

Risk Analysis of Carcinogenic and Non-Carcinogenic Effects of Heavy Metals in Groundwater of the Eslamshahr Region

Amir Zahraei Salehi^{1✉}, Amir Arsellon Pardakhti², Zeinab Gharianpour³

1. Corresponding Author, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: azsalehi@ut.ac.ir
2. Department of Environmental Engineering, Aras International Campus, University of Tehran, Aras, Iran, Email: ars_pardakhti@alumni.ut.ac.ir
3. Department of Civil Engineering, Faculty of Technical & Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, Email: Z.gharianpour@edu.ikiu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 14 December 2024
Received in revised form: 9 August 2025
Accepted: 11 Augurs 2025
Available online: 21 September 2025

Keywords:

*Carcinogenic,
Eslamshahr,
Heavy metals,
Non-carcinogenic,
Risk assessment.*

ABSTRACT

Objective: Heavy metal compounds in drinking water sources are considered a significant public health concern due to their high toxicity, bioaccumulation potential, and environmental persistence. These contaminants can enter groundwater through various human activities such as industrial operations, agricultural runoff, and improper waste disposal, posing health risks, especially to vulnerable groups like children. Assessing the health risks of heavy metals in drinking water is essential for quantifying potential hazards and planning effective mitigation strategies to protect public health.

Method: This study investigated the carcinogenic and non-carcinogenic health risks posed by selected heavy metals, including cadmium, chromium, lead, nickel, and zinc, in the groundwater of Eslamshahr. Concentrations of these metals were measured based on their annual average values as well as seasonal averages over a one-year period. The health risk assessment considered two exposure pathways, ingestion and dermal contact, and included two distinct age groups: children and adults. The aim was to determine the extent of health risks associated with drinking or skin contact with contaminated water in this region.

Results: The findings revealed that among the analyzed metals, cadmium presented the highest non-carcinogenic risk for both children and adults, while zinc showed the lowest level of non-carcinogenic hazard. The hazard index (HI), calculated using the average annual concentrations of metals, was found to be 0.58 for children and 0.30 for adults, both of which are below the threshold value of one. These results indicated that no significant non-carcinogenic health risks were posed to either age group under current exposure conditions. However, the carcinogenic risk assessment showed more concerning results. The lifetime cancer risks (ELCR total) for chromium and lead through ingestion and dermal exposure were calculated to be 6.150×10^{-5} and 3.131×10^{-4} , respectively. Based on these values, it is estimated that approximately 205 individuals in Eslamshahr could develop cancer annually as a result of exposure to these two metals.

Conclusions: Although the non-carcinogenic risks for both children and adults were found to be within safe limits ($HI < 1$), the potential for carcinogenic effects due to chromium and lead exposure was alarming. These findings highlighted the necessity for implementing advanced groundwater treatment technologies to reduce the concentrations of heavy metals in water intended for drinking or other uses. Additionally, preventive measures, including continuous monitoring of water quality and controlling the entry of pollutants into groundwater, are vital to safeguard the health of the population, particularly that of children, who are more vulnerable to the harmful effects of these contaminants.

Cite this article: Zahraei Salehi, A., Pardakhti, A. A. and Gharianpour, Z. (2025). Risk Analysis of Carcinogenic and Non-Carcinogenic Effects of Heavy Metals in Groundwater of the Eslamshahr Region. *Journal of Environmental Studies*, 51 (2), 145- 164. <http://doi.org/10.22059/JES.2025.385656.1008552>

Introduction

Groundwater aquifers, as the second richest source of freshwater globally, play a vital role in various aspects of human life such as economy, industry, food production, and politics. However, the rapid population growth and the increasing earth's temperature have resulted in water scarcity, posing a significant challenge for both developing and developed countries. Unfortunately, the quality of underground and surface water resources has been compromised due to the rapid urban growth, industrial expansion, and inappropriate waste disposal. In Iran, specifically in Eslamshahr, underground water is extensively used for irrigation, drinking, and industrial purposes. With the proximity of Eslamshahr to Tehran and the consequent rapid urbanization, the demand for water has further increased, significantly impacting the quality of underground water due to sewage infiltration. Given the importance of heavy metals in water sources and their potential health effects on humans, this study aims to evaluate the concentration of heavy metals, including cadmium, chromium, lead, nickel, and zinc, in the underground water of Eslamshahr to assess their cancerous and non-cancerous risks.

Method

The methodology for evaluating carcinogenic and non-carcinogenic risks associated with heavy metals in groundwater involves a systematic approach of sampling, concentration measurement, and risk assessment based on established health guidelines. Below, key steps are outlined to describe the process in detail:

Sampling and Measurement of Metal Concentrations

The study begins with the collection of groundwater samples from multiple wells across the study area. In this case, groundwater samples were collected 23 times in each season over a year, amounting to a total of 92 samples. The locations of the wells were selected to represent the diversity of water sources in the region. Each sample was analyzed for heavy metal concentrations, including cadmium (Cd), chromium (Cr), lead (Pb), nickel (Ni), and zinc (Zn). Advanced analytical instruments, such as inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), were used to measure metal concentrations with high precision.

Seasonal and annual averages of the concentrations were then calculated to identify patterns of variability over time. Seasonal averages help reveal how environmental factors, such as temperature and precipitation, influence the distribution of metals in groundwater.

Non-Carcinogenic Risk Assessment

To evaluate the non-carcinogenic risks, the hazard quotient (HQ) and hazard index (HI) were calculated for both ingestion and dermal exposure pathways. These indices compare the estimated daily intake of a contaminant to its reference dose (RfD), which is defined as the maximum acceptable daily intake without significant health risks.

- **HQ** is calculated separately for ingestion and dermal exposure for each metal.
 - **HI** represents the cumulative non-carcinogenic risk from all metals by summing their respective HQ values.
- The calculations were performed for two age groups: children and adults, as their exposure and susceptibility to contaminants differ significantly. The results were compared against the threshold value of 1, with an HI below 1 indicating no significant non-carcinogenic risk.

Carcinogenic Risk Assessment

The carcinogenic risk assessment involves calculating the excess lifetime cancer risk (ELCR) for metals classified as carcinogens, such as chromium (Cr) and lead (Pb). ELCR estimates the probability of an individual developing cancer over a lifetime due to exposure to a contaminant.

The ELCR for ingestion and dermal contact was calculated using the following formula:

$$ELCR = C \times IR \times EF \times ED \times SF \div (BW \times AT)$$

where C represents the concentration of the metal in water; IR stands for ingestion rate or dermal absorption rate; EF is the exposure frequency; ED represents the exposure duration; SF is the slope factor (cancer potency

factor for the metal); BW is the body weight; and AT represents the averaging time for carcinogenic effects (lifetime exposure, usually 70 years).

The calculated ELCR values were compared with the thresholds set by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA):

10^{-4} to 10^{-6} : acceptable risk; below 10^{-6} : negligible risk; above 10^{-4} : unacceptable risk.

Risk Comparisons and Interpretation

After calculating the risk indices, the results were analyzed to identify the metals contributing the most to the overall risks and to understand how risks varied between seasons and exposure pathways. Children were found to be more vulnerable than adults, and ingestion was identified as the primary exposure pathway for both non-carcinogenic and carcinogenic risks.

Results

In the study area, zinc (Zn) exhibited the highest annual average concentration in groundwater (0.037 mg/L), consistently surpassing other metals across all seasons with minor variation. Cadmium (Cd) showed the lowest concentrations, averaging 0.0024 mg/L annually.

Non-carcinogenic risk assessment revealed that ingestion posed a significantly higher hazard than dermal exposure for both children and adults. The highest hazard quotient (HQ) occurred in winter (children's ingestion HQ = 0.72), correlating with elevated metal levels. Cadmium presented the greatest non-carcinogenic risk in most seasons, except summer, when chromium (Cr) was dominant. Overall, ingestion accounted for over 80% of the total non-carcinogenic risk.

Carcinogenic risk evaluation focused on hexavalent chromium (Cr⁶⁺) and lead (Pb). The combined lifetime cancer risk from Cr⁶⁺ was 6.15×10^{-5} , estimating approximately 34 annual cancer cases in the local population. Lead's risk was higher at 3.13×10^{-4} , corresponding to around 172 cancer cases per year. Seasonal variations showed the highest cancer risk in summer and the lowest in autumn.

This study provides a comprehensive risk assessment of five heavy metals in groundwater, integrating both carcinogenic and non-carcinogenic risks with seasonal and demographic considerations. These findings fill a critical knowledge gap in groundwater contamination risks in Eslamshahr and support informed public health and environmental management strategies.

Conclusions

This study evaluated the potential health risks associated with exposure to cadmium (Cd), chromium (Cr), lead (Pb), nickel (Ni), and zinc (Zn) in the groundwater of Eslamshahr. A total of 92 water samples were collected from local wells over four consecutive seasons, and seasonal and annual average concentrations of the selected metals were used for risk assessment. The non-carcinogenic risk, represented by the hazard index (HI), remained below the critical threshold of 1 for both children (HI = 0.58) and adults (HI = 0.30), indicating no significant non-carcinogenic health threat. However, the estimated excess lifetime cancer risks (ELCR) for chromium (6.15×10^{-5}) and lead (3.13×10^{-4}) fell within the U.S. EPA's acceptable risk range (10^{-4} to 10^{-6}), yet may correspond to approximately 205 potential cancer cases annually when projected to the local population. These findings emphasize the necessity of implementing advanced groundwater treatment technologies, particularly for lead, to mitigate long-term health risks associated with contaminated water sources.

Author Contributions

Data Collection: Amir Zahraei Salehi, Zeinab Qarianpour; Research Report Preparation: Zeinab Qarianpour, Amir Arsalan Pardakhti; Data Analysis: Amir Zahrai Salehi and Amir Arsalan Pardakhti; Supervision of the research process from data collection to writing the final version: Amir Zahrai Salehi

Data Availability Statement

Data available on request from the authors

Acknowledgements

We would like to thank Dr. Alireza Pardakhti for reviewing the text of the article and providing structural comments.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

تحلیل خطرات سرطان زایی و غیر سرطان زایی فلزات سنگین در آب های زیرزمینی منطقه اسلامشهر

امیر زهرایی صالحی^۱، امیر ارسلان پرداختی^۲، زینب قاریانپور^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب و فاضلاب، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: azsalehi@ut.ac.ir
۲. گروه مهندسی آب و فاضلاب، پردیس بین الملل ارس، دانشگاه تهران، ارس، ایران، رایانامه: ars_pardakhti@alumni.ut.ac.ir
۳. گروه مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران، رایانامه: Z.gharianpour@edu.ikiu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: ترکیبات فلزات سنگین در منابع آب شرب به دلیل سمیت بالا، تجمع زیستی و ماندگاری در محیط زیست، تهدیدی جدی برای سلامت عمومی محسوب می شوند. این ترکیبات از طریق فعالیت های انسانی وارد منابع آب زیرزمینی شده و سلامت گروه های سنی حساس، به ویژه کودکان، را تحت تأثیر قرار می دهند. ارزیابی ریسک سلامت این فلزات ابزار مهمی برای شناسایی و کاهش این خطرات است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰	روش پژوهش: این پژوهش به بررسی ریسک سلامت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، سرب، نیکل و روی در آب زیرزمینی اسلامشهر پرداخته است. داده ها بر اساس غلظت میانگین سالانه این فلزات و همچنین غلظت های میانگین فصلی در یک بازه یک ساله جمع آوری شد. تحلیل ها شامل دو گروه سنی کودک و بزرگسال بود و مسیرهای تماس بلع و پوستی مورد بررسی قرار گرفت. هدف این پژوهش، تعیین مقدار فلزات سنگین بررسی شده بود، که از طریق مصرف آب یا تماس مستقیم با پوست می توانند خطرات سرطانی یا غیرسرطانی ایجاد کنند.
کلیدواژه ها: ارزیابی ریسک، اسلامشهر، سرطان زایی، غیرسرطان زایی، فلزات سنگین.	یافته ها: تحلیل داده ها نشان داد که در بین فلزات، کادمیوم بیشترین ریسک غیرسرطانی را برای هر دو گروه سنی دارد، در حالی که روی کم خطرترین فلز است. شاخص خطر کل برای کودکان 0.58 و برای بزرگسالان 0.30 محاسبه شد که هر دو زیر مقدار استاندارد (عدد یک) هستند و حاکی از عدم وجود خطر غیرسرطانی قابل توجه است. با این حال، بررسی ریسک سرطانی نشان داد که دو فلز کروم و سرب به ترتیب با مقادیر $6/15 \times 10^{-4}$ و $3/13 \times 10^{-4}$ از طریق بلع و تماس پوستی، بیشترین احتمال ایجاد سرطان را در طول زندگی برای جمعیت منطقه دارند. در مجموع، پیش بینی می شود سالانه حدود 205 نفر در اسلامشهر در معرض خطر ابتلا به سرطان ناشی از این فلزات باشند.
	نتیجه گیری: نتایج نشان می دهد که اگرچه شاخص خطر کل کمتر از حد استاندارد ($HI < 1$) بوده و تهدید غیرسرطانی قابل توجهی وجود ندارد، اما ریسک سرطانی ناشی از کروم و سرب نگران کننده است. این امر بر لزوم استفاده از روش های پیشرفته تصفیه آب برای کاهش غلظت فلزات تأکید دارد. همچنین لازم است اقدامات پیشگیرانه ای برای پایش کیفیت آب و کاهش ورود آلاینده ها به منابع زیرزمینی انجام شود تا از سلامت عمومی، به ویژه کودکان، محافظت گردد.
استناد: زهرایی صالحی، امیر؛ پرداختی، امیر ارسلان و قاریانپور، زینب. (۱۴۰۴). تحلیل خطرات سرطان زایی و غیرسرطان زایی فلزات سنگین در آب های زیرزمینی منطقه اسلامشهر. نشریه محیط شناسی، ۵۱(۲)، ۱۴۵-۱۶۴. http://doi.org/10.22059/JES.2025.385656.1008552	
ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.	© نویسندگان.



۱. مقدمه

آب پس از اکسیژن به عنوان دومین عامل ضروری برای بقای انسان از اهمیت بالایی برخوردار است. تقریباً ۴۰ تا ۶۰ درصد از وزن بدن را آب تشکیل می‌دهد (Mahar et al., 2024). این میزان آب، عمدتاً از سفره‌های آب زیرزمینی، دومین منبع بزرگ آب شیرین جهان، تأمین می‌شود (Mohammadi et al., 2020). منابع آب نقش حیاتی در زندگی انسان از جمله اقتصاد، صنعت، تولید غذا و همچنین سیاست دارند. در ایران نیز از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری، شرب و صنعت استفاده می‌شود. متأسفانه رشد سریع شهرها و صنایع و افزایش دفع زباله‌های خطرناک، کیفیت منابع آب زیرزمینی و سطحی را تحت تأثیر قرار داده است. منابع آبی بی‌کیفیت که از طریق نوشیدن یا تماس پوستی، وارد بدن می‌شوند، ریسک بروز بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی را افزایش می‌دهد، که محاسبه این ریسک و راهکارهای کاهش تماس با آب آلوده الزامی به نظر می‌رسد (Fiore et al., 2019; Shams et al., 2022).

بهره‌برداری و استخراج فلزات سنگین و استفاده فزاینده از سموم و کودهای شیمیایی در کشاورزی، هر چند به توسعه یک کشور کمک می‌کند، اما به آلودگی محیط‌زیست آن نیز منجر می‌شود (Obasi et al., 2019; Yousefi et al., 2019). تحقیقات نشان داده‌اند که آلودگی فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی، علاوه بر تأثیرات مستقیم بر سلامت انسان، بر اکوسیستم‌های طبیعی نیز تأثیر منفی دارد. در برخی مناطق، به‌ویژه مناطقی با فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی فشرده، غلظت این فلزات به حدی افزایش یافته که نیاز به مداخلات فوری دارد (Sharafi and Salehi, 2025). همچنین، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب شیرین تأثیر مضاعفی بر تشدید آلودگی فلزات در منابع زیرزمینی داشته‌اند (Mahar et al., 2024). خاک‌های زراعی آلوده به فلزات سنگین از راه‌های مختلفی خطر جدی را برای اکوسیستم و موجودات زنده پدید می‌آورند. طبق گزارش‌ها، فلزات سنگین با درجات مختلف سمیت، می‌توانند موجب بروز انواع بیماری‌های غیرسرطانی و سرطانی در انسان شوند. علاوه بر آن این فلزات زیست تخریب‌پذیر نیستند و به همین دلیل در محیط‌زیست باقی می‌مانند (Obasi et al., 2019; Liang et al., 2017). علاوه بر خاک، این فلزات می‌توانند از طریق استنشاق یا از طریق تماس پوستی نیز جذب شوند (Ogunbanjo et al., 2016). قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آنها می‌تواند منجر به نوروپاتی محیطی، بیماری‌های قلبی عروقی و یا انواع سرطان شود (EFSA, 2009).

مواجهه شغلی یا محیطی با کادمیوم می‌تواند باعث ایجاد بیماری‌های مزمن شود. عمده‌ترین آنها شامل اختلالات ریوی، قلبی عروقی، هماتولوژیک، کبدی، کلیوی، اسکلتی عضلانی و تولید مثل می‌باشد. این موضوع بر اهمیت کاهش این فلزات در محیط تأکید دارد (Bhattacharya, 2020). بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده، کروم در طبیعت به دو شکل ۳ و ۶ ظرفیتی وجود دارد که در بدن انسان قابلیت تبدیل به یکدیگر را دارند. مقدار سمیت کروم نیز به همین فرم شیمیایی وابسته است و طبق مطالعات، کروم ۶ ظرفیتی سمی‌تر است (Fowler et al., 2011). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، ترکیباتی را که در آن، این نوع کروم وجود دارد را در دسته مواد سرطانزای گروه یک دسته‌بندی کرده است (IARC, 2012). از این جهت ارزیابی ریسک سرطانی و غیرسرطانی این فلز از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین فلز سرب عنصری است که در خون و استخوان‌ها و همچنین در اندام‌های متعددی مانند کبد، کلیه‌ها، مغز و پوست تجمع می‌یابد. این موضوع می‌تواند باعث اثرات حاد و مزمن، به دلیل دفع آرام آن در بدن انسان شود. نتایج بررسی‌ها بر روی فلز سرب نشان داده که این فلز می‌تواند بر عملکرد سیستم‌های تولید مثل، کبد، غدد درون ریز، ایمنی و گوارش نیز تأثیر منفی بگذارد (Charkiewicz and Backstrand, 2020). همچنین مطالعاتی که بر روی فلز نیکل انجام شده، نشان می‌دهد، این فلز در بلند مدت مدت می‌تواند باعث کاهش وزن بدن و همچنین ایجاد بیماری قلبی و کبدی شود (Salemi and Sayahi, 2018). با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی اثرات بیماری‌زایی مواجهه با فلز روی، نشان داده شده است که روی در بیماری‌های تخریب‌کننده سیستم عصبی نقش دارد، به عنوان مثال فلز روی و هموستاز تنظیم نشده آن می‌تواند در شروع و پیشرفت بیماری آلزایمر مهم باشد (Devirgiliis et al., 2007; Ezugwu et al., 2024).

شهرستان اسلامشهر به دلیل رشد سریع شهری، با افزایش بی‌سابقه مصرف آب مواجه شده و همچنین کیفیت آب‌های زیرزمینی با نفوذ پساب به آن تحت تأثیر قرار گرفته و ایجاد نارضایتی کرده است. با توجه به این که تنها منبع آب در دسترس برای روستاهای این شهرستان، آب زیرزمینی می‌باشد، بنابراین مطالعات زیادی بر روی کیفیت چاه‌های منطقه صورت گرفته است (Hosni et al., 2010). حسنی

و همکاران در سال ۱۳۸۶ از ۱۴ حلقه از چاه‌های شهرستان اسلامشهر نمونه‌برداری کردند و آنها را از لحاظ آلودگی میکروبی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بعضی از چاه‌ها دارای آلودگی میکروبی است (Hosni et al., 2010).

ولی‌نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۰، ۹۲ نمونه در مدت یک سال از ۲۳ چاه اسلامشهر برداشت کرده و مورد ارزیابی میزان فلزات سنگین قرار دادند. آنها میزان پنج فلز سنگین کادمیوم، کروم، سرب، نیکل و روی را برای تمامی چاه‌ها در چهار فصل پیاپی، اندازه‌گیری کردند (Valinejad et al., 2016).

این پژوهش با توجه به اهمیت فلزات سنگین در منابع آب اسلامشهر و اثرات آنها بر سلامت مردم منطقه انجام شد. در این مطالعه، غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، سرب، نیکل و روی در آب‌های زیرزمینی این شهرستان بررسی و ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی هر یک از این فلزات، به همراه ریسک کلی، محاسبه گردید. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای ارائه راهکارهایی برای کاهش بیماری‌های ناشی از تماس با آب‌های آلوده به فلزات سنگین باشد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

شهرستان اسلامشهر با وسعتی حدود ۲۴۵ کیلومتر مربع در محدوده‌ای به طول ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی در محدوده مرکزی استان تهران قرار دارد. این شهرستان از شمال در فاصله ۱۵ کیلومتری از شهر تهران قرار گرفته است و از طریق محور تهران-ساوه و از طریق راه‌آهن تهران، به استان‌های غربی و جنوب‌غربی کشور، ارتباط دارد. (شهرداری اسلامشهر، ۱۳۹۷) این شهرستان در سال ۱۳۹۵، ۵۴۸/۶۲۰ نفر جمعیت داشته که از این تعداد ۲۷۹/۲۸۲ نفر آن مرد و ۲۶۹/۳۳۸ نفر آن زن بوده است. (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) در پژوهشی که توسط ولی‌نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۰ انجام شد از ۲۳ حلقه چاه، طی چهار فصل پیاپی در اسلامشهر، ۹۲ نمونه برداشت شد و غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، نیکل، سرب و روی از طریق روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی شعله اندازه‌گیری شد. به این صورت که، ظروف نمونه‌برداری که از جنس پلی‌پروپیلن با حجم ۱ لیتری بودند، پیش از جمع‌آوری نمونه‌ها، به ترتیب با اسید، دترجنت، آب و مجدداً با اسید و آب مقطر شسته شدند. pH نمونه‌ها با اسید نیتریک به کمتر از ۲ کاهش داده شد و برای جلوگیری از تبخیر، در یخچالی با دمای ۴- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از تثبیت و آماده‌سازی نمونه‌ها، غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی-سنجی^۱ مدل "200 Varian" اندازه‌گیری شد. همچنین موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه GPS در سیستم UTM ثبت و همچنین با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS نقشه پراکنش مطابق شکل ۱ رسم گردید. نقاط مشخص شده در شکل ۱ محل قرارگیری ۲۳ چاه می‌باشد، که به ترتیب با حروف انگلیسی A تا W نامگذاری شده است (ولی‌نژاد، حسنی و صیادی، ۱۳۹۵).



شکل ۱. نقشه پراکنش چاه‌های شهرستان اسلامشهر (ولی‌نژاد، حسنی و صیادی، ۱۳۹۵)

مطالعه ولی‌نژاد و همکاران درباره کیفیت آب چاه‌های اسلامشهر نشان داد که غلظت کروم و روی در محدوده استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) قرار دارد، اما غلظت کادمیوم، نیکل و سرب از حد مجاز فراتر است (ولی‌نژاد، حسنی و صیادی، ۱۳۹۵).

۲-۲. اطلاعات پایه

اطلاعات پایه، مطابق جدول ۱ برای دو رده سنی، با توجه به اطلاعات موجود در سامانه آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا، در نظر گرفته شده است. مقدار IRW^۱ میزان مصرف روزانه آب، برای کودک ۱ و بزرگسال ۲/۵ لیتر در روز، EF^۲ تعداد روزهای در تماس در مدت یک سال که برای هر دو گروه ۳۵۰ روز در هر سال، ED^۳ تعداد سال‌های در تماس که برای کودک ۶ و برای بزرگسال ۳۰ سال می‌باشد. همچنین پارامتر SA^۴ نشان‌دهنده سطح پوست، برای کودک ۶۶۰۰ و بزرگسال ۱۸۰۰۰ سانتی مترمربع، ET^۵ مدت زمان قرارگیری از طریق پوست برای کودک ۱ و بزرگسال ۰/۷۱ ساعت و همچنین BW^۶ که جرم بدن کودک و بزرگسال هست که به صورت میانگین به ترتیب ۱۵ و ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد.

جدول ۱. اطلاعات پایه (اطلاعات به صورت فرضی می‌باشد)

رده سنی	IRW (L/d)	EF (d/year)	ED (year)	SA (cm ²)	ET dermal (hr)	BW (kg)
کودک	۱	۳۵۰	۶	۶۶۰۰	۱	۱۵
بزرگسال	۲/۵	۳۵۰	۳۰	۱۸۰۰۰	۰/۷۱	۷۰

۲-۳. محاسبه ریسک غیرسرطانی

با مراجعه به تارنمای آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا و بررسی آیین‌نامه‌های مربوطه، روابط موردنیاز برای تمامی محاسبات ریسک غیرسرطانی از (روابط ۱ تا ۷) استخراج شد (U.S. Environmental Protection Agency, 2004). برای اندازه‌گیری میزان دوز ورودی^۷ غیرسرطانی از طریق بلع برای هر فلز، باید پارامتر CDI_{ingestion} را مطابق رابطه ۱، محاسبه کند.

$$\text{CDI ingestion } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg.d}} \right) = \frac{C \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \cdot \text{IRW} \left(\frac{\text{L}}{\text{d}} \right) \cdot \text{EF} \left(\frac{\text{d}}{\text{year}} \right) \cdot \text{ED}(\text{year})}{\text{BW}(\text{kg}) \cdot \text{AT}(\text{d})} \quad (\text{رابطه ۱})$$

مقدار AT میانگین تعداد روزهای عمر^۸ را نشان می‌دهد، برای ارزیابی ریسک غیرسرطانی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\text{AT} = \text{ED} \times 365 \quad (\text{رابطه ۲})$$

برای محاسبه میزان دوز وارد شده به کودکان و بزرگسالان به نسبت جرم بدن از طریق پوست، علاوه بر موارد گفته شده نیاز هست که مقدار K_p یا ضریب نفوذپذیری پوست برای هر یک از عناصر مطابق جدول ۲ از منابع برداشت شود (Oak Ridge National Laboratory, 1998).

جدول ۲. ضریب نفوذپذیری پوست (Oak Ridge National Laboratory, 1998)

فلز سنگین	کادمیوم	کروم	سرب	نیکل	روی
ضریب نفوذپذیری پوست (K _p) (cm/hr)	۱×۱۰ ^{-۳}	۲×۱۰ ^{-۳}	۱×۱۰ ^{-۴}	۲×۱۰ ^{-۴}	۶×۱۰ ^{-۴}

1. Intake Rate of Water
2. Exposure frequency
3. Exposure duration
4. Skin surface area
5. Exposure time
6. Body Weight
7. Chronic Daily Intake
8. Average time

از مقادیر ثبت شده مقدار دوز ورودی هر فلز از طریق پوست در کودک و بزرگسال مطابق روابط زیر تعیین می‌گردد.

$$CDI_{\text{dermal}} \left(\frac{mg}{kg.d} \right) = \frac{C \left(\frac{mg}{L} \right) \cdot \left(\frac{L}{1000 cm^3} \right) \cdot SA (cm^2) \cdot Kp \left(\frac{cm}{hr} \right) \cdot ET (hr) \cdot EF \left(\frac{d}{year} \right) \cdot ED (year)}{BW (kg) \cdot AT (d)} \quad \text{رابطه ۳}$$

میزان دوز مرجع برای آشامیدن یا بلع از مراجع مرتبط استخراج و در جدول ۳ وارد شده است (ای پی ای، ۲۰۱۸) و با استفاده از رابطه ۴ میزان دوز مرجع^۱ تماس پوستی محاسبه شده است.

$$RFD_{\text{dermal}} = ABS_{GI} \times RFD_{\text{ingestion}} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه ABS_{GI} ضریب جذب دستگاه گوارش^۲ است که مقدار آن نیز در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. دوز مرجع دوز مرجع (U.S. Environmental Protection Agency, 2018; Oak Ridge National Laboratory, 1998)

مرجع	روی	نیکل	سرب	کروم	کادمیوم	
IRIS	3×10^{-1}	2×10^{-2}	—	3×10^{-3}	5×10^{-4}	دوز مرجع بلع ($RFD_{\text{ingestion}}$)
RAIS	۱	4×10^{-2}	۱	$2/5 \times 10^{-2}$	5×10^{-2}	ABS_{GI}
	3×10^{-1}	8×10^{-4}	—	$7/5 \times 10^{-5}$	$2/5 \times 10^{-4}$	دوز مرجع پوستی (RFD_{dermal})

در مرحله بعد با داشتن میانگین دوز ورودی روزانه هر فلز از طریق بلع و تماس پوستی برای غلظت‌های مختلف و با در نظر گرفتن مقادیر دوز مرجع، میزان ریسک غیرسرطانی ناشی از مواجهه با فلزات سنگین موجود در آب‌های زیرزمینی از طریق آشامیدن^۳ ($HQ_{\text{ingestion}}$)، تماس پوستی^۴ (HQ_{dermal}) و شاخص خطر کل^۵ (HI) از طریق روابط زیر محاسبه شده است. (روابط ۵ تا ۷)

مطابق جدول ۳ برای سرب اطلاعاتی مبنی بر دوز مرجع غیرسرطانی یافت نشد، در نتیجه برای تحلیل ریسک غیرسرطانی فقط چهار عنصر کادمیوم، کروم، نیکل و روی در نظر گرفته شد.

$$HQ_{\text{ingestion}} = \frac{CDI_{\text{ingestion}}}{RFD_{\text{ingestion}}} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$HQ_{\text{dermal}} = \frac{CDI_{\text{dermal}}}{RFD_{\text{dermal}}} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$HI = HQ_{\text{ingestion}} + HQ_{\text{dermal}} \quad \text{رابطه ۷}$$

۴-۲. محاسبه ریسک سرطانی

برای محاسبه ریسک سرطانی فلزات مورد مطالعه، مراجع علمی مرتبط بررسی شدند و روابط ۸ تا ۱۳، مجدداً با رجوع به تارنمای آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا و بررسی آیین‌نامه‌های مربوطه به‌دست آمد. علاوه بر آن، این نتیجه حاصل شد که تنها فلزات کروم و سرب دارای عوارض سرطانی می‌باشند (U.S. Environmental Protection Agency, 2005). در نتیجه محاسبات سرطانی فقط برای این دو فلز انجام شد. برای این منظور در ابتدا میزان فاکتور شیب سرطان‌زایی^۶ (CSF) از طریق بلع برای کروم و سرب، به ترتیب ۰/۰۸۵ و ۰/۰۸۵ و با توجه به مقدار ضریب جذب دستگاه گوارش (ABS_{GI}) و رابطه ۸، فاکتور شیب سرطان‌زایی از طریق تماس پوستی برای کروم و سرب به ترتیب ۲۰ و ۰/۰۸۵ به دست آمد.

1. Reference Dose
2. Fraction of contaminant adsorbed in gastrointestinal tract
3. Oral Hazard Qoutient
4. Dermal Hazard Qoutient
5. Hazard Index
6. Cancer Slope Factor

$$CSF_{\text{dermal}} = \frac{CSF_{\text{ingestion}}}{ABS_{GI}}$$

رابطه ۸)

جدول ۴. فاکتور شیب سرطان زایی (U.S. Environmental Protection Agency, 2005)

سرب	کروم	
$۸/۵ \times ۱۰^{-۳}$	۵×۱۰^{-۱}	فاکتور شیب سرطان زایی بلع ($CSF_{\text{ingestion}}$)
۱	$۲/۵ \times ۱۰^{-۳}$	ABS_{GI}
$۸/۵ \times ۱۰^{-۳}$	۲×۱۰^{-۱}	فاکتور شیب سرطان زایی پوستی (CSF_{dermal})

به منظور محاسبه ریسک سرطانی باید مجدداً مقادیر CDI_{dermal} و $CDI_{\text{ingestion}}$ را با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۳ به دست آورد. با ذکر این موضوع که میانگین تعداد روزهای عمر (AT) برای ارزیابی ریسک سرطانی از رابطه ۹ محاسبه شده است.

$$AT = 70 \times 365$$

رابطه ۹)

برای محاسبه ریسک مازاد سرطان با استفاده از مقادیر دوز ورودی ماده سرطانی و فاکتور شیب سرطان‌زایی، و رابطه‌های ۱۰ و ۱۱، مقدار ELCR از هر دو راه بلع و تماس پوستی که نشان‌دهنده احتمال رشد سرطان در طول زندگی^۱ برای جمعیتی که با مواد سرطان‌زای مربوطه در تماس هستند، به دست آمده است. احتمال رشد سرطان در طول زندگی از هر دو راه بلع و تماس پوستی ($ELCR_{\text{total}}$) از رابطه ۱۲ محاسبه گردید.

$$ELCR_{\text{ingestion}} = CDI_{\text{ingestion}} \times CSF_{\text{ingestion}}$$

رابطه ۱۰)

$$ELCR_{\text{dermal}} = CDI_{\text{dermal}} \times CSF_{\text{dermal}}$$

رابطه ۱۱)

$$ELCR_{\text{total}} = ELCR_{\text{ingestion}} + ELCR_{\text{dermal}}$$

رابطه ۱۲)

پس از محاسبه ریسک سرطانی کل برای فلزات کروم و سرب، برای محاسبه تعداد افرادی که در طول عمر خود، از طریق این دو فلز که در آب زیرزمینی وجود دارد، مبتلا به سرطان می‌شوند، از رابطه ۱۳ استفاده شده است.

$$\text{Cancer case} = ELCR_{\text{total}} \times \text{population}$$

رابطه ۱۳)

۳. یافته‌های پژوهش

با توجه به مطالعه ولی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، سرب، نیکل و روی در شهرستان اسلامشهر، در سه فصل پایانی سال ۱۳۸۸ و فصل اول سال ۱۳۹۹ و در هر فصل ۲۳ بار اندازه‌گیری گردید (ولی‌نژاد، حسنی و صیادی، ۱۳۹۵). در این پژوهش میزان میانگین فلزات سنگین مورد ارزیابی به صورت میانگین فصلی و سالانه مورد ارزیابی قرار گرفته است. بنابراین در جدول ۵ میزان فلزات سنگین یاد شده در ۵ حالت میانگین سالانه، میانگین فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان نشان داده شده است.

کادمیوم از طریق منابع کشاورزی، فاضلاب‌های صنعتی و باطله‌های معدنی وارد محیط می‌شود. ۹۱/۳ درصد از چاه‌ها در فصل زمستان دارای کادمیوم بیشتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای مصارف شرب ($۰/۰۳ \text{ mg/L}$) می‌باشند. اما مطالعات نشان می‌دهند که در برخی موارد، غلظت کادمیوم بیشتر از حد استاندارد یا حتی مرز آن قرار دارد. فعالیت‌های صنعتی گسترده و زمین‌های وسیع کشاورزی در منطقه مورد مطالعه وجود دارند که ممکن است عوامل نفوذ کادمیوم به آب‌های زیرزمینی باشند. وجود شیب هیدرولیکی از سمت شمال غربی به جنوب شرقی در این منطقه باعث افزایش کادمیوم در آب‌های زیرزمینی آن شده است. نیکل از طریق زایدات و

پساب‌های صنعتی وارد محیط می‌شود و غلظت این فلز در فصل زمستان نشان می‌دهد که تنها ۲ نمونه دارای مقدار بیشتر از حد استاندارد WHO برای مصارف شرب ($0/02 \text{ mg/L}$) می‌باشند که به چاه‌های جنوبی‌ترین نقطه منطقه مرتبط است. تحقیقات نشان می‌دهد که غلظت نیکل برخی موارد بیشتر از حد استانداردها بوده است، اما در اکثر تحقیقات، این فلز به میزان ناچیزی یا پایین‌تر از حد استانداردها است. ورود سرب به محیط به دلیل تراکم بالای صنایع در اسلامشهر، به‌ویژه کارخانه‌های مرتبط با فلزات سنگین، استفاده گسترده از کودها و آفت‌کش‌های حاوی فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی منطقه، می‌باشد. تحلیل غلظت سرب در چهار فصل، نشان می‌دهد که از ۹۲ نمونه برداشت شده، ۵۸ نمونه دارای سرب بیشتر از حد استاندارد WHO برای مصارف شرب ($0/01 \text{ mg/L}$) بودند. در اکثر تحقیقات، غلظت سرب پایین‌تر از حد استانداردها بوده است. بیشترین آلودگی در فصل تابستان در مناطق جنوبی، جنوب‌غربی و غربی شهرستان، در پاییز و زمستان در مناطق جنوبی و در فصل بهار نیز در بخش‌های جنوب و جنوب‌شرقی دیده می‌شود که دلیل آن حرکت آب‌های زیرزمینی از شمال‌غربی به جنوب‌شرقی منطقه می‌باشد. مقدار فلزات کروم و روی در تمام نمونه‌ها پایین‌تر از حد توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی جهت آشامیدن (به ترتیب $0/05$ و 3 میلی‌گرم بر لیتر) بوده است (ولی‌نژاد، حسنی و صیادی، ۲۰۱۶).

جدول ۵. غلظت فلزات اندازه‌گیری شده (ولی‌نژاد، حسنی و صیادی، ۱۳۹۵)

غلظت (mg/L)	کادمیوم	کروم	سرب	نیکل	روی
میانگین C	$2/42 \times 10^{-3}$	$5/95 \times 10^{-3}$	$2/133 \times 10^{-3}$	$9/42 \times 10^{-3}$	$3/741 \times 10^{-3}$
بهار C	$1/64 \times 10^{-3}$	$5/92 \times 10^{-3}$	$2/022 \times 10^{-3}$	$8/35 \times 10^{-3}$	$4/529 \times 10^{-3}$
تابستان C	$1/59 \times 10^{-3}$	$7/65 \times 10^{-3}$	$3/80 \times 10^{-3}$	$6/88 \times 10^{-3}$	$3/745 \times 10^{-3}$
پاییز C	$2/26 \times 10^{-3}$	$3/33 \times 10^{-3}$	$8/22 \times 10^{-3}$	$1/173 \times 10^{-3}$	$3/332 \times 10^{-3}$
زمستان C	$4/18 \times 10^{-3}$	$6/9 \times 10^{-3}$	$1/883 \times 10^{-3}$	$1/072 \times 10^{-3}$	$3/367 \times 10^{-3}$

۳-۱. ارزیابی ریسک غیرسرطانی کودکان

با توجه به غلظت فلزات در شرایط مختلف که در جدول ۵ نشان داده شده است، مقدار دوز ورودی روزانه فلزات سنگین، با استفاده از روابط ۱ تا ۴ برای رده سنی کودک از طریق بلع و تماس پوستی، در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. دوز ورودی روزانه برای کودکان ($\frac{\text{mg}}{\text{kg.d}}$) (یافته‌های تحقیق)

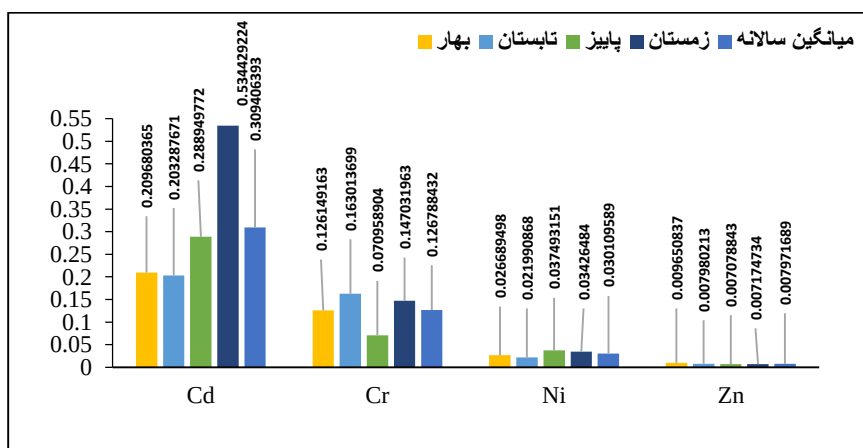
غلظت	راه تماس	کادمیوم	کروم	نیکل	روی
میانگین C	بلع (CDI ingestion)	$1/547 \times 10^{-4}$	$3/804 \times 10^{-4}$	$6/022 \times 10^{-4}$	$2/391 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$1/021 \times 10^{-6}$	$5/02 \times 10^{-6}$	$7/950 \times 10^{-7}$	$9/470 \times 10^{-6}$
بهار C	بلع (CDI ingestion)	$1/049 \times 10^{-4}$	$3/784 \times 10^{-4}$	$5/338 \times 10^{-4}$	$2/895 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$6/92 \times 10^{-7}$	$5/00 \times 10^{-6}$	$7/050 \times 10^{-7}$	$1/146 \times 10^{-5}$
تابستان C	بلع (CDI ingestion)	$1/016 \times 10^{-4}$	$4/890 \times 10^{-4}$	$4/398 \times 10^{-4}$	$2/394 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$6/71 \times 10^{-7}$	$6/460 \times 10^{-6}$	$5/810 \times 10^{-7}$	$9/480 \times 10^{-6}$
پاییز C	بلع (CDI ingestion)	$1/445 \times 10^{-4}$	$2/129 \times 10^{-4}$	$7/499 \times 10^{-4}$	$2/123 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$9/54 \times 10^{-7}$	$2/810 \times 10^{-6}$	$9/900 \times 10^{-7}$	$8/410 \times 10^{-6}$
زمستان C	بلع (CDI ingestion)	$2/672 \times 10^{-4}$	$4/411 \times 10^{-4}$	$6/852 \times 10^{-4}$	$2/152 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$1/764 \times 10^{-6}$	$5/820 \times 10^{-6}$	$9/050 \times 10^{-7}$	$8/520 \times 10^{-6}$

با استفاده از اطلاعات جدول ۳ و روابط ۵ تا ۷، ریسک غیرسرطانی مواجهه با فلزات مختلف در غلظت‌های میانگین سالانه و فصلی محاسبه شد. این محاسبات برای بلع (HQingestion)، تماس پوستی (HQdermal) و شاخص خطر غیرسرطانی کل (HI) انجام شده و در جدول ۷ نمایش داده شده است.

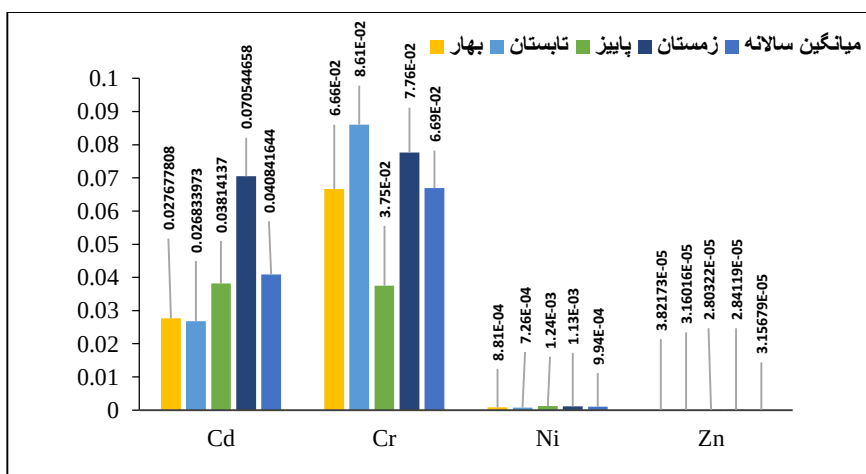
با توجه به شکل ۲، در ارزیابی ریسک غیرسرطانی کودکان از طریق بلع، کادمیوم خطرناک‌ترین و روی کم‌خطرترین فلز است. همچنین

جدول ۷. ارزیابی خطر ریسک غیرسرطانی در کودکان (یافته‌های تحقیق)

غلظت	راه تماس	کادمیوم	کروم	نیکل	روی	مجموع
میانگین C	بلع (HQ ingestion)	$3/094 \times 10^{-1}$	$1/268 \times 10^{-1}$	$3/010 \times 10^{-2}$	$7/972 \times 10^{-3}$	$4/742 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$4/084 \times 10^{-2}$	$6/69 \times 10^{-2}$	$9/94 \times 10^{-4}$	$3/156 \times 10^{-5}$	$1/088 \times 10^{-1}$
	مجموع (HI)	$3/502 \times 10^{-1}$	$1/940 \times 10^{-1}$	$3/110 \times 10^{-2}$	$8/003 \times 10^{-3}$	$5/830 \times 10^{-1}$
بهار C	بلع (HQ ingestion)	$2/096 \times 10^{-1}$	$1/261 \times 10^{-1}$	$2/668 \times 10^{-2}$	$9/650 \times 10^{-3}$	$3/721 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$2/767 \times 10^{-2}$	$6/66 \times 10^{-2}$	$8/81 \times 10^{-4}$	$3/821 \times 10^{-5}$	$9/520 \times 10^{-2}$
	مجموع (HI)	$2/373 \times 10^{-1}$	$1/930 \times 10^{-1}$	$2/760 \times 10^{-2}$	$9/689 \times 10^{-3}$	$4/673 \times 10^{-1}$
تابستان C	بلع (HQ ingestion)	$2/032 \times 10^{-1}$	$1/630 \times 10^{-1}$	$2/199 \times 10^{-2}$	$7/980 \times 10^{-3}$	$3/962 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$2/683 \times 10^{-2}$	$8/61 \times 10^{-2}$	$7/260 \times 10^{-4}$	$3/160 \times 10^{-5}$	$1/136 \times 10^{-1}$
	مجموع (HI)	$2/301 \times 10^{-1}$	$2/490 \times 10^{-1}$	$2/270 \times 10^{-2}$	$8/011 \times 10^{-3}$	$5/099 \times 10^{-1}$
پاییز C	بلع (HQ ingestion)	$2/889 \times 10^{-1}$	$7/095 \times 10^{-2}$	$3/749 \times 10^{-2}$	$7/078 \times 10^{-3}$	$4/044 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$3/814 \times 10^{-2}$	$3/750 \times 10^{-2}$	$1/240 \times 10^{-3}$	$2/841 \times 10^{-5}$	$7/687 \times 10^{-2}$
	مجموع (HI)	$3/270 \times 10^{-1}$	$1/080 \times 10^{-1}$	$3/870 \times 10^{-2}$	$7/106 \times 10^{-3}$	$4/813 \times 10^{-1}$
زمستان C	بلع (HQ ingestion)	$5/344 \times 10^{-1}$	$1/470 \times 10^{-1}$	$3/426 \times 10^{-2}$	$7/174 \times 10^{-3}$	$7/229 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$7/054 \times 10^{-2}$	$7/760 \times 10^{-2}$	$1/130 \times 10^{-3}$	$2/841 \times 10^{-5}$	$1/493 \times 10^{-1}$
	مجموع (HI)	$6/049 \times 10^{-1}$	$2/250 \times 10^{-1}$	$3/540 \times 10^{-2}$	$7/203 \times 10^{-3}$	$8/722 \times 10^{-1}$



شکل ۲. ارزیابی ریسک غیرسرطانی در کودکان از راه بلع (یافته‌های تحقیق)



شکل ۳. ارزیابی ریسک غیرسرطانی در کودکان از راه پوست (یافته‌های تحقیق)

در شکل ۳ کروم به عنوان خطرناک ترین و مجددا روی به عنوان کم خطرترین فلز مشخص شده است. همان طور که از نتایج جدول ۷ مشخص است، شاخص خطر غیرسرطانی کل (HI) در غلظت میانگین کل، بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۴۶، ۰/۵۱، ۰/۴۸ و ۰/۸۷ می باشد.

۲-۳. ارزیابی ریسک غیرسرطانی بزرگسال

برای ارزیابی ریسک غیرسرطانی بزرگسال، از رابطه های ۱ تا ۴ و اطلاعات اولیه جدول های ۱ و ۲ استفاده شد و به همین منظور نتایج محاسبه دوز روزانه هر فلز که از طریق بلع یا تماس پوستی وارد بدن بزرگسالان می شود، در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. دوز ورودی روزانه برای بزرگسال ($\frac{mg}{kg.d}$) (یافته های تحقیق)

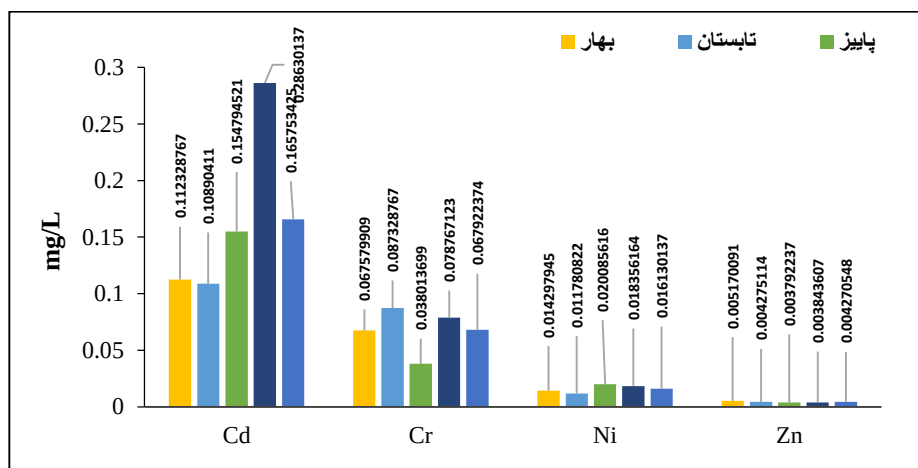
غلظت	راه تماس	کادمیوم	کروم	نیکل	روی
میانگین C	بلع (CDI ingestion)	$8/29 \times 10^{-5}$	$2/038 \times 10^{-4}$	$3/226 \times 10^{-4}$	$1/281 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$4/24 \times 10^{-7}$	$2/08 \times 10^{-6}$	$3/30 \times 10^{-7}$	$3/93 \times 10^{-6}$
بهار C	بلع (CDI ingestion)	$5/62 \times 10^{-5}$	$2/028 \times 10^{-4}$	$2/86 \times 10^{-4}$	$1/551 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$2/87 \times 10^{-7}$	$2/07 \times 10^{-6}$	$2/92 \times 10^{-7}$	$4/76 \times 10^{-6}$
تابستان C	بلع (CDI ingestion)	$5/45 \times 10^{-5}$	$2/62 \times 10^{-4}$	$2/356 \times 10^{-4}$	$1/282 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$2/78 \times 10^{-7}$	$2/68 \times 10^{-6}$	$2/41 \times 10^{-7}$	$3/93 \times 10^{-6}$
پاییز C	بلع (CDI ingestion)	$7/74 \times 10^{-5}$	$1/14 \times 10^{-4}$	$4/017 \times 10^{-4}$	$1/137 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$3/96 \times 10^{-7}$	$1/17 \times 10^{-6}$	$4/11 \times 10^{-7}$	$3/49 \times 10^{-6}$
زمستان C	بلع (CDI ingestion)	$1/432 \times 10^{-4}$	$2/363 \times 10^{-4}$	$3/671 \times 10^{-4}$	$1/153 \times 10^{-3}$
	پوست (CDI dermal)	$7/32 \times 10^{-7}$	$2/42 \times 10^{-6}$	$3/75 \times 10^{-7}$	$3/54 \times 10^{-6}$

مشابه محاسباتی که برای ارزیابی ریسک غیرسرطانی در گروه سنی کودکان انجام شد، در جدول ۹ نیز ریسک غیرسرطانی فلزات سنگین برای بزرگسالان محاسبه شده است. این محاسبات با استفاده از اطلاعات موجود در جدول ۳ و رابطه های ۵ تا ۷ انجام شده و شامل بلع، تماس پوستی و خطر کل است.

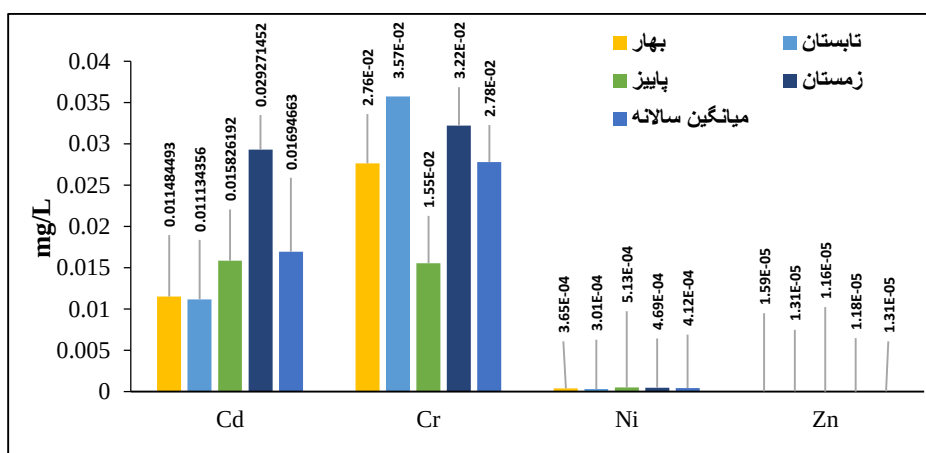
جدول ۹. ارزیابی خطر ریسک غیرسرطانی در بزرگسال (یافته های تحقیق)

غلظت	راه تماس	کادمیوم	کروم	نیکل	روی	مجموع
میانگین C	بلع (HQ ingestion)	$1/657 \times 10^{-1}$	$6/92 \times 10^{-2}$	$1/613 \times 10^{-2}$	$4/27 \times 10^{-3}$	$2/54 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$1/694 \times 10^{-2}$	$2/78 \times 10^{-2}$	$4/12 \times 10^{-4}$	$1/31 \times 10^{-5}$	$4/514 \times 10^{-2}$
	مجموع (HI)	$1/827 \times 10^{-1}$	$9/57 \times 10^{-2}$	$1/65 \times 10^{-2}$	$4/28 \times 10^{-3}$	$2/992 \times 10^{-1}$
بهار C	بلع (HQ ingestion)	$1/123 \times 10^{-1}$	$6/757 \times 10^{-2}$	$1/429 \times 10^{-2}$	$5/17 \times 10^{-3}$	$1/993 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$1/148 \times 10^{-2}$	$2/76 \times 10^{-2}$	$3/65 \times 10^{-4}$	$1/59 \times 10^{-5}$	$3/95 \times 10^{-2}$
	مجموع (HI)	$1/238 \times 10^{-1}$	$9/52 \times 10^{-2}$	$1/47 \times 10^{-2}$	$5/19 \times 10^{-3}$	$2/388 \times 10^{-1}$
تابستان C	بلع (HQ ingestion)	$1/089 \times 10^{-1}$	$8/732 \times 10^{-2}$	$1/178 \times 10^{-2}$	$4/275 \times 10^{-3}$	$2/122 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$1/113 \times 10^{-2}$	$3/57 \times 10^{-2}$	$3/01 \times 10^{-4}$	$1/31 \times 10^{-5}$	$4/716 \times 10^{-2}$
	مجموع (HI)	$1/20 \times 10^{-1}$	$1/23 \times 10^{-1}$	$1/21 \times 10^{-2}$	$4/29 \times 10^{-3}$	$2/594 \times 10^{-1}$
پاییز C	بلع (HQ ingestion)	$1/547 \times 10^{-1}$	$3/80 \times 10^{-2}$	$2/08 \times 10^{-2}$	$3/792 \times 10^{-3}$	$2/166 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$1/582 \times 10^{-2}$	$1/55 \times 10^{-2}$	$5/13 \times 10^{-4}$	$1/16 \times 10^{-5}$	$3/189 \times 10^{-2}$
	مجموع (HI)	$1/706 \times 10^{-1}$	$5/36 \times 10^{-2}$	$2/06 \times 10^{-2}$	$3/80 \times 10^{-3}$	$2/485 \times 10^{-1}$
زمستان C	بلع (HQ ingestion)	$2/863 \times 10^{-1}$	$7/876 \times 10^{-2}$	$1/835 \times 10^{-2}$	$3/843 \times 10^{-3}$	$3/872 \times 10^{-1}$
	پوست (HQ dermal)	$2/927 \times 10^{-2}$	$3/22 \times 10^{-2}$	$4/69 \times 10^{-4}$	$1/18 \times 10^{-5}$	$6/196 \times 10^{-2}$
	مجموع (HI)	$3/155 \times 10^{-1}$	$1/11 \times 10^{-1}$	$1/88 \times 10^{-2}$	$3/86 \times 10^{-3}$	$4/492 \times 10^{-1}$

طبق نتایج حاصل شده از جدول ۹ و شکل‌های (۴ و ۵)، در ارزیابی ریسک غیرسرطانی فلزات کادمیوم، کروم، نیکل و روی برای رده سنی بزرگسال، دقیقاً مشابه رده سنی کودک مشاهده می‌شود که در این ارزیابی از طریق بلع، کادمیوم پرخطرترین و روی کم خطرترین و از طریق پوست، کروم خطرناک‌ترین و روی کم خطرترین فلز بوده است. در بررسی شاخص خطر غیرسرطانی کل (HI) نیز در غلظت میانگین سالانه، بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۰/۳۰، ۰/۲۴، ۰/۲۶، ۰/۲۵ و ۰/۴۵ به دست آمد.



شکل ۴. ارزیابی ریسک غیرسرطانی در بزرگسالان از راه بلع (یافته های تحقیق)



شکل ۵. ارزیابی ریسک غیرسرطانی در بزرگسالان از راه پوست (یافته های تحقیق)

۳-۳. ارزیابی ریسک سرطانی

برای ارزیابی ریسک سرطانی فلزات کروم و سرب، و محاسبه موارد ابتلا به سرطان به دلیل مواجهه با این فلزات، از رابطه‌های ۸ تا ۱۳ و داده‌های موجود در جدول ۴ استفاده شده است و نتایج مربوط به احتمال ابتلا به سرطان در طول زندگی ساکنین اسلامشهر، در مواجهه با این فلزات به ترتیب در جدول‌های (۱۰ و ۱۱) ذکر گردیده است.

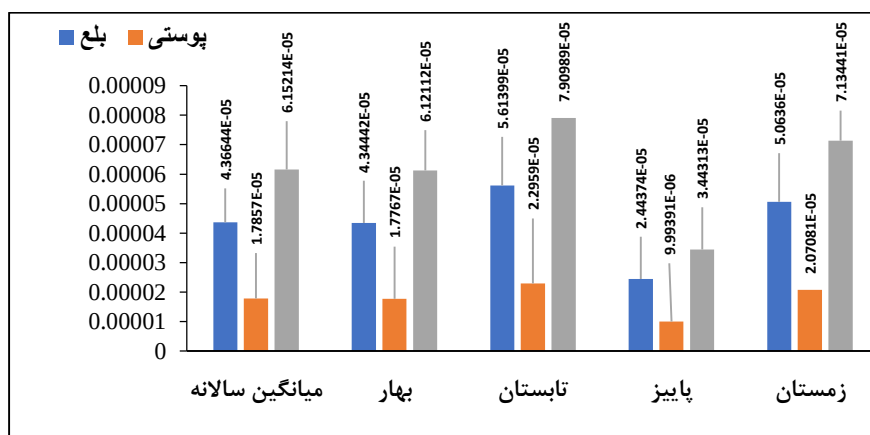
با توجه به اطلاعاتی که از جدول‌های ۱۰ و ۱۱ و شکل‌های ۶ و ۷ به دست آمده است، میزان احتمال رشد سرطان در طول زندگی ساکنین اسلامشهر در مواجهه با فلز کروم و سرب ($ELCR_{total}$)، در غلظت‌های میانگین کل، بهار، تابستان، پاییز و زمستان نشان داد که فلز سرب دارای ریسک سرطانی بیشتری نسبت به کروم می‌باشد، میزان احتمال رشد سرطان در حالت میانگین سالانه برای فلز سرب $10^{-4} \times 3/131$ و برای کروم $10^{-4} \times 0/615$ بود. فصل تابستان خطر بیشتری نسبت به فصول دیگر دارد، آن هم به دلیل افزایش غلظت کروم و سرب در این فصل است.

جدول ۱۰. اطلاعات مرتبط با ارزیابی ریسک سرطانی فلز کروم (یافته‌های تحقیق)

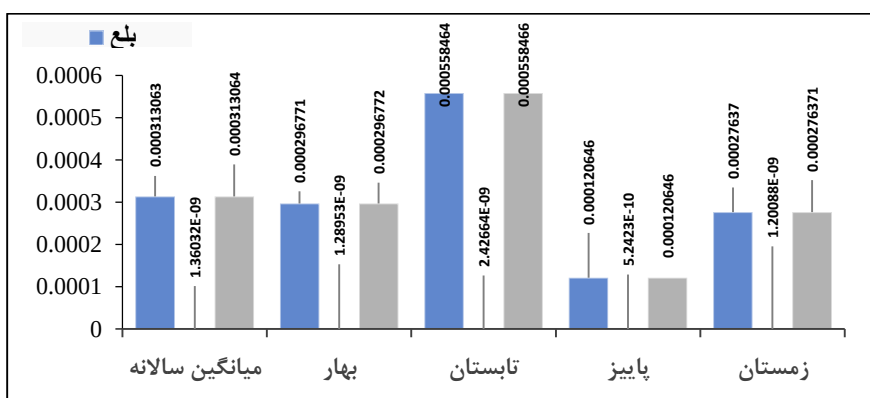
غلظت (mg/L)	CDI ingestion	CDI dermal	ELCR ingestion	ELCR dermal	ELCR total
میانگین C	$8/733 \times 10^{-5}$	$8/930 \times 10^{-7}$	$4/366 \times 10^{-5}$	$1/790 \times 10^{-5}$	$6/150 \times 10^{-5}$
بهار C	$8/689 \times 10^{-5}$	$8/880 \times 10^{-7}$	$4/344 \times 10^{-5}$	$1/780 \times 10^{-5}$	$6/120 \times 10^{-5}$
تابستان C	$1/123 \times 10^{-4}$	$1/150 \times 10^{-6}$	$5/614 \times 10^{-5}$	$2/300 \times 10^{-5}$	$7/910 \times 10^{-5}$
پاییز C	$4/887 \times 10^{-5}$	5×10^{-7}	$2/444 \times 10^{-5}$	$9/990 \times 10^{-6}$	$3/440 \times 10^{-5}$
زمستان C	$1/013 \times 10^{-4}$	$1/040 \times 10^{-6}$	$5/064 \times 10^{-5}$	$2/070 \times 10^{-5}$	$7/130 \times 10^{-5}$

جدول ۱۱. اطلاعات مرتبط با ارزیابی ریسک سرطانی فلز سرب (یافته‌های تحقیق)

غلظت (mg/L)	CDI ingestion	CDI dermal	ELCR ingestion	ELCR dermal	ELCR total
میانگین C	$3/131 \times 10^{-4}$	$1/600 \times 10^{-7}$	$3/130 \times 10^{-4}$	$1/360 \times 10^{-9}$	$3/131 \times 10^{-4}$
بهار C	$2/967 \times 10^{-4}$	$1/517 \times 10^{-7}$	$2/967 \times 10^{-4}$	$1/290 \times 10^{-9}$	$2/967 \times 10^{-4}$
تابستان C	$5/585 \times 10^{-4}$	$2/855 \times 10^{-7}$	$5/585 \times 10^{-4}$	$2/427 \times 10^{-9}$	$5/585 \times 10^{-4}$
پاییز C	$1/206 \times 10^{-4}$	$6/167 \times 10^{-8}$	$1/206 \times 10^{-4}$	$5/242 \times 10^{-10}$	$1/206 \times 10^{-4}$
زمستان C	$2/764 \times 10^{-4}$	$1/413 \times 10^{-7}$	$2/763 \times 10^{-4}$	$1/201 \times 10^{-9}$	$2/764 \times 10^{-4}$



شکل ۶. ارزیابی ریسک سرطانی فلز کروم (یافته‌های تحقیق)



شکل ۷. ارزیابی ریسک سرطانی فلز سرب (یافته‌های تحقیق)

۴. بحث

مطالعات انجام شده بر روی آب‌های زیرزمینی منطقه اسلامشهر نشان داد که غلظت فلز روی دارای بالاترین مقدار میانگین سالانه در

مقایسه با سایر فلزات است. این مقدار برابر با $0/037$ میلی گرم بر لیتر بوده و این اختلاف در تمامی فصول مشاهده شده است. در فصل تابستان، غلظت روی و سرب به ترتیب $0/037$ و $0/038$ میلی گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد که نشان‌دهنده تغییرات جزئی فصلی است. از سوی دیگر، فلز کادمیوم کمترین غلظت را در تمام فصول داشت، به‌طوری که میانگین سالانه آن برابر با $0/0024$ میلی گرم بر لیتر گزارش شد. مقادیر این فلز در فصول مختلف به ترتیب شامل $0/0016$ (بهار)، $0/0015$ (تابستان)، $0/0022$ (پاییز) و $0/0041$ (زمستان) میلی گرم بر لیتر بوده است.

۱-۴. ارزیابی ریسک غیرسرطانی

براساس داده‌های جدول ۷ و شکل‌های ۲ و ۳، ارزیابی ریسک غیرسرطانی نشان داد که ریسک ناشی از بلع آب آلوده برای کودکان در فصل زمستان با ضریب $0/72$ بیشترین مقدار و در بهار با $0/37$ کمترین مقدار را داشته است. علاوه بر این، ریسک ناشی از تماس پوستی نیز در زمستان برابر با $0/15$ و در بهار برابر با $0/09$ بوده است. این اختلاف ناشی از افزایش غلظت فلزات سنگین در فصل زمستان در مقایسه با سایر فصول است. یافته‌ها نشان داد که برای هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان، میزان خطر ناشی از بلع به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از خطر ناشی از تماس پوستی بوده است. برای کودکان، مجموع ریسک غیرسرطانی در زمستان $0/87$ (بیشترین مقدار) و در بهار $0/46$ (کمترین مقدار) برآورد شد. روند مشابهی در بزرگسالان مشاهده شد، به‌طوری که میزان ریسک بلع و تماس در زمستان به ترتیب $0/38$ و $0/44$ و در بهار $0/19$ و $0/23$ بوده است.

در بررسی خطرات ناشی از فلزات مختلف، کادمیوم به‌عنوان پرخطرترین و روی به‌عنوان کم‌خطرترین عنصر در ایجاد اثرات غیرسرطانی شناسایی شد. علت این موضوع، دوز مرجع بالاتر روی نسبت به سایر فلزات (مطابق داده‌های جدول ۳) است. این روند در تمام فصول به جز تابستان مشاهده شد، که در آن شاخص خطر کروم غالب بوده است. همچنین، تحلیل نسبت خطر غیرسرطانی از طریق بلع (HQ ingestion) و تماس پوستی (HQ dermal) نشان داد که کادمیوم بیشترین ریسک را از طریق بلع و کروم بیشترین خطر را از طریق تماس پوستی ایجاد می‌کند.

نتایج نشان داد که برای کودکان، ۸۱ درصد از خطر کل مربوط به بلع و ۱۹ درصد مربوط به تماس پوستی است، در حالی که این نسبت برای بزرگسالان به ترتیب ۸۴ و ۱۶ درصد بوده است. سهم فلزات مختلف در ریسک غیرسرطانی برای هر دو گروه سنی مشابه بوده و برای کادمیوم، کروم، نیکل و روی به ترتیب ۷۵، ۶۵، ۹۷ و ۹۹ درصد از طریق بلع و مابقی از طریق تماس پوستی برآورد شده است.

۲-۴. ارزیابی ریسک سرطانی

مطابق دستورالعمل‌های سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (۲۰۰۵)، اگر مقدار ریسک سرطانی بالاتر از 10^{-4} باشد، ریسک غیرقابل قبول محسوب می‌شود. در صورتی که این مقدار در بازه 10^{-4} تا 10^{-6} باشد، ریسک قابل قبول تلقی شده و در مقادیر کمتر از 10^{-6} ، میزان خطر ناچیز در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه، کروم شش‌ظرفیتی به دلیل سمیت بالاتر به‌عنوان فلز هدف در ارزیابی ریسک سرطانی بررسی شد. براساس جدول ۱۰، احتمال رشد سرطان ناشی از بلع کروم برابر با $10^{-5} \times 4/360$ ، از طریق تماس پوستی $10^{-5} \times 1/790$ و در مجموع $10^{-5} \times 6/150$ برآورد شد. با توجه به جمعیت منطقه اسلامشهر (۵۴۸۶۲۰ نفر) و با استفاده از رابطه ۱۳، تعداد موارد سرطان ناشی از بلع و تماس پوستی به ترتیب ۲۳/۹۵ و ۹/۸۲ نفر در سال محاسبه شد که در مجموع برابر با ۳۳/۷۷ مورد در سال است.

در میان فصول مختلف، بیشترین تأثیر کروم در افزایش احتمال سرطان در فصل تابستان مشاهده شد ($10^{-5} \times 7/910$)، در حالی که کمترین مقدار آن در فصل پاییز گزارش شد ($10^{-5} \times 3/440$). در خصوص فلز سرب نیز احتمال رشد سرطان در طول زندگی از طریق بلع $10^{-5} \times 3/130$ و از طریق تماس پوستی $10^{-9} \times 1/360$ برآورد شد. در مجموع، تعداد موارد سرطان ناشی از بلع سرب ۱۷۱/۷۲ نفر در سال تخمین زده شد، در حالی که احتمال رشد سرطان ناشی از تماس پوستی با سرب ناچیز گزارش شد. بیشترین احتمال وقوع سرطان ناشی از سرب در تابستان ($10^{-4} \times 5/585$) و کمترین مقدار آن در پاییز ($10^{-4} \times 1/206$) ثبت شده است.

۳-۴. مقایسه با مطالعات پیشین

نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین در سایر مناطق همخوانی دارد. به عنوان مثال، مطالعه‌ای در پاکستان نشان داد که تجمع بالای کادمیوم و کروم در مناطق نزدیک به معادن و صنایع سنگین با خطرات بهداشتی قابل توجهی همراه است. این یافته‌ها بر اهمیت هماهنگ‌سازی استراتژی‌های کنترل آلودگی در سطح منطقه‌ای و بین‌المللی تأکید دارد (Obasi et al., 2019). همچنین مطالعات دیگر نشان داده، در کشور توسعه نیافته‌ای مانند پاکستان، سالانه بیش از ۲/۲ میلیون نفر به دلیل مصرف آب آشامیدنی ناسالم و بهداشت نامناسب جان خود را از دست می‌دهند (Latif et al., 2024; Nawaz et al., 2023; Ghosh et al., 2024).

همچنین، مطالعات اخیر در ایران و کشورهای همسایه نشان داده‌اند که غلظت فلزات سنگین در مناطق صنعتی به‌طور قابل توجهی بیشتر از مناطق کشاورزی است. با این وجود، نقش کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در افزایش آلودگی فلزات سنگین در منابع آبی کشاورزی نباید نادیده گرفته شود. این یافته‌ها با مطالعات انجام شده در استان خراسان رضوی مطابقت دارد که در آن، کادمیوم به‌عنوان یکی از آلاینده‌های خطرناک شناسایی شده است (Mohammadi et al., 2020).

مطالعه‌ای که در دشت بیرجند انجام شد، نشان داد که غلظت فلزات سنگین از جمله کروم و سرب در برخی منابع آب زیرزمینی این منطقه از استانداردهای ملی و بین‌المللی فراتر رفته است. ارزیابی ریسک سلامت نیز نشان داد که مقادیر ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی در این منطقه به ترتیب در محدوده 10^{-5} تا 10^{-6} قرار دارد که مشابه نتایج این پژوهش است و نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه این آلاینده‌ها بر سلامت عمومی است (سینکا کریمی و همکاران، ۱۳۹۹).

در مطالعه‌ای که در بخش دندی شهرستان ماهشان صورت گرفت، ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی نشان داد که اگرچه غلظت فلزات سنگین مانند سرب، آرسنیک، کادمیوم و کروم کمتر از حد مجاز بوده است، اما ارزیابی ریسک سلامت نشان داد که احتمال خطر سرطان زایی ناشی از این فلزات برای جمعیت این منطقه وجود دارد. مقدار ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی در این منطقه به ترتیب 10^{-5} تا 10^{-6} و 10^{-4} برآورد شد که نشان‌دهنده نگرانی‌های بهداشتی مشابهی در مقایسه با پژوهش حاضر است (علیائی و باریکلو، ۱۳۹۷).

لازم به ذکر است که در مطالعات پیشین، بیشتر تحقیقات متمرکز بر اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی بوده‌اند، در حالی که این پژوهش علاوه بر اندازه‌گیری غلظت، به ارزیابی جامع ریسک غیرسرطانی و سرطانی پرداخته است. این مطالعه به‌طور جامع پنج فلز سنگین (کادمیوم، کروم، سرب، نیکل و روی) را بررسی کرده و تمامی محاسبات به تفکیک فصول و برای دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان انجام شده است. این سطح از دقت و جامعیت، به‌ویژه در منطقه اسلامشهر، در مطالعات پیشین مشاهده نشده و یافته‌های این پژوهش می‌تواند در تدوین سیاست‌های مدیریتی برای کاهش اثرات آلودگی‌های فلزی در آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اهمیت وجود فلزات سنگینی مثل کادمیوم، کروم، سرب، نیکل و روی در آب و تأثیری که این مواد در صورت بلعیده شدن یا تماس پوستی آب با انسان، از خود نشان می‌دهند، ریسک بیماری‌های غیرسرطانی و سرطانی ناشی از تماس با این فلزات در محدوده شهر اسلامشهر بررسی و محاسبه شد. میزان فلزات نام برده شده، در هر فصل ۲۳ بار و در مجموع در طی ۴ فصل پیاپی ۹۲ بار از چاه‌های منطقه اسلامشهر اندازه‌گیری شد. بر اساس این مقادیر، غلظت میانگین هر فصل و میانگین سالانه برای هر فلز محاسبه و ارزیابی ریسک سرطانی و غیرسرطانی انجام شد.

در ارزیابی غیرسرطانی، در تمامی حالت‌ها در دو رده سنی کودکان و بزرگسالان شاخص خطر کل (HI) پایین‌تر از عدد یک بود و با معیار قرار دادن غلظت میانگین سالانه عناصر، مقدار شاخص خطر کل برای کودکان $0/58$ و برای رده سنی بزرگسال $0/30$ بود. این امر نشان می‌دهد که آب این منطقه از نظر خطرات غیرسرطانی تهدیدی برای مردم ایجاد نمی‌کند. در ارزیابی ریسک سرطانی مقدار شاخص نشان‌دهنده احتمال رشد سرطان در طول زندگی جمعیت در مواجهه با کروم و سرب (ELCR) در غلظت میانگین سالانه آنها به ترتیب برابر 10^{-5} تا 10^{-4} و 10^{-4} تا 10^{-3} بود که هر دو در بازه 10^{-4} تا 10^{-6} بوده و ریسک سرطان زایی آنها مورد قبول است. با این حال، میزان این

فلزات ممکن است سالانه حدود ۲۰۵ نفر از جمعیت شهرستان اسلامشهر را به سرطان مبتلا کند. برای پیشگیری از این خطر، باید با استفاده از روش‌های تصفیه مناسب، غلظت فلزات سنگین به‌ویژه سرب در آب آشامیدنی و سایر مصارف کاهش یابد. برای بهبود نتایج در آینده، می‌توان با استفاده از دستگاه‌های دقیق‌تر، فرایند نمونه‌برداری و اندازه‌گیری آب از چاه‌های زیرزمینی را ارتقا داد و با افزایش تعداد نمونه‌برداری، دقت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین مورد ارزیابی موجود در آب زیرزمینی را بهبود بخشید. همچنین، می‌توان پارامترهای دیگری که علاوه بر فلزات کادمیوم، کروم، سرب، نیکل و روی در ایجاد ریسک غیرسرطانی و سرطانی مؤثر هستند، بررسی کرد و نتیجه دقیق‌تری برای ایجاد بیماری‌های سرطانی ناشی از تماس با آب زیرزمینی منطقه به دست آورد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: امیر زهرایی‌صالحی، زینب قاریانپور؛ تهیه گزارش پژوهش: زینب قاریانپور، امیر ارسلان پرداختی؛ تحلیل داده‌ها: امیر زهرایی‌صالحی و امیر ارسلان پرداختی؛ نظارت بر روند شکل‌گیری پژوهش از جمع‌آوری داده‌ها تا نگارش نسخه نهایی: امیر زهرایی‌صالحی

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

از آقای دکتر علیرضا پرداختی به خاطر بازبینی متن مقاله و ارائه نظرهای ساختاری تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- حسینی، امیرحسام؛ خانی، محمدرضا؛ صیادی، مجتبی؛ قدمی، ولی‌اله و خستو، حمیدرضا. (۱۳۸۸). بررسی وضعیت آلودگی میکروبی در منابع آب زیرزمینی روستاهای شهرستان اسلامشهر، ۱۲ (۱)، ۱۹۵-۲۰۰.
- سینکاکریمی، محمدحسین؛ رجایی، قاسم، مهدی‌نژاد؛ محمدهادی و حاتمی‌منش، مسعود. (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک سلامت برخی فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از شاخص آژانس حفاظت محیط‌زیست. *مجله سلامت و بهداشت*، ۱۱ (۲)، ۱۸۳-۱۹۳.
- شهرداری اسلامشهر. (۱۳۹۷). موقعیت جغرافیایی شهر. بازیابی‌شده از <http://m1.eslamshahr.ir/s/mfarcB>
- علیائی، محمدصادق و باریکلو، علی. (۱۳۹۷). ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی بخشی از روستاهای شمال شرقی شهرستان ماهشان، بخش دندی، استان زنجان). *فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)*، ۸ (۳۱)، ۴۱-۵۱.
- مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). سرشماری جمعیت و مسکن ۱۳۹۵. تهران: مرکز آمار ایران. بازیابی‌شده از <https://www.amar.org.ir>
- ولی‌نژاد، فاطمه؛ حسینی، امیرحسام و صیادی، مجتبی. (۱۳۹۵). بررسی میزان فلزات سنگین (کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، روی) در منابع آب زیرزمینی شهرستان اسلامشهر و تهیه نقشه پراکنش آن در محیط GIS. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۸ (ویژه نامه شماره ۲)، ۱۸۷-۱۹۹.

References

- Aliayi, M. S., & Barikloo, A. (2018). Health risk assessment of heavy metals in groundwater sources (Case study: Some villages in the northeast of Mahneshan County, Dandi District, Zanjan Province). *Geography Quarterly (Regional Planning)*, 8(31), 41-51. <https://civilica.com/doc/1399523> [in persian].
- Bhattacharya, S. (2020). The role of probiotics in the amelioration of cadmium toxicity. *Biological trace element research*, 197(2), 440-444. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02025-x>
- Charkiewicz, A. E., & Backstrand, J. R. (2020). Lead toxicity and pollution in Poland. *International journal of environmental research and public health*, 17(12), 4385. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124385>
- Devirgiliis, C., Zalewski, P. D., Perozzi, G., & Murgia, C. (2007). Zinc fluxes and zinc transporter genes in chronic diseases. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 622(1-2), 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2007.01.013>
- European Food Safety Authority (EFSA) Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2009). Scientific opinion on arsenic in food. *EFSA Journal*, 7(10), 1351. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351>
- Ezugwu, AL., Agbasi, JC., Egbueri, JC. (2024). Mechanism, formation and transport of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fruits, vegetables and fresh fish species in Africa: a systematic review of its health risk. *Chemistry Africa* 7:2321–2344. <https://doi.org/10.1007/s42250-024-00926-1>
- Fiore, M., Oliveri Conti, G., Caltabiano, R., Buffone, A., Zuccarello, P., Cormaci, L., ... & Ferrante, M. (2019). Role of emerging environmental risk factors in thyroid cancer: a brief review. *International journal of environmental research and public health*, 16(7), 1185. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071185>
- Fowler, B. A., Nordberg, G. F., Nordberg, M., & Friberg, L. (Eds.). (2011). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Academic Press.
- Ghosh, D., Chaudhary, S., Sarkar, S., & Singh, P. (2024). Water pollution in rural areas: Primary sources, associated health issues, and remedies. *Water Resources Management for Rural Development* 15–28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18778-0.00017-9>
- Hosni, A. H., Khani, M. R., Sayadi, M., Gadami, V. A., & Khastu, H. R. (2010). Investigating the status of microbial contamination in underground water sources in the villages of Islamshahr city. *Environmental Science and Technology Quarterly*, 12(1):195-200. <https://civilica.com/doc/1291461> [in persian].
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2012). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Arsenic, metals, fibres, and dusts (Vol. 100C). International Agency for Research on Cancer.
- Latif, M., Nasir, N., Nawaz, R., Nasim, I., Sultan, K., Irshad, MA., & Bourhia, M. (2024). Assessment of drinking water quality using Water Quality Index and synthetic pollution index in urban areas of mega city Lahore: a GIS-based approach. *Sci Rep* 14:13416. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63296-1>
- Liang, Y., Yi, X., Dang, Z., Wang, Q., Luo, H., & Tang, J. (2017). Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of a tailing pond in Guangdong, China. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1557. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121557>
- Mahar, H., Memon, A. R., Ishfaq, A., & Soomro, S. A. (2024). The surveillance of arsenic levels in the drinking water of primary schools and the assessment of the potential cancer-related health risks of children in Multan, Pakistan. *Emerging Contaminants*, 10(1), 100252. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100252>
- Mahar, H., Soomro, S. A., & Memon, A. R. (2024). Groundwater arsenic removal using raw and modified Nagarparkar Pakistani Kaolin. *Arabian Journal of Geosciences*, 17(2), 60. <https://doi.org/10.1007/s12517-024-11864-0>
- Mohammadi, A. A., Zarei, A., Esmaeilzadeh, M., Taghavi, M., Yousefi, M., Yousefi, Z., ... & Javan, S. (2020). Assessment of heavy metal pollution and human health risks assessment in soils around an industrial zone in Neyshabur, Iran. *Biological trace element research*, 195, 343-352. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01816-1>
- Municipality of Eslamshahr. (2018). *Geographic location of the city*. Retrieved, from <http://m1.eslamshahr.ir/s/mfarcB>
- Nawaz, R., Nasim, I., Irfan, A., Islam, A., Naeem, A., Ghani, N., & Ullah, R. (2023). Water Quality Index and human health risk assessment of drinking water in selected urban areas of a Mega City. *Toxics* 11:577. <https://doi.org/10.3390/toxics11070577>
- Obasi, N. A., Obasi, S. E., Nweze, E., Amadi, S. O., Aloke, C., & Alohe, G. O. (2019). Heavy metal pollution and human health risk assessment of Farmlands around Enyigba lead-zinc mining site, Ebonyi State, Nigeria. In *Proceedings of the 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'19)*. <https://doi.org/10.11159/iceptp19.135>
- Oak Ridge National Laboratory. (1998). *Risk Assessment Information System (RAIS)*. U.S. Department of Energy. Retrieved June 17, 2025, from <https://rais.ornl.gov/>.
- Ogunbanjo, O., Onawumi, O., Gbadamosi, M., Ogunlana, A., & Anselm, O. (2016). Chemical speciation of some heavy metals and human health risk assessment in soil around two municipal dumpsites in Sagamu, Ogun state, Nigeria. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 28(1-4), 142-151. <https://doi.org/10.1080/09542299.2016.1203267>

- Salemi, M., & Sayahi, Z. (2018). Assessment the possibility of occurrence of non-cancer effects of cadmium, nickel, lead, chromium and zinc caused by the consumption of barbus grypus fish in Mahshahr city. *Journal of Animal Biology*, 10(4), 33-43. <https://sid.ir/paper/176899/en>
- Sinkakarimi, M. H., Rajei, G., Mahdijezhad, M. H., & Hatamimanesh, M. (2020). health risk assessment of some heavy metals in groundwater resources of birjand flood plain using Environmental Protection Agency (EPA) model. *Journal of Health*, 11(2), 183-193. <https://doi.org/10.29252/j.health.11.2.183> [in Persian].
- Shams, M., Tavakkoli Nezhad, N., Dehghan, A., Alidadi, H., Paydar, M., Mohammadi, A. A., & Zarei, A. (2022). Heavy metals exposure, carcinogenic and non-carcinogenic human health risks assessment of groundwater around mines in Joghatai, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(8), 1884-1899. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1743835>
- Sharafi, S., & Salehi, F. (2025). Comprehensive assessment of heavy metal (HMs) contamination and associated health risks in agricultural soils and groundwater proximal to industrial sites. *Scientific Reports*, 15(1), 7518. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91453-7>
- Statistical Center of Iran. (2016). *Census of population and housing 2016*. Tehran: Statistical Center of Iran. <https://www.amar.org.ir>
- The Risk Assessment Information System by the U.S. Department of Energy (DOE). <https://rais.ornl.gov/> United States Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System. <https://www.epa.gov/iris>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2004). *Risk assessment guidance for Superfund (RAGS), volume I: Human health evaluation manual (part E, supplemental guidance for dermal risk assessment, final)* <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part-e>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2005). *Guidelines for carcinogen risk assessment* Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2018). *Edition of the drinking water standards and health advisories tables*. Drinking Water Standards and Health Advisories. <https://www.epa.gov/system/files/documents/202201/dwtable2018.pdf>
- Valinejad, F., Hosni, A. H., & Sayadi, M. (2016). Investigating the amount of heavy metals (cadmium, chromium, nickel, lead, zinc) in underground water resources of Islamshahr city and preparing its distribution map in GIS environment. *Environmental science and technology*, 18(Special issue number 2):187-99. <https://civilica.com/doc/1289098> [in persian].
- Yousefi, M., Ghalehaskar, S., Asghari, F. B., Ghaderpoury, A., Dehghani, M. H., Ghaderpoori, M., & Mohammadi, A. A. (2019). Distribution of fluoride contamination in drinking water resources and health risk assessment using geographic information system, northwest Iran. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 107, 104408. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.104408>