Archive of SID

زمستان ۹۳، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صفحه ۲۱۹ تا ۲۲۴ (سنگ و کانی)

جدایش و دسته‌بندی رگه‌ها از دیدگاه عیاری با استفاده از روش فرکتالی عیار- حجم در کانسار طلای قلقله کردستان

هومن داداش‌زاده اهری [۱*]، پیمان افضل [۲] و نعمت‌اله رشیدنژادعمران [۳]

[۱] دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
[۳] استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۰۱

چکیده

امروزه تفکیک و شناسایی رگه‌های پرعیار از کم‌عیار در کانسارهای رگه‌ای از اهمیت فراوانی برخوردار است. این امر به‌ویژه در مورد کانسارهای رگه‌ای طلا که تغییرات عیار درحد بسیار ناچیز هم در خور توجه است، از ضرویات مهم و غیر قابل چشم‌پوشی در اکتشاف و تخمین ذخایر این نوع کانسارها به حساب می‌آید. در این پژوهش، از روش فرکتالی عیار- حجم در تفکیک رگه‌های پرعیار از کم عیار در کانسار طلای رگه‌ای قلقله کردستان، واقع در زون دگرگونی- ساختاری سنندج - سیرجان، استفاده شده است. بر اساس این روش، جوامع عیاری کم، متوسط، پرعیار و غنی‌شده از سنگ دیواره باطله تفکیک شدند. در این بین، مدل‌های سنگ‌شناسی محدوده کانسار و رگه‌های حاوی کانی‌سازی طلا، بر اساس داده‌های حاصل از عملیات اکتشافی، تهیه شده و با استفاده از ماتریس logratio میزان تطابق بین رگه‌های گوناگون طلا با واحدهای سنگی میزبان به‌دست آمد. نتایج نهایی حاصل نشانگر این مطلب است که غنی‌شدگی و بخش پرعیار بسیار کم بوده و بیشتر کانه‌سازی طلا در بخش با عیار کمتر از ۳/۹۸ ppm یعنی در بخش با عیار کم و متوسط است. همچنین، واحدسنگی دربرگیرنده رگه‌های غنی‌شده، پرعیار و متوسط در کانسار از نوع کلریت شیست است. این امر می‌تواند به عنوان یکی از کلیدهای اکتشافی در محدوده اطراف کانسار و به تبع آن بخش‌هایی از زون سنندج - سیرجان مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: روش فرکتالی عیار- حجم، کانسار طلای قلقله، ماتریس logratio، کلریت‌شیست، کردستان.

***نویسنده مسئول:** هومن داداش‌زاده اهری

E-mail: hooman_ir2001@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

امروزه تفکیک و شناسایی رگه‌های پرعیار از کم عیار در کانسارهای رگه‌ای از اهمیت فراوانی برخوردار است. این امر به‌ویژه در مورد کانسارهای رگه‌ای طلا که تغییرات عیار در حد بسیار ناچیز هم در خور توجه است، از ضروریات مهم و غیرقابل چشم‌پوشی در اکتشاف و تخمین ذخایر این تیپ کانسارها به‌شمار می‌آید (Boyle, 1987; Foster, 1993; Goldfarb et al., 2004 & 2005). در این بین، تشخیص نادرست سنگ میزبانی که کانی‌سازی در آن رخ داده و همچنین تعیین میزان عیار موجود در رگه‌های طلا می‌تواند منجر به اشتباهات جبران‌ناپذیری در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری در این کانسارها شود. ازاین رو، ارائه روشی نوین، که موجب بالارفتن دقت و بهبود نتایج شود، از مسائل قابل توجه متخصصان و پژوهشگران در بخش معدن و زمین‌شناسی است (افضل و همکاران، ۱۳۸۹). جدایش رگه‌های پرعیار و کم‌عیار طلا از یکدیگر بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری صورت می‌گیرد. مطالعه به کمک این روش‌ها مستلزم تجربه و دقت بالایی است که در غیر این صورت موجب تشخیص نادرست در مورد کانی‌سازی و عیار موجود در رگه‌ها خواهد شد (Hutchinson, 1987; Cox & Singer, 1986; Beane, 1982; Foster, 1993; Groves et al., 1998; Bierlein & Maher, 2001). در این پژوهش، با توجه به اینکه امروزه تحلیل‌های ریاضی نقش غیر قابل انکاری را در مباحث زمین‌شناسی ایفا می‌کنند، از روش نوین فرکتالی عیار- حجم در تفکیک رگه‌های پرعیار از کم‌عیار در کانسار طلای رگه‌ای قلقله واقع در زون سنندج - سیرجان در استان کردستان، استفاده شده است. مزیت روش فرکتالی عیار- حجم بر دیگر روش‌های سنتی، توجه به هندسه فرکتالی که همان هندسه طبیعی کانسار است و نیز در نظرگرفتن عیار عنصر اصلی و حجم دربرگیرنده آن است که می‌تواند در جدایش رگه‌های پرعیار از دیگر رگه‌ها راهگشا باشد (Agterberg et al., 1996; Cheng, 2007; Afzal et al., 2010 & 2011). نتایج به دست آمده نشانگر این حقیقت است که رگه‌های تفکیک شده، افزون بر تطابقی که با مدل‌های زمین‌شناسی دارند، به واسطه استفاده از عامل عیار که مهم‌ترین متغیر مستقیم و کمی است، از توانایی بالایی در جدایش رگه‌های پرعیار از کم‌عیار در کانسارهای رگه‌ای طلا برخوردار هستند.

۲- ویژگی‌های عمومی منطقه

کانسار طلای قلقله در استان کردستان و در مختصات جغرافیایی °۴۶ و ´۰۶ طول خاوری و °۳۶ و ۰۸ عرض شمالی در محدوده‌ای به‌وسعت ۱۰ کیلومتر مربع واقع شده است. دسترسی به محدوده مورد نظر از طریق جاده اصلی سقز به بانه مقدور است. منطقه از نظر آب و هوایی، سرد و کوهستانی است. در چند سال گذشته مطالعاتی توسط مدیریت اکتشاف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای اکتشاف طلا در منطقه صورت گرفته که برخی نیز منجر به اکتشافات تفضیلی و مطالعات تکمیلی شده است. عملیات اکتشافی در این محدوده در قالب حفر ترانشه، گمانه‌های مغزه‌گیری و حفاری پودری صورت گرفته است.

۳- زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار طلای قلقله

کانسار طلای قلقله در جنوب باختر ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ سقز و شمال باختر زون سنندج- سیرجان واقع شده است (شکل ۱) (محجل و سهندی، ۱۳۷۸؛ تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۴؛ شاهرخی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Mohajell, 2000). از دیگر کانسارهای مهم طلا در زون سنندج - سیرجان می‌توان به کانسارهای باریکا، کرویان، قبغلوچه، موته و زرترشت اشاره کرد (رشیدنژادعمران، ۱۳۸۱؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی‌یاری و همکاران، ۱۳۸۴؛ تاج‌الدین، ۱۳۸۵؛ غضنفری، ۱۳۸۸).

کانسار طلای قلقله در داخل یک پهنه برشی (shear zone)، باروند شمال خاور- جنوب باختر (N55-75E) و شیب عمومی ۷۰-۳۰ درجه به سوی شمال باختر که

www.SID.ir

Archive of SID

آن را پهنه برشی قلقله - کسنزان می‌نامند، قرار دارد. این پهنه برشی در ارتباط با یک گسل تراستی از نوع راستالغز چپ‌بر با مؤلفه‌ای معکوس است که سنگ‌های دگرگون‌شده منتسب به پرکامبرین را در مجاورت واحدهای دگرگون شده کرتاسه قرار داده است. در داخل این پهنه برشی، توده‌های گرانیتوییدی، که به صورت همزمان با زمین‌ساخت (syntectonic)، در راستای پهنه برشی تزریق شده‌اند، میزبان بخشی از کانه‌زایی هستند. در محدوده عملکرد پهنه برشی میزبان کانی‌سازی طلا، کلریت‌شیست‌ها همواره در فرادست پهنه برشی میزبان کانه‌زایی طلا قرار داشته و بخشی از کانسنگ طلا را دربردارند. دراین‌محدوده، کلریت‌شیست‌های میزبان کانه‌های سولفیدی و طلا، در اثر عملکرد تؤامان پهنه برشی و سیالات هیدروترمال کانه‌ساز، به طور شدید دگرشکل و دگرسان شده و به سریسیت شیست و بیوتیت‌شیست میلونیتی تبدیل شده‌اند. در امتداد پهنه برشی میزبان کانه‌زایی طلای قلقله، تعدادی گرانیتوییدهای دوکی‌شکل و یا سیل‌مانند دیده می‌شوند که معمولاً در طول چند ده تا چند صدمتر در راستای پهنه برشی کشیده شده‌اند. ترکیب گرانیتوییدهای تزریق شده از گرانیت تا تونالیت تا کوارتز سینیت متغیر بوده است. این دسته از نفوذی‌ها، بخش قابل توجهی از کانسنگ طلادار در کانسار قلقله را دربردارند. گسترش این واحد در محدوده کانسار قلقله از روند پهنه برشی میزبان کانه‌زایی تبعیت می‌کند و به طور مشابه دارای امتداد شمال خاور- جنوب باختر و شیب ۳۵ تا ۶۰ درجه به سمت شمال باختر است (تاج‌الدین، ۱۳۹۰).

تنوع دگرسانی‌ها در محدوده موردنظر بیشتر به صورت دگرسانی لیمونیتی و سیلیسی بوده، همچنین کانی‌زایی در این کانسار همراه با توده نفوذی است و سیالات گرمابی نقشی اساسی در کانی‌سازی ایفا کرده است (Mohajell & Fergusson, 2000; Aliyari et al., 2009).

۴- روش مطالعه

به‌طور کلی، این پژوهش به ۴ بخش مجزا تقسیم می‌شود. در ابتدا با استفاده از نتایج داده‌های حاصل از حفریات اکتشافی مدل‌سازی زمین‌شناسی کانسار صورت پذیرفت که نهایتاً منجر به تفکیک ۱۶ رگه و رگچه، تشخیص واحدهای سنگی و دگرسانی‌های موجود در محدوده کانسار شد. نتایج حاصل از مدل‌های به‌دست آمده در بخش نخست، پایه و اساس تحلیل‌های صورت گرفته در مراحل بعدی بوده و نقش کلیدی را در نتیجه‌گیری‌های نهایی ایفا می‌کند. در گام دوم با برآورد زمین آماری سه‌بعدی ریز بلوک‌ها، رسم بیضوی ناهمسانگردی و واریوگرافی، مدل عیاری و روند کانی‌سازی در کانسار و ۱۶ رگه و رگچه حاصل شده است. در بخش سوم داده‌های حاصل از برآوردهای پیشین، بر اساس روش فرکتالی عیار- حجم مورد مطالعه قرار گرفت و با رسم منحنی لگاریتمی و تعیین نقاطی که شیب منحنی در آنها تغییر می‌کند، جوامع عیاری کم، متوسط، پرعیار و غنی‌شده در محدوده کانسار تشخیص داده شد. در نهایت، در بخش پایانی برای تفکیک و تعیین واحدهای سنگی دربرگیرنده رگه‌های پرعیار، از ماتریس ارائه شده توسط Carranza (2011) استفاده شده است.

۵- روش فرکتالی عیار - حجم

این روش برای اولین‌بار توسط افضل و همکاران (۱۳۸۹) ارائه و در مورد کانسارهای پورفیری مورد استفاده واقع شد. اساس روش فرکتالی عیار- حجم بر این حقیقت استوار است که با افزایش عیار، حجم دربرگیرنده آن و عیارهای بالا کمتر می‌شود و در واقع این دو پارامتر با یکدیگر دارای رابطه عکس هستند. با رسم نمودار لگاریتمی عیار- حجم می‌توان مشاهده کرد که شیب منحنی در نقاطی تغییر شدیدی می‌کند که این موضوع نشان‌دهنده تغییرات شدید در جوامع عیاری است که این امر خود متأثر از تغییر در شرایط زمین‌شناسی و کانی‌زایی هستند. به طورکلی این روش بر اساس فرمول زیر تعریف می‌شود (Afzal et al., 2011):

$$V(\geq\rho) \propto \rho^{-D}$$

در رابطه فوق V حجم دربرگیرنده عیارهای بزرگ‌تر و برابر ρ در کانسار مورد مطالعه و D بعد فرکتال است. به‌طور کلی می‌توان گفت روش نوین عیار- حجم توانایی زیادی در تفکیک زون‌ها و رگه‌های پرعیار از کم عیار دارد. علت این امر توجه روش عیار حجم به هندسه فرکتالی که همان هندسه کانسار است و نیز درنظرگرفتن عیار عنصر اصلی و حجم دربرگیرنده آن است.

۶- مدل‌سازی زمین‌شناسی

مدل‌سازی زمین‌شناسی کانسارها نقش مهمی را در ارزیابی منابع و ذخایر و ایجاد فضای مناسب تخمین برای بررسی‌های زمین‌آماری ایفا می‌کند. به‌ویژه در مورد کانسارهای رگه‌ای طلا که تغییرات عیار در حد بسیار ناچیز هم می‌تواند قابل توجه باشد، از اهمیت بسزایی برخوردار است (Carlson, 1991; Caranza, 2009). مدل‌سازی کانسارهای رگه‌ای شامل ساخت و تفکیک مدل رگه‌های حاوی کانی‌سازی، تهیه مدل سنگ‌شناسی آنها و در نهایت ارایه مدل کلی دگرسانی‌ها بر اساس داده‌های حاصل از حفاری‌ها است (Caranza, 2009). در این بخش، مدل‌سازی سه‌بعدی رگه‌های حاوی طلا در کانسار طلای قلقله کردستان، واقع در شمال باختری زون سنندج - سیرجان، با استفاده از داده‌های حاصل از ۶۷ حلقه گمانه و ۱۵ عدد ترانشه انجام شده است. برای مدل‌سازی در این بخش از نرم‌افزار Rock Works.V.15 استفاده شده است. براساس این مدل‌سازی، ۱۶ رگه و رگچه حاوی کانی‌سازی طلا در محدوده کانسار از یکدیگر تفکیک و تشخیص داده شده‌اند که این مدل نشانگر روند کلی رگه‌ها در جهت شمال خاوری- جنوب باختری است (شکل۲). در همین مرحله، بر اساس داده‌های حاصل از مغزه‌های استخراج شده، ابتدا مدل کلی سنگ‌شناسی کانسار حاصل شد (شکل۳) و در ادامه، مدل سنگ‌شناسی رگه‌های حاوی کانی‌سازی با ترکیب مدل رگه‌ها با مدل سنگ‌شناسی ایجاد شد (شکل۴). این مدل گویای این واقعیت است که بخش اعظم واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده رگه‌ها از جنس گرانیت میلونیتیزه‌شده، کلریت‌شیست و فیلیت است. به طورکلی، می‌توان نتایج حاصل در این بخش را به عنوان پایه و اساس تحلیل‌ها و نتیجه‌گیری‌های پایانی به‌دست آمده در این پژوهش مدنظر قرار داد.

۷- مطالعات زمین‌آماری

برای برآورد پراکندگی عیار طلای موجود در رگه‌های تفکیک شده در کانسار قلقله، از روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی استفاده شده است. همچنین، به منظور تشخیص روند کانی‌سازی و پراکندگی عیار طلا، واریوگرافی صورت گرفته که در این مورد از فزار SGems.v.2.1 استفاده شده است. ابعاد ریز بلوک‌ها با توجه به وضعیت رگه و رگچه‌های موجود در محدوده کانسار و فواصل کارهای اکتشافی در سه جهت X، Y و Z به ترتیب ۲ متر،۲ متر و ۱ متر در نظر گرفته شده است (David, 1970). با توجه به تکتونیزه بودن محدوده نوعی ناهمسانگردی از نظر پراکندگی عیاری وکانی‌سازی در رگه و رگچه‌های موجود در کانسار مشاهده می‌شود که این مطلب نشان‌دهنده گسترش ماده معدنی در یک یا دو جهت اصلی نسبت به جهات دیگر است. به منظور اطلاع از نحوه توزیع و گسترش کانی‌سازی، در جهات مختلف کانسار، بیضوی ناهمسانگردی محاسبه شده است و در جهت دو قطب بیضوی واریوگرام برای عنصر طلا رسم شده است. واریوگرام رسم شده در جهت N69 در شکل ۵ آورده شده‌است.

۸- دسته‌بندی و جدایش رگه‌ها با استفاده از روش فرکتالی عیار- حجم

در این مرحله با استفاده از روش عیار- حجم جوامع گوناگون عیاری و در واقع رگه‌های پرعیار از کم عیار در کانسار رگه‌ای طلای قلقله از یکدیگر جدا شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

از مزایای استفاده از روش فرکتالی عیار- حجم رسم منحنی فرکتالی با توجه به مشخص بودن حجم هر ریزبلوک و عیار مربوط به آن است که نهایتاً منجر به تشخیص و جدایش جوامع گوناگون عیاری و رگه‌های پرعیار از کم‌عیار می‌شود (Afzal et al., 2011). منحنی لگاریتمی عیار- حجم رسم شده در این کانسار ۵ نقطه شکست و ۶ جامعه عیاری مجزا را نشان می‌دهد (شکل۶). همچنین، این منحنی یک ساختار چند فرکتالی شاخص با دو فاز مجزا با عیارهای کمتر و بیشتر از ۳/۹۸ ppm را نشان می‌دهد. این نقاط شکست به ترتیب منطبق بر عیارهای ۰/۳۵، ۱/۵۴، ۳/۹۸ ، ۱۴/۱۲، ۳۵/۴۸ ppm طلا است (جدول ۱). در نقطه ماقبل آخر، که خطی با شیب تند بر منحنی برازش شده است، پرعیارترین و غنی‌ترین جامعه عیاری طلا قرار گرفته است که می‌توان گفت نشانگر زون اکسیده غنی شده است. بخش مابین عیارهای ۳/۹۸ تا ۱۴/۱۲ ppm را نیز می‌توان از نظر عیار طلا جامعه‌ای با عیار بالا در نظر گرفت. تغییرات عیارهای بین ۱/۵۴ تا ۳/۹۸ ppm نشانگر جامعه عیاری متوسط است. در نهایت جامعه‌ای که شیب خط برازش شده به آن بسیار کم و نزدیک به افق است، را می‌توان به‌عنوان سنگ دیواره و محدوده‌ای بدون کانی‌سازی قابل توجه در نظر گرفت. عیار این بخش در حدود ۰/۳۵ ppm است. با تأملی مختصر در منحنی لگاریتمی عیار - حجم می‌توان به راحتی به این نکته پی برد که متناسب با بالا رفتن عیار طلا از حجم نیز کاسته شده که این نکته رکن اصلی و حقیقت مورد نظر در روش فرکتالی عیار - حجم برای تفکیک رگه‌ها و جوامع عیاری گوناگون است. پس از اینکه جوامع مختلف عیاری به‌واسطه این روش از یکدیگر جداسازی شدند، داده‌های حاصل با مدل‌های زمین‌شناسی، به‌ویژه مدل مربوط به رگه‌های موجود در محدوده، مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج حاصل نشان‌دهنده این واقعیت است که در بین ۱۶ رگه و رگچه تفکیک شده حاوی طلا در محدوده کانسار، رگه‌های ۳ و ۴ را می‌توان از نظر عیاری در بخش عیارهای بین ۳/۹۸ تا ۱۴/۱۲ گرم در تن دانست که جامعه‌ای با عیار بالای طلا است (شکل۷). دیگر رگه‌های موجود در محدوده کانسار بیشتر در نواحی متوسط و کم‌عیار واقع شده‌اند.

۹- تشخیص واحد سنگی میزبان رگه‌های پرعیار با استفاده از ماتریس logratio

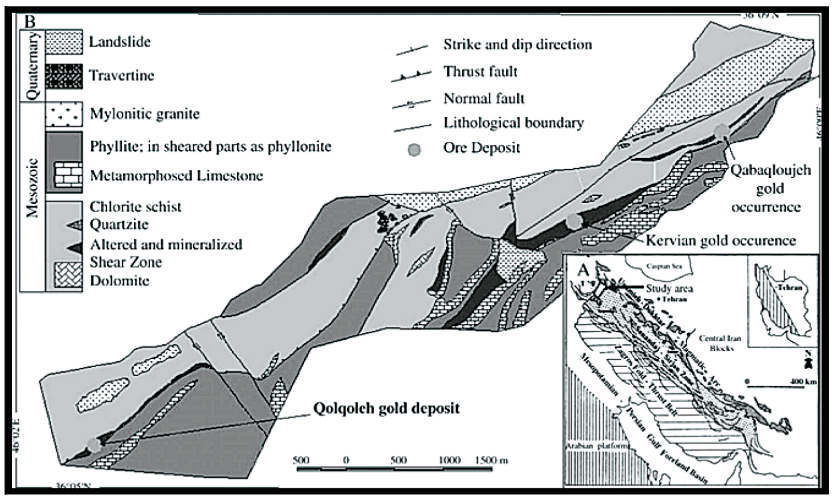
با توجه به مدل کلی سنگ‌شناسی به‌دست آمده از کانسار، بخش بیشتر واحدهای سنگی دربرگیرنده رگه‌های حاوی طلا از جنس گرانیت میلونیتی‌شده، کلریت‌شیست و فیلیت است. در این بخش سعی شده که انطباق زون‌های به‌دست‌آمده از روش فرکتالی عیار- حجم و مشاهدات زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور از ماتریس logratio که برای اولین بار توسط Caranza (2011) ارائه و در تشخیص بی‌هنجاری‌های طلای رسوبات آبراهه‌ای در منطقه آروی آروی، واقع در شمال باختر مجمع‌الجزایر فیلیپین، به‌کار گیری شد، استفاده شده است (شکل ۸). به واسطه این ماتریس، نتایج حاصل از مدل فرکتالی عیار- حجم و زمین‌شناسی، با توجه به مؤلفه‌های ماتریس، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. هر داده‌ای که پس از محاسبات مربوط به ماتریس مورد نظر بیشترین همپوشانی را با نتایج حاصل از مدل‌های زمین‌شناسی و فرکتالی عیار- حجم داشته باشد از overall accuracy (بیشترین میزان دقت) برخوردار است و می‌تواند به عنوان نتیجه‌ای قطعی و با کمترین میزان خطا مورد توجه واقع گردد (Caranza, 2011). نتایج حاصل از محاسبه مؤلفه‌های ماتریس مورد نظر در مورد کانسار طلای قلقله نشان‌دهنده این حقیقت است که بلوک‌های واقع در واحد سنگی کلریت شیست بیشترین همپوشانی را با نتایج حاصل از مدل زمین‌شناسی و مدل فرکتالی عیار- حجم دارد. بنابراین، می‌توان کلریت شیست را به عنوان واحد اصلی سنگی میزبان رگه‌های پر عیار طلا در نظر گرفت.

۱۰- نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشانگر حضور ۶ جامعه عیاری برای عنصر طلا در کانسار قلقله است که از این شش جامعه، از نظر عیار سه جامعه در فاز اصلی و سه جامعه در فاز فرعی قرار دارند. در حالی‌که، مرز بین فازهای اصلی و فرعی ۳/۹۸ ppm است. زون غنی شده، که عیار بالای ۱۴/۱۲ ppm را شامل می‌شود، پهنه‌ای است که تنها در بخش کوچکی از کانسار مشاهده شده و معادل زون غنی شده اکسیدی سوپرژن است. در این بین، بیشترین میزان تمرکز آماری طلا در کانسار در بخش‌های با عیارهای طلای متوسط و کم ۳/۹۸-۰/۳۵ ppm قرار دارد. زون‌های پرعیار و غنی شده در این کانسار، با توجه به نتایج به‌دست آمده، از نظر حجم ذخیره، کوچک هستند. تطبیق بین واحدهای سنگ‌شناسی و جوامع عیاری حاصل از محاسبات فرکتالی عیار - حجم، با استفاده از ماتریس logratio، نشان‌دهنده تمرکز عنصر طلا در واحد سنگی کلریت‌شیست و در بعضی مناطق گرانیت میلونیتی شده است و کلریت شیست می‌تواند به عنوان واحد اصلی میزبان کانی‌سازی در کانسار مورد نظر معرفی شود. این واحد میزبان می‌تواند به عنوان معیاری اکتشافی در مناطق اطراف کانسار قلقله، و بخش‌های شمال باختری زون سنندج - سیرجان مورد توجه واقع شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود در مناطقی که ترانشه در زون‌های غنی شده سطحی برون‌زاد حفر شده، به منظور بررسی چگونگی کانی‌سازی در ژرفا به حفر گمانه اقدام شود.

سپاسگزاری

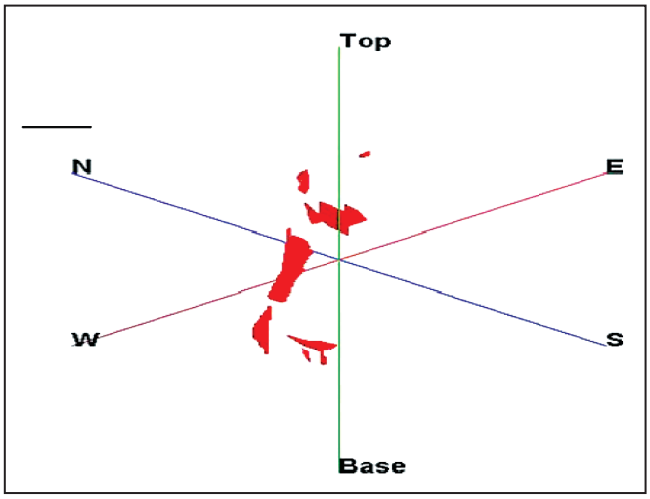
بدین‌وسیله از مساعدت‌های صمیمانه جناب آقای مهندس برنا، معاون محترم اکتشاف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین جناب آقای مهندس غضنفری کمال تشکر و قدردانی را می‌نماییم.



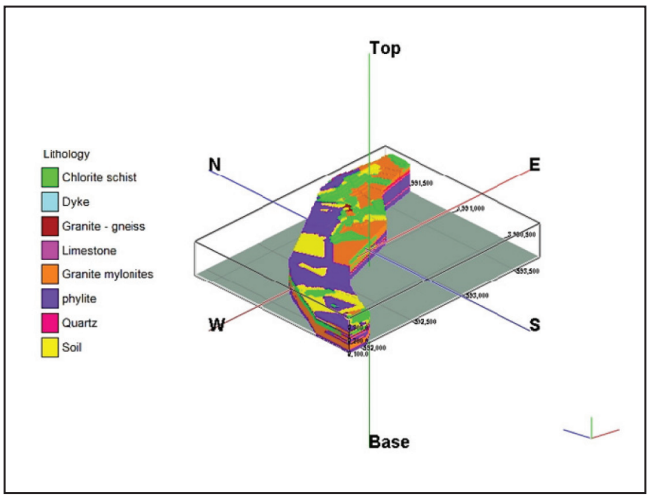
شکل ۱- نقشه‌زمین‌شناسی کانسار طلای قلقله،واقع در زون سنندج- سیرجان (Mohajjel, 2000; Aliyari et al., 2009).

www.SID.ir

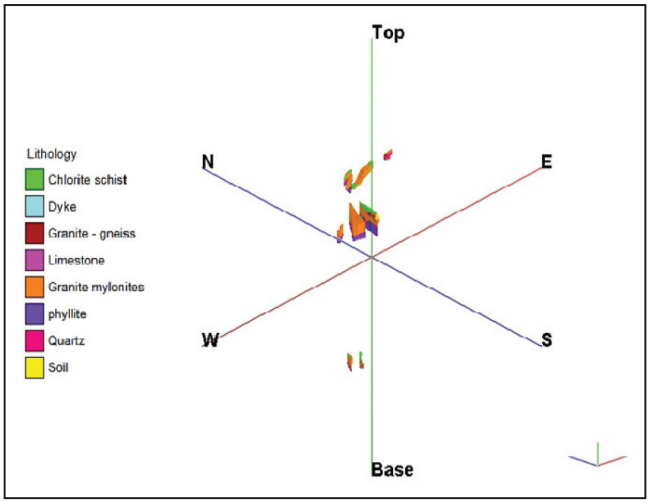
Archive of SID



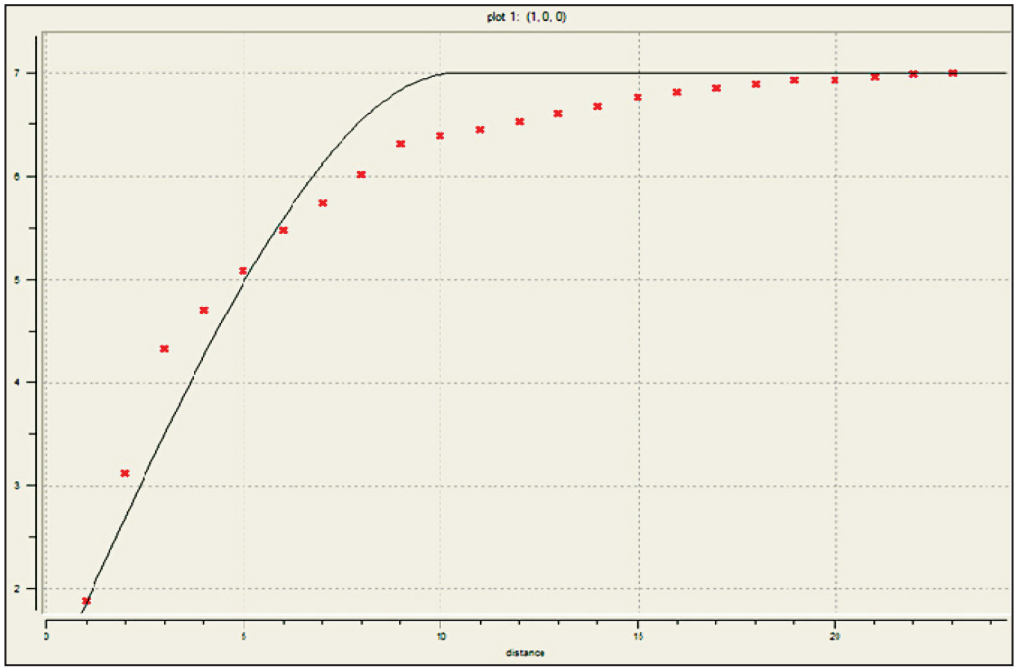
شکل۲- تفکیک رگه و رگچه‌های حاوی کانی‌سازی طلا در کانسار قلقله.



شکل۳- مدل کلی سنگ‌شناسی کانسار طلای قلقله.



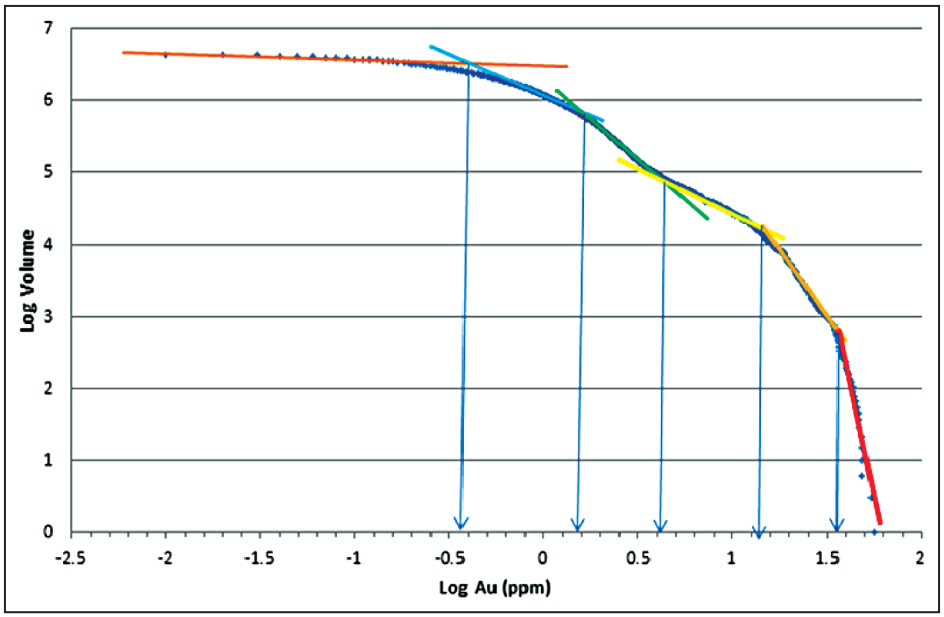
شکل۴- مدل سنگ‌شناسی میزبان رگه‌های حاوی کانی‌سازی طلا در کانسار قلقله.



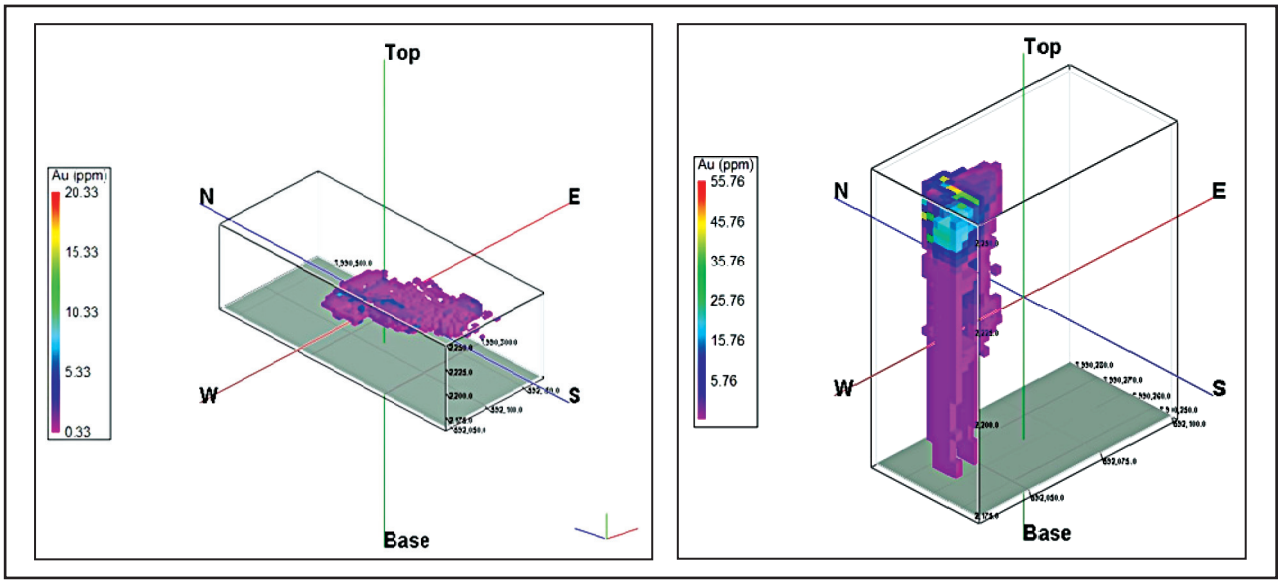
شکل۵- واریوگرام عنصر طلا در کانسار قلقله.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۶- منحنی لگاریتمی عیار- حجم برای عنصر طلا در کانسار قلقله.



شکل۷- الف) پراکندگی عیار طلا در رگه شماره ۳؛ ب) پراکندگی عیار طلا در رگه شماره ۴.

جدول ۱- جوامع عیاری جداشده برای عنصر طلا، بر اساس روش عیار- حجم، در کانسار قلقله.

جامعه عیاری	سنگ دیواره	زون کم‌عیار	زون متوسط‌عیار	زون پرعیار	زون غنی‌شده
حد آستانه‌ای طلا (ppm)	-	۰/۳۵	۱/۵۵	۳/۹۸	۱۴/۱۲
محدوده عیاری طلا (ppm)	< ۰/۳۵	۱/۵۵-۰/۳۵	۳/۹۸-۱/۵۵	۱۴/۱۲-۳/۹۸	> ۱۴/۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

کتابنگاری

افضل، پ.، خاکزاد، ا.، معارف‌وند، پ.، رشیدنژادعمران، ن. و فداکارالقلندیس، ی.، ۱۳۸۹- استفاده از روش فرکتالی عیار- حجم در جدایش زون‌ها در کانسارهای‌پورفیری، فصلنامه علوم زمین شماره ۷۸، ص۱۷۲-۱۶۸.

تاج‌الدین، ح. ع.، ۱۳۸۵- کانه‌زایی طلای تیپ کوهزایی در منطقه سقز - سردشت: معیاری برای اکتشاف طلا در سنگ‌های دگرگونه شمال باختر پهنه سنندج - سیرجان، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.

تاج‌الدین، ح. ع.، راستاد، ا.، شمسا، س. م. ج.، دری، م. ب.، غضنفری، م. و نیرومند، ش.، ۱۳۸۴- کانه‌زایی طلا و انواع آن در محور سقز- پیرانشهر (شمال غرب پهنه دگرگونه- ماگمایی سنندج سیرجان)، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.

تاج‌الدین، ح. ع.، ۱۳۹۰- عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی طلا در سنگ‌های دگرگونه منطقه سقز سردشت، شمال باختر پهنه دگرگونه سنندج- سیرجان، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه‌تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، ص۸۳-۷۰.

حیدری، س. م.، راستاد، ا.، محجل، م. و شمسا، س. م. ج.، ۱۳۸۴ - کانه‌زایی طلا در پهنه برشی شکل‌پذیر کرویان (جنوب غرب سقز- کردستان)، فصلنامه علوم زمین شماره ۵۸، ص ۲۰.

رشیدنژادعمران، ن.، ۱۳۸۱- پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های متاولکانوسدیمنتری و پلوتونیک منطقه موته (جنوب‌دلیجان)، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده‌علوم پایه.

شاهرخی، س. و.، خاکزاد، ا. و رسا، ا.، ۱۳۸۸- بررسی کانه‌زایی طلا در محدوده قلقله، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، شماره۷۳،ص۶۲-۴۵.

علی‌یاری، ف.، راستاد، ا. و شمسا، س. م. ج.، ۱۳۸۴- دگرشکلی، دگرسانی و نقش آنها در کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و شکنای قلقله، جنوب غرب سقز، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.

غضنفری، م.، ۱۳۸۸- اکتشاف عمومی طلا در محدوده قلقله، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۸۹ ص.

محجل، م. و سهندی، ر.، ۱۳۷۸- تکامل تکتونیکی پهنه سنندج سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیرپهنه‌های جدید درآن، فصلنامه علوم زمین شماره ۳۱-۳۲، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

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

Afzal, P., Fadakar Alghalandis, Y., Khakzad, A., Moarefvand, P. & Rashidnejad Omran, N., 2011- Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration–volume modeling, Journal of Geochemical Exploration 108, 220–232.

Agterberg, F. P., Cheng, Q., Brown, A. & Good, D., 1996- Multifractal modeling of fractures in the Lac du Bonnet Batholith, Manitoba. Computers and Geosciences 22, 497-507.

Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M. & Arehart, G. B., 2009- Geology and geochemistry of D–O–C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implications for ore genesis. Ore Geology Reviews 36, 306-314.

Beane, R. E., 1982- Hydrothermal alteration in silicate rocks. In: Titley, S.R. (Ed.), Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America. The University of Arizona Press, Tucson, pp. 117–137.

Bierlein, F. P. & Maher, S., 2001- Orogenic disseminated gold in phanerozoic fold belts- examples from Victoria,Ausralia and elsewhere, Ore Geology Reviews, v. 18, Issue:1-2, p.113-148.

Boyle, R. W., 1987- Gold history and genesis of deposits. Van Nostrand Reinhold, Newyork, 627P.

Carlson, C. A., 1991- Spatial distribution of ore deposits, Geology19 , 11–114.

Carranza, E. J. M., 2009- Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. Ore Geology Reviews 35, 383–400.

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

Cheng, Q., 2007- Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered 289 mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China. Ore Geology Reviews 32, 314–324.

Cox, D. & Singer, D., 1986- Mineral depositsmodels. U.S. geological survey bulletin. 1693 pp.

David, M., 1970- Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier, Amsterdam. 283 pp.

Foster, R. P. (ed.), 1993- Gold metalogeny and exploration, Blachie and son, Glasgow, p. 432.

Goldfarb, R. J., Ayuso, R., Miller, M. L., Ebert, Sh. W., Marsh, E. E., Petsel, S. A., Miller, L. D., Bradley, D., Johnson, C. & McClelland, W., 2004- The late Cretaceous Donlin Creek gold deposit, Southwestern Alaska: controls on epizonal ore forming. Economic Geology 99, 643–671.

Goldfarb, R. J., Baker, T., Dube, B., Groves, D. I., Hart, C. J. R. & Gosselin, P., 2005- Distribution, character, and genesis of gold deposits inmetamorphic terranes. Economic Geology 407-450, 100th Anniversary Volume.

Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G. & Robert, F., 1998- Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. Ore Geology Reviews 13, 7–27.

Hutchinson, R. W., 1987- Metallogeny of Precambrian gold deposits: Space and time relationship. Econ.Geol.82, 1993 - 2007.

Mohajjel, M., 2000- 1/5000 geological map of the Qolqoleh and Kervian gold deposits. Geological Survey of Iran.

Mohajjel, M. & Fergusson, C. L., 2000- Dextral transpression in late cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, Western Iran. Journal of Structural Geology 22, 1125–1139.

www.SID.ir