

Journal of Water and Wastewater, Vol. 33, No. 5, pp: 79-94

Monitoring, Analyzing and Human Health Risk Assessment Produces Disinfection By-Products in Tabriz Drinking Water Network

M. Khaleghi¹, Ars. Pardakhti²

1. MSc. Student, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
(Corresponding Author) Khaleghi.mohsen@ut.ac.ir
2. PhD. Student, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received April 2, 2022 Accepted Sep. 7, 2022)

To cite this article:

Khaleghi, M., Pardakhti, Ars. 2023. "Monitoring, analyzing and human health risk assessment produces disinfection by-products in Tabriz drinking water network" Journal of Water and Wastewater, 33(5), 79-94. Doi: 10.22093/wwj.2022.332528.3247. (In Persian)

Abstract

Chlorine has the high oxidation power of natural organic matter in water. Chlorine injection produces disinfection by-products as carcinogens and more dangerous (THMs). We used descriptive and hierarchical analysis to understand the characteristics and dangerous factors affecting human health in the face of DBPs in the drinking water of Tabriz City. This research was done in order to provide key and strategic information to perform managerial and practical measures to reduce the risk of cancer and non-cancer. Monitoring and analysis was done by collecting sufficient samples of this research in the dry and wet seasons of the year, focused on the relative factors of the population density of the region and the topography of the urban fabric for functional and management zoning of drinking water distribution network in Tabriz City; Also, by reading some physical and chemical parameters at the sampling site. Samples were transferred to the laboratory in the shortest possible time and samples were prepared and trihalomethane compounds were measured by gas chromatography and mass spectrometer detector. The results showed that the highest average concentration in the Urban network, belongs to the region where a higher percentage of surface water is supplied, which is chloroform 1.3049 ppb, bromoform 2.0961 ppb, bromodichloromethane 2.7713 ppb and dibromochloromethane 4.1891 ppb, which is still less than the guidelines stated by the National Standard of Iran and USEPA and WHO. Conclusion: The results were divided into several subgroups in terms of dry or wet season, different urban areas, surface water or underground water as a source to evaluate the risk of human health. In addition, we also estimated population health risks by gender and age. In the time division, the health risk from exposure to DBPs in drinking water in the wet season was 7.3% higher than the dry season. The total cancer risk for

people living in the area all their life was $7.63E-06$. Also, the non-carcinogenic hazard index ($HI=3.43E-02<1$). It shows that there is no health risk in the present situation. In the age and gender division, the health risk assessment of men exposed to DBPs compared to women was equalized as an adult group. But there were differences between different age subgroups. The risk of developing cancer in children was 52% higher than in adults.

Keywords: Human Health Risk Assessment, Disinfection By-Products, Trihalomethanes, Cancer, Drinking Water.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۵، صفحه: ۷۹-۹۴

پایش، تحلیل و ارزیابی ریسک سلامت آلاینده‌های جانبی گندزدایی در شبکه آب شرب تبریز

محسن خالقی^۱، امیرارسلان پرداختی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
 نویسنده مسئول (Khaleghi.mohsen@ut.ac.ir)

۲- دانشجوی دکترای محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت ۱۴۰۱/۱/۱۳ پذیرش ۱۴۰۱/۶/۱۶)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

خالقی، م، پرداختی، ا. ا. ا. ۱۴۰۱، "پایش، تحلیل و ارزیابی ریسک سلامت آلاینده‌های جانبی گندزدایی در شبکه آب شرب تبریز"
 مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۵)، ۷۹-۹۴. Doi: 10.22093/wwj.2022.332528.3247

چکیده

کلر، قدرت اکسیدکنندگی بالای مواد آلی طبیعی موجود در آب را دارد. تزریق کلر، باعث تولید محصولات جانبی گندزدایی سرطانی‌زا و خطرناک تری هالومتان‌ها می‌شود. در این پژوهش، از تجزیه و تحلیل توصیفی و سلسله مراتبی برای درک خصوصیات و عوامل خطرناک تأثیرگذار بر سلامت انسان در مواجهه با محصولات جانبی گندزدایی در آب آشامیدنی شهر تبریز استفاده شد. این پژوهش، به منظور ارائه اطلاعات کلیدی و راهبردی برای انجام اقدامات مدیریتی و کاربردی برای کاهش ریسک سرطانی و غیرسرطانی انجام شد. این پایش و تحلیل با جمع‌آوری نمونه‌های مکفی این پژوهش، در فصول خشک و مرطوب سال با تمرکز بر عوامل نسبی تراکم جمعیت منطقه و توپوگرافی بافت شهری برای پهنه‌بندی کاربردی و مدیریتی، از شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر تبریز به روش استاندارد با قرائت برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در محل نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌ها در کمترین زمان ممکن به آزمایشگاه و آماده‌سازی نمونه‌ها و اندازه‌گیری ترکیبات تری هالومتان توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی و آشکارساز اسپکترومتر جرمی انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین میانگین غلظت نسبی در شبکه شهری، مربوط به منطقه‌ای است که درصد بیشتری از آبهای سطحی تأمین شده که عبارت است از کلروفرم $1/3 \times 49$ ppb، بروموفرم ppb $2/0961$ ، دی کلرو برومومتان $2/7713$ ppb و دی بروموکلرومتان $4/1891$ ppb که با این وجود، بسیار کمتر از رهنمودهای بیان شده توسط استاندارد ملی ایران و آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا و سازمان بهداشت جهانی است. نتایج برای ارزیابی ریسک سلامت انسان به چندین زیرگروه از نظر فصل خشک یا مرطوب، مناطق مختلف شهری، آبهای سطحی یا زیرزمینی به‌عنوان منبع، تقسیم شدند. علاوه بر این، در این پژوهش خطرات سلامت جمعیت با جنسیت و سنین مختلف نیز برآورد شد. در تقسیم‌بندی زمانی، خطر سلامت ناشی از قرار گرفتن در معرض DBPs در آب آشامیدنی در فصل مرطوب $7/3$ درصد بیشتر از فصل خشک بود. میزان کل ریسک سرطانی برای افرادی که همه طول عمرشان در این منطقه سکونت کنند عدد $7.63E-06$ شد. همچنین شاخص خطر غیرسرطانی (HI=3.43E-02<1) نشان داد در شرایط کنونی خطر سلامت وجود ندارد. در تقسیم‌بندی سنی و جنسیتی، ارزیابی خطر سلامت قرار گرفتن مردان در مقایسه با زنان در معرض DBPs به‌عنوان گروه بزرگ‌سال هم‌تراز شد، اما بین زیرگروه سنی مختلف تفاوت‌هایی وجود داشت. خطر ابتلا به سرطان در کودکان 52 درصد بیشتر از بزرگسالان بود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک سلامت انسان، آلاینده‌های جانبی گندزدایی، تری هالومتان، سرطانی، آب آشامیدنی



۱- مقدمه

در سراسر جهان یک مولکول وجود دارد که انسان بیش از هر چیز دیگری به دنبال کشف آن در جو یک ستاره دور است. آب، مترداف حیات بیولوژیکی است و بردار برجسته زندگی و فعالیت‌های انسانی است (Degremont et al., 1979). آب آشامیدنی، آبی است که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و رادیواکتیو آن در حدی باشد که مصرف آن برای آشامیدن عارضه سوئی در کوتاه‌مدت یا درازمدت برای سلامت انسان ایجاد نکند (ISIRI, 1997).

آبهای سطحی و زیرزمینی که به عنوان منابع اصلی آب شرب استفاده می‌شوند، حاوی مواد آلی محلول هستند که در صورت ترکیب با مواد اکسیدکننده مانند کلر، پتانسیل تشکیل ترکیبات آلی سرطان‌زا را دارند. یکی از پیشرفت‌های مهم بهداشت عمومی در قرن ۲۰ میلادی گندزدایی آب است؛ چون اپیدمی‌هایی مانند وبا و تیفوئید تا ۱۰۰ سال پیش عامل اصلی بسیاری از مرگ و میرهای انسانی بوده است (Hoff and Geldreich, 1981).

مواد آلی طبیعی^۱، مخلوط غیریکنواختی از ترکیبات آلی است که از گیاهان، حیوانات، میکروارگانیسم‌های زنده و مرده و مواد زائد تولیدی آنها مشتق شده و از تجزیه این منابع وارد آب می‌شود. NOMs به دو جزء اصلی هیدروفوبیک (آب‌گریز) و هیدروفیلیک (آب‌دوست) تقسیم می‌کنند که آب‌دوست، پتانسیل بیشتری برای تشکیل هالواستیک اسیدها^۲ و آب‌گریزها، پتانسیل بیشتری برای تشکیل تری هالومتانها^۳ دارند و علاوه بر ایجاد رنگ، مزه و بو در آب، می‌تواند در اکسیداسیون و واکنش با فلزات سنگین مداخله کنند (Dargahi et al., 2013).

اسیدهای ناشی از تجزیه گیاهان (اسید هیومیک و فولویک) و مواد آلی مترشحه از سیانوباکترها و سایر موجودات آبی موجود در آبهای سطحی و نیز مواد آلی موجود در فاضلاب‌های شهری و صنعتی و زه‌آبهای کشاورزی و شیرابه ناشی از دفع زباله حاصل از فعالیت‌های انسانی به عنوان پیش‌ساز^۴ تولید تری هالومتان محسوب می‌شوند و اکسیدکننده‌های شیمیایی مانند ازن، کلر، دی‌اکسید کلر و مانند اینها به طور متداول در فرایندهای تصفیه آب برای گندزدایی،

اکسیداسیون و حذف ریزآلاینده‌ها استفاده می‌شوند (Bruchet and Duguet, 2004) با این حال تحت برخی شرایط خاص، این عوامل اکسیدکننده می‌توانند ضمن واکنش با ترکیبات یا ریزآلاینده‌های موجود در آب، به‌طور بالقوه سبب تشکیل محصولات جانبی گندزدایی^۵ شوند (Bichsel and Von Gunten, 2000, Paim et al., 2007, Kawamura, 2000).

متداول‌ترین روش گندزدایی آب آشامیدنی، سیستم کلرزی است که احتمال تولید DBPs در آب تصفیه شده را افزایش می‌دهد (Abd El-Shafy and Grünwald, 2000, Jung and Son, 2008).

موضوع ترکیب کلر با مواد آلی موجود در آب، اولین بار توسط راک (Rook) در سال ۱۹۷۴ با اعلام وجود کلروفرم در آب تصفیه شده شروع شد (Rook, 1974). افزایش روزافزون و نیاز به آب آشامیدنی و کاربرد کلر در تصفیه آب از یک سو و وفور مواد آلی یا طبیعی از سوی دیگر، تعداد متعددی محصولات جانبی در آب ایجاد می‌کند که به DBPs معروف هستند. DBPs خطر ابتلا به بیماری‌های سرطانی را در جوامع بشری افزایش می‌دهند. از مهم‌ترین گونه‌های DBPs، می‌توان به تری‌هالومتان‌ها اشاره کرد. DBPs مانند تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی به‌طور معمول در نتیجه کلرزی مواد آلی موجود در منابع آب خام تشکیل می‌شوند. سرعت و درجه تشکیل THMs، به‌عنوان تابعی از غلظت کلر و اسید هیومیک، دما، pH و غلظت یون برمید افزایش می‌یابد.

THMs ترکیبات تک‌کربنی جایگزین هالوژن با فرمول کلی CHX_3 هستند که در آن X یک هالوژن را نشان می‌دهد که ممکن است فلوئور، کلر، برم، یا ید یا ترکیبی از آنها باشد. THM‌هایی که بیشتر در آب آشامیدنی وجود دارند عبارت‌اند از: کلروفرم ($CHCl_3$)، برمودی‌کلرومتان یا دی‌کلروبروممتان ($CHBrCl_2$) (BDCM)، دی‌بروموکلرومتان یا کلرو دی‌برومومتان ($CHClBr_2$) (DBCM) و برموفرم ($CHBr_3$). آنها نسبتاً بسیار فرار هستند (WHO, 2006).

پژوهش‌های اپیدمیولوژیک^۶ نشان داد که سرطان مثانه و روده بزرگ به‌طور بالقوه با آب آشامیدنی حاوی کلر ارتباط دارد

⁵ Disinfection By-Products (DBPs)

⁶ Bromodichloromethane (BDCM)

⁷ Dibromochloromethane (DBCM)

⁸ Epidemiology

¹ Natural Organic Matter (NOMs)

² Haloacetic Acids (HAAs)

³ Trihalomethanes (THMs)

⁴ Precursors



بیشترین مقدار تری هالومتان‌ها مربوط به کلروفرم و کمترین مقدار مربوط به برموفرم است (Pardakhti and Torabian, 2010).

نتایج پژوهش نوشادی و همکاران در سال ۱۳۹۱، نشان داد که میانگین غلظت کلروفرم در شبکه آب شرب شهر شیراز برابر با ۳۹ میکروگرم در لیتر و کمتر از حد مجاز است (Noshadi et al., 2012).

جعفری و همکاران در سال ۱۳۸۷، با بررسی مقدار تری هالومتان‌ها در منابع آب شرب شهر لاهیجان نتیجه گرفتند که غلظت این ترکیبات در خروجی واحد کلرزی یعنی ابتدای شبکه توزیع آب شرب شهر بیشتر از رهنمود EPA است (Jafari et al., 2009).

نتایج پژوهش بابایی و همکاران در سال ۱۳۹۱، نشان داد که غلظت ترکیبات تری هالومتان در برخی نمونه‌های برداشت شده از شبکه توزیع آب شرب شهر اهواز از حد مجاز WHO و EPA بیشتر بود (Babaei et al., 2013).

ببنا و همکاران در سال ۱۳۹۱، بیشینه غلظت کلروفرم در شبکه توزیع آب شرب اصفهان را برابر با ۲۸ میکروگرم در لیتر و کمتر از حد مجاز اعلام کردند (Bina et al., 2012).

محمدیان فضلی و همکاران در سال ۱۳۹۳، میانگین غلظت تری هالومتان‌ها در شبکه آب آشامیدنی شهر زنجان طی سال‌های ۹۱ تا ۹۲ را کمتر از استانداردهای ملی و بین‌المللی اعلام کردند (Mohammadian Fazli et al., 2015).

خورده‌دان و همکاران در سال ۱۳۹۳، در پژوهشی که به منظور بررسی غلظت تری هالومتان‌ها در آب شرب شهر بندرعباس انجام شد، میانگین غلظت تری هالومتان‌ها را کمتر از رهنمود مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران اعلام کردند (Khordedan et al., 2014).

یزدانبخش و همکاران در سال ۱۳۹۳، میانگین کل غلظت کلروفرم در شبکه توزیع آب شرب شهر تهران در سال ۱۳۸۸ را برابر با ۳۶/۵ میکروگرم در لیتر و کمتر از حد مجاز اعلام کردند (Yazdanbakhsh et al., 2014).

نتایج پژوهش علیدادی و همکاران در سال ۱۳۹۴، بیانگر آن بود که میانگین غلظت کلروفرم در شبکه توزیع آب شرب شهر مشهد برابر با ۳/۵ میکروگرم در لیتر و کمتر از حد مجاز است (Alidadi et al., 2015).

(King and Marrett, 1996, Morris et al., 1992, Mcgeehin et al., 1993, Koivusalo et al., 1997) ارتباط مصرف آب آشامیدنی حاوی کلر و باروری اثبات شده است (Kanitz et al., 1996, Reif et al., 1996, Savitz et al., 1995). جذب از طریق پوست و جذب توسط ریه از طریق تنفس راه‌های مؤثر انتقال تری هالومتان‌ها در آب است (Gordon et al., 1998, Xu and Weisel, 2005).

پژوهش‌هایی با اثر تری هالومتان‌ها بر دستگاه تناسلی، سقط جنین، تولد جنین مرده، زایمان زودرس، وزن کم نوزاد و نوزادان ناقص انجام شده است (Cedergren et al., 2002, Dodds and King, 2001, Dodds et al., 1999, Gallagher et al., 1998, Graves et al., 2001, Hinckley et al., 2005, King and Marrett, 1996, Nieuwenhuijsen et al., 2000, Waller et al., 1998, Wright et al., 2003).

در سال ۱۹۷۵، آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا^۱، پژوهش‌های اولیه خود را در مورد تأثیر محصولات جانبی گندزایی بر روی بهداشت و سلامتی آغاز کرد و در سال ۱۹۷۹، قانون مقدار تری هالومتان‌ها در آب آشامیدنی منتشر شد (Kim et al., 2007). از زمانی که قوانین اولیه شکل گرفتند، تلاش‌های زیادی در راستای پژوهش بر روی این موضوع متمرکز شده است. حداکثر غلظت مجاز تری هالومتان‌ها در آب شرب در کشور آمریکا ۸۰ میکروگرم در لیتر توصیه شده است (Shemer and Narkis, 2005) و سازمان بهداشت جهانی^۲، رهنمودهای کیفیت آشامیدنی کلروفرم، برموفرم، کلرودی برمومتان و برمودی کلرومتان را به ترتیب به میزان ۳۰۰، ۱۰۰، ۱۰۰ و ۶۰ میکروگرم در لیتر وضع کرده است (WHO, 2006).

استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی ایران حداکثر غلظت مجاز کلروفرم، برموفرم، کلرودی برمومتان و برمودی کلرومتان را به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰۰ تعیین کرده است (ISIRI, 1997). تاکنون چندین پژوهش در زمینه تعیین غلظت تری هالومتان‌ها در منابع آب آشامیدنی انجام شده است. طبق پژوهشی که توسط پرداختی و ترابیان در سال ۱۳۸۹ بر روی وضعیت تری هالومتان‌ها در آب شرب شهر تهران انجام شد، غلظت تری هالومتان‌ها از حد مجاز و استاندارد آمریکا که ۸۰ میکروگرم در لیتر بود، کمتر بوده است.

¹ United States Environmental Protection Agency (USEPA)

² World Health Organization (WHO)



آب را کد مانده در لوله‌ها خارج شود. سپس ظروف موردنظر کامل پر شد. نمونه‌ها تا قبل رسیدن به آزمایشگاه در درجه حرارت ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند، همچنین برای جلوگیری از افزایش تری هالومتان‌ها در مدت نمونه‌برداری، سدیم تیوسولفات به بطری‌ها افزوده شد (Eaton and Franson, 2005).

در این پژوهش، برای اندازه‌گیری ترکیبات تری هالومتان از روش فضای فوقانی ایستا به همراه کروماتوگرافی گازی-دستگاهی برای بررسی و جداسازی مواد فرار بدون تجزیه شدن آن‌ها-مجهز به آشکارساز اسپکترومتر جرمی-برای اندازه‌گیری نسبت جرم به بار یون‌ها استفاده شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه مرکزی تخصصی آب و فاضلاب شهر تبریز، بررسی و آزمایش شدند. در روش فضای فوقانی، ماده موردنظر در فاز مایع به قسمت فوقانی نمونه‌گیر منتقل شده، سپس قسمتی از بخار ماده برای تزریق به دستگاه کروماتوگرافی گازی منتقل می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- یافته‌ها

ارزیابی غلظت تری هالومتان‌ها در آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر تبریز بر اساس جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده از آزمایش نمونه‌ها در جدول ۱، نشان داده شده است که در طی ۸ ماه به تعداد ۱۷ نمونه و از کل محدوده شبکه توزیع آب شرب تبریز نمونه‌برداری شده است. بیشترین غلظت کلروفورم $2/1741$ ppb و برموفورم در بین نتایج آزمایشگاهی $2/1478$ ppb بود که کمتر از حد مجاز تعیین شده EPA و مؤسسه استاندارد ایران و WHO و نیز ۷ برابر بیشتر از کمترین غلظت این ترکیبات در شبکه توزیع بود. بیشینه غلظت برمودی کلرومتان و دی بروموکلرومتان به‌ترتیب $3/1334$ ppb و $4/3418$ ppb بود که کمتر از رهنمودهای بیان شده استانداردها بود، ولی به ترتیب ۱۰ و ۸ برابر بیش از کمترین غلظت این مواد در شبکه آب شرب بود. همچنین بیشترین غلظت کل تری هالومتان‌ها $10/7319$ ppb در یک موقعیت نمونه‌گیری بود که کمتر از حد مجازهای تعریف شده بود و ۷ برابر بیشتر از کمترین غلظت کل تری هالومتان‌ها بود. از آنجایی که این چهار ترکیب معمولاً با هم اتفاق می‌افتند، در نظر گرفتن کل THM‌ها به‌عنوان یک گروه بهتر است. به‌منظور ایجاد یک استاندارد برای کل THM با در نظر گرفتن سمیت افزایشی و رهنمودهای سازمان‌های

اکثر پژوهش‌های مرتبط، بر روی خطرات سلامت مواجهه با DBPs از طریق مسیرهای متفاوت و در جمعیت‌های مختلف، متمرکز شده‌اند.

در این پژوهش، خطرات سلامت DBPs در آب آشامیدنی با تجزیه و تحلیل توصیفی و سلسله مراتبی بررسی شد. هدف، دستیابی به نتایج و عوامل تأثیرگذار در زیرگروه‌های جمعیتی و منطقه‌ای برای استفاده در تصمیمات کاربردی و مدیریتی بود. بنابراین داده‌ها به چندین زیرگروه برای ارزیابی ریسک سلامت از نظر فصل خشک یا مرطوب، آبهای سطحی یا زیرزمینی به‌عنوان منبع تقسیم شده‌اند. علاوه بر این، خطرات سلامت برای جنسیت و سنین مختلف نیز برآورد شد.

۲- روش پژوهش

۱-۲- ناحیه مورد مطالعه

آب شرب تبریز از ۳ محل تأمین می‌شود که ۵۵ تا ۶۰ درصد آن از سد زرینه‌رود، ۱۵ تا ۱۷ درصد از سد نهند و بقیه از چاه‌های دامنه سهند و توسط خطوط انتقال به مخازن با احجام متغیر که در سطح شهر ساخته شده‌اند منتقل می‌شود و قبل از توزیع غلظت کلر آب سنجیده شده و پمپاژ می‌شود (Khani, 2020). در این مطالعه پژوهشی-تحلیلی، شبکه آب شرب تبریز طی ۸ ماه زمانی و به‌تبع آن در شرایط مختلف آب و هوایی با ۱۷ نمونه از مناطق با نسبت جمعیتی و نیز نسبت به منابع تأمین آب (سد یا چاه) بررسی شد (شکل ۱).

نقاط نمونه‌برداری برحسب تراکم نسبی جمعیت و منبع تغذیه شبکه آب شرب و همچنین امکان پهنه‌بندی شهر انتخاب شدند.

۲-۲- نمونه‌برداری و روش آنالیز

کلیه مراحل نمونه‌برداری طبق روش ۶۲۳۲ استاندارد متد انجام شد. قبل از نمونه‌برداری، ابتدا ظروف شیشه‌ای به حجم ۱۳۵ میلی‌لیتر را انتخاب و با آب و شوینده^۱ شستشو داده شد. این ظروف در پایان با آب مقطر دوبار تقطیر نیز آبکشی شدند. سپس ۱ ساعت در دستگاه فور در درجه حرارت ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا مواد آلی فرار داخل آنها تبخیر شود. برای نمونه‌برداری، شیر برداشت را بعد از آماده‌سازی ظروف به مدت ۵ دقیقه باز گذاشته تا

¹ Detergent



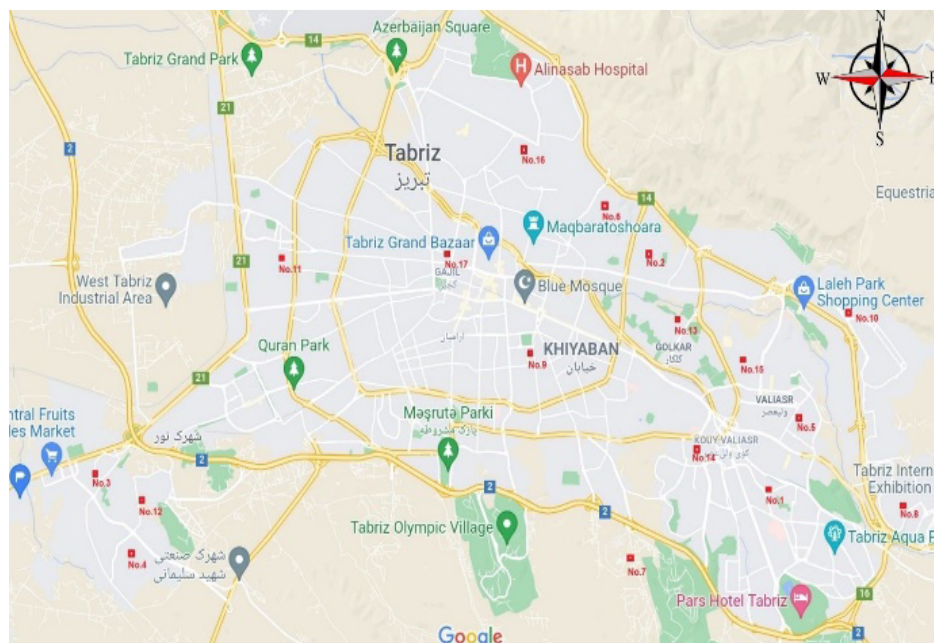


Fig. 1. Geographical location of the sampled points, Sc. 1:50000

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰

جدول ۱- غلظت تری هالومتانها در آب شرب تبریز برحسب میکروگرم در لیتر در ۸ ماه اول سال ۱۴۰۰

Table 1. Concentration of THMs in Tabriz drinking water during 8 months of the year

Sample	City	Address	Date	Total THMs	CHCl ₃	CHBr ₃	CHBrCl ₂	CHClBr ₂
1	Tabriz	Yakhchyan	March 26, 2021	1.5562	0.3	0.3	0.3552	0.601
2		Baghmesheh	March 26, 2021	10.7319	1.623	2.1017	2.6654	4.3418
3		Ravasan	March 26, 2021	7.8117	2.1239	0.4698	2.9345	2.2835
4		Andisheh	April 21, 2021	7.0655	2.014	0.3398	2.2654	2.4463
5		Valiasr	April 26, 2021	4.8464	1.0363	0.3851	2.1695	1.2555
6		Selab	June 1, 2021	10.4806	1.2631	2.1478	2.9241	4.1456
7		Elgholi	June 7, 2021	1.4411	0.3083	0.3	0.3068	0.526
8		Marzadaran	June 29, 2021	1.7024	0.402	0.3	0.3052	0.6952
9		Hafez	July 3, 2021	3.6833	0.3369	0.3279	1.9823	1.0362
10		North Fereshteh	Aug 9, 2021	10.3793	1.2471	2.0142	3.1334	3.9846
11		Shanb Ghazan	Aug 21, 2021	7.4218	2.1096	0.3021	2.9843	2.0258
12		Andisheh	Aug 29, 2021	6.9048	2.1741	0.3021	2.107	2.3216
13		Gholkar	Sep 16, 2021	3.8306	0.8975	0.3001	1.6478	0.9852
14		Elahi parast	Oct 3, 2021	1.494	0.3051	0.3	0.3077	0.5812
15		Aref	Oct 11, 2021	3.7929	0.8861	0.321	1.5422	1.0436
16		Yosef abad	Oct 25, 2021	9.8543	1.0866	2.1208	2.3624	4.2845
17		Bazar	Nov 1, 2021	4.438	0.9863	0.4875	1.6987	1.2655



جدول ۲- رهنمود سازمان‌های ملی و بین‌المللی برای حد مجاز ترکیبات تری هالومتان در منابع آب آشامیدنی $\mu\text{g. L}^{-1}$
Table 2. Guidelines of national and international organizations for the permissible limit of THMs in drinking water resources $\mu\text{g. L}^{-1}$

THMs	CHBrCl ₂	CHClBr ₂	CHBr ₃	CHCl ₃	Standard
$\int_{i=1}^4 \frac{THMs}{ISIRI} \leq 1$	60	100	100	300	ISIRI, 1053, 5 th
$\int_{i=1}^4 \frac{THMs}{WHO} \leq 1$	60	100	100	300	WHO, 2006

بر مبنای فشار لوله و هزینه‌های پمپاژ انجام شده است. به این صورت که بیشتر آب شرب منطقه (الف) که بیشترین غلظت تری هالومتان‌ها را دارد از تصفیه آبهای سطحی تأمین می‌شود و مواد آلی آبهای سطحی و در واقع پیش‌سازهای محصولات جانبی گندزدایی محتمل‌تر و زیادتر است. در نقطه مقابل و به عبارتی در منطقه (د) که کمترین ترکیبات و آلاینده‌های جانبی گندزدایی در آن مشاهده شده است، با توجه به موقعیت مکانی و توپوگرافی منطقه، آب شرب شبکه توزیع از منابع زیرزمینی تأمین شده که کمترین پیش‌سازهای محصولات جانبی گندزدایی را دارند. بیشتر آب شرب منطقه (ب) نیز از تصفیه آبهای سطحی تأمین می‌شود و آب آشامیدنی منطقه (ج) به صورت مجموعی از آبهای سطحی تصفیه شده و چاه‌های زیرزمینی تأمین می‌شود.

شکل ۳ میانگین غلظت تری هالومتان‌ها (کلروفرم، برموفرم، کلرودی برمومتان و برمودی کلرومتان) در مناطق چهارگانه تعریفی را نشان می‌دهد که دی بروموکلرومتان بیشترین میانگین غلظت ۴/۳۴۱۸ ppb و کلروفرم کمترین میانگین غلظت ۱/۰۸۶۶ در منطقه (الف) را دارد و همچنین در منطقه (د) دی بروموکلرومتان با ۰/۶ ppb و برموفرم با ۰/۳ ppb به ترتیب میانگین بیشترین و کمترین غلظت را داشتند.

۳-۳- ارزیابی ریسک سلامت انسان^۱

در حالی که تعاریف زیادی از کلمه ریسک وجود دارد، EPA ریسک را احتمال اثرات مضر برای سلامت انسان یا سیستم‌های اکولوژیکی ناشی از قرارگرفتن در معرض یک عامل استرس‌زای محیطی می‌داند. یک عامل استرس‌زا، هر موجود فیزیکی، شیمیایی

بین‌المللی و ملی در جدول ۲، روش محاسبه معادله ۱ می‌تواند اتخاذ شود

$$\frac{C_{\text{bromoform}}}{GV_{\text{bromoform}}} + \frac{C_{\text{DBCM}}}{GV_{\text{DBCM}}} + \frac{C_{\text{BDCM}}}{GV_{\text{BDCM}}} + \frac{C_{\text{chloroform}}}{GV_{\text{chloroform}}} \leq 1 \quad (1)$$

که در آن

C غلظت و GV حد مجاز رهنمود شده است

$$\frac{2.1741}{300} + \frac{2.1478}{100} + \frac{4.3818}{100} + \frac{3.1334}{60} = 0.124 \leq 1 \quad (2)$$

۲-۳- تحلیل و بررسی

نمونه‌برداری از نقاط با تراکم نسبی جمعیت و همچنین نسبت به منابع تأمین شده (سطحی یا زیرزمینی) و امکان تفکیک و پهنه‌بندی انجام شد. لازم به ذکر است که آب شرب جریان‌یافته در شبکه توزیع از تصفیه آب دو رودخانه نهند و زرینه‌رود و چاه‌های متعدد اطراف شهر تبریز تأمین می‌شود و همگی به مخازن بزرگ و کوچک تعبیه شده در کالبد شهرسازی، پمپاژ می‌شوند. پس از کنترل در صورت نیاز، گندزدایی ثانویه انجام می‌شود و به شبکه توزیع وارد می‌شوند. در بررسی نتایج نمونه‌ها این مورد بازتاب می‌شود که غلظت تری هالومتان‌ها شبکه آب شرب تبریز در چهار ناحیه متفاوت است و ارتباط مستقیم با منبع تأمین شده (سطحی یا زیرزمینی) دارد که در جدول ۳ آمده است.

شکل ۲ پراکنش غلظت تری هالومتان‌ها در مناطق چهارگانه تعریف شده را نشان می‌دهد که شبکه شهری نسبت به تغذیه خطوط انتقال از مبادی تصفیه‌خانه‌ها و چاه‌های زیرزمینی توسعه یافته است. این توسعه یافتگی و طراحی شبکه بر اساس توپوگرافی شهر تبریز و

¹ Human Health Risk Assessment



جدول ۳- پراکنش غلظت‌های تری هالومتان‌ها در چهار منطقه تعریفی

Table 3. Distribution of THMs concentrations in four defining regions

Zone	Sample	City	Address	Date	Total THMs	CHCl ₃	CHBr ₃	CHBrCl ₂	CHClBr ₂
A	2	Tabriz	Baghmesheh	March 26, 2021	10.7319	1.623	2.1017	2.6654	4.3418
	6		Selab	June 1, 2021	10.4806	1.2631	2.1478	2.9241	4.1456
	10		North Fereshteh	Aug 9, 2021	10.3793	1.2471	2.0142	3.1334	3.9846
	16		Yosef Abad	Oct 25, 2021	9.8543	1.0866	2.1208	2.3624	4.2845
B	3	Tabriz	Ravasan	March 26, 2021	7.8117	2.1239	0.4698	2.9345	2.2835
	11		Shanb Ghazan	Aug 21, 2021	7.4218	2.1096	0.3021	2.9843	2.0258
	4		Andisheh	April 21, 2021	7.0655	2.014	0.3398	2.2654	2.4463
	12		Andisheh	Aug 29, 2021	6.9048	2.1741	0.3021	2.107	2.3216
C	5	Tabriz	Valiasr	April 26, 2021	4.8464	1.0363	0.3851	2.1695	1.2555
	17		Bazar	Nov 1, 2021	4.438	0.9863	0.4875	1.6987	1.2655
	13		Gholkar	Sep 16, 2021	3.8306	0.8975	0.3001	1.6478	0.9852
	15		Aref	Oct 11, 2021	3.7929	0.8861	0.321	1.5422	1.0436
D	9	Tabriz	Hafez	July 3, 2021	3.6833	0.3369	0.3279	1.9823	1.0362
	8		Marzadaran	June 29, 2021	1.7024	0.402	0.3	0.3052	0.6952
	1		Yakhchyan	March 26, 2021	1.5562	0.3	0.3	0.3552	0.601
	14		Elahi Parast	Oct 3, 2021	1.494	0.3051	0.3	0.3077	0.5812
	7		Elgholi	June 7, 2021	1.4411	0.3083	0.3	0.3068	0.526

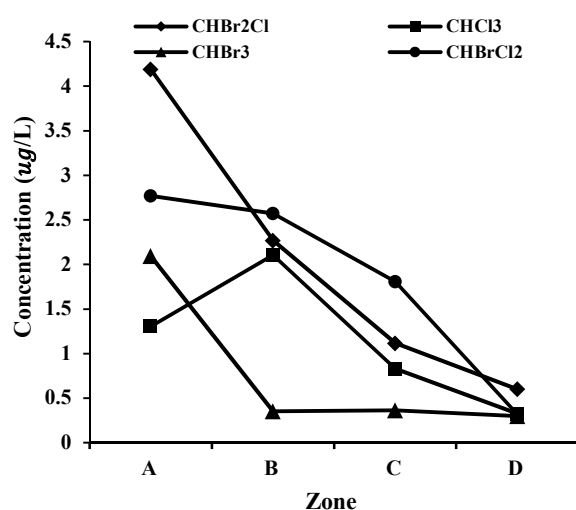


Fig. 3. Average concentration of THMs in quartile regions

شکل ۳- میانگین غلظت تری هالومتان‌ها در مناطق چهارگانه

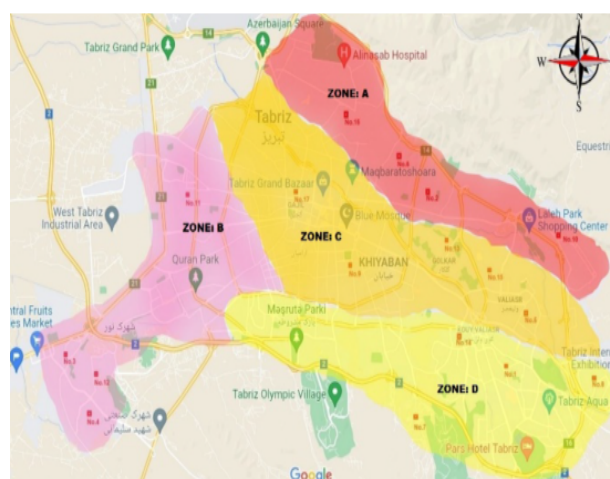


Fig. 2. Distribution of THMs concentrations in quartile regions, Sc. 1:50000

شکل ۲- پراکنش غلظت تری هالومتان‌ها در مناطق چهارگانه با مقیاس

۱:۵۰۰۰۰



و یا در طول مدت تماس بر مبنای واحد کیلوگرم وزن بدن در روز [mg/Kg.Day] اندازه‌گیری می‌شود. برای انجام ارزیابی ریسک فرضیاتی مانند میانگین طول عمر، مدت تماس، تکرار تماس، میانگین وزن افراد و ملاحظات EPA میانگین سطح بدن لازم است. فرضیات استفاده شده در این پژوهش با توجه به راهنمایی‌های در نظر گرفته شده مطابق جدول ۵ است.

۳-۳-۱- ارزیابی ریسک سرطانی^۲

فاکتورهای شیب سرطان^۳ و واحد ریسک تنفس^۴ برای هر یک از راه‌های تماس و هر یک از آلاینده‌ها طبق جدول ۶ آمده است. در ادامه با توجه به معادله ۳ میزان افزایش ریسک سرطان با غلظت تری هالومتان‌ها و متغیرهای برگرفته از RAIS^۵ و اثر در مواجهه تماس (بلع، تنفس و پوست) قرار گرفتن با ترکیبات تری هالومتان محاسبه شد

(۳)

$$\text{Cancer Risk} = (\text{CDI}_{\text{ingest}} \times \text{CSF}_{\text{oral}}) + (\text{CDI}_{\text{inhal}} \times \text{URF}_{\text{inhal}}) + (\text{CDI}_{\text{dermal}} \times \text{CSF}_{\text{oral}})$$

با توجه به معادله ۳ و متغیرهای بیان شده، میزان افزایش ریسک سرطانی در جدول ۷ آمده است.

۳-۳-۲- ارزیابی ریسک غیر سرطانی^۶

حد آستانه بلع^۷ و حد آستانه غلظت^۸ برای هر یک از راه‌های تماس و هر یک از آلاینده‌ها طبق جدول ۸ آمده است. علاوه بر ریسک سرطان، اندیس خطر و نسبت مخاطرات (بلع، تنفس و پوست) در معرض قرار گرفتن با ترکیبات تری هالومتان به روش زیر از معادله ۴ محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود

(۴)

$$\text{HI}_{\text{Total}} = (\text{CDI}_{\text{ingest}} \times \text{RfD}_{\text{oral}}) + (\text{CDI}_{\text{inhal}} \times \text{RfC}_{\text{inhal}}) + (\text{CDI}_{\text{dermal}} \times \text{RfD}_{\text{oral}})$$

² Cancer Risk Assessment

³ Cancer Slope Factor (CSF)

⁴ Inhalation Unit Risk (IUR)

⁵ Risk Assessment Information System (RAIS)

⁶ Non- Cancer Risk Assessment

⁷ Reference Dose (RfD)

⁸ Reference Concentration (RfC)

یا بیولوژیکی است که می‌تواند اثرات نامطلوبی را در انسان یا اکوسیستم ایجاد کند. ارزیابی ریسک سلامت انسان فرایندی است برای تخمین ماهیت و احتمال اثرات نامطلوب بر سلامت در انسان‌هایی که ممکن است در حال حاضر یا در آینده در معرض مواد شیمیایی در محیط‌های آلوده قرار گیرند (EPA, 1999). ارزیابی ریسک سلامت انسان دربرگیرنده چهار مرحله است:

مرحله اول: شناسایی خطر

مرحله دوم: ارزیابی مقدار تماس

مرحله سوم: مقدار تماس _ واکنش

مرحله چهارم: ارزیابی ریسک

تری هالومتان‌ها به‌عنوان مواد مضر سلامت انسان در پژوهش‌های بسیاری شناسایی شدند و قرار گرفتن در معرض آنها که حاد و مزمن برای سلامت انسان مخاطره‌انگیز است و EPA این مواد را در کلاس‌های مختلف سرطان‌زایی طبق جدول ۴ طبقه‌بندی کرده است.

جدول ۴- رهنمود USEPA برای طبقه‌بندی سرطان‌زایی تری هالومتان‌ها

Table 4. USEPA guidelines for carcinogenic classification of THMs

CHCl ₃	B2	Probable human carcinogen
CHBr ₃	B2	Probable human carcinogen
CHClBr ₂	C	Possible human carcinogen
CHBrCl ₂	B2	Probable human carcinogen

شناسایی خطر: نتایج نمونه‌های گرفته شده از آب شرب تبریز با غلظت‌های متفاوت در سطح شهر شناسایی شد. میانگین غلظت‌های منطقه (الف) برای ارزیابی انتخاب شدند. غلظت‌های میانگین منطقه (الف) بیشتر از مناطق دیگر هستند و احتمال خطر بیشتری را برای مصرف‌کننده‌ها دارد. کلروفرم ۰/۳۰۴۹ ppb و بروموفرم ۲/۷۷۱۳ ppb و دی بروموکلرومتان ۴/۱۸۹۱ ppb بود.

میانگین مقدار دریافت روزانه^۱ از تری هالومتان‌ها در طول عمر

¹ Chronic Daily Intake (CDI)



جدول ۵- متغیرهای ورودی بر اساس اطلاعات ارزیابی ریسک RAIS

Table 5. Input variables based on RAIS

EF _r	day/years	Exposure frequency	350	
ED _r	years	Exposure duration-resident	26	
ED ₀₋₆	years	Exposure duration (first phase)	6	
ED ₆₋₂₆	years	Exposure duration (second phase)	20	
LT	years	Life time- resident	70	
ET _r	hours/day	Exposure time	24	
EV _c	events/day	Event child	1	
BW _a	kg	Bode weight-adult	80	
BW _c	kg	Bode weight-child	15	
ED _c	years	Exposure duration-child	6	
IRW _a	L/day	Water intake rate-adult	2.5	
IRW _c	L/day	Water intake rate-child	0.78	
K	L/m ³	Volatilization factor of andelman	0.5	
SA _a	cm ²	Skin surface area-adult	19652	
SA _c	cm ²	Skin surface area-child	6365	
ET _c	hours/event	Exposure time-child	0.54	
IFW _{adj}	L-yr/kg-day	Adjusted intake factor	0.937	
DFW _{adj}	cm ² -yr-hr/kg-day	Adjusted dermal factor	4863.07	
ET _a	hours/event	Exposure time-adult	0.71	
EV _a	events/day	Event adult	1	
K _p	cm/hr	Skin permeability coefficient	CHCl ₃	6.83E-03
			CHBr ₃	2.35E-03
			CHBrCl ₂	4.02E-03
			CHClBr ₂	2.89E-03

جدول ۶- فاکتور شیب سرطان و واحد ریسک تنفس بر اساس اطلاعات ارزیابی ریسک RAIS

Table 6. Cancer slope factor and inhalation unit risk based on RAIS

Compound	CSF (mg/kg.D) ⁻¹	IUR (ug/m ³) ⁻¹
CHCl ₃	3.10E-02	2.30E-05
CHBr ₃	7.90E-03	1.10E-06
CHBrCl ₂	6.20E-02	3.70E-05
CHClBr ₂	8.40E-02	2.70E-05



جدول ۷- ارزیابی ریسک سرطانی
Table 7. Cancer risk assessment

Compound	CHCl ₃	CHBr ₃	CHBrCl ₂	CHBr ₂ Cl	
Average concentration (ug/L)	1.30E+00	2.10E+00	2.77E+00	4.19E+00	
Ingestion carcinogenic CDI (mg/kg-day)	1.67E-05	2.69E-05	3.56E-05	5.38E-05	
Inhalation volatiles carcinogenic CDI (ug/m ³)	2.32E-01	3.73E-01	4.94E-01	7.46E-01	Total
Dermal carcinogenic CDI (mg/kg-day)	5.94E-07	3.28E-07	7.42E-07	8.07E-07	
CSF (mg/kg.day) ⁻¹	3.10E-02	7.90E-03	6.20E-02	8.40E-02	
IUR (ug/m ³) ⁻¹	2.30E-05	1.10E-06	3.70E-05	2.70E-05	
Ingestion risk	5.19E-07	2.13E-07	2.21E-06	4.52E-06	7.45E-06
Inhalation volatiles risk	5.34E-06	4.11E-07	1.83E-05	2.01E-05	4.42E-05
Dermal risk	1.84E-08	2.59E-09	4.60E-08	6.77E-08	1.35E-07
Total risk	5.43E-07	2.16E-07	2.27E-06	4.60E-06	7.63E-06
Total risk %	7.11%	2.82%	29.74%	60.33%	100.00%

جدول ۸- حد آستانه بلع و حد آستانه غلظت بر اساس اطلاعات

ارزیابی ریسک RAIS

Table 8. Reference dose and reference concentration based on RAIS

Compound	RfD (mg/kg, D)	RfC (ug/m ³)
CHCl ₃	1.00E-02	9.77E-02
CHBr ₃	2.00E-02	-
CHBrCl ₂	8.00E-03	-
CHClBr ₂	2.00E-02	-

جدول ۹- ارزیابی ریسک غیرسرطانی

Table 9. Non-Cancer risk assessment

Compound	CHCl ₃	CHBr ₃	CHBrCl ₂	CHBr ₂ Cl	
Average concentration (ug/L)	1.30E+00	2.10E+00	2.77E+00	4.19E+00	
Ingestion noncarcinogenic CDI (mg/kg-day)	4.51E-05	7.24E-05	9.58E-05	1.45E-04	
Inhalation volatiles Noncarcinogenic CDI (mg/m ³)	6.26E-04	1.00E-03	1.33E-03	2.01E-03	Total
Dermal noncarcinogenic CDI (mg/kg-day)	1.60E-06	8.83E-07	2.00E-06	2.17E-06	
RfD (mg/kg-day)	1.00E-02	2.00E-02	8.00E-03	2.00E-02	
RfC (mg/m ³)	9.77E-02	-	-	-	
Ingestion HQ	4.51E-03	3.62E-03	1.20E-02	7.24E-03	2.73E-02
Inhalation volatiles HQ	6.40E-03	-	-	-	6.40E-03
Dermal HQ	1.60E-04	4.42E-05	2.50E-04	1.09E-04	5.62E-04
Total HI	1.11E-02	3.67E-03	1.22E-02	7.35E-03	3.43E-02
Total HI %	32.28%	10.69%	35.62%	21.41%	100.00%



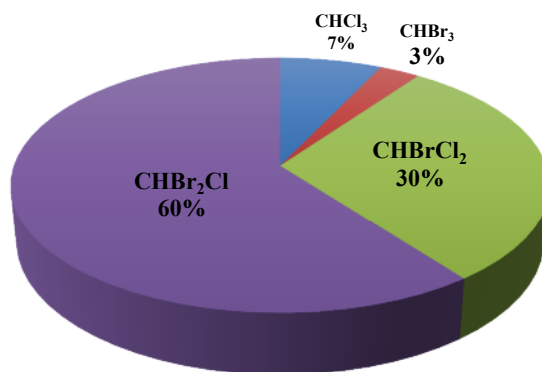


Fig. 4. The share of each THMs in cancer risk
شکل ۴- سهم هر یک از تری هالومتان‌ها در ریسک سرطان

انجام شد. داده‌ها به چندین زیرگروه برای محاسبه خطر سلامت از نظر فصل خشک یا مرطوب، مناطق مختلف شهری، آبهای سطحی یا زیرزمینی به‌عنوان منبع تقسیم شدند. علاوه بر این، خطرات سلامتی جمعیت‌های جنسیت و سنین مختلف نیز برآورد شد.

در تقسیم‌بندی زمانی، خطرات سلامتی ناشی از قرار گرفتن در معرض DBPs در آب آشامیدنی در فصل مرطوب ۷/۳ درصد بیش از فصل خشک بود. خطرات قرار گرفتن در معرض DBPs در هر دو فصل مرطوب و خشک به ترتیب $7.83E-06$ و $7.30E-06$ بود و HI قرار گرفتن در معرض DBPs در هر دو فصل کمتر از ۱ بود. علاوه بر این، خطرات سلامت قرار گرفتن در معرض DBPs در آب آشامیدنی از منبع آب سطحی و منبع آب زیرزمینی متفاوت بود. افرادی که منبع آب آشامیدنی از آبهای سطحی بود بیشتر در معرض خطرات سلامت بودند.

در تقسیم‌بندی منطقه‌ای تری هالومتان با غلظت زیاد در محاسبات لحاظ شد و میزان کل ریسک سرطان برای افرادی که همه طول عمرشان در این منطقه سکونت کنند عدد $7.63E-06$ شد که عدد قابل توجهی در مقابل عوامل سرطان‌زای دیگر محسوب نمی‌شود. همچنین شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HI) در منطقه‌ای با غلظت نسبی بیش از تری هالومتان که از سه طریق بلع، تنفس و پوست جذب بدن می‌شود. عدد $3.43E-02$ شد که کمتر از ۱ است ($HI=3.43E-02 < 1$) نشان می‌دهد در شرایط کنونی خطر سلامت وجود ندارد.

در تقسیم‌بندی‌های سنی و جنسیتی، ارزیابی خطر سلامت قرار گرفتن مردان در مقایسه با زنان در معرض DBPs به‌عنوان گروه

با توجه به معادله ۴ و متغیرهای بیان شده میزان افزایش غیرسرطانی در جدول ۹ محاسبه شد. شکل ۴ سهم هر یک از آلاینده‌ها در منطقه (الف) تبریز را نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

۴-۱- غلظت

نتایج به‌دست آمده نشان داد که کمترین میانگین تری هالومتان‌ها $1/44$ میکروگرم در لیتر و بیشترین میانگین آنها $10/73$ میکروگرم در لیتر در طول ۸ ماه بود. بیشترین غلظت مربوط به مناطقی است که سهم بیشتری از آبهای سطحی تصفیه شده در شبکه توزیع را دارند. بیشینه غلظت تری هالومتان‌ها به ترتیب مربوط به کلرو دی برومومتان، برومو دی کلرومتان، کلروفرم و بروموفرم با مقدار $1/99$ ، $1/86$ ، $1/12$ و $0/75$ میانگین کل شهر تبریز بود. ولی بیشترین میانگین غلظت نسبی در شبکه شهری، مربوط به منطقه‌ای است که درصد بیشتری از آبهای سطحی تأمین شده است که عبارت‌اند از: کلروفرم $1/3049$ ppb، بروموفرم $2/0961$ ppb، دی کلرو برومومتان $2/7713$ ppb و دی برومو کلرومتان $4/1891$ ppb که با این وجود بسیار کمتر از رهنمودهای بیان شده توسط استاندارد ملی ایران و USEPA و WHO بود.

۴-۲- ارزیابی ریسک سلامت انسان

در این پژوهش، ارزیابی ریسک سلامت انسان در مواجهه با DBPs در آب آشامیدنی با تجزیه و تحلیل توصیفی و سلسله مراتبی



از آب آشامیدنی از منابع زیرزمینی، اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین در آب شرب تیریز ضروری به نظر می‌رسد و ارزیابی اثرات تجمعی خطر این دو گروه آلاینده آب آشامیدنی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند.

۵- قدردانی

نویسندگان، از حمایت‌های فنی و آزمایشگاهی مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی، کمال قدردانی را دارند.

بزرگ‌سال بود. اما بین زیرگروه سنین مختلف تفاوت‌هایی وجود داشت. خطر ابتلا به سرطان در بزرگ‌سالان $7.63E-06$ بود، در حالی که خطر ابتلا به سرطان در کودکان ۵۲ درصد بیشتر بود. کودکان نسبت به بزرگ‌سالان خطر بیشتری برای قرار گرفتن در معرض DBPs در آب آشامیدنی را تجربه کردند. علاوه بر این، هر چه کودک کوچکتر باشد، خطرات بیشتری را تجربه خواهد کرد. در کل، وجود تری هالومتان‌ها و اثرات هم‌افزایی و تأثیر در چرخه زیستی انسان بسیار خطرناک است و در پژوهش‌های مختلف، پیوسته ارزیابی می‌شود، بنابراین بررسی و ارائه راهکارها برای بهبود آب شرب ضرورت دارد. همچنین به دلیل تأمین درصدی

References

- Abd El-Shafy, M. & Grünwald, A. 2000. THM formation in water supply in South Bohemia, Czech Republic. *Water Research*, 34, 3453-3459.
- Alidadi, H., Sadeghi, A. & Asadi, B. 2015. Survey of trihalomethane concentration (THMs) with chloroform index in Mashhad drinking water city in 2012. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, 7(2), 329-337. (In Persian)
- Babaei, A. A., Atari, L., Ahmadi, M., Alavi, N. & Ahmadi, A. K. 2013. Determination of trihalomethanes concentration in Ahvaz water distribution network in 2011. *Jentashapir*, 3(4), 469-478. (In Persian)
- Bichsel, Y. & Von Gunten, U. 2000. Formation of iodo-trihalomethanes during disinfection and oxidation of iodide-containing waters. *Environmental Science and Technology*, 34, 2784-2791.
- Bina, B., Mohammadi, A., Ebrahimi, A., Amin, M. M., Pourzamani, H. & Nemati, M. S. 2012. Survey of chloroform concentration in the water distribution system of Isfahan, Iran, and zoning by GIS. *Journal of Health System Research*, 8(2), 204-213. (In Persian)
- Bruchet, A. & Duguet, J. 2004. Role of oxidants and disinfectants on the removal, masking and generation of tastes and odours. *Water Science and Technology*, 49, 297-306.
- Cedergren, M. I., Selbing, A. J., Löfman, O. & Källén, B. A. 2002. Chlorination byproducts and nitrate in drinking water and risk for congenital cardiac defects. *Environmental Research*, 89, 124-130.
- Dargahi, A., Pirsaeheb, M., Poureshgh, Y. & Dargahi, A. 2013. Removal of natural organic matter (NOMs) from water using air stripping system. *Journal of Health and Hygiene*, 4(1), 77-83. (In Persian)
- Degremont, S., Company, D. & Degremont, S. 1979. *Water Treatment Handbook*, Wiley Pub., New York, USA.
- Dodds, L. & King, W. 2001. Relation between trihalomethane compounds and birth defects. *Occupational and Environmental Medicine*, 58, 443-446.
- Dodds, L., King, W., Woolcott, C. & Pole, J. 1999. Trihalomethanes in public water supplies and adverse birth outcomes. *Epidemiology*, 10(3), 233-237.
- Eaton, A. D. & Franson, M. 2005. Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. Washington (DC), USA.



- Gallagher, M. D., Nuckols, J. R., Stallones, L. & Savitz, D. A. 1998. Exposure to trihalomethanes and adverse pregnancy outcomes. *Epidemiology*, 9, 484-489.
- Gordon, S. M., Wallace, L. A., Callahan, P. J., Kenny, D. V. & Brinkman, M. C. 1998. Effect of water temperature on dermal exposure to chloroform. *Environmental Health Perspectives*, 106, 337-345.
- Graves, C. G., Matanoski, G. M. & Tardiff, R. G. 2001. Weight of evidence for an association between adverse reproductive and developmental effects and exposure to disinfection by-products: a critical review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 34, 103-124.
- Hinckley, A. F., Bachand, A. M. & Reif, J. S. 2005. Late pregnancy exposures to disinfection by-products and growth-related birth outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 113, 1808-1813.
- Hoff, J. C. & Geldreich, E. E. 1981. Comparison of the biocidal efficiency of alternative disinfectants. *Journal American Water Works Association*, 73, 40-44.
- ISIRI, 5th Revision 1997. *Drinking Water-Physical and Chemical Specifications*. Industrial Research and Standard Institute of Iran. Tehran, Iran. (In Persian)
- Jafari, M., Taghavi, K. & Hasani, A. 2009. Survey the THMs value in drinking water in Lahijan and suggestions in order to product control after disinfection. *Journal of Guilan University of Medical Sciences*, 17(68), 1-6. (In Persian)
- Jung, C. W. & Son, H. J. 2008. The relationship between disinfection by-products formation and characteristics of natural organic matter in raw water. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25, 714-720.
- Khani, M. 2020. Deputy Director of Water Development and Operation. In: City, D. W. O. T. ed. *East Azerbaijan Water and Wastewater Organization: Islamic Republic News Agency*. (In Persian)
- Kanitz, S., Franco, Y., Patrone, V., Caltabellotta, M., Raffo, E., Riggi, C., et al. 1996. Association between drinking water disinfection and somatic parameters at birth. *Environmental Health Perspectives*, 104, 516-520.
- Kawamura, S. 2000. *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Khordedan, R., Azimi, A., Baghdadi, M. & Zahedi, A. 2014. Determination of Trihalomethanes (THMs) in drinking water of eastern part of Bandar Abbas City and feasibility of removing with ultrasonic irradiation. *Journal of Water and Wastewater*, 25(2), 108-113. (In Persian)
- Kim, I., Hong, S., Hwang, I., Kwon, D., Kwon, J. & Huang, C. 2007. TOC and THMFP reduction by ultrasonic irradiation in wastewater effluent. *Desalination*, 202, 9-15.
- King, W. D. & Marrett, L. D. 1996. Case-control study of bladder cancer and chlorination by-products in treated water (Ontario, Canada). *Cancer Causes and Control*, 7, 596-604.
- Koivusalo, M., Pukkala, E., Vartiainen, T., Jaakkola, J. J. & Hakulinen, T. 1997. Drinking water chlorination and cancer—a historical cohort study in Finland. *Cancer Causes and Control*, 8, 192-200.
- Mcgeehin, M. A., Reif, J. S., Becher, J. C. & Mangione, E. J. 1993. Case-control study of bladder cancer and water disinfection methods in Colorado. *American Journal of Epidemiology*, 138, 492-501.
- Mohammadian Fazli, M., Mehrasbi, M. R., Azari, Z. & Nasiri, J. 2015. Evaluation of trihalomethanes (THMs) concentration in drinking water of Zanjan in 2013. *Journal of Jiroft University of Medical Sciences*, 2, 85-93. (In Persian)



- Morris, R. D., Audet, A. M., Angelillo, I. F., Chalmers, T. C. & Mosteller, F. 1992. Chlorination, chlorination by-products, and cancer: a meta-analysis. *American Journal of Public Health*, 82, 955-963.
- Nieuwenhuijsen, M. J., Toledano, M. B. & Elliott, P. 2000. Uptake of chlorination disinfection by-products; a review and a discussion of its implications for exposure assessment in epidemiological studies. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 10, 586-599.
- Noshadi, M., Taleb Bidokhti, N. & Nejati, E. 2012. Survey of the trihalomethanes in drinking water distribution networks of Shiraz. *Journal of Water Resources Engineering*, 5, 29-39. (In Persian)
- Paim, A., Souza, J., Adorno, M. & Moraes, E. 2007. Monitoring the trihalomethanes present in water after treatment with chlorine under laboratory condition. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125, 265-270.
- Pardakhti, A. R. & Torabian, A. 2010. Evaluation of THMs in Tehran's drinking water and comparison with drinking water outside the city water district. *Journal of Environmental Studies*, 36(53), 39-44. (In Persian)
- Reif, J. S., Hatch, M. C., Bracken, M., Holmes, L. B., Schwetz, B. A. & Singer, P. C. 1996. Reproductive and developmental effects of disinfection by-products in drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 104, 1056-1061.
- Rook, J. 1974. Determination of chloroform in drinking water by head space analysis. *Water Treatment and Examination*, 23, 234.
- Savitz, D. A., Andrews, K. W. & Pastore, L. M. 1995. Drinking water and pregnancy outcome in central North Carolina: source, amount, and trihalomethane levels. *Environmental Health Perspectives*, 103, 592-596.
- Shemer, H. & Narkis, N. 2005. Sonochemical removal of trihalomethanes from aqueous solutions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 12, 495-499.
- USEPA, 1999. *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*, US Environmental Protection Agency Pub., Office of Water. Washington DC., USA.
- Waller, K., Swan, S. H., Delorenze, G. & Hopkins, B. 1998. Trihalomethanes in drinking water and spontaneous abortion. *Epidemiology*, 9(2), 134-140.
- WHO, 2006. *Guidelines for Drinking-Water Quality [electronic resource]: Incorporating First Addendum. Recommendations*. World Health Organization Geneva, Switzerland.
- Wright, J., Schwartz, J. & Dockery, D. 2003. Effect of trihalomethane exposure on fetal development. *Occupational and Environmental Medicine*, 60, 173-180.
- Xu, X. & Weisel, C. P. 2005. Dermal uptake of chloroform and haloketones during bathing. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 15, 289-296.
- Yazdanbakhsh, A., Leili, M., Rezazadeh Azari, M., Masoudinejad, M. & Majlesi, M. 2014. Chloroform concentration in drinking water of Tehran, 2009. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 24, 102-113. (In Persian)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

