مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۰، صفحات ۱۳۷ تا ۱۴۸

بررسی میزان و عوامل موثر در تولید تری هالومتان ها در آب یزد

امیرحسین عندلیب[۱]، حسین گنجی دوست[۲]، بیتا آیتی[۳]، احمد خدادادی[۴]

نویسنده مسئول: تهران، تقاطع بزرگراه چمران و جلال آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست *h-ganji@modares.ac.ir*

دریافت: ۸۹/۱۰/۲۷ پذیرش: ۹۰/۰۱/۲۴

چکیده

زمینه و هدف: *استان یزد در قلب کویر مرکزی ایران قرار دارد و کم آبی از مشکلات اساسی آن است که با عنایت مسئولان با طراحی و اجرای شبکه آبرسانی انتقال آب از اصفهان به یزد، این مشکل تا حدی مرتفع شده است. به طور معمول در آخرین مرحله تصفیه آب جهت گندزدایی شبکه، تصفیه خانه، مخازن و ایستگاه های مسیر از سیستم کلرزنی استفاده می گردد که به دلیل واکنش بین مواد آلی طبیعی و کلر آزاد در آب، احتمال تشکیل ترکیبات جانبی سرطان زا ازجمله تری هالومتان ها وجود دارد. براساس استاندارد وضع شده در ایران حد مجاز تری هالومتان ها در آب آشامیدنی ۲۰۰ میکروگرم در لیتر است. در این پژوهش ضمن تعیین میزان و پراکنش تری هالومتان ها در شبکه انتقال آب و شبکه شهری یزد، به نقش عوامل موثر و روابط آنها پرداخته شده است.*

روش بررسی: *در این تحقیق در طی یک دوره یک ساله اقدام به نمونه برداری، سنجش وآنالیز میزان تری هالومتان ها (THM) به تفکیک چهار ترکیب اصلی عمده شامل کلروفرم، برموفرم، دی کلروبرمومتان و دی برموکلرومتان با استفاده از دستگاه GC، در فصول مختلف سال از ۱۱ ایستگاه شامل آبگیر زاینده رود و تصفیه خانه آب اصفهان تا مخازن شحنه یزد و ایستگاه ها و مخازن متعادل کننده مسیر و نیز سنجش مقادیر در شبکه شهری یزد تحت پنج ناحیه پوشش دهنده شهرستان شد.*

یافته ها: *با توجه به نتایج به دست آمده، مشخص شد حداکثر میزان کل تری هالومتان ها درطول دوره نمونه گیری مربوط به فصل تابستان برابر ۵۱/۱۴ میکروگرم در لیتر و در شبکه شهری ناحیه مسجد جامع یزد که دارای بافت قدیم است. همچنین حداقل غلظت کل تری هالومتان ها در زمستان و در شبکه شهری مربوط به منطقه آزاد شهر برابر ۱/۶ میکروگرم در لیتر است. میانگین کل تری هالومتان ها در طول دوره نمونه برداری و کل ایستگاه ها برابر ۱۲/۲۶ میکروگرم در لیتر به دست آمد.*

نتیجه گیری: *تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش با نرم افزار SPSS و Excel و در سطح توصیفی و استنباطی صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده ها از روش های آمار توصیفی و آمار استنباطی (ضریب همبستگی ساده، آزمون همبستگی پیرسون و اسپیرمن) با سطح معنا داری ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج حاکی است که اختلاف آماری معنی‌داری بین مقادیر این پارامترها با استاندارد ملی و جهانی وجود ندارد و مقادیر کاملا مطلوب و پایین‌تر از حد استانداردهای مجاز است، همچنین بین مقادیرتری هالومتان ها و برخی از پارامترهای موثر در تولید آن اعم از کلر باقی مانده وگرما همبستگی معنی داری وجود دارد (۹۵٪ و۹۹٪).*

واژگان کلیدی: تری‌هالومتان، کلروفرم، برموفرم، برمودیکلرومتان، دی برموکلرومتان، تصفیه، انتقال

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران (مهندسی محیط زیست)، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دکترای عمران محیط زیست، استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۳- دکترای عمران محیط زیست، دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۴- دکترای عمران محیط زیست، دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

مقدمه

تشدید آلودگی منابع آب در دهه های اخیر، باعث افزایش غلظت مواد آلی شده است. با توجه به استفاده از آب های سطحی به عنوان عمده ترین منبع تامین آب شرب در کشور و کاربرد سیستم های کلرزنی به عنوان متداول ترین روش گندزدایی، احتمال تولید محصولات جانبی در آب تصفیه شده افزایش می یابد. هر روش سالم سازی آب شرایط کاربردی مخصوص به خود دارد و باید از نظر تجهیزات مورد نیاز، میزان مصرف و کارایی آن، آثار جانبی کوتاه مدت و بلند مدت، واکنش با مواد موجود در آب و از همه مهم تر به لحاظ اقتصادی بررسی و انتخاب شود. از بین گندزداهای مختلف، کلر و مشتقات آن به دلیل سهولت کاربرد، پایین بودن نسبی هزینه، قدرت تاثیر و سمیت آن برای میکروارگانیسم های بیماری زا در سیستم های تامین و توزیع آب آشامیدنی در سراسر دنیا کاربرد گسترده ای دارد اما در سال های اخیر به دلیل مطرح شدن بحث احتمال تولید محصولات جانبی (معادله کلی زیر) و جوانب بهداشتی آن توجه دقیق تری به شرایط مصرف آن معطوف گشته است (۶).

سایر فرآورده های جانبی +THMs ← مواد آلی پیش ساز+کلر آزاد

همان گونه که ملاحظه می شود، تری هالومتان ها حاصل واکنش مواد شیمیایی که در تصفیه آب به عنوان اکسیدان کاربرد دارند با مواد آلی موجود است (۱۰). مواد آلی طبیعی موجود در آب های سطحی مانند اسیدهای ناشی از تجزیه گیاهان، مواد مترشحه از جلبک ها و سایر موجودات آبزی و مواد آلی حاصل از فعالیت های انسانی است (۵ و ۸). به این مواد که هسته اولیه تولید ترکیبات تری هالومتان محسوب می گردند، ترکیبات پیش ساز اطلاق می شود (۱۳). این ترکیبات در مقایسه با بسیاری از املاح و ترکیبات معدنی موجود در آب، از طریق روش های متداول تصفیه آب آشامیدنی حذف نمی گردند. چهار تری هالومتان متداول که در آب ها ایجاد می شوند عبارتند از کلروفرم $CHCl_3$، برمودی کلرومتان $CHCl_2Br$، دی برموکلرومتان $CHClBr_2$، برموفرم $CHBr_3$ (۱۵ و ۱۸).

فاکتورهای موثر در تشکیل تری هالومتان ها شامل pH، دما، زمان تماس و غلظت کلر و برم، میزان و نوع مواد آلی و نیز کلر آزاد در آب است. به طور کلی مقدار و سرعت تشکیل تری هالومتان ها با افزایش دما، pH و غلظت یون های برم، کلر و کل کربن آلی (TOC) اضافه می شود (۳، ۶، ۹ و ۱۰).

در سال ۱۹۷۶ انیستیتو ملی سرطان امریکا اعلام کرد که کلروفرم با ۱۸ مورد علایم یک عامل سرطان زا است و این باعث شد که سازمان حفاظت محیط زیست امریکا، کلروفرم و دیگر تری هالومتان ها را عامل سرطان زا و بر اساس استاندارد وضع شده، حد مجاز آنها را در آب آشامیدنی ۱۰۰ میکروگرم در لیتر اعلام کند که با توجه به مخاطرات ناشی از آنها، حداکثر مقدار قابل قبول این ترکیبات در آب های آشامیدنی را از سال ۱۹۹۸ به ۸۰ میکروگرم در لیتر تقلیل داده است (۱۹). موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در سال ۱۳۷۶، حداکثر مقدار قابل قبول برای کلروفرم (به عنوان شاخص ترکیبات تری هالومتان) را معادل ۲۰۰ میکروگرم در لیتر مشخص کرده است.

در حال حاضر با توجه به روش های مختلف در کشورها از دستگاه های GC،DR4000-5000 با دتکتور ECD یا GC،FID با سیستم Head Space، GC-MS جهت تعیین میزان تری هالومتان ها استفاده می شود. توسعه گاز کروماتوگرافی حساس و مجموعه کروماتوگراف ها با اسپکتروفتومترهای جرمی امکان جدا سازی، تعیین هویت و کمیت ترکیبات آلی حتی در غلظت های کم را میسر ساخته است (۳، ۱۶). این ترکیبات با مقایسه وضعیت پیک ها از نقطه نظر زمان ماند در ستون، با استاندارد شناخته شده مشخص می شوند. مقدار ترکیب به وسیله اندازه گیری ارتفاع یا سطح پیک و مقایسه آن با غلظت های معلوم کالیبره شده آن ترکیب خاص مشخص می شود (۳، ۶، ۹ و ۱۰). اطلاعات حاصل از کشورهای مختلف نشان داده است که مقادیر تری هالومتان ها در آب تصفیه شده که با کلر ضدعفونی شده اند، خیلی بیشتر از مقادیر آن در آب خام است و اغلب در منابع آب خام مقدار آنها قابل تشخیص نیست (۳، ۶، ۷، ۹ و ۱۰). همچنین

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

مشـخص شده است که در شـبکه توزیع آب به دلیل حضور کلر آزاد باقی مانده، تری هالومتان ها تشـکیل می شوند (۱۷). در پژوهشـی که در سال ۱۳۷۳برای سـنجش مقادیر غلظت تری هالومتـان ها در آب آشـامیدنی تهـران صورت گرفت، مشـخص گردید که در ۲۵ درصد از نمونه های مطالعه شده، غلظـت ایـن ترکیبات بیش از حـد مجاز بوده اسـت (۷ و ۱۴). مطالعـه دیگری کـه در همین زمینه در سـال ۱۳۷۶ بر روی آب های آشامیدنی تعدادی از شهرهای بزرگ انجام شد، غلظـت این گروه از آلاینده ها در آب شـهرهایی مانند اهواز، کرمـان و بندرعباس را در بعضی ماه های سـال بیش از حد مجاز گزارش نموده است (۱، ۴ و ۷).

طبق گزارشات منتشره، شرکت آب و فاضلاب اصفهان کوپایی میـزان THMs موجود در آب شـرب اصفهان را اندازه گیری کرده اند که میزان تری هالومتان ها در آب شـرب اصفهان در حد مجاز و اسـتاندارد بوده اسـت. در ایران برای نخستین بار صمدی با بهره گیری از روش نانوفیلتراسـیون موفق به حذف موثرتر ترکیبات سرطان زای تری هالومتان تا میزان بیش از ۹۰ درصد از منابع آب تصفیه خانه ها شده است (۳ و ۴).

در پژوهشی که در سال ۲۰۰۳ روی آب کانادا صورت گرفت، مشخص شـد بیش از۹۵ درصد نمونه ها فاقد ترکیبات هستند و نیـز بین کلر باقـی مانـده و ترکیبات تری هالومتـان رابطه معنـی داری وجود دارد. دراین تحقیق ارتباط بین گرما با میزان تری هالومتان ها در شـبکه مورد بررسـی و تایید قرار گرفت. به طـوری که مقدارتـری هالومتان ها در فصل تابسـتان خیلی بیشتر از سایر فصول است (۱۱ و ۱۲).

در تحقیقات وسیعی که در سال ۲۰۰۵ روی شبکه آب استانبول صورت گرفت، مشـخص شـد بیـش از ۷۵ درصد نمونه ها دارای ترکیبات تری هالومتان هستند و نیز بین کلر باقی مانده و ترکیبات تری هالومتان ها رابطه معنی داری وجود دارد. در این تحقیق ارتباط بین فصول سال با میزان ومقدار تری هالومتان ها در شـبکه تحت بررسـی ومورد تایید قـرار گرفت (۱۱، ۱۳ و ۲۰).

یـزد با قرار داشـتن در فلات مرکزی ایران در ارتفاع متوسـط ۱۲۰۰ متر از سـطح دریا قرار دارد. متوسط بارش سالیانه استان ۱۰۰ میلی متر و از نظر شرایط اقلیمی جزو نقاط گرم و خشک به شمار می آید. به دلیل فقدان رودخانه های دایمی، تنها منابع تامین آب در اسـتان، چاه ها و قنوات هسـتند کـه با افزایش جمعیت و توسـعه صنایع به طور چشـم گیری در حال کاهش کمـی و کیفی اسـت. جهت جبران کمبود منابـع آبی، همواره تامین آب شـرب و صنعت از منبعی مطمئن در خارج از استان مد نظر مسـئولین وزارت نیرو بوده و در این راسـتا مطالعات وسـیعی روی دو منبع آبی در شاخه های کارون و زاینده رود انجام گرفته اسـت که در نهایت در سـال ۸۶ طرح انتقال آب از زاینـده رود به تصویب رسـید. با اجرای این طرح سـالیانه ۷۸ میلیـون متر مکعب آب از زاینده رود انتقال می یابد. انتقال آب از محل آبگیر تا مخازن شـحنه یـزد به طول ۳۳۳ کیلومتر به صورت ترکیبی از سیسـتم ثقلی و پمپاژ همراه با ۱۰ مخزن ذخیره و فشارشکن ۵۰۰۰ متر مکعبی در طول مسیر و ۴ مخزن ذخیـره ۲۰۰۰۰ متر مکعبی در شـحنه یزد صـورت می گیرد. جهت گندزدایی شـبکه آبرسـانی، تصفیه خانه و ایستگاه های مسـیر بنا به عرف از سیستم کلرزنی استفاده می گردد. باتوجه به مشـکلات بهداشتی مذکور، بررسی احتمال و میزان تولید و نیز عوامل موثر بر تشـکیل تری هالومتان ها اهمیت به سـزایی دارد که با توجه به طول مسـیر ۳۵۰ کیلومتر از اسـتان اصفهان به اسـتان یزد و تامین آب شـرب شهرهای مسیر به ویژه میبد، اردکان، صدوق و یزد، توزیع و پراکنش این ترکیبات براسـاس موقعیـت جغرافیایی (GIS) هیچگونه بررسـی و اقدام عملی و اجرایی صورت نگرفته اسـت. علی رغم اهمیت فوق العاده، حتی شبکه داخلی شهرستان یزد نیز مورد بررسی وارزیابی قرار نگرفته اسـت. بنابراین جهت اطمینان خاطر متولیان و مسئولان و شـهروندان گرامی با حمایت شـرکت سهامی آب منطقه ای یـزد ومرکز تحقیقات منابع آب وزارت نیرو، این مهم به عنوان اولین گام صورت پذیرفـت. بنابراین اهداف عمده این تحقیق سنجش میزان، توزیع و پراکنش مقادیر ترکیبات تری هالومتان

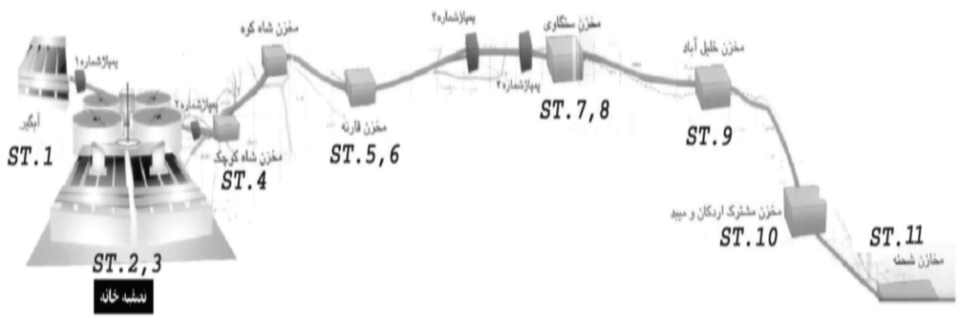
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

اعم ازکلروفرم، برموفرم، دی کلروبرمومتان و دی برموکلرومتان موجود درآب آشامیدنی و میزان کلر باقی مانده در شبکه انتقال آب اصفهان به یزد و شبکه شهری یزد بوده است.

مواد و روش ها

استراتژی نمونه برداری با توجه به ایستگاه های موجود در مسیر، طول مسیر، فواصل مخازن از هم، کلرزنی مجدد هر ایستگاه و برای شبکه داخل شهری به نحوی برنامه ریزی شد که تمام نقاط شهرستان یزد را پوشش دهد. این تحقیق به عنوان نخستین گام در تعیین میزان تری هالومتان ها، در طی سه دوره به صورت نمونه برداری خطی، به طور مقطعی در سه فصل مختلف سال به ترتیب در فصول پاییز (آذر ماه ۸۷)، زمستان (دی ماه ۸۷) و تابستان (مرداد ماه ۸۸) از خط انتقال آب اصفهان به یزد شامل ۱۱ ایستگاه طول مسیر و شبکه شهری یزد شامل ۵ ایستگاه انجام شد. خط انتقال آب اصفهان به یزد شامل چهار مخزن شحنه (خروجی مشترک مخازن)، میبد، خلیل آباد و سنگاوی انجام گرفت که با توجه به این که در مخزن اخیر عمل کلر زنی مجدد انجام می شود، نمونه برداری در این ایستگاه، هم قبل و هم بعد از کلرزنی صورت گرفت. مخزن قارنه نیز به لحاظ فاصله زیاد آن مورد کلرزنی مجدد قرار می گیرد که در این مخزن نیز نمونه گیری از آب قبل و بعد از کلرزنی صورت گرفت. ایستگاه دیگر بررسی شده آبگیر زاینده رود (آب خام) بود. طول مسیر تقریبا ۳۵۰ کیلومتر از تصفیه خانه آب مستقر در اصفهان تا مخازن شحنه بود. حدود فواصل مخازن به ترتیب مخزن شحنه تا مخزن میبد ۲۵ کیلومتر، مخزن میبد تا مخزن خلیل آباد ۲۰ کیلومتر، مخزن خلیل آباد تا مخزن سنگاوی ۱۵۰ کیلومتر، مخزن سنگاوی تا مخزن قارنه ۱۰۰ کیلومتر، مخزن قارنه تا مخزن شاه کوچک ۲۰ کیلومتر و مخزن شاه کوچک تا تصفیه خانه ۵۰ کیلومتر می باشد (شکل ۱). در ادامه، ایستگاه گذاری شبکه داخل شهرستان یزد انجام شد که بر اساس نقشه شهرستان یزد و با در نظر گرفتن مساله پوشش، به ۵ ناحیه (شکل ۲) مسجد جامع (با بافت قدیم و فرسوده که احتمال تشکیل تری هالومتان ها به دلیل آلاینده های نفوذی از محیط خارج به شبکه آب شهری و نیز پارامترهای خوردگی لوله ها و غیره وجود داشت)، بلوار جمهوری، آزادشهر، صفاییه و مسکن و شهرسازی تقسیم شد.

در مرحله بعد با استفاده از ظروف نمونه برداری شیشه ای ۱۰۰ میلی لیتری، نمونه ها از هر ایستگاه و ناحیه شهری از شیر آب با رعایت کلیه نکات نمونه برداری صورت گرفت. جهت تثبیت نمونه ها، با توجه به فرار بودن تری هالومتان ها، ۴ قطره تیوسولفات سدیم با نرمالیته ۱/۵ به نمونه ها اضافه شده،

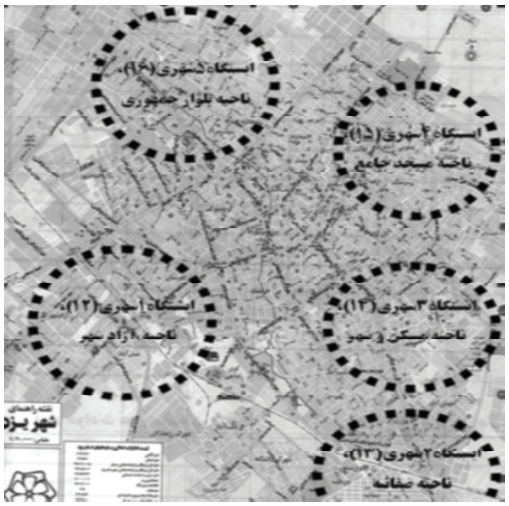


شکل ۱: ایستگاه گذاری شبکه انتقال آب اصفهان به یزد

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

جدول ۱: نام و ایستگاه های تعریف شده

شماره ایستگاه	ایستگاه ها و نام محل های نمونه برداری
۱	ایستگاه ۱- آبگیر- زاینده رود- آب خام
۳	ایستگاه ۳ - خروجی تصفیه خانه بعد از کلرزنی نهایی
۵	ایستگاه ۵- مخزن قارنه قبل از کلرزنی
۶	ایستگاه ۶ - مخزن قارنه بعد از کلرزنی
۷	ایستگاه ۷ - مخزن سنگاوی قبل از کلرزنی
۸	ایستگاه ۸ - مخزن سنگاوی بعد از کلرزنی
۱۰	ایستگاه ۱۰- مخزن میبد
۱۱	ایستگاه ۱۱- مخزن شحنه- خروجی مشترک مخازن
۱۲	ایستگاه ۱۲ (۱ شهری) - ناحیه آزاد شهر- شبکه شهری
۱۳	ایستگاه ۱۳ (۲ شهری) - ناحیه صفائیه- شبکه شهری
۱۴	ایستگاه ۱۴ (۳ شهری)- ناحیه مسکن و شهرسازی- شبکه شهری
۱۵	ایستگاه ۱۵ (۴ شهری)- ناحیه مسجد جامع- شبکه شهری
۱۶	ایستگاه ۱۶ (۵ شهری)- ناحیه بلوار جمهوری- شبکه شهری



شکل۲: ایستگاه گذاری شبکه شهری یزد

درب آنها محکم بسته و داخل فلاکس حاوی یخ خشک قرار داده شدند. در ضمن با توجه به اینکه از جمله موارد تشکیل تری هالومتان ها، کلرزنی و کلر باقی مانده است، با استفاده از دستگاه کلرسنج دیجیتال، کلر باقی مانده هر ایستگاه نیز تعیین و روی ظرف با توجه به ایستگاه مربوط درج گردید. سپس اقدام به نمونه گیری از شبکه خط انتقال آب (شیر مجاور مخزن) به ترتیب از ایستگاه های تعیین شده در همان روز و بلافاصله پس از نمونه گیری شبکه شهری با رعایت کلیه اصول نمونه گیری و به همان ترتیب قبل، تثبیت و انتقال داخل فلاکس سردکننده و تعیین میزان کلر باقی مانده شد. چنانچه ذکر شد با توجه به اینکه در دو مخزن سنگاوی و قارنه، مساله کلرزنی مجدد به لحاظ فاصله صورت می گرفت، علاوه بر مخازن مذکور از تصفیه خانه دو نمونه برداری قبل و بعد از کلرزنی همانند قبل انجام گرفت و در نهایت نمونه از رودخانه (آبگیر آب زاینده رود) با رعایت اصول تهیه شد. پس از اتمام کار نمونه برداری، نمونه ها به آزمایشگاه انیستیتو بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران انتقال داده و در یخچال نگه داری شد تا در ابتدای روز بعد پس از خارج کردن از یخچال و رسیدن به دمای اتاق، مراحل آنالیز و تعیین میزان کل تری هالومتان ها و چهار ترکیب کلروفرم، برموفرم، دی کلرو برمومتان و دی برموکلرومتان انجام گردد.

از عمده ترین مراحل کار آزمایش، کالیبراسیون و استانداردسازی نمونه ها می باشد. لذا محلول استاندارد هر چهارترکیب جهت دستگاه GC خریداری و کالیبراسیون و استاندارد سازی برای هر چهار ترکیب به طور جداگانه صورت گرفت. پس از تعریف و شناساندن چهار ترکیب اصلی به دستگاه و ترسیم نمودار کالیبراسیون هر یک، امکان تشخیص هر چهار ترکیب با غلظت حداقل یک میکروگرم بر لیتر و اندازه گیری آنها به وسیله دستگاه GC (مدل Cp-3800 از کمپانی Varian سیستم Head Space مارک Combipal) و نرم افزار مربوط به آن، به وجود آمد. جهت آنالیز، پس از خروج نمونه ها از یخچال، ابتدا به آنها اجازه داده شد تا به دمای اتاق برسند. سپس با توجه به شماره گذاری و ایستگاه های برداشت نمونه، ۵ سی سی از هر نمونه را با پیپت مخصوص برداشته و داخل ویال های ۱۰ میلی لیتری مخصوص دستگاه H.S ریخته و درب آنها که از جنس تفلون خاص بودند محکم بسته و به ترتیب شماره و ایستگاه، داخل جایگاه مخصوص دستگاه H.S قرار داده شدند. هر ویال H.S قبل از تزریق در یک انکورباتور مخصوص دستگاه به صورت اتوماتیک قرار گرفته و تا دمای ۷۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. انکورباتور

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

مجهز به همزن بود که با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه نمونه ها را در حین حرارت دادن تا رسیدن به دمای ۷۰ درجه سلسیوس مخلوط می کرد. پس از اتمام ۵ دقیقه، سرنگ مخصوص H.S، مقدار ۳۰۰ میکرو لیتر از فضای بالایی مایع داخل ویال یا همان بخارات نمونه را برداشت و با سرعت ۲۵۰ میکرو لیتر بر ثانیه به داخل انژکتور دستگاه تزریق می نمود.

یافته ها

سنجش میزان کلر باقی مانده در ایستگاه ها و فصول مختلف سال

همان طور که اشاره شد با توجه اهمیت میزان کلر باقی مانده در تولید تری هالومتان ها، این پارامتر در هر ایستگاه به وسیله دستگاه کلرسنج دستی تعیین گردید. در شکل ۳ میزان کلر باقی مانده در هر ایستگاه و در فصول مختلف سال ارایه شده است. چنانچه ملاحظه می گردد، مقادیر کلر باقی مانده در فصل زمستان بیشتر از فصول دیگر سال به خصوص فصل تابستان بوده که مورد منطقی و با تحقیقات انجام شده مطابقت دارد. با توجه به سنجش و آنالیز کلر باقی مانده در نمونه ها و بررسی و پردازش آنها موارد زیر نتیجه می شود:

۱- حداقل غلظت کلر باقی مانده درتابستان در ایستگاه شماره ۱۲ یا شبکه داخل شهر مربوط به منطقه آزاد شهر یزد معادل ۰/۰۶ میلی گرم در لیتر است.

۲- میانگین کلر باقی مانده در طول دوره نمونه برداری و کل ایستگاه ها برابر ۰/۴۳۵ میلی گرم در لیتر به دست آمده که قابل قبول، بهینه و منطقی است.

۳- انحراف معیار کلر باقی مانده در طول دوره برابر ۰/۲۲ به دست آمده است.

سنجش میزان کلروفرم و برموفرم در ایستگاه ها و فصول مختلف سال

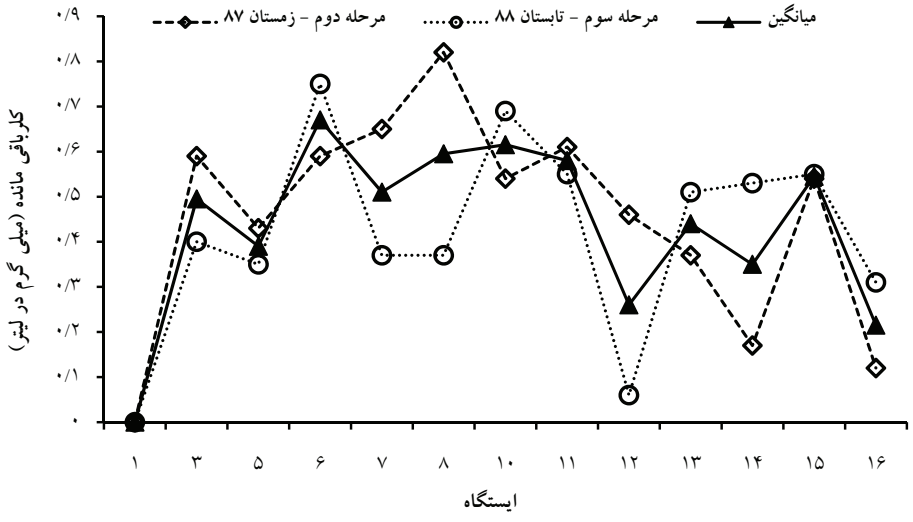
از عمده ترکیبات هالوژنه آب کلروفرم و برموفرم می باشد که در شکل های۳و۴،میزان این ترکیبات برای هر ایستگاه رسم شده است.

سنجش میزان دی کلروبرمومتان و دی برموکلرومتان در ایستگاه ها و فصول مختلف سال

در دو شکل۵ و۶، میزان دی کلروبرمومتان و دی برموکلرومتان موجود در آب ارایه شده است.

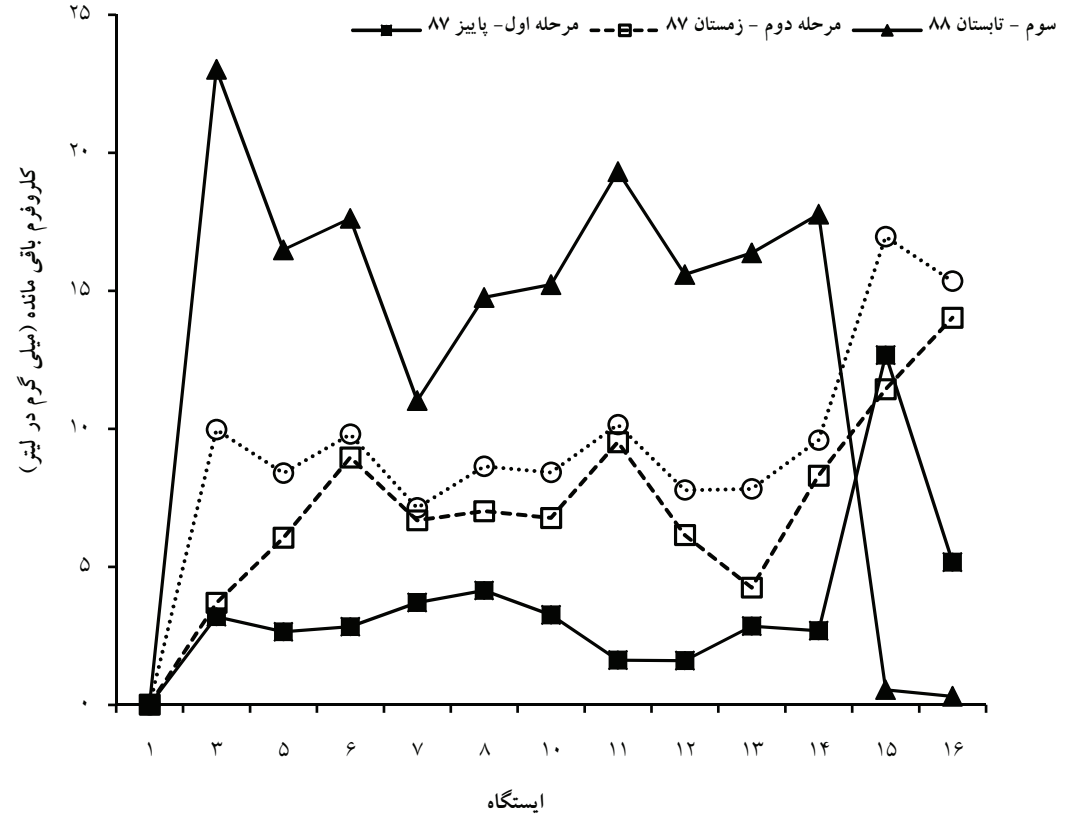
سنجش میزان کل تری هالومتان ها در ایستگاه ها و فصول مختلف سال

حاصل جمع چهار ترکیب کلروفرم، برموفرم، دی کلروبرمومتان و دی برموکلرومتان، مقدار کل تری هالومتان ها را تشکیل می دهد. در شکل۷ میزان کل تری هالومتان های موجود در آب برای هر ایستگاه و به تفکیک فصول مختلف سال نشان داده شده است.

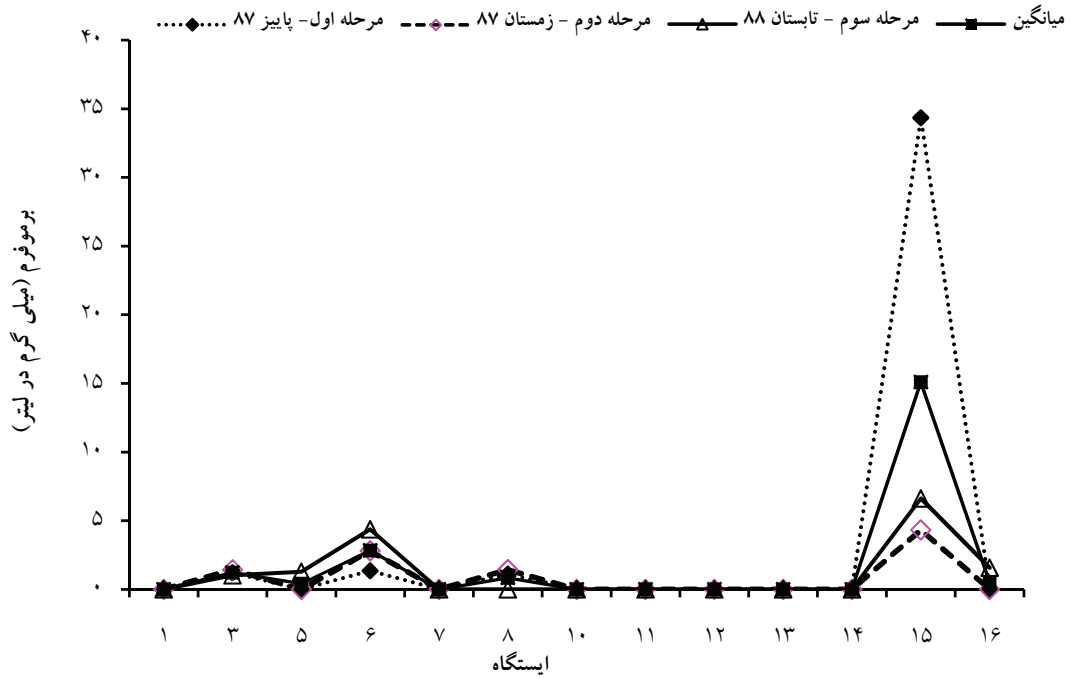


شکل۳: نحوه تغییرات و میانگین کلر باقی مانده

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

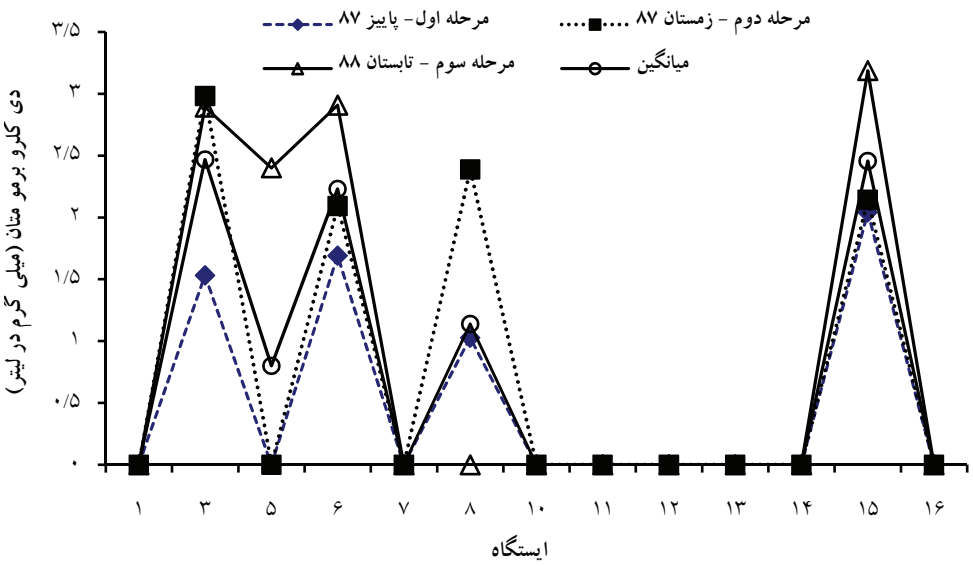


شکل۳: نحوه تغییرات و میانگین کلروفرم

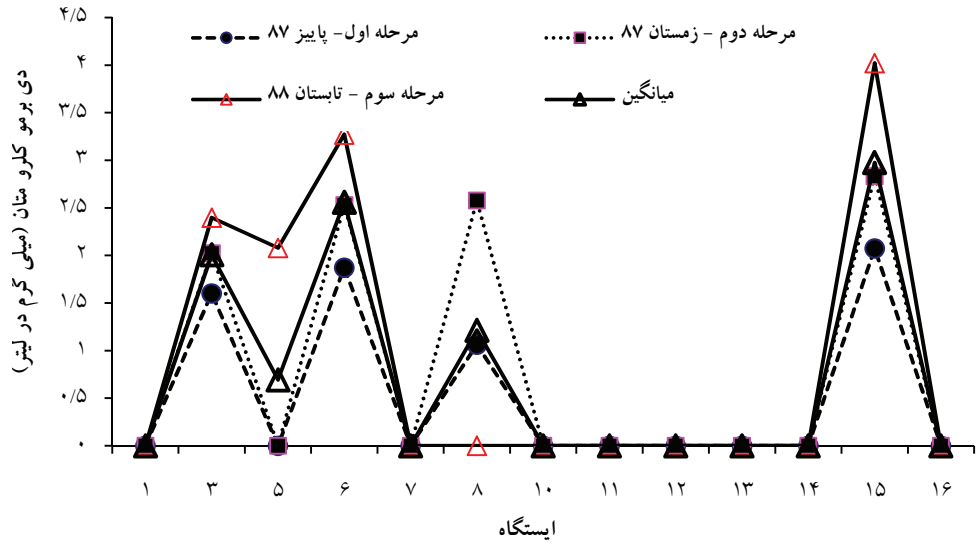


شکل۴: نحوه تغییرات و میانگین برموفرم

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]



شکل۵: نحوه تغییرات و میانگین دی کلروبرمومتان



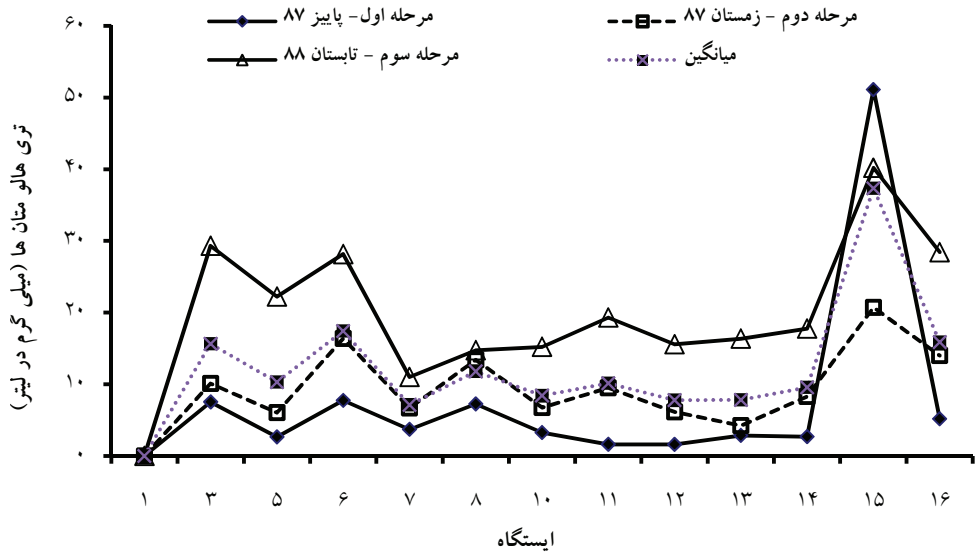
شکل۶: نحوه تغییرات و میانگین دی برموکلرومتان

بحث

باتوجه به سنجش و آنالیز نمونه ها و بررسی و پردازش نتایج به دست آمده موارد زیر تشریح می گردد:

۱- حداکثر میزان کل تری هالومتان ها در طول دوره مربوط به فصل تابستان و برابر ۵۱/۱۴ میکروگرم در لیتر و در ایستگاه شماره ۱۵ یا ناحیه مسجد جامع یزد است. با توجه به بررسی های انجام شده به نظر می رسد یکی از دلایل عمده، بافت قدیمی شهر و فرسودگی شبکه شهری آن ناحیه و در نتیجه امکان ورود مواد آلی یا شاید فاضلاب به داخل شبکه آب و در نهایت ترکیب با کلر باقی مانده و تشکیل تری هالومتان ها باشد. با توجه به یک مورد نمونه برداری که دارای مقادیر بالایی تری هالومتان بود و با تحقیقات انجام شده مشخص گردید که علاوه بر استفاده ازآب خط انتقال اصفهان، گاهی آب چاه نیز به همراه آب اصفهان وارد شبکه می شود. در حالی که ممکن است مدت ها شبکه آب چاه راکد و در نتیجه مسیر و

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]



شکل۷: نحوه تغییرات و میانگین کل تری هالومتان ها

لوله ها انباشته از جلبک باشد و زمانی که آب چاه مربوطه به آب اصفهان می پیوندد، کلر موجود و جلبک ها واکنش داده و مقادیر تری هالومتان ها افزایش یابد.

۲- حداقل غلظت کل تری هالومتان ها در زمستان و در ایستگاه شماره ۱۲ یا شبکه داخل شهر مربوط به منطقه آزاد شهر یزد و ۱/۶ میکروگرم در لیتر بود.

۳- میانگین کل تری هالومتان ها در فصل پاییز ۷/۴۸ میکروگرم در لیتر، در فصل زمستان ۹/۴۱ میکروگرم در لیتر و در فصل تابستان ۱۹/۹۰ میکروگرم در لیتر و در نهایت در طول دوره نمونه برداری و کل ایستگاه ها برابر ۱۲/۲۶ میکروگرم در لیتر به دست آمد که مقادیر قابل قبول، مطلوب و در حد استانداردهای بین المللی است.

۴- انحراف معیار کل تری هالومتان ها در طول دوره نمونه برداری برابر ۱۱/۳۲ به دست آمد.

نتیجه گیری

رابطه تغییرات تری هالومتان ها با سایرپارامترها

۱- به منظور بررسی ارتباط بین تری هالومتان ها با سایر متغیرها از روش همبستگی پیرسون استفاده شد که نتایج به شرح ذیل است:

ضریب همبستگی بین تغییرات تری هالومتان ها و تغییرات کلر باقی مانده، کلروفرم، برموفرم، دی کلرو برمومتان و دی برموکلرومتان به ترتیب ۰/۷۵۴، ۰/۸۴۲، ۰/۹۲۰، ۰/۹۲۹ و ۰/۹۴۶ به دست آمد که نشان دهنده وجود همبستگی معنی دار بین این دو در حدود اطمینان ۹۹٪ برای کلیه موارد است و بدین سان فرضیه موضوع وفق تحقیقات و پژوهش های انجام یافته قبل، تایید شده است ضریب همبستگی بین تغییرات تری هالومتان ها با دیگر پارامترهای آماری طبق آزمون همبستگی پیرسون رابطه معنی دار وجود ندارد.

۲- جهت اطمینان و بررسی بیشتر در رابطه با ارتباط بین متغیر تری هالومتان ها با سایر متغیرها از روش همبستگی اسپیرمن نیز استفاده شد که نتایج به شرح زیر است:

ضریب همبستگی بین تغییرات تری هالومتان ها و تغییرات فصول مختلف سال ۰/۶۷۸ به دست آمد که بیان گر وجود همبستگی معنی دار بین این دو در حدود اطمینان ۹۵٪ است و بدین سان فرضیه موضوع وفق تحقیقات و پژوهش های انجام یافته قبل، تایید شده است. در پژوهش سال ۲۰۰۳ روی آب کانادا و نیز سال ۲۰۰۵ روی شبکه آب استانبول مشخص گردید بین کلر باقی مانده و ترکیبات تری هالومتان رابطه

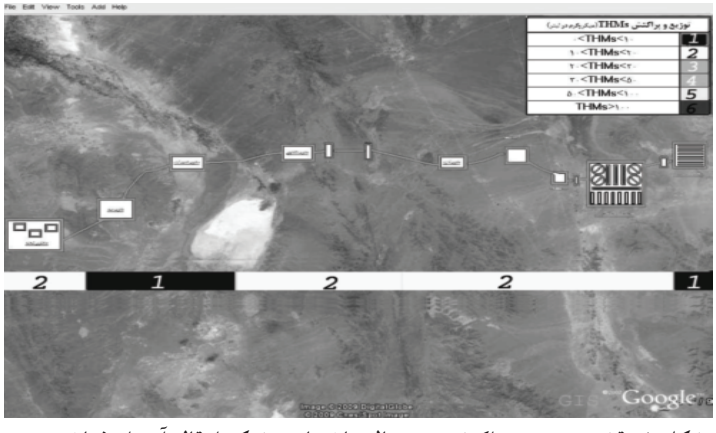
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

معنـی داری وجود دارد. دراین تحقیق ارتباط بین گرما با میزان تری هالومتان ها در شـبکه مورد بررسی و تایید قرار گرفت به طوری که مقدارتری هالومتان ها در فصل تابسـتان خیلی بیشتر از سایر فصول بود (۱۲ و ۲۰).

ضریب همبسـتگی بین تغییرات تـری هالومتان ها و تغییرات کلـر باقی مانـده، کلروفرم، برموفـرم، دی کلـرو برمومتان و دی برموکلرومتـان به ترتیب ۰/۸۳۹، ۰/۸۷۴، ۰/۹۶۸، ۰/۹۷۵ و ۰/۹۸۲ به دست آمده که نشان دهنده وجود همبستگی معنی دار بیـن ایـن دو در حدود اطمینـان ۹۹٪ در کلیه موارد اسـت و بدین سان فرضیه موضوع وفق تحقیقات و پژوهش های انجام یافته قبل، تایید شده است.

ضریـب همبسـتگی بیـن تغییـرات تـری هالومتـان ها با دیگـر پارامترهای آماری طبق آزمون همبسـتگی اسـپیرمن رابطه معنی دار وجود نداشته است.

با توجه به نتایج به دسـت آمده، مشخص شـد حداکثر میزان کل تری هالومتان ها درطول دوره نمونه گیری مربوط به فصل تابسـتان و برابر ۵۱/۱۴ میکرو گرم در لیتر و در شـبکه شهری ناحیه مسـجد جامع یزد و دارای بافت قدیم، اسـت. همچنین حداقـل غلظت کل تری هالومتان ها در زمسـتان و در شـبکه شـهری مربوط به منطقه آزاد شـهر و برابر ۱/۶۰ میکروگرم در لیتـر بود. میانگیـن کل تری هالومتان هـا در فصل پاییز ۷/۴۸ میکروگرم در لیتر، در فصل زمستان ۹/۴۱ میکروگرم در لیتر و در فصل تابستان ۱۹/۹۰ میکروگرم در لیتر و در نهایت در طول دوره نمونه برداری و کل ایستگاه ها برابر ۱۲/۲۶ میکروگرم در لیتر به دسـت آمد که مقادیر قابل قبول و مطلوب اسـت. نتایج نشان داد که اختلاف آماری معنی داری بین مقادیر این پارامترها با مقادیر اسـتاندارد ملی و جهانـی وجود ندارد و مقادیر کاملا مطلوب و بسـیار پایین تر از حد اسـتانداردهای مجاز موجود بوده و در شـبکه انتقال آب اصفهان به یزد و شبکه شهری یزد هیچ گونه مشـکلی در خصوص مقادیر بالای تری هالومتان ها و سـایر ترکیبات تشـکیل دهنده آن وجود ندارد که حاکی از عملکرد خوب تصفیه خانه و مخازن طول مسیر اصفهان به یزد است. همچنین مشخص گردید که بین مقادیرتری هالومتان ها و پارامترهـای موثر در تولید آن اعـم از کلر باقی مانده وگرما همبسـتگی معنـی داری وجود دارد و فرضیات طـرح اکثرا با ۹۹٪ یا ۹۵٪ اطمینان تایید می گردد. در نهایت نیز نقشه توزیع و پراکنش تری هالومتان ها درخط انتقال وشـبکه شـهری یزد رسـیم شد که نقشـه ها به طور جداگانه در شکل های ۸ و ۹ ارایه شده است.



شکل ۸: نقشه توزیع و پراکنش تری هالومتان ها در شبکه انتقال آب اصفهان به یزد

شکل۹: نقشه توزیع و پراکنش تری هالومتان ها در شبکه شهری

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

تقدیر و تشکر

بدیـــن وســـیله از مرکز محترم تحقیقـــات منابع آب وزارت نیرو و شرکت محترم سهامی آب منطقه ای یزد و نیز همکاری مدیریـــت محترم تصفیه خانه آب اصفهـــان که همواره در تمام مراحـــل و تحقق طرح، حامی و پشـــتیبان مـــادی و معنوی این تحقیق بوده اند و نیز از مسئول و کارشناسان محترم آزمایشگاه علوم پزشکی تهران که علاوه بر در اختیار گذاشتن آزمایشگاه، مراحل آنالیز و آزمایش نمونه ها را با تلاش شبانه روزی و دقت بسیار به انجام رساندند، نهایت سپاس و قدردانی را دارد.

منابع

1. Torabian A. Investigation of trihalomethanes in drinking waters and use of a method for its removal. Iranian J Publ Health. 1998;27(1-2):35-42 (in Persian).
2. Torkian A. Water and Wastewater Examination Manual. Isfahan: Isfahan University Publication; 2001 (in Persian).
3. Samadi MT, Nasseri S. Comparison study of THMs removal from drinking water using GAC and Air stripping column and nano-filtration. Water and Wastewater. 2006;57:5-11 (in Persian).
4. Samadi MT, Mesdaghinia AR, Naseri S. Application of GAC and Air Stripping Column in THMs Removal from Drinking Water. Tehran: Tehran Uiversity Press; 2004 (in Persian).
5. Attarchi MF. Prediction of THMs concentration in drinking water. J Water and Environment. 2003;54:42-49.
6. Mahvi AH. Health and aestatic aspects of water quality. Tehran: Balgostar Publication; 2005 (in Persian).
7. Nasseri S. Characteristics Study of Natural Organic Material Components in Surface Water Resources of Tehran. Tehran: Tehran Uiversity Press; 2001 (in Persian).
8. Zazouli MA, Nasseri S, Mesdaghinia A. Study of natural organic matter characteristics and fractions in surface water resources of Tehran. Iran J Health & Environ. 2008;1(1):1-7 (in Persian).
9. Andli G. Laboratory and full-scale plant studies of permanganate oxidation as an aid in coagulation. J Am Water Works Ass. 2001;11:17-70.
10. Edwards M, Boller M, Benjamin MM. Effect of pre ozonation an removal of organic matter during water treatment plant operation. Water Sci Technol. 1993;27(11):11-30.
11. Garrido SE, Guadalupe Fonseca M. Speciation and kinetics of trihalomethane formation in drinking water in Mexico. Ground Water Monitoring & Remediation. 2010;30(1):79-86.
12. Gean B, 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):253-68.
13. Gekel MR. The stabilization of dispersed mineral particles by adsorption of humic substances. Water Res. 1986;20(12):17-28.
14. Hu J, Song H, Karanfil T. Comparative analysis of halonitromethane and trihalomethane formation and speciation in drinking water: The effects of disinfectants, pH, bromide, and nitrite. Environ Sci Technol. 2010;44(2):794–99.
15. Licsko I. Dissolved organics removal by solid-liquid phase separation (adsorption and coagulation). J Am Water Works Ass. 2004;67(19):22-38.
16. Llopis-Gonzalez A, Morales-Suarez-Varela M, Sagrado-Vives S, Gimeno-Clemente N, Yusa-Pelecha V, Martí-Requena P, et al. Long-term characterization of trihalomethane levels in drinking water. Toxicological & Environmental Chemistry. 2010;92(4):683-96.
17. Randtke SJ. Organic contaminant removal by coagulation and related process combinations. J Am Water Works Ass. 1988;80:22-60.
18. Stevens AA, Symans JM. Measurement of trihalomethanes and precursor concentration changes. J Am Water Works Ass. 1977;64:546-55.
19. USEPA. National primary drinking water standards. Final Report. USA: United States Environmental Protection Agency; 2001. Report No.: 816-F-01-007.
20. Uyak V, Toroz I, Meriç S. Monitoring and modeling of Trihalomethanes (THMs) for a water treatment plant in Istanbul. Desalination. 2005;176(1-3):81-101.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]

Investigation of Amount and Effective Factors on Trihalomethane Production in Potable Water of Yazd

Andalib A.H.[1], * Ganjidoust H.[1], Ayati B.[1], Khodadadi A.[2]

[1]Civil and Environmental Engineering Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[2]Engineering Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received; 17 January 2011 Accepted; 13 April 2011

ABSTRACT

Background and Objectives: Yazd province is located in the central desert part of Iran in which water scarcity was one of the most important problems. This has been recently solved to some extent, due to the approved channel project of water transferring from Isfahan to Yazd. Chlorination is usually used in the last stage of water treatment for disinfection in the networks, treatment plants, storages and channel stations. The possibility of carcinogen lateral composites formation is expected by tri-halo-methanes (THMs) due to the reactions occurs between the natural organic materials and free chlorine available in water. Based on the established standard by the country, the permissible limit of THMs in water is 200 mg/L. In this research, in addition to the amount of THMs and their distribution in Yazd water transferring channel and the city water network system, the important parameters and their correlations with THMs formation were discussed.

Materials and Methods: In a year of sampling period, the concentrations of THMs including the four major components of chloroform, bromoform, bromo di-chloro methane and di-bromo chloro methane during all seasons were measured using gas chromatograph and analyzed. This was done for 11 stations including Zayande-rood Basin River and Isfahan water treatment plant up to Yazd Shehneh storage, stations and inline equalization tanks and also five regions of Yazd city network.

Results: According to the results, the maximum rate of THMs (51.14 mg/L) during the sampling period in summer for Yazd city network and in ancient context of Jamea Mosque district was found. In addition, the minimum concentration of THMs was 1.60 mg/L in winter for the domestic network of the city which was related to Azad Shahr district. The Average total amount of THMs during sampling periods in all stations was 12.26 mg/L.

Conclusion: SPSS and Excel softwares were used to analyze the research data in the descriptive and inferential manner. Both statistical methods (Simple correlation coefficient, Pearson and Spearman correlation test)) with 5% significant level were considered for data analysis. The results indicated that no significant difference existed between these parameters and national and international standard scales. These rates were generally desirable and lower than standard limit which indicates acceptable operation in the treatment system and storages in the channel line of Isfahan to Yazd. Furthermore, it was obtained that there is a correlation between THMs rates and effective parameters in producing confidential values such as 95% and 99% for the residue chlorine and heat respectively. Finally the distribution and diffusion plan of THMs in transferring line and civic network of Yazd were drawn.

Keywords: Tri-halo methanes, Chloroform, Bromoform, Bromo Di-chloro Methane, Di-bromo chloro methane, Treatment, Transferring

***Corresponding Author:** *h-ganji@modares.ac.ir*

***Tel:** +98213332 8288 **Fax:** +982182884914*

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-10]