

بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های شهرستان فریدون‌شهر، استان اصفهان

رامین ساریخانی^۱، امین جمشیدی^{۲*}، شیرین بهرامی^۳ و آرتیمس قاسمی‌دهنوی^۴

۱ و ۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

نویسنده مسئول: *jamshidi.am@lu.ac.ir

دریافت: ۹۹/۵/۲۶ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۱

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در پژوهش حاضر، میزان غلظت و توزیع مکانی آلودگی‌های مرتبط با عناصر سنگین در خاک‌های شمال شهرستان فریدون‌شهر (استان اصفهان)، مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این پژوهش، تعداد ۲۲۰ نمونه خاک برداشت شده و پس از تجزیه توسط فناوری طیف‌سنج جرمی جفت شده پلاسمای القایی (ICP-MS)، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین توسط شاخص‌های زیست‌محیطی شامل شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index, I_{geo})، شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index, PLI)، ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor, E_f) و ضریب آلودگی (Contamination Factor, C_f) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج شاخص زمین‌انباشت نشان‌دهنده آن است که خاک منطقه از عناصر Cr و Sc در محدوده آلوده قرار گرفته است. شاخص بار آلودگی در همه عناصر به استثنای Mn مقادیر بالایی را نشان می‌دهد، این در حالی است که ضریب غنی‌شدگی عناصر Cr, Mn, Sr, Pb نشان می‌دهد که خاک منطقه دارای آلودگی است. شاخص ضریب آلودگی، آلودگی بسیار بالایی را برای عنصر Cr نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر غلظت فلزات سنگین مرتبط با عناصر Mn و Ba است. پراکندگی همه عناصر به استثنای عناصر B و Co دارای توزیع نامتقارن هستند.

واژگان کلیدی: خاک، آلاینده، شاخص زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی، شاخص بار آلودگی

۱- پیشگفتار

خاک پوشش ناپیوسته‌ای از ذرات آواری در سطح زمین است که ممکن است از سنگ‌ها و رسوبات به طور درجا یا در اثر حمل و نقل مواد تشکیل شده باشد. یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های خاک که می‌تواند تاثیر زیادی بر سلامت موجودات زنده و مهم‌تر از همه انسان‌ها داشته باشد فلزات سنگین هستند (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ طاهری و همکاران، ۲۰۱۶؛ سوتهرلند، ۲۰۱۷). فلزات سنگین با ورود به بدن انسان می‌توانند در بافت‌ها تجمع یابند و روی سیستم عصبی و گردش خون تاثیر بگذارند. همچنین این فلزات سبب اختلال عملکرد طبیعی اندام‌های داخلی می‌شوند یا ممکن است عامل کمکی برای ایجاد بیماری‌های دیگر باشند (دبیری و بشیری بد، ۱۳۹۶؛ اوبا و همکاران ۲۰۱۹). این فلزات می‌توانند از طریق فرایندهای طبیعی یا انسانی از رسوبات به آب آزاد شوند. در نتیجه باعث خطر بالقوه برای اکوسیستم‌ها می‌شوند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۲؛ مکردی و همکاران،

۲۰۰۶؛ مهرا و همکاران، ۲۰۱۳). عناصری نظیر جیوه، سرب، کادمیوم، کروم، نیکل، روی، سلنیوم و نظایر آن‌ها عناصری هستند که در خاک بسیار ساکن هستند و تحرک ناچیزی دارند، بنابراین ممکن است سالیان سال در خاک بمانند. این گونه آلودگی‌ها در خاک از افزودن لجن^۱، کودهای فسفاته، نزولات جوی، ضایعات رنگ و دود حاصل از سوخت طبیعی، زغال و منابع دیگر به محیط حاصل می‌شوند (غضبان، ۱۳۸۱؛ طهماسبی و همکاران، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰). مطالعات متعددی در زمینه پراکنش فلزات سنگین موجود در خاک‌های مختلف از قبیل شهری، صنعتی و نظایر آن انجام شده است. در مطالعه قدیمی و مقیمی (۱۳۹۰) خاک مناطق اطراف معدن سرب و روی انگوران مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی مشخص شد میزان آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه بسیار بالا بوده که این آلودگی متأثر از فعالیت‌های منطقه معدنی بوده است. در پژوهش ماشیو تولا و

¹ Sludge

تجمع جغرافیایی برای کادمیوم در همه نمونه‌ها بسیار بالا و فاکتور غنی‌شدگی نیز مقدار بسیار بالایی را نشان می‌دهد که در اثر فعالیت‌های معدنی طلا در منطقه می‌باشد. با توجه به اهمیت آلودگی عناصر سنگین در خاک و تأثیری که بر سلامت موجودات زنده به خصوص انسان دارد، این پژوهش به منظور بررسی غلظت و آلودگی عناصر سنگین در خاک‌های شمال شهرستان فریدون‌شهر (استان اصفهان) با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی شامل زمین‌انباشت، بارآلودگی، ضریب غنی‌شدگی و ضریب آلودگی انجام شده است. همچنین توزیع مکانی غلظت عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه نیز بررسی شده است.

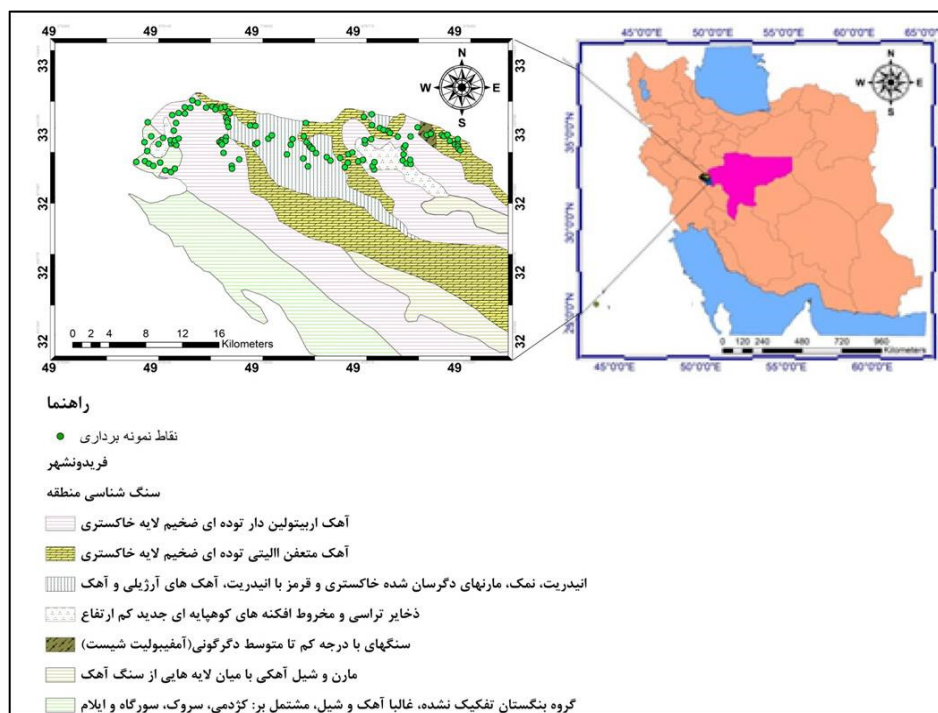
۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

از لحاظ موقعیت جغرافیایی، فریدون‌شهر یکی از شهرستان‌های باختر استان اصفهان است (شکل ۱). ارتفاع این شهر از سطح دریا ۲۵۳۰ متر که در مختصات جغرافیایی بین $48^{\circ} 15'$ تا $48^{\circ} 23'$ طول خاوری و بین $33^{\circ} 30'$ تا $33^{\circ} 37'$ عرض شمالی قرار دارد. دمای هوا در بعضی روزهای زمستان به کمتر از 20° درجه سانتی‌گراد می‌رسد. این در حالی است که در فصل تابستان شرایط آب و هوای مطلوبی (25° درجه سانتی‌گراد) در این منطقه وجود دارد. رطوبت هوا در شهرستان فریدون‌شهر از حدود ۱۰ درصد در ماه‌های گرم تا بیش از ۸۵ درصد در ماه‌های سرد متفاوت است (بهار فیروزی و نوواواری، ۱۳۸۴). از نظر زمین‌شناسی بخش زیادی از محدوده مورد مطالعه در مرکز و شمال به صورت تپه‌های بطور عمده کشیده از سازندهای آهکی کرتاسه است که تا اندازه‌ای هموار و با شیب ملایم به سوی سرشاخه‌های رودخانه زاینده‌رود دیده می‌شود. در بخش‌های پست و به نسبت هموار، سازندهای دگرگونه و غیردگرگونی تریاس و ژوراسیک و همچنین انباشته‌های آبرفتی متعلق به پادگانه‌های مختلف زاینده‌رود گسترش دارند. در قسمت‌های شمالی منطقه، سازند گچساران با ترکیب انیدریت و مارن‌های دگرسان شده وجود دارد. قسمت عمده‌ای از باختر منطقه از آهک‌های اربیتولین‌دار و آهک‌های الیتی توده‌ای تشکیل شده است. در قسمت‌های جنوب باختری منطقه مورد مطالعه، لایه‌های متشکل از آهک و شیل که مشتمل بر سازند کژدمی،

همکاران (۲۰۱۳)، نتایج محاسبه شده شاخص زمین‌انباشت نشان داد که تنها روی و سرب به عنوان آلاینده‌های متوسط در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده‌اند و سایر فلزات وضعیت آلوده را برای ایستگاه‌های مختلف نشان دادند. دهر آزما و همکاران (۱۳۹۳) بررسی غلظت عناصر سنگین در خاک‌های متأثر از معدن متروکه سرب و روی در جنوب‌شرقی تکاب را مطالعه کردند و نتایج آن‌ها حاکی از آلودگی شدید خاک حاصله از باطله‌ها نسبت به فلزات سرب، روی، کادمیوم و مس می‌باشد و همچنین عناصر سرب، روی، آرسنیک و نقره نیز غنی‌شدگی بی‌نهایت دارند. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مرکزی استان زنجان نشان داد که غلظت بالای برخی از فلزات سنگین و میانگین بالاتر از مقدار زمینه آن‌ها نشان دهنده تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی در منطقه می‌باشد که از بین عناصر مورد بررسی سرب، روی، مس و کادمیوم دارای چنین شرایطی بودند (افشاری و همکاران، ۱۳۹۴). ملک‌زاده (۲۰۱۴) توزیع مکانی سرب، کادمیم، نیکل در خاک‌های محدوده بختیار دشت اصفهان را مطالعه کرد. نتایج حاصل از محاسبه غلظت فلزات سنگی با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران نشان داد که غلظت نیکل بیش‌تر و غلظت سرب و کادمیم کمتر از حد مجاز است. میهالویچ (۲۰۱۵) توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک‌های شهری نووی ساد صربستان را بررسی کرد و نتایج حاصل از روش‌های آماری چندمتغیره نشان داد فلزات آرسنیک، کبالت، کروم، منگنز و نیکل منشا طبیعی دارند در حالی که فلزات مس، سرب و روی دارای منشا انسانی می‌باشند. بررسی آلودگی فلزات سنگین بر روی خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان توسط سیستانی و همکاران (۱۳۹۶) صورت گرفت. نتایج آنالیز و بررسی شاخص‌های آلودگی خاک توسط این پژوهشگران نشان داد که ۹۰ درصد نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط تا قابل توجه با عنصر سرب هستند. همچنین مشخص گردید که غلظت بالای سرب و کادمیوم تحت تأثیر مجتمع‌های فولاد بوده و غلظت سایر عناصر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی می‌باشد. طهماسی و همکاران (۲۰۱۹) آلودگی عناصر سنگین معدنی در منطقه کوه زر (شمال‌خاور ایران) بر روی خاک‌های کشاورزی و منطقه معدنی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که شاخص

جدید کم ارتفاع قرار دارد. در خاور محدوده مورد مطالعه، در منطقه دودوزان، معدن باریت قرار دارد که تعدادی از نمونه‌ها مورد مطالعه از آن محدوده برداشت شده است.

سروک، سورگه و ایلام است، قرار دارد. در قسمت‌های خاوری، آهک‌های الیتی توده‌ای و هم‌چنین آهک‌های اربیتولین و ذخایر ترسی و مخروط‌افکنه کوهپایه‌ای



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی و نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه (بهار فیروزی و ناواجاری، ۱۳۸۴)

۳- مواد و روش‌ها

در ابتدا همه نمونه‌های خاک با وزن ۱ تا ۱/۵ کیلوگرم و با کنار زدن خاک سطحی از عمق ۵ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک توسط بیلچه تمیز و بدون رنگ جمع‌آوری شد. هر نمونه خاک شامل سه زیر مجموعه می‌باشد که با فاصله ۲ متر از هم برداشت و سپس در محل نمونه‌برداری روی نایلون تمیز ریخته و با هم مخلوط شدند. در نهایت به مقدار سه کیلوگرم از نمونه در کیسه نایلونی تمیز و محکم ریخته و به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شدند. موقعیت جغرافیایی هر نمونه توسط دستگاه GPS ثبت و به هر نمونه یک کد اختصاص داده شد. شکل (۱) نقاط نمونه‌برداری را نمایش می‌دهد. به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین شامل عناصر Mn, Ni, Cu, Cr, Co, B, Zn, V, Y, Zn, Sr, Pb, Sc, Ba از فناوری طیف‌سنج جرمی جفت شده پلاسمای القایی (ICP-MS) استفاده شد. روش فوق‌الذکر بهترین گزینه جهت آنالیز عناصر سنگین در آب و خاک بوده و دارای دقت بالا و حد تشخیص ppm و دامنه تشخیص ۵۶ عنصری می‌باشد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزارهای IBM SPSS Statistics 23 و Excel استفاده شده است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- شاخص‌های آلودگی عناصر سنگین و تجزیه و

تحلیل آن‌ها

شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})

در تحلیل‌های زیست‌محیطی، از شاخص زمین‌انباشت به منظور مشخص کردن سطح آلودگی و میزان تاثیر عوامل انسان‌زاد از عوامل طبیعی استفاده می‌شود. شاخص زمین‌انباشت، شاخص تجمع ژئوشیمیایی و یا شاخص شدت آلودگی در خاک و رسوبات می‌باشد که توسط میلر (۱۹۶۹) ارایه شده است. این شاخص می‌تواند بیانگر شدت تاثیر عوامل خارجی (انسان‌زاد) باشد (آنگانستو و کابری، ۱۹۹۷). شاخص زمین‌انباشت از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$I_{geo} = \text{Log} \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad (1)$$

در این رابطه I_{geo} شاخص زمین‌انباشت، C_n غلظت فلز سنگین در خاک یا رسوب و B_n غلظت زمینه مورد نظر (متوسط شیل) می‌باشد که در جدول (۱) ارائه شده است. ضریب ۱/۵ در این رابطه به منظور تصحیح اثرات زمین‌شناختی در محیط و تغییرات جزئی که در اثر فعالیت‌های انسانی ممکن است به وجود آید، استفاده می‌شود (ایبای، ۲۰۰۴). بر اساس طبقه‌بندی میلر (۱۹۶۹) هفت رده آلودگی فلزات سنگین بر اساس شاخص زمین‌انباشت می‌توان در نظر گرفت (جدول ۲).

نتایج شاخص زمین‌انباشت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده‌اند. برای بررسی میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین، مقادیر شاخص زمین‌انباشت محاسبه شده با مقادیر جدول (۲) مقایسه شده‌اند. بررسی شاخص زمین‌انباشت برای عناصر V, B, Ba و Mn نشان می‌دهد که هیچ کدام از نقاط نمونه‌برداری دارای آلودگی نمی‌باشند (مقدار شاخص زمین‌انباشت منفی است). همچنین بررسی شاخص زمین‌انباشت برای عنصر Co نشان می‌دهد که از کل نقاط نمونه‌برداری، تعداد ۴۵ نقطه دارای آلودگی متوسط هستند (شاخص زمین‌انباشت بین ۱ تا ۲) و در سایر نقاط آلودگی خاک به این فلز مشاهده نشده است (شاخص زمین‌انباشت منفی). شاخص زمین‌انباشت برای عنصر Cr در بیش‌تر نقاط غیرآلوده تا متوسط (شاخص زمین‌انباشت بین صفر تا ۱) و در تعداد محدودی از نقاط نمونه‌برداری آلودگی متوسط تا شدید نشان می‌دهد (شاخص زمین‌انباشت بین ۲ تا ۳). بر اساس شاخص زمین‌انباشت، خاک نسبت به عنصر Cu غیرآلوده تا آلودگی متوسط دارد (شاخص زمین‌انباشت بین صفر تا ۱). شاخص زمین‌انباشت برای عنصر Ni نشان‌دهنده این است در تعداد محدودی از نقاط نمونه‌برداری دارای آلودگی متوسط (شاخص زمین‌انباشت بین ۱ تا ۲) و در سایر نقاط فاقد آلودگی است (شاخص زمین‌انباشت منفی). بررسی شاخص زمین‌انباشت عنصر Pb در اکثر نقاط نشان‌دهنده آلودگی کم خاک است (شاخص زمین‌انباشت منفی). شاخص زمین‌انباشت عنصر Cs در اکثر نقاط غیرآلوده و آلودگی متوسط را نشان می‌دهد (شاخص زمین‌انباشت بین صفر تا یک). شاخص زمین‌انباشت عنصر Sr در همه نقاط بدون آلودگی است

(شاخص زمین‌انباشت منفی). شاخص زمین‌انباشت عنصر Y در همه نقاط غیرآلوده بودن خاک را نشان می‌دهد (شاخص زمین‌انباشت بین صفر تا یک). شاخص زمین‌انباشت عنصر Zn در همه نقاط بدون آلودگی می‌باشد (شاخص زمین‌انباشت منفی) و فقط در تعداد محدودی از نقاط آلودگی متوسط نشان می‌دهد (شاخص زمین‌انباشت بین ۱ تا ۲). بر اساس داده‌های جدول (۳) عناصر Mn, Ba, B, Cu, Zn, Sr, Ni, V, Co, Y, Pb, Sc, Cr به ترتیب یک روند کاهشی در شاخص زمین‌انباشت را نشان می‌دهند. این نشان‌دهنده این است که منطقه مورد مطالعه به ترتیب یک روند افزایشی در آلودگی خاک به این فلزات را نشان می‌دهد به طوری که خاک‌های منطقه نسبت به Cr دارای بیش‌ترین آلودگی و نسبت به Mn دارای کمترین آلودگی است. بر اساس جدول ۳، عناصر Cr و Sc دارای میانگین شاخص زمین‌انباشت بین صفر تا یک هستند که نشان‌دهنده غیرآلوده تا آلودگی متوسط خاک‌های منطقه به این عناصر هستند در صورتی که سایر فلزات در خاک منطقه، آلودگی از خود نشان نمی‌دهند.

ضریب آلودگی (Cr)

برای بیان میزان آلودگی خاک یا رسوبات نسبت به یک عنصر سنگین، از ضریب آلودگی می‌توان استفاده نمود. این ضریب از تقسیم غلظت عنصر سنگین در هر نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به دست می‌آید. برای محاسبه ضریب آلودگی از رابطه هاکنسون (۱۹۸۰) استفاده می‌شود:

$$C_r = \frac{C_s}{C_b} \quad (2)$$

در این رابطه C_r ضریب آلودگی، C_s غلظت عنصر در نمونه و C_b غلظت عنصر در زمینه می‌باشد. اگر ضریب آلودگی بزرگ‌تر از ۱ باشد نشان‌دهنده وجود آلودگی در خاک یا رسوب است و اگر مقدار آن کوچک‌تر از ۱ باشد به این معنی است که آلودگی عنصری وجود ندارد. بر اساس ضریب آلودگی، هاکنسون (۱۹۸۰) مقدار آلودگی خاک‌ها را به ۴ رده تقسیم کرد (جدول ۴). بر این اساس، خاک‌ها به ۴ رده آلودگی پایین، آلودگی متوسط، آلودگی بالا و آلودگی بسیار بالا تقسیم می‌شوند.

جدول ۱. مقادیر میانگین شیل فلزات سنگین (ppm) در رسوبات ریزدانه (متوسط شیل) (ایبای، ۲۰۰۴)

عنصر	Ba	B	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn
مقدار	۵۸۰	۱۰۰	۱۹	۹۰	۴۵	۸۵۰	۶۸	۲۰	۱۳	۱۷۰	۱۳۰	۲۶	۹۵

جدول ۲. شاخص زمین‌انباشت برای ارزیابی آلودگی خاک به فلزات سنگین (مویلر، ۱۹۶۹)

محدوده I _{geo}	رده I _{geo}	شدت آلودگی
I _{geo} < ۰	۰	نسبتاً غیر آلوده
۰ ≤ I _{geo} < ۱	۱	غیر آلوده تا آلودگی متوسط
۱ ≤ I _{geo} < ۲	۲	آلودگی متوسط
۲ ≤ I _{geo} < ۳	۳	آلودگی متوسط تا شدید
۳ ≤ I _{geo} < ۴	۴	آلودگی شدید
۴ ≤ I _{geo} < ۵	۵	آلودگی شدید تا بسیار شدید
I _{geo} > ۵	۶	آلودگی بسیار شدید

جدول ۳. شاخص زمین‌انباشت عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه

عناصر	Zn	Y	V	Co	Sr	Sc	Pb	Ni	Mn	Cu	Cr	Ba
میانگین	-۰/۹۱	-۰/۰۶۲	-۰/۳۹	-۰/۸۷	-۰/۰۰۷	-۰/۴۲	-۰/۳۰	-۰/۳۰	-۱۳/۹۲	-۰/۹۷	۰/۹۷	-۱/۵۰
حداقل	-۱/۷۲	-۱/۳۷	-۱/۴۷	-۱/۹۵	-۰/۸۲	-۰/۹۰	-۱/۵۸	-۱/۵۸	-۱۵/۶۶	-۱/۹۸	-۰/۷۹	-۳/۱۹
حداکثر	۱/۵۹	۱/۳۲	۰/۹۶	۱/۱۰	۳/۹۹	۲/۲۳	۱/۰۰۷	-۱/۷۱	۱/۳۵	۲/۳۷	۰/۳۷	۰/۲۰

جدول ۴. طبقه‌بندی شدت آلودگی خاکها بر اساس ضریب آلودگی (هاکنسون، ۱۹۸۰)

محدوده C _f	رده C _f	شدت آلودگی
C _f < 1	۱	آلودگی پایین
1 < C _f < 3	۲	آلودگی متوسط
3 < C _f < 6	۳	آلودگی بالا
6 < C _f	۴	آلودگی بسیار بالا

جدول ۵. ضریب آلودگی عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه

عناصر	Zn	Y	V	Sr	Sc	Pb	Ni	Mn	Cu	Cr	Co	B	Ba
میانگین	۰/۸۶	۱/۵۳	۱/۱۸	۰/۸۹	۲/۱۷	۱/۴۹	۱/۲۶	۰/۰۰۰۱	۰/۸۰	۳/۱۹	۱/۳۱	۰/۶۲	۰/۵۴
حداقل	۰/۴۵	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۸۴	۰/۸۰	۰/۵۰	۰/۰۰۰	۰/۳۷	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۰۶	۰/۱۶
حداکثر	۴/۵۳	۳/۷۶	۲/۹۲	۳/۲۳	۲۳/۸۴	۱/۵۵	۳/۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۸۴	۷/۷۷	۱/۹۴	۱/۶۰	۱/۷۲

محدود آلودگی پایین قرار می‌گیرد. عنصر Ni در همه نقاط در محدوده آلودگی پایین و آلودگی متوسط مشاهده می‌شود. عنصر Pb در بیش‌تر نقاط در محدوده آلودگی پایین و آلودگی متوسط مشاهده می‌شود. عنصر Sc در اکثر نقاط در محدوده آلودگی پایین و متوسط قرار می‌گیرد، به هر حال این عنصر در برخی نقاط به صورت آلودگی بالا مشاهده می‌شود. عنصر Sr در همه نقاط در محدوده آلودگی پایین و آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. عنصر V در همه نقاط در محدوده آلودگی پایین و آلودگی متوسط قرار گرفته و عنصر Y در بیش‌تر نقاط در محدوده آلودگی پایین و آلودگی متوسط مشاهده می‌شود

در جدول (۵) مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عناصر سنگین در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه ارایه شده است. بر اساس نتایج جدول (۵)، عنصر Ba در محدوده آلودگی پایین قرار دارد. عنصر B در اکثر نقاط محدوده آلودگی پایین را نشان می‌دهد و در تعداد محدودی از نقاط آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. عنصر Co در محدوده آلودگی پایین تا آلودگی متوسط قرار دارد. عنصر Cr تقریباً در نیمی از نقاط آلودگی پایین و آلودگی متوسط قرار دارد و در سایر نقاط آلودگی بالا را نشان می‌دهد. عنصر Cu در محدوده آلودگی پایین تا آلودگی متوسط مشاهده می‌شود و عنصر Mn در همه نقاط در

شاخص غنی‌شدگی (E_f)

شاخص غنی‌شدگی تمایز فلزات سنگین با منشا انسان‌زاد از فلزات سنگینی که از هوازدگی طبیعی سنگ‌ها حاصل شده‌اند، را نشان می‌دهد. شاخص غنی‌شدگی نشان‌دهنده‌ی مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است. به عبارت دیگر این شاخص بیانگر شدت تاثیر عوامل خارجی (انسان‌زاد) می‌باشد (سام، ۱۳۹۰). شاخص غنی‌شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه‌ای که نمونه مربوط متعلق به آن است. این شاخص در تحلیل‌های زیست‌محیطی، یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تاثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (لو و همکاران، ۲۰۰۹):

$$E_f = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{sample}}{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{Back\ ground}} \quad (4)$$

که در آن E_f شاخص غنی‌شدگی، C_x و C_{ref} به ترتیب غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه خاک و غلظت عنصر مرجع می‌باشد. عنصر مرجع در تعیین شاخص غنی‌شدگی، عنصری است که منشا کاملاً زمین‌شناسی داشته باشد (میلر، ۱۹۶۹). در تحقیقات زیست‌محیطی عناصر Zr, Sc, Al, Fe, Ti می‌توانند به عنوان عناصر مرجع استفاده شوند (آبراهیم و پارکر، ۲۰۰۸). در این پژوهش از عنصر Sc به عنوان عنصر مرجع استفاده شد. اگر مقدار شاخص غنی‌شدگی کم باشد آلودگی چندان اهمیتی ندارد، زیرا معمولاً مقدار غنی‌شدگی‌های کوچک مربوط به اختلاف در ترکیب خاک‌های محلی و یا نوع عنصر مرجع مورد استفاده در محاسبه شاخص غنی‌شدگی می‌باشد (کارتال و همکاران، ۲۰۰۶). شاخص غنی‌شدگی کمتر از ۱ نشان‌دهنده منشا طبیعی فلزات سنگین و مقادیر بالاتر از ۱ نشان‌دهنده منشا انسان‌زاد است (کلرکس و لوینتون، ۱۹۸۹). نتایج حاصل از محاسبه شاخص غنی‌شدگی برای فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه در جدول (۸) نمایش داده شده است. نتایج حاکی از آن است که به استثنای Cu، سایر فلزات سنگین غنی‌شدگی از خود نشان نمی‌دهند. از طرف دیگر با توجه به مقادیر شاخص غنی‌شدگی، تنها Cu منشا انسان‌زاد

ولی در تعداد محدودی از نقاط در محدوده آلودگی بالا قرار دارد. عنصر Zn در بیش‌تر نقاط در محدوده آلودگی پایین و در بعضی نقاط دارای آلودگی متوسط است. بر اساس نتایج جدول (۵)، در منطقه مورد مطالعه عناصر Ba, B, Cu, Mn, Sr, Zn (ضریب آلودگی کمتر از ۱)، عناصر Co, Ni, Pb, Sc, V, Y دارای آلودگی متوسط (ضریب آلودگی بین ۱ تا ۳) و عنصر Cr دارای آلودگی بالا (ضریب آلودگی بین ۳ تا ۶)، است. علاوه بر این، بیش‌ترین و کمترین شدت آلودگی بر اساس ضریب آلودگی به ترتیب مربوط به عناصر Cr و Mn می‌باشد.

شاخص بار آلودگی (PLI)

شاخص بار آلودگی از دیگر پارامترهای زیست‌محیطی مهم برای ارزیابی و تخمین شدت آلودگی خاک به شمار می‌رود. این شاخص برای بررسی میزان سمیت فلزات سنگین در خاک و تاثیر آن بر روی کیفیت زیست محیطی خاک یا رسوب مورد مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص بار آلودگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود (آنجلو، ۱۹۹۶):

$$PLI = \sqrt[n]{C_{f1} \times C_{f2} \times \dots \times C_{fn}} \quad (3)$$

در این رابطه PLI شاخص بار آلودگی، C_f ضریب آلودگی و n تعداد فلزات مورد مطالعه می‌باشد. اگر مقدار PLI نزدیک به عدد ۱ باشد نشان‌دهنده این است که غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه است و اگر بیش‌تر از ۱ باشد میزان آلودگی نسبت به زمینه را نشان می‌دهد که نمایانگر آلودگی خاک است. در جدول (۶) رده‌بندی آنجلو (۱۹۹۶) برای میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین بر اساس شاخص بار آلودگی ارائه شده است.

با توجه به نتایج شاخص بار آلودگی عناصر سنگین ارابه شده در جدول (۷) برای منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن با جدول (۶)، مشاهده می‌شود که منطقه فاقد آلودگی به Mn (مقدار شاخص بار آلودگی کمتر از ۱) است در صورتی که برای سایر عناصر مقدار شاخص بار آلودگی بزرگ‌تر از ۱ است که نشان می‌دهد غلظت این عناصر نسبت به غلظت زمینه، آلوده است. روند افزایشی شاخص بار آلودگی عناصر مورد مطالعه نسبت به مقدار زمینه برای عناصر مورد مطالعه در کل منطقه به صورت Zn, Pb, Ba, Y, V, Cu, Cr, Mn می‌باشد.

V, Y در محدوده‌های مشابهی دارای بیش‌ترین غلظت هستند از طرف دیگر عناصر Co, Mn, Cr, Ni نیز در محدوده‌های مکانی مشابهی دارای بیش‌ترین غلظت هستند. بالا بودن عناصر فوق‌الذکر در منطقه به علت ساختار زمین‌شناسی و لیتوژی منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه دارای جمعیت شهری و فعالیت صنعتی محدود می‌باشد می‌توان بالا بودن غلظت عناصر را بدون دخالت عناصر انسان‌زاد تلقی کرد.

دارد (شاخص غنی‌شدگی بزرگ‌تر از ۱) و سایر فلزات سنگین دارای منشا طبیعی هستند (شاخص غنی‌شدگی کوچک‌تر از ۱).

۴-۲- پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین

به منظور مشخص کردن روند تغییرات غلظت مکانی عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های توزیع مکانی عناصر استفاده شد. طبق نقشه‌های توزیع مکانی عناصر ترسیم شده در شکل (۲)، عناصر Ba, Pb, B, Zn,

جدول ۶. رده‌بندی میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین بر اساس شاخص بار آلودگی (آنکلو، ۱۹۹۶)

محدوده PLI	PLI<1	PLI=1	PLI>1
آلودگی خاک	غیر آلوده	آلودگی نزدیک به زمینه	آلوده

جدول ۷. شاخص بار آلودگی عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه

عناصر	Ba	B	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn	مقدار PLI
	۱/۹۱	۴/۸۵	۴/۷۱	۱/۰۷	۱/۴۵	۰/۰۰	۳/۱۵	۵/۱۴	۲/۷۱	۲/۰	۱/۷۹	۱/۸۹	۵/۵۹	

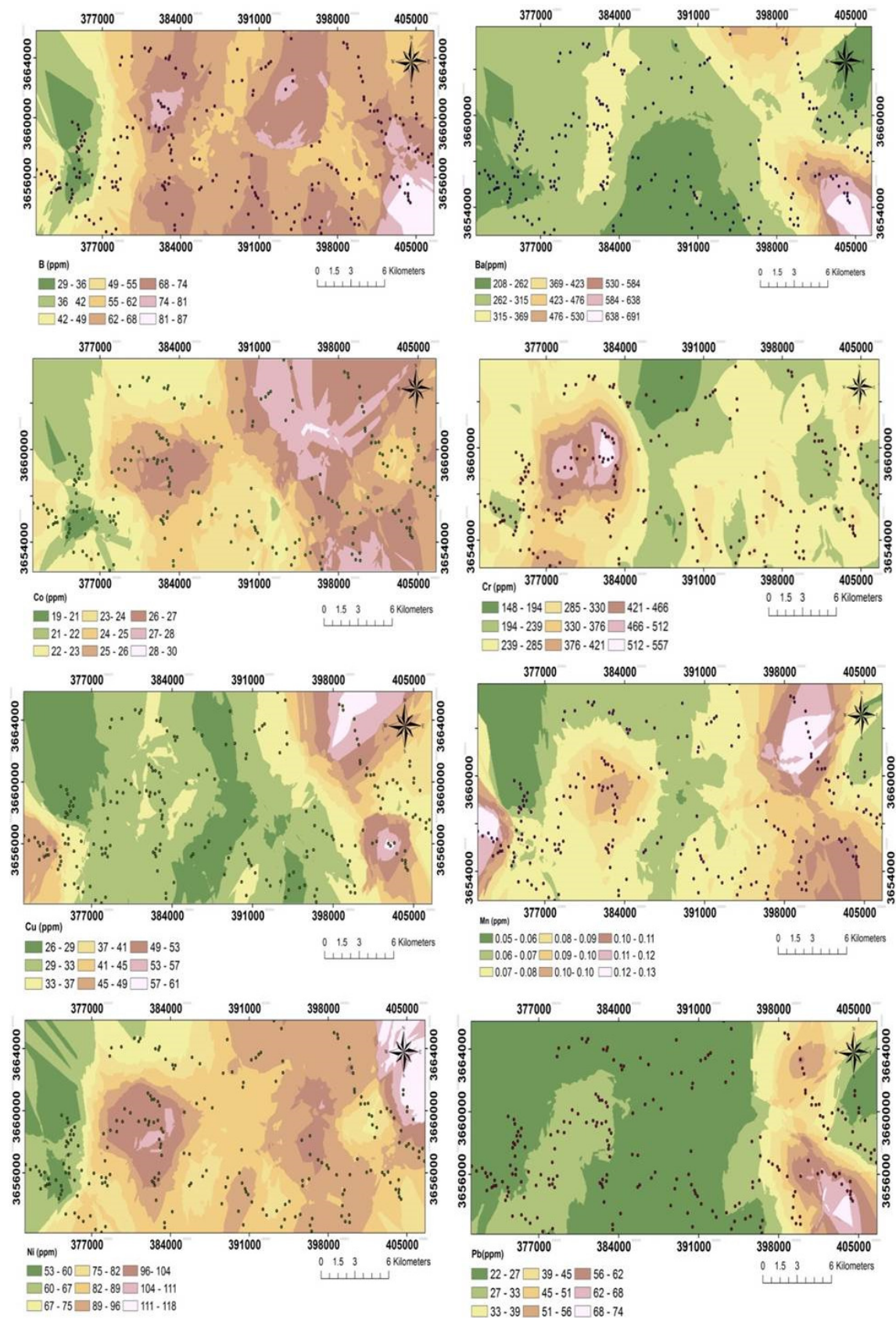
جدول ۸. شاخص غنی‌شدگی عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه

عناصر	Ba	B	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn	میانگین
	۰/۳۸	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۶۷	۱/۶۷	۰/۸۳	۰/۳۵	۰/۶۴	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۴۹	۰/۶۰	۰/۱۵	
حداقل	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۸۹	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۱	
حداکثر	۰/۵۴	۰/۷۲	۱/۱۰	۱/۴۰	۴/۴۴	۰/۶۳	۳/۵۱	۱/۵۰	۲/۶۲	۱/۳۴	۳/۰۵	۱/۶۹	۰/۴۳	

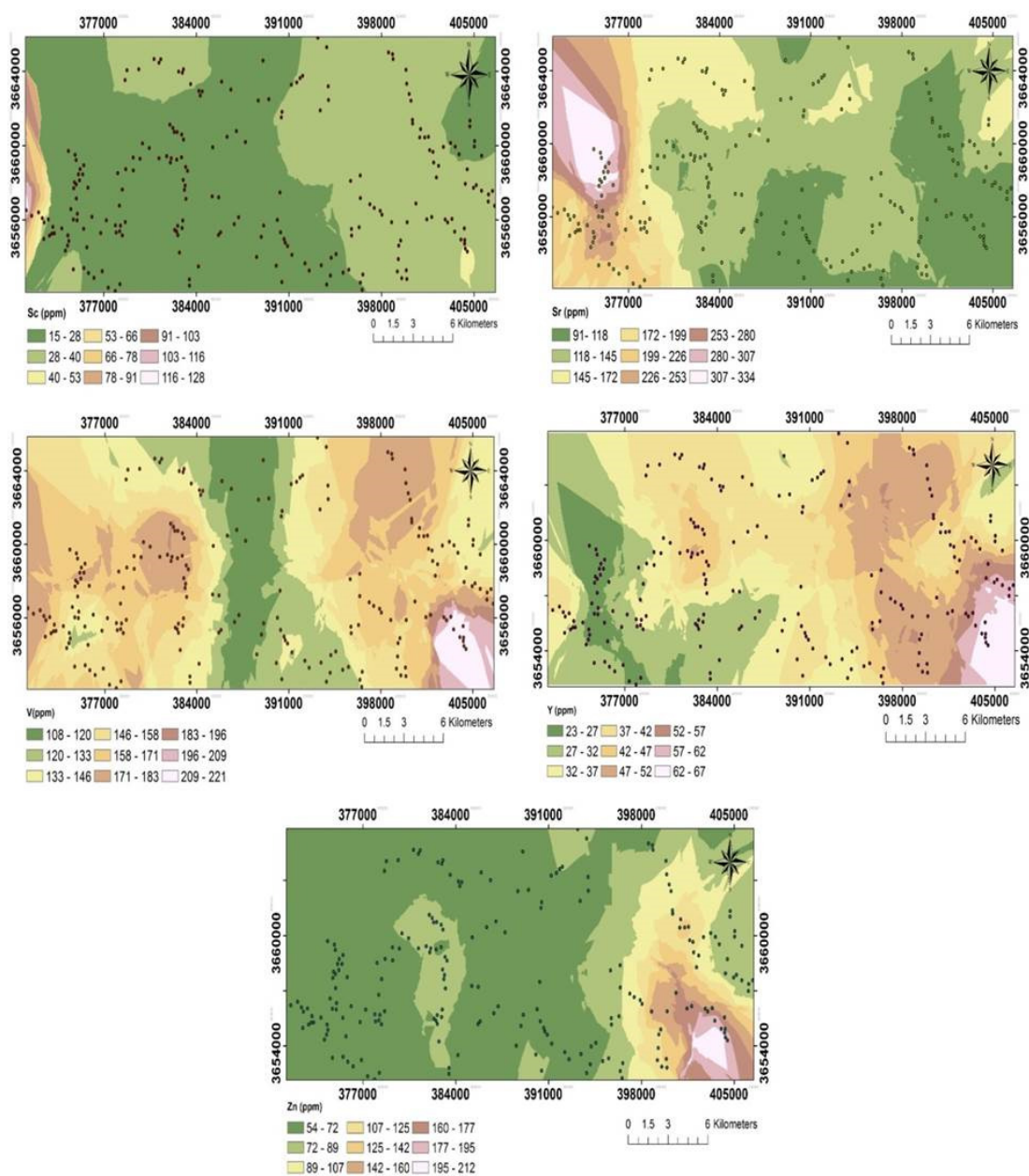
$Cv \leq 50\%$ تغییرپذیری بالا است، در حالی که ضرایب تغییر بالاتر از ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده تغییرپذیری بی‌نهایت بالا است. ضریب تغییرات غلظت فلزات در منطقه مورد مطالعه به ترتیب شامل Cu (91.9), Y (82.7), Pb (55.4), Sr (51.3), B (46.1), Ni (43.5), Co (43.0), V (42.6), Cr (40.7), Zn (40.3), Mn (34.6), Sc (30.9) می‌باشند. با توجه به ضریب تغییرات آرایه شده در جدول ۹، آلودگی فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه دارای تغییرپذیری متوسط و بالا هستند. مقادیر بالای ضریب تغییرات برای فلزات Cu, Y, Pb, Sr نشان‌دهنده این است که غلظت این فلزات به طور قابل توجهی در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری متفاوت است و هم‌چنین نمایانگر توزیع ناهمگن آن‌ها به دلیل فعالیت‌های انسانی است. ضرایب تغییرات برای بقیه فلزات تغییرپذیری متوسطی را نشان می‌دهد که بازتاب کننده توزیع نسبتاً همگن این عناصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است.

۴-۳- آنالیز آماری غلظت عناصر سنگین

آمارهای توصیفی غلظت فلزات سنگین خاک منطقه مورد مطالعه به صورت حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد، ضریب تغییرات و چولگی در جدول ۹ خلاصه شده است. با توجه به جدول ۹ در بین فلزات سنگین مورد سنجش بالاترین میانگین غلظت فلزات در خاک محدوده مورد مطالعه مربوط به فلز Ba با $314/66$ (ppm) و پایین‌ترین غلظت فلزات مربوط به Mn با $0/880$ ppm می‌باشد. میانگین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه از حداکثر به حداقل به ترتیب شامل: Cr, V, Sr, Ni, Zn, B, Cu, Y, Pb, Sc, Co, Mn می‌باشند. یکی از آماره‌های توصیفی مهم در تحلیل‌های آماری، درصد تغییرات (Cv) است. درصد تغییرات درجه تغییرپذیری غلظت‌های یک فلز را در خاک نشان می‌دهد. اگر $Cv \leq 20\%$ باشد نشان‌دهنده تغییرپذیری اندک، $20\% < Cv < 50\%$ تغییرپذیری متوسط و $Cv > 50\%$



شکل ۲. نقشه‌های توزیع مکانی غلظت عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه



ادامه شکل ۲. نقشه‌های توزیع مکانی غلظت عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه

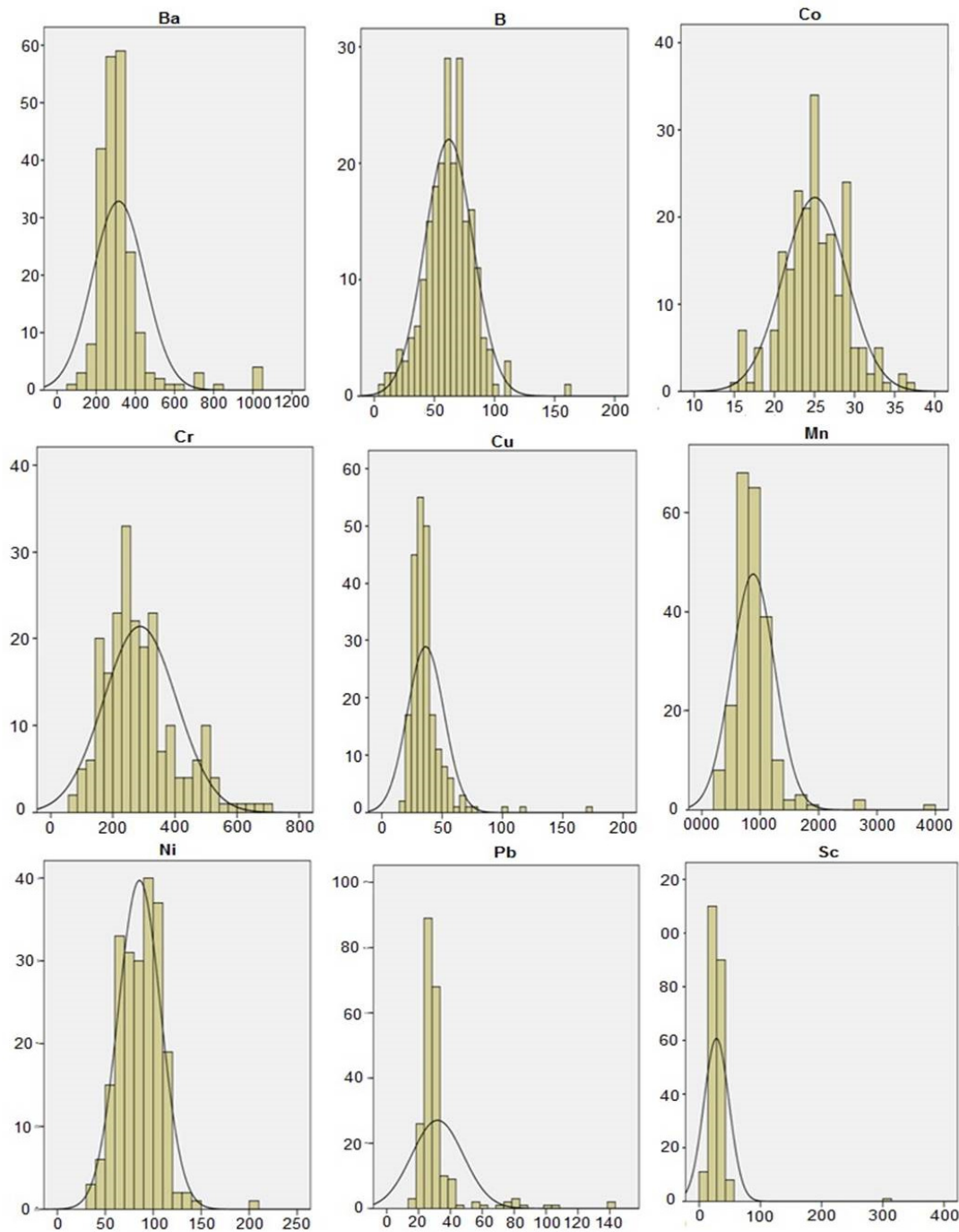
جدول ۹. غلظت عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه بر حسب (ppm) و آماره‌های توصیفی آن‌ها

Ba	B	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn	آماره عناصر
۳۱۴/۶۶	۶۲/۰۸	۲۵/۰۵	۲۸۷/۸۳	۳۶/۳۵	۰/۸۸	۸۵/۷۰	۳۱/۹۱	۲۸/۳۰	۱۵۱/۹۱	۱۵۴/۳۴	۳۹/۹۴	۸۱/۸۹	میانگین
۹۵	۶	۱۵	۷۸	۱۷	۰/۰۲	۳۴	۱۶	۱۱	۶۶	۷۰	۱۵	۴۳	حداقل
۱۰۰۰	۱۶۰	۳۷	۷۰۰	۱۷۳	۰/۳۸	۲۰۵	۱۴۱	۳۱۰	۵۵۰	۳۸۰	۹۸	۴۳۱	حداکثر
۱۶/۸۰	۱۲/۶۰	۱۰/۳۰	۱۷/۴۰	۱۱۱/۵۰	۱۳۲/۷۰	۱۶/۲۰	۲۶/۶۰	۵۲/۴۰	۳۶/۵۰	۶۸/۲۰	۲۱/۲۰	۱۴/۲۰	انحراف استاندارد
۰/۲	۹	۱/۱۰	۱/۹۰	۶	۰/۶۰	۲/۷۰	۲	۰/۵۰	۱۰/۳۰	۰/۹۰	۱۲/۲۰	۲/۷۰	چولگی
۲۶/۱۰	۴۶/۱۰	۴۳	۴۰/۷۰	۹۱/۹۰	۳۴/۶۰	۴۳/۵۰	۵۵/۴۰	۳۰/۹۰	۵۱/۳۰	۴۲/۶۰	۸۲/۷۰	۴۰/۳۰	درصد تغییرات

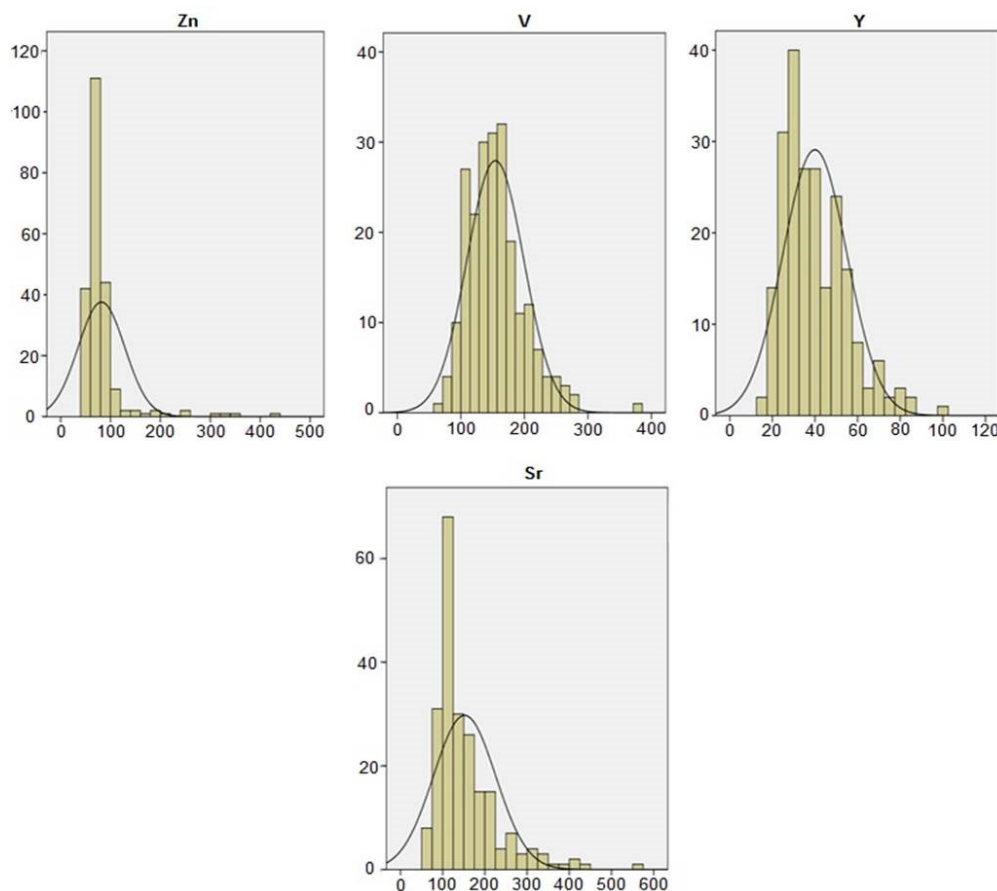
(68.2), Sr (36.5), Sc (52.4), Pb (26.6), Y (21.2), Cr (17.4), Ba (16.8), Zn (14.2), B (12.6) می‌باشند.

چولگی نیز یکی دیگر از آماره‌های توصیفی مهم برای یک جامعه آماری است. میزان چولگی همه فلزات مثبت بود که نمایانگر این است که فلزات چولگی مثبتی به سمت غلظت‌های پایین‌تر دارند. منحنی‌های هیستوگرام و توزیع غلظت فلزات سنگین در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند.

انحراف استاندارد دیگر پارامتر آماری برای توصیف پراکندگی مکانی غلظت فلزات سنگین است. مقادیر بزرگ انحراف استاندارد نشان‌دهنده تغییراتی وسیع در مقدار غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه است. مقادیر انحراف استاندارد فلزات مورد مطالعه از بیش‌ترین به کمترین به ترتیب V (111.5), Cu (132.7),



شکل ۳. منحنی‌های هیستوگرام فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه



ادامه شکل ۳. منحنی‌های هیستوگرام فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

الکلی، جذب عناصر توسط اکسیدها و نظایر آن دانست (کلرک و لوینتون، ۱۹۸۹). در بین ضرایب همبستگی ارایه شده در جدول ۱۰، صرفاً همبستگی بین عناصر Mn و Co، Ni و Co، Sr، B، V و Ba، و Y در رده همبستگی‌های نسبتاً قوی قرار می‌گیرند و در سایر همبستگی‌ها، عناصر مختلف در رده همبستگی‌های ضعیف و نسبتاً ضعیف قرار گرفته‌اند.

۴-۵- تحلیل خوشه‌ای عناصر سنگین مورد مطالعه

هدف اصلی از تجزیه و تحلیل نمودار خوشه‌ای یافتن ملاکی برای طبقه‌بندی مناسب‌تر متغیرها یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیش‌تر خوشه‌ها و اختلاف بین آن‌ها است. طبق نمودار خوشه‌ای نشان داده شده در شکل ۴، عناصر مورد بررسی در دو خوشه اصلی A و B قرار می‌گیرند. خوشه A شامل زیرخوشه‌های A1 و A2 می‌باشد، زیرخوشه A1 شامل زیرخوشه A3 و A4 می‌باشد، زیرخوشه A3 شامل عناصر Co, Pb, Cu, Y, Sc می‌باشد.

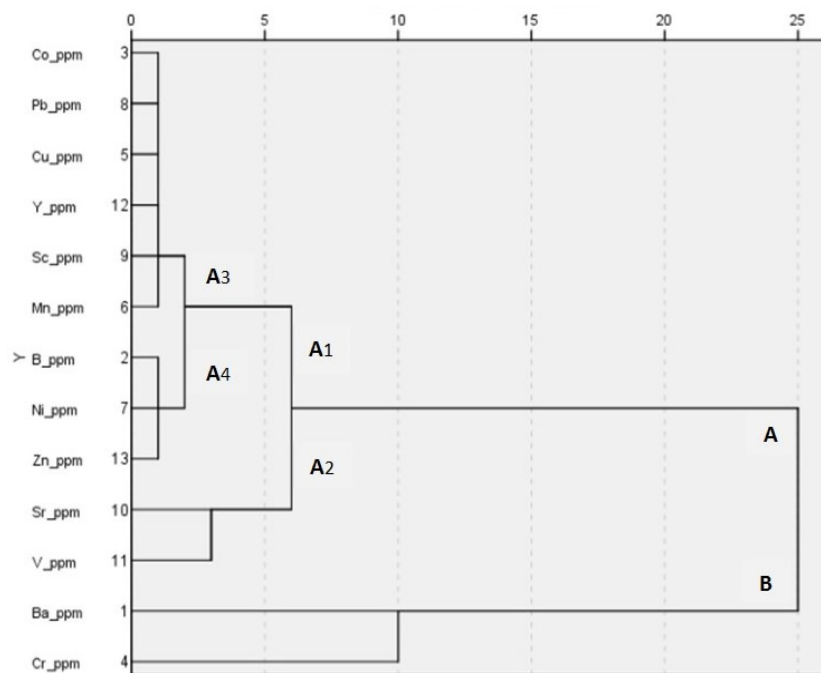
۴-۴- تعیین ضرایب همبستگی بین عناصر

تشخیص ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در ارزیابی دقیق اثرات زیست‌محیطی کمک کند. در این پژوهش از ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین روابط عناصر مختلف استفاده شده است. مقدار ضریب همبستگی بین -۱ تا ۱ تغییر می‌کند که «۱» به معنای همبستگی مثبت کامل، «۰» به معنی نبود همبستگی و «-۱» به معنی همبستگی منفی کامل است. این ضریب که کاربرد فراوانی در آمار دارد، توسط کارل پیرسون براساس ایده اول فرانسویس گالتون تدوین شد (باقری، ۱۳۹۱). ضریب همبستگی هر متغیر با خودش «۱» است. ضریب همبستگی صفر تا ۰/۲۵ در کلاس ضعیف، ۰/۲۵ تا ۰/۵ در کلاس نسبتاً ضعیف، ۰/۵ تا ۰/۷۵ در کلاس نسبتاً قوی و ۰/۷۵ تا ۱ در کلاس قوی طبقه‌بندی می‌شود (باتاچاریا و همکاران، ۱۹۷۷). همبستگی بالای عناصر موجود در خاک یا رسوب را می‌توان ناشی از عواملی نظیر جذب سطحی در کانی‌های رسی و مواد

Mn می‌باشد که دارای همبستگی زیاد و منشاء مشترک می‌باشند، که منشا آن‌ها به جنس خاک منطقه بر می‌گردد. زیرخوشه A4 شامل عناصر B, Ni, Zn نیز دارای منشا یکسان می‌باشند. زیرخوشه A2 شامل عناصر V, Sr می‌باشد که قرار گرفتن آن‌ها در یک خوشه نشان‌دهنده منشا یکسان می‌باشد. خوشه B شامل عناصر Cr, Ba است که این عناصر دارای منشا مشترک می‌باشند و به معدن باریت منطقه مربوط است.

جدول ۱۰. ضریب همبستگی پیرسون عناصر مورد مطالعه

	Ba	B	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn
Ba	۱												
B	-۰/۳۷	۱											
Co	-۰/۲۵	-۰/۳۱	۱										
Cr	-۰/۰۹	-۰/۱۵	-۰/۱۱	۱									
Cu	-۰/۲۱	-۰/۰۳	-۰/۲۳	-۰/۱۱	۱								
Mn	-۰/۲۷	-۰/۳۲	-۰/۵۵	-۰/۰۴	-۰/۳۳	۱							
Ni	-۰/۱۳	-۰/۲۰	-۰/۶۵	-۰/۳۷	-۰/۱۳	-۰/۲۱	۱						
Pb	-۰/۴۱	-۰/۱۱	-۰/۱۵	-۰/۰۶	-۰/۱۹	-۰/۳۸	-۰/۰۳	۱					
Sc	-۰/۱۹	-۰/۲۰	-۰/۱۲	-۰/۰۱	-۰/۱۱	-۰/۲۹	-۰/۰۳	-۰/۱۲	۱				
Sr	-۰/۰۹	-۰/۵۰	-۰/۴۹	-۰/۰۲	-۰/۱۲	-۰/۳۳	-۰/۴۵	-۰/۱۶	-۰/۰۵	۱			
V	-۰/۵۰	-۰/۳۶	-۰/۲۴	-۰/۴۵	-۰/۲۰	-۰/۳۵	-۰/۱۵	-۰/۳۰	-۰/۲۸	-۰/۰۱	۱		
Y	-۰/۴۹	-۰/۶۱	-۰/۳۹	-۰/۱۸	-۰/۱۳	-۰/۴۷	-۰/۲۶	-۰/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۵۸	۱	
Zn	-۰/۳۸	-۰/۱۸	-۰/۱۹	-۰/۰۹	-۰/۲۱	-۰/۳۲	-۰/۱۱	-۰/۸۳	-۰/۱۲	-۰/۲۶	-۰/۲۸	-۰/۳۳	۱



شکل ۴. نمودار خوشه‌ای فلزات سنگین مورد مطالعه

۵- نتیجه‌گیری
این پژوهش به منظور بررسی غلظت و آلودگی عناصر سنگین در خاک‌های شمال شهرستان فریدون‌شهر (استان اصفهان) با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی شامل زمین‌انباشت، بارآلودگی، ضریب غنی‌شدگی و ضریب آلودگی انجام شد. همچنین توزیع مکانی غلظت عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه نیز بررسی شد. نتایج زیر از پژوهش حاضر حاصل شده‌اند:

نتایج زیر از پژوهش حاضر حاصل شده‌اند:

بهار فیروزی، خ، نوا اجاری، ش (۱۳۸۴) گزارش زمین‌شناختی برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ فریدون شهر (۶۰۵۵). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

خدادادی، ف، فضل‌نیا، ع، پیرخرطی، ح (۱۳۹۲) بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین کروم، کبالت، نیکل و منگنز و پهنه‌بندی آن‌ها در آبخوان‌های شمال و شمال‌غرب خوی (زورآباد) توسط نرم‌افزار GIS، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱، شماره ۱، ص ۴۴-۵۹.

دبیری، م، بشیری، بد، س (۱۳۹۶) آلودگی محیط‌زیست (هوا- آب - خاک - صدا) نشر اتحاد، ۳۸۰ ص.

دهرآزما، ب، آذربیکان، آ، مدبری، س، سیاره، ع (۱۳۹۳) ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه معدن متروکه سرب- روی آی‌قلعه‌سی، جنوب خاور تکاب، مجله زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست، شماره ۹۴، سال بیست و چهارم، ص ۱۳۸-۲۹.

رسولی، و، مدبری، س، علیپوراصل، م (۱۳۹۲) ارزیابی آلودگی خاک منطقه ونارچ (جنوب قم) به فلزات سنگین، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱، شماره ۲، ص ۸۲-۹۲.

سام، م (۱۳۹۰) بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر آلاینده در رسوبات دریاچه مهارلو از دیدگاه زیست‌محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، ۳۰ ص.

سیستانی، ن، معین‌الدینی، م، خراسانی، ن، حمیدیان، ا، طالشی، م، عظیمی، ر (۱۳۹۶) آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان، مجله سلامت و محیط‌زیست، شماره ۱، سال دهم، ص ۷۵-۸۶.

غضبان، ف (۱۳۸۱) زمین‌شناسی زیست‌محیطی. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۱۶ ص.

قدیمی، س، مقیمی، ه (۱۳۹۰) مطالعه زیست‌محیطی معدن روی و سرب انگوران زنجان، پنجمین همایش تخصصی زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور مرکز اهر.

Abraham, G. M. S., Parker, R. J (2008) Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136: 227-238.

Anganostou, C. H., kaberi, H., karageorgis, A (1997) Environmental impact on the surface sediments of the Bay and the gulf of ThessaloNiki (Greece) 6-EacCording to the geoaccumulation index classification. *International Conference on Water Pollution*.

Angulo, E (1996) The Tomlinson Pollution Load Index applied to heavy metal, Mussel-Watch data: a useful index to assess coastal pollution. *Science of the Total Environment*, 187: 19-56.

۱- بررسی شاخص زمین‌انباشت برای همه عناصر به استثنای Cr و Sc، در اکثر نقاط بدون آلودگی تا آلودگی متوسط را نشان داد.

۲- شاخص غنی‌شدگی که معرف آلودگی با منشا انسان‌زاد است نیز عنصر Sr, Cr, Pb را در بعضی از نقاط با مقادیر بالایی از آلودگی نشان داد و سایر عناصر را بدون آلودگی نشان داد.

۳- ضریب آلودگی برای عناصر Cr, Pb, Sc, Zn مقادیری از آلودگی قابل‌توجه و شدیدی را نشان داد.

۴- نتایج شاخص بارآلودگی نشان داد منطقه فاقد آلودگی به Mn (مقدار شاخص بارآلودگی کمتر از ۱) است در صورتی که برای سایر عناصر مقدار شاخص بارآلودگی بزرگ‌تر از ۱ است که نشان می‌دهد غلظت این عناصر نسبت به غلظت زمینه، آلوده است.

۵- طبق نقشه‌های توزیع مکانی عناصر Ba, Pb, B, Zn, V, Y در محدوده‌های مشابهی دارای بیش‌ترین غلظت هستند. هم‌چنین عناصر Ni, Mn, Cr, Co در محدوده‌های مکانی مشابهی دارای بیش‌ترین غلظت هستند.

۶- حداقل غلظت در بین عناصر مربوط به Mn و بیش‌ترین غلظت مربوط به عنصر Ba می‌باشد. بالا بودن غلظت عنصر Ba در محدوده معدن دودوزان نشان‌دهنده کانسار باریت است.

۷- عناصر B و Co دارای توزیع متقارن در خاک مورد مطالعه است و سایر عناصر دارای کشیدگی و چولگی (توزیع نامتقارن) هستند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از داوران محترم این نشریه که در جهت ارتقای کیفیت مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

افشاری، ع، خادمی، ح، حجتی، س (۱۳۹۴) ارزیابی پتانسیل خطرپذیری آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مرکزی استان زنجان بر اساس انواع شاخص‌های آلودگی، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۶، سال دهم، ص ۴۰-۲۱.

باقری، ه (۱۳۹۱) نمونه‌برداری و تجزیه دستگاهی نمونه‌های معدنی و زیست‌محیطی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان، ۳۴۲ ص.

- A survey on heavy metals pollution in water resources of Kouhe Zar Mining area (The West of Torbat Heydarieh, Iran). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 7(3): 244–253.
- Tahmasebi, P., Taheri, M. & Gharaie, M. H. M (2020) Heavy metal pollution associated with mining activity in the Kouh-e Zar region, NE Iran. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79: 1113–1123.
- Uba, S., Uzairu, A., Okunola, O. J (2019) Content of heavy metals in lumbricusterrestris and associated soils in dump sites. *International Journal of Environmental Research*, 3(3): 353–358.
- Bhattacharya, G. K., Johnson, R. A (1977) *Statistical concepts and methods*. Wiley and Sons, 456 pp.
- Eby, G. N (2004) *Principle of environmental geochemistry*. Thompson, 515 pp.
- Hakanson, L (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control, A sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975–1001.
- Kartal, S., Aydin, Z., Tokalioglu, S (2006) Fractionation of Metals in Street Sediment Samples by Using the BCR Sequential Extraction Procedure and Multivariate Statistical Elucidation of the Data. *Journal of Hazardous Materials*, 132: 80–89.
- Klerks, P. L., Levinton, J. S (1989) Rapid evolution of metal –polluted site. *The Biological Bulletin*, 176(2): 135–141.
- Lu, X., Wang, L., LEI, k., Huang, J., Zhai, Y (2009) Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal Hazard Materials*, 161: 1058–1062.
- Malekzadeh, Z (2014) Distribution of lead, cadmium and nickel in Bakhtiar rang of Isfahan plain [dissertation]. Isfahan University of Technology (in persian).
- Mashiatullah, A., Chaudhary, M. Z., Ahmad, N., Javed, T., Ghaffar, A (2013) Metal pollution and ecological risk assessment in marine sediments of Karachi Coast, Pakistan. *Environmental Monitoring Assessment*, 185: 1555–1565.
- McCready, S., Brich, G. F., Long, E. R (2006) Metallic and organic contaminations in sediments of Sydney Harbour. Australia and Vicinity. A chemical dataset for evaluating sediment quality guidelines. *Environment International*, 32: 455–65.
- Mehra, O. P., Jackson, M. L (2013) Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Proceedings of the 7th National Conference on Clays and Clay Minerals*, pp. 317–327.
- Miller, j (1969) Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geology journal*, 2(3): 108–118.
- Sutherland, R. A (2017) Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39: 611–626.
- Taheri, M., Mehrzad, J., Mahmudy Gharaie, M. H., Afshari, R., Dadsetan, A., Hami, S (2016) High soil and groundwater arsenic level sinduce high body arsenic loads, health risk and potential anemia for inhabitants of northeastern Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 38: 469–482.
- Tahmasebi, P., Mahmudy Gharaie, M. H., Ghasemzadeh, F., Karimi Karouyeh, A (2019)