FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume10, Number1, Spring, (2024)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Assessment of Health Risks Posed by Heavy Metals in the Drinking Water of Ahvaz City and Its Sources (Karun and Dez Rivers)

Tayebe Bagheri Lotfabad[1*]; Naghmeh Orooji [2], Amirhossein Afghari[3], Gholamreza Raeesi[4], Afshin Hatami[5]

[*]1. Associate Professor, Department of Industrial and Environmental Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran.
2. PhD., Ahvaz Water and Wastewater Company, Ahvaz, Iran.
3. MSc., Department of Industrial and Environmental Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran.
4. MSc., Ahvaz Water and Wastewater Company, Ahvaz, Iran.
5. PhD., Ahvaz Water and Wastewater Company, Ahvaz, Iran.
[*] Email Address: bagheril@nigeb.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2024/08/14
Revised Date:
2024/09/17
Accepted Date:
2024/11/12
Published Date:
2024/12/03

Keywords:
Heavy metal,
Health risk,
Karun,
Dez.

ABSTRACT

Assessing the quality of river and drinking water in relation to consumer health is crucial for informed decision-making regarding its use. This study evaluates the health risks associated with the Karun and Dez rivers, as well as the water treatment plants in Ahvaz city. The research focused on measuring the levels of metals, including Ag, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V, and Zn, in water sources and the urban water distribution network of Ahvaz during the winter of 2022 and summer of 2023. To achieve this, samples were collected from the inflows and outflows of water treatment plants 1, 2, 3, 4, and 5, as well as from six points within the distribution network, selected based on their geographical locations across the city. The concentrations of metals in the samples were determined, and health risks were assessed using the Hazard Index (HI) and Cancer Risk Index (CR). The results revealed that the HI at all sampling points was below 1, indicating that non-carcinogenic risks from metals do not pose a threat to human health at any of the studied locations. Furthermore, the CR for metals such as As, Pb, and Cd, which have a higher potential for carcinogenicity, was estimated to be zero at all sampling stations, suggesting no carcinogenic risk from drinking water metals at these sites. Based on the calculated health risks, there is no threat to consumer health from heavy metals in Ahvaz's drinking water.

Cite this article: Tayebe Bagheri Lotfabad , Naghmeh Orooji, Amirhossein Afghari , Gholamreza Raeesi , Afshin Hatami (2024) , Assessment of Health Risks Posed by Heavy Metals in the Drinking Water of Ahvaz City and Its Sources (Karun and Dez Rivers), Journal of Environmental Sciences Studies, 10 (1),Pages 9889 – 9901.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The availability of freshwater in river basins is essential for agricultural, industrial, and cultural development, with sustainability heavily reliant on a dependable water supply. However, rapid urbanization and industrialization have significantly escalated pollution in river systems, presenting severe environmental challenges. Among various pollutants, heavy metals are particularly concerning due to their persistence, toxicity, and potential for bioaccumulation. These metals, introduced into rivers through industrial discharges, agricultural runoff, and improper waste disposal, profoundly affect aquatic ecosystems and human health. The bioaccumulation and biomagnification of heavy metals in the food chain can result in toxic effects, including damage to the neurological, circulatory, and immune systems. Prolonged exposure to certain heavy metals, such as cadmium and chromium, may also lead to carcinogenic effects. In the Karun-Dez river basin—a critical region for fish farming and drinking water supply in southern Iran—the presence of metal industries, petrochemical plants, and oil activities has heightened concerns about metal pollution. This study assesses the carcinogenic and non-carcinogenic risks associated with heavy metal exposure from drinking water sources in the region, providing crucial insights for decision-makers responsible for managing treatment plants and the rivers that supply them.

Materials and methods

This study investigated the Karun and Dez rivers in Khuzestan Province, which are key water sources for Ahvaz's treatment plants 1 to 5. Sampling was conducted during the wet season (winter 2022) and the dry season (summer 2023) at designated locations. Heavy metal concentrations were analyzed using ICP-OES. Health risks were assessed, focusing on both non-carcinogenic and carcinogenic effects. Non-carcinogenic risks were evaluated using the Hazard Quotient (HQ) and Hazard Index (HI), while carcinogenic risks were calculated based on the Cancer Slope Factor (CSF) for metals such as As, Cd, and Pb. The study identified potential health risks through the evaluation of HI and CR values.

Results and discussion

Our recent report on the analysis of metal concentrations in water samples revealed that they were below the WHO's standard limits. Furthermore, the report indicates that, based on heavy metal pollution indices, the water in the studied areas is not considered polluted. However, water entering the treatment plants during winter lacks suitable quality for drinking before treatment. It was also found necessary to optimize the use of coagulants in the treatment plants to reduce concentrations of aluminum (Al) and iron (Fe) in the outflows. This study assessed the health risks of heavy metals by considering both ingestion and dermal exposure, evaluating non-carcinogenic and carcinogenic effects on adults and children. For this purpose, Hazard Quotient (HQ), Hazard Index (HI), and Cancer Risk (CR) values were calculated based on Average Daily Dose (ADD) and Reference Dose (RfD) for each metal. The results showed that HQ values for both children and adults were below 1 for all measured metals at sampling points, indicating no significant health risk from these metals. Notably, HQ values were higher for children compared to adults, suggesting that children are more vulnerable in the same environment. The HI index was also below 1 at all sampling points, meaning that, according to USEPA standards, the water can be considered safe for consumption for both children and adults. Therefore, non-carcinogenic risks from metals do not pose a threat to human health at any of the studied stations. Additionally, since the concentrations of metals with higher carcinogenic potential, such as arsenic (As), lead (Pb), and cadmium (Cd), were determined to be zero at the sampling stations, the carcinogenic risk (CR) was also evaluated as zero. According to USEPA standards, there is no significant carcinogenic risk from drinking water at these locations.

Conclusion

This study aims to investigate the concentration of heavy metals in the water sources supplying Ahvaz water treatment plants 1 to 5 (Karun and Dez rivers), as well as the drinking water distribution network of Ahvaz city during the winter of 2022 and the summer of 2023. In this study, non-carcinogenic and carcinogenic risks from the metals present in the water samples were assessed. The health risk assessment results indicate that the drinking water of Ahvaz city, in terms of heavy metal content, poses no health hazard to consumers.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۱
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سنگین در آب شرب شهر اهواز و منابع تامین آن (رودخانه های کارون و دز)

طیبه باقری لطف آباد [۱*]، نغمه عروجی [۲]، امیرحسین افقری [۳]، غلامرضا رئیسی [۴]، افشین حاتمی [۵]

*۱- دانشیار، پژوهشکده زیست فناوری صنعت و محیط زیست، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران.
۲- دکتری، شرکت آب و فاضلاب اهواز، اهواز، ایران.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده زیست فناوری صنعت و محیط زیست، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران.
۴- کارشناسی ارشد، شرکت آب و فاضلاب اهواز اهواز، ایران.
۵- دکتری، شرکت آب و فاضلاب اهواز اهواز، ایران.
*ایمیل نویسنده مسئول: bagheril@nigeb.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۵/۲۴
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۶/۲۷
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۸/۲۲
تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۰۹/۱۳

کلید واژه ها:
فلزات سنگین،
خطر بهداشتی،
کارون،
دز.

چکیده

تعیین کیفیت آب رودخانه‌ها و آب آشامیدنی به لحاظ تاثیر بر سلامت مصرف کنندگان برای تصمیم گیری در خصوص استفاده از آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعه حاضر، خطرات بهداشتی در آب رودخانه‌های کارون و دز و تصفیه خانه‌های شهر اهواز را ارزیابی می‌کند. این مطالعه با هدف اندازه‌گیری فلزات Ag، Al، As، Ba، Cd، Co، Cr، Cu، Fe، Hg، Mn، Mo، Ni، Pb، Sb، Sn، Ti، V و Zn در منابع آبی و شبکه توزیع آب شهری اهواز در دو فصل زمستان (سال ۱۴۰۱) و تابستان (سال ۱۴۰۲) صورت پذیرفت. برای این منظور ازجریان‌های ورودی و خروجی از تصفیه خانه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و شش نقطه از شبکه توزیع مطابق با موقعیت جغرافیایی و پراکندگی در سطح شهر، نمونه برداری انجام گرفت. غلظت فلزات در نمونه‌ها تعیین گردید و ارزیابی خطر بهداشتی با استفاد از شاخص خطر (HI) و شاخص خطر سرطانزایی (CR) انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص خطر HI در کلیه نقاط نمونه برداری، کمتر از ۱ است و بنابراین، تصور می شود که خطرات غیر سرطانزای ناشی از فلزات در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، سلامتی انسان را تهدید نمی‌کند. علاوه براین، خطر سرطانزایی CR برای فلزات As، Pb و Cd که احتمال سرطانزایی بالاتری دارند، در کلیه ایستگاه‌های نمونه‌برداری صفر برآورد گردید، که این امر نشان می‌دهد احتمال سرطانزایی ناشی از فلزات آب آشامیدنی در این نقاط وجود ندارد. براساس ریسک بهداشتی محاسبه شده، خطری سلامت مصرف کنندگان را در خصوص فلزات سنگین در آب شرب اهواز تهدید نمی‌کند.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2024.473367.2292

۱-مقدمه

در د سترس بودن آب شیرین در حو ضه‌های رودخانه منبعی حیاتی ا ست که زیربنای تحولات ک شاورزی، صنعتی و فرهنگی می‌با شد. پایداری این تحولات متنوع به تامین آب قابل اعتماد در حو ضه ب ستگی دارد. در دهه های اخیر، افزایش صنعتی شدن و تو سعه شهری منجر به افزایش قابل توجه آلودگی در سیستم‌های رودخانه‌ای شده است (Naqash *et al.*, 2023). به دلیل شهرنشینی سریع، رشد جمعیت و علل طبیعی، امنیت آب برای اهداف مختلف، مانند شرب و آبیاری و صنایع وابسته رو به رشد در حوضه‌های رودخانه‌ای ضروری است. از سوی دیگر، تأثیر جمعی فعالیت‌های انسانی در این مناطق ممکن است منجر به تشدید بارهای آلودگی در حوضه رودخانه شود که به عنوان یک نگرانی زیست‌محیطی مهم در دهه‌های اخیر ظهور کرده است. تخلیه پساب های خانگی، صنعتی و کشاورزی به دلیل تأثیر زیاد آن بر تعادل اکولوژیکی رودخانه‌ها، که منجر به تخریب کیفیت آب می شود، نگرانی‌های اساسی را ایجاد می کند (Karki *et al.*, 2024.) فعالیت‌های طبیعی و انسانی در حوضه‌های رودخانه، بار املاح، مانند فلزات سنگین، مواد آلی و سایر آلاینده‌ها را در حوضه رودخانه افزایش داده و به این ترتیب رودخانه‌ها ناقل اصلی این آلاینده‌ها از مکانی به مکان دیگر خواهند بود (Karki *et al.*, 2024). در میان مجموعه‌ای از آلاینده‌ها، فلزات سنگین به دلیل پتانسیل سمیت شناخته شده، تمایل به تجمع در موجودات زنده و حضور پایدار در دوره‌های زمانی طولانی، به‌عنوان مو ضوعی قابل توجه برج سته می شوند (Naqash *et al.*, 2023). فلزات سنگین به دلیل توزیع گ سترده، تجزیه ناپذیری زی ستی و تأثیر زیاد بر اکو سی ستم‌ها، توجه جهانی را در حوزه آلودگی محیطی به خود جلب کرده اند (Karki *et al.*, 2024.) مانند سایر آلاینده‌ها، فلزات سنگین از طریق منابع انسانی و طبیعی متنوع، از جمله تخلیه‌های صنعتی، رواناب‌های کشاورزی و دفع نادرست زباله‌های الکترونیکی، که آلاینده‌ها را در منابع آبی آزاد می‌کنند، وارد سیستم‌های رودخانه‌ای می‌شوند. فعالیت‌های انسانی، فرآیندهای صنعتی، احتراق سوخت‌های فسیلی، ا ستخراج معادن، ذوب، آتش سوزی جنگل‌ها، دفع زباله‌های شهری و استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، سطح آلاینده‌ها را از اوایل قرن بیستم به‌طور قابل‌توجهی افزایش داده‌اند. علاوه بر این، فرآیندهای زمین شنا سی و هوازدگی سنگ‌ها به طور طبیعی می‌توانند فلزات سنگین را به رودخانه‌ها رها کنند، اما فعالیت‌های انسانی این مسائل را بیشتر تشدید می‌کنند و در نتیجه سطوح فلزات سنگین در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای افزایش می‌یابد. این فعالیت‌ها در تغییرات مکانی-زمانی توزیع فلزات سنگین در سیستم‌های آبی سهیم هستند. این افزایش آلاینده‌ها منجر به آلودگی گسترده اکوسیستم‌های طبیعی آبی و زمینی توسط فلزات سنگین شده است. افزایش غلظت فلزات سنگین عمیقاً بر رفاه جوامع تأثیر می‌گذارد و تعادل اکولوژیکی حوضه‌های رودخانه را مختل می‌کند و منجر به تخریب کیفیت آب می‌شود. علاوه بر این، افزایش استفاده از منابع آب، چالش اساسی حفظ ا ستانداردهای کیفیت آب را ت شدید می‌نماید. در نتیجه، درک جامع تغییرات ف ضایی فلزات سنگین در آب‌های رودخانه‌های مختلف برای ارزیابی کاربرد آن‌ها برای اهداف گوناگون در مناطق مختلف جغرافیایی، امری ضروری است (Karki *et al.*, 2024). اکوسیستم‌های آبی اغلب به‌عنوان گیرنده های نهایی آلاینده های مختلف عمل می‌کنند. در نتیجه، وجود آلودگی فلزات سنگین در محیط های آبی نگرانی‌های قابل‌توجهی را در رابطه با تأثیر مستقیم آن بر موجودات زنده و پیامدهای غیرمستقیم آن برای سلامت انسان ایجاد می‌نماید. تجمع زیستی[۱] و بزرگنمایی زیستی[۲] فلزات سنگین به اثرات سمی آن‌ها کمک می‌کند و آن‌ها را از نظر اثرات زیست محیطی نگران کننده می‌نماید (Khan *et al.*, 2023). فرآیند انباشت زیستی سمیت را در طول زنجیره غذایی تقویت می‌کند و خطراتی را برای اکوسیستم های آبی و سلامت انسان ایجاد می‌نماید. تجمع فلزات سنگین در بافت ها و کبد انسان‌ها و حیوانات بر سیستم عصبی، گردش خون و ایمنی تأثیر منفی می گذارد. علاوه بر این، برخی از فلزات سنگین مانند کادمیوم و کروم، زمانی که برای مدت طولانی در بدن ذخیره می‌شوند، می‌توانند خواص سرطانزایی از خود بروز دهند (Karki *et al.*, 2024; Khan *et al.*, 2023). علاوه بر این، فلزات سنگین ممکن است با پروتئین‌های هسته‌ای همراه با DNA اندرکنش داشته باشند که ممکن است باعث آسیبDNA ، پراکسیداسیون لیپیدی و فعال شدن مسیرهای سیگنالینگ شود. به طور مشابه، موجودات آبزی که برای پایش زیستی و تنظیم آلاینده‌های آلی در اکوسیستم‌های آبی ضروری هستند، نیز تحت تأثیر تداخل فلزات سنگین در منابع آب قرار گرفته‌اند (Karki *et al.*, 2024). از سوی دیگر، برخی از فلزات سنگین، از جمله جیوه، کادمیوم، کروم، سرب و آرسنیک، قابلیت تبدیل به ترکیبات فلزی پایدار با سمیت بالا را دارند. این فلزات سنگین مدت‌ها ست که به‌عنوان عوامل ا صلی آلودگی آب شناخته شده‌اند و به دلیل سمیت، ماندگاری، تجزیه‌ناپذیری و تمایل به تجمع در موجودات زنده، تهدیدات قابل‌توجهی برای اکوسیستم‌های آبی ایجاد می‌کنند(Karki *et al.*, 2024). علاوه بر این، برخی فلزات سنگین، از جمله Cd، Cr، Ni، As، Pb و Fe (در غلظت‌های بالا)، سمیت بالایی از خود نشان می‌دهند (Khan *et al.*, 2023.) م شخص شده ا ست که برخی از فلزات سنگین ب سته به دوز و مدت قرار گرفتن در معرض، دارای اثرات سرطانزا، جهش زا و

[۱] bioaccumulation
[۲] biomagnification

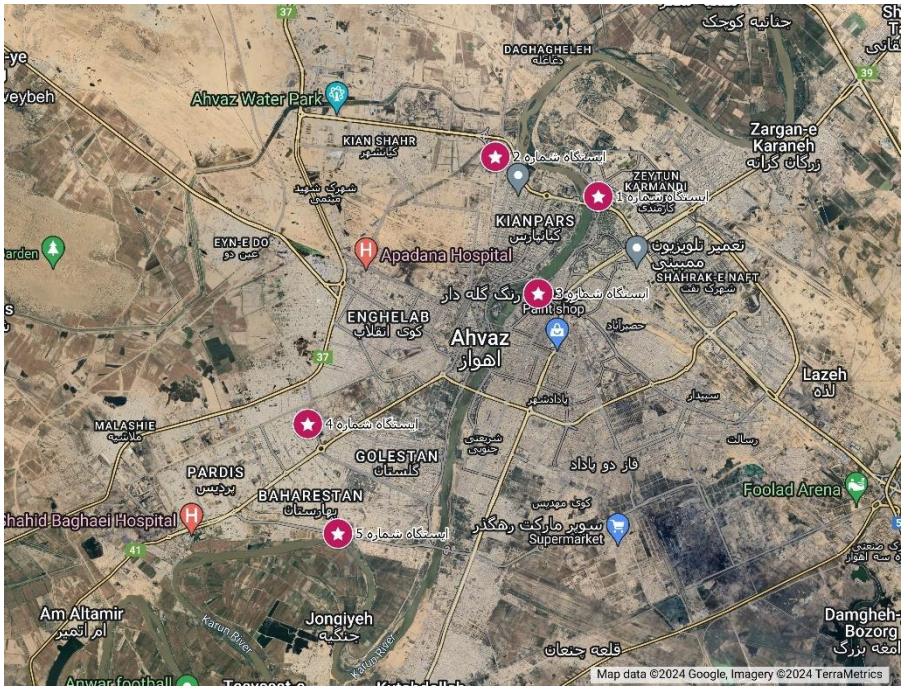
تراتوژن بر روی گونه‌های مختلف هستند (Hossen and Mostafa, 2023). چنین خطراتی ناشی از فلزات سنگین را می‌توان در یک ترم که رویکردهای مختلفی را شامل می‌شود، مانند ارزیابی خطر سلامت انسان و محیط زیست، اندازه گیری نمود. مطالعات متعددی خطرات مرتبط با سلامت انسان و سیستم اکولوژیکی آب رودخانه‌ها را به ویژه در مورد کشورهای توسعه یافته ارزیابی کرده‌اند. این ارزیابی‌ها برای درک منشاء، توزیع، سرنوشت و اثرات سمیت شناسی فلزات سنگین در آب‌های سطحی مورد نیاز است و به مدیریت مناسب منابع آب و حفاظت از سلامت عمومی کمک می‌کند. علاوه بر این، چنین ارزیابی‌هایی به انتخاب تکنیک‌های مناسب پاک سازی آب‌های آلوده کمک می‌نماید (Karki *et al.*, 2024). یکی از مهم ترین روش ها برای ارزیابی اثرات نامطلوب احتمالی قرار گرفتن انسان در معرض آلاینده‌های خطرناک، ارزیابی خطر سلامت[۳] است. اطلاعات به دست آمده از ارزیابی خطرات، به عنوان یکی از ابزارهای حیاتی برای کمک به تصمیم گیرندگان در مدیریت محیط زیست و سلامت استفاده می‌شود (Abedi Sarvestani and Aghasi, 2019.) رویکرد ارزیابی خطر سلامت انسان، که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (USEPA) توسعه یافته است، به طور گسترده برای تخمین خطر بالقوه سلامت مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی، این ارزیابی یک رویکرد مبتنی بر خطر است که "ریسک" را به صورت نسبت یک قرار گیری در معرض به یک سطح "ایمن" از پیش تعیین شده برای آن قرار گیری در معرض، تعریف می‌کند (Li *et al.*, 2020). مطالعات نشان می‌دهد که تا ۹۰ در صد سرطان‌ها مربوط به مواد سرطانزای شیمیایی است و خطرات سلامتی ناشی از این مواد شیمیایی ارتباط نزدیکی با میزان آلودگی فلزات سنگین در آب دارد. بنابراین، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و خطرات سلامتی در آشکار کردن ویژگی‌های آب به لحاظ سلامت انسان و محیط‌های آبی مهم است و یکی از حوزه‌های تحقیقاتی جاری در زمینه ژئوشیمی فلزات سنگین است (Chen *et al.*, 2024). حوضه رودخانه کارون–دز یکی از مهم‌ترین مناطق پرورش ماهی در جنوب کشور است که منبع اصلی تأمین آب شرب برای ده‌ها شهر و روستا نیز می‌باشد. اما، کشتیرانی در این رودخانه و حضور گسترده صنایع فلزی، پتروشیمی و نفت در حاشیه‌های آن، موجبات نگرانی آلاینده‌های فلزی در این منابع آبی را به وجود می‌آورد. از اینرو، مقدار فلزات در رودخانه‌های کارون و دز، به عنوان منابع تغذیه تصفیه‌خانه‌های شماره ۱ تا ۵ اهواز، و نیز خروجی‌های این تصفیه‌خانه‌ها و شش نقطه از شبکه توزیع مختلف بررسی گردید. بررسی سطح غلظت این فلزات در مقایسه با مقادیر مجاز استانداردهای ملی و بین المللی و نیز ارزیابی شاخص‌های آلودگی فلزی نمونه‌های جمع آوری شده در گزارش قبلی ما منتشر گردید (Bagheri Lotfabad *et al.*, 2024). در این مطالعه، خطرات سرطانزا و غیر سرطانزای ناشی از مصرف آب این نقاط بررسی شده است.

۲-روش انجام تحقیق

- **نمونه برداری و محل‌های آن**

در این مطالعه، رودخانه‌های کارون و دز در استان خوزستان ، به عنوان منابع تغذیه تصفیه‌خانه‌های شماره ۱ تا ۵ اهواز، مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به گستردگی این رودخانه‌ها و اهمیت ویژه‌ای که کیفیت آب این رودخانه‌ها برای مصرف‌های گوناگون دارد، محل آبگیر تصفیه‌خانه‌های آب شرب شهرستان‌های اهواز به عنوان ناحیه مورد بررسی تعیین شد. در این راستا، تصفیه‌خانه‌های ۱ تا ۵ اهواز و شش نقطه توزیع آب در شهر اهواز تحلیل و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. در دو فصل زمستان ۱۴۰۱ (فصل تر) و تابستان ۱۴۰۲ (فصل خشک)، نمونه‌برداری از ایستگاه‌های مشخص شده با سه بار تکرار صورت گرفت. این نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی که از قبل با اسید شسته شده بودند جمع‌آوری شدند. برای تعیین غلظت فلزات در هر نمونه، از دستگاه طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) مدل ES-730 ساخت کمپانی Varian استفاده شد (Reeve, 2006).

[۳] Health risk assessment



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

- **تجزیه و تحلیل داده‌ها**

در این پژوهش، نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۶ برای انجام محاسبات و رسم نمودار استفاده شد. برای نمایش موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری روی نقشه، از ابزار نقشه برداری گوگل استفاده گردید.

- **سنجش خطرات بهداشتی**

ارزیابی خطرات بهداشتی به دو دسته خطرات سرطانزا و غیر سرطانزا تقسیم می‌شوند. هر دو دسته بر اساس احتمال تأثیر نامطلوب آلاینده‌های هر دسته در طول عمر تعریف می شوند. ارزیابی خطر بهداشتی با محاسبه احتمال تأثیر بهداشتی نامطلوب بر بدن انسان، به تعیین خطر برای فرد در مواجهه با یک آلاینده کمک می‌کند (El Morabet *et al.*, 2024).

- **خطر غیر سرطانزا**

ارزیابی خطرات بالقوه بهداشتی غیر سرطانزا مرتبط با حضور فلزات سنگین، مستلزم استفاده از ضریب خطر (HQ)[۴] است. این ارزیابی، غلظت فلز را در آب در نظر می‌گیرد که هم از طریق قرار گرفتن در معرض پوست و هم از طریق نوشیدن مستقیم (به ترتیب پوستی[۵] و خوردن[۶]) با بدن انسان در تماس است (Karki *et al.*, 2024). به این ترتیب، ضریب خطر با تعیین میانگین دوز روزانه (ADD)[۷] برای بلع و مواجهه پوستی با استفاده از معادلات ۱ و ۲ محاسبه می‌گردد (Ustaoğlu and Aydın, 2020).

$$ADD_{ingestion} = \frac{C_i \times IR \times ABS_g \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (۱)$$

$$ADD_{dermal} = \frac{C_i \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (۲)$$

در این معادلات، $ADD_{ingestion}$ میانگین دوز روزانه از طریق بلع و ADD_{dermal} میانگین دوز روزانه توسط جذب پوستی را بر حسب mg/kg/d نشان می‌دهند. C_i، غلظت فلز را در آب برحسب mg/L نمایش می‌دهد. سایر پارامترهای مربوط به معادلات ۱ و ۲ در جدول ۱ به صورت خلاصه معرفی شده‌اند.

[۴] Hazard Quotient
[۵] dermal
[۶] ingestion
[۷] average daily dose

جدول ۱. پارامترهای مربوط به ارزیابی خطر فلزات سنگین

پارامتر	مقدار مرجع	واحد	مرجع
Ingestion rate (*IR*)	Child-۰.۶۴; Adult-۲	L d^{-1}	(Ustaoğlu and Aydın, 2020; Xiao *et al.*, 2019; Xie and Ren, 2022)
GS absorption factor (ABS_g)	Ag-۰.۰۴; Al-۰.۲; As-۰.۹۵; Ba-۰.۰۷; Cd-۰.۰۵; Cr-۰.۰۳۸; Cu-۰.۵۷; Fe-۰.۰۱۴; Hg-۰.۰۷; Mn-۰.۰۶; Ni-۰.۰۴; Pb-۰.۱۱۷; Zn-۰.۲	dimensionless	(Ustaoğlu and Aydın, 2020; Xiao *et al.*, 2019)
Exposure factor (*EF*)	۳۶۵	days/year	(Akpanowo *et al.*, 2021; Ustaoğlu and Aydın, 2020)
Exposure duration (*ED*)	Child-۶; Adult-۷۰	years	(Akpanowo *et al.*, 2021; Ustaoğlu and Aydın, 2020; Xiao *et al.*, 2019; Xie and Ren, 2022)
Average lifetime (*AT*)	Child-۲,۱۹۰; Adult-۲۵,۵۵۰	days	(Akpanowo *et al.*, 2021; Ustaoğlu and Aydın, 2020; Xiao *et al.*, 2019; Xie and Ren, 2022)
Average body weight (*BW*)	Child-۲۰; Adult-۶۵	kg	(Ustaoğlu and Aydın, 2020; Xiao *et al.*, 2019; Xie and Ren, 2022)
Skin exposure area (*SA*)	Child-۶۶۰۰; Adult-۱۸,۰۰۰	cm^2	(Akpanowo *et al.*, 2021; Ustaoğlu and Aydın, 2020; Xiao *et al.*, 2019; Xie and Ren, 2022)
Permeability coefficient (*K p*)	۰.۰۰۰۱ for Pb; ۰.۰۰۱ for As, Al, Ba, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn; ۰.۰۰۳ for Cr; ۰.۰۰۴ for Ni and Co; ۰.۰۰۰۶ for Ag and Zn	cm/h	(Ustaoğlu and Aydın, 2020; Xiao *et al.*, 2019)
Exposure time during bathing and shower (*ET*)	Child-۱ Adult-۰.۵۸	h/day	(Xiao *et al.*, 2019; Xie and Ren, 2022)
Unit conversion factor (*CF*)	$۱۰^{-۳}$	L cm^{-3}	(Ustaoğlu and Aydın, 2020)

پتانسیل خطرات غیر سرطانزا با استفاده از ضریب خطر HQ سنجش شد. HQ با استفاده از معادله ۳ محاسبه می شود. وقتیکه HQ بزرگتر از ۱ باشد، اثرات غیر سرطانزا می‌بایستی مورد بررسی قرار گیرند (Xiao *et al.*, 2019).

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (۳)$$

RfD مقدار دوز مرجع است، این مقدار برای بلع (RfD_{ing}) و برای تماس پوستی (RfD_{derm}) برحسب mg/kg/day در جدول ۲ ارائه شده است (Xiao *et al.*, 2019).

کل خطرات غیر سرطانزای بالقوه ناشی از مسیرهای مختلف، توسط شاخص خطر (HI)[۸] ارزیابی می‌شود. از اینرو، HI به عنوان یک ابزار واقعی برای ارزیابی خطرات سلامتی ناشی از فلزات سنگین مختلف عمل می‌کند. همانطور که در معادله ۴ نشان داده شده است، HI به صورت مجموع ضریب خطر فردی برای هر دو مسیر مصرف و جذب پوستی بیان می شود. اگر HI> ۱ بود، می‌بایستی اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر سلامت انسان در نظر گرفته شود (Akpanowo *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2020; Xiao *et al.*, 2019).

$$HI = \sum(HQ_{ing} + HQ_{derm}) \quad (۴)$$

[۸] Hazard Index

جدول ۲. دوز مرجع (RfD) برای تعیین خطر بهداشتی (Ustaoğlu and Aydın, 2020; Xiao *et al.*, 2019)

فلز	RfD_{ing} mg/kg/day	RfD_{derm} mg/kg/day
Ag	۰.۰۰۵	۰.۰۰۰۹
Al	۱	۰.۲
As	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۲۸۵
Ba	۰.۲	۰.۰۱۴
Cd	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲۵
Cr	۰.۰۰۳	۰.۰۰۰۰۷۵
Cu	۰.۰۴	۰.۰۰۸
Fe	۰.۷	۰.۱۴
Hg	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۲۱
Mn	۰.۰۲۴	۰.۰۰۰۹۶
Ni	۰.۰۲	۰.۰۰۰۸
Pb	۰.۰۰۱۴	۰.۰۰۰۴۲
Zn	۰.۳	۰.۰۶

- **خطر سرطان‌زایی**

خطر سرطانزایی (CR)[۹] نشان دهنده پتانسیل ابتلا به سرطان در نتیجه قرار گرفتن طولانی مدت در معرض یک ماده سرطانزا است (Karki *et al.*, 2024). خطر سرطانزایی (CR) فلزات سنگین، از تجمع این فلزات در بدن انسان به دلیل قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آن‌ها و فقدان مکانیسم‌های حذف طبیعی ناشی می‌شود، که این منجر به اثرات جهش زا، تراتوژن و سرطانزا می‌گردد (El Morabet *et al.*, 2024). CR با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$CR = ADD \times CSF \quad (۵)$$

در معادله ۵، CSF[۱۰] فاکتور شیب سرطان $(mg/kg/day)^{-1}$ است. در برخی مطالعات CR تنها برای فلز AS محاسبه گردیده است، زیرا AS را تنها عنصر سرطانزا در بین فلزات کم مقدار آنالیز شده در نظر گرفته‌اند و اینکه AS تنها فلزی است که CSF آن برای هر دو مسیر خوراکی و جذب پوستی در دسترس است. در این مطالعات، مقدار CSF برای مصرف خوراکی و در معرض قرار گرفتن پوستی، به ترتیب $(mg/kg/day)^{-1}$ ۱,۵ و $(mg/kg/day)^{-1}$ ۳,۶۶ است (Gao *et al.*, 2019; Saha *et al.*, 2017; Ustaoğlu and Aydın, 2020). اما، مطالعات دیگری وجود دارند که در محاسبه خطر سرطانزایی CR، خطرات بالقوه فلزات Cd و Pb را هم در محاسبات لحاظ نموده‌اند (Abedi Sarvestani and Aghasi, 2019; Badamasi *et al.*, 2023; Umeh *et al.*, 2023; Xie and Ren, 2022). در این مطالعات، تنها CSF مربوط به مسیر جذب خوراکی این فلزات در دسترس است که به ترتیب معادل $(mg/kg/day)^{-1}$ ۱,۵، $(mg/kg/day)^{-1}$ ۶,۳ و $(mg/kg/day)^{-1}$ ۰,۰۰۸۵ برای As، Cd و Pb در نظر گرفته شده است. USEPA (2004) بازه 10^{-6} تا 10^{-4} محدوده قابل قبول یا قابل تحمل برای CR پیشنهاد کرد. از سوی دیگر، زمانی که $CR \geq 10^{-4}$ باشد، این احتمال وجود دارد که اثرات مضر بر سلامت انسان افزایش یابد، در حالیکه $CR < 10^{-6}$ به احتمال زیاد خطرات سلامتی قابل توجهی ندارند (Gao *et al.*, 2019; Saha *et al.*, 2017; Ustaoğlu and Aydın, 2020). وزارت حفاظت از محیط زیست جمهوری خلق چین (MEP) مقدار $CR < 10^{-6}$ را قابل قبول می‌داند (Gao *et al.*, 2019).

۳-نتایج

- **بررسی غلظت فلزات**

میانگین غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های برداشت شده در فصول زمستان و تابستان در جدول ۳ آورده شده است. ما پیش‌تر از در گزارش دیگری که اخیرا منتشر نموده‌ایم (Bagheri Lotfabad et al., 2024) در خصوص غلظت این فلزات، مقایسه آن‌ها با سطوح استاندارد فلزات در آب آشامیدنی براساس استانداردهای ملی ۱۰۵۳ و سازمان بهداشت جهانی (ISIRI 1053, 2010;

[۹] Carcinogenic risk
[۱۰] Cancer slope factor

(WHO, 2008) بحث نموده‌ایم. همچنین، در همان گزارش شـــاخص های آلودگی فلزات اعم از HPI[۱۱]؛ HEI[۱۲]؛ MI[۱۳] و C_d[۱۴] را محاسبه و بررسی نمودیم، در آن گزارش چنین جمعبندی شد که در اکثر موارد، میانگین غلظت فلزات سنگین کمتر از حد مجاز استاندارد بوده است و آب مناطق مورد مطالعه در رده آلوده طبقه‌بندی نمی شود. اما، در فصل زمستان، آب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها، که از رودهای کارون و دز سرچشمه می‌گیرد، قبل از تصفیه کیفیت مناسب آشامیدن را دارا نمی‌باشد. علاوه براین، در آن گزارش اشاره گردید که جهت کاهش غلظت فلزات Al و Fe در جریان‌های خروجی از تصفیه‌خانه‌ها، نیاز به بهینه‌سازی میزان مصرف مواد منعقدکننده در تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد (Bagheri Lotfabad et al., 2024).

- **سنجش پتانسیل خطر سلامتی ناشی از فلزات سنگین برای سلامتی انسان**

مصرف آب آشامیدنی حاوی فلزات با غلظت بالاتر از حداکثر غلظت مجاز برای سلامتی مضر است و می‌تواند باعث ایجاد سرطان‌های مختلف شود. هنگامی که خطر سلامتی انسان ارزیابی می شود، نه تنها غلظت فلز در آب آشامیدنی، بلکه میزان در معرض بودن از طریق بلع و تماس پوستی نیز در نظر گرفته می شود. در این مطالعه اثرات غیر سرطانزا و نیز سرطانزای فلزات سنگین بر سلامت انسان (برای بزرگسالان و کودکان) مشخص شد. برای این منظور، مقادیر HQ، HI و CR بر اساس مقادیر ADD و RfD هر فلز محاسبه گردید.

- **ارزیابی خطرات بهداشتی غیر سرطانزا**

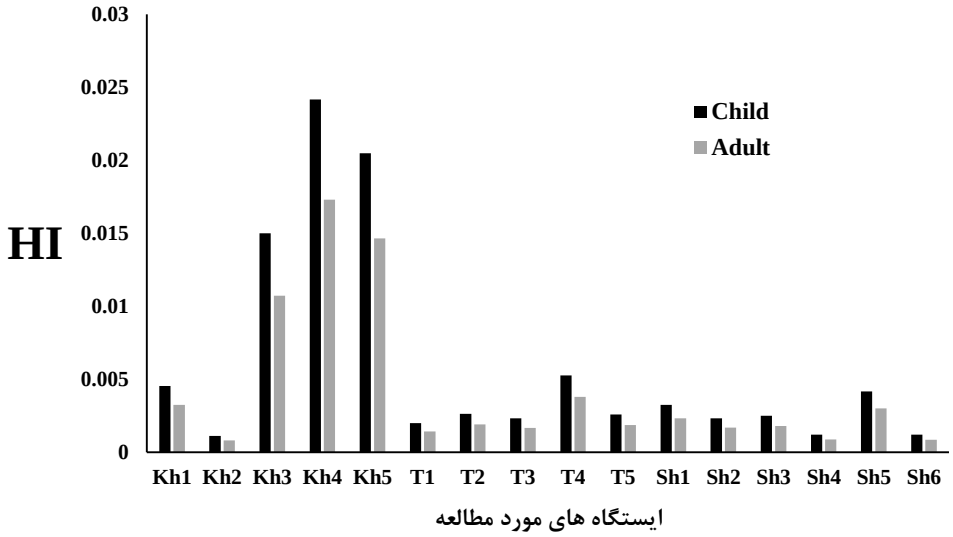
در جدول ۳ مقادیر HQ برای کودکان و بزرگســالان ارائه شــده اســت. همانطورکه داده‌ها نشــان می‌دهند، HQ ها برای تمام فلزات اندازه‌گیری شده در نقاط نمونه برداری کمتر از ۱ هستند. بنابراین، خطر ناشی از این فلزات سلامتی انسان را تهدید نمی‌کند. نکته قابل توجه اینســت که HQ براورد شــده برای تمام فلزات در نقاط مختلف نمونه برداری برای کودکان عدد بزرگتری را نســبت به بزرگســالان نشان می‌دهد، این امر بیان می‌دارند که در مواجهه با یک محیط یکسان، کودکان نسبت به بزرگسالان آسیب پذیرتر هستند (Xiao *et al.*, 2019).

[۱۱] Heavy metal pollution index
[۱۲] Heavy metal evaluation index
[۱۳] Metal index
[۱۴] Contamination degree

جدول ۳. میانگین غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در فصل‌های زمستان و تابستان در ایستگاه‌های مورد مطالعه و ضریب خطر (HQ) برای هر عنصر در نمونه آب هر ایستگاه

فلزات / ایستگاه ها			Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	Zn
Kh1	C_{ave}		۰	۰,۳۱۴۵	۰	۰,۰۵	۰	۰	۰,۰۰۰۷۵	۰	۰,۲۳۵	۰	۰,۰۰۴۲۵	۰,۰۰۲۰۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۱۷۵	۰,۰۰۱۳	۰,۰۰۰۷۵
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۲۶۸۵	۰	۰,۰۰۰۷۵	۰		۰,۰۰۰۴۳۲	۰	۰,۰۰۰۲۰۲	۰	۰,۰۰۰۴۵۷		۰	۰					۲,۱۳×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۱۹۳۵۴۴۴	۰	۰,۰۰۰۵۳۸۵۹۶	۰		۰,۰۰۰۲۹۳۴۳۹	۰	۰,۰۰۰۱۴۴۶۷۹	۰	۰,۰۰۰۳۲۷۰۹		۰	۰					۱,۵۳۸۴۹×۱۰$^{-۵}$
Kh2	C_{ave}		۰	۰,۰۴۳	۰	۰,۰۴۸	۰	۰	۰	۰	۰,۰۱۲۵	۰	۰	۰,۰۰۱۷۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۱۵	۰,۰۰۱۰۵	۰,۰۰۱۰۵
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۰۳۶۷	۰	۰,۰۰۰۷۲	۰		۰	۰	۱,۰۷×۱۰$^{-۵}$	۰	۰		۰	۰					۲,۹۹×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۰۲۶۵	۰	۰,۰۰۰۵۱۷	۰		۰	۰	۷,۷×۱۰$^{-۵}$	۰	۰		۰	۰					۲,۱۵×۱۰$^{-۵}$
Kh3	C_{ave}		۰	۱,۲۲۲۵	۰	۰,۰۵۱۵	۰	۰	۰,۰۰۲۸۵	۰	۰,۹۲۱۵	۰	۰,۰۱۰۱۵	۰,۰۰۱۹	۰,۰۰۲۸	۰	۰	۰	۰,۰۶۷۵	۰,۰۰۲۹	۰,۰۰۰۵
	HQ	Child	۰	۰,۰۱۰۴۳۸	۰	۰,۰۰۰۷۷۲	۰		۰,۰۰۱۶۴۳	۰	۰,۰۰۰۷۹۲	۰	۰,۰۰۱۰۹۲		۰,۰۰۰۲۵۲	۰					۱,۴۲×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۷۵۲۳	۰	۰,۰۰۰۵۵۵	۰		۰,۰۰۱۱۱۵	۰	۰,۰۰۰۵۶۷	۰	۰,۰۰۰۷۸۱		۰,۰۰۰۱۷۳	۰					۱,۰۳×۱۰$^{-۵}$
Kh4	C_{ave}		۰	۲,۱۶۳	۰	۰,۰۵۱	۰	۰	۰,۰۰۳۴۵	۰	۱,۲۱۶۵	۰	۰,۰۱۳۹	۰,۰۰۲	۰,۰۰۴۰۵	۰	۰	۰	۰,۰۹۶	۰,۰۰۳۴۵	۰,۰۰۱۳۵
	HQ	Child	۰	۰,۰۱۸۴۶۷	۰	۰,۰۰۰۷۶۵	۰		۰,۰۰۱۹۸۹	۰	۰,۰۰۱۰۴۶	۰	۰,۰۰۱۴۹۶		۰,۰۰۰۳۶۴	۰					۳,۸۴×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۱۳۳۱۱	۰	۰,۰۰۰۵۴۹	۰		۰,۰۰۱۳۵	۰	۰,۰۰۰۷۴۹	۰	۰,۰۰۱۰۷		۰,۰۰۰۲۵	۰					۲,۷۷×۱۰$^{-۵}$
Kh5	C_{ave}		۰	۱,۷۰۴۵	۰	۰,۰۵۳	۰	۰	۰,۰۰۴۰۵	۰	۱,۳۰۳	۰	۰,۰۱۲۴	۰,۰۰۲	۰,۰۰۳۷	۰	۰	۰	۰,۰۹۰۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۰۰۸۵
	HQ	Child	۰	۰,۰۱۴۵۵۳	۰	۰,۰۰۰۷۹۵	۰		۰,۰۰۲۳۳۵	۰	۰,۰۰۰۱۱۲	۰	۰,۰۰۱۳۳۴		۰,۰۰۰۳۳۲	۰					۲,۴۲×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۱۰۴۹	۰	۰,۰۰۰۵۷۱	۰		۰,۰۰۱۵۸۵	۰	۰,۰۰۰۸۰۲	۰	۰,۰۰۰۹۵۴		۰,۰۰۰۲۲۸	۰					۱,۷۴×۱۰$^{-۵}$
T1	C_{ave}		۰	۰,۰۷۶۵	۰	۰,۰۴۶	۰	۰	۰	۰	۰,۱۹۳۵	۰	۰,۰۰۴۳	۰,۰۰۱۴۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۵	۰	۰,۰۰۱
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۰۶۵۳	۰	۰,۰۰۰۶۹	۰		۰	۰	۰,۰۰۰۱۶۶	۰	۰,۰۰۰۴۶۳		۰	۰					۲,۸۵×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۰۴۷۱	۰	۰,۰۰۰۴۹۶	۰		۰	۰	۰,۰۰۰۱۱۹	۰	۰,۰۰۰۳۳۱		۰	۰					۲,۰۵×۱۰$^{-۵}$
T2	C_{ave}		۰	۰,۱۹۳	۰	۰,۰۴۸	۰	۰	۰	۰	۰,۱۳۴	۰	۰,۰۰۱۲۵	۰,۰۰۱۶	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۶	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۰۷۵
		Child	۰	۰,۰۰۱۶۴۸	۰	۰,۰۰۰۷۲	۰		۰	۰	۰,۰۰۰۱۱۵	۰	۰,۰۰۰۱۳۵		۰	۰					۲,۱۳×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۱۱۸۸	۰	۰,۰۰۰۵۱۷	۰		۰	۰	۸,۲۵×۱۰$^{-۵}$	۰	۹,۶۲E-۰۵		۰	۰					۱,۵۴×۱۰$^{-۵}$
T3	C_{ave}		۰	۰,۱۷۶	۰	۰,۰۴۷۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۳۳۵	۰	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۱۸۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۴۵	۰,۰۰۱۰۵	۰
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۱۵۰۳	۰	۰,۰۰۰۷۱۲	۰		۰	۰	۲,۸۸×۱۰$^{-۵}$	۰	۷,۵۳×۱۰$^{-۵}$		۰	۰					۰
		Adult	۰	۰,۰۰۱۰۸۳	۰	۰,۰۰۰۵۱۲	۰		۰	۰	۲,۰۶×۱۰$^{-۵}$	۰	۵,۳۹×۱۰$^{-۵}$		۰	۰					۰
T4	C_{ave}		۰	۰,۴۸۷۵	۰	۰,۰۴۹	۰	۰	۰	۰	۰,۱۸۶۵	۰	۰,۰۰۱۷	۰,۰۰۱۸۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۱۹۵	۰,۰۰۰۹	۰,۰۰۰۷۵
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۴۱۶۲	۰	۰,۰۰۰۷۳۵	۰		۰	۰	۰,۰۰۰۰۱۶	۰	۰,۰۰۰۱۸۳		۰	۰					۲,۱۳×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۳	۰	۰,۰۰۰۵۲۸	۰		۰	۰	۰,۰۰۰۱۱۵	۰	۰,۰۰۰۱۳۱		۰	۰					۱,۵۴×۱۰$^{-۵}$
T5	C_{ave}		۰	۰,۱۷۳۵	۰	۰,۰۵۲	۰	۰	۰	۰	۰,۰۳۹	۰	۰,۰۰۲۶۵	۰,۰۰۲۰۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۴	۰,۰۰۰۹۵	۰
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۱۴۸۱	۰	۰,۰۰۰۷۸	۰		۰	۰	۳,۳۵×۱۰$^{-۵}$	۰	۰,۰۰۰۲۸۵		۰	۰					۰
		Adult	۰	۰,۰۰۱۰۶۸	۰	۰,۰۰۰۵۶	۰		۰	۰	۲,۴×۱۰$^{-۵}$	۰	۰,۰۰۰۲۰۴		۰	۰					۰
Sh1	C_{ave}		۰	۰,۰۲۶۸	۰	۰,۰۴۷۸۵	۰	۰	۰	۰,۰۰۳۵	۰,۰۲۷۳	۰	۰,۰۰۱۱	۰,۰۰۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۰۸۵
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۰۲۲۹	۰	۰,۰۰۰۷۱۸	۰		۰	۰,۰۰۲۱۲۸	۲,۳۵×۱۰$^{-۵}$	۰	۰,۰۰۰۱۱۸		۰	۰					۲,۴۲×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۰۱۶۵	۰	۰,۰۰۰۵۱۵	۰		۰	۰,۰۰۱۵۳۵	۱,۶۸×۱۰$^{-۵}$	۰	۸,۴۷×۱۰$^{-۵}$		۰	۰					۱,۷۴×۱۰$^{-۵}$
Sh2	C_{ave}		۰	۰,۰۲۴۹۵	۰	۰,۰۴۹۴۵	۰	۰	۰	۰,۰۰۱۸	۰,۰۴۲۵	۰	۰,۰۰۰۸	۰,۰۰۱۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۵۶۵
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۰۲۱۳	۰	۰,۰۰۰۷۴۲	۰		۰	۰,۰۰۱۰۹۵	۳,۶۵×۱۰$^{-۵}$	۰	۸,۶۱×۱۰$^{-۵}$		۰	۰					۰,۰۰۰۱۶۱
		Adult	۰	۰,۰۰۰۱۵۴	۰	۰,۰۰۰۵۳۳	۰		۰	۰,۰۰۰۷۸۹	۲,۶۲×۱۰$^{-۵}$	۰	۶,۱۶×۱۰$^{-۵}$		۰	۰					۰,۰۰۰۱۱۶
Sh3	C_{ave}		۰	۰,۱۱۵۲۵	۰	۰,۰۴۹۲	۰	۰	۰	۰	۰,۲۹۹۸	۰	۰,۰۰۲۷	۰,۰۰۱۳۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۵۱	۰,۰۰۰۶۵	۰,۰۰۸۲
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۰۹۸۴	۰	۰,۰۰۰۷۳۸	۰		۰	۰	۰,۰۰۰۲۵۸	۰	۰,۰۰۰۲۹۱		۰	۰					۰,۰۰۰۲۳۳
		Adult	۰	۰,۰۰۰۷۰۹	۰	۰,۰۰۰۵۳	۰		۰	۰	۰,۰۰۰۱۸۵	۰	۰,۰۰۰۲۰۸		۰	۰					۰,۰۰۰۱۶۸
Sh4	C_{ave}		۰	۰,۰۴۶	۰	۰,۰۴۴۳۵	۰	۰	۰	۰	۰,۰۲۳۷۵	۰	۰,۰۰۰۶۵	۰,۰۰۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۲۱
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۰۳۹۳	۰	۰,۰۰۰۶۶۵	۰		۰	۰	۲,۰۴×۱۰$^{-۵}$	۰	۶,۹۹×۱۰$^{-۵}$		۰	۰					۵,۹۸×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۰۲۸۳	۰	۰,۰۰۰۴۷۸	۰		۰	۰	۱,۴۶×۱۰$^{-۵}$	۰	۵×۱۰$^{-۵}$		۰	۰					۴,۳۱×۱۰$^{-۵}$
Sh5	C_{ave}		۰	۰,۲۲۶۹	۰	۰,۰۵۱۳۵	۰	۰	۰	۰,۰۰۲	۰,۰۰۸۴	۰	۰,۰۰۱۱	۰,۰۰۲	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۵۵	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۲۱
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۱۹۳۷	۰	۰,۰۰۰۷۷	۰		۰	۰,۰۰۱۲۱۶	۷,۲۲×۱۰$^{-۵}$	۰	۰,۰۰۰۱۱۸		۰	۰					۵,۹۸×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۱۳۹۶	۰	۰,۰۰۰۵۵۳	۰		۰	۰,۰۰۰۸۷۷	۵,۱۷×۱۰$^{-۵}$	۰	۸,۴۷×۱۰$^{-۵}$		۰	۰					۴,۳۱×۱۰$^{-۵}$
Sh6	C_{ave}		۰	۰,۰۳۴۹۵	۰	۰,۰۵۳۶	۰	۰	۰	۰	۰,۰۲۲۵	۰	۰	۰,۰۰۱۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۲۸
	HQ	Child	۰	۰,۰۰۰۲۹۸	۰	۰,۰۰۰۸۰۴	۰		۰	۰	۱,۹۳×۱۰$^{-۵}$	۰	۰		۰	۰					۷,۹۷×۱۰$^{-۵}$
		Adult	۰	۰,۰۰۰۲۱۵	۰	۰,۰۰۰۵۷۷	۰		۰	۰	۱,۳۹×۱۰$^{-۵}$	۰	۰		۰	۰					۵,۷۴×۱۰$^{-۵}$

شاخص خطر HI برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید و در نمودار شکل ۲ نمایش داده شده است. مقدار HI در تمام نمونه‌های آب از نظر فلزات طبق استاندارد USEPA (2004) با استفاده از مقدار راهنمای <۱ مورد ارزیابی قرار گرفت (Saha *et al.*, 2017). همانطورکه مشاهده می‌شود، HI در کلیه نقاط نمونه برداری، کمتر از ۱ است و می توان گفت که استفاده از این آب‌ها به عنوان آب آشامیدنی برای کودکان و همچنین بزرگسالان خطر بالقوه ای ندارد بنابراین، تصور می‌شود که خطرات غیر سرطانزای ناشی از فلزات در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، سلامتی انسان را تهدید نمی‌کند (Chen *et al.*, 2024; Naqash *et al.*, 2023; Umeh *et al.*, 2023).



شکل ۲. شاخص خطر (HI) محاسبه شده در نقاط نمونه برداری.

- **ارزیابی خطرات بهداشتی سرطانزا**

با توجه به اینکه غلظت فلزاتی که احتمال سرطانزایی بالاتری دارند، As، Pb و Cd در ایستگاه‌های نمونه‌برداری صفر برآورد گردیده است، بنابراین خطر سرطانزایی CR در کلیه این محل‌های نمونه برداری صفر ارزیابی شده و طبق استاندارد USEPA (2004) احتمال سرطانزایی ناشی از فلزات آب آشامیدنی در این نقاط وجود ندارد (Gao *et al.*, 2019; Saha *et al.*, 2017; Ustaoğlu and Aydın, 2020).

۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آبی تامین کننده تصفیه خانه‌های ۱ تا ۵ اهواز (رودخانه‌های کارون و دز) و همچنین شبکه آب شرب شهر اهواز در زمستان ۱۴۰۱ و تابستان ۱۴۰۲ انجام شده است. در این مطالعه، ریسک‌های غیر سرطان‌زا و سرطان‌زا ناشی از فلزات موجود در نمونه‌های آب ارزیابی شدند. نتایج ارزیابی خطرات بهداشتی نشان می‌دهد که آب شرب شهر اهواز به لحاظ وجود فلزات سنگین، خطری برای سلامت مصرف‌کنندگان ندارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مربوط به طرح تحقیقاتی مصوب پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری (شماره ۸۲۶) می‌باشد که با حمایت شرکت آب و فاضلاب اهواز اجرا شده است.

منابع

- Abedi Sarvestani, R. and Aghasi, M. (2019), "Health risk assessment of heavy metals exposure (lead, cadmium, and copper) through drinking water consumption in Kerman city, Iran", Environmental Earth Sciences, Vol. 78 No. 24, p. 714, doi: 10.1007/s12665-019-8723-0.
- Akpanowo, M.A., Bello, N.A., Umaru, I., Iyakwari, S., Joshua, E., Yusuf, S. and Ekong, G.B. (2021), "Assessment of radioactivity and heavy metals in water sources from Artisanal mining areas of Anka, Northwest Nigeria", Scientific African, Vol. 12, p. e00761, doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00761.
- Badamasi, H., Olusola, J., Durodola, S., Akeremale, O., Ore, O. and Bayode, A. (2023), "Contamination Levels Source Apportionments and Health Risks Evaluation of Heavy Metals from the Surface Water of the Riruwai Mining Area North-Western Nigeria", Pollution, Vol. 9 No. 3, doi: 10.22059/poll.2023.352517.1721.
- Bagheri Lotfabad, T., Orooji, N., Raeesi, G., Hatami, A. and Afghari, A. (2024), "Measurement of heavy metals and pollution indices in the supply sources (Karun and Dez rivers) and the outlets of treatment plants 1 to 5 in Ahvaz", Submitted, p. in Persian-under review.
- Chen, X., Fu, X., Li, G., Zhang, J., Li, H. and Xie, F. (2024), "Source-specific probabilistic health risk assessment of heavy metals in surface water of the Yangtze River Basin", Science of The Total Environment, Vol. 926, p. 171923, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.171923.
- El Morabet, R., Barhazi, L., Bouhafa, S., Dahim, M.A., Khan, R.A. and Dahim, A.M. (2024), "Water quality, heavy metal contamination and health risk assessment of surface water bodies of Mohammedia prefecture, Morocco", Environmental Chemistry and Ecotoxicology, Vol. 6, pp. 33–41, doi: 10.1016/j.enceco.2023.12.002.
- Gao, B., Gao, L., Gao, J., Xu, D., Wang, Q. and Sun, K. (2019), "Simultaneous evaluations of occurrence and probabilistic human health risk associated with trace elements in typical drinking water sources from major river basins in China", Science of The Total Environment, Vol. 666, pp. 139–146, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.148.
- Hossen, Md.A. and Mostafa, M.G. (2023), "Assessment of heavy metal pollution in surface water of Bangladesh", Environmental Challenges, Vol. 13, p. 100783, doi: 10.1016/j.envc.2023.100783.
- ISIRI 1053. (2010), "Drinking water -Physical and chemical specifications", Institute of Standards and Industrial Research of Iran.
- Karki, B.K., Lamichhane, K., Joshi, L., Kc, R., Sah, M.K., Pathak, M. and Karki, K.R. (2024), "Risk assessment of heavy metals in the major surface water system of Nepal with potential remediation technologies", Environmental Challenges, Vol. 14, p. 100865, doi: 10.1016/j.envc.2024.100865.
- Khan, M., Omer, T., Ellahi, A., Ur Rahman, Z., Niaz, R. and Ahmad Lone, S. (2023), "Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water of selected rivers", Geocarto International, Vol. 38 No. 1, p. 2256313, doi: 10.1080/10106049.2023.2256313.
- Li, K., Cui, S., Zhang, F., Hough, R., Fu, Q., Zhang, Z., Gao, S., et al. (2020), "Concentrations, Possible Sources and Health Risk of Heavy Metals in Multi-Media Environment of the Songhua River, China", International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 17 No. 5, p. 1766, doi: 10.3390/ijerph17051766.
- Naqash, N., Jamal, M.T. and Singh, R. (2023), "Heavy Metal Contamination in Surface Water of Harike Wetland, India: Source and Health Risk Assessment", Water, Vol. 15 No. 18, p. 3287, doi: 10.3390/w15183287.
- Reeve, R.N. (2006), Introduction to Environmental Analysis, Repr. with corr., Wiley, New York.
- Saha, N., Rahman, M.S., Ahmed, M.B., Zhou, J.L., Ngo, H.H. and Guo, W. (2017), "Industrial metal pollution in water and probabilistic assessment of human health risk",

Journal of Environmental Management, Vol. 185, pp. 70–78, doi: 10.1016/j.jenvman.2016.10.023.

- Umeh, C.T., Nduka, J.K., Omokpariola, D.O., Morah, J.E., Mmaduakor, E.C., Okoye, N.H., Lilian, E.-E.I., et al. (2023), "Ecological pollution and health risk monitoring assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in surface water, southeastern Nigeria", Environmental Analysis Health and Toxicology, Vol. 38 No. 2, p. e2023007, doi: 10.5620/eaht.2023007.
- USEPA. (2004), "Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment).", US Environment Protection Agency, Washington DC.
- Ustaoğlu, F. and Aydın, H. (2020), "Health risk assessment of dissolved heavy metals in surface water in a subtropical rivers basin system of Giresun (north-eastern Turkey)", DESALINATION AND WATER TREATMENT, Vol. 194, pp. 222–234, doi: 10.5004/dwt.2020.25900.
- WHO. (2008), Guidelines for Drinking-Water Quality [Electronic Resource]: Incorporating 1st and 2nd Addenda,Vol.1, Recommendations, 3rd ed., World Health Organization, Geneva.
- Xiao, J., Wang, L., Deng, L. and Jin, Z. (2019), "Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau", Science of The Total Environment, Vol. 650, pp. 2004–2012, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.322.
- Xie, Q. and Ren, B. (2022), "Pollution and risk assessment of heavy metals in rivers in the antimony capital of Xikuangshan", Scientific Reports, Vol. 12 No. 1, p. 14393, doi: 10.1038/s41598-022-18584-z.