تاثیر توسعه صنعتی بر میزان خطر سلامت ناشی از وجود فلزات سنگین در منابع آب شرب: یک مطالعه موردی استان سمنان

علی‌اکبر رودباری [*](Ph.D)

گروه بهداشت محیط، مرکز تحقیقات سلامت محیط و کار، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده

هدف: هدف از مطالعه، بررسی تاثیر توسعه صنعتی استان سمنان بر میزان خطر سلامت ناشی از وجود فلزات سنگین در منابع آب شرب استان سمنان با استفاده از شاخص HRAEPA بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی- تحلیلی، ابتدا عملیات نمونه‌برداری از هفده چاه استان در فصول مختلف، انجام شد. سپس نمونه‌ها به سرعت به آزمایشگاه منتقل و مقدار فلزات سنگین با استفاده از روش‌های ذکر شده در کتاب استاندارد متد ۲۰۰۸ تعیین شد. هم‌چنین با استفاده از روش ارزیابی خطر سلامت، مقدار HRAEPA محاسبه شد.

یافته‌ها: مطالعه نشان داد که غلظت تمامی فلزات سنگین در همه منابع آب زیرزمینی استان در حد استانداردهای ملی، سازمان جهانی بهداشت و اتحادیه اروپا قرار دارد. مقدار خطر سلامت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی استان نیز برابر با $۴/۴۸\times۱۰^{-۴}$، $۴/۳۶\times۱۰^{-۴}$ و $۴/۴۶\times۱۰^{-۴}$ (به‌ترتیب برای بازه‌های زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ و ۱۳۹۴) بود. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار خطر سلامت، مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ و کم‌ترین مقدار مربوط به سال ۱۳۹۴ بود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه نشان داد که توسعه صنعتی، میزان خطر سلامت ناشی از فلزات سنگین را افزایش نداد. با این وجود، به علت پیشرفت قابل ملاحظه توسعه صنعتی در استان سمنان، کیفیت منابع آبی باید از طریق وضع قوانین و نظارت دقیق بر فعالیت‌های صنعتی و معدن کاوی حفظ شود.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، خطر سلامت، سمنان، توسعه صنعتی

مقدمه

فعالیت‌های توسعه‌ای و تلاش برای تامین نیازهای بشری منجر به افزایش آلودگی منابع طبیعی و اجزای مختلف محیط زیست شده است [۲،۱]. فلزات سنگین، دسته‌ای از این آلاینده‌ها می‌باشند که غلظت آن‌ها در سال‌های اخیر در برخی منابع آبی افزایش چشمگیری پیدا کرده است [۳]. این دسته از فلزات، خانواده‌ای با بیش از ۵۰ عنصر می‌باشد که ۱۷ مورد از آن‌ها در ردیف متداول‌ترین و در عین حال سمی‌ترین این عناصر قرار می‌گیرند [۵،۴]. در این بین، متداول‌ترین فلزاتی که در مسمومیت انسان نقش پررنگ‌تری دارند عبارتند از: سرب، جیوه، آرسنیک و کادمیوم [۷،۶]. منشاء ورود فلزات سمی به آب می‌تواند فاضلاب‌های شهری و پساب‌ها و زباله‌های صنعتی باشد [۸]. این فلزات به طور طبیعی در سطوح مختلف زمین و آب‌های سطحی وجود دارند. اگر میزان آن‌ها کمی بیش از میزان طبیعی شود با توجه به ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری ضعیف و داشتن قدرت تجمع زیستی در

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۷۷۳۲۱۴۹

Email: roodbari@shmu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۹

بدن موجودات زنده به سرعت تبدیل به آلاینده‌های سمی می‌شوند به طوری که امروزه فلزات سنگین جزء مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آبی زمین به شمار می‌آیند [۱۰،۹]. این گونه فلزات با ترکیبات ضروری بدن از قبیل اکسیژن، گوگرد و ازت پیوند برقرار می‌نمایند. بیش‌تر ترکیبات ضروری بدن از جمله آنزیم‌ها و پروتئین‌ها دارای چنین گروه‌هایی می‌باشند در نتیجه، فلزات سنگین موجب توقف فعالیت آنزیم‌ها و اختلال در سنتز ترکیبات ضروری بدن می‌شوند [۱۱]. اساسی‌ترین مسأله در ارتباط با فلزات سنگین، عدم متابولیزه شدن آن‌ها در بدن می‌باشد. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن، دیگر از بدن دفع نشده، بلکه در بافت‌هایی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌گردند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود [۱۳،۱۲].

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه تعیین غلظت فلزات سنگین در منابع آبی، زنجیره غذایی و خاک انجام شده است لیکن مطالعات موجود در زمینه تعیین پتانسیل خطر سلامت ناشی از فلزات سنگین، بسیار اندک می‌باشد به طوری که در داخل کشور، تاکنون فقط یک مطالعه انجام شده است که آن نیز فقط بر اساس غلظت‌های فلزات سنگین در یک بازه زمانی شش ماهه می‌باشد در حالی که بنا به ماهیت تجمعی این فلزات، لازم است که مدت زمان مواجهه، بیش‌تر باشد تا نتایج واقعی‌تری به‌دست آید. نتایج تحقیق کریم‌پور و شریعت بر روی فلزات سنگین در شبکه آب آشامیدنی شهر همدان نشان داد که میانگین غلظت سرب، کادمیوم و کروم بیش از حد استاندارد می‌باشد [۱۴]. 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 ۸/۴۸، ۰/۹۷، ۳۱۸۰، ۱۶۸، ۲۵۷ و ۳۰/۶ میکروگرم بر لیتر به‌دست آوردند [۱۵]. 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 بین‌المللی نبوده و خطری برای مصرف‌کنندگان در بر نخواهد داشت [۱۶]. سمیر و همکاران نیز در مطالعه‌ای، غلظت برخی فلزات سنگین را در دریاچه‌های دلتای شمالی (ادکو، برولوس و مانزالا) و جانوران آن منطقه مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که غلظت سرب و کادمیوم در آب، اندام‌های ماهی‌ها و رسوبات کف بیش‌تر از استاندارد جهانی می‌باشد [۱۷].

در سالیان اخیر و با توجه به خطرات سلامت ناشی از وجود فلزات سنگین در منابع آبی و غذایی، مطالعات متعددی در دنیا در این زمینه آغاز شده است لیکن اکثر این مطالعات مربوط به تعیین مقدار این فلزت و مقایسه با استانداردها می‌باشد. مطالعه گبرکیدان و همکاران (۲۰۱۵) [۱۸]، چن و همکاران (۲۰۱۵) [۱۹]، محمد و همکاران (۲۰۱۵) [۲۰] و کائو و همکاران (۲۰۱۴) [۲۱] از آن جمله‌اند.

گبرکیدان و همکاران، در مطالعه‌ای به بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک، برنج و سبزیجات حاشیه رودخانه گیبفل در شمال اتیوپی و برآورد خطرات بهداشتی آن پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که خطرات ناشی از وجود این فلزات در منابع غذایی ساکنین منطقه، از حدود مجاز تعیین شده بیش‌تر است [۱۸]. چن و همکاران در مطالعه خود بر روی سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب در چین، نتیجه‌گیری کردند که مقدار فلزات سنگین سرب و کادمیوم در سبزی سیلینکا (نوعی تره) بیش‌تر از حدود استاندارد و بی‌ضرر می‌باشد هم‌چنین غلظت جیوه در این سبزی نیز در حد استاندارد گزارش شد [۱۹]. با توجه به توسعه صنعتی ایجاد شده در استان سمنان و تاسیس بیش از ۳۰ واحد صنعتی بزرگ مواد شیمیایی در طی چهار سال گذشته (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴) در این استان، نگرانی‌هایی توسط مسئولین مبنی بر افزایش غلظت فلزات سنگین در منابع آبی استان در اثر این توسعه ابراز شده است لذا مجریان مطالعه بر آن شدند تا ضمن بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین در منابع آبی استان سمنان در سالیان مختلف (در دو بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴)، میزان خطر سلامت سالیانه ناشی از حضور این فلزات در منابع آب شرب استان را

با استفاده از شاخص جدیدی به‌نام HRAEPA برآورد و در بازه‌های زمانی مختلف با یک‌دیگر مقایسه نمایند.

مواد و روش‌ها

الف: منطقه مورد مطالعه. استان سمنان با جمعیت ۶۳۱۲۱۸ نفر و وسعت ۹۷۴۹۱ کیلومترمربع در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شرق تهران واقع شده است (شکل ۱). این استان دارای طول جغرافیایی ۵۱ تا ۵۷ درجه و عرض جغرافیایی ۳۴ تا ۳۷ درجه و ارتفاع از سطح دریای آزاد برابر با ۱۶۳۰ متر می‌باشد و از سمت شمال به استان‌های مازندران و گلستان، از جنوب به استان اصفهان، از شرق به استان‌های خراسان شمالی و رضوی و از غرب به استان‌های تهران و قم متصل است. هم‌چنین این استان در دامنه جنوبی سلسله جبال البرز واقع شده که ارتفاع آن از شمال به جنوب کاسته شده و به دشت کویر ختم می‌شود [۲۰].

شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه

منابع اصلی تامین آب شرب آب شهرهای مختلف استان سمنان، ۱۷ حلقه چاه می‌باشد که در مناطق مختلف استان واقع شده است [۲۲]. در این مطالعه از اطلاعات ده سال اخیر غلظت فلزات سنگین منابع آب شرب استان سمنان (شامل آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب و کروم) استفاده شده است ضمن آن‌که به مدت یک سال نیز عملیات تعیین غلظت این فلزات از طریق نمونه‌برداری از شیر برداشت خروجی تمامی منابع آب زیرزمینی استان سمنان صورت گرفت (با هدف اعتبارسنجی نتایج اندازه‌گیری‌های قبلی و بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین در سال اخیر با توجه به احداث چندین واحد صنایع شیمیایی در استان). عملیات نمونه‌برداری از آب تمامی این چاه‌ها به‌مدت یک سال به صورت فصلی یک بار صورت گرفت. ظروف مورد استفاده نمونه‌برداری بر طبق دستورالعمل‌های استاندارد (کتاب استاندارد متد ۲۰۰۸)، از جنس پلی‌اتیلن، شیشه‌ای و پلاستیکی بود. به منظور آماده‌سازی ظروف، ابتدا به کمک یک مایع شستشوی رقیق شده، ظروف شسته شد. سپس با استفاده از اسید سولفوکرومیک، اسیدشویی، انجام و پس از شستشوی کامل با آب، مجدداً با آب مقطر بدون یون شستشو داده شد. برای شستشوی ظروف شیشه‌ای پس از شستشو با مایع رقیق‌شده و آب مقطر، آن‌ها را در آون در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ساعت خشک نموده و پس از خشک‌شدن، درب بطری‌های مخصوص نمونه‌برداری هر پارامتر بسته شد. برای نمونه‌برداری، ابتدا متعلقات شیر برداشت از آن جدا شد سپس نسبت به تمیز کردن فیزیکی سرشیر اقدام گردید و در نهایت، بعد از خروج آب به مدت دو دقیقه از شیر (جهت خروج احتمالی شن و ماسه موجود در آب چاه)، عملیات نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها به سرعت به آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان سمنان منتقل و مقدار فلزات سنگین با استفاده از روش‌های ذکر شده در کتاب استاندارد متد ۲۰۰۸ تعیین شد. مقدار آرسنیک، کادمیوم و جیوه با روش طیف سنج جذب اتمی با کوره گرافیتی GTA-95 و مقدار سرب و کروم با روش طیف سنجی جذب اتمی، تعیین شد. نتایج حاصله سپس وارد فرآیند سه مرحله‌ای ارزیابی خطر سلامت (که شرح آن در ذیل می‌آید) گردید. لازم به ذکر است که مقدار مس، نیکل و روی در اندزه‌گیری‌های سال‌های گذشته و نیز نمونه‌برداری آزمایشی صورت گرفته توسط مجریان، صفر بوده است لذا به دلیل عدم تاثیر در میزان خطر سلامت، در محاسبات وارد نشده است.

ج: آنالیزهای آماری مورد استفاده. نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری میدانی مقادیر فلزات سنگین در منابع و سال‌های مختلف برای ارزیابی خطر فلزات سنگین، مورد پردازش آماری قرار گرفت. در این مطالعه، جهت تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS19 استفاده شد به گونه‌ای که جهت مقایسه معناداری یا عدم معناداری تفاوت مقدار خطر سلامت

و میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی در برهه‌های زمانی مختلف از آزمون Repeated Measure و On-Way ANNOVA استفاده شد [۲۳]، هم‌چنین جهت مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی با استاندارد ملی و بین‌المللی (جدول ۱) [۲۴] از One sample T-test و برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف – اسمیرنوف استفاده شد.

جدول ۱. استانداردهای ملی و بین المللی غلظت فلزات سنگین در منابع آب شرب

استاندارد	غلظت بر حسب میلی گرم در لیتر				
	آرسنیک	کروم	جیوه	کادمیوم	سرب
ملی	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
سازمان جهانی بهداشت	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱
اتحادیه اروپا	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱

د: معرفی شاخص ارزیابی خطر سلامت. شاخص ارزیابی خطر سلامت (HRAEPA)، یکی از مناسب‌ترین روش‌های برآورد میزان خطر سلامت سالیانه ناشی از وجود فلزات سنگین در منابع آبی می‌باشد که توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده معرفی شده است [۲۵]. این شاخص، یک فرآیند سه مرحله‌ای و مبتنی بر سه رابطه زیر می‌باشد:

$$ADD_d=DW\times C/BW \quad (1)$$

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 و BW= وزن بدن می‌باشد.

$$Risk = ADD_d \times Ur \quad (2)$$

که ADD_d، دوز ماده روزانه (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)؛ Ur: واحد خطر است که به عنوان یک فاکتوری از نسبت خطر تعیین شده می‌باشد و بستگی به غلظت یا دوز قابل دسترس دارد. واحد خطر (Ur) بستگی به اثر (سرطان‌زایی، غیرسرطان‌زایی) که این مواد دارد ارزش صحیحی را می‌پذیرد.

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

که $Risk_{sum}$، مجموع خطر سالیانه هر یک از اثرات می‌باشد و $Risk_1$ و $Risk_2$ میزان خطر غلظت هر یک از آلاینده‌ها به طور جداگانه می‌باشد.

د: تهیه نقشه‌ها و پهنه‌بندی منطقه. با توجه به این‌که چاه‌های مورد مطالعه، تمامی چاه‌های تامین آب استان سمنان می‌باشند لذا ابتدا مختصات آن‌ها با گیرنده جی‌پی‌اس Oregon مدل ۵۵۰ GPS به صورت XYZ و با فرمت UTM تعیین گردید. بعد از برداشت مختصات، تبدیل نهایی داده‌ها در نرم‌افزار Arc GIS صورت گرفت که نهایتاً خروجی به صورت لایه‌های رقومی با فرمت Point درآمد و در فاز بعدی، جدول توصیفی محل چاه‌ها به روز شد تا پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی استان بر اساس شاخص مجموع فلزات سنگین و شاخص HRA_{EPA} تهیه شود.

نتایج

الف: نتایج نمونه‌برداری از چاه‌های مورد مطالعه. پس از نمونه‌برداری از چاه‌های آب استان و انجام آزمایش بر روی نمونه‌های آب، غلظت فلزات سنگین مطابق با جدول ۲ به‌دست آمد. جدول ۳، میانگین سالیانه مقادیر فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی استان سمنان را در فاصله سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. همان‌طور که در قسمت مواد و روش‌ها آمد بخشی از اطلاعات این جدول از طریق نمونه‌برداری توسط مجریان (سال ۱۳۹۴) و بخشی دیگر (۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) از آرشیو نتایج شرکت آب و فاضلاب استان به‌دست آمده است. جدول ۴. میانگین ده ساله غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی استان سمنان در فاصله سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد.

ب: نتایج مقدار خطر سلامت (سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی) محاسبه شده برای فلزات سنگین موجود در منابع آب زیرزمینی استان سمنان. جدول ۵، برآورد خطر سلامت (سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی) محاسبه شده برای فلزات سنگین موجود در منابع آب زیرزمینی استان سمنان را نشان می‌دهد.

شکل ۲، مقایسه ریسک سلامت ناشی از فلزات سنگین مورد مطالعه در بازه‌های زمانی مختلف را با یک‌دیگر و با میانگین ریسک سلامت سالیانه (ستون سمت راست) نشان می‌دهد.

ج: نتایج تحلیل در محیط GIS. جدول ۶، مختصات چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در منابع آب‌های زیرزمینی استان سمنان در بازه‌های زمانی مختلف و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲. میانگین سالیانه غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در منابع آب زیرزمینی استان سمنان در سال ۱۳۹۴ (Mean ±SD)

شماره چاه	نام چاه	غلظت بر حسب میلی گرم در لیتر					
		آرسنیک	کروم	جیوه	کادمیوم	سرب	مجموع
۱	سمنان	۰/۰۰۱۲ ±۰/۰۰۵	۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۴۵ ± ۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۵۵ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۲۲۴
۲	شاهرود	۰/۰۰۱۱ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۳ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۴۶ ± ۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۵۳ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۲۴
۳	گرمسار	۰/۰۰۱۳ ±۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۴۲ ± ۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۵۴ ±۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۲۲
۴	دامغان	۰/۰۰۱۴ ±۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۸ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۴۱ ± ۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۵۶ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۳۱
۵	درجزین	۰/۰۰۱۴ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۹ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۴۸ ± ۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۵۳ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۳۵
۶	سرخه	۰/۰۰۱۱ ±۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۴ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۴۹ ± ۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۵۱ ±۰/۰۰۰۶	۰/۰۲۲۸
۷	شهمیرزاد	۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۸ ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۴۷ ± ۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۰۹ ± ۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۵۷ ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۲۴۱
۸	ایوانکی	۰/۰۰۱۳ ±۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۷ ± ۰/۰۰۰۸	۰/۰۱۴۲ ± ۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۰۸ ± ۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۵۸ ± ۰/۰۰۳۵	۰/۰۲۳۸
۹	بسطام	۰/۰۰۱۴ ±۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۳ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۳۶ ± ۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۰۹ ± ۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۵۹ ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۲۳۱
۱۰	آرادان	۰/۰۰۱۸ ±۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۷ ± ۰/۰۰۰۸	۰/۰۱۳۷ ± ۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۰۸ ± ۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۴۹ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۲۲۹
۱۱	مجن	۰/۰۰۱۱ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۲۶ ± ۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۵۱ ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۹۹
۱۲	کلاته خیج	۰/۰۰۱۲ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۴ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۳۷ ± ۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۵۴ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۲۱
۱۳	مهدی شهر	۰/۰۰۱۱ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۷ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۴۲ ± ۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۵۸ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۳
۱۴	دیباج	۰/۰۰۱۴ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۸ ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۴۱ ± ۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۵۹ ± ۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۳۶
۱۵	میامی	۰/۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۳ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۳۸ ± ۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۶۵ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۵۲
۱۶	بیارجمند	۰/۰۰۱۱ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۵ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۴۵ ± ۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۶۳ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۲۴
۱۷	امیریه	۰/۰۰۱۱ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۱ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۳۲ ± ۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۸ ±۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۶۵ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۲۷
۱۸	میانگین‌استان	۰,۰۰۱۳۵ ± ۰,۰۰۵۴	۰/۰۰۱۳۸ ± ۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۴۵۱± ۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۴۵۸ ± ۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۵۶ ± ۰/۰۰۵۳	۰/۰۲۲۸

جدول ۳. میانگین چهار ساله غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی استان سمنان در فاصله سالهای ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۴ (Mean ±SD)

شماره چاه	نام چاه	غلظت بر حسب میلی گرم در لیتر					
		آرسنیک	کروم	جیوه	کادمیوم	سرب	مجموع
۱	سمنان	۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۱۲ ± ۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۴۵ ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۷۹
۲	شاهرود	۰/۰۰۰۹ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۸ ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۲۱ ± ۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۳۳ ± ۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۷۲
۳	گرمسار	۰/۰۰۱۱ ±۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۸ ± ۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۲۱ ± ۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۳۵ ±۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۷۷
۴	دامغان	۰/۰۰۱۳ ±۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۷ ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۳۲ ± ۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰۱۸ ± ۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۴۳ ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۲۰۷
۵	درجزین	۰/۰۰۱۱ ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۴ ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۳۲ ± ۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۷ ± ۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۵۱ ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۲۰۹
۶	سرخه	۰/۰۰۱ ±۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۲ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۳۱ ± ۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵ ±۰/۰۰۰۳	۰/۰۲۰۶

شماره چاه	نام چاه	غلظت بر حسب میلی گرم در لیتر					
		آرسنیک	کروم	جیوه	کادمیوم	سرب	مجموع
۷	شهمیرزاد	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۴۶ ± ۰/۰۱۴۷	۰/۰۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۵۴	۰/۰۲۳۸
۸	ایوانکی	۰/۰۰۰۲ ±۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۴۳ ± ۰/۰۱۴۱	۰/۰۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳۱ ± ۰/۰۰۵۶	۰/۰۲۳۳
۹	بسطام	۰/۰۰۰۵ ±۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۴ ± ۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۵۶	۰/۰۲۲۲
۱۰	آرادان	۰/۰۰۰۴ ±۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۵۴ ± ۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۴۷	۰/۰۲۲۵
۱۱	مجن	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۴ ± ۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱ ± ۰/۰۰۵	۰/۰۱۹۴
۱۲	کلاته خیج	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۴۱ ± ۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۵۳	۰/۰۲۱۵
۱۳	مهدی شهر	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۳۱ ± ۰/۰۱۴۲	۰/۰۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۵۸	۰/۰۲۳۱
۱۴	دیباج	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳۲ ± ۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۵۷	۰/۰۲۳۳
۱۵	میامی	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۵۱ ± ۰/۰۱۳۶	۰/۰۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۶۳	۰/۰۲۴۷
۱۶	بیارجمند	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۵ ± ۰/۰۱۴۸	۰/۰۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۶۴	۰/۰۲۴۴
۱۷	امیریه	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۷ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۵ ± ۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۰۰۴ ±۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۶۴	۰/۰۲۲۸
۱۸	میانگین‌استان	۰/۰۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۴۳ ± ۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۴۸ ± ۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۰۰۳۶ ± ۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۵۲	۰/۰۲۴۴

جدول ۴. میانگین ده ساله غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی استان سمنان در فاصله سالهای ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۰ (میانگین و انحراف معیار چهار بار اندازه گیری در طی سال)

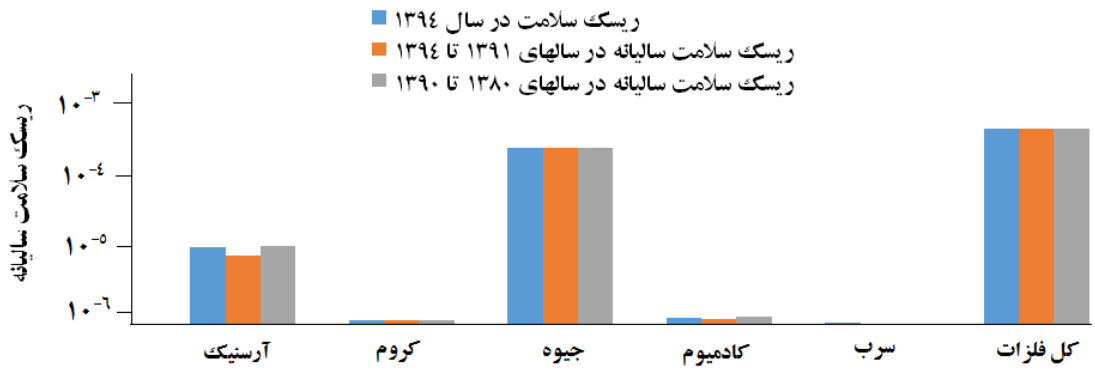
شماره چاه	نام چاه	غلظت بر حسب میلی گرم در لیتر					
		آرسنیک	کروم	جیوه	کادمیوم	سرب	مجموع
۱	سمنان	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۳ ± ۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۹۹
۲	شاهرود	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۲ ± ۰/۰۱۱۹	۰/۰۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۳۷	۰/۰۱۷۰
۳	گرمسار	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۶ ± ۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۴۲	۰/۰۱۸۸
۴	دامغان	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۴ ± ۰/۰۱۴۵	۰/۰۰۰۰۵۴ ± ۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۴۵ ± ۰/۰۰۳۶	۰/۰۲۰۶
۵	درجزین	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۲۸ ± ۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۰۰۶ ±۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۳۹	۰/۰۱۹۷
۶	سرخه	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۳۸ ± ۰/۰۱۳۶	۰/۰۰۰۰۷ ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۹ ± ۰/۰۰۶	۰/۰۲۳۲
۷	شهمیرزاد	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۶۴ ± ۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵۶ ± ۰/۰۰۳۵	۰/۰۲۰۱
۸	ایوانکی	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۳۴ ± ۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳۹ ± ۰/۰۰۴۲	۰/۰۲۰۲
۹	بسطام	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱ ± ۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۹ ± ۰/۰۱۴۷	۰/۰۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۲۷ ± ۰/۰۰۶۵	۰/۰۲۴۷
۱۰	آرادان	۰/۰۰۰۲۸ ± ۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۲۴ ± ۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۰۷۶	۰/۰۰۰۱۹ ± ۰/۰۰۴۲	۰/۰۲۰۶
۱۱	مجن	۰/۰۰۰۴۲ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۲ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۱ ± ۰/۰۱۳۶	۰/۰۰۰۰۱۶ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲۸ ± ۰/۰۰۵۷	۰/۰۲۲۳
۱۲	کلاته خیج	۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۵۶ ± ۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۰۰۴۷ ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۴۷± ۰/۰۰۴۶	۰/۰۲
۱۳	مهدی شهر	۰/۰۰۰۴ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۳۵± ۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۴۷ ± ۰/۰۱۴۸	۰/۰۰۰۰۳۱ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳۱ ± ۰/۰۰۵۲	۰/۰۲۳۳
۱۴	دیباج	۰/۰۰۰۲۱ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۵۹ ± ۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۴۱ ± ۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۰۱۲ ± ۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۲۳ ± ۰/۰۰۵۳	۰/۰۲۴
۱۵	میامی	۰/۰۰۰۵۴ ± ۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۲۶ ± ۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۳۵ ± ۰/۰۱۴۷	۰/۰۰۰۰۶ ± ۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۵۶ ± ۰/۰۰۵۸	۰/۰۲۵۹
۱۶	بیارجمند	۰/۰۰۰۳۶ ± ۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۱۹ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۴۸ ± ۰/۰۱۲۴	۰/۰۰۰۴۱ ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۳۲ ± ۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۹۹
۱۷	امیریه	۰/۰۰۰۱۱ ± ۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۹ ± ۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۰۴۶ ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴۸ ± ۰/۰۰۴۵	۰/۰۱۹۹
۱۸	میانگین‌استان	۰/۰۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۱۳۷	۰/۰۰۰۳۲ ± ۰/۰۰۱۲۳	۰/۰۰۳۹ ± ۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۰۰۲۶ ± ۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۴۶۱	۰/۰۲۱۲

جدول ۵. برآورد خطر سلامت (سرطانزایی و غیرسرطانزایی) فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی استان سمنان در زمانهای مختلف

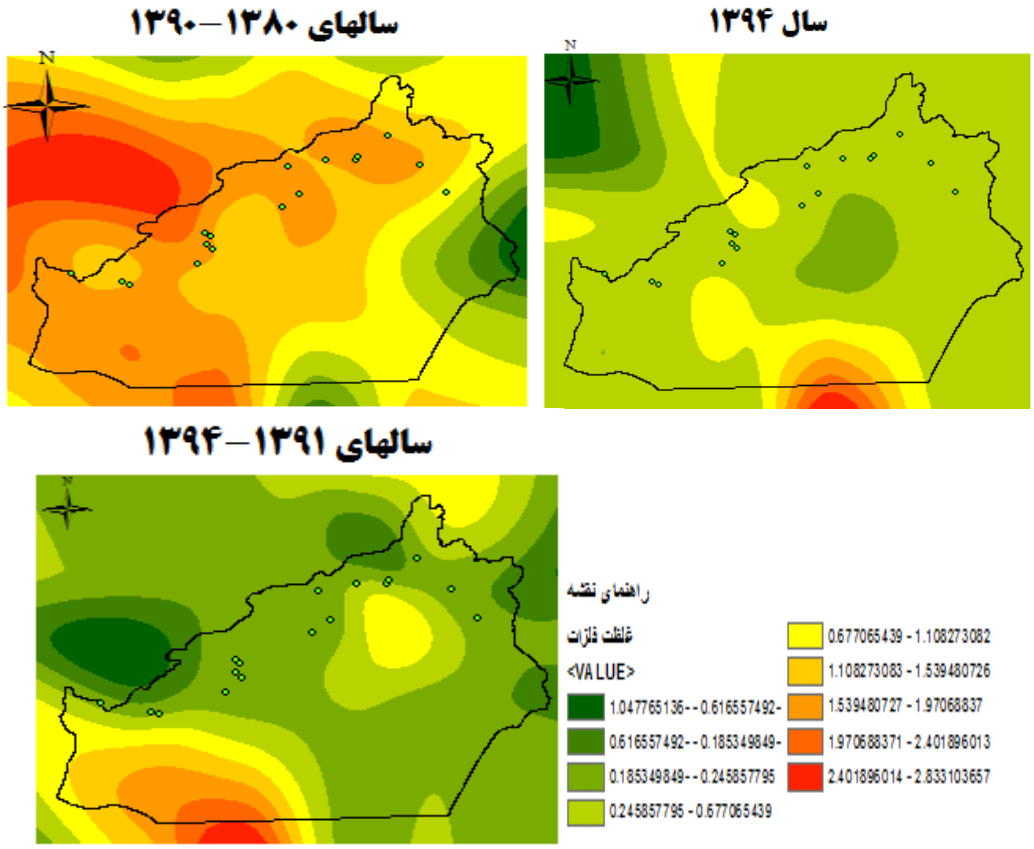
بازه زمانی	پارامتر	C (mg/l)	ADDd (mg/kg)	UR_{cancer} (kg-day/mg)	$Risk_{cancer}$	$UR_{noncancer}$ (kg-day/mg)	$Risk_{noncancer}$
سال ۱۳۹۴	آرسنیک	۰/۰۰۱۳۵	۵/۷۸×۱۰$^{-۵}$	۱/۵	۸/۶۷×۱۰$^{-۵}$	۰/۰۰۳	۱/۷۳×۱۰$^{-۷}$
	کروم	۰/۰۰۱۳۸	۵/۹۱×۱۰$^{-۵}$	۰/۱	۵/۹۱×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۵	۲/۹۵×۱۰$^{-۷}$
	جیوه	۰/۰۱۳۴	۵/۷۴×۱۰$^{-۴}$	۰/۶	۳/۴۴×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۳۵	۲/۰۱×۱۰$^{-۶}$
	کادمیوم	۰/۰۰۰۴۵۸	۱/۹۶×۱۰$^{-۵}$	۰/۳۸	۷/۴۵×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۰۵	۹/۸×۱۰$^{-۹}$
	سرب	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۸۵	۲/۰۴×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۰۰۷۸۵	۱/۸۸×۱۰$^{-۸}$
	ریسک سلامت کل	–	–	–	۴/۴۶×۱۰$^{-۴}$	–	۲/۵۱×۱۰$^{-۶}$
۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴	آرسنیک	۰/۰۰۱۲	۵/۱۴×۱۰$^{-۵}$	۱/۵	۷/۷۱×۱۰$^{-۵}$	۰/۰۰۳	۱/۵۴×۱۰$^{-۷}$
	کروم	۰/۰۰۱۳	۵/۵۷×۱۰$^{-۵}$	۰/۱	۵/۵۷×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۵	۲/۷۹×۱۰$^{-۷}$
	جیوه	۰/۰۱۳۴	۵/۷۴×۱۰$^{-۴}$	۰/۶	۳/۴۴×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۳۵	۲/۰۱×۱۰$^{-۶}$
	کادمیوم	۰/۰۰۰۴۵	۱/۹۲×۱۰$^{-۵}$	۰/۳۸	۷/۲۹×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۰۵	۹/۶×۱۰$^{-۹}$
	سرب	۰/۰۰۵۲	۲/۲۳×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۸۵	۱/۸۹×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۰۰۷۸۵	۱/۷۵×۱۰$^{-۸}$
	ریسک سلامت کل	–	-	–	۴/۳۶×۱۰$^{-۴}$	–	۲/۴۷×۱۰$^{-۶}$
۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰	آرسنیک	۰/۰۰۱۳۷	۵/۸۷×۱۰$^{-۵}$	۱/۵	۸/۸۱×۱۰$^{-۵}$	۰/۰۰۳	۱/۷۶×۱۰$^{-۷}$
	کروم	۰/۰۰۱۲۳	۵/۲۷×۱۰$^{-۵}$	۰/۱	۵/۲۷×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۵	۲/۶۳×۱۰$^{-۷}$
	جیوه	۰/۰۱۳۴	۵/۷۴×۱۰$^{-۴}$	۰/۶	۳/۴۴×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۳۵	۲/۰۱×۱۰$^{-۶}$
	کادمیوم	۰/۰۰۰۵۵	۲/۳۵×۱۰$^{-۵}$	۰/۳۸	۸/۹۳×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۰۵	۱/۱۸×۱۰$^{-۸}$
	سرب	۰/۰۰۴۶۱	۱/۹۷×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۸۵	۱/۶۸×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۰۰۰۷۸۵	۱/۵۵×۱۰$^{-۸}$
	ریسک سلامت کل	–	–	–	۴/۴۸×۱۰$^{-۴}$	–	۲/۴۸×۱۰$^{-۶}$

جدول۶. موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در سیستم اطلاعات جغرافیایی

ردیف	نام چاه	N	E	ردیف	نام چاه	N	E
۱	سمنان	35^{0}36’39.53’’	53^{0}23’34.01’’	۱۰	آرادان	35^{0}16’07.06’’	52^{0}29’34.07’’
۲	شاهرود	36^{0}28’26.10’’	54^{0}57’35.79’’	۱۱	مجن	36^{0}29’18.02’’	54^{0}38’18.42’’
۳	گرمسار	35^{0}17’50.26’’	52^{0}24’49.70’’	۱۲	کلاته خیج	36^{0}42’09.24’’	55^{0}18’42.19’’
۴	دامغان	36^{0}08’42.08’’	54^{0}20’25.28’’	۱۳	درجزین	35^{0}39’58.22’’	53^{0}19’31.94’’
۵	مهدی شهر	35^{0}44’54.57’’	53^{0}21’46.81’’	۱۴	دیباج	36^{0}25’25.04’’	54^{0}13’42.89’’
۶	سرخه	35^{0}28’12.44’’	53^{0}12’48.07’’	۱۵	میامی	36^{0}24’11.23’’	55^{0}38’53.91’’
۷	شهمیرزاد	35^{0}46’51.79’’	53^{0}18’47.03’’	۱۶	بیارجمند	36^{0}06’35.44’’	55^{0}54’38.25’’
۸	ایوانکی	35^{0}22’36.54’’	51^{0}52’30.82’’	۱۷	امیریه	35^{0}01’22.06’’	54^{0}08’35.16’’
۹	بسطام	36^{0}30’12.66’’	54^{0}59’12.90’’				



شکل ۲. مقایسه ریسک سلامت ناشی از فلزات سنگین مورد مطالعه در بازه های زمانی مختلف



شکل ۳. پهنه بندی غلظت فلزات سنگین در منابع آب‌های زیرزمینی استان سمنان در بازه های زمانی مختلف

بحث و نتیجه‌گیری

الف: نتایج غلظت فلزات سنگین در سال‌های مختلف

جداول شماره دو تا چهار، میانگین غلظت فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی استان سمنان را در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جداول قابل مشاهده است غلظت تمامی فلزات سنگین در تمامی منابع آب زیرزمینی استان در حد استانداردهای ملی، سازمان جهانی بهداشت و اتحادیه اروپا قرار دارد (جدول شماره یک).

علت این امر عمق زیاد منابع آب استان سمنان و در نتیجه، وجود زمان کافی برای تصفیه آلودگی‌های ورودی احتمالی به زمین در اثر فعالیت‌های صنعتی مختلف می‌باشد. همچنین در این استان به طور طبیعی نیز لایه‌های حاوی فلزات سنگین وجود ندارد لذا مقدار این فلزات اندک می‌باشد ضمن آنکه در اکثر نقاط استان فاصله زیادی بین شهرک‌ها و نواحی صنعتی و منابع آب زیرزمینی وجود دارد. این جداول همچنین مجموع غلظت فلزات سنگین در چاه‌های هفده‌گانه استان سمنان را نیز

نشان می‌دهد. بر این اساس، غلظت مجموع این فلزات در اکثر شهرها تقریباً با یک‌دیگر برابر (۰/۰۲۲ میلی‌گرم در لیتر) و در طی سال‌های مختلف، دارای تغییرات اندکی بوده است لیکن در چاه میامی در بالاترین سطح (۰/۰۲۵۹) و در چاه شاهرود در پائین‌ترین سطح (۰/۰۱۷۲) قرار داشته است. دلیل این امر نیز وجود لایه‌های طبیعی فلزات سنگین در قسمت جنوبی استان به‌ویژه در منطقه میامی می‌باشد. در منطقه شاهرود نیز فاصله بین منبع آب زیرزمینی منطقه و شهرک صنعتی زیاد است. استان سمنان به لحاظ زمین‌شناسی در قسمت‌های جنوب شرقی‌اش دارای معادن کروم و کادمیوم می‌باشد و قبل از اقدام به احداث چاه‌های عمیق، باید به خطر ناشی از این فلزات، توجه فراوانی نمود تا سلامتی مصرف‌کنندگان در طی زمان به خطر نیافتد. نتایج آنالیز آماری One sample T-test نیز نشان داد که تفاوت غلظت فلزات سنگین در سال‌های مختلف از مقدار استانداردهای ملی، سازمان جهانی بهداشت و اتحادیه اروپا معنادار نیست (مقدار Pvalue به ترتیب، بزرگ‌تر از ۰/۰۹، ۰/۱ و ۰/۱۵) همچنین نتایج آنالیز آماریRepeated Measure بر روی میانگین غلظت فلزات سنگین نیز نشان داد که تفاوت مقدار این فلزات (مجموع و جداگانه) در سال‌های مختلف معنادار نیست (مقدار Pvalue به ترتیب، بزرگ‌تر از ۰/۱ و ۰/۱۵).

نتایج مطالعه حاضر از نظر واقع شدن غلظت فلزات سنگین در محدوده استاندارد، با نتایج مطالعه رجایی و همکاران [۲۶]، عالیقدر و همکاران [۲۷]، و شهریاری و همکاران [۲۸] مطابقت دارد. دلیل این امر، شباهت‌های موجود از نظر فاصله شهرک‌های صنعتی با منابع آب و نیز جنس زمین‌شناسی می‌باشد. از طرفی دیگر این نتایج با نتایج مطالعه ناهید و محسنی که بر روی آب آشامیدنی در شبکه توزیع شهر تهران انجام شد تفاوت دارد. در مطالعه اخیر، غلظت سرب بالاتر از حد استاندارد بوده و دلیل آن نیز ورود از طریق لوله‌های توزیع ذکر گردیده است.

ب: نتایج میزان خطر سلامت (HRA_{EPA}) در سال‌های مختلف

جدول شماره سه، نتایج برآورد مقدار HRA_{EPA} را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. بر این اساس، مقدار خطر سلامت ناشی از فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی استان برابر با $۴/۴۸\times۱۰^{-۴}$، $۴/۳۶\times۱۰^{-۴}$ و $۴/۴۶\times۱۰^{-۴}$ (به‌ترتیب برای بازه‌های زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ و ۱۳۹۴) می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار خطر سلامت، مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ و کم‌ترین مقدار مربوط به سال ۱۳۹۴ می‌باشد. بررسی بیش‌تر نتایج نشان می‌دهد که مقدار خطر سرطان در سال اخیر نسبت به میانگین چهار سال گذشته، اندکی افزایش و نسبت به میانگین ده سال گذشته، اندکی کاهش پیدا کرده است لیکن نتایج آنالیز آماری One-Way ANNOVA (جدول شماره نه) نشان داد که بین مقدار خطر سلامت در بازه‌های زمانی مختلف تفاوت معناداری وجود ندارد (Pvalue بیش‌تر از ۰/۰۵) به عبارتی دیگر، علی‌رغم توسعه صنعتی ایجاد شده در سطح استان در طی چهار سال اخیر، افزایش معناداری در غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی استان و در نتیجه در میزان خطر سلامت روی نداده است و حتی مقدار خطر در سال ۱۳۹۴ از مقدار سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ کم‌تر بوده است. دلیل این امر نیز رعایت فاصله لازم بین شهرک‌های صنعتی با منابع آبی و افزایش تصفیه پساب‌های صنعتی قبل از تخلیه در محیط می‌باشد. بر اساس آمارهای اداره شهرک‌های صنعتی استان سمنان، در حال حاضر تمامی شهرک‌های صنعتی استان دارای تصفیه خانه فاضلاب فعال می‌باشند، هم‌چنین کارخانجاتی که در خارج از شهرک‌های صنعتی واقع شده‌اند نیز تحت بازرسی دائمی اداره حفاظت محیط زیست استان سمنان قرار دارند.

رجایی و همکاران در مطالعه خود بر روی آب شرب علی آباد کتول، میزان خطر سلامت ناشی از وجود فلزات سنگین در آب منطقه علی‌آباد کتول را $۴/۸۵\times۱۰^{-۴}$ اعلام کردند که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. تمام فلزات اندازه‌گیری شده به غیر از روی در دو مطالعه، برابر بود. دلیل این تفاوت نیز وجود منابع روی در خاک دشت علی‌آباد بوده است [۲۶].

مومت و سینزینیس در تحقیقی که بر روی ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین منطقه روسیه میانه انجام دادند مقدار شاخص HRA_{EPA} را $۴/۹۳\times۱۰^{-۳}$ اعلام کردند که بیش‌تر از این مطالعه است [۲۵]. تمام فلزات اندازه‌گیری شده در دو مطالعه با یک‌دیگر مشابه بودند و دلیل تفاوت مقدار خطر، وجود لایه‌های فلزات سنگین به‌ویژه روی و نیز وجود پالایشگاه و صنایع شیمیایی متعدد در منطقه مورد مطالعه در روسیه بود.

ج: پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی استان سمنان از نظر غلظت فلزات سنگین

شکل شماره دو نقشه پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی استان سمنان را از نظر غلظت فلزات سنگین در بازه‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هیچ یک از منابع آب زیرزمینی استان، خطر سمیت ناشی از فلزات سنگین وجود ندارد و کیفیت آب آن‌ها از نظر سمیت در رده بسیار عالی قرار می‌گیرد. هم‌چنین تغییرات مقدار فلزات سنگین در مناطق مختلف در سال‌های مختلف نیز بسیار اندک می‌باشد.

در این مطالعه، تغییرات غلظت فلزات سنگین در منابع آبی استان سمنان در سالیان مختلف (در دو بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴) و میزان خطر سلامت سالیانه ناشی از حضور این فلزات با استفاده از شاخص جدیدی به‌نام HRA_{EPA} برآورد و در بازه‌های زمانی مختلف با یک‌دیگر مقایسه شد. نتایج مطالعه نشان داد که غلظت تمامی فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی استان سمنان در محدوده استاندارد قرار دارد به عبارتی دیگر غلظت ترکیبات فوق‌الذکر در منابع آبی استان بسیار کم‌تر از آن حدی است که بتواند خطر سمیت برای مصرف‌کنندگان آن ایجاد نماید. بر همین اساس مقدار خطر سلامت برآورد شده برای استان سمنان نیز بسیار اندک و پائین‌تر از مقادیر متوسط جهانی است. دلایل این امر نیز عمق زیاد منابع آب استان سمنان و در نتیجه، وجود زمان کافی برای تصفیه آلودگی‌های ورودی احتمالی به زمین در اثر فعالیت‌های صنعتی مختلف و هم‌چنین عدم وجود لایه‌های خاک حاوی فلزات سنگین در رخنمون زمین‌شناسی استان سمنان می‌باشد. با این حال با توجه به توسعه جدی صنعتی آغاز شده در استان و به منظور حفظ کیفیت منابع آبی استان پیشنهاد می‌شود به هنگام اعطای مجوز بهره‌برداری به صنایع و واحدهای تولیدی و معدنی، الزامات قانونی حفاظت از منابع آبی با جدیت رعایت شود و اجازه ساخت و ساز صنعتی در حریم این منابع صادر نشود، هم‌چنین یک برنامه پایش فصلی منابع آبی استان نیز طراحی و اجرا شود تا روند تغییرات کیفی آب این منابع، شناسایی و اقدامات حفاظتی یا پیشگیرانه لازم انجام شود.

تشکر و قدردانی

مجری طرح بر خود وظیفه می‌داند از مسئولین شرکت آب و فاضلاب استان سمنان، معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شاهرود و کارکنان تصفیه خانه‌های فاضلاب استان سمنان قدردانی نماید.

منابع

[1] Elkady AA, Sweet ST, Wade TL, Klein AG. Distribution and assessment of heavy metals in the aquatic environment of Lake Manzala. Egypt Ecol Indic 2015; 58: 445-457.

[2] Saiful Islam MD, Kawser Ahmed MD, Al-Mamun H, Raknuzzaman M. The concentration, source and potential human health risk of heavy metals in the commonly consumed foods in Bangladesh. Ecotox Environ Safe 2015; 122: 462-469.

[3] Pejman AH, Nabi Bidhendi G, Ardestani M, Saeedi M, Baghvand A. A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study. Ecol Indic 2015; 58: 365-373.

[4] Al-Qahtanim KM. Water Purification using different Waste Fruit Cortex for Heavy Metals Removal. J Taibah Univ Sci 2016; 10: 700-708.

[5] Masoudinejad M, Yazdanbakhsh A. Removal of chrome and nickel from sewages-polluted water sources by using Oak fruit. Koomesh 2004; 6: 7-14 (Persian).

[6] Hoseinzadeh E, Rahmanie AR. Evaluation of cadmium removal efficiency from aqueous solution by activated carbon derived from scrap tire. Koomesh 2014; 15: 557-566. (Persian).

[7] Zhou P, Zhao Y, Zhao ZC, Chai TY. Source mapping and determining of soil contamination by heavy metals using statistical analysis, artificial neural network, and adaptive genetic algorithm. J Environ Chem Eng 2015; 3: 2569-2579.

[8] Tang ZW, Zhang LZ, Huang QF, Yang YF, Nie ZQ, Cheng J, et al. Contamination and risk of heavy metals in soils and sediments from a typical plastic waste

recycling area in North China. Ecotox Environ Safe 2015; 122: 343-351.

[9] Cherfi AH, Achour M, Cherfi M, Otmani S, Morsli A. Health risk assessment of heavy metals through consumption of vegetables irrigated with reclaimed urban wastewater in Algeria. Process Safe Environ 2015; 98: 245-252.

[10] Zhang L, Mo ZY, Qin J, Li Q, Wei YH, Ma SY, et al. Change of water sources reduces health risks from heavy metals via ingestion of water, soil, and rice in a riverine area, South China. Sci Total Environ 2015; 530-531: 163-170.

[11] Keshavarzi B, Tazarvi Z, Rajabzadeh MA, Najmeddin A. Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. Atmos Environ 2015; 119: 1-10.

[12] Wei X, Gao B, Wang P, Zhao HD, Lu J. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. Ecotox Environ Safe 2015; 112: 186-192.

[13] Mânzatu C, Nagy B, Ceccarini A, Iannelli R, Giannarelli S, Majdik C. Laboratory tests for the phytoextraction of heavy metals from polluted harbor sediments using aquatic plants. Mar Pollut Bull 2015; 101: 605-611.

[14] Shariat M, Karimpour M. Survey on the heavy metals concentration in Hamedan city drinking water network. Sci J Hamedan Univ Med Sci 2010; 3: 44-47. (Persian).

[15] Savari J, Jaafarzadeh N, Hasani AH, Shams GA. Investigation of heavy metals leakage potential in Ahvaz city drinking water network. Water Waste J 2008; 18: 16-24. (Persian).

[16] Hasanzadeh M, Mahmoudzadeh AA, Miranzadeh MB, Bigdeli M. Survey on the heavy metals concentration in Hamedan city drinking water network. Ardebil J Health Hyg 2010; 2: 56-66. (Persian).

[17] Saeed SM, Shaker IM. Assessment of heavy metals pollution in water and sediments and their effect on orechromis niloticus in the northern delta lakes, Egypt. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture 2008; 475-478.

[18] Gebrekidan A, Weldegebriel Y, Hadera A, Bruggen BV. Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in ginfel river near Sheba tannery, tigray, and northern ethiopia. Ecotox Environ Safe 2013; 95: 171-178.

[19] Chen Y, Hu WY, Huang B, Weindorf DC, Rajan N, Liu XX, et al. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. Ecotox Environ Safe 2013; 98: 324-330.

[20] Mohamed HH, Al-Qahtani MA. Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. Egypt J Aqua Res 2012; 38: 31-37.

[21] Cao HB, Chen JJ, Zhang J, Zhang H, Qiao L, Men Y. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. J Environ Sci 2010; 22: 1792-1799.

[22] Mirhosseini M, Sharifi F, Sedaghat A. assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran. Renew Sust Energ Rev 2011; 15: 449-459.

[23] Al-ZoubiH, Ibrahim KA, Abu-Sbeih KA. Removal of heavy metals from wastewater by economical polymeric collectors using dissolved air flotation process. J Water Process Eng 2015; 8: 19-27.

[24] Ab Razak NH, Praveena SM, Aris AZ, Hashim Z. Drinking water studies: A review on heavy metal, application of biomarker and health risk assessment (a special focus in Malaysia). J Epidemiol Glob Health 2015; 5: 297-310.

[25] López-Roldán R, Rubalcaba A, Martin-Alonso J, González S, Martí V, Cortina JL. Assessment of the water chemical quality improvement based on human health risk indexes: Application to a drinking water treatment plant incorporating membrane technologies. Sci Total Environ 2016; 540: 334-343.

[26] Rajaee G, Pourkhabbaz A, Hesari Motlagh S. Assessment of heavy metals health risk in Aliabad Katul plain groundwater resources. J North Kh Univ Med Sci 2012; 4: 155-162. (Persian).

[27] Ghanbari M, Hazrati S, Alighadr M. Measurement of heavy metals concentrations in Ardabil drinking water resources. 10th National Symposium on Environmental Health, Hamedan City 2008; 123-124.

[28] Shahriari A. Measurement of Cadmium, Chromium, Lead and Nickel concentrations in some fishes in Persian Gulf. Sci J Gorgan Univ Med Sci 2006; 7: 65-67 (Persian).

Effect of industrial development on the health risk level caused by heavy metals in drinking water resources: A case study of Semnan province

Aliakbar Roudbari (Ph.D)*
Environmental and Occupational Health Research Center, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran

(Received: 5 Oct 2016; Accepted: 29 Nov 2016)

Introduction: The aim of the study was to investigate the effect of industrial development on the health risk level caused by drinking water's heavy metals with HRAEPA index in Semnan province (Iran).

Materials and Methods: In this descriptive-analytical study, sampling from 17 wells was perfumed at first. Then the samples immediately transported into laboratory and the heavy metals concentrations were measured with Standard methods 2008. Meantime, HRAEPA index was calculated with health risk assessment method.

Results: Results showed that the levels of all heavy metals are at national, WHO and EU standard ranges. HRA_{EPA} indexes was 4.48×10^{-4}, 4.36×10^{-4} and 4.46×10^{-4} for 2001-2011, 2012-2015 and 2015 period, respectively. Also, the highest and lowest HRA_{EPA} index was for 2001-2011 and 2015, respectively.

Conclusion: The results showed that industrial development didn't increase the level of health risk related to heavy metals. However, due to a significant progress of industrialization at Semnan province, water resources quality must be protected by law enforcement and tight supervision on industrial and mining - excavation activities.

Keywords: Heavy Metals, Health Risk, Semnan, Industrial Development

* Corresponding author. Tel: +98 23 32334499
roodbari@shmu.ac.ir