



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan
Vol. 35, Issue 2, No. 75, Summer 2019
pp. 135-150
Received: 24.02.2019 Accepted: 26.06.2019

Distribution pattern of the heavy metals in stream sediments of the Baycheh-Bagh area, northwest of Zanjan

Nashmil Zaheri

*M.Sc of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
nashmil.zaheri@gmail.com*

Younes Khosravi*

*Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
khosravi@znu.ac.ir*

Mir Ali Asghar Mokhtari

*Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan Zanjan, Iran
amokhtari@znu.ac.ir*

Abbasali Zamani

*Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan Zanjan, Iran
zamani@znu.ac.ir*

Abstract

In order to investigate the concentrations of heavy metals in stream sediments of the Baycheh-Bagh area, northwest of Zanjan province, 131 samples were collected from intended stations. These samples after dissolution by four acid method, were analyzed by ICP-OES. To determine the type of spatial distribution of data, two important spatial statistics, i.e. global Moran's I and Anselin local Moran's I were employed. The average concentrations of As, Bi, Cd, Ni, Pb, Sb and Cu in stream sediment samples were 21.83, 0.32, 0.35, 35.57, 68.96, 37.67, 1.96 and 82.71 ppm, respectively which are higher than the average of crust whereas the average concentration of Co is 20.30 ppm. The obtained results indicate that the heavy metals in the study area has a spatial structure and distributed in cluster form. According to the Local Moran's I results, the most contaminated area in the study area was detected in western part of the Baycheh-Bagh abounded mine and located on the present polymetallic vein-veinlet mineralizations and their related alterations. Analysis of obtained data and investigation of their relationship with the geological rock units of the study area show that concentration of the studied elements have geogenic source and is related to the mineralizations and alterations.

Keywords: Geochemistry, Stream sediments, Heavy Metals, Spatial Distribution, Baycheh-Bagh, Zanjan.

Introduction

Heavy metals are one of the most important sediment contaminations and are important in low concentrations due to their in solubility and their physiological effects on organisms and human (Zare Khosh Eghbal et al. 2012). In an aqueous environment, sediments are the final destination of heavy metals accumulation and can act as a source of water pollution. On the other hand, mineral resources, especially metal deposits, contain significant amounts of heavy metals and potentially toxic elements. Contact of surface and underground water with the host rocks, ore mineralizations and altered rocks releases various elements, provides a large amount of heavy metals and potentially toxic elements in downstream deposits and surrounded soils. This fact highlights the importance of environmental studies of stream sediments. Spatial statistics is one of the basic concepts of

modern sciences in monitoring and analyzing environmental data that focuses on the spatial relationship of data.

Spatial analysis of environmental data is crucial factor in spatial statistics. The first step in spatial analysis is identifying the data dispersal structure. Regarding to the importance of monitoring the spatial changes of environmental data and considering the distribution, arrangement and behavior patterns of variables in environmental topics, this study attempts to investigate the pattern of heavy metals dispersion in the stream sediments of the Baycheh-Bagh area, located in the northwest of Zanjan.

Material & Methods

In order to evaluate the environmental contamination of heavy metals in the Baycheh-Bagh area, 131 samples were selected from intended stations. In this step, about 500 gr of stream sediments from a depth of 5-15 cm was selected from

* Corresponding author

each station. After crushing and milling the samples, the obtained powders were dissolved by the four acid solutions and were analyzed by the ICP-OES at Environmental Science Research Laboratory, University of Zanjan. The studied elements in this research include As, Sb, Cd, Pb, Zn, Ni, Co, Bi and Cu. After receiving the analytical results from the laboratory, the data were processed statistically. For this purpose, the statistical parameters such as mean, median, mod, standard deviation, skewness, Kurtosis, range, minimum and maximum were analyzed for the nine mentioned elements using SPSS 22 software. Furthermore, Kolmogorov-Smirnov test was used to examine the distribution of the normal data. In the absence of normal data, the logarithm transformation method was used to normalizing them. To determine the amount of stream sediments contamination to heavy elements in the study area, global Moran's I and Anselin local Moran's I were employed. Determination of the degree of dispersion or clustering of features, global Moran's I was used.

Discussion of Results & Conclusions

The Global Moran's I spatial autocorrelation was used to determine the spatial distribution of the data. The results of

this analysis indicate that all metals have a strong correlation and cluster distribution. The Moran index for all metals is above 0.9 and among them the strongest and weakest correlation is for Bi and Cd elements, respectively. Accordingly, it can be concluded that the studied heavy metals have a spatial structure and are distributed in cluster form. In other words, the data tend to be concentrated in study area and have been influenced by almost the same factors. The results of the local Moran's I analysis showed that the Bi and Pb have the highest and lowest high-high points, respectively, and the Co and Pb have the highest and lowest low-low points, respectively. According to the local Moran's I statistics, the most polluted region of the study area was detected in the western part of the Baycheh-Bagh mine which are located on the polymetallic vein-veinlet mineralizations and related alterations. These metals include As, Bi, Cd, Co, Sb, Zn and Pb which have sheared between high-high points. The analysis of the samples from the stream sediments shows that the source of the concentration of the studied elements is geogenic (resulted from geological processes) and is related to mineralizations and alterations.

الگوی پراکنش فلزات سنگین در رسوبات آبراهه‌ای منطقه بایچه‌باغ، شمال غرب زنجان

نشمیل ظاهری، کارشناس ارشد علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

nashmil.zaheri@gmail.com

یونس خسروی*، استادیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

khosravi@znu.ac.ir

میرعلی اصغر مختاری، دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

amokhtari@znu.ac.ir

عباسعلی زمانی، دانشیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

zamani@znu.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی مقدار فلزات سنگین در رسوبات آبراهه‌ای منطقه بایچه‌باغ واقع در شمال غرب استان زنجان، ۱۳۱ نمونه از ایستگاه‌های مدنظر انتخاب شدند. نمونه‌ها پس از هضم به روش چهار اسید، به کمک دستگاه ICP-OES تجزیه و تحلیل شدند. به منظور تعیین نوع توزیع الگوی فضایی حاکم بر داده‌ها از روش خودهمبستگی فضایی موران جهانی و آماره موران محلی استفاده شد. محتوای فلزات آرسنیک، بیسموت، کادمیم، مس، نیکل، سرب، آنتیموان و روی به ترتیب با مقادیر میانگین ۲۱/۸۳، ۰/۳۲، ۰/۳۵، ۳۵/۵۷، ۶۸/۹۶، ۳۷/۶۱، ۱/۹۶ و ۸۲/۷۱ گرم در تن در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه بیشتر از میانگین پوسته و غلظت کبالت با مقدار میانگین ۲۰/۳۰ گرم در تن در بیشتر ایستگاه‌ها کمتر از میانگین پوسته است. مقادیر بیش از ۰/۹ آماره موران گویای وجود ساختار فضایی فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه و در نتیجه توزیع خوشه‌ای این فلزات است. بر اساس آماره موران محلی، آلوده‌ترین منطقه به فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه، در مجاورت جنوب غربی معدن متروکه بایچه‌باغ و منطبق بر کانه‌زایی‌های پلی‌متال رگه-رگچه‌ای موجود در این محل و دگرسانی‌های مرتبط با آنها تشخیص داده شد. تحلیل داده‌های به دست آمده و بررسی ارتباط آنها با زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد منشأ غلظت عناصر مورد مطالعه زمین‌زاد و درارتباط با کانی‌سازی‌ها و دگرسانی‌هاست.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، رسوبات آبراهه‌ای، فلزات سنگین، الگوی پراکنش، بایچه‌باغ

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۴۱۴۷۳۰

مقدمه

وجود فلزات سنگین در کنار بارش‌های اسیدی و مواد آلی، مهم‌ترین عوامل آلودگی خاک به شمار می‌آیند (Rahimpour and Abbaspour 2014)؛ در این بین، تجمع فلزات سنگین باعث مختل شدن وظایف حیاتی خاک می‌شود و خطرانی را برای سلامتی انسان و موجودات زنده رقم می‌زند (Kabata-Pendias 2010). اهمیت مطالعه و بررسی فلزات سنگین زمانی بیشتر مشخص می‌شود که متوجه می‌شویم روند انباشت این فلزات در خاک بسیار کند و فرایندی برگشت‌ناپذیر است و درازمدت باعث کاهش کیفیت خاک می‌شود. با افزایش فعالیت‌های صنعتی طی چند دهه اخیر، آلودگی خاک به فلزات سنگین گسترش یافته است. فلزات سنگین به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما مقادیر زیاد آنها که در نتیجه فعالیت‌های انسانی نظیر معدن‌کاری، حمل و نقل، دفع فاضلاب‌های صنعتی، دفع نامناسب زباله‌ها و استفاده از کودهای شیمیایی و سموم است، مشکلات زیادی را به وجود آورده و همواره تهدید مهمی برای خاک بوده است (Sistani et al. 2010; Wei and Yang 2017). بر اساس این مهم، بررسی چگونگی رفتار و الگوی فضایی حاکم بر توزیع عناصر یکی از مهم‌ترین اصول اساسی در پایش تغییرات مکانی به‌منظور برنامه‌ریزی‌های متقن آبی به شمار می‌رود.

فلزات سنگین از مهم‌ترین آلودگی‌های رسوبات هستند و به‌علت تجزیه‌ناپذیر بودن و آثار فیزیولوژیکی بر موجودات زنده و انسان در غلظت‌های کم اهمیت دارند (Zare Khosh Eghbal et al. 2012). رسوبات مقصد نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط آبی‌اند و می‌توانند به‌عنوان منبع آلودگی در آب عمل کنند؛ به عبارتی، با توجه به اینکه منابع معدنی به‌ویژه کانسارهای فلزی حاوی مقادیر درخور توجهی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی‌اند، تماس آب‌های سطحی و زیرزمینی با سنگ میزبان و توده‌ها و رگه‌های معدنی و هوازدگی سنگ‌ها در کانسارها باعث آزادسازی عناصر مختلف می‌شود و مقدار زیادی از فلزات سنگین و عناصر

بالقوه سمی را در رسوبات پایین‌دست و خاک‌های مجاور بر جای می‌گذارد و این مسئله، اهمیت بررسی‌های زیست‌محیطی رسوبات را مشخص می‌کند؛ در این میان، ذرات دانه‌ریز (در حد سیلت و رس) از نظر شیمیایی بسیار فعال و از متحرک‌ترین بخش‌های یک رسوب هستند و نقش مؤثری در حمل آلاینده‌ها دارند. معمولاً رسوبات بزرگ‌ترین انبار برای ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و نیز جایگاهی خاص برای ناپاکی‌هایی که می‌توانند برای دوره‌های طولانی مدت باقی بمانند، به شمار می‌روند (Gognou and Fisher 1997). یکی از عللی که سبب اهمیت بررسی فلزات موجود در آب و رسوبات می‌شود اینست که بسیاری از گونه‌های زیستی، بخش عمده دوره زندگی خود را در محیط رسوبی یا روی آن می‌گذرانند؛ از این رو، مواد موجود در آب و رسوبات از طریق چرخه زیستی وارد بدن موجودات دیگر و در نهایت انسان می‌شوند. فلزات سنگین پس از ورود به منبع آبی، به تدریج و به شکل‌های مختلف مانند فاز معدنی جامد، جذب سطحی به رسوبات دانه‌ریز یا بقایای مواد آلی در بستر آن تجمع می‌یابند (Clark et al. 1998)؛ به همین علت، بررسی رسوبات آبراهه‌ای یکی از بهترین روش‌های ارزیابی آلودگی منطقه است (Naifar et al. 2018).

توجه به بحث ارتباط فضایی، سمت‌وسو و طرز قرارگیری داده‌ها نسبت به یکدیگر، مفاهیم کلیدی و ابتدایی علمی نوین در پایش و بررسی داده‌های محیطی یعنی علم آمار مکانی است. در آمار مکانی، مشاهده‌ها مستقل از یکدیگر نیستند و برحسب موقعیت قرارگرفتن نقاط در فضای مورد مطالعه به یکدیگر وابسته‌اند؛ بنابراین، با قاطعیت می‌توان بین مقدار یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌ها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد (Khosravi et al. 2018). آنچه در آمار مکانی نمود می‌یابد، تحلیل فضایی داده‌های محیطی است. نخستین مرحله در تحلیل فضایی، شناسایی ساختار پراکنندگی داده‌هاست؛ منظور از ساختار، وجود هر نوع رفتار فضایی غیرتصادفی است که به‌علت

مطالعه‌هایی در این زمینه انجام شده‌اند که می‌توان به بقائی و همکاران (Baghaie et al. 2007)، زارع خوش اقبال و همکاران (Zare Khosh Eghbal et al. 2012)، شهبازی و همکاران (Shahbazi et al. 2013)، خدایی کلام (Khodaei Kalam 2015)، افشاری و همکاران (Afshari et al. 2016) و سیستانی و همکاران (Sistani et al. 2017) اشاره کرد که همگی با هدف تعیین غلظت عناصر سنگین در خاک انجام شده‌اند. با ارزیابی‌های انجام شده درباره پژوهش‌های مرتبط، مشخص شد تاکنون مطالعه‌ای درباره الگوی توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک با استفاده از شاخص‌های خودهمبستگی فضایی در ایران انجام نشده است؛ از این رو، می‌توان این موضوع را نوآوری پژوهش حاضر در نظر گرفت.

زمین‌شناسی و کانه‌زایی

محدوده مورد مطالعه در بخش غربی و جنوب غربی کانسار چندفلزی بایچه‌باغ و در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شمال غرب زنجان و ۳۰ کیلومتری شمال غرب ماهنشان قرار دارد. در تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران، منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه سندج - سیرجان را در بخش‌های شمالی آن و در زیرپهنه تکاب - تخت سلیمان - انگوران تشکیل می‌دهد. این منطقه بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان (Babakhani and Galmgash 1996) را در بخش‌های مرکزی آن و در حوزه پایین دست معدن متروکه مس بایچه‌باغ و آبراهه‌های شمال معدن سرب - روی علم‌کندی و معدن آهن علم‌کندی به خود اختصاص داده است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی یادشده، این منطقه متشکل از مجموعه سنگ‌های دگرگونه پالئوزوئیک و واحدهای آتشفشانی - رسوبی سنوزوئیک است (شکل ۱). کهن‌ترین واحدهای شناخته شده در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان که در بخش جنوب‌باختر منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند، شامل یک سری سنگ‌های دگرگونی میکاشیست و کوارتزیت به رنگ سبز - خاکستری و به سن پرکامبرین هستند که زیر آهک

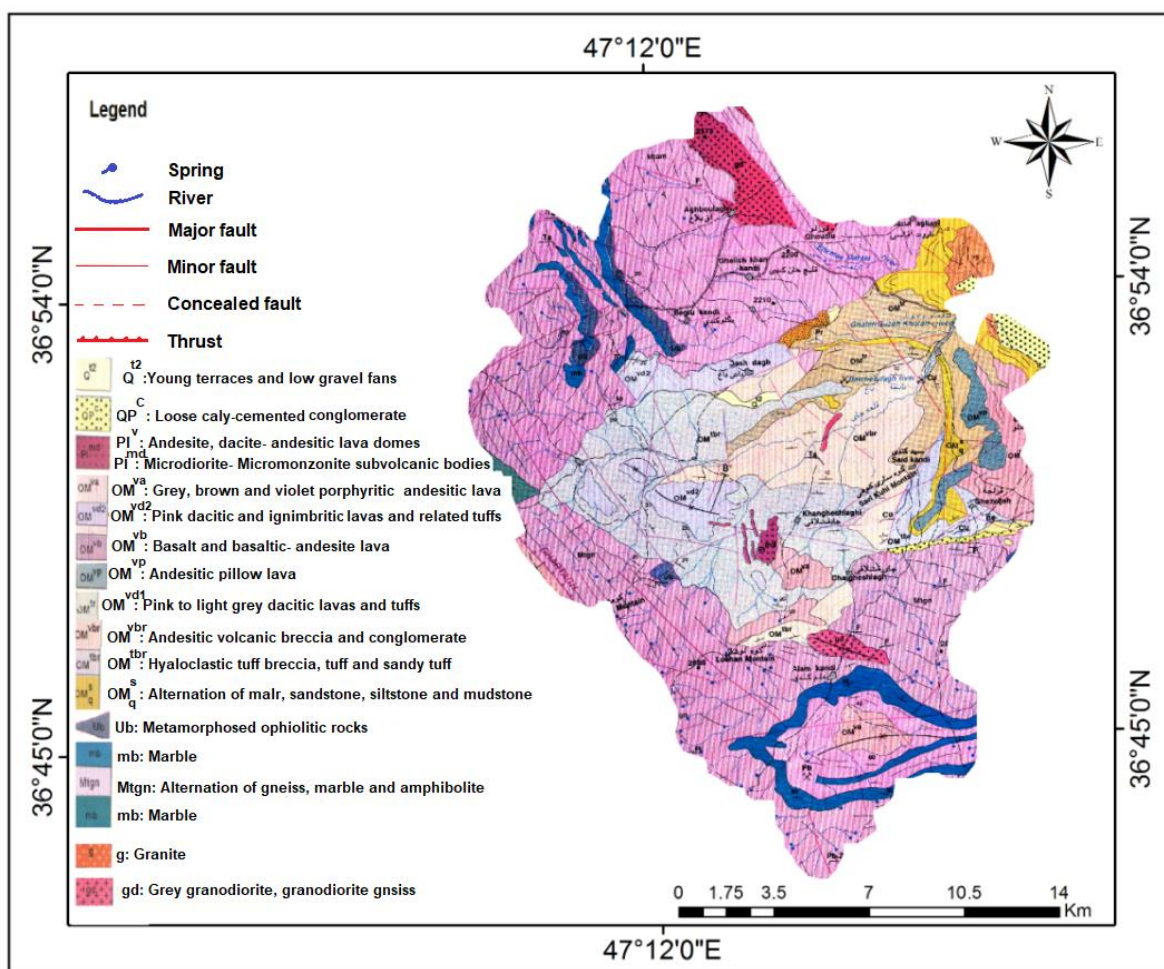
خاصی ایجاد شده است (Alijani 2016). در تحلیل فضایی داده‌ها کوشیده می‌شود قوانین، نظام و الگوهای فضایی داده‌های محیطی به کمک مهارت‌های کارتوگرافی و روش‌های ریاضی و آماری کشف شوند و سپس برای پردازش و تحلیل داده‌های فضایی به کار روند (Goodchild 1987). باتوجه به اهمیت پایش تغییرات مکانی داده‌های محیطی و توجه به چگونگی توزیع، ترتیب قرارگیری و الگوی رفتاری متغیرها در مباحث زیست محیطی، در پژوهش حاضر تلاش شده است به بررسی الگوی پراکنش فلزات سنگین در رسوبات آبراهه‌ای منطقه بایچه‌باغ واقع در شمال غرب زنجان پرداخته شود؛ همچنین سعی شده است با استفاده از روش‌های خودهمبستگی فضایی، الگوی حاکم بر توزیع مکانی فلزات سنگین در رسوبات آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه تعیین و مناطق آلوده به فلزات سنگین در این منطقه مشخص شوند.

تاریخچه موضوع و پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعه‌های متعددی درباره آلودگی خاک به فلزات سنگین انجام شده‌اند؛ از جمله پژوهش‌های مرتبط عبارتند از: پژوهش آتیا و همکاران (Atteia et al. 1994) در تعیین پراکنش مکانی عناصر سنگین در سوئیس، مارتین و همکاران (Martín et al. 2006) در بررسی تغییر مکانی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی منطقه کشاورزی در اسپانیا، چن و همکاران (Chen et al. 2007) در بررسی منبع فلزات سنگین در اراضی شهری - روستایی هانگژوا چین، بیرنه و همکاران (Byrne et al. 2010) در بررسی مقادیر فلزات سنگین در رسوبات حوضه آبریز آفون تویمن، آوازو و همکاران (Iavazzo et al. 2012) در بررسی مقدار فلزات سنگین در رودخانه مولویا و معادن آتولی، میلودن و زیدا، گو و همکاران (Gu et al. 2014) در مطالعه غلظت فلزات سنگین در چین، نایفار و همکاران (Naifar et al. 2018) در توزیع فضایی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دریایی ساحل جنوبی تونس. در ایران نیز

پرکامبرین (مرمر جان‌گوتاران و شیست‌ها)، یک سری سنگ‌های دگرگونی شامل گنایس، آمفیبولیت و مرمر با بلوک‌هایی از سنگ‌های اولترامافیکی دگرگون‌شده قرار گرفته است. بخش بزرگی از محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تخت سلیمان و بخش شمالی منطقه مورد مطالعه با سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی اولیگومیوسن پوشیده شده است که به‌طور ناهم‌ساز روی سنگ‌های دگرگونی کهن‌تر قرار گرفته‌اند.

و دولومیت‌های مرمری شده (مرمر جان‌گوتاران) رخنمون یافته‌اند؛ روی سنگ‌های دگرگون‌شده یادشده، یک واحد ضخیم از مرمر و دولومیت خاکستری روشن تا خاکستری تیره با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم قرار گرفته که با عنوان مرمر جان‌گوتاران نام‌گذاری شده است. در بخش‌های مرکزی ورقه تخت سلیمان و بخش عمده مناطق جنوبی، مرکزی، خاوری و باختری منطقه مورد مطالعه، روی سنگ‌های دگرگونی



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تخت سلیمان (Babakhani and Galamgash 1996).

علم‌کندی (بخش‌های مرکزی) و معدن سرب- روی علم‌کندی (بخش جنوبی منطقه) به ترتیب داخل واحدهای آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن، سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک و مرمرهای پرکامبرین تشکیل شده‌اند؛ همچنین

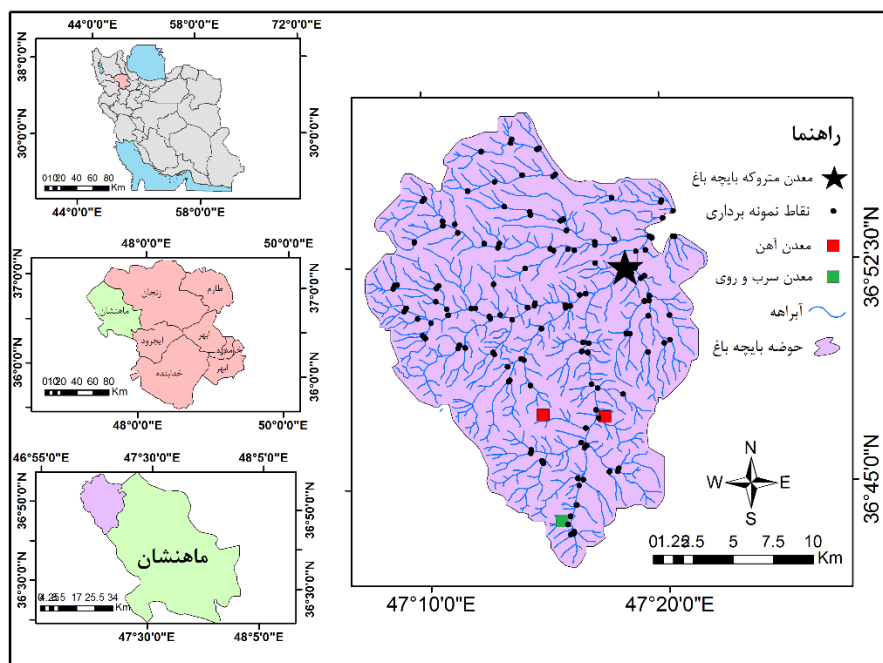
از دیدگاه کانه‌زایی، منطقه تکاب- انگوران- تخت سلیمان (دربرگیرنده منطقه مورد مطالعه)، یکی از ایالت‌های فلززایی مهم در ایران محسوب می‌شود. در منطقه مورد مطالعه، معدن متروکه مس بایچه‌باغ (بخش شمال شرقی منطقه)، معدن آهن

(2005).

روش مطالعه

به منظور ارزیابی آلودگی‌های زیست‌محیطی فلزات سنگین در منطقه بایچه‌باغ، نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای در ۱۳۱ ایستگاه انجام شد. در این مرحله، حدود ۵۰۰ گرم رسوبات آبراهه‌ای از عمق ۵ تا ۱۵ سانتی‌متری هر ایستگاه برداشته شد (Yazdi 2002) و پس از خردایش و آسیاب نمونه‌ها، پودر حاصل به روش چهار اسید حل و با دستگاه ICP-OES در مرکز پژوهش‌های کاربردی علوم زمین کرج از نظر عناصر مدنظر تجزیه و تحلیل شد. عناصر آرسنیک، آنتیموان، کادمیم، سرب، روی، نیکل، کبالت، بیسموت و مس در پژوهش حاضر مطالعه شدند. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده شده است.

آثار متعددی از کانه‌زایی‌های پلی‌متال به شکل رگه-رگچه‌ای در بخش‌های مختلف منطقه به ویژه مرکز، غرب و جنوب غرب مشاهده می‌شوند. در معدن متروکه بایچه‌باغ، کانی‌سازی مس همراه با عناصر کبالت، سرب، روی و طلا به حالت رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شود. کانی‌های معدنی شاخص موجود در کانسار بایچه‌باغ عبارتند از: کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، گالن، اسفالریت، پیریت، مارکاسیت، کبالتیت، نیکولیت و بیسموتینیت (Lotfi and Karimi 2004). کانه‌زایی آهن علم‌کندی از نوع اسکارنی بوده و مگنتیت کانه اصلی آن است که با مقادیر متغیری از کانه‌زایی سولفیدی (عمدتاً پیریت به همراه مقداری کالکوپیریت) همراهی می‌شود (Nouri et al. 2016). کانه‌زایی سرب-روی علم‌کندی شامل کانه‌های گالن، اسفالریت، پیریت و مقدار کمی کالکوپیریت است که به شکل غیرهم‌زاد درون واحدهای مرمری تشکیل شده‌اند (Ghazvinizadeh



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

شاخص‌های آماری نظیر میانگین، میانه، مد، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، دامنه، حداقل و حداکثر برای ۹ عنصر

پس از دریافت نتایج تجزیه و تحلیل از آزمایشگاه، نسبت به پردازش آماری داده‌ها اقدام شد؛ به این منظور،

دامنه تغییرات شاخص موران جهانی بین +۱ و -۱ است. چنانچه مقادیر موران معنادار و بیشتر از صفر باشند، همبستگی فضایی خوشه‌ای و مثبت است، چنانچه این مقدار کمتر از صفر باشد، همبستگی فضایی منفی و به شکل پراکنده است و اگر مقدار موران جهانی صفر باشد، گویای الگوی تصادفی در ارزش مشاهده‌هاست. به طور عمده، همبستگی فضایی به مقادیر نمره Z بستگی دارد. اگر مقادیر نمره Z مثبت و زیاد باشند، خوشه‌بندی فضایی ارزش زیادی دارد، ولی اگر نمره Z منفی و کم باشد، خوشه‌بندی فضایی ارزش کمی دارد (Nadian et al. 2018).

آماره موران جهانی تنها خوشه‌بندی کلی داده‌ها را نشان می‌دهد، اما نمی‌تواند برای تشخیص الگوی ارتباط فضایی بین داده‌ها در محدوده همسایگی استفاده شود. روش‌های فضایی متنوعی به منظور آشکارسازی الگوی فضایی پدیده‌ها وجود دارند که یکی از معتبرترین آنها، آماره انسلین موران محلی است. با در اختیار داشتن عوارض مکانی وزن‌دهی شده و به کمک این آماره می‌توان نقاط با مقادیر کم یا زیاد که به طور خوشه‌ای توزیع شده‌اند یا مقادیر با تفاوت ارزشی زیاد (ناخوشه‌ها) را نمایش داد (Bahri 2018). این آماره برای منطقه i، پیوند فضایی بین یک ارزش را در i و نزدیک به آن به شکل زیر تعریف می‌کند (Sadeghi nia et al. 2013):

$$I_i = x_i \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j} x_j \quad (\text{معادله ۳})$$

در این رابطه، n تعداد سلول‌ها (مشاهده‌های فضایی)، x_i و x_j به ترتیب مقادیر مشاهده شده استاندارد برای سلول i و j هستند. $W_{i,j}$ مقدار وزن فضایی استاندارد شده است که جمع وزن‌ها برابر ۱ است. مشابه با آماره موران جهانی، نتایج آماره موران محلی را می‌توان به وسیله نمره Z ارزیابی کرد (Khosravi et al. 2017)؛ در این تحلیل، اگر مقدار I_i معنادار و مثبت باشد، بیان‌کننده اینست که سلول‌های موجود توسط سلول‌های مشابه خود محاصره شده‌اند. مقادیر مثبت I_i نشان می‌دهند عارضه مدنظر توسط سلول‌هایی با مقادیر مشابه

مورد مطالعه در ۱۳۱ ایستگاه نمونه‌برداری شده با نرم‌افزار SPSS 22 بررسی شدند (جدول ۱). آزمون کولموگروف-اسمیرنف (Kolmogorov-Smirnov) به منظور بررسی توزیع نرمال بودن داده‌ها استفاده شد (Lashkari et al. 2016)؛ در صورت نرمال نبودن داده‌ها، از روش تبدیل لگاریتم برای نرمال‌سازی آنها استفاده شد (Goovaerts 1997). به منظور بررسی میزان آلودگی رسوب‌های آبره‌ای به عناصر سنگین در منطقه، از روش‌های خودهمبستگی فضایی موران محلی (Anselin Local Moran's I) و موران جهانی (Global Moran's I) استفاده شد (Khosravi et al. 2017). تعیین درجه پراکندگی یا خوشه‌ای بودن عوارض در فضا با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی سراسری موران جهانی امکان‌پذیر است؛ درحقیقت، این آماره با هدف توصیف ویژگی‌های فضایی یک متغیر در کل ناحیه به کار برده می‌شود و با استفاده از آن می‌توان میانگین تفاوت فضایی بین تمام سلول‌های فضایی و سلول‌های مجاور آنها را شناسایی کرد (Sadeghi nia et al. 2013). در آماره موران جهانی، علاوه بر توجه به شیوه چیدمان عوارض، به ویژگی‌های عوارض هم توجه می‌شود و وضعیت خودهمبستگی فضایی با توجه به موقعیت مکانی و ارزش‌های درونی عوارض بررسی می‌شود. آماره خودهمبستگی فضایی موران جهانی از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Anselin 1995):

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{s_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

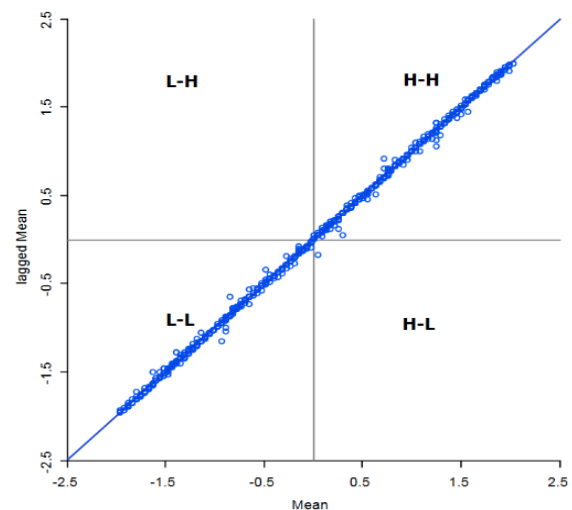
در این رابطه، n تعداد مشاهده‌ها، z_i تفاضل بین مقدار ویژگی عارضه i با میانگین آن $(x_i - \bar{X})$ ، $w_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j که محدوده تأثیر وابستگی ساختار فضایی را نشان و بر اساس ارتباط هم‌جواری (همسایگی) تعیین می‌شود و s_0 جمع کل وزن‌های فضایی است که از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Anselin 1995).

$$s_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (\text{رابطه ۲})$$

بحث

خلاصه نتایج آماری تجزیه شیمیایی غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول و مقایسه آن با میانگین جهانی (Wedepohl 1995) مشخص شد محتوای فلزات آرسنیک، بیسموت، کادمیوم، مس، نیکل، سرب، آنتیموان و روی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای در منطقه مورد مطالعه بیشتر از میانگین پوسته و غلظت کبالت در بیشتر ایستگاه‌ها کمتر از میانگین پوسته است. همان‌طور که پیشتر گفته شد، آماره موران جهانی به بررسی وضعیت خودهمبستگی فضایی داده‌ها می‌پردازد و ضمن تعیین نوع خودهمبستگی، درباره نوع الگوی توزیع فضایی حاکم بر داده‌ها تصمیم‌گیری می‌کند (Bahri 2018)؛ در این راستا، آماره موران جهانی برای هرکدام از فلزات سنگین محاسبه شد که نتیجه آن در جدول ۲ دیده است. با استناد به این جدول که مقادیر شاخص موران، نمره استاندارد Z و p -value را برای فلزات سنگین نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت تمام فلزات خودهمبستگی فضایی قوی و توزیع خوشه‌ای دارند؛ به گونه‌ای که قوی‌ترین و ضعیف‌ترین خودهمبستگی به ترتیب به عناصر بیسموت و کادمیم مربوط است. شکل ۴ به عنوان نمونه، وضعیت خودهمبستگی را برای عنصر آرسنیک نشان می‌دهد که در محیط نرم‌افزار ArcMap ترسیم شده است؛ بنابراین با توجه به فرضیات محتمل H_0 و H_1 ، فرض صفر که مبنی بر وجود نداشتن ارتباط فضایی بین فلزات سنگین است، رد می‌شود و فرض یک که گویای وجود خودهمبستگی بین این داده‌ها است، تأیید می‌شود؛ یعنی در مقدارهای زیاد یا کم، تمایل به متمرکز شدن در فضا دارند.

همان سلول‌ها احاطه شده است؛ در این حالت، به مجموعه‌ای از سلول‌ها با ارزش زیاد که توسط همسایگانی با ارزش زیاد احاطه شده است، مقادیر زیاد-زیاد (High-High) و به مجموعه‌ای از سلول‌ها با ارزش کم که توسط همسایگانی با ارزش کم احاطه شده‌اند، مقادیر کم-کم (Low-Low) و به هر دو مجموعه، خوشه (Cluster) گفته می‌شود. از سوی دیگر، مقادیر منفی و معنادار I_i بیان می‌کنند عارضاً مدنظر توسط عوارضی که از نظر ارزشی اصلاً با یکدیگر مشابهتی ندارند، احاطه شده‌اند که در این حالت، به دو دسته زیاد-کم (High-Low) و کم-زیاد (Low-High) تقسیم می‌شوند. به این نوع عوارض، ناخوشه (Outlier) گفته می‌شود؛ وجود چنین عوارضی گویای همبستگی فضایی منفی است. به منظور اجرا و محاسبه شاخص‌های موران (جهانی و محلی) از نرم‌افزارهای ArcGIS و GeoDa استفاده شد. شکل ۳، نمودار پراکنش‌نگار موران جهانی است که شیوه قرارگیری نقاط را در چهار ربع یادشده و همچنین نوع خوشه‌ها را نشان می‌دهد. در این نمودار، نشانه‌های H-H، L-L، H-L و H-L گویای چهار ربع از پراکنش‌نگار خودهمبستگی فضایی آماره موران هستند (Khosravi et al. 2018).



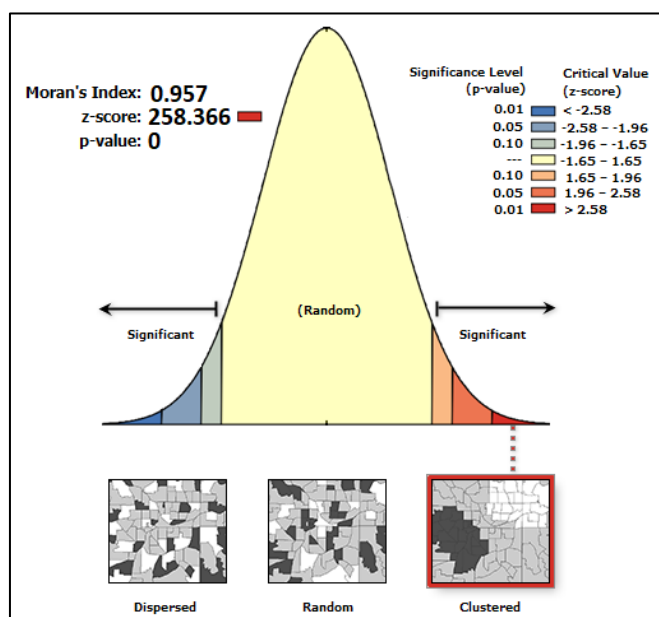
شکل ۳- نمودار پراکنش‌نگار موران جهانی (Khosravi et al. 2018)

جدول ۱- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای عناصر تجزیه و تحلیل شده در منطقه مورد مطالعه؛ مقدار عناصر بر حسب گرم در تن است. میانگین پوسته برگرفته از Wedepohl (1995) است.

As	Bi	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn	
۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	تعداد نمونه
۲۱/۸۳	۰/۳۲	۰/۳۵	۲۰/۳۰	۳۵/۵۷	۶۸/۹۶	۳۷/۶۱	۱/۹۶	۸۲/۷۱	میانگین
۱۷/۵۰	۰/۲۵	۰/۲۷	۱۹/۴۳	۳۰/۵۶	۴۷/۸۹	۲۷/۱۱	۱/۵۰	۷۵/۷۱	میانه
۱۵	۰/۲	۰/۰۸	۸/۵۱	۹/۲۹	۹/۴۸	۱۱/۴۲	۱/۵	۲۲/۱۱	نما
۱۸/۴۲	۰/۳۲	۰/۵۲	۶/۸۱	۲۰/۹۲	۶۶/۱۹	۴۴/۲۹	۱/۶۴	۵۶/۱۷	انحراف معیار
۳۳۹/۳۱	۰/۱	۰/۲۷	۴۶/۳۴	۴۳۷/۷۳	۴۳۸۱/۴۵	۱۹۶۱/۹۰	۲/۶۸	۳۱۵۴/۶۷	واریانس
۴/۰۷	۷/۷۰	۹/۵۹	۰/۹۱	۳/۴۳	۳/۱۴	۵/۵۵	۴/۴۵	۷/۹۴	چولگی
۲۲/۱۵	۷۳/۶۷	۱۰۲/۸۳	۰/۵۳	۱۹/۲۵	۱۴/۹۴	۳۷/۴۰	۳۰/۸۲	۷۷/۹۳	کشیدگی
۱۴۵	۳/۴۰	۵/۸۸	۳۲/۳۰	۱۷۳/۴۳	۲۹۷/۵۲	۳۸۶/۷۴	۱۴/۷۰	۶۲۲/۳۵	دامنه
۵	۰/۱	۰/۰۸	۸/۵۱	۹/۲۹	۹/۴۸	۱۱/۴۲	۰/۳۰	۲۲/۱۱	حداقل
۱۵۰	۳/۵۰	۵/۹۶	۴۰/۸۱	۱۸۲/۷۳	۵۰۷	۳۹۸/۱۶	۱۵	۶۴۴/۴۶	حداکثر
۱/۷	۰/۰۸۵	۰/۱	۲۴	۲۵	۵۶	۱۴/۸	۰/۳	۶۵	میانگین پوسته

جدول ۲- مقادیر خودهمبستگی فضایی موران جهانی، p-value و نمره استاندارد Z برای ۹ عنصر در رسوبات آبراهه‌ای منطقه بایچه‌باغ

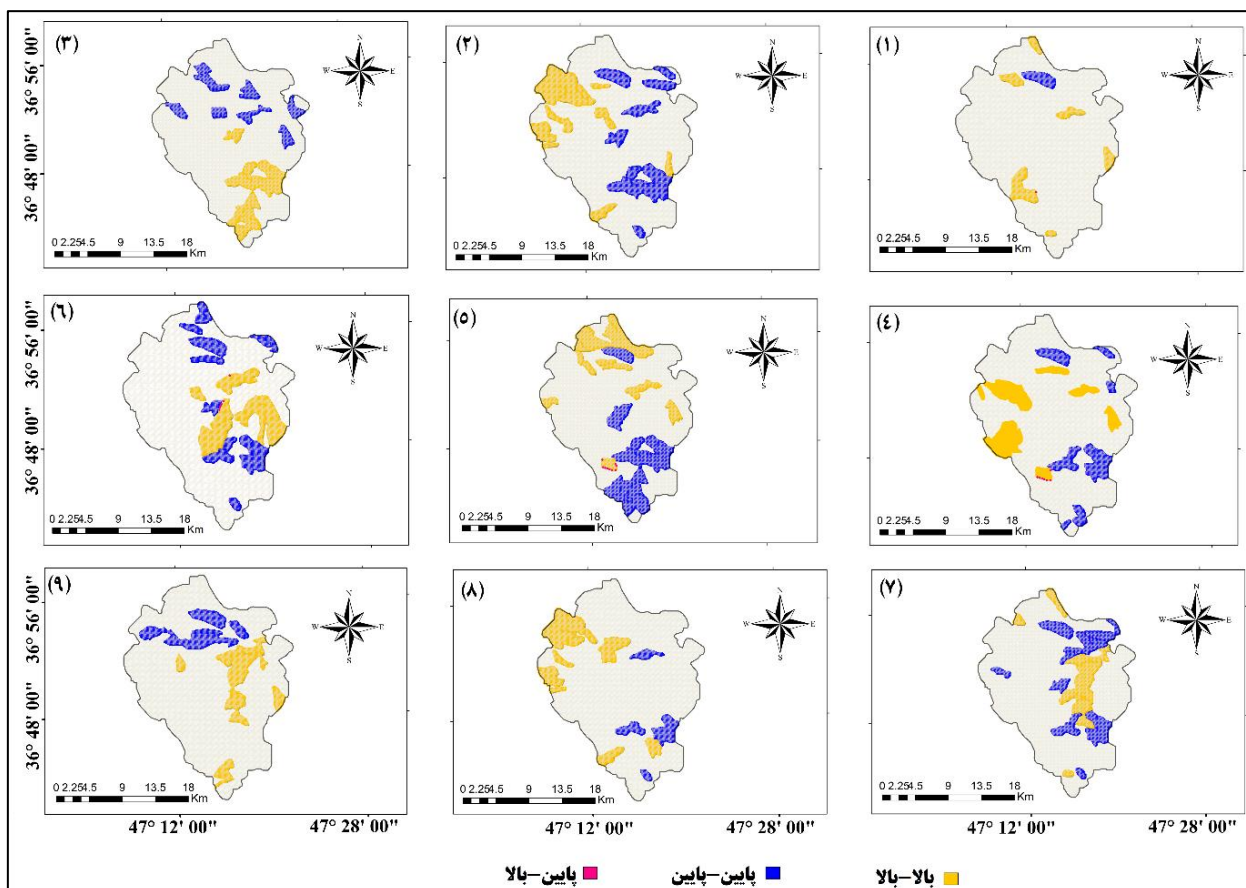
فلز	شاخص موران	نمره استاندارد Z	فلز	شاخص موران	نمره استاندارد Z
آرسنیک	۰/۹۵۷	۲۵۸/۳۶۶	نیکل	۰/۹۶۵	۲۶۰/۴۲۸
بیس‌موت	۰/۹۷۱	۲۶۲/۰۹۸	سرب	۰/۹۶۳	۲۶۰/۰۲۷۷
کادمیم	۰/۹۳۹	۲۵۳/۷۷۱	آنتیموان	۰/۹۶۷	۲۶۱/۰۳۰
کبالت	۰/۹۶۹	۲۶۱/۵۰۴	روی	۰/۹۴۹	۲۵۶/۰۳۹
مس	۰/۹۶۶	۲۶۰/۶۹۴			



شکل ۴- نمایش گرافیکی نتایج خودهمبستگی فضایی آماره موران جهانی برای عنصر آرسنیک

و عناصر مس و سرب به ترتیب بیشترین و کمترین نقاط پایین-پایین را داشته‌اند. شکل ۵، وضعیت تشکیل خوشه‌ها را برای عناصر مختلف نشان می‌دهد. شیوه توزیع نقاط زیاد-زیاد و کم-کم در این نقشه به این شکل است که عناصر کبالت، نیکل و آنتیموان در بخش غربی منطقه بیشترین نقاط زیاد-زیاد و در بخش‌های شرقی منطقه بیشترین نقاط کم-کم را دارند. در زمینه آرسنیک، بیشترین نقاط زیاد-زیاد در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقه، اطراف معدن بایچه‌باغ، اندیس مس قزلجه و غرب معدن بایچه‌باغ و بیشترین نقاط کم-کم در بخش‌های جنوبی منطقه دیده می‌شوند. در زمینه بیسموت، بیشترین نقاط زیاد-زیاد در بخش‌های شرقی و مرکزی منطقه، در نزدیکی معدن بایچه‌باغ و اندیس مس قزلجه و نقاط کم-کم در بخش‌های شمالی و قسمتی از بخش جنوبی منطقه دیده می‌شوند. در مورد عنصر مس، نقاط زیاد-زیاد بیشتر در بخش‌های شمالی منطقه، اطراف معدن بایچه‌باغ و اندیس مس قزلجه و نقاط کم-کم در بخش جنوبی منطقه دیده می‌شوند. در مورد عنصر سرب، نقاط زیاد-زیاد بیشتر دیده می‌شوند و نقاط کم-کم کمتر هستند؛ بیشترین نقاط زیاد-زیاد در نزدیکی معدن بایچه‌باغ، اندیس مس قزلجه و قسمتی از بخش شمالی منطقه و همچنین بخش جنوب‌غربی منطقه دیده می‌شوند. بیشترین نقاط زیاد-زیاد در مورد عنصر روی در بخش شمالی منطقه و همچنین در اطراف معدن بایچه‌باغ، در امتداد آبراهه بایچه‌باغ-علم‌کندی دیده می‌شود.

با بررسی آماره موران جهانی مشخص شد فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه ساختار فضایی دارند و به شکل خوشه‌ای توزیع شده‌اند؛ به این معنا که مقادیر زیاد یا کم تمایل به متمرکز شدن یا خوشه‌ای شدن در فضا دارند، اما ابزار موران جهانی قادر به شناسایی نوع این خوشه‌ها نیست؛ در نتیجه، به منظور مشخص کردن نوع خوشه‌های فضایی، کشف محل تشکیل آنها و تشخیص نوع خوشه‌های افزایش یافته از ابزار موران محلی (Anselin Local Moran's I) استفاده شد. آماره موران محلی در بیان کلی، میزان خودهمبستگی یا تمایزهای فضایی بین مقادیر سلول‌های مجاور در یک محدوده جغرافیایی را تعیین و معنادار بودن آن را آزمون می‌کند. انجام آماره موران محلی روی فلزات سنگین به این شکل انجام شد که نقاط زیاد-زیاد، زیاد-کم، کم-کم و کم-زیاد برای فلزات سنگین شمارش شدند و روند تغییرات این نقاط بررسی شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد آماره موران محلی اکثراً حاوی ارزش‌های زیاد-زیاد و کم-کم است؛ به این معنا که در منطقه مورد مطالعه، گاهی ارزش‌های زیاد با نقاط دارای ارزش‌های زیاد محاصره شده‌اند (زیاد-زیاد) و گاهی ارزش‌های کم با دیگر ارزش‌های کم احاطه شده‌اند (کم-کم) و تعداد خوشه‌های کم-زیاد و زیاد-کم که نشان‌دهنده معنادار نبودن است، بسیار کم است. جدول ۳، تعداد نقاط زیاد-زیاد و کم-کم را برای فلزات سنگین نشان می‌دهد. با استناد به این جدول مشخص می‌شود عناصر بیسموت و سرب به ترتیب بیشترین و کمترین نقاط زیاد-زیاد



شکل ۵- وضعیت تشکیل خوشه‌ها برای عناصر آرسنیک (۱)، بیسموت (۲)، کادمیم (۳)، کبالت (۴)، مس (۵)، نیکل (۶)، سرب (۷)، آنتیموان (۸) و روی (۹)

جدول ۳- تعداد خوشه‌های فضایی عناصر بر پایه ابزار موران محلی در رسوبات آبراهه‌ای منطقه بایچه‌باغ

فلز	زیاد-زیاد	کم-زیاد	کم-کم	فلز	زیاد-زیاد	کم-زیاد	کم-کم
آرسنیک	۲۴۵۳	۰	۳۵۶۵	نیکل	۴۱۵۳	۰	۱۴۳۷
بیسموت	۴۲۱۷	۶	۳۶۵۵	سرب	۱۸۳۴	۱	۴۹۹
کادمیم	۳۰۶۱	۰	۲۳۹۵	آنتیموان	۳۷۰۸	۷	۲۶۶۰
کبالت	۴۲۰۵	۰	۴۱۲۴	روی	۳۱۳۳	۰	۴۱۰۲
مس	۴۱۰۶	۹	۵۲۰۱				

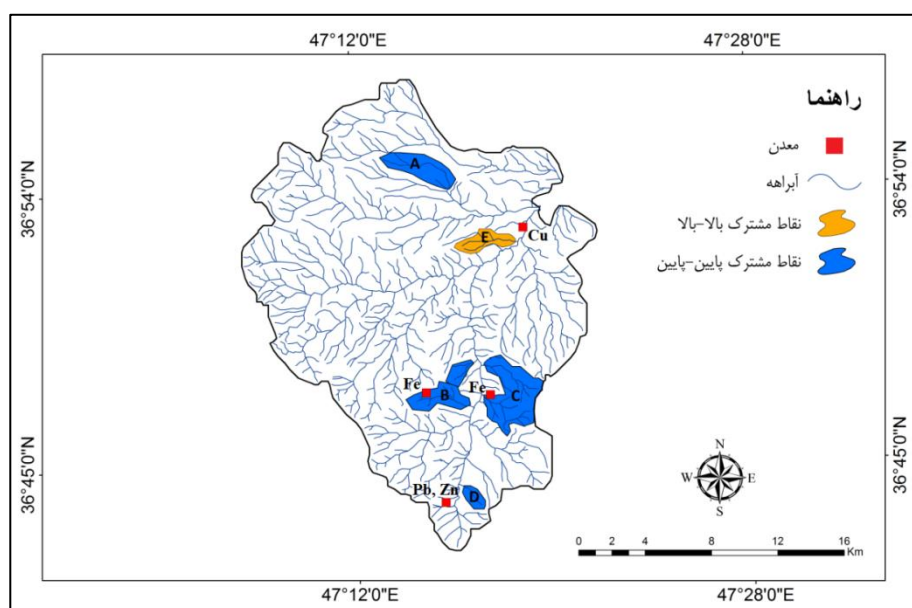
به فلزات سنگین را نشان می‌دهد. به منظور درک بهتر این موضوع که هر کدام از پهنه‌ها از نظر کدام یک از فلزات بیشترین آلودگی‌ها را دارند، پهنه‌ها به روش زیر نام‌گذاری شدند. بر اساس این نقشه، پهنه A محدوده مشترک کم-کم بین عناصر بیسموت، کادمیم، کبالت، مس، آنتیموان، سرب و روی، پهنه E محدوده مشترک زیاد-زیاد بین عناصر آرسنیک، بیسموت، کادمیم، مس، آنتیموان، سرب و روی و پهنه‌های B، C و D

به منظور شناسایی آلوده‌ترین بخش‌های منطقه که غلظت زیاد فلزات سنگین ناشی شده‌اند، ابتدا نقشه‌های مقادیر زیاد-زیاد تمام فلزات که نشان‌دهنده مقادیر زیاد غلظت هر کدام از فلزات است، ترسیم شد؛ سپس با روی هم‌گذاری تمام نقشه‌ها، پهنه‌هایی از مقادیر زیاد-زیاد که بیشترین وجه اشتراک مکانی را داشتند، آلوده‌ترین مناطق در نظر گرفته شدند. شکل ۶ حاصل روی هم‌گذاری تمام نقشه‌هاست که آلوده‌ترین مناطق

جهانی دومتغیره، عدد مثبت شاخص موران بیان‌کننده خودهمبستگی و ارتباط مثبت فلزات سنگین و عدد منفی این شاخص نشان‌دهنده خودهمبستگی و رابطه منفی شاخص‌هاست؛ بنابراین باتوجه به فرضیات محتمل (H_0) و (H_1)، فرض صفر که مبنی بر وجودنداشتن ارتباط فضایی بین فلزات سنگین است، رد می‌شود و فرض یک که بیان‌کننده وجود خودهمبستگی (مثبت و منفی) بین این داده‌هاست، تأیید می‌شود. در مرحله بعد، نمودارهای آماره دومتغیره موران محلی برای بررسی چگونگی ارتباط فضایی هرکدام از عناصر مرتبط استفاده شدند. بر اساس این نمودارها، می‌توان چگونگی توزیع فضایی مقادیر دو فلز موردسنجش را در چهارحالت مختلف ارزیابی و نوع ارتباط هرکدام از مقادیر دو فلز را مشخص کرد (شکل‌های ۷ تا ۱۰). توزیع داده‌ها در ربع‌های اول و چهارم نشان‌دهنده رابطه منفی و معکوس و در ربع‌های دوم و سوم نشان‌دهنده رابطه مثبت و مستقیم است. بر اساس شکل‌های ۷ تا ۱۰، توزیع داده‌ها در ربع دوم (H-H) بیشتر از سایر ربع‌هاست و این موضوع، رابطه مثبت و مستقیم داده‌ها را نشان می‌دهد؛ به این معنا که مقادیر زیاد هرکدام از عناصر با مقادیر زیاد دیگر عناصر مرتبط همبستگی دارند.

محدوده مشترک کم-کم بین عناصر آرسنیک، بیسموت، کبالت، مس، آنتیموان، روی و بخشی از نیکل هستند. درمجموع نتیجه گرفته می‌شود مهم‌ترین منطقه برای تمرکز زیاد فلزات سنگین مورد مطالعه در منطقه، محدوده E است که بیشترین اشتراک را بین فلزات سنگین (توسط نقاط زیاد-زیاد در هفت فلز سنگین مشترک) دارد؛ گفتنی است این محدوده در غرب معدن مس بایچه‌باغ و منطبق بر کانه‌زایی‌های پلی‌متال رگه-رگچه‌ای این منطقه قرار دارد.

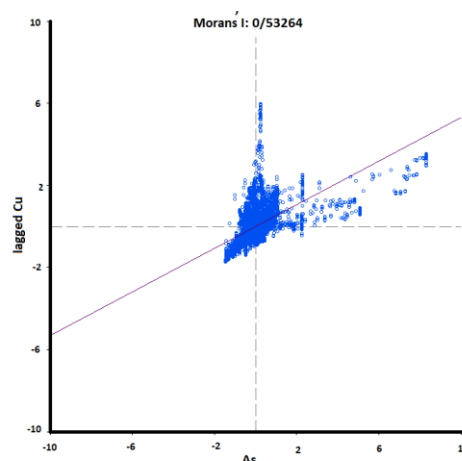
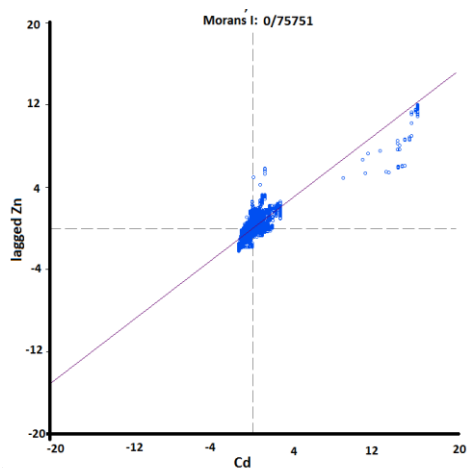
به‌منظور بررسی ارتباط بین فلزات سنگین و تعیین نوع توزیع فضایی حاکم بر این داده‌ها، ابتدا باید مشخص شود چه نوع رابطه فضایی‌ای بین هرکدام از فلزات وجود دارد و سپس چگونگی ارتباط و پراکنش فضایی بین فلزاتی که بیشترین ارتباط مکانی را دارند، بررسی شود؛ در این راستا، استفاده از آماره موران جهانی دومتغیره یکی از بهترین روش‌هاست. نتایج این تحلیل در جدول ۵ دیده می‌شوند. بر اساس این جدول، مقادیر شاخص موران جهانی دومتغیره برای عناصر آرسنیک و مس، کادمیم و روی، کبالت و نیکل، سرب و آنتیموان زیاد و مثبت (بیشتر از ۰/۵) است که رابطه مستقیم عناصر یادشده را بیان می‌کند. گفتنی است در تحلیل موران



شکل ۶- نقشه محدوده بحرانی فلزات سنگین در محدوده بایچه‌باغ

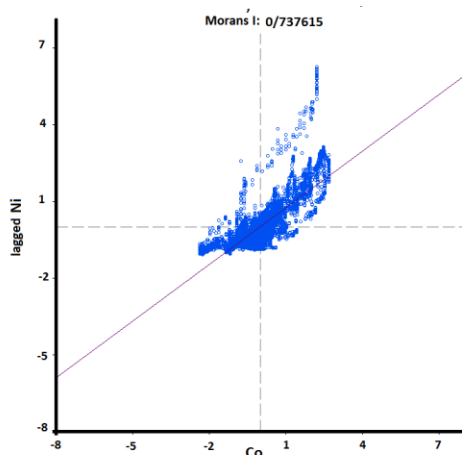
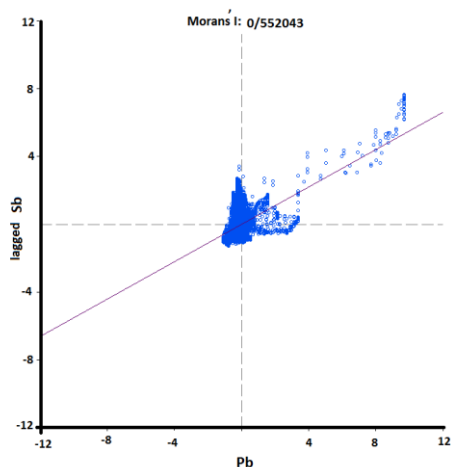
جدول ۵- مقادیر شاخص موران جهانی دومتغیره برای فلزات سنگین

	As	Bi	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn
As	۱/۰۰								
Bi	۰/۲۴۰	۱/۰۰							
Cd	۰/۰۰۶۸	۰/۳۴۱	۱/۰۰						
Co	۰/۲۵۰	۰/۰۷۷	-۰/۰۰۲	۱/۰۰					
Cu	۰/۵۳۲	۰/۱۹۴	۰/۰۷۵	۰/۳۷۶	۱/۰۰				
Ni	۰/۱۱۸	-۰/۰۸۲	-۰/۰۷۰۸	۰/۷۳۷	۰/۱۵۵	۱/۰۰			
Pb	۰/۰۷۰۳	۰/۲۳۰	۰/۳۱۵	۰/۰۶۰	۰/۴۰۵	-۰/۰۳۷	۱/۰۰		
Sb	۰/۳۶۸	۰/۴۰۴	۰/۱۸۱	۰/۲۰۸	۰/۴۷۴	۰/۱۰۰	۰/۵۵۰	۱/۰۰	
Zn	۰/۰۱۵۷	۰/۳۵۰	۰/۷۵۷	۰/۲۶۵	۰/۲۳۵	۰/۰۷۶	۰/۳۲۳	۰/۱۸۱	۱/۰۰



شکل ۸- نمودار پراکنش‌نگار موران جهانی دومتغیره عناصر کادمیم و روی

شکل ۷: نمودار پراکنش‌نگار موران جهانی دومتغیره عناصر آرسنیک و مس



شکل ۱۰: نمودار پراکنش‌نگار موران جهانی دومتغیره عناصر سرب و آنتیموان

شکل ۹: نمودار پراکنش‌نگار موران جهانی دومتغیره عناصر کبالت و نیکل

نتیجه

به‌منظور تعیین نوع توزیع فضایی حاکم بر داده‌ها از خودهمبستگی فضایی موران جهانی استفاده شد. نتایج این تحلیل نشان دادند تمام فلزها خودهمبستگی قوی و توزیع خوشه‌ای دارند؛ به این ترتیب که شاخص موران برای تمام فلزها بیش از ۰/۹ است و در بین آنها، قوی‌ترین و ضعیف‌ترین خودهمبستگی به ترتیب به عناصر بیسموت و کادمیم تعلق دارد؛ بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت فلزات سنگین مورد مطالعه ساختار فضایی دارند و به شکل خوشه‌ای توزیع شده‌اند؛ به این مفهوم که در مقادیر زیاد یا کم تمایل به متمرکز شدن در فضا دارند و از عوامل تقریباً یکسانی تأثیر می‌پذیرند. نتایج تحلیل موران محلی نشان دادند عناصر بیسموت و سرب به ترتیب بیشترین و کمترین نقاط زیاد-زیاد و عناصر مس و سرب به ترتیب بیشترین و کمترین نقاط کم-کم را دارند. بر اساس آماره موران محلی، آلوده‌ترین محدوده منطقه مورد مطالعه در غرب معدن بایچه‌باغ و منطبق بر کانه‌زایی‌های پلی‌متال رگه-رگچه‌ای و دگرسانی‌های مرتبط موجود در این منطقه تشخیص داده شد؛ این فلزات شامل هفت فلز آرسنیک، بیسموت، کادمیم، مس، آنتیموان، سرب و روی دارای اشتراک بین نقاط زیاد-زیاد در این محدوده هستند. نتایج تجزیه و تحلیل نمونه‌های برداشت شده از رسوبات آبراهه‌ای گویای اینست که منشأ غلظت عناصر مورد مطالعه زمین‌زاد و در ارتباط با کانی‌سازی‌ها و دگرسانی‌هاست.

References

- in the Swiss Jura. *Environmental Pollution*, 86: 315-327.
- Babakhani A.R. and Galmgash J. 1996. Geological map of Takhte-e-Soleyman in 1:100000 scale. Geological Survey of Iran (GSI).
- Baghaie A.H. Khademi H. and Mohammadi J. 2007. Geostatistical analysis of spatial variability of Lead and Nickel around two industrial factories in Isfahan province. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, 14(2): 11-19.
- Bahri A. 2018. Analysis of sea Surface temperature (SST) with climatic approach, A case study of OmanSea, MS.c thesis, Environmental Sciences, University of Zanjan. .
- Byrne P. Reid I. and Wood P.J. 2010. Sediment geochemistry of streams draining abandoned lead/zinc mines in central Wales: the Afon Twymyn. *Journal of Soils and Sediments*, 10: 683-697.
- Chen T. Liu X. Zhu M. Zhao K. Wu J. Xu J. and Huang P. 2008. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China. *Environmental Pollution*, 151: 67-78.
- Clark M.W. McConchie D. Lewis D.W. and Saenger P. 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in Avicennia-dominated mangrove sediments: a geochemical model. *Chemical Geology*, 149: 147-171.
- Ghazvinizadeh A.M. 2005. Study of lead and zinc deposit in Zanjan province. Ms thesis, Kharazmi University, Iran, 135p.
- Gognou C. and Fisher N.S. 1997. The bioavailability of sediment bound Cd, Co, and Ag to the mussel *Mytilus edulis*. *Canadian Journal Fish Aquatic Science*, 54: 147-156.
- Goodchild M.F. 1987. A spatial analytical perspective on geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 1: 327-334.
- Goovaerts P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press on Demand.
- Gu Y.G. Li Q.S. Fang J.H. He B.Y. Fu H.B. and Tong Z.J. 2014. Identification of heavy metal sources in the reclaimed farmland soils of the pearl river estuary in China using a multivariate geostatistical approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 105: 7-12.
- Iavazzo P. Ducci D. Adamo P. Trifuoggi M. Migliozi A. and Boni M. 2012. Impact of past mining activity on the quality of water and soil in the High Moulouya Valley (Morocco). *Water, Air, and Soil Pollution*, 223: 573-589.
- Afshari A. Khademi H. and Dalavar M.A. 2016. Evaluation of heavy metals pollution using contamination factor in land with different uses in the central part of Zanjan province. *Journal of Water and Soil Science*, 25: 41-52.
- Alijani B. 2016. Spatial Analysis. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3: 1-14.
- Anselin L. 1995. Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis*, 27: 93-115.
- Atteia O. Dubois J.P. and Webster R. 1994. Geostatistical analysis of soil contamination

- Nouri F. Mokhtari M.A.A. Izadyar J. and Kouhestani H. 2016. Geological and mineralogical characteristics of Alamkandi Fe deposit, west of Zanjan. 35th Conference on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Rahimpour F. and Abbaspour R.A. 2014. Zoning the soil heavy metals contamination using kriging and RBF methods case study: Harris city. Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 23: 55-67.
- Sadeghi nia A.R. Alijani B. Zeyaeian P. and Khaledi S. 2013. Application of spatial autocorrelation techniques in the analysis of thermal island in Tehran. Journal of Applied Researches in Geographical Sciences, 13: 67-90.
- Shahbazi A. Sefianian A.R. MirGhaffari N and. Einghalaei M.R. 2013. Investigation of soil heavy metal contamination using factor influencing, accumulation indices and comprehensive factor of pollution index (study area: nahavand County). Journal of Environment and Development, 3: 31-38.
- Sistani N. Moeinadini M. Khorasani N. Hamidian A. Ali-Taleshi M. Azimi and Yancheshmeh R. 2017. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. Iranian Journal of Health and Environment, 10: 75-86.
- Wedepohl K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 1217-1232.
- Wei B. and Yang L. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, 94: 99-107.
- Yazi M. 2002. Conventional methods in geochemical explorations. Shahid Beheshti University Press.
- Zare Khosh Eghbal M. Fereydoun Ghazban F. Dr.Frood Sharifi F. and Khosro Tehrani K. 2012. Using geostatistics and GIS to heavy metal pollution zonation in Anzali wetland sediments. *Journal of the Earth*, 6(19): 33-49.
- Kabata-Pendias A. 2010. Trace elements in soils and plants. CRC press.
- Khodaei Kalam S. 2015. Investigation of environmental pollution of toxic elements of mineralization in West Azarbaijan province. MS.c thesis, Environmental Sciences, University of Zanjan.
- Khosravi Y. Lashkari H. Matkan A. and Asakareh H. 2017. Modeling of Spatial Relationships of Water Vapor Pressure using Spatial Statistics Techniques. Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 26: 81-98.
- Khosravi Y. Zamani A.A. Parizanganeh A.H. and Yaftian M.R. 2018. Distribution of heavy metals in soils around the lead and zinc production plant in Zanjan. *Iranian Journal of Soil Research*, 31: 627-639.
- Lashkari H. Matkan A.A. Asakereh H. and Khosravi Y. 2016. Spatial analysis of water vapor pressure in south and south west of Iran using by geostatistics. *Journal of Remote Sensing and GIS*, 8: 35-352.
- Lotfi M. and Karimi M. 2004. Mineralization and formation of a type of ore deposit (Ni-Co-As-Bi) of the Bayche Bagh (Northwest of Zanjan, Iran). *Geosciences, Scientific Quarterly Journal*, 53: 40-55.
- Martín J.A.R. Arias M.L. and Corbí J.M.G. 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environmental Pollution*, 144: 1001-1012.
- Nadian M. Mirzaei R. and Soltani Mohammadi S. 2018. Application of Moran's I Autocorrelation In Spatial-Temporal Analysis of PM2.5 pollutant (A case Study: Tehran City). *Journal of Environmental Health Engineering*, 5: 197-213.
- Naifar I. Pereira F. Zmemla R. Bouaziz M. Elleuch B. and Garcia D. 2018. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in marine sediments of the southern coast of Sfax, Gabes Gulf, Tunisia. *Marine Pollution Bulletin*, 131: 53-62.