

تحلیل داده‌های چند متغیره کانسار سرب و روی قنات مروان کرمان

نوشته: دکتر محمدرضا شایسته فر* و دکتر ایرج رسا**

Multivariate Data Analysis of Qanat Marvan Lead-Zinc Deposit, Kerman

By: Dr. M. R. Shayestehfar* and Dr. I. Rasa**

چکیده

هدف اصلی از انجام این پژوهش کاربرد تحلیل آماری داده‌های زمین‌شیمیایی برای دستیابی به یک الگوی اکتشافی مورد قبول در منطقه قنات مروان کرمان است. در ابتدا به ارائه اطلاعات زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی محدوده کانسار سرب و روی قنات مروان کرمان پرداخته می‌شود و بعد ورود داده‌ها به نرم افزار surfer، رسم نقشه‌های کنتوری و نقشه‌های امتیازی مولفه‌های اصلی، سپس تعیین حد آستانه عناصر سرب و روی با استفاده از روش فراکتال، و در نهایت تعیین شاخص سریستی شدگی $\left(\frac{K_2O}{K_2O+Na_2O}\right)$ و رسم نقشه کنتوری آن و بالاخره با بررسی ماتریس ضریب همبستگی، تحلیل مولفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای و نقشه‌های حاصل این نتایج به دست می‌آید که عناصر سرب (Pb) و روی (Zn) در مولفه‌های اصلی PC_3 ، PC_2 و PC_4 مقادیر بالایی را نشان می‌دهند. بنابراین، نقشه امتیازی مولفه اصلی PC_4 تقریباً مشابه نقشه‌های کنتوری سرب و روی است. و این مولفه، کانی‌سازی سرب و روی را در منطقه مشخص کرده است. این مناطق که دستخوش کانی‌سازی سرب و روی بوده، تحت تاثیر دگرسانی فلیک (سریست) قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل داده‌ها - قنات مروان، سرب - روی

Abstract

The main purpose of this paper is to apply statistical data analysis to find an acceptable geochemical pattern for Qanat Marvan area. Geological and geochemical information of Pb-Zn mineralization of Qanat Marvan district is first introduced and then data input to the Surfer software, contour map, drawing and principal component analyses are carried out. Pb-Zn thresholds are determined with fractal method and subsequently the sericitization index $\left(\frac{K_2O}{K_2O+Na_2O}\right)$ and its contour map are prepared.

Finally, with respect to correlation coefficient matrices, principal component analyses, hierarchical clustering and the produced maps, it can be concluded that Pb-Zn elements in the PC_2 and PC_3 have high values. Therefore, principal component score map PC_4 is equal to the Pb-Zn contour maps, suggesting component mineralization of Pb-Zn in the study area. These areas have undergone phyllic (sericitic) alteration due to Pb-Zn mineralization.

Keyword: Data Analysis, Qanat Marvan, lead - zinc

مقدمه

ته‌نشست و تمرکز عناصر کمیاب در سنگها و همچنین شناسایی بی‌هنجاری‌های مرتبط با کانی‌سازی از انواع بی‌اهمیت آن، بر روی داده‌های زمین‌شیمیایی تحلیل آماری صورت می‌گیرد. کانسار سرب و روی قنات مروان در شمال خاوری بافت کرمان در کوه سیاه گونو واقع است. این منطقه به دلیل کانی‌سازی سرب و روی، مورد

با توجه به توسعه روز افزون صنایع و کاربرد گسترده فلزهای با ارزش مانند مس، سرب و روی در این امور، ارائه الگوها و روشهای اکتشافی برای کانسارهای حاوی این فلزها امری اجتناب ناپذیر می‌باشد.

در ارائه این الگوها، علم زمین‌شیمی سهم بسزایی دارد. به دلیل نبود مدل‌های ریاضی لازم برای توصیف نوع منبع، چگونگی تفریق، مهاجرت،

در زون گسلی قنات مروان گسلهایی با روند $N45-50E$ ، کنترل کننده اصلی کانی سازی در محدوده مورد مطالعه هستند. این گسلهها که عموماً نرمال و چپ گرد هستند، شیبی حدود 60° تا 80° درجه به سمت شمال باختر دارند. دسته گسلهای فرعی جدیدتری نیز در ناحیه وجود دارد که موجب جابه جایی در گسلهای قدیمی تر شده اند. این گسلهها، تقریباً روند شمالی - جنوبی دارند و شیب آنها نزدیک به قائم است.

این گسلهای فرعی بر اثر فعالیت زمین ساختی منطقه که همزمان با فاز آذرین جبال بارز رخ داده است، ایجاد شده اند، به گونه ای که تعدادی از دایکها و توده های نفوذی ناحیه در شکستگیهای حاصل از این فاز جایگزین شده اند.

فعالیت گرمایی این فاز آذرین، منجر به ایجاد دگرسانی های مختلف در سامانه های گسلی قدیمی تر شده است. افزون بر فاز آذرین که کانی سازی و دگرسانی حاشیه ای دایکهای دارای روند شمالی - جنوبی را موجب شده است فاز جدیدتری نیز در منطقه به وقوع پیوسته که آن نیز موجب دگرسانی و کانی سازی در سنگها شده است. سنگهای آذرین محدوده کانسار قنات مروان، بیشتر آندزیت تا تراکی آندزیت و مقدار کمی آندزیت بازالت هستند.

بررسیهای زمین شیمیایی

به منظور بررسی کانی شناسی و دگرسانی در محدوده کانسار قنات مروان، شبکه ای به ابعاد تقریبی 630×2450 متر با سلولهایی به ابعاد 20×100 متر رسم شده و در این شبکه، از سنگ بستر نمونه برداری شد (شکل ۳).

با توجه به حجم عظیم اطلاعات به دست آمده و خصلت عددی داده های زمین شیمیایی، انجام بررسیهای آماری بر روی این داده ها گریز ناپذیر اجتناب ناپذیری بوده است.

تحلیل آماری داده های زمین شیمیایی آمایش داده ها

برای بررسی و تحلیل آماری داده های خام اولیه شامل ۲۶ ستون داده و مربوط به تحلیل نمونه های ستگی منطقه شامل عناصر $B, Al_2O_3, Zn, Y, V, TiO_2, SiO_2, Sc, Pb, P_2O_5, Ni, Na_2O, MnO, L, OI, K_2O, Ga, FeO, Fe_2O_3, Fe, Cu, C, Ba, Cr, Co$ پرونده ای با ۲۶ ستون از داده های رقمی مربوط به این ترکیبها و عناصر در نرم افزار SPSS تشکیل شد. به دلیل مختلف بودن واحدهای این داده ها، داده ها در ابتدا بی بعد شدند. این بی بعد کردن با استاندارد کردن توسط فرمول $Z = \frac{x - \bar{x}}{S}$ انجام می شود. که در آن S انحراف معیار، x مقدار خام، x میانگین مقادیر و Z مقدار استاندارد شده است. S و x مربوط به جامعه نرمال است.

توجه زمین شناسان بوده است. یکی از دلایل انتخاب این منطقه برای بررسی زمین شیمیایی و آماری، دسترسی آسان به اطلاعات و داده های خام این منطقه است. دلیل دیگر، انجام تحلیل های چند متغیره و بررسی های زمین شیمی اکتشافی برای تعیین یک مدل زمین شیمیایی بر روی چنین داده هایی بود. در مقاله حاضر بر روی داده های خام زمین شیمیایی مربوط به ۲۶ عنصر حاصل از تجزیه نمونه های سنگی، بررسی های زمین شیمیایی اکتشافی و تحلیل آماری صورت قرار گرفته است.

زمین شناسی محدوده کانسار قنات مروان

این کانسار در فاصله هوایی ۱۲ کیلومتری شمال خاوری بافت واقع است. کانسار مورد نظر در کوه سیاه گونو که خود بخشی از کوه های لاله زار کرمان را تشکیل داده است، قرار دارد. قله این کوهها، معروف به کوه شاه، ۴۳۵۱ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. محدوده کانسار مورد مطالعه در کوه سیاه گونو در حد فاصل بین منحنی های تراز 2800 تا 3260 متر نسبت به سطح دریا واقع است. رود شاه در شمال محدوده کانسار جریان دارد. دسترسی به محدوده کانسار قنات مروان از جاده اصلی بافت به کرمان میسر است. در ۱۵ کیلومتری خاور بافت، جاده مزبور به روستای بزنجان می رسد. جاده بزنجان - رابر پس از ۷ کیلومتر از روستای آهویه می گذرد. از یک کیلومتری خاور آهویه یک راه خاکی به طرف شمال منشعب می گردد که پس از پیمودن ۸ کیلومتر به محدوده کانسار قنات مروان می رسد (شکل ۱).

زمین شناسی منطقه چه از لحاظ چینه شناسی و چه از لحاظ زمین ساختی پیچیده است. این منطقه در بخش جنوبی کمر بند آتشفشانی ارومیه - دختر واقع است و بر اساس تقسیمات زمین ساختی دیمتریویچ (۱۹۷۳)، در شمال کمر بند آمیزه رنگی، در زون دهاج - ساردوئیه جای دارد.

در این ناحیه، عمدتاً سنگهای آذر آواری به ائوسن در سطح زمین رخنمون دارد. پس از رخداد یک فاز زمین ساختی نسبتاً شدید در ائوسن میانی، نهشته های ائوسن زیرین میانی (کمپلکس بحر آسمان)، به صورت دگر شیب بر روی واحدهای قدیمی تر ائوسن تهشته شده اند (واحدهای Es, Et, E₂ بر روی نقشه ۲). پس از یک فاز زمین ساختی ضعیف که با خروج منطقه از آب دریا و چین خوردگی ملایم نهشته های قدیمی تر همراه بوده است، کمپلکس آتشفشانی رزک (واحدهای E_{at}, E_{ev} در نقشه زمین شناسی منطقه) روی واحدهای قدیمی تر را می پوشاند. سن کمپلکس رزک شامل بخشهای انتهایی ائوسن میانی (لوتسین بالایی) تا بخشهای قاعده ای ائوسن بالایی (پریابونین زیرین) است. توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن منطقه با کمپلکس آذر آواری هزار که سن ائوسن پسین دارد، خاتمه می یابد.

نتایج حاصل از تحلیل مولفه های اصلی

نتایج حاصل از تحلیل مولفه های اصلی در قالب یک جدول ارائه شده است. جدول ۱ مربوط به مولفه های اصلی (ویژه بردار) و ویژه تعدادهای مربوطه به ۲۶ ستون داده است. همچنین شکل ۴ نمایش نمودارهای چهار مولفه اصلی PC_1, PC_2, PC_3, PC_4 را نشان می دهد.

تحلیل گروه بندی خوشه ای

(HC): Hierarchical Clustering

روشهای تحلیل خوشه ای کاربرد وسیعی در علوم زمین دارند. گروه بندی خوشه ای، روشی است که برای دسته بندی داده های زمین شیمیایی به کار می رود. تحلیل خوشه ای، مشاهداتی که با هم شباهت زیاد دارند را به یکدیگر مرتبط می کند. سپس به طور متوالی، مشاهداتی را که بیشترین شباهت نسبت به مشاهدات قبلی را دارند به آنها متصل می کند. محاسبه شباهت بین تمام جفت نمونه ها، منتج به یک ماتریس $m \times m$ خواهد شد. در مرحله بعد، نمونه ها یا متغیرها به صورتی مرتب می شوند که دو نمونه یا متغیر با بیشترین شباهت، در یک گروه قرار گیرند. سپس ماتریس دوباره حساب می شود. این عمل به صورتی تکرار می شود که در نهایت به یک ماتریس 2×2 کاهش یابد.

برای تعیین ماتریس شباهت معمولاً از دو روش استفاده می شود.

- ۱- استفاده از ضریب فاصله
- ۲- استفاده از ضریب همبستگی

روش وارد (Ward)

در این پروژه از روش وارد در نرم افزار SPSS استفاده شده است. این روش دارای کمترین افزایش در مجموع انحراف معیار مجذور شده میانگین خوشه هاست. خطای مجموع مربعها، یک مورد فراگیر در آمار است و برای جلوگیری از افزایش واریانس خوشه ها هنگام متصل شدن یک انتخاب طبیعی است.

روش وارد، اصولاً نتیجه خوب و ساختار خوشه ای متناسبی به دست می دهد. به این دلیل، این روش به تازگی روش استاندارد همگانی شده است.

برای رسم درختی حاصل از ۲۶ متغیر مربوط به عناصر و ترکیبهای نمونه های سنگی تجزیه شده، پرونده مربوط به این ۲۶ ستون داده که از قبل در نرم افزار SPSS تشکیل شده و استاندارد شده بودند، به وسیله گزینه گروه بندی این ۲۶ متغیر در شکل ۵ آمده است.

با توجه به جدول ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرها و جدول مولفه های اصلی و اندر دگرام حاصل از این متغیرها به نتایج زیر می توان اشاره کرد.

پس از استاندارد کردن داده ها، آنها از سه جهت زیر مورد بررسی قرار می گیرند.

پردازش داده ها

پردازش داده ها در نرم افزار SPSS و به کمک دو روش تحلیل مولفه های اصلی یا "PCA" و تحلیل خوشه ای یا "HC" انجام شده است.

تحلیل مولفه های اصلی

(PCA): Principal Component Analysis

تحلیل مولفه های اصلی (PCA) داده های خام اولیه ژئوشیمی را به صورت های جدیدی که قابلیت تفسیر آنها بیشتر از داده های خام است، تبدیل می کند.

این تحلیل، محورهای جدیدی را در امتداد خط بیشینه واریانس داده ها رسم می کند. یکی از محورهای مولفه اصلی، اطلاعات بیشتری نسبت به مولفه دیگر شامل می شود که مولفه اصلی اول (PC_1) نامیده می شود. مولفه اصلی دوم (PC_2) عمود بر مولفه اصلی اول است.

مولفه های سوم و چهارم و پنجم و ... مقادیر یکنواخت واریانس کاهش یافته در دستگاه داده ها را شامل می شوند. مولفه های اصلی در حقیقت همان مقادیر ویژه بردار ماتریس واریانس - کواریانس هستند. مفهوم ویژه بردار و ویژه مقدار ماتریس واریانس کواریانس.

اگر A ماتریس واریانس - کواریانس و $\lambda \in R$ و $X \neq 0$ یک بردار باشد و داشته باشیم: $[A][X] = \lambda[X]$ (1)

آنگاه $[X]$ را بردار ویژه ماتریس $[A]$ می نامند.

حال به محاسبه λ و $[X]$ برای یک ماتریس 3×3 می پردازیم،

$$([A] - \lambda[I])[X] = [0] \quad (2)$$

$$\lambda[I] = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} (a_{11} - \lambda)x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = 0 \\ a_{21}x_1 + (a_{22} - \lambda)x_2 + a_{23}x_3 = 0 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + (a_{33} - \lambda)x_3 = 0 \end{cases}$$

شرط وجود جواب غیر صفر در دستگاه همگن خطی این است که درمیان ضرایب مجهولها برابر صفر شود.

یعنی:

$$|A - \lambda I| = \begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

با حل این درمیان سه ویژه مقدار (λ) به دست می آید.

با جایگزینی این سه λ در معادله (۲)، سه ویژه بردار تشکیل می شود.

نتایج حاصل از ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرها

همبستگی منفی و بالای SiO_2 سنگ و CaO . همبستگی مثبت و بالای TiO_2 سنگ و Fe_2O_3 همبستگی مثبت و بالای FeOT سنگ و FeO . همبستگی مثبت و پایین بین FeO سنگ و عنصر V . همبستگی مثبت بین K_2O و Na_2O سنگ. همبستگی مثبت و بالای عناصر Ni و Co . همبستگی مثبت عناصر Pb و Ni . همبستگی مثبت و بالای عناصر Sc و Y . همبستگی مثبت و بالای عناصر V و Y .

نتایج حاصل از جدول مولفه های اصلی

1- PC_1 حاوی ۲۴/۸ درصد واریانس داده ها است. در این ضریب Ni ، SiO_2 ، Pb ، Ga ، Cr ، Ba ، B ، Cu دارای مقادیر ویژه بردار منفی بالا، Co و Sr ، Sc از طرفی می باشند. از طرفی V ، Na_2O ، P_2O_5 ، CaO ، MgO ، FeO ، Fe_2O_3 ، TiO_2 دارای مقادیر ویژه بردار مثبت بالا، Zn ، K_2O ، LOI ، Zn و MnO دارای مقادیر ویژه بردار مثبت متوسط، Al_2O_3 و Al_2O_3 دارای مقادیر ویژه بردار مثبت پایین هستند.

2- PC_2 حاوی ۲۴ درصد واریانس داده ها است که V ، Sc ، Ni ، Co ، Y دارای بارگذاری (ویژه بردار) مثبت بالا، LOI ، FeO ، FeOT ، B ، Pb ، Zn دارای مقادیر ویژه بردار مثبت Cr ، CaO ، Ba ، K_2O ، Na_2O ، MgO ، Al_2O_3 ، SiO_2 از طرفی می باشند. از طرفی Sr و Cu دارای مقادیر ویژه بردار منفی بالا و Cr ، P_2O_5 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 و Cu مقادیر ویژه بردار منفی پایین هستند.

3- PC_3 حاوی ۱۲/۳ درصد واریانس داده ها است که K_2O ، CaO و LOI دارای بارگذاری منفی بالا و Co ، MnO و K_2O ، Ba ، P_2O_5 ، FeO ، FeOT ، V ، Sr ، Cr ، B ، Ba ، P_2O_5 ، FeO ، FeOT ، V ، Sr ، Cr ، B ، Ba ، P_2O_5 ، FeO ، FeOT ، V ، Sr ، Sc ، Pb ، Ni ، Cu ، MgO ، Al_2O_3 و Sc دارای بارگذاری مثبت متوسط و Al_2O_3 و Al_2O_3 دارای بارگذاری مثبت پایین هستند.

4- PC_4 حاوی ۷/۶ درصد واریانس داده ها است. در این فاکتور، TiO_2 ، MnO ، Fe_2O_3 ، FeOT ، Co ، Ni و Pb ، دارای مقادیر ویژه بردار مثبت بالایی هستند و Al_2O_3 و Ba دارای بارگذاری مثبت متوسط، FeO ، MgO ، CaO ، K_2O و P_2O_5 دارای بارگذاری مثبت پایین می باشند. از طرفی Zn دارای بارگذاری منفی بالا و V ، Sr ، Sc ، Y و Ga ، Cu ، Cr ، B ، LOI متوسط و پایین می باشند.

نتایج حاصل از تحلیل خوشه ای

با توجه به نمودار درختی (خوشه ای) عناصر و ترکیبهای مورد بررسی

را به دو گروه تقسیم می کنیم .

عناصر و ترکیبهای مورد بررسی گروه اول شامل ترکیبهای زیر است :

الف) CaO ، Na_2O ، P_2O_5 ، TiO_2 ، Fe_2O_3 ، MgO ، Sr (ب) FeOT ، FeO ، Sc ، Y ، V ، Zn (ج) K_2O ، LOI ، MnO

گروه دوم شامل ترکیبهای زیر است :

الف) Cu ، Ni ، Pb ، Co (ب) SiO_2 ، Ba ، B ، Cr ، Ga (ج) Al_2O_3 ،

نقشه های کنتوری عناصر

به منظور بررسیهای زمین شیمیایی در محدوده کانسار و با توجه به موقعیت نمونه ها در شبکه نمونه برداری و ابعاد هر سلول برای هر نمونه یک مختصات فرضی (X, Y) به دست آمد. سپس با وارد کردن مختصات نمونه ها و مقادیر بی هنجار شده مربوط به ۲۶ عنصر برای هر نمونه، در نرم افزار surfer نقشه های کنتوری برای هر عنصر رسم شد. نقشه های مربوط به عناصر سرب (Pb) و روی (Zn) در شکل ۶ الف و ب آمده است.

هاله های ضریبی عناصر سرب و روی

اگر ترکیبی از مقادیر یک گروه از عناصر به جای مقدار یک عنصر خاص به کار گرفته شود، هاله های زمین شیمیایی در اطراف توده کانسار بهتر مشخص می شود. این ترکیب مقادیر به دو صورت انجام می پذیرد .

۱- ترکیب جمعی

۲- ترکیب ضریبی

در این پروژه از ترکیب ضریبی عناصر سرب و روی استفاده شد، یعنی برای هر نمونه مقادیر عناصر سرب و روی (بر حسب ppm) را در هم ضرب کرده و مقادیر حاصل با توجه به موقعیت هر نمونه وارد نرم افزار surfer گردید.

مقدار امتیازی مولفه اصلی
Principal Component Scores (PCS)

در هر نمونه مقادیر مربوط به مولفه های اصلی اول عناصر در مقادیر مربوط به همان عناصر (بهنجار شده) ضرب و سپس با هم جمع شد که در نتیجه، برای هر نمونه، یک مقدار امتیازی مولفه اصلی اول به دست آمد

$$PC_1 = a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_{26} z_{26} = \sum_{i=1}^{26} a_i z_i$$

a: مقدار مولفه اصلی اول برای هر عنصر

Z: مقدار بهنجار شده مربوط به همان عنصر

با همین روش مقادیر امتیازی مولفه های اصلی دوم و سوم و چهار بدست آمد.

شاخص سربستی شدگی (SI) : Sericity index

شاخص سربستی شدگی، معرف دگرسانی سربست (فلیک) است

$$SI = \frac{K_2O}{K_2O + Na_2O}$$

که از فرمول زیر به دست می آید.

مقدار این شاخص برای همه نمونه ها با فرمول بالا به دست آمد و سپس نقشه کنتوری آن در شکل ۹ رسم شد.

بحث و نتیجه گیری

با توجه به این که بارگذاری منفی و بالایی بین SiO_2 سنگ و CaO در مولفه های PC_1 و PC_2 وجود دارد و همچنین بارگذاری نسبتاً خوب مثبت بین Na_2O و K_2O سنگ در PC_1 ، PC_2 و PC_3 ، بنابراین موقعیت منطقه دگرسان شده سربستی تأیید می شود. نقشه کنتوری سربستی شدن، تقریباً مشابه نقشه کنتوری عناصر سرب و روی است، لذا می توان نتیجه گرفت که مناطق کانی سازی شده سرب و روی تحت تاثیر دگرسانی سربستی قرار گرفته اند. از سوی دیگر با توجه به اینکه PC_1 نشان دهنده مقادیر ویژه بردار بالا و مثبت بین ترکیبهای FeO ، Fe_2O_3 ، $FeOT$ با MgO است، دگرسانی سربستی با نگرش ویژه به مقادیر SiO_2 به دست می آید. شایان ذکر است که در دگرسانی سربستی، باید کاهش در مقدار CaO و افزایش در مقدار K_2O را نسبت به نمودارهای بی هنجار شده انتظار داشت.

شایان ذکر است که بارگذاری قابل قبول ترکیبهای FeO ، Al_2O_3 و MgO در PC_3 و PC_4 در حضور سیلیس و CaO ، وضعیت زون پروپیلیتی را نشان می دهد.

بدیهی است که عناصر Pb و Zn در این مولفه ها بارگذاری مثبت قابل قبولی را نشان می دهند. بارگذاری بسیار چشمگیر ترکیبهای آهن دار سنگ، با عناصر Co و Ni در بردار PC_4 قابل مشاهده است و این عناصر در دگرسانی آرزلی پیشرفته، افزایش بیشتری نسبت به نوع آرزلی داشته است. عناصر Zn و Pb با توجه به بارگذاری بالا در مولفه های PC_3 و PC_4 به عنوان عناصر کانساری بویژه در دگرسانی آرزلی پیشرفته، افزایش بارزی داشته است. بنابراین نقشه کنتوری این عناصر با نقشه امتیازی آن برابر است. یعنی این دو مولفه به همراه PC_2 کانی سازی را در منطقه نشان می دهد.

با توجه به اینکه ترکیبهای سرب و روی بارگذاری بالایی نشان می دهند، نقشه کنتوری این ترکیبهای و عناصر، مشابه یکدیگر است و هاله های ضریبی آن در مقایسه با هاله های تک عنصری به مراتب چشمگیرتر است.

بر اساس روش فراکتال مقدار حد آستانه برای Pb برابر $15/8 ppm$ و

برای این عملیات، از حاصل ضرب ماتریسها استفاده شد که ماتریس اول مقادیر مربوط به عناصر (۵۵/۶) و ماتریس دوم مقادیر مربوط به مولفه های اصلی عناصر است که حاصل آن یک ماتریس (۵۵×۴) است. حال نقشه های کنتوری مربوط به مقادیر امتیازی مولفه های اصلی را رسم کرده که به این نقشه ها، نقشه های امتیازی مولفه های اصلی (Principal Component Score map) می گویند. نقشه های امتیازی مولفه های اصلی PC_1 ، PC_2 ، PC_3 ، PC_4 در شکل ۷ آمده است.

بر آورد حد آستانه عناصر سرب و روی به روش فراکتال

اصطلاح حد آستانه ای به حد بالایی تغییرات مقدار زمینه یا کمینه مقدار بی هنجاری گفته می شود. واژه فراکتال را در ابتدا Mandelbrot پیشنهاد کرد که از یک واژه لاتین به نام Fractus یا شکسته شده گرفته است. از نظریه فراکتال به طور گسترده در حل مسائل مختلف زمین شناسی استفاده شده است.

حد آستانه برای جدا سازی بی هنجاری از زمینه را می توان با استفاده از نمودارهای در لگاریتمی به دست آورد. بر روی محور Xها درصد عناصر و بر روی محور Yها، مساحت محصور به وسیله یک خط کنتوری رسم می شوند. حد آستانه در قسمتی از منحنی است که به صورت ناگهانی مقادیر عوض شده و کم شده اند.

به زبان ریاضی می توان نوشت:

$$A = CP^x$$

A: مساحت محصور در یک کنتور

C: ثابت

اگر تراکم عنصر نسبت به واحد سطح از یک مدل فراکتالی تبعیت کند، فرمول بالا فقط یک توان دارد اما اگر تراکم عنصری در واحد سطح یک شرایط چند فراکتالی داشته باشد، چند توان مختلف را می توان برای فرمول بالا حساب کرد (شکل ۸).

خطهای با روش کمترین مربعا رسم شده اند.

$$A(P \leq V) ap^+1$$

$$A(P \geq V) ap^+2$$

V: مقدار آستانه

اکنون برای عناصر Zn و Pb با توجه به نقشه های کنتوری، مساحت محصور شده به وسیله هر خط کنتوری به دست می آید و نمودارهای فراکتال برای هر دو عنصر رسم می شود که نتایج در شکل ۹ آمده است.

با توجه به نمودارها، مقدار حد آستانه برای Pb برابر $15/8 ppm$ و

مقدار حد آستانه Zn برابر $79/4 ppm$ است.

$$\log Pb = 1.2 \rightarrow Pb = 15.8 ppm$$

$$\log Zn = 1.9 \rightarrow Zn = 79.4 ppm$$

پیشنهادها

با استفاده از نقشه های رادیومتری و مقایسه داده های این نقشه ها با دگرسانی سطحی، می توان برای اکتشاف مناطق دیگر با وضعیت دگرسانی مشابه مدل سازی کرد. در صورت داشتن اطلاعات گمانه ها می توان وضعیت تداوم دگرسانی را نسبت به عمق بررسی نمود.

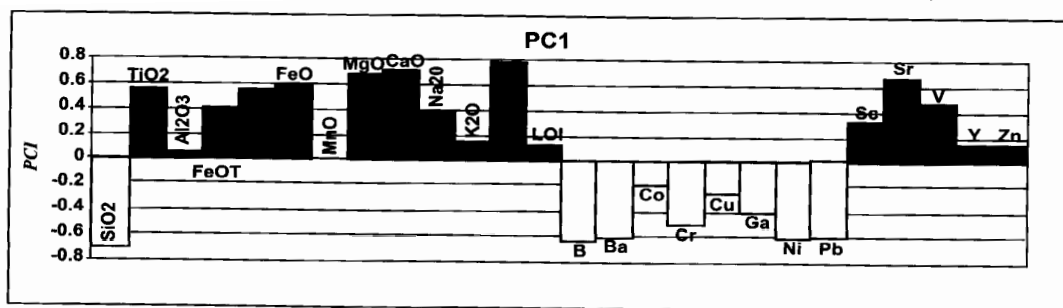
مقدار حد آستانه Zn برابر ۷۹/۴ ppm است. لذا برای Pb مقادیر بالای ۱۵/۸ ppm و برای Zn مقادیر بالای ۷۹/۴ ppm به عنوان بی هنجاری پذیرفته می شود. از این مدل اکتشافی سرب و روی در منطقه قنات مروان می توان به عنوان یک مدل قابل قبول برای کانی سازی در محدوده "بواحمد" استفاده کرد.

جدول ۱- مولفه های اصلی (ویژه بردار) و مقادیر ویژه مربوط به ۲۶ متغیر

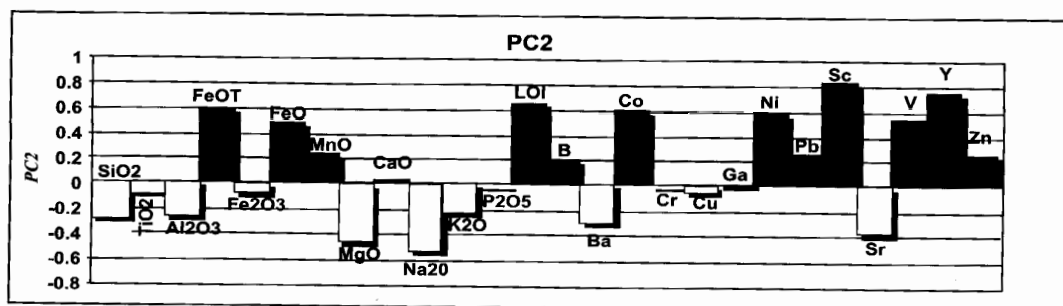
| Component Matrix | | | | |
|------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Variables | Component | | | |
| | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 |
| SiO2 | -0.71716 | -0.27109 | 0.531919 | 0.032151 |
| TiO2 | 0.548354 | -0.05923 | 0.638637 | 0.414621 |
| Al2O3 | 0.050435 | -0.25496 | 0.058894 | 0.145075 |
| FeOT | 0.397304 | 0.6068 | 0.282318 | 0.345026 |
| Fe2O3 | 0.551345 | -0.05943 | 0.645362 | 0.409905 |
| FeO | 0.585039 | 0.498518 | 0.301265 | 0.076618 |
| MnO | -0.00861 | 0.246465 | -0.27383 | 0.367568 |
| MgO | 0.662988 | -0.46653 | 0.015619 | 0.032796 |
| CaO | 0.700076 | 0.031516 | -0.53788 | 0.048696 |
| Na2O | 0.362002 | -0.54136 | -0.16556 | -0.03132 |
| K2O | 0.125073 | -0.22749 | -0.52957 | 0.063946 |
| P2O5 | 0.761473 | -0.00832 | 0.278106 | 0.073374 |
| LOI | 0.110242 | 0.65531 | -0.63574 | -0.11821 |
| B | -0.65482 | 0.197995 | 0.28443 | -0.23799 |
| Ba | -0.6278 | -0.30107 | 0.187413 | 0.161093 |
| Co | -0.20495 | 0.597765 | -0.10187 | 0.471471 |
| Cr | -0.51325 | -0.01221 | 0.197014 | -0.16193 |
| Cu | -0.26448 | -0.05216 | 0.029366 | -0.04493 |
| Ga | -0.4103 | 0.002102 | 0.590793 | -0.29851 |
| Ni | -0.62544 | 0.57296 | -0.02104 | 0.338559 |
| Pb | -0.62213 | 0.250571 | 0.083469 | 0.36361 |
| Sc | 0.305708 | 0.823869 | 0.035507 | -0.13564 |
| Sr | 0.645714 | -0.39856 | 0.254663 | -0.21109 |
| V | 0.444175 | 0.526923 | 0.438433 | -0.30677 |
| Y | 0.128313 | 0.744792 | 0.088673 | -0.37404 |
| Zn | 0.133473 | 0.246618 | 0.180315 | -0.65379 |

Extraction Method: Principal Component Analysis.

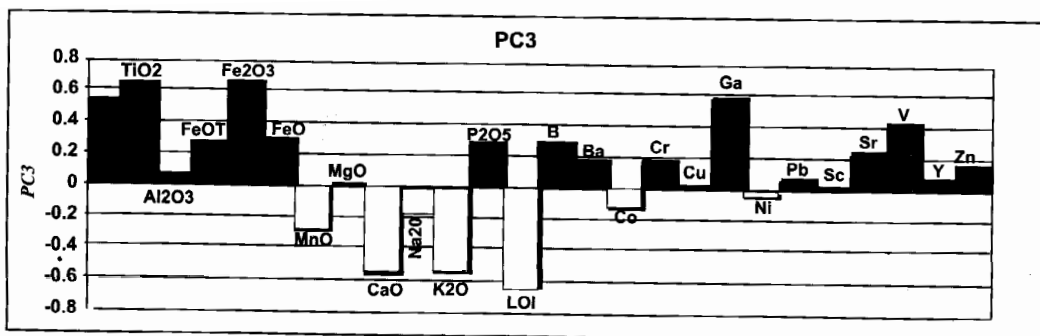
4 components extracted.



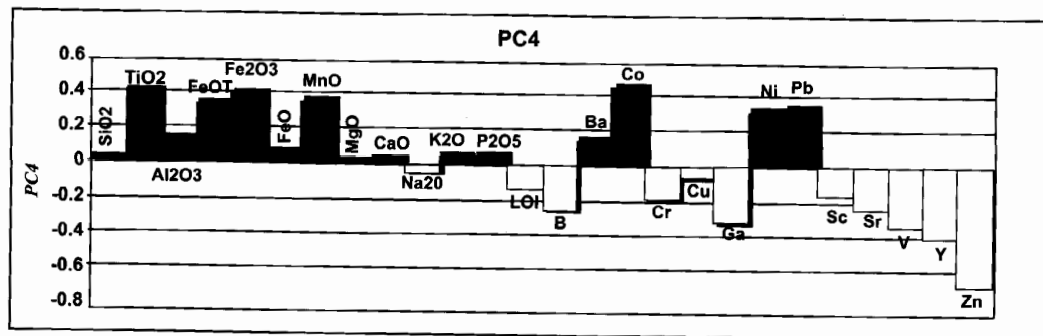
شکل ۴ الف) نمایش مولفه اصلی PC_1



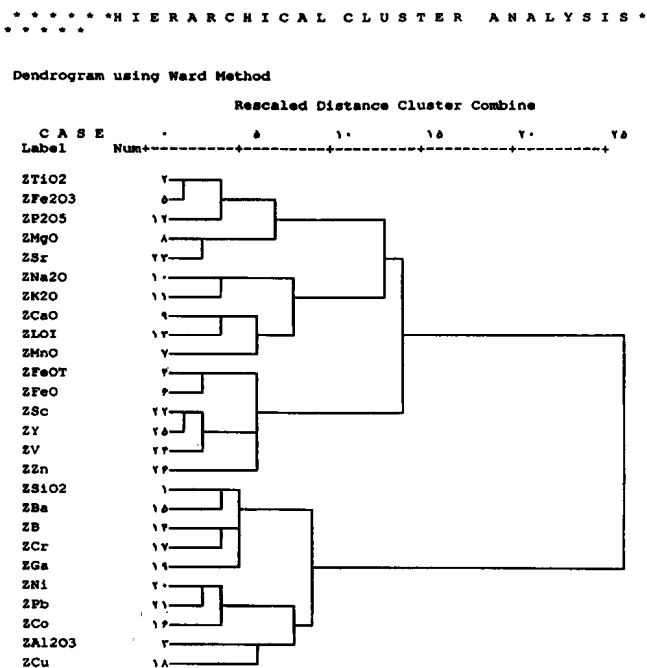
شکل ۴ ب) نمایش مولفه اصلی PC_2



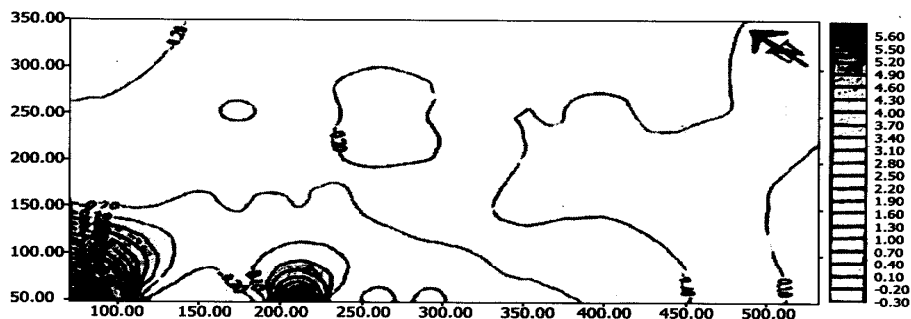
شکل ۴ ج) نمایش مولفه اصلی PC_3



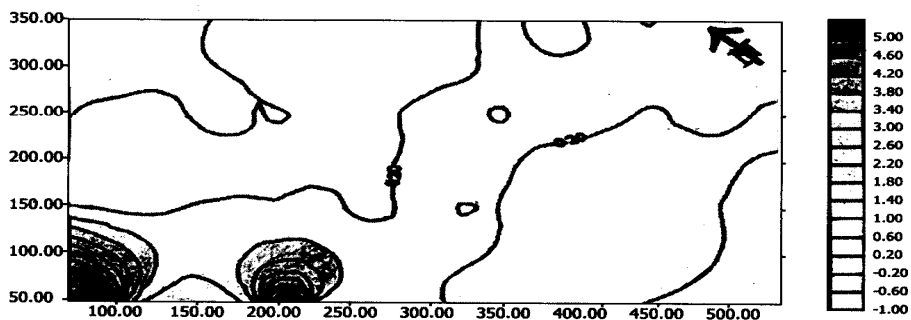
شکل ۴ د) نمایش مولفه اصلی PC_4



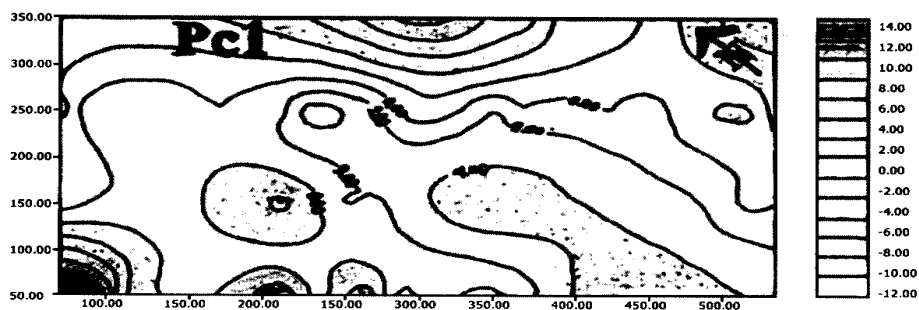
شکل ۵- نمودار دندروگرام درختی حاصل از گروه بندی ۲۶ عنصر و ترکیب در نرم افزار SPSS.



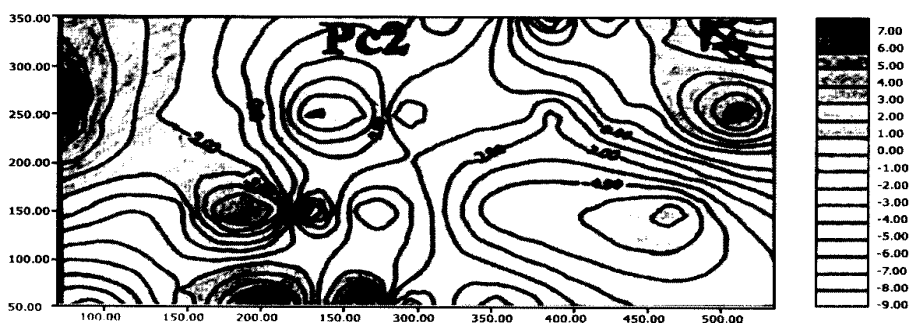
شکل ۶ الف) نقشه کنتوری عنصر Pb



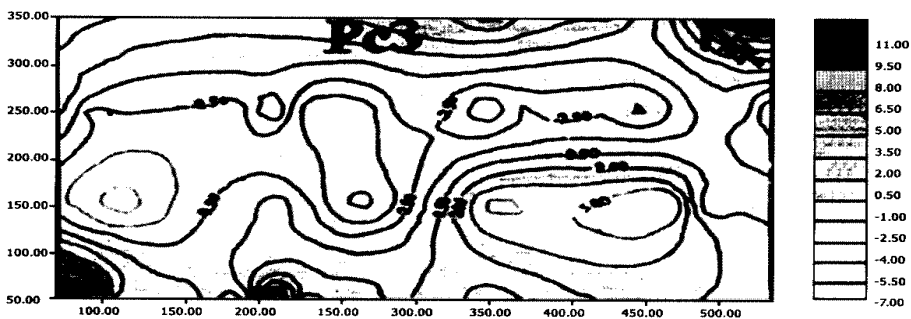
شکل ۶ ب) نقشه کنتوری عنصر Zn



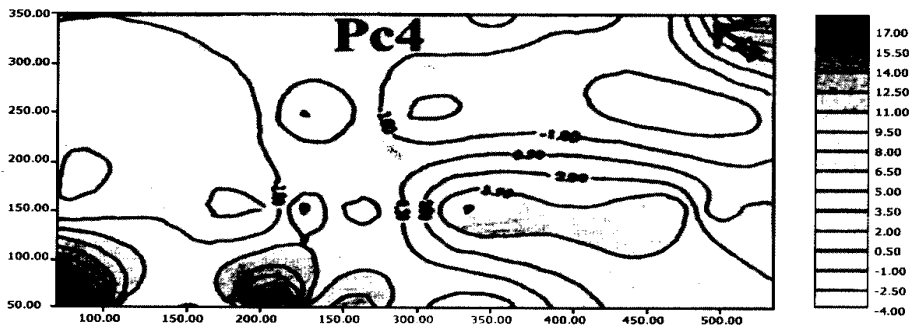
شکل ۷ الف) نقشه امتیازی مولفه اصلی PC_1



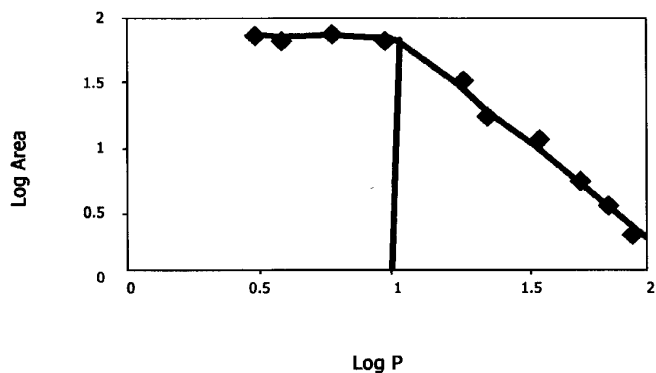
شکل ۷ ب) نقشه امتیازی مولفه اصلی PC_2



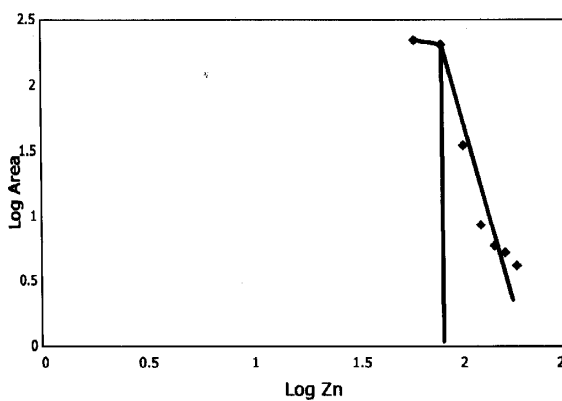
شکل ۷ ج) نقشه امتیازی مولفه اصلی PC_3



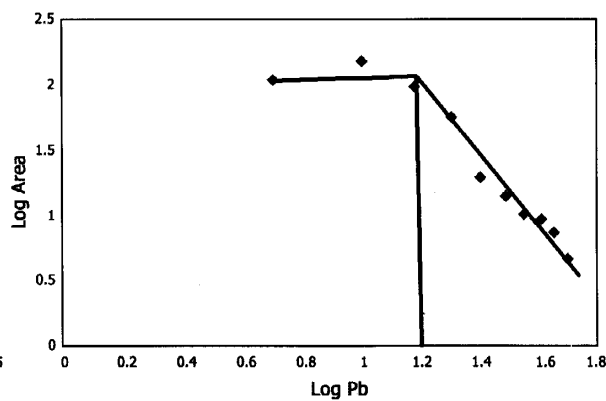
شکل ۷ د) نقشه امتیازی مولفه اصلی PC_4



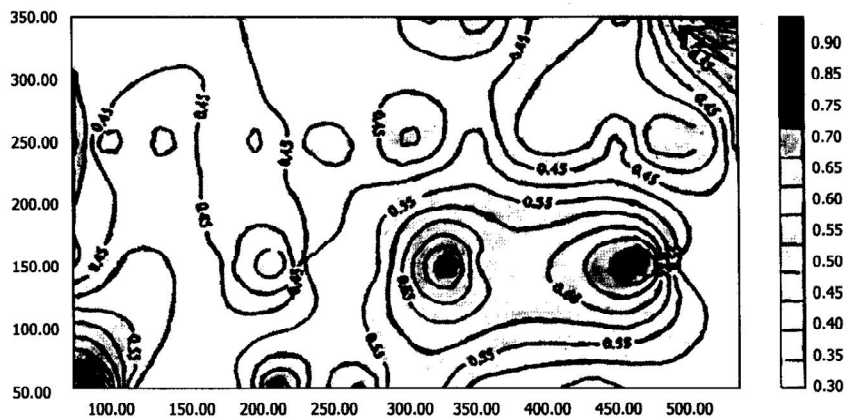
شکل ۸- نمودار فراکتال برای عنصر P



شکل ۹ (ب) نمودار فراکتال برای Zn



شکل ۹ (الف) نمودار فراکتال برای Pb



شکل ۱۰- نقشه کنتوری اندیس سرستی شدگی (K_2O/K_2O+Na_2O)

کتابنگاری

- رسا، ا. و ریسمانی، ع. ض.، ۱۳۷۸- زمین شناسی اقتصادی، پترولوژی و پتروژنز محدوده کانسار قنات مروان کرمان .
حسینی پاک، ع. ا.، ۱۳۷۱- اصول اکتشاف ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران
حسینی پاک، ع. ا.، ۱۳۸۰- تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران .
جیبا، ا.، ۱۳۷۸- آنالیز آماری چند متغیر داده های ژئوشیمیایی، پروژه کارشناسی مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان .
کریم پور، م. ح.، ۱۳۷۴- زمین شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد .
وزیرنیا، م.، ۱۳۷۳- آمار و احتمالات، مرکز تحقیقات و انتشار کتب درسی .
مر، ف. و شرفی، ع. ا.، ۱۳۷۳- اصول ژئوشیمی، انتشارات دانشگاه شیراز.
مومن زاده، م. و رشیدنژاد، ع.، ۱۳۶۷- کانسارهای مس ناحیه کرمان و تعبیر و تفسیر متالوژنیک آنها، سازمان زمین شناسی ایران.

References

- Davis, J. C., 1986 - Statistics and Data Analysis in Geology.
Shayestehfar. M.R and Roonwal G.S., 1996 - Ore Paragenesis of new find of Massive Sulfides on the Southern East Pacific Rise (between 7° to 24° S). Theophrastus Contributions. vol.1, pp.249-268. Athens, Greece.
Shayestehfar, M.R., 2002- Mineralogy and Paragenesis of Massive sulfide deposit in suthern East Pacific Rise (between 7° to 24° S). International Journal of Geochemical Society. (geochemica et cosmochemica acta). 12th International Conference of Goldschmidt Anniversary. 18-23 August, Davos. Switzerland.
Shayestehfar, M.R. and Gorbani, Mehdi., 2004- Mineralogical and Geochemical characteristics of Massive Sulfide Mineralization of Sheikh-Ali and Ahmad-Abad (southern east of Doulat-Abad, Bafg S). International Journal of Geochemical Society. (geochemica et cosmochemica acta). 14th International Conference of Goldschmidt Anniversary. 5-11 January, Copenhagen. Demark.
Swan, A.R.H. and Sondilands, M, 1995 - Introduction to Geological Data Analysis, Blackwell Science.
Whyte. J.B., 1987- Geochemical alteration associated with the Selbaie copper -zinc – silver deposit. Journal of Geochemical Exploration. Vol. 28, p: 165-168 Elsevier Publ.

* دانشگاه شهید باهنر کرمان- بخش مهندسی معدن

** دانشگاه شهید بهشتی- بخش زمین شناسی

*Mining Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman

**Geology Department, Shahid Beheshti University