Journal of Preventive Medicine

Spring 2022. Vol 9. Issue 1

Case Study

Assessing the Risk of Carcinogenesis Caused by Exposure to Heavy Metals Through the Consumption of Drinking Water (A Case Study of Bandar Abbas Drinking Water)

Zohreh Kamari[1], Vali Alipour[1], Kavoos Dindarloo[1], Mehdi Fazlzadeh[2], Amin Ghanbarnejad[3], *Hamid Reza Ghaffari[1]

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.
2. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran.
3. Department of Biostatistics, Faculty of Health, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Kamari Z, Alipour V, Dindarloo K, Fazlzadeh M, Ghanbarnejad A, Ghaffari HR. [Assessing the Risk of Carcinogenesis Caused by Exposure to Heavy Metals Through the Consumption of Drinking Water (A Case Study of Bandar Abbas Drinking Water) (Persian)]. Journal of Preventive Medicine. 2022; 9(1):90-101. https://doi.org/10.32598/JPM.9.1.6

https://doi.org/10.32598/JPM.9.1.6

CC BY NC

Article Info:

Received: 21 Apr 2021

Accepted: 24 May 2021

Available Online: 01 Apr 2022

Key words:
Drinking water, Heavy metals, Carcinogenic risk, Bandar Abbas

ABSTRACT

Objective Among the pollutants in water sources, heavy metals are of great concern due to their non-biodegradability characteristics, their ability to accumulate in the food chain, and their adverse and chronic effects on human health. Therefore, this study aims to assess the health risk of exposure to heavy metals through drinking water in Bandar Abbas, Iran.

Methods This descriptive-analytical study was performed on drinking water samples in Bandar Abbas, Iran in 2020. Forty-two samples were taken from the drinking water distribution networks, the point-of-use water treatment devices, and municipal water treatment centers. Heavy metal concentrations in the samples were measured using the inductively coupled plasma mass spectrometry method. The carcinogenic risk of heavy metals was assessed according to probabilistic risk assessment method and Monte Carlo simulation technique.

Results The mean concentrations of arsenic, nickel, lead, and cadmium in drinking water were 1.25, 0.0713, 1.28, and 0.0005 µg/L, respectively. The mean carcinogenic risks of the mentioned metals were 1.23×10-4, 8.89×10-5, 2.07×10-4, and 2.23×10-4, respectively.

Conclusion The average concentrations of heavy metals in drinking water of Bandar Abbas city and their risks, except for arsenic, were lower than the standard level. Although the concentrations and risk levels showed no significant threat for the consumers, more studies are needed especially on the arsenic concentration.

Corresponding Author:
Hamid Reza Ghaffari, PhD.
Address: Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.
Tel: +98 (917) 3686708
E-mail: ghaffarihrz@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

In September 2015, the United Nations adopted the "Sustainable Development Goals" as a common agenda for all countries to achieve sustainable development. Among the 17 ideals proposed for sustainable development, the sixth ideal is dedicated to providing clean water and improving the environment. Therefore, access to safe water is one of the challenges that the world community is facing [1]. Among the types of pollutants in water sources, heavy metals are very worrying due to their non-biodegradability, their ability to accumulate in the food chain, and their acute and chronic adverse effects on human health. Research shows that more than 90% of cancers are caused by external environmental factors [2] that directly or indirectly affect DNA. Molecular epidemiologic research has confirmed that environmental factors are the main causes of human cancer and the degree of influence of these factors also depends on the individual's genetic characteristics and susceptibility [3]. With the development of industrialization and urbanization, the contamination of media with heavy metals has brought a serious threat to human health [3]. Humans are exposed to heavy metals through the environmental media of water, air, and food. People may be exposed to heavy metals from the mentioned routes during their life, and heavy metals received through drinking pose the greatest threat to people's health [5]. The relationship between exposure to heavy metals and the incidence and mortality of cancer has been confirmed [7] and drinking water is considered one of the main routes of exposure to heavy metals [8]. Therefore, this study was conducted to assess the risk of exposure to heavy metals in drinking water in Bandar Abbas.

Methods

This study was conducted in Bandar Abbas, which is one of the southern cities of Iran. To cover all the studied areas based on the city map, the sampling points were chosen uniformly throughout Bandar Abbas. The number of sampling points from the urban water distribution network of Bandar Abbas was determined to be 12. The samples were collected from the water distribution network. Sampling was done using pre-washed polyethylene bottles with distilled water and nitric acid. After sampling, to protect the samples, nitric acid was added to the samples and kept at a temperature of less than 4°C until analysis. In this step, for every 100 ml of sample, 1 ml of nitric acid was added to reduce the pH to less than 3. A total of 42 samples were taken. The samples were transported to the laboratory by observing the cold chain for measuring with an ICP-MS device. For preparation, first, the samples were passed through 0.45 µm filter paper and then the pH of the samples was changed to less than 2 using nitric acid. An Agilent Hp4500 Series equipped with a plasma spectrometer made in the United States was used to analyze the concentration of heavy metals. All test results and their averages are reported. To determine the per capita drinking water consumption of Bandar Abbas city, the residents were asked about the type and amount of drinking water consumption using the Persian Cohort Questionnaire. In order to evaluate the health risk caused by exposure to heavy metals through drinking water in Bandar Abbas, the method proposed by the American Environmental Protection Organization was used.

Results

Table 1 shows the results of the average concentration of heavy metals in the drinking water of Bandar Abbas. According to the results and drinking water standard of Iran (SD=1053) and the World Health Organization (WHO) guideline, the average concentration of all heavy metals in the drinking water of Bandar Abbas was lower than the maximum allowed concentration of the mentioned standards.

Figure 1 shows the daily intake of heavy metals for the risk of carcinogenesis in the drinking water of Bandar Abbas. The lower limit of the blue color shows the 10th percentile and the upper limit shows the 90th percentile.

Table 1. The average concentration of heavy metals (mg/L) in the drinking water of Bandar Abbas

Heavy metals	As	Ni	Pb	Cd
Maximum allowed concentration	1× 10-2	7×10-2	1×10-2	3×10-3
Mean	1.25×10-3	7.13×10-4	1.28×10-2	5.00×10-4
SD	5.2×10-4	4.15×10-4	1.66×10-2	2.77×10-19

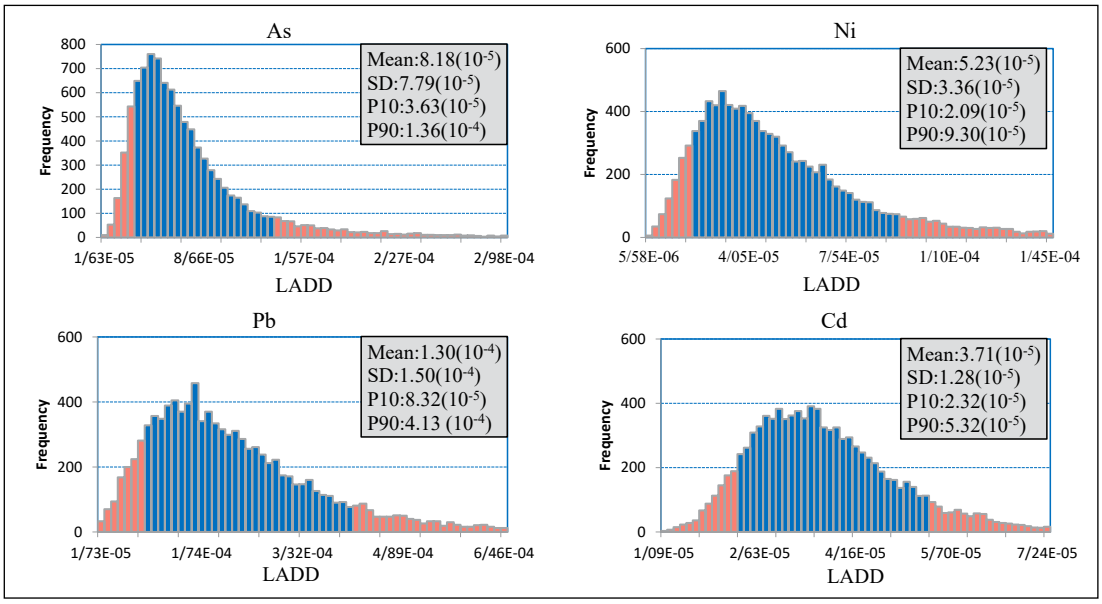


Figure 1. Chart of daily intake (mg/Kg.day) of heavy metals for carcinogenic risk through drinking water in Bandar Abbas

Figure 2 shows the results of the evaluation of carcinogenic risk caused by heavy metals in the drinking water of Bandar Abbas. In the diagrams, the lower limit of the purple color shows the 10th percentile and the upper limit shows the 90th percentile. According to the results, the average carcinogenic risk caused by arsenic for Bandar Abbas was higher than the permissible limit (4-10) set by WHO, and for the rest of the metals, the average carcinogenic risk was lower than the permissible limit (4-10) determined by WHO.

Discussion

According to the results and according to the drinking water standard of Iran and the WHO guidelines, the average concentration of all heavy metals in the drinking water of Bandar Abbas was lower than the maximum allowed concentration of the mentioned standards. In a study conducted on drinking water in Sistan and Balochistan, the average arsenic concentration in this area, like Bandar Abbas city, was lower than the recommended standards, which is consistent with the present study. Also, Rajaei et al. in Zabul showed that the average concentration of arsenic, nickel, and

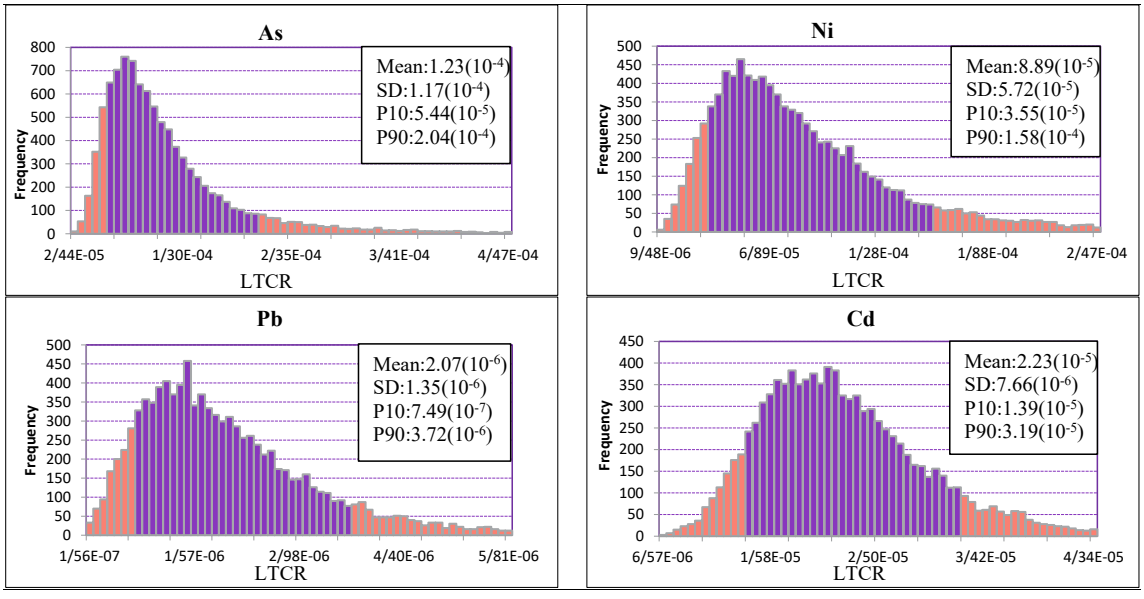


Figure 2. Simulated carcinogenic risk values for a total intake of heavy metals from drinking water in Bandar Abbas

lead is lower than the recommended standards, which is consistent with the present study. According to the results, the average carcinogenic risk caused by arsenic for Bandar Abbas is higher than the standard limit (4-10) set by WHO, and for the rest of the metals, the average carcinogenic risk is lower than the permissible limit (4-10) determined by WHO. Islami et al. in Rafsanjan-Kerman and Tulabi et al. in Bam, Kerman indicated that the risk of carcinogenesis caused by arsenic in drinking water in these cities is higher than the standard set by WHO, which is consistent with the results of the present study. The results of Maleki et al. in Kurdistan, Mirzabigi et al. in Sistan and Baluchistan, respectively, regarding carcinogenic risks caused by nickel and lead in drinking water and also, the results of Dashtizadeh et al. in Zahedan and Shahriari et al. in Zabul regarding the carcinogenic risk caused by cadmium in drinking water in these cities showed that all elements were lower than the standard set by WHO, which is consistent with the results of our study. According to the results, the average concentration of metals measured in Bandar Abbas drinking water and their risk, except for arsenic, was lower than the standard. Although the results of the concentrations and risks do not show a significant threat to the residents, it is suggested that more studies be done, especially on the arsenic concentration, and precautions should be taken into account by the water supply organization and health professionals.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study has ethical approval number IR.HUMS.REC.1398.413 from Hormozgan University of Medical Sciences.

Funding

This article was done with the financial support of Hormozgan University of Medical Sciences.

Authors' contributions

Study design: Hamidreza Ghafari, Vali Alipour, Kavos Dindarlou and Mehdi Fazalzadeh; Sampling, analysis of water samples and data collection: Zohreh Kemari and Hamidreza Ghaffari; Data analysis: Amin Ghanbaranjad and Hamidreza Ghafari; Writing the first draft: Zohra Kemari and Hamidreza Ghaffari. All authors discussed the results and commented on the final version.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors of this article thank and appreciate the financial support of Hormozgan University of Medical Sciences.

This Page Intentionally Left Blank

مقاله موردی

ارزیابی ریسک سرطان‌زایی ناشی از مواجهه با فلزات سنگین از طریق مصرف آب آشامیدنی (مطالعه موردی آب آشامیدنی شهر بندرعباس)

زهره کمری[۱]، ولی علیپور[۱] ، کاووس دیندارلو[۱] ، مهدی فضل‌زاده[۲] ، امین قنبرنژاد[۳] ، *حمیدرضا غفاری[۱]

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم‌پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم‌پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران.
۳. گروه تخصصی آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۰۱ فروردین ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۰۳ خرداد ۱۴۰۰
تاریخ انتشار: ۱۲ فروردین ۱۴۰۱

چکیده

هدف از میان انواع آلاینده‌های منابع آبی فلزات سنگین به‌دلیل عدم تجزیه‌پذیری زیستی، قابلیت تجمع در زنجیره غذایی و اثرات سوء حاد و مزمن بر سلامت انسان بسیار نگران‌کننده هستند. بنابراین این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک سرطان‌زایی مواجهه با فلزات سنگین در آب آشامیدنی در شهر بندرعباس انجام شد.

روش‌ها این مطالعه توصیفی‌تحلیلی بر روی نمونه‌های آب آشامیدنی در شهر بندرعباس در سال ۱۳۹۹ انجام شد. ۴۲ نمونه از شبکه توزیع آب آشامیدنی، دستگاه‌های تصفیه آب خانگی و مراکز تصفیه آب شهری گرفته شد. غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی-اسپکترومتری جرمی اندازه‌گیری شدند. ارزیابی ریسک سرطان‌زایی فلزات سنگین با استفاده از روش احتمالی و تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو صورت گرفت.

یافته‌ها میانگین غلظت آرسنیک، نیکل، سرب و کادمیوم در آب آشامیدنی به ترتیب برابر با $1/28\times10^{-3}$، $7/13\times10^{-4}$، $1/25\times10^{-3}$ و $5/00\times10^{-4}$ (میکروگرم بر لیتر) و ریسک سرطان‌زایی ناشی از فلزات ذکرشده به ترتیب برابر با $1/23\times10^{-4}$، $8/89\times10^{-5}$، $2/07\times10^{-6}$ و $2/23\times10^{-5}$ است.

نتیجه‌گیری با توجه به نتایج میانگین غلظت فلزات اندازه‌گیری‌شده در آب آشامیدنی بندرعباس و ریسک آن‌ها به‌جز آرسنیک پایین‌تر از حد استاندارد بود. اگرچه نتایج غلظت‌ها و ریسک‌ها تهدید قابل‌توجهی برای ساکنان نشان نمی‌دهد، پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری به‌ویژه درمورد غلظت آرسنیک انجام شود.

کلیدواژه‌ها:
آب آشامیدنی، فلزات سنگین، ریسک سرطان‌زایی، بندرعباس

* **نویسنده مسئول:**
حمیدرضا غفاری
نشانی: بندرعباس، دانشگاه علوم‌پزشکی هرمزگان، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط.
تلفن: ۳۶۸۶۷۰۸ (۹۱۷) ۹۸+
پست الکترونیکی: ghaffarihrz@gmail.com

مقدمه

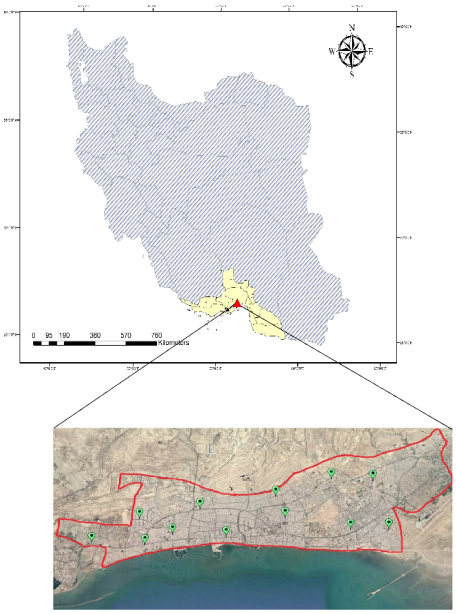
سازمان ملل متحد[1] در سپتامبر سال ۲۰۱۵ آرمان‌های توسعه پایدار را به‌عنوان دستور کار مشترک تمام کشورها برای دست‌یابی به توسعه پایدار به تصویب رساند. از بین ۱۷ آرمان مطرح‌شده برای توسعه پایدار، آرمان ششم آن به تأمین آب سالم و بهسازی محیط اختصاص یافته است. بنابراین دسترسی به آب سالم یکی از چالش‌هایی است که جامعه جهانی با آن روبه‌رو است [۱]. از میان انواع آلاینده‌های منابع آبی، فلزات سنگین به‌دلیل عدم تجزیه‌پذیری زیستی، قابلیت تجمع در زنجیره غذایی و اثرات سوء حاد و مزمن بر سلامت انسان بسیار نگران‌کننده هستند. تحقیقات نشان می‌دهد بیشتر از ۹۰ درصد از سرطان‌ها در اثر عوامل محیطی خارجی ایجاد می‌شوند که مستقیم یا غیرمستقیم بر DNA تأثیر می‌گذارند [۲]. تحقیقات اپیدمیولوژیک مولکولی تأیید کرده است عوامل محیطی، دلایل عمده بروز سرطان انسانی هستند و میزان تأثیر این عوامل به خصوصیات ژنتیکی و حساسیت فرد نیز بستگی دارد [۳]. با توسعه صنعتی‌شدن و شهرنشینی، آلودگی مدیاهای محیطی به فلزات سنگین تهدیدی جدی برای سلامتی انسان به همراه داشته است [۳]. در رتبه‌بندی عوامل سرطان‌زا، برخی فلزات سنگین مانند آرسنیک، کروم، کادمیوم، سرب و جیوه را آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان و آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا به‌عنوان عوامل سرطان‌زا قطعی طبقه‌بندی کردند [۴].

روش‌های مواجهه انسان با فلزات سنگین از طریق مدیاهای محیطی آب، هوا و غذاست. افراد ممکن است در طول زندگی خود از مسیرهای ذکرشده در معرض فلزات سنگین قرار بگیرند. فلزات سنگین دریافتی از طریق آشامیدنی بیشترین تهدید را برای سلامت افراد به وجود می‌آورند [۴]. برای مثال، طبق اعلام سازمان بهداشت جهانی[2]، تقریباً ۱۳۰ میلیون نفر ممکن است در معرض آب آشامیدنی حاوی بیشتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر آرسنیک[3] قرار بگیرند [۵]. با توجه به اینکه در مطالعات گذشته ارتباط مواجهه با فلزات سنگین و بروز و مرگ‌ومیر سرطان تأیید شده است [۳] و آب آشامیدنی یکی از مسیرهای اصلی مواجهه با فلزات سنگین درنظر گرفته می‌شود، این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک مواجهه با فلزات سنگین در آب آشامیدنی در شهر بندرعباس انجام شد [۶].

مواد و روش‌ها

این مطالعه توصیفی‌تحلیلی بر روی نمونه‌های آب آشامیدنی در شهر بندرعباس که از شهرهای جنوبی ایران است، در سال

1. United Nations
2. World Health Organization
3. µgAs/L



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه و نقاط نمونه‌برداری از شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر بندرعباس

۱۳۹۹ انجام شده است. به‌منظور پوشش تمام مناطق موردمطالعه بر اساس نقشه شهر، نقاط نمونه‌برداری به‌صورت یکنواخت در سرتاسر شهر بندرعباس انتخاب شدند. تعداد نقاط نمونه‌گیری از شبکه توزیع آب شهری بندرعباس ۱۲ نقطه تعیین شدند. نقاط نمونه‌گیری در تصویر شماره ۱ نشان داده شده است.

از شبکه توزیع آب آشامیدنی، دستگاه‌های تصفیه آب خانگی و مراکز تصفیه آب شهری، ۴۲ نمونه جمع‌آوری شده است. نمونه‌برداری با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن از پیش شسته‌شده با آب مقطر و اسید نیتریک انجام شد. پس از نمونه‌گیری به منظور حفاظت از نمونه‌ها، اسید نیتریک به نمونه‌ها اضافه و تا قبل از آنالیز در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در این مرحله به ازای هر ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه، ۱ میلی‌لیتر اسید نیتریک برای کاهش pH به کمتر از ۳ اضافه شد. در کل ۴۲ نمونه گرفته شد. برای تعیین سرانه مصرف آب آشامیدنی شهر بندرعباس با استفاده از پرسش‌نامه کوهورت پرشین[4]، اطلاعات نوع و میزان مصرف آب آشامیدنی از ساکنین پرسیده شد.

تحلیل شیمیایی

نمونه‌ها با رعایت زنجیره سرد جهت سنجش با دستگاه پلاسمای جفت‌شده القایی-اسپکترومتری جرمی[5] به آزمایشگاه منتقل شدند. برای آماده‌سازی ابتدا نمونه‌ها از کاغذ صافی ۰/۴۵ میکرون عبور داده و سپس با استفاده از اسید نیتریک، pH نمونه‌ها به کمتر از ۲ رسانده شدند. از دستگاه پلاسمای جفت‌شده

4. Persian Cohort
5. Inductivity Coupled Plasma- Mass Spectrometry (CP-MS)

جدول ۱. حد تشخیص فلزات سنگین موردسنجش در تحقیق

عناصر	کادمیوم	آرسنیک	نیکل	سرب
حد تشخیص (ppb)	۰/۱	۰/۱	۱	۱

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مورداستفاده برای ارزیابی ریسک سرطان‌زایی

پارامتر	فراوانی مواجهه (روز بر سال)	زمان مواجهه (سال)	وزن بدن (کیلوگرم)	امید به زندگی (روز)	فاکتور احتمال ابتلا به سرطان			
					آرسنیک	نیکل	سرب	کادمیوم
مقدار	۲۵۰	۷۰	۷۰	۲۵۵۵۰	۱/۵	۱/۷	۹×۱۰^{-۳}	۰/۶

القایی-اسپکترومتری جرمی[۶] مدل Agilent Series Hp4500، ساخت کشور آمریکا برای تجزیه‌وتحلیل غلظت فلزات سنگین استفاده شد. تمام نتایج آزمایش‌ها و میانگین آن‌ها گزارش شده است. جدول شماره ۱ حد تشخیص دستگاه پلاسمای جفت‌شده القایی-اسپکترومتری جرمی برای سنجش فلزات مختلف نشان می‌دهد.

ارزیابی ریسک بهداشتی

به‌منظور ارزیابی ریسک سلامتی ناشی از مواجهه با فلزات سنگین ازطریق آب آشامیدنی در شهر بندرعباس از روش پیشنهادی سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا استفاده شد. ابتدا با استفاده از فرمول شماره ۱ میزان دُز دریافتی روزانه فلزات محاسبه شد [۷، ۸].

$$1.\ LADD=\frac{c\times IR\times EF\times ED}{BW\times AT}$$

در معادله (میانگین دُز روزانه در طول عمر[۷]) میزان دُز دریافتی روزانه به ازای هر کیلوگرم وزن بدن فرد (میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز[۸])، غلظت فلز[۹]: (میلی‌گرم بر لیتر[۱۰])، میزان مصرف آب[۱۱] (لیتر)، فراوانی مواجهه[۱۲] (روز در سال[۱۳]) ، زمان مواجهه[۱۴] (سال)، وزن بدن[۱۵] (کیلوگرم)، امید به زندگی[۱۶] (به‌طور متوسط ۷۰ سال است).

بعد از محاسبه مقادیر میزان دُز دریافتی روزانه از طریق آشامیدن (بلعیدن) شاخص ریسک سرطان‌زایی[۱۷] از مسیر آشامیدن برای هر فلز با استفاده از فرمول شماره ۲ محاسبه شد [۷، ۸].

$$2.\ CR=LADD\times CSF$$

فاکتور احتمال ابتلا به سرطان[۱۸] یعنی CSF در هر واحد قرارگیری در معرض آلاینده (میلی‌گرم در کیلوگرم در روز): درصورتی که کمتر از $۱۰^{-۶}$ (۱۰ به توان منفی ۶) باشد، خطر سرطان‌زایی وجود ندارد. مقادیر ریسک سرطان‌زایی بالاتر از $۱۰^{-۴}$ (۱۰ به توان منفی ۴ است) نشان‌دهنده احتمال خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین برای مصرف‌کنندگان آب آشامیدنی منطقه مورد مطالعه است. جدول شماره ۲ مقادیر پارامترهای مورد استفاده برای ارزیابی ریسک را نشان‌می‌دهد.

به‌دلیل عدم قطعیت و تغییرپذیری مربوط به مقادیر ثابت پارامترها در معادله شاخص ارزیابی ریسک، محاسبه شاخص ریسک سرطان‌زایی با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو با ۱۰۰۰۰ تکرار با استفاده از نرم‌افزار Oracle Crystal ball انجام شد.

یافته‌ها

جدول شماره ۳، نتایج مربوط به میانگین غلظت فلزات سنگین در آب آشامیدنی شهر بندرعباس را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج و طبق استاندارد آب آشامیدنی ایران (استاندارد ۱۰۵۳) و رهنمود سازمان بهداشت جهانی میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین در آب آشامیدنی شهر بندرعباس کمتر از حداکثر غلظت مجاز استانداردهای ذکر شده است.

تصویر شماره ۲، نتایج مربوط به میزان دریافتی روزانه فلزات سنگین برای ریسک سرطان‌زایی در آب آشامیدنی شهر

6. Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometer (ICP-MS)
7. Lifetime Average Daily Dose (LADD)
8. Mg/Kg.day
9. Concentration (C)
10. Mg/L
11. Ingestion Rate (IR)
12. Frequency of exposure (FE)
13. Days/year
14. Exposure Duration
15. Body Weight (BW)
16. Average Time (AT)
17. Lifetime Cancer Risk (LTCR)
18. Cancer Slope Factor (CSF)

جدول ۳. میانگین غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر لیتر) در آب آشامیدنی شهر بندرعباس

عناصر	آرسنیک	نیکل	سرب	کادمیوم
حد اکثر مجاز	۱×۱۰^{-۲}	۷×۱۰^{-۲}	۱×۱۰^{-۲}	۳×۱۰^{-۳}
میانگین	$۱/۲۵\times۱۰^{-۳}$	$۷/۱۳\times۱۰^{-۴}$	$۱/۲۸\times۱۰^{-۳}$	$۵/۰۰\times۱۰^{-۴}$
انحراف معیار	$۵/۰۲\times۱۰^{-۴}$	$۴/۱۵\times۱۰^{-۴}$	$۱/۶۶\times۱۰^{-۳}$	$۲/۷۷\times۱۰^{-۱۹}$

بندرعباس را نشان می‌دهد. در نمودارهای میزان دریافتی روزانه حد پایینی رنگ آبی صدک ۱۰ و حد بالایی آن صدک ۹۰ را نشان می‌دهد.

تصویر شماره ۳، نتایج مربوط به ارزیابی ریسک سرطان‌زایی ناشی از فلزات سنگین در آب آشامیدنی شهر بندرعباس را نشان می‌دهد. در نمودارهای ریسک، حد پایینی رنگ بنفش صدک ۱۰ و حد بالایی آن صدک ۹۰ را نشان می‌دهد.

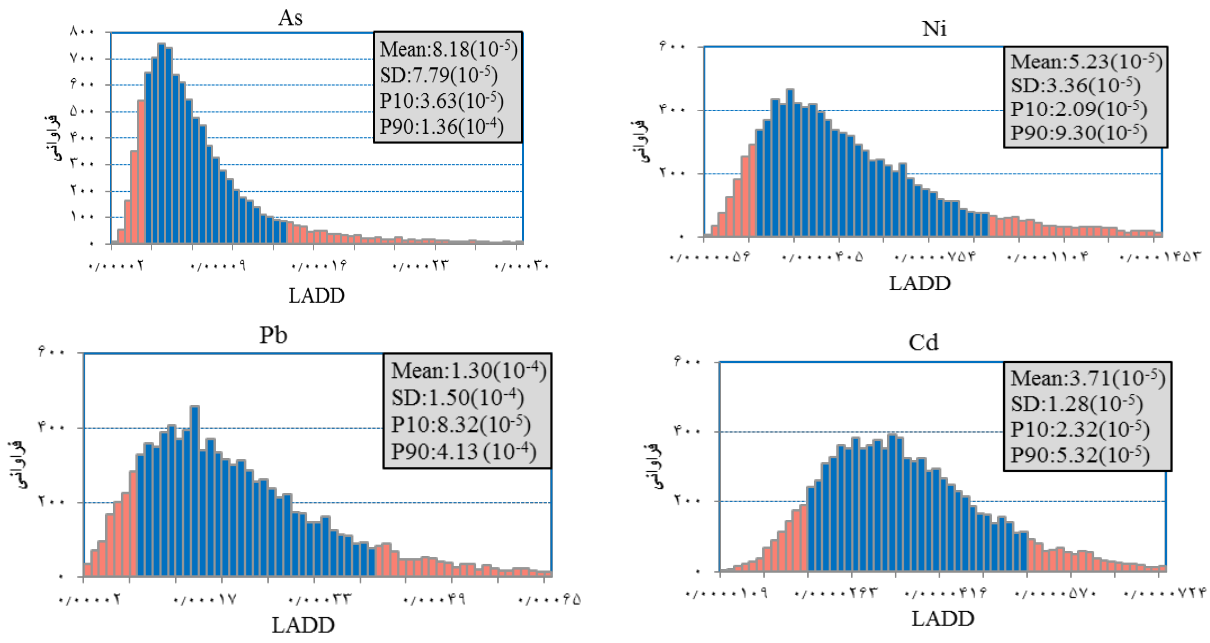
با توجه به نتایج، میانگین ریسک سرطان‌زایی ناشی از آرسنیک برای شهر بندرعباس بالاتر از حد مجاز ($۱۰^{-۴}$) تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است و برای بقیه فلزات میانگین ریسک سرطان‌زایی کمتر از حد مجاز ($۱۰^{-۴}$) تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است.

نتایج تحلیل حساسیت برای پارامترهای ورودی بر روی ریسک سرطان‌زایی در تصویر شماره ۴ نشان داده شده است. سهم نسبی هریک از پارامترهای ورودی در عدم قطعیت و تغییرپذیری ریسک سرطان‌زایی با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن ارزیابی شد. ضریب بالاتر بدون در نظر گرفتن علامت آن (مثبت و منفی) نشان‌دهنده تأثیر بیشتر در عدم اطمینان و تغییرپذیری ریسک سرطان‌زایی است.

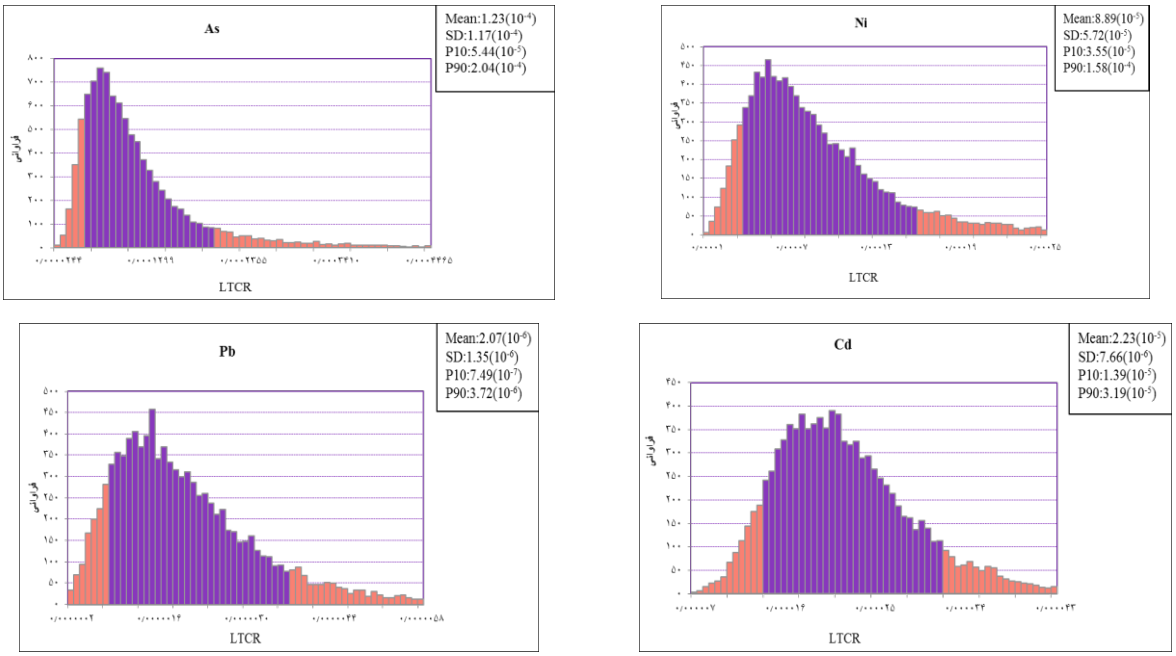
همان‌طور که در تصویر شماره ۴ مشاهده می‌شود، در شهر بندرعباس، میزان مصرف آب لوله‌کشی بیشترین تأثیر در عدم قطعیت و تغییرپذیری ریسک سرطان‌زایی آرسنیک (۶۳/۴ درصد) و کادمیوم (۴۵ درصد)، و میزان آب مصرفی مراکز تصفیه کمترین سهم در عدم قطعیت و تغییرپذیری ریسک سرطان‌زایی آرسنیک (۴/۱ درصد) و کادمیوم (۲۵/۶ درصد) را دارند. غلظت نیکل آب تصفیه خانگی (۴۵/۸ درصد) بیشترین و میزان آب مصرفی مراکز تصفیه (۶ درصد) کمترین سهم در عدم قطعیت و تغییرپذیری ریسک سرطان‌زایی این فلز را دارند. برای سرب نیز غلظت آن در آب لوله‌کشی (۴۰/۳ درصد) بیشترین و میزان آب مصرفی تصفیه خانگی (۱/۱ درصد) کمترین سهم در عدم قطعیت و تغییرپذیری ریسک سرطان‌زایی این فلز را دارند.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج و طبق استاندارد آب آشامیدنی ایران (استاندارد ۱۰۵۳) و رهنمود سازمان بهداشت جهانی، میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین در آب آشامیدنی شهر بندرعباس کمتر از حداکثر غلظت مجاز استانداردهای ذکرشده است. در مطالعه‌ای که در استان سیستان و بلوچستان بر روی آب آشامیدنی انجام



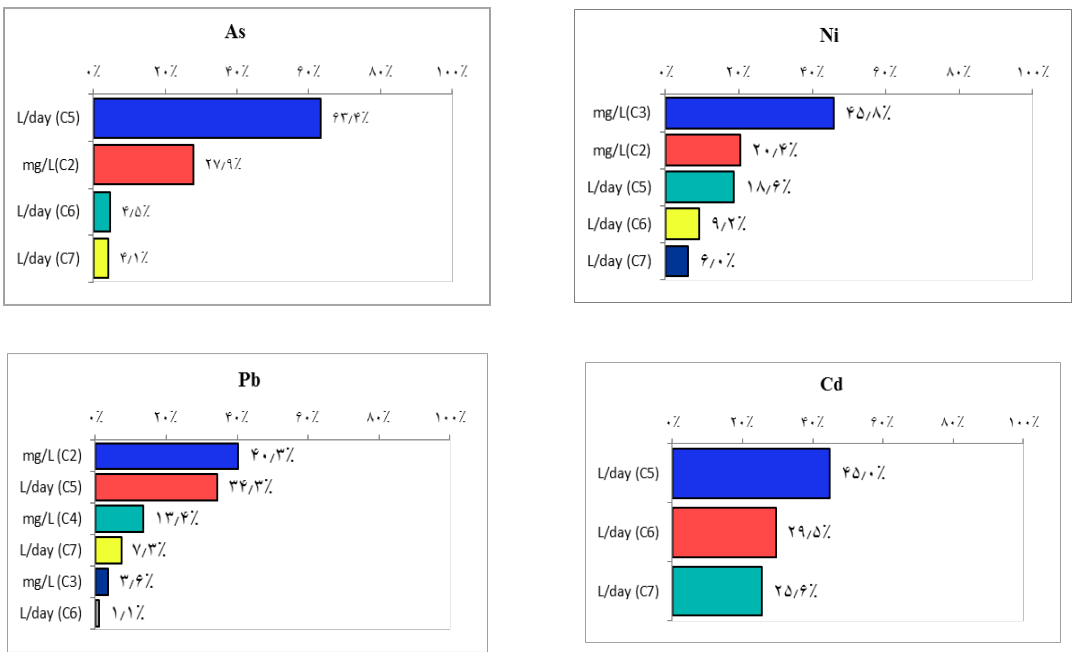
تصویر ۲. نمودار میزان دریافتی روزانه (میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز) فلزات سنگین برای ریسک سرطان‌زایی از طریق آب آشامیدنی در شهر بندرعباس



تصویر ۳. مقادیر ریسک سرطان‌زایی شبیه‌سازی‌شده برای مجموع دریافتی فلزات سنگین از آب آشامیدنی در شهر بندرعباس

شده است، میانگین غلظت آرسنیک این منطقه همانند شهر بندرعباس کمتر از حد استانداردهای توصیه‌شده است که با مطالعه حاضر مطابقت دارد [۹]. همچنین نتایج مطالعه رجایی و همکاران در شهر زابل نشان می‌دهد میانگین غلظت آرسنیک، نیکل و سرب کمتر از حد استانداردهای توصیه‌شده است که با مطالعه حاضر مطابقت دارد [۱۰].

با توجه به نتایج، میانگین ریسک سرطان‌زایی ناشی از آرسنیک برای شهر بندرعباس بالاتر از حد استاندارد (10^{-4}) تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است. برای بقیه فلزات میانگین ریسک



تصویر ۴. تحلیل عدم قطعیت تأثیر پارامترهای ورودی بر روی ریسک سرطان‌زایی فلزات سنگین آب آشامیدنی در شهر بندرعباس

(میلی‌گرم بر لیتر: غلظت فلز در آب آشامیدنی؛ لیتر در روز: میزان مصرف آب)، (C^2: غلظت فلز آب لوله‌کشی، C^3: غلظت فلز آب تصفیه خانگی، C^4: غلظت فلز آب مراکز تصفیه، C^5: آب مصرفی لوله‌کشی، C^6: آب مصرفی تصفیه خانگی، C^7: آب مصرفی مراکز تصفیه)

سرطان‌زایی کمتر از حد مجاز (10^{-4}) تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی می‌باشد.

نتایج مطالعه اسلامی و همکاران در شهر رفسنجان حاکی از آن است که ریسک سرطان‌زایی ناشی از آرسنیک آب آشامیدنی در این شهر بالاتر از حد استاندارد تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد [۱۱].

نتایج مطالعه تولابی و همکاران در شهر بم حاکی از آن است که ریسک سرطان‌زایی ناشی از آرسنیک آب آشامیدنی در این شهر بالاتر از حد استاندارد تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد [۱۲].

میانگین ریسک سرطان‌زایی نیکل در شهر بندرعباس کمتر از حد مجاز (10^{-4}) تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است. مطالعه ملکی و همکاران در شهر کردستان حاکی از آن است که ریسک سرطان‌زایی ناشی از نیکل آب آشامیدنی در این شهر پایین‌تر از حد استاندارد تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد [۱۳].

میانگین ریسک سرطان‌زایی سرب کمتر از حد مجاز (10^{-4}) تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است. نتایج مطالعه میرزابیگی و همکاران در استان سیستان و بلوچستان حاکی از آن است که ریسک سرطان‌زایی ناشی از سرب آب آشامیدنی در این شهر پایین‌تر از حد استاندارد تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد [۱۴]. میانگین ریسک سرطان‌زایی کادمیوم کمتر از حد مجاز (10^{-4}) تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است. در مطالعه دشتی‌زاده و همکاران در شهر زاهدان نتایج حاکی از آن است که ریسک سرطان‌زایی ناشی از کادمیوم آب آشامیدنی در این شهر پایین‌تر از حد استاندارد تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است که با نتایج مطالعه ما مطابقت دارد [۱۵]. همچنین نتایج مطالعه شهریاری و همکاران در شهر زابل نشان می‌دهد ریسک سرطان‌زایی ناشی از کادمیوم آب آشامیدنی در این شهر پایین‌تر از حد استاندارد تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد [۱۶].

با توجه به نتایج، میانگین غلظت فلزات اندازه‌گیری‌شده در آب آشامیدنی بندرعباس و ریسک آن‌ها به‌جز آرسنیک پایین‌تر از حد استاندارد بود. اگرچه نتایج غلظت‌ها و ریسک‌ها تهدید قابل توجهی برای ساکنان نشان نمی‌دهد، پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری به‌ویژه درمورد غلظت آرسنیک انجام شود و سازمان تأمین‌کننده آب و متخصصان بهداشت باید به احتیاط‌ها توجه کنند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه دارای تأییدیه اخلاقی به شماره IR.HUMS.REC.1398.413 از دانشگاه علوم‌پزشکی هرمزگان است.

حامی مالی

این تحقیق با حمایت مالی معاونت تحقیقات دانشگاه علوم‌پزشکی هرمزگان انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی مطالعه: حمیدرضا غفاری، ولی علیپور، کاووس دیندارلو و مهدی فضل زاده؛ نمونه‌برداری، تجزیه‌وتحلیل نمونه‌های آب و جمع‌آوری داده‌ها: زهره کمری و حمیدرضا غفاری؛ تجزیه‌وتحلیل داده‌ها: امین قنبرنژاد و حمیدرضا غفاری؛ نگارش پیش نویس اول: زهره کمری و حمیدرضا غفاری. همه نویسندگان نتایج را مورد بحث قرار دادند و در مورد نسخه نهایی اظهارنظر کردند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت مالی معاونت و تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم‌پزشکی هرمزگان تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

[1] Lim SS, Allen K, Bhutta ZA, Dandona L, Forouzanfar MH, Fullman N, et al. Measuring the health-related sustainable development goals in 188 countries: A baseline analysis from the global burden of disease study 2015. Lancet. 2016; 388(10053):1813-50. [DOI:10.1016/S0140-6736(16)31467-2]

[2] Amin MM, Kazemi A, Eskandari O, Ghias M, Fatehizadeh A, Zare MR. Geographical distribution of stomach cancer related to heavy metals in Kurdistan, Iran. Int J Env Health Eng. 2015; 4:12. [DOI:10.4103/2277-9183.157700]

[3] Yuan W, Yang N, Li X. Advances in understanding how heavy metal pollution triggers gastric cancer. Biomed Res Int. 2016; 2016:7825432. [DOI:10.1155/2016/7825432] [PMID] [PMCID]

[4] Mishra S, Dwivedi SP, Singh RB. A review on epigenetic effect of heavy metal carcinogens on human health. Open Nutraceuticals J. 2010; 3:188-93. [DOI:10.2174/1876396001003010018]

[5] Marchiset-Ferlay N, Savanovitch C, Sauvant-Rochat MP. What is the best biomarker to assess arsenic exposure via drinking water? Environ Int. 2012; 39(1):150-71. [DOI:10.1016/j.envint.2011.07.015] [PMID]

[6] Roshandel G, Ghanbari-Motlagh A, Partovipour E, Salavati F, Hasanpour-Heidari S, Mohammadi G, et al. Cancer incidence in Iran in 2014: Results of the Iranian National Population-based cancer registry. Cancer Epidemiol. 2019; 61:50-8. [DOI:10.1016/j.canep.2019.05.009] [PMID]

[7] Ghaffari HR, Kamari Z, Ranaei V, Pilevar Z, Akbari M, Moridi M, et al. The concentration of potentially hazardous elements (PHEs) in drinking water and non-carcinogenic risk assessment: A case study in Bandar Abbas, Iran. Environmental Research. 2021; 201:111567. [DOI:10.1016/J.Envres.2021.111567] [PMID]

[8] Ghaffari HR, Kamari Z, Hassanvand MS, Fazlzadeh M, Heidari M. Level of air BTEX in urban, rural and industrial regions of Bandar Abbas, Iran; indoor-outdoor relationships and probabilistic health risk assessment. Environmental Research. 2021; 200:111745. [DOI:10.1016/j.envres.2021.111745] [PMID]

[9] Radfard M, Yunesian M, Nabizadeh R, Biglari H, Nazmara S, Hadi M, et al. Drinking water quality and arsenic health risk assessment in Sistan and Baluchestan, Southeastern Province, Iran. Hum Ecol Risk Assess. 2019; 25(4):949-65. [DOI:10.1080/10807039.2018.1458210]

[10] Rajaei G, Mansouri B, Jahantigh H, Hamidian AH. Metal concentrations in the water of Chah nimeh reservoirs in Zabol, Iran. Bull Environ Contam Toxicol. 2012; 89(3):495-500. [DOI:10.1007/s00128-012-0738-0] [PMID]

[11] Eslami H, Esmaeili A, Razaeian M, Salari M, Hosseini AN, Mobini M, et al. Potentially toxic metal concentration, spatial distribution, and health risk assessment in drinking groundwater resources of southeast Iran. Geosci Front. 2022; 13(1):101276. [DOI:10.1016/j.gsf.2021.101276]

[12] Toolabi A, Bonyadi Z, Paydar M, Najafpoor AA, Ramavandi B. Spatial distribution, occurrence, and health risk assessment of nitrate, fluoride, and arsenic in Bam groundwater resource, Iran. Groundw Sustain Dev. 2021; 12:100543. [DOI:10.1016/j.gsd.2020.100543]

[13] Maleki A, Jari H. Evaluation of drinking water quality and non-carcinogenic and carcinogenic risk assessment of heavy metals in rural areas of Kurdistan, Iran. Environ Technol Innov. 2021; 23:101668. [DOI:10.1016/j.eti.2021.101668]

[14] Mirzabeygi M, Abbasnia A, Yunesian M, Nodehi RN, Yousefi N, Hadi M, et al. Heavy metal contamination and health risk assessment in drinking water of Sistan and Baluchistan, Southeastern Iran. Hum Ecol Risk Assess. 2017; 23(8):1893-905. [DOI:10.1080/10807039.2017.1322895]

[15] Dashtizadeh M, Kamani H, Ashrafi SD, Panahi AH, Mahvi AH, Balarak D, et al. Human health risk assessment of trace elements in drinking tap water in Zahedan city, Iran. J Environ Health Sci Eng. 2019; 17(2):1163-9. [DOI:10.1007/s40201-019-00430-6] [PMID] [PMCID]

[16] Shahriyari J, Rezaei MR, Kamani H. [Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in drinking tap water in Zabol city, Iran (Persian)]. J Neyshabur Uni Med Sci. 2020; 8(3):59-75. [Link]