

## بررسی فلزات سنگین (کروم، مس، آهن و سرب) در آبهای درون شبکه‌ای شهرستان ورامین و ترسیم توزیع مکانی با بهره‌گیری از نرم افزار ArcGIS

دلارام موسوی خطیبی<sup>۱</sup>

شهرام بیگ پور<sup>۲\*</sup>

[baikpour2004\\_rgsi@yahoo.com](mailto:baikpour2004_rgsi@yahoo.com)

علیرضا قراگوزلو<sup>۳</sup>

مهدی رمضانی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۶

### چکیده

**زمینه و هدف:** آلودگی آب شرب به عنوان یکی از مسائل مهم در زندگی روزمره بشر تبدیل شده است. محدوده مورد مطالعه به وسعت ۱۵۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد. در مطالعه حال حاضر کیفیت آب شرب شهرستان ورامین از نظر آلودگی به فلزات سنگین از جمله سرب و روی، آرسنیک و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت.

**روش بررسی:** در این مطالعه ۳۰ نمونه از آب شرب شهر ورامین جمع‌آوری شده و پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه ICP-OES EOP مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور تعیین درجه آلودگی و همچنین پراکندگی فلزات سنگین در آب شرب منطقه، نقشه پراکندگی فلزات سنگین با استفاده از نرم افزار Arc GIS تنظیم شده است. برای تعیین درجه آلودگی آب شرب منطقه‌ای از دو شاخص آلودگی آب ارزیابی فلزات سنگین و آلودگی فلزات سنگین با توجه به غلظت سنجش قرار می‌دهد و فلزات سنگین در منطقه نسبت به حداکثر غلظت مجاز تعیین شده برای مصارف شرب، کیفیت آب استفاده شده است.

**یافته‌ها:** در مطالعه انجام شده بر روی آلودگی فلزات سنگین همچون سرب، روی، کادمیوم، مس، آرسنیک، کروم و آهن با استفاده از دو روش ارزیابی شاخص آلودگی نشان می‌دهد که عناصر سنگین در روش ارزیابی فلزات سنگین کمتر از ۱۰ بوده و در درجه آلودگی کم قرار دارد. نتایج بدست آمده با استفاده از روش آلودگی فلزات سنگین نشان می‌دهد که این عناصر در اغلب ایستگاههای مورد مطالعه در درجه آستانه آلودگی قرار دارند.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.  
(مسئول مکاتبات)

۳- دانشیار آموزشکده سازمان نقشه برداری کشور، تهران، ایران.

۴- دانشیار گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

**بحث و نتیجه گیری:** پهنه بندی های انجام شده در این منطقه با استفاده از روش درون یابی وزندهی فاصله معکوس در محیط نرم افزار ArcGIS می توان به این نتیجه رسید که بیشترین میزان عناصر سنگین در شمال غرب و غرب این شهر قرار دارد و کمترین آن در شمال شرق این شهر واقع شده است.

**واژه های کلیدی:** شهرستان ورامین، ICP-OES EOP، آلودگی فلزات سنگین، سازمان بهداشت جهانی.

## **Assesment of dispersion of heavy metals (As, Pb, Zn and Cd) in Varamin city water supply network and their spatial distribution pattern by GIS**

**Delaram Moosavi**<sup>1</sup>

**Shahram Baikpour**<sup>2 \*</sup>

[Alikhanmirzai@yahoo.com](mailto:Alikhanmirzai@yahoo.com)

**Alireza Gharagozlu**<sup>3</sup>

**Mahdi Ramezani**<sup>4</sup>

Admission Date: September 12, 2020

Date Received: February 5, 2020

### **Abstract**

**Background and Objective:** Drinking water pollution has become one of the most important issues in everyday human life. This study covered a 1580 square kilometers area. In this research, the quality of Varamin drinking water was studied in terms of heavy metal contaminants including lead, zinc, arsenic, and cadmium.

**Material and Methodology:** In this study, 30 samples of Varamin drinking water were collected and analyzed using ICP-OES EOP after preparation in the laboratory. The map of heavy metal distribution was prepared using Arc GIS to determine the degree of heavy metal pollution and distribution in the region's drinking water. Two indices of Heavy Metal Evaluation Index (HEI) and Heavy Metal Pollution Index (HPI) based on concentration and heavy metals in the region proportionate to the maximum allowed concentration for drinking were used to determine the degree of regional drinking water pollution.

**Findings:** The results of the study on heavy metal contaminants including lead, zinc, cadmium, copper, arsenic, chromium, and iron using two methods of pollution index evaluation showed that the heavy elements were less than 10 according to Heavy Metal Evaluation method and the pollution degree was low. The results of Heavy Metal Pollution method showed that these elements were at pollution threshold value in most stations under study.

**Discussion and Conclusion:** Based on the zoning in this region by inverse distance weighting (IDW) interpolation in ArcGIS, it was concluded that the highest degree of heavy elements was in northwestern and western part of the city and the lowest degree was in northeastern part of the city.

**Keywords:** ICP-OES EOP, heavy metal pollution, world health organization, Varamin.

---

1- MSc Environmental Geology, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Unit, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Environmental and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Unit, Tehran, Iran. *\*(Corresponding Author)*

3- Associate Professor of the School of Mapping of the Country Tehran, Iran.

4- Associate Professor, Department of Environmental and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Unit, Tehran, Iran.

## مقدمه

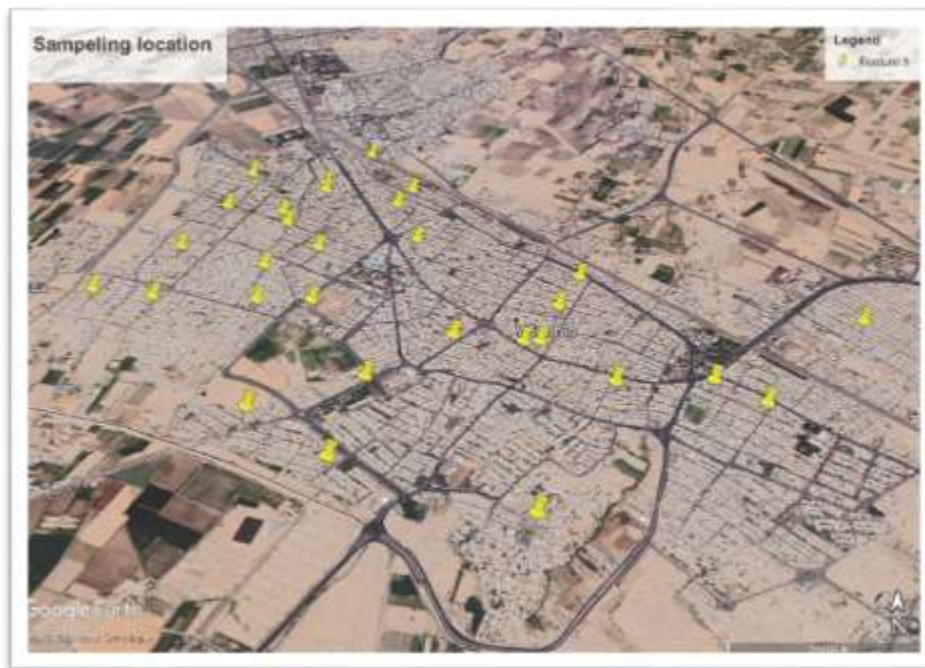
گسترش شهرنشینی و توسعه صنعت سبب ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی متنوعی به شکل‌های مختلفی در جهان شده‌است. از مهم‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌توان به فلزات سنگین در محیط‌زیست اشاره کرد. این فلزات که بر سلامت انسان اثرات مستقیم و غیرمستقیم دارند و عوارض جبران‌ناپذیری بر سلامت انسان می‌گذارد. منشا وارد کننده آلودگی فلزات سنگین به محیط زیست عمدتاً از منابع انسانی سرچشمه می‌گیرد. این آلودگی فلزات سنگین با توجه به داشتن خصوصیات همچون ثبات شیمیایی و تجزیه‌پذیری ضعیف و قدرت تجمع‌پذیری در موجودات زنده به عنوان یکی از معضلات جدی سلامتی در دنیای صنعتی امروزه محسوب می‌شود. (۱). منشا آلودگی آب به فلزات سنگین از طریق دو روش طبیعی (هوازگی و فرسایش سنگ‌ها و...) و روش انسان‌ساز (معدن‌کاری، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی) می‌باشد. این روش‌ها بر کیفیت آب برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی موثر است (۲). فلزات سنگین به طور طبیعی در سطوح مختلف کره زمین و آب‌های سطحی و زیرسطحی وجود دارند. انسان و سایر موجودات به‌طور دائم و موقت در معرض ۳۵ فلز قرار می‌گیرند، که در این میان ۲۳ فلز از این عناصر سنگین هستند. برخی از عناصر سنگین از جمله منگنز، آهن، کبالت، مس، روی، کروم، وانادیوم، سلیسیم، مولیبدن در بدن موجودات زنده و علاوه در این شرکت در ساخت مولکول‌های حیاتی، نقش کوآنزیمی در واکنش‌های مختلف بدن انسان عهده‌دار هستند. فلزات سنگینی همچون سرب، کادمیوم، جیوه، نقره، آلومینیوم، باریوم، آرسنیک در غلظت‌های بسیار کم نیز زیان‌آور بوده و اثرات نامطلوبی به دنبال خواهد داشت (۳). فلزات سنگین در آب آشامیدنی می‌توانند اثرات مخربی بر سلامتی انسان داشته باشند. از جمله این اثرات کاهش رشد اندام‌ها، سرطان، اختلال در سیستم عصبی بدن، اختلال در سیستم دفاعی بدن می‌باشد و در موارد حاد می‌تواند خطر مرگ را به همراه داشته باشد (۴). سینگ و همکارش سال ۲۰۱۷ در مقاله ای تحت عنوان "مسیرهای آلودگی فلزات سنگین و خطر سلامت انسان در حوضه آجای رود، هند" منابع فلزات سنگین در رودخانه آجایو بر اساس تغییرات فصلی و مکانی مورد بررسی قرار دادند. برای

شناسایی تغییرات و مسیرهای فلزات سنگین، هفتاد و شش نمونه آب به مدت ۲ سال در ۱۹ جایگاه نمونه‌گیری سنجش شد. نتایج نشان می‌دهد که آلودگی‌های اسیدی بر کیفیت آب تاثیر نمی‌گذارد، تجزیه و تحلیل ترکیبات هوادهی سنگ‌ها، تحرک خاک و ورودی‌های مختلف انسان زاد را به عنوان منابع عمده آلودگی فلزات سنگین شناسایی کرد. (۵). دیپاک پل سال ۲۰۱۷ در مقاله ای تحت عنوان "آلودگی فلزات سنگین رودخانه گنگا: مقاله مروری" بیان می‌کند رودخانه گنگ توسط مردم هند برای ادامه زندگی بسیار مهم و از نظر مذهبی مقدس است. فعالیت‌های بشری در دهه‌های اخیر باعث تغییرات مهمی در محیط‌های آبی شده است. پیشرفت تمدن بشری مشکلات جدی برای استفاده ایمن از آب رودخانه برای نوشیدن ایجاد کرده است. این مقاله یافته‌های کارهلی انجام شده توسط پژوهشگران مختلف در گذشته در مورد آلودگی فلزات سنگین رودخانه گنگ را ارائه داده است (۶). در این پژوهش، با هدف توزیع مکانی عناصر سنگین از جمله کروم، مس، آهن و سرب مورد بررسی قرار گرفته شده است.

## مواد و روشها

## منطقه مورد مطالعه

شهرستان ورامین، گستره‌ای از بخش جنوب خاوری استان تهران، طول شرقی  $۵۱^{\circ} ۲۰'$  و  $۵۵^{\circ} ۵۱'$  و عرض شمالی  $۳۵^{\circ} ۰۶'$  و  $۳۸^{\circ} ۳۵'$  قرار گرفته است. ورامین یکی از شهرستانهای استان تهران است که از شمال به شهرستان‌های دماوند و شمیرانات، از باختر به شهر تهران و ری، از جنوب به شهرستان قم و از خاور به شهرستان ورامین محدود می‌شود.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری.

Figure 1. Study area and sampling points.

#### نمونه برداری و گردآوری داده‌ها

جامعه هدف نمونه آب درون شبکه ای شهر ورامین است و در این تحقیق از روش نمونه برداری با نظر کارشناسی جهت انتخاب مکانهای های نمونه برداری استفاده خواهد شد. این روش غیرآماري بر اساس دانش اولیه داده های شبکه پایش آب شهر ورامین در سازمان آبفای شهر ورامین و همچنین هزینه های نمونه برداری می باشد. براساس نظر اولیه کارشناسان از ۳۰ منطقه نمونه برداری شده است. نمونه های آب برای سنجش فلزات سنگین در بطری های پلی اتیلن تمیز با حجم ۵۰۰ میلی لیتر جمع آوری خواهد شد. قبل از نمونه برداری، ظروف نمونه برداری با آب مقطر و سپس با آب شسته خواهد شد. به منظور اطمینان از تثبیت نمونه های برداشته شده به هر کدام از نمونه های برداشتی اسید نیتریک ۰/۰۶ درصد اضافه شد تا pH آن به ۲ برسد. نمونه های جمع آوری شده جهت سنجش غلظت فلزات به آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران منتقل می شوند. برای کنترل کیفیت نتایج سنجش فلزات سنگین در آزمایشگاه در هر دوره تعداد دو نمونه تکراری با برچسب نامعین به آزمایشگاه ارسال و نتایج نمونه های تکراری

مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه ICP-OES EOP اندازه گیری شد.

#### شاخص های ارزیابی آلودگی

در این مطالعه برای ارزیابی درجه آلودگی آب به فلزات سنگین جهت مصارف شرب از شاخص هایی مانند شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) استفاده شد. شاخص های 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 می دهند.

#### شاخص آلودگی فلزات سنگین

شاخص HPI یک روش برای رتبه بندی کیفیت آب بر اساس فلزات سنگین است. با استفاده از این شاخص می توان اثر فلزات سنگین را بر سلامت انسان تعیین کرد. با محاسبه شاخص HEI نیز می توان 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

این معادله  $M_i$  غلظت مؤلفه  $A_m$  و  $S_i$  مقدار استاندارد مؤلفه  $i$  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.

### تجزیه و تحلیل داده‌های نمونه برداری

نتایج ارزیابی شاخص‌های فلزات سنگین در نمونه‌های آب شرب شهر ورامین با استفاده از دو الگوریتم در ۳۰ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه برای ارزیابی درجه آلودگی فلزات سنگین آب شرب از روش‌های از شاخص‌هایی مانند شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) استفاده شد. شاخص‌های ارزیابی فلزات سنگین و آلودگی فلزات سنگین با توجه به غلظت سنجش شده فلزات سنگین در منطقه نسبت به بیشترین غلظت مجاز تعیین می‌شود. در شکل‌های ۱ و ۲ این دو شاخص مورد ارزیابی قرار گرفته است. ارزیابی‌های انجام شده با استفاده از روش ارزیابی فلزات سنگین (HEI) نشان می‌دهد که ایستگاه‌های ۲۹-۲۸-۷-۱۳ دارای مقادیر قابل توجهی نسبت به سایر ایستگاه‌ها می‌باشند. در بررسی‌های انجام شده در این تحقیق با استفاده از روش شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) نشان داد که ایستگاه‌های ۲۹-۷-۱۳-۱۷-۲۸ دارای مقادیر بالاتری نسبت به ایستگاه‌های دیگر هستند. نتایج ژئوشیمیایی حاصل از نمونه‌های محدود مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است که نشان‌دهنده غلظت فلزات سنگین موجود در محدوده منطقه مورد مطالعه است.

نشده بنابراین در محاسبه شاخص‌های فوق از فلز کبالت استفاده نشده است.

شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) از معادله ۱ به دست می‌آید:

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

که در آن  $H_c$  مقدار اندازه‌گیری شده پارامتر  $A_m$  و  $H_{max}$  حداکثر غلظت مجاز پارامتر  $A_m$  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.

### شاخص آلودگی فلزات سنگین HPI

با محاسبه شاخص آلودگی فلزات سنگین (۷) می‌توان اثر فلزات سنگین را بر روی سلامت انسان مشخص کرد. شاخص آلودگی فلزات سنگین از روش‌های محاسبه تاثیر هر یک از فلزات سنگین بر کیفیت کلی آب از نظر خطر آن برای سلامتی انسان می‌باشد برای ایستگاه‌های مورد مطالعه بر مبنای استاندارد WHO 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 مؤلفه 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 مؤلفه است که به صورت معادله ۳ محاسبه می‌شود:

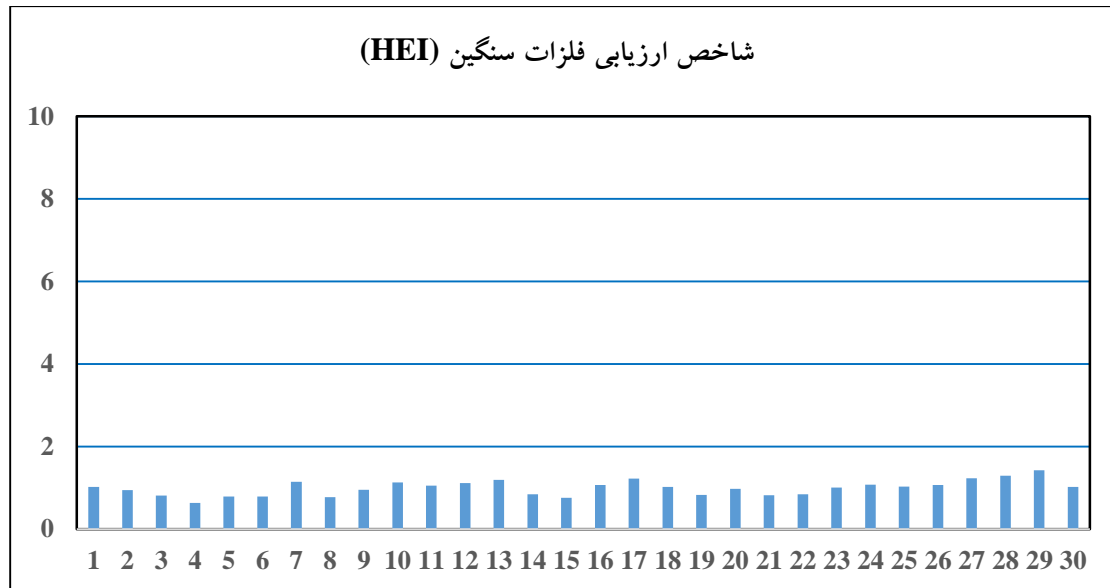
$$Q_i = \frac{M_i}{S_i} * 100 \quad (3)$$

### جدول ۱ - نتایج ژئوشیمیایی نمونه‌های محدوده مورد مطالعه.

Table 1. Geochemical results of the samples of the studied area

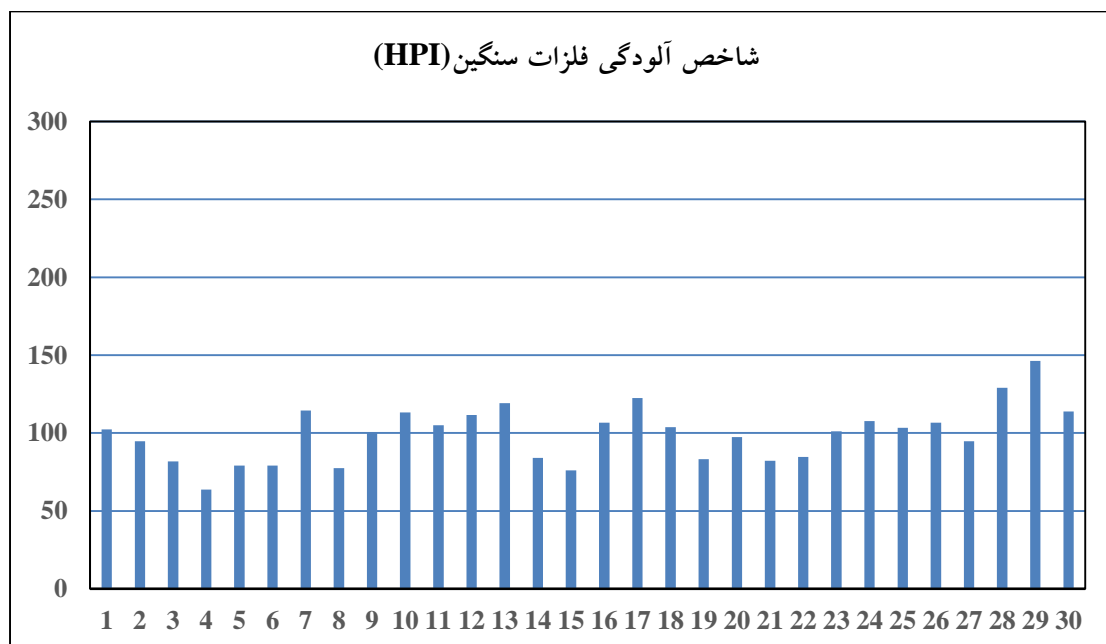
Sample	(ppb) Cr	(ppb) Cu	(ppb) Fe	(ppb) Pb
۱	۱۸/۰	۴/۰	۸۶/۰	۲/۲
۲	۲۱/۰	۹/۶	۶۰/۰	۲/۸
۳	۱۲/۰	۱۲/۰	۷۵/۰	۲/۶
۴	۸/۹	۱۶/۰	۶۹/۰	۱/۷
۵	۱۷/۰	۱۸/۰	۸۹/۰	۱/۱
۶	۱۹/۰	۶/۰	۷۸/۰	۱/۲

۷	۲۲/۰	۳/۰	۹۲/۰	۳/۷
۸	۸/۶	۵/۰	۷۸/۰	۳/۱
۹	۲۱/۰	۶/۰	۶۸/۰	۲/۹
۱۰	۲۸/۰	۸/۶	۸۵/۰	۲/۴
۱۱	۲۳/۰	۱۹/۰	۸۳/۰	۲/۶
۱۲	۱۸/۰	۳/۸	۱۴۲/۰	۲/۷
۱۳	۲۴/۰	۷/۳	۱۱۶/۰	۲/۴
۱۴	۷/۰	۹/۶	۱۱۴/۰	۲/۰
۱۵	۹/۰	۱۶/۰	۶۷/۰	۲/۳
۱۶	۲۳/۰	۱۴/۰	۸۲/۰	۲/۸
۱۷	۲۷/۰	۲۶/۰	۹۷/۰	۲/۹
۱۸	۲۳/۰	۱۷/۰	۸۱/۰	۳/۰
۱۹	۱۳/۰	۱۴/۰	۷۱/۰	۳/۱
۲۰	۱۷/۰	۱۸/۶	۸۳/۰	۳/۲
۲۱	۸/۱	۱۳/۷	۹۴/۰	۳/۴
۲۲	۷/۰	۱۴/۳	۱۲۱/۰	۳/۱
۲۳	۱۹/۰	۱۷/۹	۸۸/۵	۲/۷
۲۴	۲۴/۰	۵/۹	۸۲/۰	۲/۰
۲۵	۲۶/۰	۷/۶	۶۳/۰	۲/۵
۲۶	۱۸/۰	۴/۳	۷۸/۰	۳/۸
۲۷	۲۹/۰	۱۴/۰	۷۴/۰	۳/۱
۲۸	۲۷/۰	۱۸/۰	۸۲/۰	۳/۴
۲۹	۳۱/۰	۲۷/۰	۱۰۷/۰	۴/۲
۳۰	۱۳/۰	۲۱/۰	۱۱۲/۰	۴/۶
<b>Standard</b>	<b>۵۰/۰</b>	<b>۱۰۰۰/۰</b>	<b>۳۰۰/۰</b>	<b>۱۰/۰</b>



شکل ۱- شاخص ارزیابی فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه.

Figure 1. Evaluation index of heavy metals in the studied area.



شکل ۲- شاخص آلودگی فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه.

Figure 2. Heavy metal pollution index in the studied area.

در هر اقلیم مقدار نسبتاً ثابتی می‌باشند. از این رو می‌بایست سیاست‌ها و روش‌های اتخاذ شده در جهت حفظ و مصرف بهینه از این منابع ساماندهی شود. امروزه بررسی‌های کیفی آب دامنه گسترده‌ای پیدا کرده است و مسائل مربوط به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی را نیز شامل می‌شود. در اغلب نقاط جهان منابع آب زیرزمینی، از جمله از آنجا که یکی از مهم‌ترین اهداف

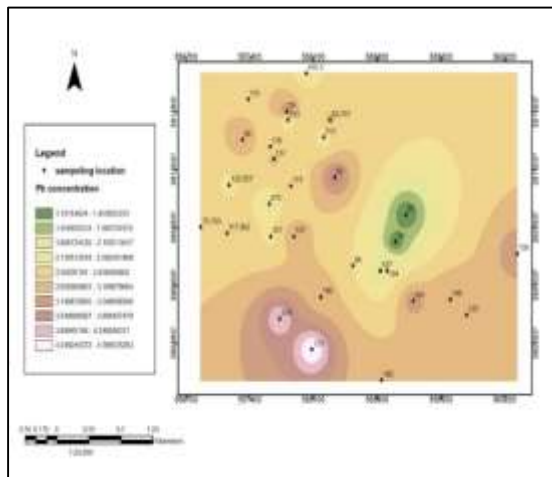
پهنه بندی و پراکندگی فلزات سنگین در شهری ورامین

آب همانند یک منبع تجدیدپذیر همواره بعنوان یک رکن اصلی توسعه مطرح بوده است. با افزایش جمعیت و نیازفزاینده به آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعت و نهایتاً افزایش تولید و ایجاد پتانسیل‌های آلودگی، خسارات زیادی به منابع آب‌ها وارد شده است. از آنجا که منابع تجدید شونده آب

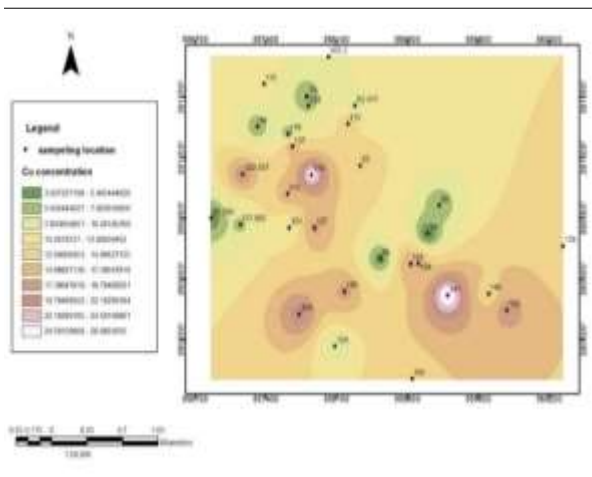


10.6، پراکندگی این فلزات برای محدوده تعیین شده در منطقه به روش درون یابی روش وزن دهی معکوس فاصله به طور جداگانه تهیه شده است.

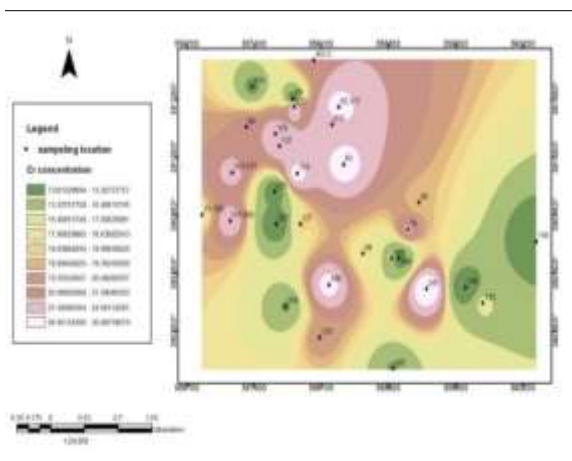
این پژوهش تعیین آنومالی فلزات سنگین از جمله کروم، مس، آهن و سرب در منطقه ورامین می‌باشد و اما با توجه به نتایج قابل توجه سایر عناصر اندازه گیری شده، برای این عنصر نیز پهنه بندی انجام شده است. با استفاده از نرم افزار ArcGIS نسخه



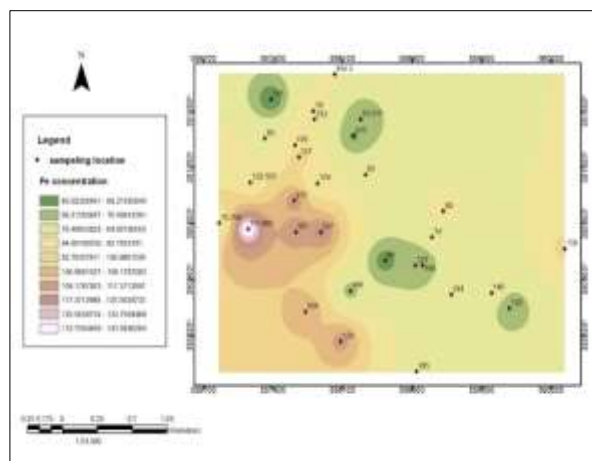
شکل ۴- نقشه پهنه بندی سرب در محدوده مورد مطالعه  
Figure 4. Lead zoning map in the studied area



شکل ۳- نقشه پهنه بندی مس در محدوده مورد مطالعه.  
Figure 3. Copper zoning map in the studied area.



شکل ۶- نقشه پهنه بندی کروم در محدوده مورد مطالعه.  
Figure 6. chrome Zoning map in the studied area



شکل ۵- نقشه پهنه بندی آهن در محدوده مورد مطالعه.  
Figure 5. Iron zoning map in the studied area

### بحث و نتیجه‌گیری

سنگین کمتر از ۱۰ بوده و در درجه آلودگی کم قرار دارد. نتایج بدست آمده با استفاده از روش آلودگی فلزات سنگین نشان می‌دهد که این عناصر در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه در درجه آستانه آلودگی قرار دارند. پراساد و همکاران با ارزیابی غلظت روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس و منگنز در منابع آب زیرزمینی یک ناحیه معدنی در هندوستان به اسن نتیجه رسیدند که روش HPI مقادیر قابل قبولی را ارائه می‌دهد و از نتایج این مطالعه

در این پژوهش به بررسی نمونه آب زیر زمینی جمع آوری و غلظت فلزات سنگین از جمله مس، سرب، روی، کروم، کادمیوم، آهن، کبالت و منگنز پرداخته است. نتایج این پژوهش با نتایج مطالعه حال حاضر تطابق دارد. در مطالعه انجام شده بر روی آلودگی فلزات سنگین همچون سرب، روی، کادمیوم، مس، آرسنیک، کروم و آهن با استفاده از دو روش ارزیابی شاخص آلودگی نشان می‌دهد که عناصر سنگین در روش ارزیابی فلزات

- heavy metal chromium in pork by laser-induced breakdown spectroscopy. *Applied Optics*, 56, 24-28.
- Ghazban, F. *Enviromental Geology*, University of Tehran, In Persian.
  - kamarehei B, Mirhosseini S H, jafari A, Asgari G, Bierjandi M, rostami Z. Study of heavy metal concentration (As, Ba, Cd, Hg, Pb, Cr) in water resources and river of Borujerd city in 2008-2009. *after*. 2010; 11 (4) :45-51
  - ZHANG, Z., WANG, Z., LI, Q., ZOU, H. & SHI, Y, 2014, Determination of trace heavy metals in environmental and biological samples by solution cathode glow discharge-atomic emission spectrometry and addition of ionic surfactants for improved sensitivity. *Talanta*, 119, 613-619.
  - Singh UK, Kumar B. Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India. *Chemosphere* (2017) 174:183-199.
  - Dipak P. 2017, Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review. *Annals of Agrarian Science*; 15, 2: 278-2.
  - Mohan S.V., Nithila P. and Reddy S.J., 1996: Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal Environmental Science and Health A31(2)*: 283.

کیفیت منابع آب‌های زیر زمینی این منطقه در محدوده با آلودگی کم قرار دارد. حسینی‌پور مقدم و همکارانش با بررسی آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کروم و مس نسبت به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی مجاور مجتمع فولاد خراسان اقدام کرده و نتیجه گرفتند که مقادیر شاخص HPI آن بسیار کمتر از آستانه خطر است. نجاتی جهرمی و همکاران در شهرستان ورامین به مطالعه ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان ورامین از نظر قابلیت شرب این منطقه را مورد بررسی قرار دارند. نتایج بدست آمده در این مطالعه به بررسی آلودگی فلزات سنگین پرداخته شده است. پهنه بندی‌های انجام شده در این منطقه با استفاده از روش درون‌یابی وزندهی فاصله معکوس در محیط نرم‌افزار ArcGIS می‌توان به این نتیجه رسید که بیشترین میزان عناصر سنگین در شمال غرب و غرب این شهر قرار دارد و کمترین آن در شمال شرق این شهر واقع شده است. با استفاده از ارزیابی شاخص آلودگی فلزات سنگین انجام شده در محدوده مورد مطالعه نشان داد که آب شرب این منطقه در شرایط مطلوبی قرار دارد. با استفاده از این شاخص، این نتیجه دریافت می‌شود که ایستگاه‌های ۲۹-۱۳-۷-۲۸ دارای مقادیر قابل توجهی نسبت به سایر ایستگاه‌ها می‌باشند. ارزیابی شاخص ارزیابی فلزات سنگین انجام شده در محدوده مورد مطالعه نشان داد که آب شرب این منطقه در درجه آستانه آلودگی قرار دارد. در بررسی‌های انجام شده در این تحقیق با استفاده از روش شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) نشان داد که ایستگاه‌های ۲۹-۷-۱۳-۱۷-۲۸ دارای مقادیر بالاتری نسبت به ایستگاه‌های دیگر هستند.

## References

- HUANG, L., CHEN, T., HE, X., YANG, H., WANG, C., LIU, M. & YAO, M. 2017. Determination of