

Risk Assessment of Exposure to Arsenic and Some Heavy Metals through Drinking Water Consumption in Azadshahr (A Case Study)

Amirarsellon Pardakhti

PhD Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Saideh Usefi

* PhD Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

(Corresponding

saidehusefi69@gmail.com

Author)**Mohammad Samiee**

MSc, Department of Environmental Health, Health Deputy of Golestan University of Medical Sciences, Golestan, Iran.

Abstract

Background and Objective: Heavy metals enter water supply sources through various processes and, by entering the food chain and accumulating in tissues, can cause adverse health effects on humans. Therefore, this study aimed to determine the concentration of heavy metals in drinking water sources in Azadshahr city and assess the carcinogenic and non-carcinogenic health risks of the studied metals in this region.

Material and Methods: This descriptive-cross-sectional study used instantaneous sampling from 10 water sources. The concentrations of heavy metals (arsenic, lead, cadmium, chromium, zinc, nickel, and copper) were measured using standard methods by atomic absorption spectrometry (ICP-MS). The human health risk assessment followed U.S. EPA-approved procedures. Environmental Protection Agency (EPA).

Results: The results showed that the average concentrations of heavy metals (nickel, zinc, copper, lead, chromium, cadmium, and arsenic) were 0.576, 0.487, 0.811, 0.118, 23.29, 0.014, and 3.466 µg/L, respectively. Based on this, the highest and lowest average concentrations of heavy metals were related to chromium and cadmium, respectively. The results of the carcinogenic health risk assessment for all metals in adults and children were within the high-risk range. The hazard index (HI) for non-carcinogenic effects in adults was within the low-risk range for all sources, while for children, seven sources were in the low-risk range, and three sources were in the moderate non-carcinogenic risk range.

Conclusion: In this study, the levels of arsenic and chromium metals were below the standard limit, but due to their high carcinogenic potential, the health risk assessment indicated a carcinogenic risk for both arsenic and chromium in both adult and children age groups. Therefore, we recommend regulatory units prioritize continuous heavy metal monitoring.

Keywords: Drinking Water Sources, Heavy Metals, Health Risk Assessment, Azadshahr

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

► **Citation:** Pardakhti A.A, Usefi S, Samiee M. Risk Assessment of Exposure to Arsenic and Some Heavy Metals through Drinking Water Consumption in Azadshahr (A Case Study). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. 11(1):20-34.

Received: 2024/11/21

Accepted: 2025/03/16

Doi:10.22038/jreh.2025.25882

ارزیابی ریسک ناشی از مواجهه با آرسنیک و برخی از فلزات سنگین از طریق مصرف آب آشامیدنی در شهر آزادشهر (مطالعه‌ی موردی)

امیرارسلان پرداختی

دانشجوی دکترا، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

سعیده یوسفی

*دانشجوی دکترا، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
(نویسنده مسئول)

saidehusefi69@gmail.com

محمد سمیعی

کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی گرگان، گلستان، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین از طریق فرآیندهای مختلف به منابع تأمین‌کننده‌ی آب راه می‌یابند و با ورود در زنجیره‌ی غذایی و تجمع در نسوج سبب ایجاد اثرات سوء بر سلامت انسان می‌گردند. لذا این مطالعه با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی شهرستان آزادشهر و همچنین ارزیابی ریسک بهداشتی سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه در این منطقه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه (توصیفی - مقطعی) مجموعاً از ۱۰ منبع آب به‌روش لحظه‌ای نمونه‌برداری انجام شد. غلظت فلزات سنگین (آرسنیک، سرب، کادمیوم، کروم، روی، نیکل و مس) بر اساس روش‌های استاندارد توسط دستگاه جذب اتمی (ICP-MS) اندازه‌گیری شد. ارزیابی ریسک سلامت انسان، با استفاده از روش‌های مورد تأیید آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) مورد سنجش قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین (نیکل، روی، مس، سرب، کروم، کادمیوم و آرسنیک) به‌ترتیب ۰/۵۷۶، ۰/۴۸۷، ۰/۸۱۱، ۰/۱۱۸، ۰/۲۳/۲۹، ۰/۱۴، ۳/۴۶۶ میکروگرم در لیتر می‌باشد که بر اساس آن بیشترین و کمترین میانگین غلظت فلزات سنگین به‌ترتیب مربوط به کروم و کادمیوم می‌باشد. نتایج ارزیابی ریسک سلامت سرطان‌زایی کل فلزات در بزرگسالان و کودکان در محدوده‌ی ریسک بالا می‌باشند. شاخص خطر (HI) غیرسرطان‌زایی در بزرگسالان در تمام منابع در محدوده‌ی ریسک کم و در کودکان ۷ منبع دارای ریسک کم و ۳ منبع دیگر در محدوده‌ی ریسک غیرسرطان‌زایی متوسط قرار دارند.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه مقدار فلزات آرسنیک و کروم زیر حد استاندارد بود ولی به‌دلیل پتانسیل بالای سرطان‌زایی آن‌ها، ارزیابی ریسک بهداشتی، خطر سرطان‌زایی در هر دو گروه سنی بزرگسالان و کودکان را برای فلزات آرسنیک و کروم نشان می‌دهد. بنابراین پایش فلزات سنگین به‌طور مستمر باید در دستور کار واحدهای نظارتی قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: منابع آب آشامیدنی، فلزات سنگین، ارزیابی ریسک بهداشتی، آزادشهر

◀ **استناد:** امیرارسلان پرداختی ا.ا، یوسفی س، سمیعی م. ارزیابی ریسک ناشی از مواجهه با آرسنیک و برخی از فلزات سنگین از طریق مصرف آب آشامیدنی در شهر آزادشهر (مطالعه‌ی موردی). *فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۴۰۴؛ ۱۱(۱): ۳۴-۲۰.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶

نوع مقاله: پژوهشی

امروزه آب در زندگی بشر از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (۱، ۲). دسترسی به آب آشامیدنی سالم، کافی و با کیفیت مناسب به عنوان یکی از شاخص‌های بهداشتی تعیین شده توسط سازمان جهانی بهداشت، پیش‌نیاز ضروری و اساسی برای حفظ محیط زیست، رشد توسعه‌ی اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی کشور و دستیابی به توسعه‌ی پایدار می‌باشد (۳، ۴).

امروزه با پیشرفت زندگی صنعتی و افزایش رشد جمعیت، توسعه‌ی کشاورزی و استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی منجر به تغییرات چشم‌گیری در خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی شده است. این تغییرات در دهه‌های اخیر منجر به آلودگی آب و به عنوان تهدیدی جدی برای سلامتی انسان به شمار می‌رود (۴-۶).

امروزه انتشار فلزات سنگین در محیط زیست یکی از مشکلات زیست محیطی در بسیاری از کشورها است. این فلزات از نظر شدت ایجاد مخاطره در محیط‌زیست و انسان در گروه آلاینده‌های درجه اول سمی قرار دارند (۲، ۷، ۸). از میان آلاینده‌های منابع آبی، فلزات سنگین به دلیل آسیب‌های جدی در سیستم متابولیکی، فیزیولوژیکی و ساختاری بدن از مضرترین آلاینده‌های موجود در منابع آب آشامیدنی به شمار می‌روند. این فلزات باعث اختلالات عصبی و انواع سرطان‌ها شده، به دلیل عدم تجزیه‌پذیری زیستی، قابلیت تجمع و اثرات حاد بر سلامت انسان بسیار نگران‌کننده هستند (۹-۱۱).

فلزات سنگین از طریق راه‌های مختلف مانند زنجیره‌ی غذایی، آب، مصرف مستقیم، تماس پوستی، استنشاق دود و ذرات از طریق دهان و بینی وارد بدن می‌شوند. مصرف خوراکی به عنوان اصلی‌ترین عامل قرارگرفتن در معرض آلودگی‌های شیمیایی در منابع آب آشامیدنی محسوب می‌شود (۹، ۱۱، ۱۲).

امروزه با تحولات اجتماعی و آگاهی‌های عمومی، مقوله‌ی کیفیت آب از یک موضوع تخصصی فراتر رفته و حساسیت‌های اجتماعی نسبت به کیفیت آب، آن را به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارها، برای قضاوت عملکرد متولیان، آن قرار داده است. از این رو برای ارزیابی موثر کیفیت آب مهم است که بتوانیم اثرات بالقوه‌ی انسان‌ها را در آلودگی آب آشامیدنی به اثبات برسانیم. روش سنتی برای ارزیابی اثرات ریسک بهداشتی، مستقیماً مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر حد مجاز مقایسه می‌کند، اما این روش به اندازه‌ی کافی برای شناسایی سطوح

خطر دقیق آلاینده‌ها قابل اطمینان نیست. بنابراین ارزیابی ریسک سلامت یک ابزار مهم برای برآورد و ارزیابی اثرات نامطلوب بالقوه بر سلامتی از طریق قرارگرفتن در معرض آب آلوده می‌باشد (۱۳).

در مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۴ در شهرستان اردستان استان اصفهان در فصل بهار انجام شد، نشان داد که در کلیه‌ی نمونه‌ها غلظت فلزات آرسنیک، سرب بیشتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر و کادمیوم کمتر ۳ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. غلظت این فلزات بیشتر از میزان توصیه‌شده‌ی استاندارد ملی آب ایران و سازمان جهانی بهداشت بوده است. که این موضوع به عوامل متعددی از جمله نوع و میزان سموم مصرفی در کشاورزی، شرایط اقلیمی منطقه، سطح سفره‌های زیرزمینی و زمین‌شناسی در منطقه می‌تواند وابسته باشد (۱۴).

در مطالعه‌ی دیگری که در شهرستان الشتر در استان لرستان در سال ۱۳۸۸ با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین انجام گرفت. فلزات سنگین (آرسنیک، سرب، روی، کروم، کادمیوم و جیوه) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که میانگین غلظت سنجش عناصر مورد نظر در کلیه چاه‌های آب شرب شهرستان الشتر پایین‌تر از حد استاندارد است (۱۵).

با توجه به این که ورود فلزات سنگین از طریق آب آشامیدنی بیشترین تهدید را برای سلامت انسان به وجود می‌آورند و نظر بر این که امروزه ورود این فلزات به منابع آب از طریق فعالیت‌های مختلف صنعتی مانند نشت فاضلاب‌های صنعتی، ذخیره‌سازی و دفع نادرست زباله‌های صنعتی و همچنین فرسودگی شبکه‌ی توزیع و شبکه‌ی خانگی می‌تواند باعث انتشار فلزات فوق در آب آشامیدنی گردد، همچنین با توجه به سابقه‌ی مطالعات گذشته در شهرستان آزادشهر و تحقیقات کمتر که به طور اختصاصی بر روی منابع آب و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از فلزات سنگین متمرکز شده‌اند، این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک مواجهه با فلزات سنگین (گوآرشی، پوستی) در آب آشامیدنی این شهرستان و مقایسه‌ی نتایج با استانداردهای ملی و بین‌المللی انجام شد.

روش کار

این مطالعه‌ی توصیفی - مقطعی با هدف سنجش و تعیین میزان غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه (نیکل، روی، مس، آرسنیک، سرب، کادمیوم و کروم) به منظور ارزیابی و تعیین مواجهه‌ی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی در منابع تامین آب آشامیدنی شهر آزادشهر در استان گلستان و در

خشک و نیمه‌خشک در جنوب و شمال تقسیم می‌شود. بارندگی، منبع اصلی تامین آب‌های زیرزمینی در این منطقه می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه در این شهرستان بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است.

ارزیابی ریسک بهداشتی

در ارزیابی ریسک سلامت، اثرات سوء ناشی از مواجهه‌ی انسان با خطرات زیست محیطی تعیین می‌شود. خطرات سلامت انسان به دو دسته خطر غیرسرطان‌زا و سرطان‌زا تقسیم می‌شود. این طبقه‌بندی براساس پایگاه داده‌ی آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC2010) می‌باشد.

مصرف روزانه مزمن^۱ (CDI) یکی از شاخص‌های کلیدی برای برآورد خطر سلامتی است. شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی ریسک سلامت شامل؛ شاخص خطر^۲ (HQ) برای آلاینده منفرد، شاخص خطر سلامتی^۳ (HI) برای چندین آلاینده و خطر سرطان‌زایی^۴ (CR) برای یک سرطان‌زا می‌باشد که در این مطالعه خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ارزیابی شده است.

به‌منظور تعیین میزان مواجهه و توصیف مواجهه با فلزات سنگین از طریق آب آشامیدنی در شهرستان آزادشهر از روش سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده و سازمان جهانی بهداشت استفاده شد. ارزیابی دریافت روزانه مزمن (CDI) از طریق گوارشی و پوست از طریق معادلات ۱ و ۲ به‌دست می‌آید.

معادله (۱)

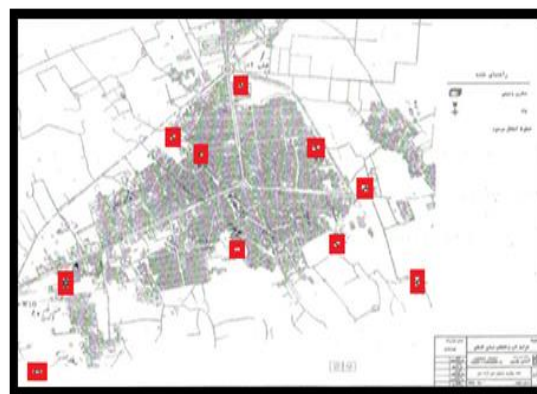
$$CDI_{oral} = \frac{C_w \times IR \times EF \times ED}{B_w \times AT}$$

معادله (۲)

$$CDI_{dermal} = \frac{C_w \times SA \times PC \times F \times ET \times EF \times ED}{B_w \times AT}$$

در فرمول‌های (۱،۲) CDI: مصرف روزانه مزمن بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز؛ CW^5 : غلظت آلاینده در آب بر حسب میلی‌گرم بر لیتر؛ IR: مصرف روزانه آب بر حسب لیتر در روز؛ EF^6 : فرکانس مواجهه بر حسب روز بر

فصل پاییز صورت گرفت. منابع تامین‌کننده‌ی آب آشامیدنی آزادشهر شامل ۱۲ حلقه چاه هستند. در این مطالعه‌ی تحلیلی مجموعاً از ۱۰ منبع آب از چاه‌های فعال در سیستم شبکه‌ی آب‌رسانی آزادشهر به‌روش لحظه‌ای نمونه‌برداری انجام شد. بر اساس نمونه‌برداری صورت گرفته، تعداد ۸ منبع در محدوده‌ی داخل شهر و ۲ منبع نیز در خارج از محدوده‌ی شهری استقرار یافته‌اند. موقعیت منابع آب در تصویر ۱ مشخص شده است.



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی منابع آب منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری مطابق روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب ۲۰۱۷ با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن از پیش اسید واش شده با اسیدنیتریک انجام شد. پس از نمونه‌گیری به‌منظور حفاظت از نمونه‌ها، اسیدنیتریک به نمونه‌ها اضافه و تا قبل از آنالیز در دمای کمتر از ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شدند. در این مرحله اسیدنیتریک ۶۵ درصد برای کاهش pH به کمتر از ۳ استفاده شد.

نمونه‌ها با رعایت زنجیره‌ی سرما جهت سنجش با دستگاه ICP-MS به آزمایشگاه منتقل شد. برای تجزیه و تحلیل غلظت فلزات سنگین از دستگاه ICP-MS شرکت GBC مدل Integra XL مربوط به سال ۲۰۱۲ ساخت کشور استرالیا استفاده شد.

شرح منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، شهرستان آزادشهر واقع در استان گلستان می‌باشد. شهرستان آزادشهر در مختصات جغرافیایی ۳۷°۰۷' شمالی و ۵۵°۰۶' شرقی، با مساحت کل ۸۹۲ کیلومتر مربع می‌باشد و در آخرین سرشماری، جمعیت شهرستان ۹۶۱۱۰ نفر بوده است.

منطقه‌ی مورد مطالعه به دو بخش مرکزی و چشمه‌ساران تقسیم شده است و دارای ۳ شهر نوده‌خاندوز، نگین‌شهر و آزادشهر می‌باشد. شهرستان آزادشهر از نظر اقلیمی به مناطق

¹ Chronic Daily Intake (CDI)

² Hazard Quotient (HQ)

³ Hazard Index (HI)

⁴ Cancer Risk (CR)

⁵ Concentration of the contaminant in Water (CW)

⁶ Exposure Frequency (EF)

نتایج ارزیابی ریسک سلامت

به طور کلی نتایج حاصل از اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در منابع آب شهرستان نشان داد که به جز غلظت فلز کروم، غلظت فلزات سرب، روی، آرسنیک، کادمیوم، نیکل، مس در کلیه منابع آب از حد استاندارد WHO و EPA پایین تر بوده و ۱۰۰ درصد این منابع مطلوب می باشند. در این منابع میزان غلظت کروم از حد استاندارد توصیه شده بالاتر است.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سلامت منابع آب شهرستان با استفاده از مدل ارزیابی ریسک فلزات سنگین EPA در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به مطالعات نتایج ارزیابی ریسک و بررسی های به عمل آمده، میانگین مقدار دریافت روزانه در گروه سنی کودکان از گروه سنی بزرگسالان بزرگتر می باشد. میزان دریافت روزانه مزمن در فلزات مورد مطالعه از طریق گوارش بیشتر از جذب پوستی در گروه سنی بزرگسالان و کودکان است. مطابق جدول ۶، میانگین ریسک سرطان زایی فلزات سنگین در گروه سنی بزرگسالان، فلزات کروم و آرسنیک در محدوده ی

سرطان زایی بالا و فلزات نیکل در محدوده ی متوسط و کادمیوم و سرب در محدوده ی خیلی کم قرار دارند. میانگین ریسک سرطان زایی فلزات سنگین در گروه سنی کودکان، فلزات کادمیوم و نیکل به ترتیب در محدوده ی سرطان زایی خیلی کم و متوسط و فلزات آرسنیک، سرب و کروم به ترتیب در محدوده ی بالا، خیلی کم و بالا قرار دارند. میانگین ریسک غیرسرطان زایی فلزات سنگین در فلزات سرب، کروم، روی، کادمیوم، نیکل و مس کمتر از یک و آرسنیک در گروه سنی کودکان بیشتر از یک می باشد. میانگین ریسک غیرسرطان زایی فلزات سنگین از طریق پوست، در کلیه فلزات مورد مطالعه در این تحقیق کمتر از یک می باشد. با توجه به مطالعات ارزیابی

سال^۱؛ EP: مدت زمان مواجهه بر حسب سال؛ BW^۲: وزن متوسط بدن بر حسب کیلوگرم؛ AT^۳: مدت زمان میانگین بر حسب روز؛ SA^۴: سطح تماس پوست بر حسب سانتی متر مربع؛ PC^۵: فاکتور نفوذپذیری پوست؛ F^۶: شاخص نفوذپذیری؛ ET^۷: مدت زمان قرارگیری بر حسب ساعت بر روز برای محاسبه ی خطر در نظر گرفته می شود.

پارامترهای ارزیابی خطر سلامت در معادلات ۳، ۴، ۵ آورده شده است که معادله ی ۳ مربوط به تعیین خطر ابتلا به سرطان از راه گوارش و معادله ی ۴ تعیین خطر ابتلا به سرطان از طریق پوست و معادله ی ۵ تعیین نسبت خطر غیرسرطانی را نشان می دهد. در این فرمول ها CR خطر ابتلا به سرطان در بازه ی خیلی کم و خیلی بالا تقسیم می شود؛ SF^۸: عامل شیب سرطان؛ HQ^۹: شاخص ریسک سلامت است که اگر بیشتر از یک باشد ریسک وجود دارد و اگر کمتر از یک باشد ریسک وجود ندارد؛ RfD^{۱۰}: مقدار دوز مواجهه مزمن حسب میلی گرم بر کیلوگرم بر روز می باشد. در نهایت مجموع شاخص خطر هر کدام از فلزات در هر گروه سنی جداگانه به عنوان شاخص ریسک خواهد بود.

$$CR_{oral} = CDI \times SF_{oral}$$

معادله (۳)

$$CR_{dermal} = CDI \times SF_{dermal}$$

معادله (۴)

$$HQ = \frac{CDI}{RfD}$$

معادله (۵)

جهت محاسبه ی میزان ریسک از فرمول نویسی تعیین ریسک در اکسل ۲۰۱۶ استفاده شد. در این مطالعه سطح بندی خطر سرطان زایی و غیرسرطان زایی در فلزات سنگین در جدول ۱ مشخص شده است. هم چنین تجزیه و تحلیل ریسک پارامترهای ورودی ۱ و ۲ در جدول ۲ و ۳ مشخص گردید.

یافته ها

نتایج غلظت فلزات سنگین در چاه های مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است.

¹ Exposure Period (EP)

² Body Weight (BW)

³ Averaging Time (AT)

⁴ Surface Area (SA)

⁵ Permeability Coefficient (PC)

⁶ Permeability Factor (F)

⁷ Exposure Time (ET)

⁸ Slope Factor (SF)

⁹ Hazard Quotient (HQ)

¹⁰ Reference Dose (RfD)

ریسک و بررسی‌های به‌عمل آمده، خطر غیرسرطان‌زایی در کلیه منابع آب آشامیدنی دارای سطح ریسک متوسط می‌باشد.

جدول ۱. سطح‌بندی خطر سرطان‌زایی در فلزات سنگین (۱۶)

ریسک سرطان‌زایی	سطح CR	ریسک غیرسرطانی	سطح HQ محاسبه شده
خیلی کم	$CR < 1 \times 10^{-6}$	ناچیز	$HQ < 0.1$
کم	$1 \times 10^{-6} \leq CR < 1 \times 10^{-5}$	کم	$0.1 \leq HQ < 1$
متوسط	$1 \times 10^{-5} \leq CR < 1 \times 10^{-4}$	متوسط	$1 \leq HQ < 4$
بالا	$1 \times 10^{-4} \leq CR < 1 \times 10^{-3}$	بالا	$4 \leq HQ$
خیلی بالا	$CR \geq 1 \times 10^{-3}$	-	-

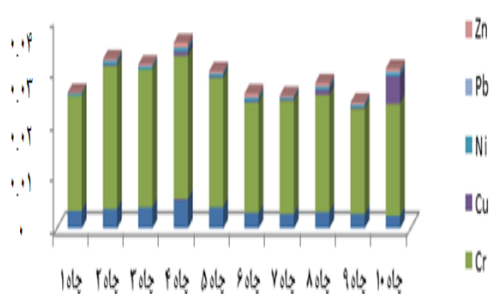
جدول ۲. تجزیه و تحلیل ریسک پارامترهای ورودی ۱

عوامل مواجهه با خطر	گروه بندی		واحد	رفرنس
	بزرگسال (سن > ۱۹)	کودکان ۱۲ < سن < ۶		
غلظت (Cw)	-	-	میلی گرم/ روز	-
مصرف روزانه آب (IR)	۲	۱/۵	لیتر/ روز	-
فرکانس مواجهه (EF)	۳۶۵	۳۶۵	روز/ سال	(۱)
مدت زمان مواجهه (EP)	۴۰	۱۰	سال	(۱۷)
وزن متوسط بدن (BW)	۷۰	۱۵	کیلوگرم	(۱۷)
مدت زمان میانگین (AT)	۱۴۶۰۰	۳۶۵۰	روز	(۱۷)
سطح تماس پوست (SA)	۱۸۰۰۰	۶۶۰۰	سانتی متر مربع	(۱)
شاخص نفوذپذیری پوست (CF)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-	-
مدت زمان قرارگیری (ET)	۱	۰/۵۸۳۳	ساعت/ روز	(۱)

جدول ۳. تجزیه و تحلیل ریسک پارامترهای ورودی ۲

عناصر		پارامترها		رفرنس
		ضریب نفوذپذیری (PC)	سانتی متر/ ساعت	
سرب (Pb)	۰/۰۰۱	(۱)		
کروم (Cr)	۰/۰۰۲	(۱)		
روی (Zn)	۰/۰۰۶	(۱)		
آرسنیک (As)	۰/۰۰۱	(۱)		
کادمیوم (Cd)	۰/۰۰۱	(۱)		
نیکل (Ni)	۰/۰۰۰۲	(۱)		
عناصر		پارامترها		رفرنس
		دوز تماس (RfD)	فاکتور شیب سرطان (SF)	
		میلی گرم. (کیلوگرم.روز) ^{-۱}	میلی گرم. (کیلوگرم.روز) ^{-۱}	
سرب (Pb)	گوارشی	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۸۵	(۱۷، ۱۳)
	پوستی	۰/۰۰۰۴۲	-	(۲)
کروم (Cr)	گوارشی	۰/۰۰۳	۰/۵	(۱۷، ۱۳)

پوستی	۰/۰۰۰۰۷۵	-	(۲)
گوارشی	۰/۳	n/a	(۲)
پوستی	۰/۰۶	-	(۲)
گوارشی	۰/۰۰۰۳	۱/۵	(۱۸،۱۷)
پوستی	۰/۰۰۰۱۲۳	۳/۶۶	(۱۸،۱۷)
گوارشی	۰/۰۰۰۵	۶/۱	(۱۷،۲)
پوستی	۰/۰۰۰۰۲۵	-	(۱۳)
گوارشی	۰/۰۲	۰/۸۴	(۲،۱۷)
پوستی	۰/۰۰۰۸	-	(۱۳)
گوارشی	۰/۰۴	n/a	(۲)
پوستی	۰/۰۰۸	-	(۱۳)



نمودار ۱. غلظت فلزات سنگین در چاه‌های شهرستان آزادشهر

جدول ۴. میانگین غلظت فلزات سنگین در چاه‌های آب شهرستان آزادشهر

نوع فلز سنگین	غلظت میانگین (mg/l)	انحراف معیار	استاندارد ملی ایران (ISIR 1053)	استاندارد WHO (mg/l)
سرب	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
کروم	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲۷	۰/۰۵	۰/۰۱۵
روی	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲۴	۳	۳
آرسنیک	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
کادمیوم	۰/۰۰۰۰۱	۸/۴×۱۰-۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
نیکل	۰/۰۰۰۵۸	۹/۹×۱۰-۵	۰/۰۷	۰/۰۷
مس	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۱۵	۲	۲

جدول ۵. میزان دریافت روزانه مزمن فلزات سنگین

نوع فلز	گروه سنی	میانگین		انحراف معیار	
		گوارشی	پوستی	گوارشی	پوستی
سرب	بزرگسالان	۳/۴×۱۰-۶	۱/۸×۱۰-۹	۲/۸×۱۰-۶	۱/۵×۱۰-۹
	کودکان	۶×۱۰-۶	۱/۱×۱۰-۱۰	۵×۱۰-۶	۹/۴×۱۰-۱۱
کروم	بزرگسالان	۶/۵×۱۰-۴	۶/۹×۱۰-۶	۷/۷×۱۰-۵	۸/۱×۱۰-۷
	کودکان	۱/۷×۱۰-۳	۴/۳×۱۰-۷	۲×۱۰-۴	۵×۱۰-۸
روی	بزرگسالان	۱/۴×۱۰-۵	۴×۱۰-۸	۶/۸×۱۰-۶	۲×۱۰-۸
	کودکان	۲/۴×۱۰-۵	۳×۱۰-۹	۱/۲×۱۰-۵	۱×۱۰-۹
آرسنیک	بزرگسالان	۹/۷×۱۰-۴	۵/۱×۱۰-۶	۲/۸×۱۰-۶	۱×۱۰-۸
	کودکان	۲/۵×۱۰-۳	۳/۲×۱۰-۷	۷/۵×۱۰-۶	۱×۱۰-۹
کادمیوم	بزرگسالان	۲/۹×۱۰-۷	۱×۱۰-۹	۲/۴×۱۰-۷	۱×۱۰-۹
	کودکان	۷/۵×۱۰-۷	۱×۱۰-۱۰	۶/۳×۱۰-۷	۱×۱۰-۱۰
نیکل	بزرگسالان	۱/۶×۱۰-۵	۲×۱۰-۸	۲/۸×۱۰-۶	۳×۱۰-۹
	کودکان	۲/۹×۱۰-۵	۱×۱۰-۹	۴/۹×۱۰-۶	۲×۱۰-۱۰
مس	بزرگسالان	۲/۳×۱۰-۵	۱/۲×۱۰-۷	۴/۲×۱۰-۵	۲/۲×۱۰-۷
	کودکان	۴×۱۰-۵	۱×۱۰-۸	۷/۵×۱۰-۵	۱×۱۰-۸

جدول ۶. ریسک غیرسرطان زایی و سرطان زایی فلزات سنگین

نوع فلز	گروه سنی	میانگین		انحراف معیار		میانگین		انحراف معیار	
		گوارشی (غ س)	پوستی (غ س)	گوارشی (غ س)	پوستی (غ س)	گوارشی (س)	پوستی (س)	گوارشی (س)	پوستی (س)
سرب	بزرگسالان	۱/۷×۱۰-۴	۲/۲×۱۰-۶	۱/۴×۱۰-۴	۱/۸×۱۰-۶	۲/۹×۱۰-۸	-	۲/۴×۱۰-۸	-
	کودکان	۳×۱۰-۴	۱/۴×۱۰-۷	۲/۵×۱۰-۴	۱/۲×۱۰-۷	۵/۱×۱۰-۸	-	۴/۲×۱۰-۸	-
کروم	بزرگسالان	۲/۱×۱۰-۱	۹/۱×۱۰-۲	۲/۵×۱۰-۲	۱×۱۰-۲	۳/۲×۱۰-۴	-	۳/۸×۱۰-۵	-
	کودکان	۵/۷×۱۰-۱	۵/۷×۱۰-۳	۶/۷×۱۰-۲	۶/۷×۱۰-۴	۸/۶×۱۰-۴	-	۱×۱۰-۴	-
روی	بزرگسالان	۷×۱۰-۴	۵/۵×۱۰-۵	۳/۴×۱۰-۴	۶×۱۰-۴	-	-	-	-
	کودکان	۱/۲×۱۰-۳	۳/۴×۱۰-۶	۶×۱۰-۴	۲/۷×۱۰-۵	-	-	-	-
آرسنیک	بزرگسالان	۳/۲	۴/۱×۱۰-۲	۹/۵×۱۰-۳	۱/۲×۱۰-۴	۱/۴×۱۰-۳	۱/۸×۱۰-۵	۴/۲×۱۰-۶	۵/۴×۱۰-۸
	کودکان	۸/۵	۲/۶×۱۰-۳	۲/۵×۱۰-۲	۷/۶×۱۰-۶	۳/۸×۱۰-۳	۱/۸×۱۰-۵	۱/۱×۱۰-۵	۳/۴×۱۰-۹
کادمیوم	بزرگسالان	۵/۷×۱۰-۴	۶×۱۰-۵	۴/۸×۱۰-۴	۵×۱۰-۵	۱/۷×۱۰-۶	-	۱/۴×۱۰-۴	-
	کودکان	۱/۵×۱۰-۳	۳/۷×۱۰-۶	۱/۲×۱۰-۳	۳/۱×۱۰-۶	۴/۵×۱۰-۶	-	۳/۸×۱۰-۶	-
نیکل	بزرگسالان	۸/۲×۱۰-۴	۲/۱×۱۰-۵	۱/۴×۱۰-۴	۳/۷×۱۰-۶	۱/۳×۱۰-۵	-	۲/۳×۱۰-۶	-
	کودکان	۱/۴×۱۰-۳	۱/۳×۱۰-۶	۲/۴×۱۰-۴	۲/۳×۱۰-۷	۲/۴×۱۰-۵	-	۴/۱×۱۰-۶	-
مس	بزرگسالان	۵/۷×۱۰-۴	۱/۵×۱۰-۵	۱×۱۰-۳	۲/۸×۱۰-۵	-	-	-	-
	کودکان	۱×۱۰-۳	۹/۵×۱۰-۷	۱/۸×۱۰-۳	۱/۷×۱۰-۶	-	-	-	-

بحث

به طور کلی نتایج حاصل از بررسی میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر غلظت فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی منطقه نشان می دهد، میانگین غلظت سرب، آرسنیک، مس، نیکل و روی پایین تر از حد استاندارد WHO^۱ و EPA^۲، و کروم از حد استاندارد توصیه شده کمی بالاتر است و در خصوص حداکثر غلظت مجاز،

غلظت بیشتر فلزات سنگین مورد مطالعه در همه منابع آب آشامیدنی از حد استاندارد توصیه شده پایین تر است. با توجه به موقعیت مکانی و زمانی و ساختار کانی ها و تاثیرات ساختاری زمین شناسی در هر منطقه میزان غلظت عناصر با یکدیگر متفاوت می باشد. لذا به دلایل نقش ساختاری کانی ها در هر منطقه نمی توان مطالعات مقایسه ای از یافته های این نتایج با مطالعات گذشته در دیگر مناطق کشور یا در سطح جهانی انجام داد.

¹ World Health Organization (WHO)

² Environmental Protection Agency (EPA)

اتصالات برنجی و مس از طریق خوردگی لوله‌های مسی و برنجی و اضافه کردن نمک مس در طول تصفیه به‌منظور کنترل رشد جلبک‌ها وارد آب‌های آشامیدنی می‌گردد. مصرف کوتاه‌مدت روی باعث عوارضی چون دل‌پیچه، اسهال و تهوع است و در طولانی‌مدت منجر به بیماری‌های سیستم عصبی، آسیب لوزالمعده و کاهش کلسترول می‌گردد. کمبود مس منجر به کمبود آهن و ناهنجاری در رشد می‌شود و دریافت مقادیر زیاد آن باعث ناراحتی‌های شدید مخاطی، صدمات وسیع مویرگی، صدمات کلیوی و کبدی و اختلال سیستم اعصاب مرکزی می‌گردد (۸، ۱۱، ۲۱-۲۴).

نتایج بررسی غلظت روی و مس مطابق جدول ۵ نشان داد، که غلظت آن در همه چاه‌های مورد مطالعه پایین‌تر از استاندارد WHO و EPA (روی، مس ۳ و ۱ میلی گرم بر لیتر) می‌باشد (۱۱، ۲۵). با توجه به نتایج غلظت فعلی روی و مس در منابع آب مورد مطالعه، عوارض حادی در جمعیت ساکنین محلی، مصرف‌کنندگان از منابع آب در این منطقه نخواهد داشت و از سوی دیگر در همین راستا کمبود روی نیز می‌تواند برای سلامت انسان مشکل‌ساز باشد که نیاز به مطالعات جامع و بررسی‌های کامل‌تری داشته و ضرورت استفاده از مکمل‌های تامین‌کننده روی در منابع آب منطقه در صورت نیاز ضروری خواهد بود. در مطالعه‌ی عالیقدر و همکاران در سال ۱۳۸۵ به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین از جمله روی و مس در منابع آب شهر اردبیل انجام دادند، نتایج این سنجش نشان داد که در تمام نمونه‌ها، غلظت این عناصر در آب مانند مطالعه حاضر در حد استانداردهای تعیین‌شده بودند (۲۶).

فلز کروم یکی دیگر از آلاینده‌های مهم محیط‌های آبی و خاکی است. اگرچه مواجهه با هر یک از ترکیبات مختلف کروم می‌تواند با مخاطراتی همراه باشد اما از میان آن‌ها کروم شش ظرفیتی بالاترین و بیشترین مخاطرات بهداشتی را دارد. این نوع کروم در فعالیت‌های مختلفی مانند صنعت آبکاری، رنگرزی، دباغی، کاتالیزورهای تولید مواد شیمیایی، تولید رنگ‌دانه‌ها و بسیاری از دیگر مصارف صنعتی استفاده می‌شود. ورود کروم از طریق دستگاه گوارش عمده‌ترین راه ورود آن در افراد جامعه قلمداد می‌شود. آثار سوء کروم در انسان در کوتاه‌مدت شامل

امروزه استفاده از سرب در بسیاری از مواد و نیز صنایع مختلف، سبب آلودگی محیط اطراف ما شده است. منابع ورود این فلز به محیط، فاضلاب‌های صنایع، آلکیل‌های سرب ناشی از بنزین و مهم‌ترین منبع ورود این فلز به آب، از طریق لوله‌های سربی و لحیم سربی اتصالات مربوط به آن می‌باشد. به‌طور کلی تخمین زده می‌شود که ۱۰ تا ۲۰ درصد آلودگی‌های سربی در اثر مصرف آب آشامیدنی باشد. اخیراً سازمان جهانی بهداشت، مسمومیت با سرب و خطرات ناشی از آن را مورد توجه قرار داده است، زیرا در اغلب کشورها تماس با سرب و انتقال این فلز به بدن مشاهده و منجر به بروز مشکلاتی برای سلامت مردم شده است (۲، ۱۹).

نتایج بررسی غلظت سرب نشان داد، که غلظت آن در همه چاه‌های مورد مطالعه پایین‌تر از استاندارد WHO (۰/۰۱ میلی گرم بر لیتر) و EPA (۰/۰۱۵ میلی گرم بر لیتر) می‌باشد (جدول ۵). مطالعات بسیاری ثابت کرده است که در میان بسیاری از آلاینده‌های معدنی منشأ گرفته از فعالیت‌های انسان، سرب به‌علت سمیت و سرطان‌زا بودن بسیار نگران‌کننده‌اند. باقیمانده‌ی سرب در

بدن سبب اختلال در کلیه، کبد و دستگاه عصبی می‌شود و در صورت داشتن تماس طولانی‌مدت با سرب، احتمال عقب افتادگی ذهنی در کودکان افزایش می‌یابد (۷، ۲۰). در مطالعه‌ای که در شهرستان الشتر در استان لرستان با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین در سال ۱۳۸۸ انجام گرفت. میانگین غلظت سنجش عناصر مورد نظر از جمله سرب در کلیه‌ی چاه‌های آب شرب شهرستان الشتر ۰/۷۸۸ میلی گرم بر لیتر بود که خطری برای مصرف‌کنندگان به‌وجود نمی‌آورد. بنابراین نتایج این تحقیق همسو با مطالعه‌ی حاضر (غلظت میانگین سرب ۰/۰۰۱۲ میلی گرم بر لیتر) که پایین‌تر از حد استاندارد است می‌باشد (۱۵).

روی و مس یکی دیگر از فلزات سنگین می‌باشد که به مقدار جزئی در آب‌های سطحی و زیرزمینی آلوده‌نشده یافت می‌شود و وجود غلظت تقریبی ۲ میلی گرم بر لیتر از مس در آب به آن مزه‌ی نامطبوعی می‌دهد. مس در آب‌های آشامیدنی معمولاً غلظت زیر ۰/۰۲ میلی گرم دارد. روی در نتیجه خوردگی لوله‌های از جنس آهن گالوانیزه و

التهاب و سوزش دهان، بینی، ریه‌ها و التهاب پوست و ایجاد مشکلات در هضم غذا و آسیب دیدن کلیه‌ها و کبد می‌باشد.

طبق گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت حدود ۹۳ تا ۹۸ درصد کروم از طریق غذا و ۲ تا ۷ درصد از طریق آب وارد بدن می‌گردد (۲۳، ۲۷-۳۱).

نتایج غلظت کروم در منابع آب آشامیدنی مورد مطالعه (مطابق جدول ۵) در این منطقه نشان داد که در تمام منابع آب، میزان غلظت کروم اندکی بالاتر از حد استاندارد توصیه شده توسط WHO (۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) و EPA (۰/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. در این منطقه، میانگین غلظت کروم در منابع آب آشامیدنی ۲۳/۲۹ میکروگرم بر لیتر است که اندکی بالاتر از حد استانداردهای بین‌المللی می‌باشد. به دلیل پتانسیل بالای بیماری‌زایی آن، میانگین ارزیابی کلی در این مطالعه، ریسک سرطان‌زایی در هر دو گروه سنی بزرگسالان و کودکان را برای فلز کروم نشان داد. لذا به‌علت خاصیت تجمع‌ی فلز کروم ضروریست اقدامات مقتضی از سوی سازمان‌های مسئول و واحدهای نظارتی به‌عمل آید.

EPA کروم را به‌عنوان سرطان‌زای انسان (گروه A طبقه‌بندی کرده است)، اگرچه مقادیر MCL پیشنهادی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر برای کل کروم بر اساس اثرات غیرسرطان‌زایی می‌باشد. پژوهش‌های فدرال نشان داد که به‌طور متوسط در آب‌های سطحی ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر و در آب‌های زیرزمینی ۰/۰۱۶ میلی‌گرم بر لیتر کروم وجود دارد. بنابراین حداکثر غلظت مجاز کروم آن در آب آشامیدنی ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است (۲۰).

در مطالعه‌ای که دهقانی و همکاران به‌منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در سال ۱۳۹۳ در منابع آب آشامیدنی شهر شیراز انجام دادند، نتایج نشان داد که غلظت تمام فلزات اندازه‌گیری شده ازجمله کروم از حداکثر غلظت مجاز توصیه‌شده و استاندارد ملی آب ایران و سازمان جهانی بهداشت بالاتر بود. این مطالعه یکی از علل را فعالیت‌های صنعتی مانند نشت فاضلاب‌های صنعتی، ذخیره‌سازی و دفع نادرست پسماندهای صنعتی و همچنین فرسودگی شبکه توزیع و شبکه خانگی اعلام کرده است که باعث انتشار فلزات سنگین در آب

آشامیدنی گردیده است. هم‌چنین در مطالعه‌ی مشابهی که توسط میرزاییگی و همکاران از منابع آب روستاهای شهرستان تربت‌حیدریه انجام شد، مقدار غلظت کروم در ۱۱ روستا از حد استاندارد بیشتر بود که با مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی می‌کند (۳۲، ۳۳).

آرسنیک به خودی خود یک فلز سنگین نیست و بر اساس سمیت آن به فهرست فلزات سنگین اضافه شده است. آرسنیک در بسیاری از فرآورده‌های صنعتی مانند سرامیک‌سازی، صنایع چرم و دباغی، ساخت حشره‌کش‌ها و سموم دفع آفات نباتی مصرف می‌شود. مسمومیت با این عنصر می‌تواند منجر به زخم‌گلو و سوزش و خراش در شش‌ها، کاهش ایجاد گلبول‌های سفید و قرمز خون، ناراحتی‌های عصبی، مختل کردن عمل آنزیم‌ها، سرطان ریه، مثانه و پوست شود (۲۵، ۳۴، ۳۵).

نتایج غلظت آرسنیک در منابع آب آشامیدنی مورد مطالعه (مطابق جدول ۵) در این منطقه نشان داد که در تمام منابع آب، میزان غلظت آرسنیک از حد استاندارد توصیه‌شده توسط WHO (۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) و EPA (۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) پایین‌تر می‌باشد. در این منطقه بر اساس یافته‌های به‌دست آمده از تجزیه‌وتحلیل نتایج این فلزات، میانگین غلظت آرسنیک در منابع آب آشامیدنی ۳/۴۶۶ میکروگرم بر لیتر که پایین‌تر از حد استانداردهای بین‌المللی قرار دارند. لذا با وجود این‌که مقدار آرسنیک زیر حد استاندارد بود ولی به‌دلیل پتانسیل بالای بیماری‌زایی این فلز، ارزیابی ریسک بهداشتی، میانگین خطر سرطان‌زایی در هر دو گروه سنی بزرگسالان و کودکان برای فلز آرسنیک را نشان داد در نتیجه غلظت زیر حد استاندارد نمی‌تواند تضمینی برای عدم وجود ریسک باشد. لذا با توجه به خاصیت تجمع‌ی این گونه فلزات ضروریست اقدامات مقتضی از سوی سازمان‌های مسئول و واحدهای نظارتی به‌عمل آید (۳۶).

در مطالعه‌ای که شمس خرم‌آبادی و همکاران در شهرستان الشتر در استان لرستان با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین انجام دادند، غلظت فلز آرسنیک در چاه‌های آب شرب این منطقه پایین‌تر از استاندارد و به‌میزان ۰/۰۰۳۳ میلی‌گرم در لیتر بود که برابر با نتایج به‌دست آمده از مطالعه‌ی حاضر است (۱۵).

کادمیوم یک فلز سنگین است که در محیط بسیار پایدار است. این فلز از طریق فعالیت‌هایی چون حفاری معدن،

نتایج میزان غلظت نیکل در کلیه منابع آب آشامیدنی در منطقه مورد مطالعه در نمونه‌های آب آشامیدنی نشان داد که غلظت در کلیه منابع از حد استاندارد پایین‌تر بوده و تمام این منابع مطلوب بودند. در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۸۵ به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین از جمله نیکل در منابع آب شهر اردبیل انجام گرفت، غلظت این فلز به مدت یک سال در دو فصل کم‌آبی و پرآبی از ۱۰ منبع آب به تعداد ۲۰ نمونه اخذ شد، نتایج این سنجش مانند مطالعه‌ی حاضر نشان داد که در تمام نمونه‌ها، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در حد استانداردهای تعیین‌شده برای این عنصر بودند، به این ترتیب که غلظت نیکل در تمام نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد قرار داشت (۲۶).

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل، روی و مس از طریق گوارش و پوستی در هر دو گروه بزرگسالان و کودکان در کلیه منابع آب آشامیدنی دارای خطر غیرسرطان‌زایی ناچیز می‌باشد. همچنین ارزیابی ریسک غیرسرطانی فلز کروم در بزرگسالان از طریق گوارش در همه منابع کم و از طریق پوست در ۳۰٪ منابع کم و در ۷۰٪ منابع ناچیز می‌باشد. در گروه سنی کودکان در ۷۰٪ منابع کم و در ۳۰٪ منابع متوسط است. میزان ریسک غیرسرطانی گوارشی آرسنیک در کودکان در ۷۰٪ منابع متوسط و در ۱۰٪ آن کم و در بزرگسالان دارای ریسک کم و از طریق پوست در هر دو گروه ناچیز است.

ارزیابی ریسک سرطانی پوستی و گوارشی در فلزات سنگین سرب، کادمیوم، مس و روی در هر دو گروه بزرگسالان و کودکان ناچیز است. در این مطالعه ریسک سرطانی برای کروم و آرسنیک بالا و در نیکل برای هر دو گروه متوسط می‌باشد.

به‌طور کلی ارزیابی ریسک سلامت بر اساس مدل‌های ریاضی و فرضیات استاندارد انجام شده است و این فرضیات ممکن است با شرایط واقعی جامعه مورد مطالعه کاملاً مطابقت نداشته باشند. از طرفی داده‌های مواجهه از منابع ثانویه و استانداردهای جهانی گرفته شده است که

صنایع فلزی، صنایع شیمیایی، آب فلزکاری، کودهای سوپر فسفات، آفت‌کش‌های حاوی کادمیوم، تولید برخی از آلیاژهای فلزی، باتری‌سازی به محیط زیست وارد می‌شود. وجود بیش از حد کادمیوم، موجب بروز ناراحتی‌هایی همچون خستگی، دردهای استخوانی، برونشیت و تخریب کلیه می‌شود. کادمیوم از طریق مخازن و لوله‌های گالوانیزه، زائدات صنعتی الکترونیکی، حشره‌کش‌ها، پلاستیک‌ها، رنگ‌ها، باتری‌های نیکل-کادمیوم وارد آب می‌گردد، بعد از ورود به بدن جایگزین روی شده و باعث اختلال در کار بعضی آنزیم‌ها از جمله آدنوزین‌تری‌فسفاتاز می‌گردد (۱۵، ۳۵). آب آشامیدنی به‌طور طبیعی کمتر از یک میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم دارد و گاهی در موارد نادری تا ۵ میلی‌گرم بر لیتر هم گزارش شده است (۲۵).

نتایج غلظت کادمیوم در منابع آب آشامیدنی مورد مطالعه (مطابق جدول ۵) در این منطقه نشان داد که در تمام منابع آب، میزان غلظت آن از حد استاندارد توصیه شده (۰/۰۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) پایین‌تر می‌باشد و همه‌ی این منابع مطلوب بودند. در مطالعه‌ای که توسط علیدادی و همکاران در اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی در مشهد صورت گرفت، مشخص شد که میزان کادمیوم در آب آشامیدنی از حد استاندارد کمتر است، همچنین در مطالعه‌ی مشابه دیگری که توسط میرحسینی و همکاران در بروجرد انجام شد، غلظت این فلز در کلیه‌ی چاه‌های تامین‌کننده‌ی آب شرب (۵۴ نمونه از ۱۸ چاه) پایین‌تر از حد استاندارد گزارش شد، که در راستای نتایج مطالعه‌ی حاضر می‌باشد (۳۶، ۳۷).

نیکل عنصر نسبتاً غیرسمی می‌باشد. افزایش ناگهانی آن در آب، دلیل آلودگی با فاضلاب صنعتی است. از اثرات حاد در معرض مقادیر بالا بودن آن شامل کاهش وزن، تغییر در خون و آنزیم و تغییر در گنجایش ظرفیت آهن بدن می‌باشد. برای حداکثر میزان غلظت مجاز نیکل در آب آشامیدنی، مقدار دقیقی به‌عنوان رهنمود و مجاز داده نشده است، به عبارت دیگر در منابع فعلی هیچ $MCLG^2$ برای آن پیشنهاد نشده است ولی استاندارد ملی آب ایران (۱۰۵۳) برای نیکل حداکثر مقدار مجاز را ۰/۰۷ توصیه کرده است (۲۰، ۳۸).

² Maximum Contaminant Level Goal (MCLG)

ممکن است با شرایط محلی تفاوت داشته باشد. همچنین نمونه‌برداری در یک بازه‌ی زمانی خاص ممکن است عوامل فصلی مانند بارش و غیره در نتایج تأثیرگذار باشد و همه این عوامل مواردی هستند که در محدودیت‌های مطالعه نقش دارند و باید با دقت بیشتری انجام شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی میانگین ریسک سرطان‌زایی فلزات سنگین در گروه سنی بزرگسالان به این صورت است: فلزات کروم و آرسنیک در محدوده‌ی ریسک بالا، نیکل در محدوده‌ی متوسط و کادمیوم و سرب در محدوده‌ی بسیار کم قرار دارند. میانگین ریسک سرطان‌زایی فلزات سنگین در گروه سنی کودکان، فلزات کادمیوم و نیکل به‌ترتیب در محدوده‌ی سرطان‌زایی خیلی کم و متوسط و فلزات آرسنیک، سرب و کروم به‌ترتیب در محدوده‌ی بالا، خیلی کم و بالا قرار دارند. همچنین با توجه به جمع کلی میانگین ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین از طریق گوارش، بیشتر از یک در گروه سنی کودکان می‌باشد. میانگین ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین از طریق پوست، کمتر از یک در هر دو گروه سنی بزرگسالان و کودکان می‌باشد و خطری از نظر بهداشتی سلامت انسان را تهدید نمی‌کند.

با توجه به غلظت بالای کروم و آرسنیک در شبکه توزیع آب، راهکارهای عملیاتی متعددی برای کاهش این آلاینده‌ها پیشنهاد می‌شود. ازجمله می‌توان به استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ی تصفیه مانند اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و جذب سطحی اشاره کرد. همچنین مدیریت منابع آب از طریق کنترل منابع صنعتی و کشاورزی و پایش مستمر کیفیت آب ضروری است. علاوه بر این آموزش جامعه و کارکنان، تقویت قوانین محیط

زیستی و حمایت از تحقیقات در روش نوین حذف فلزات سنگین ازجمله اقدامات مکملی هستند که می‌توانند در بهبود کیفیت آب و حفظ سلامت عمومی موثر باشند.

امروزه مشکلات آلودگی در کشور ما نیز مانند سایر کشورهای در حال توسعه، به‌واسطه‌ی پیشرفت تکنولوژی و فعالیت‌های بشر، روز به روز در حال افزایش می‌باشد و لزوم توجه بیشتری را می‌طلبد. بنابراین ضرورت داشتن یک استراتژی و برنامه‌ی مدون برای حفظ منابع آب و کنترل آلودگی‌های آن، مسأله مهم در بخش‌های مدیریتی است.

تشکر و قدردانی: این مقاله مستقل بوده و نتیجه‌ی تحقیقات نویسندگان می‌باشد.

تعارض منافع: نویسندگان هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند و تعارض منافع ندارد.

حمایت مالی: این مقاله کاملاً مستقل بوده و حمایت مالی ندارد.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان تمام نکات اخلاقی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

سهم نویسندگان: محمد سمیعی : نمونه‌گیری و آنالیزهای آزمایشگاهی، امیرارسلان پرداختی: پیش‌نویس و محاسبات ریسک، سعیده یوسفی: آنالیز و نگارش مقاله.

References

1. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment).
2. Edokpayi JN, Enitan AM, Mutileni N, Odiyo JOJCCJ. Evaluation of water quality and human risk assessment due to heavy metals in groundwater around Muledane area of Vhembe District, Limpopo Province, South Africa. 2018;12(1):2.
<https://doi.org/10.1186/s13065-017-0369-y> PMID:29327318 PMCID:PMC5764906
3. Kooli MM hS, Amirnezhad R. Study of Sefidroud River Water Quality in Roudbar Wetland Ecobiology. 2015;7 (3) :33-43.
4. Srebotnjak T CG, de Sherbinin A, Rickwood C. A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. Ecological Indicators. 2012;17:108-19.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.023>
5. Kakati S, Sarma H. Studies on water quality index of drinking water of Lakhimpur District. Indian Journal of Environmental Protection. 2007;27(5):425.
6. Dehghani MH, Taher MM, Bajpai AK, Heibati B, Tyagi I, Asif M, et al. Removal of noxious Cr (VI) ions using single-walled carbon nanotubes and multi-walled carbon nanotubes. Chemical Engineering Journal. 2015;279:344-52.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.151>
7. Edition F. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle. 2011;38(4):104-8.
8. Duruibe JO, Ogwuegbu M, Egwurugwu J. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. International Journal of physical sciences. 2007;2(5):112-8.
9. Netpae T, Phalaraksh C. Water quality and heavy metal monitoring in water, sediments, and tissues of Corbicula sp. From Bung Boraphet Reservoir, Thailand. Chiang Mai J Sci. 2009;36(3):395-402.
10. Bhaskar C, Kumar K, Nagendrappa G. Assessment of heavy metals in water samples of certain locations situated around Tumkur, Karnataka, India', viewed 12 June, 2010. 2010.
11. Fiket Ž, Roje V, Mikac N, Kniewald G. Determination of arsenic and other trace elements in bottled waters by high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry. Croatica chemica acta. 2007;80(1):91-100.
12. Karbasi A, Bayati A. Environmental Geochemistry, published by Kavoshe Ghalam. Tehran; 2002.
13. Hashmi MZ, Yu C, Shen H, Duan D, Shen C, Lou L, et al. Concentrations and Human Health Risk Assessment of Selected Heavy Metals in Surface Water of the Siling Reservoir Watershed in Zhejiang Province, China. 2014;23(3).
14. Rezvani M, Ghorbanian A, Adolescent M, Sahba M. Evaluation of heavy metals (cadmium, cobalt, lead, zinc and manganese) contamination in Eshtehard Aquifer. 2014;1(1):13-21 (persian).
15. Shams Khorramabadi G, Dargahi A, Godini H, Mostafaei P. Survey of heavy metal pollution (copper, lead, zinc, cadmium, iron and manganese) in drinking water resources of Nurabad city, Lorestan, Iran 2013. yafte. 2016;18(2).
16. USEPA. A Risk Assessment-Multiway Exposure Spreadsheet Calculation Tool. United States Environmental Protection Agency Washington, DC; 1999.
17. Farokhneshat F, Rahmani A, Samadi M, Soltanian AJSJoHUoMS. Non-Carcinogenic Risk Assessment of Heavy Metal of Lead, Chromium and Zinc in Drinking Water Supplies of Hamadan in Winter 2015. 2016;23(1):25-33.
18. Memon A, Ghanghro A, Jahangir T, Khand A, Muneer G, Yuan Q. Health risk assessment of trace metals during pre-and post-monsoon seasons in drinking water of Jamshoro, Sindh. Int J SciEng Res. 2017;8(4):1431-49.
19. Noncommunicable Disease Management LCCS. August 2016: (Persian).

20. Duggal V, Rani A. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of metals in groundwater via ingestion and dermal absorption pathways for children and adults in Malwa Region of Punjab. *Journal of the Geological Society of India*. 2018;92(2):187-94.
<https://doi.org/10.1007/s12594-018-0980-0>
21. Sobhanardakani S. Assessing of As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu and Mn Contamination in Groundwater Resources of Razan Plain Using Water Quality Pollution Indices %J *Journal Of Neyshabur University Of Medical Sciences* 2017;4(4):33-45.
22. World Health Organization %J Background document for development of guidelines for drinking-water quality. 2002.
23. Kaplan O, Yildirim NC, Yildirim N, Tayhan N. Assessment of some heavy metals in drinking water samples of Tunceli, Turkey. *E-Journal of Chemistry*. 2011;8.
<https://doi.org/10.1155/2011/370545>
24. Varol M, Şen B. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*. 2012;92:1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.011>
25. SOBHANARDAKANI S, JAMALI M, MAANIJOU M. Evaluation of as, Zn, Cr and Mn concentrations in groundwater resources of razan plain and preparation of zoning map using gis. 2014.
26. Alai ghadr M, Hazrate S, GHanbare M. measurement of heavy metal concentration in drinking water sources in ardabil city. subterranean water studies of the Dasht ardabil: 2006.(persian)
27. Nahid P, MOSLEHI MP. Heavy metals concentrations on drinking water in different Aeras of Tehran as ppb and Methods of Remal Them. 2008.
28. Duruibe JO, Ogwuegbu M, Egwurugwu JJIops. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. 2007;2(5):112-8.
29. Smith AH, Steinmaus CM. Health effects of arsenic and chromium in drinking water: recent human findings. *Annual review of public health*. 2009;30:107-22.
<https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.031308.100143> PMid:19012537
PMCID:PMC2762382
30. Franchini I, Mutti AJSotTE. Selected toxicological aspects of chromium (VI) compounds. 1988;71(3):379-87.
[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90210-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90210-0) PMid:3406707
31. Joan E, Denton PD. Public Health Goals for Chemicals in Drinking Water. Radium-226 and 228. California Environmental Protection Agency; 2006.
32. Mirzabeygi M, Abbasnia A, Salimi J, Mahvi AH. Determination of the heavy metals concentrations (lead, Cadmium, Chromium) in rural drinking water supplies of Torbat Heydariyeh city and distribution of GIS. *Journal of Research in Environmental Health*. 2016;2(2):146-53.
33. dehghani M, mirzaemiande A, shamsodini N. The concentration of heavy metals in the drinking water supplies of the city of Shiraz. the first national conference on architecture, civil engineering and urban environment2014.(persian)
34. Nazari S, Sobhan-Ardakani S. Assessment of pollution index of heavy metals in groundwater resources of Qaleh Shahin plain (2013-2014). *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences (J Kermanshah Univ Med Sci)*. 2015;19(2):102-8.
35. Salvato JA, Nemerow NL, Agardy FJ. *Environmental engineering*: 2003.
36. Alidadi H, Peiravi R, Dehghan AA, Vahedian M, Haghighi HM, Amini A. Survey of heavy metals concentration in Mashhad drinking water in 2011. *Razi Journal of Medical Sciences*. 2014;20(116):27-34.
37. kamarehei b, Mirhosseini sh, jafari a, Asgari g, Bierjandi m, rostami z. Study of heavy metal concentration (As, Ba, Cd, Hg, Pb, Cr) in water resources and river of

Borujerd city in 2008-2009. Yafteh. 2010;11(4):45-51.

38. Jian M, Liu B, Zhang G, Liu R, Zhang X. Adsorptive removal of arsenic from aqueous solution by zeolitic imidazolate framework-8 (ZIF-8) nanoparticles. Colloids and Surfaces A: Physicochemical

and Engineering Aspects. 2015;465:67-76. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.10.023>