مقایسه مدل‌های فرکتالی عیار -تعداد (C-N) و عیار -مساحت (C-A) در جداسازی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی از زمینه در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود، شمال غرب ایران

علی اکبر دایا*[1]، راحله مرادی[2]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی شهید ولی الله نیکبخت، گروه مهندسی معدن، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دکترا زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(دریافت: خرداد ۱۳۹۶، پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷)

چکیده

یکی از مهم‌ترین بخش مطالعات اکتشافات ژئوشیمیایی جداسازی آنومالی از زمینه برای عناصر گوناگون است. روش‌های مختلفی برای این امر بکار می‌روند. یکی از این روش‌ها، الگوریتم‌های مبتنی بر هندسه فرکتال است. در این مقاله مدل‌های فرکتالی عیار- تعداد و عیار- مساحت به منظور جدایش بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی عناصر مس، مولیبدن، آهن و آنتیموان در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود (آذربایجان شرقی)، شمال غرب ایران مورد استفاده قرار گرفتند. نخست ۱۲۳۸ نمونه رسوب آبراهه‌ای از محدوده برداشت شده و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. در مرحله بعد با ترسیم منحنی لگاریتمی عیار-مساحت و عیار- تعداد حدود آستانه تعیین و جوامع زمینه و بی‌هنجاری‌ها برای عناصر مورد نظر در منطقه مورد مطالعه از یکدیگر جدا شدند. منحنی‌های لگاریتمی سه جمعیت یا فاز ژئوشیمیایی در منطقه را تأیید می‌کند که با ساختارهای زمین شناسی منطقه از قبیل واحدهای سنگ شناسی، گسل‌ها و دگرسانی‌ها در ارتباط هستند. با استفاده از نتایج حاصل از این مدل‌سازی فرکتالی نقشه‌های بی‌هنجاری این عناصر در این محدوده ترسیم و جوامع آنومالی به تفکیک مشخص شدند. نقشه‌های بی‌هنجاری عناصر با موقعیت نشانه‌های معدنی هر عنصر برای هر دو مدل فرکتالی عیار- مساحت و عیار- تعداد مقایسه گردید. نتایج نشان داد که انطباق خوبی بین موقعیت مکانی نشانه‌های معدنی شناسایی شده در برگه سیه رود و مناطق بی‌هنجاری در هر دو مدل فرکتالی وجود دارد اما بی‌هنجاری‌های حاصل از مدل فرکتالی عیار- مساحت دربرگیرنده نشانه‌های معدنی بیشتری است. این نکته به خصوص برای عنصر مس مشهود است. علاوه بر این نتایج نشان داد بیش‌ترین بی‌هنجاری‌های مس، آهن و مولیبدن منطبق بر واحدهای آذرین، دگرسانی‌های مربوط به آن‌ها و گسل‌ها است.

کلمات کلیدی

مدل فرکتالی عیار- تعداد، مدل فرکتالی عیار- مساحت، بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی، آذربایجان شرقی.

*عهده دار مکاتبات: *aliakbardaya@eng.usb.ac.ir*

۱- مقدمه

روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای متداول‌ترین شیوه اکتشافات ژئوشیمیایی مقدماتی از نوع کوچک تا متوسط مقیاس است. این روش بر مبنای هاله‌های ثانویه انتقال یافته‌ای بوده که بر اساس مهاجرت عناصر در رسوبات آبراهه‌ای ایجاد می‌شوند، بنابراین وجود بی‌هنجاری به صورت تهی شدگی یا غنی شدگی در این رسوبات از وجود یک منبع پر عیار و یا یک سد ژئوشیمیایی که موجب تجمع عناصر و تهی شدگی مناطق پایین دست خود شده، در بالادست خبر می‌دهد[۱]. نتایج حاصل از روش‌های سنتی مبتنی بر آمار کلاسیک تا مدت‌ها به عنوان تنها روش‌های تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند که دارای نقایصی از قبیل شرط تبعیت از توزیع نرمال، حذف تعدادی از داده‌ها به عنوان خارج از ردیف، عدم توجه به توزیع فضایی داده‌ها و نیز عدم توجه به شکل هندسی بی‌هنجاری‌ها بوده[۲] و توانایی بیان بیشتر پیچیدگی‌های موجود در طبیعت را ندارند[۳]. این مسائل سبب شده که برای بیان این پیچیدگی‌ها از هندسه خود طبیعت یا همان هندسه فرکتال استفاده شود. در روش آمار کلاسیک، مبنای کار محاسبه پارامترهای آماری مربوط به کل منطقه است که با استفاده از پارامترهای مختلف و مقادیر حول میانگین و جداسازی جوامع انجام می‌گیرد[۴] اما مزیت روش فرکتال این است که در آن از داده‌های واقعی برای جداسازی جوامع استفاده می‌شود بدون آنکه پردازش‌های آماری مانند نرمال کردن داده‌ها که موجب عوض شدن ماهیت می‌شوند، استفاده شود و در نتیجه مدلسازی با این روش به واقعیت نزدیک‌تر است[۵]. به طور کلی وجود بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی باعث افزایش بعد فرکتال متغیرهای ژئوشیمیایی می‌شود و بر این اساس می‌توان مراحل مختلف توزیع عناصر را بر اساس اختلاف در بعد فرکتالی جدا کرد. به این صورت جامعه بی‌هنجاری، حد آستانه و زمینه در یک منطقه شناسایی می‌شود. روش‌های مختلفی برای تعیین بُعد فرکتالی الگوهای ژئوشیمیایی به منظور جدایش بی‌هنجاری از زمینه بکار برده شده است که از آن جمله می‌توان به مدل‌های عیار- حجم، عیار- مساحت، عیار- محیط، طیف توان- مساحت، عیار- فاصله و عیار- تعداد اشاره نمود. در بسیاری از مطالعات [۶-۸] از مدل‌های فرکتالی عیار- مساحت و عیار- تعداد به طور وسیعی در اکتشافات ژئوشیمیایی استفاده شده است که به عنوان یکی از قدرتمندترین مدل‌ها برای جدایش جوامع بی‌هنجاری از زمینه شناخته شده‌اند[۴].

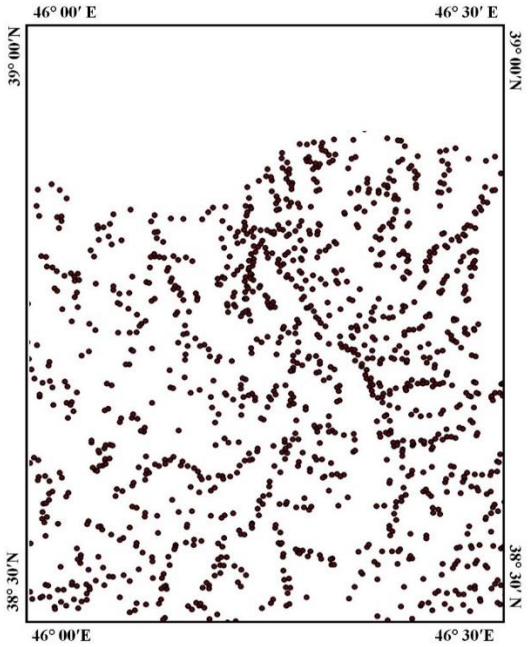
مطالعات قبلی انجام شده در مورد روش‌های فرکتالی کمتر به مقایسه دو مدل فرکتالی عیار- مساحت و عیار- تعداد پرداخته است. اعتبارسنجی روش‌های فرکتالی غالباً بر اساس انطباق نقشه‌های زمین‌شناسی با بی‌هنجاری‌ها بوده است. منطقه سیه رود دارای نشانه‌های معدنی فراوانی است. در همین راستا در این پژوهش برای جداسازی بی‌هنجاری‌ها و مناطق امیدبخش و همچنین بررسی ارتباط بین بی‌هنجاری‌های مس، مولیبدن، آهن و آنتیموان در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود (آذربایجان شرقی) با نشانه‌های معدنی از مدل‌های فرکتالی عیار- تعداد و عیار- مساحت استفاده شده است و در نهایت کارایی این دو مدل در تطابق بی‌هنجاری‌ها با نشانه‌های معدنی و همچنین سایر پدیده‌های زمین‌شناسی با یکدیگر مقایسه شدند.

۲- روش انجام پژوهش

در این پژوهش تعداد ۱۲۳۸ نمونه رسوب آبراهه‌ای با اندازه ۸۰ مش از مرکز آبراهه‌های برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود برداشت شده است (شکل ۱). نمونه‌ها به روش XRF و ICP-MS تجزیه شده‌اند که در اینجا به دلیل در دسترس بودن اطلاعات نشانه‌های معدنی مس، مولیبدن و آهن و آنتیموان، این چهار عنصر مورد مطالعه قرار گرفتند. برای محاسبات از روشهای فرکتالی عیار- تعداد و عیار- مساحت استفاده شده است. مدل عیار- تعداد بر اساس رابطه معکوس بین عیار و فراوانی تجمعی هر عیار و عیارهای بالاتر توسط حسن پور و افضل [۶] به صورت رابطه (۱) ارایه شده است.

$$N(\geq \rho) \propto \rho^{-\beta} \qquad (۱)$$

که در آن $N(\geq \rho)$ برابر تعداد نمونه‌هایی است که عیار مساوی و بالاتر از ρ دارند؛ ρ برابر عیار و β برابر با فرکتالی است. نمودارهای لگاریتمی حاصل از این مدل فرکتالی بیانگر تغییرات و تفاوت‌های زمین‌شناختی هستند. شکست‌های روی نمودار و مقادیر متناظر عیار عنصری ρ، به عنوان حدود آستانه‌ای برای جداسازی مقادیر ژئوشیمیایی در میان مؤلفه‌های گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیان کننده عوامل مختلفی از جمله تفاوت‌های سنگ‌شناسی و فرایندهای ژئوشیمیایی است[۹].



شکل ۱: نقشه موقعیت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود

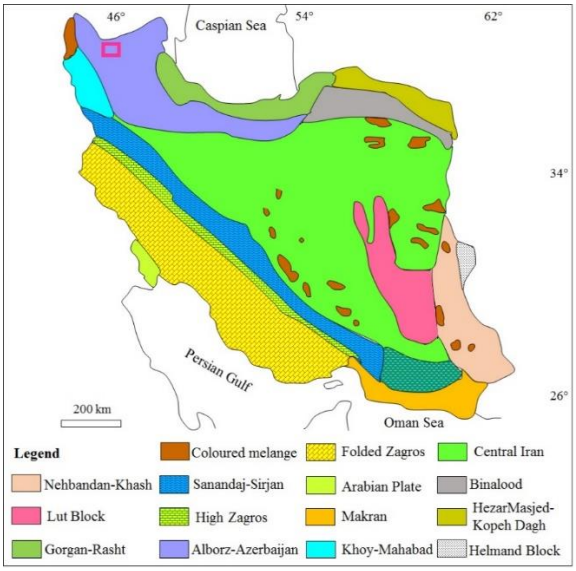
مدل عیار- مساحت نخستین بار توسط چنگ و همکاران[۵] پیشنهاد شده است. این مدل نیز بر اساس رابطه معکوس بین عیار و مساحت تجمعی هر عیار و عیارهای بالاتر به صورت رابطه (۲) بنا شده است:

$$A(>\rho) \propto \rho^{-D} \qquad (۲)$$

که $A(>\rho)$ عبارت است از مساحت تجمعی محصور شده توسط خطوط هم عیاری است که عیار متناظر آنها بزرگ‌تر از ρ بوده و D نمایانگر بُعد فرکتال مربوط به دامنه‌های متفاوت ρ است. نمودارهای لگاریتمی حاصل از روش عیار در برابر مساحت تجمعی در نقاطی تغییر شیب می‌دهد و بیانگر تغییر از زمینه به بی‌هنجاری‌های درجه مختلف و به عبارتی تغییر در شرایط زمین‌شناسی و به خصوص کانی‌سازی است[۱، ۱۰].

۳- زمین شناسی

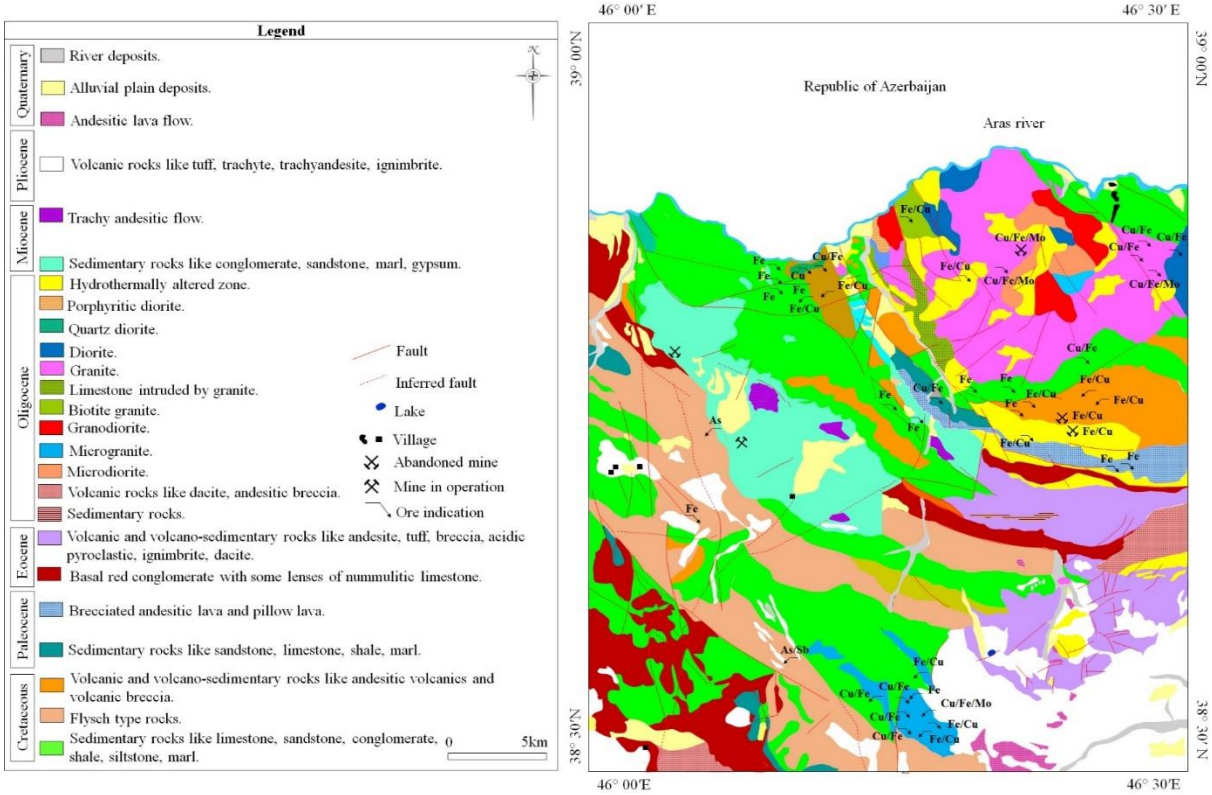
منطقه سیه رود بر اساس تقسیم‌بندی جغرافیایی در استان آذربایجان شرقی قرار دارد و به لحاظ زمین‌شناسی از دیدگاه نبوی[۱۱]، اشتوکلین[۱۲] و آقانباتی[۱۳] به ترتیب در زون‌های البرز- آذربایجان، ارومیه- دختر و ایران مرکزی واقع می‌شود. شایان ذکر است که به اعتقاد برخی از پژوهشگران زون ارومیه- دختر با فراوانی سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی، بخشی از ایران مرکزی محسوب می‌شود اما روندی همانند روند زاگرس داشته که در شمال شرق زون سنندج- سیرجان واقع شده است (شکل ۲). در این پژوهش از طبقه‌بندی نبوی[۱۱] استفاده شده و منطقه مورد مطالعه جزئی از زون البرز- آذربایجان محسوب شده است که به لحاظ ماگماتیسم، از زون‌های پویای ماگماتیسم به ویژه در زمان سنوزوئیک است.



شکل ۲: نقشه زون‌های رسوبی- ساختاری ایران [۱۱] و موقعیت منطقه سیه رود که با مربع قرمز رنگ مشخص شده است

منطقه مورد مطالعه به لحاظ سنگ‌شناسی بسیار متنوع بوده و دربرگیرنده واحدهای فلیش، آتشفشانی، آتشفشانی- رسوبی و نفوذی است (شکل ۳). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه، واحدهای فلیش کرتاسه بالایی متشکل سنگ آهک میکریتی، سیلتستون، شیل و گلسنگ است. فعالیت‌های ماگمایی در این منطقه اهمیت به سزایی دارد به صورتی که بازتاب این فعالیت‌ها در فازهای گوناگون به شکل سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی- رسوبی و نفوذی نمود دارد. سنگ‌های آتشفشانی مربوط به کرتاسه بالایی، از نوع زیردریایی بوده و ترکیب حد واسط دارند که گاهی دارای ساخت بالشی هستند. این نوع سنگ‌ها اغلب آندزیتی بوده که به شدت متحمل دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک، پروپیلیتیک و آلونیتی شده‌اند و در برخی مناطق کانی‌سازی مس و آهن نیز در آنها تشکیل شده است. از دیگر سنگ‌های آتشفشانی منطقه می‌توان به داسیت، توف‌های اسیدی و ایگنیمبریت‌های ائوسن و الیگوسن اشاره کرد که از گستردگی زیادی نیز برخوردارند. فعالیت‌های نفوذی در شمال شرق منطقه اهمیت به سزایی دارد به صورتی که بازتاب این فعالیت‌ها بیشتر به شکل سنگ‌های نفوذی متعلق به الیگوسن نمود دارد. سنگ‌های نفوذی گفته شده

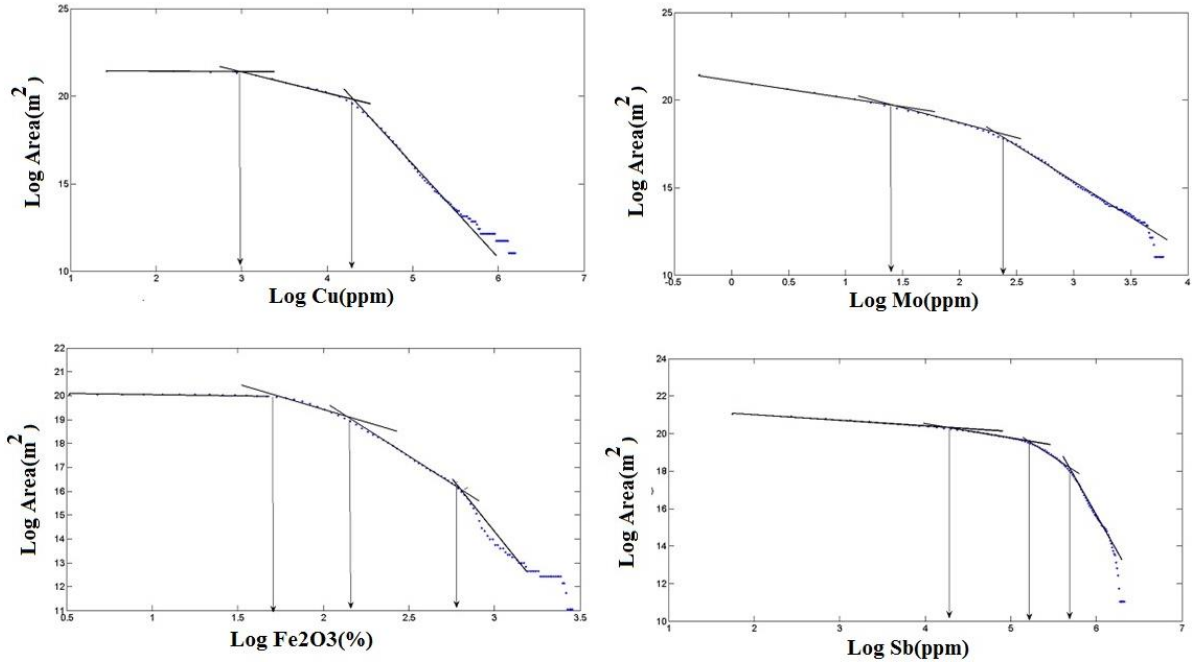
با ترکیب گرانیتوئیدی، در قالب گنبدهای آذرین بزرگ قابل مشاهده بوده که در یکدیگر نفوذ کرده‌اند و واحدهای اطراف خود را تحت تأثیر دگرگونی مجاورتی و دگرسانی قرار داده‌اند. درون این توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی می‌توان بخش‌هایی را با افزایش نسبتاً زیاد بیوتیت به صورت بیوتیت گرانیت و همچنین انواع ریز دانه را به صورت میکروگرانیت تفکیک کرد. برخی از این سنگ‌های گرانیتوئیدی به صورت گسترده تحت تأثیر محلول‌های گرمابی قرار گرفته‌اند که منجر به تشکیل مناطق کانی سازی خوبی از مس و آهن در شکل‌های پراکنده، رگه‌ای، رگچه‌ای، اسکارن و شبکه‌ای به همراه فلزات با ارزش مانند طلا، مولیبدن، آنتیموان، آرسنیک و ... شده است.



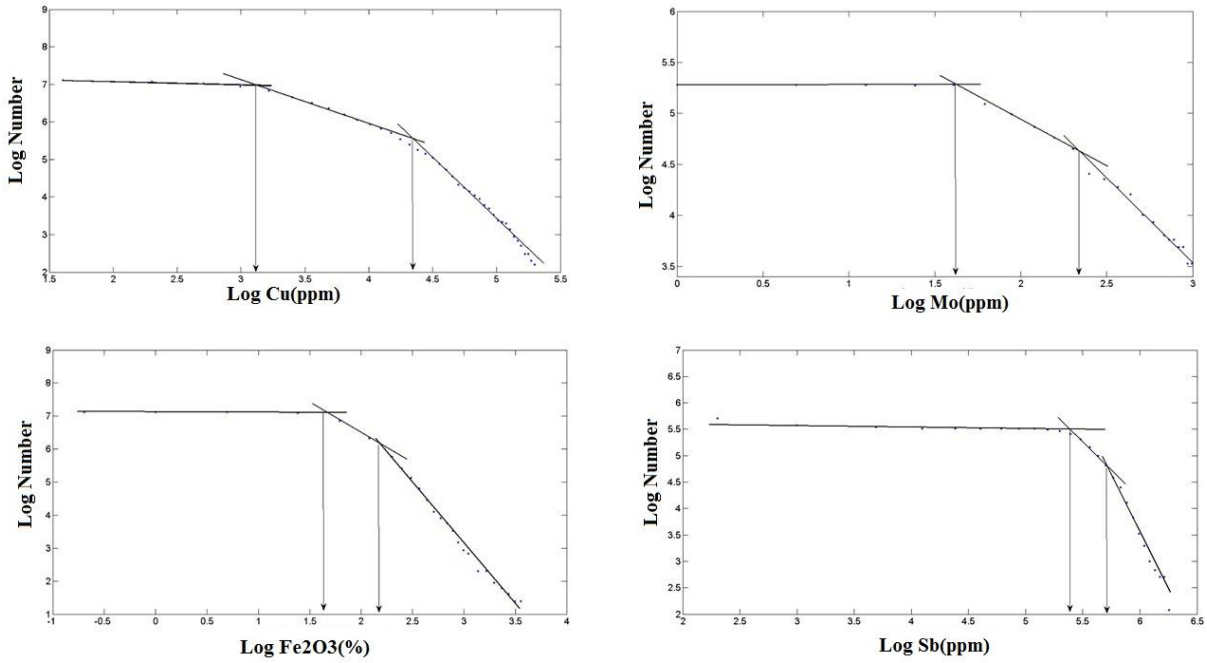
شکل ۳: نقشه زمین شناسی ساده شده سیه رود بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود [۱۴]

۴- بحث

نمودارهای لگاریتمی عیار- مساحت و عیار- تعداد برای عنصرهای Cu، Mo، Fe_2O_3 و Sb ترسیم (شکل‌های ۴ و ۵) و سپس با استفاده از نقاط شکست در این منحنی‌ها حدود آستانه‌ای عناصر تعیین شده است (جدول ۱). هر یک از نمودارهای لگاریتمی عیار- مساحت و عیار-تعداد چندین جامعه ژئوشیمیایی را نشان می‌دهند. این جوامع به دلیل ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در طبیعت با ساختارهای زمین شناسی منطقه از قبیل جنس سنگ، گسل و دگرسانی در ارتباط هستند. منحنی عیار- مساحت مس نشانگر سه جامعه ژئوشیمیایی مختلف در محدوده مورد مطالعه است (شکل ۴). بر اساس نقاط شکست به دست آمده در این نمودار، توزیع جامعه‌های ژئوشیمیایی مختلف عنصر مس در شکل ۶ آورده شده است. جامعه اول که شیب کمی دارد زمینه عنصر مس در منطقه است. جامعه دوم که با رنگ زرد در شکل ۶ مشخص شده است را می‌توان به عنوان بی‌هنجاری متوسط قلمداد کرد که عیار این جامعه بین ۲۰ppm و ۷۰ ppm است. جامعه سوم که دارای شیب زیادتری نسبت به دو جامعه قبلی است را می‌توان به عنوان بی‌هنجاری قطعی برای عنصر مس در منطقه قلمداد کرد (جدول ۱) که شامل مقادیر عیار بیش‌تر از ۷۰ ppm بوده و با رنگ قرمز در نقشه نشان داده شده است.



شکل ۴: نمودار لگاریتمی عیار- مساحت مربوط به Cu، Mo، Fe_2O_3 و Sb.

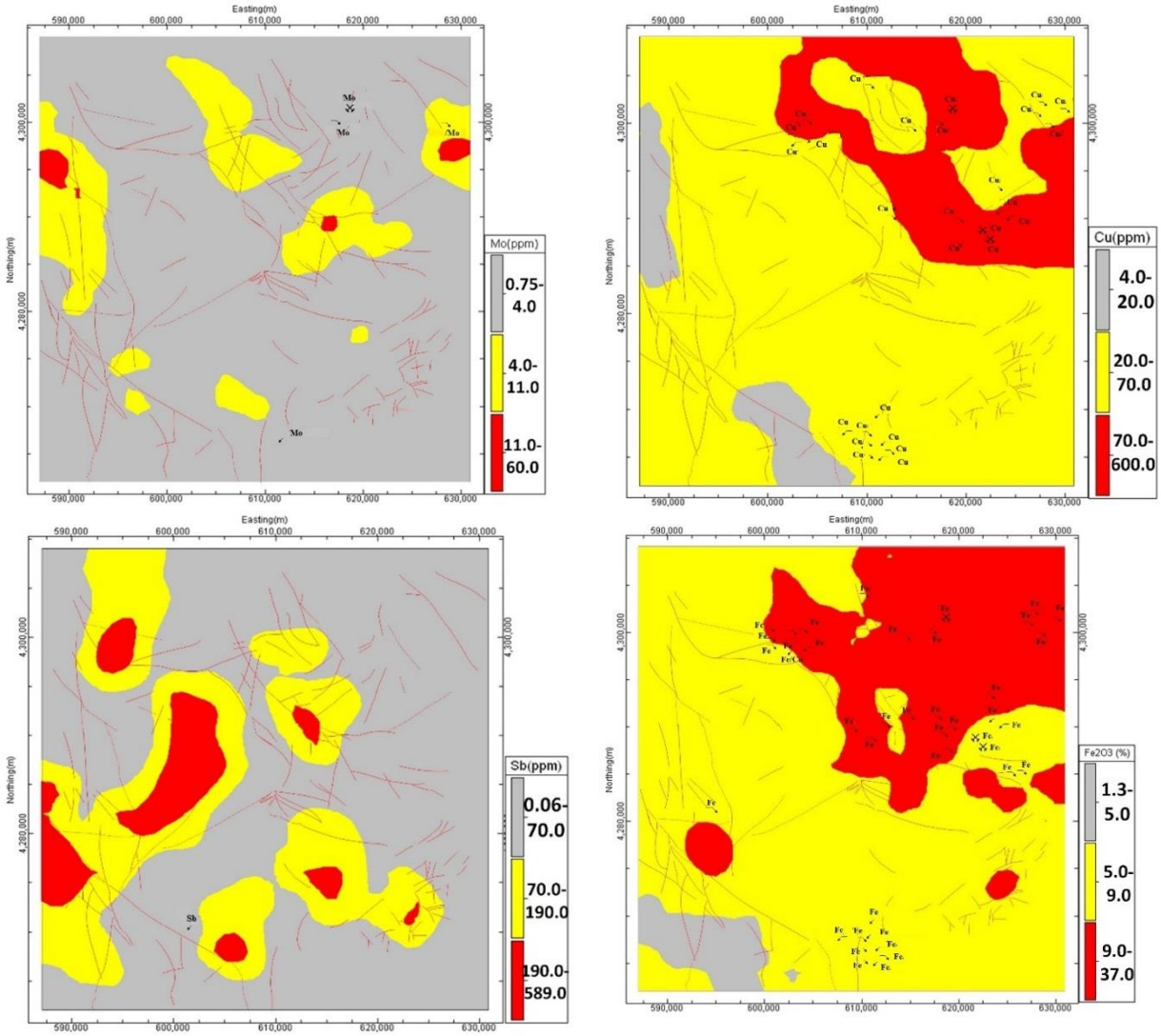


شکل ۵: نمودار لگاریتمی عیار- تعداد مربوط به Cu، Mo، Fe_2O_3 و Sb

جدول ۱: مقادیر حدود آستانه‌ای به دست آمده با استفاده از مدل‌های عیار- مساحت و عیار- تعداد مربوط به عناصر مس، مولیبدن، اکسید آهن و آنتیموان

عنصر	مدل عیار- مساحت		مدل عیار- تعداد	
	حد آستانه اول	حد آستانه دوم	حد آستانه اول	حد آستانه دوم
مس	۲۰ppm	۷۰ppm	۲۲,۲ ppm	۷۷,۵ ppm
مولیبدن	۴ ppm	۱۱ ppm	۵ ppm	۱۰ ppm
اکسید آهن	٪۵	٪۹	٪۵	٪۹
آنتیموان	۷۰,۱۰ ppm	۱۹۰,۵۰ ppm	۲۲۱ ppm	۲۹۸ppm

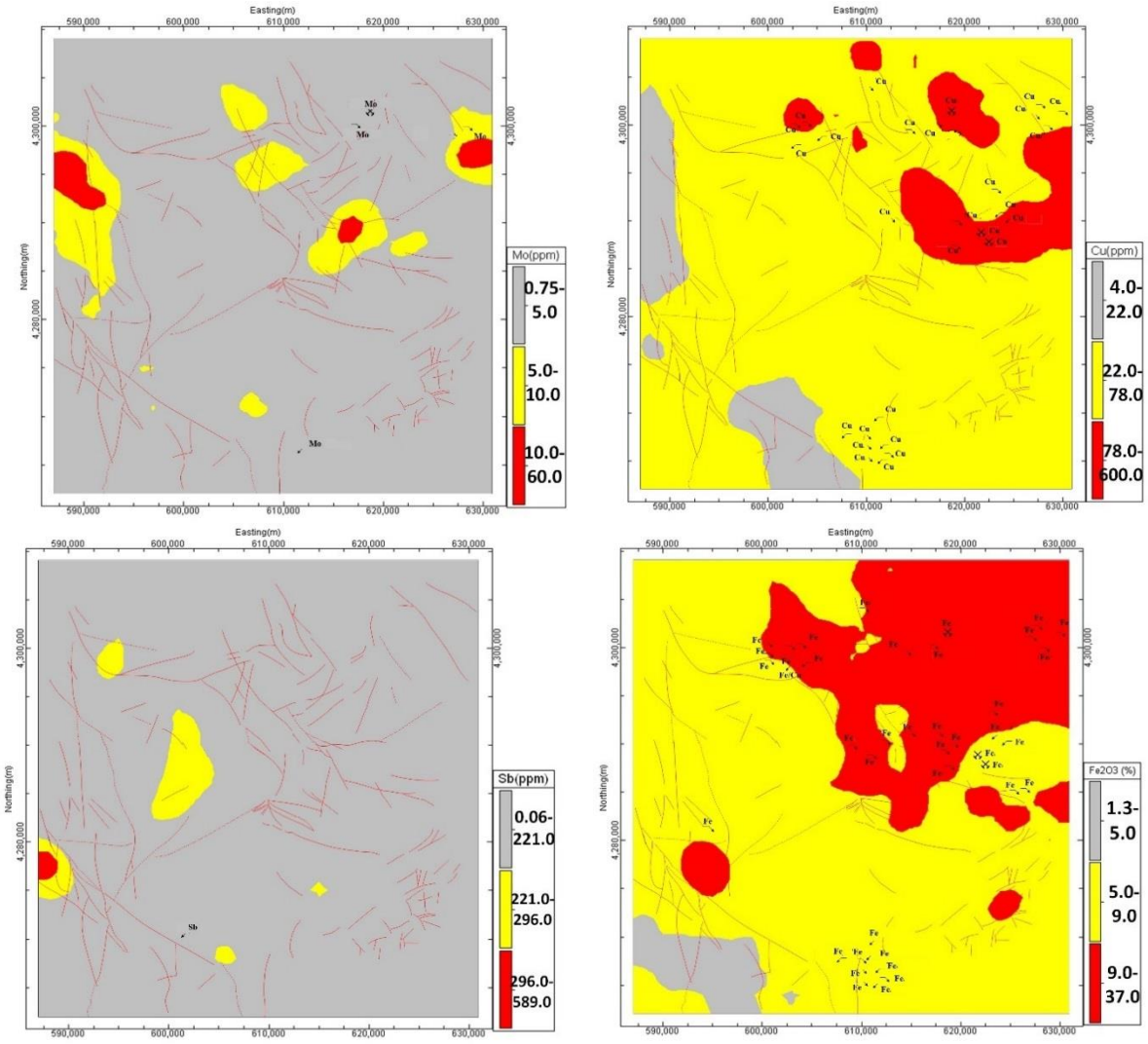
مدل فرکتال عیار- تعداد مس نیز دارای سه جامعه ژئوشیمیایی است. حدود آستانه‌ای دو مدل فرکتالی عیار- مساحت و عیار-تعداد برای عنصر مس خیلی به هم نزدیک هستند (جدول ۱). تعداد نشانه‌های معدنی دربرگیرنده در قسمت بی‌هنجاری قطعی (مناطق قرمز رنگ در شکل‌های ۶ و ۷) در مدل عیار – مساحت برای عنصر مس بیشتر از مدل عیار- تعداد (۱۰ در مقایسه با ۷) است. از نظر وسعت بی‌هنجاری قطعی هم اگر بخواهیم مقایسه‌ای انجام دهیم با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ اختلاف چندانی بین مساحت‌های بی‌هنجاری قطعی برای این دو مدل وجود ندارد. در مجموع برای عنصر مس مدل عیار – مساحت کارایی بهتری دارد.



شکل ۶: ارتباط بین گسل‌های موجود در منطقه سیه رود، نشانه‌های شناسایی شده و جوامع ژئوشیمیایی در مدل فرکتال عیار- مساحت

مولیبدن یکی دیگر از پتانسیل‌های معدنی در منطقه است که به همراه مس و آهن یافت می‌شود. در این مورد نیز مشابه عنصر مس اختلاف زیادی بین حدود آستانه‌ای در دو مدل فرکتالی یافت نمی‌شود (جدول ۱). نقشه‌های بی‌هنجاری حاصله هم تقریباً مشابه است. در مورد مولیبدن می‌توان گفت که اختلاف چندانی بین کاربرد مدل فرکتالی عیار- مساحت و عیار- تعداد وجود ندارد.

یکی دیگر از نشانه‌های مشخص در منطقه مورد بررسی نشانه آهن است. نتایج آنالیز خود عنصر آهن در دسترس نبوده و به جای آن اکسید آهن اندازه‌گیری شده است بنابراین تحلیل‌ها، نمودارها و نقشه‌های مربوط به اکسید آهن مورد نظر قرار گرفته است. حدود آستانه‌ای اکسید آهن در دو مدل فرکتالی عیار – مساحت و عیار- تعداد یکسان است (جدول ۱). آخرین عنصر مورد بررسی که به طور کلی در منطقه دارای یک نشانه از آنتیموان است. هیچ‌کدام از مدل‌ها نتوانسته‌اند به طور دقیق انطباق بین بی‌هنجاری آنتیموان با نشانه‌های معدنی موجود را داشته باشند (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۷: ارتباط بین گسل‌های موجود در منطقه سیه رود، نشانه‌های شناسایی شده و جوامع ژئوشیمیایی در مدل فرکتال عیار- تعداد

۵- تطابق زمین‌شناسی با بی‌هنجاری‌های مدل‌های فرکتالی عیار- مساحت و عیار- تعداد

بر اساس مدل‌های فرکتالی عیار- تعداد و عیار- مساحت چندین جامعه ژئوشیمیایی برای عناصر مس، آهن، آنتیموان و مولیبدن قابل مشاهده است که با ساختارهای زمین شناسی منطقه از قبیل واحدهای سنگ شناسی، گسل‌ها و دگرسانی‌ها در ارتباط هستند (شکل‌های ۶ و ۷). با توجه به نقشه زمین‌شناسی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود (شکل ۳) و انطباق آن با نقشه‌های بی‌هنجاری عیار- تعداد و عیار- مساحت (شکل‌های ۶ و ۷) می‌توان گفت که بیش‌ترین بی‌هنجاری‌های مس، آهن و مولیبدن منطبق بر واحدهای آذرین، دگرسانی‌های مربوط به آنها و گسل‌های عملکرده است. به سبب عملکرد محلول‌های هیدروترمال در سنگ‌های آذرین نفوذی با سن الیگوسن که در قسمت شمال شرق منطقه واقع شده‌اند و همچنین سنگ‌های آتشفشانی در بخش‌های مرکزی، سنگ‌های مورد نظر دگرسان شده و رگه‌های کوارتزی و زون‌های کانی‌سازی در آنها ساخته شده است. علاوه بر این، بیش‌ترین نشانه‌های معدنی شناسایی شده در برگه سیه رود نیز بر مناطق بی‌هنجاری‌های ذکر شده انطباق دارد (شکل‌های ۶ و ۷). این موارد بیانگر تأیید بی‌هنجاری‌های مس، آهن و مولیبدن به وسیله شواهد زمین‌شناسی نیز است. بی‌هنجاری آنتیموان و تا حدودی آهن با سایر بی‌هنجاری‌ها تفاوت داشته و نقشه‌های بی‌هنجاری عیار- تعداد و عیار- مساحت آنها تطابق زیادی با هم ندارند. بر اساس نقشه عیار- تعداد تنها یک منطقه با بی‌هنجاری شدید آنتیموان و در غرب برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود وجود دارد در حالی که در نقشه عیار- مساحت مناطق بی‌هنجاری بیش‌تری قابل مشاهده

است. این مناطق با گسل‌های موجود انطباق داشته اما نشانه‌های زیادی در مورد این عنصر شناسایی نشده است. در مورد آهن می‌توان گفت که در نقشه عیار- تعداد منطقه بی‌هنجاری بزرگ‌تری وجود دارد، در حالی که در نقشه عیار- مساحت منطقه بی‌هنجار دارای وسعت کم‌تری است. شایان ذکر است که در هر دو نقشه تمرکز بی‌هنجاری بیش‌تر در قسمت‌های متمایل به شمال شرق ورقه سیه رود است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل‌های فرکتالی عیار- تعداد و عیار- مساحت به منظور جدایش بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی عناصر مس، مولیبدن، آهن و آنتیموان در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه رود (آذربایجان شرقی)، شمال غرب ایران مقایسه شدند. نمودارهای لگاریتمی سه جامعه ژئوشیمیایی در منطقه را برای هر دو مدل فرکتالی تأیید می‌کند که با ساختارهای زمین‌شناسی منطقه از قبیل واحدهای سنگ‌شناسی، گسل‌ها و دگرسانی‌ها در ارتباط هستند. انطباق خوبی بین نشانه‌های معدنی شناسایی شده در برگه سیه رود و مناطق بی‌هنجاری در هر دو مدل فرکتالی وجود دارد اما بی‌هنجاری‌های حاصل از مدل فرکتالی عیار- مساحت برای بعضی عناصر به خصوص مس دربرگیرنده نشانه‌های معدنی بیشتری است. نتایج نشان داد بیش‌ترین بی‌هنجاری‌های مس، آهن و مولیبدن در بخش‌های شمالی به خصوص شمال شرق و گاهی در مرکز ورقه سیه رود است که می‌تواند به عنوان مناطق امیدبخش برای مطالعات اکتشافی بیشتر مورد توجه قرار بگیرند. مناطق گفته شده منطبق با واحدهای آذرین، دگرسانی‌های مربوط به آنها و گسل‌ها است. می‌توان چنین عنوان کرد که به سبب عملکرد گسل‌ها راه برای عبور و تأثیر محلول‌های هیدروترمال در سنگ‌های آذرین نفوذی واقع در قسمت شمال شرق منطقه و همچنین سنگ‌های آتشفشانی موجود در بخش‌های مرکزی هموار شده است؛ بنابراین سنگ‌های مورد نظر دگرسان شده و رگه‌های کوارتزی و زون‌های کانی‌سازی در آنها ساخته شده است.

مراجع

[1] Agterberg, F. P., Cheng, Q., Brown, A., & Good, D. (1996). Multifractal modeling of fractures in the Lac du Bonnet batholith, Manitoba. Computers & Geosciences, 22(5), 497-507.

[2] Davis, J.C., (2002). Statistics and data analysis in Geology (3th ed.), John Wiley & Sons Inc., New York, p. 342-353.

[3] Cheng, Q., Agterberg, F.P., Carter, G.F. (1996). A Spatial Analysis Method for Geochemical Anomaly Separation, Journal of Geochemical Exploration, 65, P175-194.

[4] Hassani Pak, A.A., Sharafaddin, M., (2011).Exploration Data Analysis. University of Tehran Press (UTP), Tehran (In Persian).

[5] Cheng, Q., Agterberg, F. P., & Ballantyne, S. B. (1994). The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. Journal of Geochemical Exploration, 51(2), 109-130.

[6] Hassanpour, Sh., Afzal, P., (2013). Application of concentration–number (C–N) multifractal modeling for geochemical anomaly separation in Haftcheshmeh porphyry system, NW Iran. Arabian Journal of Geosciences, vol.6, p.957–970.

[7] Daya, A.A., Boomeri, M., Mazraee, (2017). Identification of Geochemical Anomalies by Using of Concentration-Area (C-A) Fractal Model in Nakhilab Region, SE Iran. Journal of mining and mineral engineering. vol.8, p. 70-81.

[8] Daya, A.A., (2015) Comparative study of C–A, C–P, and N–S fractal methods for separating geochemical anomalies from background: A case study of Kamoshgaran region, northwest of Iran. Journal of Geochemical Exploration. vol.150, p. 52–63.

[9] Lima, A., De Vivo, B., Cicchella, D., Cortini, M., Albanese, S., (2003). Multifractal IDW interpolation and fractal filtering method in environmental studies: an application on regional stream sediments of Campania region (Italy). Appl. Geochem. 18, 1853–1865.

[10] Goncalves, M. A., Mateus, A., & Oliveira, V. (2001). Geochemical anomaly separation by multifractal modelling. Journal of Geochemical Exploration, 72(2), 91-114.

[11] Nabavi, M., (1984). Introduction to the Geology of Iran. Tehran University Publications, Tehran (In Persian).

[12] Stöcklin, J., (1986). Structural history and tectonics of Iran; a review. American Association of Petroleum Geology Bulletin, Vol. 52, No.7, pp. 1229-1258.

[13] Aghanabati, A., (2004). Geology of Iran. Geological Survey of Iran, 622 p (In Persian).

[14] Mehrparto, M., (1997). Geological Quadrangle Map of Siahrood, 1:100000. Geological Survey of Iran (In Persian).