

ارزیابی ژئوشیمیایی و زیست محیطی فلزات سنگین در خاک منطقه رباط سفید (جنوب مشهد)

محمد ابراهیم فاضل ولی پور^۱، بنفشه فاضل ولی پور^{۲*}، رحیم دبیری^۳

۱- استادیار پترولوژی، گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

banafsheh.fazelvalipoor@yahoo.com

۳- دانشیار پترولوژی، گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۱۰

چکیده

محدوده رباط سفید واقع در مسیر جاده مشهد به تربت حیدریه توسط رخنمون‌های افیولیتی به شدت سرپتینیتی شده احاطه شده است که می‌تواند به عنوان منشا زمین‌زاد آلودگی منابع خاک منطقه به فلزات سنگین در نظر گرفته شود. با توجه به اهمیت موضوع در مقاله حاضر به بررسی و ارزیابی فلزات سنگین در منابع خاک منطقه رباط سفید پرداخته شده است. به همین دلیل غلظت فلزات سنگین در ۱۱ نمونه خاک بررسی و تفسیر شده است. برای این هدف از روش‌های آماری چند متغیره و شاخص زمین انباشت، ضریب غنی‌شدگی و فاکتور آلودگی و فاکتور آلودگی اصلاح شده استفاده گردیده است. با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره (ضریب پیرسون، تحلیل مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای) همبستگی بین عناصر مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس ارزیابی‌های صورت گرفته سنگ‌های افیولیتی (سرپتینیت، گابرو، دونیت و هارزبورژیت) به عنوان منشا لیتوژنیک عناصر منطقه در نظر گرفته شده است. بر اساس اندازه‌گیری شاخص زمین انباشت برای خاک، نیکل دارای بالاترین میزان آلودگی در منطقه است. محاسبه فاکتور آلودگی نشان می‌دهد که نیکل و کروم دارای آلودگی بسیار زیاد، و کبالت دارای آلودگی زیاد در منطقه می‌باشد. همچنین با اندازه‌گیری فاکتور غنی‌شدگی، نیکل غنی‌شدگی شدید در منطقه نشان می‌دهد ولی منشا ورود این فلزات سنگین ساختارهای زمین شناسی منطقه و هوازدگی سنگ‌های افیولیتی است و منشا لیتوژنیک دارد.

واژگان کلیدی: رباط سفید، فلزات سنگین، ضریب پیرسون، فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی.

مقدمه

مهم‌ترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش‌های اسیدی و مواد آلی می‌باشند که از این میان فلزات سنگین به واسطه غیر قابل تجزیه بودن، سمیت زیاد، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی مورد توجه می‌باشند (Mico et al., 2006). فرآیندهای هوازدگی مواد مادری و خاک‌سازی و فعالیت‌های انسان بر روی کره زمین، شامل کاربرد کودهای شیمیایی، لجن فاضلاب و سوخت‌های فسیلی باعث شده تا غلظت فلزات سنگین در خاک به طور

خاک به عنوان بخشی از سیستم زیست زمین شیمیایی نقش مهمی در چرخه عناصر ایفا می‌کند و عملکردی مهم در ذخیره و تصفیه عناصر، انتقال اجزاء و رابطه اجزاء زنده و غیر زنده دارد (Huisman et al., 1997). در نتیجه مطالعات خاک همواره به صورت بخش مهمی از علوم زیست محیطی مطرح است (Keller, 1382).

منطقه مورد نظر بر اساس نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در برگه تربت حیدریه و بر اساس نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در برگه رباط سفید قرار می‌گیرد. گستره نقشه تربت حیدریه در زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است و مرز شرقی آن با گسل بینالود و مرز جنوبی آن با گسل درونه است (محمد زاده، ۱۳۹۱)

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه رباط سفید مربوط به کرتاسه بالایی می‌باشد. سنگ‌های این بازه سنی را می‌توان تنها به آمیزه‌های رنگین محدود کرد. مجموعه فیولیتی با روند شرقی- غربی در مرکز نقشه رباط سفید دارای بیشترین گسترش هستند. واحدهای سنگی عمدتاً شامل واحدهای سرپتینی، توده‌های نفوذی در حد دیوریت و گابرو و سنگ‌های اولترامافیک، سنگ‌های آذرآواری، توف و گدازه‌های بالشی و اسپیلیتی و همچنین آهک پلاژیک است (چمانه فر، ۱۳۹۱). شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۳ تصاویری از سنگ‌های سرپانتینیت و گابرو موجود در منطقه نشان داده شده است.

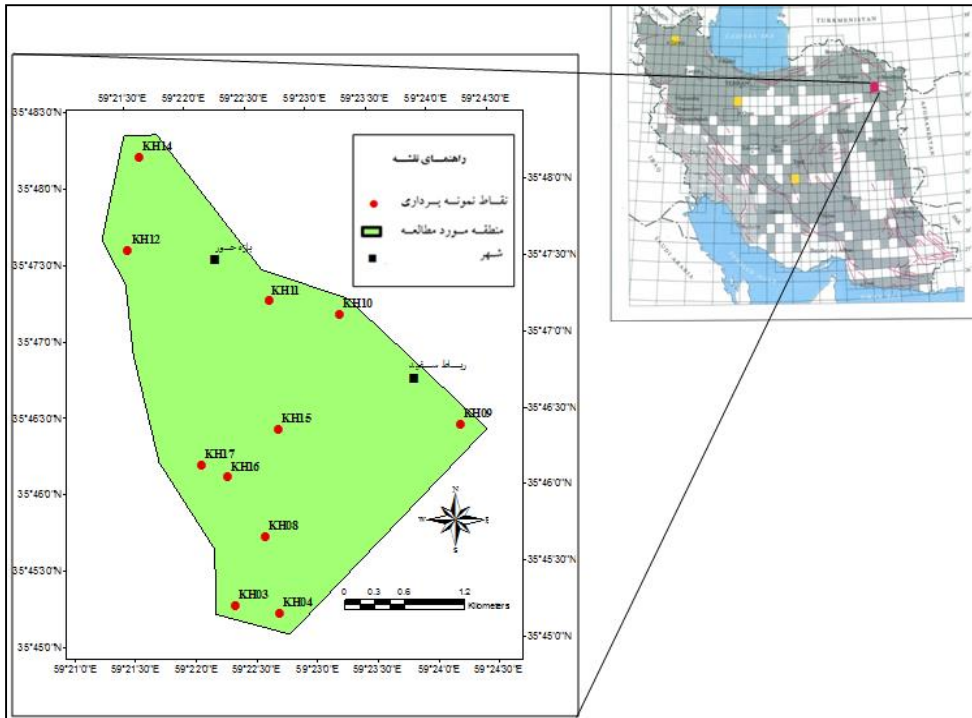
فازهای کوهزایی لارامید، پیرنئن، ساوین و استیرین که از جمله فازهای کوهزایی بعد از کرتاسه بالایی هستند در ورقه رباط سفید تاثیرگذار بوده‌اند. آثار حرکات تکتونیکی به صورت تاقدیس، ناودیس، برگشتگی لایه‌ها و چین خوردگی‌ها در شمال و جنوب ورقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. این حرکات گسل خوردگی را نیز به همراه داشته است که به وفور در آمیزه‌های رنگین دیده می‌شود. روند کلی این گسل‌ها در آمیزه‌های رنگین شمال غرب- جنوب شرق است و در سایر قسمت‌های ورقه به ویژه در شمال و جنوب، روند گسل‌خوردگی غالباً شرقی- غربی است (چمانه فر، ۱۳۹۱). شکل ۴ واحدهای ساختاری تشکیل دهنده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روز افزون افزایش یابد و در نهایت کارکرد خاک در مواردی دچار اختلال شود (Alloway, 1990).

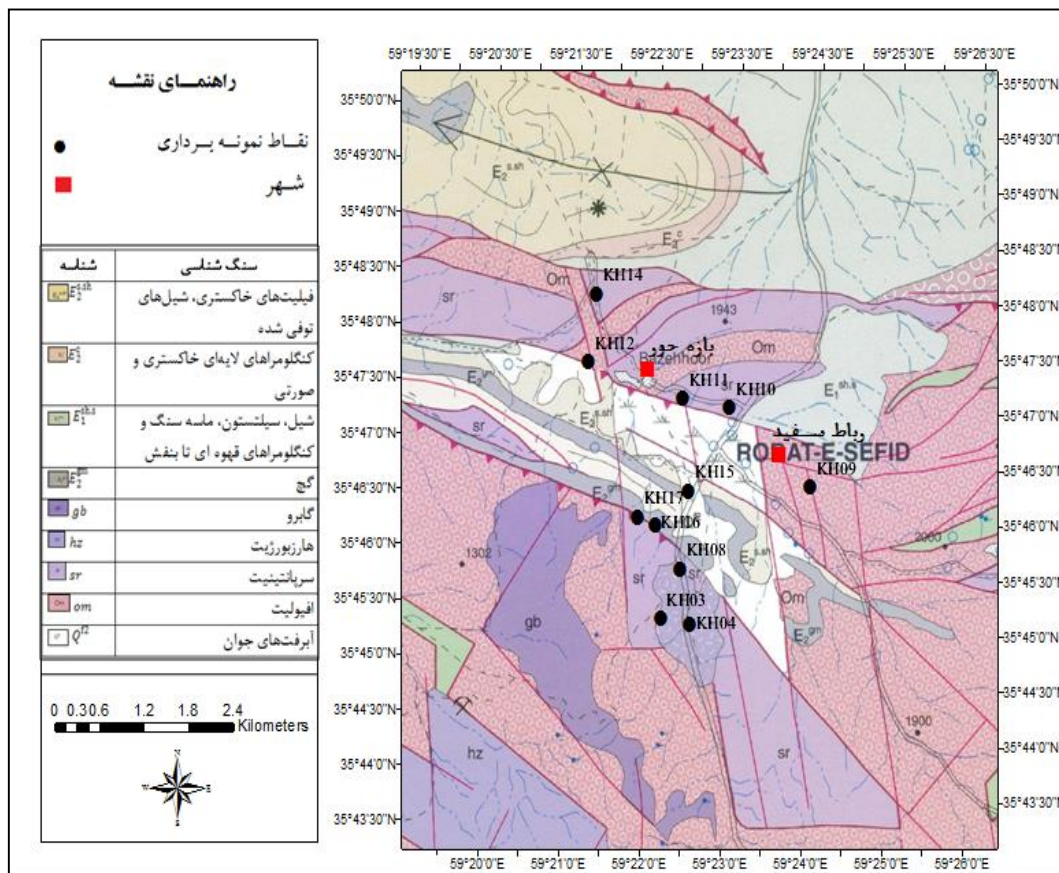
منطقه مورد مطالعه در یک زون فیولیتی واقع شده است که از ویژگی‌های بارز این مناطق وجود سنگ‌ها و خاک‌هایی با غلظت بالای فلزات سنگین می‌باشد. اغلب چشمه‌های مناطق فیولیتی از سنگ‌های اولترامافیک شدیداً سرپتینیت‌خارج می‌شوند و خاک‌های تشکیل شده بر روی سرپتینیت‌ها نسبت به دیگر انواع خاک‌ها غلظت بالایی از فلزات سنگین را دارا می‌باشند (Caridad et al., 2002). بنابراین شناسایی توزیع مکانی فلزات سنگین و تشخیص منابع آلودگی طبیعی از انسان‌زاد در خاک‌ها بسیار حائز اهمیت است، زیرا آلاینده‌های فلزی دارای زمان ماندگاری طولانی در محیط هستند و به راحتی تحت تاثیر فرآیندهای تخریب زیستی قرار نمی‌گیرند. برای مثال زمان ماندگاری کادمیم، جیوه و آرسنیک در خاک‌های طبیعی به ترتیب ۳۸۰، ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ سال است (McLaughlin et al., 1999). این پژوهش به منظور بررسی و توزیع مکانی فلزات سنگین در منطقه رباط سفید و تاثیرات ساختارهای زمین شناسی و عوامل انسانی بر روی غلظت این فلزات در خاک انجام گرفته است.

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه رباط سفید

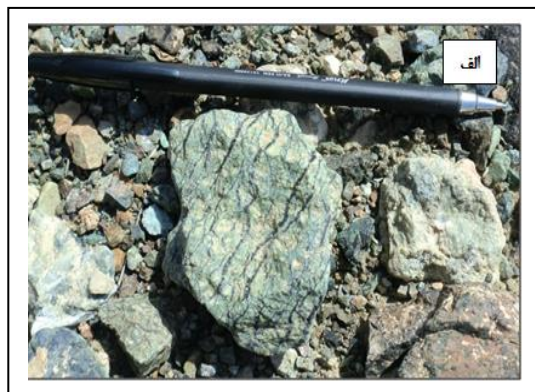
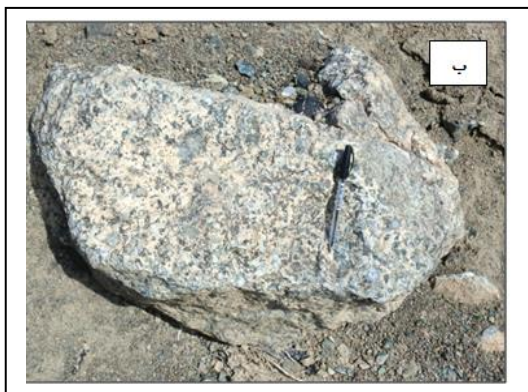
منطقه رباط سفید در محدوده ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و در ۷۶ کیلومتری جنوب مشهد واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است. از راه‌های اصلی منطقه می‌توان به جاده مشهد- تربت حیدریه و مشهد- نیشابور اشاره کرد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه رباط سفید و ایستگاه های نمونه برداری که به رنگ قرمز مشخص شده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- الف) سنگ سرپانتینیت با بافت شبکه‌ای (ب) گابرو با بلورهای پیروکسن



شکل ۴- تصویری از واحدهای ساختاری تشکیل دهنده منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

نمونه برداری از خاک‌های سطحی منطقه رباط سفید در اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ به منظور تعیین مقادیر فلزات سنگین موجود در خاک به تعداد ۱۱ نمونه خاک انجام شد. بعد از آماده‌سازی، به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین به روش ICP-MS، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه زرآرما ارسال گردید (جدول ۱). ارزیابی آلودگی خاک از شاخص زمین انباشت، فاکتور آلودگی، فاکتور آلودگی اصلاح شده و فاکتور غنی شدگی استفاده گردید. برای ارتباط عناصر با یکدیگر از ضریب پیرسون، تحلیل مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای استفاده گردیده است. تحلیل‌های آماری یاد شده با استفاده از بسته نرم افزاری SPSS.22 محاسبه و نقشه‌های لازم نیز با استفاده از نرم افزار Arc GIS, 9.3 تهیه شدند.

بحث و نتایج

ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation)

ضریب همبستگی ارتباط و وابستگی متغیرهای مختلف را نشان می‌دهد. در مطالعات ژئوشیمیایی، عوامل مختلفی از قبیل عوامل ژنتیکی و غیره می‌تواند در ارتباط و همبستگی متغیرها به یکدیگر موثر باشد، مقدار این وابستگی را می‌توان با ضریب همبستگی نشان داد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). در جدول ۲ ارتباط بین عناصر در نمونه‌های خاک نشان داده شده است. با توجه به جدول فوق همبستگی مثبت و قوی بین نیکل و کبالت ($r=0.939, P<0/01$)، کروم و کبالت ($r=0/796, P<0/01$) و نیکل و کروم ($r=0/623, P<0/05$) نشان از یک منشا مشترک در این عناصر دارد. همبستگی منفی بین نیکل و سرب ($r=-0/929, P<0/01$) و نیکل و آرسنیک ($r=-0/977, P<0/01$) نشان از منشا متفاوت این عناصر دارد.

جدول ۱- نتایج ICP-MS در نمونه های خاک (مقادیر عناصر بر حسب ppm)

Sample	Cu	Co	V	Ti	Mn	Ni	Zn	Cr	Ga	As	Pb
KH03	۱۶	77.6	46	695	781	1770	32.7	869	2.56	1.3	1.5
KH04	۱۶	79.3	45	401	764	1720	28.3	1070	2.17	1	0.7
KH08	22.3	75.8	59	931	799	1640	34.1	982	3.17	1.3	1.3
KH09	25.7	63.3	87	1710	784	1120	43.6	787	6.99	3	3.4
KH10	11.7	100	34	153	744	1970	29.1	1640	1.23	0.49	0.19
KH11	14.4	89.9	44	651	801	1830	29.4	1150	2.38	1.2	1.5
KH12	22.6	65.9	87	1660	874	1210	45.3	1180	4.98	3	3.5
KH14	25.6	61.3	65	1630	717	1110	38	529	5.98	2.9	4.9
KH15	18.2	83.2	57	859	823	1800	34.6	1110	2.72	1.2	1.2
KH16	10.8	97.8	33	308	716	2100	29.8	1210	1.47	0.49	0.7
KH17	10	98.6	41	321	795	1910	42.8	2040	1.72	0.6	0.5

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون برای عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه

Correlations

	Co	V	Ti	Mn	Fe	Ni	Zn	Pb	Cr	As
Co	1	-.867**	-.921**	-.235	.392	.939**	-.513	-.876**	.796**	-.920**
V	-.867**	1	.947**	.521	-.155	-.912**	.767**	.798**	-.496	.935**
Ti	-.921**	.947**	1	.327	-.390	-.956**	.698*	.940**	-.658*	.982**
Mn	-.235	.521	.327	1	.635*	-.229	.492	.089	.152	.305
Fe	.392	-.155	-.390	.635*	1	.473	-.014	-.619*	.502	-.436
Ni	.939**	-.912**	-.956**	-.229	.473	1	-.674*	-.929**	.623*	-.977**
Zn	-.513	.767**	.698*	.492	-.014	-.674*	1	.600	.017	.690*
Pb	-.876**	.798**	.940**	.089	-.619*	-.929**	.600	1	-.689*	.949**
Cr	.796**	-.496	-.658*	.152	.502	.623*	.017	-.689*	1	-.628*
As	-.920**	.935**	.982**	.305	-.436	-.977**	.690*	.949**	-.628*	1

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

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

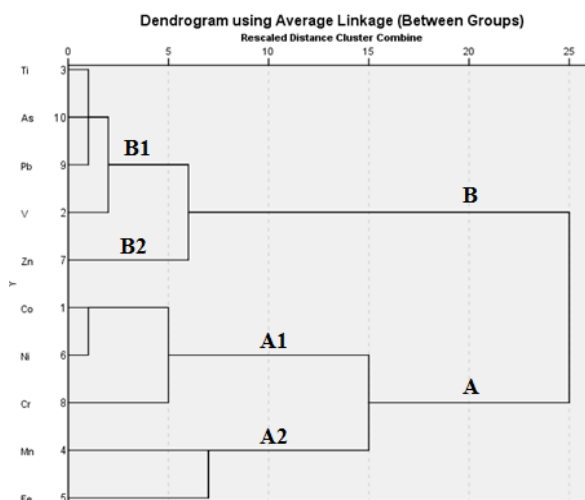
دو زیر گروه A_1 و A_2 تقسیم شده است، به طوری که زیر گروه A_1 شامل عناصر کبالت، نیکل و کروم و زیر گروه A_2 شامل عناصر آهن و منگنز است. قرار گرفتن عناصر مذکور در یک شاخه اصلی را می توان به دلیل منشا زمین شناسی یکسان آنها در منطقه دانست.

گروه دوم یا گروه B که خود به دو زیر گروه B_1 و B_2 تقسیم شده است. به طوری که عناصر تیتانیوم، آرسنیک، سرب و وانادیم در گروه B_1 و عنصر روی در گروه B_2 قرار گرفته است. نتایج بدست آمده در ضریب پیرسون توسط نمودار خوشه ای تایید می شود.

نمودار آنالیز خوشه ای (Cluster Analysis)

آنالیز خوشه ای، یک روش آماری چند متغیره است از ضرایب همبستگی که به وسیله نرم افزار SPSS.22 بدست آمده است، برای دستیابی به ضرایب تشابه و رسم دندروگرام استفاده می شود. درخت خوشه ای، گزینه های هم وزن را به هم متصل می کند تا خوشه های بزرگتر ایجاد شود و تشابهات مابین نمونه ها را سنجش و ارزیابی نماید (Anazawa et al., 2004; Beagens et al., 2005). نتایج آنالیز خوشه ای در شکل ۵ آمده است. این نمودار نشان می دهد که عناصر به دو گروه عمده تقسیم می شوند: گروه اول یا گروه A که خود به

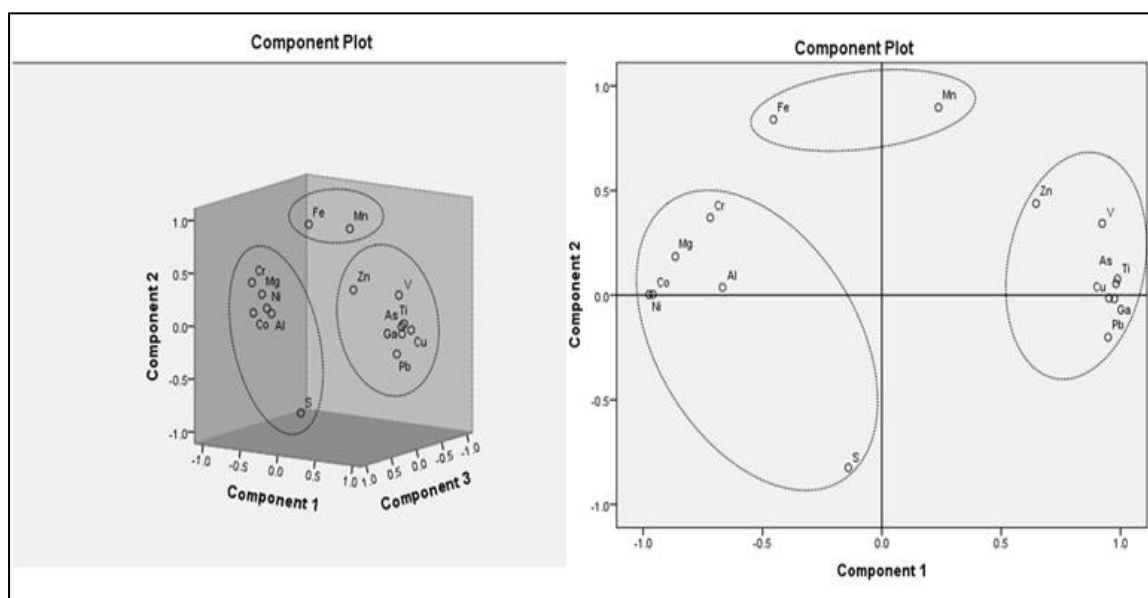
گرفته شده است (Loska & Wiechuya, 2003; Shakeri et al, 2009). فرض اساسی در روش تحلیل مولفه اصلی وجود ارتباط بین متغیرها است. این ارتباط در قالب یک فاکتور، در یک مدل فرضی ظاهر می شود. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، تحلیل مولفه اصلی، یک مدل سه مولفه‌ای برای داده‌ها پیشنهاد می کند. در مولفه نخست عناصر نیکل، کبالت، منیزیم، کروم، آلومینیوم و گوگرد، در مولفه دوم عناصر روی، وانادیم، آرسنیک، مس، گالیم، تیتانیوم و سرب و در مولفه سوم، عناصر آهن و منگنز به هم‌دیگر وابسته‌اند. گوگرد اگر چه یک گروه مجزا را تشکیل داده، اما بیشتر با مولفه نخست وابستگی نشان می دهد. این نتیجه‌گیری با نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای (شکل ۵) و نتایج ضریب پیرسون (جدول ۲) نیز سازگاری دارد. منسایکسان باعث تجمع برخی عناصر در کنار هم شده است. به عبارت دیگر منشا عناصر مولفه اول و سوم، که به هم نزدیک هستند، را به فعالیت‌های لیتوژنیک و عناصر مولفه دوم را به فعالیت‌های آنتروپوژنیک می توان نسبت داد.



شکل ۵- نمودار خوشه‌ای حاصل از تحلیل خوشه‌ای فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

تحلیل مولفه اصلی (Principle Component Analysis)

تحلیل مولفه اصلی (PCA) یکی دیگر از روش‌های آماری چند متغیره و مورد استفاده در مطالعات زیست محیطی است که در تفسیر نتایج آلودگی خاک به کار



شکل ۶- نمودار سه بعدی و آنالیز تحلیل مولفه اصلی فلزات سنگین در منطقه رباط سفید

میانگین فاکتور آلودگی (به ترتیب ۳۵/۹۲ و ۱۱/۴۲) دارای آلودگی بسیار زیاد در ناحیه بوده که با توجه رخنمون‌های افیولیتی و ساختارهای زمین شناسی منطقه امری قابل انتظار است. همچنین کبالت آلودگی زیاد و عنصر منگنز آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. در حالی که سایر فلزات مورد بررسی، با داشتن مقادیر میانگین ضریب آلودگی کمتر از یک، فاقد آلودگی و یا دارای آلودگی اندک هستند. نمودار میانگین فاکتور آلودگی عناصر در شکل (۷) قابل مشاهده است. نقشه پهنه‌بندی فاکتور آلودگی عناصر کروم، نیکل و کبالت در شکل (۸ و ۱۰) آورده شده است. پهنه‌بندی فاکتور آلودگی از روندی مشابه تغییرات غلظت عناصر پیروی می‌کند.

جدول ۳- طبقه بندی ضریب آلودگی از Hakanson, 1980

مقدار آلودگی خاک	پایین	متوسط	قابل توجه	بالا
CF	کمتر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۶	بیش از ۶

فاکتور آلودگی CF (Contamination Factor)

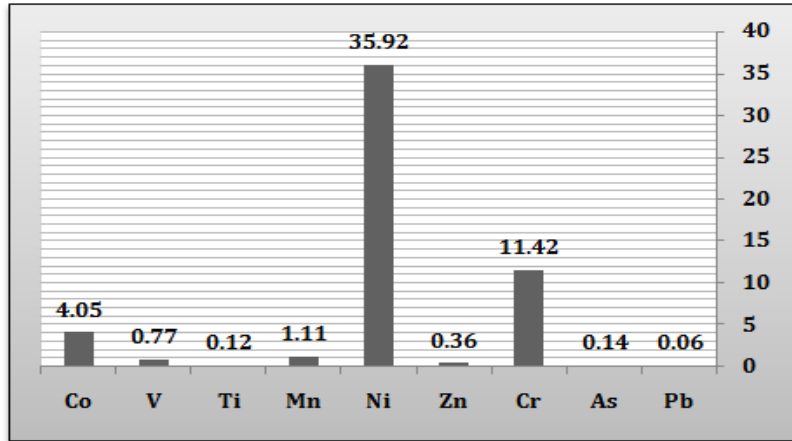
جهت تعیین آلودگی خاک به عناصر سنگین از فاکتور آلودگی استفاده گردید. بر اساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی را تعیین کرد (Hakanson, 1980). ضریب آلودگی طبق رابطه زیر برای عناصر مورد بررسی محاسبه شد (Hakanson, 1980):

$$CF = \frac{C_{Sample}}{C_{Background}} \quad (1)$$

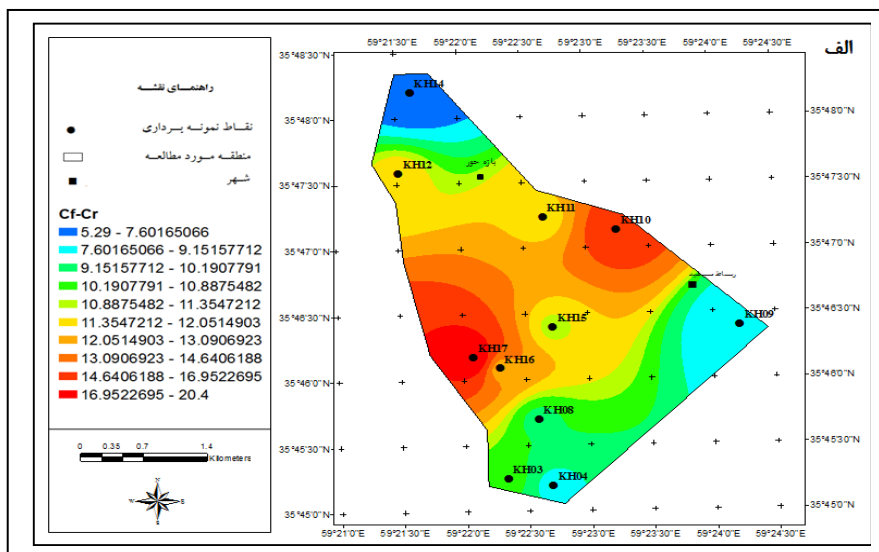
در این معادله CF فاکتور آلودگی، C_{Sample} : غلظت عنصر در نمونه، $C_{Background}$: غلظت عنصر در نمونه زمینه است (Hakanson, 1980). در این مطالعه از طبقه بندی Hakanson جهت ارزیابی آلودگی فلزات سنگین استفاده شد (جدول ۳) (Hakanson, 1980). ضرایب آلودگی عناصر در جدول (۴) آورده شده است. نیکل و کروم بر حسب

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده ضریب آلودگی در خاک ناحیه مورد مطالعه

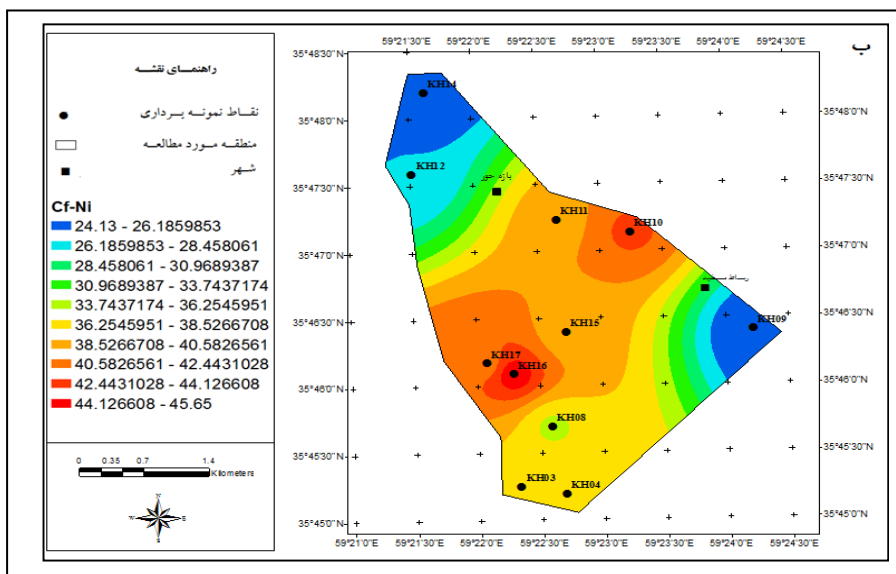
CF	Co	V	Ti	Mn	Ni	Zn	Cr	As	Pb
KH003	۳,۸۸	۰,۶۵	۰,۱	۱,۱۱	۳۸,۴۷	۰,۳۴	۸,۶۹	۰,۱۳	۰,۰۶
KH004	۳,۹۷	۰,۶۴	۰,۰۵	۱,۰۹	۳۷,۳۹	۰,۲۹	۱۰,۷	۰,۱	۰,۰۲
KH08	۳,۷۹	۰,۸۴	۰,۱۳	۱,۱۴	۳۵,۶۵	۰,۳۵	۹,۸۲	۰,۱۳	۰,۰۵
KH09	۳,۱۶	۱,۲۴	۰,۲۵	۱,۱۲	۲۴,۳۴	۰,۴۵	۷,۸۷	۰,۳	۰,۱۳
KH10	۵	۰,۴۸	۰,۰۲	۱,۰۶	۴۲,۸۲	۰,۳	۱۶,۴	۰,۰۴	۰
KH11	۴,۵	۰,۶۲	۰,۰۹	۱,۱۵	۳۹,۷۸	۰,۳	۱۱,۵	۰,۱۲	۰,۰۶
KH12	۳,۳	۱,۲۴	۰,۲۴	۱,۲۴	۲۶,۳	۰,۴۷	۱۱,۸	۰,۳	۰,۱۴
KH14	۳,۰۶	۰,۹۲	۰,۲۳	۱,۰۲	۲۴,۱۳	۰,۴	۵,۲۹	۰,۲۹	۰,۱۸
KH15	۴,۱۶	۰,۸۱	۰,۱۲	۱,۱۷	۳۹,۱۳	۰,۳۶	۱۱,۱	۰,۱۲	۰,۰۴
KH16	۴,۹	۰,۴۷	۰,۰۴	۱,۰۲	۴۵,۶۵	۰,۳۱	۱۲,۱	۰,۰۴	۰,۰۲
KH17	۴,۹۳	۰,۵۸	۰,۰۵	۱,۱۳	۴۱,۵۲	۰,۴۵	۲۰,۴	۰,۰۶	۰,۰۱
Mean	۴,۰۵	۰,۷۷	۰,۱۲	۱,۱۱	۳۵,۹۲	۰,۳۶	۱۱,۴۲	۰,۱۴	۰,۰۶



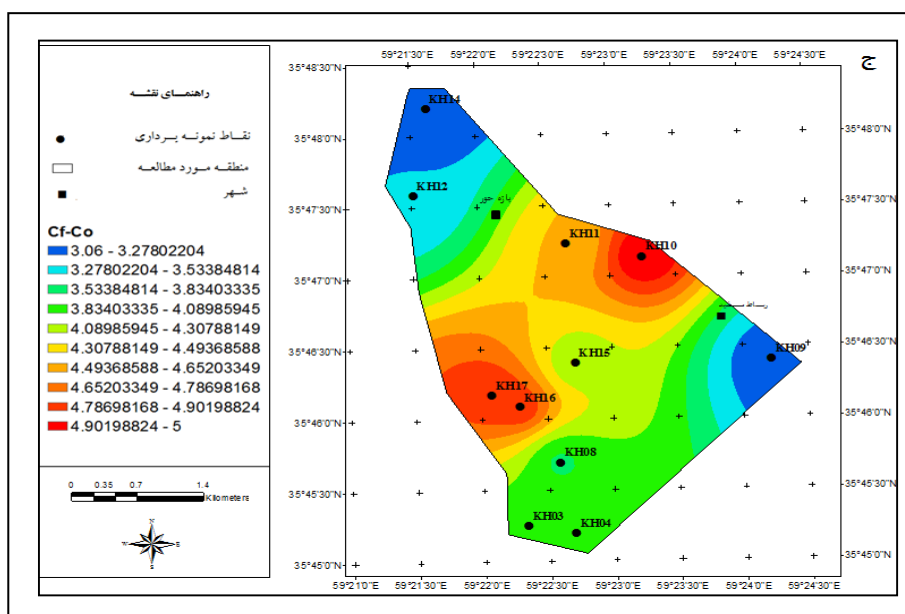
شکل ۷- متوسط ضریب غنی شدگی عناصر در خاک منطقه



شکل ۸- نقشه توزیع فاکتور آلودگی عنصر کروم



شکل ۹- نقشه توزیع فاکتور آلودگی عنصر نیکل



شکل ۱۰- نقشه توزیع فاکتور آلودگی عنصر کبالت

(Abraham, 2005). همچنین نمودار میانگین درجه آلودگی اصلاح شده عناصر در شکل ۱۱ قابل مشاهده است.

شاخص زمین انباشتگی (Index of Geoaccumulation)

شاخص زمین انباشتگی که توسط Muller (1969) معرفی شده است، شاخصی است که می‌تواند درجه آلودگی خاک را تعیین کند و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 \times B_n} \right] \quad (3)$$

که در آن، I_{geo} شاخص زمین انباشتگی، \log_2 لگاریتم بر پایه دو، C_n غلظت اندازه‌گیری شده فلز در نمونه خاک و B_n غلظت زمینه فلز مورد نظر (میانگین شیل) است. ضریب ۱.۵، فاکتور تصحیح ماتریس زمینه، ناشی از اثرات لیتولوژیکی است (Abraham & Parker, 2008) (Goorzadi et al, 2009).

فاکتور آلودگی اصلاح شده (Modified mCF) (Degree of Contamination)

فاکتور آلودگی برای ارزیابی شدت آلودگی کلی محیط به کار می‌رود و از مجموع ضرایب آلودگی تمام فلزات حاصل می‌شود. (Hakanson, 1980). با توجه به محدودیت‌های رابطه فاکتور آلودگی Abraham درجه آلودگی اصلاح شده را به شرح ذیل معرفی نموده است (Abraham, 2005):

$$mCF = \frac{\sum_{i=0}^n CF_f^i}{n} \quad (2)$$

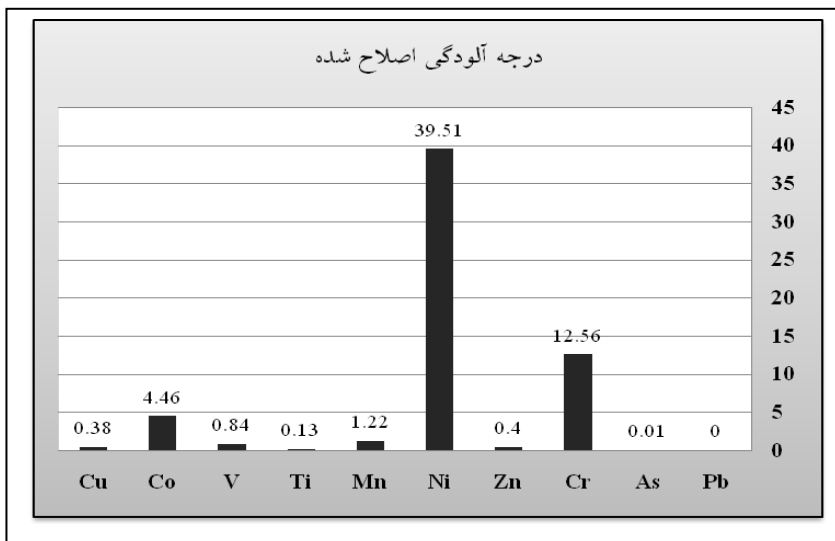
در این رابطه mCF ، درجه آلودگی تصحیح شده، CF_f^i ضریب آلودگی عنصر i و n ، تعداد عناصر تجزیه شده مورد بررسی می‌باشد. مقادیر محاسبه شده mCF در منطقه مورد بررسی به تفکیک عناصر، در جدول ۵ قابل مشاهده است. و دسته‌بندی سطح آلودگی خاک بر اساس مقادیر کمی شاخص آلودگی اصلاح شده (mCF) به ترتیب زیر در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده فاکتور آلودگی اصلاح شده به تفکیک عناصر در منطقه مورد مطالعه

عناصر	Cu	Co	V	Ti	Mn	Ni	Zn	Cr	As	Pb
mCf	۰/۳۸	۴/۴۶	۰/۸۴	۰/۱۳	۱/۲۲	۳۹/۵۱	۰/۴	۱۲/۵۶	۰/۰۱	۰/۰۶

جدول (۶)- رده بندی کیفیت خاک بر اساس شاخص فاکتور آلودگی اصلاح شده (mCF) (Abraham, 2005)

سطح آلودگی	متوسط درجه آلودگی	کلاس
غیر آلوده تا آلودگی کم	$mcf < 1.5$	کلاس ۱
آلودگی کم	$1.5 < mcf < 2$	کلاس ۲
آلودگی متوسط	$2 < mcf < 4$	کلاس ۳
آلودگی زیاد	$4 < mcf < 8$	کلاس ۴
آلودگی خیلی زیاد	$8 < mcf < 16$	کلاس ۵
آلودگی شدید	$16 < mcf < 32$	کلاس ۶
آلودگی بسیار شدید	$mcf > 32$	کلاس ۷



شکل ۱۱- نمودار میانگین درجه آلودگی اصلاح شده عناصر در منطقه مورد مطالعه

حاصله در جدول شماره (۸) و شکل (۱۰) ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود نیکل در ناحیه مورد مطالعه، دارای بالاترین میزان زمین انباشتگی (۹۲/۴) و میانگین (۴/۵۴) است و طبق تقسیم بندی Muller با داشتن درجه آلودگی بیشتر از چهار، خیلی آلوده تا شدیداً آلوده می باشد، در حالی که کروم با میانگین (۸۳/۲) دارای درجه آلودگی کم تا خیلی آلوده است و کبالت با میانگین (۴/۱) کمی آلوده می باشد.

بر اساس این شاخص Muller خاکها را از نظر درجه آلودگی به شش گروه تقسیم بندی نمود (جدول شماره ۷). با استفاده از رابطه بالا شاخص زمین انباشتگی عناصر کبالت، وانادیم، تیتانیم، منگنز، نیکل، روی، کروم، دارای بالاترین میزان زمین انباشتگی (۹۲/۴) و میانگین (۴/۵۴) است و طبق تقسیم بندی Muller با داشتن درجه آلودگی بیشتر از چهار، خیلی آلوده تا شدیداً آلوده می باشد، در حالی که کروم با آرسنیک و سرب برای نمونه های خام مورد مطالعه محاسبه شده، نتایج

جدول ۷- مقادیر شاخص زمین انباشتگی مورد استفاده در تعیین آلودگی خاک (Muller, 1969).

شدت آلودگی	درجه آلودگی (Igeo class)	شاخص زمین انباشتگی (Igeo)
غیر آلوده	۰	کمتر یا برابر با صفر
غیر آلوده تا کمی آلوده	۱	۰-۱
کمی آلوده	۲	۱-۲
کمی آلوده تا خیلی آلوده	۳	۲-۳
خیلی آلوده	۴	۳-۴
خیلی آلوده تا شدیداً آلوده	۵	۴-۵
شدیداً آلوده	۶	بزرگتر از ۵

جدول ۸- مقادیر شاخص زمین انباشتگی در خاک ناحیه مورد مطالعه

Sample	Co	V	Ti	Mn	Ni	Zn	Cr	As	Pb
KH03	۱/۳۶	-۱/۲۱	-۴/۰۵	-۰/۴۳	۴/۶۸	-۲/۱۸	۲/۵۳	-۳/۶۴	-۵/۰۵
KH04	۱/۴	-۱/۲۵	-۵/۰۵	-۰/۴۷	۴/۶۳	-۲/۳۹	۲/۸۳	-۴/۰۵	-۶/۶۴
KH08	۱/۳۳	-۰/۸۳	-۳/۶۴	-۰/۳۹	۴/۵۷	-۲/۱۲	۲/۷	-۳/۶۴	-۵/۰۵
KH09	۱/۰۷	-۰/۲۸	-۲/۶۴	-۰/۴۳	۴/۰۲	-۱/۷۳	۲/۳۸	-۲/۳۲	-۳/۶۴
KH10	۱/۷۳	-۱/۶۴	-۶/۶۴	-۰/۵۱	۴/۸۳	-۲/۳۲	۳/۴۵	-۵/۰۵	۰
KH11	۱/۵۸	-۱/۲۸	-۴/۰۵	-۰/۳۹	۴/۷۳	-۲/۳۲	۲/۹۳	-۰/۳۲	-۵/۰۵
KH12	۱/۱۳	-۰/۲۸	-۲/۷۳	-۰/۲۶	۴/۱۳	-۱/۶۸	۲/۹۷	-۲/۳۲	-۳/۶۴
KH14	۱/۰۲	-۰/۷۱	-۲/۷۳	-۰/۵۵	۴	-۱/۹۴	۱/۷	-۲/۳۹	-۳/۰۵
KH15	۱/۴۶	-۰/۸۸	-۳/۶۴	-۰/۳۵	۴/۷	-۲/۰۵	۲/۸۸	-۰/۳۲	-۵/۰۵
KH16	۱/۷	-۱/۶۸	-۵/۶۴	-۰/۵۵	۴/۹۲	-۲/۳۲	۳/۰۱	-۵/۰۵	-۶/۶۴
KH17	۱/۷۱	-۱/۳۵	-۵/۰۵	-۰/۴۱	۴/۷۹	-۱/۷۳	۳/۷۶	-۴/۶۴	-۶/۶۴
Mean	۱/۴	-۱/۰۳	-۴/۱۶	-۰/۴۳	۴/۵۴	-۲/۰۷	۲/۸۳	-۳/۰۶	-۴/۵۸

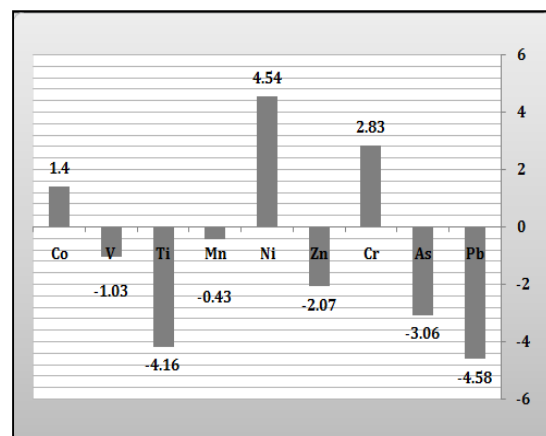
سایر فلزات با داشتن مقادیر زمین انباشتگی کمتر از صفر و درجه آلودگی صفر، غیر آلوده محسوب می‌شوند.

فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor)

فاکتور غنی‌شدگی روش مناسبی جهت تعیین منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Loska, 1995):

$$EF = \frac{[C_x / C_{ref}]_{Sample}}{[C_x / C_{ref}]_{Background}} \quad \text{رابطه}$$

در رابطه فوق، EF ضریب غنی‌شدگی، C_x غلظت عنصر مورد بررسی، C_{ref} غلظت عنصر مرجع در پوسته



شکل ۱۲- نمودار میانگین زمین انباشتگی به تفکیک

عناصر در منطقه مورد مطالعه

اساس نظر Hernandez، مقادیر فاکتور غنی شدگی بین ۰/۵-۲ به عنوان زمین‌زاد و مقادیر بیش از ۲ به عنوان تاثیر فعالیت‌های انسان‌زاد است (Hernandez et al, 2003). مقادیر محاسبه شده فاکتور غنی شدگی برای عناصر مورد بررسی در جدول ۱۰ و متوسط غنی شدگی عناصر در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

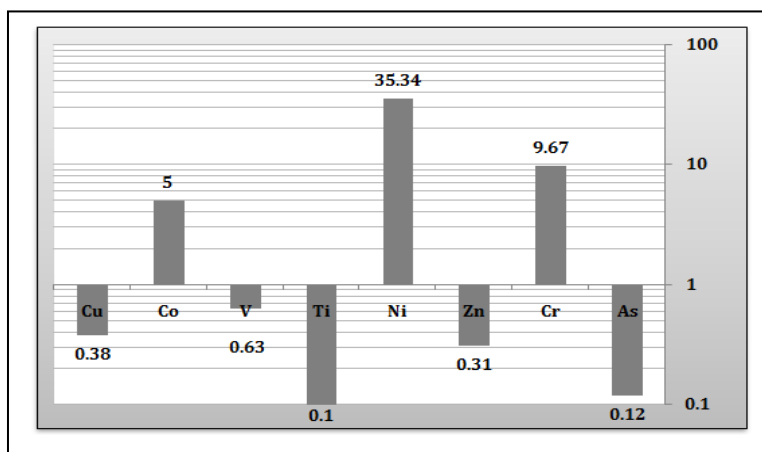
می باشد. عنصر مرجع عنصری است که تغییرات اندکی در محیط داشته و غلظت آن در محیط متاثر از فعالیت های انسان نباشد (Bergamaschi et al, et al, 2003). مهرابی و همکاران، (۱۳۹۰). در این مطالعه منگنز به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شده است. بر اساس این شاخص Sutherland خاک‌ها را از نظر درجه آلودگی به پنج گروه تقسیم‌بندی نمود (جدول ۹) (Sutherland, 2000). بر

جدول ۹- رده بندی مقادیر ضریب غنی شدگی (Sutherland, 2000)

ضریب غنی شدگی EF	شدت غنی شدگی
EF<2	بدون غنی شدگی تا غنی شدگی اندک
2-5	غنی شدگی متوسط
5-20	غنی شدگی قابل توجه
20-40	غنی شدگی زیاد
EF>40	غنی شدگی شدید

جدول ۱۰- مقادیر محاسبه شده ضریب غنی شدگی در خاک ناحیه مورد مطالعه

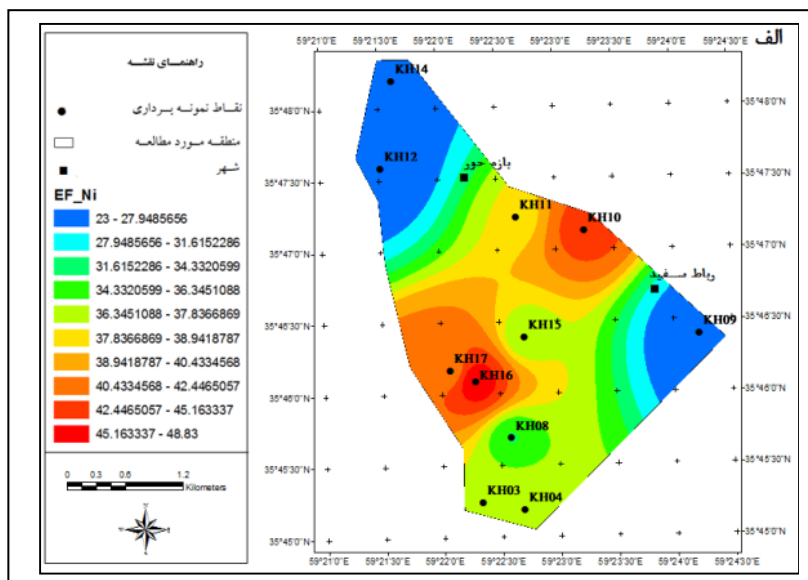
EF	Cu	Co	V	Ti	Ni	Zn	Cr	As
KH03	۰/۲۸	۴/۵	۰/۵	۰/۰۸	۳۷/۶۶	۰/۳	۷/۹۲	۰/۱
KH04	۰/۲۸	۵	۰/۵	۰/۰۵	۳۷/۵	۰/۲۳	۱۰	۰/۱
KH08	۰/۲۸	۴/۵	۰/۷	۰/۱۱	۳۴/۱۶	۰/۳	۰/۷۸	۰/۱
KH09	۰/۴۲	۴	۱/۱	۰/۲۱	۲۳/۶۶	۰/۳۸	۷/۱۴	۰/۳
KH10	۰/۵	۶/۵	۰/۴	۰/۰۲	۴۴	۰/۲۳	۱۵/۷۱	۰
KH11	۰/۵	۵/۵	۰/۵	۰/۰۸	۳۸	۰/۲۳	۱۰/۲۱	۰/۱
KH12	۰/۲۸	۳/۵	۰/۹	۰/۱۸	۲۳	۰/۳۸	۹/۶۴	۰/۳
KH14	۰/۴۲	۴	۰/۹	۰/۲۲	۲۵/۶۶	۰/۳۸	۵/۲۱	۰/۳
KH15	۰/۲۸	۵	۰/۶	۰/۱	۳۶/۳۳	۰/۳	۹/۵۷	۰/۱
KH16	۰/۵	۶/۵	۰/۴	۰/۰۴	۴۸/۸۳	۰/۳	۱۲	۰
KH17	۰/۵	۶	۰/۵	۰/۰۴	۴۰	۰/۳۸	۱۸/۲۸	۰
Mean	۰/۳۸	۵	۰/۶۳	۰/۱	۳۵/۳۴	۰/۳۱	۹/۶۷	۰/۱۲



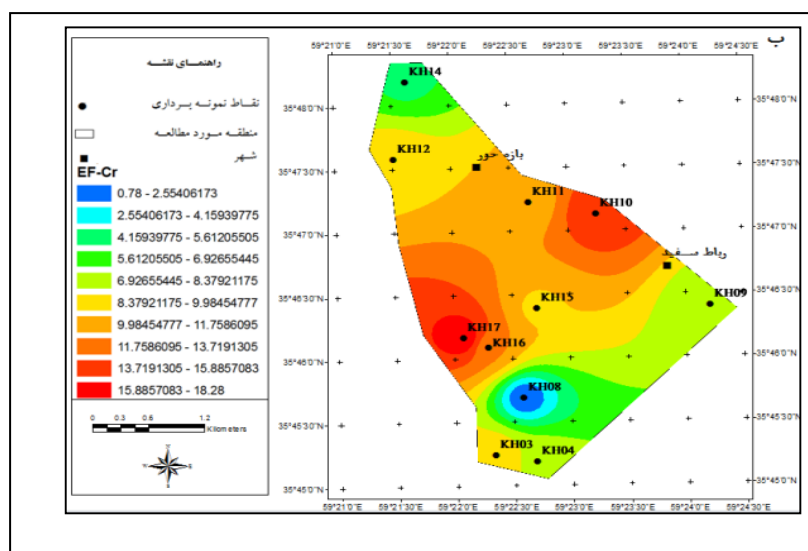
شکل ۱۳- متوسط غنی شدگی عناصر در خاک منطقه مورد مطالعه

مشابه تغییرات غلظت عناصر می باشد به طوری که نمونه های KH10, KH16 و KH017 که در واحد سرپتینیت واقع شده اند (شکل ۲) دارای بالاترین مقادیر نیکل و کروم هستند. نقشه پهنه بندی فاکتور غنی شدگی عناصر نیکل، کروم و کبالت غنی شدگی این عناصر در غرب و شرق محدوده مورد مطالعه از تاثیر واحدهای افیولیتی نظیر سنگ های سرپانتینیتی، هارزبورژیتی، دونیت و ... بر منابع خاک منطقه می باشد. هوازدهی سنگ های افیولیتی به ویژه آنهایی که غنی از سرپتین هستند، خاک و رسوبات با غلظت بالای کروم و دیگر عناصر سمی مانند نیکل، کبالت و منگنز تولید می کند (چمانه فر، ۱۳۹۱).

با توجه به فاکتور غنی شدگی محاسبه شده برای عناصر نیکل، کبالت و کروم که به ترتیب دارای غنی شدگی شدید، غنی-شدگی متوسط و غنی شدگی قابل توجه می باشند، و براساس تقسیم بندی Hernandez بایستی غنی شدگی آنها را به مسایل آنتروپوژنیک نسبت داد در حالی که طبق نتایج آنالیز بدست آمده در منطقه، و مقایسه آن با استانداردهای جهانی غلظت عناصر نیکل، کروم و کبالت بالاتر از حد استاندارد خاک های غیر آلوده است، لذا نمی توان حضور آنها را به مسایل آنتروپوژنیک منتسب نمود. نقشه توزیع شاخص فاکتور غنی شدگی برای عناصر نیکل و کروم با منشا لیتوژنیک در شکل ۱۳ قابل مشاهده است. روند تغییر شاخص آلودگی



شکل ۱۲- نقشه توزیع فاکتور غنی شدگی عناصر: نیکل (ب) کروم



شکل ۱۲- نقشه توزیع فاکتور غنی شدگی عناصر: نیکل (ب) کروم

نتیجه گیری

منابع

- نتایج حاصل از تطبیق نقشه‌های توزیع مکانی عناصر با تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، نشان دهنده نقش زمین شناسی در بروز تمرکز فلزات سنگین در خاک منطقه است. بر اساس تجزیه فلزات سنگین و تحلیل‌های آماری، در خاک نواحی شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه، کمترین غلظت فلزات سنگین وجود دارد. در سایر نواحی به فراخور سنگ‌شناسی، مقادیر متفاوتی از این عناصر وجود دارند. به طوری که مشخصاً می‌توان گفت، نواحی دارای سنگ‌ها با ماهیت افیولیتی، مقادیر بالاتری از عناصر سنگین (Ni, Co, Cr, Mn) دارند. اما در برخی موارد به رغم مشابهت سنگ بستر، خاک‌های حاصل دارای مقادیر متفاوتی از این عناصر هستند. این تفاوت‌ها را می‌توان به دیگر عوامل زمین‌زادی نظیر میزان توسعه فرآیندهای خاک‌زایی، هوازدگی، درصد مواد آلی، کانی‌های رسی و سایر عوامل مرتبط با تحرک و تمرکز فلزات سنگین در خاک‌ها (پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی) نسبت داد. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر منشا زمین‌زادی فلزات سنگین، تمرکز بعضی از آنها در حد زمینه ژئوشیمیایی و نقش ترکیب شیمیایی سنگ‌های مجموعه افیولیتی رباط سفید در آزادسازی این فلزات در خاک‌ها می‌باشد. منطقه رباط سفید با سنگ‌های افیولیتی به شدت سرپانتینی شده احاطه شده است و به عنوان یک منطقه ژئوژنیک قلمداد می‌شود. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که غلظت عناصر نیکل، کروم، کبالت و منگنز بسیار بالا است. علت غلظت بالای این عناصر ساختارهای زمین شناسی منطقه است. این عناصر در اثر آلتراسیون سنگ‌های افیولیتی منطقه آزاد و وارد محیط شده‌اند. هوازدگی سنگ‌های افیولیتی به ویژه آنهایی که غنی از سرپنتین هستند، خاک و رسوبات با غلظت بالای کروم، و دیگر عناصر سمی مانند کبالت، نیکل و منگنز تولید می‌کند (سرخیل و هزارخانی، ۱۳۸۷). مقدار کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های تشکیل شده بر روی سرپنتینیت‌ها بالا و در اکثر مطالعات انجام شده، مقادیر در حد مسمومیت کروم و نیکل گزارش شده است (Alexander et al, 1990).
- بوتکین، دنیل، کلر، ادوارد. (۱۹۹۵)، شناخت محیط زیست. ترجمه: عبدالحسین وهاب زاده (۱۳۸۲)، مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- چمانه فر، سمیرا، ۱۳۹۱. مطالعه پتانسیل آلاینده‌های فلزات سنگین در خاک و منابع آب منطقه رباط سفید و بررسی پالایش میکروبی در جهت کاهش آلاینده‌های فلزی. پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم بخش زمین شناسی.
- حسینی پاک، ع. ا. و شرف الدین، م.، ۱۳۸۰. "تحلیل داده‌های اکتشافی" تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۹۱ص.
- داوودی، اعظم، لک، راضیه، شناسایی منبع اقتصادی تیتانیم و تعیین منشا آن در رسوبات ساحلی منطقه لاریم و فرح آباد (استان مازندران). فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ۸ شماره ۳، ص ۲۳۲-۲۲۵.
- راستین، ب. ۱۳۸۹. مفاهیم و روش‌ها در آمارهای محیط زیست آمار محیط زیست طبیعی. اداره امور اقتصادی و اجتماعی بین الملل - اداره آمار سازمان ملل متحد، مرکز آمار ایران.
- سرخیل، ح.، هزارخانی، ا.، (۱۳۸۷)، بررسی آلاینده‌های طبیعی عنصر کروم و تاثیرات آن بر محیط زیست با نگاه به افیولیت‌های ایران، دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران.
- عظیم زاده، بهروز، خادمی، حسین، ۱۳۹۲. تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۳، ص ۵۵۹-۵۴۸.
- علیاری، حدادان، ۱۳۸۸. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط سفید، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- محمد زاده، زینب، ۱۳۹۱. مطالعه کانی شناسی و ژئوشیمی کانسار کرومیت کوهی واقع در افیولیت ملائز رباط سفید، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم بخش زمین شناسی.
- مهرابی، ب.، مهربانی، ش.، رفیعی، ب.، یعقوبی، ب. و دانشور، ن.، ۱۳۹۰. بررسی غلظت فلزات سنگین (Ni, Zn, Pb, Cu و Cr) در خاک‌های محدوده معدن انگوران، سی

- Hakanson, 1980.** An ologocal risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research* , 14:975- 1001.
- Hernandez, L., Probst, A., Probst, J. L. & Ulrich, E., 2003**-Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. *The Science of the Total Environment* 312, 195-219.
- Huisman, D. J., Vermeulen, F. J. H., Baker, J., Veldkamp, A., Kroonenberg, S. B., Klaver, G. T. 1997,** Ageological interpretation of heavy metal concentrations in soils and sediments in the Southern Netherlands. *J .Geochem. Explor*, Vol. 59, p: 163-174.
- Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D. & Kwapulinski, J., 1995-** Use of environment and contamination factors togheder with geoaccumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland, *Water, Air and Soil pollution*, 93, 347-365.
- McLaughlin, M. J., Parker ,D. R. ,Clarke, J. M., 1999,** Metals and micronutrients-food safety issues. *Field. Crops. Res.*, Vol. 60, p: 143-163.
- Mico´, C., L. Recatala´, M. Peris, J. Sa´nchez. 2006.** "Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis". *Chemosphere*. Vol. -65: 863-872..
- Müller, G., 1969**-Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. *Geojournal*, v. 2, pp: 108-118.
- Sutherland, R. A., (2000),** "Bed sediment-associated trace metals in an urban stream Oahu ,Hawaii," *Environmental Geology*, 39, pp, 611-627.
- امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- 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, *Environ Monit Assess*, v. 136, pp: 227-238.
- Adama, P.,Arienzo, M., Imporato, M., Noimo ,D., Nardi, G. and Stanzione, D.; 2005;** "Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port", *Chemosphere* 61, pp.800-809.
- Alexander, E, B., et al, (1990), Mineralogy and classification of soils on serpentinized periotite of trinty Ophiolite, California, *Soil Sci*, vol 149, no 3, 132-143.
- Alloway, B,J.,1990.**Heavy Metals in Soils. Blackie and Sons, Ltd., Glasgow-London.
- Anazawa, K., et al; 2004;** "Heavy Metal Distribution in River Watersand sediments arounda "FireFlyVillage". Shikoku, Japan: Application of Multivariate Analysis.J", *Analytical Science*, Vol.20, pp.79-84.
- Baeyens, Wetal; 2005;** "Correlations, Partitioning and Bioaccumulation of heavy metals Between Different Components of Lake Balaton.J", *Science of the total Environment* 341, pp. 211- 226.
- Bergamaschi, L., Rizzio, E., Valcuvia, M.G., Verza, G., Profumo, A. & Gallorini, M, 2002-**Determination of trace elements and evaluation of their enrichment factors in Himalayan lichens, *Environmental Pollution* 120, 137-144.
- Caridad cancelar R, Paz-Golzalez A, Abreu C.A (2002).** Heavy Metal refrence values for natrule from Galicia, Spain.
- Goorzadi, M., Vahabzadeh, Gh., Ghanbarpour, M. R. and Karbassi, A, R., 2009-**Assessment of heavy metal pollution in Tilehbon river sediment, Iran, *Journal of applied sciences*, 9(6), pp: 1190-1193.

Geochemical and Environmental Assessment of the Heavy Metals in Robat Sefid Rigion (south of mashhad) Soil

Mohammad Ebrahim Fazel Valipour¹, Banafsheh fazel Valipour^{*2}, Rahim Dabiri³

1- Assistant Professor in petrology, Department of Geology, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran.

2- Graduated in Environmental Geology, Department of Geology, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran.

3- Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran.

Abstract

Robat sefid region located in mashhad to torbat road and surrounded with ophiolite outcrop serpentine formation that could be mentioned as source of Lithogenic contamination. Considering importance of this matter, in this paper heavy metal studying and evaluation have been done in soil sources of robat sefid region. So heavy metal density in 11 soil samples have been studied and interoperated. For this aim multivariate statistical methods and index of geoaccumulation, enrichment factor, contamination factor and modified degree of contamination have been used. Correlations between elements have been evaluated with multivariate statistical methods (Pearson Correlation, Cluster Analysis and principle component analysis). Based on evaluations, ophiolite rocks (Serpentine ‘Gabbro ‘Dunite and Harzburgite) has been considered as Lithogenic source of elements in region. Based on index of geoaccumulation measurement for soil, Nicole has the highest rate of contamination in this region. Enrichment factor calculation shows that Nicole and Chromo have very high contamination and Cobalt has high contamination in this region. Also contamination factor measurement shows severe enrichment of Nicole in this region but region geology structures and ophiolite rocks weathering are the entrance source of these heavy metals and have Lithogenic source.

Key Words: Robat sefid, heavy metals, Pearson correlation, contamination factor, index of geoaccumulation.