مجله دانشگاه علوم پزشکی جیرفت

سال ۱ (۲)، آذر ۱۳۹۳، صفحه ۹۳-۸۵

مقاله پژوهشی

# بررسی غلظت تری هالو متان‌ها در آب آشامیدنی شهر زنجان در سال‌های ۹۲-۱۳۹۱

**مهران محمدیان فضلی[۱]، محمدرضا مهراسبی[۲]، ژیلا آذری[۳]*، جلیل نصیری[۴]**

[۱]استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران

[۲]دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران

[۳]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران

[۴]کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز بهداشت استان زنجان،زنجان، ایران

## چکیده

**مقدمه:** تری هالو متان‌ها توسط انستیتو تحقیقات سرطان به‌عنوان ماده سرطان‌زا برای انسان معرفی شده است. با توجه به این‌که شهر زنجان از سال ۱۳۸۷ از آب سد به عنوان منبع تأمین آب آشامیدنی استفاده می‌نماید و گندزدایی آب نیز با کلر انجام می‌شود، این مطالعه با هدف تعیین غلظت تری هالو متان‌ها در آب آشامیدنی شهر زنجان انجام شد.

**روش‌کار:** در این پژوهش توصیفی- مقطعی، ۳۲ نمونه از مخازن ذخیره، خروجی تصفیه‌خانه و نقاط مختلف شبکه توزیع آب شرب پس از مش بندی نقشه شهری، به‌گونه‌ای که تمامی نقاط شبکه را پوشش دهد، طی فصول زمستان ۱۳۹۱ و تابستان ۱۳۹۲ برداشت شد. دلیل انتخاب این دو فصل تغییر غلظت مواد آلی در منابع آب و به تبع آن تغییر غلظت پیش سازهای تولید تری هالومتان‌ها و تأثیر دما در تشکیل تری هالومتان‌ها بوده است. از دستگاه GC-ECD به روش Purge and Trap برای اندازه‌گیری کلروفرم، برموفرم، برمودی‌کلرومتان و دی برموکلرومتان استفاده گردید.

**یافته‌ها:** میانگین غلظت کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برموکلرومتان و برموفرم و کل تری هالومتان‌ها 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 و ۳/۰۹±۱۴/۱۹ میکروگرم در لیتر و در تابستان به ترتیب برابر ۱/۸۳±۴/۲۱، ۱/۸±۴/۷۱، ۰/۸۱±۳/۶۵، ۰/۱۴±۲/۲۲ و ۴/۴±۱۴/۸۱ میکروگرم در لیتر بدست آمد.

**نتیجه‌گیری:** غلظت تری هالومتان‌ها در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر زنجان پایین‌تر از حدود استاندارد ملی و بین المللی بوده و مصرف کنندگان در معرض خطر مواجهه با تری هالومتان‌ها نمی‌باشند.

**کلید واژه‌ها :** آب آشامیدنی، گندزدایی، تری هالومتان‌ها

اطلاعات مقاله

**دریافت :** ۱۳۹۳/۰۳/۱۵

**پذیرش :** ۱۳۹۳/۰۷/۲۳

***مولف مسئول**

ایران، زنجان، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط

**تلفن:** ۰۴۱-۳۲۸۷۴۸۹۲

**تلفن‌همراه:** ۰۹۱۴۸۶۴۰۵۷۱

**دورنما:** ۰۴۱-۳۴۳۲۹۶۰۸-۹

**پست الکترونیک:**

jila60@yahoo.com

[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]

Journal of Jiroft University of Medical Sciences

Vol. 1, No. 2, December 2014, P.85-93

*Original Article*

# Evaluation of Trihalomethanes (THMs) Concentration in Drinking Water of Zanjan in 2013

**Mehran Mohammadian Fazli[1], Mohammad Reza Mehrasbi[2], Zhila Azari[3*], Jalil Nasiri[4]**

[1]Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran

[2]Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran

[3]MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran

[4]MSc Environmental Health Engineering, Health Center of Zanjan province, Zanjan, Iran

## Abstract

**Introduction:** Trihalomethanes have been known as carcinogen material for human by IARC. Considering the Zanjanś drinking water is supplied from the dam in 2008 and water disinfection with chlorine is performed, this study was carried out to determine THM concentrations in drinking water of Zanjan city.

**Methods:** In this descriptive-cross-sectional research, 32 samples were taken from storage tanks, effluent treatment plant and different points of drinking water distribution system after the city map meshing so that covers all parts of the system in winter and summer seasons in 2013. The reason for these two seasons been variations in the concentration of organic substances in water resources and consequently the concentration of THMs precursors produced and the effect of temperature on the formation of THMs. Gas chromatography technic was used in purge and trap method with electron capture detector for analyzing samples of THM for each of four components including Chloroform, Bromodichloromethane, Dibromocholoromethane and Bromoform.

**Results:** The average concentration of THMs in winter for Chloroform, Bromodichloromethane, Dibromocholoromethane and Bromoform, were 4.7±1.44, 4.72±1.25, 3.08±0.43 and 1.98±0.14 µg/Lit and in summer were 4.21±1.83, 4.71±1.8, 3.65±0.81 and 2.22±0.14 µg/Lit, respectively. The average of total THMs in winter is14.19±3.09 µg/Lit and in summer is 14.81±4.4 µg/Lit.

**Conclusion:** Concentration of trihalomethanes and total trihalomethanes in Zanjan drinking water distribution system is lower than the national and international standards and the drinking water consumers arenot at risk of exposure to trihalomethanes.

**Keywords:** Drinking water, Disinfection, Trihalomethanes

**Article Info**

Received: Jun. 05, 2014

Accepted: Oct. 15, 2014

***Corresponding Author:**

Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran

**Tel:** +9841-32874892

**Mobile**+989148640571

**Fax:** +984134329608-9

**Email:**

jila60@yahoo.com

**Vancouver referencing:**

Mohammadian Fazli M, Mehrasbi MR, Azari Z, Nasiri J. Evaluation of Trihalomethanes (THMs) Concentration in Drinking Water of Zanjan in 2013. *Journal of Jiroft University of Medical Sciences* 2014; 1(2): 85-93.



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]

## مقدمه

در تصفیه آب، استفاده از کلر در گندزدایی مؤثر بوده و در از بین بردن میکروب‌های بیماری‌زا سابقه‌ای طولانی دارد. تری هالومتان‌ها در آب کلرزنی شده، از واکنش بین مواد آلی طبیعی شامل مواد هیومیک و فولویک، با کلر تزریقی به آب تولید می‌شوند. به همین دلیل به آن‌ها فرآورده‌های جانبی گندزدایی آب اطلاق می‌شود. افزایش روزافزون کاربرد کلر در تصفیه آب از یک سو و وفور مواد آلی طبیعی یا ناشی از تخلیه فاضلاب‌های انسانی و زیرزمینی به آب از سوی دیگر، درحدود ۷۸۰ فرآورده جانبی در آب ایجاد می‌کند؛ که بخش اصلی آن‌ها را مواد هالوژنه تشکیل می‌دهند. از جمله مهم‌ترین فرآورده‌های جانبی گندزدایی می‌توان به تری هالومتان‌ها اشاره کرد. درسال ۱۹۷۴ میلادی گروهی از پژوهش‌گران آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا[1]، سوئیس و هلند به وجود ترکیباتی در آب کلرزنی شده پی بردند که تا قبل از آن در آب آشامیدنی مشاهده نشده بود. این ترکیبات که از خانواده ترکیبات آلی کلره هستند، تری هالومتان‌ها[2] نامیده شدند (۳-۱). معروف‌ترین تری هالومتان‌ها، چهار ترکیب کلروفرم، برموفرم، دی برموکلرومتان و دی کلروبرمومتان هستند (۴). متداول‌ترین فرآورده جانبی کلرزنی، کلروفرم (تری کلرومتان) است (۵) که حدود ۸۰ درصد از کل تری هالومتان‌ها را تشکیل می‌دهد (۶). کلروفرم از راه دهان، تنفس و تماس پوستی و برموفرم، دی برموکلرومتان و دی کلروبرمومتان از طریق دستگاه گوارش جذب می‌شوند (۴).

تری هالومتان‌ها در اثر واکنش کلر با برخی از انواع ترکیبات آلی موجود در آب تولید می‌شوند که مشتمل بر: مواد آلی طبیعی[3] موجود در آب‌های سطحی، مانند اسیدهای ناشی از تجزیه گیاهان (اسیدهای هیومیک و فولویک)، مواد آلی مترشحه از جلبک‌ها و سایر موجودات آبزی و نیز مواد آلی حاصل از فعالیت‌های انسانی (مانند فاضلاب‌های شهری و صنعتی و زه آب‌های کشاورزی و شیرابه ناشی از دفع زباله) می‌باشد (۳،۷). به این مواد که هسته اولیه تولید ترکیبات تری هالومتان محسوب می‌گردند، ترکیبات پیش‌ساز[4] اطلاق می‌شود. این ترکیبات در مقایسه با بسیاری از املاح و ترکیبات معدنی موجود در آب، از طریق روش‌های متداول تصفیه آب آشامیدنی حذف نمی‌گردند (۲).

نمونه‌های آب با غلظت زیاد مواد آلی محلول، کلر مورد نیازشان در مقایسه با آب خام معمولی بیشتر است و لذا تشکیل تری هالومتان‌ها محتمل‌تر می‌شود. از عوامل اصلی مؤثر بر تشکیل تری هالومتان‌ها می توان به pH، دما، غلظت مواد آلی، نوع و غلظت کلر باقیمانده اشاره نمود. با افزایش pH و زمان ماند، تشکیل تری هالومتان‌ها نیز افزایش می‌یابد. با افزایش دما، واکنش‌های رخ داده سریع‌تر هستند و مصرف کلر افزایش می‌یابد که منجر به تشکیل محصولات جانبی گندزدایی بسیار می‌شود (۵).

رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه‌های پشت سدها و سایر منابع آب سطحی می‌تواند مقادیر قابل توجهی از پیش‌سازهای ترکیبات تری هالومتان را به منابع مذکور وارد سازند (۱).

اگرچه غلظت تری هالومتان‌های تولیدی در آب‌های آشامیدنی گندزدایی شده با کلر اندک است، ولی توجه به خطرات و اثرات سوء بهداشتی ناشی از آن‌ها به لحاظ سمیت بسیار بالا، مدت زمان مواجهه طولانی و مستمر، مثلاً برای تمام عمر و تعداد جمعیت در معرض خطر حائز اهمیت فراوان می‌باشد (۸).

این ترکیبات به علت داشتن پتانسیل اثرات سرطان‌زایی، امروزه باعث تشویش و نگرانی مقامات بهداشتی هستند. مطالعات بسیاری در مورد ارتباط بین آب آشامیدنی کلرزنی شده و مشکلات تولید مثل در انسان وجود دارد، ولی

[1]United States Environmental Protection Agency: USEPA
[2] Trihalomethanes (THMS)
[3]Natural Organic Materials
[4]Precursor Compounds



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]

معتبرترین آن‌ها مطالعات موریس است. این مطالعه نشان داد که فرآورده‌های جانبی گندزدایی در آب کلرزنی شده عامل ۹ درصد سرطان‌های مثانه و ۱۵ درصد سرطان‌های روده در ایالات متحده هستند (۹). اخیراً اپیدمیولوژیست‌ها به نتایجی در مورد پیامدهای تولید مثلی ناشی از تری هالومتان‌ها از قبیل: تولد زود هنگام نوزادان، مرده زایی، سقط جنین و عقب ماندگی رشد داخل رحمی نوزادان[5] رسیده اند (۱۰).

با توجه به مخاطرات بهداشتی ناشی از تری هالومتان‌ها، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده حداکثر مقدار قابل قبول این ترکیبات در آب‌های آشامیدنی را از سال ۱۹۹۸ به ۸۰ میکروگرم در هر لیتر تقلیل داده است (۲).

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نیز در نشریه شماره ۱۰۵۳ در خصوص ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، مقادیر حداکثر مجاز را برای برموفرم، دی برموکلرومتان، برمودی کلرومتان، کلروفرم و کل تری هالومتان‌ها به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰، ۶۰، ۳۰۰ و ۸۰ میکروگرم در لیتر بعنوان استانداردهای ملی کشور ایران تصویب و منتشر نموده است (۱۱،۱۲).

در مطالعه‌ای که در شهر شیراز انجام گرفت، غلظت تری هالومتان‌ها (بر حسب کلروفرم) در آب آشامیدنی حدود ۳۰ میکروگرم در لیتر به دست آمد (۱۳).

در مطالعه‌ای در سال های ۹۰-۱۳۸۹ در شبکه توزیع آب اهواز غلظت کل تری هالومتان‌ها تنها در ۶ مورد بیشتر از حد مجاز EPA و تنها در ۳ مورد بیشتر از استاندارد ایران و رهنمود سازمان بهداشت جهانی می باشد (۱۴).

در مطالعه‌ای در آب یزد در سال های ۸۸-۱۳۸۷ مشخص کردند که اختلاف آماری معنی‌داری بین مقادیر تری هالومتان‌ها با استاندارد ملی و جهانی وجود ندارد و مقادیر کاملاً مطلوب و پایین‌تر از حد استانداردهای مجاز است (۱۵).

در مطالعه‌ای در سال ۱۳۸۸ غلظت تری هالومتان‌ها در آب شرب شهر تهران بسیار پایین‌تر از حدود استانداردهای ملی و معیارهای بین المللی بوده است (۱۶).

در مطالعه‌ای در اسپانیا در سال ۲۰۱۲ در نمونه‌های آب شیر مجموع غلظت‌های تری هالومتان‌ها زیر حد استاندارد اتحادیه اروپا ملاحظه شد، همچنین حداکثر غلظت مجاز بوسیله آژانس حفاظت محیط زیست ایالت متحده آمریکا محقق شده است (۱۷).

در گزارشی در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که غلظت کل تری هالومتان‌ها در برخی مناطق کوئینزلند[6] استرالیا نسبت به استانداردهای محلی نگران کننده است (۱۸).

در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۹ در تونس متوسط غلظت تری هالومتان‌ها در آب آشامیدنی ۸۸/۱۶ میکروگرم در لیتر بود که تماماً در حدود پیشنهادی رهنمود اتحادیه اروپا، ۱۰۰ میکروگرم در لیتر بود (۱۹).

در چند سال گذشته در ایران، توجه بیش از پیش به مهار آب‌های سطحی معطوف گشته و احداث سدهای متعدد در سطح کشور طی برنامه توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور روشن می‌سازد که در سال‌های آتی نیز عمده‌ترین منبع آب آشامیدنی مورد مصرف مردم، منابع آب سطحی و به خصوص آب ذخیره شده در دریاچه‌های پشت سدها خواهد بود (۲).

شهر زنجان با جمعیت بالغ بر ۴۰۰۰۰۰ نفر دارای منابع آب سطحی و زیرزمینی است. از سال ۱۳۸۷ که تصفیه خانه آب شهر زنجان به بهره برداری رسیده است بخشی از آب آشامیدنی ساکنین شهر زنجان از این تصفیه خانه تأمین می‌شود و این موضوع رو به گسترش است. نظر به اینکه منبع تأمین آب این تصفیه خانه، سد تهم می‌باشد و به طور مشخص حضور مواد آلی به عنوان پیش سازهای تشکیل تری هالومتان‌ها در منابع سطحی امری معمول است و از سویی گندزدایی آب تصفیه شده نیز با کلر انجام می‌شود، لذا این مطالعه با هدف

[5] Intra Uterine Growth Reduction (IUGR)

[6] Queensland



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]

اندازه‌گیری غلظت این ترکیبات در آب شرب شهر زنجان انجام شد.

## روش کار

این پژوهش توصیفی- مقطعی، به منظور تعیین غلظت تری هالومتان‌ها در آب آشامیدنی شهر زنجان در دو فصل زمستان ۱۳۹۱ و تابستان ۱۳۹۲ انجام گرفت. بر اساس مطالعات مشابه و محاسبات آماری تعداد ۳۲ نمونه از محل‌های نمونه برداری شامل نقاط مختلف شبکه توزیع، مخازن ذخیره و خروجی تصفیه خانه طی دو فصل یاد شده برداشت و آنالیز گردید. نمونه‌های شبکه توزیع از سطح شهر بوده و پس از مش‌بندی نقشه شهری، بگونه‌ای انتخاب شد که تمامی نقاط شبکه را پوشش دهد. نمونه ها مطابق روش‌های آماری توصیه شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب برداشت، محافظت و انتقال داده شد (۲۰).

آماده سازی و نمونه برداری بدین صورت بود که ظروف ۱۰۰ میلی لیتری نمونه برداری و در پوش‌های آستردار را با شوینده مناسب شسته و سپس با استون شستشو داده و با آب دیونیزه تازه جوشیده شده کاملا آب کشی شد ظروف قبل از نمونه برداری با آب نمونه شسته شده است، در هر محل، قبل از نمونه برداری اجازه داده شده تا آب شیر برای حدود ۵-۴ دقیقه جریان یابد. بطری‌ها به آرامی تا لبریز شدن پر شده بطوری‌که هوا در نمونه‌ها نباشد. جهت تثبیت نمونه ها و حذف کلر باقیمانده، به بطری‌های محتوی نمونه در زمان نمونه برداری حدود ۴ قطره تیوسولفات سدیم ۱/۵ نرمال اضافه کرده و درپوش آنرا محکم بسته و داخل فلاسک حاوی بسته یخ قرار داده شده است. فاصله نمونه برداری تا آنالیز تری هالومتان‌ها حداکثر ۴۸ ساعت بود، نمونه‌ها قبل از آنالیز در دمای ۲۵-۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و به دمای محیط رسیدند (۲۱)؛ و اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف مدل A۷۸۹۰ ساخت شرکت Agilent آمریکا مجهز به دتکتور گیرنده الکترون[۷] (ECD-GC) با تکنیک Purge & Trap در آزمایشگاه تجزیه دستگاهی دانشکده بهداشت انجام شد. ستون Hp-5 نوع fused silica capilary colomn ساخت Agilent technology, Paolo Alto CA, USA، به طول ۳۰ متر، قطر ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت فیلم داخلی ۰/۲۵ میکرومتر برای دستگاه گازکروماتوگرافی (GC) استفاده شد. تلفیقی از متد ۶۲۳۲B و ۶۲۳۲D استاندارد متد (۲۰) و متد EPA 524.2 (۲۲) جهت کار با دستگاه گاز کروماتوگراف برای آنالیز تری هالومتان‌ها به این صورت اصلاح شد؛ دمای ستون با ۳۵°C (زمان ماند ۵ دقیقه) شروع و با سرعت ۵ °C/min گرم می شد تا به دمای ۵۰°C برسد (زمان ماند ۱ دقیقه)، دمای injector در ۲۲۰°C و دمای Detector در ۲۵۰°C تنظیم شد. از گاز هلیوم با فشار ۱۶/۹۴ psi و به میزان ۳۵ ml/min به عنوان گاز حامل و از گاز نیتروژن به عنوان گاز کمکی استفاده شد. در این پژوهش از محلول‌های استاندارد کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برموکلرومتان، بروموفرم (Analytical grade) استفاده شد. محلول‌های استاندارد در متانول (GC grade) تهیه شدند، رقیق سازی‌های بعدی در آب مقطر دیونیزه تازه جوشیده شده (به مدت ۲ ساعت) انجام شد. غلظت‌های مختلف (۲۰۰-۱۰۰-۵۰-۱۰-۱µg/L) هر کدام از ترکیبات تری هالومتان‌ها به صورت جداگانه تهیه شده و توسط دستگاه GC-ECD به روش Purge & Trap با متد مورد استفاده آنالیز شده، بدین ترتیب زمان بازداری هر ترکیب تری هالومتان بدست آمد.

برای تهیه محلول منحنی‌های استاندارد، هر چهار ترکیب تری هالومتان در یک محلول اضافه شده و با رقیق سازی غلظت‌های مختلف از ترکیبات تری هالومتان تهیه شده و توسط دستگاه GC-ECD به روش Purge & Trap با متد مورد استفاده آنالیز شد و از غلظت‌ها و سطوح زیر منحنی متناظر بدست آمده از آنالیز، برای تهیه منحنی کالیبراسیون استفاده

[7] Electrolytic Conductivity Detection



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]

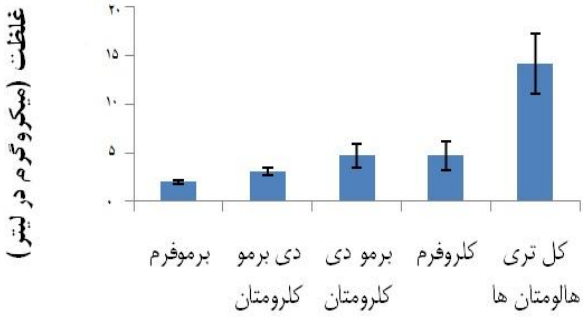
شد. برای اعتبار سنجی روش اندازه گیری تری هالومتان‌ها از درصد بازیافت (%R)، انحراف معیار نسبی (RSD)، حداقل قابل تشخیص (LOD) و حداقل قابل گزارش (LOQ) استفاده شد. جدول ۱ مقادیر %R، RSD، LOD و LOQ بدست آمده برای روش اندازه‌گیری ترکیبات تری هالومتان در این تحقیق را نشان می دهد. طبق روش توصیه شده استاندارد متد درصد بازیافت بین ۱۲۰- ۸۰ درصد قابل قبول است (۲۰). در جدول مشاهده می شود که درصدهای بازیافت بدست آمده در محدوده فوق قرار می‌گیرد. بنابراین اندازه‌گیری تری هالومتان-ها از نظر صحت سنجی مطلوب می‌باشد. همچنین از آنجا که RSD کمتر از ۲۰٪ را قابل قبول توصیه می‌نمایند (۲۰)، بنابراین اندازه‌گیری تری هالومتان‌ها از نظر دقت سنجی هم مطلوب می‌باشد. داده‌های بدست آمده با آزمون‌های آماری کولموگرو- اسمیرنو[8] و P-P Plots، Paired Sample t test، One-Sample t test مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

**جدول ۱:** مقادیر %R، RSD، LOD و LOQ بدست آمده برای روش اندازه‌گیری ترکیبات تری هالومتان

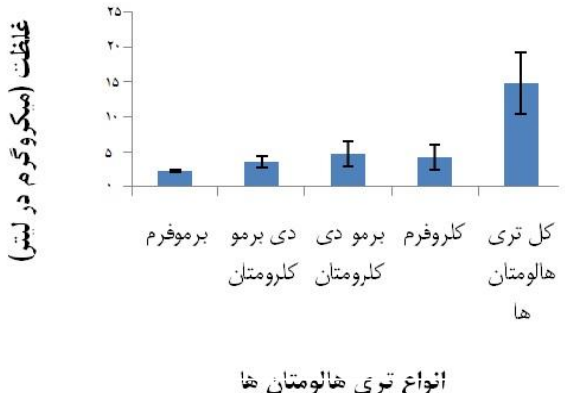
| آنالیت | %R | RSD٪ | LOD (µg/L) | LOQ (µg/L) |
|---|---|---|---|---|
| کلروفرم | ۱۰۱/۹ | ۶/۸۲ | ۰/۷۶ | ۲/۲۸ |
| برمودی کلرومتان | ۱۱۴/۳ | ۵/۰۳ | ۰/۲۴ | ۰/۷۲ |
| دی برموکلرومتان | ۹۹/۴ | ۲/۷۹ | ۰/۰۹ | ۰/۲۷ |
| برموفرم | ۹۷ | ۶/۷۳ | ۱/۴۶ | ۴/۳۸ |

## یافته‌ها

نتایج نشان‌دهنده این است که میانگین غلظت تری هالومتان‌ها در آب شبکه توزیع و مخازن در فصل زمستان برای کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برموکلرومتان وبرموفرم به ترتیب برابر ۱/۴۴±۴/۷، ۱/۲۵±۴/۷۲، ۰/۴۳±۳/۰۸، ۰/۱۴±۱/۹۸ و برای تابستان به ترتیب برابر ۱/۸۳±۴/۲۱، ۱/۸±۴/۷۱، ۰/۸۱±۳/۶۵، ۰/۱۴±۲/۲۲ و میانگین غلظت کل تری هالومتان‌ها برای زمستان ۳/۰۹±۱۴/۱۹ و برای تابستان ۴/۴±۱۴/۸۱ میکروگرم در لیتر می‌باشد. جدول ۲ مقایسه فصلی میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر و دامنه تغییرات غلظت تری هالومتان‌ها در نمونه‌های آب آشامیدنی شهر زنجان را نشان می‌دهد. نمودار ۱ و ۲ میانگین و خطای استاندارد برای غلظت هر یک از ترکیبات تری هالومتان و کل تری هالومتان‌ها در فصل زمستان و تابستان را نشان می‌دهد. نمودار ۳ مقایسه تغییرات کل تری هالومتان‌ها در ایستگاه‌های نمونه برداری در دو فصل زمستان و تابستان با استاندارد ایران را نشان می‌دهد.




**نمودار ۱:** میانگین و خطای استاندارد برای غلظت هر یک از ترکیبات تری هالومتان و کل تری هالومتان‌ها در فصل زمستان




**نمودار ۲:** میانگین و خطای استاندارد برای غلظت هر یک از ترکیبات تری هالومتان و کل تری هالومتان‌ها در فصل تابستان

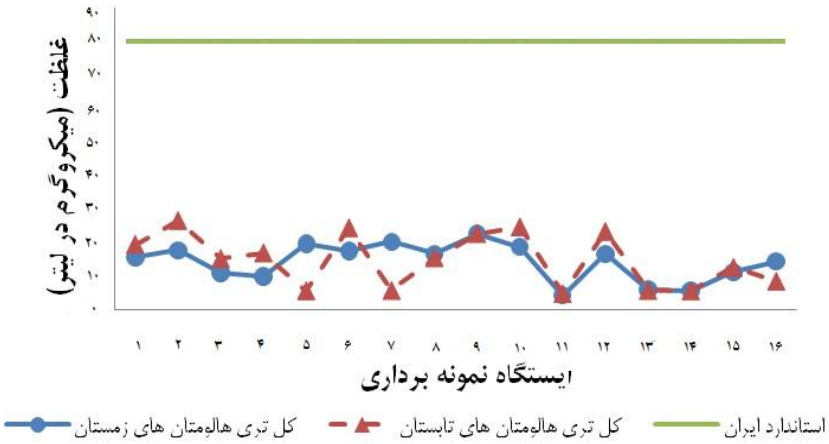
[8]Kolmogorov-Smirnov



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]

**جدول ۲:** مقایسه فصلی میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر و دامنه تغییرات غلظت تری هالومتان‌ها در نمونه‌های آب آشامیدنی شهر زنجان

| زمان نمونه برداری | | برموفرم- µg/L | دی برمو کلرومتان µg/L - | برمو دی کلرومتان µg/L - | کلروفرم - µg/L | کل تری هالومتان‌ها µg/L - |
|---|---|---|---|---|---|---|
| زمستان ۱۳۹۱ | حداقل | ۱/۷۰ | ۱/۵۵ | ۰/۷۷ | ۰/۱۹ | ۴/۱۸ |
| | حداکثر | ۲/۶۹ | ۴/۳۵ | ۸/۲۵ | ۸/۲۷ | ۲۲/۷۰ |
| | میانگین (SD) | ۱/۲۸ (۰/۲۶) | ۳/۰۸ (۰/۷۸)۰۸ | ۴/۷۲ (۲/۲۷) | ۴/۷۰ (۲/۵۲) | ۱۴/۱۹ (۵/۶۲) |
| | دامنه | ۰/۹۹ | ۲/۸۰ | ۷/۴۸ | ۸/۰۸ | ۱۸/۵۲ |
| تابستان ۱۳۹۲ | حداقل | ۱/۸۷ | ۱/۶۷ | ۰/۵۱ | ۰/۱۶ | ۴/۷۸ |
| | حداکثر | ۲/۷۳ | ۵/۴۳ | ۹/۵۹ | ۹/۵۰ | ۲۶/۴۸ |
| | میانگین (SD) | ۲/۲۲ (۰/۲۵) | ۳/۶۵ (۱/۴۷) | ۴/۷۱ (۳/۲۸) | ۴/۲۱ (۳/۳۴) | ۱۴/۸۱ (۸/۰۰) |
| | دامنه | ۰/۸۶ | ۳/۷۶ | ۹/۰۸ | ۹/۳۴ | ۲۱/۷۰ |




**نمودار ۳:** مقایسه تغییرات کل تری هالومتان‌ها در ایستگاه‌های نمونه برداری در دو فصل زمستان و تابستان با استاندارد

## بحث

نتایج نشان‌دهنده این است که حداقل و حداکثر غلظت کل تری هالومتان در نمونه‌های فصل زمستان به ترتیب ۴/۱۸ و ۲۲/۷ و در نمونه‌های فصل تابستان به ترتیب ۴/۷۸ و ۲۶/۴۸ میکروگرم در لیتر بوده است.

حداکثر غلظت کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برمو کلرومتان، برموفرم و کل تری هالومتان در کل نمونه‌ها مربوط به فصل تابستان و به ترتیب برابر ۹/۵، ۹/۵۹، ۵/۴۳، ۲/۷۳ و ۲۶/۴۸ میکروگرم در لیتر بوده است.

مقایسه بین غلظت تری هالومتان در دو فصل زمستان و تابستان با آزمون Paired-Samples t test انجام شد که نتایج حاکی از این است که بین غلظت کل تری هالومتان‌ها در فصل زمستان و تابستان اختلاف معناداری وجود ندارد بنابراین در این مطالعه تغییرات فصلی مشاهده نشد.

مقایسه غلظت کل تری هالومتان‌ها در فصل زمستان و همچنین تابستان با استاندارد مؤسسه تحقیقات صنعتی ایران (۸۰ میکروگرم در لیتر) توسط آزمون One-Sample t test نشان داد میانگین غلظت کل تری هالومتان‌ها در فصل زمستان با استاندارد مؤسسه تحقیقات صنعتی ایران اختلاف معنی‌داری

[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]

(P-value<۰/۰۰۱) دارد، این نتیجه برای فصل تابستان نیز تأیید شد بنابراین نتایج مطلوب می‌باشند.

در مطالعه آب آشامیدنی شیراز غلظت تری هالومتان‌ها (بر حسب کلروفرم) در حدود ۳۰ µg/L می باشد (۱۳). همچنین در مطالعه آب یزد مقادیر تری هالومتان‌ها کاملاً مطلوب و پایین‌تر از حد استانداردهای مجاز بوده است (۱۵). در مطالعه آب شرب شهر تهران غلظت تری هالومتان‌ها بسیار پایین‌تر از حدود استانداردهای ملی و معیارهای بین المللی بوده است (۱۶). در مطالعه نمونه‌های آب شیر اسپانیا مجموع غلظت‌های تری هالومتان‌ها زیر حد استاندارد اتحادیه اروپا ملاحظه شد، همچنین حداکثر غلظت مجاز بوسیله آژانس حفاظت محیط زیست ایالت متحده آمریکا محقق شده است (۱۷). در مطالعه تونس غلظت تری هالومتان‌ها در آب آشامیدنی تماماً در حدود پیشنهادی رهنمود اتحادیه اروپا بوده است (۱۹). در مطالعه شبکه توزیع آب اهواز غلظت کل تری هالومتان‌ها تنها در ۶ مورد بیشتر از حد مجاز EPA و تنها در ۳ مورد بیشتر از استاندارد ایران و رهنمود سازمان بهداشت جهانی می‌باشد (۱۴). در گزارشی نشان دادند که غلظت کل تری هالومتان‌ها در برخی مناطق کوئینزلند[9] استرالیا نسبت به استانداردهای محلی نگران کننده است ضمناً غلظت تری هالومتان‌ها در آب‌های گندزدایی شده با کلر بالاتر از غلظت آن‌ها در آب‌های گندزدایی شده با کلر/کلرآمین‌ها می‌باشد (۱۸). در مطالعات ایران غلظت تری هالومتان‌ها اکثراً به غیر از مناطق گرمسیری

## نتیجه‌گیری

بسیار پایین‌تر از حدود استانداردهای ملی و معیارهای بین المللی بوده است. غلظت تری هالومتان‌ها در آب بسته به نوع گندزدا و کیفیت آب از نظر حضور مواد آلی و همچنین درجه حرارت و زمان تماس متفاوت است که درجه حرارت بیشترین تأثیر را بر تشکیل تری هالومتان‌ها دارد.یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که حداکثر غلظت کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برمو کلرومتان، برموفرم و کل تری هالومتان در کل نمونه‌ها به ترتیب برابر ۹/۵، ۹/۵۹، ۵/۴۳، ۲/۷۳ و ۲۶/۴۸ میکروگرم در لیتر بوده است. غلظت کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی برمو کلرومتان، برموفرم و کل تری هالومتان‌ها در طول مطالعه در مخازن و شبکه توزیع آب آشامیدنی پایین‌تر از حد مجاز پیشنهاد شده توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران بوده، بنابراین در شبکه توزیع آب آشامیدنی زنجان مشکلی در خصوص مقادیر بالای تری هالومتان‌ها وجود ندارد. در مجموع طبق تحقیق حاضر، غلظت تری هالومتان‌ها در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر زنجان پایین‌تر از حدود استاندارد ملی و بین المللی بوده و مصرف کنندگان در معرض خطر مواجهه با این محصولات جانبی گندزدایی نمی‌باشند.

## تقدیر و تشکر

این مقاله بر گرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط در دانشگاه علوم پزشکی زنجان می‌باشد که بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی و تخصصی آن دانشگاه تشکر و قدردانی می گردد.

[9]. Queensland



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]

## *References*


1. Samadi MT, Naseri S, Mesdaghinia A, Alizadefard M. A Comparative Study on THMs Removal Efficiencies from Drinking Water through Nanofiltration and Air Stripping Packed-Column. water ans wastewater. 2006;(57):14-21.
2. Frederick W. Small systems to tackle disinfection by-products. AWWA technical reports, 1-6, 1998.
3. Bodzek M, Waniek A, Konieczny K. Pressure driven membrane techniques in the treatment of water containing THMs. Desalination. 2002;147(1):101-7.
4. Jafari M, Taghavi K, Hasani A. Survey the THMS Value in Drinking Water in Lahijan and Syggestions in Order to Product Control after Disinfection. Journal of Gilan University of Medical Sciences. 2008;17(68):1-6.(In Persian)
5. Mazloomi S, Mahvi AH, Nabizadeh R, Naseri S, Nadafi K, Fazlzadeh M, et al. Removal of trihalomethanes (THMs) by means ofdomestic reverse osmosis. 12th National Congress on Enviromental Health; 2009; Faculty of Health, ShahidBeheshti Medical Science University.
6. Vaezi F. Trihalomethanes in Treatmented Water of Tehran. Iranian Journal of Public Health. 1992;21(1-4):1-10.
7. Lu J, Zhang T, Ma J, Chen Z. Evaluation of disinfection by-products formation during chlorination and chloramination of dissolved natural organic matter fractions isolated from a filtered river water. Journal of Hazardous Materials. 2009;162(1):140-5.
8. 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(19):4779-89.
9. Ghanizadeh G, editor Influence DrinkingWater consumption with Chlorineated Organic Compond. 6th National Congress on Enviromental Health; 2003; Mazandaran Medical Science University
10. Legay C, Rodriguez MJ, Sérodes JB, Levallois P. Estimation of chlorination by-products presence in drinking water in epidemiological studies on adverse reproductive outcomes: a review. Science of the Total Environment. 2010;408(3):456-72.
11. Iran IoSaIRo. Drinking water - Physical and chemical specifications. 5ed2009.
12. Organization INS. Drinking warer-Physical & chemical specifications(Amendment no.1). 2012.
13. Noshadi M, TalebBidokhti N, Nejati E. Survey Trihalomethanes Formation in Shiraz DrinkingWater Network. Survey Formation. 2012;5:39-29.
14. Babaei AA, Atari L, Ahmadi M, Alavi N, Angali KA. Determination of trihalomethanes concentration in Ahvaz water distribution network in 2011. Jundishapur Journal of Health Science. 2012;3(4):478-69. (In Persian)
15. Andalib AH, Ganjidoust H, Ayati B, Khodadadi A. Investigation of Amount and Effective Factors on Trihalomethane Production in PotableWater of Yazd. Iran J Health & Environ. 2011;4(2):137-48.
16. Fazlzade Davil M, Mahvi A, Mazlumi S, Nabizade R, Unesian M, Nazmara S. Concentration of Trihalomethanes in Tehran Drinking Water. Journal of Health 2011;2(2):45-52.
17. Rodríguez-Cabo T, Ramil M, Rodríguez I, Cela R. Dispersive liquid-liquid microextraction with non-halogenated extractants for trihalomethanes determination in tap and swimming pool water. Talanta. 2012.
18. Knight N, Watson K, Carswell S, Comino E, Shaw G. Temporal and Spatial Variation of Trihalomethanes and Haloacetic Acids Concentration in Drinking Water: A Case Study of Queensland, Australia. Air, Soil and Water Research. 2011;2011(4):1-17.
19. Bahri M, Driss M. Development of solid-phase microextraction for the determination of trihalomethanes in drinking water from Bizerte, Tunisia. Desalination. 2010;250(1):414-7.
20. Clesceri L, Greenberg A, Eaton A, Frason M. Standard methods for the examination of water and waste water. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Appl Environ Microbiol. 1998;41:1152-8.
21. Torkian A. Water & WasteWarwe Tests adviser. Esfahan: Esfahan University Publisher; 2001.
22. Eichelberger J, Budde-Revision W, Munch J, Bellar-Revision T. METHOD 524.2 Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Environmental monitoring systems laboratory office of research and development, US EPA, Cincinnati, Ohio. 1989;45268.


[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-06-13 ]