

جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از روش طیف‌توان-مساحت، مطالعه موردی: کانسار پورفیری مس - مولیبدن کهنگ، اصفهان

پیمان افضل^{۱*}، یونس فداکار القلندی^۲، احمد خاکزاد^۳، پرویز معارفوند^۴، نعمت‌الله رشیدنژادعمران^۵، هوشنگ اسدی هارونی^۶

۱- عضو هیات‌علمی گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

۲- دانشجوی دکتری علوم زمین، گرایش ژئوشیمی ایزوتوپی، دانشگاه کوپننلند، استرالیا

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۴- استادیار دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۵- استادیار بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس

۶- استادیار دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

(* عهده دار مکاتبات - peymanafzal@yahoo.com)

چکیده

جدایش آنومالی از زمینه و نیز جداسازی آنومالی‌های با درجه شدت گوناگون مهم‌ترین کار در مطالعات ژئوشیمیایی می‌باشد. روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال با توجه به خصوصیات چگونگی استفاده از تمام داده‌ها، در نظر گرفتن شکل هندسی در برگزیده عبارات گوناگون و توجه به نوع توزیع داده‌ها از بهترین روش‌ها در جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه می‌باشند. یکی از روش‌های نوین در این عرصه، روش فرکتالی طیف‌توان-مساحت است. در این روش با انتقال داده‌ها از حوزه عیار-مکان به حوزه فرکانس-زمان با استفاده از تبدیلات دوبعدی فوریه، جوامع فرکانسی مربوط به داده‌های ژئوشیمیایی (سیگنال ژئوشیمیایی) از یکدیگر جدا می‌شوند. برای این کار، نخست طیف‌توان مربوط به هر سیگنال ژئوشیمیایی بدست آمده و سپس با تحلیل فرکتالی رفتار آن، فیلترهای دیجیتالی طراحی می‌گردد. در نهایت با استفاده از این فیلترها، جوامع آنومالی از مقادیر زمینه جدا می‌گردد. در این پژوهش از داده‌های لیتوژئوشیمیایی بدست آمده از کانسار مس-مولیبدن پورفیری کهنگ واقع در زفره اصفهان در این روش استفاده شد و با کمک این روش آنومالی‌های شدید عناصر مس، مولیبدن و طلا در این کانسار پورفیری مشخص شدند. برای انجام این عملیات و ترسیم نقشه توزیع طیف‌توان هر عنصر از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از این روش با اطلاعات واحدهای سنگی، دگرسانی‌ها و تکتونیک نشانگر توانایی بالای این روش در جدایش آنومالی‌های عناصر گوناگون از زمینه در مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی می‌باشد.

واژگان کلیدی: روش فرکتالی طیف‌توان-مساحت، هندسه فرکتال، مس-مولیبدن پورفیری، کهنگ، اصفهان

۱- مقدمه

فرآیندهای رخ داده در طبیعت را نمی‌توان با هندسه اقلیدسی مورد بررسی قرارداد. بسیاری از این فرآیندها بخصوص فرآیندهای مرتبط با علوم زمین از بعدهای منظم هندسه اقلیدسی تبعیت نمی‌کنند، به همین سبب باید از هندسه دیگری برای توصیف رخ داده‌های موجود در طبیعت بهره برد (Davis, 2002). بر این اساس برای نخستین بار در سال ۱۹۸۳ پروفسور بنویت ماندلبروت فرانسوی هندسه‌ای را ارائه نمود که بر اساس آن بتوان فرآیندهای موجود در طبیعت را مورد بحث و بررسی قرار داد. او این هندسه با توجه به واژه Fractus در زبان لاتین به معنی شکست، هندسه فرکتال نامید. به گفته ایشان «هندسه فراکتال توصیف‌گر طبیعت است آنگونه که طبیعت اعمال می‌کند نه آنگونه که بشر می‌خواهد و این امتیاز بسیار بزرگی محسوب می‌شود» (Mandelbrot, 1983). در هندسه فرکتال هر

شکل و پیچیدگی‌های آن در قالب اعداد نشان‌داده می‌شوند، همانطور که در هندسه اقلیدسی مفهوم‌های زاویه، طول، مساحت و فضاهای یک‌بعدی تا سه‌بعدی به کار می‌روند. در هندسه فرکتال بعدها فرکتالی وجود دارند که به طور معمول اعداد صحیح نیستند و بعدها فرکتالی نامیده می‌شوند که برای بیان پیچیدگی یک شکل می‌توان از آن استفاده نمود. بر این اساس، در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی، روش‌های گوناگون آنالیز فرکتالی همچون عیار- مساحت، عیار- فاصله، عیار- محیط و طیف‌توان ارایه شدند که در میان آن‌ها روش عیار- مساحت در علوم زمین کاربرد بسیار یافته‌است (Davis, 2002). حسن اساسی این روش‌ها استفاده از تمام داده‌ها بدون جرح و تعدیل آنها، در نظر گرفتن توزیع فضایی داده‌ها و در نظر گرفتن شکل هندسی مناطق گوناگون از نظر توزیع پارامتر مورد مطالعه می‌باشد (Davis, 2002; Cheng and et al., 1994; Li and et al., 2003).

روش عیار- مساحت- که توسط دکتر Cheng استاد دانشگاه کارلتون کانادا و همکارانش در سال ۱۹۹۴ بر روی داده‌های لیتوژیوشیمیایی کانسار پرفیری Mitchell-Sulphurents در بریتیش کلمبیای کانادا ارایه شده - بر پایه تغییرات عیار و مساحت در برگرفته آن و عیارهای بالاتر مبتنی است (Cheng and et al., 1994). نمودار لگاریتمی عیار در برابر مساحت تجمعی در نقاطی می‌شکند یا به عبارتی تغییر شیب شدید می‌دهد که این نقاط نمایانگر تغییر از زمینه به آنومالی‌های درجه مختلف و به تبع آن تغییرات در شرایط زمین‌شناسی به خصوص کانی‌سازی است (Agterberg, and et al., 1996; Goncalves, 2001). مطالعات بعدی نشان داد که به‌طور کلی داده‌های ژئوشیمیایی رفتار مولتی‌فرکتالی یا چندفرکتالی دارند که این نشانگر میزان تغییرات در شرایط زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، دگرسانی، هوازدگی سطحی و کانی‌سازی و به دنبال آن مراحل غنی‌شدگی یک عنصر است (Goncalves, 2001). با تطبیق اینها با داده‌ها و مشاهدات زمین‌شناسی صحت این مدل‌سازی‌ها به‌خوبی مشخص شده‌است (Li and et al., 2003).

مدلسازی‌های فرکتالی و مولتی‌فرکتالی مبتنی بر وجود یکسری روابط بین تابع توانی شاخص $M(\delta)$ و پارامتر مورد بررسی δ در منطقه مورد مطالعه است که این رابطه به صورت زیر است (Cheng and Li, 2002):

$$M(\delta) \propto \delta^{-\alpha} \quad (1)$$

در رابطه (۱) پارامتر α برابر بعد فرکتال در هر نقطه از نمودار لگاریتمی است که با توجه به طبیعت مولتی‌فرکتالی داده‌ها در علوم زمین مقادیر آن متفاوت است. Cheng و همکاران (۱۹۹۴) با استفاده از تابع تقسیم (partition function) به رابطه (۱) دست‌یافته و نشان دادند که می‌توان این رابطه را به صورت زیر بیان نمود:

$$A(\rho \leq v) \propto \rho^{-\alpha_1}; A(\rho \geq v) \propto \rho^{-\alpha_2} \quad (2)$$

در این رابطه A مساحت در برگرفته عیار ρ و عیارهای بالاتر از آن است. همچنین v برابر حد آستانه‌ای در منطقه مورد مطالعه است. پارامترهای α_1 و α_2 برابر بعد فرکتال در هر نقطه از نمودار لگاریتمی هستند. به طور خلاصه، رابطه عیار- مساحت به صورت زیر بیان می‌شود:

$$A(>\rho) \propto \rho^{-D} \quad (3)$$

در این نوشتار نخست در مورد روش طیف‌توان- مساحت بحث شده است. سپس در مورد استفاده از این روش در سیستم مس- مولیبدن پرفیری کهنک واقع در زفره اصفهان بحث صورت گرفته است. در این مرحله آنومالی‌های شدید عناصر مس، مولیبدن و طلا در این محدوده جدا شده‌اند. در مرحله بعدی نیز لایه‌های اطلاعاتی شامل دگرسانی‌ها،

واحدهای سنگی و گسل‌ها بر روی نتایج حاصل آورده شده است. در این مرحله با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی ذکر شده با آنومالی‌های بدست آمده صحت این روش از نظر داده‌های زمین‌شناسی مورد بحث و بررسی بیشتری قرار گرفت.

۲- روش طیف‌توان - مساحت و مدل تحلیل آن

این روش چون بر پایه ریاضیات پیشرفته قرار گرفته و نیز داده‌هایی از مهندسی برق گرایش مخابرات در آن تلفیق شدند، روش بسیار قوی برای جدایش آنومالی‌ها از زمینه می‌باشد. به طور کلی مقیاس تغییرات فضایی می‌تواند توسط مطالعه تغییرات در میدان فرکانس با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی مشخص می‌گردد. یک روش استاندارد برای تحلیل این سری‌ها، استفاده از تبدیل فوریه بر روی آن‌ها است. یک سری زمانی می‌تواند هم در یک میدان فیزیکی (زمان- مکان) و هم در میدان فرکانس به صورت یک طیف مورد بررسی قرار بگیرد. با استفاده از تبدیل فوریه می‌توان داده‌های مکانی از حوزه فضا را به حوزه فرکانس انتقال داد (Cheng and et al., 1999; Cheng, 2001). در این روش داده‌های ورودی که از نوع مکانی هستند با استفاده از تبدیلات دو بعدی فوریه به میدان فرکانس تبدیل می‌شوند. به عبارتی، تغییرات عیار برای تمامی موقعیت‌های مکانی داده‌های ورودی با استفاده از این تبدیل، به جنس فرکانس (نوسانات در گستره زمان) تبدیل می‌شوند (Panahi and et al., 2004; Cheng, 2006). در این پژوهش، برای اجرای همین بخش، داده‌های ورودی (۱۴۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی) بدست آمده با استفاده از روش درونیایی مجذورعکس فاصله (IDS) به صورت درونیایی استخراج می‌شود تا بتوان در دو بعد X و Y بر روی آن تبدیل تبدیل فوریه دوبعدی را به کار برد. دلیل استفاده از روش مجذور عکس فاصله این است که روش کریگینگ بر روی داده‌ها یک هموارسازی (Smoothing) ایفا می‌کند که در تخمین مرزهای عیاری ایجاد مشکل می‌نماید ولی روش‌های مبتنی بر عکس فاصله از این قاعده مستثنی هستند.

پس از تخمین اولیه توزیع عیار سه عنصر مس، مولیبدن و طلا، داده‌های حاصل وارد برنامه‌ای رایانه‌ای که با استفاده از نرم‌افزار MATLAB نوشته شده است، شدند. در این حالت داده‌های ورودی به حالت ماتریسی دو بعدی از عیارهای تخمین خورده هستند. سپس داده‌ها با استفاده از تبدیل دوبعدی فوریه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که این تبدیل فوریه به کمک نرم‌افزار طراحی شده صورت پذیرفت. در این حالت و در ابعاد ماتریس ورودی یک ماتریس جدید که حاوی مقادیر فرکانس متناظر عیارهای مربوطه است، ایجاد شدند. بعد از این کد ترسیم منحنی‌ها و نقشه‌های خروجی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB در برنامه طراحی شده نوشته شدند. این امر یک حسن بزرگ دارد که می‌توان در هر مرحله و با تغییر پارامترهای دخیل در آن نتایج حاصل را به خوبی مشاهده نمود و تغییرات لازم در الگوریتم را ایجاد نمود.

مرحله بعدی در این روش محاسبه تابع دوبعدی طیف‌توان فرکانس می‌باشد که باید برای ماتریس خروجی حاصل از تبدیل فوریه دوبعدی اعمال شود. روش استاندارد و پایه محاسبه طیف‌توان در رابطه شماره ۴ نشان داده شده است:

$$E(w_x, w_y) = F_r^2(w_x, w_y) + F_i^2(w_x, w_y) \quad (۴)$$

در رابطه بالا، w_x و w_y برابر عدد موج در دو محور X و Y، F_r بخش حقیقی و F_i بخش موهومی تبدیل فوریه دوبعدی می‌باشد. در رابطه بالا توان دم جهت از بین بردن اثر منفی بخش موهومی است (Cheng, 2006; Ali and et al., 2007).

پس از این مرحله اصلی کار آغاز شد. نخست نقشه متناظر با ماتریس طیف‌توان داده‌های ورودی برای هر عنصر جداگانه ترسیم شدند. سپس مشابه روش فرکتالی عیار- مساحت، نخست تغییرات مقادیر طیف‌توان به گروه‌هایی (۵۰ گروه) بخش شده و برای هر گروه مقادیر مساحت تجمعی محاسبه می‌گردد. در عمل تمام اینکارها با استفاده برنامه

نوشته شده در نرم افزار MATLAB صورت گرفت. پس از این، نمودارهای لگاریتمی طیف توان- مساحت برای عناصر مس، مولیبدن و طلا تجمعی ترسیم شدند. بر اساس این نمودارها، حد آستانه‌ای براساس طیف توان برای هر سه عنصر مشاهده شده و با اعمال دو فیلتر دیجیتالی براساس این مقادیر نقشه توزیع جوامع آنومالی مشخص شدند. در نهایت داده‌های حاصله در نرم افزار RockWorks با لایه‌های اطلاعاتی دگرسانی، واحدهای سنگی و تکتونیک ترکیب و مقایسه شدند.

۳- مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حدود ۷۳ کیلومتری شمال شرق شهرستان اصفهان واقع شده است. این اندیس در حدود ۱۰ کیلومتری شرق روستای زفره قرار دارد. روستای کهنک تنها روستای واقع در محدوده اکتشافی می‌باشد. موقعیت جغرافیایی آن حدفاصل طول‌های جغرافیایی $52^{\circ} 29' 42''$ تا $52^{\circ} 25' 29''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $32^{\circ} 57' 20''$ تا 32° شمالی واقع گشته است. بیشتر محدوده اکتشافی کوهستانی و در محدوده زون آلتراسیون بیشتر تپه ماهوری است. آب و هوای منطقه در زمستان سرد و در بقیه سال گرم و خشک می‌باشد.

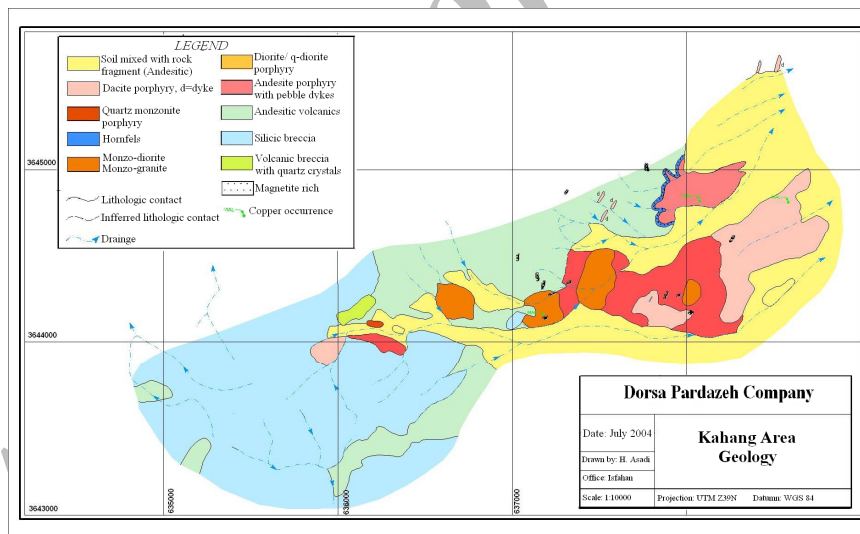
۴- زمین شناسی عمومی منطقه

کانسار کهنک بر روی کمر بند ولکانیکی ارومیه - دختر واقع شده است، که از شمال غرب به سمت جنوب شرق ایران به طول و عرض تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و ۵۰ کیلومتر کشیده شده است (شکل ۱). این کمر بند ولکانیکی در ارتباط با فرورانش صفحه اقیانوسی نئوتتیس و صفحه عربی به زیر ایران در زمان میوسن میانی (حدود ۱۳ میلیون سال پیش) تشکیل شده است (Alavi, 1994). کمر بند ارومیه - دختر را سنگ‌های آذرین بیرونی با ترکیب میانه (به‌طور عمده آندزیتی) و به‌طور محلی توده‌های آذرین درونی (گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت، دیوریت و تونالیت) و نیمه عمیق (بیشتر داسیت و آندزیت پورفیری) تشکیل داده‌اند انواع درونی و نیمه عمیق دارای پتانسیل بالای تشکیل ذخایر مس پورفیری می‌باشند (Shahabpour, 1994). همان طوری که در شکل ۱ نشان داده شد، تمامی ذخایر بزرگ پورفیری ایران نظیر سرچشمه، میدوک، دره‌زار و سونگون همانند منطقه کهنک بر روی کمر بند ارومیه- دختر واقع شده‌اند.



شکل ۱: کمر بند ولکانیکی ارومیه دختر و ذخایر بزرگ مس پورفیری موقعیت کانسار کهنک (در مربع) (Shahabpour, 1994)

منطقه کهنگ به طور عمده توسط سنگ‌های دیوریت و کوارتز دیوریت پورفیری، مونزونیت و کوارتز مونزونیت پورفیری، مونزونیت و مونزودیوریت و هم ارزهای خروجی آن‌ها پوشیده شده‌است. خاک‌های حاصل از سنگ‌های مذکور و بخصوص مونزونیت‌ها، داسیت پورفیرها و آندزیت‌ها قسمت‌های زیادی از منطقه را پوشانیده است. شواهد آلتراسیون در قسمت‌های وسیعی از منطقه دیده می‌شود. رگه‌های کوارتزی و داربستی کوارتز مگنتیت در بخش شرقی رخنمون‌های سنگی دیده می‌شود. دگرسانی‌های اصلی فیلیک، آرژلیک درجه ضعیف تا متوسط، کلریتی و پروپیلیتیک در منطقه وجود دارد. همچنین دگرسانی‌های کوچکی از کانه‌های آهن‌دار، آلونیتی و کوارتز جاروسیت در این منطقه دیده می‌شوند. کانه‌زایی مس به‌طور عمده در دگرسانی فیلیک و در سنگ‌های مونزونیتی به‌وقوع پیوسته است (Tabatabaei and Asadi Haroni, 2006). با مطالعات صحرایی و دورسنجی، نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد نظر که در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه شده است (شکل ۲). دو روند غالب شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در گسل‌های منطقه دیده می‌شود. این سیستم پرفیری بسیار پیچیده است و در آن میزان زیادی کانی کات کیود یا سولفات مس آبدار دیده می‌شود. همچنین در مغزه‌های حفاری گرفته‌شده دگرسانی پتاسیک و زون سوپرژن تشخیص داده‌نشده‌است. کانه کالکوسیت به‌صورت فرعی و تنها در دو گمانه از ۸ گمانه مشاهده شده‌است. این کانسار از نظر زمین‌شناسی و موقعیت قرارگیری به سه بخش شرقی، غربی و مرکزی بخش شده‌است که دو بخش شرقی و مرکزی آن به‌دلیل نتایج بهتر در مطالعات سطحی مورد نظر قرار گرفتند. مطالعات نشانگر آن است که آب‌های جوی مس را از بعضی از واحدهای سنگی و دگرسانی‌ها شسته و احتمالاً زون سوپرژن را در عمق تشکیل داده‌است (Tabatabaei and Asadi Haroni, 2006).



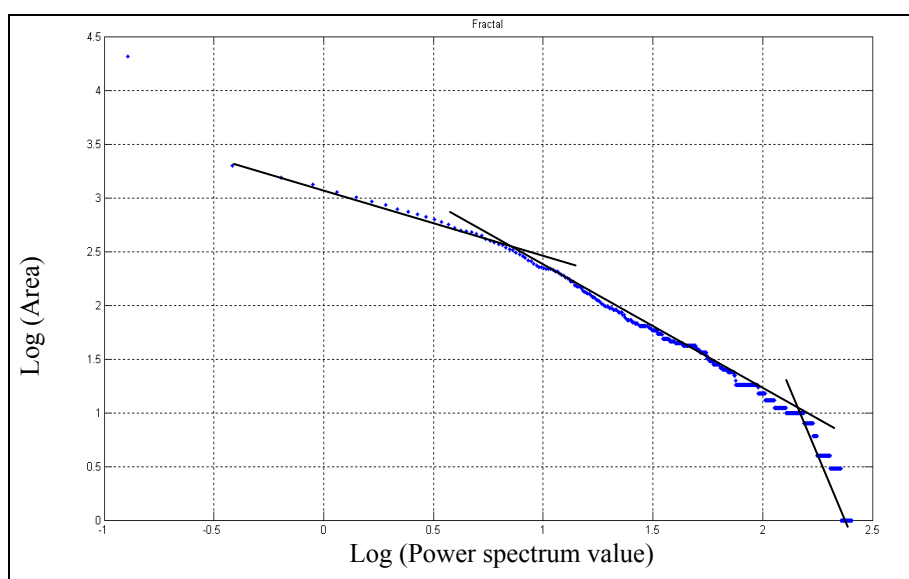
شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه

۵- جدایش آنومالی‌ها با روش طیف‌توان - مساحت

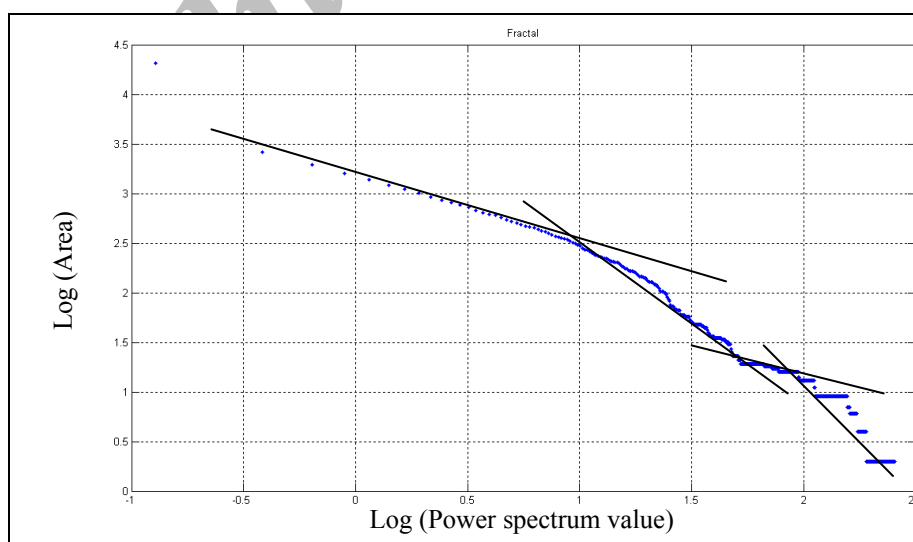
پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار و اعمال پردازش‌های عددی روی مقادیر عددی روی مقادیر عددی متناظر با نقشه طیف‌توان، شمارش تجمعی صورت گرفت. در محاسبه طیف‌توان برای کنترل بازه‌های وسیع تغییرات مقادیر آن، کلیه مقادیر به‌صورت لگاریتم محاسبه گردید و به همین نحو، برای مساحت‌های دربرگیرنده طیف‌توان‌های گوناگون عمل شد. در نهایت برای جدایش جوامع گوناگون، خطوط راست با استفاده از قانون تقریب کمترین مربعات بر روی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB برازش شد. برای هر سه عنصر مس، مولیبدن و طلا حداقل سه جامعه مجزا مشخص شدند که مرزهای جوامع، محل برخورد خطوط با یکدیگر هستند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). البته جوامع در این‌جا از جنس

فرکانس است و نقطه حاصل از تقاطع دو خط انتهایی که شیب بیشتری دارند. به عنوان حد آستانه‌ای تفکیک جوامع فرکانس در نظر گرفته شد.

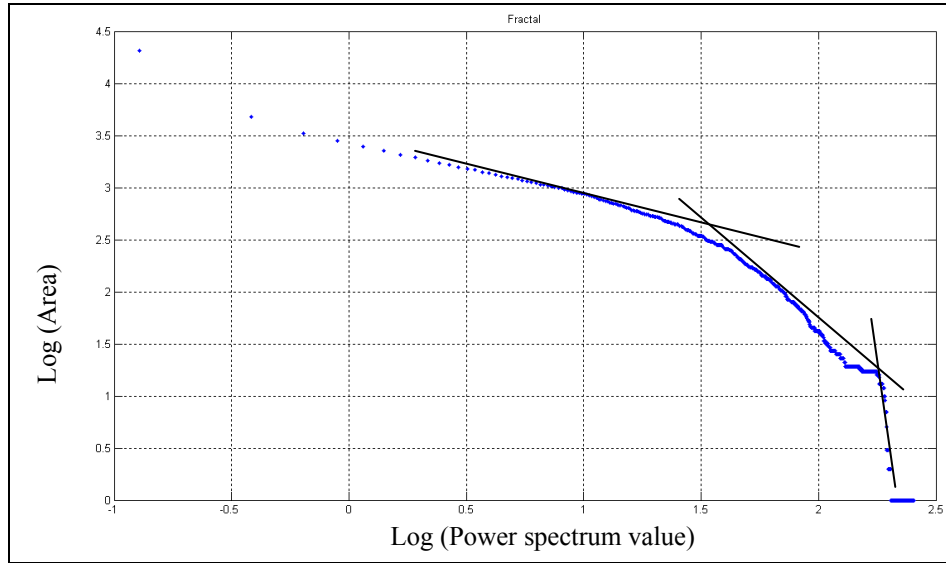
مقادیر آستانه‌ای بدست‌آمده برای عناصر در طراحی فیلتر دیجیتالی مورد استفاده قرارگرفت به صورتی که با اعمال آن بر روی داده‌های فرکانسی حاصل از تبدیل فوریه دوبعدی نقشه توزیع مناطق آنومال برای این عناصر بدست‌آمد. در این روش مقادیر مربوط به زمینه اعم از اینکه تا چه حدی از موارد موثر در تغییر مقادیر عیار مانند غنی‌شدگی‌های ثانویه یا آلودگی‌ها تاثیر پذیرفته باشند؛ بر اساس پردازش درونی مربوط به رفتار فرکتالی پراکندگی مقادیر عیار، همراه با فیلترینگ عددی طیف توان، از مقادیر آنومالی با دقت بالایی جدا می‌شود. در مرحله بعدی داده‌ها از فضای فرکانسی زمانی دوباره به فضای عیاری- مکانی توسط نرم‌افزار برگشت داده می‌شوند.



شکل ۳: منحنی لگاریتمی طیف‌توان- مساحت و بعدهای فرکتالی در آن برای عنصر مس

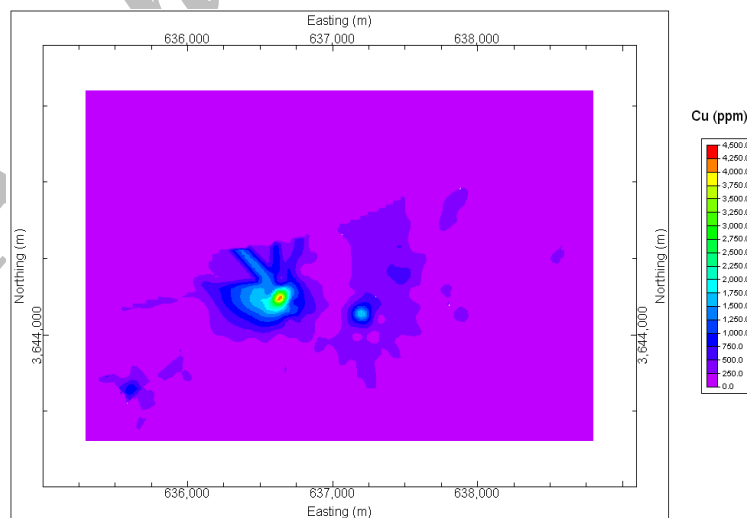


شکل ۴: منحنی لگاریتمی طیف‌توان- مساحت و بعدهای فرکتالی در آن برای عنصر مولیبدن

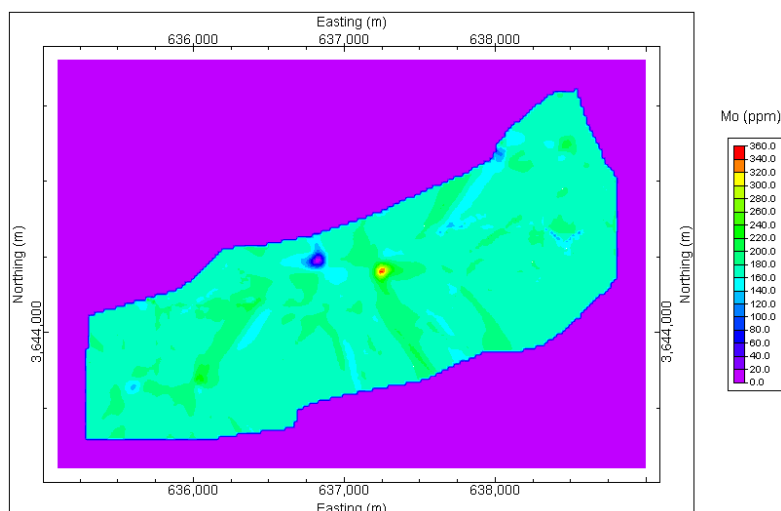


شکل ۵: منحنی لگاریتمی طیف-توان- مساحت و بعدهاهای فرکتالی در آن برای عنصر طلا

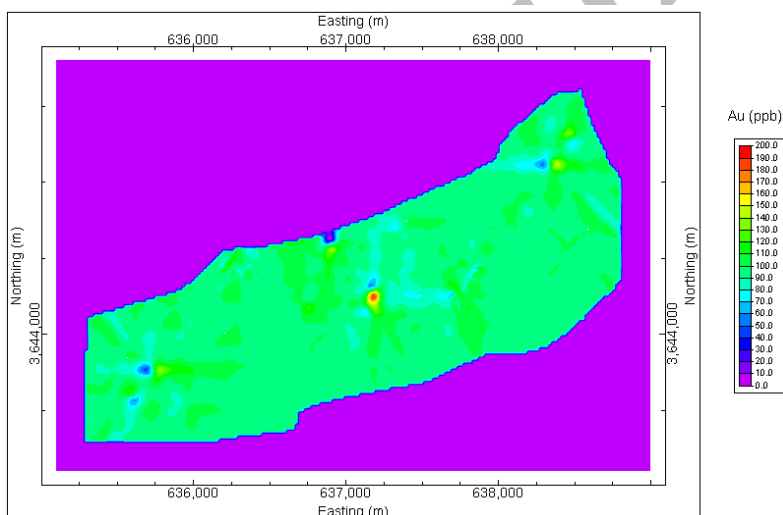
شکل‌های ۶ تا ۸ نشانگر توزیع جوامع ژئوشیمیایی برای سه عنصر مس، مولیبدن و طلا در منطقه کهنک است. در شکل ۶ بخش‌های آبی تیره و بنفش مناطق زمینه و بخش‌های قرمز و سبز آنومالی‌های درجه‌بالای عنصر مس در محدوده موردنظر هستند. این امر نشانگر وجود آنومالی شدید مس در دو محدوده از بخش مرکزی کانسار است که در یکی از آنها آنومالی شدید مس دیده می‌شود که میزان مس در آن نزدیک به ۰/۵ درصد هم می‌رسد (شکل ۶). همچنین آنومالی‌های ضعیف مس در بخش‌های شرقی و غربی کانسار دیده می‌شوند (شکل ۶). در شکل ۷ آنومالی درجه بالای مولیبدن در بخش مرکزی کانسار و به رنگ قرمز و زرد و نیز سبز تیره در بخش غربی کانسار است. آنومالی موجود در بخش مرکزی عیار مولیبدن به ۳۵۰ ppm نیز می‌رسد (شکل ۷). اما برای عنصر طلا مهمترین منطقه آنومال در بخش مرکزی قرار دارد که عیار طلا در آن به ۲۰۰ ppb می‌رسد و با رنگ‌های قرمز و زرد مشخص شده است (شکل ۸).



شکل ۶: نقشه قرارگیری آنومالی و زمینه برای عنصر مس



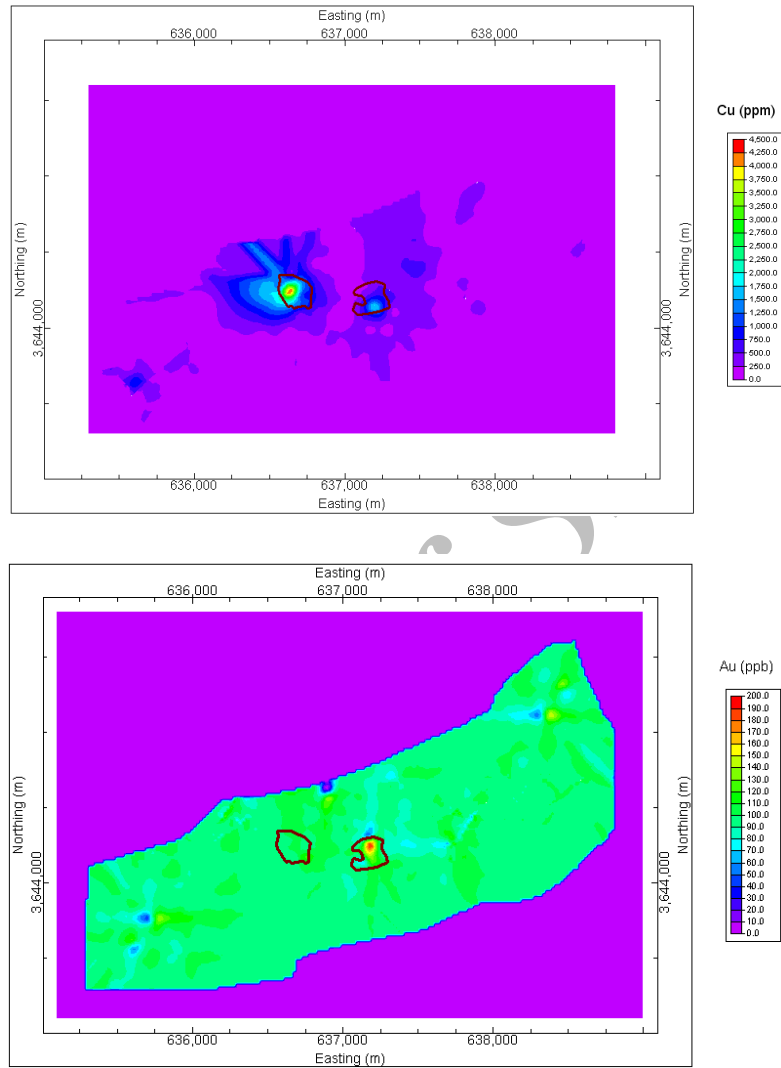
شکل ۷: نقشه قرارگیری آنومالی و زمینه برای عنصر مولیبدن



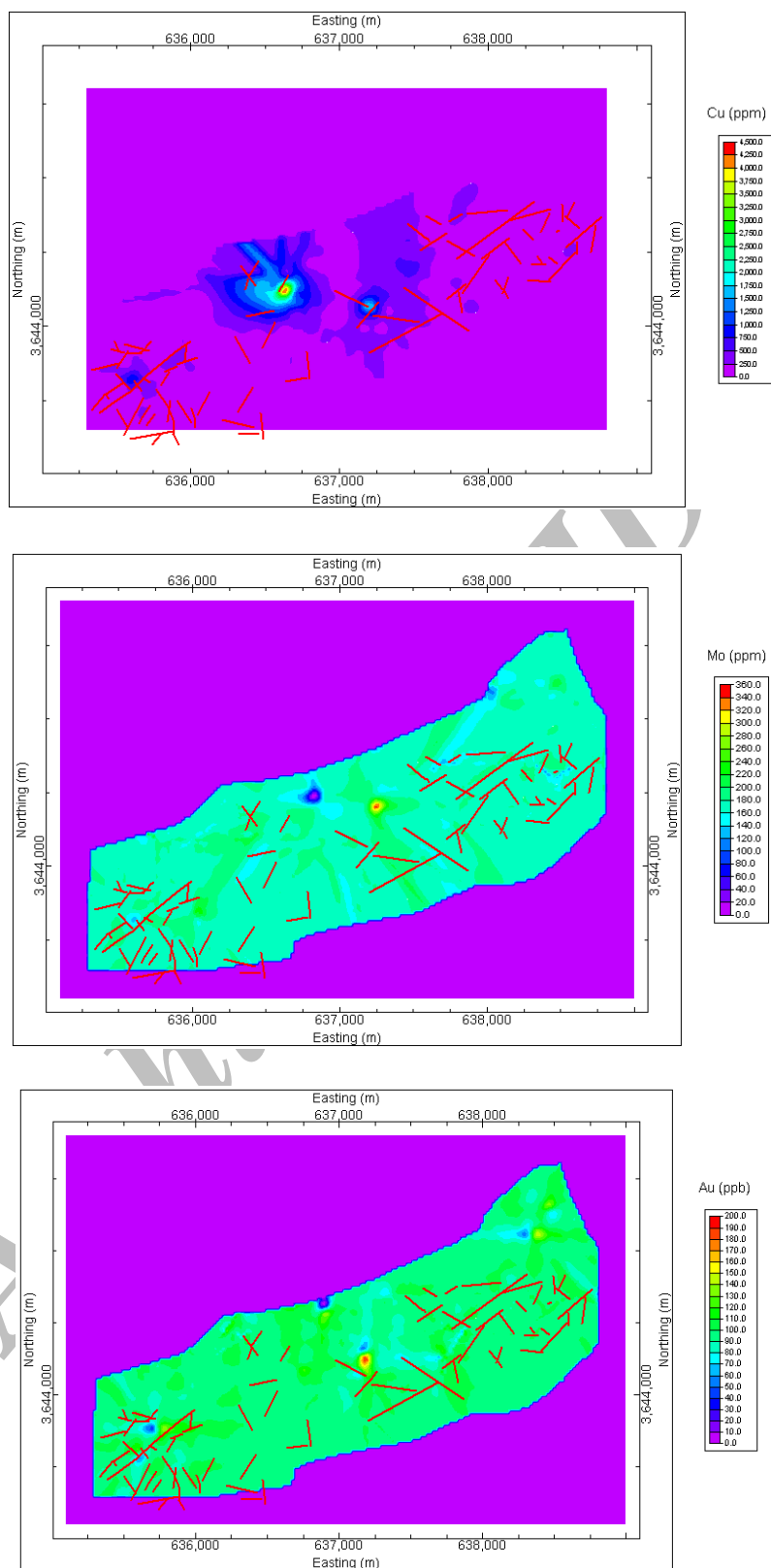
شکل ۸: نقشه قرارگیری آنومالی و زمینه برای عنصر طلا

سپس نقشه آنومالی‌های این عناصر با شواهد زمین‌شناسی شامل واحدهای سنگی، دگرسانی‌ها و گسل‌ها ترکیب شدند که برای این کار از نرم‌افزار RockWorks 2006 استفاده شد. ترکیب این نقشه‌ها با شواهد زمین‌شناسی برای عناصر مس و طلا که آنومالی‌های شدید این دو عنصر بر واحد سنگی مونزودیوریت قرار دارند (شکل ۹). همچنین تطبیق آنومالی‌های عناصر مس، مولیبدن و طلا با گسل‌ها نشان می‌دهد که همچنین این آنومالی‌ها در محل برخورد گسل‌ها یا نزدیک به آن‌ها نیز قرار دارد (شکل ۱۰). بر این اساس آنومالی‌های شدید مس و طلا در همسایگی گسل‌ها و محل برخورد آن‌ها و نیز آنومالی‌های ضعیفتر مس و مولیبدن در بخش‌های شرقی و غربی در محل برخورد گسل‌ها قرار دارند (شکل ۱۰). انطباق آنومالی‌ها با دگرسانی‌ها نشانگر انطباق آنومالی شدید مس با دگرسانی پتاسیک است و نیز آنومالی‌های ضعیفتر آن با دگرسانی فیلیک همپوشانی دارند. با توجه به این امر که این دو دگرسانی میزبان‌های اصلی کانه‌زایی بخصوص برای عنصر مس در کنسارهای پرفیری هستند این نیز یک شاهد محکم برای صحت این آنومالی‌های بدست‌آمده از روش طیف‌توان-مساحت می‌باشد. انطباق دگرسانی پتاسیک با آنومالی شدید مس در شکل ۱۱ نشان داده شده‌است. همچنین تطابق دگرسانی فیلیک با آنومالی‌های ضعیفتر مس، طلا و مولیبدن در بخش‌های شرقی و غربی کنسار نشانه دیگری بر این امر است. در شکل ۱۲ تطابق آنومالی‌های ضعیفتر مس با دگرسانی فیلیک

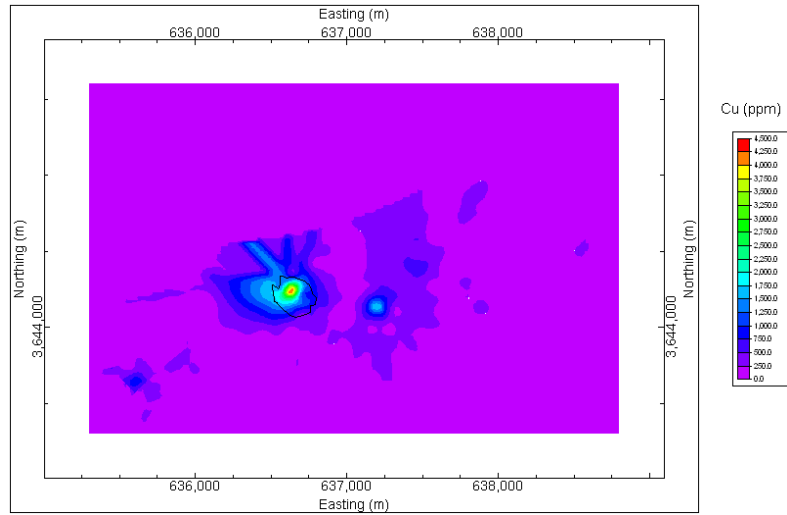
نشان داده شده است. آنومالی شدید طلا توسط دگرسانی ضعیف تا متوسط آرژیلیکی پوشیده شده است (شکل ۱۳). این مسایل نشانگر تایید این آنومالی‌ها توسط شواهد زمین‌شناسی نیز می‌باشد.



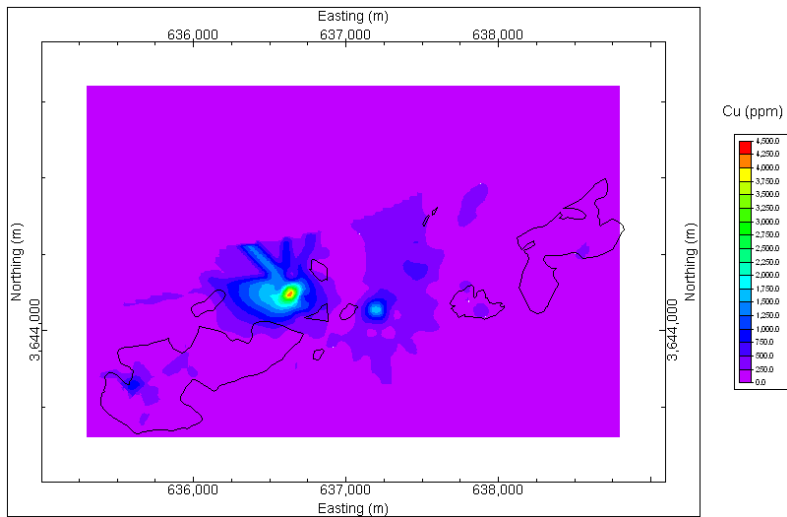
شکل ۹: تطبیق آنومالی‌های شدید مس و طلا با واحدهای مونزودیوریتی در منطقه مورد مطالعه



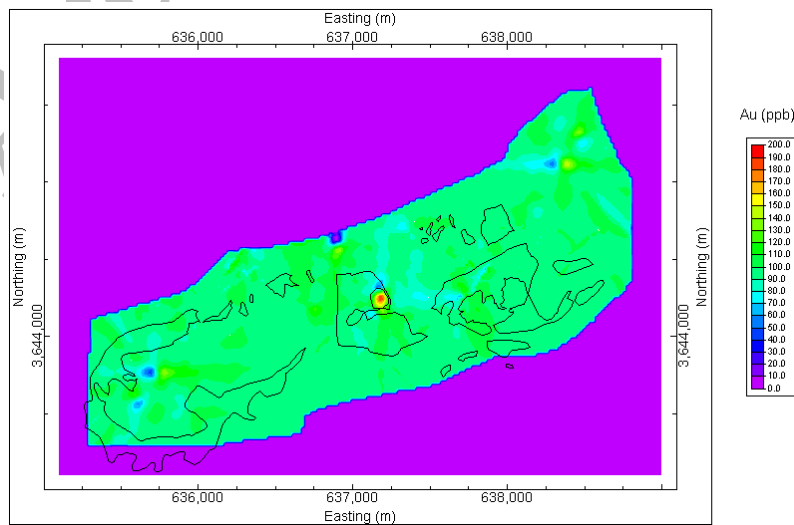
شکل ۱۰: تطابق آنومالی‌های عناصر مس، مولیبدن و طلا با گسل‌های موجود در کانسار کهنک



شکل ۱۱: انطباق آنومالی شدید مس با دگرسانی پتاسیک (پلی‌گون سیاه)



شکل ۱۲: انطباق آنومالی‌های ضعیف مس با دگرسانی فیلیک (پلی‌گون‌های سیاه)



شکل ۱۳: انطباق آنومالی شدید طلا با دگرسانی آرژیلیک ضعیف تا متوسط (پلی‌گون‌های سیاه)

۶- نتیجه‌گیری

مطالعات انجام‌شده نشان داد که این روش برای جدایش آنومالی‌ها بسیار روش دقیقی است زیرا با بردن داده‌ها به میدان فرکانس می‌توان مناطقی که در روش‌های دیگر به چشم نمی‌آیند را به‌خوبی جدا نمود. با استفاده از فیلترهای گوناگون پرازیت‌ها و نویزهای گوناگون حذف شده و آنومالی‌های قطعی برای سه عنصر مس، مولیبدن و طلا در کانسار پرفیری کهنگ به‌خوبی مشاهده شدند. آنومالی‌های شدید و ضعیفتر مشخص شده برای عنصر مس با این روش به‌خوبی با شواهد زمین‌شناسی بخصوص وضعیت گسل‌ها و نیز دگرسانی‌ها به خوبی تایید شدند. این مساله برای عناصر طلا و مولیبدن نیز مشخص بود. بر این اساس آنومالی‌های شدید عناصر مس و طلا به همراه واحد سنگی مونزودیوریتی بوده و در محل برخورد گسل‌ها یا در همسایگی آن‌ها واقع بودند. آنومالی شدید مس منطبق بر دگرسانی پتاسیک دیده‌شده در این کانسار است. با نوشتن برنامه رایانه‌ای این روش با استفاده از نرم‌افزار MATLAB به‌خوبی این روش قابل استفاده برای کارهای مشابه نیز می‌باشد. با استفاده از این روش جوامع خیلی دقیق جداشده و مناطق آنومال با دقتی بسیار بالاتر از روش‌های دیگر جدا می‌شوند.

۷- منابع

1. Agterberg, F.P.; Cheng, Q.; Brown, A. and Good, D., 1996, "Multifractal modeling of fractures in the Lac du Bonnet batholiths" *Manitoba, Comput. Geosci.* 22 (5), 497-507.
2. Ali, Kh.; Cheng, Q. and Zhijun, C., 2007, "Multifractal power spectrum and singularity analysis for modelling stream sediment geochemical distribution patterns to identify anomalies related to gold mineralization in Yunnan Province" *South China. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 7 (4), 293-301.
3. Alavi, M., 1994, "Tectonic of Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations" *Tectonophysics*, 229, pp. 211-238.
4. Cheng, Q.; Agterberg, F.P. and Ballantyne, S.B., 1994, "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods" *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 51, p.p. 109-130.
5. Cheng, Q.; Xu, Y. and Grunsky, E., 1999, "Integrated spatial and spectral analysis for geochemical anomaly separation" in *Proc. of the Conference of the International Association for Mathematical Geology*.
6. Cheng, Q. and Li, Q., 2002, "A fractal concentration-area method for assigning a color palette for image representation" *Computers & Geosciences* 28, 567-575.
7. Cheng, Q., 2001, "Decomposition of Geochemical Map Patterns Using Scaling Properties to Separate Anomalies from Background", *ISI 2001 meeting*.
8. Cheng, Q., 2006, "Multifractal modelling and spectrum analysis: Methods and applications to gamma ray spectrometer data from southwestern Nova Scotia" *Canada, Science in China Series D: Earth Sciences*, 49 (3), 283-294.
9. Davis, J.C., 2002, "Statistics and data analysis in Geology" (3th ed.), John Wiley & Sons Inc., New York, p.p. 342-353.
10. Goncalves, M.A., 2001, "Characterization of geochemical distributions using multifractal models" *Math. Geol.* 33 (1), pp. 41-61.
11. Goncalves, M.A.; Mateus, A. and Oliveira, V., 2001, "Geochemical anomaly separation by multifractal modeling" *Journal of Geochemical Exploration*, 72, 91-114.
12. Li, C.; Ma, T. and Shi, J., 2003, "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background", *Journal of Geochemical Exploration* 77, 167-175.
13. Mandelbrot, B.B., 1983, "The Fractal Geometry of Nature", W. H. Freeman, San Fransisco, 468 pp.
14. Panahi, A.; Cheng, Q. and Bonham-Carter G.F, 2004, "Modelling lake sediment geochemical distribution using principal component" indicator kriging multifractal power-spectrum analysis: a case study from Gowganda, Ontario, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 4, 59-70.
15. Shahabpour, J., 1994, "Post-mineral breccia dyke from the Sar-Cheshmeh porphyry copper deposit" *Kerman, Iran: Exploration and Mining Geology*, Vol. 3, pp. 39-43.
16. Tabatabaei, S. H. and Asadi Haroni, H., 2006, *Geochemical characteristics of Gor Gor Cu-Mo porphyry system*, 25th Iranian symposium on geosciences, Geological survey of Iran, pp. 60.