Archive of SID

ژئوشیمی
سال اول، شماره چهارم (تابستان ۱۳۹۲)

Geochemistry
Vol.1, No.4 (Summer 2013)

ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگی رخداد معدنی مس جنوب راین (کرمان)

علی دوستی سنجابی*[۱]، مهرداد بهزادی[۲]، محمد یزدی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
* عهده‌دار مکاتبات: ad.sanjabi@yahoo.com
دریافت مقاله: ۹۱/۱۰/۱۱، پذیرش مقاله: ۹۲/۱/۱۷

چکیده

محدوده مورد مطالعه در جنوب شهر راین، در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر کرمان، در شمال شرقی ورقه زمین‌شناسی ساردوئیه واقع است. این منطقه در کمربند آتشفشانی ارومیه – دختر (دهج – ساردوئیه) قرار گرفته است. واحدهای زمین‌شناسی منطقه ماهیت کلسیمی- قلیایی و کلسیمی-قلیایی غنی از پتاسیم تا شوشونیتی دارند. تحلیل زمین‌شیمیایی حاصل از تجزیه نمونه‌ها برای عنصر مس و عناصر همراه (Ag, As, Mo, Pb, Zn) حاکی از غنی‌شدگی بالای این عنصر به همراه آرسنیک است. هیستوگرام‌های عناصر نقره، مولیبدن، سرب و روی چولگی منفی و تهی‌شدگی و هیستوگرام‌های عناصر مس و آرسنیک چولگی مثبت نشان می‌دهند که حاکی از غنی‌شدگی در نمونه‌های منطقه است. همبستگی عنصر مس با عناصر نقره و روی خیلی بالاست در حالی که عناصر آرسنیک، مولیبدن و سرب همبستگی متوسط تا پایین با بقیه عناصر نشان می‌دهند. میانگین عنصر مس در نمونه‌های برداشته‌شده، 6219.5 ppm بوده که بیشترین مقدار آن در نمونه EH-11 (33973 ppm) است.

واژه‌های کلیدی: مس، سنگ‌زمین‌شیمی، ساردوئیه، راین، کرمان

۱- مقدمه

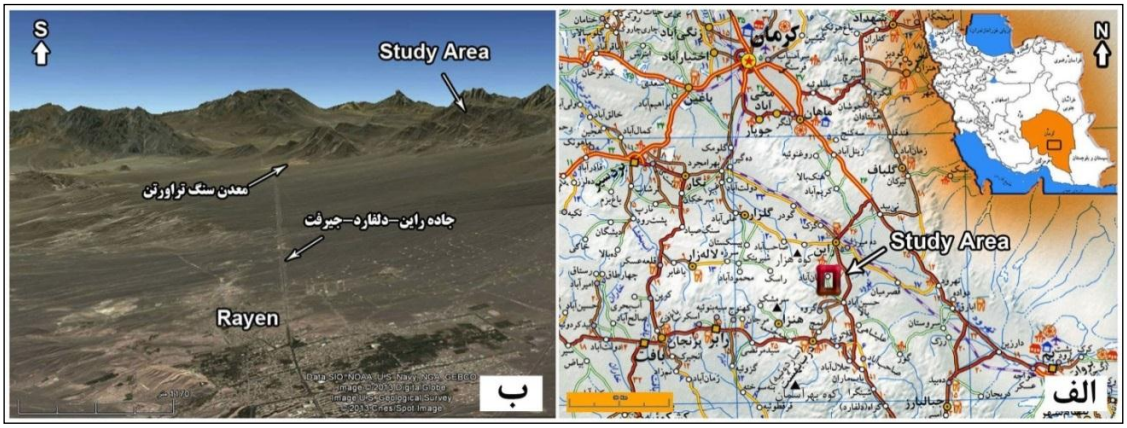
منطقه مورد مطالعه، در کمربند مس کرمان قرار دارد که غنی‌ترین کمربند مس‌دار ایران به شمار می‌آید. این منطقه، در واقع، بخشی از کمربند آتشفشانی ارومیه – دختر و محور دهج – ساردوئیه است. کانی‌زایی مس در این کمربند، در پیوند با سنگ‌های ماگمایی ترشیری است (قربانی، ۱۳۸۱).

تاکنون در این محدوده به‌طور خاص هیچ مطالعه‌ای انجام نشده است. از کارهای مطالعاتی انجام‌شده روی نقشه ساردوئیه از قدیم به جدید می‌توان به Beogart, (1971) Zolanj et al., (1972) Dimitrijevic, (1973)، سبزه‌ئی و افروز، (۱۳۶۹)، امیرمطلبی و اخوان اقدم، (۱۳۷۹) و رحیمی و همکاران، (۱۳۸۰) اشاره کرد (روزبهانی و آروین، ۱۳۸۹). همچنین فعالیت‌های مختلف اکتشافی در منطقه ساردوئیه، توسط شرکت ملی صنایع مس ایران، در حال انجام است که این مطالعات، گستردگی زیادی دارد و تمرکز اصلی بر شناسایی مس‌های پورفیری، از جمله چاه فیروزه، گرو، شهر بابک و غیره است. این پژوهش، به ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگی واحدهای منطقه می‌پردازد.

برای دسترسی به محدوده مورد نظر، از مسیر جاده راین– دلفارد، نرسیده به معدن سنگ تراورتن یک جاده خاکی به سمت محدوده جدا می‌شود (شکل ۱).

www.SID.ir

Archive of SID

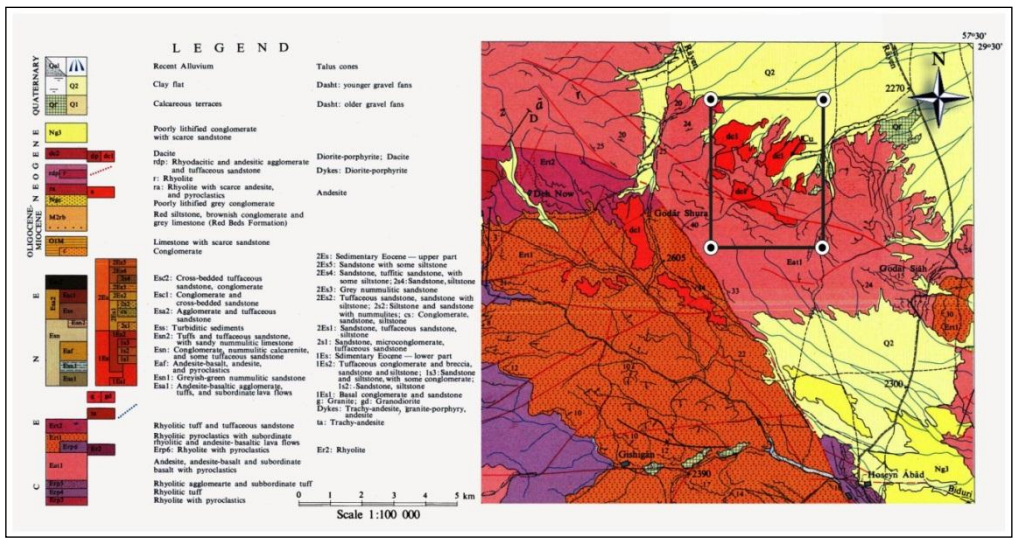


شکل ۱- الف- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (ب- برگرفته از Google Earth)

۲- زمین‌شناسی عمومی محدوده

در کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر، کانه‌زایی مس به فراوانی دیده می‌شود، در محور دهج - ساردوئیه بیشترین تمرکز کانی‌سازی مس در ایران وجود دارد و در پیرامون محدوده مورد مطالعه نیز چند کانسار و رخداد مس شناخته شده که از آن جمله می‌توان به تله‌دزی، پلنگی، عابدینی، اقبالی و چشمه‌خضر که همگی در واحد آندزیت پورفیری هستند، اشاره کرد. محور دهج– ساردوئیه از دهج در شمال غرب استان کرمان در امتداد کمربند آتشفشانی ارومیه– دختر از شمال غرب تا جنوب شرق در منطقه ساردوئیه به طول حدود ۵۰۰ کیلومتر کشیده شده است. این منطقه ضخامتی حدود ۱۵ کیلومتر از سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط و بازی ائوسن را در برمی‌گیرد. قدیمی‌ترین رخنمون سنگی ورقه ساردوئیه را افیولیت‌های کرتاسه تشکیل می‌دهد. در این منطقه بیشترین گسترش را سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌های نفوذی و سنگ‌های رسوبی ائوسن تشکیل داده‌اند (Dimitrijevic, 1973).

رخداد مس جنوب راین در شمال شرق ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ ساردوئیه قرار گرفته است (شکل ۲). بر اساس این نقشه، واحدهای سنگ میزبان اصلی شامل واحد Eat1 است که از آندزیت، آندزیت- بازالت، بازالت با آذرآواری‌ها به سن ائوسن تشکیل شده است. واحد dc1 شامل داسیت، دیوریت پورفیری است که در بخش میانی و شمالی منطقه جای دارد. همچنین براساس مطالعات صحرایی و مقاطع نازک تهیه‌شده از منطقه و غیره واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه شامل خروجی‌های ریولیت، آندزیت، داسیت و ریوداسیت، به طور خیلی محدود، سنگ‌های بازی، توده‌های نفوذی گرانیتی، سینیتی و سنگ‌های آذرآواری عمدتاً به سن ائوسن تا میوسن، به‌همراه پادگانه‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های عهد حاضر هستند. ترکیب عمده سنگ‌های منطقه اسیدی است و بر اساس مطالعات زمین‌شیمیایی ماهیت کلسیمی- قلیایی و کلسیمی- قلیایی غنی از پتاسیم تا شوشونیتی دارند.



شکل ۲- بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی ساردوئیه (گوشه شمال شرقی ورقه)

www.SID.ir

Archive of SID

۳- روش تحقیق

بیست نمونه سنگ، از نقاطی با تراکم کانی‌سازی (مس) بالا (از زون‌های دگرسانی، به‌ویژه زون سیلیسی‌شده مرتبط با کانی‌سازی)، به منظور مطالعات زمین‌شیمیایی سنگی و برای بررسی وجود بی‌هنجاری در محدوده برداشت شده است. نمونه‌ها به روش ICP-OES در آزمایشگاه شرکت زرآزما، تجزیه شدند. عناصر تجزیه‌شده، شامل شش عنصر Ag, As, Cu, Mo, Pb, Zn است. نتایج تجزیه در جدول ۱ آمده است. با توجه به حد تشخیص و حساسیت دستگاهی، نمونه‌های منطقه دارای داده سنسورد نیستند. داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها، در نرم‌افزار آماری SPSS 18 بهنجار شده و پس از محاسبات آماری ساده، نمودارهای هیستوگرام، تجزیه خوشه‌ای و نقشه‌های بی‌هنجاری عناصر توسط نرم‌افزار Surfer 10 رسم و همچنین ضریب همبستگی‌ها و ضریب غنی‌شدگی عناصر، نیز برآورد شد (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۱- نتایج آنالیز ژئوشیمیایی سنگی نمونه‌های منطقه

Row	Samples	X	Y	Ag	As	Cu	Mo	Pb	Zn
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	**EH 1**	542554	3260217	0.4	2.5	3979	1.11	6	43
2	**EH 2**	542335	3261170	0.38	2.3	7941	7.3	7	52
3	**EH 3**	542526	3260525	0.57	2.3	6888	4.6	6	43
4	**EH 4**	543093	3260311	0.44	2.4	2869	1.51	24	24
5	**EH 5**	542280	3261478	0.34	2.3	1183	18.1	65	21
6	**EH 6**	542931	3260372	0.67	2.6	10014	34.9	30	64
7	**EH 7**	544432	3262225	0.18	2.4	100	8.8	30	10
8	**EH 8**	541943	3258152	0.26	2.2	1336	1.62	6	18
9	**EH 9**	540457	3259378	0.35	2.2	5706	1.32	5	38
10	**EH 10**	542676	3256462	0.22	2.5	163	3.7	8	15
11	**EH 11**	543923	3261607	3.2	2.5	33973	1.85	7	190
12	**EH 13**	542525	3260894	1.1	2.4	17475	113	27	101
13	**EH 19**	542717	3260002	0.65	2.5	14634	19.7	8	82
14	**EH 20**	542501	3260124	0.2	2.4	66	1.13	8	18
15	**EH 21**	542931	3260249	0.34	2.6	2043	5.3	125	24
16	**EH 22**	542659	3261018	0.53	2.5	7629	16.7	136	35
17	**EH91.1.P**	543423	3258466	0.41	2.5	2351	8.3	23	21
18	**EH91.2.P**	542447	3260186	0.62	2.5	4794	8.3	29	54
19	**EH91.3.P**	541559	3259905	0.18	2.6	27	1.21	20	48
20	**EH91.4.P**	541860	3258521	0.2	2.6	1219	1.55	17	18

www.SID.ir

Archive of SID

۴- بحث و بررسی

۴-۱- تحلیل‌های آماری

برای بهنجارسازی داده‌ها، از روش لگاریتمی استفاده شده است (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). در جدول ۲ پارامترهای آماری مهم برای ۶ عنصر هدف (Ag, As, Cu, Mo, Pb, Zn) برای داده‌های خام (غیرنرمال) نشان داده شده است. در جدول ۳ پارامترهای آماری مهم این عناصر، برای داده‌های لگاریتمی و بهنجارشده (نرمال) نشان داده شده است.

با توجه به جدول‌های ۲ و۳، مقدار واریانس به‌دست آمده برای نمونه‌ها، با مقدار میانگین و میانه، متفاوت است که این تفاوت به وجود بی‌هنجاری زمین‌شیمیایی در محدوده مورد مطالعه برمی‌گردد (Fletcher, 1997). در صورت نبود بی‌هنجاری، مقدار پارامترهای یادشده، تقریباً برابر می‌شد (جانسون، ۱۳۹۱).

پارامترهای آماری میانه و میانگین در داده‌های خام اختلاف زیادی را نشان می‌دهند که خود بیانگر غیرنرمال بودن داده‌هاست. اما در داده‌های لگاریتمی این اختلاف به مراتب کمتر و در بعضی عناصر خیلی به هم نزدیک است که نشان از نزدیک‌بودن داده‌ها به توزیع نرمال دارد (یزدی، ۱۳۸۱). مقدار چولگی نیز در داده‌های لگاریتمی در بیشتر عناصر به صفر نزدیک است.

۴-۲- نمودارهای هیستوگرام عناصر Ag, As, Cu, Mo, Pb, Zn

به‌منظور مشاهده چگونگی بهنجارسازی داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 18، نمودارهای هیستوگرام شش عنصر Ag, As, Cu, Mo, Pb, Zn در دو حالت داده‌های خام (غیرنرمال) و داده‌های لگاریتمی (نرمال) رسم شده است. نمودارهای رسم‌شده برای عناصر Ag, Mo, Pb, Zn به سمت چپ تمایل دارند که این حالت بیانگر تهی‌شدگی آنها در محدوده مورد مطالعه است (Cheng, 1999). عنصر As در هر دو حالت نرمال و غیرنرمال و همچنین عنصر Cu در حالت نرمال به سمت راست تمایل نشان می‌دهند، که خود بیانگر غنی‌شدگی و بی‌هنجاری واقعی و بالای این عناصر در محدوده مورد مطالعه است (شکل ۳).

جدول ۲- پارامترهای آماری مهم برای داده‌های خام (غیرنرمال) منطقه

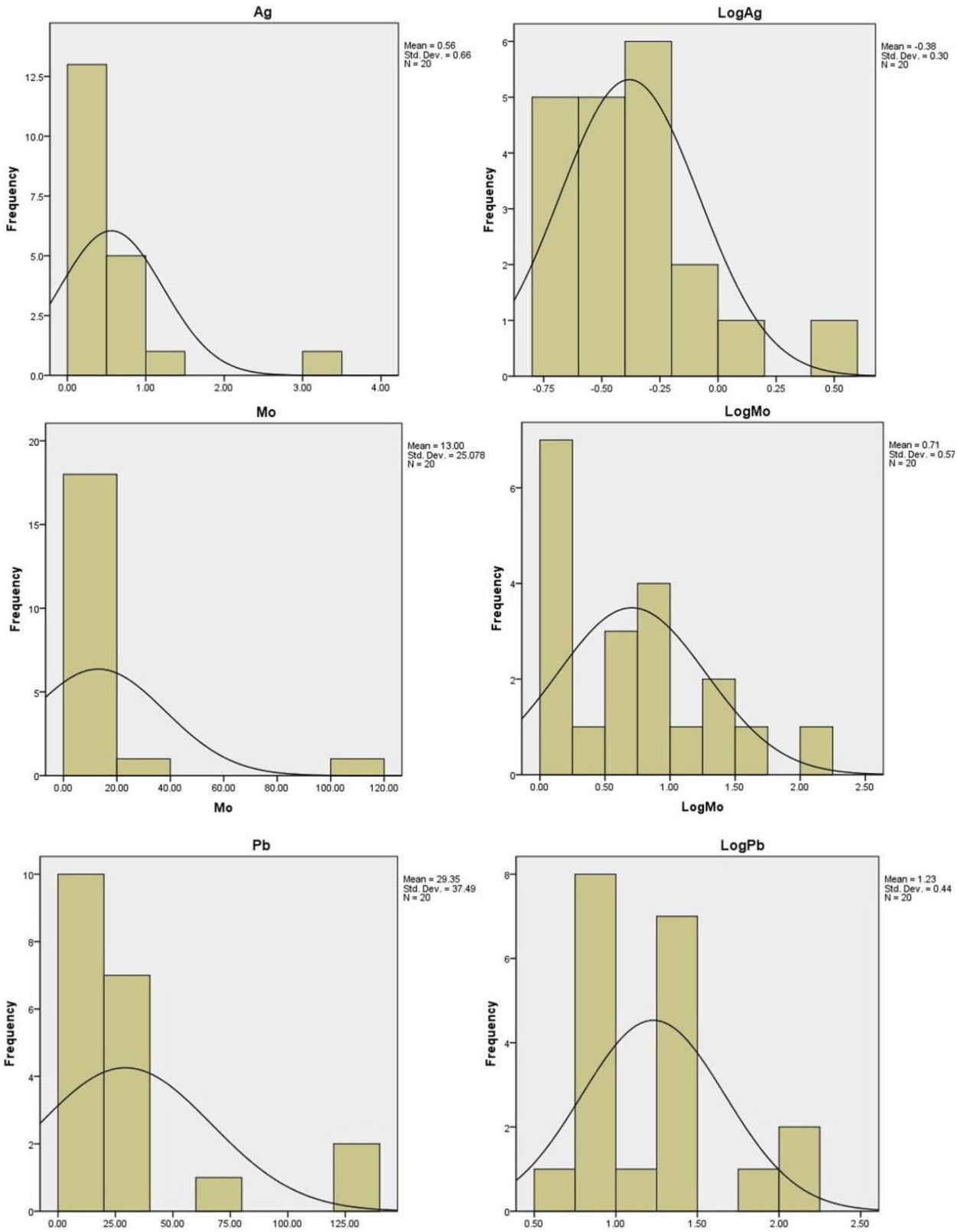
Element	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	میانه	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
Ag (ppm)	0.18	3.20	0.562	0.39	0.659	0.436	3.702	14.97
As (ppm)	2.20	2.60	2.44	2.5	0.127	0.016	-0.517	-0.65
Cu (ppm)	27.00	33973.0	6219.5	3424	8153.31	6.648	2.372	6.641
Mo (ppm)	1.11	113	13	4.95	25.078	628.9	3.694	14.79
Pb (ppm)	5.00	136	29.35	18.5	37.49	1405.5	2.249	4.400
Zn (ppm)	10.00	190	49.53	38	46.850	2194.9	2.181	5.465

جدول ۳- پارامترهای آماری مهم برای داده‌های لگاریتمی و بهنجارشده (نرمال) منطقه

Element	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	میانه	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
Ag log (ppm)	-0.74	0.51	-0.382	-0.41	0.300	0.090	1.310	2.839
As log (ppm)	0.34	0.41	0.386	0.4	0.023	0.001	-0.600	-0.543
Cu log (ppm)	1.43	4.53	3.3242	3.53	0.851	0.725	-0.931	0.094
Mo log (ppm)	0.05	2.05	0.706	0.69	0.571	0.326	0.650	-0.176
Pb log (ppm)	0.70	2.13	1.23	1.265	0.440	0.194	0.686	-0.377
Zn log (ppm)	1.00	2.28	1.556	1.58	0.348	0.122	0.449	-0.262

www.SID.ir

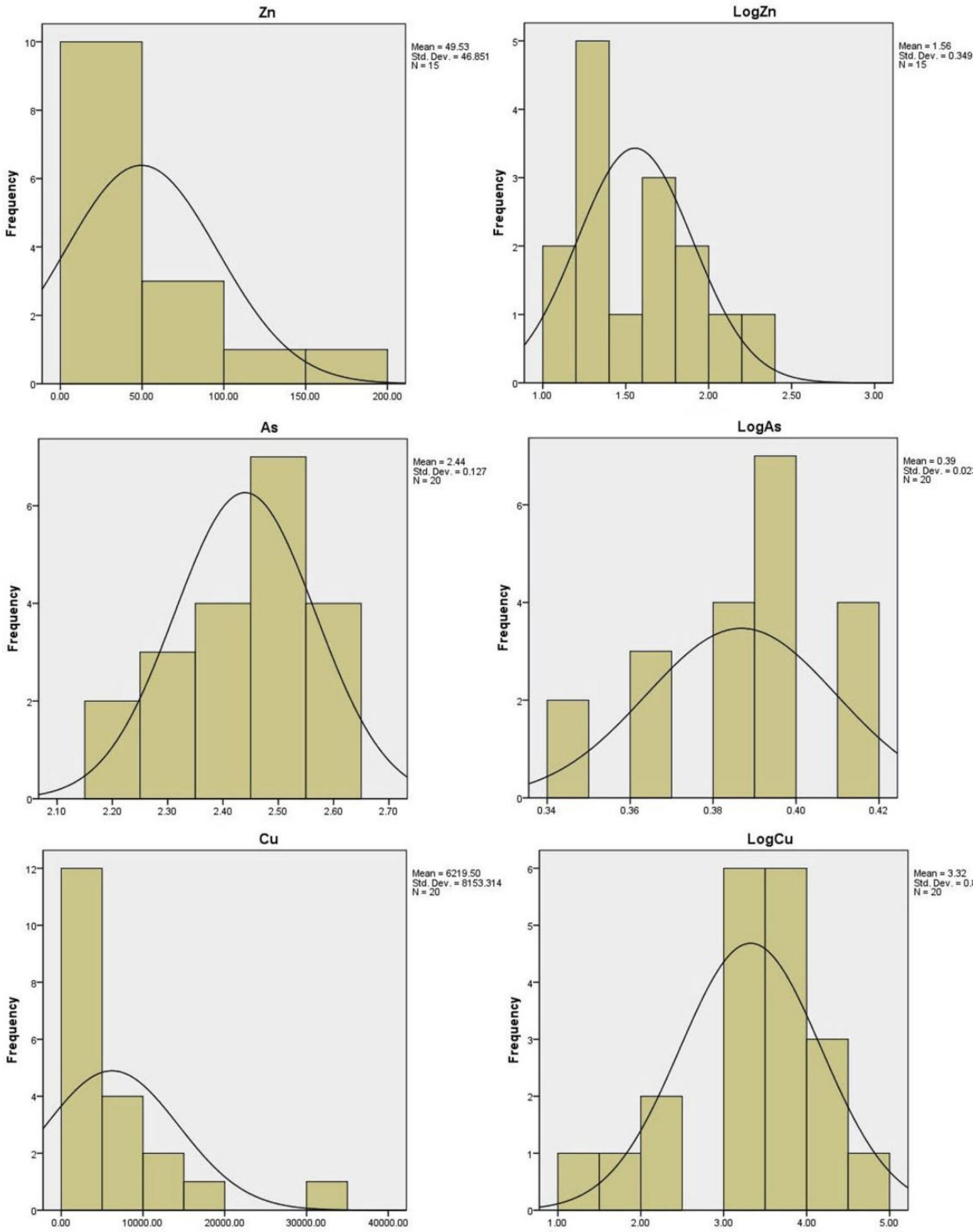
Archive of SID



شکل ۳- نمودار هیستوگرام عناصر Ag و Mo در دو حالت نرمال (لگاریتمی) و غیرنرمال

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ (ادامه)- نمودار هیستوگرام عناصر As, Zn, Pb و Cu در دو حالت نرمال (لگاریتمی) و غیرنرمال

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۳- ضریب همبستگی عناصر Ag, As, Cu, Mo, Pb, Zn

برای داشتن معیاری از همبستگی و ارتباط دو متغیر بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، از ضریب همبستگی استفاده می‌شود. در محاسبه ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر فرض نرمال‌بودن داده‌ها الزامی است. در شرایطی که این فرض برقرار نباشد، می‌توان داده‌ها را به‌گونه‌ای تبدیل کرد که توزیع داده‌های تبدیل‌یافته نرمال شود. البته در این‌گونه موارد تفسیر همبستگی متغیرها باید با دقت همراه باشد. مقدار ضریب همبستگی بین ۱- و ۱+ قرار می‌گیرد. اگر دو متغیر همبستگی کاملاً خطی همسو داشته باشند، ضریب همبستگی آنها ۱+ است. اگر دو متغیر دارای همبستگی کاملاً خطی غیر همسو باشند، ضریب همبستگی آنها ۱- است (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). ضریب همبستگی ۱+ به معنی وجود همبستگی قوی مستقیم و ضریب همبستگی ۱- به معنی وجود همبستگی قوی معکوس بین داده‌هاست (یزدی، ۱۳۸۱). ضریب همبستگی به دو روش اسپیرمن (برای داده‌های غیرنرمال) و پیرسون (برای داده‌های نرمال)، در جدول‌های ۴ و ۵، محاسبه شده است.

جدول ۴- همبستگی اسپیرمن برای داده‌های غیرنرمال

همبستگی پیرسون						
عناصر	Ag	As	Cu	Mo	Pb	Zn
Ag	1					
As	0.038	1				
Cu	**0.918**	**-0.048**	1			
Mo	0.480	0.048	0.446	1		
Pb	0.028	0.417	**-0.119**	0.594	1	
Zn	**0.944**	0.254	**0.972**	0.324	**-0.1**	1

جدول ۵- همبستگی پیرسون برای داده‌های نرمال (لگاریتمی)

همبستگی پیرسون						
عناصر	Ag	As	Cu	Mo	Pb	Zn
Ag	1					
As	0.038	1				
Cu	**0.918**	**-0.048**	1			
Mo	0.480	0.048	0.446	1		
Pb	0.028	0.417	**-0.119**	0.594	1	
Zn	**0.944**	0.254	**0.972**	0.324	**-0.1**	1

با توجه به جدول‌های ۴ و ۵، همبستگی در هر دو صورت پیرسون و اسپیرمن برای عناصر نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، سرب و روی، دارای نتایج عمده زیر است:

- عنصر نقره همبستگی خیلی بالا با عنصر روی، همبستگی خیلی بالا (داده‌های غیرنرمال) و بالا (داده‌های نرمال) با عنصر مس و همبستگی متوسط با مولیبدن دارد.
- عناصر آرسنیک، مولیبدن و سرب همبستگی متوسط تا پایین با بقیه عناصر نشان می‌دهند.
- عنصر روی با عناصر نقره و مس همبستگی خیلی بالا دارد.

۴-۴- تحلیل نمودار خوشه‌ای

تحلیل نمودار خوشه‌ای، یکی از روش‌های چند متغیره است که هدف از آن دست‌یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس شباهت هر چه بیشتر درون‌گروهی و اختلاف هرچه بیشتر بین گروهی است. برای خوشه‌بندی داده‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش اتصال است که در آن به‌ترتیب اشیا (نمونه‌ها و یا متغیرها) با شباهت بیشتر با استفاده از روش بازگشتی به هم متصل می‌شوند. تمامی روش‌های خوشه‌بندی مبنی بر ماتریس شباهت‌هاست. معمولاً نتایج حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای را به صورت یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندوگرام نمایش می‌دهند. دندوگرام یک ساختار سلسله مراتبی است که نحوه اتصال نمونه‌ها و یا متغیرها را به یکدیگر نشان می‌دهد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). شکل ۴ نمودار تحلیل خوشه‌ای عناصر محدوده مورد مطالعه را در حالت نرمال و غیرنرمال نشان می‌دهد.

با توجه به این شکل، در حالت نرمال (شکل ۴- الف) عناصر سرب و روی در یک خوشه قرار گرفته‌اند که با توجه به نزدیکی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی دو عنصر این مسئله بعید نیست. آرسنیک با مولیبدن وضعیتی مشابه نشان می‌دهند. نقره با این دو دسته و با مولیبدن، رابطه‌ی معناداری دارد. مس در خوشه‌ای جداگانه قرار گرفته است و با سرب دارای بالاترین درجه شباهت است. این در حالی است که در شکل ۴- ب بیشتر عناصر در یک خوشه قرار گرفته است که نشان از درجه شباهت مشابه و اندک آنها دارد. مس در خوشه‌ای جداگانه قرار گرفته و بیشترین درجه شباهت را با سرب در بین عناصر آن خوشه نشان می‌دهد. سایر ارتباطات خوشه‌ای عناصر با هم، در شکل قابل بررسی است.

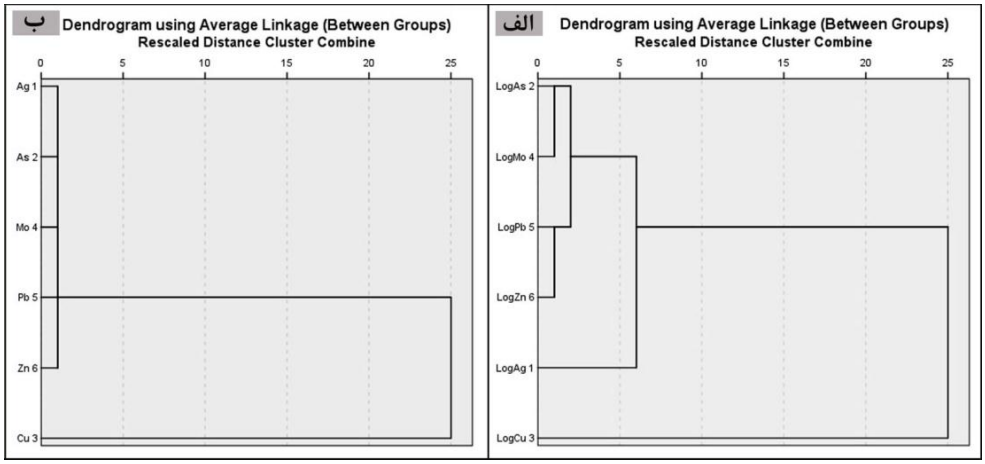
۴-۵- نقشه بی‌هنجاری‌ها

نقشه‌های کنتوری، نقشه‌هایی هستند که با ایجاد پیوستگی در مقدار متغیر ناپیوسته از طریق رسم خطوط تراز یا کنتور، حاصل می‌شوند (رولینسون، ۱۹۹۳). با استفاده از نرم‌افزار Surfer 10 و به‌صورت کنتوری با روش کریجینگ، نقشه بی‌هنجاری عناصر رسم شده است (شکل ۵) که نتایج آن به شرح ذیل است:

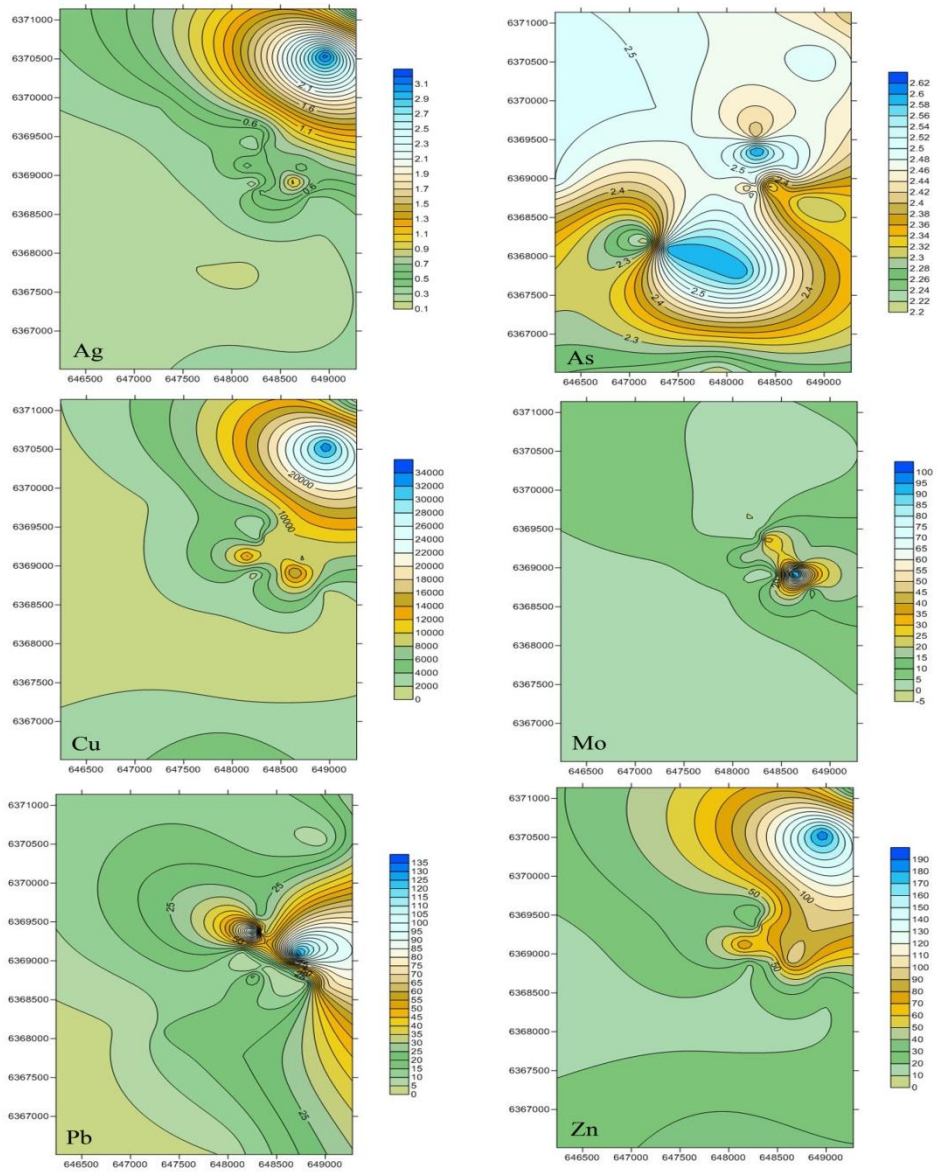
- با توجه به همبستگی‌های خیلی بالا بین عناصر Ag, Cu, Zn، نقشه بی‌هنجاری‌های آنها نیز حاکی از ارتباط زیاد آنها با یکدیگر است به‌گونه‌ای که این سه عنصر در شمال شرق محدوده بی‌هنجاری نشان می‌دهند.
- عناصر دیگر (AS, Mo, Pb) بیشترین بی‌هنجاری را در میانه (عنصر As) و مایل به بخش شرقی منطقه (Mo, Pb)، نشان می‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- نمودار تجزیه خوشه‌ای حاصل از (الف) داده‌های نرمال و (ب) داده‌های غیرنرمال



شکل ۵- نقشه بی‌هنجاری زمین‌شیمی سنگی عناصر Ag, As, Cu, Mo, Pb, Zn

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۶- ضریب غنی‌شدگی

از پارامترهای آماری که در پروژه‌های اکتشاف زمین‌شیمیایی کاربرد مهمی دارد، ضریب غنی‌شدگی است، که از تقسیم‌کردن غلظت میانگین عنصر مورد نظر بر کلارک همان عنصر در همان سنگ مشابه به‌دست می‌آید (Ranasinghe et al., 2009). جدول ۶ غنی‌شدگی عناصر نقره، مس و مولیبدن تا چند برابر را به‌خوبی بیان می‌کند. در این بین عنصر مس دارای بیشترین غنی‌شدگی است. عناصر سرب و روی وضعیتی متفاوت دارند و تهی‌شدگی را نشان می‌دهند.

جدول ۶- میانگین غلظت عناصر در پوسته زمین (Gocht et al., 1988) به‌همراه ضریب غنی‌شدگی آنها

میانگین غلظت عناصر در پوسته زمین				
Ag(ppm)	Cu(ppm)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
0.07	50	2	10	70
ضریب غنی شدگی عناصر				
Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
8.03	124.39	6.5	2.935	0.708

نتیجه‌گیری

پس از مطالعه جدول تجزیه عنصر مس و پنج عنصر همراه آن (نقره، آرسنیک، مولیبدن، سرب و روی) و همچنین بررسی پارامترهای آماری و نمودارهای مربوطه، نمودارهای هیستوگرام برای عناصر نقره، مولیبدن، سرب و روی چولگی منفی و تهی‌شدگی و برای عناصر مس و آرسنیک چولگی مثبت نشان می‌دهند که حاکی از غنی‌شدگی در نمونه‌های منطقه دارد.

همبستگی عنصر مس، با عناصر نقره و روی خیلی بالاست در حالی که عناصر آرسنیک، مولیبدن و سرب همبستگی متوسط تا پایین با بقیه عناصر نشان می‌دهند. با توجه به جدول ۲ میانگین عنصر مس در نمونه‌های برداشت‌شده 6219.5 ppm بوده که بیشترین مقدار آن در نمونه EH-11 (33973 ppm) است. همچنین با توجه به جدول ۶ عنصر مس در بین سایر عناصر همراه، بیشترین ضریب غنی‌شدگی (124.39) را دارد. بی‌هنجاری عناصر Ag، Cu و Zn در بخش شمال‌شرقی منطقه، بی‌هنجاری عنصر As در مرکز محدوده و بی‌هنجاری عناصر Mo و Pb بیشتر معطوف به شرق منطقه است.

مراجع

"اطلس راه‌های کشور" ۱۳۹۱، موسسه گیتاشناسی

باتاچاریا، گ، جانسون، ر.، مترجم: ابن شهرآشوب، م، میکائیلی، ف.، ۱۳۹۱، "مفاهیم و روش‌های آماری (جلد اول)" مرکز نشر دانشگاهی، ۳۸۲ صفحه.

حسنی پاک، ع و شرف‌الدین، م.، ۱۳۹۰، "تحلیل داده‌های اکتشافی" چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ صفحه.

روزبهانی، ل و آروین، م.، ۱۳۸۹، "پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های ریولیتی و آندزیتی منطقه نصیرآباد، جنوب غرب راین، کرمان" مجموعه مقالات پترولوژی دانشگاه شهید باهنر، ۱۶ صفحه.

رولینسون، ه. آ.، مترجم: مر، ف.، مدبری، س.، ۱۹۹۳، "کاربرد داده‌های زمین‌شیمیایی" انتشارات نشر دانشگاهی، ۴۵۲ صفحه.

فتاحی، ح. و همکاران.، ۱۳۹۱، "اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای و لیتوژئوشیمیایی در منطقه خونیک (شمال شرق قاین)" مجموعه مقالات دانشگاه آزاد واحد زرند، ۱۵ صفحه.

قربانی، م.، ۱۳۸۱، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران" پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ۶۷۳ صفحه.

"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ ساردوئیه" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یزدی، م.،۱۳۸۱، "روش‌های مرسوم در اکتشافات ژئوشیمیایی" انتشارات دانشگاه شهید بهشتی،۱۸۰ صفحه.

Cheng, Q., 1999, "Spatial and Scaling Modelling for Geochemical Exploration", *P.175-194.*

Dimitrijevic, M.D. 1973, "Geology of Kerman region".*G.S.A.,Rep. No. Yu/52.,P. 334.*

Fletcher, W.K., 1997, "Stream Sediment Geochemistry in Today's Exploration World", *University of British Columbia, P.249–260.*

Gocht, W. R., Zantop, H., Eggert, R. G., 1988, "International Mineral Economics", *Springer-Verlag, P.271.*

Ranasinghe P.N., Fernando, G.W.A.R, Dissanayake, C. B., Rupasinghe, M.S., Witter, D.L., 2009, "Statistical evaluation of stream sediment geochemistry in interpreting the river catchment of high-grade metamorphic terrains", *Journal of Geochemical Exploration, P.97–114.*

www.SID.ir