



ارزیابی ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی فلزات سنگین در شبکه توزیع آب شرب شهر زابل

جمیله شهریاری^۱، محمدرضا رضایی^{۱*}، حسین کمانی^۲، محمدحسین صیادی اناری^۱

۱- گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

مقاله پژوهشی اصیل

چکیده

مقدمه

وجود فلزات سنگین در آب شرب تهدیدی جدی برای سلامتی مصرف کنندگان به لحاظ احتمال ابتلا به انواع بیماری های مرتبط با مصرف آب آلوده است. پژوهش حاضر با هدف تعیین ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی فلزات سنگین در شبکه توزیع آب شرب شهر زابل انجام شد.

مواد و روش ها

در این مطالعه توصیفی- مقطعی، تعداد ۵۰ نمونه از نقاط مختلف شبکه آبرسانی شهر زابل در فصل زمستان ۱۳۹۷ برداشته شدند و طبق روش استاندارد توسط دستگاه ICP-OES مورد آنالیز قرار گرفتند. میانگین غلظت فلزات آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، منگنز، روی، مس و آهن با استانداردهای ملی ۱۰۵۳ ایران، آژانس حفاظت محیط زیست و سازمان جهانی بهداشت مقایسه شد. همچنین ارزیابی ریسک بهداشتی برای دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان با استفاده از معیارهای آژانس حفاظت محیط زیست و محاسبات مربوطه از طریق فرمول نویسی در نرم افزار اکسل انجام گرفت.

یافته ها

در بین فلزات، میانگین غلظت فلز آرسنیک ($0/0407$ میلی گرم در لیتر) و کادمیوم ($0/0034$ میلی گرم در لیتر) بیشتر از مقادیر مجاز استانداردهای ملی ۱۰۵۳ ایران و سازمان جهانی بهداشت بودند. ریسک غیرسرطان زایی کل (HI) برای کودکان $9/62$ و برای بزرگسالان $4/12$ و مجموع ریسک سرطان زایی $1/79 \times 10^{-3}$ به دست آمد و بالاترین سطح ریسک را نشان داد.

نتیجه گیری

نتایج وجود خطر قابل توجه بروز بیماری های غیرسرطانی و همچنین خطر بسیار بالای ابتلا به بیماری های سرطان در مواجهه ی طولانی مدت برای جمعیت محلی (به ویژه کودکان) را نشان داد. بنابراین باید در اسرع وقت اقدامات لازم جهت کاهش میزان آلودگی آب توسط سازمان های مسئول انجام پذیرد.

کلیدواژه ها

ارزیابی ریسک، سرطان زایی، غیرسرطان زایی، فلزات سنگین، شبکه توزیع آب، زابل.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

*نویسنده مسئول: محمدرضا رضایی،

دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست،

دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تلفن: ۰۹۱۵۱۶۱۵۴۱۴

پست الکترونیک:

mrrezaei@birjand.ac.ir



مقدمه

منابع محدود آب شیرین، در معرض طیف گسترده‌ای از انواع آلاینده‌ها، به ویژه فلزات سنگین قرار گرفته‌اند. به طور کلی غلظت و توزیع فلزات سنگین در نمونه‌های آب آشامیدنی به شرایط شبکه‌های تامین آب هم وابسته است (۱).

آب سالم در طول مسیر از منبع تامین، تا نقطه مصرف مرحله‌ای را طی می‌کند که کیفیت آن در عبور از این مراحل دستخوش نوسانات قابل توجهی می‌گردد (۲). در این میان، آلودگی به فلزات سنگین مشکلات زیست‌محیطی جدی را به دنبال دارد. اثرات بلند مدت مواجهه با سموم موجود در آب آشامیدنی از نگرانی‌های عمده کیفیت آب و بهداشت عمومی است (۱). افرادی که در معرض این عناصر قرار دارند، از طریق مصرف آب، نسبت به سرطان و دیگر خطرات آسیب‌پذیر هستند. به عنوان مثال، مواجهه با عنصر سرطان‌زایی همچون آرسنیک، عوارضی مانند کارکرد غیرطبیعی قلب، آسیب به شش‌ها و مجاری تنفسی، کاهش تولید گلبول‌های سفید و قرمز خون و ناراحتی گوارشی، سرطان ریه، مثانه و پوست را در بلند مدت در پی دارد (۳،۴).

فلز کادمیوم نیز خواص سرطان‌زایی داشته و بیماری‌هایی مثل فشار خون، گرفتگی عروق و همچنین آسیب به کلیه‌ها، استخوان‌ها و کبد نتیجه‌ی مواجهه طولانی مدت با این فلز می‌باشد (۵). همچنین مصرف بیش از مقدار مجاز کروم می‌تواند باعث بروز سوزش و خارش در مخاط گوارشی شده و در شرایط حادث‌تر عوارضی مانند نکروز کبدی، خونریزی داخلی، التهاب کلیه، مشکلات تنفسی، سرطان دستگاه گوارش، ریه و روده و در نهایت مرگ را در پی داشته باشد (۳، ۶). ترکیبات کروم شش ظرفیتی اثرات تخریبی بر بافت‌های بدن انسان می‌گذارد و منجر به بیماری سرطان در بلند مدت می‌شود (۷). بیماری‌های ناشی از مواجهه‌ی بلند

مدت با نیکل شامل آلرژی، سرطان و اختلالات تنفسی می‌باشد (۸). بیش‌ترین تجمع نیکل در استخوان، کلیه، ریه و کبد انسان دیده شده است (۸). مواجهه با فلز سمی سرب نیز عوارض متعددی همچون اختلال در عملکرد سیستم‌های حیاتی بدن از جمله سیستم عصبی و حتی مرگ را در پی دارد (۲). غلظت‌های بالاتر از مقدار مجاز منگنز، می‌تواند عملکرد سیستم‌های مختلف بدن از جمله سیستم‌های تنفسی، گوارشی و عصبی را مختل کند (۳، ۹). هم‌چنین غلظت بالای فلزات آهن و منگنز در آب شرب می‌تواند موجب رشد و ازدیاد باکتری‌های آهن و منگنز، تغییر در طعم و بوی آب، افزایش خوردگی لوله‌ها، گرفتگی و انسداد سیستم‌های آب‌رسانی و کاهش راندمان گندزدایی و غیره شود (۹).

روی به آب مزه‌ای نامطلوب می‌دهد که نشان داده شده این فلز در سیستم‌های لوله‌کشی قدیمی می‌تواند به‌طور قابل توجهی بالاتر باشد (۱۰). مصرف بیش از حد مجاز روی در کوتاه مدت منجر به مشکلات گوارشی و در طولانی مدت منجر به بیماری‌های سیستم عصبی، آسیب لوزالمعده و کاهش کلسترول خوب خون (HDL) می‌گردد (۱۱).

وجود مس به مقدار بالا در کوتاه مدت باعث ایجاد بیماری‌های گوارشی و در طولانی مدت منجر به بیماری‌هایی از قبیل کم‌خونی، تغییر در استخوان‌ها و افزایش کلسترول و گاهی نیز باعث مرگ می‌شود. این در حالی است که نشان داده شده کودکان زیر یک‌سال نسبت به مس حساس‌تر هستند (۱۲). بنابراین ارزیابی خطر ناشی از مواجهه با این ترکیبات و همچنین پایش این فلزات برای ارزیابی ایمنی محیط‌زیست و سلامت انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۳). ارزیابی خطر، فرایندی است که جهت برآورد احتمال ایجاد اثرات مضر سلامتی به واسطه‌ی مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی محیطی در زمان حال یا آینده به کار می‌رود (۱۴).



مطابق تعریف ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO¹)، این فرایند با هدف محاسبه یا برآورد خطر موجود برای یک ارگانیسم، سیستم یا جمعیت به کار می رود (۱۵) و مکانیسمی را برای بررسی اطلاعات مرتبط با تخمین پیامدهای بهداشتی و زیست محیطی فراهم می کند (۱۶).

ارزیابی ریسک بهداشتی به عنوان روشی مناسب به منظور برآورد خطرات بالقوه سلامت در انسان شناخته شده است که نتایج و اطلاعات به دست آمده از آن می تواند به تصمیم گیرندگان در سازمان های ذی ربط کمک کرده تا قوانین و سیاست های جامعی برای حفاظت از سلامت افراد جامعه برقرار سازند (۱۷، ۱۸). در این راستا مطالعات گسترده ای در سطح ملی و بین المللی بر روی محیط های آبی صورت گرفته است، به عنوان مثال دوگال^۲ و رانی^۳ ارزیابی ریسک بهداشتی فلزات در آب های زیرزمینی پاکستان (۱۹)، رضایی و همکاران ارزیابی ریسک فلزات سنگین آب آشامیدنی در استان کردستان (۲۰)، دشتی زاده و همکاران ارزیابی ریسک بهداشتی فلزات سنگین آب شرب زاهدان (۲۱)، توفیق الاسلام^۴ و همکاران بررسی آلودگی آب های زیرزمینی به فلز آرسنیک و ارزیابی ریسک در بنگلادش (۲۲) و دمیر و همکاران ارزیابی ریسک بهداشتی فلزات سنگین در آب شرب ترکیه (۱) را انجام دادند.

منابع آب سطحی دشت سیستان منحصر به رودخانه هیرمند است که عمده حوضه آبریز آن در خاک کشور افغانستان واقع شده است. به منظور انتقال آب مازاد رودخانه سیستان، چهار مخزن (دریاچه) خارج از مسیر رودخانه به یکدیگر متصل شده و آب گیری می شوند (۲۳). این آب ها مسیر طولانی را تا رسیدن به نقطه نهایی مصرف، طی

می کنند. مواد طبیعی شسته شده از خاک، رواناب حاصل از فعالیت های کشاورزی، تخلیه فاضلاب و پساب حاصل از فعالیت اماکن نزدیک به مسیر جریان آب و یا نشت احتمالی از اماکن دفن زباله، هر یک می توانند منجر به آلودگی این آب ها گردند. از سویی دیگر، با توجه به اثرات بهداشتی مواجهه با فلزات سنگین و فرسودگی و قدمت شبکه توزیع آب شرب شهر زابل و واکنش احتمالی متقابل آب و لوله های شبکه توزیع، آلودگی می تواند از طریق خطوط انتقال و شبکه توزیع آب از منبع تا نقطه ی مصرف امتداد یابد.

بنابراین بررسی و سنجش کیفیت آب در نقطه ی مصرف از اهمیت ویژه ای برخوردار است و پرداختن به این موضوع را به دلیل احتمال ورود فلزات سنگین به جریان آب از طریق آلاینده های محیطی و انحلال از جدار لوله ها، ضروری می سازد.

بر این اساس تحقیق حاضر به دلیل اهمیت زیست محیطی موضوع و با توجه به این که تاکنون هیچ گونه مطالعه ای در رابطه با فلزات سنگین موجود در آب شرب شبکه توزیع شهر زابل انجام نگرفته است، با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین در آب آشامیدنی شهر در نقطه مصرف و مقایسه با استاندارد ملی ۱۰۵۳ ایران، استاندارد سازمان جهانی بهداشت و استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست (EPA^۵) و همچنین تعیین ریسک سرطان زایی و غیر سرطان زایی فلزات آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، منگنز، روی، مس و آهن برای دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان با استفاده از شاخص های آژانس حفاظت محیط زیست انجام گرفت.

4 Towfiqul Islam

5 Environmental Protection Agency

1 World Health Organization

2 Duggal

3 Rani



مواد و روش‌ها

محدوده‌ی مطالعاتی این تحقیق، شهر زابل، واقع در ضلع شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان، در محدوده جغرافیایی بین ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده‌است. جمعیت و مساحت ناحیه‌ی شهری زابل به ترتیب ۱۶۵۶۶۶ نفر و ۳۴۴ کیلومتر مربع و دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد. میانگین سالانه دما و بارش منطقه به ترتیب $22/9^{\circ}\text{C}$ و $46/1\text{ mm}$ است (۲۴). این مطالعه به روش توصیفی-مقطعی در فصل زمستان سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. در اولین مرحله، نقشه منطقه به دقت مطالعه شد (۲۵) و در نهایت تعداد ۵۰ نمونه به‌طور تصادفی از مراکز اداری، تجاری و مسکونی شهر و به روش استاندارد متد که بر طبق آن نمونه‌ها در ظروفی از جنس پلی‌اتیلن (با حجم ۱ لیتر) که ۲۴ ساعت قبل با اسیدنیتریک (مرک) اسیدشویی شده بود، جمع‌آوری گردید. به منظور جلوگیری از خروج گاز، بطری‌ها کاملاً از آب پر شدند. میزان pH آب توسط pH متر پرتابل در محل نمونه‌برداری‌ها اندازه‌گیری شد و جهت تثبیت کردن نمونه‌ها پس از برداشت آب، با استفاده از اسیدنیتریک ۶۵ درصد مرک، pH نمونه‌ها را به نزدیک ۲ رساندیم (۲۶).

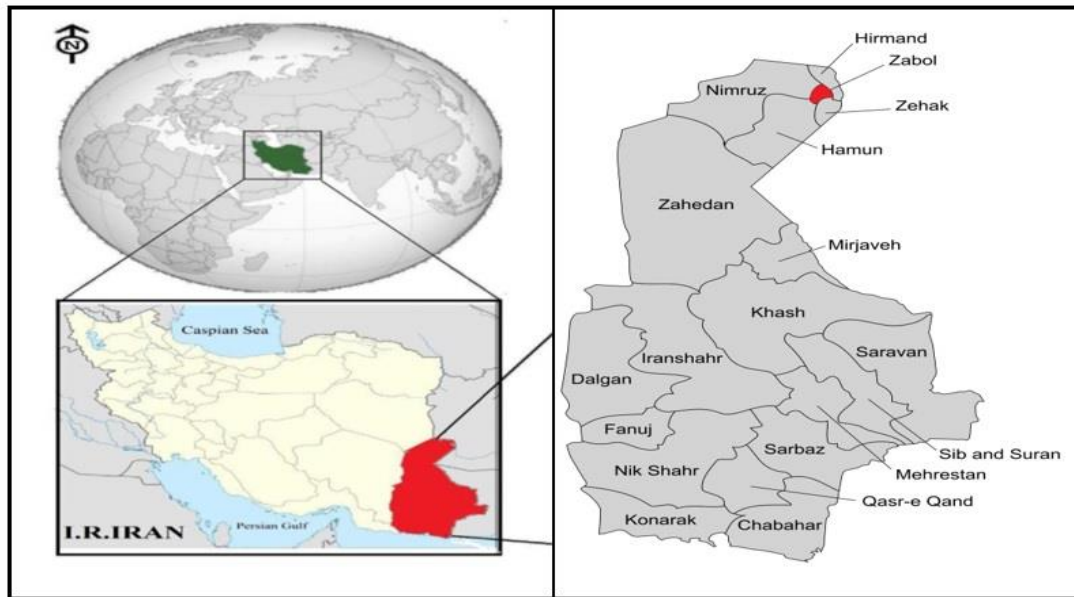
اسیدی‌سازی نمونه‌ها باعث کاهش جذب فلزات سنگین توسط جداره ظروف نمونه‌برداری و جلوگیری از رسوب

احتمالی آن‌ها می‌شود. نمونه‌ها پس از ثبت مشخصات ایستگاه‌ها در مجاورت یخ به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه سیستان و بلوچستان منتقل و تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۲۷، ۲۸) و در اولین فرصت غلظت فلزات آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، منگنز، روی، مس و آهن توسط دستگاه ICP-OES^۱ (طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی، ساخت شرکت پرکین المیر^۲) موجود در آزمایشگاه مذکور اندازه‌گیری شد. این نوع از طیف‌سنجی برای تعیین فلزات و تعدادی از نافلزات در غلظت‌های پایین کاربرد دارد. در مقایسه با روش‌های دیگر، ICP دارای سرعت و حساسیت بالاتری است (۲۹).

پس از دریافت نتایج، غلظت فلزات مذکور با آخرین ویرایش استاندارد ملی ۱۰۵۳ ایران (پنجمین تجدید نظر استاندارد ۱۰۵۳ (۳۰)، آخرین تجدید نظر استاندارد سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۷ (۳۱) و آخرین تجدید نظر استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست در سال ۲۰۱۸ برای آب آشامیدنی مقایسه شد (۳۲). سپس ارزیابی ریسک احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی (شاخص خطر) و ریسک بیماری‌های سرطان ناشی از مصرف آب آشامیدنی برای دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان انجام گرفت. کلیه محاسبات ارزیابی میزان ریسک از طریق فرمول نویسی در نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ انجام شد.

² Perkin Elmer

¹ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ترتیب مطابق معادله ۱ و ۴ تعیین گردید (۱۸، ۲۱). طبق معادله ۱ برای محاسبه‌ی نسبت خطر بیماری‌های غیرسرطان‌زایی (HQ) به دو مقدار ADD^1 و RfD^2 نیاز داریم. ADD_{ing} میانگین دوز روزانه هر فلز از مسیر مصرف خوراکی (بلع) با واحد میلی گرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد. در این مطالعه ADD_{ing} یا ارزیابی مواجهه با فلز از طریق مصرف آب توسط معادله ۲ محاسبه می‌شود (۱۷، ۲۱، ۲۸، ۳۵) که در این معادله، C غلظت فلزسنگین در آب (میلی گرم بر لیتر)، IR میزان مصرف روزانه‌ی آب، EF فراوانی مواجهه، ED مدت مواجهه، BW وزن بدن و AT میانگین زمان برحسب روز می‌باشد، در جدول ۱ اعداد پیش فرض EPA برای پارامترهای این معادله آورده شده‌است (۱۷، ۱۸، ۲۱، ۳۶).

$$HQ_i = \frac{ADD_i}{RfD_i} \quad \text{معادله ۱}$$

ارزیابی ریسک سلامت، به عنوان فرآیند برآورد احتمال رخداد و درجه احتمالی اثرات مضر بر روی سلامتی در یک دوره خاص شناخته شده‌است. سطح خطر آلاینده‌های محیطی برای انسان‌ها به میزان مواجهه بدن با آلاینده‌ها و سمیت آن‌ها بستگی دارد. ارزیابی ریسک شامل ۴ مرحله است: ۱- شناسایی خطر ۲- ارزیابی پاسخ به دوز ۳- ارزیابی مواجهه ۴- توصیف خطر (مشخص کردن ریسک) (۳۳). در این مطالعه ارزیابی ریسک بهداشتی انسان (خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی) ناشی از فلزات سنگین موجود در آب آشامیدنی با استفاده از معیارهای آژانس حفاظت محیط‌زیست اندازه‌گیری شده‌است (۳۴). ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با فلزات سنگین از طریق مصرف آب آشامیدنی بر اساس نتایج اندازه‌گیری غلظت فلزات در آب شرب شبکه توزیع شهر، با محاسبه مقدار نسبت خطر (HQ)؛ برای نشان دادن اثرات غیرسرطانی و ریسک ابتلا به سرطان در طول زندگی براساس روابط ارائه شده توسط EPA به

² Reference dose pollutant

¹ Average Daily Dose



$$\text{ADDing} = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad \text{معادله ۲}$$

RFD دوز مرجع فلزات سنگین با واحد mg/kg/day در شرایط معین است. دوزهای مرجع خوراکی (برای هر فلز) از سیستم اطلاعات جامع مدیریت ریسک حفاظت محیط زیست آمریکا گرفته شده است. RFD، حداکثر مقداری از فلز که بالقوه فاقد اثرات مزمن از طریق

نوشیدن آب به طور مستقیم است و مقدار آن برای فلزات مورد مطالعه طبق آخرین چاپ EPA (۲۰۱۸) به ترتیب ۰/۰۰۳ برای آرسنیک، ۰/۰۰۵ برای کادمیوم، ۰/۰۰۳ برای کروم، ۰/۰۲ برای نیکل، ۰/۰۰۳۵ برای سرب، ۰/۱۴ برای منگنز، ۰/۳ برای روی، ۰/۰۴ برای مس و ۰/۷ برای آهن در نظر گرفته شد (۳۲).

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده جهت ارزیابی ریسک سلامت (۱۷،۲۱،۲۸،۳۴،۳۵،۳۷)

پارامتر	واحد	بزرگسالان	غیرسرطان	سرطان
میزان مصرف آب	لیتر در روز	۲	۱	۲
فراوانی مواجهه	روز در سال	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵
مدت مواجهه	سال	۳۰	۶	۷۰
وزن بدن	کیلوگرم	۷۰	۱۵	۷۰
میانگین زمان	روز	۱۰۹۵	۲۱۹۰	۲۵۵۵۰

در این مطالعه مقدار پارامترهای AT برای ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی به صورت زیر تعیین گردید (۱۶):

$$AT = ED \times EF$$

مقدار AT ریسک های غیرسرطان زایی (برای بزرگسالان و کودکان) و سرطان زایی جداگانه محاسبه می شود. مقدار ED برای هر گروه سنی برابر با حداکثر سن در هر گروه (کودکان و بزرگسالان) در نظر گرفته شده است (۱۶). شاخص ریسک بهداشتی (HQ) برای کودکان و بزرگسالان به طور جداگانه محاسبه شد. ریسک غیرسرطان زایی کل (HI^1) یا شاخص

خطر کل در معادله ۳، مجموع HQ های ناشی از آلاینده های مختلف (آلاینده ها در این مطالعه فلزات آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، منگنز، روی، مس و آهن) از طریق مسیر خوراکی (بلع) است (۳۸).

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ \quad \text{معادله ۳}$$

$HI > 1$ به معنی درجه ای خاصی از اثرات زیان آور بر سلامت انسان است و $HI \leq 1$ بیانگر عدم وجود خطر می باشد (۳۳)، ۳۵، ۳۹، ۴۰، ۴۱). ارزیابی ریسک سرطان زایی: ریسک مازاد سرطان در طول زندگی (ELCR) Excess Lifetime Cancer Risk (اغلب با استفاده از معادله ۴ محاسبه می شود (۲۱):

¹ hazard index



$$\text{ELCR} = \text{ADD}_i \times \text{SF}_i \quad \text{معادله ۴}$$

مقدار محاسبه شده ELCR، احتمال رشد سرطان در طول زندگی (عمر) عموم جمعیت، در مواجهه با هر نوع ماده شیمیایی سرطان‌زا است (۳۲). ریسک سرطان‌زایی به عنوان یک احتمال تعریف می‌شود که فرد به دلیل مواجهه با یک آلاینده خاص یا مجموعی از آلاینده‌ها در محیط، دچار سرطان می‌شود (۴۲).

در این معادله، SF_i فاکتور شیب سرطان‌زایی با واحد میلی گرم بر کیلوگرم در روز است که برای آرسنیک ۱/۵، برای کادمیوم ۰/۳۸ و برای کروم ۰/۱۹ می‌باشد (۴۳، ۴۴). ADD_i میانگین دوز روزانه هر فلز از طریق مصرف خوراکی می‌باشد که با استفاده از معادله ۲ به دست می‌آید. مقادیر پارامترهای این معادله طبق مقادیر سرطان جدول ۱ جای‌گذاری می‌شود. در مواردی که چندین فلز مورد بررسی قرار می‌گیرد، ریسک سرطان‌زایی کل (ریسک تجمعی) نیز با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌شود (۲۱):

$$\text{Total ELCR} = \sum_{i=1}^n \text{Risk} \quad \text{معادله ۵}$$

این مقدار با محاسبه مجموع مقادیر ELCR مربوط به هر یک از مواد شیمیایی مورد مطالعه بدست می‌آید. مطابق با راهنمایی USEPA، دامنه خطر سرطان‌زایی قابل قبول یا قابل تحمل از 10^{-6} تا 10^{-4} است. بر این اساس مقادیر ELCR کمتر از 10^{-6} خطر سرطان‌زایی ناچیز و قابل چشم‌پوشی دارد و خطر سرطان برای مقادیر ELCR بیشتر از 10^{-4} غیرقابل قبول است (۲۱). به منظور افزایش وضوح و درک بیشتر از نتایج ارزیابی، برخی از محققان بر پایه‌ی روش دلفی، سطوح ریسک را در ۷ سطح رتبه‌بندی کرده‌اند (۲۱) که با توجه به مقادیری که از محاسبات ارزیابی به دست

می‌آید، درجه‌ای از ریسک را شامل می‌شود. سطوح ریسک به ترتیب صعودی (۱ تا ۷) طیفی شامل ۱-ریسک بسیار کم ۲-ریسک کم ۳-ریسک کم تا متوسط ۴-ریسک متوسط ۵-ریسک متوسط تا زیاد ۶-ریسک بالا و ۷-ریسک بسیار بالا را دربرمی‌گیرد (۳۵).

یافته‌ها

pH نمونه‌های آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد و در محدوده‌ی بین ۶/۵۱ تا ۷/۴۵ و با میانگین ۶/۹۵ و تقریباً در محدوده‌ی خنثی و حد مجاز استانداردهای ملی ۱۰۵۳ ایران، سازمان جهانی بهداشت و آژانس حفاظت محیط‌زیست (۸/۵-۶/۵) قرارداشت.

به‌طور معمول، pH تاثیر مستقیمی بر سلامت مصرف‌کنندگان ندارد، اما یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب است (۳۱). نتایج غلظت فلزات سنگین موجود در آب شرب شبکه توزیع شهر زابل در جدول ۲ ارائه شده‌است. در بین فلزات اندازه‌گیری شده، آرسنیک با میانگین غلظت ۰/۰۴۰۷ میلی گرم بر لیتر بالاتر از استانداردهای ملی ۱۰۵۳ ایران، WHO و EPA (۰/۰۱ میلی گرم بر لیتر) بود. همچنین میانگین غلظت کادمیوم ۰/۰۰۳۴ میلی گرم بر لیتر و کمی بالاتر از استاندارد-های ملی ۱۰۵۳ ایران و WHO (۰/۰۰۳ میلی گرم بر لیتر) و در محدوده‌ی استاندارد EPA قرار داشت و میانگین غلظت فلزات کروم، نیکل، سرب، منگنز، روی، مس و آهن در محدوده‌ی استانداردها بود. ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی برای همه‌ی فلزات و ریسک سرطان‌زایی برای فلزات آرسنیک، کادمیوم و کروم طبق رهنمودهای EPA انجام شد (۳۴).

¹ carcinogenic Slope factor



جدول ۲- نتایج غلظت فلزات سنگین در شبکه توزیع آب شرب شهر زابل و استانداردهای مربوط به آب شرب

فلز سنگین	کمترین غلظت (mg/l)	بیشترین غلظت (mg/l)	میانگین غلظت (mg/l)	حداکثر مجاز (استاندارد ۱۰۵۳ ایران) (mg/l) (۳۰)	حداکثر مجاز (استاندارد ۲۰۱۷ WHO) (mg/l) (۳۱)	حداکثر مجاز (استاندارد ۲۰۱۸ EPA) (mg/l) (۳۲)
آرسنیک	۰/۰۱۲	۰/۰۷۸	۰/۰۴۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
کادمیوم	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
کروم	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۱
نیکل	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	-
سرب	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱۵
منگنز	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸۱	۰/۴	۰/۴	۰/۰۵ (استاندارد ثانویه)
روی	۰/۰۰۳	۰/۵۶۶	۰/۱۵۵۹	-	-	۵ (استاندارد ثانویه)
مس	۰/۰۰۳	۰/۰۲۴	۰/۰۱۰۶	۲	۲	۱/۳
آهن	۰	۰/۲۲	۰/۰۲۸	-	-	۰/۳ (استاندارد ثانویه)

غیرسرطانی (HI) در گروه سنی بزرگسالان ۴/۱۲ و در گروه کودکان ۹/۶۲ و سطوح خطر احتمالی سرطان زایی به ترتیب برای $As > Cd > Cr$ به دست آمد.

سطوح خطر احتمالی غیرسرطان زایی (شاخص HQ) به ترتیب در گروه بزرگسالان $As > Cd > Zn > Cr > Fe > Mn > Cu$ و در گروه کودکان $As > Cd > Cu > Zn > Cr > Pb$ و $Fe > Mn > Ni$ به دست آمد. شاخص خطر کل بیماری های

جدول ۳- نتایج محاسبات نسبت خطر بیماری های غیرسرطان زایی (HQ) فلزات مورد مطالعه

فلزات سنگین	غلظت فلزات (mg/L)	RFD ingestion (mg/kg/d) (۳۲)	کودکان	بزرگسالان	HQ ingestion
As	۰/۰۴۰۷	۰/۰۰۰۳	۹/۰۴×۱۰ ^{-۱}	۳/۸۸×۱۰ ^{-۱}	
Cd	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۵	۴/۵۳×۱۰ ^{-۱}	۱/۹۴×۱۰ ^{-۱}	
Cr	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۰۳	۶/۲۲×۱۰ ^{-۲}	۲/۶۷×۱۰ ^{-۲}	
Ni	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۳/۳۳×۱۰ ^{-۴}	۱/۴۳×۱۰ ^{-۴}	
Pb	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۵	۱/۹۰×۱۰ ^{-۳}	۸/۱۶×۱۰ ^{-۴}	
Mn	۰/۰۰۸۱	۰/۰۱۴	۳/۸۶×۱۰ ^{-۳}	۱/۶۵×۱۰ ^{-۳}	
Zn	۰/۱۵۵۹	۰/۳	۳/۴۶×۱۰ ^{-۲}	۱/۴۸×۱۰ ^{-۲}	
Cu	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۴	۱/۸۳×۱۰ ^{-۲}	۷/۸۶×۱۰ ^{-۳}	
Fe	۰/۰۲۸	۰/۷	۲/۶۷×۱۰ ^{-۳}	۱/۱۴×۱۰ ^{-۳}	



جدول ۴- نتایج ارزیابی ریسک سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه

سطوح و مقادیر استانداردهای ارزیابی (۳۵)				
فلزات سنگین	ریسک مصرف آب	درجات ریسک	محدوده مقادیر ریسک	پذیرش
As	$1/74 \times 10^{-3}$	درجه ۷	ریسک بسیار بالا	ریسک پذیرفتنی نیست و باید برای رفع خطر اقدام شود
Cd	$3/69 \times 10^{-5}$	درجه ۳	ریسک کم تا متوسط	مشکلی وجود ندارد
Cr	$1/50 \times 10^{-5}$	درجه ۳	ریسک کم تا متوسط	مشکلی وجود ندارد

بحث

طبق نتایج ارائه شده در جدول ۲، میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه به‌ترتیب از بیشترین به کمترین: $Pb (0/0001) > Ni (0/002) > Cr (0/003) > Cd > As (0/04) > Fe (0/02) > Cu (0/01) > Mn (0/008) > Zn (0/15)$ می‌باشد. مقایسه غلظت فلزات مذکور با استاندارد ملی ۱۰۵۳ ایران و آخرین ویرایش استاندارد سازمان جهانی بهداشت (۲۰۱۷) و آخرین ویرایش استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست (۲۰۱۸) نشان داد که در بین فلزات، غلظت آرسنیک با میانگین $0/04$ میلی‌گرم بر لیتر بالاتر از استانداردهای ملی ۱۰۵۳ ایران، WHO و EPA می‌باشد. غلظت آرسنیک در همه‌ی نمونه‌ها بیشتر از استانداردها و حداقل غلظت، $0/012$ میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر غلظت آن $0/078$ میلی‌گرم بر لیتر است که نشان می‌دهد غلظت این عنصر در بعضی نمونه‌ها تا بیش از ۷ برابر استاندارد رسیده‌است (دلیل آن می‌تواند بافت زمین‌شناسی و کانسارهای موجود در منطقه و یا آلودگی‌های وارد شده در مسیر طولانی خط انتقال آب از منبع (کشور افغانستان) تا نقطه مصرف باشد که کیلومترها فاصله دارد و امکان ورود انواع آلودگی‌ها در مسیر عبور این آب‌ها وجود دارد که

پیشنهاد می‌شود در این رابطه مطالعاتی مجزا انجام گردد (۴۵). میانگین غلظت کادمیوم $0/0034$ میلی‌گرم بر لیتر، کمی بالاتر از استانداردهای ایران و WHO و پایین‌تر از مقدار مجاز EPA بود. محدوده‌ی غلظت از $0/002$ تا $0/006$ میلی‌گرم بر لیتر بود که حاکی از آنست که غلظت کادمیوم در برخی از نمونه‌ها تا ۳ برابر بالاتر از استاندارد ملی ۱۰۵۳ ایران، سازمان بهداشت جهانی و استاندارد EPA می‌باشد. چنان‌چه غلظت کادمیوم بیشتر از چند میکروگرم در لیتر باشد احتمال ورود فاضلاب آلوده به آب تقویت می‌شود (۱۱). به‌دلیل شکستگی‌های متعدد و نشت لوله‌های فرسوده در سطح شهر، احتمال ورود آلودگی از این طریق دور از انتظار نیست که بررسی‌های تکمیلی در این مورد توصیه می‌شود. میانگین غلظت ۳ فلز کروم، منگنز و مس از استانداردهای ملی ۱۰۵۳ ایران، WHO و EPA پایین‌تر بود و بیشترین مقدار آن‌ها نیز از حداکثر مجاز این استانداردها پایین‌تر بود. کمترین میزان غلظت هم به نیکل و سرب با مقدار $0/0001$ میلی‌گرم بر لیتر اختصاص داشت که این میزان از غلظت، در محدوده‌ی مجاز هر ۳ استاندارد ایران، WHO و EPA قرار داشت. حداکثر مقدار مجاز فلزات روی و آهن در استانداردهای ایران و WHO ذکر نشده بود تا



مقایسه‌ای انجام شود اما در استاندارد ثانویه‌ی EPA که بحث زیبایی ظاهری آب و حفظ زندگی گیاهان و حیوانات نیز مطرح است (اما مانند استاندارد اولیه الزام‌آور نیست) (۴۶) به‌ترتیب برای روی و آهن مقادیر ۵ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر ارائه شده است که غلظت این دو فلز در این مطالعه کمتر از مقادیر استاندارد ذکر شده بود. ریسک سرطان‌زایی با هدف ارزیابی اثرات بلند مدت مواجهه با آلاینده‌ها که در اینجا فلزات سنگین مذکور هستند، مطابق رهنمودهای آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA) محاسبه شد، به همین دلیل، طبق جدول ۱ طول مدت مواجهه برای یک فرد (بالغ) ۷۰ سال که معادل ۲۵۵۵۰ روز ($AT=70 \times 365$) می‌باشد، در نظر گرفته شد اما برای ارزیابی ریسک بیماری‌های غیرسرطانی که برای دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان به صورت جداگانه محاسبه شده است، اثرات کوتاه مدت مواجهه طی مدت زمان متوسطی که در این مطالعه برای کودکان ۶ و برای بزرگسالان ۳۰ سال می‌باشد، مورد ارزیابی قرار گرفت و بر خلاف ریسک سرطان‌زایی، جنبه‌ی تجمعی ندارد. درحالی‌که برای محاسبه‌ی ریسک سرطان‌زایی، احتمال ریسک در طول عمر یک فرد که EPA به‌صورت میانگین ۷۰ سال را (با توجه به سن امید به زندگی) بیان کرده است انجام می‌شود و تمام موارد مواجهه با خطر در طول زندگی فرد با هم جمع می‌شوند و در نهایت در هر زمان در طول زندگی فرد می‌تواند منجر به بیماری سرطان گردد (۱۶، ۳۷). در رابطه با ریسک غیرسرطان‌زایی در صورتی که نسبت خطر HQ بیشتر از یک شود احتمال بروز اثرات غیرسرطانی در جمعیت در معرض مواجهه وجود دارد. در حالی‌که اگر $HQ \leq 1$ به‌دست بیاید خطری جمعیت را تهدید نمی‌کند (۴۲). این نکته برای شاخص خطر کل یا HI هم قابل تعمیم است به طوری‌که $HI > 1$ به معنی درجه‌ی خاصی از اثرات زیان‌آور بر سلامت انسان است اما $HI \leq 1$ خطری ندارد (۳۳).

۳۵، ۴۰، ۴۱). طبق نتایج ارائه شده در جدول ۳ خطر احتمالی بروز بیماری‌های غیرسرطان‌زایی برای آرسنیک بیش‌تر از سایر فلزات بود. به طوری که نسبت خطر HQ ناشی از آرسنیک به ترتیب برای کودکان ۹/۰۴ و برای بزرگسالان ۳/۸۸ به‌دست آمد که بیشتر از ۱ است و احتمال بروز بیماری‌های غیرسرطان ناشی از آرسنیک را در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان جمعیت مورد مطالعه بالا می‌برد و ریسک ابتلا را در کودکان، بیشتر از بزرگسالان نشان می‌دهد. نتایج شاخص خطر کل که مجموع نسبت خطر کلیه فلزات (مجموع HQ ها) می‌باشد، به ترتیب برای کودکان ۹/۶۲ و برای بزرگسالان ۴/۱۲ به‌دست آمد. بنابراین شاخص خطر کل (HI) هم در این مطالعه بیشتر از ۱ است و احتمال بروز اثرات غیرسرطانی در جمعیت در معرض مواجهه وجود دارد. بر اساس روش دلفی و معیارهای ارزیابی EPA، سطوح ریسک در ۷ سطح رتبه‌بندی شده که با توجه به مقادیری که از محاسبات ارزیابی به‌دست آمده است، سطوح ریسک سرطان‌زایی فلزات کروم و کادمیوم درجه ۳ سرطان‌زایی و ریسک کم تا متوسط را نشان می‌دهد. بنابراین مفهوم این است که از نظر ابتلا به بیماری‌های سرطان ناشی از کروم و کادمیوم، خطر جدی جمعیت مورد مطالعه را تهدید نمی‌کند اما ریسک سرطان‌زایی مصرف آب برای آرسنیک $10^{-3} \times 1/74$ به‌دست آمد که درجه ۷ از سطوح ریسک سرطان‌زایی که بالاترین درجه ریسک است را به خود اختصاص داده است بدین مفهوم که ریسک بسیار بالایی از نظر ابتلا به بیماری‌های سرطان ناشی از مصرف آب آلوده به فلزسنگین آرسنیک، جمعیت منطقه مورد مطالعه را تهدید می‌کند. مجموع ریسک سرطان‌زایی (ELCR) هم $10^{-3} \times 1/79$ به‌دست آمد. مطابق با رهنمود EPA، دامنه خطر سرطان‌زایی قابل قبول یا قابل تحمل از 10^{-6} تا 10^{-4} است. بر این اساس مقادیر ELCR کم‌تر از 10^{-6} خطر سرطان‌زایی ناچیز و قابل



چشم‌پوشی دارد و خطر سرطان برای مقادیر ELCR بیشتر از 10^{-4} غیرقابل قبول است. در این مطالعه، هم عدد ریسک مازاد سرطان در طول زندگی و هم عدد ریسک تجمعی سرطان‌زایی (ریسک کل) بیشتر از 10^{-4} و غیرقابل قبول است. در نتیجه، ریسک پذیرفته نمی‌شود و باید سریعاً برای رفع خطر اقدام شود. آلودگی در اثر آرسنیک هم منشأ طبیعی و هم منشأ انسان‌زاد دارد (۴۷). آلودگی آب به آرسنیک با منشأ طبیعی در بیش از ۷۳ کشور جهان گزارش شده است به طوری که در حدود ۱۵۳ میلیون نفر فقط در جنوب غرب آسیا در معرض آلودگی شدید آب به آرسنیک هستند (۴۸). مواجهه انسان‌ها با آرسنیک غیرآلی عمدتاً از طریق مصرف آب شربی است که به صورت طبیعی آلوده شده باشد. این عنصر در آب‌های سطحی و در مناطقی که معادن سنگ فلزات آهنی وجود دارد، یافت می‌شود و در بیشتر مواقع در نتیجه مصرف مواد ضد آفات نباتی، حشره‌کش‌ها که حاوی آرسنیک می‌باشند وارد آب می‌گردد و به عنوان یکی از سمی‌ترین و خطرناک‌ترین مواد محلول در آب‌های طبیعی شناخته شده است. این عنصر در گروه ۱ ترکیبات سرطان‌زای مؤسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان طبقه‌بندی شده است (۳، ۴) ایجاد مسمومیت مزمن، ضعف عمومی عضلات، کاهش اشتها، تهوع، التهاب غشاهای مخاطی چشم و بینی و حنجره و ضایعات پوستی، تظاهرات عصبی و حتی تومورهای بدخیم در اندام‌های مهم و حیاتی بدن ناشی از مواجهه طولانی مدت با آرسنیک مشاهده شده است. جوهانا بوچمن^۱ و همکاران نسبت به اندازه‌گیری آرسنیک و منگنز در منابع آب شرب زیرزمینی منطقه کامبوج^۲ بنگلادش با وسعتی برابر با ۳۷۰۰ کیلومتر مربع اقدام نمودند. در مجموع محدوده غلظت آرسنیک از ۱ تا

۱۳۴۰ میکروگرم بر لیتر بود. میانگین غلظت ۱۶۳ میکروگرم بر لیتر و غلظت آن در بیش از ۴۸٪ نمونه‌ها بالاتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر به گونه‌ای که سلامتی بیش از ۱/۲ میلیون نفر در معرض تهدید بود و در ۳۵۰ کیلومتر مربع مردم در معرض مسمومیت حاد قرار داشتند (۴۹)؛ که این نتایج، مشابه نتایج ارزیابی غلظت آرسنیک در آب شرب شهر زلیل است با این تفاوت که بالا بودن آرسنیک در تمام نمونه‌ها در زایل، وجود تهدید برای کل جمعیت شهر را نشان می‌دهد. در مطالعه‌ی دشتی‌زاده و همکارانش که به ارزیابی ریسک بهداشتی فلزات سنگین در شبکه توزیع آب شرب شهر زاهدان پرداختند میانگین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه (آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، بور، آلومینیوم، جیوه، منگنز، روی، مس، آهن، سلیوم و باریم) در محدوده‌ی استانداردهای ملی و جهانی گزارش شد و نتایج ارزیابی ریسک بیماری‌های غیرسرطان‌زایی آب آشامیدنی شهر زاهدان از مسیر بلع (گوارش) در دو گروه کودکان و بزرگسالان به ترتیب $10^{-1} \times 9/84$ و $10^{-1} \times 4/22$ و ریسک سرطان‌زایی کل هم $10^{-5} \times 4/28$ در سطوح "ریسک پایین تا متوسط" و در نهایت در محدوده‌ی قابل قبول قرار گرفت (۲۱) که بر خلاف مطالعه‌ی حاضر از لحاظ بهداشتی خطری متوجه مردم منطقه نبود. مطالعه مسافری و همکاران در بررسی میزان آرسنیک در منابع آب شرب شهرستان هشتروند هم نشان داد که از بین ۲۰۰ روستای مورد بررسی، در آب ۵۰ روستا آرسنیک وجود دارد که در ۹ روستا غلظت آرسنیک بالاتر از استاندارد ایران گزارش شد (۵۰) اما در مطالعه‌ی حاضر غلظت آرسنیک در همه‌ی نمونه‌های آنالیز شده بیشتر از هر ۳ استاندارد ایران، WHO و EPA بود. سردارخان و همکاران در بررسی آب شرب شهر

¹ Johana Buschmann

² Cambodia



نتایج مطالعه‌ی حاضر خطری مصرف‌کنندگان را تهدید نمی‌کرد، اما ریسک سرطان‌زایی مانند این مطالعه بیش از مقدار مجاز گزارش شد (۵۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه که در مقطع زمانی زمستان انجام شده‌است، وجود ریسک مقطعی قابل توجه بروز بیماری‌های غیرسرطانی و همچنین ریسک بسیار بالای ابتلا به بیماری‌های سرطان در صورت مواجهه‌ی طولانی مدت برای هر دو گروه سنی بزرگسالان و کودکان جمعیت محلی را نشان می‌دهد. به دلیل وجود این ریسک قابل توجه که ناشی از مقادیر بیش از حد استاندارد فلزات سنگین به‌ویژه آرسنیک و کادمیوم در نمونه‌ها و پتانسیل بالای بیماری‌زایی این فلزات می‌باشد، لازم است که مسئولین محترم شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان، ضمن پایش مستمر فلزات سنگین، اقدامات لازم را نسبت به سالم‌سازی آب و کاهش خطرات موجود انجام دهند و در این راستا برنامه‌ی منسجم و منظمی جهت اجرای طرح‌های مداوم نظارت و پایش سالانه‌ی آلاینده‌های آب شرب به‌ویژه فلزات سنگین را، هم در منابع آبی مورد استفاده و هم در شبکه توزیع و نقطه‌ی مصرف (با توجه به اهمیت سلامت آب شرب که باید در آخرین مرحله توزیع که نقطه برداشت مصرف‌کننده است تامین شود) را در دستور کار خود قرار دهند و نسبت به ایمن‌سازی آب با تسریع در روند انجام اقدامات اصلاحی مناسب در امر تعویض لوله و اتصالات قدیمی و فرسوده‌ی سراسر شبکه توزیع آب شرب شهر (به دلیل واکنش متقابل آب و لوله‌های شبکه) و هم انجام اقداماتی جهت تقویت و ارتقا سیستم تصفیه‌خانه‌ی آب شرب شهر به فرایندهای پیشرفته‌ای که بتواند آلودگی فلزات

نوشه^۱ پاکستان از نظر غلظت فلزات سنگین و ارزیابی ریسک سلامت، بالا بودن غلظت فلزات کروم، نیکل، سرب، کادمیوم و آرسنیک و شاخص HQ برای آرسنیک ۲ و برای کادمیوم ۵/۸۰ را گزارش دادند که از جهت بالا بودن غلظت آرسنیک، کادمیوم و شاخص‌های خطر در تطابق و همخوانی با مطالعه حاضر قرار دارد (۵۱). در مطالعه توفیق الاسلام^۲ و همکاران که آلودگی آب‌های زیرزمینی به فلز آرسنیک و ارزیابی ریسک مصرف آب را در منطقه چاپای-نوابنج^۳ بنگلادش بررسی کردند، غلظت آرسنیک، آهن و منگنز را بیش از استانداردهای ملی بنگلادش و سازمان جهانی بهداشت گزارش کردند و ارزیابی ریسک بهداشتی آرسنیک هم مانند نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که کودکان در مقایسه با افراد بالغ، در معرض خطر بالاتری قرار دارند (۲۲). در مطالعه علیائی و باریکلو که به ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی روستاهای شهرستان ماهنشان استان زنجان پرداختند، عناصر اندازه‌گیری شده سرب، آرسنیک، کروم و کادمیوم کمتر از سطح مجاز گزارش شد. نتایج ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین برای بیماری‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی برخلاف مطالعه‌ی حاضر در محدوده‌ی ایمن گزارش شد که خطری مردم منطقه را تهدید نمی‌کرد (۵۲). در مطالعه‌ی محمدی و همکارانش که به ارزیابی ریسک بیماری‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در آب آشامیدنی شهر خرم‌آباد پرداختند، محدوده غلظت فلزات سنگین کم‌تر از توصیه و رهنمودهای EPA و سازمان جهانی بهداشت و در حد قابل قبول بود. میزان شاخص خطر کل (مجموع شاخص خطر از طریق مسیرهای بلع و جذب پوستی) هم پایین‌تر از حد قابل قبول گزارش شد که از جهت بیماری‌های غیرسرطان‌زایی برخلاف

² Towfiqul Islam
3 Chapai-Nawabganj

¹ Nowshera



فلزات سنگین در دیگر فصل‌ها اقدام کنند تا امکان مقایسه بیشتر و بهتر در این زمینه بدست آید.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده‌ی اول در رشته‌ی علوم و مهندسی محیط‌زیست می‌باشد. لازم می‌دانیم از همه عزیزانی که در مراحل مختلف انجام این پژوهش ما را یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی نماییم.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافع ندارند.

سنگین و سایر آلودگی‌های احتمالی را کاهش دهند. با توجه به این‌که غلظت کمتر از حد استاندارد نمی‌تواند تضمینی برای عدم وجود ریسک باشد بنابراین ضمن بررسی و مقایسه‌ی غلظت فلزات با مقادیر استاندارد، توجه به ارزیابی ریسک بهداشتی و محاسبه‌ی آن هم ضروری می‌باشد. به دلیل وجود محدودیت‌های مالی و زمانی امکان انجام نمونه‌برداری در سایر فصول سال فراهم نبود. بنابراین امید است که این مطالعه زمینه و انگیزه‌ای را برای پژوهشگران فراهم آورد تا نسبت به بررسی غلظت و ارزیابی ریسک

References

- Demira VT, Dereb S, Erginc Y, Cakura F. Celika. Determination and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Drinking Water of Tunceli, Turkey. J Water Resources, 2015,42(4):510-518. <https://www.researchgate.net/publication/282267342>
- nahid p, & mosleh abadi p. [Heavy Metals Concentrations on Drinking Water in Different Aeras of Tehran as ppb and Methods of Remal Them]. Food Science and Technology. 2008,5(16):29-35. (Persian). <http://mme.modares.ac.ir/article-7-12385-fa.html>.
- Sobhanardakani S, Jamali M, Maànijou M. [Evaluation of As, Zn, Cr and Mn concentrations in groundwater resources of Razan Plain and preparing the zoning map using GIS]. J ENVIRON SCI TECHNOL 2014; 16(2):25-38. (Persian). <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=389554>.
- Nazari S, Sobhanardakani S. [Assessment of pollution index of heavy metals in groundwater resources of Qaleh Shahin plain (2013-2014)]. J Kermanshah Univ Med Sci 2015; 19(2):102-08.(Persian). <https://www.magiran.com/paper/1404663?lang=en>
- Rajaei Q, Pourkhabbaz A, Motlagh SH. [Assessment of Heavy Metals Health Risk of Groundwater in Ali Abad Katoul Plian]. NKHMJ. 2012;4(2):155-62. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=174986>
- Kaplan O, Yildirim NC, Yildirim N, Tayhan N. Assessment of some heavy metals in drinking water samples of Tunceli, Turkey. E-J. Chem. 2011; 8(1): 276-280. <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2011/370545>
- Chalkesh amiri, M. Water treatment principles: Isfahan, arkan danesh, 2019. <https://www.adinehbook.com/gp/product/6005442021>
- abedi M. study of heavy metals, nitrite and nitrate in drinking waters of gorgan city and the preparation of the distribution map in gis Islamic Azad University Shahrood Branch; 2014. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/2f71420b3fb42da87bb9d83120237845>
- Zare MR, Aali R, Shahryari A. Iron and manganese in drinking water: concerns and probable problems. Journal of Prevention and Health. 2016;2(5):34-42. <https://www.magiran.com/paper/1681506?lang=en>
- Organization WH. Guidelines for Drinking-water Quality. FOURTH EDITION INCORPORATING THE FIRST ADDENDUM World Health Organization; 2017. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/
- Panahi M. Principles of quality treatment of water wastewater: Tehran University Press; 2007. <http://centlib.iuums.ac.ir:8800/site/catalogue/74159>
- Copper in Drinking Water”, (2002) Washington State Department of Health, www.doh.wa.gov/ehp/dw_pp



13. Ghaderpoori M, Kamarehie B, Jafari A, Ghaderpoury A, Karami M. Heavy metals analysis and quality assessment in drinking water - Khorramabad city, Iran. Data in brief. 2018;16:685-92. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29541665>
14. karyab, h. [Educational file-Environmental Epid]. In. 2016;Retrieved from <http://eprints.qums.ac.ir/id/eprint/3834>
15. KaryabH. [Excess cancer risk assessment poly aromatic hydrocarbons in drinking water in Tehran]. Ph.D. Thesis of Tehran University of Medical Sciences, 2011. (Persian). <https://www.researchgate.net/publication/260116364>
16. Mesdaghinia, A., Nasser, S., & Hadi, M.[Assessment of Carcinogenic Risk and Non-Carcinogenic Hazard Quotient of Chromium in Bottled Drinking Waters in Iran]. IJHE, 2016; 9(3), 347-358. (Persian). <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5618-fa.html>
17. Huang X, He L, Li J, Yang F, Tan H. Different choices of drinking water source and different health risks in a rural population living near a lead/zinc mine in Chenzhou City, southern China. Int J Environ Res Public Health. 2015;12(11):14364-81. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26569281>.
18. Wongsasuluk P, Chotpantarat S, Siri Wong W, Robson M. Heavy metal contamination and human health risk assessment in drinking water from shallow groundwater wells in an agricultural area in Ubon Ratchathani province, Thailand. Environ Geochem Health. 2014;36(1):169-82. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23771812>.
19. Duggal V, Rani A. Carcinogenic and Non-carcinogenic Risk Assessment of Metals in Groundwater via Ingestion and Dermal Absorption Pathways for Children and Adults in Malwa Region of Punjab. Journal of the Geological Society of India. 2018;92(2):187-94. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12594-018-0980-0>
20. Rezaei H, Zarei A, Kamarehie B, Jafari A, Fakhri Y, Bidarpour F, et al. Levels, Distributions and Health Risk Assessment of Lead, Cadmium and Arsenic Found in Drinking Groundwater of Dehgolan's Villages, Iran. Toxicology and Environmental Health Sciences. 2019;11(1):54-62. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13530-019-0388-2>
21. Dashtizadeh M, Kamani H, Ashrafi SD, Panahi AH, Mahvi AH, Balarak D, et al. Human health risk assessment of trace elements in drinking tap water in Zahedan city, Iran. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2019;17(2):1163-9. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40201-019-00430-6>
22. Islam ARMT, Shen S-H, Bodrud-Doza M. Assessment of arsenic health risk and source apportionment of groundwater pollutants using multivariate statistical techniques in Chapai-Nawabganj district, Bangladesh. Journal of the Geological Society of India. 2017;90(2):239-48. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12594-017-0705-9>
23. Mirdar-Harijani, J.. Assessment of physicochemical characteristics of Chahnimeh water and fish farms. Research project of Zabol University,2007; 115.(Persian). gnbd-jair-Journal-v5-n4-isc (2).xml.
24. Hosseini, H., Shakeri, A., Rezaei, M., Dashti Barmaki, M., & Shahraki, M.[Application of water quality index (WQI) and hydro-geochemistry for surface water quality assessment, Chahnimeh reservoirs in the Sistan and Baluchestan Province]. IJHE,2019; 11(4), 575-586. (Persian). <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6141-en.html>.
25. Kamani H, Mirzaei N, Ghaderpoori M, Bazrafshan E, Rezaei S, Mahvi AH. Concentration and ecological risk of heavy metal in street dusts of Eslamshahr, Iran. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2018;24(4):961-70. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10807039.2017.1403282?journalCode=bher20>
26. Lenore S. Clescerl AEG, Andrew D. Eaton. Standard Methods for Examination of Water & Wastewater: Amer Public Health Assn; 1999. <https://megapaper.ir/search/view/ebook/864854>
27. Muhammad S, Shah MT, Khan S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. MICROCHEM J. 2011;98(2):334-43. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X11000452>
28. Shahrudin M. Risk Assessment of Aluminum Residue in Drinking Water of Residents in Sandakan, Sabah.J ASIA-PAC J PUBLIC HE. 2015;1. <http://www.aapeohjournal.org/index.php/v/article/view/6>
29. Aghavali, N. [Determination of heavy metals concentration in groundwater of areas in cetral and northwestern of Iran]. (PHD), Islamic Azad University,2017; (3143) <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/10e352783a0782388b12c2f00a7a252c>
30. Iran., I. o. S. a. I. R. o. 5th.revision. Drinking water -Physical and chemical specifications 1053 In.2009. (Persian). <http://nmbk.ir/harticle/nmbk-1392-2-22-10-51-371053.pdf>
31. Organization WH. Guidelines for Drinking-water Quality. FOURTH EDITION INCORPORATING THE FIRST ADDENDUM World Health Organization; 2017.

- https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/
32. USEPA. 2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables. In. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2018. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/dwtable2018.pdf>
 33. Liu X, Song Q, Tang Y, Li W, Xu J, Wu J, et al. Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: a multi-medium analysis. *Sci Total Environ.* 2013;463:530-40. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23831799>
 34. USEPA. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume 1. Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment); EPA/540/R/99/005 Office of Superfund Remediation and Technology Innovation; Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2004. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/part_e_final_revision_10-03-07.pdf
 35. Li F, Qiu Z, Zhang J, Liu C, Cai Y, Xiao M. Spatial distribution and fuzzy health risk assessment of trace elements in surface water from Honghu Lake. *Int J Environ Res Public Health.* 2017;14(9):1011. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28869576>
 36. Lim C, Shaharuddin M, Sam W. Risk assessment of exposure to lead in tap water among residents of Seri Kembangan, Selangor State, Malaysia. *Glob J Health Sci.* 2013;1(2)5;3. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23445691>
 37. USEPA. Exposure Factors Handbook. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2011. <https://www.nrc.gov/docs/ML1400/ML14007A666.pdf>
 38. MohseniBandpi A, Eslami A, Ghaderpoori M, Shahsavani A, Jeihooni AK, Ghaderpoury A, et al. Health risk assessment of heavy metals on PM2.5 in Tehran air, Iran. *Data in Brief.* 2018;17:347-55. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340918300210>
 39. Karami MA, Fakhri Y, Rezaia S, Alinejad AA, Mohammadi AA, Yousefi M, et al. Non-Carcinogenic Health Risk Assessment due to Fluoride Exposure from Tea Consumption in Iran Using Monte Carlo Simulation. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2019;16(21):4261. <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/21/4261/html>
 40. Peng C, Cai Y, Wang T, Xiao R, Chen W. Regional probabilistic risk assessment of heavy metals in different environmental media and land uses: An urbanization-affected drinking water supply area. *J Sci. Rep.* 2016;6:37084. <https://www.nature.com/articles/srep37084>
 41. Zhang Y, Chu C, Li T, Xu S, Liu L, Ju M. A water quality management strategy for regionally protected water through health risk assessment and spatial distribution of heavy metal pollution in 3 marine reserves. *SCI TOTAL ENVIRON.* 2017;599:721-31. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717310847>
 42. 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(6):417-26. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00769-019-01397-5>
 43. Mebrahtu, G., & Zerabruk, S. Concentration and Health Implication of Heavy Metals in Drinking Water from Urban Areas of Tigray Region, Northern Ethiopia. *Momona Ethiop. j. sci.* 2011; 3(1). doi:10.4314/mejs.v3i1.63689. <https://www.ajol.info/index.php/mejs/article/view/63689>
 44. Muhammad S, Shah MT, Khan S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *MICROCHEM J.* 2011;98(2):334-43. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X11000452>
 45. Mirzabeygi M, Abbasnia A, sajadi M, Salimi J, sajadi M, harasi E, et al. Determination of the heavy metals concentrations (lead, Cadmium, Chromium) in rural drinking water supplies of Torbat Heydariyeh city and distribution of GIS. *Journal of Research in Environmental Health.* 2016;2(2):146-53. http://jreh.mums.ac.ir/article_7583.html
 46. Shahvi, S., & Torabian, A. [Studying Iranian Drinking Water Quality Guidelines Compared to the Authentic World Standards]. *J wwse,* 2017; 2(2), 3-13. doi:10.22112/jwwse.2018.87953.1008. http://www.jwwse.ir/article_58402_en.html
 47. Ebrahimi meymand M, Abbasnejad A, Bhrooz M. [Distribution and origin of arsenic in groundwater in Rafsanjan plain and providing a suitable solution for its removal]. *Proceedings of 14th Conference of Geology and the Environment 2009 (Persian).* https://www.civilica.com/Paper-CAGE04-CAGE04_134.html



48. Ravenscroft P, Brammer H, Richards KS. Arsenic pollution: a global synthesis. Wiley Blackwell, U.K, 2009. https://www.researchgate.net/publication/281165131_Arsenic_Pollution_A_Global_Synthesis
49. Johana B. [Measurement of arsenic and manganese in underground water sources in bangladesh Cambodia]. Water Res, 2007;36: 1211-1218. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es062056k>
50. Mosaferi, M., Taghipour, H., Hassani, A., Borghei, M., Kamali, Z., & Ghadirzadeh, A. [Study of Arsenic Presence in Drinking Water Sources]: A Case Study. IJHE, 2008; 1(1), 19-28. http://ijhe.tums.ac.ir/browse.php?a_id=183&sid=1&slc_lang=fa
51. Khan, S., Ali Shah, I., Muhammad, S., Malik, R., & Shah, M. . Arsenic and Heavy Metal Concentrations in Drinking Water in Pakistan and Risk Assessment: A Case Study. Hum. J ecol. risk assess, 21.2015; doi:10.1080/10807039.2014.950925. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10807039.2014.950925>
52. Oliaei, M., Barikloo, A. Assessment of Heavy metal's health risk in underground water resources (case study some parts of northeastern villages of Mahneshan city, Dandi region, Zanzan provience). Geography (Regional Planning), 2018; 8(3): 41-51. http://www.jgeoqeshm.ir/article_68868.html
53. 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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221501611930192X>.



Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk Assessment of Heavy Metals in drinking tap water in Zabol city, Iran

Jamileh Shahriyari¹, Mohammad Reza Rezaei^{*1}, Hossein Kamani², Mohammad Hossein Sayadi anari¹

1- Department of Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Department of Environmental Health Engineering, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran.

Original Article

Received: 24 Sep 2019

Accepted: 13 Apr 2020

***Corresponding Author:**

Mohammad Reza Rezaei,
Department of
Environment, University
of Birjand, Birjand, Iran
TEL: 09151615414

Email:

mrrezaei@birjand.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

The existence of heavy metals in drinking water is a serious threat to consumers' health in terms of the likelihood of suffering from diseases related to contaminated water consumption. This study aimed to determine the carcinogenic and non-carcinogenic risk of heavy metals in drinking tap water in Zabol city, Iran.

Materials and Methods

In this cross-sectional study 50 samples were collected from different points of the urban drinking water network of Zabol city in Winter 2019. And according to the standard method were analyzed by ICP- OES device. The mean concentrations of arsenic, cadmium, chromium, nickel, lead, manganese, zinc, copper, and iron were compared with national 1053 standards of Iran, the Environmental Protection Agency, and the World Health Organization. Also, health risk assessment for children and adult age groups was carried out based on the guidelines of the U.S EPA. All analysis of data and human health risk assessment were estimated by using the Excel software.

Results

Among the metals, the mean concentrations of arsenic (0.0407 mg/l) and cadmium (0.0034 mg/l) were higher than the permissible values of Iran's 1053 national standards and the World Health Organization. Hazard index (HI) was 9.62 for children and 4.12 for adults and the total carcinogenic risk was 1.79×10^{-3} and showed the highest level of carcinogenic risk.

Conclusion

The results of this study show the existence of a significant risk of incidence of non-cancerous diseases as well as a very high risk for cancer diseases as a result of prolonged exposure for the local population (especially children). Therefore, the necessary measures must be taken as soon as possible to reduce the amount of water pollution by the responsible organizations.

Keywords

Risk Assessment, Carcinogenic, Non-Carcinogenic, Heavy Metals, tap water, Zabol.

► **Please cite this article as:** Shahriyari J, Rezaei MR, Kamani H, Sayadi anari MH. Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk Assessment of Heavy Metals in drinking tap water in Zabol city, Iran. J Neyshabur Univ Med Sci 2020;8(3):59-75.