

بررسی غلظت تری هالومتانها (THMs) در آب شرب شهر تهران

سجاد مظلومی^۱، امیرحسین محوی^{۲*}، مهدی فضل زاده دویل^۱، شاهرخ نظم آرا^۱، مسلم مظلومی^۲،
رحمانی کوروش^۳، شمس محمود^۱

(۱) گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

(۲) گروه شیمی، دانشکده شیمی دانشگاه آزاد دورود

(۳) گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم زابل

چکیده

زمینه و هدف: از جمله ترکیبات ارگانوکلره هالوژنه، تری هالومتانها (کلروفرم برمو دی کلرومتان، دی برموکلرومتان، و تری برموفرم) می باشد. این ترکیبات در نتیجه واکنش کلر آزاد با برخی ترکیبات آلی در آب می باشد. خطرات بالقوه و خصوصیات سرطانزایی THMs اثبات شده است. بنابراین مطالعات زیادی جهت حذف پیش سازهای THMs یا حذف خود THMs تولید شده در آب، انجام گرفته است.

روش بررسی: در این تحقیق که در سال ۱۳۸۸ انجام گرفت غلظت تری هالومتانها با شاخص کلروفرم را در آب ورودی و آب خروجی از تصفیه خانه آب جلالیه اندازه گیری شد. برای آنالیز نمونه ها از دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل CP-3800 ساخت شرکت VARIAN استرالیا که مجهز به دکتور جذب شعله (GC-FID) با نمونه بردار اتوماتیک COMBIPAL HS بود استفاده می شد.

یافته ها: متوسط غلظت کلروفرم آب ورودی به تصفیه خانه برابر با $6.64 \mu\text{g/l}$ و متوسط غلظت خروجی برابر با $7.42 \mu\text{g/l}$ می باشد. و متوسط مقدار pH آب خام و آب تصفیه شده به ترتیب برابر با 7.92 و 7.87 ، و متوسط مقدار کلر باقیمانده در آب خام و آب تصفیه شده به ترتیب برابر با 0.73 و 0.94 mg/l بود.

نتیجه گیری: غلظت کلروفرم در منبع ورودی با وجود پیش کلرزنی و در منبع خروجی با وجود متوسط کلر باقیمانده برابر با 0.94 ، بسیار پایینتر از حد مجاز تری هالومتان آب آشامیدنی ایران و سازمان بهداشت جهانی ($200 \mu\text{g/l}$) می باشد. بیشترین مقدار تری هالومتان در مدت اندازه گیری شده مربوط به اردیبهشت می باشد

کلید واژه: تری هالومتان، آب شرب تهران، کلروفرم، pH، کلر باقیمانده

*نویسنده مسئول: گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

E-mail: ahmahvi@yahoo.com

Trihalometane concentration of Tehran drinking water

Mazloomi S¹, Mahvi AH^{*1}, Fazlzadeh Davil M¹, Nazmara shahrokh¹, Mazloomi moslem²
rahmani kourosh³, shams mahmoud¹.

- 1) Instructor, Dept of health collage, Tehran Medical Science University
- 2) Instructor, Dept of chemistry collage, Dorood Azad university
- 3)) Instructor, Dept of health collage, zabol Medical Science University

Abstract

Background and objective: One of the halogenated organochlorine ingredient is trihalometanes, which result in reacts of some organic ingredients with chlorine. Potentially hazardous and carcinogenic characteristics of THMs are recognized. Therefore many studies have done to remove the precursor of THMs or produced THMs from drinking water.

Material and methods: in this research concentrations of trihalometanes have measured during 2009 with chloroform index in the input and output of Jalalieh water treatment plant. The samples contain THMs (chloroform) were analyzed using a gas chromatograph (GC) model CP-3800 made of Australia VARIAN Company, Which equipped with a flame ionization detector (GC-FID with COMBIPAL HS auto sampler

Results: The average concentration of input water and output of water treatment was equal to 6.64, and 7.42 $\mu\text{g/l}$, respectively. The average concentration of pH in input and output of water treatment was equal to 7.92, and 7.87, respectively.

Conclusion: The average concentration of chlorine in input and output of water treatment was equal to 0.73 mg/l, and 0.94 mg/l, respectively. In spite of primary concentration of chlorine which was equal to 0.94 in output, but the fluoride concentration of chloroform in input and output water treatment was lower than Iran and WHO drinking water standards (200 $\text{g/l}\mu$). The most concentration was in April month.

Key word: THMs, Tehran drinking water, chloroform, pH, residual chlorine

* *Corresponding Author:* Instructor, Dept of health collage, Tehran Medical Science University

E-mail: ahmahvi@yahoo.com

مقدمه

از جمله ترکیبات ارگانوکلره هالوژنه، تری هالو متانها (کلروفرم برم و دی کلرومتان، دی برموکلرومتان، و تری برموفرم) می باشد. این ترکیبات در نتیجه واکنش کلر آزاد با برخی ترکیبات آلی در آب می باشد. مهمترین عامل تشکیل تری هالومتان در آب آشامیدنی کلرزنی شده وجود ترکیبات فولیک و هیومیک (این ترکیبات با وزن مولکولی پایین بوسیله فیلتراسیون متداول حذف نمی شوند) می باشد (۱) و منجر به تشکیل محصولات جانبی گندزدایی (Disinfectant By- Products= DBP) هالوژنه از قبیل تری هالومتانها، هالواستیک اسیدها و سایر ترکیبات هالوژنه می باشد (۳، ۲، ۴). میزان تولید تری هالومتانها با غلظت مواد آلی محلول (Disolved Organic Maters =DOMs) رابطه مستقیمی دارد (۵).

(Trihalometane =THMs) در آب، برای نخستین بار توسط محققین USEPA، سوئیس و هلند در سال ۱۹۷۴ میلادی شناسایی شدند (۶). تشکیل THMs به فاکتورهای زیادی مانند pH، زمان تماس با کلر، غلظت و خصوصیات کلر، کلر باقیمانده، دما، مقدار (Natural Organi Matters=NOMs) و غلظت برم بستگی دارد (۹، ۸، ۷، ۱۰).

افزایش pH و زمان تماس، باعث افزایش تولید تری هالومتانها می شود درحالیکه افزایش pH منجر به کاهش تولید هالواستیک اسیدها می شود (۸، ۹، ۱۱). با افزایش دما، سرعت واکنش بیشتر شده که در نتیجه آن مصرف کلر زیاد می شود و همین امر منجر به افزایش تشکیل DBPs می شود (۱۵، ۱۲، ۱۳، ۱۴). THMs معمولترین محصولات جانبی کلریناسیون آب هستند. که در مقایسه با سایر آلاینده های ارگانو هالوژنه در غلظت های بالاتری سنجش شده اند (۱۶). عمده ترکیبات THMs موجود در آب شامل: برم و دی کلرومتان (CHBrCl₂)، برموفرم (CHBr₃)، کلروفرم (CHCl₃) و دی برموکلرومتان (CHBr₂Cl) می باشند (۱۷). در قوانین مربوط به محصولات جانبی گندزدایی USEPA که در سال ۱۹۷۶ تنظیم شد است حداکثر مقدار مجاز (Maximum Concentration Level =MCL) برای کل تری هالومتانها تحت عنوان متوسط سالانه ۱۰۰ µg/l اعلام نموده است (۱۸). بر طبق قانون گندزدایی DBPs مرحله ۱ در سال ۱۹۹۴ مربوط به USEPA، حداکثر مقدار مجاز را برای کل THMs پایینتر آورد و آنرا به ۸۰ µg/l کاهش داد (۱۹). و همچنین بر طبق مؤسسه استاندارد تحقیقات آب ایران (کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی) در سال ۱۳۷۶ حداکثر مقدار THMs را به ۲۰۰ µg/l معادل کلروفرم اعلام کرد (۲۰). در جدول ۱ رهنمودها و استانداردهای مربوط به THMs را در چند نقطه ی مختلف از جهان آمده است.

خطرات بالقوه و خصوصیات سرطانزایی THMs اثبات شده است (۲۱). یکی از مهمترین رویکردها جهت کنترل THMs حذف پیش سازهاست از قبیل لخته سازی پیش سازها (۱۵)، جذب سطحی توسط کربن فعال گرانوله ای (۲۲)، فرآیندها غشائی، نانوفیلتراسیون با کمک غشاءهایی که توانایی حذف ذرات با وزن مولکولی ۵۰۰-۲۰۰ دالتون را دارند (۲۳)، جذب سطحی توسط پودر کربن فعال (۲۴)، پیش ازن

زنی (۲۵) بزرگترین جزء NOMs موجود در آب مربوط به اسیدهای هیدروفوبیک است (حدود ۵۰ در صد Disolved Organic Carbon= DOC) این دسته مواد معروف به اسیدهای آبی یا مواد هیومیکی هستند و متشکل از اسیدهای هیومیک و فولیک هستند (۲۶). فاکتور دیگر در کنترل خود THMs، استفاده متناوب از گندزدهایی مانند کلرآمین ها (۲۷)، ازن (۸)، دی اکسید کلر (۸) پرمنگنات (۸)، اشعه UV (۲۸)، می باشد. در حال حاضر استفاده از ازن و دی اکسید کلر بعنوان گزینه های مورد اهمیت در آمریکا و اروپا می باشند (۲۹)، از دیگر گزینه های کنترل THMs می توان به تکنولوژیهای ترکیبی (ازن-مونوکلرآمین، پراکسید هیدروژن-ازن، UV-ازن، UV-پراکسید هیدروژن) اشاره کرد (۱۷).

جدول شماره ۱: استانداردها و رهنمودهای مربوط به THMs (mg/l) در نواحی مختلف جهان

ترکیب	WHO ۱۹۹۳	USEPA (۲۰۰۱)	بهداشت کانادا	AUS-(۲۰۰۱) NZ	UK(۲۰۰۰)	ایران
CHCl ₃	۰,۲۰۰	۰,۰۰۰*	-	-	-	۰,۲۰۰***
CHCl ₂ Br	۰,۰۶۰	۰,۰۶۰*	-	-	-	-
CHClBr ₂	۰,۱۰۰	۰,۰۰۰*	-	-	-	-
CHBr ₃	۰,۱۰۰	۰,۰۰۰*	-	-	-	-
THHMs	۱**	۰,۰۸۰	۰,۱۰۰	۰,۲۵۰	۰,۱۰۰	-

(THM/WHO) ≤

* حداکثر غلظت آلاینده در هدف آلاینده (MCLG).

** مقدار نسبت مقدار THM به مقادیر رهنمود نایستی بیشتر از یک شود.

*** شاخص کل THMs می باشد (که معمولاً معادل ۷۰ درصد ترکیبات THMs می باشد).

روش بررسی

در این تحقیق در مدت چهار ماهه اول سال ۱۳۸۸ غلظت تری هالومتانها با شاخص کلروفرم را در آب ورودی و آب خروجی از تصفیه خانه آب جلالیه اندازه گیری شد. تصفیه خانه شماره یک (جلالیه) از قدیمی ترین تصفیه خانه های ایران بوده، مطالعه و عملیات اجرایی آن در اواخر دهه ۱۳۲۰ هجری شمسی شروع به بهره برداری نمود. منبع تأمین آب این تصفیه خانه رودخانه کرج از ایستگاه آبگیر بیلقان انجام می شود. آب بعد از حذف شن و ماسه و شاخ و برگهای بزرگ و انجام کلرزنی مقدماتی در آبگیر توسط دو خط لوله فولادی به قطر ۱۰۰۰ میلیمتر و بطول ۴۰ کیلومتر بصورت ثقلی به تصفیه خانه انتقال می یابد عمل انعقاد به کمک کلروفریک انجام می گیرد و نوع زلال ساز اکسیلاتور بوده و آب پس از عبور از اکسیلاتورها به صافی های شنی کند به تعداد ۴۰ عدد می رسد و پس از عبور آن از صافی ها، آب وارد مخزن کلرزنی به گنجایش ۳۰۰۰ متر مکعب می شود آب داخل این مخزن بوسیله پمپاژ به به مخازن ۱ و ۲ و به صورت ثقلی به مخازن ۳ و ۴ و ۵ وارد می شود. به منظور نمونه برداری از

یک ظرف استریل شیشه ای ۱۰۰ میلی لیتری که قبلاً به شکل مناسبی شستشو و تمیز شده بود آماده می شد برای شستشوی هر کدام از ظرفهای نمونه برداری ابتدا توسط دترجنت جهت جداسازی آلاینده ها و در ادامه از اسید کلریدریک رقیق استفاده می شد سپس آنها را بوسیله آب مقطر و در ادامه با آب بدون یون (deionized) شستشو داده، سپس این ظرفهای نمونه برداری را در دستگاه فور در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه جهت استریل کردن و رها سازی مواد فرار قرار می گرفت. نمونه برداری ها ماهیانه و در هنگام صبح انجام گرفته می شد. پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه تیوسولفات سدیم (به اندازه کافی) به آنها جهت عمل کلر زدایی اضافه می شد. فاصله نمونه برداری تا آنالیز کمتر از ۶ ساعت می بود سپس غلظت تری هالومتان (کلروفرم) نمونه ها را توسط دستگاه GC مورد آنالیز قرار می گرفت. برای آنالیز نمونه ها از دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل CP-3800 ساخت شرکت VARIAN استرالیا که مجهز به دتکتور جذب شعله (GC-FID) با نمونه بردار اتوماتیک COMBIPAL HS بود استفاده می شد. برای این منظور در ابتدا دستگاه را توسط غلظتهای ساخته شده از کلروفرم با استانداردهای در محدوده ۶۰۰-۰ $\mu\text{g/l}$ در آب خالص تهیه، و در دستگاه جهت ساخت منحنی های استاندارد، تزریق می شد. ویال سیستم (GC-FID) با دتکتور HS، ۱۰ میلی لیتری بوده و بعد از نمونه برداری، ۵ میلی لیتر از نمونه های گرفته شده (بوسیله پمپ ۵ میلی لیتری حبابدار استریل)، در آن ریخته می شد. بعد از آماده سازی و کدگذاری نمونه ها، نمونه ها در یک اوون با دمای 70°C به مدت ۵ دقیقه قرار می گرفت، سپس بصورت اتوماتیک توسط یک میکروسمپلر $300\ \mu\text{m}$ از HS به داخل ستون GC (مدل ستون CP-SIL 8 CB و $32\ \text{mm} \times 30\ \mu\text{m}$ با ضخامت فیلم برابر با $0.25\ \mu\text{m}$ ، VARIAN، استرالیا) تزریق می شد. دمای ستون 35°C بود که با سرعت $9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ گرم می شد تا به دما 100°C برسد (زمان ماند ۸ دقیقه). ورودی در دمای 100°C تنظیم شد و دمای FID برابر 280°C بود. از گاز هلیوم با فشار ۱۱ psi و میزان $35\ \text{ml}/\text{min}$ بعنوان گاز حامل و از گاز نیتروژن بعنوان گاز کمکی (make up) استفاده می شد.

یافته ها

جدول ۲ نتایج حاصل از غلظتهای مختلفی از THMs، در خروجی و ورودی تصفیه خانه را نشان می دهد. با توجه به تعداد و نوع نمونه های مورد آزمایش در این تحقیق، کلیه نتایج بدست آمده را با استفاده از روشهای آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت علاوه بر مقدار کلروفرم، مقدار pH و کدورت آب خام و آب خروجی از تصفیه خانه نیز مورد آنالیز قرار گرفت و نتایج حاصل از آن در جدول ۲ آمده است بر این اساس متوسط غلظت کلروفرم آب ورودی به تصفیه خانه برابر با $6.64\ \mu\text{g/l}$ و متوسط غلظت خروجی برابر با $7.42\ \mu\text{g/l}$ می باشد و متوسط کدورت ورودی و خروجی به ترتیب برابر با ۱،۵ و 0.095 واحد NTU، و متوسط مقدار pH آب خام و آب تصفیه شده به ترتیب برابر با ۷،۹۲ و ۷،۸۷، و متوسط مقدار کلر در آب خام و آب تصفیه شده به ترتیب برابر با $10.73\ \text{mg/l}$ و $0.94\ \text{mg/l}$ بود.

جدول ۲: نتایج حاصل از اندازه گیری pH، کدورت، کلر و THMs اندازه گیری شده در آب ورودی و خروجی از تصفیه خانه

ردیف	زمان نمونه برداری	کدورت آب خام (NTU)	کدورت آب تصفیه شده	pH آب خام	pH آب تصفیه شده	کلر آب خام	کلر آب تصفیه شده	THMs آب خام*	THMs آب تصفیه شده*
۱	فروردین	۱,۴	۰,۰۸	۹۶,۷	۷,۹۰	۰,۷۳	۰,۹۵	۸,۵۸	۹,۱۸
۲	اردیبهشت	۱,۲	۰,۰۵	۷,۹۴	۷,۸۹	۰,۷۸	۰,۹۱	۱۰,۸۶	۱۱,۳۴
۳	خرداد	۱,۶	۰,۱۱	۷,۹۳	۷,۹۰	۰,۷۲	۰,۹۳	۶,۴۳	۷,۰۵
۴	تیر	۱,۸	۰,۱۴	۷,۸۸	۷,۸۱	۰,۶۷	۰,۹۶	۰,۷	۲,۱۲
۵	متوسط	۱,۵	۰,۰۹۵	۷,۹۲	۷,۸۷	۰,۷۳	۰,۹۴	۶,۶۴	۷,۴۲

*تمامی مقادیر THMs اعلام شده بر حسب PPb غلظت کلروفورم می باشد.

بحث و نتیجه گیری

همچنان که p.c.mayankutty و همکارانش نشان دادند که غلظت تری هالو متان آب تصفیه شده همچنین آب چاههای کلرینه شده از سه واحد نمکزدایی از آب دریا در سه استان شرقی عربستان سعودی و آب تولیدی شهر ریاض و چندین ناحیه دیگر خیلی پایینتر از حداکثر مجاز رهنمود WHO و دیگر رهنمودها و استانداردهای بین المللی بود (27). در مطالعه ای دیگر که توسط Dumitru Ristoiu و همکارانش انجام گرفت که در آن میزان تولید THMs را در Cluj-Napoca اندازه گیری کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان می داد که غلظت THMs در همه نمونه ها کمتر از $100 \mu\text{g/l}$ بود (کمتر از حداکثر مقدار استاندارد آب آشامیدنی کشور رومانی بود) (17).

در مطالعه ای که آقای ززولی بروی مقدار غلظت NOMs در آب ورودی به تصفیه خانه جلالیه انجام دادند و غلظت کربن آلی محلول را بین $0,79$ تا $4,6$ میلی گرم در لیتر و میانگین آنرا $1,43 \pm 2,47$ میلی گرم در لیتر اعلام کرد همچنین مقدار کربن آلی محلول تصفیه خانه تهرانپارس $1,1-1,8$ میلی گرم در لیتر $0,6 \pm 1,63$ میلی گرم در لیتر اعلام کرد (31).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که غلظت کلروفورم در منبع ورودی با وجود پیش کلرزنی و در منبع خروجی با وجود متوسط کلر باقیمانده برابر با $0,94$ ، بسیار پایینتر از حد مجاز تری هالومتان آب آشامیدنی ایران و سازمان بهداشت جهانی ($200 \mu\text{g/l}$) می باشد. و از این لحاظ هیچ گونه نگرانی برای مصرف کنندگان وجود ندارد. بیشترین مقدار تری هالومتان در مدت اندازه گیری شده مربوط به اردیبهشت می باشد و احتمال بالا رفتن آن در این فصل به علت بالا رفتن غلظت مواد آلی طبیعی (از پیش سازهای THMs) به علت وارونگی دمایی احتمالی در آب سد کرج (منبع تأمین آب تصفیه خانه

جلالیه) و همچنین شروع فصل گرما و رشد فزاینده مواد گیاهی می باشد . هرچند که هر چه مقدار کدورت آب خام بیشتر باشد در فرآیند حذف کدورت میزان حذف پیش سازهای تری هالومتانها نیز بیشتر است و در نتیجه مقدار تری هالومتان تولیدی پس از کلرزنی نیز کمتر خواهد بود(۱) . اما همانطور که از متوسط مقدار کدورت در آب خروجی پیداست، مقدار آن نیز از حد مطلوب (۱ NTU) پایینتر می باشد با توجه به نتایج حاصل از کدورت ورودی و خروجی از تصفیه خانه، راندمان تصفیه خانه در حذف کدورت بیش از ۹۸ درصد می باشد.

pH بالا باعث تولید بیشتر تری هالومتان ها خواهد شد (۷ و ۱۰). هرچند که در اینجا مقدار pH بالا می باشد اما غلظت تری هالومتانها بسیار پایین می باشد و این بدان دلیل می باشد که دیگر مؤلفه های عامل در بالا رفتن غلظت تری هالومتانها، مانند وجود پیش سازهای آلی به غلظت زیاد وجود ندارند.

یکی از عمده ترین گندزدها که در تمام دنیا به مقدار زیادی از آن استفاده می شود کلر می باشد و از مهمترین گندزدها در تشکیل محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) می باشد (۲۸) که سرطانزاهای بالقوه هستند(۱۹). و میزان تولید این محصولات با غلظت کلر رابطه مستقیم دارد(۶، ۷، ۸، ۹). در این مطالعه متوسط غلظت کلر باقیمانده در آب خروجی از تصفیه خانه کمتر از ۱ mg/l بود که از لحاظ تأمین کیفیت و محافظت میکروبی و ممانعت از رشد مجدد میکرو ارگانیسم ها در شبکه توزیع غلظت مناسبی است (۱). به هر حال به نظر می آید به خاطر مقدار تولید کم تری هالومتان در این آب، غلظت کلر بیشتر از این مقدار از لحاظ تشکیل این ترکیبات نمی تواند مشکلی ایجاد کند.

منابع:

1. josph AS, Nelson LN, Franklin JA. Environmental engineering. 3ed. Hoboken, New jersey, John Willy& Sons. 2003, p439-445.
2. Stevens AA, Slocum CJ, Seeger DP, Robeck GG. Chlorination of organics in drinking water. J. Am. Water Works Assoc. 1976; 68, 615.
3. Babcock DB, Singer PC. Chlorination and coagulation of humic and fulvic acids. J. Am. Water Works Assoc. 1979; 71, 149.
4. Christman RF, Norwood DL, Millington DS, Johnson JD, Stevens AA. Identity and yields of major halogenated products of aquatic fulvic acid chlorination. Env. Sci. Tech. 1983; 17, 625.
5. Lim FY, Pauzi A, Sadia A, Basar I. Dissolved organic matter and its impact on the chlorine demand of treated water. The Malaysian Journal of Analytical Sciences, 2006; 10(2): 243-250.
6. Samadi MT, Naseri S, Mesdaghinia AR, Alizadehfard MR. A Comparative Study on THMs Removal Efficiencies from Drinking Water through Nanofiltration and Air Stripping Packed-Column. water and wastewater journal. 2006; No 57.
7. Singer PC. Formation and characterization of disinfection by-products, Safety of water disinfection: balancing microbial risks, G. F., Craun ed., Int. Life Sciences Inst. Press, Washington, D. C. 1993; 201-219.
8. Singer PC. Control of disinfection by-products in drinking water, J. Env. Eng. Jul/Aug 1994, 120.
9. Pourmoghaddas H, Stevens AA. Relationship between trihalomethanes and haloacetic acids with total organic halogen during chlorination. Water Research. 1995; 29, 2059-2062.
10. Lekkas TD. Environmental Engineering I: Management of Water Resources. Univerity of the Aegean. Department of Environmental Studies, Mytilene, Greece. 1996.
11. Krasner SW, McGuire MJ, Jacangelo JJ. The occurrence of disinfection by-products in U.S. drinking water. J. Am. Water Works Assoc. 1989; 81, 41.
12. Williams DT, LeBel GL, Benoit FM. Disinfection by-products in Canadian drinking water.

- Chemosphere. 1997; 34, 299-316.
13. Golfopoulos SK, Kostopoulou MN, Lekkas TD. Detection of THMs in the Athens water supply. Proceedings 3rd Conference on Environmental Science and Technology, Vol. B., p 423, Molyvos, Lesvos, Greece. 1993.
 14. Golfopoulos SK, Kostopoulou MN, Lekkas TD. Seasonal variation in trihalomethanes level in the water supply system of Athens. 6th International Conference on Environmental Contamination, Delphi, Greece. 1996.
 15. LeBel GL, Benoit FM, Williams DT. A one-year survey of halogenated DBPs in the distribution system of treatment plants using three different disinfection processes. Chemosphere. 1997; 34, 2301-2317.
 16. Letterman RD, Amirthajah A, Omelia CR. Coagulation and flocculation in water quality and treatment. 5th Ed. American Water Works Association, Mac Grawhill Inc. New York. 1999.
 17. P. C. Mayankutty, Azhar Amin Nomani, T.S. Thankachan and Radwan Al-Rasheed. . Studies on THMs formation by various disinfectants in seawater desalination plants. Paper presented at the IDA conference, Abu Dhabi, held during 18- 24 Nov., 1995
 18. U.S. EPA. Summaries of new health effects data, Office of Science and Technology, Office of Water. 1997.
 19. U.S. EPA. National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection By-Products Notice of Data Availability, Office of Ground Water and Drinking Water. 1998.
<http://www.epa.gov/OGWDW/mdbp/dis.htm>.
 20. Industrial research and standard institute of Iran, physical and chemical quality of drinking water. Fifth edition. No 1053, Tehran, 1997.
 21. Bull RJ, Robinson M. Carcinogenic activity of haloacetonitrile and haloacetone derivatives in the mouse skin and lung, In: Water chlorination: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects, Vol. 5, Lewis Publishers, USA, 1986. pp 221-227.
 22. Singer PC, Harrington GW. Coagulation of DBP precursors: theoretical and practical considerations. Proc. Water Quality Technol. Conf., American Water Works Assoc., Denver, Colo. 1993; 1-19.
 23. Laine JM, Jacangelo JG, Cummings EW, Carns KE, Malleviale J. Influence of bromide on low-pressure membrane filtration for controlling DBPs in surface waters. J. AWWA; 1993. 85-87.
 24. Sandrucci P, Merlo G, Meucci L. PAC activity vs by-product precursors in water disinfection. Water Research. 1995; 29, 2299-2308.
 25. Premazzi G, Cardoso C, Conio O, Palumbo F, Ziglio G, Meucci L, Borgioli A. Standards and strategies in the European Union to control trihalomethanes in drinking water, Environment Institute, European Commission Joint Research Centre and Techware. Italy. 1997
 26. Kim HC, Yu MJ. Characterization of natural organic matter in conventional water treatment processes for selection of treatment processes focused on DBPs control. Water research. 2005; 39: 4779-4789.
 27. Cowman GA, Singer PC. Effect of bromide ion on haloacetic acid speciation resulting from chlorination and chloramination of humic extracts. Proc. Annu. Conf., American Water Works Assoc., Denver, Colo. 1994.
 28. Wolfe R L. Ultraviolet disinfection of potable water. Env. Sci. Tech. 1990; 24, 768.
 29. Richardson SD, Thruston AD, Collette TW, Patterson KS, Lykins BW, Ireland J. Identification of TiO₂/UV disinfection byproducts in drinking water. Env. Sci. Tech. 1996; 30, 3327-3334.
 30. Mayankutty PC, Azhar AN, Thankachan TS. Estimation of trihalomethanes in chlorinated drinking water from sea water desalination plants in Al-Jubail, Al-Khobar and Al-Khafji. Presented at WSTA Conference held in Kuwait in 2005.