

Determining the Indicators of Carcinogenic Risk Assessment of Heavy Elements in the Water Resources of the Torbat-e Jam City in 2022

Hossein Alidadi

Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Zahra Karimi

* MSc student, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (corresponding author): z.karimi456@gmail.com

Aliakbar Dehghan

Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Hamed Mohammadi

Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Nursing, Torbat Jam Faculty of Medical Sciences, Torbat Jam, Iran.

Maryam Paydar

Master of Civil Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Received: 2023/05/06

Accepted: 2023/08/01

Doi: 10.22038/jreh.2024.23857

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Purpose: Heavy metals are among the most critical contaminants in drinking water, owing to their stability and accumulation capability in living tissues and the food chain. Consequently, this study was conducted to determine the carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment indices for heavy metals in the water sources of Torbat-e Jam City in 2023.

Materials and Methods: Samples were collected from 16 groundwater sources and the surrounding soil of Torbat-e Jam City during the summer and autumn of 2023. Concentrations of five heavy metals - arsenic, mercury, lead, cadmium, and copper - were measured using a Varian atomic absorption spectrometer. Finally, the health risk levels for three different groups were calculated using indices provided by the Environmental Protection Agency (EPA) of the United States.

Results: The average concentrations of heavy metals in water during summer were as follows: arsenic: 0.0027 ± 0.0035 mg/L, mercury: 0.00019 ± 0.00035 mg/L, lead: 0.0011 ± 0.0023 mg/L, cadmium: 0.0002 ± 0.0002 mg/L, and copper: 0.0046 ± 0.0078 mg/L. In autumn, the concentrations were arsenic: 0.0082 ± 0.0081 mg/L, mercury: 0.0018 ± 0.0008 mg/L, lead: 0.0056 ± 0.0058 mg/L, cadmium: 0.00084 ± 0.00083 mg/L, and copper: 0.0091 ± 0.0068 mg/L. In soil, the concentrations were arsenic: 0.011 ± 0.053 mg/L, mercury: 0.0086 ± 0.0068 mg/L, lead: 0.131 ± 0.186 mg/L, cadmium: 0.0002 ± 0.00047 mg/L, and copper: 0.12 ± 0.24 mg/L. The study found the non-carcinogenic risk levels of the examined heavy metals to be low. However, the carcinogenic risk level for arsenic was very high in both seasons, for cadmium was moderate in autumn, and for the other elements, it was within the standard limits.

Conclusion: Given the high carcinogenic risk of arsenic for women, men, and children in both summer and autumn, continuous monitoring of arsenic levels should be a priority for regulatory agencies.

Keywords: Risk Assessment, Groundwater, Torbat-e Jam, Carcinogenicity, Heavy Metals

► **Citation:** Alidadi H, Karimi Z, Dehghan A, Mohammadi H, Paydar M. Determining the Indicators of Carcinogenic Risk Assessment of Heavy Elements in the Water Resources of the Torbat-e Jam City in 2022. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2024; 9(4): 417-427.

تعیین شاخص‌های ارزیابی ریسک سرطان‌زایی عناصر سنگین در منابع آب شهر تربت‌جام در سال ۱۴۰۱

حسین علی‌دادی

استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

زهرا کریمی

* دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول):

z.karimi456@gmail.com

علی اکبر دهقان

استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

حامد محمدی

استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پرستاری، دانشکده علوم پزشکی تربت‌جام، تربت‌جام، ایران.

مریم پایدار

کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: عناصر سنگین به دلیل پایداری و قابلیت تجمع در بافت‌های زنده و زنجیره غذایی، از مهمترین آلاینده‌های آب‌های آشامیدنی به حساب می‌آیند. از این رو مطالعه حاضر با هدف تعیین شاخص‌های ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی عناصر سنگین در منابع آب شهر تربت‌جام در سال ۱۴۰۱ انجام شد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری از ۱۶ منبع آب زیرزمینی و خاک اطراف منابع آب شهر تربت‌جام در دو فصل تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ صورت گرفت. غلظت ۵ عنصر سنگین آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیوم و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی Varian مورد سنجش قرار گرفت و در نهایت میزان خطر بهداشتی برای سه گروه مختلف با کمک شاخص‌های آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا محاسبه شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت عناصر سنگین در آب در تابستان به ترتیب برای آرسنیک: 0.0027 ± 0.0035 ، جیوه: 0.00019 ± 0.00035 ، سرب: 0.0011 ± 0.0023 ، کادمیوم: 0.0002 ± 0.0002 و مس: 0.0046 ± 0.0078 در پاییز آرسنیک: 0.0082 ± 0.0081 ، جیوه: 0.0018 ± 0.0008 ، سرب: 0.0056 ± 0.0058 ، کادمیوم: 0.0084 ± 0.0083 و مس: 0.0091 ± 0.0068 و در خاک آرسنیک: 0.011 ± 0.0053 ، جیوه: 0.0086 ± 0.0068 ، سرب: 0.0131 ± 0.0186 ، کادمیوم: 0.0002 ± 0.00047 و مس: 0.012 ± 0.024 میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد. همچنین میزان ریسک غیرسرطان‌زایی عناصر سنگین مورد بررسی پایین بود. در حالی که میزان ریسک سرطان‌زایی برای آرسنیک در هر دو فصل خیلی بالا، برای کادمیوم در فصل پاییز در حد متوسط و برای سایر عناصر در محدوده تعیین شده استاندارد بدست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به بالا بودن میزان ریسک سرطان‌زایی آرسنیک در هر سه گروه زنان، مردان و کودکان در دو فصل تابستان و پاییز، پایش آرسنیک باید بطور مستمر در دستور کار واحدهای نظارتی قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: ارزیابی ریسک، آب زیرزمینی، تربت‌جام، سرطان‌زایی، عناصر سنگین

◀ **استناد:** علی‌دادی ح، کریمی ز، دهقان ع، محمدی ح، پایدار م. تعیین شاخص‌های ارزیابی ریسک سرطان‌زایی عناصر سنگین در منابع آب شهر تربت‌جام در سال ۱۴۰۱. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. زمستان ۱۴۰۲؛ ۹(۴): ۴۱۷-۴۲۷.

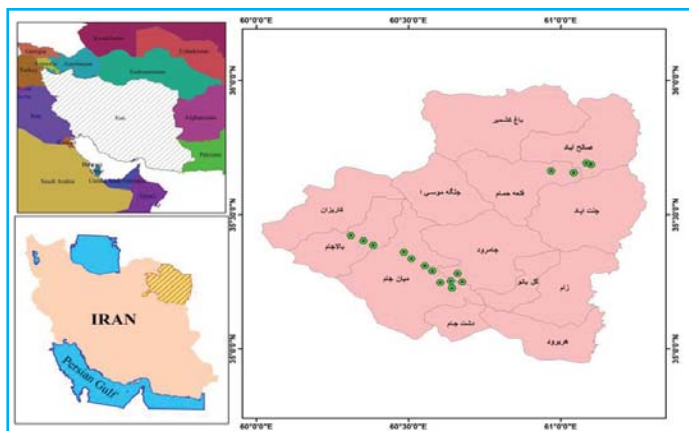
آب مایعی حیات بخش و اساس سلامت، بهداشت و پیشرفت هر جامعه‌ای است. امروزه با پیشرفت صنعت و رشد جمعیت مصرف آب افزایش یافته و منابع موجود در معرض آلودگی و برداشت بیش از حد قرار گرفته‌اند. خشکسالی‌های پی در پی همراه با رشد اقتصادی و صنعتی و تولید انواع مختلف مواد شیمیایی و میکروارگانسیم‌ها و ورود آن‌ها به منابع آبی منجر به کاهش کیفیت و کمیت آب آشامیدنی شده به گونه‌ای که تامین آب شرب بهداشتی به دغدغه‌ای مهم تبدیل شده است (۱). در اکثر نقاط جهان به دلیل وجود صنایع فلزی، کشاورزی و دفع نامناسب زباله و مصرف انواع کودهای شیمیایی، ورود آلاینده‌ها به آب‌های سطحی و خاک میسر شده است. بدلیل نفوذ آب‌های سطحی در زمین و از آنجا به آب‌های زیرزمینی، منجر به انتقال آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین به منابع آبی شده است (۲).

عملکرد خاک نیز ممکن است به شدت تحت تأثیر عوامل مختلف انسانی مانند شیوه‌های کشاورزی و جنگل‌داری نامناسب، فعالیت‌های صنعتی، گردشگری، گسترش شهرها و فعالیت‌های صنعتی و کارهای ساختمانی قرار گیرد. بنابراین، آلودگی خاک با افزایش جمعیت و فعالیت‌های مختلف انسانی بیشتر خواهد شد. منشاء آلاینده‌های خاک ممکن است طبیعی و یا انسانی باشد. در بیشتر موارد آلودگی خاک نتیجه فعالیت‌های انسانی (عمدی یا تصادفی) مانند استخراج معادن، احتراق سوخت‌های فسیلی، صنایع، نشت از محل‌های دفن زباله، استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی و تولید فاضلاب است. خاک علاوه بر این که تهدیدی برای اکوسیستم‌ها است، می‌تواند بطور مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامت عمومی انسان‌ها نیز تاثیر داشته باشد. افراد بطور غیر مستقیم با خوردن غذا یا آب آلوده در معرض تماس این آلاینده‌ها قرار می‌گیرند. به عنوان مثال آلودگی خاک و محصولات کشاورزی توسط عناصر سنگین در کشورهای آسیایی به معضل جدی تبدیل شده است (۳). همچنین میزان غلظت این عناصر و نیز نحوه توزیع آن‌ها در منابع آبی به شرایط مخازن و شبکه‌های توزیع آب بستگی دارد (۴).

فلزات موجود در آب و خاک به دو گروه ضروری (مورد نیاز برای متابولیسم بدن) و غیرضروری (اثرات نامطلوب بر سلامت) تقسیم می‌شوند (۵). همچنین عناصر طبیعی با وزن اتمی بالا هستند که ورود آن‌ها از طریق فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی باعث آلودگی خاک و بسیاری از منابع آبی شده است. فعالیت‌های کشاورزی، معدنی، صنعتی و کاربرد عناصر سنگین در پزشکی منجر به انتقال و گسترش وسیع آن‌ها در محیط زیست شده و استفاده زیاد از آن‌ها، افزایش نگرانی در مورد اثرات بالقوه آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست را بدنبال داشته است. عناصر سنگین از جمله آلاینده‌های پایدار محیط زیست بشمار می‌آیند. سمیت آنها به عوامل متعددی از جمله دوز، مسیر قرار گرفتن در معرض آن‌ها، خواص شیمیایی این فلزات و همچنین سن، جنس، ژنتیک و وضعیت تغذیه‌ای افراد بستگی دارد. مسئله مهم، میزان پایداری این عناصر در محیط زیست و تجمع زیستی آن‌ها در زنجیره غذایی است. از آنجایی که حتی قرار گرفتن در معرض مقادیر پایین این آلاینده‌ها هم موجب ایجاد آسیب‌های متعدد و جدی به بافت‌های مختلف بدن می‌شود، لذا به عنوان سموم سیستماتیک در نظر گرفته می‌شوند.

از مهمترین مشکلات بهداشتی و عوارض عناصر سنگین می‌توان به سرطان‌زایی، اثر بر سیستم اعصاب محیطی و مرکزی، پوست، سیستم خون‌ساز، سیستم قلبی و عروقی، آسیب به کلیه‌ها و تجمع در بافت‌ها اشاره کرد. در بین عناصر سنگین، کادمیوم، جیوه و سرب دارای اثرات شدیدتری بر سلامت جانداران به ویژه انسان‌ها هستند که تاکنون موجب رخداد حوادث ناگواری نیز شده‌اند (۶). همچنین تماس کوتاه‌مدت با غلظت‌های بالای فلزات می‌تواند باعث آسیب به ریه، واکنش‌های پوستی و علائم گوارشی شده و برخی نیز در طول زمان در بدن تجمع یافته و پس از سال‌ها قرار گرفتن در معرض مواد سمی به غلظت‌های خطرناک می‌رسند (۷). در مطالعه‌ای مشابه ملکی و همکاران به بررسی غلظت عناصر سنگین و ریسک سرطان‌زایی ناشی

سرب، کادمیوم و مس در آن‌ها سنجیده شد.



شکل ۱. نقاط نمونه‌برداری بر روی نقشه

روش نمونه‌برداری و نگهداری نمونه‌های آب و خاک طبق توصیه‌های کتاب روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب صورت گرفت که بر طبق آن جهت کاهش خطا و افزایش اطمینان ظروف شیشه‌ای کهربایی به مدت ۴۸ ساعت در اسید نیتریک ۱۰ درصد قرار داده شده و سپس با کمک آب مقطر آبکشی شدند. پس از انجام نمونه‌برداری به منظور ایجاد محیط اسیدی به هر یک از بطری‌ها مقدار ۳ میلی لیتر اسیدنیتریک ۵۰٪ اضافه کرده و نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایشات در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند. نمونه‌های خاک نیز بطور کامل خشک، آسیاب و سپس توسط الک ۲ میلی متری غربال شدند و هضم اسیدی نمونه‌های خاک با استفاده از اسیدنیتریک و پراکسید هیدروژن مطابق استاندارد EPA 3050B انجام شد. به منظور آنالیز نمونه‌های آب و خاک از دستگاه جذب اتمی مدل VARIAN GTA120 استفاده شد. سپس ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از مصرف آب برای سه گروه مردان، زنان و کودکان در دو فصل تابستان و پاییز بر اساس روش پیشنهادی سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا انجام شد. بدین منظور جهت تعیین میزان ریسک غیر سرطان‌زایی ناشی از مواجهه با عناصر سنگین از رابطه ۱ استفاده شد.

$$HQ^1 = \frac{CDI}{RFD} \quad \text{رابطه (۱)}$$

از آن‌ها در آب آشامیدنی پرداخته بودند. نتایج این مطالعه نشان داد مصرف‌کنندگان در معرض خطر سرطان‌زایی آرسنیک بودند (۸). اما در پژوهشی دیگر که به ارزیابی عناصر سنگین در آب آشامیدنی در کشور عربستان پرداخته است نتایج نشان داد که غلظت مس، کبالت، نیکل، سرب، منگنز، روی، کروم و کادمیوم در محدوده استانداردهای سازمان بهداشت جهانی^۱ و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۲ بودند (۹).

شهرستان تربت جام در شرق خراسان، با مساحت تقریبی ۸۱۶۶ کیلومتر مربع و ۹۲۸ متر ارتفاع از سطح دریا قرار گرفته است. این شهرستان از شمال به شهرستان سرخس، از غرب به فریمان و تربت حیدریه، از جنوب به تایباد و از شرق به رودخانه هریرود و مرز دو کشور افغانستان و ترکمنستان منتهی می‌گردد. تربت جام به لحاظ آب و هوایی در منطقه نیمه‌بیابانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد قرار دارد. جمعیت آن در سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ در حدود ۱۰۰۴۷۷ نفر بوده است همچنین آب شرب آن از طریق ۲۳ حلقه چاه فعال تامین می‌گردد (۱۰).

از این رو مطالعه حاضر به تعیین شاخص‌های ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی عناصر سنگین آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیوم و مس در منابع آب شهر تربت جام پرداخته است.

روش کار

مطالعه حاضر از نوع توصیفی-مقطعی است و در دو بخش میدانی و آزمایشگاهی انجام شد. نمونه‌برداری آب به روش تصادفی ساده از ۱۶ منبع آب زیرزمینی و ۱۶ نمونه از خاک اطراف محل هر یک از نمونه‌های آب در شهر تربت جام در دو فصل تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ انجام گرفت (شکل ۱). جهت جلوگیری از خطای احتمالی در سه نقطه نمونه‌های آب و خاک با ۳ بار تکرار انجام شد و در مجموع تعداد ۴۴ نمونه آب (فصل تابستان و پاییز) و ۲۲ نمونه خاک (فصل تابستان) جمع‌آوری و غلظت هر یک از فلزات آرسنیک، جیوه،

1. World Health Organization

2. US Environmental Protection Agency

مواجهه با ماده سرطان‌زا و CSF^3 فاکتور شیب سرطان‌زایی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد که مقادیر آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مقادیر دوز مرجع و فاکتور شیب سرطان‌زایی عناصر سنگین

عنصر سنگین	CSF^3	RFD	واحد
سرب	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۳۵	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز
جیوه	-	۰/۰۰۰۳	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز
آرسنیک	۱/۵	۰/۰۰۰۳	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز
کادمیوم	۰/۶۱	۰/۰۰۰۵	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز
مس	-	۰/۰۴	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز

یافته‌ها

جدول ۲ مقادیر میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده عناصر سنگین در نمونه‌های آب و خاک شهر تربت‌جام در دو فصل تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ و مقادیر تعیین شده توسط استانداردهای ملی، WHO و EPA نشان داده شده است.

مقایسه میانگین غلظت این عناصر با مقادیر استاندارد نشان می‌دهد که غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب در فصل تابستان در نقاط ۲ (شهر صالح‌آباد)، ۴ (صالح‌آباد، جهان‌آباد) و ۱۱ (تربت‌جام، باغسنگان) بیش از حدود تعیین شده توسط استانداردهای ملی و بین‌المللی بوده است. در حالی که این نتایج برای سایر نقاط و عناصر در محدوده تعریف شده توسط استانداردهای فوق‌تر قرار داشت.

میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در فصل پاییز به طور معناداری بالاتر از تابستان بدست آمد (نمودار ۱).

میانگین غلظت عناصر آرسنیک، جیوه، سرب و مس در خاک از نظر آماری به طور معناداری بالاتر از آب بود. این در حالی است که میانگین کادمیوم در آب و خاک تفاوت معناداری را نشان نمی‌داد (نمودار ۲).

که در آن HQ^1 نسبت خطر غیرسرطان‌زایی از طریق گوارش، CDI دوز دریافتی روزانه از مسیر بلع بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز و RFD دوز مرجع برای هر عنصر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز (در واقع این پارامتر حداکثر دوز از یک عنصر است که می‌تواند روزانه از طریق بلع به ازای وزن فرد وارد بدن شود و موجب بروز اثرات غیر سرطان‌زایی نشود) است.

با استفاده از رابطه ۲ میزان دز دریافتی روزانه از مسیر بلع برای هر عنصر محاسبه شد.

رابطه (۲):

$$CDI = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

که در رابطه بالا CW : غلظت عنصر سنگین (میلی‌گرم بر لیتر)، IR : میزان روزانه مصرف آب آشامیدنی (کودکان ۱ و برای مردان و زنان ۲ لیتر در روز)، EF : تعداد دفعات مواجهه (برای همه گروه‌ها ۳۶۵ روز در سال)، ED : مدت زمان مواجهه (بطور میانگین برای کودکان ۶ سال و برای زنان و مردان ۳۰ سال)، BW : وزن بدن (بطور میانگین کودکان ۱۵، زنان ۶۰ و مردان ۷۰ کیلوگرم) و AT : میانگین تعداد روزهای عمر (کودکان ۲۱۹۰ و زنان و مردان ۱۰۹۵۰ روز) است که میانگین تعداد روزهای عمر با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (۸).

رابطه (۳):

$$AT = ED \times 365$$

مقادیر دوز مرجع از مسیر بلع برای هر عنصر توسط آژانس حفاظت محیط زیست در جدول ۱ تعیین شده است.

جهت تعیین میزان ریسک سرطان‌زایی ناشی از مواجهه با عناصر سنگین از مسیر بلع از رابطه ۴ استفاده شد.

رابطه (۴):

$$ELCR = CDI \times CSF$$

در این رابطه $ELCR^2$ میزان رشد سرطان در طول عمر در

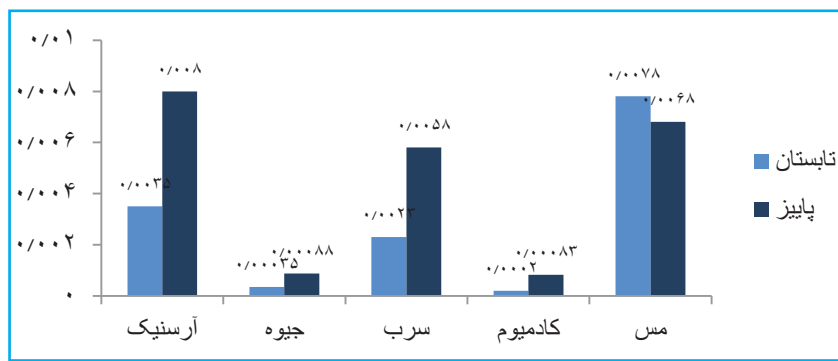
1. Hazard Quotient

2. Excess Lifetime Cancer Risk

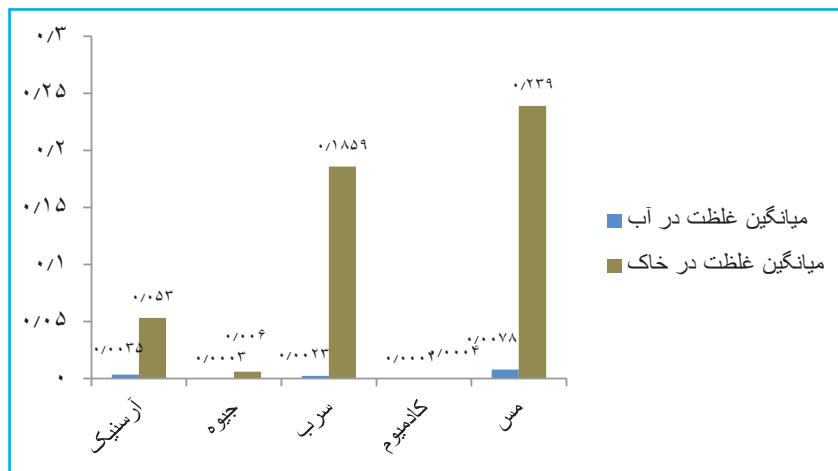
3. Cancer Slope Factor

جدول ۲. میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده عناصر سنگین در نمونه‌های آب و خاک

عنصر سنگین	آب (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)				خاک (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)			
	غلظت در تابستان	غلظت در پاییز	استاندارد ملی	استاندارد WHO	غلظت در تابستان	استاندارد ملی	استاندارد WHO	استاندارد EPA
آرسنیک	۰/۰۰۳۵۵	۰/۰۰۸۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۰
جیوه	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۰۸۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۷
سرب	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۵	۷۵
کادمیوم	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۵
مس	۰/۰۰۰۷۸	۰/۰۰۰۶۸	۲	۲	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۲۰۰



نمودار ۱. مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین در آب در فصل تابستان و پاییز

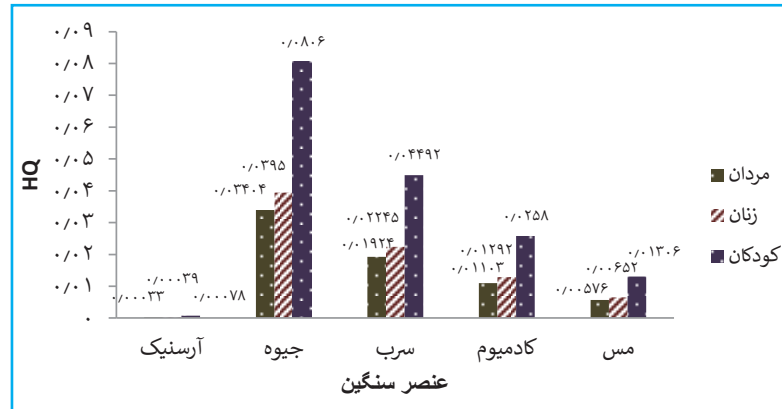


نمودار ۲. میانگین غلظت عناصر سنگین در آب و خاک در فصل تابستان

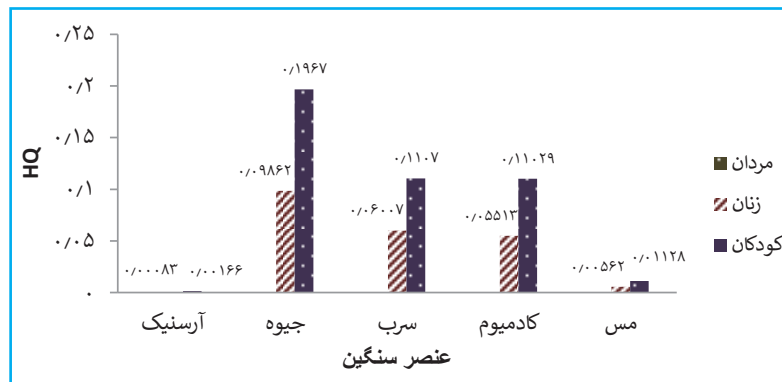
سنی کوکان، زنان و مردان در دو فصل تابستان و پاییز برای هر فلز محاسبه شد که مقادیر مربوط به آن به ترتیب بر روی نمودارهای ۳ و ۴ نشان داده شده است.

با توجه به غلظت‌های بدست آمده، جهت ارزیابی ریسک، مقدار دوز روزانه وارد شده از عنصر سنگین به بدن برای هر عنصر از طریق آشامیدن آب از رابطه ۲ محاسبه گردید. سپس با توجه به مقادیر دوز مرجع با استفاده از رابطه ۱ مقدار نسبت خطر برای هر سه گروه

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان خطر به طور کلی میزان نسبت خطر برای همه فلزات در هر دو فصل غیرسرطان‌زایی در هر دو فصل مربوط به عنصر جیوه است ولی پایین بود.

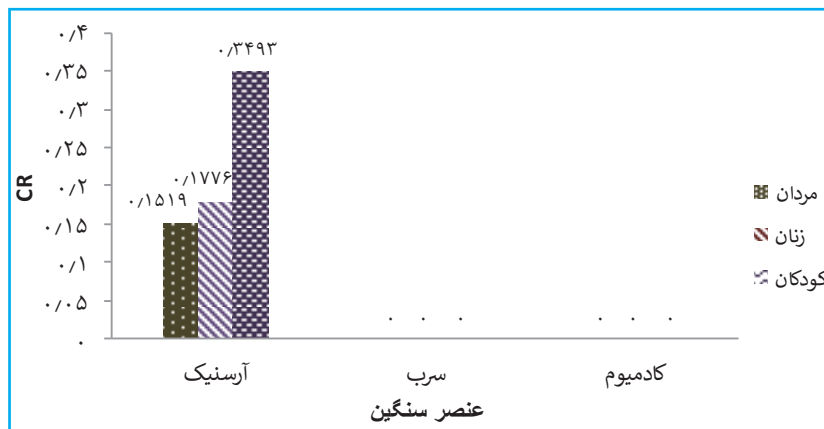


نمودار ۳. مقدار نسبت خطر غیر سرطان‌زایی برای سه گروه در فصل تابستان

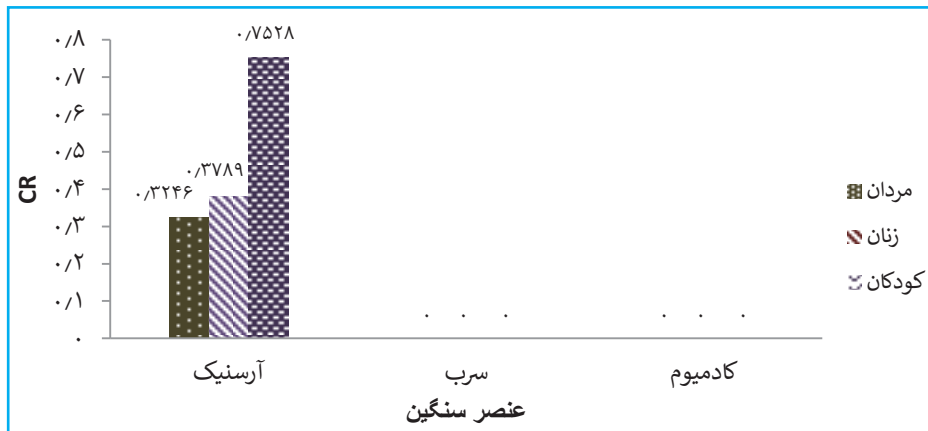


نمودار ۴. مقدار نسبت خطر غیر سرطان‌زایی برای سه گروه در فصل پاییز

جهت ارزیابی ریسک سرطان‌زایی برای عناصر آرسنیک، سرب و کادمیوم در دو فصل تابستان و پاییز، از رابطه ۴ استفاده گردید که نشان داده شده است. نتایج مربوط به محاسبات آن به ترتیب بر روی نمودارهای ۵ و ۶



نمودار ۵. مقدار خطر سرطان‌زایی برای سه گروه در فصل تابستان



نمودار ۶. مقدار خطر سرطان‌زایی برای سه گروه در فصل پاییز

بحث

انسان علاوه بر غلظت عناصر در آب باید کیفیت آن را نیز توسط شاخص‌ها و تکنیک‌هایی که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا تعریف شده است مورد ارزیابی قرار دهیم. بنابراین در مطالعه حاضر، ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی در اثر مواجهه با عناصر مورد مطالعه از طریق آشامیدن آب در سه گروه سنی-جنسی مردان، زنان و کودکان در دو فصل تابستان و پاییز محاسبه شد. بررسی اثرات غیر سرطان‌زایی عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های بیان شده در روابط ۱، ۲ و ۳ انجام شد. بر طبق این روابط در صورتی که میزان نسبت خطر (HQ) بیشتر از یک شود احتمال بروز اثرات غیر سرطان‌زایی در جمعیت مورد مواجهه وجود دارد در غیر اینصورت ($HQ < 1$) خطری جمعیت را تهدید نمی‌کند (۱۳). بر طبق نتایج ارائه شده در نمودارهای ۴ و ۳ که ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی عناصر مورد مطالعه در فصل تابستان و پاییز را نشان می‌دهد، بیشترین نسبت خطر غیر سرطان‌زایی در هر دو فصل مربوط به عنصر جیوه، بدلیل دارا بودن کمترین میزان دوز مرجع نسبت به سایر عناصر مورد مطالعه است که این میزان در فصل تابستان برای سه گروه مردان، زنان و کودکان به ترتیب ۰/۰۳۴، ۰/۰۳۹ و ۰/۰۸۰ و در فصل پاییز به ترتیب ۰/۰۸۴، ۰/۰۹۸ و ۰/۱۹۶ بود که ریسک ابتلا را برای گروه کودکان بدلیل این که دارای وزن کمتری بوده بیشتر از سایر گروه‌ها نشان

طبق نتایج ارائه شده در جدول ۲ میانگین کلی غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های آب در فصل تابستان از مقادیر بالا به پایین به ترتیب آرسنیک، مس، کادمیوم، جیوه و سرب و در فصل پاییز به ترتیب آرسنیک، مس، سرب، جیوه و کادمیوم بود.

همچنین میانگین کلی غلظت عناصر مورد بررسی در نمونه‌های خاک در فصل تابستان از مقادیر بالا به پایین به ترتیب مس، سرب، آرسنیک، جیوه و کادمیوم بود.

بطور کلی مقایسه مقادیر بدست آمده از غلظت‌ها با استانداردهای ذکر شده نشان داد که میزان این غلظت‌ها در نمونه‌های آب و خاک در تمام نقاط در محدوده هر سه استاندارد بودند. همان طور که در نمودار ۱ نشان داده شده است میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در فصل پاییز به طور معناداری بالاتر از تابستان است چرا که میزان بارش باران در فصل پاییز بیشتر بوده و منجر به انتقال بیشتر آلودگی‌ها از سطح زمین به آب‌های زیرزمینی شده در نتیجه غلظت این عناصر در منابع آب زیرزمینی بیشتر خواهد بود (۱۱ و ۱۲). با توجه به نمودار ۲ میانگین غلظت عناصر آرسنیک، جیوه، سرب و مس در خاک از نظر آماری به طور معناداری بالاتر از آب بود. این در حالی است که میانگین کادمیوم در آب و خاک تفاوت معناداری را نشان نمی‌داد.

جهت برآورد میزان اثرات نامطلوب عناصر سنگین بر سلامت

آن‌ها در آب چاه‌های حوزه آبخیز پنگ کاجن اندونزی پرداختند، مطابقت داشت. آن‌ها بیان داشتند که تنها مقدار ضریب خطر برای فلز کروم در منطقه بالادست حوزه آبخیز بیشتر از یک بوده است که نشان‌دهنده وجود تهدید از سمت آن برای گروه‌های انسانی و جانوری می‌باشد و به عنوان عامل اصلی مخاطره آمیز در آب این مناطق معرفی شده است (۱۷).

در ارزیابی ریسک سرطان‌زایی اثرات بلندمدت مواجهه با آلایندة موردنظر بررسی می‌شود. در نمودارهای ۵ و ۶ نتایج مربوط به ارزیابی ریسک سرطان‌زایی برای هر یک از عناصر نشان داده شده است. بر طبق شاخص سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا مقدار فاکتور شیب سرطان‌زایی برای عناصر مس و جیوه صفر در نظر گرفته شده که بر اساس آن مشخص می‌شود که این دو عنصر خاصیت سرطان‌زایی ندارند در نتیجه ارزیابی ریسک سرطان‌زایی فقط برای عناصر آرسنیک، سرب و کادمیوم محاسبه شده است. بر اساس رهنمودهای آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا در صورتی که میزان ریسک سرطان‌زایی کمتر از ۶-۱۰ باشد، ریسک خیلی کم و در صورتی که این مقدار بیشتر از ۴-۱۰ باشد ریسک غیرقابل قبول و بالا است. بر طبق نتایج به دست آمده، ریسک مازاد سرطان ناشی از مواجهه با عناصر فوق از مسیر گوارش در دو فصل تابستان و پاییز در هر سه گروه ذکر شده برای آرسنیک خیلی بالا، برای کادمیوم در فصل پاییز در حد متوسط و برای سایر عناصر در محدوده تعیین شده استاندارد بدست آمد. در نتیجه، میزان ریسک برای آرسنیک بسیار بالاست و باید اقدامات لازم در جهت کنترل آن انجام گیرد. نتایج حاکی از آن است که میزان ریسک سرطان‌زایی ناشی از آرسنیک در نمونه‌های آب به مانند مطالعه شمس و همکاران در شهر جغتای بالا می‌باشد (۱۸). با توجه به سطوح ریسک ارائه شده در این بخش، می‌توان دریافت که در مطالعه حاضر سطح ریسک سرطان‌زایی متناسب به آرسنیک، همانند سطح ریسک آن در آب‌های سطحی مناطق طبیعی و معدنی کشور غنا در مطالعه جرج هازی و همکاران بیش از حدود توصیه شده ارزیابی شد. بنابراین، می‌توان دریافت که ریسک

می‌دهد لذا نسبت به سایر گروه‌ها آسیب پذیرتر هستند. ولی به طور کلی نسبت خطر غیر سرطان‌زایی برای همه فلزات در هر دو فصل برای سه گروه مذکور پایین بود. در این مورد رحمانی و همکاران نیز به ارزیابی ریسک غیر سرطانی ناشی از عناصر سنگین سرب، روی و کروم در منابع آب آشامیدنی شهر همدان پرداختند که نتایج آن مشابه نتیجه این پژوهش برای گروه کودکان بود (۱۴).

نتایج حاصل از مطالعه هایو و همکاران در رابطه با اثرات تغییرات فصلی بر فلزات سنگین آرسنیک، کروم، مس، کادمیوم، سرب و روی در منابع آبی شهر سوژو در چین و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از آن‌ها نشان داد که غلظت همه فلزات مذکور بجز آرسنیک در محدوده استاندارد WHO قرار دارد و ارزیابی خطر برای کودکان و بزرگسالان، برای خطر غیر سرطان‌زایی در محدوده قابل قبول و خطر سرطان‌زایی بیشتر از محدوده استاندارد می‌باشد که باید منابع آلودگی که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد شناسایی و کنترل گردند (۱۵). در مطالعه حاضر نیز مانند پژوهش ذکر شده، میزان ریسک غیر سرطان‌زایی پایین به دست آمد. همچنین کاظمی مقدم و همکاران در مطالعه‌ای که به بررسی غلظت عناصر سنگین نیکل، مس، آهن، سرب و روی در آب، خاک و سبزیجات و ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی ناشی از آن در مزارع شهر نیشابور پرداختند بیان داشتند که غلظت سرب در تمامی نمونه‌های سبزی بیش از حد مجاز استاندارد WHO و FAO، غلظت سایر عناصر در نمونه‌های سبزی کمتر از حداکثر مجاز توصیه شده و نمونه‌های آب و خاک نیز آلوده به سرب بودند. همچنین میزان ضریب خطر تمام عناصر مورد مطالعه کمتر از یک بود، که نتایج ارزیابی ریسک آن تقریباً مشابه نتیجه مطالعه حاضر می‌باشد (۱۶). همچنین نتایج مطالعه حاضر در رابطه با میزان خطر غیرسرطان‌زایی برای عناصر سنگین سرب و کادمیوم با یافته‌های

پژوهش راتناپوچی و همکاران که به بررسی غلظت فلزات سنگین کروم، نیکل، کادمیوم و سرب و شناسایی خطر ناشی از

از ورود آلاینده‌ها به منابع آب زیرزمینی، استفاده از روش تصفیه مناسب قبل از مصرف و اختلاط و رقیق سازی آب منابع ایمن با منابعی با میزان آرسنیک بالا انجام گیرد. علاوه بر عناصر سنگین، می‌توان سایر آلاینده‌های شیمیایی تاثیرگذار بر سلامت انسان را در چهارچوب این مطالعه مورد ارزیابی قرار داد. همچنین یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر تعداد نسبتاً کم نمونه‌های مورد مطالعه و عدم پوشش یکنواخت منابع آب منطقه بود، لذا پیشنهاد می‌گردد برای ردیابی دقیق منابع احتمالی آلودگی آرسنیک در این منطقه نمونه برداری آب در محدوده‌ای وسیع‌تر همراه با سنجش سایر آلاینده‌ها انجام گیرد.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله، برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط با شناسه اخلاق IR.MUMS.FHMPM. REC.1401.059 است که در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مشهد به انجام رسیده است. نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله، برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط با شماره طرح ۴۰۱۹۴۶ است که در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مشهد به انجام رسیده است. نویسندگان مقاله کمال تشکر و قدردانی را از این دانشگاه دارند.

سرطان‌زایی آرسنیک در آب آشامیدنی شهر تربت جام در محدوده نایمن می‌باشد. این در حالی‌ست که در برخی مناطق ایران ریسک سرطان‌زایی منتسب به آرسنیک در آب آشامیدنی در سطح ایمن بوده، بطوری که، در مطالعه ترویجی و همکاران مقدار ریسک سرطان‌زایی این عنصر در آب شرب شهر مازندران کمتر از یک و در مطالعه رجایی و همکاران نیز میزان ریسک مربوط به این عنصر در آب زیرزمینی دشت علی‌آباد کتول در محدوده ایمن بدست آمد (۵، ۱۹، ۲۰).

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف آنالیز شیمیایی عناصر سنگین در نمونه‌های آب و خاک برداشت شده از منابع آب زیرزمینی و اطراف این منابع در شهرستان تربت جام و مقایسه غلظت این عناصر با استانداردهای ملی و بین‌المللی و همچنین ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی آن‌ها در سه گروه سنی-جنسی مختلف انجام گرفته است. در این پژوهش عناصر سنگین آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیوم و مس مورد بررسی قرار گرفته بودند. نتایج آزمایشات نشان داد که میانگین غلظت این عناصر در آب و خاک بجز در مواردی محدود برای عنصر آرسنیک، در محدوده استانداردهای ملی و بین‌المللی بودند. همچنین میانگین غلظت سرب و کادمیوم در فصل پاییز به طور معناداری بالاتر از تابستان بدست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان ضریب خطر عناصر سنگین مورد بررسی پایین بود. در حالی که میزان ریسک سرطان‌زایی برای آرسنیک در هر دو فصل خیلی بالا، برای کادمیوم در فصل پاییز در حد متوسط و برای سایر عناصر در محدوده تعیین شده استاندارد بدست آمد. لذا ضروری است در این خصوص اقداماتی نظیر جلوگیری

References

- Mohammadi AA, Zarei A, Majidi S, Ghaderpoury A, Hashempour Y, Saghi MH, et al. Carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment of heavy metals in drinking water of Khorramabad, Iran. *MethodsX*. 2019;6:1642-51. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.07.017> PMID:31372352 PMCID:PMC6660555
- Briffa J, Sinagra E, Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 2020;6(9):e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691> PMID:32964150 PMCID:PMC7490536
- Cachada A, Rocha-Santos T, Duarte AC. Soil and pollution: an introduction to the main issues. *Soil pollution: Elsevier*; 2018. p. 1-28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00001-7>
- Demir V, Dere T, Ergin S, Cakir Y, Celik F. Determination and health risk assessment of heavy metals in drinking water

- of Tunceli, Turkey. *Water resources*. 2015;42:508-16. <https://doi.org/10.1134/S0097807815040041>
5. Tarviji H, Shekoohiyan S, Moussavi G, Heidari M. Health risk assessment of heavy metals in water consumed by families living in some villages of Mazandaran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2022;15(2):215-28.
 6. Shahsavari a, tabatabaei f, musavi z. The health effects of heavy metals (lead, cadmium, arsenic, mercury, and nickel) on the ecosystem and human health. The second international conference on applied research in agricultural sciences, natural resources, and the Environment. 2018-04-26.(persian)
 7. Covello VT, Merkhoher MW. *Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks*: Springer Science & Business Media; 1993.
 8. 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. *Environmental Technology & Innovation*. 2021;23:101668. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101668>
 9. El-Badry B, Al-Naggar T, Khouqeer G. Monitoring the levels of radon and toxic elements pollutants in bottled drinking water. *International Journal of Radiation Research*. 2020;18(3):427-35.
 10. Mortazavi M, Shahryari T, Fanaei F, Barikbin B. Safety Assessment of Supply and Distribution Management of Drinking Water in Torbat Jam Using WSP-QA TOOL Software. *Journal of Research in Environmental Health*. 2019;5(3):230-8.
 11. Alijani f, nakhaei m, naseri h, nejati z. Evaluation of the quality of underground water resources of Varamin aquifer in terms of portability: contamination with heavy metals .*Iranian Journal of Health & Environment*. 2018;10(4).(persian)
 12. Movaffaghi m, pardakhti a. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in underground water resources of Varamin Plain. *Environmental journal*.2019;390-379:(3)464.(persian)
 13. Kamarehie B, Jafari A, Zarei A, Fakhri Y, Ghaderpoori M, Alinejad A. Non-carcinogenic health risk assessment of nitrate in bottled drinking waters sold in Iranian markets: A Monte Carlo simulation. *Accreditation and Quality Assurance*. 2019;24:417-26. <https://doi.org/10.1007/s00769-019-01397-5>
 14. Farrokhnesht f,rahmani a, samadi m, soltanian a. Non-carcinogenic risk assessment of heavy metals lead, zinc, and chromium in drinking water sources of Hamadan city in winter 2013. *Ibn Sina Journal of Clinical Medicine (scientific journal of Hamadan University of Medical Sciences and Health Services)*.2013 ;33-25:((79)1)234. (persian).
 15. Yu H, Lin M, Peng W, He C. Seasonal changes of heavy metals and health risk assessment based on Monte Carlo simulation in alternate water sources of the Xinbian River in Suzhou City, Huaibei Plain, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;236:113445. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113445> PMID:35378402
 16. Kazemi Moghaddam V, Latifi P, Darrudi R, Ghaleh Askari S, Mohammadi AA, Marufi N, et al. Heavy metal contaminated soil, water, and vegetables in northeastern Iran: potential health risk factors. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2022:1-13. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00756-0> PMID:35669798 PMCID:PMC9163230
 17. Astuti RDP, Mallongi A, Amiruddin R, Hatta M, Rauf AU. Risk identification of heavy metals in well water surrounds watershed area of Pangkajene, Indonesia. *Gaceta Sanitaria*. 2021;35:S33-S7. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.12.010> PMID:33832621
 18. Shams M, Tavakkoli Nezhad N, Dehghan A, Alidadi H, Paydar M, Mohammadi AA, et al. Heavy metals exposure, carcinogenic and non-carcinogenic human health risks assessment of groundwater around mines in Joghatai, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022;102(8):1884-99. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1743835>
 19. Hadzi GY, Essumang DK, Adjei JK. Distribution and risk assessment of heavy metals in surface water from pristine environments and major mining areas in Ghana. *Journal of Health and Pollution*. 2015;5(9):86-99. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-5-9.86> PMID:30524780 PMCID:PMC6221492
 20. Rajaei gh, pourkhabbaz a, hesari s. Assessment of the health risk of heavy metals in underground water sources of Ali Abadkatol Plain. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*. 2012 ;163-155:((12)2)44.(persian) <https://doi.org/10.29252/jnkums.4.2.155>