کاربرد روش آماری چندمتغیره برای تفکیک و منشأ عناصر سمی در رسوبات محدوده معدنی مس- طلای چهارگنبد، سیرجان

سیدجابر یوسفی [۱*] و علیجان آفتابی [۲]

[۱] دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
[۲] استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳/ ۰۶/ ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: ۱۷/ ۱۰/ ۱۳۹۳

چکیده

بررسی‌های عناصر سمی در رسوبات پیرامون معدن مس- طلا چهارگنبد نشان‌دهنده رسوبات با منشأ و عناصر آلاینده مختلف است. برای بررسی منشأ عناصر سمی در رسوبات و جدایش ژئوشیمیایی آنها، ۳۸ نمونه رسوب از نقاط مختلف شامل رسوبات رودخانه‌ای، آبرفت‌های منطقه و رسوبات سد باطله به‌صورت تصادفی از ژرفای ۰ تا ۵ سانتی‌متر برداشت شد. در رسوبات رودخانه‌ای منطقه، میانگین غلظت نقره ppm ۰/۰۹، آرسنیک ppm ۱۷/۸۲، بیسموت ppm ۰/۴۸، کادمیم ppm ۰/۲۲، کبالت ppm ۱۷/۵۸، مس ppm ۹۱/۴۹، آهن ppm ۴۳۱۶۱/۳۳، منگنز ppm ۱۱۵۲/۸۳، مولیبدن ppm ۰/۹۷، نیکل ppm ۴۱/۵، سرب ppm ۱۰/۸۲، گوگرد ppm ۴۸۴، آنتیموان ppm ۱/۳، سلنیم ppm ۰/۱۳، قلع ppm ۱/۰۵، تیتانیم ppm ۳۰۶۷/۶۷، تالیم ppm ۰/۳۵، وانادیم ppm ۱۲۶/۵ و روی ppm ۹۰/۸۲ است. در رسوبات سد باطله میانگین غلظت نقره ppm ۰/۲۲، آرسنیک ppm ۲۸/۳۷، بیسموت ppm ۱۳/۱۴، کادمیم ppm ۰/۲۶، کبالت ppm ۵۱/۸۸، مس ppm ۱۹۸۱/۴، آهن ppm ۸۱۶۷۷/۳۳، منگنز ppm ۲۱۶۵/۱۳، مولیبدن ppm ۷۲/۸۶، نیکل ppm ۸۰/۶۷، سرب ppm ۱۹۱/۳۸، گوگرد ppm ۵۵۹۳/۱۷، آنتیموان ppm ۴۷/۷۵، سلنیم ppm ۰/۶۶، قلع ppm ۱/۷۷، تیتانیم ppm ۲۱۳۶/۸۳، تالیم ppm ۰/۴۳، وانادیم ppm ۸۰/۷۵ و روی ppm ۹۸۹/۹۴ است. در این مقاله برای ارزیابی نتایج از روش‌های آماری چندمتغیره شامل آزمون ضریب همبستگی، آزمون مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. با انجام روش آماری چندمتغیره مشخص شد که در محدوده معدن مس چهارگنبد ۴ نوع رسوب از دیدگاه ژئوشیمیایی قابل جدایش است. دسته اول شامل رسوبات ناشی از فعالیت‌های معدنی است که در مؤلفه اول آزمون مؤلفه‌های اصلی توسط عناصر سمی Ag، As، Cd، Co، Cu، Fe، Mo، Pb، Sb، Se، Sn، Tl و Zn مشخص می‌شوند. گروه دوم رسوباتی هستند که فعالیت‌های کانسارسازی بر سنگ منشأ آنها تأثیر نگذاشته است و در مؤلفه دوم آزمون مؤلفه‌های اصلی توسط عناصر Al، Sc، Sr، V، Ta و Ti تعریف می‌شوند. گروه سوم شامل رسوبات طبیعی منطقه است که فعالیت‌های کانسارسازی بر سنگ مادر آنها تأثیر گذاشته است و در مؤلفه سوم آزمون مؤلفه‌های اصلی با عناصر Bi، Mn و S مشخص شده‌اند. گروه چهارم رسوبات دارای عناصر سمی Cr و Ni هستند که ناشی از هوازدگی سولفیدها و احتمالاً سنگ‌های افیولیتی منطقه هستند.

کلیدواژه‌ها: آزمون مؤلفه‌های اصلی، عناصر سمی، رسوب، معدن مس- طلا، چهارگنبد، سیرجان.

***نویسنده مسئول:** سیدجابر یوسفی
E-mail: sjyousefi2012@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

روش‌های آماری چندمتغیره به‌طور گسترده‌ای در تحلیل‌های ژئوشیمیایی برای نشان دادن منشأ عناصر به کاربرده شده‌اند (Rubio et al., 2000; Facchinelli et al., 2001). کاربرد این روش‌ها در تحلیل‌های ژئوشیمیایی رسوبات توسط بسیاری از پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است (Fernandez et al., 1994). در این مقاله از سه آزمون ضریب همبستگی، آزمون مؤلفه‌های اصلی (Principal Components Analysis, PCA) و تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis) برای تحلیل نتایج به دست آمده از تجزیه شیمیایی ۳۸ نمونه رسوب استفاده شد. شبکه همبستگی یک ابزار مفید در تعیین درجه وابستگی و یا ارتباط خطی میان متغیرهاست (Khorasanipour & Tangestani, 2011). آزمون مؤلفه‌های اصلی (PCA) می‌تواند همه داده‌ها را در شمار معدودی مؤلفه به جای همه عناصر تحلیل کند (Morrison, 1967)، این روش می‌تواند بصیرتی در مورد ارتباط نهفته میان نمونه‌ها و متغیرها و همچنین منشأ آلودگی ارائه کند (Khorasanipour & Tangestani, 2011). روش CA مناسب‌ترین روش آماری برای تعیین میزان همبستگی میان متغیرها است؛ افزون بر این، روش‌های PCA و CA به‌طور متناوب می‌توانند برای تصدیق نتایج یکدیگر به کار برده شوند (Facchinelli et al., 2001).

کانسار رگه‌ای مس- طلای چهارگنبد با توجه به حضور دگرسانی آرژیلیک پیشرفته و کوارتز حفره‌ای احتمالاً یک کانسار رگه‌ای با سولفید بالا در ارتباط با سامانه‌های پورفیری است (یوسفی و مرادیان، ۱۳۹۱). در این کانسارها معمولاً دگرسانی سیلیسی شدن در مرکز قرار گرفته است و دگرسانی رسی در حاشیه دیده می‌شود و در پیرامون آن سنگ‌های دیواره به شدت کلریتی شده‌اند. در کانسار چهارگنبد دگرسانی سیلیسی در مرکز، دگرسانی فیلیک و آرژیلیک پیشرفته در وسط و دگرسانی پروپیلیتیک در حاشیه کانسار دیده می‌شود (یوسفی و مرادیان، ۱۳۹۱). از دیدگاه سنی می‌توان گفت که دگرسانی کلریتی شدن زودتر از دگرسانی‌های سیلیسی شدن و رسی ایجاد شده (White et al., 1995) و عناصر با عیار بالا در این کانسارها شامل Au، Ag، As، Cu، Sb، Bi، Sn، Pb، Mo و Se است (White et al., 1995). در کانسار چهارگنبد عناصر Au، Cu و Bi غلظت بالایی دارند (یوسفی و مرادیان، ۱۳۹۱). اثرات زیست‌محیطی در پیرامون این کانسارها ناشی از کانی‌های سولفیدی است که سبب تولید حجم زیادی از پساب اسیدی درون این نوع از کانسارها می‌شود. اکسایش کانی‌های سولفیدی در این کانسارها سبب آزادسازی عناصر سمی مس، سلنیم، آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، مولیبدن، سرب، روی و دیگر فلزات کمیاب در رسوبات و آب رودخانه‌های پیرامون این کانسارها می‌شود (Berger, 1986). در محدوده معدنی چهارگنبد اولین مطالعات مربوط به Sjerp et al. (1969) بوده است که به بررسی زمین‌شناسی عمومی و کانه‌زایی در منطقه پرداخته‌اند. همچنین یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) الگوی ژئوشیمیایی محدوده چهارگنبد را بررسی کرده‌اند. یوسفی و مرادیان (۱۳۹۱) نیز الگوی کانه‌زایی کانسار چهارگنبد را مورد مطالعه قرار داده‌اند. هدف و ایده اصلی این مقاله استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره برای مشخص کردن منشأ عناصر سمی و تفکیک ژئوشیمیایی رسوبات مختلف در محدوده معدن مس- طلای چهارگنبد و کاربرد مهم این روش در بررسی ماهیت ژئوشیمیایی رسوبات و در اکتشافات ژئوشیمیایی است.

Archive of SID
www.SID.ir

۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده معدنی مس- طلا چهارگنبد در بخش جنوب خاوری ایران در حدود ۱۱۰ کیلومتری جنوب باختری کرمان جای گرفته است. مختصات جغرافیایی معدن مس- طلا چهارگنبد ′۱۹ °۵۶ طول خاوری و ′۵۸ °۲۹ عرض شمالی است. منطقه چهارگنبد در تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین‌شناسی ایران، در پهنه ایران مرکزی و زیرپهنه ارومیه- دختر یا تبریز- بزمان جای گرفته و بخشی از کمربند مس‌زایی دهج- ساردوییه در استان کرمان است که در حاشیه جنوب خاور پهنه ایران مرکزی قرار دارد (خویی و همکاران، ۱۳۷۸) (شکل ۱).

در منطقه چهارگنبد کهن‌ترین سنگ‌ها که دارای روند شمال باختری هستند با عنوان آمیزه رنگین شناخته می‌شوند، که از مخلوط ناهمگن سنگ‌های فوق‌بازی و چرت تشکیل شده‌اند (Sjerp et al., 1969). این سازند با یک ناپیوستگی توسط سنگ‌های آندزیت پورفیری، بازالت‌های الیوین‌دار و توف آندزیتی با سن ائوسن پایانی- الیگوسن آغازین پوشیده شده است که سازند علیمرادی نامیده می‌شود (Sjerp et al., 1969). چیره‌ترین سیمای چینه‌شناسی در منطقه مورد بررسی آهک‌ها هستند که به‌طور پیشرونده‌ای از باختر تا خاور روی سنگ‌های دگرگونی و سازندهای آمیزه رنگین و علیمرادی قرار گرفته‌اند. این آهک‌ها به عنوان عضو سعیدآباد شناخته می‌شوند. در بالای این عضو یک توالی از ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت و کنگلومرای دارای قطعات آهکی و یا توالی ستبری از سنگ‌های پیروکلاستیک زیردریایی، گری‌وک، مارن و آهک گرهکی مربوط به میوسن میانی دیده می‌شود که سازند چهارگنبد نامیده می‌شود (Sjerp et al., 1969). پس از میوسن میانی، چین‌خوردگی و گسلش بر منطقه تأثیر گذاشته است؛ توده‌های نفوذی دیوریت پورفیری سبب دگرگونی مجاورتی ضعیفی شده‌اند. در امتداد ساختارها (پهنه‌های گسلی اصلی) فعالیت گرمابی سبب کانه‌زایی کالکوپیریت و مقادیر فرعی از اسفالریت و گالن شده است که در محل تقاطع دو گسل، کانه‌زایی شدیدتر است (خان‌ناظر، ۱۳۷۴). در پایان یک کنگلومرا با سن احتمالی پلیستوسن چین‌خوردگی چهارگنبد را پوشانده است (Sjerp et al., 1969). با بررسی‌های صحرایی انجام شده می‌توان واحدهای زمین‌شناسی را در گستره مورد مطالعه به ۴ دسته کلی تقسیم کرد؛ ۱) سنگ‌های افیولیتی؛ ۲) سنگ‌های آتشفشانی؛ ۳) توده‌های نفوذی؛ ۴) سنگ‌های رسوبی. سنگ‌های افیولیتی در منطقه شامل رگه‌های لیسونیتی، سنگ‌های سرپانتینی شده، گابرو دگرسان شده، سنگ‌های اسپیلیتی با میان‌لایه‌های آهک پلاژیک و سنگ‌های اسپیلیتی همراه با توف و رادیولاریت، آگلومرا (اسپیلیتی- دیابازی) همراه با دایک‌های دیابازی است (شکل ۲). سنگ‌های آتشفشانی در منطقه شامل توف‌های بلوری ریولیتی- ریوداسیتی با رنگ روشن، توف و برش‌های تراکیتی و آندزیتی با میان‌لایه‌هایی از گدازه‌های آندزیتی است. سنگ‌های نفوذی در منطقه را می‌توان به دو دسته سنگ‌های گرانیت- گرانودیوریت و کوارتزدیوریت تقسیم کرد. واحدهای رسوبی در منطقه شامل سنگ‌های آهک پلاژیک، سنگ‌آهک بلورین با لایه‌بندی ستبر، تناوب ماسه‌سنگ‌های زرد رنگ با سنگ‌آهک نومولیت‌دار خاکستری رنگ، سنگ‌های آهکی نومولیت‌دار با لایه‌بندی خوب، ماسه‌سنگ، میکروکنگلومرا و سنگ‌های آهکی و گچی دارای فسیل اسفنج و جلبک است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰).

۳- مواد و روش‌ها

برای بررسی منشأ فلزات بالقوه سمی در رسوبات و تفکیک ژئوشیمیایی رسوبات در منطقه، ۳۸ نمونه رسوب از نقاط مختلف شامل رسوبات رودخانه‌ای، آبرفت‌های منطقه و رسوبات سد باطله به‌صورت تصادفی از ژرفای ۰ تا ۵ سانتی‌متر برداشت شد (شکل ۲). در هر محل مقدار یک کیلوگرم رسوب با استفاده از وسایل پلاستیکی (برای جلوگیری از آلودگی) گردآوری، درون نایلون پلی‌اتیلن ریخته و پس از شماره‌گذاری به آزمایشگاه برده شد. در آزمایشگاه پس از خشک کردن رسوبات در معرض نور خورشید و در محیطی دور از غبارات معلق در هوا، با استفاده از الک پلاستیکی با قطر یک میلی‌متر رسوبات الک و مقدار ۲۵۰ گرم از هر کدام از رسوبات در ظروف پلی‌اتیلن نگهداری شد و برای اندازه‌گیری غلظت عناصر نقره، آرسنیک، بیسموت، کادمیم، کبالت، مس، مولیبدن، نیکل، سرب، آنتیموان، سلنیم، قلع، تالیم و روی به روش ICP-MS و عناصر آهن، منگنز، گوگرد، تیتانیم و وانادیم به روش ICP-OES به آزمایشگاه LabWest در شهر Perth استرالیا فرستاده شد. حد تشخیص برای همه عناصر به‌جز آهن و گوگرد در محدوده تقریبی ۰/۰۵ تا ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای عنصر آهن ppm ۱۰۰ و برای گوگرد ppm ۵۰ است. برای بررسی دقت نتایج یک نمونه تکراری همراه با دیگر نمونه‌ها به آزمایشگاه یادشده فرستاده شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده و نشان‌دهنده دقت مطلوب نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌هاست؛ بررسی کنترل کیفیت داده‌ها (QC) نیز نشان‌دهنده درستی آنهاست. برای انجام تجزیه‌های چندمتغیره روی نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی عناصر سمی در رسوبات، از نرم‌افزار spss 16 در محیط ویندوز XP استفاده شد. در این مقاله برای پی بردن به میزان همبستگی میان عناصر سمی مختلف، از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation) استفاده شد. آزمون PCA یک روش آماری مناسب برای ارزیابی ارتباط میان متغیرهای آماری (در اینجا عناصر سمی) از راه کاهش پیچیدگی میان مجموعه داده‌هاست. برای این منظور آزمون PCA متغیرهای آماری را در یک قالب جدید با حذف متغیرهای غیرضروری و برجسته کردن متغیرهای با درجه اهمیت بالا بررسی می‌کند. درجه اهمیت متغیرهای جدید بر پایه شاخص کایزر (Kaiser, 1960) تعیین می‌شود. بر این اساس در متغیرهای جدید تنها مواردی که دارای شاخص بزرگ‌تر از یک هستند اهمیت دارد و در تحلیل آماری بررسی می‌شود. هر کدام از متغیرهای جدید درصد مشخصی از واریانس داده‌ها را شامل می‌شوند که معمولاً مؤلفه اول بیشترین مقدار واریانس را دارد و به تدریج مؤلفه بعدی دارای واریانس کمتری خواهد بود (Khorasanipour & Tangestani, 2011). در تحلیل خوشه‌ای عناصر و یا متغیرهای آماری بر پایه میزان همبستگی آماری (ناشی از رفتار ژئوشیمیایی بین عناصر) به خوشه‌ها و یا شاخه‌هایی تقسیم می‌شوند که بیانگر میزان ارتباط آنها با یکدیگر است. در اینجا از روش آماری میان گروه‌ها (Within groups) برای رسم نمودارهای خوشه‌ای استفاده و فواصل میان خوشه‌ها نیز با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) مرتب شده است.

۴- بحث

مقادیر متوسط عناصر در رسوبات مختلف در جدول ۲ آورده شده است. همان‌گونه که مشخص است بیشترین افزودگی عناصر نسبت به متوسط شیل‌ها (Levinson, 1980) مربوط به رسوبات سد باطله (رسوبات تولید شده در کارخانه تغلیظ مس) است. در این رسوبات عناصر نقره، بیسموت، مس، مولیبدن، سرب، آنتیموان و روی بیشترین افزودگی را دارند که این امر ناشی از غنی‌شدگی آنها در سنگ‌های کانه‌زا نسبت به دیگر عناصر جدول ۲ است. بنابراین مشخص است که فرایندهای کانه‌زا در منطقه سبب غنی‌شدگی برخی از عناصر سمی مورد مطالعه در سنگ‌ها و در پی آن در رسوبات منطقه شده است. بنابراین برای پی بردن به منشأ عناصر سمی در منطقه تفکیک ژئوشیمیایی رسوبات مهم ارزیابی می‌شود.

برای بررسی توزیع آماری عناصر سمی در رسوبات منطقه، خلاصه آماری این عناصر در جدول ۳ آورده شده است. در این جدول متغیرهای مختلف برای مقادیر عناصر سمی محاسبه شده است. برای ارزیابی توزیع آماری عناصر سمی در رسوبات مختلف منطقه، بررسی چولگی مقادیر (Skewness) و نسبت میان میانه و بیشینه مقدار عناصر در رسوبات انجام شد. بر این اساس مشخص می‌شود که عناصر

Archive of SID
www.SID.ir

نقره، آرسنیک، بیسموت، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، مولیبدن، نیکل، سرب، گوگرد، آنتیموان، سلنیم، قلع، تانتالیم، استرانسیم، تالیم و روی دارای چولگی هستند که بیانگر توزیع آماری غیرعادی آنها در رسوبات منطقه است. عناصر آلومینیم، منگنز، اسکاندیم، تیتانیم و وانادیم دارای توزیع آماری عادی هستند. مقادیر بیشینه اندازه‌گیری شده عناصر سمی در رسوبات مختلف نسبت به مقادیر میانه این عناصر برای نقره ۴/۹، آلومینیم ۱/۶، آرسنیک ۷/۳، بیسموت ۶/۶، کادمیم ۷/۳، کبالت ۵/۲، کروم ۷/۳، مس ۹/۶، آهن ۶/۴، منگنز ۱/۸، مولیبدن ۱۲/۱، نیکل ۱۵، سرب ۱۳/۳، گوگرد ۳/۹، آنتیموان ۹/۲، اسکاندیم ۱/۵، سلنیم ۶/۱، قلع ۷/۴، استرانسیم ۲/۹، تانتالیم ۵/۲، تیتانیم ۱/۸، تالیم ۳/۳، وانادیم ۱/۹ و روی ۱۰/۳ برابر است.

برای پی‌بردن به ارتباط ژئوشیمیایی عناصر سمی در رسوبات مختلف از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) استفاده شده است که جدول ۴ نشان‌دهنده نتایج حاصل از آن است. ضریب همبستگی میان عناصر سمی در سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ به دست آمده است. با استفاده از جدول، ضریب همبستگی عناصر را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. گروه اول شامل عناصر کالکوفیل هستند که ضریب همبستگی بالایی با یکدیگر دارند. گروه دوم شامل عناصر لیتوفیل Al، Sc، Sr، Ti و V هستند؛ هرچند که Ta نیز با آنها ضریب همبستگی بالایی نشان می‌دهد. گروه سوم شامل عناصر Cr و Ni هستند که بالاترین ضریب همبستگی را با یکدیگر دارند. برای تعیین رابطه میان عناصر و پی‌بردن به منشأ عناصر و جدایش رسوبات مختلف از یکدیگر افزون بر محاسبه ضریب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و آزمون PCA نیز روی مقادیر غلظت عناصر مورد مطالعه انجام شد. نتایج تحلیل خوشه‌ای در شکل ۳ نشان داده شده است؛ با استفاده از تحلیل خوشه‌ای می‌توان عناصر سمی موجود در رسوبات محدوده معدن چهارگنبد را به دو گروه اصلی و چند زیرگروه فرعی تقسیم کرد. گروه اول شامل عناصر لیتوفیل آلومینیم، تیتانیم، اسکاندیم، وانادیم و استرانسیم است. گروه دوم دربردارنده بیشتر عناصر کالکوفیل است که به سه زیرگروه اصلی تقسیم شده است؛ زیرگروه اول با کمترین فاصله از گروه اول (عناصر لیتوفیل) شامل عناصر بیسموت، منگنز و گوگرد است. زیرگروه دوم شامل عناصر کروم و نیکل و زیرگروه سوم در بردارنده عناصر کالکوفیل آنتیموان، روی، کبالت، سلنیم، مولیبدن، سرب، کادمیم، تالیم، آرسنیک، نقره، مس، آهن، تانتالیم و عنصر اکسی‌فیل قلع است. با توجه به این نتایج مشخص می‌شود که عناصر سمی در رسوبات منطقه با توجه به رفتار ژئوشیمیایی آنها و منشأ رسوبات به ۴ دسته تقسیم شده‌اند.

با توجه به موارد بالا می‌توان رسوبات منطقه را از دید ژئوشیمیایی جدا کرد که برای این کار از آزمون مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شده است. این روش بر روی داده‌ها در دو حالت ابتدایی (Initial) و چرخش واریماکس (Varimax rotation) مورد بررسی قرار گرفت. جدول‌های ۵ و ۶ نتایج این آزمون‌ها و شکل ۴ موقعیت عناصر در نمودار سه‌بعدی مؤلفه‌های اصلی را در دو وضعیت یادشده نشان می‌دهد. در آزمون PCA عادی، ۴ مؤلفه دارای شاخص کایزر بزرگ‌تر از یک هستند. مؤلفه‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب دارای شاخص ۱۳/۳۹۵، ۳/۹۹۳، ۲/۳۰۲ و ۱/۶۶۵ و درصد واریانس ۵۵/۸۱۲، ۱۶/۶۳۷، ۹/۵۹۳ و ۶/۹۳۹ هستند. در آزمون PCA به روش چرخش واریماکس (Varimax rotation) نیز نتایج کاملاً یکسانی همانند PCA ابتدایی به دست آمد. در این آزمون نیز عناصر در ۴ مؤلفه اصلی قرار گرفته‌اند، به این صورت که عناصر نقره، آرسنیک، کادمیم، کبالت، مس، آهن، مولیبدن، سرب، آنتیموان، سلنیم، قلع، تالیم و روی در مؤلفه اول قرار دارند؛ با توجه به اینکه این عناصر کالکوفیل هستند و همچنین با توجه به جدول ۱ بیشترین غنی‌شدگی را در رسوبات سد باطله دارند. بنابراین می‌توان این مؤلفه را به عنوان رسوبات سد باطله در نظر گرفت که رسوبات آن ناشی از کارخانه تغلیظ مس هستند که خود نشان‌دهنده غنی‌شدگی این عناصر در سنگ‌های معدن است. مؤلفه دوم شامل عناصر آلومینیم، اسکاندیم، استرانسیم، تانتالیم، تیتانیم و وانادیم است. با توجه به حضور آلومینیم، اسکاندیم و استرانسیم در پلاژیوکلازها و نیز حضور و یا جانشینی تیتانیم و وانادیم در کانی‌هایی مانند مگنتیت و یا تیتانومگنتیت و همچنین با توجه به خاصیت لیتوفیلی و اکسی‌فیلی این عناصر مشخص می‌شود که این عناصر تحت تأثیر فرایندهای گرمابی در سنگ‌ها حضور پیدا نکرده‌اند. حضور عناصر یادشده در پلاژیوکلاز و مگنتیت به‌طور طبیعی در طی فعالیت‌های آتشفشانی در سنگ‌های ائوسن منطقه صورت گرفته است. بنابراین می‌توان گفت که مؤلفه مربوط به این عناصر مشخص‌کننده رسوباتی هستند که از سنگ‌های غیر دگرسان منطقه منشأ گرفته‌اند. مؤلفه چهارم شامل عناصر بیسموت، گوگرد و منگنز است، مس و آهن نیز در این مؤلفه دارای وزن هستند. با توجه به کانسارسازی سولفیدی از نوع گرمابی در منطقه، مشخص می‌شود که حضور گوگرد در این مؤلفه نشان‌دهنده حضور کانی‌های سولفیدی است. بنابراین مشخص می‌شود که این مؤلفه نشان‌دهنده رسوباتی است که در سنگ منشأ آنها کانسارسازی صورت گرفته است.

با توجه به حضور بیسموت در این مؤلفه مشخص می‌شود بیسموت سازنده اصلی کانی‌های سولفیدی است و منگنز نیز یا به‌صورت اکسیدی (پیرولوزیت و پسیلوملان) و یا به‌صورت جانشینی در کانی‌های سولفیدی این رسوبات حضور دارد. از آنجایی که مس و آهن نیز در این گروه دارای وزن هستند، مشخص می‌شود که این عناصر یا به‌صورت جانشینی در کانی‌های سولفیدی بیسموت حضور دارند و یا اینکه خود تشکیل کانی‌های مستقل سولفیدی مانند کالکوپیریت و یا پیریت را داده‌اند. نبود دیگر عناصر کالکوفیل در این مؤلفه احتمالاً ناشی از هوازدگی و تجزیه کانی‌های سولفیدی آنها به دلیل مقاومت نداشتن کانی‌هایشان بوده است. همان‌گونه که در بخش زمین‌شناسی گفته شد سنگ‌های افیولیتی در منطقه گسترش بالایی دارند بنابراین این نوع سنگ‌ها خود می‌توانند سازنده بخشی از رسوبات منطقه باشند. در مؤلفه چهام آزمون PCA به روش چرخش واریماکس عناصر کروم، نیکل، همراه با عناصر استرانسیم و وانادیم (ولی با وزن کمتر) حضور دارند. با توجه به حضور سنگ‌های افیولیتی در منطقه و تمرکز کروم و نیکل در سنگ‌های فوق‌بازی، حضور این عناصر در مؤلفه چهارم، نشان‌دهنده رسوباتی است که احتمالاً از سنگ‌های افیولیتی منشأ گرفته‌اند، گرچه این دو عنصر به راحتی از کانی‌های سولفیدی مانند پیریت نیز آزاد می‌شوند. حضور عناصر استرانسیم وانادیم در این آزمون، احتمالاً ناشی از جانشینی استرانسیم به جای کلسیم در کانی‌های پلاژیوکلاز موجود در سنگ‌های بازی است و وانادیم نیز در ساختار مگنتیت جانشین شده است.

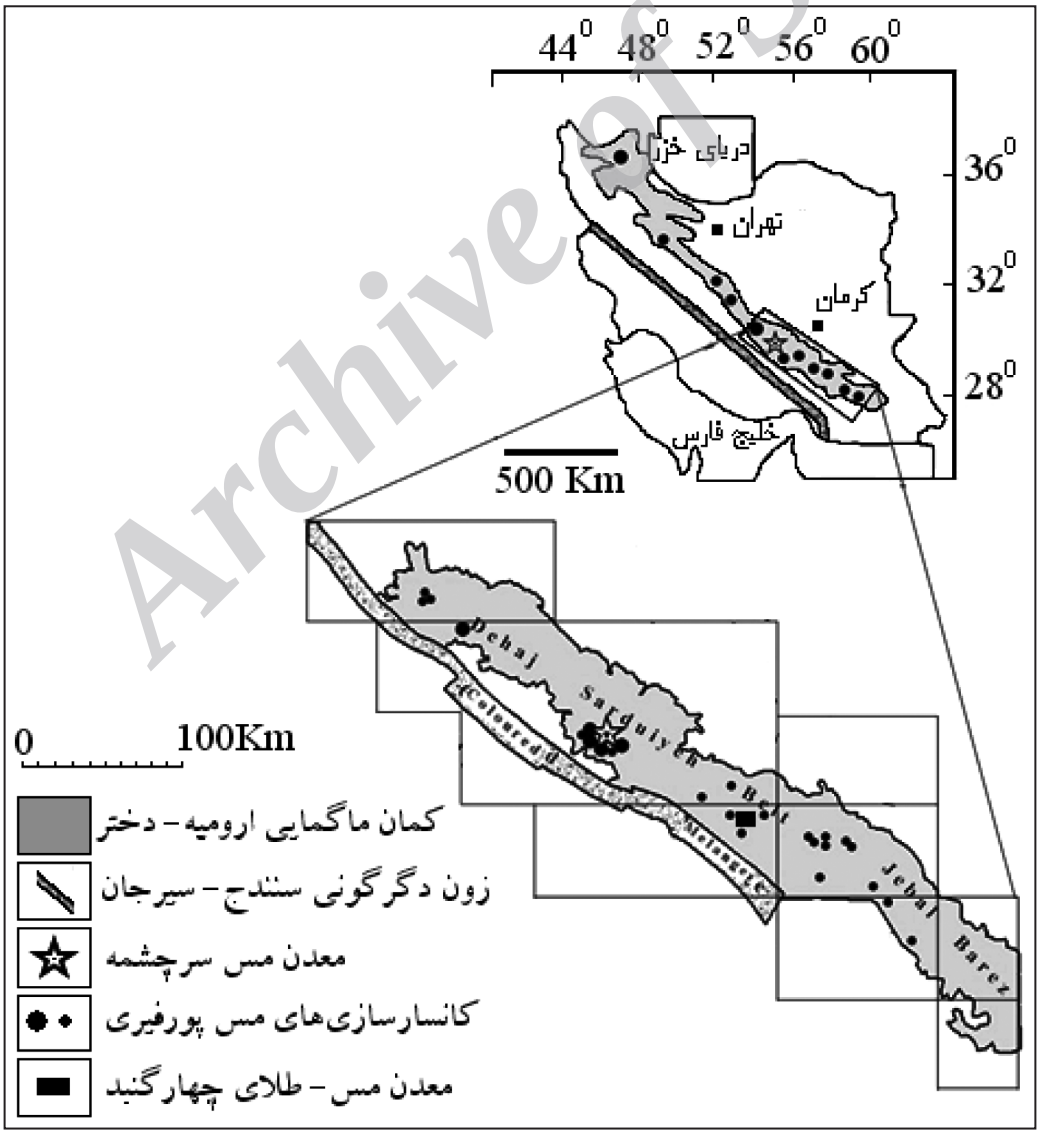
از آنجایی که رسوبات در منطقه چهارگنبد از فرسایش سنگ‌های مختلف در طی هوازدگی و انتقال توسط آب و فعالیت‌های انسان‌زاد (رسوبات کارخانه تغلیظ) در مناطق گسترده‌ای پخش می‌شوند، بنابراین انتقال‌دهنده عناصر سمی درون خود به محیط زیست نیز هستند. با انجام روش‌های آماری چندمتغیره مشخص می‌شود که پخش آلودگی ناشی از عناصر نقره، آرسنیک، کادمیم، کبالت، مس، آهن، مولیبدن، سرب، آنتیموان، سلنیم، قلع، تالیم توسط رسوبات کارخانه تغلیظ صورت می‌گیرد. رسوبات ناشی از سنگ‌های آتشفشانی که دگرسانی‌ها بر آنها تأثیر گذاشته عامل پخش آلودگی عناصر سمی بیسموت، منگنز، و تا حدودی مس و آهن هستند. انتشار عناصر سمی نیکل و کروم در رسوبات احتمالاً در اثر فرسایش سنگ‌های افیولیتی در منطقه است؛ منشأ احتمالی دیگر این عناصر از سنگ‌های دارای پیریت و کالکوپیریت است که در آنها Ni و Cr به جای آهن جانشین شده است. سنگ‌های طبیعی منطقه که تحت تأثیر فرایندهای دگرسانی قرار نگرفته‌اند، رسوبات ناشی از آنها نیز تمرکز کمتری از عناصر سمی دارند و نه تنها موجب پخش آلایندگی خاصی در منطقه نیستند بلکه سبب کاهش عناصر سمی در حجم رسوبات می‌شوند.

۵- نتیجه‌گیری

در محدوده معدن مس- طلا چهارگنبد رسوبات تحت تأثیر فرایندهای طبیعی و انسان‌زاد تشکیل می‌شوند. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر سمی در این رسوبات

Archive of SID
www.SID.ir

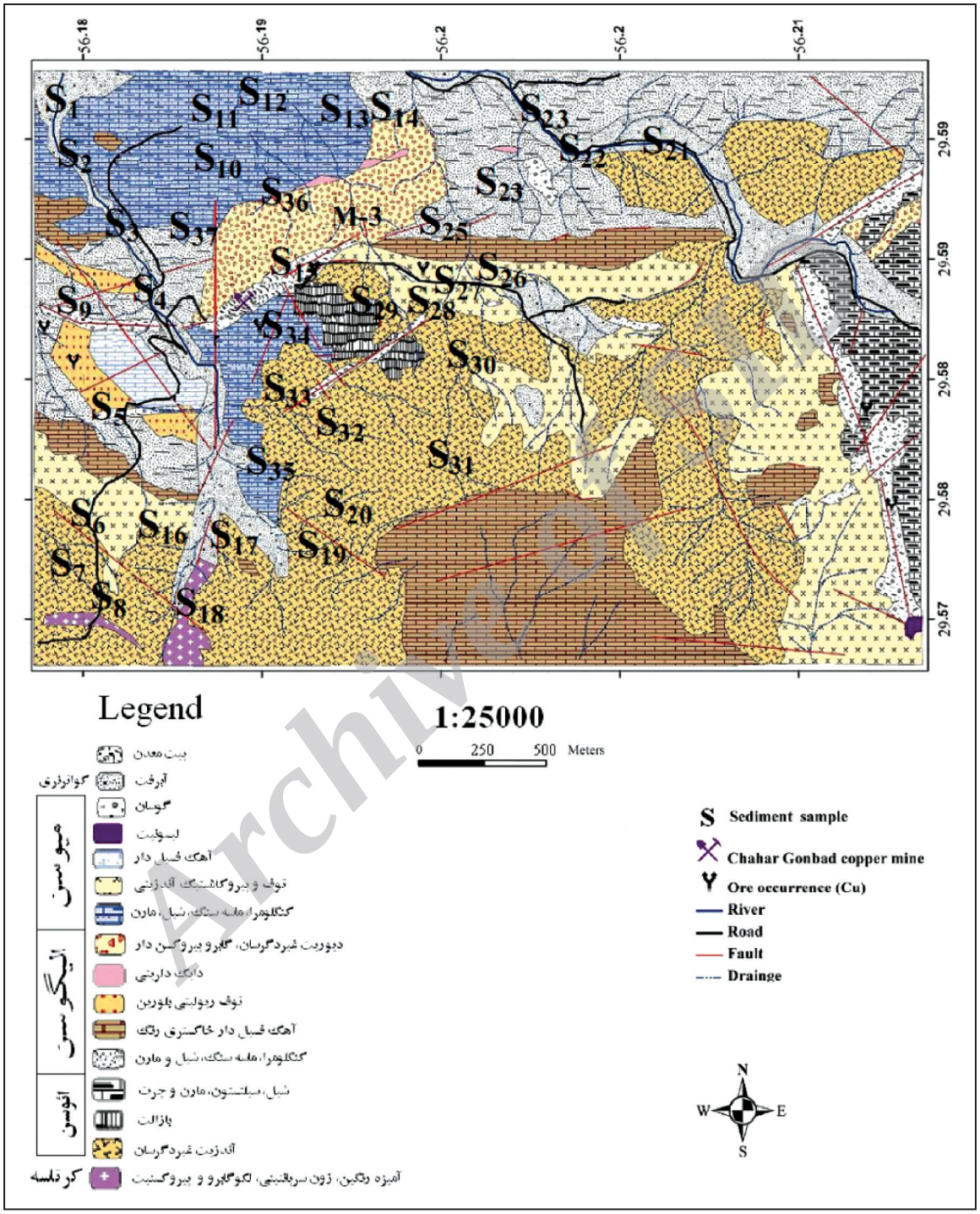
نشان‌دهنده غلظت کمتر عناصر سمی در رسوبات رودخانه‌ای و آبراهه‌ای منطقه نسبت به رسوبات انسان‌زاد (رسوبات سد باطله) است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که نقره، آرسنیک، بیسموت، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، مولیبدن، نیکل، سرب، آنتیموان، سلنیم، قلع، تالیم، روی، گوگرد، تانتالیم و استرانسیم در رسوبات منطقه دارای توزیع آماری غیرعادی، و عناصر آلومینیم، منگنز، اسکاندیم، تیتانیم و وانادیم دارای توزیع آماری عادی هستند. از مهم‌ترین ویژگی‌های عناصر لیتوفیل آلومینیم، اسکاندیم، استرانسیم، تیتانیم و وانادیم در رسوبات منطقه، داشتن ضریب همبستگی منفی با عناصر کالکوفیل است که نشان‌دهنده عدم تأثیر فرایندهای کانه‌زا بر سنگ منشأ رسوبات دارای این عناصر است. روش‌های آماری چندمتغیره روی عناصر سمی در نمونه‌های رسوب نشان می‌دهد که ارتباط قابل توجه‌ای میان این عناصر در نمونه‌های مختلف رسوب وجود دارد. با استفاده از این ارتباط، عناصر و رسوبات به ۴ دسته کلی تقسیم شدند؛ دسته اول شامل عناصر Ag، As، Cd، Co، Cu، Fe، Mo، Pb، Sb، Se، Sn، Tl و Zn است که در رسوبات سد باطله غنی‌شدگی نشان می‌دهند. بنابراین رسوبات سد باطله را می‌توان به عنوان یک گروه از رسوبات در منطقه در نظر گرفت که منشأ آلودگی می‌تواند ناشی از این عناصر باشد. دسته دوم شامل عناصر Bi، Mn و S است که مشخص‌کننده رسوبات طبیعی منطقه هستند که کانسارسازی در سنگ منشأ آنها صورت گرفته است. حضور گوگرد در این دسته نشان‌دهنده وجود کانی‌های سولفیدی در این رسوبات است که خود می‌تواند منشأ دیگری برای انتشار آلودگی در منطقه باشد. نبود دیگر عناصر کالکوفیل در این نوع از رسوبات منطقه احتمالاً ناشی از هوازدگی و تجزیه کانی‌های سولفیدی آنها به دلیل مقاومت نداشتن کانی‌هایشان بوده است. دسته سوم شامل عناصر Al، Sc، Sr، V، Ta و Ti است که نشان‌دهنده رسوبات طبیعی در منطقه هستند. هیچ گونه فلز سنگین در این دسته دیده نمی‌شود که نشان‌دهنده نبود کانسارسازی در این گروه و عدم انتشار آلودگی توسط این سنگ‌هاست. این رسوبات می‌توانند سبب رقیق‌شدگی آلودگی‌های ناشی از دیگر رسوباتی که منشأ آلودگی هستند شوند. در دسته چهارم عناصر Cr و Ni قرار گرفته‌اند که با توجه به خواص ژئوشیمیایی این عناصر و حضور آنها در سنگ‌های فوق بازی، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً منشأ این عناصر رسوبات حاصل از سنگ‌های افیولیتی منطقه و یا رسوبات ناشی از سنگ‌های کانه‌زای سولفیدی باشد که در آنها Ni و Cr به جای آهن در کانی‌های سولفیدی جانشین شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کمان ماگمایی ارومیه دختر (با تغییرات از Dimitrijevic, 1973).

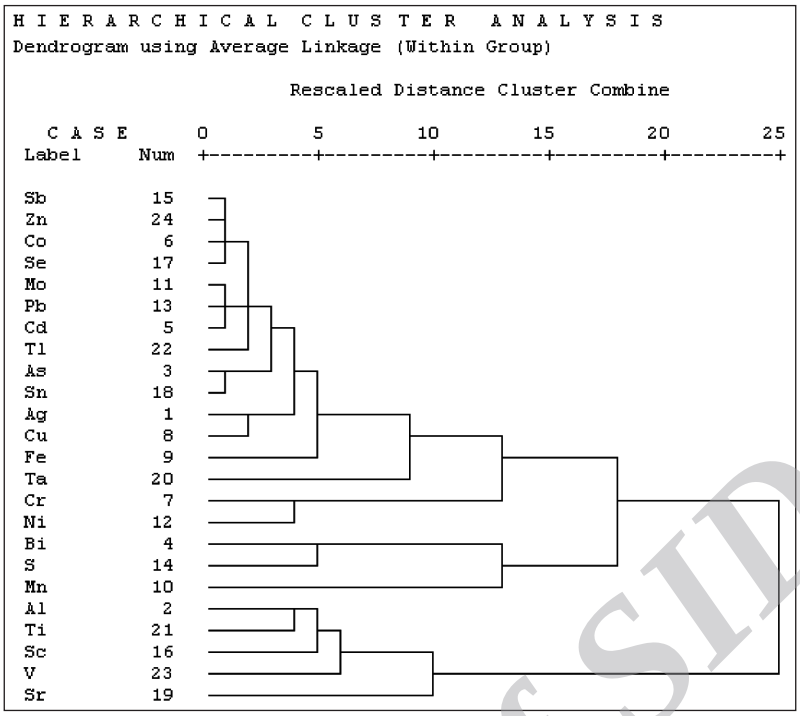
Archive of SID

www.SID.ir

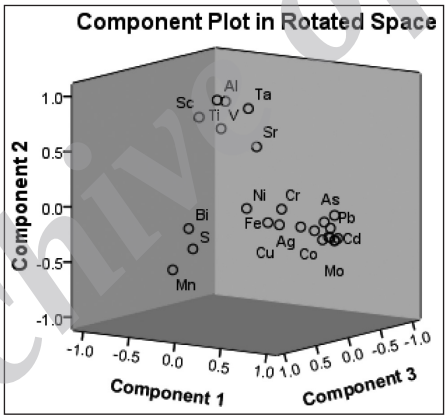


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده معدن مس- طلای چهارگنبد (با تغییرات بنیادین از فلک‌زاده، ۱۳۸۵).

www.SID.ir



شکل ۳- تحلیل خوشه‌ای عناصر سنگین در رسوبات محدوده معدن چهارگنبد.



شکل ۴- نمایش سه‌بعدی جدایش عناصر سمی در رسوبات محدوده معدنی چهارگنبد.

جدول ۱- مقایسه غلظت عناصر (ppm) در نمونه S_3 و نمونه تکراری برای بررسی دقت روش اندازه‌گیری.

عناصر	نمونه S_3	نمونه تکراری	درصد دقت	عناصر	نمونه S_3	نمونه تکراری	درصد دقت
Ag	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۰۰	Pb	۱۱	۱۳/۱	۹۹/۸۸
Al	۵۹۶۹۶	۵۹۲۷۵	۹۹/۹۹	S	۶۵۰	۸۷۲	۹۹/۷۹
As	۱۷/۸	۲۵/۹	۹۹/۷۴	Sb	۱/۳	۱/۷	۹۹/۸۱
Bi	۰/۱	۰/۳	۹۹/۲۹	Sc	۱۰	۱۰	۱۰۰
Cd	۰/۱۵	۰/۱۷	۹۹/۹۱	Sn	۰/۸	۱	۹۹/۸۴
Co	۱۴/۶	۱۵/۹	۹۹/۹۴	Sr	۵/۳۶۰	۳۵۷/۱	۹۹/۹۹
Cr	۳۰	۳۲	۹۹/۹۵	Ta	۰/۰۱	۰/۰۲	۹۹/۵۲
Cu	۵۰/۱	۶۰/۹	۹۹/۸۶	Ti	۲۶۹۹	۲۸۷۱	۹۹/۹۵
Fe	۳۸۰۲۸	۳۹۰۴۴	۹۹/۹۸	Tl	۰/۳	۰/۳	۱۰۰
Mn	۱۰۲۷	۹۹۹	۹۹/۹۸	V	۱۱۰	۱۱۵	۹۹/۹۶
Mo	۰/۷	۰/۹	۹۹/۸۲	Se	۰/۱۴	۰/۳	۹۹/۴۹
Ni	۳۶	۳۹	۹۹/۹۴	Zn	۸۲/۹	۹۲/۳	۹۹/۹۲

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- مقادیر عناصر در رسوبات مختلف و نسبت آنها با میانگین شیل‌ها (غلظت بر پایه ppm).

	میانگین عناصر در رسوبات رودخانه‌ای	میانگین عناصر در رسوبات سد باطله	میانگین عناصر در آبرفت‌های منطقه	زمینه طبیعی منطقه	میانگین عناصر در شیل بر پایه Levinson (1980)	مقادیر میانگین عناصر در رسوبات رودخانه‌ای نسبت به میانگین آنها در شیل‌ها	مقادیر میانگین عناصر در رسوبات سد باطله نسبت به میانگین آنها در شیل‌ها	مقادیر میانگین عناصر در آبرفت‌های منطقه نسبت به میانگین آنها در شیل‌ها	مقادیر میانگین عناصر در زمینه طبیعی منطقه نسبت به میانگین آنها در شیل‌ها
Ag	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۵	۱/۸۰	**٤/٤۰**	۱/۸۰	۱/۴۰
As	۱۷/۸۲	۲۸/۳۷	۱۸/۴۵	۲۱/۶	۱۵	۱/۱۹	۱/۸۹	۱/۲۳	۱/۴۴
Bi	۰/۴۸	۱۳/۱۴	۱/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۸	۲/۶۷	**۷۳/۰۰**	۶/۲۸	۰/۴۴
Cd	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۰۹	۰/۱	۰/۲	۱/۱۰	۱/۳۰	۰/۴۵	۰/۵۰
Co	۱۷/۵۸	۵۱/۸۸	۲۱/۰۳	۳۵/۹	۲۰	۰/۸۸	۲/۵۹	۱/۰۵	۱/۸۰
Cu	۹۱/۴۹	۱۹۸۱/۴	۷۵/۷	۱۰۳/۳	۵۰	۱/۸۳	**۳۹/٦۳**	۱/۵۱	۲/۰۷
Fe	۴۳۱۶۱/۳۳	۸۱۶۷۷/۳۳	۴۹۶۳۶/۱۷	۵۷۷۹۴	۴۷۰۰۰	۰/۹۲	۱/۷۴	۱/۰۶	۱/۲۳
Mn	۱۱۵۲/۸۳	۲۱۶۵/۱۳	۱۳۸۸/۸۳	۱۲۶۷	۸۵۰	۱/۳۶	۲/۵۵	۱/۶۳	۱/۴۹
Mo	۰/۹۷	۷۲/۸۶	۱/۸۵	۰/۲	۳	۰/۳۲	**۲٤/۲۹**	۰/۶۲	۰/۰۷
Ni	۴۱/۵	۸۰/۶۷	۸۴	۳۷۱	۷۰	۰/۵۹	۱/۱۵	۱/۲۰	**۵/۳۰**
Pb	۱۰/۸۲	۱۹۱/۳۸	۷/۰۷	۸/۶	۲۰	۰/۵۴	**۹/۵۷**	۰/۳۵	۰/۴۳
S	۴۸۴	۵۵۹۳/۱۷	۵۲۸/۷۵	۳۷/۵	۲۴۰۰	۰/۲۰	۲/۳۳	۰/۲۲	۰/۰۲
Sb	۱/۳	۴۷/۷۵	۱/۴۷	۰/۲	۱	۱/۳۰	**٤۷/۷۵**	۱/۴۷	۰/۲۰
Se	۰/۱۳	۰/۶۶	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۶	۰/۲۲	۱/۱۰	۰/۲۳	۰/۰۷
Sn	۱/۰۵	۱/۷۷	۰/۸۸	۰/۵	۴	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۲۲	۰/۱۳
Ti	۳۰۶۷/۶۷	۲۱۳۶/۸۳	۳۵۴۸/۱۷	۳۹۲۴	۴۶۰۰	۰/۶۷	۰/۴۶	۰/۷۷	۰/۸۵
Tl	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۱	۰/۳	۱/۱۷	۱/۴۳	۰/۹۳	۰/۳۳
V	۱۲۶/۵	۸۰/۷۵	۱۲۷/۸۳	۱۸۱	۱۳۰	۰/۹۷	۰/۶۲	۰/۹۸	۱/۳۹
Zn	۹۰/۸۲	۹۸۹/۹۴	۶۱/۴۳	۶۷/۲	۱۰۰	۰/۹۱	**۹/۹۰**	۰/۶۱	۰/۶۷

جدول ۳- خلاصه آماری عناصر در رسوبات منطقه (غلظت بر پایه ppm) (عناصر با غلظت بالاتر از میانگین به علاوه ۳ برابر انحراف معیار اثرات سمی دارند).

	Mean	Median	Mode	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis	Minimum	Maximum
Ag	۰/۱۸	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲۰	۲/۵۸	۵/۹۹۱	۰/۰۴	۰/۸۸
Al	۵۰۷۰۷/۲	۴۶۳۰۰/۰	۱۲/۸۰۰	۱۸۲۴۶/۱۳	−۰/۱۱	−۰/۵۲۹	۱۲/۸۰۰	۸۳/۱۰۰
As	۲۴/۶۱	۱۲/۰	۷/۷	۳۵/۳۶	۳/۲۴	۱۱/۱۶۵	۶/۶	۱۸۰
Bi	۹/۸۴	۵/۴	۰/۲	۱۳/۱۵	۲/۴۳	۷/۹۵۹	۰/۰۸	۶۵
Cd	۰/۲۲	۰/۱	۰/۰۴	۰/۳۵	۲/۹۶	۸/۴۲۷	۰/۰۴	۱/۶
Co	۴۰/۴۰	۲۰/۰	۱۸	۵۴/۵۰	۲/۵۷	۵/۳۲۰	۱۳	۲۱۰
Cr	۴۲/۴۱	۲۳/۰	۱۰	۵۷/۰۳	۳/۳۵	۱۳/۳۷۷	۶	۳۰۹
Cu	۱۴۳۴/۵۰	۳۲۰/۰	۰/۱۵	۲۹۱۱/۴۳	۲/۹۳	۹/۰۴۶	۰/۱۵	۱۳۷۰۰
Fe	۶۹۴۳۰/۸	۵۴۶۴۰	۵۳۹۰۰	۷۰۲۹۳/۴۶	۴/۶۲	۲۳/۱۶۲	۳۰۹۰۹	۴۴۱۰۰۰
Mn	۱۸۶۰/۳۵	۱۶۲۰/۰	۱۰۲۰	۹۲۳/۲۳	۰/۱۰	−۱/۵۸۳	۳۲۵	۳۳۲۰
Mo	۴۷/۹۸	۵/۳	۰/۸	۱۳۱/۲۹	۳/۱۹	۹/۴۸۲	۰/۲	۵۸۰
Ni	۷۳/۲۴	۲۸/۰	۲۶	۱۸۲/۹۶	۵/۳۰	۲۹/۵۲۳	۸	۱۱۰۰
Pb	۱۲۷/۵۰	۹/۴	۷/۹	۳۶۶/۸۷	۳/۳۷	۱۱/۰۶۸	۱/۸	۱۷۰۰
S	۴۰۲۷/۶۴	۳۴۶۰/۰	۳۷/۵	۴۰۱۶/۳۸	۰/۹۴	۰/۳۶۸	۳۷/۵	۱۵۷۰۰
Sb	۳۱/۵۷	۲/۷	۲/۹	۷۹/۳۱	۲/۷۶	۶/۳۴۴	۰/۱	۲۹۰
Sc	۱۰/۴۳	۱۰/۰	۹	۳/۴۲	−۰/۴۹	۰/۷۷۴	۲	۱۶
Se	۰/۴۹	۰/۲	۰/۰۴	۰/۷۹	۲/۴۵	۴/۷۷۲	۰/۰۴	۳
Sn	۱/۴۹	۱/۰	۰/۱	۱/۹۵	۳/۸۴	۱۶/۳۶۸	۰/۵	۱۱
Sr	۲۰۸/۱۱	۹۲/۱	۱۵/۲	۱۷۳/۰۸	۰/۸۷	−۰/۵۰۶	۱۵/۲	۶۰۷/۳
Ta	۰/۰۶	۰	۰/۰۱	۰/۰۷	۱/۷۲	۳/۱۶۹	۰/۰۱	۰/۳۱
Ti	۲۵۵۱/۸۶	۲۲۶۰/۰	۱۹۵۰	۸۴۹/۰۸	۰/۴۹	−۰/۲۰۵	۹۷۵	۴۵۰۰
Tl	۰/۳۹	۰/۳	۰/۳	۰/۲۷	۲/۳۲	۵/۳۰۹	۱/۱	۱/۳
V	۹۶/۹۷	۹۵/۰	۶۹	۳۳/۸۲	۰/۷۶	۱/۱۳۰	۳۵	۱۸۷
Zn	۶۶۹/۵۲	۷۲/۸	۶۱/۶	۱۷۲۵/۱۷	۲/۹۳	۷/۵۵۱	۳۶/۳	۶۸۴۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- ضرایب همبستگی میان عناصر در رسوبات محدوده معدن مس- طلای چهارگنبد.

	Ag	Al	As	Bi	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	S	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Ti	Tl	V	Zn
Ag	1	-.503**	.798**	.448**	.227	.942**	.574**	-.243	.850**	-.112	.833**	.367*	-.651**	.939**	.804**	-.373*	-.101	-.444**	.833**	-.535**	.886**
Al		1	-.553**	-.224	-.245	-.463**	-.423**	-.351*	-.620**	-.077	-.599**	-.399*	.847**	-.555**	-.498**	.471**	.730**	.871**	-.401*	.660**	-.618**
As			1	.001	.471**	.730**	.705**	-.438**	.908**	.078	.859**	.044	-.636**	.879**	.958**	-.242	-.215	-.409*	.861**	-.419**	.952**
Bi				1	-.155	.623**	.290	.411*	.061	-.162	.048	.822**	-.244	.305	.068	-.532**	-.116	-.294	.055	-.329*	.118
Cr					1	.254	.338*	-.430**	.297	.873**	.270	-.211	-.186	.302	.360*	.331*	-.214	-.109	.192	.188	.344*
Cu						1	.662**	-.201	.732**	-.072	.700**	.502**	-.603**	.901**	.760**	-.413*	-.122	-.425**	.741**	-.482**	.803**
Fe							1	-.124	.463**	-.027	.350*	.360*	-.446**	.627**	.797**	-.306	-.183	-.319	.511**	-.350*	.608**
Mn								1	-.342*	-.204	-.337*	.499**	-.129	-.320	-.427**	-.399*	-.469**	-.360*	-.473**	-.278	-.359*
Mo									1	-.043	.991**	.109	-.724**	.905**	.871**	-.347*	-.228	-.538**	.917**	-.559**	.981**
Ni										1	-.036	-.215	.090	-.080	-.076	.380*	-.190	-.012	-.199	.300	-.037
Pb											1	.078	-.699**	.877**	.804**	-.333*	-.222	-.520**	.895**	-.537**	.954**
S												1	-.334*	.287	.127	-.600**	-.242	-.430**	.051	-.464**	.152
Sc													1	-.708**	-.637**	.401*	.557**	.844**	-.624**	.719**	-.726**
Se														1	.890**	-.322	-.138	-.496**	.913**	-.563**	.948**
Sn															1	-.309	-.107	-.413*	.900**	-.484**	.936**
Sr																1	.251	.499**	-.305	.609**	-.350*
Ta																	1	.594**	.009	.228	-.220
Ti																		1	-.400*	.856**	-.526**
Tl																			1	-.534**	.931**
V																				1	-.554**
Zn																					1

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

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

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- اطلاعات مربوط به آزمون مؤلفه‌های اصلی در رسوبات پیرامون معدن مس- طلای چهارگنبد.

Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۱۳/۳۹۵	۵۵/۸۱۲	۵۵/۸۱۲	۱۳/۳۹۵	۵۵/۸۱۲	۵۵/۸۱۲	۱۱/۹۱۵	۴۹/۶۴۵	۴۹/۶۴۵
۲	۳/۹۹۳	۱۶/۶۳۷	۷۲/۴۴۹	۳/۹۹۳	۱۶/۶۳۷	۷۲/۴۴۹	۴/۰۱۱	۱۶/۷۱۴	۶۶/۳۵۹
۳	۲/۳۰۲	۹/۵۹۳	۸۲/۰۴۱	۲/۳۰۲	۹/۵۹۳	۸۲/۰۴۱	۳/۰۰۷	۱۲/۵۲۹	۷۸/۸۸۸
۴	۱/۶۶۵	۶/۹۳۹	۸۸/۹۸۰	۱/۶۶۵	۶/۹۳۹	۸۸/۹۸۰	۲/۴۲۲	۱۰/۰۹۲	۸۸/۹۸۰
۵	۰/۷۹۱	۳/۲۹۷	۹۲/۲۷۸						
۶	۰/۵۸۲	۲/۴۲۴	۹۴/۷۰۲						
۷	۰/۴۷۳	۱/۹۷۱	۹۶/۶۷۳						
۸	۰/۲۰۲	۰/۸۴۳	۹۷/۵۱۶						
۹	۰/۱۸۹	۰/۷۸۶	۹۸/۳۰۲						
۱۰	۰/۱۳۱	۰/۵۴۴	۹۸/۸۴۶						
۱۱	۰/۰۷۸	۰/۳۲۴	۹۹/۱۷۰						
۱۲	۰/۰۵۹	۰/۲۴۴	۹۹/۴۱۴						
۱۳	۰/۰۴۱	۰/۱۷۰	۹۹/۵۸۵						
۱۴	۰/۰۳۸	۰/۱۵۶	۹۹/۷۴۱						
۱۵	۰/۰۲۱	۰/۰۸۹	۹۹/۸۳۰						
۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۶۱	۹۹/۸۹۱						
۱۷	۰/۰۰۹	۰/۰۳۹	۹۹/۹۳۰						
۱۸	۰/۰۰۶	۰/۰۲۶	۹۹/۹۵۵						
۱۹	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹	۹۹/۹۷۴						
۲۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱۵	۹۹/۹۸۹						
۲۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۹۹/۹۹۶						
۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۹۹/۹۹۹						
۲۳	۰	۰/۰۰۱	۱۰۰						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

جدول ۶- نتایج حاصل از جدایش ژئوشیمیایی عناصر سنگین در رسوبات محدوده معدن چهارگنبد با استفاده از آزمون PCA چرخش واریماکس.

Rotated Component Matrix[a]

	Component			
	۱	۲	۳	٤
Ag	۰/۸۶۸	-۰/۰۸۶	۰/۳۹۰	-۰/۰۳۰
Al	-۰/۴۲۸	۰/۸۵۳	-۰/۱۵۹	-۰/۰۸۵
As	۰/۹۳۷	-۰/۱۴۳	۰/۰۲۵	۰/۱۸۰
Bi	۰/۰۳۰	-۰/۱۰۷	۰/۹۳۷	-۰/۱۰۸
Cd	۰/۹۲۸	-۰/۲۵۵	-۰/۱۰۲	۰/۰۱۵
Co	۰/۹۳۰	-۰/۲۳۳	۰/۱۳۸	۰/۱۷۹
Cr	۰/۳۳۵	-۰/۰۴۶	-۰/۰۷۴	۰/۹۲۴
Cu	۰/۷۷۵	-۰/۰۴۸	۰/۵۹۰	۰/۰۵۱
Fe	۰/۵۶۷	-۰/۰۶۵	۰/۴۷۱	۰/۲۰۳
Mn	-۰/۵۴۷	-۰/۶۲۳	۰/۳۶۳	-۰/۲۶۰
Mo	۰/۹۴۷	-۰/۲۶۴	-۰/۰۲۳	-۰/۰۳۲
Ni	-۰/۰۶۹	-۰/۰۸۵	-۰/۱۰۶	۰/۹۲۴

	Component			
	۱	۲	۳	٤
Pb	۰/۹۲۲	-۰/۲۶۷	-۰/۰۶۶	-۰/۰۵۵
S	۰/۰۲۲	-۰/۳۰۳	۰/۸۶۲	-۰/۱۷۵
Sb	۰/۹۶۴	-۰/۲۱۱	۰/۰۹۴	۰/۰۱۰
Sc	-۰/۶۰۷	۰/۶۸۴	-۰/۱۳۳	۰/۰۵۲
Se	۰/۹۳۱	-۰/۱۳۱	۰/۲۶۶	۰/۰۰۹
Sn	۰/۹۳۶	-۰/۰۷۵	۰/۱۲۰	۰/۰۵۲
Sr	-۰/۲۲۸	۰/۴۰۳	-۰/۴۸۸	۰/۴۶۰
Ta	-۰/۰۱۳	۰/۸۳۳	-۰/۰۵۳	-۰/۲۵۴
Ti	-۰/۳۵۵	۰/۸۴۵	-۰/۱۸۵	۰/۰۷۰
Tl	۰/۹۶۴	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	-۰/۱۵۹
V	-۰/۴۴۸	۰/۵۸۰	-۰/۲۴۸	۰/۴۱۶
Zn	۰/۹۶۹	-۰/۲۱۹	۰/۰۷۷	۰/۰۲۳

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a. Rotation converged in 6 iterations.

Archive of SID

www.SID.ir

کتابنگاری

فلک‌زاده م.، ۱۳۸۵- گزارشات داخلی شرکت معادن چهارگنبد. ۱۲۰ ص.

خان ناظر، ن. ح.، ۱۳۷۴- نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

خویی ن.، قربانی م. و تاجبخش پ.، ۱۳۷۸- کانسارهای مس در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۲۱ ص.

یوسفی، س. ج. و مرادیان، ع.، ۱۳۹۱- الگوی کانه‌زایی کانسار مس- طلا چهارگنبد (سیرجان)، با استفاده از مطالعات کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و آزمون‌های آماری چند متغیره، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ۴، ص. ۱۵۳-۱۳۵.

یوسفی، س. ج.، آفتابی، ع.، اسمعیل‌زاده، ع. و اسلامی، ا.، ۱۳۹۰- ژئوشیمی زیست‌محیطی عناصر سمی در خاک‌های اطراف معدن رگه‌ای مس- طلا چهارگنبد سیرجان، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۹ ص.

References

Berger, B. R., 1986- Descriptive model of low-sulfide Au-quartz veins, in Cox, D.P., and Singer, D.A., eds., Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 239p.

Dimitrijevic, M. D., 1973- Geology of Kerman region: institute for geological and mining exploration and investigation of nuclear and other mineral raw material, Beograd—Yugoslavia, Iran Geological Survey Rept Yu/52: 220p.

Facchinelli, A., Sacchi, E. & Mallen L., 2001- Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils, Environ Pollut 114: 313–324.

Fernandez, H. M., Conti, L. F. C. & Patchineelam, S. R., 1994- An assessment of the pollution of heavy metals in the Jacarepagua Basin, Riode Janeiro, Brazil- a statistical approach, Environmental Technology. 87-97.

Kaiser, H. F., 1960- The application of electronic computers to factor analysis, Educ Psychol Meas 20: 141–151.

Khorasanipour, M. & Tangestani, M., 2011- Application of multivariate statistical methods to indicate the origin and geochemical behavior of potentially hazardous elements in sediments around the Sarcheshmeh copper mine, SE Iran, Environmental Earth Science 63: 1-17.

Levinson, A., 1980- Introduction to Exploration geochemistry, Appl.pub.Co. 924p.

Morrison, D., 1967- Multivariate statistical methods, McGraw Hill, New York 124p.

Rubio, B., Nombela, A. & Vilas, F.,2000 - Geochemistry of Major and trace Elements in sediments of Riode Vigo (NW-Spain), an Assessment of Metal Pollution, Marine Pollution Bulletin 40: 968-980.

Sjerp, N., Issakhanian, V. & Brants, A., 1969- The Geological Environment of the Chahar Gonbad Copper Mine: A Study in Tertiary Copper Mineralization, Geological Survey of Iran, Report 16: 64p.

White, N. C., Leake, M. J., McCaughey, S. N. & Parris, B. W., 1995- Epithermal deposits of the southwest Pacific, Journal of Geochemical Exploration 54: 87-136.

Archive of SID

www.SID.ir