بهار ۹۸، سال بیست و هشتم، شماره ۱۱۱، صفحه ۷۵ تا ۸۲

کاربرد روش‌های چندفرکتال در برداشت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای برای شناسایی بی‌هنجاری‌های مس و مولیبدن در ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ ورزقان

میثم نیک‌فرجام[1*]، اردشیر هزارخانی[2] و کاوه پازند[3]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
[2]استاد، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
[3]دکترا، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۷/ ۰۳/ ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: ۲۰/ ۱۲/ ۱۳۹۶

چکیده

منطقه مورد مطالعه (ورقه یک‌صد هزار ورزقان) در استان آذربایجان شرقی و در زون اهر- ارسباران قرار دارد. این منطقه شاهد ماگماتیسم گسترده بوده که نتیجه آن وجود کانسارهای پراهمیتی نظیر مس سونگون در این منطقه است. با توجه به اهمیت منطقه مورد مطالعه از نظر کانی‌سازی مس- مولیبدن پورفیری، از روش‌های ساختاری مانند روش‌های چندفرکتال جهت تعیین بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی عناصر مس و مولیبدن، به‌عنوان عناصر شاخص این کانسارها استفاده شد تا برتری این روش‌ها بر یکدیگر مشخص شود. در این مقاله از دو روش C-A (عیار- مساحت) و N-S (اندازه- تعداد) که از روش‌های چندفرکتال هستند، جهت تفکیک بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی از زمینه استفاده شد و با استفاده از ماتریس logratio مشخص شد که روش عیار- مساحت دقت بیشتری در همپوشانی بی‌هنجاری‌ها با کانسارهای مس پورفیری دارد. بدین منظور ابتدا حوضه‌های مربوط به ۱۰۶۷ نمونه رسوب آبراهه‌ای با استفاده از مدل ارتفاع دیجیتالی و الگوریتم PFS (Priority-First-Search)، رسم شد. در روش C-A، چهار جامعه برای هر دو عنصر مس و مولیبدن شناسایی شد. همین‌طور برای روش N-S، چهار جامعه برای مس و پنج جامعه برای عنصر مولیبدن به دست آمد. در هر دو روش انجام شده به‌خوبی می‌توان مطابقت مکان‌های بی‌هنجار را با کانسارهای شناخته شده موجود نظیر کانسار سونگون، مشاهده کرد که با توجه به راستی‌آزمایی انجام شده، روش عیار- مساحت دقت بیشتری دارد. همچنین می‌توان نقش جنس سنگ را که یکی از فاکتورهای مهم در شناسایی کانسارهای پورفیری است، در مکان‌های ناهنجار به‌خوبی مشاهده کرد. .

کلیدواژه‌ها: ورزقان، نمونه رسوب آبراهه، روش ساختاری، بی‌هنجاری ژئوشیمیایی، روش‌های چندفرکتال، روش C-A، روش N-S.

***نویسنده مسئول:** میثم نیک‌فرجام
E-mail: meysamnikfarjam47@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

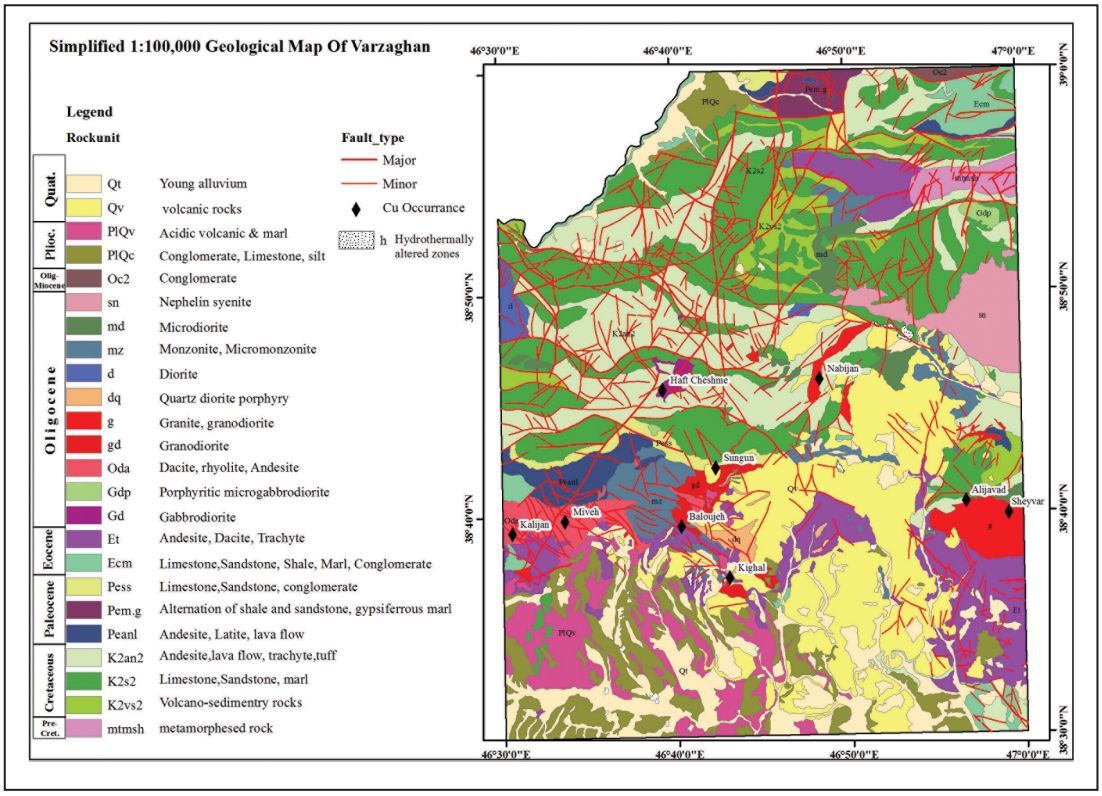
در مراحل اولیه اکتشافات ناحیه‌ای و حتی منطقه‌ای از نمونه‌برداری به روش رسوبات آبراهه‌ای جهت شروع مطالعات ژئوشیمی استفاده می‌شود. در این روش هر نمونه معرف حوضه بالادست خود است که بر اساس عوامل مختلف زمین‌شناسی و آب‌وهوایی رسوبات بالادست در معرض فرسایش و حمل قرار می‌گیرند و در مکان‌هایی تحت عنوان خروجی حوضه نهشته می‌شوند. با نمونه‌برداری از این مکان‌ها می‌توان به سادگی از وجود کانی‌سازی از عناصر خاص در بالادست منطقه آگاهی پیدا کرد (Abdolmaleki et al., 2014). اولین مرحله پس از آماده‌سازی داده‌ها برای پردازش که شامل جایگزینی داده‌های سنسورد است، رسم حوضه‌های بالادست مربوط به هرکدام از نمونه‌هاست. به این منظور از روش رسم خودکار حوضه‌ها به کمک الگوریتم ارائه شده با استفاده از تصاویر مدل ارتفاع رقومی (Jones, 2002) و با کمی تصحیح به کمک نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. پس از آن با استفاده از روش‌های غیر ساختاری که به روش‌های کلاسیک ساختاری برتری دارند، جداسازی بی‌هنجاری از زمینه صورت گرفت. با توجه به اینکه مس، مولیبدن، سرب، روی، آرسنیک، آنتیموان و طلا از عناصر شاخص کانسارهای مس پورفیری (Sillitoe, 2010) و دارای زون‌بندی منظمی در اطراف کانسارهای مس پورفیری هستند، لذا در این مقاله دو عنصر مهم مس و مولیبدن جهت تعیین حدود بی‌هنجاری از زمینه به منظور شناسایی اولیه مکان کانسارهای مس پورفیری انتخاب شدند.

روش‌های فرکتال از جمله روش‌هایی است که در آن ارتباط فضایی نمونه‌ها و یا به عبارت دیگر موقعیت آنها نسبت به هم در نظر گرفته می‌شود. این روش‌ها تحت عنوان روش‌های ساختاری شناخته می‌شوند. در روش‌های غیر ساختاری موقعیت یک نمونه بی‌هنجار روی نقشه و تأثیرگذاری آن بر نقاط اطراف مورد توجه قرار نمی‌گیرد و داده‌ها بدون در نظر گرفتن مختصاتشان تحلیل می‌شوند. در مقابل، در روش‌های ساختاری که به روش‌های غیر ساختاری برتری دارد، اثر موقعیت نقاط لحاظ می‌شود؛ زیرا مختصات نقاطی که تعیین کننده موقعیت آنها نسبت به هم است، در تعیین بی‌هنجاری‌ها تأثیرگذارند و وجود چند نمونه بی‌هنجار در کنار یکدیگر می‌تواند موجب تقویت آنها شود. بر عکس وجود یک نمونه بی‌هنجار در بین جامعه‌ای از نمونه‌های زمینه از اهمیت آن می‌کاهد. این همان اثری است که باید در تفسیر بی‌هنجاری‌ها مورد توجه قرار گیرد (هزارخانی و سلجوقی، ۱۳۹۵). در این پژوهش از دو روش مختلف ساختاری استفاده شد که با بررسی میزان همپوشانی مناطق بی‌هنجار این دو روش، روش بهینه ساختاری برای شناسایی کانسارهای مس پورفیری در ناحیه ورزقان انتخاب شد.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

به لحاظ جغرافیایی، برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ ورزقان مابین طول‌های شرقی ″۰۰ ′۳۰ °۴۶ تا ″۰۰ ′۰۰ °۴۷ و عرض‌های شمالی ″۰۰ ′۳۰ °۳۸ تا ″۰۰ ′۰۰ °۳۹ قرار دارد (شکل ۱). این منطقه، بخشی از ناحیه ارسباران است که با مساحتی بالغ بر ۲۳۰۰ کیلومترمربع، در باختر چهارگوش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ اهر قرار می‌گیرد. از لحاظ دسترسی، مهم‌ترین راه ارتباطی منطقه، جاده آسفالته اهر- ورزقان و کلیبر- اسکلو است. این منطقه در زون متالوژنی ارسباران قرار گرفته که از نظر کانی‌سازی عناصر مهم دارای اهمیت بسیار است. از جمله کانسارهای مهم در این زون می‌توان به کانسار مس سونگون اشاره کرد (Jamali and Mehrabi, 2014). کانسار کلاس جهانی مس- مولیبدن پورفیری سونگون با ذخیره ۵۰۰ میلیون تن ذخیره سولفیدی و عیار ۰/۷۶ درصد مس، ۰/۰۱ درصد مولیبدن (Hezarkhani and Williams-Jones, 1998) در این زون و ورقه مورد مطالعه قرار دارد. گسترش سنگ‌های این منطقه از زمان دوران دوم زمین‌شناسی تا عهد حاضر است. قدیمی‌ترین واحدهای موجود در منطقه شامل واحد مارنی و ماسه‌سنگ آهکی کرتاسه بالایی می‌شود که در بالای آن واحدهای ائوسن قرار گرفته است. نهشته‌های مارنی، ماسه‌ای و ماسه‌سنگ آهکی خاکستری روشن تا زرد کرتاسه بالایی به‌صورت وسیع و ضخامت بالا در منطقه

اهر رخنمون دارد. بیش از نصف رخنمون‌های موجود در محدوده ورزقان را سنگ‌های ترسیر تشکیل داده‌اند که بخش اعظم آن از نوع سنگ‌های آذرین (درونی- بیرونی) است، به‌طوری که سنگ‌های آذرین و رسوبی زمان ترسیر حدود ۸۰ درصد کل سنگ‌های منطقه اهر را شامل می‌شوند. بیشتر رخنمون‌های دوره پالئوسن در اهر شامل سنگ‌های آذرین بیرونی مربوط به محیط‌های قاره‌ای و دریایی کم‌عمق است. در ائوسن فعالیت ماگمایی شدیدی در تمام ایران (به‌جز زاگرس و کپه‌داغ) آغاز شده و نقطه اوج ولکانیسم در ائوسن و شدت پلوتونیسم در الیگوسن و میوسن بوده است. در الیگوسن استمرار فعالیت‌های آتشفشانی در بخش‌هایی از ورزقان همچنان تداوم خود را حفظ کرده و گسترهٔ نسبتاً وسیعی را در برگرفته است. با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده از ناحیه ارسباران، مساحتی بیش از ۸۰۰ کیلومتر مربع از منطقه ارسباران را توده‌های نفوذی با ترکیب سنگ‌شناسی متغیر از گرانیت تا گابرو تشکیل می‌دهند که در مطالعات به عمل آمده با نام‌های مختلف گرانیت، گرانودیوریت، سینیت، مونزونیت، دیوریت، گابرودیوریت، گابرو و ... معرفی شده‌اند. دو معدن مهم مس سونگون و مزرعه در منطقه که هم‌اکنون فعال هستند، در رابطه با نفوذ این توده‌ها به وجود آمده‌اند.



شکل ۱- نقشه ساده شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ ورقه ورزقان (مهرپرتو و همکاران، ۱۳۷۱).

۳- روش کار

۳- ۱. آماده‌سازی داده‌ها

اولین مرحله برای شروع پردازش‌ها جهت تعیین نمونه‌های بی‌هنجار، آماده‌سازی داده‌هاست. به این صورت که ابتدا باید داده‌های حاصل از آنالیز را که مقادیرشان کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر از حد حساسیت دستگاه است با یکی از روش‌های موجود جایگزین کرد. روش مرسوم برای جایگزینی داده‌های سنسورد، روش ساده جایگزینی با ۳/۴ حد پایینی دستگاه برای داده‌های کوچک‌تر از این حد و نیز جایگزینی با ۴/۳ حد بالایی دستگاه برای مقادیر بزرگ‌تر از این مقدار است (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). پس از آماده‌سازی داده‌ها، می‌بایست پردازش داده‌ها جهت تعیین حدود بی‌هنجاری انجام شود.

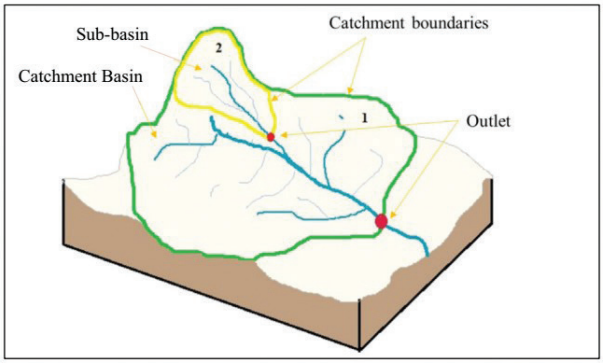
روش‌های جداسازی بی‌هنجاری از زمینه شامل روش‌های غیر ساختاری و ساختاری است. در روش‌های غیر ساختاری فقط مقدار اندازه‌گیری شده برای هر نمونه مورد توجه قرار می‌گیرد و موقعیت فضایی نقاط نمونه‌برداری در نظر گرفته نمی‌شود. به همین دلیل به این روش، آنالیز فراوانی هم گفته می‌شود. در مقابل روش‌های ساختاری به روش‌هایی اطلاق می‌شود که ارتباط فضایی نمونه‌ها و یا موقعیت آنها را نسبت به هم در نظر می‌گیرد. اختلاف روش‌های ساختاری با غیر ساختاری در این است که در روش‌های ساختاری مختصات نقاط که تعیین کننده موقعیت آنها نسبت به هم است در تعیین بی‌هنجاری‌ها تأثیرگذارند و وجود چند نمونه بی‌هنجار در کنار یکدیگر می‌تواند موجب تقویت آنها شود. برعکس وجود یک نمونه بی‌هنجار در بین جامعه‌ای از نمونه‌های زمینه از اهمیت آن می‌کاهد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). استفاده از روش‌های غیر ساختاری که مبتنی بر آمار کلاسیک است؛ نواقصی دارد: ۱) در این روش توزیع فراوانی یک عنصر در یک ناحیه باید نرمال باشد. این شرط همیشه وجود ندارد لذا باید داده‌ها را نرمال کرد؛ ۲) مقادیر خارج از ردیف باید شناسایی و به‌درستی جایگزین شوند که سبب از دست دادن مقادیر بی‌هنجار می‌شود؛ ۳) توزیع فراوانی نمونه‌ها در آمارهای کلاسیکی مهم نیست. به این معنی که همه نمونه‌ها مستقل در نظر گرفته می‌شوند و این معقول نیست.

علاوه بر موارد گفته شده، این روش‌ها مشخصات هندسی بی‌هنجاری‌ها را در نظر نمی‌گیرند. لذا دانشمندان برای غلبه بر این مشکل به هندسه فرکتال روی آوردند. روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال با توجه به خصوصیاتی چون استفاده از تمام داده‌ها، در نظر گرفتن شکل هندسی دربرگیرنده عیارهای گوناگون و توجه به نوع توزیع داده‌ها، از بهترین روش‌ها در جدایش بی‌هنجاری ژئوشیمیایی از زمینه هستند (هزارخانی و سلجوقی، ۱۳۹۵). در حوزه ژئوشیمی توزیع‌های مختلف از قبیل توزیع‌های نرمال، لاگ نرمال، چندمدی، توزیع‌های توانی، فرکتال و چند فرکتال وجود دارد (Cheng and Zhao, 2011). اگر چه بسیاری از پدیده‌های طبیعی دارای مشخصات فرکتالی هستند، اما همه مشخصات تغییرناپذیری مقیاس همگن

کامل را ندارند که می‌توانند توسط یک بعد فرکتال تکی توصیف شوند. در عوض مجموعه‌های فرکتال ویژگی‌های چندمقیاسی دارند که می‌توانند توسط فرکتال‌های ناهمگن یا چندفرکتال‌ها توصیف شوند. یک چندفرکتال ممکن است به عنوان نتیجه‌ای از درهم تنیدگی مجموعه‌های فرکتال محدود از بعدهای مختلف در نظر گرفته شود (Seuront, 2009).

۳– ۲. رسم حوضه‌های آبراهه‌ای

مفهوم پایه از الگوریتم رسم حوضه‌های آبراهه، مدل کردن شبکه آبراهه تحت عنوان سطح حوضه (Catchment Area) است. یک سطح حوضه، به مساحتی از یک حوضه اطلاق می‌شود که در بالادست یک نقطه قرار گرفته است (شکل ۲).

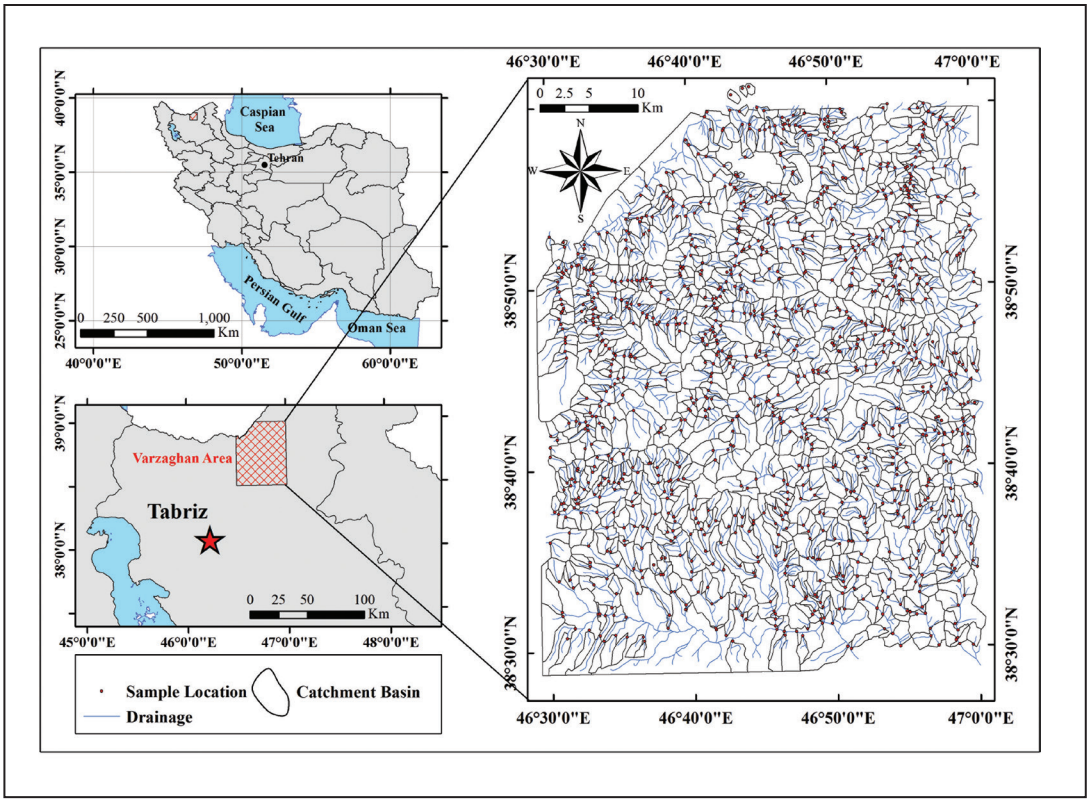


شکل ۲– بلوک‌دیاگرامی از یک حوضه آبراهه، زیرحوضه، مرز حوضه و مجرای خروجی آن (Garousi Nezhad et al., 2017).

زمانی که جریانی از آب در یک سراشیبی از یک نقطه عبور می‌کند، بستری از همه نقاط پایین‌دست از طریق عبور جریانات آب گسترش می‌یابد.

چنین شبکه آبراهه‌ای به وسیله بسترهای مربوطه تعریف می‌شود. زمانی که یک گره به یک نقطه روی آبراهه تبدیل می‌شود، یک حد آستانه انتخاب شده است. از این‌رو آبراهه‌های بزرگ، حوضه‌های بزرگ‌تری از آبراهه‌های کوچک دارند (Jones, 2002).

الگوریتم‌هایی وجود دارند که از مدل ارتفاع دیجیتالی (DEM) برای تهیه نقشه‌های حوضه‌های نقاط نمونه‌برداری رسوب آبراهه‌ای استفاده می‌کنند. جهت تعیین جریان آبراهه‌ها از الگوریتم رایج D8 استفاده می‌شود که یک نقطه از آبراهه را در شبکه DEM، به یکی از ۸ نقطه دیگر مجاورش اختصاص می‌دهد. با توجه به اینکه آبراهه‌ها در مکان‌های هموار و یا گودال‌های موجود در تصاویر DEM ادامه نمی‌یابند، روش D8 از حل این مشکل عاجز بوده و این مشکلی است که در چندین پژوهش به آن اشاره شده است. جهت حل این مسئله الگوریتم جدید نیروی آبراهه (Drainage Inforcement) مطرح شده است. این الگوریتم به خوبی آبراهه‌ها را در مکان‌های دارای گودال یا هموار نشان می‌دهد. این الگوریتم بر پایه الگوریتم اولویت اول جست‌وجو (PFS) است. جزییات این روش در مقاله Jones (2002) آمده است. بر اساس روش گفته شده و با استفاده از مدل ارتفاع دیجیتال، حوضه‌های آبراهه‌ای برای هر نمونه ترسیم شد (شکل ۳).



شکل ۳ – حوضه‌های آبراهه‌ای رسم شده با کمک مدل ارتفاع دیجیتالی (DEM) به همراه موقعیت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای.

۳– ۳. روش C–A (عیار– مساحت)

بسیاری از محققان نشان دادند که بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی دارای توزیع‌های فرکتالی و چندفرکتالی هستند. یکی از روش‌های مبتنی بر توزیع چندفرکتالی روش غلظت– مساحت (C-A) است. این روش که توسط Cheng et al. (1994) ارائه شد، مبتنی بر مساحتی است که هر عیار خاص در منطقه مورد مطالعه اشغال کرده است. هر چه عیار عنصر افزایش یابد، مقدار مساحت اشغالی توسط آن کاهش می‌یابد. مدل‌سازی‌های فرکتالی مبتنی بر وجود یک مجموعه رابطه توانی شاخص M(δ) و

پارامتر مورد بررسی δ در منطقه موردمطالعه طبق رابطه زیر هستند:

$$M(\delta) \propto \delta^{-\alpha} \quad (۱$$

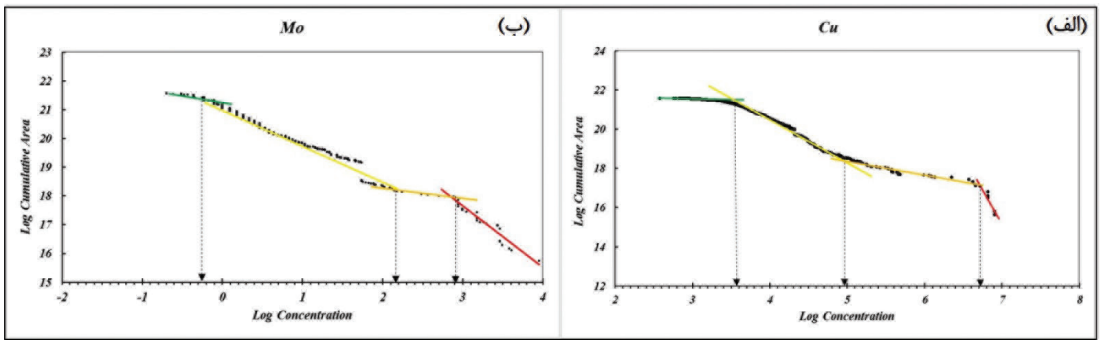
که در آن α بعد فرکتالی در هر نقطه از نمودار لگاریتمی است که با توجه به طبیعت چندفرکتالی داده‌ها در علوم زمین، مقدارهای متفاوتی دارد (Carranza, 2011). با این روش می‌توان انواع گوناگون داده‌های ژئوشیمیایی از جمله نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، سنگی و خاک را آنالیز کرد. مهم‌ترین ویژگی این روش، راحتی اجرا و توانایی محاسبه حدآستانه بی‌هنجاری‌ها است. لذا برای جداسازی بی‌هنجاری‌ها از زمینه با استفاده از حدآستانه در آن ناحیه به کار می‌رود (Pazand et al., 2011). رابطه کلی ارائه شده توسط Cheng et al. (1994) به‌صورت زیر آمده است:

$$A(\rho \le \upsilon) \propto \rho^{-\alpha_1};\ A(\rho \ge \upsilon) \propto \rho^{-\alpha_2} \quad (۲$$

که در آن ρ غلظت عنصر، A(ρ) مساحت ناحیه دارای غلظت υ، ρ مقدارهای آستانه و α_1 و α_2 بعدهای فرکتالی هستند.

بر اساس نمودارهای لگاریتم مساحت تجمعی در برابر لگاریتم عیار، چهار جامعه برای عناصر مولیبدن و مس به عنوان عناصر شاخص در کانسارهای مس پورفیری حاصل شد (شکل ۴). طبق این نمودارها، بخش مشخص شده با رنگ قرمز، به عنوان نمونه‌های بی‌هنجار معرفی می‌شوند.

بر اساس نمودارهای ترسیم شده، می‌توان جوامع بی‌هنجار را به این صورت توصیف کرد که جامعه چهارم مولیبدن که به عنوان جامعه بی‌هنجار مولیبدن شناخته می‌شود، بعد فرکتالی ۲/۱۳ دارد و با عیاری در حدود ppm ۱۸ از جامعه سوم جدا می‌شود (جدول ۱). این جامعه با جنس‌های گرانیت، گرانودیوریت و گابرودیوریت مطابقت بیشتری داشته است. برای مس نیز، جامعه چهارم بعد فرکتالی ۲/۱۹ دارد و با عیاری در حدود ppm ۸۱۲ از جامعه سوم جدا می‌شود. این جامعه نیز بیشتر با سنگ‌های گرانودیوریت و گابرودیوریت منطقه مورد مطالعه مطابقت دارد.



شکل ۴- نمودار لگاریتم مساحت تجمعی در برابر لگاریتم عیار برای: الف) مس و ب) مولیبدن؛ شکستگی‌ها بیانگر تغییر در جامعه است.

جدول ۱- مقادیر آستانه و ابعاد فرکتالی برای مس و مولیبدن در روش C-A.

	جامعه ۱		جامعه ۲		جامعه ۳		جامعه ۴	
عنصر	T1 (ppm)	D1	T2 (ppm)	D2	T3 (ppm)	D3	T4 (ppm)	D4
Cu	۲	۰/۴۳	۳۶/۶	۲/۰۴	۱۴۸/۴	۰/۷۵	۸۱۲/۴	۲/۱۹
Mo	۰/۱	۰/۲۹	۰/۷۴	۱/۳	۹	۰/۵	۱۸/۲	۲/۱۳

D بیانگر بعد فرکتال و T نشان‌دهنده حدآستانه هر جامعه است.

پس از تعیین حدود بی‌هنجاری (ممکن و احتمالی) از زمینه و همچنین حوضه‌های رسم شده برای هرکدام از نمونه‌های آبراهه، هر کدام از عناصر مورد بحث به نقشه در آمدند (شکل ۵). در نقشه حاصل به خوبی می‌توان انطباق کانسارهای سونگون، بلوجه و هفت‌چشمه را با بی‌هنجاری‌های شناسایی شده در مرکز منطقه مورد مطالعه به عنوان کانسار مس- مولیبدن پورفیری مشاهده کرد. همان‌طور که نمایان است، در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه یک بی‌هنجاری ضعیف مس و بی‌هنجاری قوی مولیبدن وجود دارد که نیازمند مطالعات در مقیاس‌های کوچک‌تر است.

۳- ۴. روش Number–Size (تعداد- اندازه)

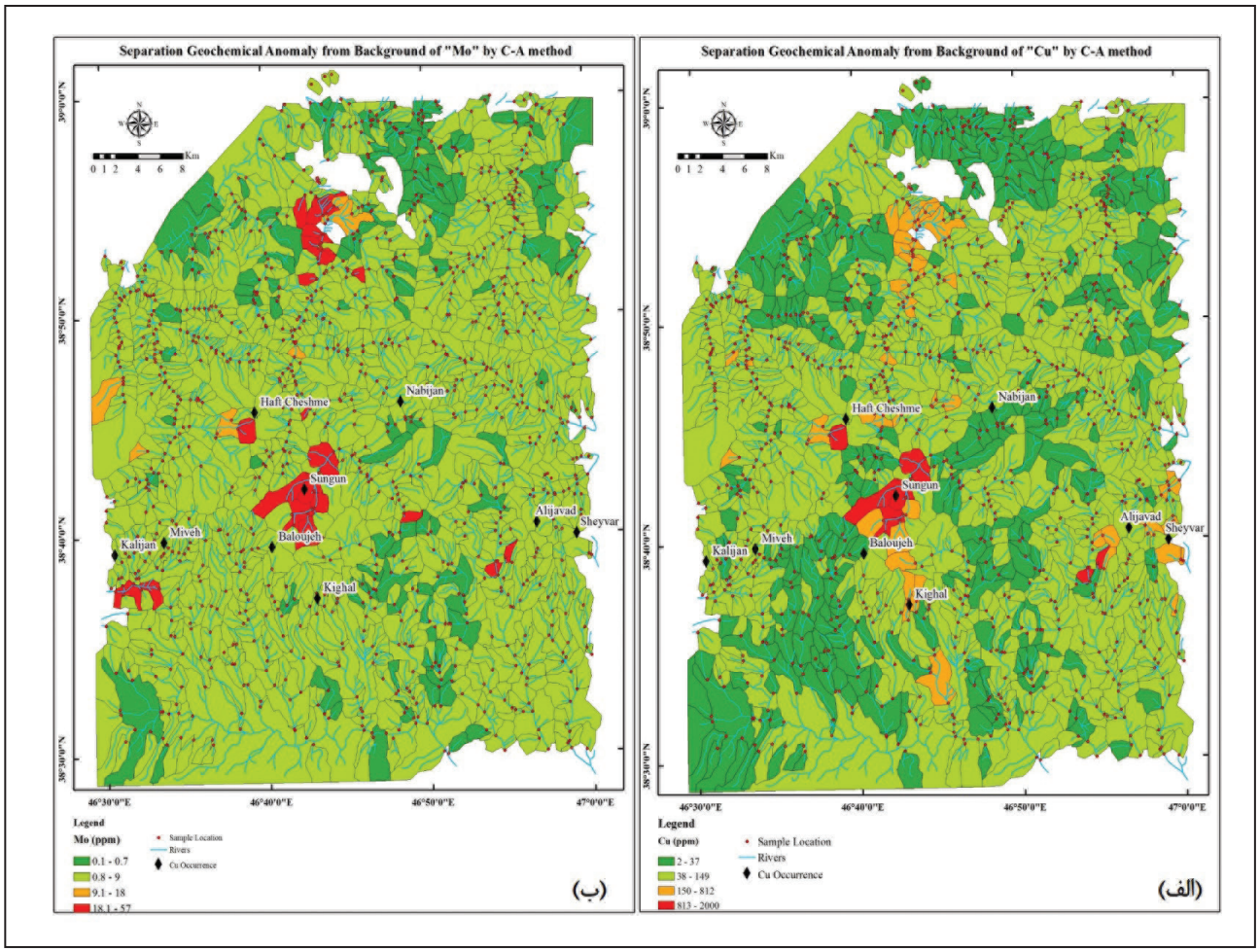
مدل فرکتالی خیلی مهم یعنی مدل تعداد- اندازه (N-S) نخستین بار توسط Mandelbrot et al. (1984) برای مشخص‌سازی ارتباط بین اشیا و تعداد اشیای با اندازه بزرگ‌تر یا برابر با اندازه داده شده پیشنهاد شد. این روش می‌تواند برای توصیف توزیع جوامع ژئوشیمیایی بدون پیش‌پردازش داده‌ها استفاده شود. مدل نشان می‌دهد که یک رابطه بین ویژگی‌های مطلوب (به‌عنوان مثال غلظت عنصر معدنی) و تعداد تجمعی نمونه‌ها وجود دارد. روش اندازه- تعداد به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$N(\ge r) = Cr^{-D};\ r > 0,\quad D\ is\ real > 0 \quad (۳$$

معادله بالا را می‌توان به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

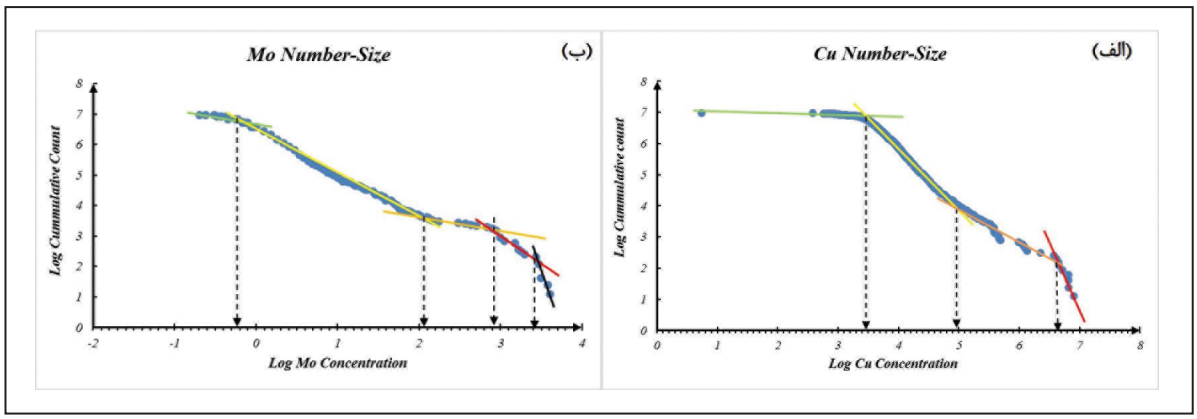
$$Ln[N(\ge r)] = -DLn(r) + LnC \quad (۴$$

که در آن r نشان‌دهنده غلظت عنصری، (N≥r) نشانه مجموع تعداد نمونه‌های دارای مقادیر غلظتی بیشتر یا برابر با r است، C مقداری ثابت و D توان قیاسی یا بعد فرکتالی توزیع غلظت عنصر هستند. اگر نمودار (N≥r) در برابر r (در مختصات لاگ-لاگ) خطی باشد، آنگاه همه داده‌ها متعلق به یک جامعه تکی هستند و توزیع یک فرکتال ساده است (Afzal et al., 2010). به هر حال، اگر نمودارها بتوانند با چندین بخش خط راست برازش داده شوند، آنگاه توزیع چندفرکتالی است و نقاط شکست بین بخش‌های خط راست آستانه‌ها هستند که جوامع مختلف را جدا می‌کنند. بزرگ‌تر بودن اختلاف بین بعدهای فرکتال منجر به جداسازی واضح‌تر بین جوامع می‌شود (Pazand et al., 2011). بر اساس این مدل Agterberg (1995) اقدام به ارائه یک مدل چندفرکتالی به نام اندازه- عیار به منظور تعریف مدل توزیع فضایی کانسارهای بزرگ و بسیار بزرگ کرد. افرادی همچون Monecke et al. (2001) از این مدل فرکتال برای تعریف مشخصات غنی‌شدگی عنصری و فرایندهای متاسوماتیسم در طی شکل‌گیری کلوخه‌های معدنی هیدروترمال در رگه‌های سولفید توده‌ای در واترلو استرالیا استفاده کردند.

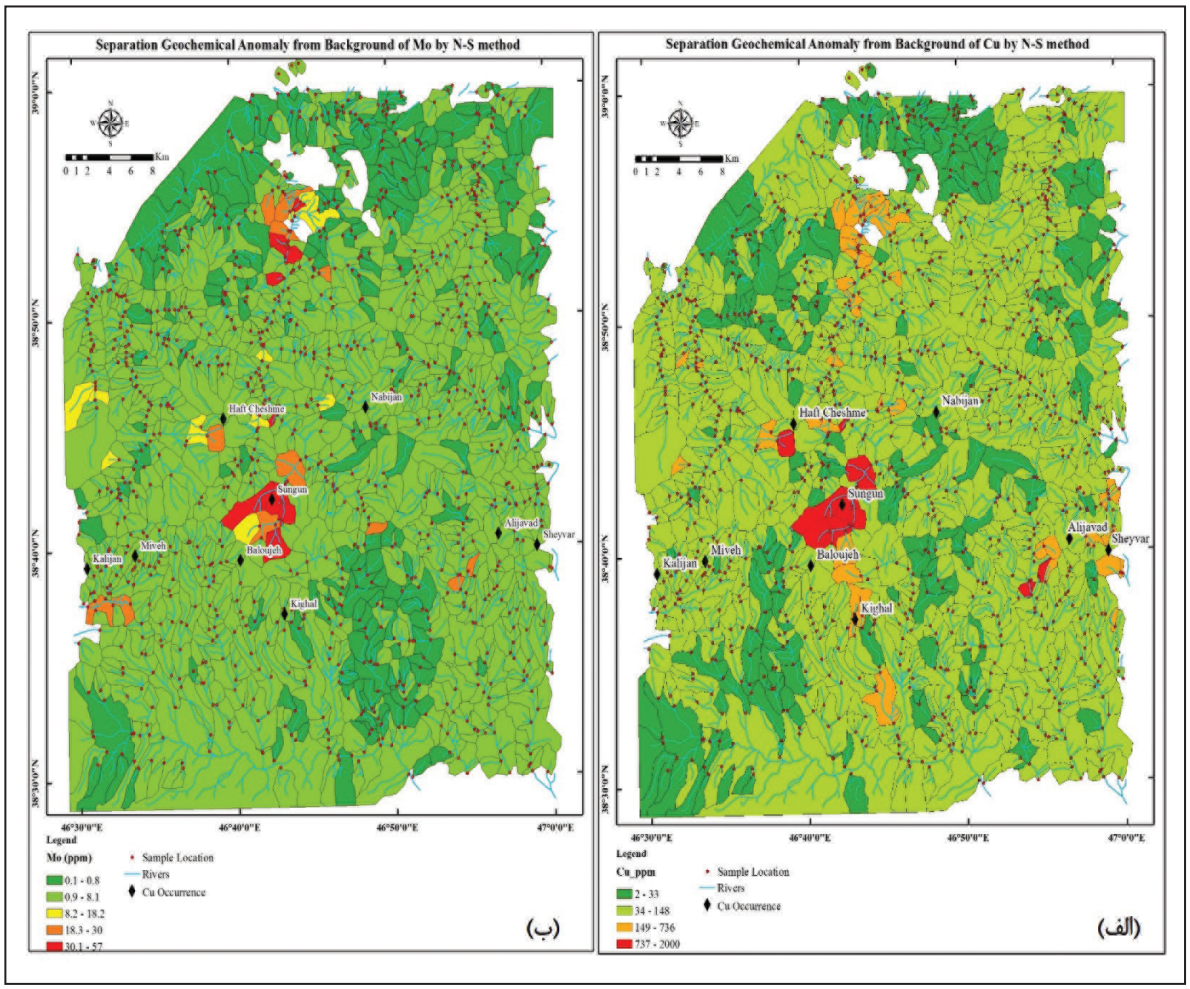


شکل ۵- نقشه جداسازی بی‌هنجاری از زمینه برای: الف) مس و ب) مولیبدن بر اساس اعمال روش C-A.

در این روش و بر اساس اصول گفته شده، ابتدا داده‌ها به‌صورت نزولی صورت و سپس تعداد هر عیار خاص تعیین شد. در مرحله بعد تعداد تجمعی داده‌ها محاسبه شده و لگاریتم طبیعی آن‌ها محاسبه گردید. جهت رسم نمودارهای N-S از لگاریتم عیار هر عنصر در برابر لگاریتم تعداد تجمعی هرکدام استفاده شد. درنهایت، همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، برای هر دو عنصر مولیبدن و مس، به ترتیب پنج و چهار جامعه شناسایی شد. جامعه چهارم مس که به عنوان جامعه بی‌هنجار نیز شناخته می‌شود دارای بعد فرکتالی ۲/۳ است و با عیار ppm ۷۳۵/۱ از جامعه سوم جدا می‌شود. همین‌طور مولیبدن با بعد فرکتالی ۳/۰۹، از جامعه چهارم با عیاری در حدود ppm ۳۰ تفکیک می‌شود (جدول ۲). با توجه به حدود تعیین شده طبق این نمودارها برای بی‌هنجاری‌های ممکن و احتمالی، نقشه عناصر منتخب رسم شد (شکل ۷). در مقایسه این شکل با نتایج روش عیار- مساحت، مشاهده می‌شود که بی‌هنجاری‌های تفکیک شده در هر دو روش مطابقت خوبی باهم دارند.



شکل ۶- نمودارهای لگاریتم تعداد تجمعی عیار خاص در برابر لگاریتم عیار برای: الف) مس و ب) مولیبدن؛ شکستگی‌ها بیانگر تغییر در جامعه است.



شکل ۷ – نقشه جداسازی بی‌هنجاری از زمینه برای: الف) مس و ب) مولیبدن بر اساس اعمال روش N-S.

جدول ۲– مقادیر آستانه و ابعاد فرکتالی برای مس و مولیبدن در روش N-S.

	جامعه ۱		جامعه ۲		جامعه ۳		جامعه ۴		جامعه ۵	
عنصر	T1 (ppm)	D1	T2 (ppm)	D2	T3 (ppm)	D3	T4 (ppm)	D4	T5 (ppm)	D5
Cu	۲	۰/۲۹	۳۳/۱	۱/۹۷	۱۴۸/۴	۱/۱۷	۷۳۵/۱	۲/۳۰	–	–
Mo	۰/۱	۰/۳۱	۰/۸۱	۱/۴۳	۸/۱	۰/۳۵	۱۸/۲	۱/۹	۳۰	۳/۰۹
D بیانگر بعد فرکتال و T نشان‌دهنده حدآستانه هر جامعه است.										

۴– بررسی مقایسه عملکرد هر روش با استفاده از ماتریس Logratio

با توجه به نقشه‌های به دست آمده از روش‌های عیار– مساحت و تعداد– اندازه و نیز محل کانسارهای شناخته شده مس پورفیری در ناحیه ورزقان، در این بخش سعی شده است که انطباق مناطق بی‌هنجار به دست آمده از روش‌های فرکتالی و کانسارهای شناخته شده مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور از ماتریس logratio استفاده شده است که برای اولین بار توسط Caranza (2011) ارائه و در تشخیص بی‌هنجاری‌های طلای رسوبات آبراهه‌ای در منطقه آروی آروی، واقع در شمال باختر مجمع‌الجزایر فیلیپین، به کار گرفته شد (شکل ۸).

به واسطه این ماتریس، نقشه‌های حاصل از روش‌های فرکتالی عیار– مساحت و اندازه– تعداد که برای عناصر مس و مولیبدن ترسیم شده‌اند، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. هر نقشه‌ای که پس از محاسبات مربوط به ماتریس مورد نظر بیشترین همپوشانی را با کانسارهای شناخته شده داشته باشد از بیشترین میزان دقت برخوردار است و می‌تواند به عنوان نتیجه‌ای بهینه و با کمترین میزان خطا مورد توجه قرار گیرد (Caranza, 2011). نتایج حاصل از محاسبات که تعداد پیکسل‌های اشغال شده توسط مناطق بی‌هنجاری و زمینه را توسط هر روش ارائه می‌کند، نشانگر این است که روش عیار– مساحت (C-A) دقت بیشتری نسبت به روش تعداد– اندازه دارد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، میزان دقت روش عیار– مساحت برای عناصر مس و مولیبدن به ترتیب برابر با ۰/۳۱ و ۰/۴۳ به دست آمده که از مقادیر متناظر آن در روش اندازه– تعداد بیشتر است.

		Anomaly	Background
Results of analysis	Anomaly	True anomaly (A)	False anomaly (B)
	Background	False background (C)	True background (D)
		Overall accuracy = (A+D)/(A+B+C+D)	

شکل ۸- ماتریس مقایسه عملکرد نتایج تهیه نقشه بی‌هنجاری ژئوشیمی (C، B، A و D تعداد پیکسل‌های اشغال شده هستند).

جدول ۳- ماتریس مقایسه عملکرد دو روش فرکتال عیار- مساحت (C-A) و اندازه- تعداد (N-S).

روش N–S		روش C–A			
زمینه	آنومالی	زمینه	آنومالی		
۲۳۱۹	۱۰۱۶	۲۵۳۷	۷۹۸	آنومالی	نتایج آنالیزهای مس
۱۴۸۶۰	۵۳۱۸۷	۲۱۵۶۴	۴۶۴۸۳	زمینه	
۰/۲۲		۰/۳۱		میزان دقت (٪)	
۱۹۶۶	۷۳۱	۵۷۰	۱۷۵۰	آنومالی	نتایج آنالیزهای مولیبدن
۱۵۳۵۰	۵۳۳۳۵	۲۸۸۱۴	۴۰۲۴۸	زمینه	
۰/۲۲		۰/۴۳		میزان دقت (٪)	

۵- نتیجه‌گیری

در بررسی ۱۰۶۷ نمونه رسوب آبراهه‌ای برداشت شده از ورقه یک‌صدهزار ورزقان، حوضه‌های مربوط به هر یک از نمونه‌ها ترسیم و عیار هر عنصر به حوضه بالادست خود اختصاص یافت. در این مقاله، با توجه به برتری‌های گفته شده روش‌های ساختاری بر روش‌های غیر ساختاری، از دو روش چندفرکتال استفاده شد که از زیرمجموعه‌های روش ساختاری هستند. نتایج حاصل به این شرح است: ۱) از الگوریتم PFS جهت رسم حوضه‌های آبراهه‌ای استفاده شد که نواقص الگوریتم D8 را رفع کرده بود؛ ۲) در روش C-A چهار جامعه برای هر کدام از عناصر مس و مولیبدن حاصل شد.

بی‌هنجاری‌های حاصل شده از این روش به خوبی اندیس‌های مس- مولیبدن پورفیری را شناسایی کرده‌اند؛ ۳) روش N-S، پنج جامعه را برای مولیبدن و چهار جامعه را همانند روش C-A برای مس شناسایی کرد؛ ۴) براساس نقشه‌های تولید شده و ماتریس logratio، مشخص شد که روش C-A دقت بیشتری نسبت به روش N-S دارد و بی‌هنجاری‌های حاصل از این روش، همپوشانی بیشتری با کانسارهای شناخته شده دارند؛ ۵) در انطباق مکان‌های بی‌هنجار با جنس سنگ‌های دربرگیرنده، می‌توان به‌خوبی به اهمیت وجود توده‌های نفوذی گرانیتی- گرانودیوریتی پی‌برد.

در نهایت با توجه به بی‌هنجاری‌های حاصل از هر دو روش، مکان‌هایی با فاصله اندک از محل اندیس‌ها به عنوان بی‌هنجاری شناسایی شدند که می‌توانند برای انجام مطالعات بیشتر در قالب پیمایش‌های صحرایی جزیی‌تر و مطالعات لیتوژئوشیمیایی پیشنهاد شوند. همچنین عدم مطابقت اندیس‌های مس موجود در منطقه با بی‌هنجاری‌های حاصل، می‌تواند به دلایل مختلفی نظیر نوع کانسار مس، نمونه‌های برداشت شده، تراکم نمونه‌ها و مقیاس مطالعه باشد.

کتابنگاری

حسنی پاک، ع. ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۹۰- تحلیل داده‌های اکتشافی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.
مهرپرتو، م.، امینی‌فضل، آ. و رادفر، ج.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ ورزقان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
هزارخانی، ا. و سلجوقی، ب. ش.، ۱۳۹۵- مدل‌سازی فرکتال و چندفرکتال داده‌های ژئوشیمیایی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

References

Abdolmaleki, M., Mokhtari, A., Akbar, S., Alipour-Asl, M. and Carranza, E. J. M., 2014- Catchment basin analysis of stream sediment geochemical data: Incorporation of slope effect. Journal of Geochemical Exploration, pp. 96- 103.

Afzal, P., Khakzad, A., Moarefvand, P., Omran, N. R., Esfandiari, B. and Alghalandis, Y. F., 2010- Geochemical anomaly separation by multifractal modeling in Kahang (Gor Gor) porphyry system, Central Iran. Journal of Geochemical Exploration, vol.104, pp. 34- 46.

Agterberg, F., 1995- Multifractal modeling of the sizes and grades of giant and supergiant deposits. International Geology Review, vol.37, pp.1- 8.

Carranza, E. J. M., 2011- Analysis and mapping of geochemical anomalies using logratio-transformed stream sediment data with censored values. Journal of Geochemical Exploration, vol.110, pp. 167- 185.

Cheng, Q. and Zhao, P., 2011- Singularity theory and methods for Characterizing mineralization processes and mapping geo-anomalies for mineral deposit prediction. Geoscience Frontiers, vol2, pp. 67- 79.

Cheng, Q., Agterberg, F. P. and Ballantyne, S. B. 1994- The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. Journal of Geochemical Exploration, 54, 109- 130.

Garousi Nezhad, S., Mokhtari, A. R. and Roshani Rodsari, P., 2017- The true sample catchment basin approach in the analysis of stream sediment geochemical data. Ore Geology Reviews.Volum8 pp 127- 134.

Hezarkhani, A. and Williams-Jones, A. E ., 1998- Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran: evidence from fluid inclusions and stable isotopes. Econ Geol 93:651- 670.

Jamali, H. and Mehrabi, B., 2014- Relationship between arc maturity and Cu-Mo-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran Magmatic Belt. Ore Geology Reviews.

Jones, R., 2002- Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples. Computer and Geosciences, pp. 1051- 1060.

Mandelbrot, B. B., Passoja, D. E. and Paullay, A. J., 1984- Fractal characteristics of rock discontinuities. Engineering geology, vol. 34, pp. 1- 9.

Monecke, T., Gemmel, J. B. and Monecke, J., 2001- Fractal distribution of veins in drill core from the Hellyer VHMS deposit, Australia: constraints on the origin and evolution of mineralizing system. Mineralium Deposita, vol. 36, pp. 406- 415.

Pazand, K., Hezarkhani, A., Ataei, M. and Ganbari, Y., 2011- Application of multifractal modeling technique in systematic geochemical stream sediment survey to identify copper anomalies: A case study from Ahar, Azarbaijan, Northwest Iran. Chemie der Erde-Geochemistry, vol. 71, pp.397- 402.

Seuront, L., 2009- Fractals and multifractals in ecology and aquatic science: CRC.

Sillitoe, R. H., 2010- Porphyry Copper Systems. Economic Geology, v. 105, pp. 3- 41.

Application of multifractal methods in stream sediment sampling to identifying Cu and Mo anomalies in Varzaghan 1:100,000 Sheet

M. Nikfarjam[1*], A. Hezarkhani[2] and K. Pazand[3]

[1]M.Sc. Student, Department of Mining and Metallurgy, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

[2]Professor, Department of Mining and Metallurgy, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

[3]Ph.D., Young Researchers and Elites Club, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2017 June 07 Accepted: 2018 March 11

Abstract

The study area (Varzaghan 1:100,000 Sheet) is located in eastern Azarbaijan province and Ahar-Arasbaran metallogenic zone. The magmatism in this area is happened widespreadly that leads to several important deposits like Sungun world class deposit. According to the importance of this region from Cu-Mo porphyry deposits, we used structural methods like multifractal method to determinate Cu and Mo geochemical anomalies as indicator minerals of Cu-Mo porphyry deposits. In this paper two multifractal method like C-A (Concentration-Area) and N-S (Number-Size) method were used in order to separation geochemical anomalies from background and select the optimum method. In this way, first of all, we draw catchment basins for every stream sedimentary samples by using DEM and PFS (Priority-First-Search) algorithm. After drawing the catchment basins for each sample, concentrations of samples were assigned to their upstreams. In C-A method with plotting cumulative area of each sample catchment basin versus concentration content, 4 number society of each Cu and Mo elements identified. Also in N-S method, cumulative frequency of concentrations versus concentrations plotted. In this method in comparison to C-A method, 5 number society of Mo and 4 number society detected. In both performed methods can see good conformity of anomalous locations with well known deposits like Sungun worldclass deposit but N-S method has better efficiency by using logratio matrix. Also we can see the effect of lithology in anomalous places. Finally some of theses places addition to indications detected. So they require detailed exploration in future.

Keywords: Varzaghan, Stream Sediment sample, Structural method, Geochemistry anomalous, Multifractal methods, C-A method, N-S method.

For Persian Version see pages 75 to 82

*Corresponding author: M. Nikfarjam; E-mail: meysamnikfarjam47@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional