زمستان ۸۹، سال بیستم، شماره ۷۸، صفحه ۱۶۸ تا ۱۷۲

استفاده از روش فرکتالی عیار– حجم در جدایش زون‌ها در کانسارهای پورفیری

پیمان افضل[۱*]، احمد خاکزاد[۲]، پرویز معارف‌وند[۳]، نعمت‌اله رشیدنژاد عمران[۴] و یونس فداکار القلندیس[۵]

[۱] گروه مهندسی اکتشاف معدن، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
[۲] گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
[۳] دانشکده معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
[۴] گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
[۵] مرکز پژوهش‌های زمین شناسی و معدن، دانشگاه کوییزلند، بریسبین، استرالیا.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۸/۰۵

چکیده

شناسایی زون‌های گوناگون در کانسارهای پورفیری، یکی از مهم‌ترین اهداف اکتشاف این کانسارها است زیرا این امر، بویژه شناسایی درست زون برون‌زاد، نقشی بسزا در تعیین پتانسیل اقتصادی بودن کانسار ایفا می‌کند. روش‌های سنتی مبتنی بر مطالعه دگرسانی‌ها و کانی‌های موجود در این زون‌ها در بسیاری موارد جوابگوی نیازهای این کار نیستند، چون تنها بر پایه مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری هستند. روش‌های جدیدتری نیز که بر اساس مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌ها ارائه شدند، شواهدی غیرمستقیم هستند و بیشتر برای تفکیک دگرسانی‌ها به‌کار می‌روند. روش‌های فرکتالی به‌دلایلی چون استفاده از تمام داده‌ها، درنظر گرفتن پراکندگی فضایی آنها و نیز شکل هندسی بی‌هنجاری‌ها، با وجود عمر کوتاهشان کاربرد مؤثری در بررسی‌های سطحی زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی دارند. در این پژوهش، برای نخستین بار روش فرکتالی عیار– حجم ارائه شده که براساس آن زون‌های برون‌زاد، درون‌زاد و اکسیدان و نیز سنگ دیواره، با تکیه بر عیار عنصر اصلی در کانسارهای پورفیری، از یکدیگر جدا می‌شوند. پس از بررسی اساس ریاضی این روش، به کمک تابع توانی شاخص و تابع تقسیم برای مدل‌سازی‌های فرکتالی و مولتی‌فرکتالی، روش عیار– حجم در کانسار مس پورفیری چاه‌فیروزه در شهربابک استان کرمان مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، نخست پراکندگی عنصر مس در چاه‌فیروزه با استفاده از روش‌های زمین‌آماری برآورد و نمودار لگاریتمی عیار– حجم برای این کانسار رسم شد و نقاط شکست نمایانگر مرزهای عیاری زون‌ها و مرز کانی‌سازی با سنگ دیواره مشخص شدند. همزمان مدل‌های توزیع دگرسانی، کانی‌شناسی و زون‌بندی بر اساس مشاهدات زمین‌شناسی نیز در چاه‌فیروزه ساخته شدند و با نتایج حاصل از این روش مورد مقایسه قرارگرفتند. نتایج نشانگر این است که زون‌های جداشده با کمک روش فرکتالی عیار– حجم افزون بر همپوشانی با مدل‌های زمین‌شناسی به‌علت استفاده از عامل عیار که مهم‌ترین متغیر مستقیم و کمی است، کارآمدتر از دیگر روش‌های جداسازی در شناخت این گونه کانسارها است.

کلیدواژه‌ها: روش فرکتالی عیار– حجم، کانسارهای پورفیری، زون برون‌زاد، چاه‌فیروزه، کرمان

***نویسنده مسئول:** پیمان افضل
E-mail: peymanafzal@yahoo.com

۱– مقدمه

تعیین زون‌های گوناگون کانی‌سازی در کانسارهای پورفیری، بویژه زون‌های برون‌زاد و درون‌زاد، برای طراحی معدن، بویژه کارخانه فرآوری و تنظیم خوراک ورودی به آن، اهمیت زیادی دارند. زون اکسایش(اکسیداسیون) نیز تا اواخر قرن بیستم به‌عنوان باطله مطرح بود اما پس از ابداع روش‌های فروشست اسیدی و بازی و روش بیولیچینگ استحصال مس از آنها آغاز شد. همچنین در بسیاری از موارد بخشی از سنگ دیواره جزو کانی‌سازی در نظر گرفته‌می‌شود که این می‌تواند سبب اغراق در میزان ذخیره، برنامه‌ریزی اشتباه تولید و نیز مشکلات زیادی در کارخانه فرآوری شود. از آن سوی، در برخی از موارد نبود تعیین درست مرز کانسنگ و سنگ‌دیواره می‌تواند سبب از دست‌رفتن برخی از بخش‌های کانسنگ به‌دلیل باطله تلقی‌کردن آن بشود. به‌عبارتی تعیین درست مرز و موقعیت زون‌ها سبب یک برنامه‌ریزی تولید مناسب در بلندمدت برای استخراج کانسارهای پورفیری می‌شود که در طول زمان معدن‌کاری دچار تغییرات کمی خواهد شد. این مسایل نشان‌گر این امر است که تنها مدل‌کردن داده‌های زمین‌شناسی نمی‌تواند در جدایش درست زون‌ها مؤثر باشد و باید از روش‌های مبتنی بر عیار مس در این امر استفاده کرد.

روش‌های سنتی جدایش زون‌ها در کانسارهای پورفیری مبتنی بر شناسایی کانی‌ها و دگرسانی‌ها است که اساس این کار مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری است. به‌عبارتی، شواهد مستقیم و کانی‌های شاخص برای جدایش زون‌ها استفاده می‌شوند. از روش‌های معروف در این امر می‌توان به مدل‌سازی پراکندگی دگرسانی‌های گوناگون در یک کانسار پورفیری اشاره کرد. نخستین مدل‌سازی در این امر توسط Lowell & Guilbert (1970) بر روی کانسار مس پورفیری سنت‌مانویل سانتاکروز در آریزونای ایالات‌متحده آمریکا صورت گرفت. در این مدل دگرسانی‌های اصلی پتاسیک، فیلیک و پروپیلیتیک از یکدیگر در کانسارهای نوع مونزونیتی جدا می‌شوند و ویژگی اصلی آن زون‌بندی کانسار براساس دگرسانی‌ها است. پس از ارائه این مدل پژوهشگران دیگری چون Sillitoe (1976); Davis(2002) و Cox & Singer (1986) مطالعاتی انجام داده و سعی در تکامل این مدل داشته‌اند. البته مطالعه Cox & Singer (1986) بیشتر در راستای جدایش انواع گوناگون کانسارسازی پورفیری از یکدیگر بوده است. براساس این مدل‌ها و دیگر مدل‌های ارائه‌شده، دگرسانی پتاسیک در ژرفا و مرکز کانسار قرار دارد(Sillitoe, 1976; Cox & Singer, 1986; Melfos et al., 2002; Sillitoe & Gappe, 1984). این مدل‌ها در طول بیش از ۳۸ سال تغییر چندانی نداشته و با اضافه‌شدن اطلاعات مکملی چون داده‌های حاصل از میانبارهای سیال و نیز داده‌های ایزوتوپی در سال‌های اخیر تکامل یافته‌اند. مهم‌ترین آنها ارائه مدل دگرسانی‌ها براساس داده‌های میانبارهای سیال است که نخستین بار توسط Ulrich et al. (2001) بر روی کانسار مس و طلای پورفیری باجودلاآلومبرا در آرژانتین صورت‌گرفت. مدل‌سازی پراکندگی ایزوتوپ گوگرد ۳۴ توسط Wilson Alan et al.(2007) در کانسار مس و طلای پورفیری کادیای استرالیا و تلفیق نتایج آن با مدل دگرسانی‌ها است. یک مشکل اساسی در این مدل‌ها عدم‌توجه کامل به عیار عنصر یا عناصر اصلی در کانسار پورفیری مورد نظر یا نبود توجه مناسب به این موضوع است. تنها در مدل White et al.(1981) که بر روی کانسارهای

معروف مولیبدن پورفیری کلایمکس و هندرسون ارائه شد، عیار حدی برابر ۰/۳ درصد برای مولیبدنیت در نظر گرفته‌شد و نیز در مدل ارائه‌شده توسط Jones(1992) پراکندگی عناصر فلزی در دگرسانی‌ها دیده‌شده و Hezarkhani (2006) پراکندگی عیار عناصر در دایک‌های اصلی کانسار بزرگ سرچشمه را مورد بررسی قرارداد (اصغریان، ۱۳۸۶؛ White et al.,1981; Jones, 1992).

مشکل دیگری که در این روش‌ها دیده می‌شود تغییرات در انواع گوناگون کانسارهای پورفیری است. کانسارهای مس پورفیری با این‌که دارای ویژگی‌های خاصی به نظر می‌رسند اما دچار تنوع‌هایی در وضعیت سنگ‌شناسی، گسترش دگرسانی‌ها، سن و ژرفای تشکیل و به‌طورکلی متغیرهای زمین‌شناسی هستند. مطالعات صحرایی مغزه‌ها و نمونه‌ها بیقین نمی‌تواند دارای دقت کافی باشد و باید برای جدایش دقیق کانی‌ها و کانه‌ها و نیز تشخیص دگرسانی‌ها در هر نمونه روش‌های پرهزینه‌ای چون تجزیه میکروپروب انجام داد. مشکل دیگر این روش‌ها نبود استفاده از روش‌های تحلیلی و ریاضی در آنها است، به‌گونه‌ای‌که پایه بیشتر این روش‌ها تنها عیارسنجی صرف عناصر و تعیین نسبت‌های عددی از عناصر یا اکسیدهای اصلی است (Ulrich et al., 2001). از روش‌های دیگر، استفاده از نتایج حاصل از مطالعات میانبارهای سیال است که نخستین بار توسط Roedder (1971) در کانسار بینگهام‌کانیون یوتای آمریکا، برای اثبات پورفیری‌بودن آن صورت گرفت. پس از ایشان پژوهشگرانی نیز در این مسئله پژوهش کرده و ارتباطاتی بین دگرسانی، سنگ‌شناسی و کانی‌زایی مس به‌دست‌آوردند(Bodnar, 1995; Nash, 1976). در سال‌های اخیر روش‌هایی برای کمی‌سازی، تحلیل‌عددی و شبیه‌سازی‌زمین‌آماری نتایج حاصل‌از مطالعه میانبارهای سیال ارائه‌شده‌است که براساس آنها دگرسانی‌ها و زون‌ها جدا می‌شوند (Hezarkhani, 2006; Asghari& Hezarkhani, 2008). همچنین Hezarkhani & Williams-Jones(1998) از میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار برای جدایش دگرسانی‌ها و زون‌ها در کانسار مس سونگون در اهر استفاده کردند. مهم‌ترین ایراد این روش‌ها این است که داده‌های میانبارهای سیال و ایزوتوپی شواهد غیرمستقیم هستند و بر اساس آنها در این‌گونه موارد نمی‌توان تفسیر قاطعی ارائه داد.

نقص اصلی تمام روش‌های پیشین، نبود توجه لازم به عیار عنصر اصلی (مس، مولیبدن، طلا یا تنگستن) در کانسارهای پورفیری است. هدف اصلی در این پژوهش، ارائه روشی نوین برای جدایش زون‌های اکسایش، برون‌زاد و درون‌زاد و نیز سنگ دیواره در کانسارهای پورفیری، بر پایه هندسه فرکتال و نیز تغییرات عیار عنصر اصلی در این کانسارها است. همچنین نتایج حاصل با مدل‌های زمین‌شناسی نیز موردمقایسه قرار می‌گیرد.

۲- روش مطالعه

این پژوهش به پنج بخش مجزا تقسیم می‌شود. نخست معرفی مختصری از روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال صورت‌گرفته و با توجه به این موضوع که می‌توان از سطح به حجم رسید، در مورد اصول ریاضی روش‌های فرکتالی و مولتی‌فرکتالی و روش عیار- حجم بحث می‌شود. در مرحله بعدی ضمن معرفی کانسار مس پورفیری چاه‌فیروزه در استان کرمان، مدل‌سازی‌های زمین‌شناسی روی این کانسار صورت پذیرفته‌است. این مدل‌ها شامل مدل پراکندگی دگرسانی و کانی‌شناسی و زون‌بندی براساس روش‌های سنتی مبتنی بر سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری برای کانسار چاه‌فیروزه است. در گام سوم با برآورد زمین‌آماری سه‌بعدی ریزبلوک‌ها پراکندگی عیار مس در چاه‌فیروزه به‌دست‌می‌آید. در مرحله چهارم داده‌های حاصل از این برآورد با روش فرکتالی عیار- حجم موردمطالعه قرارگرفته و ضمن‌این‌که درستی رابطه ریاضی عیار- حجم در آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد، زون‌های برون‌زاد، درون‌زاد، اکسایش و نیز سنگ‌دیواره از یکدیگر جدامی‌شوند. در گام آخر، نتایج حاصل با نتایج حاصل از داده‌های زمین‌شناسی مقایسه می‌شوند.

۳- روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال و روش عیار- حجم

باتوجه به این‌که هندسه اقلیدسی توانایی بیان بیشتر پیچیدگی‌های موجود در طبیعت را ندارد، دانشمندان به دنبال هندسه‌ای بودند که بتواند توصیف‌گر کلیه فرایندهای موجود در طبیعت باشد (Davis, 2002). Mandelbrot (1983) برای نخستین بار هندسه فرکتال را به‌عنوان ابزاری مناسب برای این کار معرفی کرد. به گفته ایشان «هندسه فراکتال توصیف‌گر طبیعت است آن‌گونه که طبیعت اعمال می‌کند نه آن‌گونه که بشر می‌خواهد و این امتیاز بسیار بزرگی به شمار می‌رود». در هندسه فرکتال هر شکل و پیچیدگی‌های آن در قالب اعداد نشان داده می‌شوند، همان‌طور که در هندسه اقلیدسی مفهوم‌های زاویه، طول، مساحت و فضاهای یک‌بعدی تا سه‌بعدی به‌کار می‌روند. در هندسه فرکتال بعدهای فرکتالی وجود دارند که به‌طور معمول اعداد صحیح نیستند و بعدهای فرکتالی نامیده می‌شوند که برای بیان پیچیدگی یک شکل می‌توان از آن استفاده کرد. بر این اساس، در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی، روش‌های گوناگون تجزیه فرکتالی همچون عیار- مساحت، عیار- فاصله، عیار- محیط و طیف توان ارائه شدند که در میان آنها روش عیار- مساحت در علوم زمین کاربردی بسیار یافته‌است(Davis, 2002). حسن اساسی این روش‌ها استفاده از تمام داده‌ها بدون جرح و تعدیل آنها، در نظرگرفتن پراکندگی فضایی داده‌ها و درنظرگرفتن شکل‌هندسی مناطق گوناگون از نظر پراکندگی متغیر مورد مطالعه است (Cheng et al., 1994; Davis, 2002; Li et al.,2003). روش عیار- مساحت -که توسط Cheng et al. (1994) بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی کانسار پورفیری Mitchell-Sulphurents در بریتیش کلمبیای کانادا ارائه شده بر پایه تغییرات عیار و مساحت دربرگیرنده آن و عیارهای بالاتر مبتنی است. نمودار لگاریتمی عیار در برابر مساحت تجمعی در نقاطی می‌شکند یا به‌عبارتی تغییر شیب شدید می‌دهد که این نقاط نمایانگر تغییر از زمینه به بی‌هنجاری‌های درجه مختلف و پیرو آن تغییرات در شرایط زمین‌شناسی بویژه کانی‌سازی است(Agterberg et al.,1996; Cheng et al., 1996; Goncalves, 2001).

مطالعات بعدی نشان‌داد که به‌طورکلی 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 آنها با داده‌ها و مشاهدات زمین‌شناسی درستی این مدل‌سازی‌ها به‌خوبی مشخص شده است(Lima et al.,2003). همچنین با مطالعاتی که Zuo et al.(2009) انجام دادند، مشخص شد که پراکندگی عناصر در جهت عمودی، در کانسارهای پورفیری از مدل‌های فرکتالی پیروی می‌کند. یعنی در این کانسارها جوامع ژئوشیمیایی عناصر هم در جهت افقی و هم در جهت عمودی با استفاده از روش‌های فرکتالی قابلیت جدایش را دارا هستند.

در این حالت که روش‌های فرکتالی در دو بعد به‌خوبی جواب می‌دهند و گویای خیلی مسایل هستند، بیقین در سه بعد بسیار کارآمدتر هستند. با کمک این روش‌ها می‌توان به‌خوبی جوامع شامل مناطق نابارور، مناطق با کانی‌سازی کم‌عیار و کانی‌سازی‌های پرعیار را جدا کرد. اساس روش عیار- حجم بر این حقیقت استوار است که با افزایش عیار، حجم دربرگیرنده آن و عیارهای بالاتر کمتر می‌شود یعنی رابطه وارون با هم دارند. با رسم نمودار لگاریتمی عیار- حجم هر جا که شیب منحنی تغییر شدیدی کرد یعنی جامعه عوض شده است. این امر نشانگر تغییر شدید عیار است که تابع تغییر شرایط زمین‌شناسی و کانی‌زایی است.

مدل‌سازی‌های فرکتالی و مولتی‌فرکتالی مبتنی بر وجود یک سری روابط بین تابع توانی شاخص $M(\delta)$ و متغیر مورد بررسی δ در منطقه مورد مطالعه است که این رابطه به‌صورت زیر است (Cheng & Li, 2002):

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

در رابطه۱متغیر α برابر بعد فرکتال در هر نقطه از نمودار لگاریتمی است که

به دلیل طبیعت مولتی‌فرکتالی داده‌ها در علوم‌زمین مقادیر آن متفاوت است. Cheng et al.(1994) با استفاده از تابع تقسیم (partition function) به رابطه (۱) دست‌یافته و نشان‌دادند که می‌توان این رابطه را به‌صورت زیر بیان کرد:

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

در این رابطه A مساحت دربرگیرنده عیار ρ و عیارهای بالاتر از آن و نیز D نشانگر بعد فرکتال است. اساس سه رابطه ۱ و ۲ تابع تقسیم ارائه شده توسط Evertsz & Mandelbrot(1992) است که رابطه بین ابعاد یک سلول دوبعدی یا ریزبلوک (المان) سه‌بعدی را با تعداد آنها و نیز متغیر اندازه‌گیری شده در آن را بیان می‌کند. با کمک این تابع در حالتی‌که در سه‌بعد مطالعه صورت می‌گیرد و با ریزبلوک‌ها سروکار داریم می‌توان به رابطه زیر رسید:

$$V(>\rho) \propto \rho^{-D} \quad (۳)$$

که در این حالت V حجم دربرگیرنده عیارهای بزرگ‌تر و برابر ρ در کانسار مورد مطالعه و D بعد فرکتال است. به‌عبارتی می‌توان گفت که چون حجم تابعی از سطح است، می‌توان از روند کلی اثبات رابطه عیار- مساحت ارائه‌شده توسط Cheng et al.(1994)، برای اثبات روش عیار- حجم استفاده کرد که در مطالعه بر روی کانسار چاه‌فیروزه برقرار بودن این رابطه به خوبی آشکار خواهد شد.

۴- ویژگی‌های عمومی کانسار چاه‌فیروزه

کانسار مورد مطالعه در ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان شهربابک و در مسیر جاده آسفالتی شهربابک به انار واقع شده است. از نظر ریخت‌شناسی تپه‌ماهوری است(شکل ۱). در گذشته در این منطقه کار معدن‌کاری در مقیاسی محدود انجام شده بود و در سال‌های اخیر یکی از مناطق مورد اکتشاف توسط شرکت ملی مس ایران بوده است. در مجموع، در مرحله اکتشاف تفصیلی، ۲۶ گمانه با ژرفای مجموع حدود ۹۶۰۰ متر در این کانسار حفاری شده‌است.

۵- زمین‌شناسی عمومی منطقه

جایگاه محدوده مورد مطالعه، شمال باختری نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهربابک است. سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی که سنگ‌های آتشفشانی آن بیشتر ترکیب آندزیتی تاداسیت- آندزیت دارند، در پیرامون کانسار دیده می‌شود. جنوب منطقه توسط واحدهای کنگلومرای آتشفشانی- آواری پوشیده شده‌اند. سنگ‌های موردبحث در محدوده کانه‌زایی، دگرسان‌شده هستند که شدت دگرسانی بسته به سازوکارهای زمین‌ساختی و وسعت کانی‌سازی در نوسان است. پیوند تنگاتنگ پدیده‌های ولکانو- پلوتونیسم با حوضه رسوبی بر پیچیدگی‌های کانی‌سازی منطقه افزوده است. زیرا که بجز دگرسانی پروپیلیتی که با رنگ سبز آشکار می‌شود، دگرسانی‌های نوع سیلیسی- آرژیلی هماتیتی‌شده، به صورت غیر قابل تفکیک، به گونه‌ای ظاهر می‌شود که شناخت نوع کانی‌سازی را مشکل می‌کند. به عبارت دیگر، کمتر می‌توان مناطق با دگرسانی پروپیلیتی را از کوارتز - سریسیتی (فیلیک) تفکیک کرد(شرکت مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۴).

۶- زمین‌شناسی کانسار چاه‌فیروزه

در حاشیه کانسار بیشتر سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی تا آندزیت- داسیت، اما در مرکز به‌صورت یک مجموعه ولکانو- پلوتونیک ظاهر می‌شوند. در بخش مرکزی ناحیه و با راستای شمالی- جنوبی، یک سری توده‌های نیمه‌ژرف با ترکیبی حدواسط داسیت‌پورفیری رخنمون دارند که به درون سنگ‌های آتشفشانی وارد شده و آنها را تحت‌تأثیر قرار دادند. به سوی شمال و کمی دورتر که از شدت دگرسانی کاسته می‌شود آشکارا می‌توان توده داسیتی را در واحدهای سنگی نادگرسان دید. به‌طورکلی، سنگ‌های منطقه بر دو نوع استوار است. یکی آتشفشانی‌های بازیک و تا حدواسط و دیگری سنگ‌های متعلق به توده‌های نیمه‌ژرف با ترکیب داسیت‌پورفیری تا گرانودیوریت‌پورفیری است.

در این کانسار توده گرانودیوریتی به سن میوسن در سنگ‌های رسوبی‌آتشفشانی به سن ائوسن تزریق شده‌است (Hezarkhani, 2009). در محدوده مورد مطالعه، سامانه گسل‌های شمالی - جنوبی اگرچه بیشترین سهم را در میزان طول به‌خود اختصاص داده‌اند ولی به‌نظر می‌رسد از تراکم کمتری نسبت به گسل‌های عرضی خاوری- باختری برخوردار باشند(شرکت مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۴). همچنین حضور مجموعه کانی‌های کوارتز، آلبیت، گوتیت و هماتیت نشانگر وجود دگرسانی پروپیلیتی بویژه در سطح هستند. کانی‌سازی مس در این کانسار، همراه با دو نوع دگرسانی فیلیک و پتاسیک دیده می‌شود که دگرسانی پتاسیک در بخش مرکزی کانسار و در ژرفای آن به میزان زیادی حضور دارد. کانی‌های نمایانگر آن فلدسپار پتاسیم، بیوتیت‌های غنی از منیزیم و آنهدریت هستند (Hezarkhani, 2009). مطالعات سطحی و ژرفایی نشان می‌دهد که اهمیت کانی‌سازی در جنوب آشکارتر از شمال است. کانی‌سازی عمده سطحی شامل مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا و در پاره‌ای موارد پیریت است. باطله کانسار هماتیت، گوتیت، لیمونیت و در بعضی موارد سیلیس است. در چند گمانه حفرشده در بخش جنوبی و مرکزی، کانی کالکوسیت نیز دیده می‌شود. در همراهی با دگرسانی پتاسیک کانی‌سازی مس شامل کالکوپیریت و کمی بورنیت است. به‌طورکلی، کانی اصلی در زون هیپوژن این کانسار کالکوپیریت در نظر گرفته شده است (Hezarkhani, 2009).

۷- مدل‌سازی زمین‌شناسی در کانسار موردمطالعه

با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی سطحی و ژرفایی شامل زون‌بندی براساس روش‌های سنتی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی‌ها و داده‌های توپوگرافی، مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی برای کانسار چاه‌فیروزه تهیه شده است. برای مدل‌سازی زمین‌شناسی کانسار از بسته نرم‌افزاری RockWorks 2006 استفاده شده است. برای بهتر مشخص کردن وضعیت زمین‌شناسی از داده‌های توپوگرافی سطحی و نیز داده‌های زمین‌شناسی سطحی مانند مرز گسترش کانسار و نیز گسل‌های اصلی نیز استفاده شده است. با مدل‌سازی دگرسانی‌ها براساس مدل‌های سنتی دیده می‌شود که وسعت و میزان دگرسانی‌های فیلیک و پتاسیک تشخیص داده شده در این کانسار بسیار است (شکل ۲). همان‌گونه که در مقدمه گفته شد براساس مدل‌های مبتنی بر دگرسانی‌ها، دگرسانی‌های فیلیک و پتاسیک میزبان زون‌های اصلی کانی‌سازی و زون‌های برون‌زاد و درون‌زاد هستند. با مدل‌سازی زون‌ها براساس داده‌های زمین‌شناسی یک زون درون‌زاد بسیارگسترده در این کانسار دیده می‌شود (شکل ۳). زون برون‌زاد نیز در مرکز و جنوب کانسار با حجم به‌نسبت قابل‌توجهی دیده می‌شود (شکل ۳). این دو زون بویژه زون برون‌زاد مهم‌ترین هدف‌ها در برنامه‌ریزی تولید در کانسارهای پورفیری هستند. با مدل‌سازی مبتنی بر توزیع کانی‌ها در کانسار وضعیت توزیع سه کانه اصلی مس‌دار یعنی کالکوسیت و بورنیت برای زون برون‌زاد و کالکوپیریت بویژه برای زون درون‌زاد مورد بررسی قرارگرفته است. کانه بورنیت به‌عنوان یکی از کانه‌های مس‌دار مهم در زون‌های درون‌زاد و برون‌زاد، افزون بر بخش مرکزی، در شمال خاوری کانسار نیز دیده می‌شود. کانه کالکوسیت به‌عنوان مهم‌ترین کانه مس‌دار در بخش مرکزی و جنوبی کانسار و در محدوده زون برون‌زاد شناسایی شده حضور دارد (شکل ۴). کانه کالکوپیریت در بخش بزرگی از کانسار دیده می‌شود و بیشتر منطبق بر زون درون‌زاد معرفی‌شده است (شکل ۴). اگر مطالعه تنها براساس این شواهد صورت گیرد، باید گفت که این کانسار دارای پتانسیل بسیار مناسبی است و قابلیت استخراج دارد چون بر اساس مدل‌های سنتی مبتنی بر مطالعات کانه‌نگاری و دگرسانی‌ها مشخص شده که این کانسار دارای یک زون بسیار وسیع هیپوژن و یک زون قابل‌توجه برون‌زاد است. همچنین دو نوع دگرسانی فیلیک و پتاسیک به میزان زیادی در این کانسار دیده شده‌اند.

۸- برآورد عیار مس در چاه‌فیروزه

برای برآورد پراکندگی عیار مس در کانسار چاه‌فیروزه از روش زمین‌آماری کریگینگ استفاده شده است. برای رسم واریوگرام و نیز برآورد پراکندگی عیار مس در این کانسار، از نرم‌افزار پیشرفته Data Mine Studio نسخه ۳ استفاده شده است. ابعاد ریزبلوک‌ها در کانسار چاه‌فیروزه در سه جهت X، Y و Z به‌ترتیب ۳۰ متر، ۳۰ متر و ۱۰ متر درنظر گرفته شده است. برای تعیین ابعاد ریزبلوک‌ها از قاعده David (1977) استفاده شده‌است که ابعاد ریزبلوک‌ها بین نصف تا یک‌چهارم فاصله شبکه حفاری در نظر گرفته می‌شوند. در این کانسار هم که متوسط فاصله شبکه ۱۲۰ متر در مرحله تفصیلی بوده ابعاد ریزبلوک در جهت X، Y برابر ۳۰ متر درنظر گرفته شده است. همچنین برای بعد در کانسارهای فلزی معمولا" معادل ارتفاع پله‌های استخراجی و بیشتر برابر ۱۰ متر درنظر گرفته می‌شود. در پراکندگی عیار مس در این کانسار نوعی همسانگردی دیده می‌شود. واریوگرام این کانسار در شکل ۵ آورده شده است. سپس این مدل عیاری به نرم‌افزار RockWorks منتقل شد تا با مدل‌های زمین‌شناسی تلفیق شوند. بر این اساس میزان عیار برآورد شده در زون برون‌زاد و درون‌زاد در چاه‌فیروزه با تلفیق مدل‌های زون‌ها با مدل عیاری مورد مطالعه قرار گرفتند. در پراکندگی عیار مس در زون برون‌زاد به‌دست‌آمده به روش سنتی می‌توان آشکارا دید، عیارهای کمتر از ۰/۳ درصد و حتی کمتر از ۰/۱ درصد به میزان زیادی آن را پوشش می‌دهند که بسیار برای این زون نامعقول هستند (شکل ۶). همچنین در شکل ۶ پراکندگی عیار مس در زون درون‌زاد آورده شده است که براساس آن بخش بزرگی از این زون دارای عیار کمتر از ۰/۱ درصد و حتی ۰/۰۱ درصد است که باز هم ارقامی بسیار غیرمعقول برای این زون است.

۹- جدایش زون‌ها با استفاده از روش عیار- حجم

در این مرحله با استفاده از روش عیار- حجم، جوامع گوناگون و در حقیقت زون‌های گوناگون در کانسار چاه‌فیروزه از یکدیگر جدا شدند. با توجه به این‌که، حجم هر ریزبلوک معلوم بوده و مقدار عیار مس برای هر یک محاسبه شده است، پس رسم منحنی لگاریتمی عیار- حجم برای هر عنصر کاری آسان است. منحنی عیار- حجم مس به‌طور مشخص ۴ جامعه مجزا و سه نقطه شکست را نشان می‌دهد (شکل ۷). این سه نقطه شکست به ترتیب منطبق بر عیارهای ۰/۱، ۰/۴ و ۱/۲۵ درصد مس است. در نقطه آخر، که خطی با شیب تند به منحنی برازش شده است، پرعیارترین و غنی‌ترین جامعه عیاری قرارگرفته است که می‌توان گفت نشانگر زون برون‌زاد است. بخش قبل از زون برون‌زاد با عیارهای بین ۰/۴ تا ۱/۲۵ را می‌توان زون هیپوژن نامید چرا که میزان تغییرات عیار در این زون با زون درون‌زاد منطبق است. بخش بعدی با تغییرات عیار بین ۰/۱ تا ۰/۴ درصد که نشانگر عیار متوسط ۰/۲۵ درصد است می‌تواند نشانگر زون اکسایش باشد که بر اساس مشاهدات در این کانسار پهنه کوچکی است. در نخستین جامعه از دست راست که شیب خط برازش‌شده بسیار کم و نزدیک به افق است می‌توان گفت که این جامعه نشانگر سنگ دیواره و منطقه‌ای است که کانی‌سازی اقتصادی در آن صورت نگرفته است. عیار این بخش کمتر از ۰/۱ درصد است.

افزون‌برآن، در شکل ۷ وجود یک رابطه توانی بین تغییرات عیار و حجم دربرگیرنده آن دیده می‌شود. می‌توان این مسئله را جور دیگری بیان و تفسیر کرد. ارتباط بین تغییر عیار و حجم دربرگیرنده عیارهای کمتر از آن در نمودار لگاریتمی شکل ۸ دیده می‌شود. به این‌گونه که عیار مس با میزان حجم عیارهای کمتر از آن دارای رابطه زیر است:

$$V(T)-V(\rho) = C\rho^{-\beta} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) V(T) برابر مجموع حجم تمام ریزبلوک‌های تقسیم‌خورده و V(ρ) برابر حجم دربرگیرنده عیار ρ و عیارهای بیشتر از آن است. در شکل ۹ رابطه زیر در خط برازش شده دیده می‌شود:

$$\text{Log } (V(T)-V(\rho)) = 0.344\text{Log } (\rho)+8.882 \qquad (۵)$$

که رابطه (۵) را می‌توان با استفاده از قوانین پایه ریاضی به‌صورت زیر نوشت:

$$V(T)-V(\rho) = 10^{\,8.882} \times \rho^{\,0.344} \qquad (۶)$$

که می‌توان در رابطه (۶) عدد ثابت را معادل C درنظر گرفت.

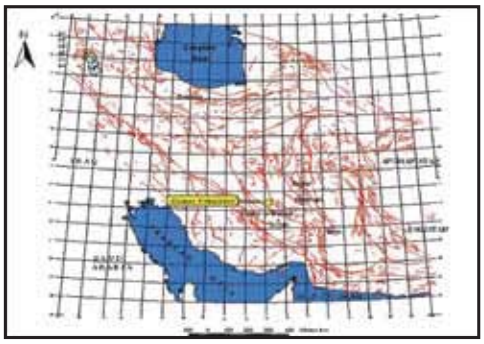
به همین صورت برای هر یک از خطوط برازش شده بر جوامع جدا شده در شکل ۱۴ می‌توان به رابطه‌ای معادل رابطه (۴) دست یافت. به‌عنوان مثال رابطه برای بخش سمت راست یا همان بخش معادل سنگ دیواره با عیارهای مس کمتر از ۰/۱ درصد برابر $V(\rho) = 10^{\,7.5} \times \rho^{\,-0.6374}$ و نیز رابطه $V(\rho) = 10^{\,6.2} \times \rho^{\,-11.625}$ برای غنی‌ترین جامعه در سمت چپ یا همان زون برون‌زاد با عیارهای مس بیش از ۱/۲۵ درصد برقرار است.

پس از این‌که جوامع توسط این روش از یکدیگر جدا شدند بر روی مدل بلوکی برآورد شده نیز جدا شدند. پس از این امر داده‌ها با مدل‌های زمین‌شناسی شامل مدل دگرسانی، کانی‌شناسی و بویژه زون‌بندی به روش سنتی زمین‌شناسی مقایسه شدند. همان‌گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود، زون برون‌زاد به‌دست‌آمده از روش عیار- حجم تنها بخش کوچکی از زون برون‌زاد تعیین‌شده به روش سنتی زمین‌شناسی است. این زون همخوانی بیشتری با واقعیت نیز دارد زیرا با پراکندگی کانی کالکوسیت همخوانی مناسبی دارد. همچنین حجم زون برون‌زاد در این حالت ده برابر کوچک‌تر از زون برون‌زاد محاسبه‌شده به روش سنتی است. اما در زون هیپوژن اتفاق جالب‌تری رخ داده به‌گونه‌ای که این زون حدود ۶۵ برابر نسبت به حجم اولیه کوچک‌تر شده‌است (شکل ۹). مطالعه به‌خوبی نشان می‌دهد که مهم‌ترین بخش زون هیپوژن منطبق بر مناطق با میزان بورنیت و کالکوپیریت بالا است. به‌عبارتی بخش عمده‌ای از مناطقی که به این زون‌ها نسبت داده شده بودند جزو سنگ دیواره با میزان بسیار اندک عیار مس یعنی کمتر از ۰/۱ درصد است.

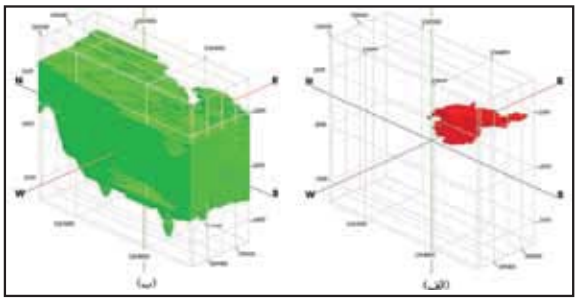
۱۰- نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشانگر این است که روش‌های فرکتالی نه تنها در سطح که در حجم و در مطالعات زیرسطحی نیز می‌توانند بسیار سودمند باشند. روش نوین عیار- حجم توانایی جدایش زون‌ها را با توجه به عیار عنصر اصلی در کانسارهای پورفیری را دارد، به‌گونه‌ای که می‌توان به نتیجه‌ای بسیار نزدیک به واقعیت دست یافت، در حالی که در روش‌های سنتی ابهام زیادی وجود دارد. روش‌های سنتی چون مبتنی بر مطالعات مستقیم سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری هستند پس بسیار وقت‌گیر و نیز هزینه‌بر هستند. همچنین مطالعه به این روش‌ها نیاز به دقت و تجربه بالایی دارد چون در غیر این صورت می‌تواند سبب اغراق در مورد زون موردنظر شود یا این‌که زونی از قلم بیفتد. روش‌های مبتنی بر میانبارهای سیال و مطالعات ایزوتوپی چون روش‌هایی مبتنی بر شواهد غیرمستقیم هستند، نمی‌توان براساس آنها نتایج قاطعی گرفت. در تمام این روش‌ها مشکل اصلی نبود توجه به عیار عنصر اصلی است. ضمن این‌که امروزه تحلیل‌های ریاضی نقشی اساسی در زمین‌شناسی یافته است، در حالی‌که در هیچ‌کدام از این روش‌ها از این تحلیل‌ها استفاده نمی‌شود. اما روش فرکتالی عیار- حجم با توجه به ماهیت هندسه فرکتال - که هندسه طبیعت است و می‌تواند جوامع طبیعی را به‌خوبی از یکدیگر جدا کند- و نیز در نظر گرفتن عیار عنصر اصلی و حجم دربرگیرنده آن، می‌تواند روشی جامع‌تر در جدایش زون‌ها از یکدیگر باشد. مطالعه در کانسار چاه‌فیروزه نشانگر این امر است که اگر روش‌های سنتی زمین‌شناسی برای جدایش زون‌ها ملاک بودند این یک کانسار با پتانسیل بالا برای استخراج بود ولی مطالعه با روش عیار- حجم نشان داد که زون‌های برون‌زاد و هیپوژن واقعی این کانسار دارای حجمی بسیار کوچک‌تر از زون‌های به‌دست‌آمده از روش‌های سنتی بوده و مطالعات تکمیلی نیز این امر را تأیید می‌کند. براساس پژوهش صورت‌گرفته در هر زون ارتباط بین عیار و حجم در برگیرنده آن را می‌توان به‌صورت تابعی توانی از این دو متغیر و

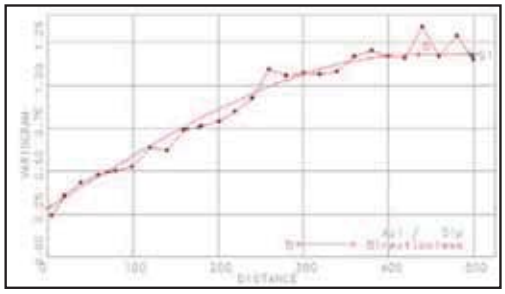
بعد فرکتال نوشت. یک حسن بسیار بزرگ دیگر این روش این است که بحثی به نام زون انتقالی بی‌معنی می‌شود. چون در روش‌های سنتی، اصل بر جدایش زون‌ها و دگرسانی‌ها با استفاده از کانه‌ها بود و اگر در نمونه‌ای دو یا چند کانه باهم دیده می‌شدند امکان جدایش زون به‌صورت دقیق در آن امکان‌پذیر نبود و زون به‌صورت انتقالی معرفی می‌شد که با این روش این مسئله نیز حذف می‌شود. همچنین مرز کانی‌سازی با سنگ دیواره تهی از کانی‌سازی در این کانسار ۰/۱ درصد به‌دست‌آمده است که رقمی معقول است. بر این اساس بخش



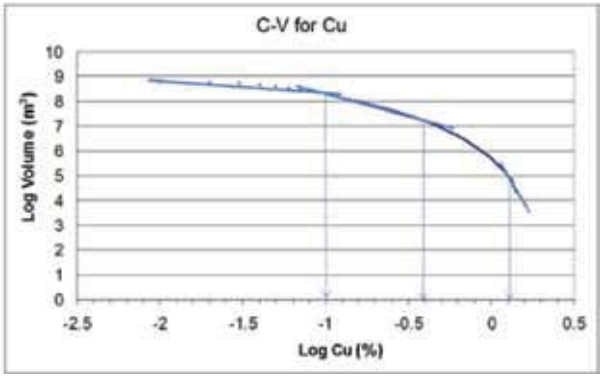
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی کانسار چاه‌فیروزه



شکل ۳- الف) مدل زون برون‌زاد و ب) زون درون‌زاد در کانسار چاه‌فیروزه

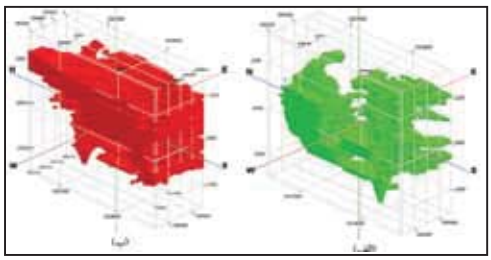


شکل ۵- واریوگرام مس در کانسار چاه‌فیروزه

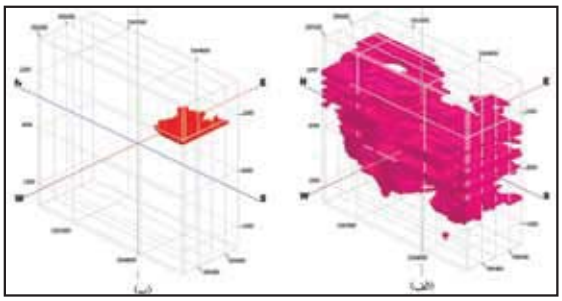


شکل ۷- منحنی لگاریتمی عیار- حجم برای عنصر مس در کانسار چاه‌فیروزه

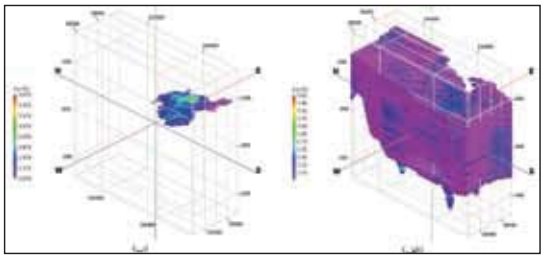
بزرگی از زون هیپوژن تشخیص داده‌شده در حقیقت جزو سنگ دربرگیرنده بسیار کم‌عیار یا نابارور است. انطباق مناسب زون‌های جداشده با مناطق با پراکندگی کانه‌ها متناظر برای زون مربوطه، بویژه در زون برون‌زاد و انطباق آن با پراکندگی کانه کالکوسیت نشانه دیگری از صحت روش فرکتالی عیار-حجم است. به‌عبارتی می‌توان گفت نتایج حاصل از این روش بسیار معقول‌تر و نزدیک‌تر به حقیقت نسبت به روش‌های سنتی است و می‌توان با استفاده از این روش میزان حجم واقعی زون‌ها را در کانسارهای گوناگون به‌خوبی برآورد کرد.



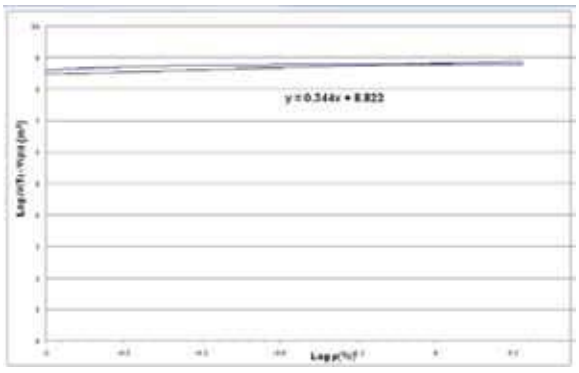
شکل ۲- الف) مدل پراکندگی دگرسانی پتاسیک و ب) دگرسانی فیلیک در کانسار چاه‌فیروزه



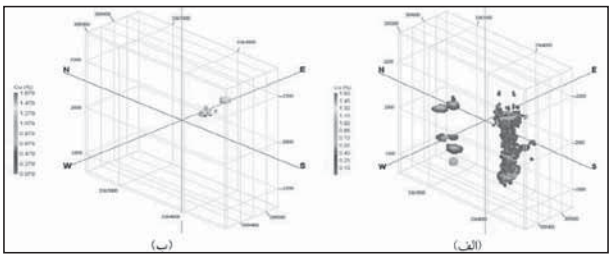
شکل ۴- الف) مدل پراکندگی کالکوپیریت و ب) کالکوسیت در کانسار چاه‌فیروزه



شکل ۶- الف) مدل پراکندگی عیار مس در زون‌های درون‌زاد و ب) برون‌زاد مشخص‌شده به روش سنتی



شکل ۸- منحنی لگاریتمی نشانگر رابطه عیار و حجم دربرگیرنده عیارهای کمتر از آن عیار برای عنصر مس در کانسار چاه‌فیروزه



شکل ۹- الف) زون‌های درون‌زاد و ب) برون‌زاد به دست‌آمده از روش عیار- حجم

کتابنگاری

اصغریان، ا.، ۱۳۸۶- شبیه‌سازی زمین‌آماری داده‌های سیالات درگیر برای جدایش آلتراسیون‌ها در کانسار مس سونگون اهر، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

شرکت مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۴- گزارش اکتشافی کانسار مس چاه فیروزه شهر بابک، استان کرمان.

References

Agterberg, F. P., Cheng, Q., Brown, A. & Good, D., 1996- Multifractal modeling of fractures in the Lac du Bonnet batholith, Manitoba, Comput. Geosci. 22: 497-507.

Asghari, O. & Hezarkhani, A., 2008- Appling Discriminant Analysis to Separate the Alteration Zones within the Sungun Porphyry Copper Deposit, Journal of Applied Sciences, 24: 4472-4486.

Bodnar, R. J., 1995- Fluid-inclusion evidence for a magmatic source for metals in porphyry copper deposits. In: Thompson, J.F.H. Ed., Magmas, Fluids, and Ore Deposits, Mineral. Assoc. Can., Short Course Series, 23: 139–152.

Cheng, Q., Agterberg, F. P. & Ballantyne, S. B., 1994- The separartion of geochemical anomalies from background by fractal methods, Journal of Geochemical Exploration, 51: 109–130

Cheng, Q. & Agterberg, F. P., 1996- Multifractal modeling and spatial statistics, Math. Geo, 28: 1-16.

Cheng, Q. & Li, Q., 2002- A fractal concentration–area method for assigning a color palette for image representation, Comput. Geosci., 28: 567-575.

Cox, D. & Singer, D., 1986- Mineral deposits models, U.S. geological survey bulletin, 1693 p.

David, M., 1977- Geostatistical Ore Reserve Estimation, Amsterdam: Elsevier, 283 p.

Davis, John C., 2002- Statistics and data analysis in Geology, 3nd edition. John Wiley & Sons Inc., New York, 639 p.

Evertsz, C. J. G. & Mandelbrot, B. B., 1992- Multifractal measures (appendix B) Chaos and Fractals, Springer, New York, 921-953.

Goncalves, M. A. & Mateus, A. & Oliveira, V., 2001- Geochemical anomaly separation by multifractal modeling, Journal of Geochemical Exploration, 72: 91-114.

Goncalves, M. A., 2001- Characterization of geochemical distributions using multifractal models, Math. Geol, 33: 41-61.

Hezarkhani, A. & Williams-Jones, A. E., 1998- Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes, Economic Geology, 93: 651–670.

Hezarkhani, A., 2006- Mineralogy and fluid inclusion investigations in the Raigan Porphyry System, Iran, the Path to an uneconomic porphyry copper deposit, Journal of Asian Earth Sciences, 27: 598-612.

Hezarkhani, A., 2009- Hydrothermal fluid geochemistry at the Chah-Firuzeh porphyry copper deposit, Iran, Evidence from fluid inclusions, Journal of Geochemical Exploration, 101: 254-264.

Jones, B. K., 1992- Application of metal zoning to gold exploration in porphyry copper systems, J. Geochem. Explor., 43: 127-155.

Li, C. & Ma, T. & 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.

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 (Italy), Campania region, Applied Geochemistry, 18: 1853–1865.

Lowell, J. D. & Guilbert, J. M., 1970- Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits, ECONOMIC GEOLOGY, 65: 373-408.

Mandelbrot, B. B., 1983- The Fractal Geometry of Nature, W. H. Freeman, San Fransisco, 468 p.

Melfos, V., Vavelidis, M., Christo.des, G. & Seidel, E., 2002- Origin and evolution of the Tertiary Maronia porphyry copper-molybdenum deposit, Thrace, Greece, Mineralium Deposita, 37: 648–668.

Nash, J. T., 1976- Fluid inclusion petrology data from porphyry copper deposits and applications to exploration, U. S. GEOLOGICAL SURVEY PROFFESSIONAL PAPER, v. 907 D, 16 p.

Roedder, E., 1971- Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado, Econ. Geol., 66: 98–120.

Sillitoe, R. H. & Gappe, I. M., 1984- Philippine porphyry copper deposits: geologic setting and characteristics, Common coordination joint resource (CCOP) Tech Publ, 14: 1-89

Sillitoe, R. H., 1976- Andean mineralization: A model for metalogeny of convergent plate margins. In: STRONG (ed.) Metallogeny and Plate Tectonics, Geol. Assoc. Canada, 14: 59-100

Ulrich, T., Gunther, D. & Heinrich, C. A., 2001- The evolution of a porphyry Cu–Au deposit, based on La-ICP-MS analysis of fluid inclusions, Bajo de la Alumbrera, Argentina, Economic Geology, 96: 1743–1774.

White, W. H. , Bookstrom, A. A., Kamilli, R. J., Ganster, M. W., Smith, R. P., Ranta, D. E. & Steininger, R. C., 1981- Character and origin of Climax-type molybdenum deposits; in Skinner, Economic Geology Seventy-Fifth Anniversary Volume, 1905-1980: Economic Geology Publishing Co., 270-316.

Wilson Alan, J., David, R., Cooke, B., Harper, M., Benjamin, J. & Deyell, Cari L., 2007- Sulfur isotopic zonation in the Cadia district, southeastern Australia: exploration significance and implications for the genesis of alkalic porphyry gold–copper deposits, Miner Deposita, 42: 465–487.

Zuo, R., Cheng, Q. & Xia, Q., 2009- Application of fractal models to characterization of vertical distribution of geochemical element concentration, Journal of Geochemical Exploration, 102: 37-43.

Geomorphic Signatures of Active Tectonics in the Talaghan Rud, Shah Rud and SefidRud Drainage Basins in Central Alborz, N Iran

Z. Mardani[1*], M. Ghorashi[2,3], M. Arian[1] & Kh. Khosrotehrani[1]

[1] Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran

[2] Islamic Azad University (IAU), North Tehran Branch, Tehran, Iran

[3] Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2009 April 22 Accepted: 2009 December 02

Abstract

Geomorphic indices of active tectonics are useful tools to analyze the influence of active tectonics.These indices have the advantage of being calculate from ArcGIS and remote sensing packages over large area as a reconnaissance tool to identify geomorphic anomalies possibly related to active tectonics.This is particulary valuable in west-central Alborz where relatively little work on active tectonics based on this method was done,so this method is new and useful. Based upon values of the stream length-gradient index (SL), drainage basin asymmetry (Af), hypsometric integral (Hi), ratio of valley-floor width to valley height (Vf), index of drainage basin shape (Bs), and index of mountain front sinuosity (Smf),we used an overall index(Iat) that is a combination of the other indices that divides the landscape into four classes of relative tectonic activity. The moderat class of Iat is mainly in the south of Manjel dam,while the rest of the study area has high active tectonics (shahrud drainage basin and sefidrud drainage basin),and high to very high(Taleghan and Alamut drainage basin). The stream network asymmetry (T)was also studied using morphometric measures of Tranverse Topographic Symmetry.Analysis of the drainage basins and subbasins in the study area results in a field of T-vectors that defines anomalous zone of the basin asymmetry.Acomparsion of T index clearly coincide with the values and classes of active tectonics indices and the overall Iat index.

Keywords: Tectonic Geomorphology, Geomorphic Indices of Active tectonics, Drainage Basin, Asymmetry, Central Alborz.

For Persian Version see pages 159 to 166

* Corresponding author: Z. Mardani; E-mail: mhmardani@yahoo.com

Introduction to New Concentration-Volume Fractal Method for Separation Zones in Porphyry Deposits

P. Afzal[1*], A. Khakzad[2], P. Moarefvand[3], N. Rashid Nezhad Omran[4] & Y. Fadakar Alghalandis[5]

[1]Department of Mining Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[2]Geology Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[3]Mining and Metallurgy Faculty, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

[4]Geology Department, Faculty of Basic Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[5]WH Bryan Mining & Geology Research Centre, SMI, the University of Queensland, Brisbane, Australia

Received: 2009 April 16 Accepted: 2009 October 27

Abstract

Determination of different zones in porphyry deposits is one of important goals in their exploration because this operation especially determination supergene zone is important for economical study in these deposits. Traditional methods based on alterations and mineralogical studies are not proper in many cases because these methods are based on petrogaraphical and mineralographical studies, only. Later methods were introduced basis fluid inclusions and isotopes are indirect methods and applied for alterations separation. Fractal methods are applicable in surface geological and geochemical studies for many reasons such as using all data, according to spatial distribution and anomalies geometrical shapes. In this research, concentration-volume method entitled new fractal method is introduced for separation of supergene, hypogene, oxidant and host rock based on major element grade in porphyry deposits. Mathematical base of this method by using of power-law function and partition function for fractal and multifractal modeling, concentration-volume is used for zones separation in Chah-Firuzeh Cu porphyry deposit in Shahrbabak in Kerman province. First, Cu distribution in this deposit was evaluated by geostatistical methods and concentration-volume logarithmic diagram that break points show grade boundaries of different zones and boundary between mineralization and host rock. Also, alteration, mineralogical and zonation models were constructed based on geological observation and compared by results from concentration-volume fractal method. Separated zones by this

fractal method are smaller and near to fact and correlated by geological models. Usage of grade parameter that is most important direct and quality parameter constructed reality results.

Key words: Concentration-Volume fractal method, Porphyry deposits, Supergene zone, Chah-Firuzeh, Kerman

For Persian Version see pages 167 to 172

*Corresponding author: P. Afzal; E-mail: peymanafzal@yahoo.com

Post-Collisional Shoshonitic, C-type Adakitic and Lamprophyric Plutonism in the Khankandi Pluton, Arasbaran (NW Iran)

M. Aghazadeh[1*,3], M. H. Emami[2], H. Moin Vaziri[3], N. Rashidnezhad Omran[3], A. Castro[4]

[1]Department of Geology, Faculty of Science, Payeme Noor University, Tehran, Iran

[2]Research Institute of the Earth Sciences, Geological survey of Iran, Tehran, Iran

[3]Department of Geology, Faculty of Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[4]Department of Geology, University of Huelva, Huelva, Spain

Received: 2008 November 09 Accepted: 2009 June 13

Abstract

Khankandi pluton is located in northwestren part of Iran, within Garadagh (Arasbaran) - south Armenia block. Main units of the pluton are monzonite and granodiorite associated with minor gabbro and lamprophyric and dacitic dykes. Granodioritic plutonism is followed by gabbro and monzonite. Lamprophyric and dacitic dykes are emplaced at the end of the granodioritic plutonism. Gabbro and monzonites are shoshonitic, and granodiorites and dacites have high K-calc alkaline nature and charactistics of C-type (potassic or continental) adakites and high Ba-Sr granitoides. Lamprophyres are alkaline and have camptonitic composition. The monzonites follow fractionation trend of gabbro with minor crustal assimilation and contamination. Melting of garnet bearing mafic lower crust, metasomatised lithospheric mantle and upwelling asthenosphere produced granodioritic and dacitic, shoshonitic gabbro and lamprophyric magma respectively. The production of various magma types in the Oligocene of the Arasbaran occurred in response to slab break off and/or delamination of lithospheric mantle and upwelling of asthenosphere. Plutonism occurred after collision between Iranian and Arabian plates and crustal thickening in the extensional post collisional tectonic setting.

Key words: Plutonism, Post-Collision, Shoshonitic, C-type Adakite, Lamprophyre, Khankandi, Arasbaran, NW Iran

For Persian Version see pages 173 to 188

*Corresponding author: M. Aghazadeh; Email: Mehrajaghazadeh@yahoo.com