

## بررسی آلودگی فلزات سنگین و منشأ آن‌ها در خاک منطقه جعفرآباد (جنوب غرب کاشمر)، استان خراسان رضوی

محمدابراهیم فاضل ولی‌پور

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

نویسنده مسئول: \* Dr.ef.valipour@gmail.com

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۸

دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۹

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین و منشأ آن‌ها در منطقه جعفرآباد، جنوب غربی شهرستان کاشمر، در استان خراسان رضوی انجام شده است. به همین منظور فلزات سنگین ۳۲ نمونه خاک سطحی (عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) در منطقه جعفرآباد، جنوب غرب شهرستان کاشمر با دستگاه ICP-MS آنالیز شدند. شاخص‌های منشأیابی و تعیین درجه آلودگی، شامل فاکتور غنی‌سازی (Ef) و درصد آن، زمین‌انباشت (Igeo)، فاکتور آلودگی (Cf)، برای ارزیابی آلودگی خاک محاسبه شدند. براساس نتایج بدست آمده در بین فلزات سنگین Cu, Mo, Mn, Cd, Th, Sr, Co, Pb, As، منگنز بیشترین و کادمیوم کمترین میانگین غلظت را دارند. مقادیر حداقل و حداکثر فاکتور غنی‌سازی نیز به ترتیب مربوط به مولیبدن و سرب هستند. نتایج نشان می‌دهد که منطقه بررسی شده نسبت به فلزات مس و مولیبدن تقریباً آلودگی نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مطالعات این پژوهش حاکی از آن است که آلودگی‌های فلزات سنگین زمین‌زاد و عمدتاً ناشی از سنگ‌شناسی منطقه از قبیل شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، مارن‌های گچ‌دار، گرانیت و سنگ‌های ولکانیکی است و آلودگی‌های انسان‌زاد به استثنا فعالیت معدنکاری و تا حدودی فعالیت کشاورزی، در دیگر موارد نقش موثری نداشته‌اند. براساس آنالیز خوشه‌ای و تحلیل مولفه اصلی حضور برخی از فلزات مانند مس، مولیبدن و منگنز، در کنار یکدیگر نشان‌دهنده منشأ مشترک آن‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، خاک، جعفرآباد، شهرستان کاشمر

### ۱- پیشگفتار

آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین به علت سمیت و تجزیه‌ناپذیری یک مشکل جدی تلقی می‌شود و به دلیل خاصیت تجمع‌پذیری و سرطان‌زایی می‌توانند مشکلات متعددی بهداشتی و زیست‌محیطی ایجاد کنند (هادیا و آمبرین، ۲۰۱۸).

برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات و خاک روش‌های متعددی بیان شده است (کوالسکا و همکاران، ۲۰۱۸) و شاخص‌های آلودگی به طور گسترده برای ارزیابی جامع میزان آلودگی و تعیین نقش آلودگی‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد به کار گرفته می‌شوند (کسلر و همکاران، ۲۰۱۵، ویسمانوا و پاولوسکی، ۲۰۱۷). مطالعات زیادی در ارتباط با ورود فلزات سنگین به محیط خاک در مناطق مختلف صورت گرفته است. صلواتی‌نیک و همکاران (۱۳۹۹) پراکنش آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های منطقه ششتمد واقع در شمال شرق ایران بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که آلودگی فلزات سنگین در منطقه عمدتاً ناشی از سازندها و ساختارهای

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های خاک که می‌تواند تأثیر زیادی بر سلامت موجودات زنده و مهم‌تر از همه انسان‌ها داشته باشد، فلزات سنگین هستند. این فلزات می‌توانند از منابع زمین‌زاد یا انسان‌زاد وارد محیط‌زیست شوند. منابع زمین‌زاد این فلزات را می‌توان ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌سازی، فرآیندهای زمین‌شناختی و هوازدگی تشکیلات خاک در هر منطقه نام برد که می‌توانند سبب آزاد شدن فلزات سنگین در خاک شوند. عواملی نظیر بافت و دیگر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نیز در تمرکز یا کاهش غلظت این فلزات می‌توانند موثر باشند. آثار آلاینده‌های منتشر شده از فعالیت‌های معدنکاری به عنوان یکی از پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی، عامل محدودکننده مهمی برای توسعه پایدار به شمار می‌رود. فلزات سنگین از جمله آلاینده‌هایی هستند که به دلیل سمیت و پایداری در محیط‌زیست و نگرانی از نظر سلامت عمومی حائز اهمیت هستند.

است با وجود رونق کشاورزی و دامداری در مناطق جنوب کاشمر از قبیل جعفرآباد، شوراب، سعدالدین، شهرآباد و غیره، مطالعات زیست‌محیطی جهت احتمال آلودگی خاک این مناطق به فلزات سنگین صورت گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها و زمین‌شناسی منطقه

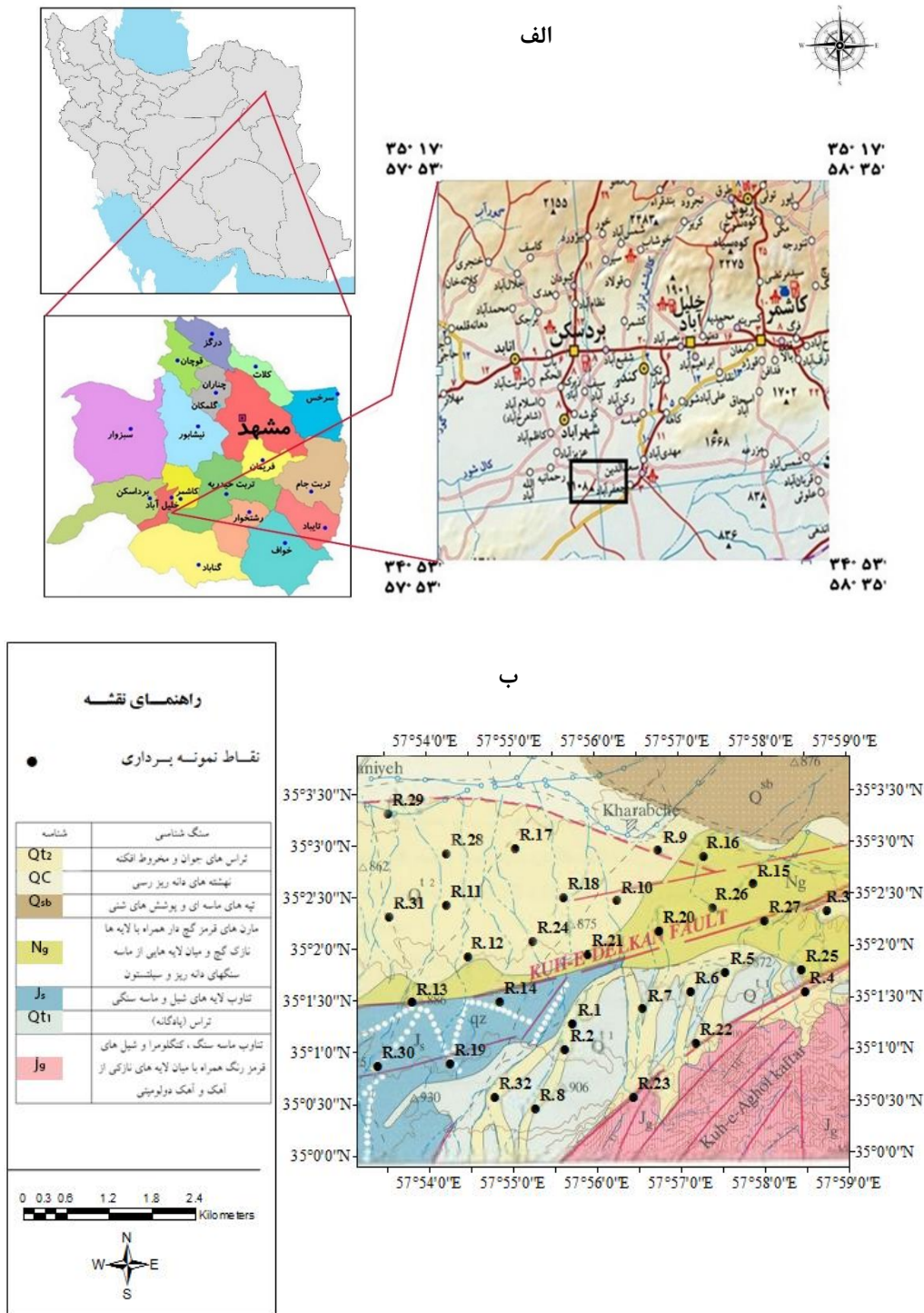
شهرستان کاشمر با جمعیت ۱۰۲۲۸۲ نفر (درسال ۹۵) و مساحت ۵ هزار کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی  $47^{\circ} 58'$  شرقی و  $35^{\circ} 52'$  شمالی در استان خراسان رضوی قرار گرفته است (شکل ۱-الف). چهره برجسته ژئوتکتونیک این منطقه تا گسل درونه با روند شرقی-غربی می‌باشد. قدیمی‌ترین بخش منطقه از لایه‌های قرمز رنگ سازند گردو و همسان با سازند شمشک با سن ژوراسیک در پایین‌ترین نقطه جنوب شرقی منطقه برونزد دارد. لیتولوژی آن از تناوب ماسه‌سنگ، کنگلومرا و شیل‌های قرمز رنگ همراه با میان لایه‌های نازکی از آهک و آهک دولومیتی تشکیل شده است. در شمال غرب این سازند تناوبی از لایه‌های شیل و ماسه‌سنگ دیده می‌شود. جدیدترین واحد سنگی در منطقه را بیرون‌زدگی‌هایی از مارن‌های قرمز رنگ گچ‌دار، همراه با نازک لایه‌های گچ و میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز و سیلتستون تشکیل داده‌اند که بخشی از نهشته‌های نئوژن این منطقه می‌باشند (شکل ۱ب).

در این پژوهش ۳۲ نمونه خاک (عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) با استفاده از کیسه‌های پلاستیکی جمع‌آوری و پس از شماره‌گذاری برای انجام آنالیزهای مربوطه با دستگاه ICP-MS به آزمایشگاه زرآما منتقل گردیدند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از نرم‌افزارهای SPSS و Excel استفاده شد. جهت ارزیابی آثار زیست محیطی فلزات سنگین، غلظت فلزات با استانداردهای بین‌المللی مقایسه گردید. برای این مقایسه از میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به عنوان استاندارد درجه آلودگی و از فلز تیتان به عنوان عنصر مرجع استفاده شده است (جدول ۱).

زمین‌شناسی است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۹) آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه شوراب واقع در جنوب کاشمر را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که عوامل زمین‌زاد نقش عمده‌ای در این آلودگی دارند ولی عوامل انسان‌زاد مانند معدنکاری نیز در این امر دخالت داشته‌اند. قاسمی دهنوی (۱۳۹۹) فلزات سنگین در خاک‌های سرپانتینی منطقه هرسین - صحنه واقع در کرمانشاه را مطالعه نمود. نتایج نشان داد که غلظت فلزات کروم، نیکل، کبالت و منگنز در خاک‌های منطقه بالا بوده و اثرات منفی بر سلامتی انسان‌های منطقه دارد. حق‌پرست و همکاران (۱۳۹۸) میزان غلظت فلزات سنگین و آلودگی در رسوبات منطقه امه جوق واقع در شمال شرق ایران را بررسی نمودند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که خاک منطقه آلودگی بالا نسبت به نیکل، الودگی متوسط نسبت به کروم و کبالت و آلودگی کم نسبت به مولیبدن، سرب، آلومینیم و وانادیوم نشان می‌دهد. فاضل ولی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) فلزات سنگین در خاک منطقه رباط سفید تربت حیدریه را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که غلظت فلزات کروم، نیکل، کبالت و منگنز به دلیل ساختار زمین‌شناسی منطقه بالا می‌باشد. مظهری (۱۳۹۶) به بررسی زمین‌شیمی خاک‌های شمال سبزوار پرداخت که منجر به شناسایی آلودگی زیست‌محیطی فلزات کروم، نیکل و کبالت با منشأ زمین‌زاد گردید. طهماسبی (۲۰۱۵) در مطالعه آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی منطقه کوه زر نشان داد که شاخص تجمع جغرافیایی برای کادمیوم در تمام نمونه‌ها بسیار بالا است و فاکتور غنی‌شدگی نیز مقدار بسیار بالایی را نشان داد که به علت فعالیت معدن طلا در منطقه بوده است. جمشیدی و همکاران (۱۳۹۸) به تاثیر فلزات سنگین و منشأ آن‌ها در شرق شهرستان ازنا پرداختند و نتیجه گرفتند که منشأ فلزات در منطقه وابستگی خاصی به عوامل انسانی نشان نمی‌دهند و بیشتر تحت تاثیر خاک و سنگ منطقه هستند. با توجه به فرآیندهای کانی‌سازی و معدنکاری که در جنوب کاشمر دیده می‌شود، خاک این منطقه زمینه لازم برای تمرکز فلزات سنگین را دارد. بنابراین شایسته

جدول ۱. میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین (mg/kg) (میترا و کبکوس، ۱۹۹۷)

عناصر	Mn	Th	Cd	As	Cu	Co	Pb	Mo	Sr
میانگین پوسته زمین	۸۵۰	۱۲	۰/۳	۱۳	۴۵	۶۸	۱۴	۲/۶	۳۰۰



شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری.

(زانگ، ۲۰۰۹؛ ویلسم آنووا و پاولو وسکی، ۲۰۱۷) و روش مناسبی جهت تعیین تاثیر منشأ لیتوژنیک و آنتروپوژنیک آلودگی است (آدامو و همکاران، ۲۰۰۵). بر اساس این ضریب می‌توان مقدار یک عنصر را نسبت به مقدار طبیعی آن مورد سنجش قرار داد (لوسکا و همکاران، ۲۰۰۳). ضریب غنی‌شدگی از رابطه زیر بدست می‌آید:

### ۳- شاخص‌های مورد نظر برای بررسی آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه

۳-۱- شاخص غنی‌شدگی (EF): یکی از رایج‌ترین رویکردها برای ارزیابی میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین محاسبه ضریب غنی‌شدگی است. این ضریب بیانگر میزان تاثیر عوامل خارجی بر روی خاک‌های منطقه بوده

$$E_f = C - C_{\min} / C_{\max} - C_{\min} * 100 \quad (2)$$

در این معادله C میانگین غلظت کل فلز در خاک، C<sub>min</sub> حداقل غلظت و C<sub>max</sub> حداکثر غلظت فلز در خاک است (زونت و همکاران، ۲۰۰۷).

۳-۳- شاخص زمین‌انباشت (I<sub>geo</sub>): این شاخص برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک به کار می‌رود. شاخص فوق برای اولین بار توسط مولر بیان گردید و به‌عنوان اندیس مولر معرفی شد (مولر، ۱۹۷۹). این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌گردد که در آن میزان غلظت عنصر مورد نظر در نمونه خاک و B<sub>n</sub> میزان غلظت همان عنصر در نمونه زمینه است. در این شاخص ضریب ۱/۵ برای حذف احتمالی زمینه به علت تاثیرات زمین‌شناختی اعمال می‌گردد (گنزالس و همکاران، ۲۰۰۶؛ ژرفات و یوسف، ۲۰۰۶؛ چن و همکاران، ۲۰۰۷؛ شسان، ۲۰۱۰؛ گیو و همکاران، ۲۰۱۴).

$$I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{C_n}{1/5 B_n} \right] \quad (3)$$

درجه‌بندی آلودگی خاک‌ها بر اساس این شاخص توسط مولر (۱۹۷۹) انجام شد (جدول ۴). نتیجه بررسی‌های شاخص زمین‌انباشت در جدول (۵) ارائه شده است.

$$EF = \frac{\frac{CX1}{Cref1}}{\frac{CX2}{Cref2}} \quad (1)$$

در این رابطه E<sub>f</sub> ضریب غنی‌شدگی، CX1 غلظت عنصر بررسی شده، C<sub>ref1</sub> غلظت عنصر مبنا، CX2 غلظت عنصر در محیط مبنا (پوسته زمین) و C<sub>ref2</sub> غلظت عنصر مبنا در پوسته زمین است. سوترلند (۲۰۰۰) درجه سطوح آلودگی خاک‌ها را بر مبنای این شاخص انجام داده است (جدول ۲). این غلظت‌ها می‌تواند بر اساس غلظت عنصر مرجع از قبیل آهن، اسکاندیم، تیتان، منگنز یا آلومینیم به‌نجار شود که در این پژوهش عنصر تیتان به‌عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شده است (دلی و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج محاسبات میانگین میزان غنی‌شدگی فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است.

۳-۲- درصد شاخص غنی‌شدگی (E<sub>f</sub>): شاخص غنی‌شدگی بر روی تمایز منشأ انسانی از منشأ طبیعی تمرکز دارد. اساساً هنگامی که میزان (E<sub>f</sub>) افزایش می‌یابد، سهم منابع غیر پوسته‌ای هم افزایش می‌یابد. بنابراین آلودگی خاک با استفاده از شاخص درصد فاکتور غنی‌شدگی ارزیابی می‌گردد (رابطه ۲):

جدول ۲. رده‌بندی میزان غنی‌شدگی فلزات سنگین در خاک (سوترلند، ۲۰۰۰)

E <sub>f</sub>	سطح آلودگی
E <sub>f</sub> < 2	عدم وجود آلودگی یا درجه غنای حداقل
2 ≤ E <sub>f</sub> < 5	درجه غنای متوسط
5 ≤ E <sub>f</sub> < 20	غنای قابل توجه
20 ≤ E <sub>f</sub> ≤ 40	غنای شدید
E <sub>f</sub> ≥ 40	غنای بسیار شدید

جدول ۳. نتایج شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه

عناصر	Cu	Mo	Pb	As	Cd	Co	Mn	Sr	Th
شاخص غنی‌شدگی	۵/۲۶	۶/۲۶	۱/۵۵	۳/۵۹	۴/۷۲	۱/۴۹	۴/۷۶	۱/۵۷	۲/۰۸

جدول ۴. شاخص زمین‌انباشت برای ارزیابی آلودگی خاک به فلزات سنگین (مولر، ۱۹۷۹)

محدود	شدت آلودگی
I <sub>geo</sub> < 0	نسبتاً غیرآلوده
0 ≤ I <sub>geo</sub> < 1	غیرآلوده تا آلودگی متوسط
1 ≤ I <sub>geo</sub> < 2	آلودگی متوسط
2 ≤ I <sub>geo</sub> < 3	آلودگی متوسط تا شدید
3 ≤ I <sub>geo</sub> < 4	آلودگی شدید
4 ≤ I <sub>geo</sub> < 5	آلودگی شدید تا بسیار شدید
I <sub>geo</sub> > 5	آلودگی بسیار شدید

$$Cf = Cx/Cb \quad (۴)$$

در این رابطه،  $Cx$  و  $Cb$  به ترتیب میانگین غلظت فلز در خاک و پوسته زمین هستند. طبقه‌بندی شدت آلودگی براساس شاخص آلودگی به صورت جدول (۶) است. با توجه به جایگزینی غلظت عناصر مورد مطالعه در منطقه متوسط درجه آلودگی عناصر در جدول (۷) نشان داده شده است.

۳-۴- شاخص آلودگی ( $Cf$ ): شاخص آلودگی در سال ۱۹۸۰ توسط هاگانسون به عنوان روشی برای محاسبه شاخص کلی آلودگی بر مبنای هفت فلز سنگین (سرب، جیوه، آرسنیک، کروم، روی، مس، کادمیوم) معرفی شد. برای محاسبه شاخص آلودگی ( $Cf$ ) غلظت میانگین فلز در نمونه‌های خاک با سطح پس‌زمینه در پوسته زمین مطابق با رابطه (۴) مقایسه می‌گردد.

جدول ۵. میانگین شاخص زمین‌انباشت فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه

عناصر	Cu	Mo	Pb	As	Cd	Co	Mn	Sr	Th
شاخص زمین‌انباشت	۰/۶	۰/۱۸	-۱/۰۷	-۰/۲۳	۰/۴۶	-۱/۰۹	-۰/۰۸	-۰/۶۲	-۰/۱۹

جدول ۶. رده‌بندی فاکتور آلودگی (هاگانسون، ۱۹۸۰)

$Cf$	درجه آلودگی
$Cf < 1$	آلودگی پایین
$1 < Cf < 3$	آلودگی متوسط
$3 < Cf < 6$	آلودگی قابل توجه
$Cf \geq 6$	آلودگی بسیار بالا

جدول ۷. نتایج شاخص آلودگی فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه

عناصر	Cu	Mo	Pb	As	Cd	Co	MN	Sr	Th
شاخص آلودگی	۴/۲۸	۴/۴۴	۱/۰۹	۲/۵۳	۳/۳۹	۱/۲۳	۳/۱۰	۱/۴۳	۱/۵۹

کانی‌سازی منگنز و سنگ بستر شیلی در منطقه در غنی‌شدگی این عنصر نقش داشته است. کانی‌سازی آرسنیک و خاک‌های حاصل از تخریب و هوازدگی سنگ‌های گرانیتی منطقه در غنی‌شدگی توریم نقش داشته است. استفاده از کودهای شیمیایی نیز سبب غنی‌شدگی فلز کادمیوم در خاک منطقه است. متوسط میزان  $I_{geo}$  نیز دارای روند نزولی به صورت زیر است:

$$Co < Pb < Sr < As < Th < Mn < Mo < Cd < Cu$$

به طوری که شاخص  $I_{geo}$  نشان داد که بالاترین میزان زمین‌انباشتگی خاک با فلزات مربوط به مس، کادمیوم و مولیبدن است. متوسط میزان  $Cf$  نیز به صورت زیر خود را نشان داد:

$$Mo > Cu > Cd > Mn > As > Th > Sr > Co > Pb$$

با توجه به میزان  $Cf$  فلزات سنگین (جدول ۶) مس، مولیبدن، کادمیوم، منگنز آلودگی قابل توجه‌ای نشان می‌دهند. سرب، آرسنیک، توریم، کبالت و استرنسیم آلودگی متوسط را دارا می‌باشند. توزیع طبقه‌بندی شاخص‌های  $I_{geo}$ ،  $Ef$ ،  $Cf$  برای فلزات سنگین بر اساس روش طبقه‌بندی بیان شده شاخص‌های مورد نظر انجام

#### ۴- بحث

##### ۴-۱- نتایج آماری

در جدول (۸) میانگین  $Ef$ ،  $I_{geo}$ ،  $Cf$  محاسبه شده در خاک‌های منطقه نشان داده شده است. با توجه به جدول (۸) مشخص شد که متوسط میزان  $Ef$  مورد بررسی به صورت زیر افزایش یافته است:

$$Mo > Cu > Mn > Cd > As > Th > Co > Sr > Pb$$

به عبارتی می‌توان گفت بالاترین میزان غنی‌شدگی خاک با فلزات براساس  $Ef$  مربوط به فلزات مولیبدن و مس و پایین‌ترین نیز مربوط به فلزات سرب و استرنسیم است.

براساس جدول (۲) مولیبدن و مس غنی‌شدگی قابل توجه، منگنز، کادمیوم، آرسنیک، توریم غنی‌شدگی متوسط داشته و فلزات استرانسیم، کبالت و سرب کمترین غنی‌شدگی را نشان می‌دهند. تفاوت در مقادیر غنی‌شدگی می‌تواند ناشی از اختلاف در میزان موجودی هر فلز در خاک باشد. غنی‌شدگی مس و مولیبدن در خاک‌های منطقه در ارتباط با کانی‌سازی این فلزات و نیز فعالیت معدنکاری در منطقه می‌باشد که در طی زمان در اثر فرسایش به دیگر بخش‌های منطقه نیز انتقال یافته است.

شده است. نتایج نشان داد که مقادیر Igeo برای فلزات سنگین سرب، آرسنیک، کبالت، استرنسیم، توریم و منگنز در تمام نقاط بررسی شده منفی است که عدم آلودگی به این فلزات را نشان می‌دهد. مقدار شاخص زمین‌انباشت فلزات مس، مولیبدن، کادمیوم آلودگی متوسط منطقه را نسبت به این سه فلز نشان داد (جدول ۴). نتایج درصد فاکتور غنی‌شدگی مس (۲۵/۹ درصد) را نشان داد که بالاتر از سایر فلزات مورد مطالعه بود. آرسنیک (۲۳/۴۳ درصد)، مولیبدن (۲۰/۹۶ درصد)، منگنز (۱۷/۳۱ درصد)، استرنسیم (۱۶/۵۷ درصد)، کبالت (۱۵/۰۰ درصد)، سرب (۱۴/۳۷ درصد)، کادمیوم (۵/۸۸ درصد)، توریم (۱/۷۶ درصد)، می‌باشد. علت درصد بالای آلودگی برخی فلزات مانند مس و مولیبدن را می‌توان به فعالیت‌های انسانی

مربوط به کادمیوم (۰/۶۶) است. میانگین غلظت فلزات سنگین منطقه به صورت حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی در جدول (۹) خلاصه شده است. با توجه به جدول، در بین فلزات سنگین مورد مطالعه، بالاترین میانگین غلظت فلزات در خاک به فلز منگنز (۲۱۷۶/۰۹) و پایین‌ترین غلظت فلزات مربوط به کادمیوم (۰/۶۶) است. میانگین غلظت فلزات سنگین منطقه به صورت زیر می‌باشد:

Cd<Mo<CO<As<Pb<Th<Cu<Sr<Mn

جدول ۸. مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه (شاخص غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، شاخص آلودگی) در منطقه

Th	Sr	Mn	Co	Cd	As	Pb	Mo	Cu	نوع شاخص
۲/۰۸	۱/۵۷	۴/۷۶	۱/۴۹	۴/۷۲	۳/۵۹	۱/۵۵	۶/۲۶	۵/۲۶	میانگین غنی‌شدگی
-۰/۲	-۰/۶	-۰/۰۸	-۱/۰۹	۰/۴۶	-۰/۲۳	-۱/۰۷	۰/۱۸	۰/۶	میانگین زمین‌انباشت
۱/۵۹	۱/۴۳	۳/۱۰	۱/۲۳	۳/۳۹	۲/۵۳	۱/۰۹	۴/۴۴	۴/۲۸	میانگین آلودگی

جدول ۹. آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین خاک منطقه مورد مطالعه (بر حسب mg/kg)

Th	Sr	Mn	Co	Cd	As	Pb	Mo	Cu	آماره فلزات
۴۹	۷۳	۱۵۷	۲	۰/۲۲	۲/۵	۵	۰/۶۴	۱۵	حداقل
۸۵۷۵	۱۳۰۱	۱۱۴۹۴	۱۴۵	۷/۷	۱۰۰	۱۴۸	۲۹/۴	۷۸۸	حداکثر
۱۹۹۷/۰۹	۲۷۶/۵۶	۲۱۷۷/۵	۲۳/۵	۱/۷۷	۲۵/۳۵	۲۸/۵۶	۶/۳۴	۲۱۵/۳۱	میانگین
۱۷۵۱/۵۶۷	۳۲۹/۴۷۶	۳۲۹۷/۲	۸۴۰/۱۲۹	۴۰/۸۰۸	۱۱۳۴/۳۷۴	۳۰/۷۶۰	۸/۳۳	۲۱۹/۵۰۷	انحراف
۱/۹۱۲	۳/۰۹۶	۱/۹۹۹	۲/۷۷۴	۵/۳۰۷	۱/۷۴۹	۲/۴۹۲	۱/۴۷۵	۱/۱۳۷	چولگی
۵/۳۸۸	۱۲/۸۲۶	۲/۴۱۷	۹/۴۴۵	۲۸/۹۷۴	۱/۴۹۵	۷/۰۵۸	۰/۹۵۴	۰/۳۱۰	کشیدگی
۸۷۷	۸۲	۱۵۱	۱۲۳	۳۵۹	۱۳۲	۱۰۷	۱۳۱	۱۰۱	درصد تغییرات

جهت تعیین میزان آلودگی خاک با فلزات سنگین در یک منطقه بایستی میزان غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد جهانی شناخته شده مقایسه شود. در این پژوهش غلظت فلزات سنگین با متوسط پوسته زمین مقایسه گردید. نتایج تجزیه شیمیایی حاکی از آن است که مقادیر میانگین فلزات سنگین مس، مولیبدن، منگنز، کادمیوم، سرب، کبالت، توریم و آرسنیک بالاتر از میانگین پوسته است. فقط میانگین فلز سنگین استرنسیم کمتر از پوسته می‌باشد (جدول ۱). ضریب تغییرات (Cv) درجه تغییرپذیری غلظت یک فلز را در خاک نشان می‌دهد. اگر Cv<20% باشد نشان‌دهنده تغییرپذیری کم، اگر 20%<Cv<50% باشد، تغییرپذیری متوسط، اگر

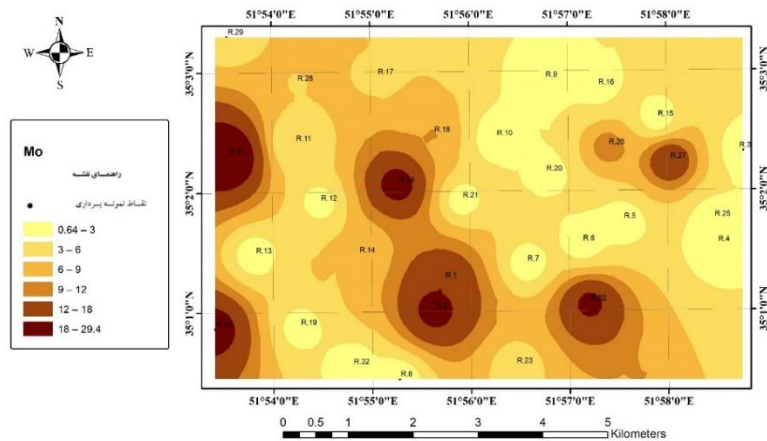
100%<Cv<50% تغییرپذیری زیاد و در صورتی که Cv<100% بالاتر از ۱۰۰ درصد باشد، تغییرپذیری بی‌نهایت بالا است. ضرایب تغییرات غلظت فلزات در خاک منطقه مورد مطالعه نشان داد که ضرایب تغییرات تمام فلزات به استثنا استرنسیم بالاتر از ۱۰۰ درصد است. مقادیر بالای ضرایب تغییرات این فلزات نشان‌دهنده این است که غلظت آن‌ها به طور قابل توجهی در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری متفاوت است و توزیع ناممکن آن‌ها به دلیل فعالیت‌های انسانی در منطقه است. مقادیر انحراف استاندارد در خاک منطقه مورد مطالعه با روند نزولی به صورت زیر است:

Mn>Th>Sr>Cu>Pb>As>Co>Mo>Cd

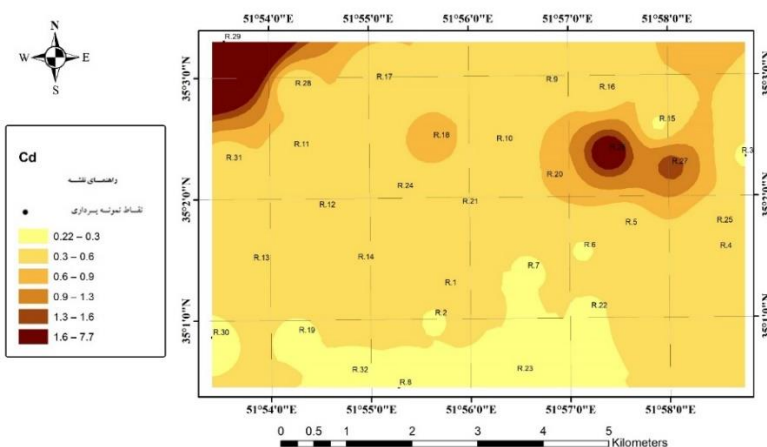
## ۲-۴- توزیع مکانی آلودگی

برای تهیه توزیع مکانی آلودگی از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه در شکل‌های ۲ تا ۱۰ نشان داده شده است.

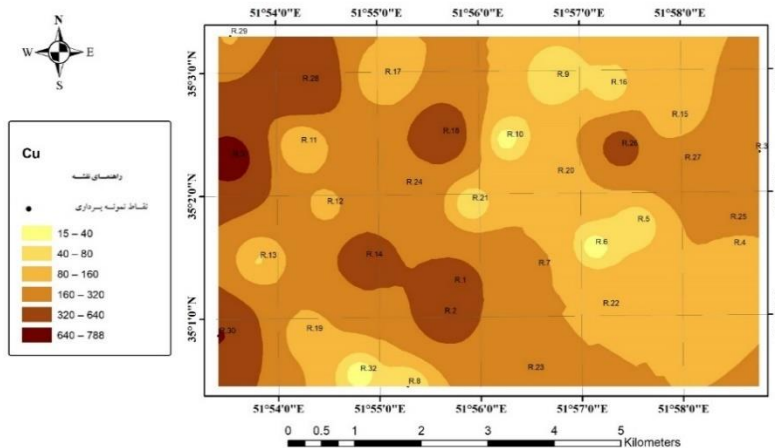
مقادیر زیاد انحراف استاندارد نشان‌دهنده گستره تغییراتی وسیع غلظت‌های فلزی در منطقه مورد مطالعه است. این موضوع برای فلزات مس، منگنز، استرنسیم و توریم صادق است. میزان چولگی همه فلزات مثبت بود و نشان داد که این فلزات چولگی مثبتی به سمت غلظت‌های پایین‌تر دارند.



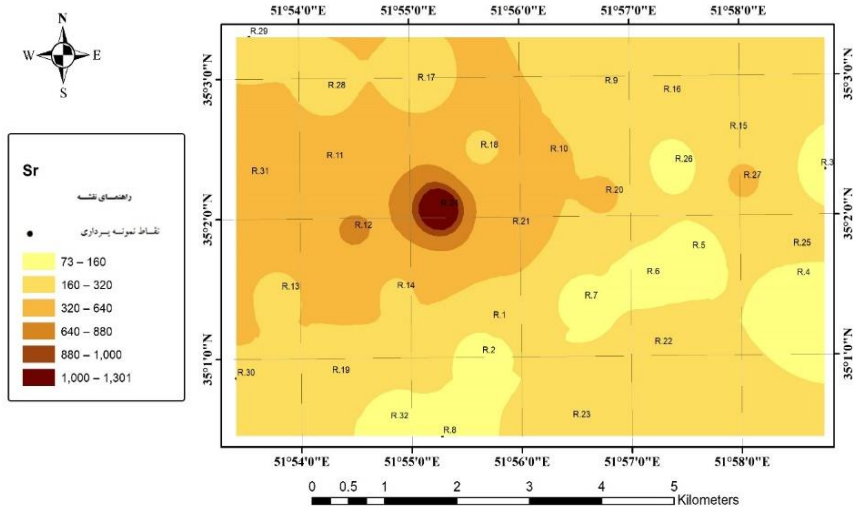
شکل ۲. توزیع مکانی فلز Mo



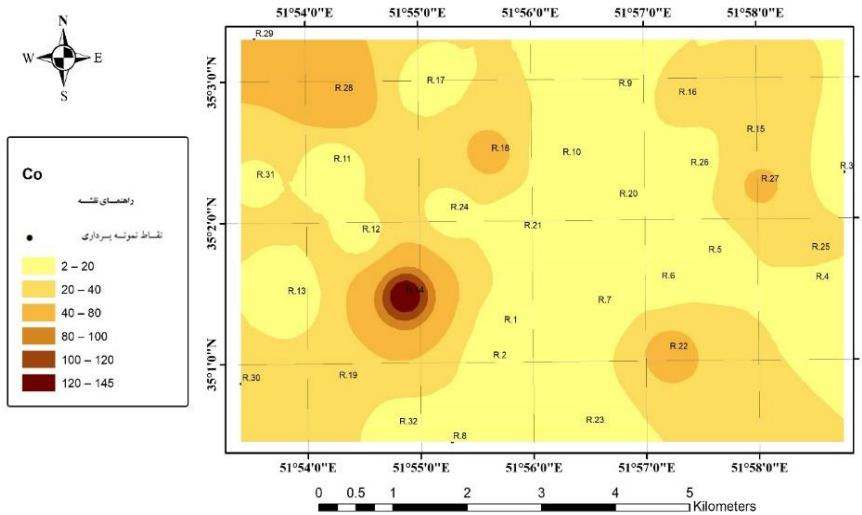
شکل ۳. توزیع مکانی فلز Cd



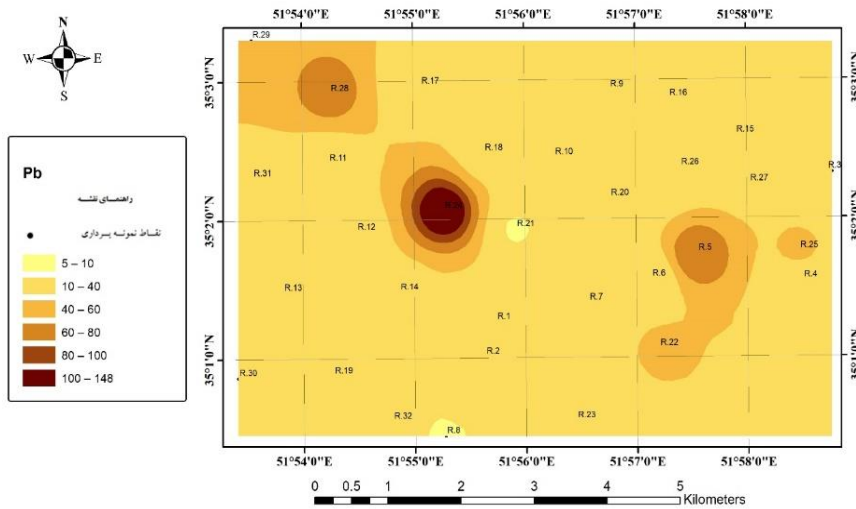
شکل ۴. توزیع مکانی فلز Cu



شکل ۵. توزیع مکانی فلز Sr

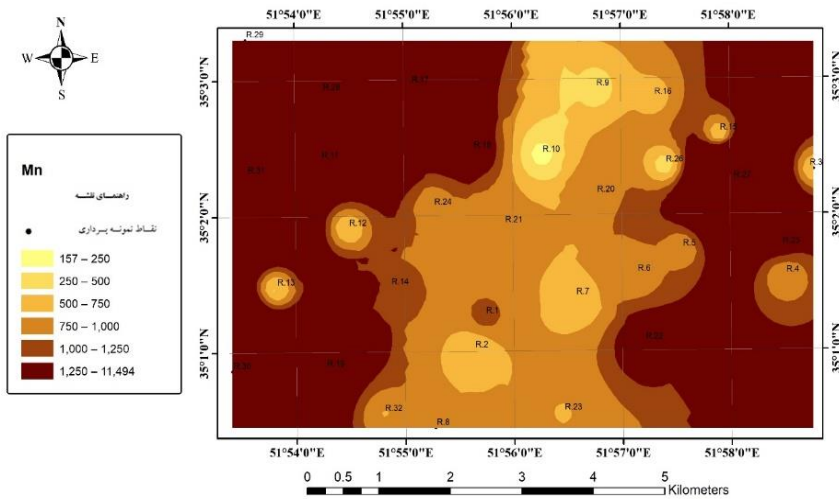


شکل ۶. توزیع مکانی فلز Co

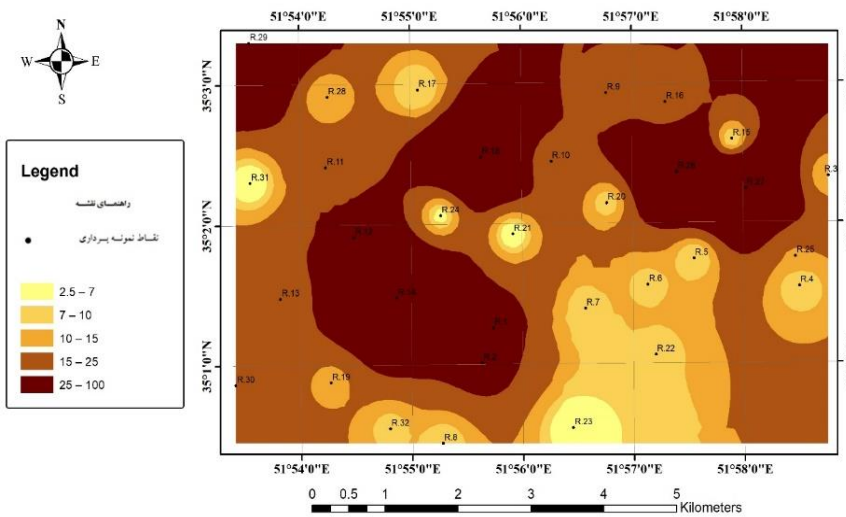


شکل ۷. توزیع مکانی فلز Pb

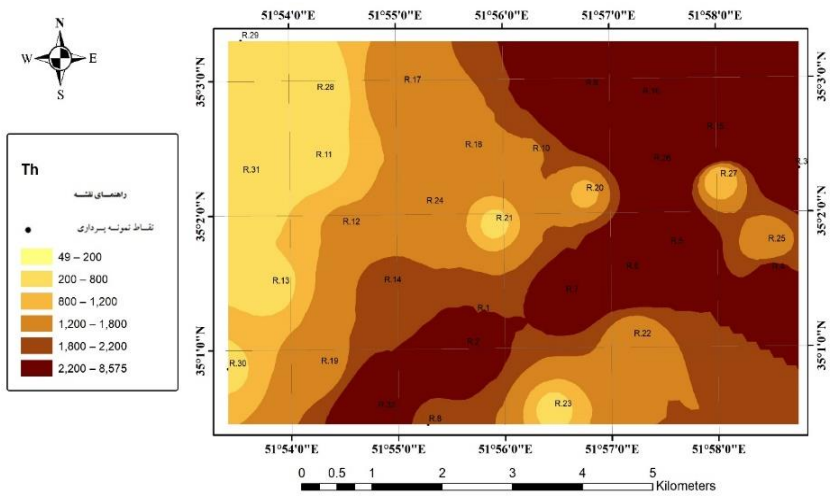




شکل ۸. توزیع مکانی فلز Mn



شکل ۹. توزیع مکانی فلز As



شکل ۱۰. توزیع مکانی فلز Th

حضور غیر عادی این فلز در این قسمت از منطقه باشد. پراکنش سطحی فلز آرسنیک با مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در بخش‌هایی از شمال غرب، جنوب غرب، شمال و شرق منطقه را می‌توان به کانی‌سازی این عنصر و نیز رخنمون سنگ‌های آذرین نفوذی مانند گرانیت نسبت داد. پراکنش سطحی فلز مولیبدن با مقدار بالاتر از ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در بخش غربی منطقه را می‌توان به حضور کانی‌سازی این فلز و معدنکاری مس در این بخش نسبت داد.

#### ۴-۳- ضریب همبستگی پیرسون

در مباحث آماری، ضریب همبستگی پیرسون یا ضریب همبستگی حاصلضرب- گشتاور پیرسون میزان همبستگی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که ((۱)) به معنای همبستگی مثبت کامل، ((۰)) به معنای نبود همبستگی و ((-۱)) به معنی همبستگی منفی کامل است. این ضریب که کاربرد فراوانی در آمار دارد، توسط کارل پیرسون بر اساس ایده اول فرانسیس گالتون تدوین شد (باقری، ۱۳۹۱). ضریب همبستگی هر متغیر با خودش ((۱)) است و ضریب بین (۰ تا ۰/۲) نشانه همبستگی ضعیف، ضریب بین (۰/۲ تا ۰/۶۹) همبستگی متوسط و ضریب (۰/۷ تا ۱) همبستگی قوی می‌باشد. برخی از عناصر ضریب همبستگی بالایی با یکدیگر دارند. (سرب با استرنسیم)، (مس با مولیبدن)، (مس با منگنز)، (منگنز با مولیبدن)، (کبالت با آرسنیک)، طبق جدول (۱۰) دارای همبستگی خوب و مثبتی هستند. همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌گردد، عناصر در ۶ خوشه قرار می‌گیرند. خوشه اول Th، خوشه دوم Cd، خوشه سوم Pb و Sr، خوشه چهارم As و Co، خوشه پنجم Mn و خوشه ششم Cu و Mo می‌باشند. در تحلیل ساده نمودار Cu و Mo دارای بیشترین تشابه و کمترین فاصله هستند و در یک شاخه قرار گرفته‌اند. کمترین ارتباط بین Cu و Th است. Th کمترین همبستگی را با دیگر عناصر نشان می‌دهد.

#### ۴-۴- تحلیل مولفه اصلی

به منظور تفسیر بهتر روابط بین متغیرهای خاک در نمونه‌ها معمولاً از روش تحلیل مولفه اصلی به عنوان مکمل استفاده می‌شود. در حقیقت اساس روش تحلیل مولفه

بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی و با استفاده از نتایج آماری (جدول ۹) وضعیت پراکنندگی فلزات سنگین مس، مولیبدن، منگنز، کادمیوم، سرب، استرنسیم، توریم، کبالت و آرسنیک در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. پراکنندگی سطحی فلز مس با مقادیر بالاتر از ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک‌های بخش غربی منطقه مشاهده می‌گردد. فعالیت‌های معدنکاری همراه با حرکت محلول‌های مس‌دار توسط ساختارهای خطی و زون‌های گسلی در منطقه حجم گسترده‌ای از کانی‌سازی مس در این بخش را نشان می‌دهد (حسن‌زاده و رحیمی‌پور، ۱۳۹۱). پراکنندگی سطحی فلز سرب با مقادیر بالاتر از ۱۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در بخش مرکزی منطقه دیده می‌شود که می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی سرب در این نواحی باشد. وجود توده‌های نفوذی گرانیت دانه‌درشت و سنگ بستر ماسه‌سنگ و شیل نیز در تمرکز سرب نقش دارند. در قسمت شمال غربی منطقه که به جاده اصلی نزدیک می‌باشد، تردد وسایل نقلیه میزان این عنصر را تا حدودی افزایش داده است (یگانه، ۱۳۹۱). پراکنندگی سطحی فلز کادمیوم با مقادیر بالاتر از ۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک‌های بخش شمال غربی منطقه به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و نزدیک مناطق مسکونی بیشتر است. پراکنندگی سطحی فلز کبالت با مقادیر بالاتر از ۱۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در قسمت جنوب غربی منطقه منشأ گرفته از سنگ‌های ولکانیکی مانند آندزیت و بازالت می‌باشد. از طرفی ذرات تشکیل‌دهنده کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن نیز می‌توانند حاصل فرسایش سنگ‌های قدیمی‌تر منطقه باشند که ترکیب مافیک دارند و از لحاظ کبالت غنی هستند. پراکنندگی سطحی فلز منگنز با مقادیر بالاتر از ۸۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در قسمت‌های شمال غرب، جنوب غرب و بخش شرق منطقه می‌تواند حاصل از سنگ بستر شیل و نیز کانی‌سازی منگنز در این نواحی باشد. با توجه به اینکه بسیاری از مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی حاوی منگنز هستند، در نواحی شمال غرب منطقه استفاده از کودهای شیمیایی نیز می‌تواند در تمرکز منگنز نقش داشته باشد. پراکنندگی سطحی فلز استرنسیم با مقادیر بالاتر از ۱۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در قسمت مرکزی منطقه وجود دارد. این فلز به لحاظ ژئوشیمیایی رفتاری مشابه کلسیم دارد، بنابراین وجود رسوبات مارنی همراه با گچ می‌تواند توجیه‌کننده

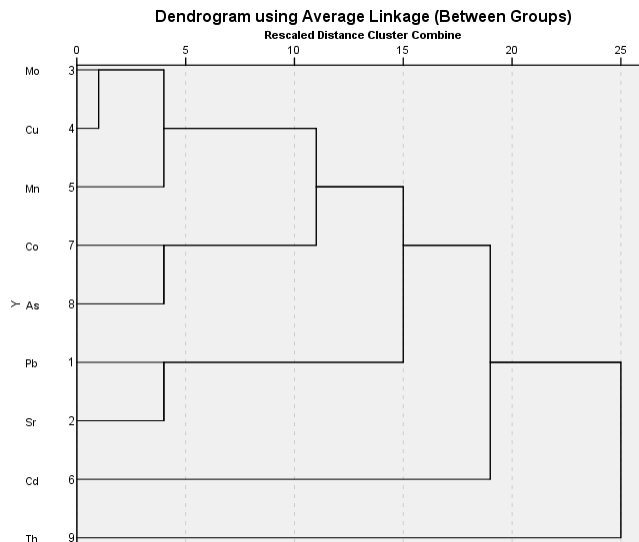
مولفه در جهت توزیع عناصر در منطقه را نشان می‌دهد مولفه Cu, Mo, Mn, مولفه Co, As, مولفه Pb, Sr و مولفه Th, Cd قرار دارند (شکل ۱۲). این نمودار کاملاً مشابه با نمودار خوشه‌ای، ارتباط و همبستگی بین عناصر در هر مولفه را با یکدیگر به خوبی نشان می‌دهد.

اصلی (PCA) بر ماتریس همبستگی بین متغیرها استوار است (میلر و میلر، ۲۰۰۰). این روش می‌تواند اطلاعات بسیاری در مورد ساختار اولیه داده‌ها و روابط احتمالی بین آن‌ها را بیان کند (گلوبوکانین، ۲۰۰۴). هدف اصلی در به کارگیری از این روش آماری کنترل واقعی متغیرها و داده‌ها می‌باشد (بوروکا، ۲۰۰۵). ترسیم نمودار مولفه اصلی ۴

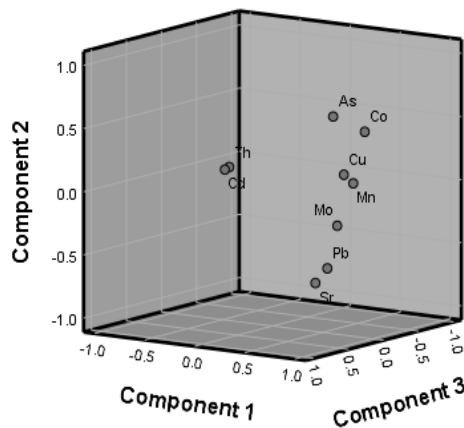
جدول ۱۰. ضریب همبستگی پیرسون فلزات مورد مطالعه

Correlations									
	Pb	Sr	Mo	Cu	Mn	Cd	Co	As	Th
Pb	1								
Sr	.587**	1							
Mo	.388*	.360*	1						
Cu	0.229	0.113	.702**	1					
Mn	0.296	0.1	.514**	.639**	1				
Cd	0.019	-0.072	0.052	0.192	0.02	1			
Co	0.203	0.03	0.204	.460**	.429*	-0.029	1		
As	0.002	-0.023	0.198	.366*	0.248	0.175	.573**	1	
Th	-0.115	-0.208	-0.274	-0.281	-.408*	-0.01	-0.11	-0.151	1

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل ۱۱. نمودار خوشه‌ای فلزات مورد مطالعه



شکل ۱۲. نمودار سه‌بعدی مولفه‌های فلزات مورد مطالعه

## ۵- نتیجه‌گیری

به طور کلی در جنوب کاشمر نشانه‌هایی از ذخایر معدنی گزارش شده است که می‌تواند زمینه‌ساز آلودگی محیط زیست گردد. به همین دلیل در این پژوهش با توجه به اهمیت سلامت خاک از دیدگاه زیست‌محیطی، میزان حضور و نحوه پراکنش فلزات سنگین در خاک منطقه جعفرآباد مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج شاخص‌های آلودگی مختلف نشان داد که فلزات مس و مولیبدن در بخش غربی منطقه با توجه به کانی‌سازی این فلزات و فعالیت معدنکاری آلودگی قابل توجه‌ای نشان می‌دهند و شایسته است این امر مورد توجه کارشناسان و ساکنین منطقه قرار گیرد تا شاهد ورود این فلزات به چرخه زیستی و پیامدهای احتمالی آن در آینده نباشیم. سرب تنها در بخش کوچکی از مرکز منطقه آلودگی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه این عنصر یکی از فلزات سنگین بسیار سمی برای حیات انسان به شمار می‌رود، بایستی نواحی متأثر از آن مورد توجه قرار گیرد. هرچند منطقه نسبت به عناصری مانند آرسنیک آلودگی چندانی نشان نمی‌دهد ولی بهتر است با توجه به کاربری خاک در منطقه، میزان نفوذ این عنصر در آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز مدنظر قرار گیرد. احتمال می‌رود استفاده از کودهای فسفره در بخش غربی منطقه آلودگی قابل توجه‌ای از کادمیوم را به همراه داشته است. بنابراین در استفاده از کودها بایستی تعمق بیشتری صورت گیرد. وجود سنگ بسترهای شیلی و ماسه‌سنگی در بخش غربی منطقه در تمرکز منگنز نقش مهمی دارند. بر اساس ماتریس همبستگی که برای تعیین ارتباط فلزات سنگین با یکدیگر استفاده گردید، فلزات مس، مولیبدن و منگنز همبستگی خوب و مثبتی نشان دادند که حاکی از منشأ مشترک آن‌ها و مرتبط با کانی‌سازی این عناصر و فعالیت معدنکاری در غرب منطقه است. فلزات کبالت با آرسنیک نیز همبستگی مثبت نشان می‌دهند. توریم که می‌تواند در سنگ‌های گرانیتی منطقه حضور داشته باشد با تمام فلزات همبستگی منفی نشان می‌دهد. استرنسیم نیز که می‌تواند در سنگ‌های کربناته گچ‌دار وجود داشته باشد با بیشتر فلزات همبستگی منفی و یا ضعیف نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه ناشی از عوامل زمین‌زاد و انسان‌زاد است. سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی به عنوان عوامل

انسان‌زاد و فعالیت‌های معدنکاری و کانی‌سازی فلزات و تا حدی فعالیت‌های کشاورزی در منطقه به عنوان عوامل انسان‌زاد در این امر نقش داشته‌اند. فعالیت‌های معدنی با انتقال فلزات به رسوبات و تماس آن‌ها با آب و اکسیژن، سبب افزایش تحرک فلزات سنگین در محیط و گسترش آلودگی می‌شوند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که اقداماتی در جهت جلوگیری از تخریب محیط‌زیست و اثرات سو بر سلامتی ساکنین منطقه صورت پذیرد.

## منابع

- ابراهیمی کارگر شیرازی، ن.، سعادت، س.، جوانبخت، م (۱۳۹۹) ارزیابی آلودگی زیست‌محیطی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه شوراب (جنوب کاشمر- خراسان رضوی)، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۵، دوره ۲۷، ص ۸۴-۷۵.
- باقری، ه (۱۳۹۱) نمونه‌برداری و تجزیه دستگاهی نمونه‌های معدنی و زیست‌محیطی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان، ۳۴۲ ص.
- جمشیدی، ا.، ساریخانی، ر.، کرمی، گ.، قاسمی دهنوی، ا. (۱۳۹۹) بررسی آلودگی فلزات سنگین و منشأ آن‌ها در شرق شهرستان ازنا، استان لرستان، مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۲۸، دوره ۱۴، ص ۴۴-۲۹.
- حسن‌زاده، ف.، رحیمی‌پور، غ (۱۳۹۱) شناسایی مناطق امید بخش معدنی با استفاده از اکتشاف ژئوشیمی رسوبات آبراه‌های ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوی، فصلنامه بلورشناسی و کانی‌شناسی، شماره ۳۱، ۱۶ ص.
- حق‌پرست، م.، ترشیزیان، ح.، دبیری، ر (۱۳۹۸) ارزیابی میزان غلظت فلزات سنگین و میزان آلودگی در رسوبات منطقه افیولیتی آلمه‌جوق (شمال شرق ایران)، مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، شماره ۴، دوره ۲۱، ص ۱۰۵-۹۳.
- صلواتی‌نیک، ص.، سعادت، س.، علامه، م (۱۳۹۹) بررسی زیست محیطی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه ششتمد (شمال شرق ایران)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۳، جلد ۳۴، ص ۷۳۵-۷۳۱.
- فاضل‌ولی‌پور، م.، ا.، فاضل‌ولی‌پور، ب.، دبیری، ر (۱۳۹۷) ارزیابی ژئوشیمی و زیست‌محیطی فلزات سنگین در خاک منطقه رباط سفید (جنوب مشهد)، فصلنامه زمین‌شناسی محیط زیست، شماره ۴۲، دوره ۱۲، ص ۶۰-۴۵.
- قاسمی‌دهنوی، ا (۱۳۹۹) ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های سرپانتینیته منطقه هرسین - صحنه، کرمانشاه، مجله رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۱۶، دوره ۸، ص ۱۰۴-۹۳.

- tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination- A review. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(6): 2395-2420.
- Loska, K., Wiechuta, D (2003) Application of principal component analysis of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. *Chemosphere*, 51(8): 723-733.
- Miller, N., Miller, C (2000) *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*, Pearson Education Englewood Cliffs, New Jersey. 228pp.
- Mitra, S., Kebbekus, B. B (1997) *Environmental chemical analysis*. Newyork: CRC Press.
- Muller, G (1979) Index of geoaccumulation sediments of the Rhine River. *Geo Journal*, 2: 108-119.
- Seshan, B. R. R., Natesan, U., Deepthi, K (2010) Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India. *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 7(2): 291-306.
- Sutherland, R (2000) Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6): 611-627.
- Tahmasebi, P., Mahmudy Gharai, M. H., Ghasemzadeh, F., Karimi Karouyesh, A (2015) 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.
- Weissmannova, H. D and Pavlovsky, J (2017) Indices of soil contamination by heavy metals- methodology of calculation for pollution assessment (minireview). *Environment Monitoring Assessment*, 189(616): 1-25.
- Zhang, W., Feng, H., Chang, J., Qu, J., Xie, H., Yu, L (2009) Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal Zone: an assessment from different indexes. *Environmental Pollution*, 157(5): 1533-1543.
- Zonta, R., Botter, M., Cassin, D., Zaggia, L (2007) Sediment chemical contamination of shallow water area close to the industrial to the industrial zone of Porto Mar-Ghera (Venice Lagoon, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 55: 529-542.
- مظهری، س. ع (۱۳۹۶) بررسی زمین‌شیمی خاک‌های سطحی و نقش کانی‌شناسی در میزان دسترسی زیستی فلزات سنگین در منطقه سبزوار، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره ۲، سال ۲۵، ص ۲۹۴-۲۷۹.
- یگانه، م (۱۳۹۱) مدلسازی روند انباشت عناصر سنگین در خاک‌های سطحی استان همدان و تعیین خطرپذیری ناشی از آن بر سلامت انسان، رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D (2005) Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port, *Chemosphere*, 61(6): 800-809.
- Boruvka, L., Vacek, O., Jehlicka, J (2005) Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, 128: 289-300.
- Chen, C., Kao, C. M., chen, C. F., Dong, C. D (2007) Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66(8): 1431-1440.
- Deely, J. M., Fergusson, J. E (2017) Heavy metal and organic matter concentration and distributions in dated sediment of small adjacent to a small urban area. *Science of the Total Environment*, 153: 97-111.
- Ghrefat, H., Yusuf, N (2006) Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-ArabDom, Jordan. *Chemosphere*, 65: 2114-2121.
- Golobocanin, D., Skerbic, D., Miljevic, R (2004) Principal component analysis for soil contamination with PAHS. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 72: 219-223.
- Gonzales-Macias, C., Schifter, I., Liuch-Cota, D., Endez-Rodriguez, L., Hernandez-Nazquez, S (2006) Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 118: 211-230.
- Guo, Y., Huang, C., Pang, J., Zha, X., Li, X., Zhang, Y (2014) Concentration of heavy metals in the modern flood slackwater deposits along the upper Hanjiang River valley, China. *Catena*, 116: 123-131.
- Hadia, F., Ambreen, A (2018) Heavy metal pollution-A mini review. *Journal of Bacteriology and Mycology*, 6(3): 179-189.
- Hakanson, L (1980) Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975-1001.
- Kesler, S. E., Simon, A. C., Simon, A. F (2015) *Mineral resources, economics and the environment*. Cambridge University Press.
- Kowalska, J. B., Mazurek, R., Gasiorek, M., Zaleski, T (2018) Pollution indices as useful

## Investigation of Heavy metals contamination and their origin in soil region JafarAbad, southwest of Kashmar, Khorasan Razavi province

M. E. Fazelvalipour

Assist. Prof., Dept., of Geology, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran

\* dr.ef.valipour@gmail.com

Recieved: 2021/9/20 Accepted: 2021/12/29

### Abstract

This study was conducted to investigate the heavy metal contamination and their region in Jafar Abad, southwest of Kashmar in Khorasan Razavi province. For this purpose, heavy metals of surface soil samples 32 (10- 30 cm) were analyzed in the Jafar Abad, southwest Kashmar by ICP-MS origin indices and degree of contamination including enrichment factor (Ef) and its percentage, geoaccumulation index (Igeo), contamination factor (Cf) were calculated to evaluate soil contamination. Based on the results, in between heavy metals, Manganes has the highest and Cadmium the lowest average contamination. Maximum and minimum enrichment factors are also Molybdenum and lead respectively. The results show that the study area is almost contaminated with respect to copper and molybdenum metals. The results of this study indicate that heavy metals contamination is lithogenic and mainly due to the lithology of the region such as shale, sandstone, conglomerate, gypsum marls, granite and volcanic rocks, and anthropogenic contaminants, except from limited mining activities and some agricultural activities did not play a significant role in the contamination of this region. Based on cluster analysis and principal component analysis, the presence of some metal such as copper, molybdenum and manganese together indicates their common origin.

**Keywords:** Pollution, Heavy metals, Soil, Jafar Abad, City Kashmar