



## 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

سریشیتی 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 PC2، PC3 و PC4 مقادیر بالایی را نشان می‌دهند. بنابراین، نقشه امتیازی مولفه اصلی PC4 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 فیلیک (سریشیت) 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 PC2 and PC3 have high values. Therefore, principal component score map PC4 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

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 زمین شیمی سهم بسزایی دارد. به دلیل نبود مدل‌های ریاضی لازم برای توصیف نوع منبع، چگونگی تفریق، مهاجرت، ته‌نشست و تمرکز عناصر کمیاب در سنگها و همچنین شناسایی





نهشته‌های قدیمی‌تر همراه بوده است، کمپلکس آتشفشانی رزک (واحد‌های Eat, Ev در نقشه زمین‌شناسی منطقه) روی واحدهای قدیمی‌تر را می‌پوشاند. سن کمپلکس رزک شامل بخش‌های انتهایی ائوسن میانی (لوتسین بالایی) تا بخش‌های قاعده‌ای ائوسن بالایی (پریابونین زیرین) است. توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن منطقه با کمپلکس آذراواری هزار که سن ائوسن پسین دارد، خاتمه می‌یابد.

در زون گسلی قنات مروان گسل‌هایی با روند N45-50E، کنترل کننده اصلی کانی‌سازی در محدوده مورد مطالعه هستند. این گسل‌ها که عموماً شمال و چپ‌گرد هستند، شیبی حدود 60 تا 80 درجه به سمت شمال باختر دارند. دسته گسل‌های فرعی جدیدتری نیز در ناحیه وجود دارد که موجب جابه‌جایی در گسل‌های قدیمی‌تر شده‌اند. این گسل‌ها، تقریباً روند شمالی - جنوبی دارند و شیب آنها نزدیک به قائم است.

این گسل‌های فرعی بر اثر فعالیت زمین‌ساختی منطقه که همزمان با فاز آذرین جبال بارز رخ داده است، ایجاد شده‌اند، به‌گونه‌ای که تعدادی از دایک‌ها و توده‌های نفوذی ناحیه در شکستگی‌های حاصل از این فاز جایگزین شده‌اند. فعالیت گرمایی این فاز آذرین، منجر به ایجاد دگرسانی‌های مختلف در سامانه‌های گسلی قدیمی‌تر شده است. افزون بر فاز آذرین که کانی‌سازی و دگرسانی حاشیه‌ای دایک‌های دارای روند شمالی - جنوبی را موجب شده است فاز جدیدتری نیز در منطقه به‌وقوع پیوسته که آن نیز موجب دگرسانی و کانی‌سازی در سنگ‌ها شده است. تراکی آندزیت و مقدار کمی آندزیت بازالت هستند.

### بررسی‌های زمین‌شیمیایی

به‌منظور بررسی کانی‌شناسی و دگرسانی در محدوده کانسار قنات مروان، شبکه‌ای 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 3). با توجه به حجم عظیم اطلاعات به‌دست آمده و خصلت عددی داده‌های زمین‌شیمیایی، انجام بررسی‌های آماری بر روی این داده‌ها گریز ناپذیر اجتناب ناپذیری بوده است.

### تحلیل آماری داده‌های زمین‌شیمیایی آمایش داده‌ها

برای بررسی و تحلیل آماری داده‌های خام اولیه شامل 26 ستون داده و مربوط به تحلیل نمونه‌های سنگی

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 توجه زمین‌شناسان بوده است. یکی از دلایل انتخاب این منطقه برای بررسی زمین‌شیمیایی و آماری، دسترسی آسان به اطلاعات و داده‌های خام این منطقه است. دلیل دیگر، انجام تحلیلهای چند متغیره و بررسی‌های زمین‌شیمی اکتشافی برای تعیین یک مدل زمین‌شیمیایی بر روی چنین داده‌هایی بود.

در مقاله حاضر بر روی داده‌های خام زمین‌شیمیایی مربوط به 26 عنصر حاصل از تجزیه نمونه‌های سنگی، بررسی‌های زمین‌شیمیایی اکتشافی و تحلیل آماری صورت قرار گرفته است.

### زمین‌شناسی محدوده کانسار قنات مروان

این کانسار در فاصله هوایی 12 کیلومتری شمال خاوری بافت واقع است. کانسار مورد نظر در کوه سیاه گونو که خود بخشی از کوه‌های لاله زار کرمان را تشکیل داده است، قرار دارد. قله این کوه‌ها، معروف به کوه شاه، 4351 متر از سطح دریا ارتفاع دارد. محدوده کانسار مورد مطالعه در کوه سیاه گونو در حد فاصل بین منحنی‌های 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 15 کیلومتری خاور بافت، جاده مزبور به روستای بزجان می‌رسد. جاده بزجان - رابر پس از 7 کیلومتر از روستای آهویه می‌گذرد. از یک کیلومتری خاور آهویه یک راه خاکی به‌طرف شمال منشعب می‌گردد که پس از پیمودن 8 کیلومتر به محدوده کانسار قنات مروان می‌رسد (شکل 1).

زمین‌شناسی منطقه چه از لحاظ چینه‌شناسی و چه از لحاظ زمین‌ساختی پیچیده است. این منطقه در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر واقع است و بر اساس تقسیمات زمین‌ساختی دیمتریویچ (1973)، در شمال کمربند آمیزه رنگی، در زون دهاج - ساردوئیه جای دارد.

در این ناحیه، عمدتاً سنگ‌های آذر آواری به ائوسن در سطح زمین رخمون دارد. پس از رخداد یک فاز زمین‌ساختی نسبتاً شدید در ائوسن میانی، نهشته‌های ائوسن زیرین - میانی (کمپلکس بحر آسمان)، به‌صورت دگر شیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر ائوسن ته‌نشسته شده‌اند (واحد‌های Et, Es و E2s بر روی نقشه 2). پس از یک فاز زمین‌ساختی ضعیف که با خروج منطقه از آب دریا و چین خوردگی ملایم





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

شرط وجود جواب غیر صفر در دستگاه همگن خطی این است که دترمینان 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 دترمینان سه ویژه مقدار ( $\lambda$ ) به دست می‌آید.

با جایگزینی این سه  $\lambda$  در معادله (2)، سه ویژه بردار تشکیل می‌شود.

### نتایج حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی در قالب یک جدول ارائه شده است. جدول 1 مربوط به مولفه‌های اصلی (ویژه بردار) ویژه تعدادهای مربوطه به 26 ستون داده است. همچنین شکل 4 نمایش نمودارهای چهار مولفه اصلی PC4، PC3، PC2، PC1 را نشان می‌دهد.

### تحلیل گروه بندی خوشه‌ای

#### (HC): Hierarchical Clustering

روشهای تحلیل خوشه‌ای کاربرد وسیعی در علوم زمین دارند. گروه‌بندی خوشه‌ای، روشی است که برای دسته‌بندی داده‌های زمین‌شیمیایی به کار می‌رود. تحلیل خوشه‌ای، مشاهداتی که با هم شباهت زیاد دارند را به یکدیگر مرتبط می‌کند. سپس به طور متوالی، مشاهداتی را که بیشترین شباهت نسبت به مشاهدات قبلی را دارند به آنها متصل می‌کند. محاسبه شباهت بین تمام جفت نمونه‌ها، منتج به یک ماتریس  $m \times m$  خواهد شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها یا متغیرها به صورتی مرتب می‌شوند که دو نمونه یا متغیر با بیشترین شباهت، در یک گروه قرار گیرند. سپس ماتریس دوباره حساب می‌شود، این عمل به صورتی تکرار می‌شود که در نهایت به یک ماتریس  $2 \times 2$  کاهش یابد. برای تعیین ماتریس شباهت معمولاً از دو روش استفاده می‌شود.

استفاده از ضریب فاصله

استفاده از ضریب همبستگی

#### روش وارد (Ward)

در این پروژه از روش وارد در نرم افزار SPSS استفاده

منطقه شامل عناصر B, Al2O3, Zn, Y, V, TiO2, SiO2, Sc, Pb, P2O5, Ni, Na2O, MnO, LOI, K2O, Ga, FeO, Fe2O3, Fe, Cu, C, Ba, Cr, Co

پرونده ای با 26 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، داده‌ها در ابتدا بی بعد شدند. این

بی بعد کردن با استاندارد کردن توسط فرمول  $Z = \frac{x - \bar{x}}{S}$  انجام می‌شود. 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.

پس از استاندارد کردن داده‌ها، آنها از سه جهت زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### پردازش داده‌ها

پردازش داده‌ها در نرم افزار SPSS و به کمک دو روش تحلیل مولفه‌های اصلی یا "PCA" و تحلیل خوشه‌ای یا "HC" انجام شده است.

### تحلیل مولفه‌های اصلی

#### Principal Component Analysis (PCA):

تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) داده‌های خام اولیه ژئوشیمی را به صورتهای جدیدی که قابلیت تفسیر آنها بیشتر از داده های خام است، تبدیل می‌کند.

این تحلیل، محورهای جدیدی را در امتداد خط بیشینه واریانس داده‌ها رسم می‌کند. یکی از محورهای مولفه اصلی، اطلاعات بیشتری نسبت به مولفه دیگر شامل می‌شود که مولفه اصلی اول (PC1) نامیده می‌شود. مولفه اصلی دوم (PC2) عمود بر مولفه اصلی اول است.

مولفه‌های سوم و چهارم و پنجم و ... مقادیر یکنواخت واریانس کاهش یافته در دستگاه داده‌ها را شامل می‌شوند. مولفه‌های 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:

$$[A][X] = \lambda[X] \quad (1)$$

آنگاه [X] را بردار ویژه ماتریس [A] می‌نامند.

حال به محاسبه  $\lambda$  و [X] برای یک ماتریس  $3 \times 3$  می پردازیم،

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





مثبت Cr, CaO دارای مقادیر پایین می‌باشند. از طرفی Ba, Sr و K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> مقادیر ویژه بردار منفی بالا و Cr, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> و Cu مقادیر ویژه بردار منفی پایین هستند.

PC<sub>3</sub> حاوی 12/3 درصد واریانس داده هاست که K<sub>2</sub>O, CaO و LOI دارای بارگذاری منفی بالا و K<sub>2</sub>O, Co و MnO دارای بارگذاری منفی متوسط و TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Ga و Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> دارای بارگذاری مثبت بالا، V, Sr, Cr, B, Ba, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeO, FeOT و Zn دارای بارگذاری مثبت متوسط و Pb, Ni, Cu, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و Sc دارای بارگذاری مثبت پایینی هستند.

PC<sub>4</sub> حاوی 7/6 درصد واریانس داده هاست. در این فاکتور Ni, Co, TiO<sub>2</sub>, FeOT, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO و Pb ، دارای مقادیر ویژه بردار مثبت بالایی هستند و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و Ba دارای بارگذاری مثبت متوسط، K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, FeO و P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> دارای بارگذاری مثبت پایین می‌باشند. از طرفی Zn دارای بارگذاری منفی بالا و V, Sr, Sc, Ga, Cu, Cr, B, LOI و Y متوسط و پایین می‌باشند.

#### نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای

با توجه به نمودار درختی (خوشه ای) عناصر و ترکیبهای مورد بررسی را به دو گروه تقسیم می‌کنیم .

عناصر و ترکیبهای مورد بررسی

گروه اول شامل ترکیبهای زیر است :

الف) CaO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Sr ( ب )  
K<sub>2</sub>O, LOI, MnO ( ج ) FeOT, FeO, Sc, Y, V, Zn

گروه دوم شامل ترکیبهای زیر است :

الف) SiO<sub>2</sub>, Ba, B, Cr, Ga ( ب ) Ni, Pb, Co ( ج ) Cu, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

#### نقشه‌های کنتوری عناصر

به منظور بررسیهای زمین‌شیمیایی در محدوده کانسار و با توجه به موقعیت نمونه‌ها در شبکه نمونه برداری و ابعاد هر سلول برای هر نمونه یک مختصات فرضی (x, y) به دست آمد. سپس با وارد کردن مختصات نمونه‌ها و مقادیر بی‌هنجار شده مربوط به 26 عنصر برای هر نمونه، در نرم افزار surfer نقشه‌های کنتوری برای هر عنصر رسم شد . نقشه های مربوط به عناصر سرب (Pb) و روی (Zn) در شکل 6 الف و ب آمده است.

شده است. این روش دارای کمترین افزایش در مجموع انحراف معیار مجذور شده میانگین خوشه‌هاست. خطای مجموع مربعها، یک مورد فراگیر در آمار است و برای جلوگیری از افزایش واریانس خوشه‌ها هنگام متصل شدن یک انتخاب طبیعی است .

روش وارد، اصولاً نتیجه خوب و ساختار خوشه‌ای متناسبی به دست می‌دهد. به این دلیل، این روش به تازگی روش استاندارد همگانی شده است.

برای رسم درختی حاصل از 26 متغیر مربوط به عناصر و ترکیبهای نمونه‌های سنگی تجزیه شده، پرونده مربوط به این 26 ستون داده که از قبل در نرم افزار SPSS تشکیل شده و استاندارد شده بودند، به وسیله گزینه گروه بندی این 26 متغیر در شکل 5 آمده است .

با توجه به جدول ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرها و جدول مولفه‌های اصلی و اندرگرام حاصل از این متغیرها به نتایج زیر می‌توان اشاره کرد .

#### نتایج حاصل از ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرها

همبستگی منفی و بالای SiO<sub>2</sub> سنگ و CaO. همبستگی مثبت و بالای TiO<sub>2</sub> سنگ و Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. همبستگی مثبت و بالای FeOT سنگ و FeO. همبستگی مثبت و پایین بین FeO سنگ و عنصر V. همبستگی مثبت بین K<sub>2</sub>O و Na<sub>2</sub>O 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 مولفه‌های اصلی

PC<sub>1</sub> حاوی 24/8 درصد واریانس داده‌ها است. در این ضریب SiO<sub>2</sub>, Ba, B, Cr, Ga, Ni, Pb دارای مقادیر ویژه بردار منفی بالا، Co و Cu دارای مقادیر ویژه بردار منفی می‌باشند. از طرفی Sr, Sc Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, MgO, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> و V دارای مقادیر ویژه بردار مثبت بالا، Zn و K<sub>2</sub>O, LOI, Zn دارای مقادیر ویژه بردار مثبت متوسط، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و MnO دارای مقادیر ویژه بردار مثبت پایین هستند.

PC<sub>2</sub> حاوی 24 درصد واریانس داده‌هاست که V, Sc, Ni, Co, LOI, FeO, FeOT و Y دارای بارگذاری ( ویژه بردار) مثبت بالا ، Zn و B, Pb دارای مقادیر ویژه بردار





است. حد آستانه برای جدا سازی بی‌هنجاری از زمینه را می‌توان 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 می‌شوند. حد آستانه در قسمتی از منحنی است که به صورت ناگهانی مقادیر عوض شده و کم شده‌اند.

به زبان ریاضی می‌توان 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 می‌توان برای فرمول بالا حساب کرد ( شکل 8).

خطهای با روش کمترین مربعات رسم شده‌اند.

$$A(P \leq V) \propto P^x 1$$

$$A(P \geq V) \propto P^x 2$$

V: مقدار آستانه

اکنون برای عناصر Zn و Pb با توجه به نقشه‌های کنتوری، مساحت محصور شده به وسیله هر خط کنتوری به دست می‌آید و نمودارهای فراکتال برای هر دو عنصر رسم می‌شود که نتایج در شکل 9 آمده است.

با توجه به نمودارها، مقدار حد آستانه برای Pb برابر 15/8ppm و مقدار حد آستانه Zn برابر 79/4 ppm است.

$$\log Pb = 1.2 \rightarrow Pb = 15.8 \text{ ppm}$$

$$\log Zn = 1.9 \rightarrow Zn = 79.4 \text{ ppm}$$

### شاخص سریستی شدگی (SI) : Sericity index

شاخص سریستی شدگی، معرف دگرسانی سریست (فیلیک) است که از فرمول زیر به دست می‌آید.

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

مقدار این شاخص برای همه نمونه‌ها با فرمول بالا به دست آمد و سپس نقشه کنتوری آن در شکل 9 رسم شد.

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به این که بارگذاری منفی و بالایی بین SiO<sub>2</sub> سنگ و CaO در مولفه های PC1 و PC2 وجود دارد و همچنین بارگذاری نسبتاً خوب مثبت

### هاله‌های ضربی عناصر سرب و روی

اگر ترکیبی از مقادیر یک گروه از عناصر به جای مقدار یک عنصر خاص به کار گرفته شود، هاله‌های زمین‌شیمیایی در اطراف توده کانسار بهتر مشخص می‌شود. این ترکیب مقادیر به دو صورت انجام می‌پذیرد.

ترکیب جمعی

ترکیب ضربی

در این پروژه از ترکیب ضربی 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

#### (PCS) : Principal Component Scores

در هر نمونه مقادیر مربوط به مولفه‌های 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.

برای این عملیات، از حاصل ضرب ماتریسها استفاده شد که ماتریس اول مقادیر مربوط به عناصر (55/6) و ماتریس دوم مقادیر مربوط به مولفه‌های اصلی عناصر است که حاصل آن یک ماتریس (4×55) است.

حال نقشه‌های کنتوری مربوط به مقادیر امتیازی مولفه‌های اصلی را رسم کرده که به این نقشه‌ها، نقشه‌های امتیازی مولفه اصلی (Principal Component Score map) می‌گویند. نقشه‌های امتیازی مولفه‌های اصلی PC1, PC2, PC3, PC4 در شکل 7 آمده است.

### برآورد حد آستانه عناصر سرب و روی به روش فراکتال

اصطلاح حد آستانه‌ای به حد بالایی تغییرات مقدار زمینه یا کمینه مقدار بی‌هنجاری گفته می‌شود. 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 زمین‌شناسی استفاده شده





آرژیلی پیشرفته، افزایش بارزی داشته است. بنابراین نقشه کنترولی این عناصر با نقشه امتیازی آن برابر است. یعنی این دو مولفه به همراه PC2 کانی سازی را در منطقه نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ترکیبهای سرب و روی بارگذاری بالایی نشان می‌دهند، نقشه کنترولی این ترکیبهای و عناصر، مشابه یکدیگر است و هاله‌های ضربی آن در مقایسه با هاله های تك عنصری به مراتب چشمگیرتر است.

بر اساس روش فراکتال مقدار حد آستانه برای Pb برابر 15/8 ppm و مقدار حد آستانه Zn برابر 79/4 ppm است. لذا برای Pb مقادیر بالای 15/8 ppm و برای Zn مقادیر بالای 79/4 ppm به عنوان بی‌هنجاری پذیرفته می‌شود. از این مدل اکتشافی سرب و روی در منطقه قنات مروان می‌توان به عنوان یک مدل قابل قبول برای کانی سازی در محدوده "براحمد" استفاده کرد.

#### پیشنهادها

با استفاده از نقشه‌های رادیومتری و مقایسه داده‌های این نقشه‌ها با دگرسانی سطحی، می‌توان برای اکتشاف مناطق دیگر با وضعیت دگرسانی مشابه مدل‌سازی کرد. در صورت داشتن اطلاعات گمانه‌ها می‌توان وضعیت تداوم دگرسانی را نسبت به عمق بررسی نمود.

بین Na2O و K2O سنگ در PC1، PC2 و PC3، بنابراین موقعیت منطقه دگرسان شده سرسیتی تأیید می‌شود. نقشه کنترولی سرسیتی شدن، تقریباً مشابه نقشه کنترولی عناصر سرب و روی است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مناطق کانی سازی شده سرب و روی تحت تاثیر دگرسانی سرسیتی قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر با توجه به اینکه PC1 نشان دهنده مقادیر ویژه بردار بالا و مثبت بین ترکیبهای FeO, Fe2O3, FeOT با MgO است، دگرسانی سرسیتی با نگرش ویژه به مقادیر SiO2 به دست می‌آید. شایان ذکر است که در دگرسانی سرسیتی، باید کاهش در مقدار CaO و افزای در مقدار K2O را نسبت به نمودارهای بی‌هنجاری انتظار داشت.

شایان ذکر است که بارگذاری قابل قبول ترکیبهای FeO, Al2O3 و MgO در PC3 و PC4 در حضور سیلیس و CaO، وضعیت زون پروپیلیتی را نشان می‌دهد.

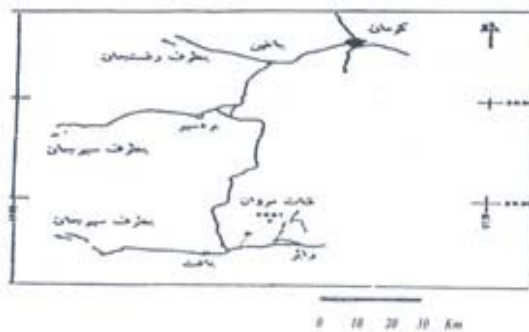
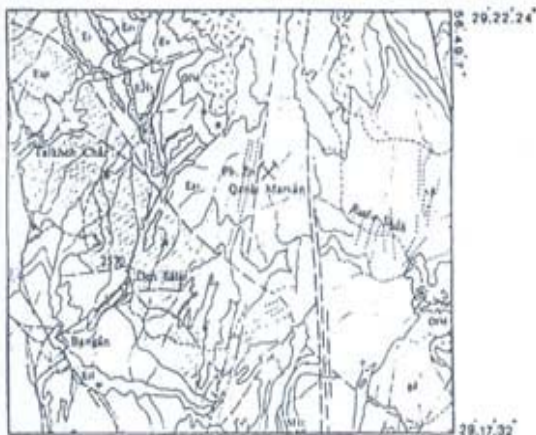
بدیهی است که عناصر Pb و Zn در این مولفه‌ها بارگذاری مثبت قابل قبولی را نشان می‌دهند. بارگذاری بسیار چشمگیر ترکیبهای آهن‌دار سنگ، با عناصر Ni و Co در بردار PC4 قابل مشاهده است و این عناصر در دگرسانی آرژیلی پیشرفته، افزایش بیشتری نسبت به نوع آرژیلی داشته است. عناصر Zn و Pb با توجه به بارگذاری بالا در مولفه های PC3 و PC4 به عنوان عناصر کانسازی بویژه در دگرسانی

جدول 1- مولفه های اصلی (ویژه بردار) و مقادیر ویژه مربوط به 26 متغیر

Component Matrix				
Variables	Component			
	PC1	PC2	PC3	PC4
SiO2	-0.71716	-0.27109	0.631919	0.032151
TiO2	0.646354	-0.05923	0.698637	0.414821
Al2O3	0.059435	-0.25496	0.058894	0.149075
FeOT	0.397304	0.6068	0.282318	0.345026
Fe2O3	0.551345	-0.05943	0.645382	0.409605
FeO	0.585039	0.498516	0.301265	0.076818
MnO	-0.00861	0.246465	-0.27383	0.387568
MgO	0.862888	-0.49853	0.015619	0.032798
CaO	0.700078	0.031576	-0.63788	0.048696
Na2O	0.362902	-0.84136	-0.18556	-0.03132
K2O	0.126073	-0.22749	-0.62957	0.063648
P2O5	0.781473	-0.00832	0.278106	0.073374
LOI	0.110242	0.85531	-0.63574	-0.11821
B	-0.65482	0.197956	0.28443	-0.23789
Ba	-0.6278	-0.30107	0.187413	0.181093
Co	-0.20495	0.597765	-0.10187	0.471471
Cr	-0.51325	-0.01221	0.197014	-0.16193
Cu	-0.26448	-0.06215	0.029386	-0.04493
Sa	-0.4103	0.002102	0.590793	-0.29851
Ni	-0.62544	0.57296	-0.02104	0.338559
Pb	-0.62213	0.250671	0.083469	0.28381
Sc	0.305709	0.823909	0.035507	-0.13564
Sr	0.645714	-0.39856	0.264663	-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.

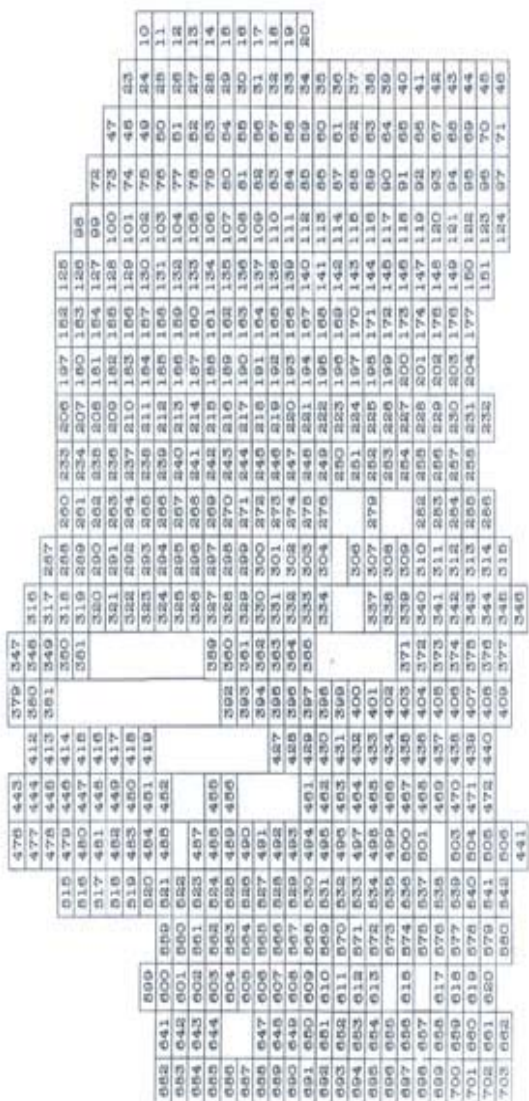




شکل 1- نقشه راههای ارتباطی به محدوده کانسار قنات مروان

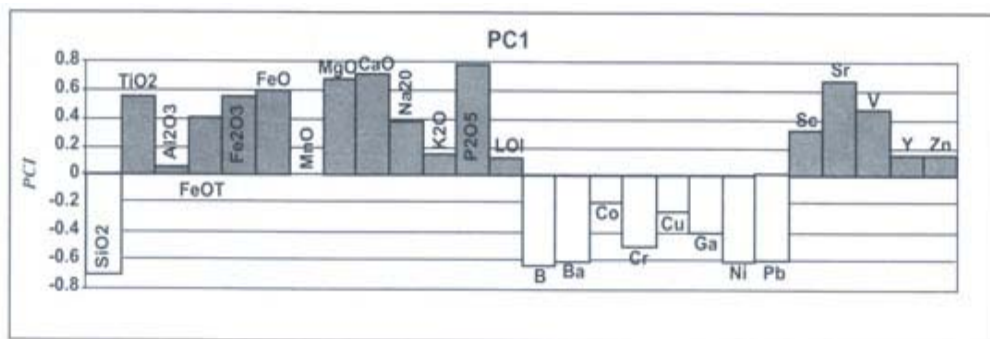
شکل 2- نقشه زمین‌شناسی 100/000 : 1 محدوده کانسار قنات مروان

- Ng<sup>2</sup> : ماسه سنگ و کنگلومرا با سخت شدگی کم
- Pa : جریان‌های گدازه های پیروکسن - آندزیت
- Ng : کنگلومرا و پیروکلاستیک با جریان گدازه های آندزیت
- af : جریان‌های گدازه ای بازالت - آندزیت
- I : آهک‌های چرتی
- dp : دیوریت پورفیری
- gd : گرانودیوریت و کوارتز دیوریت با حواشی دگرگونه
- M<sup>2</sup> rb : ماسه سنگ سرخ و سیلستون ژپیس (تشکیلات سرخ)
- Mlr : کنگلومرا و ماسه سنگ سرخ
- MI : آهک
- Mlc : کنگلومرا
- Vp : جریان های گدازه ای آندزیت، پیروکلاستیک و آگلومرا
- Otm : آهک‌های لپیدوسیکیلینا
- Otms : ماسه سنگ و مارن ماسه ای
- Ev : آگلومرا با توف و جریان گدازه ای آندزیت
- Eri : ایگنیمبریت ربولیتی
- Eaf : جریان گدازه ای آندزیت - بازالت و پیروکلاستیک
- Esn : توف و ماسه سنگ توفی
- Eat : آندزیت، آندزیت - بازالت و مقادیر کم ربولیت و پیروکلاستیک
- E<sup>2</sup> S : ماسه سنگ نومولیتی و مارن ماسه ای
- E21 : آهک دولولیتی
- Ec : توربیدیت ها
- Ec<sup>2</sup> : کنگلومرا با قلوه‌های آهکی نومولیت‌دار
- Es : ماسه سنگ و کنگلومرا
- Esc : کنگلومرا
- Est : ماسه سنگ نومولیتی آهک
- Esp : پیروملاستیک‌ها

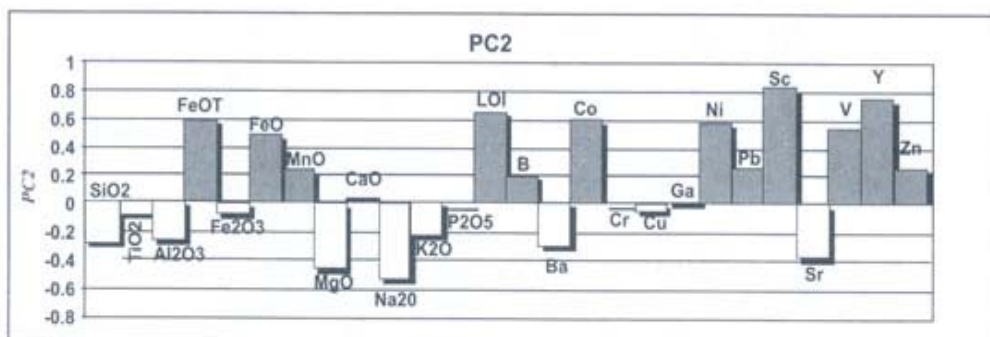


میوسن میانی تا بالایی میوسن پایینی ائوسن میانی - بالایی

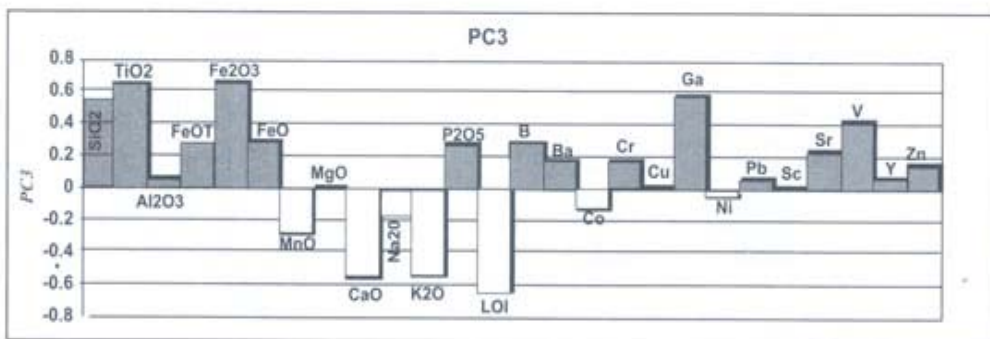
شکل 3- شبکه نمونه برداری ژئوشیمیایی در کانسار قنات مروان



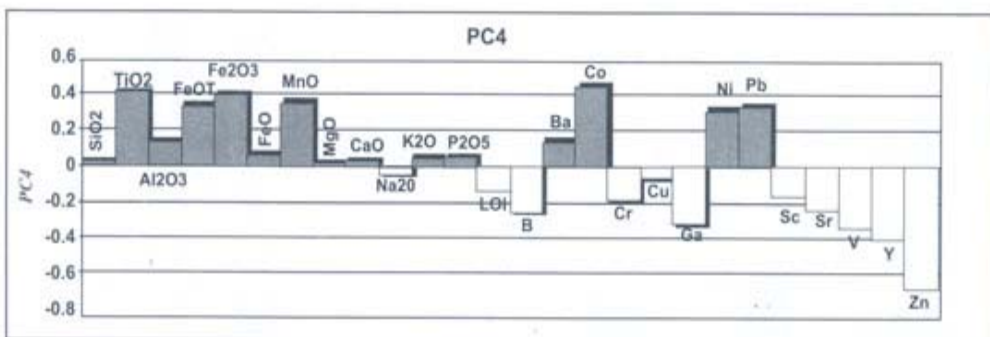
شکل 4 الف) : نمایش مولفه اصلی PC 1



شکل 4 ب) : نمایش مولفه اصلی PC 2

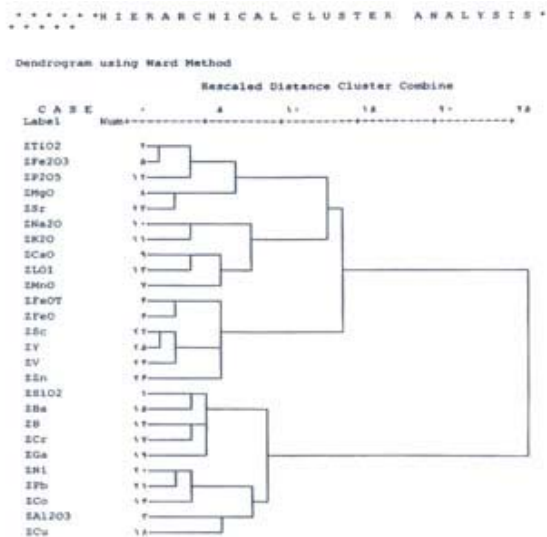


شکل 4 ج) : نمایش مولفه اصلی PC 3



شکل 4 د) : نمایش مولفه اصلی PC 4



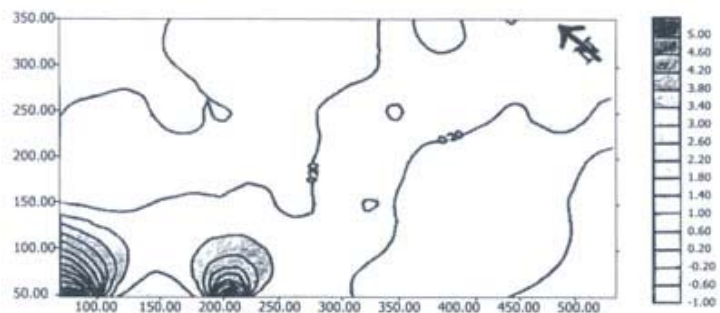


عنصر

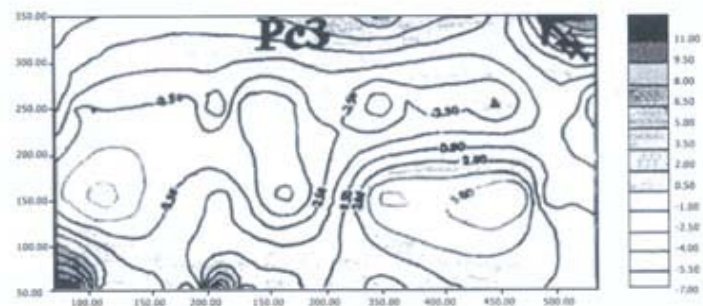
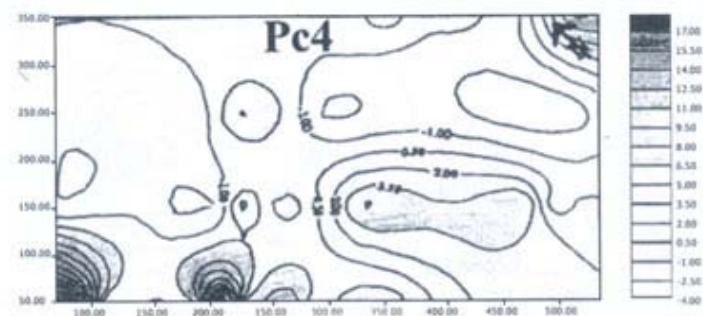
شکل 5- نمودار دندروگرام درختی حاصل از گروه بندی 26 عنصر و ترکیب در نرم افزار SPSS .

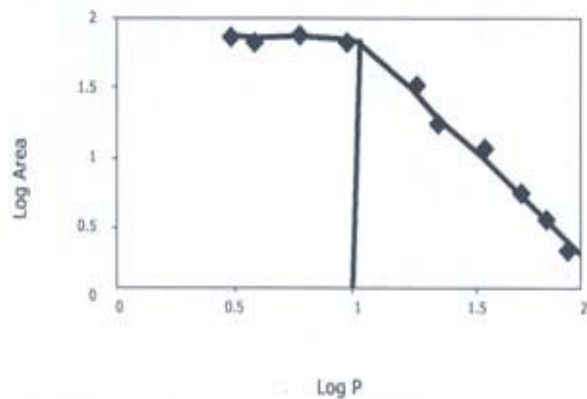


شکل 6 الف) نقشه کنتوری عنصر Pb

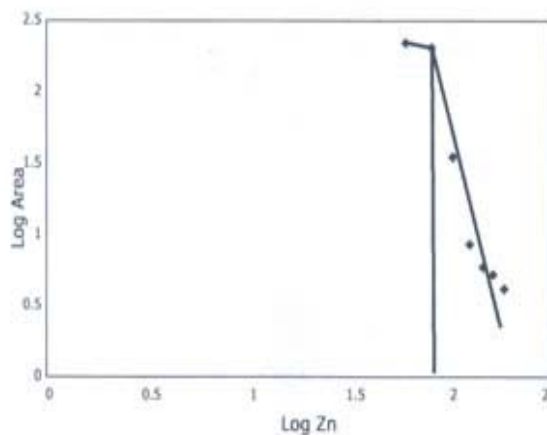


شکل 6 ب) نقشه کنتوری عنصر Zn

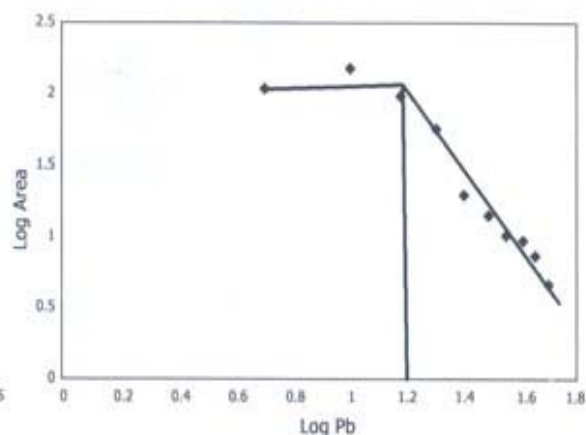
شکل 7 الف) نقشه امتیازی مولفه اصلی PC<sup>1</sup>شکل 7 ب) نقشه امتیازی مولفه اصلی PC<sup>2</sup>شکل 7 ج) نقشه امتیازی مولفه اصلی PC<sup>3</sup>شکل 7 د) نقشه امتیازی مولفه اصلی PC<sup>4</sup>



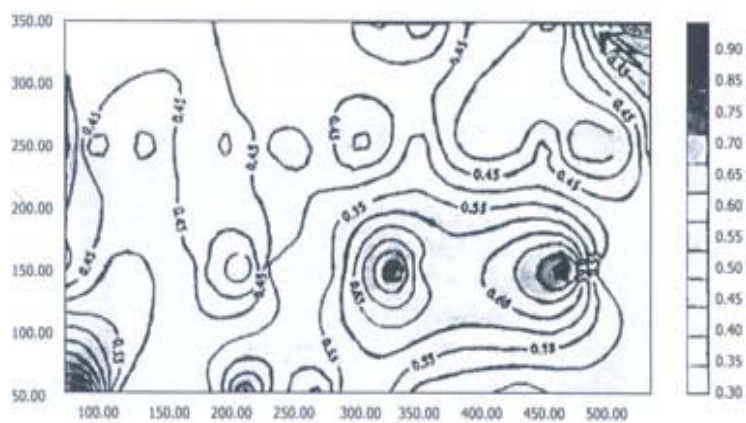
شکل 8- نمودار فراکتال برای عنصر P



شکل 9 ب) نمودار فراکتال برای Zn



شکل 9 الف) نمودار فراکتال برای Pb

شکل 10- نقشه کنتوری اندیس سرستی شدگی ( $K_2O/K_2O+Na_2O$ )

## کتابنگاری

- رسا، ا. و ریسمانی، ع. ض.، 1378- زمین شناسی اقتصادی، پترولوژی و پتروژنز محدوده کانسار فئات مروان کرمان .  
حسنی پاک، ع. ا.، 1371- اصول اکتشاف ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران  
حسنی پاک، ع. ا.، 1380- تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران .  
جیبا، ا.، 1378- آنالیز آماری چند متغیر داده های ژئوشیمیایی، پروژه کارشناسی مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان .  
کریم پور، م. ح.، 1374- زمین شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد .  
وزیرنیا، م.، 1373- آمار و احتمالات، مرکز تحقیقات و انتشار کتب درسی .  
مر، ف. و شرفی، ع. ا.، 1373- اصول ژئوشیمی، انتشارات دانشگاه شیراز.  
مومن زاده، م. و رشیدنژاد، ع.، 1367- 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 7o to 24o 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 7o to 24o 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

