



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از وجود فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی شهر مراغه

احسان آقاییانی^۱، سکینه شکوهیان^۲، علی بهنامی^۳، علی عبدالله نژاد^۴، مجتبی پورا کبر^{۵*}، حامد حق نظر^۶، وحیده مهدوی^۵، امیر محمدی^۶

- ۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی آبادان، آبادان، ایران
- ۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی مراغه، مراغه، ایران
- ۴- گروه علوم آب‌خیزداری، دانشگاه ایالتی یوتا، یوتا، آمریکا
- ۵- بخش تحقیقات آفت‌کش‌ها، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۶- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین در آب می‌توانند خطراتی برای سلامت انسان‌ها به همراه داشته باشند. لذا ضروری است جهت اطمینان از سلامت مصرف‌کنندگان، پایش و اندازه‌گیری فلزات انجام یابد.

روش بررسی: این مطالعه با هدف اندازه‌گیری فلزات سنگین از قبیل آرسنیک، سرب، کادمیوم، کروم، روی و جیوه در منابع آبی و شبکه توزیع آب شهری مراغه در دو فصل بهار و تابستان سال ۱۴۰۰ صورت گرفت. برای این منظور تعداد ۲۵ عدد نمونه برداشته شد و وجود این فلزات در منابع آب با استفاده از نقشه‌های کیفی بررسی گردید و در نهایت با ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از حضور این فلزات، تأثیر آنها بر سلامت مصرف‌کنندگان مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

یافته‌ها: بررسی غلظت فلزات در منابع آبی بالادست سد بیانگر غلظت نسبتاً بالا از فلزات به خصوص آرسنیک است ($13/2 \mu\text{g/L}$). با وجود این، مقادیر آرسنیک بعد از تصفیه و در شبکه توزیع تا حد ناچیز کاهش می‌یابد. از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که مقادیر فلز روی در شبکه نسبت به مخزن سد بیشتر است و غلظت آن در سد برابر صفر و در شبکه در بالاترین مقدار به $578 \mu\text{g/L}$ می‌رسد. در نهایت ارزیابی خطر بهداشتی نشان می‌دهد که مقادیر THI محاسبه شده برای تمامی نمونه‌ها مابین $0/01$ تا $0/99$ متغیر است.

نتیجه‌گیری: براساس ریسک بهداشتی محاسبه شده، خطری سلامت مصرف‌کنندگان را در خصوص فلزات سنگین در آب شرب مراغه تهدید نمی‌کند. همچنین این نتایج ضرورت مطالعات تکمیلی در خصوص نشت فلز روی از لوله‌ها و متعلقات شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر را در آینده دوچندان می‌نماید.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹

واژگان کلیدی: آرسنیک، فلزات سنگین، خطر بهداشتی، مراغه، سامانه اطلاعات جغرافیایی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
ppourakbar@yahoo.com

Please cite this article as: Aghayani E, Shekoochyan S, Behnami A, Abdolhnejad A, Pourakbar M, Hagh Nazar H, et al. Health risk assessment due to the presence of heavy metals in drinking water resources of Maragheh city. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;16(1):31-52.



مقدمه

آب از اهمیت اساسی برای زندگی انسان و موجودات زنده برخوردار است به طوری که همیشه تأمین آب سالم یکی از چالش‌های عمده پیش روی بشر بوده است. این موضوع به‌ویژه در کشورهای جهان سوم از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که اکثر آنها با بحران کمبود آب روبرو هستند (۱). تنها ۲/۶۶ درصد از کل منابع آب جهان، شامل آب‌های زیرزمینی، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، یخ‌های قطبی و یخچال‌ها، جزء آب‌های شیرین هستند و از این میزان فقط حدود ۰/۶ درصد به‌عنوان آب آشامیدنی قابل دسترس است (۲، ۳).

از طرف دیگر با رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و پیشرفت صنایع، میزان انتشار آلودگی در منابع آب افزایش یافته و میزان آلودگی‌های منتشره بیشتر از ظرفیت خود پالایی طبیعت شده است. این امر منجر به کاهش کیفیت منابع آب و ایجاد خطر جدی برای سلامت انسان‌ها گردیده است. برآورد شده است که حدود ۴ میلیارد نفر در جهان دسترسی کافی به منابع آب سالم ندارند و سالیانه میلیون‌ها نفر بر اثر بیماری‌های منتقله از آب جان خود را از دست می‌دهند که این روند با تخلیه روزافزون آلاینده‌ها به منابع آبی در حال افزایش است (۴).

از مهمترین عوامل آلوده کننده منابع آب آشامیدنی که از بررسی آنها غفلت شده است می‌توان به تخلیه رواناب‌های کشاورزی و ورود آنها به اکوسیستم‌های طبیعی اشاره کرد (۵)، وجود غلظت‌های بالا از فلزات سنگین و سموم در این جریان‌ها که ناشی از شستشوی سطوح زمین‌های آلوده به فاضلاب‌های صنعتی و باقیمانده سموم و آفات مصرفی هستند منجر به کاهش کیفیت منابع آب و نهایتاً تهدید سلامتی مصرف کنندگان می‌گردد. امروزه این تهدید با فعالیت‌های انسانی همچون: استخراج معادن، ذوب فلزات، آبکاری فلزات، فعالیت‌های صنعتی، نیروگاه‌ها، وسایل نقلیه موتوری، ایستگاه‌های ذخیره و توزیع بنزین، تولید و مصرف آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، کاربرد فاضلاب‌های شهری و صنعتی برای آبیاری در کشاورزی و دفن غیر بهداشتی پسماندهای شهری و

صنعتی تشدید شده است (۷).

عدم تثبیت طبیعی فلزات سنگین و انتقال پایین آن در لایه‌های عمیق خاک (۸)، ورود به زنجیره غذایی، تجمع زیستی، سمیت زیاد، سرطان‌زایی و جهش‌زا بودن آنها باعث شده است که سازمان بین‌المللی پژوهش سرطان فلزاتی مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم، جیوه و سرب را با پتانسیل سرطان‌زایی معرفی کند. این فلزات در بافت چربی تجمع یافته و سپس با تاثیر بر سیستم عصبی، غدد درون‌ریز، سیستم ایمنی بدن، سیستم خون‌ساز و متابولیسم طبیعی سلولی باعث بروز اختلالات عصبی-هورمونی و حتی در موارد حاد، مرگ موجود زنده می‌گردد (۹، ۱۰).

در نتیجه انجام مطالعات ارزیابی خطر ناشی از مصرف آب‌های آلوده به فلزات سنگین در جوامع ضروری است. ارزیابی خطر یک فرایند علمی و ریاضیاتی مبتنی بر اطلاعات با ماهیت واقعی است که از طریق شناسایی و تعیین میزان خطر ناشی از وجود عوامل فیزیکی و شیمیایی مضر بر سلامت فرد یا جامعه از طریق مسیرهای مواجهه، انجام می‌شود. ارزیابی خطر به‌طور سیستماتیک تعیین می‌کند چه خطراتی در محیط وجود دارند و احتمال رخ دادن آنها چقدر است و چه آسیبی و با چه شدتی ممکن است، به دنبال داشته باشد. بدیهی است چنین فرآیندی به شناسایی راه‌حل‌های کنترلی و در نتیجه کاهش خطر و پیامدهای آن منجر می‌گردد؛ در واقع ارزیابی خطر فرآیند جمع‌آوری اطلاعات برای اتخاذ و اولویت بندی تصمیمات علمی و شفاف جهت تعیین میزان خطر مربوط به یک موضوع در جهت ایجاد یک سیستم ایمن است (۱۱، ۱۲).

پژوهش‌های مختلفی در ایران به منظور اندازه‌گیری میزان غلظت فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی انجام شده است. در مطالعه‌ای که توسط Maleki و همکار در سال ۲۰۲۱ انجام یافت، میزان فلزات سنگین و همچنین نیترات در آب شرب روستاهای کردستان مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه ۱۳۸ نمونه از آب‌های شرب روستایی مورد پایش قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد به جز نیترات و آرسنیک

مناطق پرجمعیت‌تر قرار داشتند، شاخص‌های آلودگی بالاتری را نشان دادند (۱۶).

Shams و همکاران نیز تحقیقی را در سال ۲۰۱۶ بر روی فلزات سنگین یکی از منابع آبی شهرستان نورآباد لرستان انجام دادند. نمونه برداری از ۷ حلقه چاه آب شرب و ۲ مخزن ذخیره آب طی ۶ ماه انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات مورد مطالعه در منابع آبی کمتر از استانداردهای ملی و استاندارد سازمان جهانی بهداشت است اما به علت نشت از لوله‌ها و متعلقات شبکه توزیع در نمونه‌هایی برای برخی از فلزات بیش از حد استاندارد بوده است. همچنین نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در فصل زمستان بیشتر از پاییز بود (۱۷).

در نتیجه با توجه به اهمیت موضوع و نظر به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در خصوص اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین و همچنین روند تغییرات جغرافیایی این فلزات در منابع آب آشامیدنی تامین کننده شهر مراغه انجام نیافته است، لذا انجام چنین مطالعه‌ای ضروری به نظر می‌رسد. در مطالعه حاضر میزان غلظت فلزات سنگین در رودخانه‌های بالادست سد، مخزن سد، ورودی و خروجی تصفیه خانه و همچنین شبکه آب شرب شهری مراغه مورد پایش قرار گرفته شده است و خطر بهداشتی ناشی از فلزات سنگین نیز محاسبه و گزارش گردیده است.

مواد و روش‌ها

در راستای دستیابی به اهداف مطالعه، ابتدا با همکاری شرکت آب و فاضلاب شهرستان مراغه موقعیت نقاط و محل نمونه‌برداری مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، از محل‌های تعیین شده مطابق با روش‌های استاندارد نمونه برداری انجام شد و به منظور فراهم نمودن زمینه برای تهیه نقشه‌های کیفی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی Geographic Information System (GIS)، موقعیت و مختصات هر یک از منابع با استفاده از دستگاه

میزان سایر پارامترهای مورد مطالعه کمتر از حد مجاز است. بر اساس ارزیابی خطر بهداشتی صورت گرفته، ۴۰ درصد از منابع آبی مورد مطالعه اثرات غیر سرطانزایی برای کودکان دارند. همچنین در این بررسی گزارش شده است که آرسنیک باعث ایجاد خطر بهداشتی سرطانزایی در برخی از روستاهای شهرستان می‌شود (۱۳).

در مطالعه‌ای دیگر توسط Abedi و همکار در سال ۲۰۱۸ بررسی غلظت فلزات سنگین از جمله سرب، کادمیوم و مس در آب آشامیدنی شهر کرمان مورد پایش قرار گرفته است. در این پژوهش ۱۶۰ نمونه آب لوله کشی و ۶۴ نمونه از برندهای آب تجاری بطری شده نمونه‌برداری شده است. نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلز سرب در آب لوله کشی بالاتر از مقدار توصیه شده بر اساس استانداردهای سازمان جهانی بهداشت و سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده بوده است. اگرچه نتایج این مطالعه نشان داد که هیچ خطر بالقوه‌ای برای اثرات خطر بهداشتی سرطان در گروه‌های کودکان و بزرگسالان وجود ندارد اما گروه کودکانی که آب آشامیدنی مصرف می‌کنند در معرض خطر اثرات نامطلوب سلامتی غیر سرطان زا هستند (۱۴).

Shamsabad و همکاران (۲۰۱۰) نیز به بررسی وجود عناصر سنگین کروم، کادمیوم، سرب و مواد آلی در سفیدرود پرداختند. در این مطالعه از ۵ ایستگاه در طول مسیر سفیدرود نمونه‌های آب و رسوبات جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفته است. طبق یافته‌های این پژوهش کروم، کادمیوم و سرب در نمونه‌های آب و رسوب ایستگاه گنجه به علت فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی مقادیری بالاتر از حد مجاز هستند (۱۵).

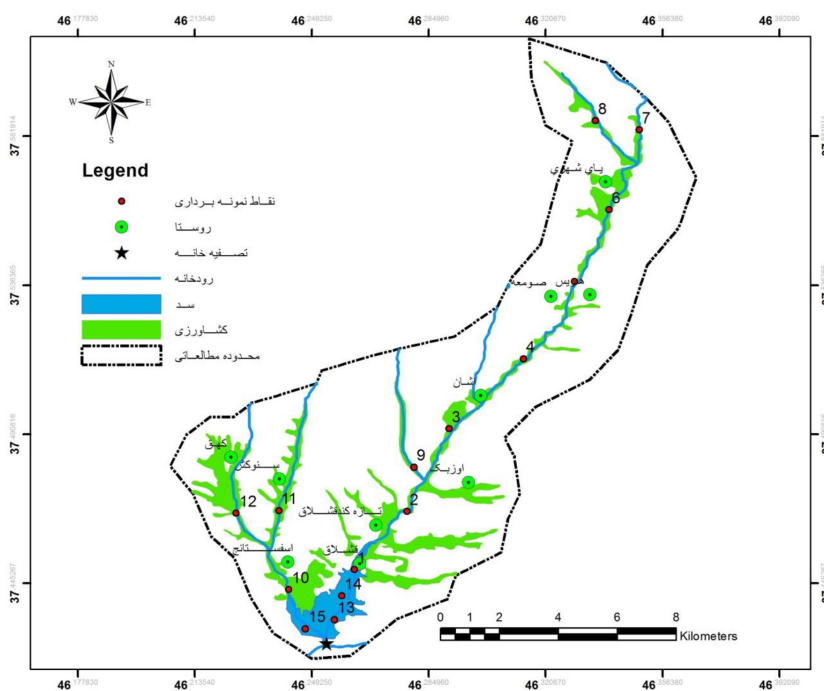
در سال ۲۰۱۸ Rastmanesh و همکاران غلظت فلزات سنگین را در رودخانه خرم آباد مورد پایش قرار دادند. در این مطالعه، تأثیر شهر خرم آباد بر بارهای فلزات سنگین در رسوبات رودخانه خرم آباد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رسوبات آلودگی متوسطی داشتند و ایستگاه‌هایی که در

(شکل ۱). بر اساس نقشه تهیه شده از منطقه مطالعاتی دو شاخه رود اصلی تامین کننده آب مخزن سد با عبور از زمین‌های کشاورزی در نهایت به سد ختم می‌شوند. مجموع طول این رودخانه‌ها و زیرشاخه‌های آن که در مجاورت زمین کشاورزی قرار دارند در حدود ۴۵ km است. به منظور پایش تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین در این رودخانه‌ها، نمونه‌های آب علاوه بر مخزن سد و رودخانه‌ها تا فواصل سه کیلومتری نیز برداشته شد. در مرحله بعدی از مطالعه، عملکرد فرایند تصفیه خانه آب در حذف فلزات سنگین از بالادست تصفیه خانه تا خروجی آن با ۱۵ نمونه مورد پایش قرار گرفت.

Global Positioning System (GPS) ثبت گردید. نمونه‌های برداشته شده بلافاصله جهت آنالیز فلزات سنگین به آزمایشگاه ارسال گردید. به منظور مقایسه تغییرات غلظت فلزات در فصل بهار و تابستان، نمونه برداری‌ها در اردیبهشت ماه و مرداد ماه سال ۱۴۰۰ انجام گرفت.

محل‌های نمونه برداری

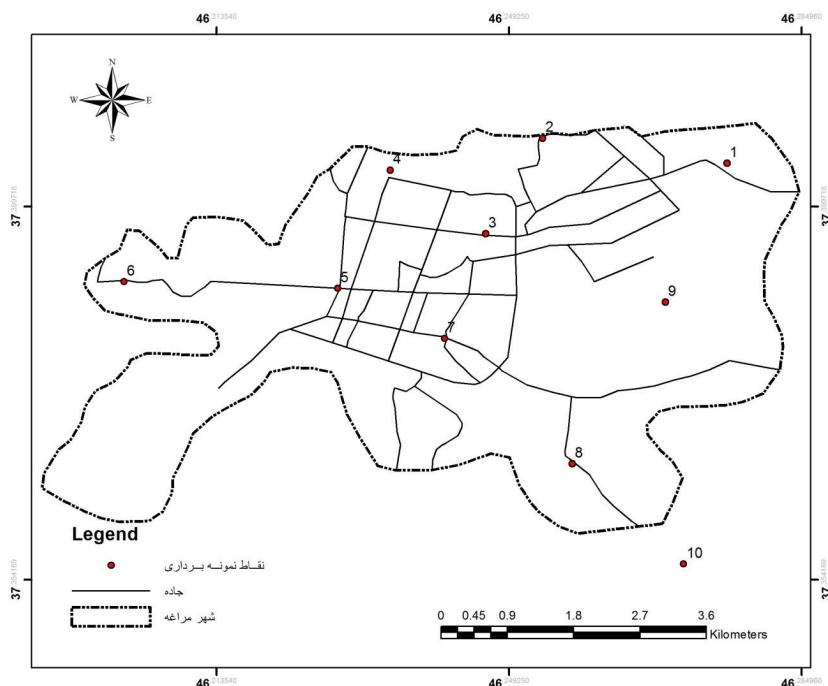
با توجه به این که تمامی آب آشامیدنی شهر مراغه از حوضه آبریز ورودی به سد تامین می‌گردد، بر این اساس محدوده مطالعاتی بالادست سد و جریانات سطحی عبوری از زمین‌های کشاورزی و باغات به عنوان منطقه مورد مطالعه تعیین گردید



شکل ۱- محل‌های نمونه برداری از آب‌های سطحی و ورودی تصفیه خانه آب شهر مراغه

دقیق محل‌های نمونه برداری‌ها جهت تهیه نقشه‌های توزیع فلزات سنگین، توسط GPS ثبت گردید. لازم به ذکر است که شکل ۲ نیز نشان دهنده موقعیت نمونه‌ها در سطح شهر مراغه و بعد از انجام عمل تصفیه است.

تغییرات غلظت فلزات سنگین در شبکه توزیع آب آشامیدنی نیز با ۱۰ نمونه برداری در هر فصل مورد کاوش قرار گرفت. توزیع نمونه‌ها در سطح شهر به گونه‌ای بود که تمامی بخش‌های شبکه آب شرب شهر مراغه را بتوان پوشش داد. موقعیت جغرافیایی



شکل ۲- محل های نمونه برداری از شبکه آب شرب شهر مراغه

نمونه‌ها تحت شرایط یخچالی در اسرع وقت به آزمایشگاه دانشکده علوم پزشکی مراغه منتقل گردید و غلظت فلزات سنگین با روش Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) اندازه گیری گردید. نمونه‌های آب بلافاصله پس از نمونه برداری از فیلتر ۴۵ میکرون عبور داده شده و سپس با استفاده از اسید نیتریک بسیار خالص (Ultra Pure) تا pH کمتر از ۲ اسیدی شدند. حد تشخیص عناصر و فلزات سنگین در جدول ۱ ارائه شده است.

– روش اجرا

به منظور نمونه برداری جهت انجام آنالیزها از ظروف پلی اتیلنی ۱/۵ لیتری استفاده شد، که این ظروف قبل از نمونه برداری در آزمایشگاه شیمی محیط دانشکده علوم پزشکی مراغه با اسید کلریدریک (۲+۱) شسته شد و سپس با استفاده از آب مقطر ۳ بار آبکشی گردید، تا هرگونه آلودگی احتمالی از بین برود. سپس از تمامی محل‌های مشخص شده در شکل ۱ و ۲، نمونه برداری مطابق با روش‌های استاندارد در دو فصل پربارش و خشک به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین انجام گرفت.

جدول ۱- حد تشخیص (برحسب ppb) فلزات آنالیز شده با ICP-MS

| فلز | حد تشخیص | فلز | حد تشخیص | فلز | حد تشخیص | فلز | حد تشخیص | فلز | حد تشخیص |
|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| Al | ۱۰۰ | Cr | ۱ | Mg | ۱۰۰ | S | ۵۰ | V | ۰/۲ |
| As | ۰/۱ | Cu | ۱ | Na | ۱۰۰ | Sb | ۰/۵ | Zn | ۱ |
| Ba | ۱ | Fe | ۱۰۰ | P | ۱۰ | Sc | ۰/۵ | Hg | ۰/۱ |
| Ca | ۱۰۰ | K | ۱۰۰ | Pb | ۱ | Se | ۰/۵ | | |
| Cd | ۰/۱ | Li | ۱ | Rb | ۱ | Sr | ۱ | | |

محاسبه خطر بهداشتی

برای محاسبه کل خطر بهداشتی (Total Hazard Index (THI)) مربوط به فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی، ابتدا بایستی دوز متوسط مواجهه مزمین روزانه (Average Daily Doses (ADDs)) برحسب mg/kg.day را محاسبه نمود که مقادیر این پارامتر از معادله ۱ محاسبه خواهد شد (۱۸).

$$ADD_s = \frac{(C_i \times IR \times EF \times ED)}{BW \times AT} \quad (1)$$

در این معادله، C_i غلظت mg/L هر فلز سنگین در آب، Intake Rate (IR) میزان مصرف آب که در بزرگسالان برابر با $2/2$ و در کودکان ۱ لیتر در روز در نظر گرفته می‌شود، Exposure Frequency (EF) نیز برابر با فرکانس مواجهه (روز در سال) که برابر با ۳۶۵ روز در سال، Exposure Duration (ED) نیز مدت مواجهه برحسب سال که برابر با ۷۰ سال در نظر گرفته می‌شود، Body Weight (BW) وزن بدن برحسب کیلوگرم و Average Time (AT) متوسط زمان مواجهه برحسب روز است. متوسط زمان مواجهه از حاصلضرب مدت مواجهه برحسب سال در ۳۶۵ روز حاصل می‌شود.

پس از محاسبه دوز متوسط مواجهه مزمین روزانه باید خطر بهداشتی (Hazard index (HI)) مربوط به هر فلز سنگین را محاسبه نمود که این پارامتر نیز از معادله ۲ قابل محاسبه است:

$$HI = \frac{ADD_s}{RfD} \quad (2)$$

در این معادله، Reference Dose (RfD) نیز برابر با mg/kg.day دوز رفرنس یا زمینه است که از متون معتبر علمی برای هر فلز سنگین استخراج می‌شود.

بعد از محاسبه خطر بهداشتی برای هر فلز سنگین با استفاده از معادله ۳، کل خطر بهداشتی فلزات سنگین (Total Hazard Index (HIT)) نیز محاسبه گردد (۱۸).

$$HIT = \sum HI \quad (3)$$

اگر میزان کل خطر بهداشتی فلزات سنگین بدست آمده کمتر از یک باشد، یعنی خطر بهداشتی مصرف‌کنندگان را تهدید نمی‌نماید ولی چنانچه این مقدار بزرگتر از یک بود موید این نکته است که خطر بهداشتی سلامت مصرف‌کنندگان را تهدید نموده و انجام اقداماتی جهت کنترل خطر ضروری است (۱۸).

آنالیز آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۱) استفاده شد. داده‌ها با میانگین و انحراف معیار خلاصه شدند. برای ارزیابی نرمال بودن متغیرها در فصول بهار و تابستان از آزمون KS استفاده شد و نرمال بودن آنها تایید گردید. برای مقایسه میانگین مقادیر شاخص‌ها از آزمون t مستقل استفاده شد. $p < 0.05$ معنی‌دار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

غلظت فلزات سنگین

نتایج حاصل از بررسی حضور ۱۶ فلز و ۷ فلز سنگین آرسنیک، سرب، کادمیوم، کروم، آنتیموان، روی و جیوه در آب‌های سطحی بالادست سد در فصل بهار (جدول ۲) و همچنین در شبکه توزیع آب در فصل‌های بهار (جدول ۳) و تابستان (جدول ۴) ارائه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد با وجود اینکه غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در اکثر نمونه‌ها پایین است اما مقادیر بالا نیز در برخی از این نمونه‌ها مشاهده می‌شوند. به عنوان مثال غلظت آرسنیک در نمونه آب شماره ۱۰ و ۱۲ به ترتیب $15 \mu\text{g/L}$ و $13 \mu\text{g/L}$ اندازه‌گیری شده است.

جدول ۲- مقادیر غلظت فلزات سنگین در آب‌های سطحی بالادست سد در فصل بهار

| نمونه | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| فلز سنگین | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al (mg/L) | ۰/۲۹ | ۰/۲۳ | ۰/۲۷ | ۰/۲۶ | ۰/۲۷ | ۰/۲۴ | ۰/۱۶ | ۰/۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۴ | ۰/۰۵ | ۰/۰۴ | ۰/۹ | ۰/۵۱ | ۰/۶۹ |
| As (μg/L) | ۲/۰۵ | ۱/۷۷ | ۱/۵ | ۱/۲ | ۱/۱ | ۱/۰۳ | ۰ | ۲/۵۳ | ۶/۴۹ | ۱۵/۳۲ | ۳/۳۳ | ۳/۲ | ۲/۶۱ | ۲/۳۸ | ۲/۱۴ |
| Ba (μg/L) | ۱۸/۶۴ | ۲۲/۷۹ | ۲۱/۸ | ۲۵/۳۱ | ۱۷/۵۲ | ۲۳/۳۸ | ۱۸/۰۵ | ۴۵/۶۸ | ۸/۹۸ | ۴۰/۳ | ۱۵/۶۵ | ۴۰/۳ | ۱۴/۴۲ | ۱۶/۰۶ | ۱۲/۷۲ |
| Ca (mg/L) | ۱۲/۶ | ۱۲/۶۱ | ۱۰/۹۷ | ۱۰/۶۱ | ۱۰/۱۷ | ۹/۷۵ | ۷/۷ | ۳۴/۵۴ | ۳۳/۳۱ | ۱۰۴/۲ | ۴۵/۹ | ۳/۷/۴ | ۱۹/۵۵ | ۱۸/۳۲ | ۱۸/۳۲ |
| Cd (μg/L) | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ |
| Cr (μg/L) | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۸/۶۷ | ۱۵/۱۴ | ۲۲/۱۷ | ۲۰/۷۵ | ۳۳/۶۲ | ۴/۷۲ | ۱/۸۳ | ۱/۲۴ |
| Cu (μg/L) | ۴/۴۱ | ۱/۶۲ | ۱ | ۳/۴۸ | ۱/۰۳ | ۲/۴۶ | ۲/۱۵ | ۲/۷۱ | ۱/۱۳ | ۲/۱۵ | ۲/۱۵ | ۲/۲۵ | ۴/۲۵ | ۱/۷۱ | ۱/۴۹ |
| Fe (mg/L) | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۰/۰۲ | ۳/۴ | <۰/۱ | ۰/۰۳ | <۰/۱ | ۰/۰۲ | ۰/۳۳ | ۰/۱۶ | ۰/۲۳ |
| K (mg/L) | ۱/۵۴ | ۱/۶۱ | ۱/۳۴ | ۱/۳۷ | ۱/۳۳ | ۱/۲۸ | ۱/۳۷ | ۵/۰۷ | ۲/۹۵ | ۵/۹۱ | ۲/۳۴ | ۱۲/۱۳ | ۲/۴۷ | ۲/۳۷ | ۲/۲۹ |
| Li (μg/L) | ۱/۱۷ | ۱/۲۶ | ۱/۲ | ۱/۰۸ | ۱/۰۶ | ۱/۲۳ | ۱/۲۳ | ۱/۴۱ | ۱/۵۵ | ۴/۶۵ | ۱/۲۹ | ۲/۵۸ | ۱/۳ | ۱/۲ | ۱/۳۱ |
| Mg (mg/L) | ۲/۷۱ | ۲/۷۵ | ۲/۵۴ | ۲/۴۹ | ۲/۴۳ | ۲/۳۷ | ۲/۳۷ | ۶/۷۸ | ۱۷/۰۹ | ۷/۲۴ | ۱۳ | ۱۳ | ۳/۵۴ | ۳/۵۷ | ۳/۵۱ |
| Na (mg/L) | ۵/۵۲ | ۵/۴۲ | ۲/۹۴ | ۸/۷۷ | ۴/۷۵ | ۳/۷۶ | ۷/۳ | ۱۰/۵۶ | ۶/۱۸ | ۱۷/۰۹ | ۱/۲۹ | ۲/۵۸ | ۱/۳ | ۱/۲ | ۱/۳۱ |

نمونه

فلز سنگین

ادامه جدول ۲- مقادیر غلظت فلزات سنگین در آب‌های سطحی بالادست سد در فصل بهار

| فلز سنگین | نمونه | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ |
| P (mg/L) | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۳ | ۰/۲۴ | ۱/۰ | ۰/۰۴ | ۰/۲۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ |
| Pb (µg/L) | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Rb (µg/L) | ۱/۸۲ | ۱/۶۵ | ۱/۶۸ | ۱/۶۳ | ۱/۵۶ | ۱/۶۵ | ۱/۸۲ | ۲/۶۲ | ۸/۱ | ۱۸/۱ | ۷۸/۱ | ۶۳/۳ | ۱/۵۸ | ۶۷/۱ | ۶۵/۱ |
| S (mg/L) | ۴/۶۱ | ۴/۱۳ | ۴/۱۱ | ۴/۲ | ۴/۱۵ | ۴/۲۶ | ۴/۴۹ | ۴/۹۲ | ۲/۳۳ | ۶۵/۱۱ | ۱۸/۱ | ۵۰/۸ | ۳/۹۹ | ۳/۷۴ | ۳/۷۹ |
| Sb (µg/L) | ۱/۵۹ | ۱/۳۱ | ۱/۰۶ | <۰/۵ | <۰/۵ | ۱/۰۱ | <۰/۵ | ۱/۲ | ۱/۵۱ | ۳/۵۳ | ۱/۴۴ | ۱/۸۱ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ |
| Sc (µg/L) | ۳/۶۳ | ۳/۲۹ | ۲/۹۱ | ۳/۰۱ | ۲/۷۲ | ۲/۷۲ | ۲/۶۲ | ۶/۶۲ | ۸/۶۷ | ۹/۵۲ | ۹/۶۴ | ۱۱/۴۲ | ۳/۹۸ | ۳/۹۲ | ۳/۸۷ |
| Si (mg/L) | ۱۱/۱۱۷ | ۳۰/۱۱ | ۳۸/۰۱ | ۳۰/۱ | ۷۸/۰۱ | ۴۰/۰۱ | ۹/۷۶ | ۶۷/۱۲ | ۲۶/۳۲ | ۲۸/۷۲ | ۲۰/۷۶ | ۳۳/۱۳ | ۱۴/۵۲ | ۳۳/۶۷ | ۳۳/۸۷ |
| Sr (mg/L) | ۱/۰ | ۰/۱۲ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۷۰/۰ | ۷۰/۰ | ۱۰/۰ | ۰/۲۳ | ۰/۲۵ | ۰/۶۵ | ۰/۲۵ | ۰/۴۳ | ۰/۱۳ | ۳/۱۰ | ۰/۱۰ |
| V (µg/L) | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | ۱۳/۱ | ۴/۵ | ۹/۵۶ | ۵/۳۵ | ۸/۴۳ | ۱/۷۶ | ۱/۲۸ | ۱/۳۲ |
| Zn (µg/L) | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Hg (µg/L) | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ |

جدول ۳- مقادیر غلظت فلزات سنگین در شبکه آب شرب شهر مراغه در فصل بهار

| نمونه | ۱۰ | ۹ | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | WTP out | WTP in |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|
| فلز سنگین | | | | | | | | | | | | |
| Al (mg/L) | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۴ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ |
| As (µg/L) | ۶/۵ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۰/۲ |
| Ba (µg/L) | ۵۰/۳۱ | ۲۲/۷۹ | ۳۵/۴۴ | ۲۳/۴۹ | ۲۶/۰۷ | ۶۷/۶۹ | ۳۱/۲۲ | ۲۴/۵۵ | ۴۸/۰۸ | ۳۵/۳۸ | ۳۲/۶۹ | ۲۲/۷۳ |
| Ca (mg/L) | ۵۳/۲ | ۲۵/۹ | ۲۴/۵۷ | ۲۴/۷۳ | ۲۲/۳۱ | ۲۴/۳۶ | ۲۲/۷۸ | ۲۵/۲۳ | ۲۳/۰۱ | ۲۴/۶۹ | ۲۴/۵۱ | ۲۳/۳۳ |
| Cd (µg/L) | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ |
| Cr (µg/L) | ۲۹/۵ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۱/۱۸ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۱/۱ |
| Cu (µg/L) | <۱ | ۱/۹۴ | ۴/۴۱ | ۴/۸۴ | ۴/۶۵ | ۴/۲۲ | ۲/۹۲ | ۱۱/۷۷ | ۱۳/۶۲ | ۸/۸۹ | ۲/۵۴ | ۴/۶۵ |
| Fe (mg/L) | ۰/۱۱ | ۰/۰۵۸ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۶ |
| K (mg/L) | ۴/۴ | ۲/۴۸ | ۲/۴۶ | ۲/۴۵ | ۲/۳۹ | ۲/۴۳ | ۲/۳۸ | ۲/۵۳ | ۲/۳۹ | ۲/۴۳ | ۲/۴۳ | ۲/۳۹ |
| Li (µg/L) | ۱/۲ | ۱/۵۷ | ۱/۷ | ۱/۸۹ | ۰/۲۹ | ۲/۰۲ | ۱/۴۹ | ۱/۳۷ | ۳/۵۲ | ۱/۵۹ | ۱/۷۸ | ۱/۵۲ |
| Mg (mg/L) | ۷/۱ | ۳/۸۹ | ۳/۹۵ | ۳/۹۱ | ۳/۷۲ | ۳/۹۱ | ۳/۷۷ | ۴/۰۱ | ۳/۸۷ | ۳/۹۶ | ۳/۹۴ | ۳/۹۲ |
| Na (mg/L) | ۱۶/۶ | ۵/۰۳ | ۸/۰۴ | ۷/۹۹ | ۷/۷۲ | ۷/۹۸ | ۷/۸۷ | ۸/۱۳ | ۷/۷۲ | ۷/۹۴ | ۷/۹۶ | ۷/۹ |

ادامه جدول ۳- مقادیر غلظت فلزات سنگین در شبکه آب شرب شهر مراغه در فصل بهار

| چاه | نمونه | | | | | | | | | | WTP in | WTP out | |
|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | | | |
| P (mg/L) | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۰/۰۵ | <۰/۰۱ |
| Pb (µg/L) | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Rb (µg/L) | ۲ | ۱/۵۵ | ۱/۴۶ | ۱/۴۶ | ۱/۵۴ | ۱/۴۶ | ۱/۴۶ | ۱/۵۴ | ۱/۶ | ۱/۵۴ | ۱/۵۶ | ۱/۵۵ | ۱/۴ |
| S (mg/L) | ۹/۸ | ۴/۰۷ | ۴/۳۳ | ۴/۰۷ | ۳/۹۲ | ۴/۰۷ | ۳/۹۲ | ۴/۰۷ | ۳/۹۲ | ۴/۰۷ | ۴/۰۲ | ۴/۱۲ | ۲/۴ |
| Sb (µg/L) | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ |
| Sc (µg/L) | ۱۱/۳ | ۳/۲۸ | ۳/۵۳ | ۳/۶۱ | ۳/۶ | ۳/۴۲ | ۳/۶ | ۳/۵۸ | ۳/۷۳ | ۳/۷۳ | ۳/۸ | ۳/۶۵ | ۲/۸ |
| Si (mg/L) | ۳۶/۲ | ۱۳/۰۸ | ۱۳/۰۵ | ۱۳/۰۲ | ۱۲/۸۲ | ۱۲/۹۸ | ۱۲/۸۱ | ۱۳/۰۱ | ۱۲/۹۴ | ۱۲/۹۴ | ۱۳/۰۶ | ۱۶/۱۶ | ۱۲/۷ |
| Sr (mg/L) | ۰/۲۹ | ۰/۱۶ | ۰/۱۶ | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۲ | ۰/۱۲ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱ |
| V (µg/L) | ۲/۱ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | ۰/۹ |
| Zn (µg/L) | <۱ | ۱۳/۰۳ | ۱۰۹/۰۲ | ۳۸/۱۷ | ۵۴/۸۹ | ۱۰۰/۴۵ | ۶۲/۶ | ۷۷/۶ | ۷۰/۴۵ | ۷۷/۶ | ۵۷/۹۵ | ۴۱/۱۷ | <۱ |
| Hg (µg/L) | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ |

جدول ۴- مقادیر غلظت فلزات سنگین در شبکه آب شرب شهر مراغه در فصل تابستان

| نمونه | فلز سنگین | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | چاه |
| Al (mg/L) | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۰/۰۶ | ۰/۱۱ | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۱۳ | ۰/۰۵ | ۰/۰۴ | ۰/۳۱ |
| As (µg/L) | <۰/۱ | ۱/۰۷ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۱/۳۹ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۹/۴۳ |
| Ba (µg/L) | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ |
| Ca (mg/L) | ۲۹/۷۹ | ۳۴/۰۳ | ۳۶/۳۴ | ۳۳/۳۴ | ۳۶/۹۶ | ۳۳/۵۳ | ۳۴/۴۱ | ۷۳/۸۳ | ۲۲/۲۹ | ۶۳/۴۵ | ۲۳/۴۵ |
| Cd (µg/L) | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ |
| Cr (µg/L) | ۲/۸۱ | ۴/۰۵ | ۳/۴۴ | ۵/۳۲ | ۳/۴۴ | <۱ | ۴/۹۹ | ۴/۹۹ | ۳/۷۷ | ۲/۵۳ | ۳۱/۹۶ |
| Cu (µg/L) | <۱ | <۱ | ۱/۶۲ | ۶/۶۸ | ۱۰/۰۹ | ۲/۲۸ | ۹/۰۷ | ۱۲/۴۲ | <۱ | ۵/۷ | <۱ |
| Fe (mg/L) | ۱/۹۷ | ۱۹۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۲ | ۵ | ۰/۰۱ | <۰/۱ | ۰/۱۲ |
| K (mg/L) | ۳/۵۶ | ۳/۵۶ | ۳/۵۶ | ۳/۵۳ | ۳/۶۱ | ۳/۵۷ | ۳/۵۷ | ۳/۵۶ | ۳/۴۶ | ۳/۴۳ | ۴/۵۷ |
| Li (µg/L) | <۱ | <۱ | <۱ | ۵/۷۲ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۲/۲۱ |
| Mg (mg/L) | ۴/۷۵ | ۴/۹۶ | ۴/۹۶ | ۴/۹۶ | ۵/۲۵ | ۵/۲۱ | ۵/۰۴ | ۵/۰۹ | ۴/۸۴ | ۴/۷۶ | ۸/۹۹ |
| Na (mg/L) | ۸/۳۱ | ۹/۴۳ | ۹/۲۲ | ۹/۳ | ۱۰/۰۷ | ۹/۷۹ | ۹/۵۷ | ۹/۷۲ | ۹/۲۳ | ۹/۱۶ | ۱۸/۵۱ |

نمونه

فلز سنگین

WTP out

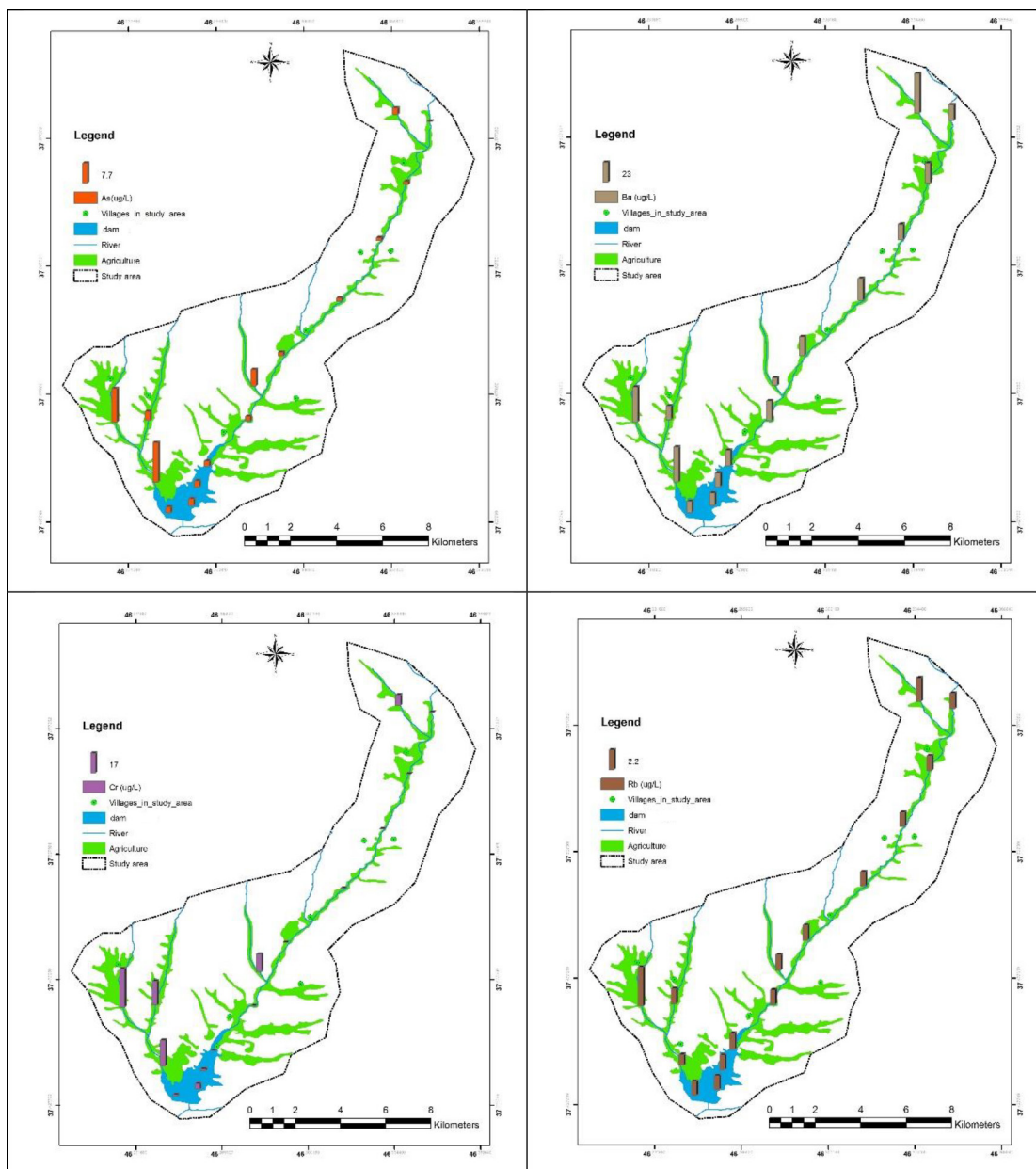
WTP in

ادامه جدول ۴- مقادیر غلظت فلزات سنگین در شبکه آب شرب شهر مراغه در فصل تابستان

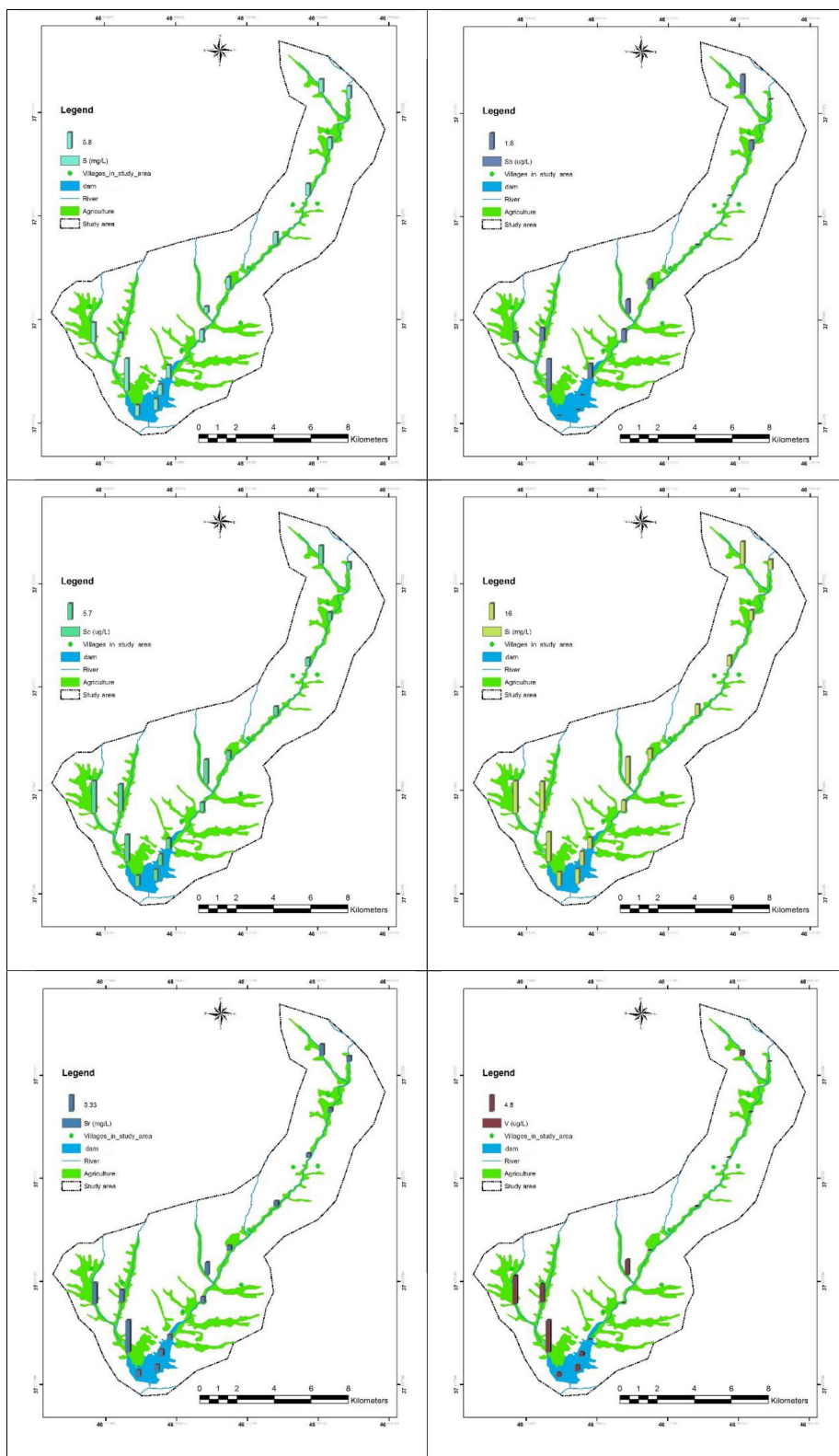
| چاه | نمونه | | | | | | | | | | WTP in | WTP out | WTP in | فلز سنگین | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|-----------|-------|-----------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | | | | | | |
| ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۸ | P (mg/L) |
| <۱ | <۱ | ۲/۹۸ | <۱ | ۷/۹۹ | <۱ | ۲/۹۷ | ۱/۰۲ | <۱ | ۱/۱۶ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۱/۱۶ | Pb (µg/L) |
| ۱/۹۵ | ۱/۳۲ | ۱/۴۷ | ۱/۴۶ | ۱/۵۴ | ۱/۵۷ | ۱/۶۷ | ۱/۶۱ | ۱/۶۱ | ۱/۶۴ | ۱/۶۶ | ۱/۶۶ | ۱/۶۴ | ۱/۳۳ | ۱/۹۱ | ۳/۷۲ | Rb (µg/L) |
| ۱۳/۴۲ | ۵/۷۲ | ۵/۸۲ | ۶/۰۲ | ۵/۸ | ۶/۲ | ۶/۳۶ | ۵/۸۷ | ۵/۶۷ | ۵/۵۹ | ۵/۷ | ۵/۷ | ۵/۶۱ | ۵/۴۷ | ۵/۶۱ | ۵/۴۷ | S (mg/L) |
| <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | <۰/۵ | Sb (µg/L) |
| ۱۰/۵۹ | ۳/۹۹ | ۴/۰۹ | ۴/۴۳ | ۳/۹۵ | ۴/۳۳ | ۳/۹۵ | ۵/۰۳ | ۵/۱۷ | ۵/۰۵ | ۵/۳۷ | ۵/۳۷ | ۵/۰۵ | ۷/۲۳ | ۵/۰۵ | ۷/۲۳ | Sc (µg/L) |
| ۲۲/۸۴ | ۱۲/۸۷ | ۱۳/۰۷ | ۱۳/۹۱ | ۱۳/۴۲ | ۱۳/۷۵ | ۱۴/۲۵ | ۱۳/۲۵ | ۱۳/۰۸ | ۱۲/۹۳ | ۱۳/۲۸ | ۱۳/۲۸ | ۱۲/۵۸ | ۲۰/۵۷ | ۱۲/۵۸ | ۲۰/۵۷ | Si (mg/L) |
| ۰/۳۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۸ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲۱ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۸ | ۰/۱۷ | ۰/۱۸ | ۰/۱۷ | Sr (mg/L) |
| ۳/۶۷ | <۰/۲ | <۰/۲ | ۲/۸۵ | <۰/۲ | <۰/۲ | ۱/۱۱ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | <۰/۲ | ۲/۲۴ | <۰/۲ | ۲/۲۴ | V (µg/L) |
| <۱ | ۲۸/۶۹ | ۱۶/۹۹ | ۵۴/۹۷ | ۱۴۰ | ۳۵/۷۵ | ۲۴/۱۶ | ۲۰/۱۸ | ۴۸/۱۹ | ۲۹/۲۵ | <۱ | <۱ | ۲۳/۶ | <۱ | ۲۳/۶ | <۱ | Zn (µg/L) |
| <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | Hg (µg/L) |

تغییرات مکانی غلظت فلزات در شبکه آب شرب شهر مراغه در فصل بهار (شکل ۴) و فصل تابستان (شکل ۵) نیز ارائه شده‌اند.

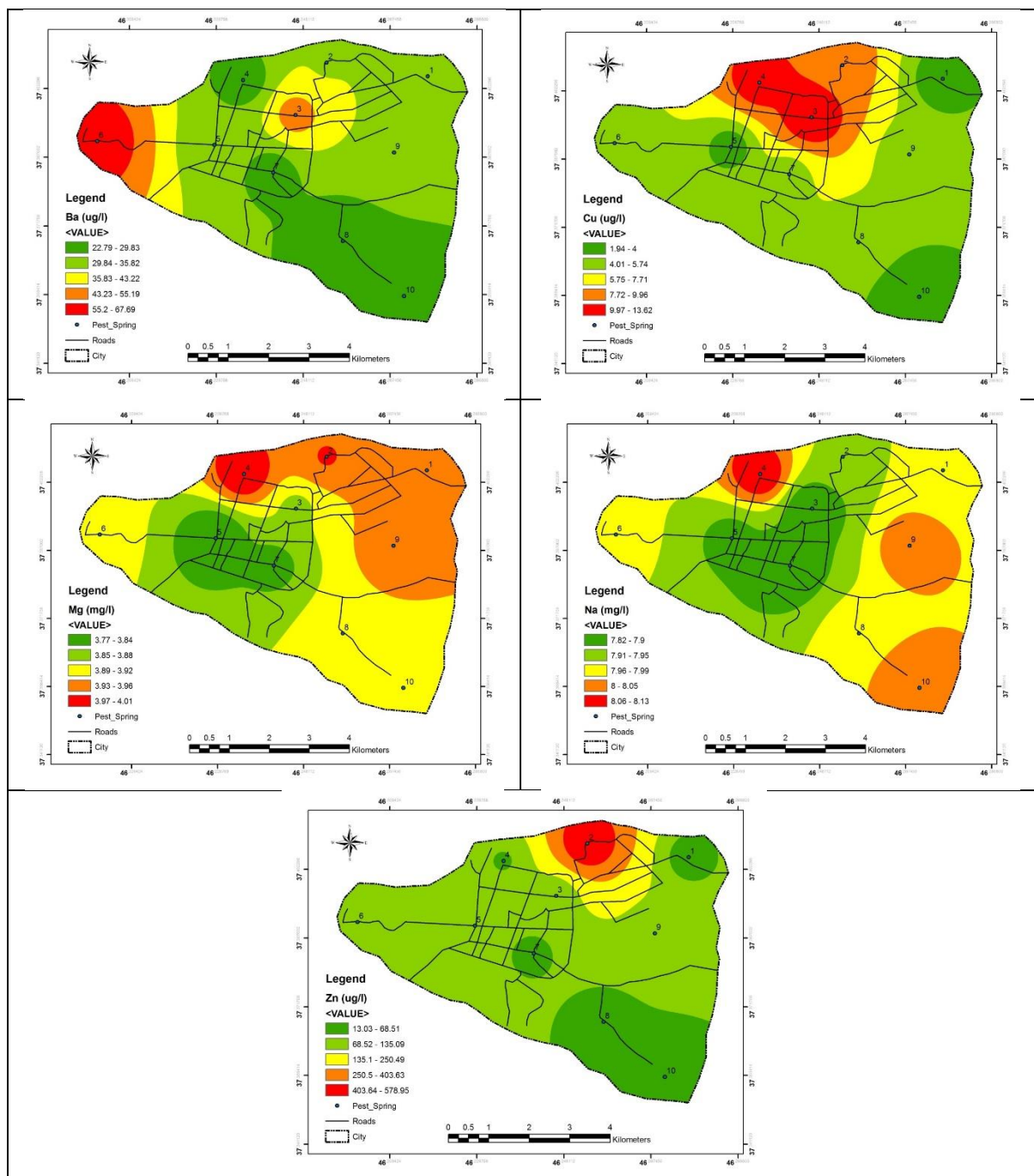
پهنه بندی غلظت فلزات سنگین
در ادامه تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین در رودخانه‌های منتهی به سد و مخزن سد (شکل ۳) ارائه شده است. همچنین



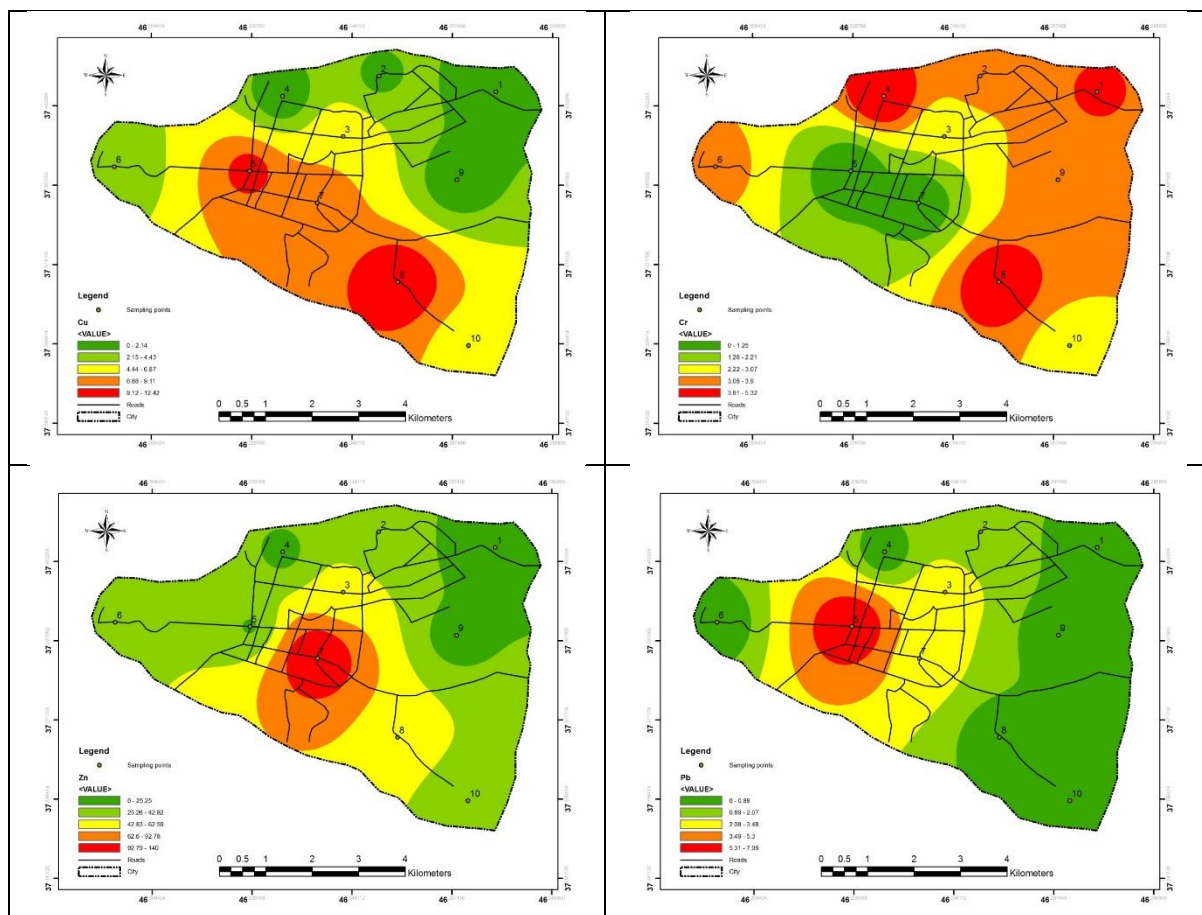
شکل ۳- مقادیر غلظت فلزات سنگین در رودخانه‌های منتهی به سد در فصل بهار



ادامه شکل ۳- مقادیر غلظت فلزات سنگین در رودخانه‌های منتهی به سد در فصل بهار



شکل ۴- پهنه بندی غلظت فلزات در شبکه آب شرب شهر مراغه در فصل بهار



شکل ۵- پهنه بندی غلظت فلزات در شبکه آب شرب شهر مراغه در فصل تابستان

اما ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از اثر تجمعی آنها بر اساس شاخص THI برای نمونه‌های شهری محاسبه گردید. نتایج این بخش در جدول ۵ ارائه شده است.

ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سنگین پس از تعیین غلظت فلزات سنگین در آب شرب شهر مراغه هرچند که مقادیر آنها کمتر از مقادیر حد مجاز مشاهده گردید،

جدول ۵- ارزیابی خطر برای فلزات سنگین در فصل بهار

| THI | Ni | Fe | Cu | Zn | Pb | Sr | Cr | As | نمونه |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| ۰/۱۵ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۱۳ | WTP in |
| ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | WTP out |
| ۰/۰۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۵ | ۱ |
| ۰/۰۷ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۲ |
| ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۳ |
| ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۴ |
| ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۵ |
| ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۶ |
| ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۷ |
| ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۸ |
| ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۹ |
| ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۱۰ |
| ۰/۹۹ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۳۱ | ۰/۶۸ | چاه |

در بین فلزات باریم (۰/۰۰)، کلسیم (۰/۰۱)، پتاسیم (۰/۰۰)، لیتیم (۰/۰۳)، منیزیم (۰/۰۱)، فسفر (۰/۰۱)، گوگرد (۰/۰۱) و استرانسیوم (۰/۰۱) مشاهده گردید در سایر موارد تفاوت بین غلظت فلزات در فصل بهار و تابستان معنی دار نبودند.

مقایسه غلظت فلزات در فصل بهار و تابستان همچنان که ذکر شد برای مقایسه میزان غلظت فلزات سنگین در دو فصل بهار و تابستان از آنالیز آماری از آزمون t مستقل استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده تفاوت معنی دار ($p < 0.05$)

بحث

– بررسی غلظت فلزات در منابع آبی و شبکه توزیع آب

در این مطالعه غلظت فلزات سنگین در رودخانه‌های بالا دست سد و همچنین مخزن سد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که برخی از فلزات نظیر آرسنیک در نمونه آب شماره ۱۰ و ۱۲ از مقادیر استاندارد آب شرب بالاتر است. موقعیت جغرافیایی این نمونه‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی مقادیر بالا از آرسنیک از مسیر شمال شرق مخزن سد نشأت گرفته و در نهایت وارد مخزن سد می‌گردد. با توجه به اینکه حجم آب ورودی از این رودخانه نسبتاً پایین است لذا مقادیر غلظت فلزات سنگین نیز در مخزن سد تا حدودی رقیق می‌گردد.

در رابطه با سایر فلزات سنگین نیز تغییرات مکانی غلظت آنها به گونه‌ای است که جریان‌ات سطحی وارد شده از سمت شمال شرق به مخزن سد به نسبت غلظت بالایی از فلزات را دارد. این مهم نشان می‌دهد که اثرات زمین شناسی منطقه می‌تواند به طور قابل توجهی بر روی غلظت فلزات سنگین در آب تأثیر بگذارد. در مناطقی که دارای خاک‌هایی با غلظت بالای فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم و روی هستند، آب زیرزمینی و همچنین آب سطحی نیز ممکن است با این فلزات آلوده شده باشد. بنابراین در چنین مناطقی بررسی زمین شناسی و تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک و آب می‌تواند در بهبود کیفیت آب منطقه و حفظ سلامت جامعه محلی مؤثر باشد (۳، ۱۴).

عملکرد تصفیه خانه در خصوص فلزات سنگین نیز در به گونه‌ای است که مقادیر متوسط غلظت فلزات سنگین در آب شرب و خروجی تصفیه خانه در مقایسه با آب خام ورودی کاهش چشمگیری دارد، به گونه‌ای که به عنوان مثال در فصل بهار غلظت آرسنیک در نمونه ورودی به تصفیه خانه برابر $1/2 \mu\text{g/L}$ است این در حالی است که مقدار آرسنیک در خروجی تصفیه خانه و شبکه آب شهری به صفر رسیده است. فرایند اصلی مورد استفاده در تصفیه خانه آب شهر مراغه فرایند انعقاد-فیلتراسیون است. با توجه به مطالعات انجام یافته،

فرایند انعقاد-فیلتراسیون برای حذف ذرات جامد از منابع آب آشامیدنی استفاده می‌شود. در بررسی‌های به عمل آمده گزارش شده است که یون‌های آرسنیک موجود در آب می‌توانند به طور همزمان در این فرایند حذف شوند. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای گزارش شده است در یک فرایند انعقاد-فیلتراسیون، غلظت آرسنیک در آب از $7/5 \text{ mg/L}$ به $3/5 \text{ mg/L}$ کاهش یافته است (۲۰). از آنجایی که اکثر تصفیه خانه‌های تصفیه آب انعقاد-فیلتراسیون از یون آهن یا یون آلومینیوم به عنوان منعقد کننده استفاده می‌کنند، این فرایند به طور گسترده برای حذف آرسنیک از آب لوله کشی استفاده می‌شود (۲۱).

مقایسه نتایج پایش فلزات سنگین ورودی تصفیه خانه در فصل تابستان و بهار در نمونه‌های مشابه نشان می‌دهد که میزان غلظت فلزات سنگین در فصل تابستان بالاتر از فصل بهار است. در رابطه با آرسنیک به عنوان یکی از فلزات سنگین با اثرات سوء بهداشتی مقدار این فلز در ورودی تصفیه خانه در فصل خشک برابر $4/58 \mu\text{g/L}$ است که در نمونه‌های خروجی و شبکه آب شرب به صفر رسیده است، البته در برخی نمونه‌های شبکه آب شرب در حدود $1 \mu\text{g/L}$ نیز اندازه گیری شده است. علت تغییرات فصلی غلظت فلزات سنگین می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند شرایط آب و هوای منطقه، فعالیت‌های انسانی و وضعیت زمین شناسی باشد. در بعضی مناطق، مانند مناطق گرمسیری و مرطوب، به دلیل بارش بیشتر در فصول گرم و رطوبتی، غلظت فلزات سنگین در آب‌های سطحی و زیرزمینی در این فصول ممکن است کاهش یابد. در مقابل، در مناطقی که فصل خشکی دارند، مانند مناطق بیابانی، به دلیل تبخیر بیشتر و کاهش بارش در فصول گرم، غلظت فلزات سنگین در آب‌های سطحی و زیرزمینی افزایش یابد (۲۲).

علاوه بر این، فعالیت‌های انسانی نیز می‌تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر غلظت فلزات سنگین در آب تأثیرگذار باشد. برای مثال، استفاده از کودهای شیمیایی و سموم آفت‌کش در کشاورزی، صنایع نفت و گاز، معدن و سایر صنایع می‌تواند منجر به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به فلزات سنگین

تصفیه شده از نظر میزان فلزات سنگین است.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در منابع آب سطحی و شبکه آب شرب شهر مراغه در دو فصل بهار و تابستان سال ۱۴۰۰ انجام یافت. نتایج نشان می‌دهد که فلزات سنگین موجود در آب دارای غلظت‌های پایین‌تر از مقادیر حداکثر مجاز هستند و ارزیابی خطر بهداشتی در این خصوص نیز نشان می‌دهد آب شرب شهر مراغه از نظر وجود فلزات سنگین در آب، سلامتی مصرف کنندگان را تهدید نمی‌کند. مواردی که در این خصوص نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد، بالا بودن نسبی غلظت آرسنیک در چاه داخل شهر و نشت فلز روی در برخی از نمونه‌های برداشت شده از شبکه توزیع آب آشامیدنی است. هرچند مقدار آرسنیک موجود در آب چاه و فلز روی موجود در برخی از نمونه‌ها در حد قابل قبول است ولی مواجهه‌های طولانی مدت می‌تواند برای مصرف کنندگان خطرات بهداشتی به دنبال داشته باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق IR.MARAGHEHPHC.REC.1400.014 است.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی مراغه در سال ۱۴۰۰ است که با حمایت دانشکده و آب و فاضلاب شهرستان مراغه اجرا شده است.

شود. در نتیجه، برای پایش و کنترل غلظت فلزات سنگین در آب‌های سطحی و زیرزمینی، نیاز به بررسی دقیق و مداوم تغییرات فصلی و سالانه آنها است (۲۳، ۲۴).

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که فلز کروم در نمونه‌های فصل تابستان مشاهده شده است. در حالی که مقادیر این فلز در نمونه‌های فصل بهار صفر هستند. وجود کروم در فصل تابستان می‌تواند به دلیل کاهش حجم آب ورودی به مخزن سد باشد، همچنین ممکن است این فلز در فصل تابستان به دلیل وجود احتمالی فعالیت‌های صنعتی در بالادست سد باشد. با این حال فرایندهای تصفیه آب موجود در تصفیه خانه آب شهر مراغه در حدود ۶۵ درصد از فلز کروم موجود در ورودی را حذف کرده است و مقادیر آن را تا حد قابل قبول کاهش داده است.

ارزیابی خطر بهداشتی

اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در شبکه آب شرب و چاه داخل شهر نشان می‌دهد که مقادیر فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در حد قابل قبول هستند و مقادیر آنها پایین‌تر از استانداردهای ملی و جهانی است. محاسبه THI برای فلزات سنگین نیز در این مطالعه نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌های فصل بهار مقادیر THI پایین‌تر از ۱ است، بنابراین خطر بهداشتی در این خصوص تهدید کننده سلامتی مصرف کنندگان نخواهد بود. در فصل تابستان مقادیر THI نشان می‌دهد که فلزات سنگین موجود در آب خطر بهداشتی چندانی ندارند و تنها در نمونه مربوط به چاه به دلیل بالا بودن مقدار آرسنیک، THI بالاتر از ۱ محاسبه شده است. مقایسه مقادیر فلزات سنگین در نمونه آب شهری و آب چاه نشان می‌دهد که مقدار فلزات در آب چاه تقریباً در اکثر موارد بالاتر از آب شهری است. البته لازم به ذکر است که نمونه آب چاه در فصل بهار نیز دارای THI برابر با ۰/۹۹ است. هرچند مقدار این عدد کمتر از ۱ است اما این مهم نشان دهنده کیفیت پایین آب چاه در مقایسه با آب سطحی

References

1. Biswas P, Hossain M, Patra PK. Arsenic hydrogeochemistry, quality assessment, and associated health risks of groundwater through the novel water pollution index (WPI) and GIS approach. *Groundwater for Sustainable Development*. 2023;21:100944.
2. Yang D, Yang Y, Xia J. Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*. 2021;2(2):115-22.
3. Agwu EJ, Odanwu SE, Ezewudo BI, Odo GE, Nzei JI, Iheanacho SC, et al. Assessment of water quality status using heavy metal pollution indices: A case from Eha-Amufu catchment area of Ebonyi River, Nigeria. *Acta Ecologica Sinica*. 2023.
4. Najafi Neysiani S, Roozbahani A, Javadi S, Hashemy Shahdany SM. Water resources assessment of zayandeh-rood river basin using integrated surface water and groundwater footprints and K-means clustering method. *Journal of Hydrology*. 2022;614:128549.
5. Kourgialas NN. A critical review of water resources in Greece: The key role of agricultural adaptation to climate-water effects. *Science of The Total Environment*. 2021;775:145857.
6. Gilevska T, Masbou J, Baumlin B, Chaumet B, Chaumont C, Payraudeau S, et al. Do pesticides degrade in surface water receiving runoff from agricultural catchments? Combining passive samplers (POCIS) and compound-specific isotope analysis. *Science of The Total Environment*. 2022;842:156735.
7. Dong W, Zhang Y, Quan X. Health risk assessment of heavy metals and pesticides: A case study in the main drinking water source in Dalian, China. *Chemosphere*. 2020;242:125113.
8. Ding H, Tang L, Nie Y, Ji H. Characteristics and interactions of heavy metals with humic acid in gold mining area soil at a upstream of a metropolitan drinking water source. *Journal of Geochemical Exploration*. 2019;200:266-75.
9. Zhao L, Xu Y, Hou H, Shanguan Y, Li F. Source identification and health risk assessment of metals in urban soils around the Tanggu chemical industrial district, Tianjin, China. *Science of The Total Environment*. 2014;468-469:654-62.
10. Chowdhury S, Mazumder MAJ, Al-Attas O, Husain T. Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of The Total Environment*. 2016;569-570:476-88.
11. Firouzsalar NZ, Shakerkhatibi M, Pourakbar M, Yadeghari A, Safari GH, Sarbakhsh P. Pyrethroid pesticide residues in a municipal wastewater treatment plant: Occurrence, removal efficiency, and risk assessment using a modified index. *Journal of Water Process Engineering*. 2019;29:100793.
12. Hagnazar H, Johannesson KH, González-Pinzón R, Pourakbar M, Aghayani E, Rajabi A, et al. Groundwater geochemistry, quality, and pollution of the largest lake basin in the Middle East: Comparison of PMF and PCA-MLR receptor models and application of the source-oriented HHRA approach. *Chemosphere*. 2022;288:132489.
13. Maleki A, Jari H. Evaluation of drinking water quality and non-carcinogenic and carcinogenic

- risk assessment of heavy metals in rural areas of Kurdistan, Iran. *Environmental Technology & Innovation*. 2021;23:101668.
14. Abedi Sarvestani R, Aghasi M. Health risk assessment of heavy metals exposure (lead, cadmium, and copper) through drinking water consumption in Kerman city, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 2019;78(24):714.
15. Shamsabad PE, Memariani M, Moattar F. Study on the heavy metals (Cr, Cd, Pb,) and organic materials of sefid-Rud River with respect to their geological origin. *Journal of Wetland Ecobiology*. 2010;2(3):39-55.
16. Rastmanesh F, Safaie S, Zarasvandi AR, Edraki M. Heavy metal enrichment and ecological risk assessment of surface sediments in Khorramabad River, West Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018;190(5):273.
17. Shams Khorramabadi G, Dargahi A, Tabandeh L, Godini H, Mostafae P. Survey of heavy metal pollution (copper, lead, zinc, cadmium, iron and manganese) in drinking water resources of Nurabad city, Lorestan, Iran 2013. *Scientific Magazine Yafte*. 2016;18(2):13-22. (in Persian)
18. Liu G, Peng Z, Lan T, Xu X, Huang G, Yu S, et al. Health risk assessment on pesticide residues in drinking water in Shenzhen. *Journal of Hygiene Research*. 2015;44(2):264-9.
19. Abolli S, Yaghmaeian K, Arab Aradani A, Alimohammadi M. Comparing groundwater fluoride level with WHO guidelines and classifying at-risk age groups; based on health risk assessment. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2023;103(4):747-60.
20. Fields K, Chen A, Wang. L. Arsenic removal from drinking water by coagulation/filtration and lime softening plants. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.: 2000.
21. Song S, Gallegos-Garcia M. Chapter 11 - Arsenic Removal from Water by the Coagulation Process. In: Fanun M, editor. *The Role of Colloidal Systems in Environmental Protection*. Amsterdam: Elsevier; 2014. p. 261-77.
22. Shakerkhatibi M, Mosaferi M, Pourakbar M, Ahmadnejad M, Safavi N, Banitorab F. Comprehensive investigation of groundwater quality in the north-west of Iran: Physicochemical and heavy metal analysis. *Groundwater for Sustainable Development*. 2019;8:156-68.
23. Pham V-D, Fatimah M-S, Sasaki A, Duong V-H, Pham K-L, Susan P, et al. Seasonal variation and source identification of heavy metal(loid) contamination in peri-urban farms of Hue city, Vietnam. *Environmental Pollution*. 2021;278:116813.
24. Varol M, Tokatlı C. Seasonal variations of toxic metal(loid)s in groundwater collected from an intensive agricultural area in northwestern Turkey and associated health risk assessment. *Environmental Research*. 2022;204:111922.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Health risk assessment due to the presence of heavy metals in drinking water resources of Maragheh city

Ehsan Aghayani¹, Sakine Shekoohiyan², Ali Behnami³, Ali Abdolajnejad³, Mojtaba Pourakbar^{3,*}, Hamed Haghaziar⁴, Vahideh Mahdavi⁵, Amir Mohammadi⁶

- 1- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Abadan University of Medical Sciences, Abadan, Iran
- 2- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- 3- Department of Environmental Health Engineering, Maragheh University of Medical Sciences, Maragheh, Iran
- 4- Department of Watershed Sciences, Utah State University, UT, USA
- 5- Research Department of Pesticide, Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, Iran
- 6- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 08 May 2023
Revised: 27 May 2023
Accepted: 30 May 2023
Published: 19 June 2023

ABSTRACT

Background and Objective: Heavy metals in water can pose risks to human health. Therefore, it is necessary to monitor and measure metals to ensure the health of consumers.
Materials and Methods: This study aimed to measure heavy metals such as arsenic, lead, cadmium, chromium, zinc, and mercury in water resources and urban water distribution networks in spring and summer of 2021 in Maragheh city. Accordingly, 25 samples were taken to investigate the presence of heavy metals. The presence of these metals in water sources was investigated using qualitative maps and finally, by evaluating the health risk caused by the presence of these metals, their effect on the health of consumers has been studied.

Results: Examining the concentration of metals in water resources upstream of the dam shows a relatively high concentration of metals, especially arsenic (13.2 µg/L). Despite this, the amount of arsenic after the water treatment plant and in the distribution network is reduced to an insignificant level. On the other hand, the results show that the amount of zinc metal in the network is higher than in the reservoir of the dam, and its concentration in the dam is equal to zero and in the network, it reaches the highest value of 578 µg/L. Finally, the health risk assessment shows that the calculated THI values for all samples vary between 0.01 and 0.99.

Conclusion: Based on the calculated health risk, there is no threat to the health of consumers regarding heavy metals in Maragheh drinking water. Also, these results double the necessity of additional studies regarding the leakage of zinc metal from the pipes and accessories of the city's drinking water distribution network in the future.

Keywords: Arsenic, Heavy metals, Health risk, Maragheh, Geographic information system

***Corresponding Author:**
ppourakbar@yahoo.com

Please cite this article as: Aghayani E, Shekoohiyan S, Behnami A, Abdolajnejad A, Pourakbar M, Haghaziar H, et al. Health risk assessment due to the presence of heavy metals in drinking water resources of Maragheh city. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2023;16(1):31-52.

