقق از انجمن امور آب آمریکا پیشنهاد شد (۵). با استفاده از این روش سنجش مجموع تری هالومتان ها در کلیه آزمایشگاه های که حداقل مجهز به یک اسپکتروفوتومتر معمولی باشند، امکان پذیر می شود.

روش اسپکتروفوتومتریک روش انتخاب شده جهت سنجش مجموع تری هالومتان‌ها در آب تصفیه شده در تصفیه خانه شماره یک تهران بوده است. روش مزبور بر مبنای واکنش معروف فوجی وارا<sup>۱</sup> استوار است (۱۰). این واکنش خود بر اساس سنجش شدت رنگ قرمز ایجاد شده از واکنش ترکیبات هالوژنه آب با پیریدین و هیدروکسید سدیم و مقایسه رنگ حاصله با محلول‌های معلوم المقدر از تری هالومتان انجام پذیر است (۵).

مقدمات کار برای تهیه منحنی کالیبراسیون بعد از خرید چهار محلول اصلی تری هالومتان با خلوص لازم فراهم شد. برای این منظور به کمک سرنگ میکرولیتری حجم لازمه از هر کدام از محلول‌های مزبور را برداشته در ۱۰۰ میلی لیتر متانول حل نمودیم. با برداشت مقادیر مورد نظر از محلول الکلی و رقیق نمودن تا حجم یک لیتر با آب مقطر غلظت‌های مطلوب از تری هالومتان تهیه گردید. در همان تحقیقات اولیه با آب مقطردی یونیزه مشخص شد که خلوص آب از نظر مواد آلی مطلوب نیست. نتیجتاً مراحل تقطیر و جوشاندن به صورت روباز و در نهایت عبور از ستون کرین فعال، به مراحل تهیه آب مقطر اضافه شد.

چهار محلول مخلوط از مواد تری هالومتان با ترکیب درصدی مشابه با درصد استفاده شده در تحقیقات نورس<sup>۲</sup> تهیه و مطابق دستورالعمل مورد استخراج با پنتان و واکنش با پیریدین و هیدروکسید سدیم قرار گرفت. (۹) به این ترتیب منحنی کالیبراسیون با استفاده از نتایج قرائت جذب نور این محلول‌های استاندارد از مخلوط تری هالومتان‌ها تهیه گردید (نگاره ۱). همچنین با استفاده از محلول‌های معلوم المقدر از کلروفرم یک منحنی کالیبراسیون دیگر صرفاً به این منظور که در زمان‌های مختلف مبنائی برای کنترل هم زمان شرایط کار در اختیار باشد تهیه شد (نگاره ۲). به این ترتیب با در اختیار داشتن منحنی‌های کالیبراسیون کافی بود در کنار هر نمونه از آب تهران حداقل یک نمونه استاندارد کلروفرم کنترل شود تا از تهیه مجدد محلول‌های مخلوط تری هالومتان و کنترل شرایط کار به صورتی وقت گیر و در معرض خطا بی نیاز باشیم. متذکر می شود تری هالومتان‌ها شدیداً<sup>۳</sup> نا پایدار می باشند.

1 - Fugiwara reaction

2 - NORS

## یافته‌ها و گفتگو

میزان تری‌هالومتان‌ها در یک نمونه آب متأثر از درجه حرارت، مانند آب در مخزن و شبکه و PH آب می‌باشد. همچنین میزان مواد پیش ساز، میزان کلریکار رفته جهت گندزدائی و نقطه افزایش کلربر میزان این مواد دارای تاثیر خواهد بود (۳). در این بررسی میزان تری‌هالومتان‌ها در آب تصفیه شده در تصفیه خانه شماره یک تهران (جلالیه) در خرداد ماه ۱۳۷۱ مورد سنجش قرار گرفته است.

روش نمونه‌برداری با توجه به فزاین بودن مواد مورد نظر تنظیم و درمورد کلیه نمونه‌های برداشت شده در همان روز نمونه‌برداری، آزمایش تعیین مقدار صورت گرفت (۲ و ۹). مجموعاً پنج نمونه و به عبارتی هر هفته حداقل یک نمونه‌برداری انجام شد. هر نمونه به صورت دو گانه توسط دو فرد متفاوت ولی در یک آزمایشگاه و هم زمان مورد آزمایش قرار گرفته است (شترنگه ۱).

از آنجائی که آب خارج شده از تصفیه خانه جلالیه، بلافاصله بدست مصرف کنندگان نمی‌رسد بلکه مدتی در یکی از چندین مخازن زیر زمینی آب تهران متوقف می‌ماند (۱). به منظور مشخص ساختن تاثیر ماند در مخزن، بخشی از نمونه‌های خروجی از تصفیه خانه، دردمای آزمایشگاه در جای تاریک قرار داده شد تا فرصتی مشابه با واقعیت جهت تاثیر کلرباقی مانده بر مواد آلی آب فراهم شود. درعین حال تعدادی از نمونه‌ها نیز مستقیماً از شیر آب شبکه در دو منطقه کارگرواسدآبادی برداشت شد. مشخصات کلیه نمونه‌ها در شترنگه ۱ آورده شده است. هم زمان با بررسی تری‌هالومتان‌ها، آزمایش‌های تعیین مقدار اکسیژن دیماند و مواد فرار به منظور ارزیابی میزان کلی مواد آلی آب خام تهران صورت گرفت. درحال حاضر این مطلب بطور تجربی پذیرفته شده است که چنانچه حدود مربوط به کل کربن آلی یک نمونه آب خام کمتر از  $2\text{mg/l}$  باشد، پتانسیل تشکیل تری‌هالومتان حدوداً کمتر از  $100\ \mu\text{g/l}$  خواهد بود (۸). به این ترتیب غلظت مواد آلی آب می‌تواند منعکس کننده مقادیری از تری‌هالومتان قابل تشکیل به عبارت دیگر کنترل نتایج کار باشد. ارقام گزارش شده در مورد مواد آلی آب تهران، (اکسیژن موردنیاز شیمیائی) میانگین چندین بار اندازه‌گیری بوده است.

باتوجه به نتایج گزارش شده در شترنگه ۱ مشخص می‌شود که میزان تری‌هالومتان‌ها در آب تصفیه شده تهران در خرداد ماه گذشته همواره کمتر از حد مجاز (۱۰۰ میکروگرم در لیتر) بوده است. لکن همانطور که قبلاً ذکر شد در یک منبع واحد آب میزان این مواد در طول سال ثابت نمی‌ماند و شدیداً متأثر از تغییرات فصل می‌باشد. از آنجائی که با افزایش درجه حرارت

هوا و آب، سرعت راکسیون تشکیل تری‌هالومتان‌ها مانند سایر راکسیون‌های شیمیایی زیاد می‌شود قابل پیش بینی است که در گرم‌ترین ایام سال به ویژه چنانچه کم شدن حجم آب ذخیره پیش آید، احتمالاً با حدود بیشتری از تری‌هالومتان در آب مورد مصرف مواجه خواهیم بود. در خاتمه متذکر می‌شود برای کنترل ترکیبات ارگانو‌هالوژنه در آب شرب تنهانی‌توان با انجام روش‌های لازم تصفیه و تغییر نقاط گنزدائی اقدام نمود. بلکه تامین آب مطلوب از نقطه نظر مزبور مستلزم مراقبت دقیق منبع آب، از سرچشمه تا هنگام ذخیره در پشت سد می‌باشد و به عبارت دیگر مسئولیت تامین آب سالم برای شرب را نباید منحصر به تلاش صورت گرفته در تصفیه خانه‌های آب دانست.

### سپاسگزاری:

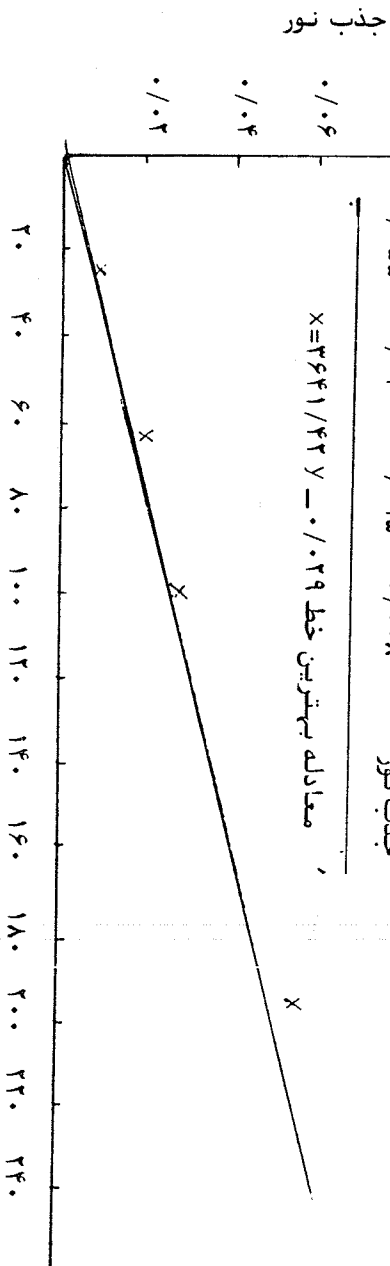
بدینوسیله از آقای شاهرخ نظم‌آرا کارشناس بهداشت به جهت همکاری صمیمانه در مراحل بررسی آزمایشگاهی سپاسگزاری می‌گردد.

نگاره ۱: منحنی کالیبراسیون برای مجموع تری هالومتانها

اطلاعات لازمه برای رسم منحنی کالیبراسیون TTHM

غلظت	۱۰۲	۴۹	۲۶
جذب نور	۰/۰۵۵	۰/۰۳۰	۰/۰۱۵

معادله بهترین خط  $Y = 3641/42 X$



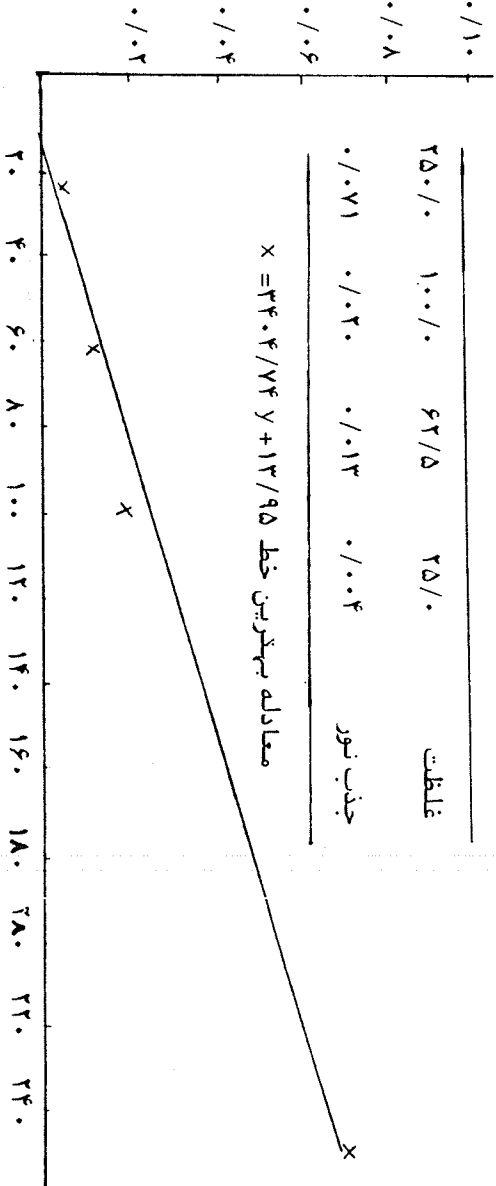
غلظت مجموع تری هالومتانها در آب برحسب میکروگرم در لیتر

نگاره ۲: منحنی کالیبراسیون برای کلروفورم

اطلاعات لازمه برای رسم منحنی کالیبراسیون کلروفورم

غلظت	جذب نور
۲۵/۰	۰/۰۷۱
۱۰۰/۰	۰/۰۲۰
۶۲/۵	۰/۰۱۳
۲۵/۰	۰/۰۰۴

معادله بهترین خط  $x = 34.4/74 y + 13/95$



غلظت کلروفورم در آب برحسب میکروگرم در لیتر



## شترنگه ۱- نتایج بررسی تری هالومتان در آب تصفیه شده تهران، همراه با گزارش مواد آلی آب

COD <sup>۲</sup> mg/L	µg/L TTHM <sup>۳</sup> بعد از ۲۴ ساعت	TTHM <sup>۳</sup> µg/L	کلریاتی مانده کل mg/L	pH	درجه حرارت C°	تاریخ نمونه برداری	محل نمونه برداری
کمتر از ۲	-	۲۰	۰/۵۰	۶/۵	۱۴	۷۱/۳/۱۰	شیرشیکه - خیابان کارگر
"	-	۵۰	۰/۵۰	۶/۵	۱۳	۷۱/۳/۱۷	شیرشیکه - خیابان کارگر
"	۲۵	۲۰	۰/۳۰	۷/۰	-	۷۱/۳/۲۰	آب خروجی از تصفیه خانه جلالیه
"	-	۳۰	۰/۴۰	۷/۰	۱۵	۷۱/۳/۲۱	شیرشیکه - خیابان اسدآبادی
"	۲۵	۲۰	۰/۲۵۰	۷/۰	۲۴	۷۱/۳/۳۱	آب خروجی از تصفیه خانه جلالیه
۲/۰۲	-	-	-	-	-	در طول ماه بررسی	آب ورودی به تصفیه خانه جلالیه
کمتر از ۲	۲۵	۲۸	۰/۳۹	۶/۸	۱۶/۵	میانگین (x)	
-	صفر	۱۳/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۷۵	۵/۰۳	انحراف معیار (S.D.)	

1 - Total Trihalomethanes

2 - Chemical Oxygen Demand

- ۱- سازمان آب تهران - (آبان ۱۳۳۴). یادبود افتتاح تأسیسات آب تهران . صفحه ۸۵ تا ۹۰
2. AWWA. (1983) - Introduction to Water Quality Analysis Vol.4 - P: 172.
3. AWWA. (1990), Water Quality and Treatment. 4th Edition P. 135-185.
4. Degremont. (1991) Water Treatment Hand book. Vol 1- Sixedition. P:39-44.
5. Huang, J.Y.C. and smith, G.C. (Apr. 1984), Spectrophotometric Determination of TTHMS in the Finishid Waters JAWWA-P: 168-171
6. Hutzinger, O. (1982), The Hand book of Eniromental Chemistry Vol 3- part B P:76
7. Kruith, F.J.C. (1986), Chlorination By Products. AWWA Report. P: 4-20
8. Lechevallier, M.W. and coworkers. (Apr- 1992)- Evaluating the performance of Biologically Active Rapid filters. JAWWA P: 144
9. Symons, J.M. and coworkers. (Nov. 1975) National Organics Reconnaissance Survey for Halogenated Organics. JAWWA- P:634. - 636.
10. Uno, T. Okumura, k and Kuroda, Y. (1981)- Mechanism of the Fujiwara Reaction, Jour. Organic Chem., 46:16:3175
11. Zuane, J.D. (1991) Hand book of Drinking Water Quality. Standards and Controls- P: 170- 177.