# استفاده از روش فرکتالی عیار- حجم در جدایش زونها در کانسارهای پورفیری

پیمان افضل<sup>1\*</sup>، احمد خاکزاد<sup>۲</sup>، پرویز معارفوند<sup>۳</sup>، نعمتاله رشیدنژاد عمران<sup>۴</sup> و یونس فداکار القلندیس<sup>۵</sup>

گروه مهندسی اکتشاف معدن، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ۲ گروه زمینشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. دانشکده معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. <sup>٤</sup> گروه زمینشناسی، دانشکده علومپایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. <sup>ه</sup> مرکز پژوهشهای زمین شناسی و معدن، دانشگاه کویینزلند، بریسبین، استرالیا. تاريخ پذيرش: ١٣٨٨/٠٨/٠٥

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۲۶

#### چکیدہ

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 می کند. روش های سنتی مبتنی بر مطالعه دگرسانی ها و کانی های موجود در این زون ها در بسیاری موارد جوابگوی نیازهای این کار نیستند، چون تنها بر پایه مطالعات سنگشناسی و کانهنگاری هستند. روش های جدیدتری نیز که بر اساس مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپها ارائه شدند، شواهدی غیرمستقیم هستند و بیشتر برای تفکیک دگرسانیها به کار 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 زمین شناسی 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 می شوند. پس از بررسی اساس ریاضی این روش، به کمک تابع توانی شاخص و تابع تقسیم برای مدلسازی های فرکتالی و مولتی فرکتالی، 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 روش های زمین آماری بر آورد و نمودار لگاریتمی عیار- حجم برای این کانسار رسم شد و نقاط شکست نمایانگر مرزهای عیاری زونها و مرز کانی سازی با سنگ دیواره مشخص شدند. همزمان مدلهای توزیع دگرسانی، کانیشناسی و زونبندی بر اساس مشاهدات زمین شناسی نیز در چاهفیروزه ساخته شدند و با نتایج حاصل از این روش مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشانگر این است که زونهای جداشده با کمک روش فرکتالی عیار – حجم افزون بر همپوشانی با مدلهای زمین شناسی به علت استفاده از عامل عیار که مهمترین متغیر مستقیم و کمی است، کار آمدتر از دیگر روش های جداسازی در شناخت این گونه کانسارها است.

> **کلیدواژدها:** روش فرکتالی عیار – حجم، کانسارهای پورفیری، زون برونزاد، چاهفیروزه، کرمان \*نويسنده مسئول: پيمان افضل

E-mail: peymanafzal@yahoo.com

# این امر توسط (Lowell & Guilbert (1970) بر روی کانسار مس پورفیری سنتمانویل سانتاکروز در آریزونای ایالاتمتحده آمریکا صورت گرفت. در این مدل دگرسانی های 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 (2002); 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 مدل ها در طول بیش از ۳۸ سال تغییر چندانی نداشته و با اضافه شدن اطلاعات مکملی چون دادههای حاصل از میانبارهای سیال و نیز دادههای ایزوتوپی در سالهای اخیر تکامل یافتهاند. مهم ترین آنها ارائه مدل دگرسانی ها براساس داده های میانبار های سیال است که نخستین بار توسط (2001) Ulrich et al. پر روی کانسار مس و طلای پورفیری باجودلاآلومبرا در آرژانتین صورت گرفت. مدلسازی پراکندگی ایزوتوپ گوگرد ۳۴ توسط(2007). Wilson Alan et al در کانسار مس و طلای پورفیری کادیای استرالیا و تلفیق نتایج آن با مدل دگرسانی ها است. یک مشکل اساسی در این مدل ها عدمتوجه كامل به عيار عنصر يا عناصر اصلى در كانسار پورفيري مورد نظر يا نبود توجه مناسب به این موضوع است. تنها در مدل (White et al.(1981) که بر روی کانسارهای

#### 1- 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 روش های فروشست اسیدی و بازی و روش بيوليچينگ استحصال مس از آنها آغاز شد. همچنين در بسياري از موارد بخشي از سنگ دیواره جزو کانیسازی در نظر گرفتهمی شود که این می تواند سبب اغراق در میزان ذخیره، برنامهریزی اشتباه تولید و نیز مشکلات زیادی در کارخانه فر آوری 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 تلقی کردن 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 معدن کاری دچار تغییرات کمی خواهد شد. این مسایل نشان گر این امر است که تنها مدل کردن دادههای زمین شناسی نمی تواند در جدایش درست زون ها مؤثر باشد و باید از روش های مبتنی بر عیار مس در این امر استفاده کرد.

روشهای سنتی جدایش زونها در کانسارهای پورفیری مبتنی بر شناسایی کانی ها و دگرسانی ها است که اساس این کار مطالعات سنگ شناسی و کانهنگاری است. بهعبارتی، شواهد مستقیم و کانیهای شاخص برای جدایش زونها استفاده میشوند. از روشهای معروف در این امر میتوان به مدلسازی پراکندگی دگرسانی های گوناگون در یک کانسار پورفیری اشاره کرد. نخستین مدلسازی در www.SID.ir

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

مشکل دیگری که در این روشها دیده می شود تغییرات در انواع گوناگون کانسارهای پورفیری است. کانسارهای مس پورفیری با این که دارای ویژگیهای خاصی به نظر میرسند اما دچار تنوعهایی در وضعیت سنگشناسی، گسترش دگرسانیها، سن و ژرفای تشکیل و بهطورکلی متغیرهای زمینشناسی هستند. مطالعات صحرايى مغزهها و نمونهها بهيقين نمىتواند داراى دقت كافى 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 روش.های تحلیلی و ریاضی در آنها است، بهگونهای که پایه بیشتر این روشها تنها عیارسنجی صرف عناصر و تعیین نسبتهای عددی از عناصر یا اکسیدهای اصلی است (Ulrich et al., 2001). از روش های دیگر، استفاده از نتایج حاصل از مطالعات میانبارهای سیال است که نخستین بار توسط (Roedder (1971) در کانسار بینگهام کانیون 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 شبیهسازیزمین آماری نتایج حاصل از مطالعه میانبارهای سیال ارائهشدهاست که براساس آنها دگرسانیها و زونها جدا مي شوند (Hezarkhani, 2006; Asghari& Hezarkhani, 2008). همچنین(Hezarkhani & Williams-Jones(1998) از میانبارهای سیال و ایزوتوپهای پایدار برای جدایش د گرسانی ها و زون ها در کانسار مس سونگون در اهر استفاده کردند. مهم ترین ایراد این روش ها این است که دادههای میانبارهای سیال و ایزو توپی شواهد غیرمستقیم هستند و بر اساس آنها در این گونه موارد نمی توان تفسیر قاطعی ارائه داد.

نقص اصلی تمام روش های پیشین، نبود توجه لازم به عیار عنصر اصلی (مس، مولیبدن، طلایا تنگستن) در کانسارهای پورفیری است. هدف اصلی در این پژوهش، ارائه روشی نوین برای جدایش زون های 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 زمین شناسی نیز موردمقایسه قرار می گیرد.

## ۲- روش مطالعه

این پژوهش به پنج بخش مجزا تقسیم می شود. نخست معرفی مختصری از روش های مبتنی بر هندسه فر کتال صورت گرفته و با توجه به این موضوع که می توان از سطح به حجم رسید، در مورد اصول ریاضی روش های فر کتالی و مولتی فر کتالی و روش عیار – حجم بحث می شود. در مرحله بعدی ضمن معرفی کانسار مس پورفیری چاه فیروزه در استان کرمان، مدل سازی های زمین شناسی روی این کانسار صورت پذیر فته است. این مدل ها شامل مدل پراکندگی دگرسانی و کانی شناسی و زون بندی بر اساس روش های سنتی مبتنی بر سنگ شناسی و کانی شناسی و زون بندی بر اساس روش های سنتی زمین آماری سه بعدی ریز بلو که ها پراکندگی عیار مس در چاه فیروزه به دست می آید. در مرحله چهارم داده های حاصل از این بر آورد با روش فر کتالی عیار – حجم مورد مطالعه قرار گرفته و ضمن این که درستی رابطه ریاضی عیار – حجم در آنها مورد بررسی قرار می گیرد، زون های برون زاد، درون زاد، اکسایش و نیز سنگ دیواره از یکدی گر جدامی شوند. در گام آخر، نتایج حاصل با نتایج حاصل از داده های زمین شناسی مقایسه می شوند.

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

باتوجه به این که هندسه اقلیدسی توانایی بیان بیشتر پیچیدگیهای موجود در طبیعت را ندارد، دانشمندان به دنبال هندسهای بودند که بتواند توصيف گر کليه فرايندهای موجود در طبيعت باشد (Davis, 2002). (Mandelbrot (1983). برای نخستين بار هندسه فركتال را بهعنوان ابزاری مناسب برای این کار معرفی کرد. به گفته ایشان «هندسه فراکتال توصيف گر طبيعت است آن گونه كه طبيعت اعمال مي كند نه آن گونه كه بشر مي خواهد و این امتیاز بسیار بزرگی به شمار میرود». در هندسه فرکتال هر شکل و پیچیدگیهای آن در قالب اعداد نشان داده می شوند، همان طور که در هندسه اقلیدسی مفهومهای زاویه، طول، مساحت و فضاهای یک بعدی تا سهبعدی به کار می روند. 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، روش های گوناگون تجزیه فرکتالی همچون عیار-مساحت، عيار- فاصله، عيار- محيط و طيف توان ارائه شدند كه در ميان آنها روش عيار - مساحت در علوم زمين كاربردي بسيار يافته است (Davis, 2002). حسن اساسي اين روش ها استفاده از تمام داده ها بدون جرح و تعدیل آنها، در نظر گرفتن پراکندگی فضایی دادهها و درنظر گرفتن شکل هندسی مناطق گوناگون از نظر پراکندگی متغیر مورد مطالعه است (Cheng et al., 1994; Davis, 2002; Li et al., 2003). روش عيار- مساحت -که توسط (1994) Cheng et al. بر روی دادههای لیتوژئوشیمیایی کانسار پورفیری Mitchell-Sulphurents در بریتیش کلمبیای کاناداارائه شده بر پایه تغییرات عیار و مساحت دربر گیرنده آن و عیار های بالاتر مبتنی است. نمودار لگاریتمی عیار در برابر مساحت تجمعی در نقاطی می شکند یا به عبارتی تغییر شیب شدید می دهد که این نقاط نمایانگر تغییر از زمینه به بی هنجاری های درجه مختلف و پیرو آن تغییرات در شرایط زمین شناسی بویژه كانى سازى است(Agterberg et al., 1996; Cheng et al., 1996; Goncalves, 2001). مطالعات بعدى نشانداد كه بهطوركلي دادههاي ژئوشيميايي رفتار مولتيفركتالي يا چندفرکتالی دارند که این نشانگر میزان تغییرات در شرایط زمین شناسی، ژئوشیمیایی، دگرسانی، هوازدگی سطحی و کانیسازی و به دنبال آن مراحل غنیشدگی یک عنصر است (Goncalves, 2001). با تطبیق آنها با دادهها و مشاهدات زمین شناسی درستی این مدلسازىها بهخوبى مشخص شده است(Lima et al.,2003). همچنين با مطالعاتي كه Zuo et al.(2009) انجام دادند، مشخص شد که پراکندگی عناصر در جهت عمودی، در کانسارهای پورفیری از مدلهای فرکتالی پیروی می کند. یعنی در این کانسارها جوامع ژئوشیمیایی عناصر هم در جهت افقی و هم در جهت عمودی با استفاده از روش های فركتالي قابليت جدايش را دارا هستند.

در این حالت که روشهای فرکتالی در دو بعد بهخوبی جواب میدهند و گویای خیلی مسایل هستند، بهیقین در سه بعد بسیار کار آمدتر 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 دربر گیرنده 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 زمین شناسی و کانیزایی است.

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

 ${
m M}(\delta)\,{}^{\infty}\,\delta^{-lpha}$  (۱) در رابطه<br/>۱ متغیر  $\alpha$  برابر بعد فرکتال در هر نقطه از نمودار لگاریتمی است که

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

 $A(>\rho) \propto \rho^{-D} \tag{(Y)}$ 

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 (1992) Evertsz & Mandelbrot است که رابطه بین ابعاد یک سلول دوبعدی یا ریزبلوک (المان) سهبعدی را با تعداد آنها و نیز متغیر اندازه گیری شده در آن را بیان می کند. با کمک این تابع در حالتی که در سهبعد مطالعه صورت می گیرد و با ریزبلوکها سروکار داریم می توان به رابطه زیر رسید:

 $V({>}\rho)\,{\infty}\,\rho^{{\scriptscriptstyle -}{\scriptscriptstyle D}}$ 

که در این حالت V حجم دربرگیرنده عیارهای بزرگ تر و برابر ρ در کانسار مورد مطالعه و D بعد فرکتال است. به عبارتی می توان گفت که چون حجم تابعی از سطح است، می توان از روند کلی اثبات رابطه عیار– مساحت ارائه شده توسط (Cheng et al.(1994، برای اثبات روش عیار– حجم استفاده کرد که در مطالعه بر روی کانسار چاه فیروزه 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 ریخت شناسی تپه ماهوری است (شکل ۱). در گذشته در این منطقه کار معدن کاری در مقیاسی محدود انجام شده بود و در سال های اخیر یکی از مناطق مورد اکتشاف توسط شرکت ملی مس ایر ان بوده است. در مجموع، در مرحله اکتشاف تفصیلی، ۲۶ گمانه با ژرفای مجموع حدود ۹۶۰۰ متر در این کانسار حفاری شده است.

# ۵- زمینشناسی عمومی منطقه

جایگاه محدوده مورد مطالعه، شمال باختری نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ شهر بابک است. سنگ های آ تشفشانی – رسوبی که سنگ های آ تشفشانی آن بیشتر ترکیب آ ندزیتی تاداسیت – آندزیت دارند، در پیر امون کانسار دیده می شود. جنوب منطقه تو سط واحدهای کنگلومرای آ تشفشانی – آواری پوشیده شده اند. سنگ های مورد بحث در محدوده کانه زایی، دگر سان شده هستند که شدت دگر سانی بسته به ساز و کارهای زمین ساختی و وسعت کانی سازی در نوسان است. پیوند تنگاتنگ پدیده های ولکانو – پلو تونیسم با حوضه رسوبی بر پیچیدگی های کانی سازی منطقه افزوده است. زیرا که بجز دگر سانی پروپیلیتی که با رنگ سبز آشکار می شود، دگر سانی های نوع سیلیسی – آرژیلی هماتیتی شده، به صورت غیر قابل تفکیک، به گونه ای ظاهر می شود که شناخت نوع کانی سازی را مشکل می کند. به عبارت دیگر، کمتر می توان مناطق با دگر سانی پروپیلیتی را از کوار تر – سریسیتی (فیلیک) تفکیک کرد( شرکت مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۴).

# 6- زمینشناسی کانسار چاهفیروزه

در حاشیه کانسار بیشتر سنگهای آتشفشانی با ترکیب آندزیتی تا آندزیت - داسیت، اما در مرکز به صورت یک مجموعه ولکانو - پلو تونیک ظاهر می شوند. در بخش مرکزی ناحیه و با راستای شمالی - جنوبی، یک سری تو ده های نیمه ژرف با ترکیبی حدو اسط داسیت پور فیری رخنمون دارند که به درون سنگ های آتشفشانی وارد شده و آنها را تحت تأثیر قرار دادند. به سوی شمال و کمی دور تر که از شدت دگرسانی کاسته می شود آشکارا می توان توده داسیتی را در واحدهای سنگی نادگرسان دید. به طور کلی، سنگ های منطقه بر دو نوع استوار است. یکی آتشفشانی های بازیک و تا حدو اسط و دیگری سنگ های **WWW.SID**.

متعلق به تودههای نیمهژرف با ترکیب داسیت پورفیری تا گرانودیوریت پورفیری است. در این کانسار توده گرانودیوریتی به سن میوسن در سنگهای رسوبی آتشفشانی به سن ائوسن تزريق شدهاست (Hezarkhani, 2009). در محدوده مورد مطالعه، سامانه گسلهای شمالی - جنوبی اگرچه بیشترین سهم را در میزان طول بهخود اختصاص دادهاند ولی به نظر میرسد از تراکم کمتری نسبت به گسل های عرضی خاوری-باختری برخوردار باشند( شرکت مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۴). همچنین حضور مجموعه کانی های کوارتز، آلبیت، گوتیت و هماتیت نشانگر وجود د گرسانی پروپیلیتی بویژه در سطح هستند. کانی سازی مس در این کانسار، همراه با دو نوع د گرسانی 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، کریزو کولا 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. بهطور کلی، کانی اصلی در زون هيپوژن اين كانسار كالكوپيريت در نظر گرفته شده است (Hezarkhani, 2009).

## ۷- مدلسازی زمینشناسی در کانسار موردمطالعه

با استفاده از دادههای زمین شناسی سطحی و ژرفایی شامل زونبندی براساس روش های سنتی، سنگشناسی، کانیشناسی، دگرسانیها و دادههای توپوگرافی، مدلهای سەبعدى زمينشناسى براى كانسار چاەفيروزە تھيە شدە است. براى مدلسازى زمین شناسی کانسار از بسته نرمافزاری RockWorks 2006 استفاده شده است. برای بهتر مشخص کردن وضعیت زمین شناسی از دادههای توپو گرافی سطحی و نیز دادههای زمین شناسی سطحی مانند مرز گسترش کانسار و نیز گسل های 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). همان گونه 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 زمین شناسی یک زون درونزاد بسیارگسترده در این کانسار دیده می شود (شکل ۳). زون برونزاد نیز در مرکز و جنوب کانسار با حجم بهنسبت قابل توجهی دیده می شود (شکل ۳). این دو زون بویژه زون برونزاد مهم ترین هدفها در برنامهریزی تولید در کانسارهای پورفیری هستند. با مدلسازی مبتنی بر توزیع کانیها در کانسار وضعیت توزیع سه کانه اصلی مسدار يعنى كالكوسيت و بورنيت براي زون برونزاد و كالكوپيريت بويژه براي زون درونزاد مورد بررسی قرار گرفته است. کانه بورنیت بهعنوان یکی از کانههای مسردار 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 می شود 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 مدل های سنتی مبتنی بر مطالعات کانهنگاری و دگرسانی ها مشخص شده که این کانسار دارای یک زون بسیار وسیع هیپوژن و یک زون قابل توجه برونزاد است. همچنین دو نوع دگر سانی فیلیک و پتاسیک به میزان زیادی در این کانسار دیده شدهاند.



# ۸- برآورد عیار مس در چاهفیروزه

برای بر آورد پراکندگی عیار مس در کانسار چاهفیروزه از روش زمین آماری 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 ریزبلو کها از قاعده (1977) David استفاده شدهاست که ابعاد ریزبلو کها 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. واریو گرام این کانسار در شکل ۵ آورده شده است. سپس این مدل عیاری به نرمافزار RockWorks منتقل شد تا با مدلهای زمین شناسی 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 می توان 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 ۴). همچنین در شکل ۴ 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 حتى ٠/٠١ درصد است كه باز هم ارقامي بسيار غيرمعقول براي اين 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 این که، 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 به طور مشخص ۴ جامعه مجزا و سه نقطه شکست را نشان می دهد (شکل ۷). این سه نقطه شکست به ترتیب منطبق بر عیارهای ۲۰/۱ ۶/۱ و ۲۶/۱ درصد مس است. در نقطه آخر، که خطی با شیب تند به منحنی برازش شده است، پرعیار ترین و غنی ترین از زون برونزاد با عیارهای بین ۴/۰ تا ۲۵/۱ را می توان زون هیپوژن نامید چرا که میزان تغییرات عیار در این زون با زون درونزاد منطبق است. بخش بعدی با تغییرات عیار این ۱/۰ تا ۴/۰ درصد که نشانگر عیار متوان گفت نسانگر زون برونزاد است. بخش قبل اکسایش باشد که بر اساس مشاهدات در این کانسار پهنه کوچکی است. در نخستین جامعه از دست راست که شیب خط برازش شده بسیار کم و نزدیک به افق است میتوان گفت که این جامعه نشانگر سنگ دیواره و منطقهای است که کانیسازی میتوان گفت که این جامعه نشانگر سنگ دیواره و منطقهای است که کانیسازی میتوان گفت که این جامعه نشانگر سنگ دیواره و منطقهای است که کانیسازی اقتصادی در آن صورت نگرفته است. عیار این بخش کمتر از ۱/۰ 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 این گونه که عیار مس با میزان حجم عیارهای کمتر از آن دارای رابطه زیر است:

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

در رابطه (۴) V(T) برابر مجموع حجم تمام ریزبلو کهای تقسیمخورده و V(p) برابر www.SID.jr

حجم دربرگیرنده عیار ρ و عیارهای بیشتر از آن است. در شکل ۹ رابطه زیر در خط برازش شده دیده میشود:

Log  $(V(T)-V(\rho)) = 0.344Log (\rho)+8.882$ 

که رابطه (۵) را می توان با استفاده از قوانین پایه ریاضی بهصورت زیر نوشت: (۴) (P(r)-V(p) = 10 <sup>8.882</sup> × ρ<sup>0.344</sup>

که می توان 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 می توان به رابطه ای معادل رابطه (۴) دست یافت. به عنوان مثال رابطه برای بخش سمت راست یا همان بخش معادل سنگ دیواره با عیارهای مس کمتر از ۰/۱ درصد برابر  $V(\rho) = 10^{75} \times ^{20} 0 = (\rho)$  و نیز رابطه  $^{2011} \circ 1 \times ^{20} 0 = (\rho)$  برای غنی ترین جامعه در سمت چپ یا همان زون برونزاد با عیارهای مس بیش از ۱/۲۵ درصد برقرار است.

پس از این که جوامع توسط این روش از یکدیگر جدا شدند بر روی مدل بلو کی بر آورد شده نیز جدا شدند. پس از این امر داده ها با مدل های زمین شناسی شامل مدل دگرسانی، کانی شناسی و بویژه زون بندی به روش سنتی زمین شناسی مقایسه شدند. همان گونه که در شکل ۹ دیده می شود، زون برون زاد به دست آمده از روش عیار – حجم تنها بخش کوچکی از زون برون زاد تعیین شده به روش سنتی زمین شناسی است. این زون محفوانی بیشتری با واقعیت نیز دارد زیرا با پراکند گی کانی کالکوسیت همخوانی مناسبی دارد. همچنین حجم زون برون زاد در این حالت ده برابر کوچک تر از زون برون زاد محاسبه شده به روش سنتی این این ون برون زاد محاسبه شده بوش سنتی این برون زاد در این حالت ده برابر کوچک تر از زون برون زاد محاسبه شده به روش سنتی است. اما در زون هیپوژن اتفاق جالب تری رخ داده به گونه ای که این زون حدود ۶۵ برابر نسبت به حجم اولیه کوچک تر شده است (شکل ۹). مطالعه به خوبی نشان می دهد که مهم ترین بخش زون هیپوژن منطبق بر مناطق با میزان بورنیت و کالکوپیریت بالا است. به عبارتی بخش عمده ای از مناطقی که به این زون ها نسبت داده شده بودند جزو سنگ دیواره با میزان بسیار اند ک عیار مس یعنی کمتر از ۱/۰ در صد است.

## ۱۰- نتیجهگیری

(۵)

بررسی ها نشانگر این است که روش های فرکتالی نه تنها در سطح که در حجم و در مطالعات زيرسطحي نيز مي توانند بسيار سودمند باشند. روش نوين عيار - حجم توانايي جدايش زونها رابا توجه به عيار عنصر اصلى در كانسارهاي پورفيري رادارد، به گونهاي كه مي توان به نتيجهاي بسيار نزديك به واقعيت دست يافت، در حالي كه در روش هاي سنتي ابهام زيادي وجود دارد. روش های سنتی چون مبتنی بر مطالعات مستقیم سنگ شناسی و کانهنگاری هستند پس بسیار وقت گیر و نیز هزینهبر هستند. همچنین مطالعه به این روش ها نیاز به دقت و تجربه بالایی دارد چون در غیر این صورت می تواند سبب اغراق در مورد زون موردنظر شود یا این که زونی از قلم بیفتد. روش های مبتنی بر میانبارهای سیال و مطالعات ایزوتو پی چون روش هایی مبتنی بر شواهد غیرمستقیم هستند، نمی توان براساس آنها نتایج قاطعی گرفت. در تمام این روش ها مشکل اصلی نبود توجه به عیار عنصر اصلی است. ضمن این که امروزه تحلیل های ریاضی نقشی اساسی در زمین شناسی یافته است، در حالی که در هیچ کدام از این روش ها از این تحليلها استفاده نمي شود. اما روش فركتالي عيار – حجم با توجه به ماهيت هندسه فركتال - که هندسه طبیعت است و می تواند جوامع طبیعی را به خوبی از یکدیگر جدا کند- و نیز در نظر گرفتن عیار عنصر اصلی و حجم دربر گیرنده آن، می تواند روشی جامع تر در جدایش زونها از یکدیگر باشد. مطالعه در کانسار چاهفیروزه نشانگر این امر است که اگر روش های سنتي زمين شناسي براي جدايش زون ها ملاك بودند اين يك كانسار با پتانسيل بالا براي استخراج بودولي مطالعه با روش عيار - حجم نشان داد كه زون هاي برونزاد و هيپوژن واقعي این کانسار دارای حجمی بسیار کوچکتر از زونهای بهدست آمده از روش های سنتی بوده و مطالعات تکمیلی نیز این امر را تأیید می کند. براساس پژوهش صورت گرفته در هر زون ارتباط بين عيار و حجم در بر گيرنده آن را مي توان به صورت تابعي تواني از اين دو متغير و

# Archive of SID

پيمان افضل و همكاران

# 

بزرگی از زون هیپوژن تشخیص داده شده در حقیقت جزو سنگ دربر گیرنده بسیار کم عیار یا نابارور است. انطباق مناسب زون های جداشده با مناطق با پراکندگی کانه ها متناظر برای زون مربوطه، بویژه در زون برون زاد و انطباق آن با پراکندگی کانه کالکوسیت نشانه دیگری از صحت روش فرکتالی عیار – حجم است. به عبارتی می توان گفت نتایج حاصل از این روش بسیار معقول تر و نزدیک تر به حقیقت نسبت به روش های سنتی است و می توان با استفاده از این روش میزان حجم واقعی زون ها را در کانسارهای گوناگون به خوبی بر آورد کرد.



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



شكل ۴-الف) مدل پراكندگي كالكوپيريت وب) كالكوسيت در كانسار چاهفيروزه



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 دربر گیرنده عیارهای کمتر از آن عیار برای عنصر مس در کانسار چاهفیروزه

بعد فرکتال نوشت. یک حسن بسیار بزرگ دیگر این روش این است که بحثی به نام زون انتقالی بی معنی می شود. چون در روش های سنتی، اصل بر جدایش زون ها و دگرسانی ها با استفاده از کانه ها بود و اگر در نمونه ای دو یا چند کانه باهم دیده می شدند امکان جدایش زون به صورت دقیق در آن امکان پذیر نبود و زون به صورت انتقالی معرفی می شد که با این روش این مسئله نیز حذف می شود. همچنین مرز کانی سازی با سنگ دیواره تهی از کانی سازی در این کانسار ۰/۱ در صد به دست آمده است که رقمی معقول است. بر این اساس بخش



شکل ۱–موقعیت جغرافیایی کانسار چاہفیروزہ



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



شکل ۵- واریو گرام مس در کانسار چاہفیروزہ



شکل ۷- منحنی لگاریتمی عیار - حجم برای عنصر مس در کانسار چاهفیروزه **www.SID.ir** 





شکل ۹-الف) زونهای درونزاد و ب) برونزاد به دست آمده از روش عیار- حج

#### کتابنگاری

اصغریان، ا.، ۱۳۸۶- شبیهسازی زمین آماری دادههای سیالات در گیر برای جدایش آلتراسیونها در کانسار مس سونگون اهر، پایاننامه دکتری، دانشگاه صنعتی امیر کبیر. 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.

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

# Archive of SID P. Afzal<sup>1\*</sup>, A. Khakzad<sup>2</sup>, P. Moarefvand<sup>3</sup>, N. Rashid Nezhad Omran<sup>4</sup> & Y. Fadakar Alghalandis<sup>5</sup>

 <sup>1</sup>Department of Mining Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
 <sup>2</sup>Geology Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 <sup>3</sup>Mining and Metallurgy Faculty, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
 <sup>4</sup>Geology Department, Faculty of Basic Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
 <sup>5</sup>WH Bryan Mining & Geology Research Centre, SMI, the University of Queensland, Brisbane, Australia Received: 2009 April 16

#### 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