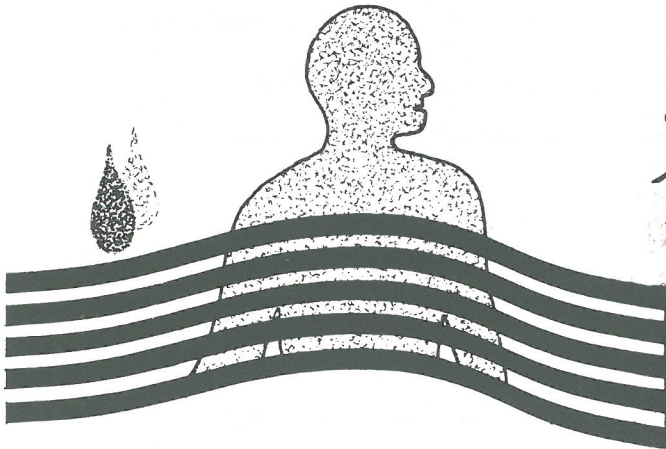


# خطرناشی از کلرزنی آبهای آشامیدنی

ترجمه: دکتر محمدچاکش امیری



را عامل سرطان را اعلام کند. طبق مفاد لایحه " آب آشامیدنی بهداشتی " می بایستی غلظت تری هالومتان در آب آشامیدنی تحت کنترل باشد. طبق این لایحه حداکثر غلظت آلاینده ( MCL ) برای کل تری هالومتان ها می بایستی ۱/۱ میلیگرم در لیتر باشد که متوسط عددی غلظت های کلروفرم ( $CHCl_3$ )، برمودی کلرومتان ( $CHBrCl_2$ )، برموفرم ( $CHBr_2Cl$ ) و دی برمواکلرومتان ( $CHBr_2Cl$ ) میباشد. این قوانین برای تصفیه خانه هایی بود که یک ماده ضد عفونی کننده در تصفیه آب بکار میبردند و جمعیتی بیش از ۱۰۰۰۰۰ نفر را سرویس میدادند سیستم هایی که بیش از ۷۵۰۰۰ نفر را سرویس میدهند بایستی در عرض دو سال و تصفیه خانه هایی که بین ۱۰۰۰۰ تا ۷۵۰۰۰ نفر را سرویس میدهند در عرض چهار سال خود را با این مقررات وفق دهند.

## روش اندازه گیری

بر طبق مقررات کنترل تری هالومتان نمونه ها بایسد در حالتی که در فضای آزاد هستند جمع آوری شده و در عرض چهارده روز با یکی از دو تکنیک گاز کروماتوگرافی Purge-and-trap یا Liquid-liquid extraction توسط یک آزمایشگاه معتبر انجام شود.

در سال ۱۹۷۴ محققین آمریکایی (۱) و هلندی (۲) کشف کردند که در اثر کلرزنی در فرایند تصفیه آبهای آشامیدنی، کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برمواکلرومتان و برموفرم تشکیل میشود. مطالعات انجام شده در سراسر کشور نشان داد چنین واکنشی در هر تصفیه خانه آب آشامیدنی که از کلر آزاد برای ضد عفونی کردن استفاده میکنند، تاحدی اتفاق می افتد. در نتیجه کسب چنین اطلاعاتی بود که برنامه تحقیقاتی وسیعی برای مطالعه تمام جوانب این مسئله حیاتی شروع شد. شش سال بعد با آنکه هنوز مطالعه روی بعضی از جوانب مسئله ادامه داشت اطلاعات کافی برای تهیه گزارشی تحت عنوان ( راهنمای موقتی کنترل کلروفرم و دیگر تری هالومتان ها در تصفیه آب ) بدست آمد و این مقاله خلاصه ای از آن گزارش است.

## اثرات بهداشتی تری هالومتان ها

در سال ۱۹۷۶ انستیتو ملی سرطان آمریکا کشف کرد که کلروفرم یک عامل سرطان زا برای روباه ها و گربه هاست. در هیجده مورد علائم مثبتی دال بر رابطه بین سرطان آدمی با کیفیت آب آشامیدنی بدست آمد و این امر باعث شد که سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا کلروفرم و دیگر تری هالومتان ها



## مکانیزم تشکیل

عمده ترین هالومتان ها در اثر واکنش بین کلر آزاد با مواد هیومیک دار چون اسید هیومیک و اسید فولیک، که موسوم به مواد تری هالومتان زامیباشند حاصل میشود. این واکنش آنی نیست بلکه ممکن است در عرض یکی دو ساعت تا چندین روز انجام شود و متأثر از درجه حرارت، pH، نوع مواد تری هالومتان زامی و غلظت آنها، غلظت برم، نوع ماده ضد عفونی کننده باقیمانده و حتی غلظت ماده ضد عفونی کننده باقیمانده میباشد.

## ارزیابی تصفیه

برای ارزیابی درست از هر برنامه پیشنهادی کنترل تری هالومتان، باید سه پارامتر را ارزیابی کرد. این فاکتورها عبارتند از:

(1) : غلظت آنی تری هالومتان (THM آنی) یا غلظت تری هالومتان در زمانی که نمونه ها را جمع میکنیم.

(2) : غلظت نهایی تری هالومتان (THM نهایی) یا پیش بینی غلظت بعدی تری هالومتان پس از آنکه نمونه کلر زده شده برای مدت زمان معینی تحت شرایطی که مشابه شرایط تصفیه خانه شیمیائی یا سیستم شبکه توزیع مورد مطالعه میباشد، نگه داری شده باشد.

(3) : غلظت محتمل تری هالومتان (THMFP) یا مقدار مواد تری هالومتان زامی که در نهایت با کلر ترکیب شده و به تری هالومتان مناسب تبدیل میشود. این مقدار برابر اختلاف بین دو پارامتری است که قبلاً تعریف کردیم.

## تکنیک های تصفیه

واکنش تشکیل تری هالومتان چنین است:

دیگرمصولات جانبی + تری هالومتان ماده برمور + مواد تری هالومتان زامی + کلر آزاد

از سه روش میتوان برای کنترل غلظت تری هالومتان ها

در آب آشامیدنی استفاده کرد. هر فرایند را باید از دید بهبود و یا لااقل حفظ کیفیت میکروبیولوژیکی و شیمیائی آب مورد ارزیابی قرار داد. از این رو عاقلانه خواهد بود که امکان تشکیل محصولات جانبی ناشی از ضد عفونی کردن آب را به حداقل برسانیم.

## حذف تری هالومتان

سه فرایند مورد مطالعه عبارتند از:

اکسیداسیون، هوادمی و جذب سطحی. هر یک از این فرایندها محاسن و معایبی دارند. از فرایندها اکسیداسیون مورد مطالعه تنها از آن به همراه تشعشع ماوراء بنفش برای از بین بردن تری هالومتان مؤثر بود. اما نباید از امکان تشکیل محصولات فرعی نامطلوب ناشی از اکسیداسیون غافل ماند.

هوادمی میتواند برای حذف تری هالومتان ها مؤثر باشد و در ضمن هیچ محصول جانبی تولید نمی کند. در آب هائی که غلظت تری هالومتان های سرم دار در آنها زیاد است مشکل است که با هوادمی بتوان تری هالومتان ها را تصفیه کرد چون این ترکیبات دارای ثابت قانون هنری (K) کمتری در مقایسه با کلروفرم میباشد از این رو راندمان فرایند را پائین می آورند.

علاوه بر این، استفاده از روش هوادمی ممکن است این عیب را داشته باشد که باعث آلودگی هوا شود. بالاخره اگر روش هوادمی مطرح باشد در طرح آن میبایستی نحوه جلوگیری از یخ بستن سیستم و نیز بهدر رفتن آب توسط هوا مورد توجه قرار گیرد.

در مطالعات مربوط به جذب سطحی دو ماده جذب کننده سطحی مورد مطالعه قرار گرفت: ذغال فعال و رزین های سنتزی. از این دو، رزین سنتزی Ambersorb XE-340 برای حذف تری هالومتان ها مؤثرتر بود. هر دو ماده از نظر جذب تری هالومتان های برم دار نسبت به کلروفرم

بسیار مؤثرتر بودند. از این رو اگر در آب منطقه ای این نوع تری هالومتان ها بیشتر باشد روش جذب سطحی مؤثرترین روش تصفیه خواهد بود. هر دو نوع جذب کننده سطحی دانه بندی شده مورد مطالعه قابل احیاء بودند یعنی نمونه های از کار افتاده را میتوان دوباره با شستشو فعال کرد. اگر ذغال فعال بصورت پودر مورد استفاده قرار گیرد دفع لجن حاصله خود مسئله ای خواهد بود چون مقدار مواد جذب کننده سطحی که برای تصفیه مؤثر تری هالومتان ها مورد نیاز است بسیار بیش از مقدار معمول برای حذف بو و رنگ میباشد.

## حذف مواد تری هالومتان زامی

از هفت روشی که مورد مطالعه قرار گرفت (زالال کردن، کنترل در منبع آب، هوادمی، اکسیداسیون یا جذب سطحی، از بین بردن به روش بیولوژیکی و پائین آوردن pH) بجز هوادمی همگی اثر قابل توجهی روی غلظت مواد تری هالومتان زامی ندارند. اگر کنترل مواد تری هالومتان زامی مورد نظر باشد آب خام منبع را میبایستی مورد آزمایش قرار داد تا بتوان تصمیم گرفت که آیا امکان ایجاد تغییراتی که منجر به کاهش مواد تری هالومتان زامی شود وجود دارد یا نه.

نشان داده شده است که برای حذف بعضی از مواد تری هالومتان زامی ذغال فعال مؤثر است تأسیسات موجود را میبایستی مورد آزمایش قرار داد که آیا میتوان با تغییر مقدار مواد منعقد کننده، نوع این مواد و یا با تغییر مقدار و نوع مواد کارکردشان را بهبود بخشید.

علاوه بر این، تحت شرایط خاصی در تأسیسات فعلی که به آب کلر میزنند بسهولت میتوان با تغییر محل کلر زنی، غلظت تری هالومتان ها را کاهش بیشتری داد. شرایط یاد شده را میتوان به

کمک تعیین غلظت های (THMFP، THM، نهایی THM آنی) در مراحل مختلف مورد قضاوت عینی قرار داد. شانس موفقیت روش تغییر محل کلر زنی در کاهش غلظت مواد تری هالومتان زامی بیشتر خواهد بود اگر:

۱- در شرایط کار عادی، قبل از تغییر محل کلر زنی، درصد زیادی از غلظت مواد تری هالومتان زامی در اثر زلال کردن (در کلاریفایر) ته نشین شود.

۲- در شرایط کار عادی، قبل از تغییر محل کلر زنی، در اثر زلال کردن درصد زیادی از مواد تری هالومتان زامی با کلر آزاد ترکیب شده و تولید تری هالومتان کرده باشند.

در تأسیسات تصفیه آب و سیستم شبکه توزیع از روش بالا نگهداشتن pH برای جلوگیری از خوردگی استفاده میکنند. روش ممکن دیگر این است که pH را در کلیه مراحل پائین آورده و یا از پرمنگنات پتاسیم به این منظور استفاده می کنند.

ممکن است این تکنیک ها را بتوان به همراه چند اصلاح کوچکتر در فرایندهای موجود در تأسیسات تصفیه آب اعمال کرد. اگر روشهای نسبتاً ساده کاهش مواد تری هالومتان زامی برای پائین آوردن غلظت متوسط کل تری هالومتان ها در سیستم توزیع به اندازه کافی مؤثر نباشد طراح و اپراتور میبایستی روش های دیگری چون اکسیداسیون با ازن یا دی اکسید کلر، یا جذب سطحی با ذغال فعال دانه بندی شده یا پودر ذغال فعال را مورد آزمایش قرار دهد. توجه داشته باشیم که در اثر اکسیداسیون با دی اکسید کلر ممکن است هم کلریت و هم کلرات در آب تشکیل شود. بخاطر امکان مسمومیت این مواد جانبی بود (۸) که سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا پیشنهاد کرده که مجموع غلظت باقیمانده دی اکسید کلر، کلریت و کلرات در آب آشامیدنی نبایستی از ۵/۰ میلیگرم در لیتر بیشتر شود. (۴)



از روش های مختلف حذف تری هالومتان ها که در بالا بر شمرده ایم، روش جذب سطحی با کربن فعال دانه بندی شده اساساً مؤثرترین روش برای حذف مواد تری هالومتان را می باشد. وقتی که ذغال تازه باشد جذب سطحی قادر به حذف کامل این مواد از آب خواهد بود. در شرایطی که زمان تماس (حجم بستر خالی تقسیم بر دبی جریان) از ۵ تا ۱۰ دقیقه باشد چنین بازدهی خوبی نخواهد داشت.

#### استفاده از ضدعفونی کننده های دیگر

هر چند که هیچیک از فرایندهایی که مطالعه شد (ازن زنی، کلرزنی) همراه تصفیه با دی اکسید کلر (تولید تری هالومتان نمیکنند، هر ضدعفونی کننده ای علاوه بر این عیب عمومی که همگی پاره ای محصولات جانبی آلی تشکیل خواهند داد (۹) مزایا و معایب خاص خود را خواهد داشت.

ازن میکروبی کشی بسیار عالی است و pH آب بر قدرت میکروبی کشی آن تأثیری ندارد اما از ن هیچ باقیمانده ای در آب از خود نمی گذارد از این رو اگر به تنهایی استفاده شود هیچ عامل میکروبی کشی در شبکه توزیع وجود نخواهد داشت. بیش از یک هزار تصفیه خانه آب در سرتاسر جهان در خود محل تصفیه خانه ازن تولید میکنند. اما وسایل تولید ازن بیش از وسایلی که در تهیه کلر آزاد مورد نیاز است، به تخصص احتیاج دارند. بالاخره گزارش ها نشان میدهند که وقتی ازن مصرف میشود مواد آلی موجود در آب بوسیله میکروبیها بیشتر تجزیه شده که منجر به فعالیت میکروبی بیشتر در سیستم توزیع میشود.

کلر آمین ها (کلر ترکیب شده باقیمانده) این مزیت را دارد که براحتی یک باقیمانده مقاوم بوجود می آورد که در تمام سیستم شبکه آبرسانی حفظ

میشود. کلر آمین میکروبی کش ضعیف تری بوده و وقتی که pH آب بالا باشد عمل میکروبی کشی کاهش می یابد چون در اثر بالا رفتن pH شرایط تشکیل منوکلر آمین نسبت به دی کلر آمین مساعدتر میشود. دو گزارش در مجلات علمی امکان سمی بودن کلر آمین را مسلم می داند (۱۱ و ۱۰). اخیراً در انستیتوی سرطان آمریکا امکان سرطان زایی کلر آمین در دست بررسی است.

#### دی اکسید کلر

این ماده به عنوان یک ضدعفونی کننده دارای چندین مزیت است. در محدوده pH هایی که معمولاً در تصفیه آب با آن سروکار داریم، قدرت میکروبی کشی خوبی دارد از این رو میتوان آنرا در بسیاری از تصفیه خانه ها بکاربرد. تولید این ماده و تزریق آن به آب بر راحتی امکان پذیر است اما بایستی غلظت کلر در حد پائینی نگه داشته شود. همچنین دی اکسید کلر تولید باقیمانده ای می کند که در تمام شبکه توزیع پایدار باقی می ماند و بالاخره اینکه دی اکسید کلر با آمونیاک ترکیب نمیشود. بنابر این مقدار لازم ضد عفونی کننده در مورد دی اکسید کلر تا اندازه ای کمتر از کلر آزاد است.

یک عیب مهم استفاده از دی اکسید کلر بجای کلر به عنوان ضد عفونی کننده، مسئله تشکیل کلریت و کلرات است.

بخاطر امکان مسمومیت (۸) کلریت و کلرات، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در کنترل تری هالومتان ها توصیه کرده است که مجموع غلظتهای باقیمانده دی اکسید کلر، کلریت و کلرات در آب آشامیدنی از ۰/۵ میلیگرم در لیتر بیشتر نباشد (۴). اگر این توصیه بهداشتی از طرف مقامات عالییه لازم الاجرا شناخته شود در آن صورت استفاده از دی اکسید

کلر محدود خواهد بود چون بسیاری از آب ها در آمریکا آنقدر مواد ضد عفونی کننده احتیاج دارند که در صورت استفاده از دی اکسید کلر به اندازه مورد نیاز، غلظت باقیمانده کلر بناچار بیش از ۰/۵ میلی گرم در لیتر خواهد شد.

از سه روش کنترل تری هالومتان، بنظر میرسد که روش استفاده از یک ضد عفونی کننده دیگر بجای کلر مؤثرترین و کم خرج ترین روش خواهند بود. از لحاظ تئوری، در تصفیه خانه ای با هر مقدار غلظت مواد تری هالومتان را، میتوان با استفاده از یکی از سه ضد عفونی کننده یاد شده بجای کلر، غلظت تری هالومتان را تقریباً به صفر برساند. علاوه بر این هزینه هر یک از این فرایندها بسیار پائین است. بخاطر کاهش مخارج است که هر تصفیه خانه ای که می خواهد غلظت تری هالومتان را در حد استاندارد کنترل کند (۴) احتمالاً باید استفاده از یک ضد عفونی کننده جایگزین را در اولویت قرار دهد البته مدیران و مشاوران تصفیه خانه ها میبایستی معایب روش جدید را هم مورد ارزیابی قرار دهند (۸ و ۸)

در جدول ضمیمه مقایسه ای از عملکرد و هزینه یازده فرایند معمول در جهان برای کنترل تری هالومتان از طریق حذف تری هالومتان ها و تری هالومتان زها آورده شده است. همچنین جدول مذکور جنبه های مختلف این فرایندها را مورد ارزیابی قرار داده است از جمله، اثر روی غلظت تری هالومتان زها، اثر روی غلظت تری هالومتان ها، احتمال تشکیل محصولات جانبی دیگر، قدرت ضد عفونی کنندگی و مقایسه هزینه تخمینی این روش ها.

با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در بعضی از تصفیه خانه های مورد مطالعه، این هزینه های تقریبی برای یک واحد تصفیه خانه ۱۰۰ میلیون گالن در روز در سه حد تصفیه موفق محاسبه شده است و

بر مبنای هزینه مقدار مواد شیمیایی و دیگر پارامترهایی که در حین کار برای این حدود تصفیه بدست آمده می باشد. این ارقام و اطلاعات برای مقایسه هزینه ها در شرایط مشابه بعنوان ارقام ثابت بکار نمی رود چون میزان تأثیر و هزینه های این فرایندها در موارد مختلف فرق میکند.

#### مثال هایی برای انتخاب روش تصفیه

برای راهنمایی مدیران تصفیه خانه ها، مهندسین مشاور و دیگر کسانی که انتخاب روش تصفیه را مورد ارزیابی قرار دهند، بعضی از روش های تصفیه ممکن برای چهار سیستم را در اینجا مورد بحث قرار می دهیم. (سه مثال اول دو مورد مختلف را مورد بحث قرار می دهند).

الف: وقتی که مقدار زیادی از محصولات تری هالومتان های ممکن فوراً در محل تصفیه خانه تولید میشوند.

ب: وقتی که درصد زیادی از محصولات محتمل تری هالومتان هادر شبکه توزیع یعنی پس از خروج از تصفیه خانه بوجود می آیند.

روش انتخاب یک ضد عفونی کننده دیگر بجای کلر آزاد در اینجا مورد بحث قرار نمیگیرد. به خواننده یادآوری می کنیم که معایب روش جایگزینی قبلاً مورد بحث قرار گرفت.

هدف از در نظر گرفتن این مثال ها برای حذف تری هالومتان ها و تری هالومتان زها این است که به مدیران تصفیه خانه ها و مهندسین مشاور نشان دهیم که چگونه در تعیین میزان تأثیر روش تصفیه مورد نظر و هزینه تقریبی آنها بعنوان نخستین گام در انتخاب معقول ترین روش برای مطالعات نیمه صنعتی تصمیم بگیرند. در عمل میبایستی بسیاری از روش های دیگر تصفیه را در نظر داشت.



همانگونه که در جدول ضمیمه نشان داده شده هر روش معایب خاص خود را دارد هر چند که این معایب را در اینجا یادآوری نمی کنیم ولی خواننده بایست از آنها چشم پوشی نکند.

(۱A) : تصفیه خانه ای بظرفیت ده میلیون گالن در روز (۱۰Mgd) که از آب چاه استفاده می کند مورد نظر است. غلظت THM دو برابر (MCL) بوده و غلظت انی تری هالومتان (THM آنی) در آب خروجی از تصفیه خانه ۰/۱۵ میلیگرم در لیتر میباشد.

حل : در مورد تصفیه خانه مورد نظر که از آب چاه استفاده میکند و فقط کلر زنی میشود و مقدار THM انی در شبکه توزیع زیاد میباشد. (۰/۲mg/L) توضیح از مترجم : غلظت THM که در اینجا  $0.2 \text{ mg/L} = 0.1 \times 2$  میباشد با توجه به مکانیسم تشکیل تری هالومتان ها که در طی مرور زمان در اثر ترکیب کلر با مواد تری هالومتان زا بوجود می آیند همان غلظت THM انی در شبکه توزیع است چون در شبکه توزیع چنین تصور میشود که تمام مواد تری هالومتان زا فرصت کافی برای تبدیل به تری هالومتان را داشته اند در نتیجه غلظت آنها

و غلظت انی در این موقع برابر خواهند بود، میبایستی غلظت تری هالومتان تقریباً پنجاه درصد کاهش یابد تا غلظت متوسط تری هالومتان ها در نمونه های جمع اوری شده از سیستم شبکه توزیع کمتر از ۱/۱ میلیگرم در لیتر شود. چون قسمت اعظم مواد تری هالومتان زای آب منبع، پیش از خروج از تصفیه خانه در این مثال به تری هالومتان تبدیل میشود (یعنی غلظت THM آنی در آب خروجی از تصفیه خانه ۰/۱۵ میلیگرم در لیتر بوده که در سیستم توزیع ۰/۰۵ میلیگرم در لیتر بدان افزوده میشود) پس میتوان از هوادمی برای حذف این مقدار از تری هالومتان استفاده کرد. طبق جدول ضمیمه بیگ سیستم هوادمی افشانک با نسبت ۱ : ۲۰ هوا به آب

با یک سیستم هوادمی در برج با نسبت ۱ : ۲۲ هوا به آب میتواند ۸۰ درصد از THM آنی در محل را حذف کند. این کار باعث میشود که غلظت آنی THM در آب خروجی از تصفیه خانه بطور متوسط به ۰/۰۲ میلیگرم در لیتر برسد. یعنی :

$$[0.15 - (0.15)(0.8)] = 0.02$$

و در سیستم شبکه توزیع به مقدار ۰/۰۸ میلیگرم در لیتر خواهد رسید یعنی (۰/۰۵ + ۰/۰۲) که کمتر از مقدار حد استاندارد (MCL) میباشد (۴).

مخارج اضافی که این دو سیستم باعث میشوند به ترتیب برابر ۱۴ سنت به ازای هر هزار گالن و ۴/۵ سنت به ازای هر هزار گالن میباشد که بدون در نظر گرفتن هزینه هوا (فیلتراسیون، حذف ذرات معلق و غیره) است.

(۱B) : تصفیه خانه ای با ظرفیت ۱۰ میلیون گالن در روز که از آب چاه استفاده میکند و غلظت THM ان دو برابر MCL بوده و غلظت آنی THM در آب خروجی از تصفیه خانه ۰/۱ میلیگرم در لیتر میباشد.

حل : چون درصد زیادی از مواد تری هالومتان زای آب منبع در زمان خروج از تصفیه خانه به تری هالومتان تبدیل نشده است از این رومیبایستی فرایندهای مربوط به حذف مواد تری هالومتان را بکار بست. چون در این مثال فقط تأسیسات لازم برای کلر زنی وجود دارد از این رو می بایستی به روش های تصفیه ای که حداقل ساختمان نیاز داشته باشد اولویت داد. دو روش ممکن عبارتند از :

(۱) : فیلتراسیون مستقیم برای حذف مواد تری هالومتان را.

(۲) : روش جذب سطحی با ذغال فعال دانه بندی شده بدون آنکه قبلاً هیچ عمل ته نشینی انجام شده باشد. تقریباً حذف ۵۰ درصد از مواد تری هالومتان را کافی خواهد بود تا غلظت متوسط این مواد در سیستم شبکه توزیع به ۰/۱ میلیگرم در لیتر کاهش یابد.

طبق جدول ضمیمه با مقدار ۲۱ میلیگرم در لیتر از ماده منعقد کننده آلوم و ۰/۱ میلیگرم در لیتر پلیمر میتوان با فیلتراسیون مستقیم در محل ۵۰ درصد از مواد تری هالومتان را حذف کرد. توجه داشته باشیم آبی که در این محل میبایستی تصفیه شود آب سطحی با کدورت کم باشد و در این مثال نیسز فرض کردیم که چنین شرایطی در اینجا صادق است. تخمین زده میشود که هزینه اضافی چنین فرآیندی ۲۵ سنت به ازای هر ۱۰۰۰ گالن خواهد شد.

بطور مشابه، یک سیستم جذب سطحی که شامل ذغال فعال با زمان تماس EBCT (نسبت حجم بستر خالی به دبی) ۷ دقیقه که هر سه هفته یکبار احیا یا جایگزین شود میتواند ۵۰ درصد از مواد تری هالومتان را حذف کند.

با احتساب هزینه های متفرقه مخارج اضافی چنین فرآیندی ۱/۲ دلار به ازای هر ۱۰۰۰ گالن خواهد شد. اگر عمل احیا کردن ذغال ها در محل انجام گیرد این مخارج به ۱۶ سنت به ازای هر ۱۰۰۰ گالن خواهد رسید.

(۲A) : تصفیه خانه ای با ظرفیت ۱۰ میلیون گالن در روز که از آب چاه استفاده میکند و غلظت  $THM = 1/2 \text{ MCL}$  است و مقدار THM آنی آب تصفیه شده برابر ۰/۰۵ میلیگرم در لیتر میباشد.

حل : در این مثال یک تصفیه خانه ۱۰ میلیون گالن در روز در نظر گرفتیم که از آب چاه استفاده میکند و تنها کلر زنی روی آب انجام میشود و مقدار متوسط THM آنی آن در سیستم شبکه توزیع ۰/۱۲ میلیگرم در لیتر است که فقط حذف حدود ۱۰ درصد از غلظت مواد تری هالومتان را یا تری هالومتان از لحاظ بهداشتی کافی است. بنابراین چون مقدار قابل توجهی از مواد تری هالومتان زای آب منبع به صورت THM آنی در آب تصفیه شده تبدیل شده

میتوان از هوادمی برای حذف تری هالومتان استفاده کرد. اگر غلظت THM آنی در آب تصفیه شده در حدود ۰/۰۵ میلیگرم در لیتر می بود یک هوادمی قادر به حذف تا ۵۰ درصد باشد برای اینکار مناسب می بود. این کار میتواند با یک دستگاه هوادمی افشانک با نسبت ۱ : ۸ هوا به آب یا با هوادمی در برج با نسبت ۱ : ۴ انجام پذیرد (جدول ضمیمه). هزینه اضافی برای این دو فرآیند برای تصفیه خانه ای با این ظرفیت به ترتیب ۶/۴ سنت به ازای هر ۱۰۰۰ گالن و ۳/۴ سنت به ازای هر ۱۰۰۰ گالن میشود که بدون در نظر گرفتن هزینه تصفیه هوا میباشد.

(۲B) : تصفیه خانه ای با ظرفیت ۱۰ میلیون گالن در روز که از آب چاه استفاده میکند و غلظت THM مساوی ۱/۲ برابر MCL بوده و THM آنی در آب خروجی از تصفیه خانه ۰/۰۱ میلیگرم در لیتر میباشد.

حل : چون THM آنی به اندازه ای کم است که روش حذف تری هالومتان نمیتواند یک روش مفید باشد از این رو حذف ۲۰ درصد از مواد تری هالومتان - را لازم است. طبق جدول ضمیمه این را میتوان با یکی از سه روش زیر انجام داد.

پائین آوردن pH، تصفیه با پرمنگنات پتاسیم و تصفیه با ۴ میلیگرم در لیتر دی اکسید کلر که تنها احتیاج به ساختن یک حوضچه تماس و تزریق کننده مواد شیمیائی است.

هزینه اضافی که این سه فرآیند دربر خواهند داشت برابر خواهد بود با کنترل pH در حدود ۰/۶ سنت برای هر ۱۰۰۰ گالن، پرمنگنات پتاسیم در حدود ۱۱ سنت به ازای هر ۱۰۰۰ گالن و دی اکسید کلر در حدود ۹ سنت برای هر ۱۰۰۰ گالن. البته اگر اکسیداسیون با دی اکسید کلر به عنوان یک راه حل در نظر گرفته شود تحقیقات می بایستی شامل تعیین مقدار محصولات جانبی کلریت و کلرات باشد



تا با مقدار توصیه شده کل مواد اکسیدان یعنی ۵/۰ میلیگرم در لیتر مقایسه شود.

(۳A) : تصفیه خانه ای به ظرفیت ۱۰۰ میلیون گالن در روز که از آب سطحی استفاده میکند، غلظت THM دو برابر MCL بوده و غلظت THM آنی در آب خروجی ۰/۱۵ میلیگرم در لیتر میباشد.

حل : در مثال سوم تصفیه خانه ای در نظر گرفتیم که ظرفیت آن ۱۰۰ میلیون گالن در روز بوده و تصفیه معمولی روی آب سطحی انجام میدهد و غلظت THM آنی در سیستم توزیع بطور متوسط ۰/۲ میلیگرم در لیتر میباشد. برای آنکه این آب شرایط استاندارد را ارضا کند میبایستی مواد تری هالومتان را ۵۰ درصد کاهش یابد.

هر چند که روش هایی چون بالا بردن کیفیت کارکرد کلاریفایر، تغییر نقطه تزریق کلر، پائین آوردن pH، اکسیداسیون با پرمنگنات پتاسیم را میتوان در نظر گرفت (مشخصه عمومی این روش ها این است که روی مواد تری هالومتان را تأثیر ضعیفی دارند) ولی احتمالاً این روش ها مناسب نیستند.

چون غلظت THM آنی در آب خروجی زیاد است میبایستی حذف ۰/۱۵ میلیگرم در لیتر تری هالومتان را در نظر گرفت. یک سیستم هوادمی میتواند ۸۰ درصد از این مواد مضر را حذف کند و این برای کاهش غلظت THM آنی به مقدار زیر حداکثر مجاز (۴) کافی خواهد بود. با استفاده از جدول ضمیمه

میتوان گفت، یک سیستم هوادمی افشانک که نسبت هوا به آب ۱ : ۲۰ باشد یا یک برج هوادمی که نسبت هوا به آب در آن ۱ : ۲۲ باشد مناسب خواهد بود. هزینه اضافی به ترتیب برابر ۱۴ سنت به ازای هر ۱۰۰۰ گالن و ۲/۹ سنت به ازای هر ۱۰۰۰ گالن خواهد شد که البته بدون احتساب مخارج تصفیه هوا میباشد.

(۳B) : تصفیه خانه با آب سطحی به ظرفیت ۱۰۰

میلیگرم در روز و غلظت THM دو برابر MCL و مقدار THM آنی در آب خروجی ۰/۱ میلیگرم در لیتر.

حل : چون غلظت THM آنی در آب خروجی زیاد نیست از این رو باید به فکر حذف موادی هالومتان نـ زا بود. طبق جدول ضمیمه میتوان به روش اکسیداسیون با ازن و یا دی اکسید کلر و نیز جذب سطحی با ذغال فعال پیور شده یا دانه بندی شده تا ۵۰ درصد از غلظت موادی هالومتان را کاست. مخارج اضافی برای این چهار فرایند عبارتند از ۷/۹ سنت برای هر ۱۰۰۰ گالن (اکسیداسیون با ازن)، ۱۲ سنت برای هر ۱۰۰۰ گالن (اکسیداسیون با دی اکسید کلر)، (۱ سنت به ازای هر ۱۰۰۰ گالن (ذغال پیور شده)، (۱ سنت برای هر ۱۰۰۰ گالن (ذغال دانه بندی شده بشرط احیا کردن در محل و تعویض شن).

علاوه بر اختلاف در هزینه ها، هر فرایندی معایب خاص خود را دارد. ازن علاوه بر تولید کلریت و کلرات تولید مواد جانبی آلی میکند، در مورد ذغال پیور شده مشکل دفع لجن داریم و ذغال فعال دانه بندی شده احتیاج به جابجایی واحیاء مجدد دارد. برای تصمیم گیری میبایستی تمام فاکتورهای مؤثر را مورد مطالعه قرار داد اما با صرفه ترین روش تصفیه یعنی اکسیداسیون با ازن در اولویت قرار دارد.

(۴) : تصفیه خانه ای که آب سطحی را تصفیه میکند دارای ظرفیت ۱۰۰ میلیون گالن در روز و غلظت THM مساوی  $MCL \times 1/2$  (از مترجم: در متن اصلی مقاله به غلظت THM آنی در آب خروجی اشاره ای نشده است ولی از حل مسئله چنین استنباط میشود که مقدار غلظت THM آنی در آب خروجی بسیار کم است).

حل : مثال چهارم در مورد تصفیه خانه ای به ظرفیت ۱۰۰ میلیون گالن در روز است که آب سطحی را تصفیه میکند و غلظت متوسط THM آنی در شبکه توزیع ۰/۱۲ میلیگرم در لیتر میباشد.

برای آنکه از نظر مقررات ایمنی قابل قبول باشد میبایستی تنها ۲۰ درصد از غلظت مواد تری هالومتان را حذف کرد. تحت این شرایط روش هایی که حذف کم مواد تری هالومتان را باعث میشوند (مثل بالا بردن کیفیت کارکرد کلاریفایر، تغییر محل تزریق کلر، تنظیم pH و یا افزودن بعضی از مواد اکسیدان) برای هماهنگی با استانداردهای ایمنی کافی خواهند بود و هزینه کمی در برخواهند داشت. (جدول ضمیمه)

با ضد عفونی کردن دقیق به عنوان گام نهایی تصفیه و کنترل آب شبکه های توزیع با هر یک از این روش ها میتوان غلظت تری هالومتان را تحت کنترل درآورد و امیدوار بود که آب خروجی از شبکه توزیع از لحاظ بهداشتی قابل قبول است البته فرایندهای تصفیه دیگری نیز وجود دارد که میتوان برای حل این مشکل در نظر گرفت اما در این مقاله اطلاعات و ارقامی که از نظر هزینه به صرفه بوده و میتواند مورد توجه مسئولین تصفیه خانه ها و مهندسين مشاور و دیگر ارگان های ذیربط باشد و در عین حال آب تولیدی دارای کیفیت میکروبی با کتریولوژیکی مطلوبی باشد.

1- Bellar, T. A., J. J. Lichtenberg and R.C. Kroner. "The Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Water." Journal American Water Works Association, 66 (December, 1974) 703-706.

2- Rook, J. J. "Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Water." Water Treatment and Examination, 23, Part 2 (1974) 234-243.

3- Symons, J. M., A.A. Stevens, R. M. Clark, E.E. Geldreich, O. T. Love, Jr. and J. DeMarco. "Treatment Techniques for Controlling Trihalomethanes in Drinking Water." U.S.EPA, Cincinnati, OH (in press).

4- Federal Register, 44, No. 231 (November 29, 1979) 68624-68707 and 45, No. 49 (March 11, 1980) - 15542-15547.

5- "Manual of Treatment Techniques for Meeting the Interim Primary Drinking Water Regulations." - EPA-600/8-77-005, U.S.EPA, Cincinnati, OH (May, 1977, Revised April, 1978) NTIS Accession No. PB 268029.

6- "Trihalomethane Guidance." U.S.EPA, Washington, D.C. (in press).

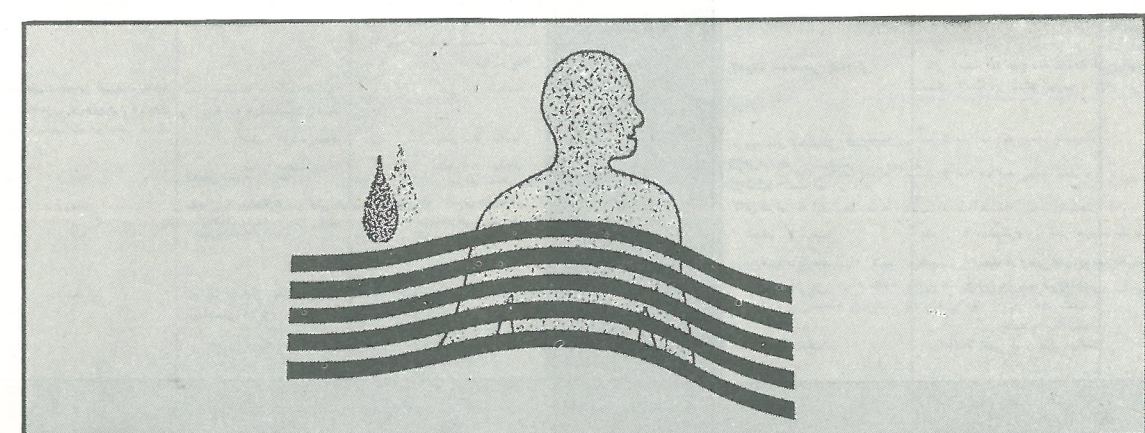
7- Stevens, A. A. and J. M. Symons. "Measurement of Trihalomethane and Precursor Concentration Changes Occurring During Water Treatment and Distribution." Journal American Water Works Association, 69 (October, 1977) 546-554.

8- Bull, R. J. "Health Effects of Alternate Disinfectants and Their Reaction Products." Journal - American Water Works Association, 72 (May, 1980) 299-303.

9- "Health Effects of Drinking Water Disinfectants and Disinfectant By-Products." U.S.EPA, Cincinnati, OH (in press) (April, 21-24, 1981).

10- Shih, K. L. and J. Lederberg. "Chloramine Metagenesis in Bacillus subtilis." Science, 192 (June 11, 1976) 1141-1143.

11- Eaton, J. W., C. F. Kolpin and H.S. Svefford. "Chlorinated Urban Water. A Cause of Dialysis-Induced Hemolytic Anemia." Science, 181 (August 3, 1973) 463-464.









نوع سمعه	جذب سطحی با ذغال فعال بودر تده
انتر روی مواد تری هالومتان را	حذف از حد خوب تا بسیار خوب امکان پذیر است. درجه حذف متأثر از غلظت ورودی است و مقدار ذغال بستگی به غلظت ورودی دارد.
انتر روی تری هالومتان ها	حذف از حد خوب تا بسیار خوب امکان پذیر است. تری هالومتان های نرم دار از کلروفرم جذب میشوند. درجه حذف متأثر از غلظت ورودی است و مقدار ذغال بستگی به غلظت ورودی دارد.
محصولات جانبی دیگر	در این فرایند ماده ای تولید نمیشود. بخاطر کاهش کل کریس الی مقداری از محصولات جانبی که وارد فرایند میشوند حذف و به اندازه کمتری شکل می دهند.
ضعیفی کنندگی	در این فرایند کلر حذف میشود. بنابراین مینایستی دوباره ضعیفتری کرد و باعث کاهش در مقدار ضعیف کننده لام میگردد.
هزینه های تخمینی گرد شده برای واحد 100 میلیگرم در روز بر حسب سنت به ازاء هر 1000 گالی برای :	مقدار 10 میلیگرم در لیتر، هزینه تقریبی 2/8 مقدار 5 میلیگرم در لیتر، هزینه تقریبی 12 مقدار 15 میلیگرم در لیتر، هزینه تقریبی 29 حذف تری هالومتان
ملاحظات	بعضی از ترکیبات مربوط به حذف الودگی های الی سنتی و همچنین سو و طعم نیر انجام میشود. توجه شود که ذغال بودر شده فقط یکبار استفاده میشود. دفع این خود یک مشکل است.

نوع سمعه	اکسیداسیون با پیرمکنات پتاسیم
انتر روی مواد تری هالومتان را	در عمل، قادر به از بین بردن نسبتاً خوب این مواد است ولی از بین بردن کامل غیر قابل دسترسی است.
انتر روی تری هالومتان ها	هیچ تأثیری ندارد.
محصولات جانبی دیگر	توسط این فرایند مقداری محصول جانبی تشکیل میشود و اگر کلر آزاد یا دی اکسید کلر استفاده شود بعضی از این محصولات هالوزن دار خواهند بود.
قدرت ضعیفونی کنندگی	ضعیف است. یک ضعیفونی کننده لازم دارد.
هزینه های تخمینی گرد شده برای واحد 100 میلیگرم در روز بر حسب سنت به ازاء هر 1000 گالی برای :	مقدار 10 میلیگرم در لیتر نسبت 10 ساعت، تری هالومتان را بدون محفظه تناس هزینه تقریبی 10 بدست نیامده است. هذف 5 درصد هذف 8 درصد
ملاحظات	اگر بیش از مقدار لازم استفاده شود آب به رنگ زرد کم - رنگ در می آید. در PH بالا بهتر عمل می کند.

نوع سمعه	جذب سطحی با ذغال فعال دانه بندی شده
انتر روی مواد تری هالومتان را	در عمل، حذف از حد خوب تا بسیار خوب امکان پذیر است. وقتیکه ذغال فعال تازه باشد جذب تقریباً کامل امکان پذیر است و به تدریج این قدرت حذف کاهش یافته تا احتیاج به اجیا، پیدا کند. مقدار ذغال بستگی به غلظت ورودی دارد و اگر غلظت ورودی کاهش یابد ممکن است بجای جذب عمل دفع رخ دهد.
انتر روی تری هالومتان ها	در عمل، حذف از حد خوب تا بسیار خوب امکان پذیر است. وقتیکه ذغال فعال تازه باشد جذب تقریباً کامل امکان پذیر است و به تدریج این قدرت حذف کاهش یافته تا احتیاج به اجیا، پیدا کند. تری هالومتان نرم دار بهتر از کلروفرم جذب میشود. مقدار ذغال بستگی به غلظت ورودی دارد و اگر غلظت ورودی کاهش یابد ممکن است بجای جذب عمل دفع رخ دهد.
محصولات جانبی دیگر	در این فرایند ماده دیگری بوجود نمی آید و بعضی از محصولات جانبی میتواند حذف شود. بخاطر حذف خوب کل کریس الی محصولات جانبی کمتری در طی فرایند ضعیفونی کردن بوجود می آید.
ضعیفونی کنندگی	کلر حذف میشود از این روش ضعیفونی کردن دوباره احتیاج است وقتی کل کریس الی حذف شده باشد به مواد ضعیفونی کننده کمتری احتیاج است.
هزینه های تخمینی گرد شده برای واحد 100 میلیگرم در روز بر حسب سنت به ازاء هر 1000 گالی برای :	1- لادقیقه = 7. BCT*، فاصله تعویض شنها بر اساس 7 مفته، هزینه تقریبی 6 2- لادقیقه = 7. BCT*، فاصله تعویض شنها بر اساس 5/5 مفته، هزینه تقریبی 7/1 3- لادقیقه = 7. BCT*، فاصله تعویض شنها بر اساس 4 مفته، هزینه تقریبی 9 4- لادقیقه = 7. BCT*، فاصله تعویض شنها بر اساس 3 مفته، هزینه تقریبی 11 5- لادقیقه = 7. BCT*، فاصله تعویض شنها بر اساس 2 مفته، هزینه تقریبی 16 6- لادقیقه = 7. BCT*، فاصله تعویض شنها بر اساس 1 مفته، هزینه تقریبی 28
ملاحظات	بعضی از ترکیبات مربوط به الودگی های الی سنتی و همچنین سو و طعم نیر حذف میشوند. احتیاج به اجیا، کردن دارد. حذف کامل سبب زمان زیادی نمیتواند درام داشته باشد. اگر غلظت خروجی شکل کریس الی سبب کمتری نمیشود است مشکل خوردگی ایجاد نمیشود. (نسبت حجم سبب خالی به سبب) زمان تماس سبب خالی BCT* ملاحظات

