



بررسی آماری داده‌های زمین-شیمیایی در کانسار مس پورفیری درالو

فرانک حیدریان*

امور اکتشاف و استخراج، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۰۰، تهران - ایران

چکیده: داده‌های زمین-شیمیایی^(۱) "S, Pb, Zn, Co, Fe, Mo, Cu" بر روی ۲۹۳ نمونه سطحی در ناحیه‌ای به وسعت یک کیلومتر مربع در منطقه کانسار مس پورفیری درالو، به روش آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تشخیص ناهنجاریهای زمین-شیمیایی از عیار زمینه، از سه روش: تعیین ضریب همبستگی، کاربرد نقشه‌های زمین-شیمیایی سطحی و تجزیه و تحلیل عاملها به وسیله مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج حاصل از کاربرد این روشها در انطباق مکانهای کانیسازي با واحدهای "سنگساختار" و دگرسان شده منطقه مورد مطالعه بکار رفته است. نتایج حاصل از کاربرد این روشها نشان می‌دهند که در منطقه مورد مطالعه، کانیسازي مس منطبق بر واحد گرانودیوریتی و تا حدی هم منطبق بر واحد ریولیتی است. لیکن بیشترین ارتباط بین کانیسازي و این واحدها بستگی به دگرسانی سریسیتی در آنها دارد.

واژه‌های کلیدی: درالو، مس پورفیری، داده‌های زمین-شیمیایی، بررسی آماری

Statistical Study of Geochemical Data of the Daralu Porphyry Copper Deposit

F. Heidarian*

Exploration and Mining Division, AEOI, P.O.Box: 14155-1339, Tehran – Iran

Abstract: Litho-geochemical data (Cu, Mo, Fe, Co, Zn, Pb and S) for 293 surface samples in an area of 1 km² in the Daralu porphyry copper area were statistically analyzed. In order to identify the anomalous values from the background values, three statistical methods, namely, correlation coefficient, krigging, and principal component methods were used. The results obtained in this study indicate that copper mineralization is mainly confined to a granodiorite unit, and to a less extent to a rhyolite unit; but the highest correlation is related to the sericitic alteration.

Keywords: Daralu, porphyry copper, statistical analysis, geochemical data



۱- مقدمه

تشخیص نابهنجاری زمین- شیمیایی از عیار زمینه، مسأله اساسی در اکتشافهای زمین- شیمیایی است. توزیع ویژه بیشتر عناصر در محیط زمین‌شناختی- زمین - شیمیایی، حاصل مجموعه‌ای از فرایندهای زمین‌شناختی است. در طی این فرایندها، پاره‌ای از عناصر ممکن است غنی شوند و کانسار قابل استخراجی را تشکیل دهند. ویژگیهای بعضی از عناصر در ارتباط با کانسارها در تعیین روش اکتشاف آنها مؤثرند [۱]. عامل اساسی در منطقه مس درالو، نابهنجاریهای زمین- شیمیایی است که برای تشخیص آنها از مدل‌های آماری بکار رفته [۱ تا ۴]، در بررسیهای زمین- شیمیایی منطقه استفاده شده است.

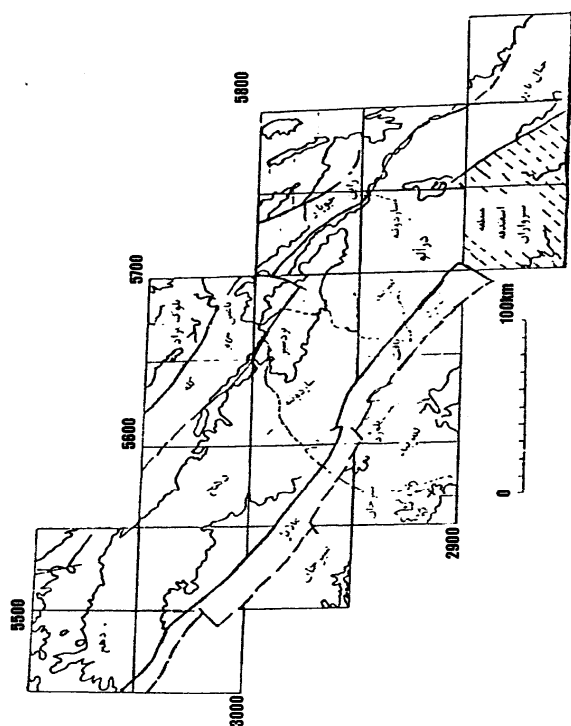
چندین روش آماری برای تشخیص نابهنجاریهای زمین- شیمیایی در منطقه درالو بکار رفته است؛ در این مقاله به روشهای بررسی تعیین ضریب همبستگی، ترسیم نقشه‌های سطحی زمین- شیمیایی و انطباق آنها با نقشه‌های زمین‌شناختی و دگرسانی منطقه، و تجزیه‌ی عاملی به منظور جداکردن محدوده اصلی کانی‌ساز، پرداخته شده است.

۲- موقعیت جغرافیایی و مکان زمین‌شناختی

منطقه مورد مطالعه بخشی از دهستان سرمشک واقع در بخش ساردوئیه شهرستان جیرفت، در جنوب استان کرمان است. این منطقه با وسعت بیش از ۴۰ کیلومترمربع، به شکل مربع مستطیل در راستای شمال غرب - جنوب شرق تقریباً بین طول‌های جغرافیایی ۲۳° ۰۵' - ۲۳° ۰۷' و عرض‌های جغرافیایی ۱۹° ۲۴' - ۱۹° ۲۹' قرار دارد (شکل ۱) [۵].

منطقه درالو در تقسیمات زمین‌ساختی ایران، در کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر، و به لحاظ تقسیمات زمین‌شناختی استان

کرمان، در کمربند دهج - ساردوئیه و در دامنه شمال غربی کوه هنزا واقع است. در این منطقه واحدهای سنگی ائوسن میانی از نوع آتشفشانی و آذر آواری رخنمون دارند. ترکیب سنگ شناختی آنها به صورت بازی، اسیدی یا حد واسط است. این واحدها بعد از ائوسن تحت تأثیر نفوذ توده نیمه عمیق گرانودیوریتی قرارگرفته‌اند. محلولهای گرمابی و کانه‌دار، باعث دگرسانی شدید این توده‌ها و سنگهای درونگیر آنها شده است (شکل ۲) [۷].



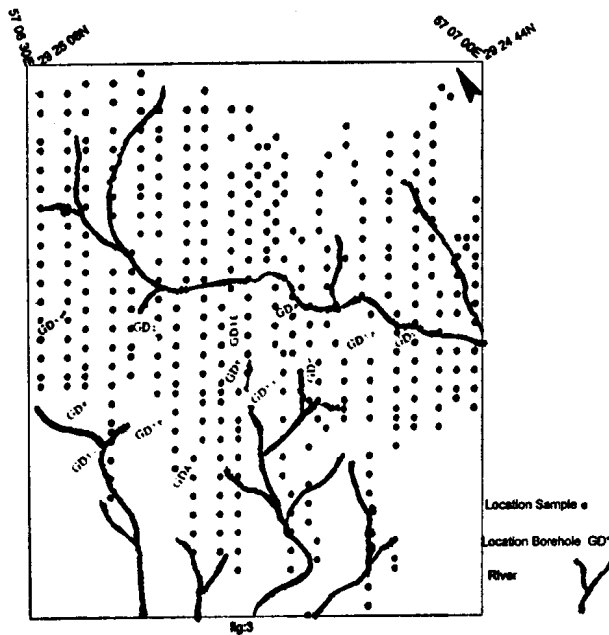
شکل ۱ - زیرتقسیمات زمین‌شناختی ناحیه کرمان و منطقه مورد مطالعه در روی آن (دیامتروویج ۱۹۷۳)

تعیین عناصر Cu، Mo، Fe، Pb، Zn، Co، S تجزیه و تحلیل شده‌اند. محل برداشت نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است [۹].

نتایج بدست آمده در نرم افزار آماری Spss به منظور مطالعات آماری و در نرم افزار Surfer برای ترسیم نقشه‌ها پردازش شده‌اند.

۳ - ۱ - ضریب همبستگی بین عناصر

در بررسی‌های زمین-شیمیایی معمولاً غلظت تعدادی از عناصر در مجموعه‌ای از نمونه‌های زمین-شیمیایی اندازه‌گیری می‌شوند. چون هر گروه معین از عناصر، بسته به شرایط ویژه محیط، رفتارهای مشابه یا متفاوت دارند، بنابراین، شناخت این رفتارها ممکن است در شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در بررسی‌های زمین-شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳- محل‌های برداشت نمونه‌های زمین-شیمیایی در منطقه درالو، مقیاس ۱/۷۵۰۰ متر. (اقتباس از سلیمان کوثری ۱۳۷۵)

ضریب همبستگی درجه ارتباط بین متغیرها را نشان می‌دهد. مقدار r (ضریب همبستگی) از -۱ تا +۱

شکل ۲ - نقشه زمین‌شناختی و دگرسانی منطقه درالو، مقیاس ۱/۷۵۰۰ (اقتباس از سلیمان کوثری ۱۳۷۵)

در ناحیه وسیعی از محدوده مورد مطالعه، دگرسانی نوع سربیسیتیک با هور کانیهای سربیسیت، کوارتز و پیریت یافت می‌شود. سنگ‌های متأثر ز دگرسانی سربیسیتیک، غنی از رگه‌های سیلیسی می‌باشند. دگرسانی‌های رسی با شدت‌های متفاوت در بخش‌های کوچکتري از منطقه، به صورت تجمع کانیهای ثانویه قابل توجه است. دگرسانی پروپیلیتی در حواشی توده‌های نیمه عمیق گرانودیوریتی به مقدار زیاد در تمام منطقه مشاهده می‌شود. کانی‌سازی در منطقه درالو در قالب سه بخش درونزاد، برونزاد و اکسید شده بررسی گردیده است. کانیهای بخش درونزاد شامل مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت، بورنیت و تتراهدريت می‌باشند؛ کانیهای بخش برونزاد مشتمل بر بورنیت، کولین، دیژنیت و کالکوسیت و کانیهای بخش اکسید شده شامل هماتیت، گنوتیت، ژاروسیت، مالاکیت - آزوریت، کالکانتیت و پیرومورفیت هستند [۸].

۳ - روش مطالعه

منطقه مورد مطالعه، به سبب داشتن مقادیر قابل توجه Cu و Mo دارای اهمیت بسیار است. تعداد ۲۹۳ نمونه سطحی از ناحیه‌ای به وسعت یک کیلومترمربع به توسط کارشناسان شرکت مس ایران برداشت شده است. کلیه نمونه‌های سنگ معدن پس از آماده‌سازی، در مرکز آزمایشگاه‌های مس سرچشمه برای



و تا حدی مس و آهن (۰/۱۷۳۷) دارند.

۳-۲- پراکنندگی عناصر در واحدهای سنگی و دگرسانی منطقه

نتایج حاصل از انطباق نقشه‌های نابهنجاریهای مس و مولیبدنیوم (شکل‌های ۴ و ۵) با نقشه زمین‌شناختی (شکل ۲) نشان می‌دهد که مقادیر عناصر Cu و Mo در واحد گرانودیوریتی و ریولیتی منطقه، فراوانند. Fe (شکل ۶) به طور موضعی

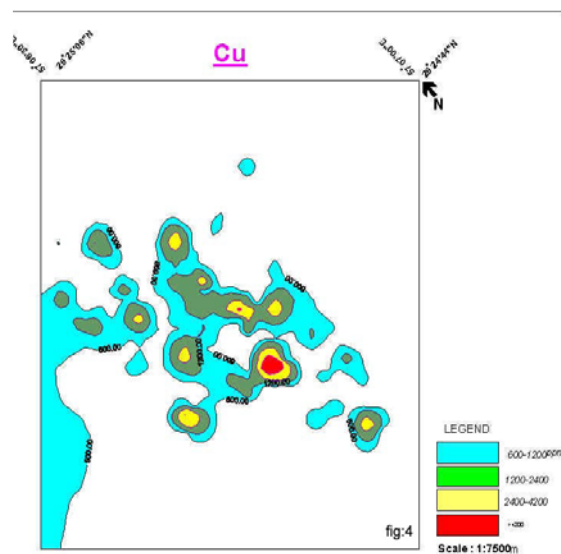
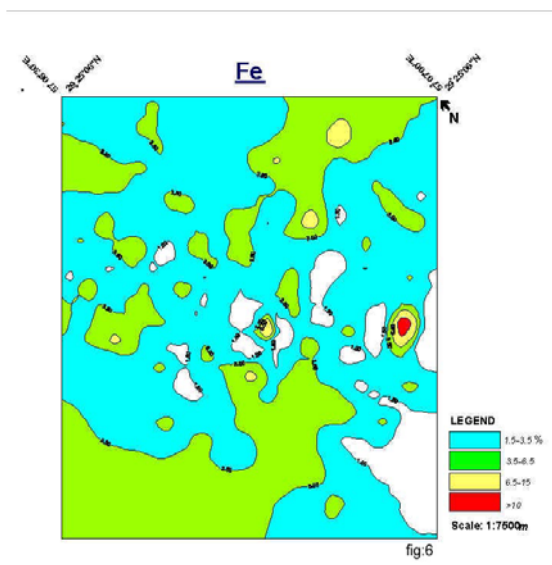
تغییر می‌کند. مقدار صفر برای ضریب همبستگی دلالت بر آن دارد که بین متغیرهای X و Y، یک نوع توزیع تصادفی بدون هیچگونه وابستگی متقابل وجود دارد. مقدار ۱ نشان می‌دهد که انطباق کاملی بین دو متغیر مورد بررسی موجود است. در حالیکه مقدار ۱ - معرّف وجود رابطه معکوس کاملی بین دو گروه است [۶].

جدول ۱، همبستگی میان هفت متغیر (S، Cu، Mo، Pb، Zn، Co، Fe) را در منطقه مورد مطالعه نمایان می‌سازد. بیشترین ضریب همبستگی را عناصر مس و مولیبدنیوم (۰/۴۷۲۶) و

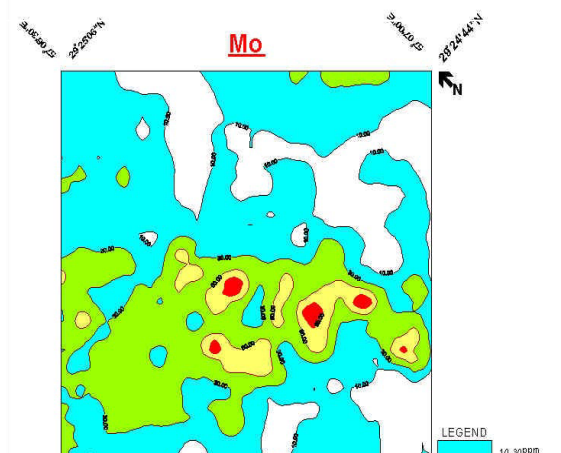
جدول ۱- ضریبهای همبستگی عناصر در منطقه درالو

متغیرها	Cu	Co	Fe	Mo	Pb	S	Zn
Cu	۱	۰/۰۱۴۱	۰/۱۷۳۷	۰/۴۷۲۶	- ۰/۰۵۹۶	- ۰/۰۴۰۴	- ۰/۰۳۸۹
Co	۰/۰۱۴۱	۱	۰/۲۹۵۳	- ۰/۰۲۷۹	- ۰/۰۰۷۱	- ۰/۱۱۱۵	۰/۱۷۱۹
Fe	۰/۱۷۳۷	۰/۲۹۵۳	۱	۰/۱۴۲۵	۰/۰۱۴۹	- ۰/۰۰۱۴	۰/۱۲۲۸
Mo	۰/۴۷۲۶	- ۰/۰۲۷۹	۰/۱۴۲۵	۱	- ۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۵۴	- ۰/۰۶۸۳
Pb	- ۰/۰۵۹۶	- ۰/۰۰۷۱	۰/۰۱۴۹	- ۰/۰۰۵۵	۱	۰/۰۰۷۱	۰/۰۲۶۷
S	- ۰/۰۴۰۴	- ۰/۱۱۱۵	- ۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۷۱	۱	- ۰/۰۶۸۰
Zn	- ۰/۰۳۸۹	۰/۱۷۱۹	۰/۱۲۲۸	- ۰/۰۶۸۳	۰/۰۲۶۷	- ۰/۰۶۸۰	۱

شکل ۵ - نقشه پراکنندگی عنصر



شکل ۴ - نقشه پراکنندگی عنصر مس





است و به صورتی انجام می‌گیرد که هر متغیر جدید دارای بیشترین جوراجوری (واریانس) نسبت به کل داده‌ها باشد [۱۰].

مقادیر آنگن (Eigen Values)، مقادیر برداری آنگن (Eigen Vectors) و جوراجوری (واریانس) داده‌ها از طریق نرم‌افزار آماری Spss حساب شده و در جدول ۱ مندرج است. در محاسبات آماری معمولاً مقدار ویژه ۱ را برای تفسیر داده‌ها در نظر می‌گیرند. به طوری که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر ویژه‌ای برای دو مؤلفه اصلی بزرگتر از ۱ وجود دارند، در نتیجه از هفت مؤلفه اصلی حاصل از تجزیه و تحلیل، دو مؤلفه اصلی ۱ و ۲ را برای تفسیر داده‌ها در نظر می‌گیریم. نمودارهای شکل ۷ ارتباط بین مؤلفه‌های اصلی PC1 و PC2 و متغیرها را نشان می‌دهد. مؤلفه اصلی PC1 دارای مقادیر برداری بالا برای Pb، Zn، Fe، Co است؛ به عبارت دیگر، این چهار متغیر در نقشه PC1 دارای بیشترین واریانس‌اند. مؤلفه اصلی PC2 دارای مقادیر برداری بالا برای Cu، Fe، Mo است. برای تهیه این نقشه‌ها از رابطه زیر استفاده شده است:

برای تهیه نقشه PC1:

$$Z_{ti} = \sum (PC1_{Co} \times Z_{iCo} + PC1_{Pb} \times Z_{iPb} + PC1_{Zn} \times Z_{iZn} + PC1_{Fe} \times Z_{iFe})$$

برای تهیه نقشه PC2:

$$Z_{ti} = \sum (PC2_{Cu} \times Z_{iCu} + PC2_{Fe} \times Z_{iFe} + PC2_{Mo} \times Z_{iMo})$$

که در این روابط متغیرها عبارتند از:

Z_{ti}: مقدار نهایی روی خطوط میزان برای رسم نقشه نهایی

Z_i: مقدار عددی مربوط به خطوط میزان

PC: مقدار مؤلفه اصلی محاسبه شده

بنابراین، با توجه به داشتن دو عامل برای هر یک از متغیرها، دو مقدار Z_{ti} تعیین شده سپس نقشه‌های مربوط به این دو متغیر رسم گردیده است (شکل‌های ۸ و ۹).

شکل ۶- نقشه پراکنندگی عنصر آهن

واحدهای گراندیوریتی و ریولیتی پراکنده است، ولی بیشترین مقدار را در واحد آندزیتی شمال منطقه نشان می‌دهد. عناصر S، Co، Zn، Pb بیشتر در واحدهای آتشفشانی و توفی منطقه گسترده‌اند.

دگرسانی سرسیتیک به طور موضعی به نابهنجاری S، Co، Pb، Fe مربوط است و بیشترین انطباق را با نابهنجاری Mo و Cu نشان می‌دهد. دگرسانی رسی فاقد مس است؛ اما به طور موضعی دارای مقادیر اندکی S، Co، Fe، Mo است. دگرسانی پروپیلیتی به طور موضعی به نابهنجاری Fe، Co، Zn، Cu مرتبط است. این دگرسانی بیشترین ارتباط را با نابهنجاری گوگرد دارد و با Mo فاقد هرگونه ارتباط است.

۳-۳- بررسی روش آماری تجزیه و تحلیل عاملها در منطقه درالو به منظور جداکردن محدوده اصلی انسارسازی

۴۶

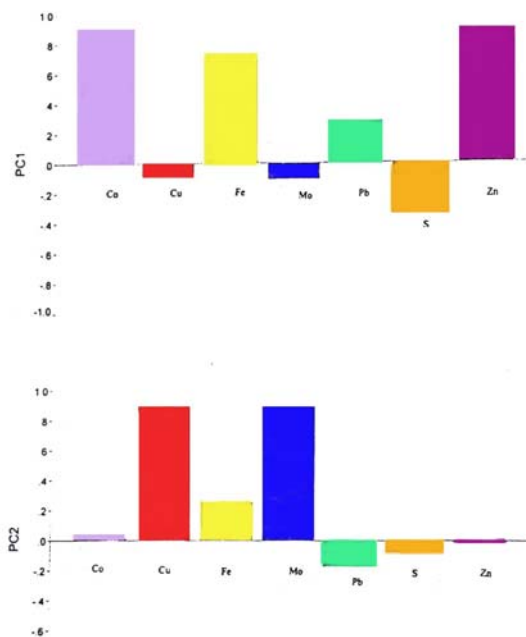
تجزیه و تحلیل عاملها روشی ماری است که در صورت وجود رابطه آماری میان تعداد زیادی از متغیرهای به ظاهر بی‌ارتباط، مشخص می‌شود [۹]. در بررسی‌های زمین-شیمیایی منطقه موردنظر، از روش تجزیه عاملی به صورت تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی^(۲) استفاده شده است. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از روش‌های ریاضی است که حجم داده‌های اولیه را به صورت قابل توجهی کم می‌کند و تفسیر آنها را به خوبی میسر می‌سازد. این روش امروزه در سنجش از راه دور، ژئوفیزیک، ژئوشیمی و چاه پیمایی در مواردی که از هر نقطه چند متغیر اندازه‌گیری شده باشد، بکار می‌رود. مؤلفه‌های اصلی عبارتند از: مقادیر برداری آنگن^(۳)، ماتریس‌های ضریب همبستگی، جوراجوری (واریانس)، هموردی (کوواریانس). این تجزیه و تحلیل، مشتمل بر تبدیل خطی m متغیر اولیه به m متغیر جدید



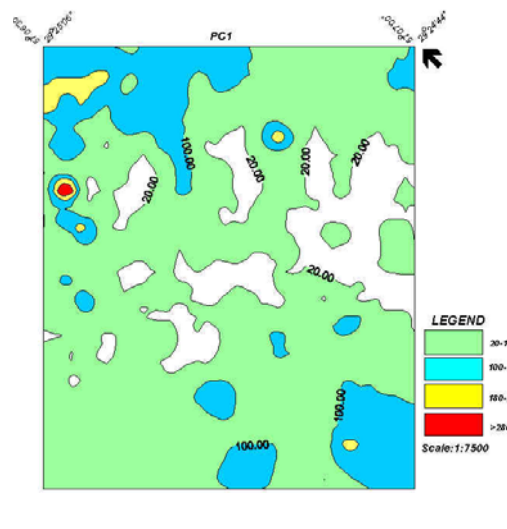
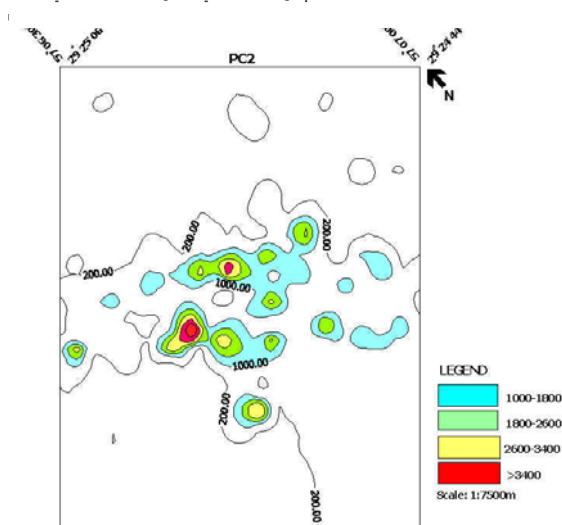
پس از تهیه نقشه‌های PC1 و PC2، نقشه PC2 (Fe، Mo، Cu) را با نقشه زمین‌شناختی منطقه (شکل ۲) انطباق داده و به این نتیجه رسیدیم که محدوده کانسارسازی، تقریباً در توده گرانودیوریتی و تا اندازه‌ای در واحد ریولیتی گسترش یافته است و مطابقت بیشتری با دگرسانی سربستیک دارد. دلیل اینکه نقشه PC2 به عنوان نقشه مرجع انتخاب شده اینست که با توجه به نمودار ب شکل ۷ و جدول ۱، عناصر Mo و Fe بیشترین واریانس و همبستگی مثبت با عنصر Cu را دارند و می‌توان آنها را به عنوان معرف برای ردیابی این عنصر در منطقه بکار برد.

شکل ۷ - نمودارهای PC1 و PC2 در برابر متغیرهای Fe، S، Zn، Pb، Co، Mo، Cu

۱	۰/۳۴۷۸۹	۰/۱۰۲۵۳	۰/۱۸۵۱۱	۰/
۱	۰/۰۳۹۷۰	۰/۳۵۰۷۴	۰/۲۵۹۴۲	۰/
۱	۰/۰۵۸۸۳	۰/۱۶۲۰۲	۰/۵۳۰۸۸	۰/
۱	۰/۰۲۳۲۰	۰/۳۸۹۰۷	۰/۰۹۰۸۱	۰/
۱	۰/۰۴۸۱۹	۰/۰۴۰۱۵	۰/۰۰۶۹۹	۰/
۱	۰/۰۲۲۰۷	۰/۰۰۹۸۴	۰/۱۵۵۱۳	۰/
۱	۰/۳۲۴۰۸	۰/۰۶۲۰۱	۰/۳۲۳۸۳	۰/
	۰/۲۳۴۴۴	۰/۳۱۶۷۱	۰/۵۲۰۶۲	۰/
	۳/۳	۴/۵	۷/۴	
	۱۰۰	۹۶/۷	۹۲/۱	



شکل ۸ - نقشه پراکندهی مؤلفه اصلی





۴- دگرسانی سریسیتی با نابهنجاریهای منطقه بیشترین آمیختگی را دارد. نابهنجاریهای Zn، Co، Fe بیشتر در ارتباط با دگرسانی پروپیلیتی و در واحد آتشفشانی است.

۵- روش تجزیه عاملی از طریق مؤلفه اصلی PC2 مؤید این نکته است که محدوده اصلی کانسارسازی منطقه در واحد گرانودیوریتی و ریولیتی آن گسترده شده است و بیشترین همبندی را با دگرسانی سریسیتی دارد.

۱- با توجه به همبستگی‌های بین عناصر (Fe، Co، Zn، Pb، Mo، Cu) اندازه‌گیری شده در منطقه، قویترین همبستگی بین مس و مولیبدن (۰/۴۷۲۶) است و همبستگی ضعیفی بین مس - آهن (۰/۱۷۳۷) و آهن و مولیبدن (۰/۱۴۲۵) وجود دارد.

۲- مس و مولیبدن بیشترین مقادیر را در واحد گرانودیوریتی و میکروگرانودیوریتی، و به طور موضعی در واحد ریولیتی نشان می‌دهند.

۳- عناصر Zn، Pb، Co با واحدهای آتشفشانی ارتباط بیشتری را نشان می‌دهند.

شکل ۹ - نقشه پراکندهی مؤلفه اصلی^۲

پینوشتها:

۱ -Geochemical

۲ -Principal Components

۳ -Eigen Manfred

میدان آلمانی

۴۸

(مانفرت آ)

References:

1. F. P. Agterbery and S. B. Ballantyne, "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods," Qiuming Cheng. *Geochemical Exploration.*, **51**, 109 - 130 (1994).
2. M. D. Dimitrijevic, "Geology of kerman region," Institute for Geological and Mining Exploration and Institution of Nuclear and other Mineral Raw Materials, Beograd - Yugoslavia. Geological Survey of Iran, Report No. Yu/52 (1973).
3. C. John Davis, "Statisticals and data analysis in geology," John Wiley and Sons, Inc (1973).
4. A. Looke, "Leached outcrops as a guide to copper ore," Bailliere, Tindal and C o x . 172p (1926).
5. M. O. Schwartz, "The geochemistry of the leached caping of the La Granja porphyry copper deposit," Peru in: A. W. Rose and H. Gundlach, eds., *J. Geochim. Explor.* **15**, 93-113 (1981).
6. C. R. Stanley and A. J. Sinclair, "Anomaly recognition for multi - element geochemical data," A background characterization approach, *J. Geochem. Explor.*, **29**, 333- 353 (1987).



۷. ف. حیدریان، "بررسی و ارزیابی پتانسیل معدنی کانسار پورفیری مس درالو،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۷۸).
۸. ع. خراسانی‌زاده، "مقدمه‌ای بر کاربرد نرم‌افزار Spss در پژوهش‌های آماری،" تهران- قائم (۱۳۷۵).
۹. شرکت تهران پادیر، "گزارش منطقه درالو،" شرکت ملی مس ایران، ۱۴۸ صفحه (۱۳۷۳-۱۳۷۴).
۱۰. س. کوثری، "اکتشافات ژئوشیمیایی کانسار مس درالو،" شرکت ملی مس ایران (۱۳۷۵).