Geochemistry
Vol.3, No.1 (Spring 2014)

شناسایی نواحی پتانسیل‌دار مس در منطقه پاریز با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای

ابراهیم اصلانی*[۱]، عباس بحرودی[۲]، قاسم قاسمی سمسکنده[۱]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار تکتونیک، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: easlani85@gmail.com

دریافت مقاله: ۹۱/۱۰/۲۵ پذیرش مقاله: ۹۲/۳/۲۴

چکیده

منطقه پاریز در بخش جنوب‌غربی استان کرمان و بر روی کمربند آتشفشانی- پلوتونیک ارومیه- دختر و کمربند مس‌زایی ایران قرار دارد. هدف از این مطالعه، شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالای مس در منطقه پاریز با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای است. داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شده، ۳۹۲ نمونه ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای است که توسط روش ICP-MES و برای ۱۵ عنصر تجزیه شده‌اند. پس از اعمال پیش‌پردازش‌های ضروری شامل جایگزینی داده‌های سنسورد، جدایش جوامع سنگی و حذف مولفه همزاد (سن ژنتیک)، تصحیح مقادیر خارج از ردیف و بهنجارسازی، پردازش‌های آماری چند متغیره بر روی داده‌ها انجام شد. با توجه به ماهیت برداری داده‌های رسوبات آبراهه‌ای، به منظور رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی از روش تخمین شبکه‌ای استفاده شد. برای ارزیابی نتایج، از محل رخدادهای مس در منطقه استفاده شد. با توجه به نسبت "درصد همپوشانی با رخدادهای مس به درصد مساحت ناحیه مطلوب"، می‌توان گفت که نقشه شاخص غنی‌شدگی عملکرد بهتری در شناسایی مناطق هدف داشته است.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای، تخمین شبکه‌ای، تفکیک جوامع سنگی، پتانسیل‌یابی مس، پاریز

۱- مقدمه

اکتشافات ژئوشیمیایی، کارآیی خود را در زمینه‌های اکتشاف توده‌های کانساری پنهان در دهه‌های اخیر نشان داده است. ویژگی این رشته از فنون اکتشافی، کشف نهشته‌های سطحی کم‌عیار و یا توده‌های معدنی عمیق پرعیار است. ژئوشیمی اکتشافی با تکیه بر اصول رفتار عناصر شیمیایی و مناسبات گروهی آنها، در پی یافتن کلیدهایی است که با استفاده از آنها نقاط امیدبخش و زون‌های کانی‌سازی را معرفی نماید. در این میان، رسوبات آبراهه‌ای به‌عنوان محیط نمونه‌گیری مهمی در برداشت‌های ژئوشیمی اکتشافی مطرح است (Borovec, 1996). نمونه‌های برداشت‌شده، ترکیبی از مواد حاصل از فرسایش یک یا چند توده واقع در بالادست حوضه آبریز است، لذا این نمونه‌ها معرف مناسبی از محیط‌های واقع در مسیر حرکت آب می‌باشند. امتیاز روش بررسی رسوبات آبراهه‌ای در اکتشافات ژئوشیمیایی این است که در محیط‌های هوازده بسیاری از کانی‌ها، بویژه انواع سولفیدی ناپایدار بوده و بر اثر اکسایش و دیگر واکنش‌های شیمیایی تجزیه می‌شوند، که این امر در پراکندگی هر چه بیشتر کانی‌ها و عناصر معرف آنها در محلول نقش مهمی دارد، به طوری که گاه حمل آنها تا مسافت نسبتاً دور در حوضه آبریز ادامه می‌یابد، که این خود موجب افزایش وسعت هاله‌های ثانویه و به تبع آن سبب سهولت اکتشاف کانسارهای واقع در بالادست می‌گردد (حسنی‌پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰).

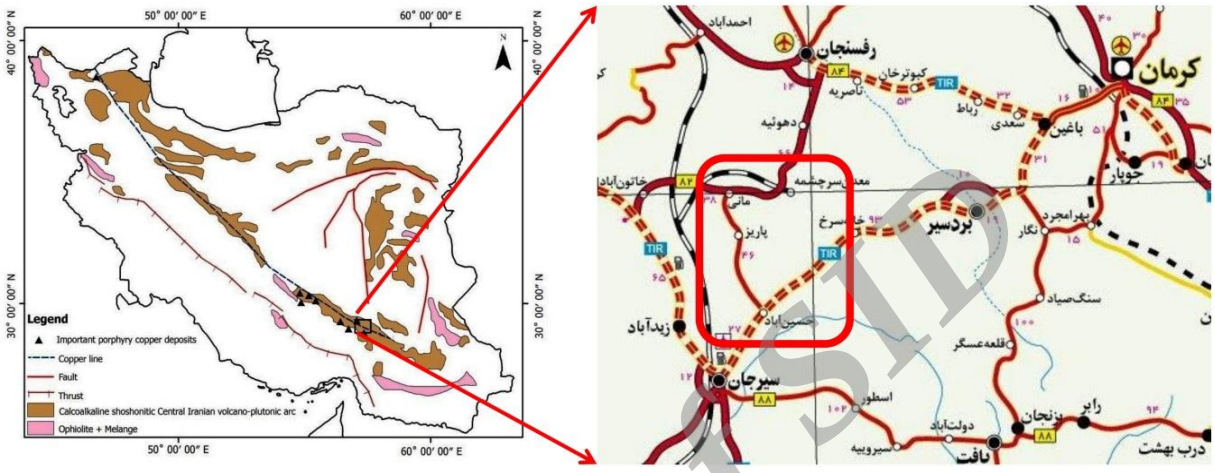
یکی از اصول اساسی مؤثر در تحلیل صحیح متغیرها در جوامع ژئوشیمیایی، فرض همگن بودن داده‌هاست که در نظر نگرفتن این فرض می‌تواند باعث ایجاد خطا در تحلیل داده‌ها شود. مهم‌ترین متغیر سطحی دخیل در ناهمگنی جوامع ژئوشیمیایی، نوع سنگ بستر رخنمون‌دار است که در حقیقت برای رسوبات نقش منشا را دارد. بر همین اساس، به دلیل تغییرات متعدد سنگ‌شناختی در ناحیه منشا رسوبات آبراهه‌ای، ممکن است مقدار زمینه عناصر مورد بررسی تا چندین برابر تغییر کند. بنابراین توجه به عامل سنگ منشا و تغییرات سنگ‌شناختی در مورد داده‌های رسوبات آبراهه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد و لزوم حذف این مؤلفه از روی داده‌های ژئوشیمیایی ضروری است (حسنی‌پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰).

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه پاریز

منطقه پاریز، از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در جنوب زون ایران مرکزی و به‌طور عمده در کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد. این ناحیه، بخشی از

Archive of SID
www.SID.ir

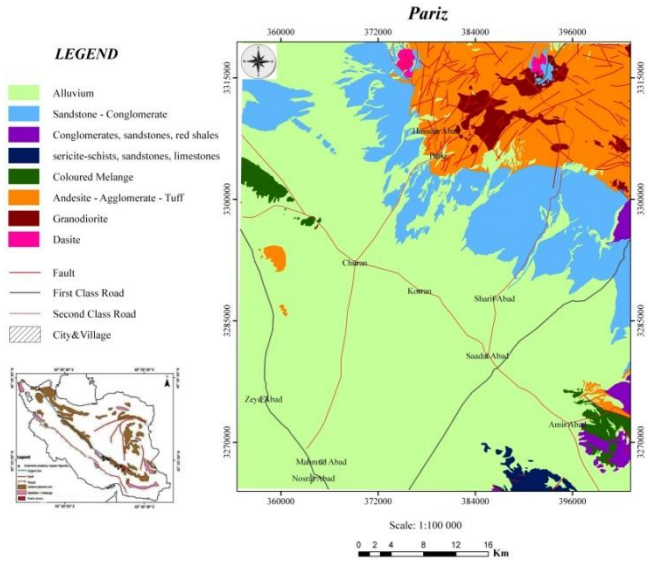
برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان است که با مشخصات طول جغرافیایی '۳۰ °۵۵ الی °۵۶ شرقی و عرض جغرافیایی '۳۰ °۲۹ الی °۳۰ شمالی، در شمال شرقی شهرستان سیرجان قرار دارد (شکل ۱). بر اساس نقشه زمین‌شناسی این منطقه (شکل ۲)، قدیمی‌ترین سنگ‌های این ناحیه را برون‌زادهای ائوسن شامل گدازه‌های تراکی آندزیتی- تراکی بازالتی، آذرآواری‌های وابسته، ماسه‌سنگ، شیل و سنگ آهک تشکیل می‌دهد. توده‌های نفوذی، بیشتر ترکیب مونزوگرانودیوریت تا سینیت دارند. از نظر بررسی‌های زمین‌ساختی، گسل‌های غالب در این ناحیه را شکستگی‌های برشی همیوغ (Conjugate Shear) با روندهای NE و NW تشکیل می‌دهند که با سامانه تنش غالب منطقه، یعنی تراکم در جهت NE با مولفه امتدادلغز راستگرد، همخوانی دارد (Dimitrijevic, 1973).



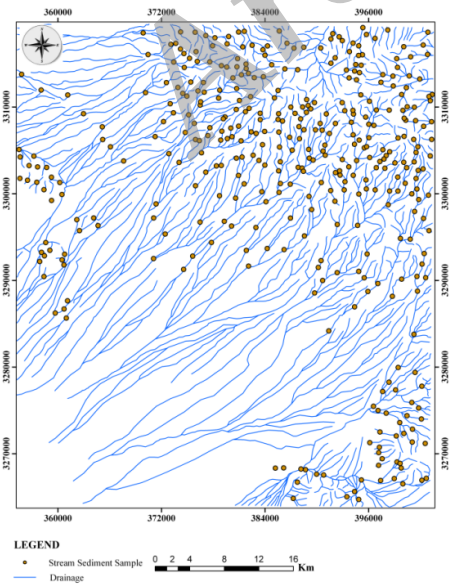
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

۳- روش تحقیق

داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شده در برگه پاریز، مربوط به نمونه‌های برداشت شده توسط یوگوسلاوها در سال ۱۳۴۹ در خلال پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در این منطقه است (Djordjevic, 1971). مطالعات ژئوشیمیایی در این محدوده، با برداشت ۳۹۲ نمونه از رسوبات آبرهه‌ای آغاز شد. در عملیات نمونه‌برداری ژئوشیمیایی در این برگه، از بخش‌های دشت و رسوبات عهد حاضر (آبرفت) نمونه‌برداری نشد. موقعیت نمونه‌های آبراهه‌ای برداشت شده در برگه پاریز در شکل ۳ نشان داده شده است. نمونه‌های برداشت شده برای ۱۵ عنصر و به روش ICP-MES تجزیه شیمیایی شدند که در این میان، عناصر Bi, As, Sb و W به دلیل داشتن مقادیر سنسورد بسیار زیاد و همچنین معتبر نبودن (یکسان بودن) دیگر مقادیر ثبت شده، در این مطالعه از محاسبات آماری کنار گذاشته شدند. سپس پردازش‌های آماری بر روی مقادیر سایر عناصر انجام شد و پس از محاسبه مقادیر شاخص غنی‌شدگی، مقادیر بازماند و مقادیر تحلیل عاملی، به منظور ترسیم نقشه‌های ژئوشیمیایی با روش تخمین شبکه‌ای، از نرم‌افزارهای Auto CAD 2007 و Arc Map 9.3 استفاده شده است.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز



شکل ۳- موقعیت نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در منطقه پاریز

Archive of SID
www.SID.ir

۴- بحث و بررسی

۴-۱- آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها

در هنگام استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی، ضروری است که فرایندهای پیش‌پردازش بر روی داده‌ها انجام شود. این پیش‌پردازش‌ها شامل مواردی مانند شناسایی و جایگزینی مقادیر سنسورد، جداسازی جوامع سنگی، حذف اثر سین‌ژنتیک، تصحیح مقادیر خارج از ردیف و بهنجارسازی داده‌ها برای فرایندهای چند متغیره است (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰).

۴-۱-۱- شناسایی و جایگزینی مقادیر سنسورد

داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که به دلیل بالا بودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری و یا کوچک بودن مقادیر عناصر در این داده‌ها، به صورت مقادیر کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شوند. وجود مقادیر سنسورد در بین سری داده‌ها، بررسی‌های آماری را دچار اشکال خواهد کرد، زیرا روش‌های آماری، به مجموعه کاملی از داده‌های غیرسنسورد نیاز دارند و وجود چنین مقادیری در مجموعه داده‌ها باعث بروز مشکلاتی از جمله ارزیابی‌های غیردقیق در تعیین مقدار زمینه و شدت بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی می‌شود (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). به منظور تخمین و جایگزینی مقادیر سنسورد، روش‌های مختلفی وجود دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به روش‌های جایگزینی ساده، روش ترسیمی و روش بیشترین درست‌نمایی کوهن اشاره کرد (Sanford et al., 1993).

با توجه به اینکه روش جایگزینی ساده، تحت تأثیر پارامترهای آماری جامعه داده‌ها نبوده و صرفاً تابع حد حساسیت روش اندازه‌گیری می‌باشد، در این تحقیق به منظور جایگزینی مقادیر سنسورد، از روش بیشترین درست‌نمایی کوهن استفاده شده است.

۴-۱-۲- جداسازی جوامع سنگی

در اکتشافات ژئوشیمیایی به روش رسوبات آبراهه‌ای و یا لیتوژئوشیمیایی، تغییرپذیری دارای دو مؤلفه اصلی است: ۱) مؤلفه سین‌ژنتیک که در ارتباط با سنگ‌زایی و تغییرات سنگ‌شناختی است؛ و ۲) مؤلفه اپی‌ژنتیک که در ارتباط با فرایندهای کانی‌سازی بوده و به عنوان مؤلفه مفید اکتشافی شناخته شده است. برای حذف مؤلفه سین‌ژنتیک، با توجه به این که هر نمونه رسوب آبراهه‌ای فقط از سنگ‌های بالادست خود مشتق می‌شود، لازم است تقسیم‌بندی نمونه‌ها بر اساس نوع و یا انواع سنگ بستر رخنمون‌دار موجود در بالادست آن صورت پذیرد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

در این مطالعه، با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه و محل قرارگیری نمونه‌ها و حوضه آبریز بالادست آنها که از نقشه‌های توپوگرافی حاصل می‌شود، سنگ بالادست تمام نمونه‌ها شناسایی شده و بر اساس تعداد سنگ بالادست، به صورت جوامع زیر تقسیم‌بندی شده‌اند:

۱- جامعه تک‌سنگی: ۲۲۱ نمونه (شامل ۶ تیپ سنگی مختلف)

۲- جامعه دوسنگی: ۱۳۲ نمونه (شامل ۹ تیپ مجموعه دو سنگی)

۳- جامعه سه سنگی: ۳۰ نمونه (شامل ۷ تیپ مجموعه سه سنگی)

۴- جامعه چهارسنگی: ۸ نمونه (شامل ۳ تیپ مجموعه چهارسنگی)

۵- جامعه بیش از چهارسنگی: ۱ نمونه

در ادامه، لازم است واحدهای سنگی جداسازی شده در مرحله قبل مشابه‌سازی شوند. در این مرحله، واحدهای سنگی مشابه یا تقریبا مشابه در یک گروه قرار گرفته‌اند (جدول ۱). با اعمال این مشابه‌سازی، تعداد تیپ‌های سنگی کمتر شده و در نتیجه، تعداد نمونه‌های موجود در هر تیپ سنگی افزایش می‌یابند و با این کار، انجام عملیات آماری بر روی این مجموعه‌ها از اعتبار بالاتری برخوردار خواهد بود.

جدول ۱- نتایج خلاصه‌سازی و تبدیل واحدهای سنگی برگه پاریز

اولیه		ثانویه	شرح
1 Ng	⟶	C&MGS	ماسه‌سنگ، میکروکنگلومرا، آرنایت، به ندرت برش
2 Ng	⟶		
Ol-M	⟶		
1 Ol-M	⟶		
$K^2_{2,3}$	⟶	K^2_{23}	آمیزه‌های رنگی
Pz	⟶	Pz	سریسیت شیست، ماسه‌سنگ، کراتوفیر
Ev	⟶	Ev	آگلومرا، توف، گدازه‌های آندزیتی
Dc	⟶	Dc	داسیت و آذرآواری داسیتی
Gd	⟶	Gd	گرانودیوریت، دیوریت پورفیری

بعد از جدایش جوامع سنگی، در برخی از جوامع تعداد نمونه‌ها کمتر از ۱۰ نمونه بوده و به حد تشکیل یک جامعه مستقل نرسیده است و به همین دلیل نمی‌توان روی این جوامع کار آماری قابل قبولی انجام داد (Templ et al., 2008). لذا این جوامع توسط تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر منطق فازی به دو گروه نسبتاً همگن با تعداد نمونه‌های کافی تقسیم شدند (شکل ۴). شرح کامل زیر جوامع حاصل از جدایش جوامع سنگی و خوشه‌بندی داده‌ها در منطقه پاریز، در جدول ۲ نشان داده شده است.

۴-۱-۳- خنثی‌سازی مؤلفه سین‌ژنتیک

پس از جدایش جوامع سنگی، مقدار زمینه برای نمونه‌های هر جامعه محاسبه گردید که این مقدار معادل با همان مؤلفه سین‌ژنتیک تغییرپذیری است. برای محاسبه مقدار زمینه در هر جامعه، می‌توان از مقادیر میانگین و یا میانه همان جامعه استفاده کرد. به دلیل اینکه مقدار میانگین تحت تاثیر شکل تابع توزیع مقادیر نمونه‌هاست، در این مطالعه از مقدار میانه به عنوان

Archive of SID

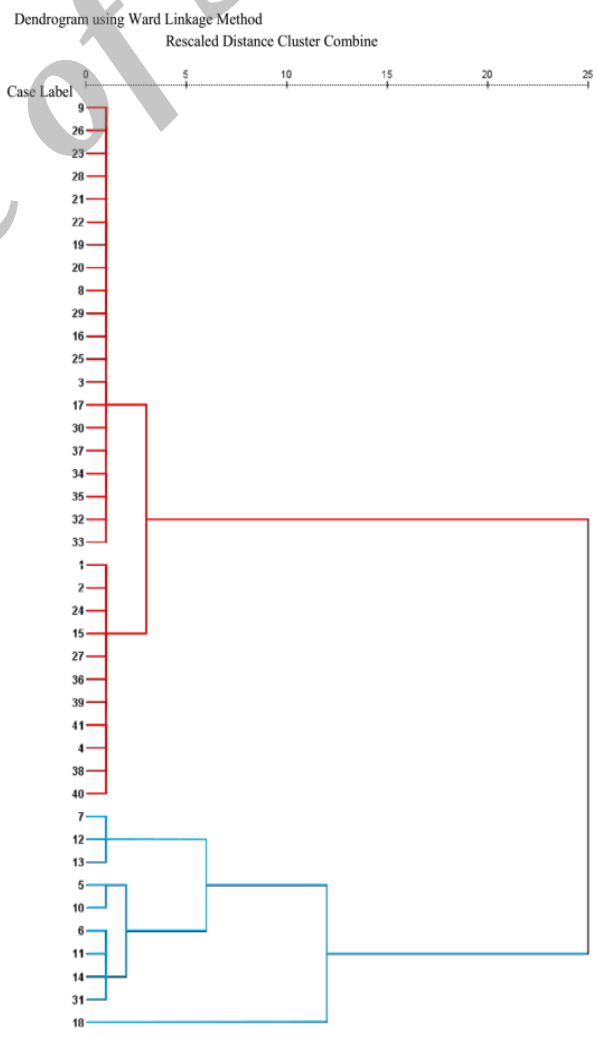
www.SID.ir

زمینه استفاده شده است. با به دست آوردن مقدار زمینه هر عنصر در هر جامعه، خنثی‌سازی مؤلفه سین‌ژنتیک به دو صورت زیر قابل محاسبه است (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰):

۱- محاسبه مقادیر بازماند: در این حالت، مقدار زمینه از هر یک از داده‌های مربوط به آن جامعه کسر می‌شود.

۲- محاسبه شاخص غنی‌شدگی: این حالت با تقسیم کردن هر یک از داده‌ها بر مقدار زمینه حاصل می‌شود.

در این مطالعه، با استفاده از هر دو روش فوق اثر مؤلفه سین‌ژنتیک حذف شده است. با این وجود در مراحل بعد، از نتایج روش شاخص غنی‌شدگی استفاده شده است. دلیل این کار، مستقل بودن مقادیر شاخص غنی‌شدگی از تغییرات سنگ‌شناختی می‌باشد و همچنین شاخص غنی‌شدگی تا حدود زیادی باعث کاهش خطاهای تصادفی می‌شوند. پس از محاسبه شاخص غنی‌شدگی برای جوامع مختلف و حذف مؤلفه سین‌ژنتیک از آنها، می‌توان آنها را با هم ادغام و تحت عنوان یک جامعه آماری بررسی کرد.



شکل ۴- تحلیل خوشه‌ای نمونه‌های فاقد جامعه مستقل

جدول ۲- زیر جوامع نهایی حاصل از جدایش جوامع سنگی در برگه پاریز

تعداد سنگ بالادست	تیپ سنگ بالادست	تعداد نمونه‌های هر تیپ
۱	Ev	۱۰۸
	C&MGS	۷۸
	$K^2_{2,3}$	۱۸
۲	Gd+Ev	۷۲
	C&MGS+Ev	۳۲
	C&MGS+$K^2_{2,3}$	۱۶
۳	Ng+Gd+Ev	۲۷
نتایج حاصل از خوشه‌بندی		
گروه اول	-	۱۰
گروه دوم	-	۳۱

۴-۱-۴- شناسایی و تصحیح مقادیر خارج از ردیف

تابع توزیع بسیاری از عناصر غیرنرمال بوده و دارای چولگی مثبت و یا منفی است. در این میان، مقادیر پرعیار اهمیت بالاتری دارند و می‌توان گفت که این مقادیر، همان بی‌هنجاری‌ها (در مقیاس ناحیه‌ای) و یا پیکره‌های کانسنگ پرعیار (در مقیاس محلی) هستند (Filzmoser & Hron, 2008).

مقادیر خارج از ردیف موجود در تابع توزیع عناصر باید حذف و یا تصحیح شوند. با توجه به اینکه حذف این مقادیر جایز نبوده و مخصوصا در مورد مقادیر با عیار بالا، باعث از بین رفتن مناطق بی‌هنجار می‌شوند، لازم است این مقادیر با یک مقدار مناسب جایگزین شوند. از جمله روش‌های شناخته‌شده برای تصحیح مقادیر خارج از ردیف، می‌توان به روش‌هایی مانند استفاده از نمودار احتمال، روش دورفل و روش فانوپ اشاره کرد (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). در این مطالعه، به منظور جایگزینی مقادیر خارج از ردیف، از روش نموداری دورفل و همچنین از نمودار QQ Plot استفاده شده است.

۴-۱-۵- بهنجارسازی داده‌ها

بیشتر روش‌های آماری بر مبنای نرمال بودن تابع توزیع داده‌ها است. پس از جایگزینی مقادیر خارج از ردیف، جامعه آماری تا حدود زیادی به توزیع نرمال نزدیک می‌شود ولی هنوز تا نرمال شدن به شکل واقعی فاصله زیادی دارد. در این شرایط می‌توان با استفاده از توابع تبدیل مختلف، توزیع داده‌ها را تقریبا به توزیع نرمال تبدیل کرد (Reiman & Flizmoser, 2000; Miesch, 1997). از جمله تبدیل‌های معمول مورد استفاده برای بهنجارسازی داده‌های ژئوشیمیایی، می‌توان به تبدیل لگاریتمی، تبدیل لگاریتمی سه پارامتری و تبدیل کاکس و باکس اشاره کرد (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). در این تحقیق به منظور نرمال‌سازی داده‌ها از تبدیل کاکس و باکس استفاده شده است (شکل ۵).

Archive of SID

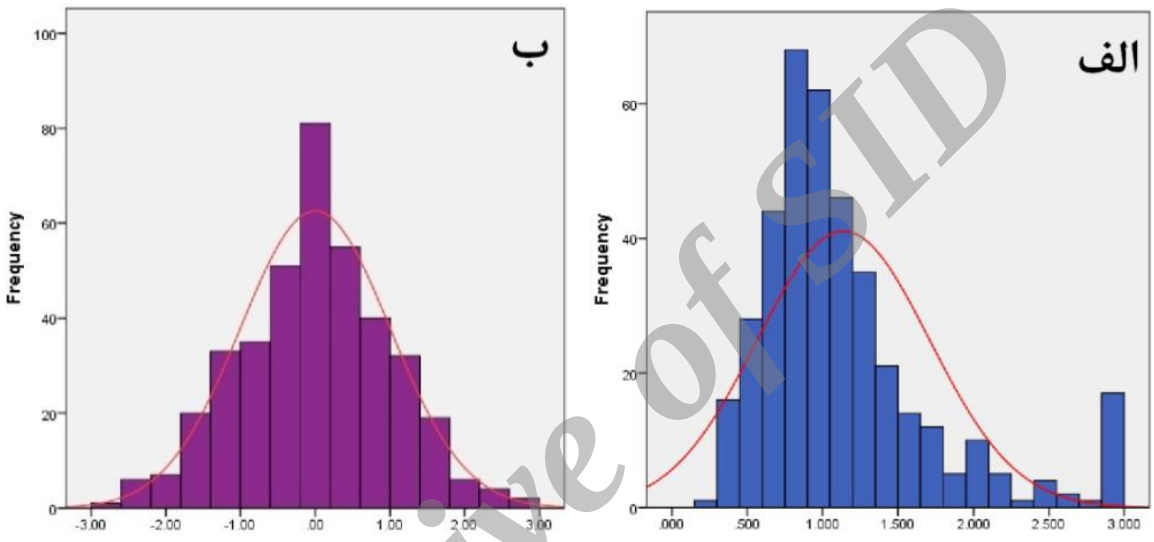
www.SID.ir

۴-۲- پردازش داده‌ها

پس از انجام پیش‌پردازش‌های فوق، داده‌ها برای انجام پردازش‌های آماری آماده شده‌اند. در این مطالعه به منظور تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی محدوده مورد بررسی، از روش‌های آماری تک‌متغیره، دومتغیره و چندمتغیره استفاده شده است.

۴-۲-۱- بررسی آمار تک‌متغیره

در بررسی‌های آماری تک‌متغیره، توزیع فراوانی و ویژگی‌های آماری هر یک از عناصر به صورت جداگانه بررسی می‌شود. بعد از انجام پردازش‌های اولیه بر روی داده‌های ژئوشیمیایی و حذف مؤلفه سین‌ژنتیک از روی نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه پاریز، بررسی‌های آماری تک‌متغیره بر روی آنها انجام شد که نتیجه آن در جدول ۳ دیده می‌شود. قابل ذکر است که این نتایج مربوط به مقادیر شاخص غنی‌شدگی نمونه‌ها می‌باشد.



شکل ۵- هیستوگرام توزیع فراوانی عنصر مس؛ الف- قبل از بهنجارسازی؛ ب- بعد از بهنجارسازی

جدول ۳- پارامترهای آماری مربوط به مقادیر توزیع شاخص غنی‌شدگی داده‌های ژئوشیمیایی

		Zn	Pb	Ag	Cr	Ni	Cu	Co	Sn	Ba	B	Mo
تعداد نمونه		۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲	۳۹۲
میانگین		۱/۱	۱/۴۸	۱/۱۲	۱/۳۴	۱/۲	۱/۳۳	۱/۱۵	۱/۶۳	۱/۰۴	۱/۱۳	۱/۵
میانه		۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
انحراف معیار		۰/۶۴	۲/۰۸	۲/۴۷	۰/۷۳	۱/۰۵	۱/۴	۰/۶۵	۱/۷۷	۰/۴۷	۰/۶۷	۲/۰۳
واریانس		۰/۴۲	۴/۳۲	۶/۱۲	۰/۵۳	۱/۱	۱/۹۶	۰/۴۲	۳/۱۴	۰/۲۲	۰/۴۵	۴/۱۴
چولگی		۵/۴۴	۶/۹۸	۱۹/۸	۴/۲	۴	۵/۳	۲/۵۸	۴	۰/۸۴	۱/۶۶	۶/۹
کشیدگی		۴۷/۹۴	۶۵/۳۷	۳۰۹	۳۰/۵۲	۲۴/۷۵	۳۵/۲۶	۱۳	۲۱/۶	۱/۹۷	۴/۴۲	۶۵/۳
کمینه		۰/۱۳	۰/۰۷	۱	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۳	۰/۳	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۳۷
بیشینه		۸/۲۱	۲۶/۲۸	۵۰	۸/۲۱	۱۰/۲۸	۱۴/۱۲	۶/۵	۱۷/۲	۲/۷۴	۴/۵۴	۲۶
صدک‌ها	۵۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۸۴	۱/۴۱	۱/۹۵	۱	۱/۵۸	۱/۶۲	۱/۶۴	۱/۷	۲/۲	۱/۴۶	۱/۶۷	۲
	۹۷/۵	۲/۶	۵/۱	۱	۲/۵۳	۴	۵/۵۲	۲/۸۱	۶/۹۴	۲/۵	۲/۹۸	۶
	۹۹	۳/۶	۱۲/۷	۱	۴/۳۵	۶/۱۵	۱۰/۱۰	۳/۲۱	۹/۷	۲/۷	۳/۶۵	۱۰/۲۸

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۲- بررسی‌های آماری چندمتغیره

در روش‌های آماری چندمتغیره، برخلاف روش‌های تک‌متغیره، امکان تحلیل آماری همزمان چندین متغیر وجود دارد. در مسائل اکتشافی، به دلیل بالا بودن تعداد متغیرها و دشواری بررسی ارتباط بین آنها، لازم است با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره به کاهش ابعاد داده‌ها در فضای مورد بررسی پرداخت، به‌گونه‌ای که نتایج این ابعاد جدید با تعدادی به مراتب کمتر از حالت قبل، بتوانند بخش اعظم تغییرپذیری داده‌ها را تشریح کنند. توجه به این نکته ضروری است که بررسی‌های چندمتغیره به تعداد نمونه‌های زیادی نیاز دارند؛ زیرا اعتبار این تحلیل‌ها تا حدودی تابع بزرگی جامعه نمونه‌های تحت بررسی است (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). در این مطالعه، به منظور تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی پاریز، از روش‌هایی مانند محاسبه ضرایب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی استفاده شده است که شرح آنها در ادامه بیان خواهد شد.

۴-۲-۲-۱- محاسبه ضرایب همبستگی

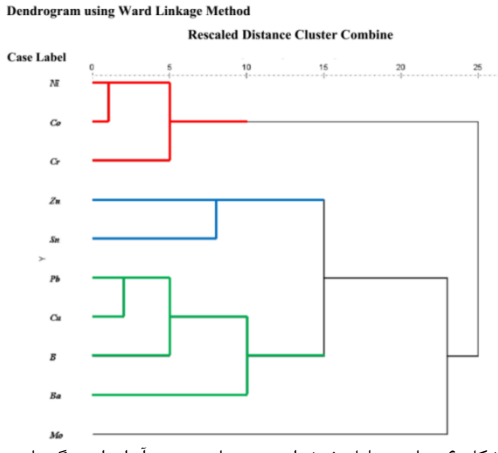
به منظور محاسبه وابستگی دو به دوی عناصر، می‌توان از روش‌هایی مانند کواریانس و ضرایب همبستگی استفاده کرد. اما بزرگی کواریانس وابسته به واحد اندازه‌گیری داده‌هاست. بنابراین برای حل این مسئله و به منظور محاسبه معیاری از همبستگی دو متغیر بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، از پارامتر آماری ضریب همبستگی استفاده می‌شود (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). در این تحقیق، ابتدا توزیع داده‌ها نرمال شده و سپس از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون داده‌های ژئوشیمیایی منطقه پاریز

همبستگی	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Co	Sn	Ba	B	Mo
Zn	۱	۰/۳۵	۰/۲۱۷	۰/۱۸	۰/۳۳۶	۰/۴۲۶	۰/۳۳۱	۰/۰۴۹	۰/۳۴۵	۰/۰۱۰
Pb	*	۱	۰/۱۸۲	۰/۲۱۹	۰/۵۷۱	۰/۱۰۸	۰/۲۸۳	۰/۳۶۴	۰/۴۴۱	۰/۱۰
Cr	*	*	۱	۰/۴۹۷	۰/۳۰۵	۰/۵۳۸	۰/۲۵۴	۰/۱۹۵	۰/۳۹	-۰/۰۴
Ni	*	*	*	۱	۰/۳۴۲	۰/۶۴	۰/۰۶۳	۰/۰۸۶	۰/۲۱۹	۰/۰۵۹
Cu	*	*	*	*	۱	۰/۴۴۳	۰/۲۳۶	۰/۳۴۹	۰/۵۶۴	۰/۲۰۲
Co	*	*	*	*	*	۱	۰/۱۷۳	۰/۱۸	۰/۳۹	-۰/۰۰۴
Sn	*	*	*	*	*	*	۱	۰/۱۶۸	۰/۴۲۵	-۰/۱۸۹
Ba	*	*	*	*	*	*	*	۱	۰/۳۲۵	۰/۰۰۷
B	*	*	*	*	*	*	*	*	۱	-۰/۰۹
Mo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۱

۴-۲-۲- تحلیل خوشه‌ای

در روش تحلیل خوشه‌ای، هدف دستیابی به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه درون‌گروهی و اختلاف بین‌گروهی است، به‌گونه‌ای که بیشترین تشابه ممکن را در درون خود و بیشترین اختلاف را بین خود داشته باشند. در خوشه‌بندی از الگوریتم‌های متنوعی استفاده می‌شود که از جمله آنها می‌توان به روش‌های اتصال نزدیک‌ترین همسایگی، اتصال دورترین همسایگی، اتصال میانگین و روش وارد اشاره کرد (Templ et al., 2008; Borovec, 1996). در مورد داده‌های ژئوشیمیایی منطقه پاریز، بهترین نتیجه خوشه‌بندی عناصر در استفاده از روش وارد مشاهده شد که در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶- نتایج تحلیل خوشه‌ای نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای برگه پاریز

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۲-۳- تحلیل عاملی

به منظور مشخص‌کردن روابط پاراژنزی بین عناصر مورد بررسی و همچنین تعیین عوامل مؤثر در پراکندگی آنها، می‌توان از روش تحلیل عاملی استفاده کرد. در واقع هدف از تحلیل عاملی، تشخیص اصلی‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده است. به‌گونه‌ای که بتوان با کمترین تعداد متغیرهای عاملی، بیشترین تغییرپذیری بین داده‌ها را توجیه کرد. بدین منظور، ابتدا باید میزان اعتبار تحلیل عاملی برروی مقادیر شاخص غنی‌شدگی نرمال بررسی شود. در این راه از آزمون‌های Bartlett و KMO بهره گرفته می‌شود. هر چه مقدار KMO به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، دلالت بر تایید بیشتر تحلیل عاملی دارد. در تحلیل عاملی به روش مولفه‌های اصلی (PCA)، برآورد ماتریس ضرایب همبستگی تعیین شده و با محاسبه ویژه مقدارهای این ماتریس، مقادیر بزرگ‌تر از ۱ جدا شده و برای آنها ویژه‌بردارهایی محاسبه می‌شود. در ادامه، ویژه‌مقدارها، درصد واریانس و درصد تجمعی واریانس متناظر با عوامل محاسبه شده و سپس مقادیر بزرگ‌تر از ۱ استخراج و چرخش داده می‌شوند (Carranza & Hale, 1997).

در مورد داده‌های ژئوشیمیایی منطقه پاریز، با اعمال روش تحلیل عاملی بر روی داده‌ها، در مناسب‌ترین حالت، تعداد سه عامل انتخاب شد که در مجموع، ۶۳ درصد تغییرپذیری‌ها را پوشش می‌دهند و ضریب KMO برای آنها برابر با ۰/۷۵ درصد است. نتایج این روش در جدول ۵ نمایش داده شده است. همچنین، در جدول ۶ امتیاز (ضریب) هر یک از عناصر در هر یک از عامل‌ها نشان داده شده است.

جدول ۵- پارامترهای مربوط به تحلیل عاملی داده‌های ژئوشیمیایی (برگه پاریز)

عامل	مقادیر ویژه اولیه			دوران مجموع وزن‌ها		
	کلی	درصد واریانس	درصد تجمعی	کلی	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۳/۵۶	۳۵/۶۳	۳۵/۶۳	۲/۶۲	۲۵/۱۶	۲۵/۱۶
۲	۱/۴۲	۱۴/۱۹	۴۹/۸۲	۲/۳۸	۲۳/۸۰	۴۸/۹۵
۳	۱/۲۶	۱۲/۵۶	۶۲/۴۲	۱/۳۵	۱۳/۴۷	۶۲/۴۵
۴	۰/۹۷	۹/۶۵	۷۲/۰۷			
۵	۰/۶۵	۶/۴۸	۷۸/۵۵			
۶	۰/۶۱	۶/۰۸	۸۴/۶۴			
۷	۰/۵۵	۵/۵۲	۹۰/۱۶			
۸	۰/۴۷	۴/۶۶	۹۴/۸۲			
۹	۰/۳۲	۳/۲۲	۹۸/۰۵			
۱۰	۰/۱۹	۱/۹۶	۱۰۰			

جدول ۶- ضرایب هر عنصر در مؤلفه‌های دوران‌یافته تحلیل عاملی

	فاکتورها		
	۱	۲	۳
Zn	۰/۴۰۹	۰/۳۴۲	۰/۲۵۹
Pb	۰/۸۲۵	۰/۰۴۸	-۰/۰۲۳
Cr	۰/۱۶	۰/۷۳۸	۰/۱۸
Ni	۰/۰۷۱	۰/۸۴۳	-۰/۱۴۱
Cu	۰/۷۶	۰/۳۶۴	-۰/۱۴۲
Co	۰/۱۶	۰/۸۷۵	۰/۰۶۵
Sn	۰/۴۲۷	۰/۰۹۰	۰/۶۵۸
Ba	۰/۶۰۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳
B	۰/۶۵۶	۰/۳۱۴	۰/۳۴۳
Mo	۰/۲۳۱	۰/۰۱۷	-۰/۸۰۷

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۳- نتایج بررسی‌های آماری چند متغیره

با توجه به نتایج به‌دست آمده در مراحل قبل مشخص شد که در روش تحلیل خوشه‌ای، عناصر در سه خوشه کلی قرار گرفتند و در تحلیل عاملی نیز، سه عامل اصلی بیشتر تغییرپذیری‌ها را پوشش دادند. بر همین اساس و با توجه به نتایج به دست آمده از این روش‌ها، می‌توان عناصر منطقه را در سه گروه اصلی دسته‌بندی کرد که به شرح زیر می‌باشند:

گروه اول: عناصر Cr, Co و Ni

این گروه از عناصر در ضرایب همبستگی دارای همبستگی بالایی بوده و در نتایج تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی نیز در یک گروه قرار گرفته‌اند. این نوع عناصر با توجه به ماهیت‌شان، بیشتر در سنگ‌های مافیک و اولترامافیک تمرکز دارند. هرچند در منطقه مورد مطالعه بیشتر توده‌های نفوذی حدواسط هستند اما به نظر می‌رسد در صورت ترسیم نقشه زمین‌شناسی با مقیاس بزرگ‌تر (دقت بالاتر)، امکان یافتن چنین توده‌هایی در منطقه وجود دارد.

گروه دوم: عناصر Pb, Cu, B و Ba

این گروه از عناصر نیز در تحلیل‌های انجام‌شده عمدتا در یک گروه قرار گرفته‌اند، بویژه Cu و Pb که همبستگی بالاتری دارند. این گروه از عناصر، بیشتر در سنگ‌های اسیدی و حدواسط تمرکز دارند و با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه و حضور این نوع سنگ‌ها در آن، حضور این عناصر منطقی بوده و می‌توان انتظار حضور کانی‌سازی این عناصر، مخصوصا Cu را داشت.

گروه سوم: عناصر Zn و Sn

این گروه از عناصر که در تحلیل‌ها همبستگی بالایی نشان داده‌اند نیز در سنگ‌های اسیدی و تا حدودی حدواسط تمرکز بیشتری دارند. این گروه از عناصر می‌توانند تا حدودی معرف هاله‌های ثانویه کانی‌سازی احتمالی مس در منطقه باشند (حسنی پاک، ۱۳۸۳)؛ هرچند خود این عناصر نیز می‌توانند از نظر تشکیل کانی‌سازی مورد توجه باشند.

۴-۳- رسم نقشه

پس از انجام هر برداشت اکتشافی و انجام تحلیل‌های مربوط به آن، به منظور نمایش بهتر و قابل درک‌تر نتایج برداشت‌ها، تحلیل‌ها و تخمین، عموما از نقشه استفاده می‌شود. تقریبا در تمام روش‌های تخمین، شرط وجود پیوستگی بین داده‌ها برای درون‌یابی الزامی است. با توجه به ماهیت برداری نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای که بر خلاف انواع دیگر داده‌ها فقط می‌توانند معرف حوضه آبریز بالادست خود باشند، وجود پیوستگی بین داده‌ها تا حدودی از بین می‌رود. به همین دلیل در مورد داده‌های رسوبات آبراهه‌ای امکان استفاده از روش‌های معمول رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی همچون روش کریجینگ وجود ندارد. بنابراین در رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای باید از روش‌های مانند روش نمادی و روش تخمین شبکه‌ای استفاده کرد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). بر همین اساس، در این مطالعه به منظور رسم نقشه ژئوشیمیایی، از روش تخمین شبکه‌ای استفاده شده است.

۴-۳-۱- رسم نقشه رسوبات آبراهه‌ای

به منظور درون‌یابی و رسم نقشه رسوبات آبراهه‌ای، لازم است ابتدا مرز حوضه آبریز مربوط به هر نمونه در نظر گرفته شود و در مرحله بعد، جهتی که نمونه‌ها می‌توانند در درون‌یابی شرکت کنند، مشخص شود. در روش تخمین شبکه‌ای، ابتدا نقشه مورد نظر به وسیله شبکه‌ای از سلول‌های هم بعد پوشانده می‌شود. ابعاد شبکه بستگی به مواردی مانند مقیاس برداشت‌ها و دقت مورد نیاز دارد. در برداشت‌های آبراهه‌ای با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ معمولا از ابعاد شبکه ۲۵۰ × ۲۵۰ متر استفاده می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). در شکل ۷، شبکه مورد استفاده به منظور تخمین شبکه‌ای داده‌های ژئوشیمیایی منطقه پاریز نشان داده شده است.

بعد از انطباق شبکه برروی نقشه، لازم است که برای هر نمونه، مرز حوضه بالادست آن مشخص شود. به این ترتیب لازم است به تعداد نمونه‌های برداشت‌شده چندضلعی رسم کرد تا حوضه آبریز هر نمونه مشخص شود. پس از رسم این چند ضلعی‌ها، مشخص می‌شود که بخشی از مساحت این چندضلعی‌ها با یکدیگر همپوشانی دارند، برای رفع این مشکل، لازم است با محاسبه میزان اثر هر نمونه در محدوده چندضلعی‌اش، به منطقی دست یافت که این همپوشانی‌ها را به طور کمی محاسبه و خنثی کند. این منطق بر پایه تعیین و اعمال سه وزن است که در ادامه به شرح آنها پرداخته می‌شود:

۱- وزن منعکس‌کننده فاصله بین موقعیت نمونه (واقع بر روی یکی از رأس‌های چندضلعی) و مرکز سلول شبکه مورد تخمین است.

۲- وزن منعکس‌کننده نسبت بخشی از مساحت یک چندضلعی است که درون سلول خاصی قرار گرفته، به کل مساحت چندضلعی.

۳- وزن منعکس‌کننده نسبت سهم مساحت یک چندضلعی خاص به مجموع مساحت چندضلعی‌های مختلفی که با مساحت‌های گوناگون سلول شبکه‌ای خاصی را اشغال می‌کنند.

با توجه به توضیحات بیان‌شده در بالا، برای هر سلول از نقشه که برای مثال توسط چندضلعی‌های مربوط به n نمونه پوشش داده شده است، سه وزن یادشده محاسبه می‌شوند. در ادامه، میانگین این سه وزن به عنوان وزن نهایی نمونه مورد نظر در تخمین سلول هدف در نظر گرفته می‌شود و در نهایت، مقدار تخمینی سلول هدف بر اساس میانگین وزن‌دار n نمونه مؤثر در آن محاسبه می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

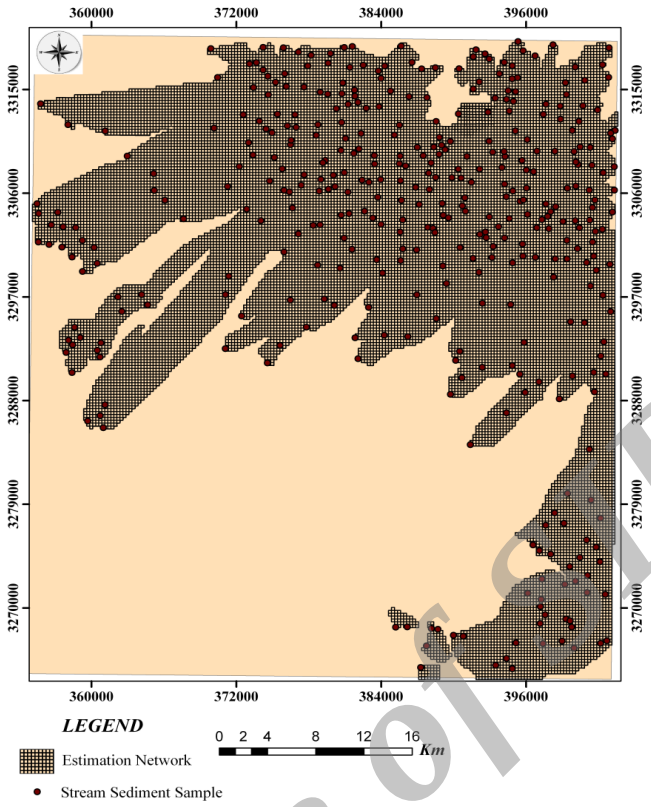
شکل ۸، نتایج حاصل از رسم محدوده حوضه آبریز بالادست تمام نمونه‌های ژئوشیمیایی منطقه پاریز را به صورت چندضلعی‌های غیرمنظم نشان می‌دهد.

۴-۳-۲- تهیه نقشه پتانسیل ژئوشیمیایی برگه پاریز

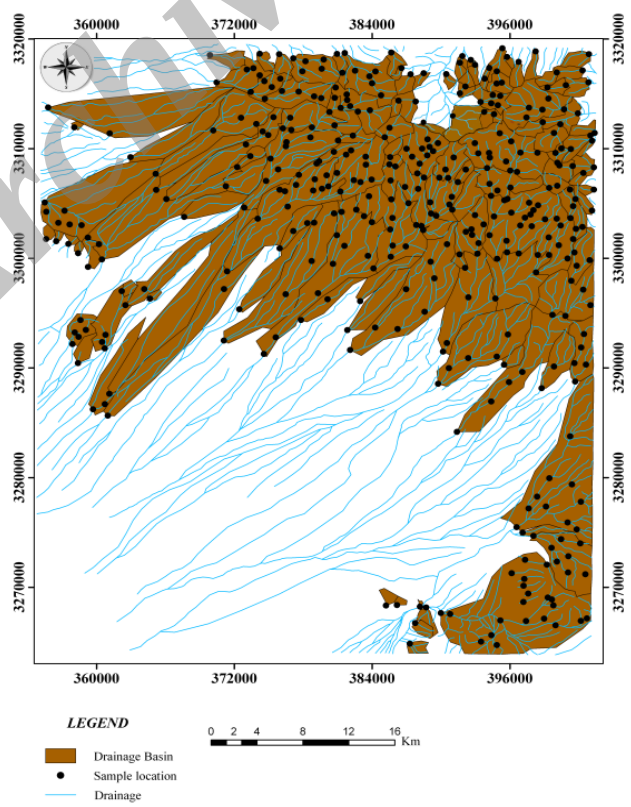
با توجه به مطالب و توضیحات بیان‌شده در مراحل قبل، پس از رسم حوضه آبریز بالادست هر یک از نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای و همچنین پوشش‌دادن کل منطقه نمونه‌برداری شده توسط شبکه‌ای از سلول‌های هم‌بعد، به منظور شناسایی مناطق دارای بی‌هنجاری مس، نقشه‌های شاخص غنی‌شدگی، مقادیر بازماند عنصر مس و تحلیل عاملی رسم شده است که نتایج آن در شکل‌های ۹ تا ۱۱نمایش داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

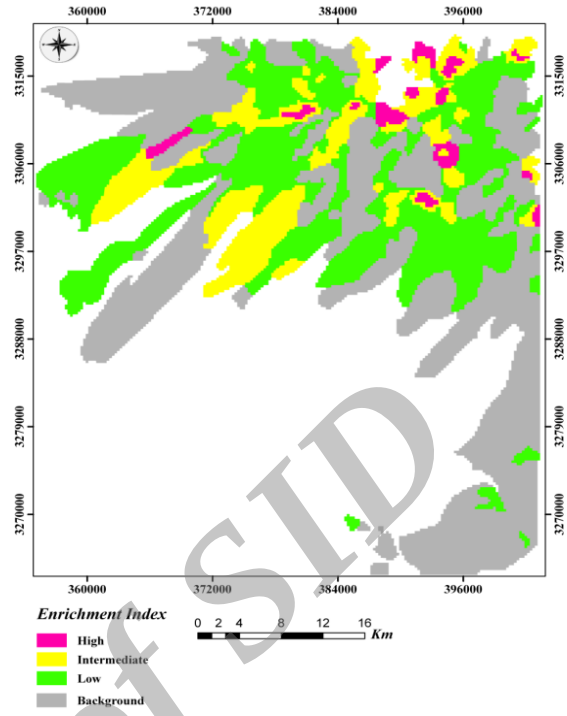


شکل ۷- شبکه مورد استفاده به منظور رسم نقشه تخمین شبکه‌ای داده‌های ژئوشیمیایی

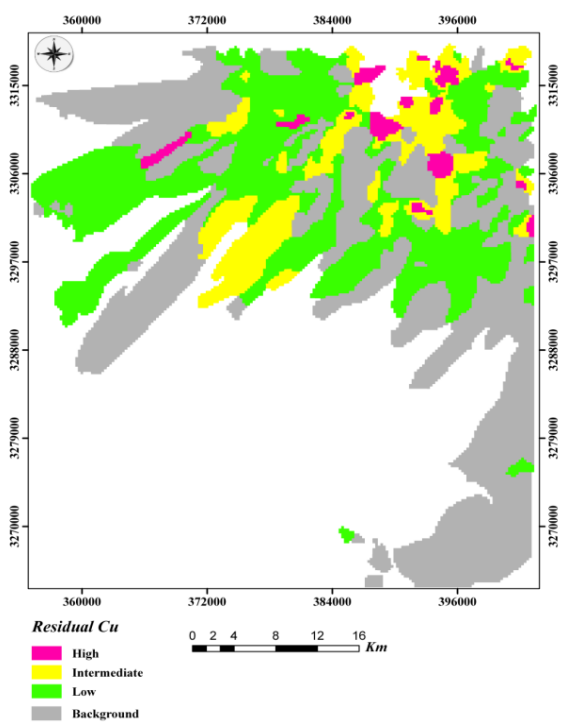


شکل ۸- محدوده حوضه آبریز بالادست نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای برگه پاریز

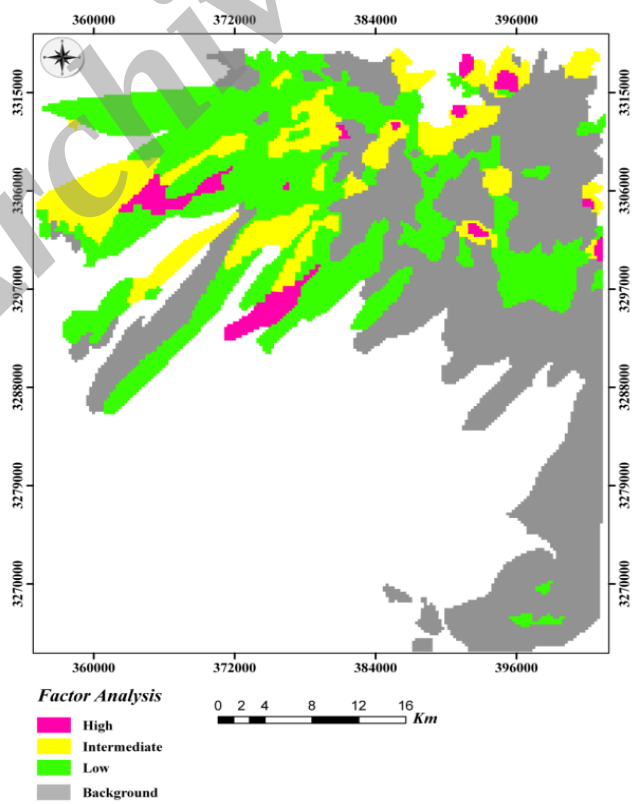
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۹- نقشه شاخص غنی‌شدگی داده‌های رسوبات آبراهه‌ای حاصل از روش تخمین شبکه‌ای



شکل ۱۰- نقشه مقادیر مس بازماند داده‌های رسوبات آبراهه‌ای حاصل از روش تخمین شبکه‌ای



شکل ۱۱- نقشه تحلیل عاملی داده‌های رسوبات آبراهه‌ای حاصل از روش تخمین شبکه‌ای

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۴- اعتبارسنجی نقشه‌های ژئوشیمیایی

پس از رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی به روش‌های مختلف، به منظور ارزیابی نتایج این روش‌ها و انتخاب مناسب‌ترین روش به منظور استفاده در شناسایی محدوده‌های دارای پتانسیل بالای مس در منطقه، از موقعیت رخدادهای مس موجود در منطقه استفاده شده است. بر همین اساس، مساحت هر یک از نواحی مطلوبیت چهارگانه در نقشه‌های ژئوشیمیایی تعیین شده و تعداد رخدادهای قرار گرفته در آنها نیز شمارش شده است. با در نظر گرفتن دو کلاس اول (ناحیه مطلوبیت بالا و مطلوبیت متوسط) در نقشه‌های نهایی به‌عنوان مناطق مطلوب، می‌توان گفت که نقشه‌های شاخص غنی‌شدگی، مقادیر بازماند و تحلیل عاملی به‌ترتیب ۷۵، ۶۵ و ۷۰ درصد با محل رخدادهای مس موجود در منطقه همپوشانی دارند. همچنین به منظور ارزیابی دقیق‌تر کارآیی هر یک از روش‌ها و انتخاب بهترین روش برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالای مس، از نسبت درصد همپوشانی با رخدادهای مس به درصد مساحت ناحیه مطلوب استفاده شده است. با محاسبه این نسبت برای هر نقشه، مشخص شد که این مقدار برای نقشه‌های شاخص غنی‌شدگی، مقادیر بازماند و تحلیل عاملی به‌ترتیب برابر با ۴/۳۵، ۴/۰۷ و ۴/۱۲ است (جدول ۷). با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که روش شاخص غنی‌شدگی بهترین عملکرد را در شناسایی مناطق دارای پتانسیل داشته است.

جدول ۷- ارزیابی نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی

	مطلوبیت بالا		مطلوبیت متوسط		مطلوبیت پایین		زمینه	
	تعداد اندیس	مساحت (Km^2)	تعداد اندیس	مساحت (Km^2)	تعداد اندیس	مساحت (Km^2)	تعداد اندیس	مساحت (Km^2)
شاخص غنی‌شدگی	۹	۳۳	۶	۱۸۹	۳	۴۳۵	۲	۶۲۱
مقادیر بازماند	۶	۳۴	۷	۱۷۰	۴	۴۵۲	۳	۶۲۱
تحلیل عاملی	۷	۴۰	۷	۱۷۸	۲	۴۳۸	۴	۶۲۳

نتیجه‌گیری

روش‌های اکتشافی ژئوشیمیایی و از جمله، نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای یکی از روش‌های کارآمد در پی‌جویی منابع معدنی فلزی است. در این تحقیق تلاش شد برای پتانسیل‌یابی ذخایر مس در منطقه پاریز، از پردازش داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای استفاده شود. در مورد داده‌های ژئوشیمیایی منطقه پاریز، پس از اعمال پیش‌پردازش‌های ضروری و حذف مولفه سین‌ژنتیک از روی داده‌ها، روش‌های پردازشی تک‌متغیره و چندمتغیره بر روی آنها انجام شد. سپس با توجه به نتایج پردازش‌های آماری و با استفاده از روش تخمین شبکه‌ای به منظور رسم نقشه نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای، نقشه‌های معیار ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه تولید شد. به منظور ارزیابی نتایج، از موقعیت رخدادهای مس موجود در منطقه و همچنین نسبت "درصد همپوشانی مناطق مطلوب با محل رخدادها به درصد مساحت ناحیه مطلوب" استفاده شد. بر این اساس مشخص شد که نقشه شاخص غنی‌شدگی کارآیی بهتری در شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالای مس داشته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده و میزان انطباق مناطق مطلوب معرفی‌شده در نقشه‌های ژئوشیمیایی منطقه با محل رخدادهای مس، می‌توان گفت که این مطالعات تا حد قابل قبولی توانسته است مناطق دارای پتانسیل کانی‌سازی مس در منطقه را بارزسازی کند. بر همین اساس انتظار می‌رود استفاده از بررسی‌های ژئوشیمیایی در مطالعات اکتشافی سایر مناطق نیز به عنوان روشی ارزشمند در شناسایی مناطق پتانسیل‌دار و کاهش ابعاد محدوده اکتشافی مورد بررسی قابل استفاده باشد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از آقای دکتر علی‌پور به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های ژئوشیمیایی منطقه و همچنین از آقای دکتر رامین هندی به پاس همکاری صمیمانه در تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی منطقه تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

حسنی پاک، ع. الف.، ۱۳۸۳، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی" موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ پنجم، ۶۱۵ صفحه.

حسنی پاک، ع. الف.، شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰، "تحلیل داده‌های اکتشافی" موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ اول، ۹۸۷ صفحه.

Borovec, Z., 1996, "Evaluation of the concentrations of trace elements in stream sediments by factor and cluster analysis and the sequential extraction procedure", *The Science of the Total Environment, 177, P. 237-250.*

Carranza, E. J. M., Hale, M., 1997, "A catchment basin approach to the analysis of reconnaissance geochemical geological data from Albay Province, Philippines", *Journal of Geochemical Exploration, 60, P.157-171.*

Dimitrijevic, M., 1973, "Geology of Kerman region: institute for geological and mining exploration and instiution of nuclear and other mineral raw materials", *beograde-Yugoslavia, Iran Geological Survey Report, Yu/52.*

Archive of SID

www.SID.ir

Djordjevic, M., 1971, "Yugoslavia report on explorations for copper in Pariz area", *Institute for geological and mining exploration beograd-Yugoslavia.*

Filzmoser, P., Hron, K., 2008, "Outlier detection for compositional data using robust methods", *Mathematical Geosciences, 40, P.233-248.*

Miesch, A. T., 1977, "Log-transformation in geochemistry", *Mathematical Geology, 9 P.191-194.*

Reimann, C., Filzmoser, P., 2000, "Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth, Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data", *Environmental Geology, 39, P.1001-1014.*

Sanford, F., Pierson, T., Crovelli, R. A., 1993, "An Objective Replacement Method for Censored Geochemical Data", *Mathematical Geology, 27, P.29-79.*

Templ, M., Filzmoser, P., Reimann, C., 2008, "Cluster analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities", *Applied Geochemistry, 23, P.2198-2213.*

Archive of SID

■

www.SID.ir