



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

مقاله پژوهشی

## ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان ورامین از نظر قابلیت شرب: آلودگی با فلزات سنگین

زهره نجاتی جهرمی<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا ناصری<sup>۱</sup>، محمد نخعی<sup>۲</sup>، فرشاد علیجانی<sup>۱</sup>

۱- گروه زمین شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

زمینه و هدف: آبیاری زمین‌های کشاورزی با فاضلاب تصفیه شده در بخش عمده‌ای از دشت ورامین، تمرکز جمعیتی در مناطق شهری قسمت میانی دشت، و وجود صنایع، خطر بالفعل آلودگی فلزات سنگین آب‌های زیرزمینی دشت ورامین را افزایش داده است. از این رو در تحقیق حاضر، غلظت فلزات سنگین با هدف ارزیابی خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت ورامین از نظر قابلیت مصرف شرب بررسی شده است.

روش بررسی: تعداد ۷۸ نمونه آب زیرزمینی جمع آوری و غلظت یون‌های فلزی Zn, Pb, Cu, Cr, Cd, Fe, Co, و Mn اندازه‌گیری شد. آنالیز همبستگی دو متغیره برای توصیف ارتباط بین پارامترهای هیدروشیمی در منطقه ورامین به کار برده شده است. شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) (Heavy Metal Evaluation Index or) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) (Heavy Metal Pollution Index) آب زیرزمینی به منظور تعیین قابلیت مصرف شرب در دشت ورامین تعیین گردید.

یافته‌ها: غلظت میانگین کادمیم در دوره‌های خشک و تر به ترتیب برابر ۵/۷ و ۸  $\mu\text{g/L}$  و غلظت میانگین سرب آب‌های زیرزمینی دشت ورامین برابر ۱۲/۵  $\mu\text{g/L}$  که بیشتر از مقدار مجاز شرب هستند. تحلیل همبستگی پیرسون (Pearson correlation analysis) داده‌های کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت ورامین، همبستگی قوی در میان برخی از جفت فلزات سنگین همانند Pb و Co با Cu, Cd, و Mn را نشان می‌دهد که نمایانگر منابع مشترک آلودگی، وابستگی متقابل و رفتار یکسان در طول حرکت آن فلزات در محیط آبخوان است. نتایج به‌دست آمده از بررسی شاخص‌های ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) مویده آن است که آلودگی آبخوان ورامین نسبت به فلزات سنگین در اکثر بخش‌ها خطرناک نیست، اما در بخش‌هایی تغییرات شدید در غلظت برخی فلزات قابل مشاهده است.

نتیجه‌گیری: احتمالاً با توجه به تداوم منشاهای آلودگی در دشت ورامین، می‌توان انتظار داشت که در دراز مدت خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی نسبت به فلزات سنگین ادامه یابد. لذا می‌بایست در خصوص آب برگشتی کشاورزی، دفع اصولی فاضلاب‌های صنعتی و خانگی، و همچنین کیفیت پساب منتقل شده از تهران به دشت اقدامات احیاء کننده به‌عمل آید.

۹۶/۰۶/۲۹

تاریخ دریافت:

۹۶/۰۹/۲۰

تاریخ ویرایش:

۹۶/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش:

۹۶/۱۲/۱۶

تاریخ انتشار:

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، آب شرب، شاخص آلودگی آب، آبخوان ورامین

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
jahromi62@gmail.com

## مقدمه

وجود عناصر نادر در آب زیرزمینی به دلیل تاثیر نامطلوب بر روی فیزیولوژی بدن انسان به یک نگرانی تبدیل شده است. فلزات سنگین از قبیل سرب، روی، کروم، آرسنیک و کادمیم از طریق آب شرب آلوده، هوا و مواد غذایی وارد سیستم بدن انسان می‌شوند و به تدریج در بافت‌های چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل انسان رسوب می‌کنند و انباشته می‌شوند (۱). بطور کلی غلظت فلزات سنگین تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی و طبیعی است (۲). اختلالات عصبی، انواع سرطان‌ها و در موارد حاد، مرگ از نتایج اثرات ورود فلزات سنگین به بدن انسان است. از طرفی خاصیت تجمع پذیری فلزات سنگین در گیاهان و ورود آنها به زنجیره غذایی خطرات ناشی از آنها را دو چندان می‌کند. در معرض قرار گرفتن فلزات سمی مثل جیوه، کادمیم، آرسنیک، کروم، تالیوم، و سرب حتی در غلظت‌های پایین باعث اختلال در عملکرد طبیعی بدن خواهد شد. با این حال برخی از فلزات نادر مثل روی، مس، آهن، و منگنز در مقادیر کم برای فعالیت‌های متابولیک بدن مورد نیاز است. این عناصر در غلظت‌های بالاتر می‌تواند اثرات سوء بر سلامت انسان داشته باشند (۳). سمیت روی منجر به اسپهال (۴)، منگنز مانع رشد فکری کودک (۵) و آهن باعث بیماری‌های ژنتیکی و متابولیکی (۶) می‌شوند. مسمومیت با مس باعث بیماری‌های مختلفی از جمله درد شکم، تهوع، استفراغ، اسپهال، سرطان، آسیب کبد و بیماری‌های کلیوی می‌شود (۳).

بررسی‌های صورت گرفته نشان داده است غلظت فلزات سنگین تحت تاثیر تغییرات فصلی است (۷-۹)، به گونه‌ای که در مناطقی که در فصل تر آبشویی آلودگی از سطح زمین بیشتر است، غلظت این عناصر در منابع آب زیرزمینی بیشتر خواهد بود (۱۰).

از طرفی با استفاده از شاخص‌های مختلف آلودگی می‌توان خطر فلزات سنگین در منابع آب را ارزیابی کرد (۱۱). مهمترین شاخص‌ها جهت ارزیابی درجه آلودگی آب به فلزات سنگین جهت مصارف شرب، شاخص ارزیابی فلزات سنگین (Heavy Metal Evaluation Index (HEI)) و شاخص آلودگی فلزات

سنگین (Heavy Metal Pollution Index (HPI)) و درجه آلودگی (Degree of contamination) (۱۲) هستند. نتایج حاصل از بررسی‌های صورت گرفته توسط Mehrahi و همکاران نشان داد مقادیر HPI ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری نتایج مشابهی را در فصل‌های تر و خشک نشان می‌دهد (۱۳). در پژوهشی که توسط Nasrabadi (۲۰۱۵) با هدف ارزیابی کیفی آب رودخانه هراز انجام شد، نتایج نشان داد که میانگین مقادیر شاخص HPI بسیار کمتر از آستانه خطر است (۱۴). نتایج حاصل از بررسی Boateng و همکاران (۲۰۱۵) در منطقه شهری Ejisu-Juaben غنا نشان داد شاخص آلودگی HPI همه نمونه‌های آب بالاتر از حد مجاز بوده و زمین‌شناسی منطقه و فعالیت‌های انسانی نقش عمده‌ای در آلودگی منابع آب زیرزمینی آن منطقه دارد (۱۱). اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی به دلیل حفظ کیفیت آب از نظر غلظت این فلزات و کنترل آلودگی احتمالی این منابع حائز اهمیت است و این مهم مستلزم انجام تحقیقات مناسب و دوره‌ای در این خصوص است. از این رو در تحقیق حاضر، غلظت فلزات سنگین با هدف پایش مکانی تغییرات عناصری از قبیل کادمیم، کبالت، سرب، آهن، مس، کروم، روی، و منگنز در آب‌های زیرزمینی دشت ورامین از نظر مصرف شرب بررسی شده است. همچنین با استفاده از تکنیک‌های آماری و شاخص‌های آلودگی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ورامین نسبت به میزان آلودگی به فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

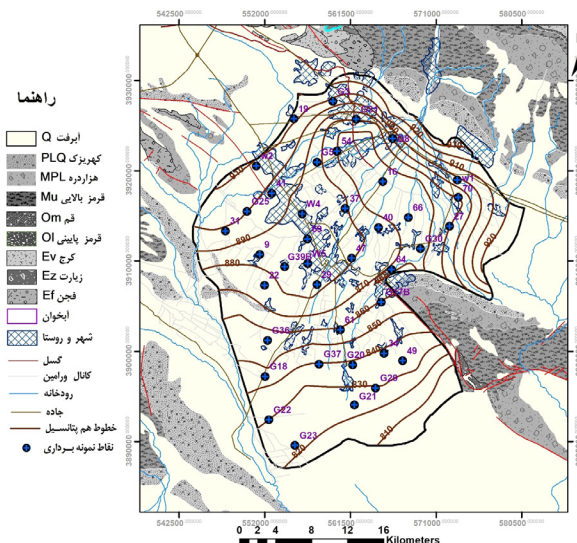
### منطقه مورد مطالعه

دشت ورامین با وسعت  $971 \text{ km}^2$ ، بخشی از حوضه دریاچه نمک است که در شرق تهران واقع شده است. منطقه مورد مطالعه جزء مناطق خشک با میانگین بارندگی سالیانه  $150 \text{ mm}$  محسوب می‌شود. رخنمون‌های زمین شناسی در منطقه از قدیم به جدید شامل سازندهای کرج، قرمز فوقانی، هزاردره، کهریزک، آبرفتی تهران و آبرفت‌های کنونی هستند

دانش اولیه (۱۶) داده‌های هدایت الکتریکی شبکه پایش کیفی چاه‌های آب دشت ورامین، نوع کاربری اراضی سطح دشت، و همچنین هزینه‌های نمونه‌برداری و سنجش فلزات نمونه‌های آب، پراکندگی چاه‌های معرف به‌صورتی انتخاب گردید که تعداد ۳۹ حلقه چاه (چاه‌های مشخص شده با اعداد مربوط به ایستگاه‌های پایش شرکت آب منطقه‌ای تهران و چاه‌های مشخص شده با حروف مربوط به ایستگاه‌های پایش شرکت مهندسی مشاور یکم است) در دو دوره شاخص تر و خشک نمونه‌برداری شدند. براساس هیدروگراف معرف سطح آب زیرزمینی دشت ورامین، اردیبهشت و مرداد ماه با دارا بودن حداکثر و حداقل تراز آب در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ به‌عنوان دوره‌های شاخص تر و خشک هیدروشیمی جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند (شکل ۱). نمونه‌های آب برای سنجش فلزات سنگین در بطری‌های پلی اتیلن تمیز با حجم ۵۰۰ mL جمع آوری شدند. قبل از نمونه‌برداری، ظروف نمونه‌برداری با آب مقطر و سپس با آب نمونه شسته شدند. در بعضی از چاه‌هایی که خاموش بودند برای رفع خطای ناشی از آب راکد (Stagnant water) به مدت چند دقیقه پمپاژ چاه انجام و سپس نمونه‌برداری انجام شد. به‌منظور اطمینان از تثبیت نمونه‌های برداشت شده به هر کدام از نمونه‌های برداشتی اسید نیتریک ۰/۰۶ درصد اضافه شد تا pH آن به ۲ برسد. نمونه‌های برداشت شده جهت سنجش به آزمایشگاه آب منطقه‌ای تهران ارسال شدند.

در این مطالعه، برای تجزیه شیمیایی فلزات سنگین، با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (Varian AA240) فلزات سنگین آهن (Fe)، کادمیم (Cd)، سرب (Pb)، مس (Cu)، کروم (Cr)، روی (Zn)، کبالت (Co)، و منگنز (Mn) اندازه‌گیری شدند. برای تعیین کنترل کیفیت سنجش فلزات سنگین در آزمایشگاه در هر دوره تعداد ۴ نمونه تکراری (حدود ۱۰ درصد نمونه‌ها در هر دوره) با برچسب نامعین به آزمایشگاه ارسال و نتایج نمونه‌های تکراری مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به همبستگی بیش از ۹۵ درصد نتایج آنالیز فلزات سنگین نمونه‌های تکراری، کیفیت آنالیزها مورد تایید قرار گرفت.

(شکل ۱). بررسی توزیع کاربری اراضی منطقه نشان می‌دهد غالب اراضی دشت، زراعی و مسکونی است. کاهش همزمان آب‌های سطحی با کیفیت مناسب نظیر رودخانه جاجرود در محدوده ورامین، استفاده از آب‌های با کیفیت پایین نظیر پساب تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی، کاهش کمیت آب در محدوده، رشد جمعیت در نتیجه افزایش شهرنشینی، و توسعه صنعت و کشاورزی منجر به افزایش تهدیدات کیفی در منابع آب سطحی و نیز آبخوان ورامین شده است.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (۱۵)

منابع اصلی تغذیه دشت ورامین، بارندگی، آبراه‌های اصلی، پساب تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران، و تغذیه زیرسطحی است. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در منطقه، از شمال غرب به سمت جنوب شرق است.

### نمونه برداری و سنجش هیدروشیمی

جامعه هدف به‌منظور ارزیابی خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت ورامین، چاه آب بهره‌برداری در دشت است. نمونه‌برداری از چاه‌های آب به صورتی انجام گرفت که آبخوان عمیق به‌عنوان جامعه هدف مد نظر قرار گیرد. در این تحقیق از روش نمونه‌برداری قضاوت کارشناسی جهت انتخاب چاه‌های نمونه‌برداری استفاده گردید. این روش غیر آماری براساس

آب به فلزات سنگین جهت مصارف شرب از شاخص‌هایی مانند شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) استفاده شد. شاخص‌های HEI و HPI با توجه به غلظت سنجش شده فلزات سنگین در منطقه نسبت به حداکثر غلظت مجاز تعیین شده برای مصارف شرب، کیفیت کلی آب را ارائه می‌دهند (۱۸). شاخص HPI یک روش برای رتبه‌بندی کیفیت آب براساس فلزات سنگین است. با استفاده از این شاخص می‌توان اثر فلزات سنگین را بر سلامت انسان تعیین کرد. با محاسبه شاخص HEI نیز می‌توان نسبت به رتبه بندی کلی کیفیت آب براساس آلودگی فلزات سنگین و درک بهتر از شرایط کیفی آب اقدام کرد. از آنجایی که حداکثر حد مجاز کبالت توسط WHO مشخص نشده بنابراین در محاسبه شاخص‌های فوق از فلز کبالت استفاده نشده است. شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) از معادله ۱ به دست می‌آید (۱۹):

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{H_c}{H_{max}} \quad (1)$$

که در آن  $H_c$  مقدار اندازه گیری شده پارامتر  $i$  ام و  $H_{max}$  حداکثر غلظت مجاز پارامتر  $i$  ام است. در صورتی که HEI کمتر از ۱۰ باشد درجه آلودگی کم، بین ۱۰ تا ۲۰ باشد درجه آلودگی متوسط و بیشتر از ۲۰ باشد درجه آلودگی زیاد است. HPI برای ایستگاه‌های مورد مطالعه بر مبنای استاندارد WHO (۲۰) از معادله ۲ به دست می‌آید:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Q_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

در این معادله  $w_i$  نسبت وزنی  $i$  امین مولفه است که از طریق معکوس استاندارد (استاندارد سازمان بهداشت جهانی) محاسبه می‌شود ( $w_i = \frac{1}{S_i}$ ) و  $Q_i$  نرخ کیفی  $i$  امین مولفه است که به صورت معادله ۳ محاسبه می‌شود:

$$Q_i = \frac{M_i}{S_i} * 100 \quad (3)$$

با توجه به آنکه تعدادی از چاه‌های آب شرب شهری و روستایی در دشت ورامین جهت نمونه‌برداری در این تحقیق انتخاب شده است، با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی و اخلاقی و حساسیت‌های امنیتی - اجتماعی تفکیک بین چاه‌های آب شرب و کشاورزی در نقشه‌ها و جدول‌های ارائه شده صورت گرفته است.

### تحلیل‌های آماری

به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از خصوصیات آماری هر یک از پارامترها در دو فصل تر و خشک از نرم افزار SPSS.18 استفاده شد.

همچنین آنالیز همبستگی دو متغیره برای توصیف ارتباط بین پارامترهای هیدروشیمی در منطقه ورامین به کار برده شده است. ضریب همبستگی ( $r$ ) بالا (نزدیک +۱ یا -۱) به معنی همبستگی بالا بین دو جفت متغیر است و مقادیر نزدیک به صفر بیانگر عدم ارتباط بین دو متغیر در یک سطح معنی‌دار  $P < 0.05$  است. به طور صریح می‌توان گفت پارامترهایی که  $r$  بزرگتر از  $0.7$  نشان می‌دهند، به صورت همبستگی قوی،  $r$  بین  $0.5$  تا  $0.7$  همبستگی متوسط و  $r$  کوچکتر از  $0.5$  همبستگی ضعیف در نظر گرفته می‌شوند (۱۷). همبستگی قوی بین عناصر به طور کلی مشخص کننده منابع ورودی مشابه یا رفتار ژئوشیمیایی مشابه یون‌ها است. ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Coefficient) بین فلزات موجود با استفاده از نرم افزار SPSS.18 محاسبه شد.

### الگوی مکانی غلظت فلزات سنگین در آب زیرزمینی آبخوان ورامین

با توجه به سنجش‌های هیدروشیمی انجام شده بر روی نمونه‌های انتخابی آبخوان آبرفتی ورامین، نقشه غلظت فلزات سنگین دشت در محیط Arc GIS 10.1 تهیه شد و برای درک و تفسیر راحت‌تر، الگوی مکانی غلظت فلزات سنگین در آب زیرزمینی آبخوان ورامین به پنج طبقه تقسیم شدند.

### شاخص‌های ارزیابی آلودگی

معمولا جهت مصارف مختلف از شاخص‌های آلودگی خاص استفاده می‌شود. در این مطالعه برای ارزیابی درجه آلودگی

همچنین غلظت این فلزات سنگین در نمودار جعبه‌ای (نمودار ۱) نشان داده شده است. از آنجایی که دامنه تغییرات فلزات سنگین متفاوت است، برای نشان دادن غلظت همه فلزات سنگین در نمودار مذکور از لگاریتم غلظت فلزات سنگین استفاده شده است. جدول ۲، نتایج حاصل از آزمون آماری ضریب همبستگی پیرسون فلزات سنگین آب‌های زیرزمینی را در دو فصل تر و خشک را نشان می‌دهد. شکل ۲ و ۳ الگوی مکانی فلزات سنگین کادمیم، کبالت، مس، کروم، آهن، سرب، منگنز و روی را نشان می‌دهد. غلظت فلزات سنگین کبالت، کادمیم، مس، سرب و روی در شمال و شمال غرب منطقه بالاست.

در این معادله  $M_i$  غلظت مولفه  $i$  ام و  $S_i$  مقدار استاندارد مولفه  $i$  ام است. اگر  $HPI > 100$  باشد، آب به فلزات سنگین آلوده است. اگر  $HPI = 100$  باشد، آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین قرار دارد و اگر  $HPI < 100$  باشد، آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین است.

## یافته‌ها

### آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین و الگوی مکانی

#### غلظت فلزات سنگین

جدول ۱ آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین شامل میانگین، میانه، مد، انحراف معیار، کمینه و بیشینه را نشان می‌دهد.

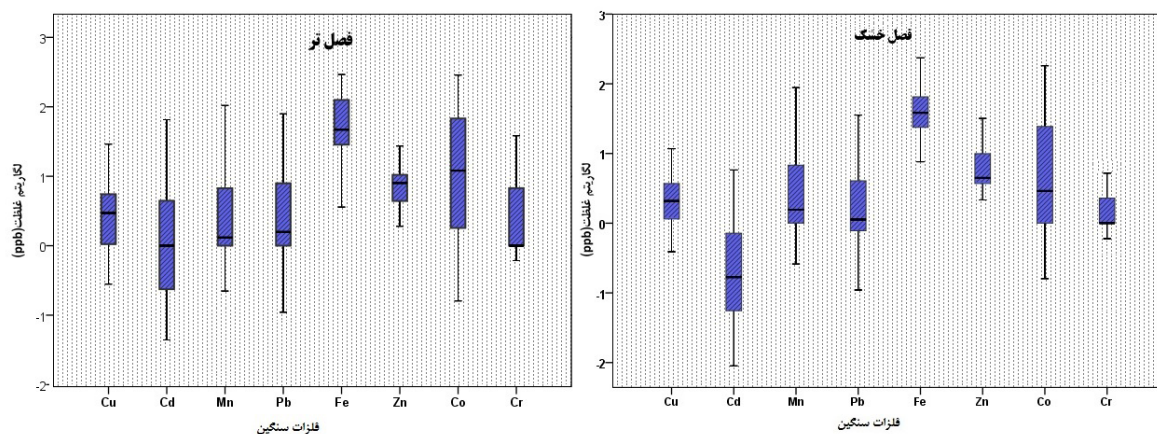
جدول ۱- آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت ورامین و مقدار مجاز (واحدها بر حسب ppb)

| Cr    | Co     | Zn    | Fe     | Pb    | Mn     | Cd    | Cu    | فلزات سنگین          |              |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|----------------------|--------------|
| ۵/۹۵  | ۵۷/۵۲  | ۱۰/۷۸ | ۸۸/۹۲  | ۱۲/۴۸ | ۷/۵۹   | ۸/۰۲  | ۴/۷۵  | تر                   | میانگین      |
| ۳/۴۵  | ۱۲/۷۶  | ۷/۴۲  | ۵۷     | ۵/۹   | ۶/۷۱   | ۵/۷۴  | ۲/۹۲  | خشک                  |              |
| ۰     | ۱۲/۰۵  | ۷/۹۹  | ۴۶/۷۴  | ۱/۵۸  | ۱/۳۱۴  | ۰/۸۹  | ۲/۹۶  | تر                   | میانه        |
| ۱/۸۲  | ۰/۳۲   | ۴/۴۷  | ۳۸/۴   | ۰/۳۶  | ۱/۴۵   | ۰/۱۶۶ | ۲/۰۸  | خشک                  |              |
| ۰     | ۰      | ۱/۹   | ۳/۶۱   | ۰     | ۰      | ۰     | ۰/۵۳  | تر                   | مد           |
| ۰     | ۰      | ۳/۷۶  | ۷/۶    | ۰     | ۰      | ۰/۰۳  | ۱/۱۵  | خشک                  |              |
| ۹/۶۷  | ۸۵/۵۸  | ۱۱/۵۵ | ۸۷/۱۷  | ۲۳/۲  | ۱۸/۶۳  | ۱۵/۱۱ | ۵/۹۷  | تر                   | انحراف معیار |
| ۵/۴۴  | ۳۴/۷۴  | ۵/۹۹  | ۵۱/۷۸  | ۱۳/۲۱ | ۱۵/۸۳  | ۱/۴۲  | ۲/۵۴  | خشک                  |              |
| ۰     | ۰      | ۱/۹   | ۳/۶۱   | ۰     | ۰      | ۰     | ۰/۰۶  | تر                   | کمینه        |
| ۰     | ۰      | ۲/۱۶  | ۷/۶    | ۰     | ۰      | ۰/۰۰۹ | ۰/۳۹  | خشک                  |              |
| ۳۸/۲۶ | ۲۸۶/۲۱ | ۶۱/۷۸ | ۲۹۲/۰۷ | ۷۹/۲۷ | ۱۰۴/۷۱ | ۶۵/۰۹ | ۲۹    | تر                   | بیشینه       |
| ۲۶/۵۸ | ۱۸۱/۵۹ | ۳۱/۹۲ | ۲۳۶/۰۹ | ۶۲/۳۶ | ۸۸/۱۶  | ۵/۸۱  | ۱۱/۷۱ | خشک                  |              |
| ۵۰    | —      | ۳۰۰۰  | ۳۰۰    | ۱۰    | ۵۰۰    | ۳     | ۲۰۰۰  | مقدار مجاز WHO (ppb) |              |

$W_2$  (میزان ۶/۵۲ در فصل تر و میزان ۵/۲۳ در فصل خشک)،  $G_{23}$  (میزان ۵/۴ در فصل تر و میزان ۴/۵ در فصل خشک)،  $G_{18}$  (میزان ۵/۱۷ در فصل تر و میزان ۳/۷ در فصل خشک) و ۳۱ (میزان ۵/۱۲ در فصل تر و میزان ۳/۳۷ در فصل خشک) دارای بیشترین مقدار است.

### شاخص‌های ارزیابی آلودگی

نمودار ۲ شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) را در دو فصل تر و خشک نشان می‌دهد. میزان شاخص HEI محاسبه شده برای ایستگاه‌های  $G_{36}$  (میزان ۸/۰۶ در فصل تر و میزان ۷/۵ در فصل خشک)،



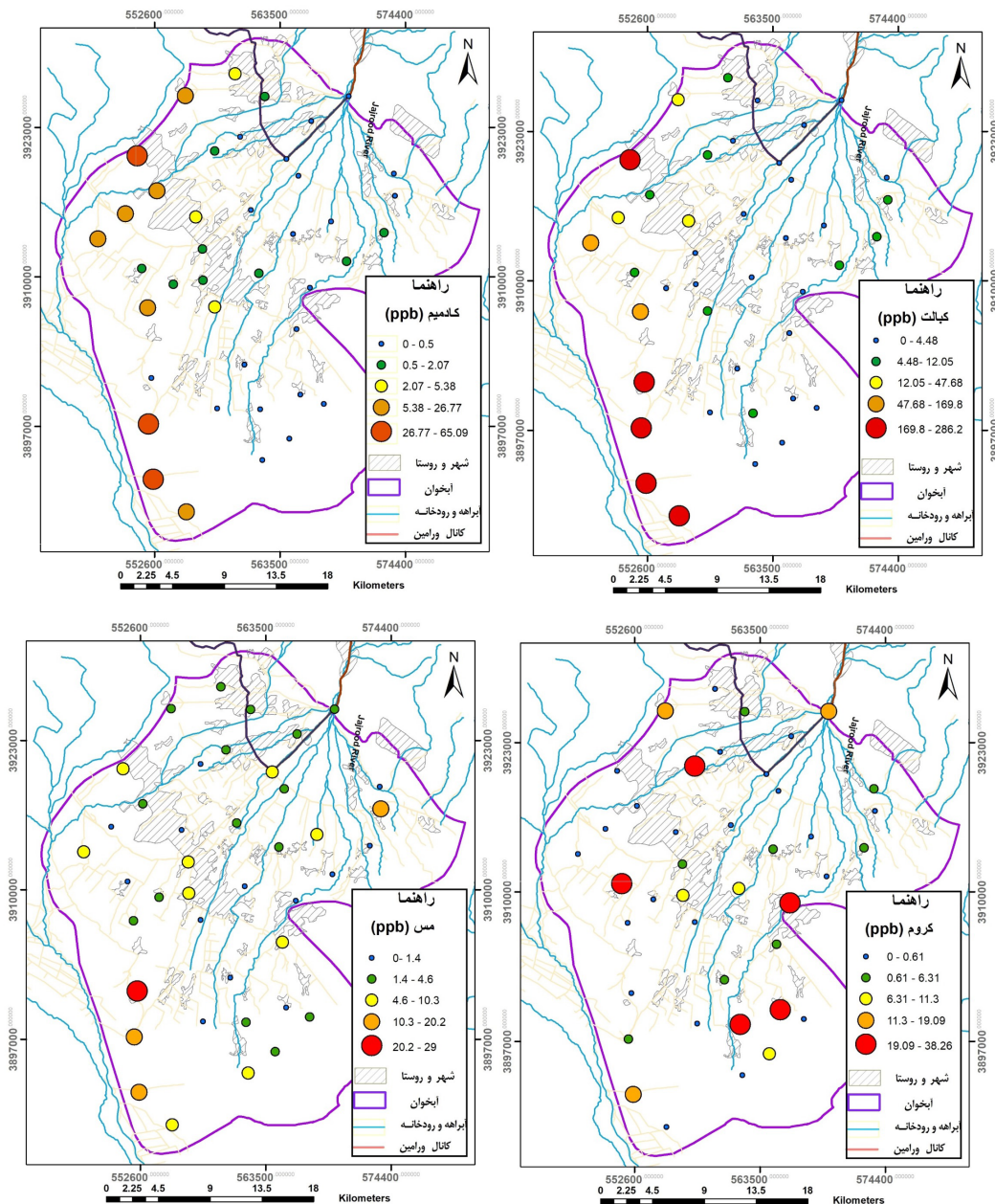
نمودار ۱- نمودار جعبه‌ای لگاریتم فلزات سنگین نمونه‌های انتخابی دشت ورامین

جدول ۲- نتایج آنالیز همبستگی پیرسون فلزات سنگین موجود در آب‌های زیرزمینی دشت ورامین

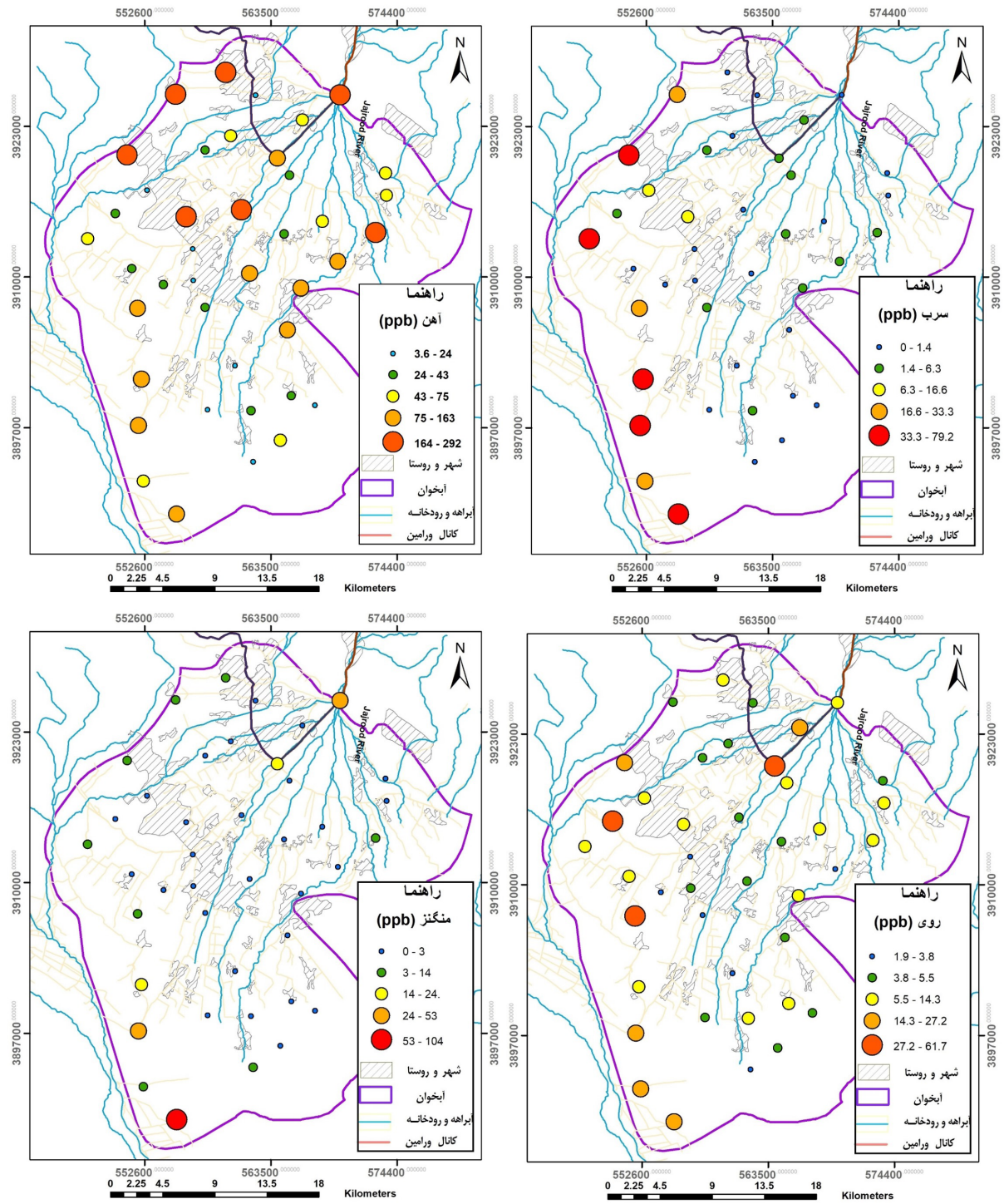
| همبستگی | Cu     | Cd     | Mn     | Pb     | Fe    | Zn     | Co     | Cr |
|---------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|----|
| فصل تر  |        |        |        |        |       |        |        |    |
| Cu      | ۱      |        |        |        |       |        |        |    |
| Cd      | ۰/۲۶۳  | ۱      |        |        |       |        |        |    |
| Mn      | ۰/۲۸۳  | ۰/۴۲۴  | ۱      |        |       |        |        |    |
| Pb      | ۰/۵۴۴  | ۰/۷۳۲  | ۰/۷۴۵  | ۱      |       |        |        |    |
| Fe      | ۰/۴۳   | ۰/۲۳۶  | ۰/۴۹۱  | ۰/۲۹۵  | ۱     |        |        |    |
| Zn      | ۰/۱۰۹  | ۰/۴۹۸  | ۰/۱۹۴  | ۰/۳۶۴  | ۰/۰۹۴ | ۱      |        |    |
| Co      | ۰/۴۴۲  | ۰/۲۴۶  | ۰/۵۲۳  | ۰/۸۵   | ۰/۳۷  | ۰/۵۷۱  | ۱      |    |
| Cr      | -۰/۱۷۳ | -۰/۰۹۵ | -۰/۱۱۹ | -۰/۱۶۵ | -۰/۱۴ | -۰/۱۴۳ | -۰/۱۲۸ | ۱  |
| فصل خشک |        |        |        |        |       |        |        |    |
| Cu      | ۱      |        |        |        |       |        |        |    |
| Cd      | ۰/۲۱   | ۱      |        |        |       |        |        |    |
| Mn      | ۰/۳۳۵  | ۰/۳۹۰  | ۱      |        |       |        |        |    |
| Pb      | ۰/۵۵۴  | ۰/۱۲۶  | ۰/۷۲۷  | ۱      |       |        |        |    |
| Fe      | ۰/۵۹۸  | ۰/۱۳۵  | ۰/۶۷۴  | ۰/۷۸۸  | ۱     |        |        |    |
| Zn      | ۰/۳۵۳  | -۰/۰۶۲ | ۰/۲۰۱  | ۰/۳۱۵  | ۰/۳۱۷ | ۱      |        |    |
| Co      | ۰/۵۶۵  | -۰/۰۴۳ | ۰/۴۴۲  | ۰/۹۲۹  | ۰/۷۱۰ | ۰/۲۸۲  | ۱      |    |
| Cr      | ۰/۳۸۳  | -۰/۱۳۲ | ۰/۱۵۳  | ۰/۴۱۶  | ۰/۴۶۶ | ۰/۳۹۰  | ۰/۴۷۴  | ۱  |

فصل خشک)، ۶۹ (میزان ۱۱۴/۵ در فصل تر و میزان ۱۴۰/۹ در فصل خشک)،  $G_{23}$  (میزان ۱۷۳/۲۹ در فصل تر)،  $G_{18}$  (میزان ۲۱۲/۲ در فصل تر) و ۳۱ (میزان ۱۷۰/۱۱ در فصل تر)، ۱۹ (میزان ۱۰۶/۳۹ در فصل تر) و  $G_{17}B$  (میزان ۱۹۳/۶۴ در فصل خشک) دارای بیشترین مقدار است.

میزان شاخص HPI محاسبه شده برای ایستگاه‌های  $G_{36}$  (میزان ۱۶۳/۲ در فصل تر و میزان ۱۳۸/۷ در فصل خشک)،  $W_2$  (میزان ۳۳۴ در فصل تر و میزان ۱۹۶/۶ در فصل خشک)،  $W_4$  (میزان ۱۵۲/۵۳ در فصل تر و میزان ۱۰۱/۲ در فصل خشک)،  $G_{25}$  (میزان ۱۳۴/۷ در فصل تر و میزان ۱۲۰/۳۸ در فصل خشک)،



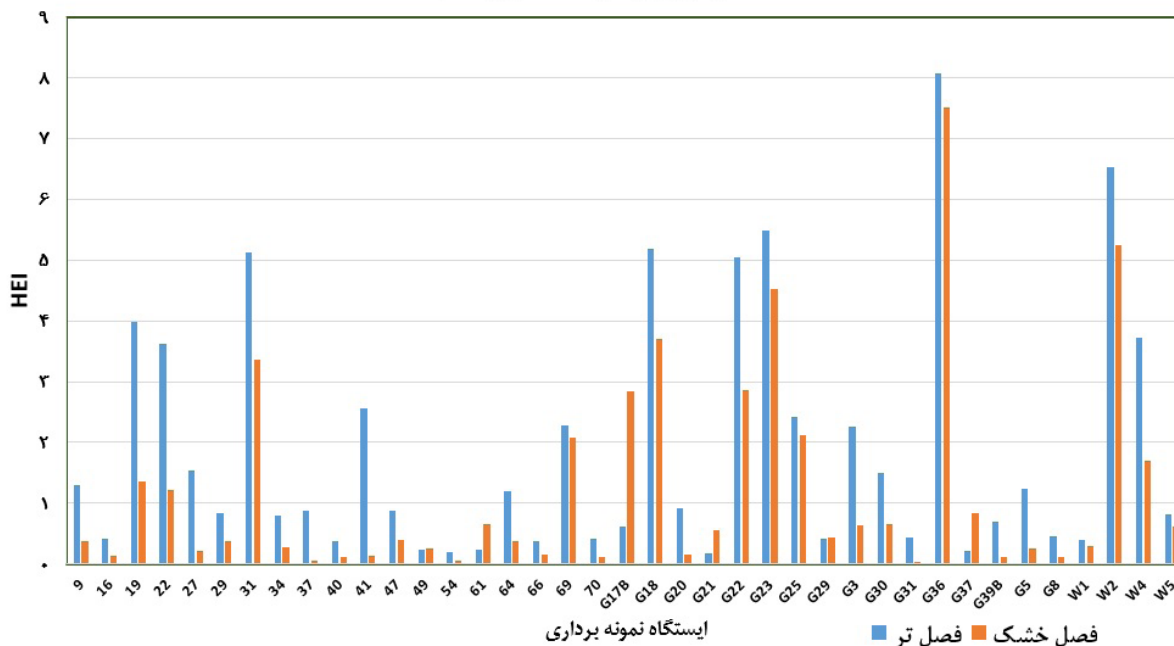
شکل ۲- نقشه تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین کادمیم، کبالت، مس و کروم در آبخوان دشت ورامین



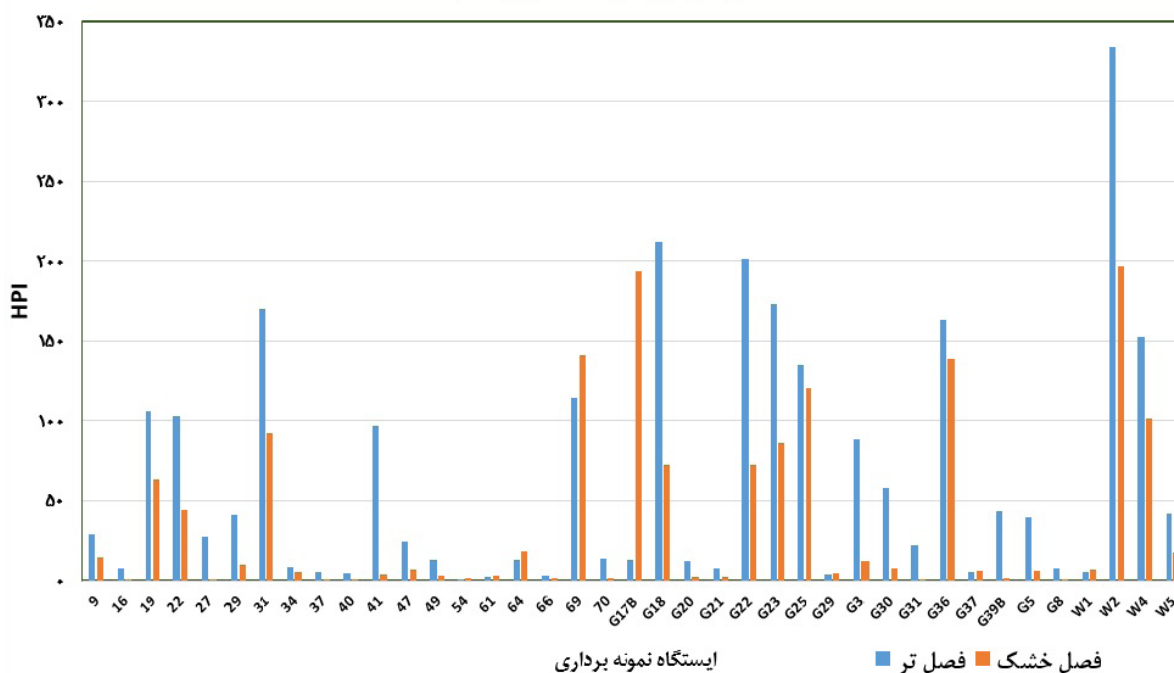
شکل ۳- نقشه تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین آهن، سرب، منگنز و روی در آبخوان دشت ورامین



شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)



شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)



نمودار ۲- شاخص‌های ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و آلودگی فلزات سنگین (HPI) نمونه‌های آب آبخوان دشت ورامین

## بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت فلزهای مس، منگنز، آهن، کروم و روی (جدول ۱) در تمامی نمونه‌ها در دو دوره تر و خشک در محدوده استاندارد سازمان بهداشت جهانی است (۲۰)، اما میانگین غلظت فلز کادمیوم (در دوره‌های تر و خشک) و سرب (در دوره تر) نمونه‌ها بیشتر از مقدار مجاز تعیین شده سازمان بهداشت جهانی است. طبق نمودار ۱ بیشترین دامنه تغییرات غلظت، مربوط به فلزات کبالت، کادمیوم و سرب است. میانگین غلظت فلزات سنگین نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان ورامین در دوره تر به ترتیب زیر است:

$$Fe > Co > Pb > Zn > Cd > Mn > Cr > Cu$$

و میانگین غلظت فلزات سنگین نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان ورامین در دوره خشک به ترتیب زیر است:

$$Fe > Co > Zn > Mn > Pb > Cd > Cr > Cu$$

نتایج حاصل از بررسی الگوی مکانی فلزات سنگین (شکل ۲ و ۳) در بخش غربی و جنوب غربی دشت ورامین نمایانگر آن است که میزان اکثر فلزات سنگین بیشتر از سایر نقاط است. در حدود ۳۰ درصد از نمونه‌های آنالیز شده میزان کادمیوم بیش از حد مجاز است. بررسی تغییرات مکانی فلز سرب نشان داده است، در بخش‌هایی از دشت میزان سرب آب بیشتر از سایر بخش‌ها و بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط WHO (۱۰ ppb) بوده به گونه‌ای که در روستای چهارباغ در جنوب غرب منطقه میزان آن ۷۹ ppb است. تغییرات روی در محدوده مورد مطالعه ناهنجاری خاصی نشان نمی‌دهد و میزان آن خیلی کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط WHO است و استاندارد ملی ایران (۳۰۰۰ ppb) است (۲۱، ۲۰). میزان غلظت منگنز در محدوده مورد مطالعه کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط WHO (۵۰۰ ppb) است. براساس نقشه غلظت مس آب‌های زیرزمینی دشت ورامین، تغییرات مس ناهنجاری خاصی را نشان نمی‌دهد و میزان آن خیلی کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط WHO (۲۰۰۰ ppb) است. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان آمریکا کبالت را به‌عنوان ماده سرطان‌زا نیز قلمداد کرده است. سازمان بهداشت جهانی

و استاندارد ملی ایران برای حداکثر مجاز کبالت استاندارد مشخص نکرده است (۲۰، ۲۱). حداکثر مجاز تعیین شده توسط FAO برای کبالت جهت مصارف کشاورزی ۵۰ ppb است. غلظت کبالت آب‌های زیرزمینی دشت ورامین بیانگر آن است که تقریباً در ۳۰ درصد از نمونه‌ها میزان کبالت بیش از حد مجاز تعیین شده توسط FAO است. مقدار زیاد کبالت آب‌های زیرزمینی ورامین عمدتاً در نزدیکی کارخانه‌های آجرپزی و صنایع کشت و صنعت است. در بعضی از این بخش‌ها تامین آب از طریق فاضلاب صورت می‌گیرد. حداکثر مقدار مجاز آهن تعیین شده توسط WHO برابر با ۳۰۰ ppb تعیین شده است. غلظت آهن در نیمه شمالی دشت نسبت به نیمه جنوبی دشت بیشتر است و در همه بخش‌ها میزان آن کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط WHO (۳۰۰ ppb) است. در نقشه غلظت کروم آب‌های زیرزمینی ورامین، ناهنجاری خاصی مشاهده نمی‌شود، در همه مناطق میزان آن خیلی کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط WHO (۵۰ ppb) است. می‌توان گفت فعالیت‌های کشاورزی، استفاده از پساب برای آبیاری، فعالیت‌های صنعتی و فاضلاب‌های انسانی و تغذیه از رودخانه شور از دلایل مهم تاثیرگذار بر میزان غلظت فلزات سنگین در منابع آب منطقه موردنظر هستند.

همبستگی بین فلزات می‌تواند اطلاعاتی در خصوص منشأ فلزات و وقوع فرایندهای مشابه ظهور آن فلزات را فراهم نماید. نتایج حاصل از تحلیل آنالیز همبستگی پیروسون نمونه‌های آب نشان می‌دهد در فصل تر غلظت فلز سرب با غلظت فلزات کادمیوم ( $P=0/73$ )، منگنز ( $P=0/74$ ) و مس ( $P=0/54$ )، و همچنین در فصل خشک غلظت فلز سرب با فلزات مس ( $P=0/55$ ) و منگنز ( $P=0/72$ ) ارتباط و همبستگی معنی‌داری وجود دارد. در خصوص فلز آهن نیز در فصل تر با فلزات مس ( $P=0/43$ )، منگنز ( $P=0/49$ ) و کبالت ( $P=0/39$ ) و در فصل خشک با فلزات مس ( $P=0/59$ )، منگنز ( $P=0/67$ )، سرب ( $P=0/78$ ) و کبالت ( $P=0/71$ ) همبستگی دیده شده است. همچنین در هر دو فصل کبالت با فلزات مس، کادمیوم، منگنز و سرب همبستگی مثبت نشان می‌دهد. در سایر موارد ارتباط معنی‌داری بین غلظت

اشاره کرد. از طرفی با توجه به نتایج حاصل از مطالعه می‌توان ادعان کرد گرچه در دوره زمانی مورد بررسی می‌توان بیان کرد که آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت ورامین به فلزات سنگین در مرز خطر نیست، اما در مناطقی تغییرات شدید برخی فلزات قابل مشاهده است. احتمالاً با توجه به تداوم منشاهای آلودگی در دشت ورامین، می‌توان انتظار داشت که در دراز مدت خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی نسبت به عناصر سنگین ادامه یابد.

### نتیجه‌گیری

تحلیل آنالیز همبستگی نمونه‌های آب، همبستگی قوی در میان برخی از جفت فلزات سنگین همانند Co و Pb با Cd، Cu و Mn را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده منابع مشترک، وابستگی متقابل و رفتار یکسان در طول حرکت آن فلزات است. با توجه به رده‌بندی کیفیت آب براساس شاخص HEI همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری درجه آلودگی کم را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی شاخص آلودگی HPI نشان می‌دهد اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی پایین‌تر از آستانه خطر آلودگی قرار دارند و تنها ۵ نمونه آب در دو فصل و شش نمونه آب منحصراً در یک فصل به فلزات سنگین آلوده و غیر قابل شرب هستند. در اکثر ایستگاه‌ها میزان شاخص‌های آلودگی ارزیابی فلزات سنگین در فصل خشک کم‌تر از فصل تر بوده که این می‌تواند در نتیجه آلودگی منابع آلاینده در فصل تر باشد.

پیشنهاد می‌گردد در خصوص آب برگشتی کشاورزی و همچنین دفع اصولی فاضلاب‌های صنعتی و همچنین کیفیت پساب ورودی به دشت اقدام موثری به‌عمل آید. همچنین با توجه به تبعات سنگین وجود هر نوع آلودگی در آبخوان بر اکوسیستم‌های گیاهی و جانوری، ایجاد و حفظ حریم حفاظتی مناسب برای منابع تامین آب شرب شهری و روستایی برای جلوگیری از آلودگی آن ضروری است.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه با عنوان "تعیین منشأ آلودگی نیترات با استفاده از شاخص‌های ایزوتوپی و تهیه مدل انتقال"

فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در این مطالعه مشاهده نشد. همبستگی قوی در میان برخی از جفت فلزات سنگین مانند آنچه در بالا ذکر شد، نمایانگر منابع مشترک، وابستگی متقابل و رفتار یکسان در طول حرکت آن فلزات بوده، که می‌تواند به دلیل ورود این آلاینده‌ها از منابع مشترک مثل فعالیت‌های انسانی یا آلودگی طبیعی باشد.

با توجه به رده بندی کیفیت آب براساس شاخص HEI در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری درجه آلودگی کم را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی شاخص آلودگی HPI نشان می‌دهد اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی پایین‌تر از آستانه خطر آلودگی قرار دارند و تنها نمونه‌های آب  $G_{25}$ ،  $G_{36}$ ،  $W_2$  و  $W_4$  هم در فصل تر و هم در فصل خشک و نمونه‌های  $G_{18}$ ،  $G_{19}$ ،  $G_{22}$ ،  $G_{23}$  در فصل تر و نمونه  $G_{17B}$  در فصل خشک به فلزات سنگین آلوده و غیر قابل شرب هستند. در اکثر ایستگاه‌ها میزان شاخص‌های آلودگی (HEI و HPI) ارزیابی فلزات سنگین در فصل خشک کمتر از فصل تر بوده که این می‌تواند در نتیجه آلودگی منابع آلاینده در فصل تر باشد (نمودار ۲).

در رابطه با مطالعات مشابه، پژوهشی توسط Sobhanardakani و همکاران (۲۰۱۶) با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در استان همدان براساس آلودگی عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم و مس طی فصول بهار و تابستان سال ۹۱ مشخص شد که میانگین شاخص‌های HEI و HPI در فصل بهار به ترتیب برابر با  $9/29$  و  $25/61$  و در فصل تابستان به ترتیب برابر با  $8/88$  و  $27/28$  و بسیار کمتر از آستانه خطر است (۲۲). Maria-Alexandra و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی غلظت آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس و منگنز نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی شهر Medias رومانی اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین مقادیر شاخص‌های HPI و HEI کمتر از آستانه خطر و به ترتیب برابر با  $78/3$  و  $2/39$  بودند (۲۳)، که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد.

از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به کمبود منابع مالی و زمانی برای اجرای مطالعه طی یک دوره زمانی چند ساله

ریاست محترم آزمایشگاه آب منطقه‌ای تهران، سرکار خانم مهندس شایقی کارشناس آزمایشگاه و همچنین پرسنل امورات ورامین و پاکدشت که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نماییم.

### منابع

1. Saçmaci Ş, Kartal Ş, Saçmaci M. Determination of Cr (III), Fe (III), Ni (II), Pb (II) and Zn (II) ions by FAAS in environmental samples after separation and preconcentration by solvent extraction using a triketone reagent. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2012;21(6):1563-70.
2. Khaledan S, Taghavi L, Paykanpour Fard P. Investigation of spatial distribution of lead and cadmium using geostatistical techniques and GIS (case study: field's surrounding Mobarakeh steel complex). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2017;10(2):151-64 (in Persian).
3. Valavanidis A, Vlachogianni T. Metal pollution in ecosystems. *Ecotoxicology studies and risk assessment in the marine environment*. Greece: University of Athens; 2010.
4. Osibanjo O, Majolagbe AO. Physicochemical quality assessment of groundwater based on land use in Lagos city, southwest, Nigeria. *Chemistry Journal*. 2012;2(2):79-86.
5. Buschmann J, Berg M, Stengel C, Winkel L, Sampson ML, Trang PTK, et al. Contamination of drinking water resources in the Mekong delta floodplains: Arsenic and other trace metals pose serious health risks to population. *Environment International*. 2008;34(6):756-64.
6. Fraga CG, Oteiza PI. Iron toxicity and antioxidant nutrients. *Toxicology*. 2002;180(1):23-32.
7. Ajah KC, Ademiluyi J, Nnaji CC. Spatiality, seasonality and ecological risks of heavy metals in the vicinity of a degenerate municipal central dumpsite in Enugu, Nigeria. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2015;13(1):15. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0168-0>.
8. Shahanaz Begum S, Yadamaru T, Gurijala RN. A study on seasonal variation of metal accumulation in soil samples of industrial area Tirupati Region. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2015;2(5).
9. Yao H, Qian X, Gao H, Wang Y, Xia B. Seasonal and spatial variations of heavy metals in two typical Chinese rivers: Concentrations, environmental risks, and possible sources. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014;11(11):11860-78.
10. Nshimiyimana FX, Faciu M-E, El Abidi A, El Blidi S, Fekhaoui M, Ifrim IL, et al. Analysis of seasonal variation on degree of contamination with heavy metals in Aarjate village, Morocco: An index approach. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. 2014;15(4):337-344.
11. Boateng TK, Opoku F, Acquah SO, Akoto O. Pollution evaluation, sources and risk assessment of heavy metals in hand-dug wells from Ejisu-Juaben Municipality, Ghana. *Environmental Systems Research*. 2015;4(1):18. <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0045-y>.
12. Backman B, Bodiš D, Lahermo P, Rapant S, Tarvainen T. Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*. 1998;36(1-2):55-64.
13. Mehrabi B, Mehrabani S, Rafiei B, Yaghoubi B. Assessment of metal contamination in groundwater and soils in the Ahangaran mining district, west of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015;187(12):727. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4864-0>.
14. Nasrabadi T. An index approach to metallic pollution in river waters. *International Journal of Environmental Research*. 2015;9(1):385-94.
15. Geological Survey & Mineral Explorations of Iran. Varamin cartographer. Tehran: 15- Geological Survey & Mineral Explorations of Iran; 2006 (in Persian).

16. Keccakus BB, Mitra S,. Environmental Chemical Analysis. Boca Raton: CRC Press; 1997.
17. Oinam JD, Ramanathan A, Singh G. Geochemical and statistical evaluation of groundwater in Imphal and Thoubal district of Manipur, India. Journal of Asian Earth Sciences. 2012;48:136-49.
18. Prasanna M, Praveena S, Chidambaram S, Nagarajan R, Elayaraja A. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: A case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. Environmental Earth Sciences. 2012;67(7):1987-2001.
19. Nayek S, Gupta S, Saha R. Heavy metal distribution and chemical fractionation in water, suspended solids and bed sediments of industrial discharge channel: An implication to ecological risk. Research Journal of Chemistry and Environment. 2013;17:26-33.
20. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.
21. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Drinking water -Physical and chemical specifications. 4th ed. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Islamic Republic of Iran; 2009. Report No.: ISIRI 1053 (in Persian).
22. Sobhanardakani S, Yari AR, Taghavi L, Tayebi L. Water quality pollution indices to assess the heavy metal contamination, case study: Groundwater resources of Asadabad Plain in 2012. Archives of Hygiene Sciences. 2016;5(4):221-28.
23. Hoaghi MA, Roman C, Ristoiu D, Popita G, Tanaselia C. Assessing of water quality pollution indices for heavy metal contamination. A study case from Medias City groundwaters. Agriculture, Science and Practice Journal. 2013:3-4. <http://dx.doi.org/10.15835/arspa.v87i3-4.9974>.



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

Original Article



## Assessment of the quality of groundwater for drinking purposes in Varamin aquifer: heavy metals contamination

Z Nejatjahromi<sup>1,\*</sup>, HR Nassery<sup>1</sup>, M Nakhaei<sup>2</sup>, F Alijani<sup>1</sup>

1- Department of Mining Geology and Water, Faculty of Geology Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2- Department of Geology, Faculty of Geology Science, Kharazmi University, Karaj, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 20 September 2017

**Revised:** 11 December 2017

**Accepted:** 17 December 2017

**Published:** 7 March 2018

**Key words:** Heavy metals, Drinking water, Water pollution index, Varamin aquifer

**\*Corresponding Author:**

jahromi62@gmail.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Irrigation of agricultural lands with treated wastewater in the main part of the Varamin plain, the highly populated urban areas of the middle part of the plain, and the presence of industries have increased the actual risk of heavy metal contamination of groundwater. Therefore, the concentrations of heavy metals were investigated in this study in order to assess the risk of using groundwater of Varamin aquifer for drinking purposes.

**Materials and Methods:** A total of 78 groundwater samples were collected to measure the concentrations of Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Fe, Co, and Mn ions. The bivariate correlation analysis has been used to describe the correlation between hydrochemical parameters in the Varamin area. Heavy Metal Evaluation Index (HEI) and Heavy Metal Pollution Index (HPI) of the groundwater were determined to determine the feasibility of drinking supply in Varamin plain.

**Results:** The average concentrations of cadmium in dry and wet periods were 7.5 and 8 µg/L, respectively. In the wet period, the average concentration of lead in the groundwater of the Varamin plain was 12.5 µg/L. The concentrations of both heavy metals were more than the permissible amount for drinking. Pearson correlation analysis of qualitative data of the water samples of the Varamin plain showed a strong correlation between some heavy metals such as Pb and Co with Cd, Cu and Mn. This reflected a similar source of contamination of the groundwater, inter-correlations, and the same mobility behaviors in the aquifer media. The results obtained from HEI and HPI showed that the pollution of Varamin aquifer in most parts was not dangerous with respect to the heavy metals concentrations, but in some areas, significant variations in the concentrations of some metals can be observed.

**Conclusion:** It may be expected that the risk of groundwater contamination continues with respect to heavy metals due to the persistence of contamination sources in the Varamin plain. Hence, some measures should be taken with regards to the agricultural recycle water, dispose of domestic and industrial wastewater, and the quality of transferring treated effluent from Tehran to the plain.