

کاربرد روش آماری چندمتغیره برای تفکیک و منشأ عناصر سمی در رسوبات محدوده معدنی مس – طلای چهار گنبد، سیرجان

سید جابر 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: ۱۳۹۱/۰۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷

چکیده

بررسی‌های عناصر سمی در رسوبات پیرامون معدن مس-طلا چهار گنبد 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 به صورت تصادفی از ژرفای ۰ تا ۵ سانتی متر 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، تالمیم 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، تالمیم 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 چهار گنبد 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, Se, Sn, S, Tl, 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 Sr, Cr, Al, V, Ta, Ti و Ti تعریف می‌شوند. گروه سوم شامل رسوبات طبیعی منطقه است که فعالیت‌های کانسارسازی بر سنگ مادر آنها تأثیر نگذاشته 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 فیولیتی منطقه هستند.

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

* نویسنده مسئول: سید جابر یوسفی

E-mail: sjyousefi2012@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

می‌شود و در پیرامون آن سنگ‌های دیواره به شدت کلریتی شده‌اند. در کانسار چهار گنبد دگرسانی سیلیسی در مرکز، دگرسانی فلیک 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 عبار بالا در این کانسارها شامل Au, Ag, As, Cu, Sb, Bi, Sn, Pb, Mo و Se است (White et al., 1995). در کانسار چهار گنبد 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 چهار گنبد 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 چهار گنبد را بررسی کرده‌اند. یوسفی و مرادیان (۱۳۹۱) نیز الگوی کانه‌زایی کانسار چهار گنبد 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 چهار گنبد و کاربرد مهم این روش در بررسی ماهیت ژئوشیمیایی رسوبات و در اکتشافات ژئوشیمیایی است.

روش‌های آماری چندمتغیره به‌طور گسترده‌ای در تحلیل‌های ژئوشیمیایی برای نشان دادن منشأ عناصر به کار برده 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 چهار گنبد 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

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 ناپوستگی توسط سنگ‌های آندزیت پورفیری، بازالت‌های الیون‌دار و توف آندزیتی با سن ائوسن پایانی - الیگوسن آغازین پوشیده شده است که سازند علیمردادی 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 علیمردادی 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 سبیری 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 گرمایی 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 صحرائی 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).

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 میان‌میان و بیشینه مقدار عناصر در رسوبات انجام شد. بر این اساس مشخص می‌شود که عناصر

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 ناپوستگی توسط سنگ‌های آندزیت پورفیری، بازالت‌های الیون‌دار و توف آندزیتی با سن ائوسن پایانی - الیگوسن آغازین پوشیده شده است که سازند علیمردادی 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 علیمردادی 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 سبیری 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 گرمایی 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 صحرائی 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

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 اندازه گیری 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 پی بردن به ارتباط ژئوشیمیایی عناصر سمی در رسوبات مختلف از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) استفاده شده است که جدول ۴ نشان دهنده 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 می توان 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؛ هر چند که Ta نیز با آنها ضریب همبستگی بالایی نشان می دهد. گروه سوم شامل عناصر Ni و Cr هستند که بالاترین ضریب همبستگی را با یکدیگر دارند. برای تعیین رابطه میان عناصر و پی بردن 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 می توان 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 در بردارنده 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 اکسی فیل قلع است. با توجه به این نتایج مشخص می شود که عناصر سمی در رسوبات منطقه با توجه به رفتار ژئوشیمیایی آنها و منشأ رسوبات به ۴ دسته تقسیم شده اند.

با توجه به موارد بالا می توان 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 سه بعدی مؤلفه‌های اصلی را در دو وضعیت یاد شده نشان می دهد. در آزمون PCA عادی، ۴ مؤلفه دارای شاخص کایزر بزرگ تر از یک هستند. مؤلفه‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب دارای شاخص ۱۳/۳۹۵، ۳/۹۹۳، ۲/۳۰۲ و ۱/۶۶۵ 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 گرفته اند، 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 غنی شدگی را در رسوبات سد باطله دارند. بنابراین می توان این مؤلفه را به عنوان رسوبات سد باطله در نظر گرفت که رسوبات آن ناشی از کارخانه تغلیظ مس هستند که خود نشان دهنده غنی شدگی 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 اکسی فیلی این عناصر مشخص می شود که این عناصر تحت تأثیر فرایندهای گرمایی در سنگ‌ها حضور پیدا نکرده اند. حضور عناصر یاد شده در پلاژیوکلاز و مگنتیت به طور طبیعی در طی فعالیت‌های آتشفشانی در سنگ‌های ائوسن منطقه صورت گرفته است. بنابراین می توان گفت که مؤلفه مربوط به این عناصر مشخص کننده رسوباتی هستند که از سنگ‌های غیر دگرسان منطقه منشأ گرفته اند. مؤلفه چهارم شامل عناصر بیسموت، گوگرد و منگنز است، مس و آهن نیز در این مؤلفه دارای وزن هستند. با توجه به کانسازسازی سولفیدی از نوع گرمایی در منطقه، مشخص می شود که حضور گوگرد در این مؤلفه نشان دهنده حضور کانی‌های سولفیدی است. بنابراین مشخص می شود که این مؤلفه نشان دهنده رسوباتی است که در سنگ منشأ آنها کانسازسازی صورت گرفته است. با توجه به حضور بیسموت در این مؤلفه مشخص می شود بیسموت سازنده اصلی کانی‌های سولفیدی است و منگنز نیز یا به صورت اکسیدی (پیرولوزیت و پسیلوملان) و یا به صورت جانشینی در کانی‌های سولفیدی این رسوبات حضور دارد. از آنجایی که مس و آهن نیز در این گروه دارای وزن هستند، مشخص می شود که این عناصر یا به صورت جانشینی در کانی‌های سولفیدی بیسموت حضور دارند و یا اینکه خود تشکیل کانی‌های مستقل سولفیدی مانند کالکوپیریت و یا پیریت را داده اند. نبود دیگر عناصر کالکوفیل در این مؤلفه احتمالاً ناشی از هوازگی و تجزیه کانی‌های سولفیدی آنها به دلیل مقاومت نداشتن کانی‌هایشان بوده است. همان گونه که در بخش زمین شناسی گفته شد سنگ‌های افیولیتی در منطقه گسترش بالایی دارند بنابراین این نوع سنگ‌ها خود می توانند سازنده بخشی از رسوبات منطقه باشند. در مؤلفه چهارم 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 فوق بازی، حضور این عناصر در مؤلفه چهارم، نشان دهنده رسوباتی است که احتمالاً از سنگ‌های افیولیتی منشأ گرفته اند، گرچه این دو عنصر به راحتی از کانی‌های سولفیدی مانند پیریت نیز آزاد می شوند. حضور عناصر استرانسیم و 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 هوازگی و انتقال توسط آب و فعالیت‌های انسان زاد (رسوبات کارخانه تغلیظ) در مناطق گسترده‌ای پخش می شوند، بنابراین انتقال دهنده عناصر سمی درون خود به محیط زیست نیز هستند. با انجام روش‌های آماری چندمتغیره مشخص می شود که پخش آلودگی ناشی از عناصر نقره، آرسنیک، کادمیم، کبالت، مس، آهن، مولیبدن، سرب، آنتیموان، سلنیم، قلع، تالیم توسط رسوبات کارخانه تغلیظ صورت می گیرد. 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 نگرفته اند، رسوبات ناشی از آنها نیز تمرکز کمتری از عناصر سمی دارند و نه تنها موجب پخش آلاینده‌گی خاصی در منطقه نیستند بلکه سبب کاهش عناصر سمی در حجم رسوبات می شوند.

۵- نتیجه گیری

در محدوده معدن مس- طلا چهارگنبد رسوبات تحت تأثیر فرایندهای طبیعی و انسان زاد تشکیل می شوند. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر سمی در این رسوبات ۱۵۹

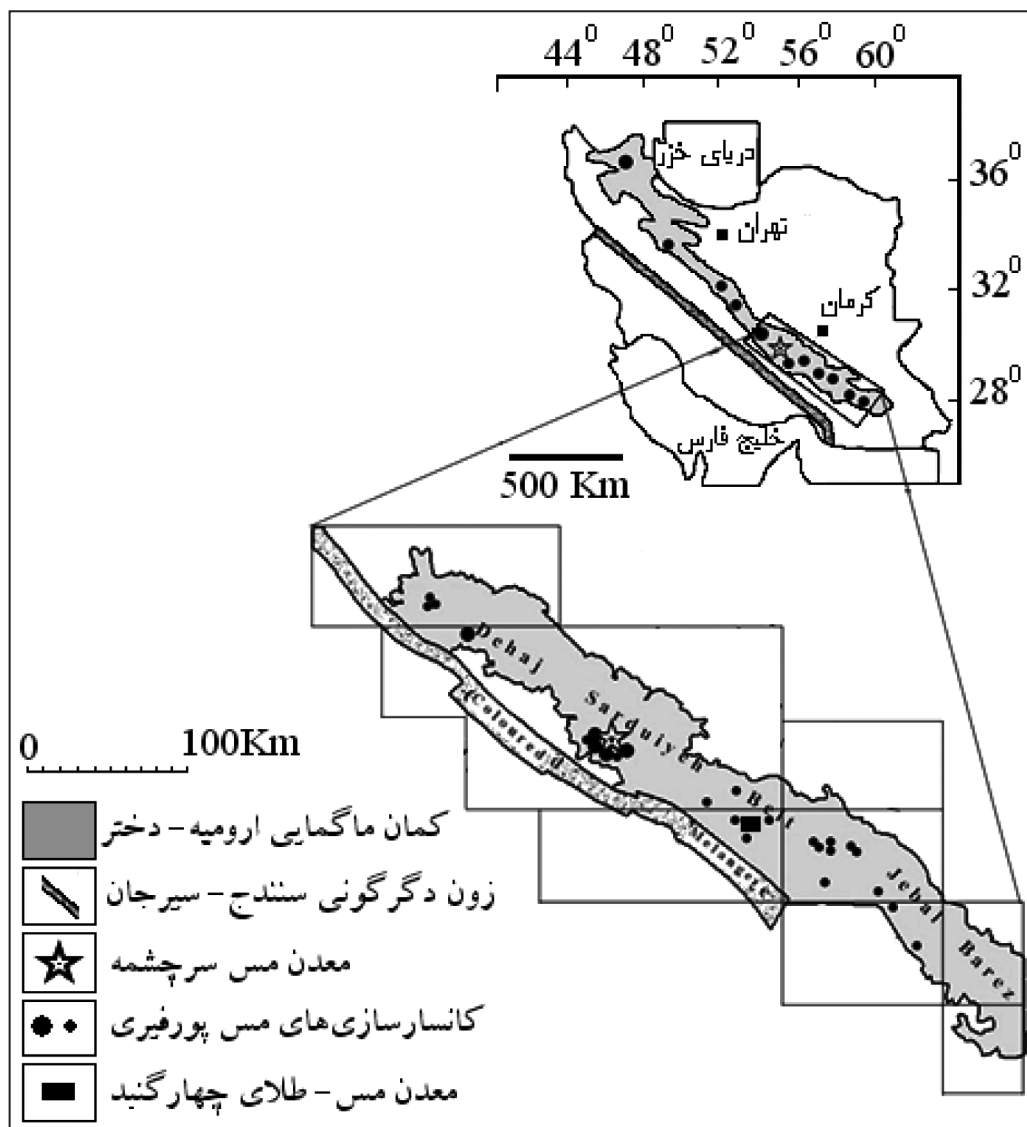
نقره، آرسنیک، بیسموت، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، مولیبدن، نیکل، سرب، گوگرد، آنتیموان، سلنیم، قلع، تانتالیم، استرانسیم، تالیم و روی دارای چولگی هستند که بیانگر توزیع آماری غیرعادی آنها در رسوبات منطقه است. عناصر آلومینیم، منگنز، اسکاندیم، تیتانیم و وانادیم دارای توزیع آماری عادی هستند. مقادیر بیشینه اندازه گیری 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 پی بردن به ارتباط ژئوشیمیایی عناصر سمی در رسوبات مختلف از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) استفاده شده است که جدول ۴ نشان دهنده 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 می توان 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؛ هر چند که Ta نیز با آنها ضریب همبستگی بالایی نشان می دهد. گروه سوم شامل عناصر Ni و Cr هستند که بالاترین ضریب همبستگی را با یکدیگر دارند. برای تعیین رابطه میان عناصر و پی بردن 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 می توان 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 در بردارنده 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 اکسی فیل قلع است. با توجه به این نتایج مشخص می شود که عناصر سمی در رسوبات منطقه با توجه به رفتار ژئوشیمیایی آنها و منشأ رسوبات به ۴ دسته تقسیم شده اند.

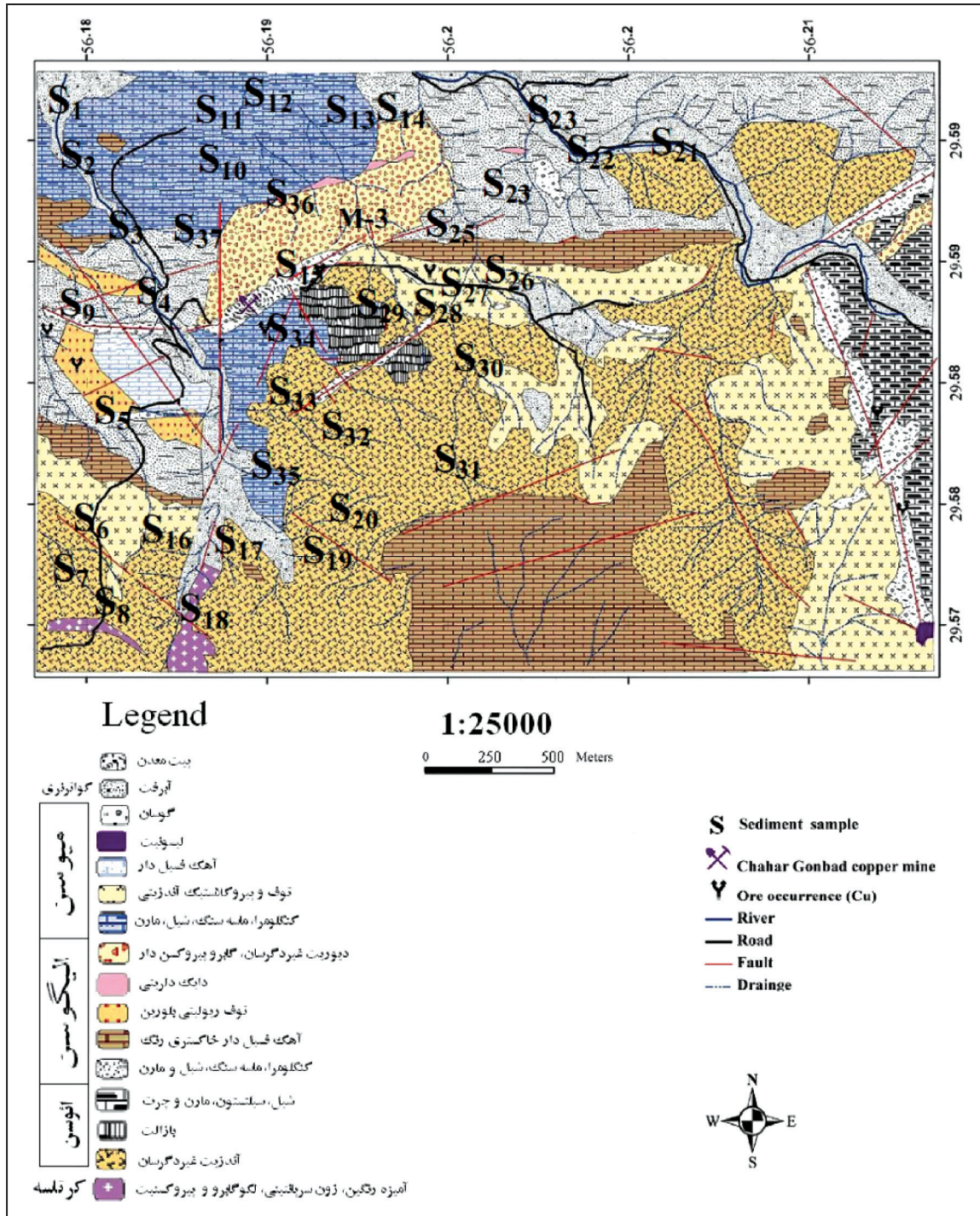
با توجه به موارد بالا می توان رسوبات منطقه را از دید ژئوشیمیایی جدا کرد که برای این کار از آزمون مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شده است. این روش بر روی داده‌ها در دو حالت ابتدایی (Initial) و چرخش واریماکس (Varimax rotation) مورد بررسی قرار گرفت. جدول‌های ۵ و ۶ نتایج این آزمون‌ها و شکل ۴ موقعیت عناصر در نمودار سه بعدی مؤلفه‌های اصلی را در دو وضعیت یاد شده نشان می دهد. در آزمون PCA عادی، ۴ مؤلفه دارای شاخص کایزر بزرگ تر از یک هستند. مؤلفه‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب دارای شاخص ۱۳/۳۹۵، ۳/۹۹۳، ۲/۳۰۲ و ۱/۶۶۵ 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 گرفته اند، 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 غنی شدگی را در رسوبات سد باطله دارند. بنابراین می توان این مؤلفه را به عنوان رسوبات سد باطله در نظر گرفت که رسوبات آن ناشی از کارخانه تغلیظ مس هستند که خود نشان دهنده غنی شدگی 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

دوم شامل عناصر Bi، Mn و S است که مشخص کننده رسوبات طبیعی منطقه هستند که کانسارسازی در سنگ منشأ آنها صورت گرفته است. حضور گوگرد در این دسته نشان دهنده وجود کانی های سولفیدی در این رسوبات است که خود می تواند منشأ دیگری برای انتشار آلودگی در منطقه باشد. نبود دیگر عناصر کالکوفیل در این نوع از رسوبات منطقه احتمالاً ناشی از هوازدگی و تجزیه کانی های سولفیدی آنها به دلیل مقاومت نداشتن کانی هایشان بوده است. دسته سوم شامل عناصر Al، Sr، Sc، V، Ta و Ti است که نشان دهنده رسوبات طبیعی در منطقه هستند. هیچ گونه فلز سنگین در این دسته دیده نمی شود که نشان دهنده نبود کانسارسازی در این گروه و عدم انتشار آلودگی توسط این سنگ هاست. این رسوبات می توانند سبب رقیق شدگی آلودگی های ناشی از دیگر رسوباتی که منشأ آلودگی هستند شوند. در دسته چهارم عناصر Cr و Ni قرار گرفته اند که با توجه به خواص ژئوشیمیایی این عناصر و حضور آنها در سنگ های فوق بازی، می توان نتیجه گرفت که احتمالاً منشأ این عناصر رسوبات حاصل از سنگ های افیولیتی منطقه و یا رسوبات ناشی از سنگ های کانه زای سولفیدی باشد که در آنها Ni و Cr به جای آهن در کانی های سولفیدی جانشین شده است.

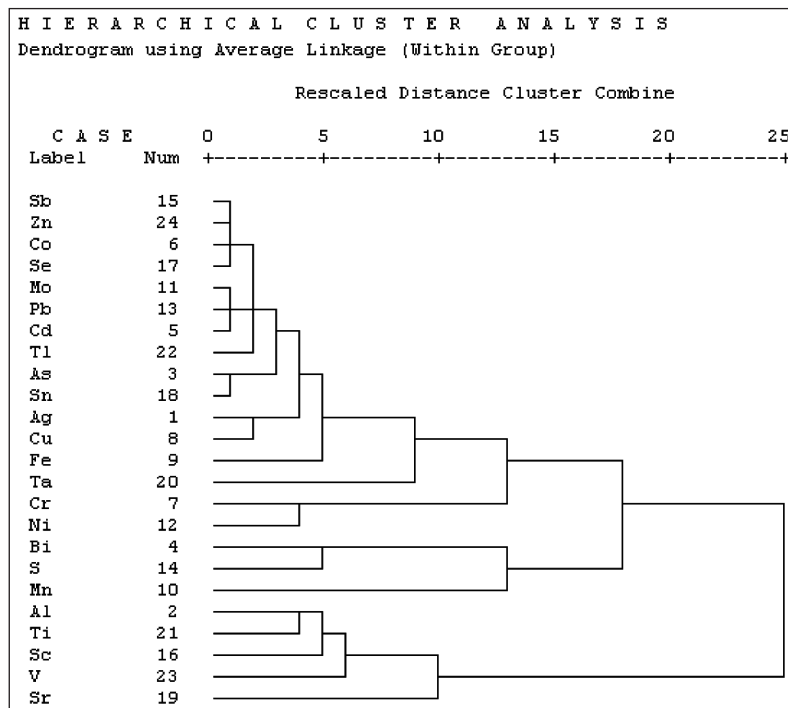
نشان دهنده غلظت کمتر عناصر سمی در رسوبات رودخانه ای و آبراهه ای منطقه نسبت به رسوبات انسان زاد (رسوبات سد باطله) است. بررسی های ژئوشیمیایی نشان می دهد که نقره، آرسنیک، بیسموت، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، مولیبدن، نیکل، سرب، آنتیموان، سلنیم، قلع، تالیم، روی، گوگرد، تانتالیم و استرانسیم در رسوبات منطقه دارای توزیع آماری غیرعادی، و عناصر آلومینیم، منگنز، اسکاندیم، تیتانیم و وانادیم دارای توزیع آماری عادی هستند. از مهم ترین ویژگی های عناصر لیتوفیل آلومینیم، اسکاندیم، استرانسیم، تیتانیم و وانادیم در رسوبات منطقه، داشتن ضریب همبستگی منفی با عناصر کالکوفیل است که نشان دهنده عدم تأثیر فرایندهای کانه زای بر سنگ منشأ رسوبات دارای این عناصر است. روش های آماری چندمتغیره روی عناصر سمی در نمونه های رسوب نشان می دهد که ارتباط قابل توجهی میان این عناصر در نمونه های مختلف رسوب وجود دارد. با استفاده از این ارتباط، عناصر و رسوبات به ۴ دسته کلی تقسیم شدند؛ دسته اول شامل عناصر Co، Cd، As، Ag، Zn، Tl، Sn، Se، Sb، Pb، Mo، Fe، Cu نشان می دهند. بنابراین رسوبات سد باطله را می توان به عنوان یک گروه از رسوبات در منطقه در نظر گرفت که منشأ آلودگی می تواند ناشی از این عناصر باشد. دسته



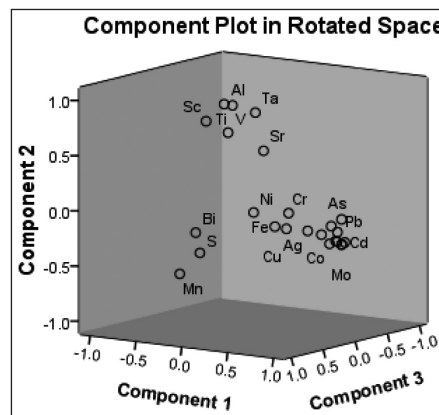
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کمان ماگمایی ارومیه دختر (با تغییرات از Dimitrijevic, 1973).



شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده معدن مس - طلای چهارگنبد (با تغییرات بنیادین از فلک زاده، ۱۳۸۵).



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 S₃ 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

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	۴/۴۰	۱/۴۰
As	۱۷/۸۲	۲۸/۳۷	۱۸/۴۵	۲۱/۶	۱۵	۱/۱۹	۱/۸۹	۱/۴۴
Bi	۰/۴۸	۱۳/۱۴	۱/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۸	۲/۶۷	۷۳/۰۰	۰/۴۴
Cd	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۰۹	۰/۱	۰/۲	۱/۱۰	۱/۳۰	۰/۵۰
Co	۱۷/۵۸	۵۱/۸۸	۲۱/۰۳	۳۵/۹	۲۰	۰/۸۸	۲/۵۹	۱/۸۰
Cu	۹۱/۴۹	۱۹۸۱/۴	۷۵/۷	۱۰۳/۳	۵۰	۱/۸۳	۳۹/۶۳	۲/۰۷
Fe	۴۳۱۶۱/۳۳	۸۱۶۷۷/۳۳	۴۹۶۳۶/۱۷	۵۷۷۹۴	۴۷۰۰۰	۰/۹۲	۱/۷۴	۱/۲۳
Mn	۱۱۵۲/۸۳	۲۱۶۵/۱۳	۱۳۸۸/۸۳	۱۲۶۷	۸۵۰	۱/۳۶	۲/۵۵	۱/۴۹
Mo	۰/۹۷	۷۲/۸۶	۱/۸۵	۰/۲	۳	۰/۳۲	۲۴/۲۹	۰/۰۷
Ni	۴۱/۵	۸۰/۶۷	۸۴	۳۷۱	۷۰	۰/۵۹	۱/۱۵	۵/۳۰
Pb	۱۰/۸۲	۱۹۱/۳۸	۷/۰۷	۸/۶	۲۰	۰/۵۴	۹/۵۷	۰/۴۳
S	۴۸۴	۵۵۹۳/۱۷	۵۲۸/۷۵	۳۷/۵	۲۴۰۰	۰/۲۰	۲/۳۳	۰/۰۲
Sb	۱/۳	۴۷/۷۵	۱/۴۷	۰/۲	۱	۱/۳۰	۴۷/۷۵	۰/۲۰
Se	۰/۱۳	۰/۶۶	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۶	۰/۲۲	۱/۱۰	۰/۰۷
Sn	۱/۰۵	۱/۷۷	۰/۸۸	۰/۵	۴	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۱۳
Ti	۳۰۶۷/۶۷	۲۱۳۶/۸۳	۳۵۴۸/۱۷	۳۹۲۴	۴۶۰۰	۰/۶۷	۰/۴۶	۰/۸۵
Tl	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۱	۰/۳	۱/۱۷	۱/۴۳	۰/۳۳
V	۱۲۶/۵	۸۰/۷۵	۱۲۷/۸۳	۱۸۱	۱۳۰	۰/۹۷	۰/۶۲	۱/۳۹
Zn	۹۰/۸۲	۹۸۹/۹۴	۶۱/۴۳	۶۷/۲	۱۰۰	۰/۹۱	۹/۹۰	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	۶۹۴۳/۰۸	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

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					Component			
	۱	۲	۳	۴		۱	۲	۳	۴
Ag	۰/۸۶۸	-۰/۰۸۶	۰/۳۹۰	-۰/۰۳۰	Pb	۰/۹۲۲	-۰/۲۶۷	-۰/۰۶۶	-۰/۰۵۵
Al	-۰/۴۲۸	۰/۸۵۳	-۰/۱۵۹	-۰/۰۸۵	S	۰/۰۲۲	-۰/۳۰۳	۰/۸۶۲	-۰/۱۷۵
As	۰/۹۳۷	-۰/۱۴۳	۰/۰۲۵	۰/۱۸۰	Sb	۰/۹۶۴	-۰/۲۱۱	۰/۰۹۴	۰/۰۱۰
Bi	۰/۰۳۰	-۰/۱۰۷	۰/۹۳۷	-۰/۱۰۸	Sc	-۰/۶۰۷	۰/۶۸۴	-۰/۱۳۳	۰/۰۵۲
Cd	۰/۹۲۸	-۰/۲۵۵	-۰/۱۰۲	۰/۰۱۵	Se	۰/۹۳۱	-۰/۱۳۱	۰/۲۶۶	۰/۰۰۹
Co	۰/۹۳۰	-۰/۲۳۳	۰/۱۳۸	۰/۱۷۹	Sn	۰/۹۳۶	-۰/۰۷۵	۰/۱۲۰	۰/۰۵۲
Cr	۰/۳۳۵	-۰/۰۴۶	-۰/۰۷۴	۰/۹۲۴	Sr	-۰/۲۲۸	۰/۴۰۳	-۰/۴۸۸	۰/۴۶۰
Cu	۰/۷۷۵	-۰/۰۴۸	۰/۵۹۰	۰/۰۵۱	Ta	-۰/۰۱۳	۰/۸۳۳	-۰/۰۵۳	-۰/۲۵۴
Fe	۰/۵۶۷	-۰/۰۶۵	۰/۴۷۱	۰/۲۰۳	Ti	-۰/۳۵۵	۰/۸۴۵	-۰/۱۸۵	۰/۰۷۰
Mn	-۰/۵۴۷	-۰/۶۲۳	۰/۳۶۳	-۰/۲۶۰	Tl	۰/۹۶۴	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	-۰/۱۵۹
Mo	۰/۹۴۷	-۰/۲۶۴	-۰/۰۲۳	-۰/۰۳۲	V	-۰/۴۴۸	۰/۵۸۰	-۰/۲۴۸	۰/۴۱۶
Ni	-۰/۰۶۹	-۰/۰۸۵	-۰/۱۰۶	۰/۹۲۴	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.

کتابنگاری

- فلک زاده م.، ۱۳۸۵- گزارشات داخلی شرکت معادن چهارگنبد. ۱۲۰ ص.
- خان ناظر، ن. ح.، ۱۳۷۴- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خویی ن.، قربانی م. و تاجبخش پ.، ۱۳۷۸- کانسارهای مس در ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۲۱ ص.
- یوسفی، س. ج. و مرادیان، ع.، ۱۳۹۱- الگوی کانه زایی کانسار مس - طلا چهارگنبد (سیرجان)، با استفاده از مطالعات کانی شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و آزمون های آماری چند متغیره، مجله زمین شناسی اقتصادی ۴، ص. ۱۵۳-۱۳۵.
- یوسفی، س. ج.، آفتابی، ع.، اسمعیل زاده، ع. و اسلامی، ا.، ۱۳۹۰- ژئوشیمی زیست محیطی عناصر سمی در خاک های اطراف معدن رگه ای مس - طلا چهارگنبد سیرجان، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی 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.

A Multivariation Statistical Method for the Genesis of the Toxic Elements in Sediments around the Chahar Gonbad Cu-Au Mine, Sirjan

S. J. Yousefi ^{1*} & A. Aftabi ²

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

²Professor, Department of Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Received: 2012 September 03

Accepted: 2015 January 07

Abstract

The investigation on toxic elements in sediments around the Chahar Gonbad copper-gold mine indicates sediments with various sources of pollution. In order to investigate the source and chemical fractionation of toxic elements 38 sediment samples were collected from 0 to 5 cm depth of river, alluvium and dam sediments randomly. The average values of elements in sediments are: 0.09 ppm Ag, 17.82 ppm As, 0.48 ppm Bi, 0.22 ppm Cd, 17.58 ppm Co, 91.49 ppm Cu, 43161.33 ppm Fe, 1152.83 ppm Mn, 0.97 ppm Mo, 41.5 ppm Ni, 10.82 ppm Pb, 484 ppm S, 1.3 ppm Sb, 0.13 ppm Se, 1.05 ppm Sn, 3067.67 ppm Ti, 0.35 ppm Tl, 126.5 ppm V and 90.82 ppm Zn, respectively. The average values for waste dam sediments include 0.22 ppm Ag, 28.37 ppm As, 13.14 ppm Bi, 0.26 ppm Cd, 51.88 ppm Co, 1981.4 ppm Cu, 81677.33 ppm Fe, 2165.13 ppm Mn, 72.86 ppm Mo, 80.67 ppm Ni, 191.38 ppm Pb, 5593.17 ppm S, 47.75 ppm Sb, 0.66 ppm Se, 1.77 ppm Sn, 2136.83 ppm Ti, 0.43 ppm Tl, 80.75 ppm V and 989.94 ppm Zn. The obtained results were evaluated by using of multivariation statistical method including correlation coefficient, principal component analysis (PCA), and cluster analysis (CA). By using a multivariation statistical method it becomes obvious that the sediments can be divided into four different categories. The first category of these sediments are derived from mining activity, which in the first component of the PCA analysis are related to Ag, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mo, Pb, Sb, Se, Sn, Tl and Zn. The second category of sediments are not affected by mineralization and in the second component of PCA analysis are indicated by Al, Sc, Sr, V, Ta, Ti. The third category is of natural sediments, on which, rock source and mineralization had an influence, thus include the third component of PCA analysis and are indicated by Bi, Mn, and S. The forth category of sediments include toxic elements such as Cr and Ni that either are derived from weathering of sulfides or probably from ophiolitic rocks.

Keywords: Principal components analysis, Toxic elements, Sediment, Cu-Au- mine, Chahar Gonbad, Sirjan.

For Persian Version see pages 157 to 166

*Corresponding author: S. J. Yousefi; E-mail: sjyousefi2012@gmail.com