

بررسی میزان تری هالومتان‌ها در آب شرب شهر بندرعباس و امکان سنجی حذف آن توسط امواج ما فوق صوت

روناک خورده‌دان^۱ علی اکبر عظیمی^۲ مجید بغدادی^۲ علی زاهدی^۳

(دریافت ۹۱/۱/۲۰ پذیرش ۹۲/۲/۲۱)

چکیده

تری هالومتان‌ها، اصلی‌ترین گروه تشکیل دهنده محصولات جانبی ناشی از گندزدایی هستند که سرطان‌زایی آنها به اثبات رسیده است. هدف از این مطالعه، اندازه‌گیری مقدار تری هالومتان‌ها در آب شرب شهر بندرعباس بود. همچنین امکان سنجی حذف کلروفرم به‌عنوان شاخص تری هالومتان‌ها با استفاده از امواج ما فوق صوت مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه در محدوده شرقی شهر بندرعباس طی دو مرحله نمونه‌برداری از سه ایستگاه در فصلهای زمستان ۱۳۸۹ و بهار ۱۳۹۰ (بهمن و اردیبهشت) انجام گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان غلظت تری هالومتان‌ها مربوط به فصل بهار (۱۹۹/۳ میکروگرم در لیتر) و کمترین مقدار مربوط به فصل زمستان (۶۸/۷ میکروگرم در لیتر) بود. میزان تری هالومتان اندازه‌گیری شده کمتر از حد مجاز و استاندارد تعیین شده (۲۰۰ میکروگرم در لیتر) توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران بود. آزمایش‌های اولتراسونیک در چهار زمان و با شدت نیروی ۱۷/۸۵ وات بر سانتی‌متر مربع بر روی نمونه سنتزی کلروفرم انجام شد. نتایج نشان داد که امواج ما فوق صوت، قابلیت حذف تری هالومتان‌ها را از محیط‌های آبی دارند، به طوری که بعد از زمان ۸ دقیقه، تقریباً ۷۰ درصد از کلروفرم حذف شد.

واژه‌های کلیدی: تری هالومتان‌ها، امواج ما فوق صوت، آب شرب، بندرعباس

Determination of Trihalomethanes (THMs) in Drinking Water of Eastern Part of Bandar Abbas City and Feasibility of Removing with Ultrasonic Irradiation

R. Khordehdan¹ A. A. Azimi² M. Baghdadi² A. Zahedi³

(Received Apr. 8, 2012 Accepted May 11, 2013)

Abstract

Trihalomethanes are a group of compounds that can form when the chlorine used to disinfect drinking water reacts with naturally occurring organic matter. Trihalomethanes have been proven to be carcinogenic. The purpose of this study was to determine Trihalomethanes in drinking water of Eastern part of Bandar abbas city and to evaluate the feasibility of removing chloroform by ultrasonic irradiation. Sampling was performed from three stations located in the Eastern part of Bandar Abbas city and in the winter of 1389 and in the spring of 1390 (February and may). The maximum concentration of THMs was observed in the spring (119.3 μ gr/l) and the minimum concentration in the winter (68.7 μ gr/l). The concentration of THMs was less than of maximum acceptable concentration (200 μ gr/l) established by Institute of Standards & Industrial Research of Iran. Synthetic sample solutions containing chloroform were irradiated by ultrasound with intensity of 17.85 W/cm². The results showed that the ultrasonic irradiation has the ability to remove Trihalomethans from aqueous solutions. After 8 minutes, 70% of chloroform was removed from sample solutions.

Keywords: Trihalometanes, Ultrasonic Irradiation, Drinking Water, Bandar Abbas.

1- M.Sc. Student of Environmental Health Eng., Islamic Azad University, Branch of Bandar Abbas (Corresponding Author) 09184151411 roonak_1984@yahoo.com

2- Assist. Prof., Dept of Environmental Health Eng., Tehran University, Tehran

3- Grad. M.Sc. Student of Civil and Environmental Eng., Dept. of Environmental Health Eng., Tehran University, Tehran

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس (نویسنده مسئول) ۰۹۱۸۴۱۵۱۴۱۱ roonak_1984@yahoo.com

۲- استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران- محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

در سال ۱۹۷۰، سرطان‌زایی کلروفرم به‌عنوان یک تری‌هالومتان که در طی فرایند کلرزنی تولید می‌شود به اثبات رسید و تری‌هالومتان‌ها به‌عنوان اولین دسته از محصولات جانبی هالوژنه در آب آشامیدنی شناسایی شدند [۱ و ۲]. در سال ۱۹۷۵، آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا^۱، تحقیقات اولیه خود را در مورد تأثیر محصولات جانبی گندزدایی بر روی بهداشت و سلامتی آغاز نمود و در سال ۱۹۷۹، قانون مقدار تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی منتشر شد [۳]. از زمانی که قوانین اولیه شکل گرفتند، تلاش‌های زیادی برای تحقیق بر روی این موضوع متمرکز شده است. حداکثر غلظت مجاز تری‌هالومتان‌ها در آب شرب در کشور آمریکا ۸۰ میکروگرم در لیتر توصیه شده است [۴]. سازمان بهداشت جهانی^۲، رهنمودهای کیفیت آشامیدنی کلروفرم، برموفرم، کلردی برمومتان و برمودی کلرومتان را به‌ترتیب به میزان ۶۰، ۱۰۰، ۱۰۰، ۳۰۰ میکروگرم در لیتر وضع نموده است [۵]. استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی ایران حداکثر غلظت مجاز کلروفرم، برموفرم، کلرودی برمومتان و برمودی کلرومتان را به‌ترتیب ۶۰، ۱۰۰، ۱۰۰، ۲۰۰ تعیین کرده است [۶].

آب شرب شهر بندرعباس عمدتاً از سد استقلال میناب تأمین می‌شود. رشد جلبک‌ها در آب سد مذکور، زمینه بالا رفتن غلظت تری‌هالومتان در اثر گندزدایی با کلر را فراهم می‌کند. با توجه به خاصیت سرطان‌زایی تری‌هالومتان‌ها، اندازه‌گیری مقدار آن در آب شرب بندرعباس حائز اهمیت است. در برخی مطالعات انجام شده در ایران برای سنجش غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی شهر تهران در سال ۱۳۷۳، ۲۵ درصد از نمونه‌ها دارای غلظت بیش از حد مجاز ترکیبات تری‌هالومتان‌ها بودند. همچنین در سال ۱۳۷۶، مطالعه دیگری در همین زمینه بر روی آبهای آشامیدنی تعدادی از شهرهای بزرگ انجام شد که غلظت این گروه آلاینده‌ها در آب شهرهایی مانند اهواز، اصفهان و بندرعباس در بعضی از ماههای سال چندین برابر بیشتر از حد مجاز گزارش شده است [۷]. طبق مطالعه‌ای که توسط پرداختی و ترابیان در سال ۱۳۸۸ بر روی وضعیت تری‌هالومتان‌ها در آب شهر تهران انجام گرفت، غلظت تری‌هالومتان‌ها از حد مجاز و استاندارد آمریکا که ۸۰ قسمت در بیون بود، کمتر بوده است [۸].

بیشترین مقدار تری‌هالومتان‌ها مربوط به کلروفرم و کمترین مقدار مربوط به برموفرم است [۹]. روشهای مختلفی برای حذف تری‌هالومتان‌ها از آب آشامیدنی وجود دارد که از آن جمله می‌توان

به فیلتراسیون، اسمز معکوس، جذب سطحی با استفاده از کربن فعال و شناورسازی هوا اشاره کرد [۳ و ۴]. تمامی روشهای مذکور، محدودیتهایی در حذف ترکیبات تری‌هالومتان از آب آشامیدنی دارند [۴]. در این میان فرایند اولتراسونیک به دلیل مزیتهایی که نسبت به روشهای دیگر داراست، به‌عنوان یکی از روشهای نوین در تصفیه آب انتخاب می‌شود. یکی از این مزیتها، تجزیه ترکیبات آلی فرار و نیمه فرار و آلاینده‌های سمی و مقاوم از محلولهای آبی است [۱۰]. این امر به علت تولید رادیکال‌های آزاد خیلی فعال با قدرت اکسیدکنندگی بالا مثل H^{\bullet} ، OH^{\bullet} ، HO^{\bullet} است که در طی انتشار امواج مافوق صوت بر اثر کاونیتاسیون^۳ ایجاد می‌شوند. تولید حرارت موضعی شدید تا ۵۰۰۰ درجه کلوین و فشار هیدرودینامیکی بالا تا حدود یکصد و هشتاد مگاپاسگال، باعث حذف و تجزیه ترکیبات آلی می‌شود [۱۱]. با توجه به اینکه این روش یک فرایند فیزیکوشیمیایی است و از امواج مافوق صوت استفاده می‌شود و در طی آن هیچ‌گونه ماده شیمیایی به آن اضافه نمی‌شود، مشکل تولید ترکیبات جانبی دیگر را ندارد و یکی از سالم‌ترین روشهای حذف در مقایسه با دیگر روشهای شیمیایی از نظر بهداشتی است [۳].

در مطالعه‌ای که توسط شیمیر و همکاران بر روی حذف تری‌هالومتان‌ها با استفاده از انتشار امواج مافوق صوت انجام شد، نتایج نشان داد که در زمان ۱۸۰ دقیقه و شدت اکوستیک ۳/۷۵ وات بر سانتی‌متر مربع، کلروفرم به‌میزان ۱۰۰ درصد حذف شد [۴]. در تحقیقی که توسط ژائوینگ و همکاران انجام شد، تجزیه اولتراسونیک مخلوط هالومتان‌ها با غلظت اولیه بسیار کم در آب آشامیدنی کلرزنی شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش شدت اکوستیک باعث افزایش حذف هالومتان‌ها در آب کلرزنی می‌شود [۱۲].

هدف از انجام این تحقیق، اندازه‌گیری مقدار تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شهر بندرعباس، مقایسه غلظت تری‌هالومتان‌ها با مقادیر مجاز آن در آب آشامیدنی و بررسی عملکرد امواج مافوق صوت در حذف تری‌هالومتان‌ها از آب مورد نظر در شرایط راهبری مختلف بود. براساس بررسی‌های انجام شده تاکنون تحقیق مدونی برای اندازه‌گیری غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شهر بندرعباس انجام نشده است. همچنین در خصوص امکان حذف تری‌هالومتان‌ها از آب شرب با تابش امواج مافوق صوت، تحقیقی صورت نگرفته است. لذا اندازه‌گیری این ترکیبات در آب شرب شهر بندرعباس و امکان سنجی حذف آن با تابش امواج مافوق صوت در نوع خود دارای نوآوری است.

¹ Environment Protection Agency (EPA)

² World Health Organization (WHO)

³ Cavitation



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری بر روی نقشه شهر بندرعباس

۲- مواد و روشها

شهرستان بندرعباس در جنوبی ترین نقطه استان هرمزگان قرار دارد. تنها منبع تأمین کننده آب شهر بندرعباس، سد استقلال میناب است. محدوده نمونه برداری، قسمت شرقی شهر بندرعباس بود. این مطالعه شامل دو بخش بود: در بخش اول، مقدار تری هالومتانها در آب شرب قسمت شرقی شهر بندرعباس در زمستان ۱۳۸۹ و بهار ۱۳۹۰ مورد بررسی قرار گرفت. در بخش دوم، امکان سنجی حذف کلروفرم به عنوان شاخص تری هالومتانها با استفاده از امواج مافوق صوت بررسی شد. نقاط نمونه برداری به صورت تصادفی در منطقه انتخاب شد (جدول ۱). موقعیت این نقاط بر روی نقشه شهر بندرعباس در شکل ۱ نشان داده شده است.

به اولتراسونیک، با استفاده از دستگاه Sonicator ultrasonic به homogenizer scientz-II D ساخت کارخانه Ningbo scientz Biotechnology Co.Ltd چین، انجام گرفت. سونیفیکاسیون با بیشینه توان خروجی ۹۵۰ وات و با فرکانس راهبری ۲۰ کیلوهرتز انجام شد. نمونه سنتزی کلروفرم به عنوان شاخص تری هالومتانها در ۴ زمان و با قدرت ۵۰۰ وات، شدت نیروی ۱۷/۸۵ وات بر سانتی متر مربع، چگالی قدرت ۲/۵ وات بر میلی لیتر، و پروب با قطر ۶ میلی متر تحت امواج ما فوق صوت قرار داده شد. بعد از تأثیر امواج فراصوت بر روی نمونهها، برای آنالیز تری هالومتانها با استفاده از دستگاه GC/MS نمونهها به آزمایشگاه منتقل شدند [۱۴ و ۱۵].

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری

شماره ایستگاه	موقعیت محلی	طول شمالی جغرافیایی	عرض شرقی جغرافیایی
۱	گلشهر شمالی	۴۹۷۵۳۴/۴	۳۰۰۷۲۸۹
۲	زیباشهر	۴۳۲۰۰۶/۲	۳۰۰۷۰۶۴
۳	دوراھی ایسینی	۴۲۹۶۱۴/۳۶	۳۰۰۷۴۰۱/۶۷

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان تری هالومتانها در آب شرب شهر بندرعباس ارزیابی تری هالومتانها در آب آشامیدنی قسمت شرقی شهر بندرعباس بر اساس جمع بندی داده های به دست آمده از آزمایشها، انجام شد. در جدول ۲، میزان غلظت چهار ترکیب تری هالومتان اندازه گیری شده در فصل زمستان ۱۳۸۹ ارائه شده است. گستره غلظت تری هالومتانها در فصل زمستان کمتر از حد استاندارد مجاز بود. میانگین غلظت تری هالومتانها در فصل زمستان در قسمت شرقی شهر بندرعباس ۶۸/۷ میکروگرم در لیتر بود. در بین تری هالومتانها، بیشترین غلظت مربوط به کلروفرم ۳۶/۶ و کمترین مقدار مربوط به برموفرم ۶/۷ بود. در بین سه ایستگاه نمونه برداری، ایستگاه سوم (دوراھی ایسینی)، بیشترین میزان

نمونه برداری طبق روش استاندارد شماره ۵۷۱۰ در دو مرحله در فصلهای زمستان و بهار (بهمن - اردیبهشت) انجام شد [۱۳]. ماده استفاده شده در این مطالعه کلروفرم بود که از شرکت مرک آلمان خریداری شد. آنالیز تری هالومتانها با دستگاه GC/MS طبق روش استاندارد شماره ۶۲۳۲ انجام شد [۱۳]. آزمایشهای مربوط

جدول ۲- میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب قسمت شرقی شهر بندرعباس (زمستان ۱۳۸۹) بر حسب میکروگرم در لیتر

تری‌هالومتان نام ایستگاه	کلروفرم	دی‌کلروبرومتان	دی‌برموکلرومتان	برموفرم	مجموع تری‌هالومتان‌ها	انحراف معیار
گلشهر شمالی	۲۲/۶	۱۸/۳	۱۳/۳	۶/۷	۶۰/۹	۴۶
زیبا شهر	۲۵/۵	۱۶/۵	۹/۵	۷	۵۸/۵	۴۴/۴
دو راهی ایسینی	۳۶/۶	۲۵/۵	۱۷/۵	۷/۲	۸۶/۸	۳۴/۲
میانگین قسمت شرقی	۲۸/۱	۲۰/۱	۱۳/۴	۶/۹	۶۸/۷	۴۴/۳

جدول ۳- میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب قسمت شرقی شهر بندرعباس (بهار ۱۳۹۰) بر حسب میکروگرم در لیتر

تری‌هالومتان نام ایستگاه	کلروفرم	دی‌کلروبرومتان	دی‌برموکلرومتان	برموفرم	مجموع تری‌هالومتان‌ها	انحراف معیار
گلشهر شمالی	۲۷/۳	۴۰/۳	۲۸/۳	۶	۱۰۱/۹	۷۷/۴
زیبا شهر	۳۵/۳	۴۱	۳۲/۱	۷/۶	۱۱۶	۸۷/۹
دو راهی ایسینی	۴۵/۳	۵۲/۶	۳۳	۹/۱	۱۴۰	۱۰۶/۲
میانگین قسمت شرقی	۳۵/۹	۴۴/۶	۳۱/۱	۷/۵	۱۱۹/۳	۹۰/۵

بوده است. بیشترین مقدار در فصل زمستان مربوط به کلروفرم و در فصل بهار مربوط به دی‌کلروبرومتان بود. استفاده از منابع آبهای سطحی با مقادیر بالای کل‌کربن آلی، دلیل اصلی این افزایش است و همچنین شرایط برای انجام واکنش و تولید دی‌کلروبرومتان در این فصل مناسب‌تر است. با توجه به برخی مطالعات انجام گرفته در ایران برای سنجش غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی، غلظت این گروه از آلاینده‌ها در آب شهرهایی مانند اهواز، اصفهان و بندرعباس در بعضی از ماههای سال چندین برابر بیشتر از حد مجاز گزارش شده است [۷].

در تحقیقی که توسط میمنی در سال ۱۳۸۹ برای سنجش میزان تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شهر زاهدان انجام شد، با توجه به اینکه آب شهر زاهدان همانند شهر بندرعباس از منابع سطحی تأمین می‌شود، میزان تری‌هالومتان در آب شرب این شهر بسیار پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ایران (۲۰۰ میکروگرم در لیتر) بوده است. میانگین میزان تری‌هالومتان‌ها در شبکه توزیع آب شهری در ماههای نمونه‌برداری (بهمن، اردیبهشت) ۰۷/۶، ۱۰/۳۷ میکروگرم در لیتر بوده است [۸]. در حالی که در شهر بندرعباس، میانگین میزان تری‌هالومتان‌ها در دو فصل بهار و زمستان (بهمن، اردیبهشت) به ترتیب ۱۱۹/۳ و ۶۸/۷ میکروگرم در لیتر بوده که این مقدار، بسیار بالاتر از میزان تری‌هالومتان‌ها در شهر زاهدان است. طبق مطالعه‌ای که توسط آقایان پرداختی و ترابیان در سال ۱۳۸۸ بر روی وضعیت تری‌هالومتان‌ها در آب شهر تهران انجام شد، غلظت تری‌هالومتان‌ها از حد مجاز و استاندارد آمریکا که ۸۰ میکروگرم در لیتر است، کمتر بوده است. بیشترین مقدار

تری‌هالومتان (۸۶/۸) را داشت. در جدول ۳ میانگین غلظت چهار ترکیب تری‌هالومتان اندازه‌گیری شده در فصل بهار ۱۳۹۰ ارائه شده است. میزان تری‌هالومتان‌ها در فصل بهار نیز در محدوده مجاز استاندارد تعیین شده توسط مؤسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران (۲۰۰ میکروگرم در لیتر) بود [۶]. ولی از استاندارد تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۸۰ میکروگرم در لیتر) بالاتر می‌باشد [۴]. همچنین میزان تری‌هالومتان‌ها در محدوده مجاز استاندارد تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی بود [۵].

میانگین تری‌هالومتان‌ها در قسمت شرقی شهر بندرعباس در فصل بهار ۱۱۹/۳ میکروگرم در لیتر بود. بیشترین میزان تری‌هالومتان‌ها در فصل بهار همانند فصل زمستان مربوط به دوراهی ایسینی و کمترین مربوط به گلشهر شمالی بود که این به دلیل کم بودن زمان تماس با کلر باقیمانده در ایستگاه اول و همچنین مسیر طولانی‌تر از تصفیه‌خانه تا نقطه سوم و زمان تماس بیشتر با کلر باقیمانده در نقطه سوم است. هر چه زمان تماس کلر با مواد آلی بیشتر باشد، میزان تری‌هالومتان بیشتری تولید خواهد شد و همچنین به دلیل اینکه ایستگاه سوم در بافت قدیم شهر قرار دارد، احتمال فرسودگی لوله‌ها بیشتر است. میانگین غلظت تری‌هالومتان‌ها در بهار بیشتر از زمستان بود. افزایش دما در فصل بهار و همچنین رشد بیشتر جلبک‌ها و افزایش غلظت کربن آلی در آب ورودی به تصفیه‌خانه، دلیل اصلی بالا بودن غلظت تری‌هالومتان‌ها در فصل بهار است. نتایج نشان داد که کمترین مقدار در بین تری‌هالومتان‌ها در هر دو فصل، مربوط به بروموفرم

تری هالومتان‌ها مربوط به کلروفرم و کمترین مقدار مربوط به برموفرم بوده است [۹]. برای تعیین وجود یا عدم وجود تفاوت معنادار میان غلظت تری هالومتان‌ها در دو فصل بهار و زمستان، داده‌ها وارد آنالیز واریانس یک طرفه آنووا شدند و از t-test استفاده شد. نتایج حاصل از مقایسه داده‌های فصل بهار و زمستان نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین دو فصل وجود دارد ($p < 0/05$). برای مقایسه ایستگاه‌های مختلف با هم و محاسبه اختلاف میان ایستگاه‌ها، از آنالیز یک طرفه آنووا و آزمون tukey استفاده شد. نتایج آنالیز نشان داد که در هر دو فصل، در داده‌های مربوط به کلروفرم، بین ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد. ایستگاه دوراهی ایسینی با دو ایستگاه گلشهر شمالی و زیبا شهر اختلاف معنی‌داری دارد و در مورد داده‌های مربوط به دی کلروپروموتان و دی برمکلرو متان و برموفرم در بین ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل در آزمون پیرسون نشان داد که بین غلظت کلروفرم و دی کلروپروموتان و دی برم کلرو متان ضریب همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد.

۳-۲- حذف تری هالومتان‌ها توسط امواج فراصوت

بیشترین میزان حذف کلروفرم مربوط به زمان یک دقیقه بود. حدود ۴۵ درصد از کلروفرم، همان دقیقه اول حذف شد. بعد از ۲ دقیقه ۵۱ درصد، بعد از ۴ دقیقه ۶۷ درصد و بعد از ۸ دقیقه ۷۰ درصد حذف شد. جدول ۴ نتایج مربوط به تأثیر امواج مافوق صوت بر نمونه سنتزی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- تأثیر امواج مافوق صوت بر روی نمونه سنتزی

زمان تابش امواج (ثانیه)	۰	۶۰	۱۲۰	۲۴۰	۴۸۰
غلظت کلروفرم (میکروگرم در لیتر)	۹۸	۵۲/۳	۴۶/۳	۳۱	۲۸/۵

در تحقیقی که توسط ژائوبینگ و همکاران انجام شد، تجزیه اولتراسونیک مخلوط هالومتان‌ها با غلظت اولیه بسیار کم در آب آشامیدنی کلرزده شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزایش شدت اکوستیک باعث افزایش حذف هالومتان‌ها در آب کلرزده شد [۱۲]. در تحقیق حاضر با اینکه زمان انتشار امواج مافوق صوت پایین بود، ولی شدت اکوستیک بالا بوده است. به همین دلیل، میزان حذف کلروفرم بالا بود. طبق تحقیقی که توسط کیم در کشور کره بر روی کل کربن آلی و تری هالومتان‌ها از فاضلاب به‌وسیله امواج مافوق صوت انجام شد، مقدار حذف تری هالومتان‌ها متناسب با افزایش مقدار پراکسید هیدروژن و

همچنین یکسری یون‌های فلزی به‌عنوان عامل محدود کننده و یکسری از یون‌ها به‌عنوان عامل تشدید کننده واکنش بوده است [۳]. در این تحقیق هیچ ماده شیمیایی به نمونه تری هالومتان (کلروفرم) اضافه نشد و تأثیر امواج مافوق صوت در حذف تری هالومتان‌ها به تنهایی و بدون حضور ماده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه‌ای دیگر که توسط شیمر و نارکیس بر روی حذف تری هالومتان با استفاده از امواج مافوق صوت و پراکسید هیدروژن و واکنشگر فنتون انجام شد، نتایج نشان داد که امواج مافوق صوت به تنهایی قابلیت حذف تری هالومتان‌ها را دارند. ترکیب پراکسید هیدروژن و واکنشگر فنتون و انتشار امواج مافوق صوت، تأثیری در حذف تری هالومتان‌ها نداشت [۱۱]. در مطالعه‌ای دیگر که توسط شیمر و نارکیس بر روی حذف تری هالومتان‌ها با استفاده از انتشار امواج مافوق صوت انجام گرفت، نتایج نشان داد که در زمان ۱۸۰ دقیقه و شدت اکوستیک ۳/۷۵ وات بر سانتی متر مربع، کلروفرم به میزان ۱۰۰ درصد حذف شد [۴].

در تحقیق حاضر حداکثر زمان امواج مافوق صوت ۸ دقیقه و شدت اکوستیک ۱۷/۸۵ بود که با این زمان و شدت اکوستیک، تقریباً ۷۰ درصد از کلروفرم حذف شد. چون شدت اکوستیک بالاتر بود، در این آزمایش در زمان کمتری کلروفرم حذف شد.

در تحقیقی که توسط شائو و همکاران بر روی حذف کلروفرم توسط دی اکسید تیتانیوم در آب در کشور چین انجام شد، نتایج نشان داد که دی اکسید تیتانیوم در حضور یون آهن صفر ظرفیتی، می‌تواند کلروفرم موجود در آب را حذف کند [۱۶]. در این تحقیق برای حذف کلروفرم توسط امواج مافوق صوت، هیچ‌گونه ماده‌ای به آب اضافه نشد و فرایند حذف فقط توسط انتشار امواج اولتراسونیک بود. در تحقیق دیگری که توسط لو و لی در کشور چین بر روی حذف کلروفرم از آب زیر زمینی توسط احیا زیستی انجام شد، نتایج نشان داد که کلروفرم طی تجزیه بی‌هوازی توسط میکروارگانیزم‌ها تخریب می‌شود. در صورتی که میکروارگانیزم‌ها، سازگار به متانول و قند باشند، راندمان حذف کلروفرم به ۷۵ درصد می‌رسد [۱۷].

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه غلظت متوسط کل تری هالومتان‌ها کمتر از حد مجاز (۲۰۰ قسمت در بیلیون) تعیین شده توسط مؤسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران بود، اما همین مقدار می‌تواند باعث افزایش احتمال خطر سرطان در جمعیت شهر بندرعباس شود. بنابراین بررسی و ارائه راهکار برای کاهش غلظت تری هالومتان‌ها در آب شرب بندرعباس بسیار ضروری به نظر می‌رسد. کاهش غلظت کل

۴۵ درصد کلروفورم در همان دقیقه اول حذف شد. بعد از ۲ دقیقه ۵۱ درصد، بعد از ۴ دقیقه ۶۷ درصد و بعد از ۸ دقیقه میزان حذف ۷۰ درصد بود. با افزایش زمان تابش امواج مافوق صوت دمای نمونه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین روند کاهشی تری‌هالومتان‌ها با افزایش زمان رابطه مستقیم دارد.

کربن آلی موجود در منابع تأمین‌کننده آب شرب، یکی از بهترین راه‌حل‌های کاهش غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های اولتراسونیک، امواج فراصوت قابلیت حذف تری‌هالومتان‌ها را از محیط‌های آبی دارند. بیشترین میزان حذف کلروفورم به‌عنوان شاخص تری‌هالومتان‌ها مربوط به زمان یک دقیقه بود که از ۹۸ میکروگرم در لیتر به ۵۲/۳ میکروگرم در لیتر و در دقیقه ۸ به ۲۸/۵ میکروگرم در لیتر رسید. حدود

۵- مراجع

1. Clark, R.M., Adams, J.Q., and Lynkins, B. W. (2005). "DBP control in drinking water: Cost and performance." *J. Env. Eng.*, 120, 759-782.
2. Rook, J. J. (1976). "Haloforms in drinking water." *J. Am. Water Works Assoc.*, 68, 168-172.
3. Kim, I., Hong, Hwang, I., Kwon, D., Kwon, J., and Huang, C. P. (2007). "TOC and THMEP reduction by ultrasonic irradiation in waste water effluent." *Desalination*, 202, 9-15.
4. Shemer, H., and Narkis, N. (2005). "Sonochemical removal of trihalomethanes from aqueous solution." *Ultrasonics Sonochemistry*, 12(6), 495-499.
5. WHO. (2006). *Guidelines for drinking-water quality: Incorporating first addendum*, Vol 1. Recommendations.
6. Industrial Research and Standard Institute of Iran. (1997). *Physical and chemical quality of drinking water*, 5th Ed., No 1053, Tehran.
7. Torabian, A. (1998). "Investigating the probadlity of existing trihalomethanes in potable water of iran and elimination processes." *Iran Health*, 1-2, 35-42.
8. Maymani, S.H. (2011). "Measuring the concentration of THMs in drinking water of Zahedan city." M.Sc. Thesis, Department of Environment-Wastewater, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch. (In Persian)
9. Pardakhti, A.R. (2010). "Evaluation of THMs in Tehran drinking water and comparison with drinking water outside the city water district." *Environmental Studies*, 53, 39-44.
10. Tang, W.Z., and Tasson, S., (1997). "Oxidation kinetics and mechanisms of trihalomethanes by fentons reagent." *Water Res.*, 31(5), 1117-1123.
11. Shemer, H., and Narkis, N. (2005). "Trihalomethanes aqueous solutions sonooxidation." *Water Research*, 39, 2704-2710.
12. Zhaobing, G., and Chunhui, G. (2006). "Sonodegradation of halomethane mixtures in chlorinated drinking water." *Ultrasonics Sonochemistry*, 13, 487-492.
13. APHA., AWWA., WEF. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., UAS.
14. Symons, J.M. (1981). *US Environmental Protection Agency Report*, USA.
15. Orechowaska, G.E., Pozimek, E.J., Hodge V.F., and Engelmann, W.H. (1995). "Use of sonochemistry in monitoring chlorinated hydrocarbons in water." *Environ.Sci.Technol.*, 29, 1373-1379.
16. Shao, Q., Chen, L., Yang, H., and Liu, Sh. (2011). "The research on removal of chloroform in water by loaded titanium dioxide/zero-valence iron." *5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 1-4.
17. Lu, J. (2010). "Removal of chloroform in groundwater by bioremediation." *Advanced Materials Research*, 142, 113-116.