صص ۴۴-۳۱

ارزیابی خطر قرار گرفتن در معرض تری هالو متان‌ها در آب شرب روستایی

علی نصیری
دانشجوی دکتری گروه مهندسی محیطزیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران
نعمت اله جعفر زاده حقیقی فرد*
استاد مدعو، گروه مهندسی محیطزیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران
استاد مرکز تحقیقات سم‌شناسی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
عبدالرحیم پذیرا
دانشیار گروه مهندسی محیطزیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران
فاضل امیری
دانشیار گروه مهندسی محیطزیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۴/۱۶

چکیده

تری هالو متان‌ها توسط انستیتو تحقیقات سرطان به‌عنوان ماده سرطان‌زا برای انسان معرفی شده است. با توجه به این‌که در پروژه هفت روستا منبع تأمین آب آشامیدنی، آب زیرزمینی و آب سد درود زن است و گندزدای مورد استفاده کلر می‌باشد، این مطالعه با هدف تعیین غلظت تری هالو متان‌ها در آب آشامیدنی پروژه هفت روستا انجام شد. مطالعه حاضر در بازده زمانی بهار و تابستان ۱۳۹۶ انجام گرفت. بدین منظور سه روستا (عباس‌آباد، مجد آباد، کمر زرد) از شهرستان مرودشت فارس با مجموع ۹ ایستگاه انتخاب و مقادیر کلر، pH، دما، کل کربن آلی و تری هالو متان‌ها با سه تکرار در نمونه‌های آب اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت ترکیبات تری هالو متان‌ها در این مطالعه برای روستای عباس‌آباد برابر ۳۹ میلی‌گرم بر لیتر، روستای کمر زرد ۳۸/۶ میلی‌گرم بر لیتر و روستای مجد آباد ۳۹/۷ میلی‌گرم بر لیتر برآورد شد. بیشترین غلظت ثبت شده مربوط به روستای مجد آباد با غلظت ۷۳ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه گردید. میانگین غلظت کلروفرم، برموفرم، برمودی کلرومتان و دی برموکلرومتان و کل‌تری هالو متان‌ها در آب شبکه در فصل بهار ۹۶ به ترتیب برابر ۲۲/۲۵±۷/۹۸، ۱۱/۴۲±۳/۹۰، ۷/۴۳±۲/۷۲، ۵/۹۵±۲/۵۱، ۴۷/۰۶±۱۵/۷۰ میلی‌گرم بر لیتر در تابستان ۹۶ به ترتیب برابر ۱۴/۶۹±۴/۱۱، ۷/۵۵±۱/۹۹، ۴/۹۳±۱/۵۱، ۳/۹۵±۱/۴۹، ۳۱/۱۳±۷/۹۷ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد. با توجه به مقادیر غلظت تری هالو متان در آب شرب منطقه مورد مطالعه، امکان بروز ترکیبات تری هالو متان در اثر مصرف آب‌های مورد مطالعه بسیار پایین بوده و حضور این آلاینده در آبهای مورد مطالعه خطری را متوجه مصرف‌کنندگان در هیچ‌یک از گروه‌های سنی نمی‌کند.

واژگان کلیدی: تری هالو متان، روستا، شبکه توزیع، آب شرب.

*نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۳۱۸۴۵۰۱ Email: jaafarzadeh-n@ajums.ac.ir

مقدمه

برای جلوگیری از انتقال عوامل بیماری‌زای میکروبی توسط آب، گندزدایی آب ضروری است (Boorman, 1999). به خاطر هزینه پایین کلر و راحتی کاربرد، از کلرزنی به‌طور وسیعی برای گندزدایی آب آشامیدنی استفاده می‌گردد که در کاهش بیماری‌های ناشی از آب مؤثر است (Bull, 2001). به خاطر هزینه پایین کلر و راحتی کاربرد، از کلرزنی به طور وسیعی برای گند زدایی آب آشامیدنی استفاده می‌شود که در کاهش بیماری های ناشی از آب موثر است (Bull , & 2001 بابایی و همکاران، ۱۳۹۰). گزارش‌ها نشان می‌دهد که برخی از مواد ضدعفونی کننده مانند کلر با برخی از ترکیبات آلی موجود در آب واکنش نشان می‌دهند و مجموعه‌ای از ترکیبات سرطان‌زا را تولید می‌کنند (Boorman, 1999 & Bull, 2001) و سادات حسینی و همکاران، ۱۳۹۱). مواجهه انسان با مواد شیمیایی مختلف می‌تواند از مسیرهای مختلف مانند بلع، تماس پوستی و استنشاق صورت پذیرد که در این میان مسیر بلع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است(Villanueva, 2014). در طی فرایند گندزدایی، واکنش بین مواد ارگانیک طبیعی و کلر انواع مختلفی از ترکیبات جانبی گندزدایی (DBPS) شامل، تری هالو متان‌ها (THMs)، هالو استو نیتریل (HKS)، هالو استیک اسیدها (HAAS)، هالو کتون‌ها (HKS) و ترکیبات جانبی شناخته شده و ناشناخته دیگر تولید کند (Richardson, 2005 & US EPA, 2011 و سادات حسینی و همکاران، ۱۳۹۱). تشکیل تری هالو متان‌ها به فاکتورهای زیادی مانند، pH زمان تماس با کلـر، غلظت و خصوصیات کلر، کلر باقیمانده، دما، مقدار مواد ارگانیک طبیعی (Natural Organi Matters) NOMs و غلظت برم بستگی دارد (Singer PC, 1993 & Lekkas, 1996). افـزایش pH و زمـان تماس، باعث افزایش تولیدتری هالو متان‌ها و کـاهش تولید هالواستیک اسیدها می‌شود (Singer PC, 1994 & Krasner et al, 1989) با افزایش دما، سرعت واکنش‌های شیمیایی بیشتر شده که در نتـیجه آن مـصرف کلـر زیـاد می‌شود و همـین امـر منجـر بـه افـزایش تـشکیل ترکیبات جانبی می‌شود Williams et al, 1997 & LeBel et al, 1997 و جعفری و همکاران، ۱۳۹۱). تری هالو متان‌ها معمول‌ترین محـصولات جانبـی کلریناسیون آب هستند که در مقایسه با سایر آلاینده‌های ارگانو هالوژنه در غلظت‌های بالاتری عملکرد دارند (Letterman, 1999). عمده ترکیبات تری هالو متان‌ها موجود در آب شـــامل: بـــرمودی کلـــرومتان ($CH\ Cl_2\ Br$)، برموفـــرم ($CHBr_3$)، کلروفـــرم ($CHCl_3$) و دی برموکلـرومتان ($CH\ Cl\ Br_2$) می‌باشند (Samadi et al, 2006 & Kutty, 1995).

آژانس حفاظت از محیطزیست آمریکا (US. EPA) کلروفرم را در کلاس B1 (ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشد با داده‌های انسان برآورد شده)، برومودی کلرومتان و برموفرم در کلاس B2 (احتمالاً ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشد با داده‌های حیوانات برآورد شده) و دی برمو کلرومتان در کلاسC (ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشد) قرار داده است (Phillips, 2013). در قوانین مربوط به محصولات جانبی گندزدایی که توسط آژانس حفاظت از محیطزیست آمریکا در سال ۱۹۷۶ تنظیم شده است (Bull, 2001 & Villanueva, 2014) حداکثر مقدار مجاز Concentration Level =MCL Maximum بـرای کل‌تری هالو متان‌ها تحت عنوان متوسط سالانه، ۸۰ میلی‌گرم

در لیتر اعلام کرده است (Us E, 2006). از مهم‌ترین رویکردها جهت کنترل تری هالو متان‌ها حذف پیش سازهای محصولات جانبی است که در قالب روش‌های زیر انجام می‌گیرد. از طریق لخته سازی پیش سازها (LeBel et al, 1997)، جذب سطحی توسط کربن فعال گرانوله‌ای (LeBel et al, 1997)، فرآیندهای غشائی، نانوفیلتراسیون (Singer P, 1993 & Sandrucci P et al, 1995) با کمک غشاءهایی که توانایی حذف ذرات با وزن مولکولی ۵۰۰–۲۰۰ دالتون را دارند (Premazzi et al, 1997). بزرگ‌ترین جزء مواد ارگانیک طبیعی موجود در آب مربوط به اسیدهای هیدروفوبیک است (Kim et al, 2005 & Laîné 1993). حدود ۵۰ در صد (Disolved Organic Carbon=DOC) این دسته مواد معروف به اسیدهای آبی یا مواد هستند که متشکل از اسیدهای هیومیک و فولیک هستند (Kim et al, 2005). فاکتورهای دیگر، در کنترل تری هالو متان‌ها استفاده متناوب از گندزداهایی مانند کلر آمین‌ها (Cowman et al, 1995)، ازن (Singer PC, 1994)، دی‌اکسید کلر (Singer PC, 1994)، پرمنگنات (Singer PC, 1994)، اشعه UV (Wolfe, 2005) است. در حال حاضر استفاده از ازن و دی‌اکسید کلر به‌عنوان گزینه‌های مورد اهمیت در آمریکا و اروپا در اولویت می‌باشند (Richardson, 1996). مطالعات اپیدمیولوژی اخیر نشان می‌دهد که‌تری هالو متان‌ها دارای آثار منفی زیادی همچون بروز سقط‌جنین ناگهانی، نقایص هنگام تولد و زایمان و بروز جنین مرده می‌باشند (Kutty, 1995). آثار دیگری بخصوص در مورد کلروفرم گزارش شده است که تأثیر بر تولید مثل، بروز ناهنجاری‌های مادرزادی، آسیب به اعضای خاص بدن مانند کبد، کلیه و سیستم عصبی و آثار سوء در سیستم گردش خون از آن جمله هستند (Richardson, 1996). مطالعات بسیاری در مورد ارتباط بین آب آشامیدنی که توسط کلر گندزدایی می‌شود و مشکلات تولید مثل در انسان وجود دارد (Richardson, 1996 & Jack, 2003).

با توجه به مخاطرات بهداشتی تری هالو متان‌ها، آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در سال ۱۹۷۹ قوانینی را برای کنترل تری هالو متان‌ها در آب آشامیدنی منتشر کرد که طبق این قانون حداکثر مقدار مجاز برای کل‌تری هالو متان‌ها تحت عنوان متوسط مقدار سالانه در آب آشامیدنی ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر تعیین شد که از سال ۱۹۹۸ تاکنون این مقدار به ۸۰ میکروگرم بر لیتر تقلیل یافته است (Us E, 2006). همچنین مؤسسه استاندارد تحقیقات آب ایران بر اساس کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی در سال ۱۳۷۶ حداکثر مقدارتری هالو متان‌ها را به ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر معادل کلروفرم اعلام کرد (Lee et al, 2004).

مطالعات انجام شده توسط چو دری که در کشور کانادا و عربستان سعودی انجام گرفت مشخص شد خطر در معرض قرار گرفتن با تری هالو متان‌ها از طریق جذب پوستی و استنشاق در حالتی که درجه حرارت آب حاوی کلر بالا باشد بیشتر خواهد شد (Chowdhury et al, 2007). همچنین در مطالعات پرداختی و همکاران، غلظت کل‌تری هالو متان‌ها در مناطق مختلف شهر تهران بین ۰/۸۱ و ۹ میکروگرم بر لیتر بود و بالاترین غلظت در یکی از مناطق با ۱۹/۵ میکروگرم بر لیتر مشاهده گردید. نتایج نشان داد که خطر ابتلا به سرطان در طول عمر در منطقه‌ای که نسبتاً مرفه بود و از آب‌های سطحی جهت آشامیدن استفاده می‌شد برابر ۵–۱۰*۷/۱۹ بوده، این در حالی است که در منطقه دیگری که

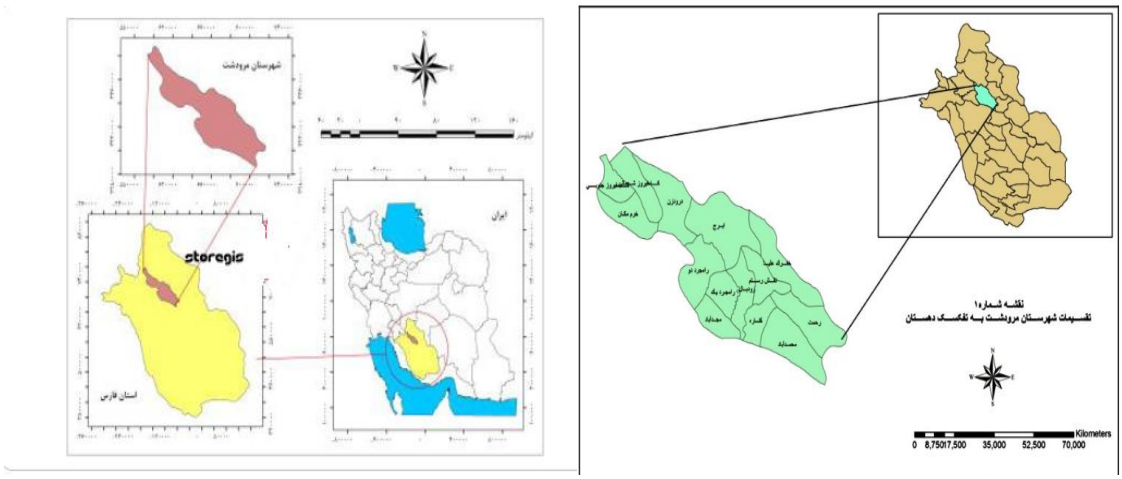
کمتر مرفه بود و آب چاه جهت آشامیدن استفاده می‌شد خطر ابتلا به سرطان در حدود ۶- ۱۰*۹/۳۸ بود. نتیجه اینکه با توجه به جمعیتی که در معرض مصرف‌تری هالو متان‌ها قرار می‌گیرد متوسط طول عمر خطر ابتلا به سرطان ۵- ۱۰*۴/۳۳ است (Pardakhti et al, 2011).

بر اساس مطالعه‌ای که فضلی در زمستان ۱۳۹۱ و تابستان ۱۳۹۲ جهت تعیین غلظت ترکیبات تری هالو متان‌ها در آب شبکه شهر زنجان انجام داد، میانگین غلظت کلروفرم، برموفرم، دی برموکلرومتان و دی کلروبرمومتان و کل‌تری هالو متان‌ها در آب شبکه در فصل زمستان به ترتیب برابر ۱/۴۴ ± ۴/۷، ۱/۲۵ ± ۴/۷۲، ۰/۴۳ ± ۳/۰۸، ۰/۱۴ ± ۱/۹۸، ۳/۰۹ ± ۱۴/۱۹ میکروگرم بر لیتر و در تابستان به ترتیب برابر ۱/۸۳ ± ۴/۲۱، ۱/۸ ± ۴/۷۱، ۰/۸۱ ± ۳/۶۵، ±۰/۱۴ ۲/۲۲، ۴/۴ ±۱۴/۸۱ میکروگرم بر لیتر محاسبه شد که در حدود پیشنهادی رهنمود استاندارد ملی و بین‌المللی بود (Golfinopoulos, 1993)؛ همچنین بر اساس مطالعه‌ای که بابایی در سال ۱۳۹۰ در شهر اهواز انجام داد غلظت کل‌تری هالو متان‌ها در فصل زمستان از ۲۰/۵ میکروگرم بر لیتر تا ۸۶ میکروگرم بر لیتر، در فصل بهار ۱۸/۹۲ میکروگرم بر لیتر تا ۶۶/۰۶ میکروگرم بر لیتر و در فصل تابستان از ۱۷/۳۵ میکروگرم بر لیتر تا ۱۷۴/۷۵ میکروگرم بر لیتر متغیر بود. نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت کل‌تری هالو متان‌ها تنها در ۶ مورد بیشتر از حد مجاز آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (۸۰ میکروگرم بر لیتر) و تنها در ۳ مورد بیشتر از استاندارد ایران و رهنمود سازمان بهداشت جهانی است (Golfinopoulos et al, 1996).

مظلومی و همکاران (۲۰۱۰) غلظت تری هالو متان‌ها در آب شرب شهر تهران را بررسی و نشان دادند که غلظت کلروفرم در منبع ورودی باوجود پیش‌کلرزنی و در منبع خروجی با وجود متوسط کلر باقیمانده برابر با ۰/۹۴ میکروگرم بر لیتر است که بسیار پایین‌تر از حد مجازتری هالو متان آب آشامیدنی ایران و سازمان بهداشت جهانی (میکروگرم بر لیتر) می‌باشد (LeBel et al, 1993 & Mazloomi et al, 2009 و مظلومی و همکاران، ۱۳۸۸).

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در بازده زمانی بهار و تابستان ۱۳۹۶ انجام گرفت. بدین منظور از پروژه هفت روستا از شهرستان مرودشت فارس (هفت روستا نام پروژه‌ای در این شهرستان است)، سه روستای عباس‌آباد، مجد آباد، کمر زرد با مجموع ۹ ایستگاه انتخاب گردید (شکل یک) و از هر موقعیت روستا نمونه‌گیری با سه تکرار انجام گرفت و داده‌ها با بالاترین غلظت انتخاب شد. منبع آب شرب ترکیبی از آب سد درود زن و آب چاه‌های زیرزمینی بود.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی سه روستا در استان فارس

داده‌ها و روش‌ها

جهت مطالعه ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی در آب‌های سطحی تصفیه شده، فهرست منابع بیش از ۱۵ کشور مختلف در سراسر جهان آورده شده است (جدول ۱) داده‌ها شامل حداقل، میانگین و حداکثر غلظت‌ها در سیستم‌های توزیع آب آشامیدنی بود. برای یکپارچگی واحدها، مقادیر غلظت منتشر شده برای تجزیه و تحلیل، به میکروگرم بر لیتر تبدیل شده است (Hamidin et al, 2008).

جدول ۱: فهرست منابع ترکیبات جانبی در بالاترین دوز اندازه‌گیری شده

DBPS	Country	Year	Source Of Water	References
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Turkey	2004	Distribu ion system	Uyak (2006)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Greece	2001/02	Distribution system	Golfinopoulos and Nikolaou (2005
DCAA, TCAA	UK	2003	Tap water	Malliarou et al. (2005)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Turkey & Italy	2004	After chlorination	Rizzo et al. (2005)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Turkey	2003	Distribution system	Toroz and Uyak (2005)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Hong Kong	1997	Tap water	Lee et al. (2004)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Canada	2000/01 and 2001/02	Distribution system	Rodriguez et al. (2004a, b)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Russia	1999–2001	Tap water	Egorov et al. (2003)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Spain	2000	After chlorination	Iriarte et al. (2003)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Spain	1990	Tap water	Villanueva et al. (2003)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	UK	1992–1998	–	
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Korea	–	After chlorination	Kim et al. (2002)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Finland	1994	After chlorination	Nissinen et al. (2002)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Korea	1996–1998	After chlorination	Lee et al. (2001)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	European countries	1980–late 1990s	After chlorination	Palacios et al. (2000)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Spain	1997/98	After chlorination	Cancho et al. (1999)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	US & Europe	1989–1993	–	Nikolaou et al. (1999)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Egypt	1991–1993	After chlorination	El-Shahat et al. (1998)
TCM, BDCM, DBCM, TBM, DCAA, TCAA	Canada	1993	After chlorination	Williams et al. (1997, 1998)
TCM, BDCM, DBCM	Greece	1995/96	Distribution system	Golfinopoulos et al. (1998)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Taiwan	–	Tap water	Kuo et al. (1997)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Egypt	–	–	Hassan et al. (1996)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Israel	–	–	Heller-Grossman et al. (1993)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Egypt	1989	Distribution system	El-Dib and Ali (1992)
TCM, BDCM, DBCM, TBM	Canada	1981	–	Morrison and Dionne (1982)

TCM, trichloromethane; **BDCM**, bromodichloromethane; **DBCM**, dibromochloromethane; **TBM**, tribromomethane; **DCAA,** dichloroacetic acid**; TCAA**, trichloroacetic acid.

مآخذ: نگارندگان

شایان ذکر است برای ارزیابی دوزهای مواجهه با انسان، مقادیر غلظت ترکیبات جانبی با استفاده از دستورالعمل آژانس حفاظت از محیطزیست آمریکا به دوز تبدیل شد (Hamidin et al, 2008).

مطالعه حاضر در بازده زمانی بهار و تابستان ۱۳۹۶ انجام گرفت. بدین منظور سه روستا (عباس‌آباد، مجد آباد، کمر زرد) از شهرستان مرودشت فارس انتخاب و نمونه‌های آب از نظر مقادیر کلر، pH، دما، کل کربن آلی و تری هالو متان‌ها آنالیز و بالاترین غلظت داده‌ها انتخاب شد. منبع آب شرب ترکیبی از آب سد درود زن و آب چاه‌های زیرزمینی بود. روش نمونه‌برداری و اندازه‌گیری تری هالو متان‌ها مطابق استاندارد متد (بخش 6200 B) و با استفاده از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی / مس اسپکترومتری (GC/MS) انجام شد (Bland, 1995).

برای اعتبار سنجی روش اندازه‌گیری تری هالو متان‌ها از درصد بازیافت و انحراف معیار نسبی استفاده شد. جدول ۲ درصد بازیافت و انحراف معیار نسبی به دست آمده برای روش اندازه‌گیری ترکیبات تری هالو متان در این پژوهش را نشان می‌دهد. طبق روش توصیه شده استاندارد متد درصد بازیافت بین ۱۲۰-۸۰ درصد قابل قبول است (Pavón et al, 2008). در جدول مشاهده می‌شود که درصدهای بازیافت به‌دست‌آمده در محدوده فوق قرار می‌گیرد؛ بنابراین اندازه‌گیری تری هالو متان‌ها ازنظر صحت سنجی مطلوب است. همچنین ازآنجاکه انحراف معیار نسبی کمتر از ۲۰٪ را قابل قبول توصیه می‌نماید (Pavón et al, 2008)؛ بنابراین اندازه‌گیری تری هالو متان‌ها از نظر دقت سنجی هم مطلوب است.

جدول ۲: مقادیر برای اندازه‌گیری ترکیبات تری هالو متان‌ها

آنالیت	درصد بازیافت	انحراف معیار نسبی	آنالیت	درصد بازیافت	انحراف معیار نسبی
کلروفرم	۸۱/۰۵	۱/۱۳	دی کلروبرمو متان	۸۰/۸۲	۳/۵۵
دی برمو کلرومتان	۸۷/۷۳	۴/۶۷	برموفرم	۸۳/۳۵	۲/۲۳

مآخذ: نگارندگان

داده‌های بدست آمده با آزمون‌های آماری Kolmogorov– Smirnov test، P-P Plots، Paired Sample t test، One Sample t test مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها

جدول ۳ و ۴ مقایسه میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر، دامنه، کمینه و بیشینه ۹۵ درصد تغییرات غلظت تری هالو متان‌ها در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین غلظت تری هالو متان‌ها در منطقه مورد مطالعه در فصل بهار برای کلروفرم، برموفرم، دی برموکلرومتان و دی کلروبرمومتان در کل نمونه‌ها به ترتیب ۲۲/۲۵، ۱۱/۴۲، ۵/۹۵، ۷/۴۳ میکروگرم بر لیتر و برای تابستان به ترتیب برابر ۱۴/۶۹، ۷/۵۵، ۳/۹۵، ۳/۹۳ میکروگرم بر لیتر است؛ همچنین میانگین غلظت کل‌تری هالو متان‌ها برای بهار ۴۷/۰۶ میکروگرم بر لیتر و برای تابستان ۳۱/۱۳ میکروگرم بر لیتر بوده است. مقایسه بین غلظت تری هالو متان در دو فصل بهار و تابستان با آزمون Paired Sample t

test و آزمون One Sample t test (جدول ۵ و ۶) انجام شد و نتایج نشان داد که بین غلظت کل‌تری هالو متان‌ها در فصل بهار و تابستان اختلاف معناداری وجود ندارد.

جدول ۳: مقادیر آماره‌های توصیفی مربوط به غلظت ترکیبات تری هالو متان‌ها

روستا	آنالیت	میانگین	حد کمینه و بیشینه ۹۵	
			حداقل	حداکثر
عباس‌آباد	کلروفرم	۱۹/۷۳۴۰	۱۵/۶۳۵۴	۲۴/۸۹۲۶
	دی کلروبرمو متان	۵/۲۶۵۰	۴/۱۷۱۵	۶/۶۴۱۳
	دی برمو کلرومتان	۳/۹۳۹۰	۳/۱۲۰۹	۴/۹۶۸۷
	برموفرم	۱۰/۰۶۲۰	۷/۹۷۲۲	۱۲/۶۹۲۳
مجد آباد	کلروفرم	۲۰/۰۴۸۵	۱۵/۴۵۴۳	۲۵/۴۰۰۲
	دی کلروبرمو متان	۵/۷۵۶۵	۴/۴۳۷۴	۷/۲۹۳۱
	دی برمو کلرومتان	۴/۱۶۸۵	۳/۲۱۳۳	۵/۲۸۱۲
	برموفرم	۹/۷۲۶۵	۷/۴۹۷۶	۱۲/۳۲۲۹
کمر زرد	کلروفرم	۱۵/۶۳۳۰	۱۲/۷۱۷۰	۱۹/۰۳۵۰
	دی کلروبرمو متان	۷/۵۲۷۰	۶/۱۲۳۰	۹/۱۶۵۰
	دی برمو کلرومتان	۶/۷۵۵۰	۵/۴۹۵۰	۸/۲۲۵۰
	برموفرم	۸/۶۸۵۰	۷/۰۶۵۰	۱۰/۵۷۵۰

ادامه **جدول ۳** – حد کمینه و بیشینه ۹۵ درصد غظت تری هالو متانها

بهار	حد کمینه و بیشینه ۹۵ درصد		تابستان	حد کمینه و بیشینه ۹۵ درصد	
	حد بیشینه ۹۵ درصد	حد کمینه ۹۵ درصد		حد بیشینه ۹۵ درصد	حد کمینه ۹۵ درصد
کل‌تری هالو متان	۵۵/۷۶	۳۸/۳۶	کل‌تری هالو متان	۳۵/۵۴	۲۶/۷۱
برموفرم	۱۳/۵۹	۹/۲۶	برموفرم	۸/۶۵	۶/۴۵
دی برمو کلرومتان	۷/۳۴	۴/۵۵	دی برمو کلرومتان	۴/۷۸	۳/۱۲
دی کلروبرمو متان	۸/۹۴	۵/۹۲	دی کلروبرمو متان	۵/۷۷	۴/۰۸
کلروفرم	۲۶/۶۷	۱۷/۸۳	کلروفرم	۱۶/۹۶	۱۲/۴۱

مآخذ: نگارندگان

جدول ۴: مقایسه فصلی میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر و دامنه تغییرات غلظت تری هالو متان‌ها

زمان	پارامتر	برموفرم	دی برمو کلرومتان	دی کلروبرمومتان	کلروفرم	کل‌تری هالو متان
بهار	حداقل	۶/۷۵	۳/۱۳	۴/۹	۱۲/۱۵	۳۰
	حداکثر	۱۷/۸۹	۱۱/۰۳	۱۲/۲۹	۳۶/۸۷	۷۳
	میانگین	۱۱/۴۲	۵/۹۵	۷/۴۳	۲۲/۲۵	۴۷/۰۶۶
	دامنه	۱۱/۱۴	۷/۸۹	۸/۱	۲۴/۷۲	۴۳
تابستان	حداقل	۵/۸۵	۲/۶۳	۳/۵۱	۱۰/۵۳	۲۵
	حداکثر	۱۱/۸۷	۷/۸۸	۸/۷۸	۲۴/۲۴	۴۸
	میانگین	۷/۵۵	۳/۹۵	۴/۹۳	۱۴/۶۹	۳۱/۱۳۳
	دامنه	۶/۰۲	۵/۲۵	۵/۲۷	۱۳/۷۱	۲۳

مآخذ: نگارندگان

جدول ۵: مقایسه غلظت تری هالو متان‌ها توسط آزمون Paired Sample t test

کل‌تری هالومتان	Paired Differences					سطح اطمینان
	میانگین	انحراف معیار	اشتباه معیار برای میانگین	فاصله اختلاف اطمینان ۹۵ درصد		
				کمینه	بیشینه	
کلروفرم	۲۰/۶۲	۸/۲۵	۱/۵۰	۱۷/۵۴	۲۳/۷۰	۰/۰۰۰
دی کلروبرمومتان	۳۲/۹۱	۱۲/۴۸	۲/۲۸	۲۸/۲۵	۳۷/۵۸	۰/۰۰۰
دی برموکلرومتان	۳۴/۱۴	۱۲/۹۶	۲/۳۶	۲۹/۳۰	۳۸/۹۸	۰/۰۰۰
برموفرم	۲۹/۶۰	۱۱/۱۹	۲/۰۴	۲۵/۴۲	۳۳/۷۹	۰/۰۰۰

مآخذ: نگارندگان

جدول ۶: مقایسه غلظت تری هالو متان‌ها توسط آزمون One Sample t test

کل‌تری هالو متان	Test Value = 80			
	سطح اطمینان	میانگین اختلاف	فاصله اختلاف اطمینان ۹۵ درصد	
			کمینه	بیشینه
کلروفرم	۰/۰۰۰	-۶۱/۵۲	-۶۴/۲۶	-۵۸/۷۹
دی کلروبرمومتان	۰/۰۰۰	-۷۳/۸۱	-۷۴/۷۵	-۷۲/۸۷
دی برموکلرومتان	۰/۰۰۰	-۷۵/۰۴	-۷۵/۸۹	-۷۴/۱۹
برموفرم	۰/۰۰۰	-۷۰/۵۰	-۷۱/۸۶	-۶۹/۱۵

مآخذ: نگارندگان

آژانس حفاظت از محیط‌زیست از آمریکا کلروفرم را در کلاس B1 (ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشد با داده‌های انسان برآورد شده)، برومودی کلرومتان و برموفرم در کلاس B2 (احتمالاً ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشد با داده‌های حیوانات برآورد شده) و دی برمو کلرومتان در کلاس C (ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشد قرار داده است جدول ۷، (Phillips, 2013).

فاکتور شیب سرطان‌زایی و طبقه‌بندی گروه سرطان برای ترکیبات مختلف‌تری هالو متان‌ها بر اساس آژانس حفاظت از محیط‌زیست از آمریکا در جدول ۷ آورده شده‌اند (Phillips, 2013).

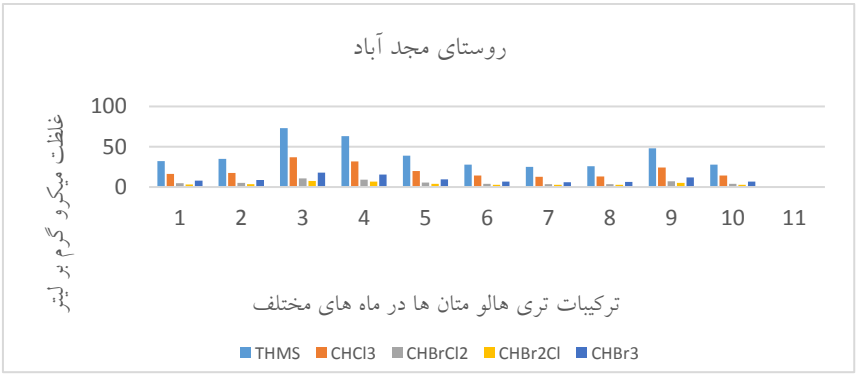
جدول ۷: عوامل شیب سرطان‌زا و طبقه‌بندی گروه سرطان برای گونه‌های تری هالو متان‌ها

آنالیت	گروه بندی	فاکتور شیب PF_{ORAL}
	سرطان	(میلی‌گرم بر کیلو گرم در روز)
		دهانی
کلروفرم	B1	۳/۱ × ۱۰−۲
دی کلروبرمو متان	B2	۶/۲ × ۱۰−۲
دی برمو کلرومتان	C	۸/۴ × ۱۰−۲
برموفرم	B2	۷/۹ × ۱۰−۲

مآخذ: نگارندگان

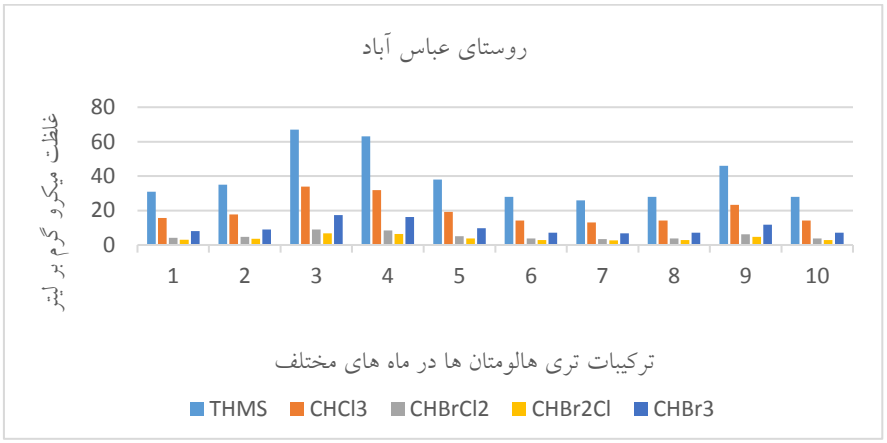
همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود حداکثر و حداقل غلظت تری هالو متان‌ها در سه روستای مورد مطالعه به ترتیب متعلق به کلروفرم و دی برموکلرومتان بوده است؛ بنابراین، کلروفرم به‌عنوان ترکیب غالب در بین ترکیبات

مختلف‌تری هالو متان‌ها اندازه‌گیری شده و در مطالعه حاضر در نظر گرفته شد. همان‌گونه که در شکل ۲ و ۳ و ۴ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین غلظت ثبت شده در خصوص‌تری هالو متان‌ها مربوط به روستای مجد آباد با غلظت ۷۳ میکروگرم بر لیتر و ۲۵ میکروگرم بر لیتر است.



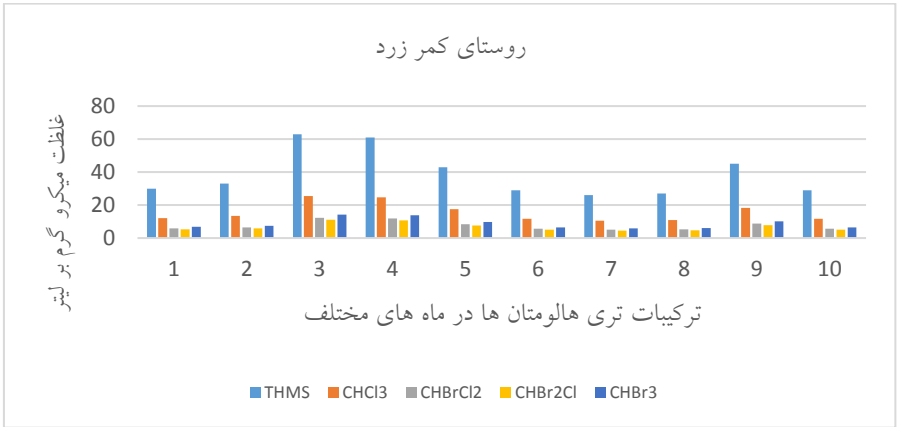
مآخذ: نگارندگان

شکل ۲: نمودار غلظت ترکیبات تری هالو متان‌ها در مناطق مختلف روستای مجد آباد



مآخذ: نگارندگان

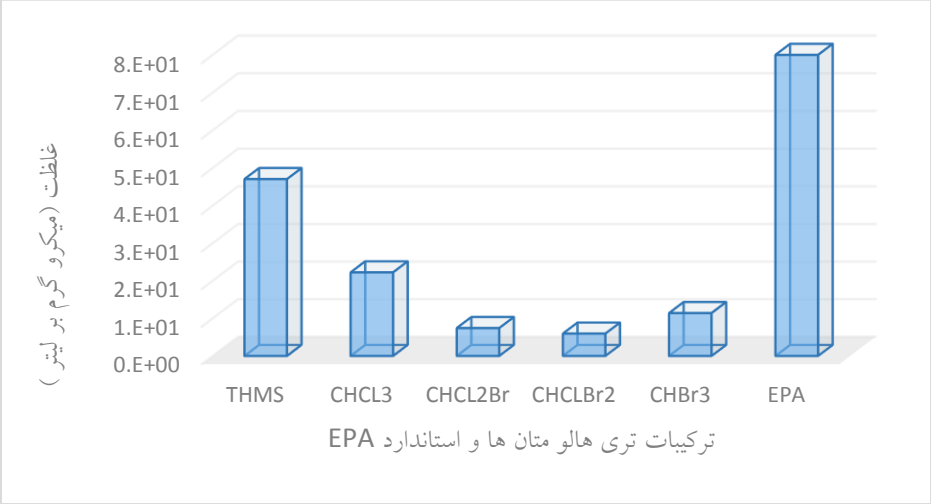
شکل ۳: نمودار غلظت ترکیبات تری هالو متان‌ها در مناطق مختلف روستای عباس‌آباد



مآخذ: نگارندگان

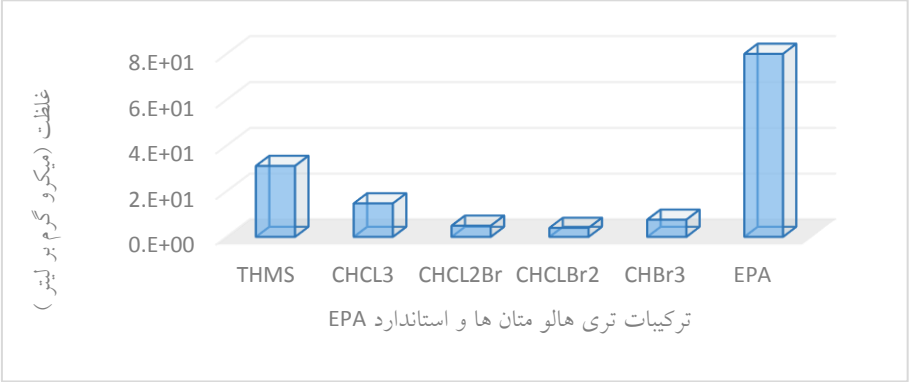
شکل ۴: نمودار **غلظت** ترکیبات تری هالو متان‌ها در مناطق مختلف روستای کمر زرد

شکل ۵ و ۶ میانگین غلظت هر یک از ترکیبات تری هالو متان‌ها و کل‌تری هالو متان‌ها با استاندارد آژانس حفاظت از محیطزیست از آمریکا در دو فصل بهار و تابستان ۹۶ را نشان می‌دهد.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۵: نمودار میانگین غلظت ترکیبات تری هالو متان‌ها با استاندارد EPA در فصل بهار



مآخذ: نگارندگان

شکل ۶: نمودار میانگین غلظت ترکیبات تری هالو متان‌ها با استاندارد EPA در فصل تابستان

همان‌گونه که از نمودارها مشاهده می‌شود میانگین غلظت کلروفرم، برموفرم، دی برموکلرومتان و دی کلروبرمومتان و کل‌تری هالو متان‌ها در کل نمونه‌ها در مقایسه با حد مجاز پیشنهاد شده توسط آژانس حفاظت از محیطزیست از آمریکا (EPA) پایین‌تر از حد مجاز است.

بحث

مقادیر پیش فرض پیشنهاد شده سرانه مصرف آب، توسط آژانس حفاظت از محیطزیست از آمریکا برای بزرگسالان و کودکان زیر ده سال به ترتیب برابر ۲ و ۱ لیتر هستند. این مقادیر منطبق با مقادیر پیشنهادی در کتاب راهنمای

فاکتورهای مواجهه آژانس حفاظت از محیط‌زیست از آمریکا است (Phillips, 2013). با توجه به این‌که الگوی مصرف در گروه‌های سنی مختلف متفاوت است، به‌منظور ارزیابی ریسک برای گروه‌های سنی مختلف، توصیه می‌شود که مقدار سرانه مصرف نیز برای هر گروه به‌صورت مجزا برآورد شود (Phillips, 2013). تعداد سال‌هایی که انتظار می‌رود یک فرد در مواجهه با منبع آلودگی باشد بر اساس کتاب راهنمای فاکتورهای مواجهه آژانس حفاظت از محیط‌زیست از آمریکا (Phillips, 2013) ۷۰ سال (Kutty, 1995) پیشنهاد شده است که بتواند نمایانگر متوسط امید به زندگی عموم مردم باشد. با توجه به اینکه اطلاعات توزیع وزن برای گروه‌های سنی مختلف در ایران وجود ندارد در این مطالعه از مقادیر وزن پیش فرضی که آژانس حفاظت از محیط‌زیست از آمریکا (Phillips, 2013) برای گروه‌های سنی مختلف پیشنهاد کرده است استفاده شد.

با بررسی نتایج به دست آمده و مطابق جدول ۴ حداقل و حداکثر غلظت کل‌تری هالو متان در نمونه‌های فصل بهار ۳۰ میکروگرم بر لیتر و ۷۳ میکروگرم بر لیتر و در نمونه‌های فصل تابستان به ترتیب ۲۵ میکروگرم بر لیتر و ۴۸ میکروگرم بر لیتر بوده است.

حداکثر غلظت کلروفرم، برموفرم، دی برموکلرومتان و دی کلروبرمومتان در کل نمونه‌های مربوط به بهار ۹۶ به ترتیب برابر ۳۶/۸۷، ۱۷/۸۹، ۱۱/۰۳، ۱۲/۲۹ میکروگرم بر لیتر و در تابستان ۹۶ به ترتیب برابر ۲۴/۲۴، ۱۱/۸۷، ۷/۸۸، ۸/۷۸ میکروگرم بر لیتر بوده است.

مقایسه بین غلظت تری هالو متان در دو فصل بهار و تابستان با آزمون Paired Sample t test (جدول ۵) انجام شد که حاکی از این است که بین غلظت کل‌تری هالو متان‌ها در فصل بهار و تابستان اختلاف معناداری وجود ندارد بنابراین در این مطالعه تغییرات فصلی مشاهده نگردید؛ همچنین توسط آزمون One Sample t test (جدول ۶) و مقایسه با غلظت کل‌تری هالو متان‌ها در دو فصل مذکور نشان داد میانگین غلظت کل‌تری هالو متان‌ها در فصل بهار با استاندارد آژانس حفاظت از محیط‌زیست از آمریکا اختلاف معنی‌داری (P-value< ۰/۰۰۰) دارد، این نتیجه برای فصل تابستان نیز تأیید شد بنابراین نتایج مطلوب است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که حداکثر غلظت کلروفرم، برموفرم، دی برموکلرومتان و دی کلروبرمومتان و کل‌تری هالو متان‌ها در کل نمونه‌ها به ترتیب ۳۶/۸۷±۷/۳۲، ۱۲/۲۹±۲/۵۱، ۱۱/۰۳±۲/۲۷، ۱۷/۸۹±۳/۶۲، ۷۳±۱۴/۶۷ میکروگرم بر لیتر است همچنین میانگین غلظت کل تری هالومتان ها برای بهار ۴۷/۰۶ میکرو گرم بر لیتر و برای تابستان ۳۱/۱۳ میکرو گرم بر لیتر بوده است. حداکثر و حداقل غلظت تری هالو متان‌ها در سه روستای مورد مطالعه به ترتیب متعلق به کلروفرم و دی بروموکلرومتان بوده اس؛ بنابراین کلروفرم به عنوان ترکیب غالب در بین ترکیبات مختلف تری هالو متان‌ها اندازه گیری شده و در مطالعه حاضر در نظر گرفته شد. با توجه به طبقه بندی آژانس حفاظت از محیط-

زیست از آمریکا در خصوص سرطان زا بودن ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی که کلروفرم را در کلاس B1، برومودی کلرومتان و برموفرم در کلاس B2 و دی برمو کلرومتان در کلاس C قرار داده است لذا در این مطالعه که کلروفرم به عنوان ترکیب غالب در نظر گرفته شده است، در مقایسه با حد مجاز پیشنهاد شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست از آمریکا پایین تراز حد مجاز بوده، بنابراین در شبکه توزیع آب آشامیدنی پروژه هفت روستا و با در نظر گرفتن گروه‌های حساس جامعه به نظر می‌رسد که مشکلی در خصوص مقادیر بالای تری هالو متان‌ها وجود ندارد و مصرف‌کنندگان در معرض خطر مواجهه با این محصولات جانبی گندزدایی نمی‌باشند.

منابع

۱- سجاد مظلومی، امیرحسین.، محوی، مهدی.، فضل‌زاده دویل، شاهرخ.، نظم‌آرا، مسلم.، مظلومی، رحمانی کوروش، شمس‌محمود.، (۱۳۸۸): بررسی غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شهر تهران، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی بهشتی، دانشکده بهداشت.

۲- سادات حسینی، سمانه.، نبی‌بید هندی، غلام‌رضا.، پوستچی، حسین.، (۱۳۹۱): ارزیابی ریسک سرطان تری‌هالو متان‌های آب‌آشامیدنی و مقایسه با آمار سرطان موجود در گنبد، کلاله و آق قلا، اولین همایش بین‌المللی بحران‌های زیست‌محیطی و راهکارهای بهبود آن، ایران جزیره کیش.

۳- بابایی، علی‌اکبر.، عطاری، لیلا.، احمدی‌مقدم، مهدی.، علوی، سیدناد علی.، (۱۳۹۰): تعیین غلظت ترکیبات تری‌هالومتان در شبکه توزیع آب اهواز، فصل‌نامه علمی ـ پژوهشی جنتاشاپیر، دورهٔ سوم، شمارهٔ ۴.

۴- جعفری، محمدعلی.، تقوی، کامران.، حسنی، امیرحسام.، (۱۳۸۶): بررسی مقدار ترکیب سرطان‌زایی تری‌هالو متان‌ها در آب آشامیدنی شهر لاهیجان و پیشنهاد کنترل پیش‌سازهای جانبی گندزدایی، مجله علوم پزشکی گیلان، دوره هفدهم شماره ۶۸، صص :۶-۱.

5- Boorman,GA. (1999): Drinking Water Disinfection Byproducts: Review And Approach To Toxicity Evaluation,Environmental Health Perspectives, 107(Suppl 1): 207-17.

6- Bull,R. Bull,R. Krasner, S. Daniel, PA. (2001): Health Effects And Occurrence Of Disinfection By-Products, Ed: AWWA Research Foundation.

7- Villanueva, Kogevinas, M. Cordier, S.Templeton,MR. Vermeulen, R. Nuckols, JR. Nieuwenhuijsen, MJ. Levallois, P. (2014): Assessing Exposure And Health Consequences Of Chemicals In Drinking Water: Current State Of Knowledge And Research Needs, Environmental Health Perspectives, 122(3):213-21.

8- Richardson, S. (2005): New Disinfection By-Product Issues: Emerging Dbps And Alternative Routes Of Exposure, Global Nest J. 7(1): 43-60.

9- US EPA I. (2011): Integrated Risk Information System, Environmental Protection Agency Region I,United State Environmental Protection Agency, Washington, DC.

10- Singer,PC. (1993): Formation And Characterization Of Disinfection By-Products, Safety Of Water Disinfection: Balancing Chemical & Microbial Risks:201.

11- Lekkas,T. (1996): Environmental Engineering I: Management Of Water Resources, Univerity Of The Aegean, Department Of Environmental Studies, Mytilene, Greece.

12- Singer, PC. (1994): Control Of Disinfection By-Products In Drinking Water, Journal Of Environmental Engineering, 120(4):727-44.
13- Krasner,SW. Mcguire, MJ. Jacangelo, JG. Patania, NL. Reagan, KM. Aieta,EM. (1989): The Occurrence Of Disinfection By-Products In US Drinking Water, Journal-American Water Works Association, 81(8):41-53.
14- Williams, DT. Lebel, GL. (1997): Benoit FM, Disinfection By-Products In Canadian Drinking Water, Chemosphere, 34(2): 299-316.
15- Lebel, GL. Benoit, FM. Williams,DT. (1997): A One-Year Survey Of Halogenated Disinfection By-Products In The Distribution System Of Treatment Plants Using Three Different Disinfection Processes, Chemosphere, 34(11):2301-17.
16- Letterman,RD. (1999): Association AWW, Water Quality And Treatment, Ed.: Mcgraw-Hill.
17- Samadi,MT. Nasseri, S. Mesdaghinia,A. Alizadefard, MR. (2006): Comparative Study On THMS Removal Efficiencies From Drinking Water Through Nanofiltration And Air Stripping Packed-Column, Iranian Journal Of Water And Wastewater, 57:14-21.
18- Kutty, PM. Nomani, AA. Thankachan, T. Al-Rasheed, R. (1995): Editor^Editors, Studies On Thms Formation By Various Disinfectants In Seawater Desalination Plants, IDA Conference, Abu Dhabi, Held During, Citeseer.
19- Phillips,L. Moya,J. (2013): The Evolution Of EPA's Exposure Factors Handbook And Its Future As An Exposure Assessment Resource, Journal Of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 23(1):13-21.
20- Us E. (2006): Environmental Protection Agency, National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants And Disinfection By-Products (DBP Rule), Federal Register: Washington, DC, 387-493.
21- Singer, P. Harrington, G. Editor^Editors. (1993): Coagulation Of DBP Precursors: Theoretical And Practical Considerations. Proc, Water Quality Technol, Conf, American Water Works Assoc, Denver, Colo.
22- Sandrucci, P. Merlo, G. Genon,G. Meucci, L. (1995): PAC Activity Vs By-Product Precursors In Water Disinfection, Water Research, 29(10): 2299-308.
23- Laîné, JM. Jacangelo,JG.Cummings, EW. Carns, KE.Mallevialle, J. (1993): Influence Of Bromide On Low-Pressure Membrane Filtration For Controlling Dbps In Surface Waters. Journal-American Water Works Association, 85(6): 87-99.
24- Premazzi,G. Cardoso,C. Conio, O.Palumbo, F. Ziglio, G. Meucci,L. Borgioli,A. (1997): Standards And Strategies In The European Union To Control Trihalomethanes In Drinking Water, Environment Institute, European Commission Joint Research Centre And Techware, Italy.
25- Kim, H-C. Yu, M-J. (2005): Characterization Of Natural Organic Matter In Conventional Water Treatment Processes For Selection Of Treatment Processes Focused On Dbps Control, Water Research, 39(19): 4779-89.
26- Cowman, GA. (1995): Singer PC, Effect Of Bromide Ion On Haloacetic Acid Speciation Resulting From Chlorination And Chloramination Of Aquatic Humic Substances, Environmental Science & Technology, 30(1):16-24.
27- Wolfe, RL. (1990): Ultraviolet Disinfection Of Potable Water, Environmental Science & Technology, 24(6):768-73.
28- Richardson, SD. Thruston, AD.Collette, TW. Patterson, KS. Lykins, BW. Ireland, JC. (1996): Identification Of Tio2/UV Disinfection Byproducts In Drinking Water, Environmental Science & Technology, 30(11):3327-34.
29- Jack, BK. (2003): Global Cooperation For Local Implementation, Achieving International Sustainable Development Commitments.
30- Lee, S. Guo, H. Lam, S. Lau, S. (2004): Multipathway Risk Assessment On Disinfection By-Products Of Drinking Water In Hong Kong, Environmental Research, 94(1):47-56.

31- Chowdhury,S. Champagne,P. Husain, T. (2007): Fuzzy Risk-Based Decision-Making Approach For Selection Of Drinking Water Disinfectants, Journal Of Water Supply: Research And Technology—AQUA, 56(2):75-93.
32- Pardakhti, AR. Bidhendi, GRN. Torabian,A. Karbassi, A. Yunesian, M. (2011): Comparative Cancer Risk Assessment Of Thms In Drinking Water From Well Water Sources And Surface Water Sources, Environmental Monitoring And Assessment, 179(1-4): 499-507.
33- Golfinopoulos, S. Kostopoulou, M. Lekkas,T. Editors. (1993): Detection Of Thms In The Athens Water Supply. Proceedings 3rd Conference On Environmental Science And Technology, Vol. B.
34- Golfinopoulos,S. Kostopoulou, M. Lekkas, T. Editors. (1996): Seasonal Variation In Trihalomethanes Level In The Water Supply System Of Athens. 6th International Conference On Environmental Contamination, Delphi, Greece.
35- Mazloomi, S. Nabizadeh, R. Nasseri,S. Naddafi, K. Nazmara, S. Mahvi, A. (2009): Efficiency Of Domestic Reverse Osmosis In Removal Of Trihalomethanes From Drinking Water. Journal Of Environmental Health Science & Engineering, 6(4), 301-6.
36- Lebel, GL. Benoit, FM. Williams, DT. (1993): A One-Year Survey Of Halogenated Disinfection By-Products In The Distribution System Of Treatment Plants Using Three Different Disinfection Processes. Chemosphere, 34(11), 2301-17.
37- Hamidin, N. Qiming, J. And Des, W. (2008): Connell. "Human Health Risk Assessment Of Chlorinated Disinfection By-Products In Drinking Water Using A Probabilistic Approach." Water Research 42.13: 3263-3274.
38- Pavón, JLP. Martín, SH. Pinto,CG. Cordero, BM. (2008): Determination Of Trihalomethanes In Water Samples: A Review. Analytica Chimica Acta, 629(1-2),6-23.
39- Bland, JM. Altman,DG. (1995): Comparing Methods Of Measurement: Why Plotting Difference Against Standard Method Is Misleading, The Lancet, 346(8982):1085-87.