

# ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی بخشی از روستاهای شمال شرقی شهرستان ماهشان، بخش دندی، استان زنجان)

محمدصادق علیائی<sup>۱</sup>

استادیار، عضو هیات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (معاونت پژوهش و فناوری)، تهران، ایران

علی باریکلو

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۸

## چکیده

با توجه به آلودگی فزاینده منابع آب و اهمیت پایش مداوم آنها، در این تحقیق نسبت به بررسی جامع عناصر کمیاب و فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی بخشی از شهرستان ماهشان و بخش دندی، به منظور بررسی تأثیر فعالیت‌های معدنی و صنایع وابسته در این منطقه و فعالیت‌های کشاورزی اقدام شد. در طول مدت تحقیق تعداد ۱۲ نمونه در سه تکرار از ۶ حلقه چاه عمیق تأمین کننده آب شرب روستایی انتخاب و فلزات سنگین (سرب، آرسنیک، کادمیوم و کروم) توسط پلاسمای جفت شده القایی (ICP - OES) مورد آنالیز قرار گرفتند و بیشترین سطح آلاینده‌گی با سازمان بهداشت جهانی، رهنمون آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا و استاندارد ملی ایران مقایسه شدند. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد از عناصر اندازه‌گیری شده، کم‌تراز سطح مجاز است. همچنین ارزیابی ریسک سلامت انسان‌ها با استفاده از شاخص محیط زیست (EPA) مورد سنجش قرار گرفت. میانگین غلظت فلزات سنگین در فصل بهار برای سرب، آرسنیک، کروم و کادمیوم به ترتیب،  $0/00087$ ،  $0/00083$ ،  $0/00024$  و  $0/00079$  و در فصل تابستان  $0/00090$ ،  $0/00084$ ،  $0/00029$  و  $0/00080$  میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد. نتایج نشان داد اختلاف آماری معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده با استاندارد جهانی و ملی وجود ندارد. نتایج ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین سلامت ساکنین منطقه، برای بیماری‌های سرطانزایی ۵-  $19 \times 10^{-6}$  و برای بیماری‌های غیر سرطانزایی ۶-  $4 \times 10^{-6}$  بدست آمد. نتایج غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده و مقایسه آن با استانداردها (استاندارد ملی ایران، ۱۹۹۷؛ استاندارد سازمان جهانی بهداشت، ۲۰۰۳؛ استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۲۰۰۳) نشان داد که خطری از لحاظ بهداشتی منطقه مورد مطالعه را تحدید نمی‌کند.

**واژگان کلیدی:** ریسک، محیط زیست، فلزات سنگین، بخش دندی، شهرستان ماهشان

## مقدمه

امروزه اهمیت آب شیرین و تأثیر به‌سزای آن بر نحوه و میزان پیشرفت جوامع در زمینه‌های صنعتی و کشاورزی بر هیچ کس پوشیده نیست و با توجه به جمعیت رو به افزایش جهان به خصوص در کشورهایی که با محدودیت منابع آب مواجهند، بررسی و کنترل کمیت و کیفیت منابع آب، به ویژه منابع آب زیرزمینی که به عنوان منبع اصلی تأمین آب شرب بیش از ۱/۴ میلیارد نفر در سرتاسر جهان است، می‌تواند این جوامع را در رویارویی با بحران آب که در آینده‌های نه چندان دور گریبان‌گیر بشر خواهد شد، یاری کند. آنچه در حال حاضر بیش از هر مقوله‌ای توجه بشر را به خود جلب کرده است، مسأله آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین است که به دلیل قابل تجمع بودن و داشتن اثرات فیزیولوژیکی در غلظت پایین بر فعالیت جانداران از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (سبحان اردکانی و همکاران، ۲۰۱۵). امروزه با توجه به کاهش و کمبود نزولات جوی و به تبع آن کمبود منابع آب سطحی قابل شرب و در دسترس، استحصال از منابع آب زیرزمینی بدون توجه به محدودیت‌ها یا نیاز به بازچرخش آن مورد توجه قرار گرفته است (کردوانی، ۲۰۱۲). بنابراین، منابع آب زیرزمینی از جمله مهمترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی محسوب می‌شوند که منبع اصلی تأمین آب شرب بیش از ۱/۵ میلیارد نفر در سرتاسر جهان است (Razban, 2013). فلزات سنگین به‌عنوان یک مسأله خطرناک از ابعاد مختلف و به طور جدی می‌توانند زیست انسان و سایر موجودات زنده را به خطر بیندازند. یکی از عمده‌ترین منابع تولیدکننده این عناصر، سنگ‌های معادن و غبارهای آتشفشانی می‌باشند ولی در کنار این‌ها، انسان خود به اشکال مختلف مانند صنایع رنگرزی، آبکاری فلزات و ... در انتشار فلزات سنگین نقش دارد (Razban, 2013). در دهه‌های اخیر آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی هم در کشورهای در حال توسعه و هم در کشورهای توسعه‌یافته به یک مشکل جهانی تبدیل شده است (ملکی و همکاران، ۲۰۱۰؛ شریعتی و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین، آنچه در حال حاضر بیش از هر مقوله‌ای افکار بشر را به خود جلب نموده است، مسأله آلودگی محیط‌زیست با فلزات سنگین می‌باشد که به دلیل غیرقابل جذب بودن و داشتن اثرات فیزیولوژیکی، در غلظت پایین نیز بر فعالیت و سلامت جانداران تأثیرگذار هستند (سبحان اردکانی و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به صنعتی شدن و افزایش رشد جمعیت، تقاضای آب با کیفیت مناسب روز به روز در حال افزایش است، اگرچه غالب منابع آبی به‌وسیله فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و فاضلاب‌ها آلوده شده‌اند ولی هنوز از منابع آب زیرزمینی به دلیل فرآیند طبیعی فیلتراسیون در بافت خاک، به‌عنوان منابع آبی بی‌خطر نام برده می‌شود. بسیاری از عناصر موجود در آب آشامیدنی از جمله آهن، مس، روی، منگنز و غیره وجودشان برای سلامتی انسان ضروری است. با این حال، افزایش غلظت این عناصر و خوردن آنها در مقادیر بیش از حد مجاز ممکن است باعث بروز مشکلات بسیار جدی برای سلامتی بشر شود (محمدی و همکاران، ۲۰۱۴). سازمان مواد سمی و ثبت بیماری‌های ایالت متحده بدلیل آنکه افراد در نتیجه تماس با خاک سطحی آسیب بهداشتی می‌بینند، فهرستی از سایت‌های صنعتی فرآوری فلزات تهیه و گزارش نموده است. غلظت سرب در خون کودکانی که در مناطق آلوده زندگی می‌کنند بالاتر از کودکانی است که خارج از این منطقه زندگی می‌نمایند (Rodenbeck and Crellin, 2008). موارد فوق در حالی است که مسمومیت با سرب و کادمیوم بسیار خطرناک بوده و شامل آسیب به سیستم عصبی، کلیه و خون می‌باشد و در رابطه با سرب

مسائلی چون کاهش بهره هوشی و سطح یادگیری کودکان را موجب می‌شود (WHO, 2003). تا کنون چندین مطالعه در زمینه ارزیابی کیفی، بررسی غلظت عناصر و به ویژه فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی در ایران و سایر کشورها انجام شده است (محمدی و اسماعیلی، ۲۰۰۷). رزبان نسبت به بررسی غلظت فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند طی فصول بهار و تابستان ۱۳۹۱ اقدام کرد و نتیجه گرفت که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و مس در فصول بهار و تابستان به ترتیب برابر  $۷/۴۹ \pm ۱/۱۹$ ،  $۱۳/۷۲ \pm ۲۰/۰۷$ ،  $۲/۳۶ \pm ۰/۴۴$ ،  $۹/۲۱ \pm ۲/۰۱$ ،  $۹/۰۳ \pm ۱/۱۸$ ،  $۷/۱۰ \pm ۱/۹۲$ ،  $۲/۷۸ \pm ۰/۶۵$ ،  $۹/۲۸ \pm ۱/۲۳$  قسمت در میلیارد و میانگین غلظت همه عناصر مورد مطالعه کمتر از رهنمود WHO می‌باشد (Razban, 2013). سواری و همکاران به بررسی پتانسیل نشت فلزات سنگین و خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی اهواز پرداختند. آن‌ها میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیم، روی، مس، آهن و منگنز را به ترتیب  $۸۴۸/۰۹۷$ ،  $۳۱۸۰$ ،  $۱۶۸$ ،  $۲۵۷$  و  $۳۰۶$  میکروگرم برلیتر در آب بدست آوردند (سواری و همکاران، ۲۰۰۸). در تحقیقی که میرانزاده و همکاران بر روی غلظت فلزات سنگین در شبکه توزیع شهر کاشان انجام دادند نشان دادند که غلظت فلزات سنگین در آب شبکه توزیع کاشان بالاتر از حد استاندارد ملی و بین المللی نبوده و خطری برای مصرف کنندگان در بر نخواهد داشت (میرانزاده و همکاران، ۲۰۱۱). رجایی و همکاران نسبت به ارزیابی مخاطره سلامت فلزات سنگین منابع آب زیرزمین دشت علی آباد کتول طی فصول پاییز ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹ اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، کادمیم و کروم در نمونه‌های پاییز به ترتیب برابر  $۰/۰۰۲۲$ ،  $۰/۰۱۴۳$ ،  $۰/۰۰۰۶$  و  $۰/۰۰۲۵$  میلی‌گرم بر لیتر و در نمونه‌های فصل بهار به ترتیب برابر  $۰/۰۰۰۹$ ،  $۰/۰۰۴۵$ ،  $۰/۰۰۶۶$  و  $۰/۰۰۲۳$  میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین بین میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها با استانداردهای ملی و جهانی اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد (رجایی و همکاران، ۲۰۱۲). تحقیق حاضر بدلیل اهمیت زیست‌محیطی و بهداشتی موضوع به بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی پرداخته است. بنابراین با توجه به توسعه کاربری کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی توسط زارعین (عالی‌قدر و همکاران، ۲۰۰۷)، فعالیت‌های معدنی و صنایع وابسته به معدن سرب و روی انگوران در منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) و عدم پایش عناصر تجمع یافته در منابع آب زیر زمینی منطقه مورد مطالعه به منظور بررسی عوارض مخرب بر سلامت شهروندان، در این مطالعه با هدف ارزیابی کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی این منطقه نسبت به بررسی غلظت فلزات سنگین  $Pb$ ،  $Cr$ ،  $As$  و  $Cd$  به عنوان عناصر غالب در منابع آب زیرزمین اقدام شد.

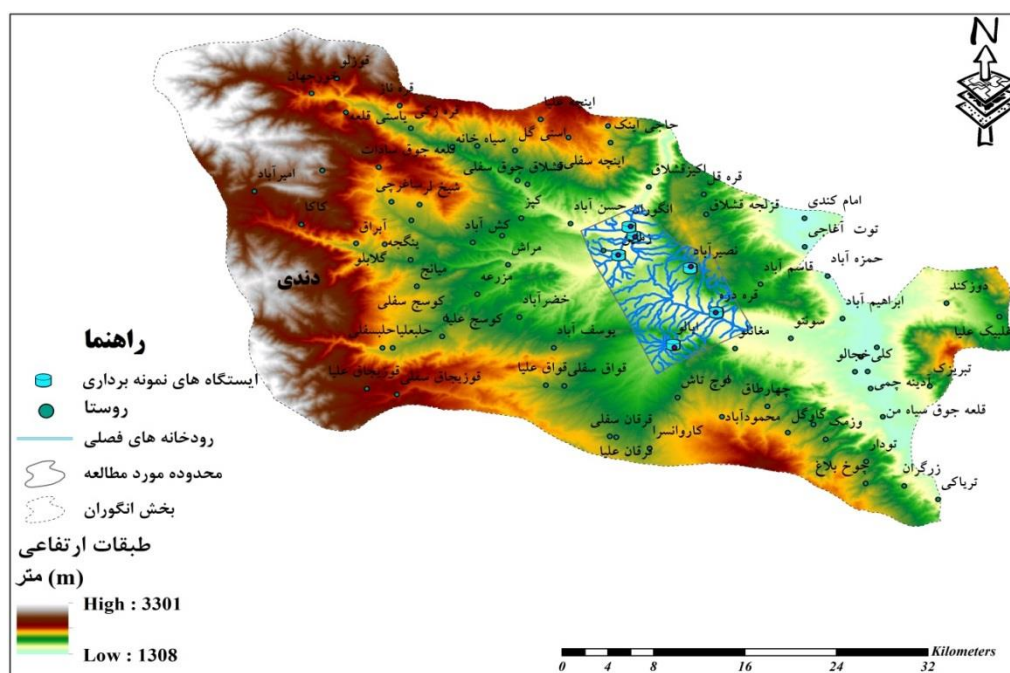
#### منطقه مورد مطالعه

شهرستان ماهنشان در باختر استان زنجان، یکی از هفت شهرستان استان با مساحت ۴۱۸۰ کیلومترمربع در امتداد ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه طول خاوری و ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی خط استوا با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). این شهرستان موقعیت جغرافیایی ویژه و متمیزی از نظر قرارگیری و ارتباط با دیگر نواحی دارد، و از شمال به استان آذربایجان شرقی، از باختر با آذربایجان غربی از جنوب به استان کردستان و از خاور به شهرستان‌های زنجان و ایجرود محدود می‌شود. وضعیت جوی و شرایط اقلیمی منطقه، کوهستانی و شش ماه سال پوشیده از برف دارای آب و هوای به نسبت سردی است. شهرستان

ماهنشان اقلیم خشک و سردی دارد و میانگین بارش سالانه در آن ۲۵۱/۹ میلی‌متر محاسبه شده است (شریعتی و همکاران، ۱۳۹۰). شهرستان ماهنشان یکی از قطب‌های معدنی استان زنجان می‌باشد که از نظر میزان تولید، اهمیت و ارزش و تأثیر در رشد و توسعه استان مقام اول و از نظر میزان ذخیره در رتبه سوم استان قرار دارد. شهرستان ماهنشان دارای بزرگترین معدن سرب و روی خاورمیانه (سرب و روی انگوران)، اولین معدن طلائی استان (طلای توزلار)، تنها معدن فعال بور کشور (بر قره گل)، تنها معدن تالک شیست استان، معادن غنی آهن، فلدسپات، نمک، گچ، سنگ‌های تزئینی و ساختمانی، کائولن و خاک‌های صنعتی، مس و سایر اندیس‌های معدنی می‌باشد (پایگاه اطلاع‌رسانی فرمانداری شهرستان ماهنشان، ۱۳۹۷).

### روش‌شناسی

در طول ۳۰ سال فعالیت صنایع معدنی در دشت دندی و انگوران باطله‌های فراوانی با عیارهای مختلف عناصر گاه سمی و خطرناک در زمین‌های مجاور کارخانه‌جات رهاسازی شده‌اند بنابراین در قدم اول باید این میزان ورودی به آب و خاک و منبع آلاینده‌گی مشخص شود (حسنی پاک، ۱۳۸۰). در این پژوهش توصیفی - مقطعی، نمونه‌برداری در ماه‌های اردیبهشت در فصل بهار ۱۳۹۶ و مرداد ماه از فصل تابستان ۱۳۹۶ از ۶ حلقه چاه تأمین کننده آب شرب که در فواصل ۵ تا ۳۰ کیلومتری هم قرارا دارند صورت گرفت و تعداد ۳۶ نمونه آب از ایستگاه‌ها برای سنجش میزان آلودگی فلزات سنگین برداشت شد. نمونه‌برداری از آنها با استفاده از ظروف پلی‌اتیلنی که از قبل توسط اسید نیتریک شسته شده بودند انجام شد در زمان نمونه‌برداری و قبل از برداشت نمونه آب، برای اطمینان پمپاژ آب از سفره آب زیرزمینی ابتدا چند دقیقه صبر کرده سپس ظرف را سه بار با آب چاه شست و شو داده و از هر ایستگاه حدود نیم لیتر آب برداشت شد (رامش و الانگو، ۲۰۱۲). موقعیت‌های ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل (۱): نقشه موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در اراضی مورد مطالعه

نقاط نمونه برداری در محدوده روستاهای انگوران، زماین، نصیر آباد، آق درق، خانیک و قره درق در اطراف بخش دندی واقع شده است و موقعیت جغرافیایی این روستاها در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول (۱): موقعیت جغرافیایی روستاهای مورد بررسی

شماره	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۴۰.۵۱۶۳۱/۴۴	۷۳.۷۴۴۴۴/۶۳
۲	۷۳.۷۷۹۱۱/۵۳	۴۰.۵۰۶۵۶/۸۸
۳	۷۳.۶۶۳۹/۵۷	۴۰.۴۷۹۹۲/۸۹
۴	۷۴.۱۷۸۳/۸۸	۴۰.۴۷۹۹۲/۸۹
۵	۷۴.۳۶۶۳/۸۲	۴۰.۴۳۷۳۴/۱۹
۶	۷۴.۰۸۳۶/۸۲	۴۰.۴۰۳۸۳/۸۸

منبع: یافته‌های پژوهش

شکل ۲ جانمایی صنایع معدنی سرب و روی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است دلیل انتخاب این منطقه برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی وجود معدن سرب و روی انگوران و صنایع وابسته به آن در این منطقه و بررسی تأثیر بخشی از این فعالیت‌ها بر کیفیت منابع آب زیرزمینی چند روستا در منطقه بود.



شکل (۲): جانمایی صنایع معدنی سرب و روی منطقه (نقاط قرمز رنگ) بر روی تصویر ارسالی گوگل، ۲۰۰۹.

منبع: شریعتی و همکاران، ۱۳۹۰

پس از اندازه‌گیری دما و pH نمونه‌ها در محل توسط دستگاه قابل حمل کالیبره، نمونه‌ها به منظور قرائت غلظت عناصر در یخدان با دمای پایین نگهداری و در اسرع وقت به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه به منظور تثبیت و جلوگیری از رسوب‌گذاری عناصر محلول در نمونه‌ها، به ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه آب، یک میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه و نمونه به مدت ۱۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در زیر هود قرار داده شد. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با دور ملایم (۸۵ دور در دقیقه) بر روی شیکر قرار داده شده و سپس توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شدند. به منظور قرائت غلظت عناصر در نمونه‌ها، ابتدا دستگاه ICP-OES مدل 730-ES ساخت شرکت Varian کالیبره شد (سبحان‌اردکانی و همکاران، ۲۰۱۴). در نهایت غلظت فلزات سنگین بر حسب ppb توسط دستگاه پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) در سه تکرار قرائت شد. برای ارزیابی وضعیت

عناصر سنگین در منابع آب مورد بررسی از روش ارزیابی ریسک سلامت بر اساس روش آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) استفاده شد.

### ارزیابی ریسک سلامت

بر طبق آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA) برای ارزیابی ریسک سلامت تکنیک‌هایی وجود دارد که می‌توانیم تحت شرایط زیر از آنها استفاده کنیم. این ارزیابی ریسک تحت شرایط مصرف آب در هر روز، می‌تواند در تمام طول عمر انسان یا برای یک دوره مشخص محاسبه گردد. در این تکنیک میانگین آب مصرفی برای نوشیدن حدود ۳ لیتر و میانگین وزن بدن انسان ۷۰ کیلوگرم می‌باشد. بنابراین دوز هر یک از ماده شیمیایی با توجه به مقدار آبی که شخص در هر روز استفاده می‌نماید از معادله زیر بدست می‌آید (EPA, 2003).

$$ADDd = \frac{(DW \times C)}{BW} \quad (1)$$

ADDd: دوزی که با آب نوشیدنی وارد بدن می‌شود؛ DW: میانگین حجمی آب نوشیدنی روزانه، ۳ لیتر؛ C: غلظت موجود در آب به میلی‌گرم بر لیتر؛ BW: وزن بدن، ۷۰ کیلوگرم.

ارزیابی میانگین دوز روزانه به ما اجازه می‌دهد که درک جداگانه‌ای از هر یک از آلاینده‌های آب داشته باشیم. آنالیز داده‌های هر یک از فلزات منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

### ارزیابی دوز-واکنش برای ساکنین منطقه

این مرحله از فعالیت‌ها رابطه کمیت بین ریسک و اثرات آن را آشکار می‌سازد مدل خطی پیشنهاد شده از سوی آژانس حفاظت از محیط‌زیست (EPA) برای ارزیابی ریسک با استفاده از معادله زیر بیان می‌شود:

$$Risk = ADDd \times UR \quad (2)$$

ADDd، دوز ماده روزانه (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)؛ واحد UR: واحد ریسک است که به عنوان یک فاکتوری از نسبت ریسک تعیین شده می‌باشد که بستگی به غلظت یا دوز قابل دسترس دارد. واحد ریسک (UR) بستگی به اثر (سرطانزایی، غیرسرطانزایی) که در این مواد دارد ارزش صحیحی را می‌پذیرد. مقادیر UR برای عناصر مورد بررسی سرب، کروم، آرسنیک و کادمیوم به ترتیب ۰/۰۰۸۵، ۰/۱، ۱/۵ و ۰/۳۸ کیلوگرم - روز در میلی‌گرم برای سرطانزایی و ۰/۰۰۰۷۸، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۰۵ کیلوگرم - روز در میلی‌گرم برای غیرسرطانزایی می‌باشد (EPA, 2003)؛ رجایی و همکاران، ۱۳۹۱).

با استفاده از غلظت ترکیبات فلزات موجود در آب و ریسک خطر هر یک از آلاینده‌ها ریسک خطر کل از معادله زیر بدست می‌آید.

$$Risk_{SUM} = 1 - (1 - Risk_1) \times (1 - Risk_2) \dots \times (1 - Risk_n) \quad (3)$$

Risk<sub>sum</sub> (ریسک مجموع): مجموع ریسک هر یک از اثرات می‌باشد. Risk<sub>1</sub>، Risk<sub>2</sub> ریسک غلظت هر یک از آلاینده‌ها به طور جداگانه می‌باشد.

نتایج نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های برداشتی از آب زیرزمینی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد دامنه تغییرات و میانگین غلظت آرسنیک در دو فصل بین صفر تا ۰/۰۰۲۴ و

۰/۰۰۲۹ میلی گرم بر لیتر می باشد، همچنین دامنه تغییرات و میانگین غلظت سرب در دو فصل به ترتیب بین صفر تا ۰/۰۰۰۹ و ۰/۰۰۰۶ و دامنه تغییرات و میانگین کروم صفر تا ۰/۰۰۰۸۷ تا ۰/۰۰۰۸۲ بود. دامنه تغییرات و میانگین عنصر کامیوم صفر تا ۰/۰۰۰۷ و ۰/۰۰۰۶ میلی گرم بر لیتر بدست آمد.

جدول (۲): نتایج غلظت فلزات سنگین اندازه گیری شده در بهار و تابستان و حدود استاندارد مربوط به آنها (بر حسب میلی گرم بر لیتر)

تابستان								بهار
Cd	As	Cr	Pb	Cd	As	Cr	Pb	ایستگاه
۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۸۴	۰/۰۰۰۶۵	۱
۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۹۶	۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۶۷	۰/۰۰۰۵۴	۲
۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۸۵	۰/۰۰۰۹۹۹	۰/۰۰۰۷۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۹	۳
۰/۰۰۰۸۷	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۰۹۵	۰/۰۰۰۸۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۰۸۸	۴
۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰۸۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰۵۱	۵
۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۵۱	۶
۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۸۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۸۰	۰/۰۰۰۸۳	میانگین
۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	استاندارد ملی ایران، ۱۹۹۷
۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	استاندارد سازمان جهانی بهداشت، ۲۰۰۳
۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۳	استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۲۰۰۳

منبع: یافته های پژوهش

بر اساس نتایج ذکر شده در جدول ۲ غلظت فلزات سنگین در فصل بهار آرسنیک فراوان ترین فلز و بعد از آن به ترتیب فلزات سرب، کروم و کادمیوم قرار گرفتند. در فصل تابستان این نسبت ها با کمی تغییر آرسنیک مجدداً فراوان ترین فلز و کروم، سرب و کادمیوم به ترتیب از بیشترین تا کمترین غلظت را به خود اختصاص دادند. نتایج غلظت فلزات نشان داد که اختلاف معنی داری بین چاه ها وجود ندارد. نتایج مندرج در جدول ۳ بیانگر آن است که در نمونه های آب فصل بهار هیچ گونه همبستگی مثبت و معنی دار از نظر آماری وجود ندارد.

جدول (۳): نتایج آزمون پیرسون برای بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در نمونه های آب فصل بهار

Cd	As	Cr	Pb
			۱ Pb
		۱ ۰/۴۶۷	Cr
	۱ ۰/۲۷۱	۰/۷۹۷	As
۱ ۰/۵۴۳	۰/۵۸۸	۰/۶۰۷	Cd

نتایج مندرج در جدول ۴ بیانگر آن است که در نمونه های آب فصل تابستان فقط بین عناصر سرب و کادمیوم با ضریب همبستگی  $r = ۰/۹۱$  و سطح معنی داری  $P < ۰/۰۱$  همبستگی مثبت و معنی دار از نظر آماری وجود دارد.

جدول (۴): نتایج آزمون پیرسون برای بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در نمونه های آب فصل تابستان

Cd	As	Cr	Pb
			۱ Pb
		۱ ۰/۶۶۹	Cr
	۱ ۰/۲۶	۰/۶۳	As
۱ ۰/۵۵۳	۰/۷۴۶	۰/۹۱۸ <sup>**</sup>	Cd

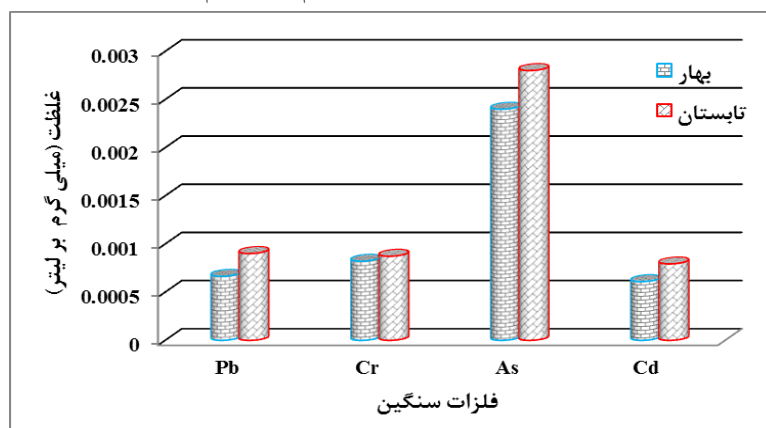
منبع: یافته های پژوهش

\*\*همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۱

نتایج میزان غلظت فلزات سنگین با استانداردهای آب آشامیدنی مقایسه گردید و نشان داد که غلظت فلزات سنگین پایین تر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO)، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) و استاندارد ملی

می‌باشد. بنابراین منابع آب آشامیدنی چاه‌های موجود در منطقه از نظر فلزات سنگین منابع مطمئن هستند و به دلایل مختلف از جمله ترکیبات زمین‌شناسی منطقه، عدم یا کاهش نفوذ فاضلاب‌های شهری و روستایی به منابع آب، شرایط جغرافیایی و محیط حاکم بر منطقه و غیره در معرض آلودگی به فلزات سنگین نیستند (Graves et al, 2004). تحقیقات گین و همکاران نشان داد که غلظت‌های فلزات سنگین در طول زمان تغییر می‌کند و مشخص شد چاه‌های موجود در یک محل می‌تواند بطور گسترده‌ای دارای غلظت‌های متفاوتی از فلزات باشند. در واقع غلظت فلزات سنگین در چاه‌ها، مرتبط با محل و عمق چاه‌ها بوده و در چاه‌های کم - عمق‌تر در نواحی مشخص زمین-شناسی غلظت بالاتر بوده است (Giben et al, 2003). مطالعاتی که عالی‌قدر و همکاران بر روی میزان غلظت فلزات سنگین در شبکه توزیع آب شهر اردبیل انجام دادند نشان داد که غلظت این فلزات در آب این شهر فراتر از حد استاندارد نبوده است (عالی‌قدر و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعه محمدیان و همکاران بر روی غلظت فلزات سنگین در آب چاه‌های مجاور کارخانه سرب و روی زنجان نشان داده است که غلظت سرب و روی در هیچ یک از نمونه‌ها از استاندارد ملی فراتر نبوده است ولی غلظت سرب و کادمیوم به ترتیب در ۵۹ و ۵۳ درصد نمونه‌ها بیشتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی بوده است (محمدی و همکاران، ۲۰۰۸). باسکارداس و همکاران، در ارزیابی آلودگی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی در غرب بنگال، هند و بنگلادش اعلام کردند که از ۱۹ بخش غرب بنگال ۹ بخش، آرسنیک فراتر از استاندارد بین‌المللی ۵۰ میکروگرم بر لیتر بوده و ۵ بخش بین ۱۰ تا ۵۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد (Bhaskar D et al, 2009). نتایج مطالعه حاضر در خصوص فلزات سنگین نشان‌دهنده آن است که مقدار اندازه‌گیری شده فلزات نسبت به مقدار استاندارد ملی و جهانی در حد مطلوب بوده و غلظت فلزات در هیچ یک از چاه‌ها فراتر از حد مجاز استاندارد نبوده است.

نمودار درصد فراوانی فلزات سنگین در طول دوره نمونه‌برداری (شکل ۳) حاکی از آن است که آرسنیک فراوان‌ترین فلز سنگین در منطقه بوده و بعد از آن به ترتیب فلزات سرب، کروم و کامیوم قرار گرفتند.



شکل ۳: نمودار میانگین غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در فصل بهار و تابستان

در جدول ۵ محاسبات ارزیابی ریسک برای هر یک از فلزات نشان داده شده است بر اساس این جدول مشخص می‌شود که با توجه به غلظت فلزات در آب سرب کمترین تأثیر و آرسنیک بیشترین تأثیر را در ریسک سرطانزایی انسان‌ها دارد. ترتیب قرار گرفتن فلزات و شدت اثرات آنها بدین صورت می‌باشد آرسنیک < کروم < سرب < کادمیوم. همچنین جدول ۲ در مورد تأثیر فلزات سنگین بر بیماری‌های غیرسرطانزایی نشان می‌دهد که آرسنیک



بیشترین و سرب کمترین تأثیر را دارد. ارزیابی ریسک سلامت برای بیماری سرطانزایی در فصل بهار  $19 \times 10^{-5}$  و در فصل تابستان  $18 \times 10^{-5}$  بدست آمد.

جدول (۵): محاسبه ریسک سرطانزایی و غیر سرطانزایی فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی مورد بررسی

فصل تابستان				فصل بهار				پارامترهای مورد بررسی
عناصر مورد بررسی				عناصر مورد بررسی				
Cd	As	Cr	Pb	Cd	As	Cr	Pb	
$34 \times 10^{-6}$	$12 \times 10^{-3}$	$37 \times 10^{-3}$	$39 \times 10^{-6}$	$26 \times 10^{-6}$	$12 \times 10^{-3}$	$35 \times 10^{-6}$	$29 \times 10^{-6}$	ADDd
-	$96 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-6}$	$7 \times 10^{-6}$	-	$18 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-7}$	Risk Cancer
$17 \times 10^{-4}$	$36 \times 10^{-4}$	$18 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$	$12 \times 10^{-4}$	$27 \times 10^{-4}$	$15 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	Risk Un Cancer
Risk <sub>sum</sub>				Risk <sub>sum</sub>				
$19 \times 10^{-3}$				$18 \times 10^{-3}$				Cancer <sup>1</sup>
$4 \times 10^{-6}$				$1 \times 10^{-7}$				Un Cancer <sup>2</sup>

منبع: یافته‌های پژوهش

### ۱: سرطانزایی

### ۲: غیر سرطانزایی

ارزیابی ریسک برای بیماری‌های غیرسرطانزایی در فصل بهار  $4 \times 10^{-5}$  و در فصل تابستان  $1 \times 10^{-6}$  بدست آمد. موموت و سینزینیس در تحقیقی که بر روی ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین منطقه‌ای از روسیه انجام دادند ارزیابی ریسک فلزات سنگین را برای بیماری‌های سرطانزایی  $3/95 \times 10^{-5}$  و برای بیماری‌های غیرسرطانزایی  $3 \times 10^{-3}$  بدست آوردند (موموت و سینزینیس، ۲۰۰۵). رجایی و همکاران، در مطالعه‌ای در منطقه علی‌آبادکتول، بیان کردند که منابع آب‌زیرزمینی منطقه، منابع مطمئنی بوده و آلوده به فلزات سنگین نمی‌باشد و تهدیدی برای مصرفکنندگان به وجود نمی‌آورد. همچنین نتایج ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین ارزیابی ریسک سلامت برای بیماری‌های سرطانزایی و بیماری‌های غیرسرطانزایی منطقه مورد مطالعه در طول دوره تحقیق به ترتیب  $2/32 \times 10^{-4}$  و  $2/53 \times 10^{-4}$  فرد بدست آمد. مقایسه نتایج ارزیابی ریسک دو مطالعه نشان می‌دهد آلودگی فلزات سنگین منطقه علی‌آبادکتول نسبت به منطقه مورد مطالعه در روسیه کمتر است در نتیجه ارزیابی ریسک آن کمتر می‌باشد (رجایی و همکاران، ۱۳۹۱).

### نتیجه‌گیری و دستاوردهای پژوهش

گام اول در ارزیابی گستردگی و شدت آلودگی فلزات سنگین در منابع آب، تعیین غلظت فلزات می‌باشد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر در بخشی از اراضی شمال شرقی منطقه دندی در شهرستان ماهنشان زنجان، منابع آب زیرزمینی منطقه، منابع مطمئنی بوده و آلوده به فلزات سنگین نمی‌باشد و تهدیدی برای مصرفکنندگان به وجود نمی‌آورد همچنین نتایج ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین برای بیماری‌های سرطانزایی و غیرسرطانزایی در طول دوره تحقیق به ترتیب  $18 \times 10^{-5}$  و  $1 \times 10^{-6}$  فرد بدست آمد. با استناد به نتایج محاسبه ارزیابی ریسک سلامت و همچنین، مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد بررسی در نمونه‌های مورد بررسی در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی با استاندارد سازمان جهانی بهداشت، استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا و

استاندارد ملی ایران، در حال حاضر منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه آلوده به فلزات سنگین مورد بررسی نیست.

## منابع

- پایگاه اطلاع رسانی فرمانداری شهرستان ماهنشان، ۱۳۹۷. (<https://ostandari-zn.ir/mahneshangov>).
- حسینی پاک، علی اصغر (۱۳۸۰). اصول اکتشافات ژئوشیمیایی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران: ص ۱۳۶.
- دبیری، مینو (۱۳۹۴)، آلودگی محیط زیست (هوا، آب، خاک و صدا). انتشارات اتحاد: ص ۱۵۸.
- رجایی قاسم، پورخباز عای رضا، حصاری مطلق سمانه، (۱۳۹۱). ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی دشت علی آبادکتول. مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، سال ۴، شماره ۲، صص ۱۶۲-۱۵۵.
- سبحان اردکانی سهیل، جمالی مریم، معانی جو محمد، (۱۳۹۳). بررسی غلظت آرسنیک، روی، کروم و منگنز در منابع آب زیرزمینی دشت رزن و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال ۱۶، شماره ۲، صص ۳۷-۲۵.
- سبحان اردکانی سهیل، رزبان سیده شیما، معانی جو محمد، (۱۳۹۳). ارزیابی برخی از فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند همدان سال (۱۳۹۵). ماهنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، سال ۱۸، شماره ۶، صص ۳۴۸-۳۳۹.
- سبحان اردکانی سهیل، معانی جو محمد، اسدی هاله، (۱۳۹۳). بررسی غلظت سرب، کادمیوم، مس و منیزیم در منابع آب زیرزمینی دشت رزن، مجله پزشکی بالینی ابن سینا، سال ۲۱، شماره ۴، صص ۳۲۹-۳۱۹.
- سواری جاسم، جعفرزاده حقیقی فرد نعمت‌اله، حسینی امیرحسام، شمس خرم آبادی قدرت‌اله، بررسی پتانسیل نشست فلزات سنگین و خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهواز، (۱۳۸۶). مجله آب و فاضلاب، سال ۱۸ شماره ۴، صص ۲۴-۱۸.
- شریعتی شهرام، آقا نباتی سید علی، موسوی حرمی سید رضا، مدبری سروش، آدابی محمد حسین، (۱۳۹۰). بررسی میزان آلایندگی ناشی از صنایع معدنی و فرآوری سرب و روی بر آب و خاک منطقه انگوران- دندی. مجله علوم زمین، سال ۲۱، شماره ۸۱، صص ۴۵-۵۴.
- عالی قدر مرتضی، حضرتی صادق، قنبری محسن، (۱۳۸۶). اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی شهر اردبیل سال (۸۴-۸۵)، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، همدان. صص ۱۲۵ - ۱۲۹.
- کردوانی پرویز، (۱۳۹۱). منابع آب و منابع آب در ایران: آب‌های سطحی و زیرزمینی و مسائل بهره برداری از این منابع. تهران: دانشگاه تهران: ص ۴۲۰.
- محمدی علی اکبر، محوی امیر حسین، عمویی عبدالایمان، فلاح سیده حوریه، اصغر نیا حسینعلی، خفاییه علی اکبر، ارزیابی کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب‌های زیرزمینی قابل شرب مناطق روستائی شهرستان خواف، (۱۳۹۲). ماهنامه علمی پژوهشی طلوع بهداشت یزد، سال ۱۲، شماره ۴، ص ۱۹۸.
- میران زاده، محمدباقر، محمودزاده، حسن زاده، بیگدلی، (۱۳۹۱). بررسی غلظت فلزات سنگین در شبکه توزیع آب شهر کاشان در سال ۱۳۸۹. مجله سلامت و بهداشت، سال ۲، شماره ۳، صص ۶۶-۵۶.
- Aghazadeh, N. Mogaddam AA. (2011). Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran. Environ Monit Assess. 176: 183-95.
- Bhaskar, D. Mohammad, MR. Bishwajit, N. (2009). Ground water Arsenic Contamination, Its Health Effects and Approach for Mitigation in West Bengal, India and Bangladesh, Water Qual Expo Heal, 1(1): 5-21.
- Buragohain, M. Bhuyan, B. Sarma, HP. (2010). Seasonal variations of lead, arsenic, cadmium and aluminium contamination of groundwater in Dhemaji district, Assam, India. Environ Monit Assess, 170: 345-51.
- EPA. (2003). National Primary Drinking Water Standards. US. Environmental Protection Agency. Available from: <http://www.epa.gov/safewater>.

- Geen, V. Zheng, Y. Versteeg, R. (2003). Spatial variability of arsenic in 6000 tube wells in a 25 km<sup>2</sup> area in Bangladesh, *Water Resour Resea*, 39(5): 1140-1156.
- Graves, GA. Wan, Y. Fike, DL. (2004). Water quality characteristics of storm water from major land uses in south Florida, *J of American Water Resour Associa*, 40(6): 1405-1419.
- ISIRI. (1997). Specifications for Drinking Water. 4th ed. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.
- Malik, N. Biswas, AK. Qureshi, TA. Borana, K. Virha, R. (2010). Bioaccumulation of heavy metals in fish tissues of a freshwater lake of Bhopal. *Environ Monit Assess*, 160(1-4): 267-76.
- Momot, O. Synzynys, B. (2005). Toxic Aluminium and Heavy Metals in Groundwater of Middle Russia: Health Risk Assessment, *Environ Resea and Pub Heal*, 2(2): 214-218.
- Muhammad, S. Tahir Shah, M. Khan, S. (2011). Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchem J*, 98(2): 334-43.
- Ramesh, K. Elango, L. (2012). Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. *Environ Monit Assess*, 184: 3887-99.
- Rodenbeck, SE. Crellin, JR. (2008). Public Health Assessment. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Available from: [http://atsdr.cdc.gov/HAC/PHA/zinc/nzc\\_p3.html](http://atsdr.cdc.gov/HAC/PHA/zinc/nzc_p3.html).
- Shariati, F. Esmaili Sari, A. Mashinchian Moradi, A. Pourkazemi, M. (2012). Metal bioaccumulation in Persian sturgeon after sublethal exposure. *Int J Marine Sci Eng*, 2(1): 81-90.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2003). Ground water & Drinking water Contaminantes and MCLs.: 84.
- WHO. (2003). Guidelines for drinking water quality, 3 rd ed. Geneva: World Health Organization: 38.

