کاربرد مدل‌های فرکتالی جهت زون‌بندی شاخص کیفیت سنگ (RQD) در کانسار طلای زرشوران، تکاب، ایران

قدرت‌اله رستمی پایدار[1]* و هانی اسدی حویزیان[2]

[1]استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
[2]مربی، گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۵/ ۱۲/ ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۱۹/ ۱۲/ ۱۳۹۶

چکیده

تعیین ارتباط شاخص کیفیت سنگ (RQD) و زون‌های کانه‌سازی نقش مهمی در طراحی و بهره‌برداری بهینه معدنی دارد. این مطالعه با هدف جداسازی ویژگی‌های توده سنگ جهت طراحی بهینه، با تأکید بر تحلیل ۳۲۶۷ داده RQD از ۴۳ چاه اکتشافی در معدن طلای زرشوران واقع در زون ارومیه- دختر با استفاده از مدل‌سازی فرکتالی در نرم‌افزار Rockworks v.15 انجام شد. نتایج نمودارهای log-log برای مدل تعداد- RQD نشان‌دهنده چهار نوع جمعیت سنگی بود که توسط مقادیر آستانه‌ای RQD به ترتیب برابر ۲۰/۴۱، ۴۷/۸۶، ۶۹/۱۸ و ۸۱/۲۸ درصد است و برای مدل حجم- RQD نیز چهار جمعیت سنگی با مقادیر ۲۱/۳۷، ۴۳/۶۵، ۶۳/۰۹ و ۷۹/۴۳ ارائه می‌دهد که نشان‌دهنده شاخص کیفیت سنگ خیلی‌سست، سست، نسبتاً خوب و خوب بر اساس استانداردهای موجود است. سپس مدل توزیع هندسه فضایی واحدهای سنگ‌چینه‌ای معدن زرشوران بر اساس داده‌های حفاری شبیه‌سازی شد. مقایسه نتایج مدل‌های فرکتالی چندگانه و مدل‌سازی سنگ- چینه‌ای از سوی دیگر، نشان می‌دهد که نتایج مدل تعداد- RQD از نتایج حجم- RQD دقیق‌تر هستند. بنابراین واحدهای آهک چالداغ و واحد ژاسپروییدی از نظر شاخص کیفیت سنگ‌ها در رده نسبتاً خوب تا خوب و در بازه بعد فرکتالی ۶۹/۱۸ تا ۸۱/۲۸ قرار دارند و از نظر زمین‌شناسی در بخش‌های مرکزی و بخش باختری معدن مشاهده می‌شوند. این نواحی مناسب‌ترین نقاط معدن جهت پیاده‌سازی طرح‌های معدنی هستند. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان یک الگو در طراحی‌های معدنی در محدوده تکاب و نیز در بخش‌های دارای زمین‌شناسی مشابه، مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی، فراکتال، شاخص کیفیت سنگ، زرشوران، طلا.

***نویسنده مسئول:** قدرت‌اله رستمی پایدار
E-mail: rostamigsi2006@gmail.com

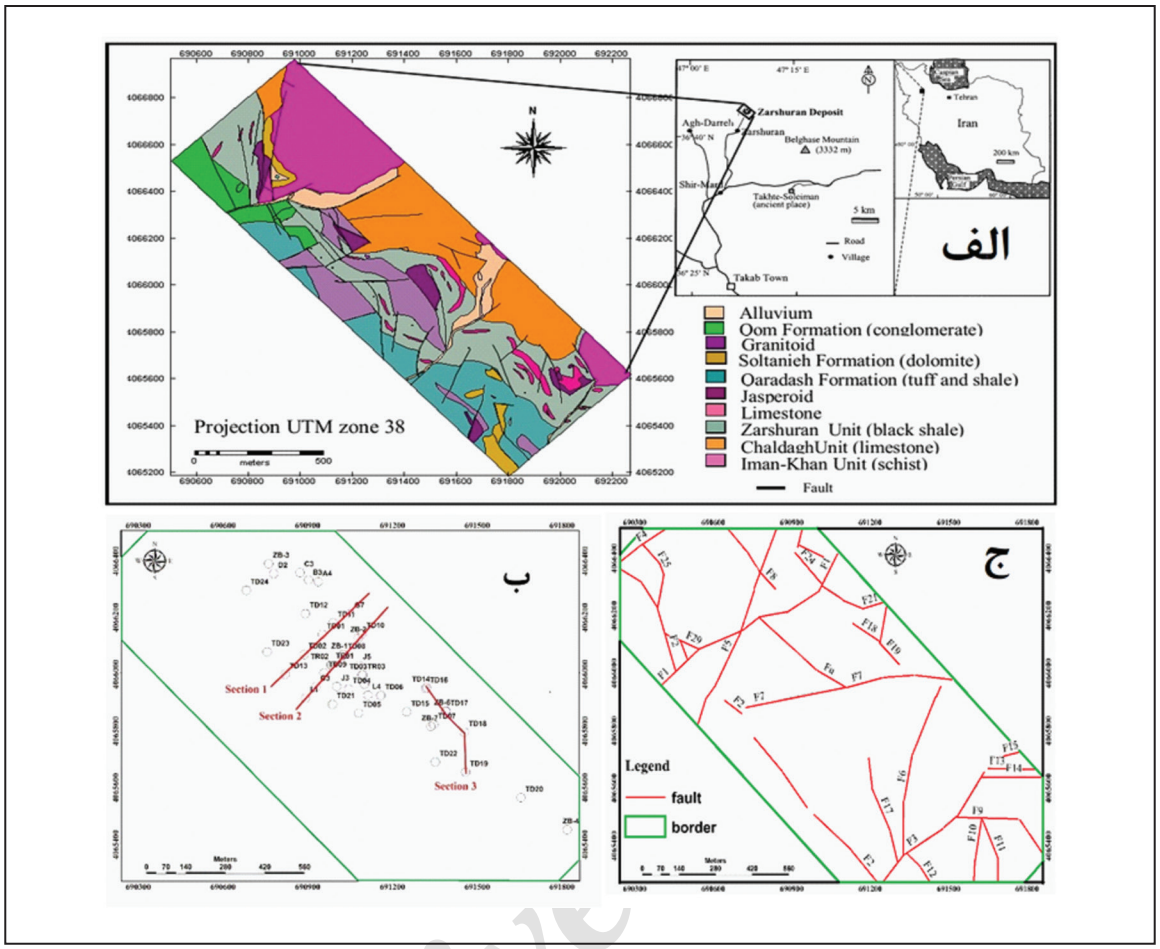
۱- پیش‌نوشتار

سنگ‌های میزبان واحدهای سنگ‌چینه‌ای کانسار طلای زرشوران عمدتاً همراه با فعالیت‌های آتشفشانی- هیدرترمال سنوزوییک هستند. در شکل ۱ واحدهای سنگ‌چینه‌ای محدوده معدن طلای زرشوران به همراه موقعیت نقاط حفاری و گسل‌های اصلی موجود در واحدهای سنگی معدن نشان داده شده است. آلتراسیون‌های هیدروترمال باعث ماسه‌ای شدن سنگ‌های کربناته محدوده کانسار شده است. این مجموعه سنگ‌ها به عنوان یکی از بخش‌های اصلی کانه‌زایی طلا در کانسار زرشوران هستند که کیفیت پایینی از نظر شیب و پایداری دارند (کریمی، ۱۳۷۲). شاخص کیفیت توده سنگ (RQD) به‌طور گسترده‌ای در طراحی معادن و فضاهای زیرزمینی استفاده شده است. این شاخص نقش مهمی در آنالیز رفتار توده سنگ دارد و پارامتر مهمی در زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک است. شاخص RQD به‌طور مستقیم از طول قطعات مغزه حفاری شده به دست می‌آید و با تغییر طول مغزه، مقدار RQD هم تغییر میکند (Wen et al., 2013). یکی از دلایل مهم استفاده از شاخص کیفیت توده سنگ کاربرد آن در طبقه‌بندی Q و RMR است. همچنین به دلیل وابسته بودن کامل هزینه معدن‌کاری به شیب نهایی پله در طی بازه تغییرات گودبرداری، جدایش ویژگی سنگ‌ها بر اساس RQD یکی از اساسی‌ترین اهداف در مطالعه و اکتشاف معادن است (Hustrulid and Kuchta, 2006). بر این اساس بررسی تغییرات لیتولوژیکی واحدها یک عامل مفید جهت تفکیک بهتر ویژگی‌های توده سنگی در واحدهای سنگ‌چینه‌ای منطقه مورد مطالعه است. مدل‌های فرکتالی به وسیله Mandelbrot (1983) پایه‌گذاری شد و یکی از شاخه‌های مهم آن علوم ریاضیات غیرخطی به جهت ویژگی قدرتمند آنها در حل مسائل مختلف مهندسی معدن برای جداسازی جمعیت‌های مختلف مانند تغییرات شیب معدن، پارامترهای ژئوفیزیکی و سایر ویژگی‌های متفاوت سنگ‌هاست. یکی از اهداف مهم و کاربردی مدل‌سازی فرکتالی در این پژوهش، جداسازی واحدهای مختلف لیتولوژیک منطقه معدنی زرشوران بر اساس ویژگی‌های مهندسی توده سنگ است. به اعتقاد Xie (1993) مشخصات سنگ‌ها در واحدهای لیتولوژیکی مختلف دارای ابعاد فرکتالی است. Turcotte (1997) به ارائه یک مدل اندازه- فراوانی برای جداسازی فاکتورهای زمین‌شناسی مانند انواع سنگ و شاخص کیفیت سنگ اعتقاد دارد. کیفیت مغزه حفاری بر اساس شاخص کیفی سنگ (RQD) رتبه‌بندی می‌شود. این شاخص توسط Deere (1963) ارائه شد. برای تحلیل بهتر توده سنگ از پارامترهای دیگری نظیر مقاومت سنگ، ویژگی درزه و فاکتورهای محیطی استفاده می‌شود. فاصله‌داری درزه‌ها نیز از طریق مغزه حفاری (در صورت وجود) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدل‌های عددی به‌طور گسترده‌ای در توصیف پدیده‌های مختلف برای درک و تفسیر بهتر تفاوت عناصری مانند لیتولوژی و شاخص کیفیت توده سنگ استفاده می‌شوند. استفاده از مدل‌های عددی برای مطالعه ویژگی سنگ یک کار مشکل و نیازمند مدل‌سازی ویژه با توجه به مسائل و مشکلات درگیر در کار اجرایی معدن است. اساس روش‌های قبلی مبتنی بر زمین آمار و استفاده از تئوری فراکتال‌ها بود. بر اساس طبقه‌بندی Deere and Miller (1966) و مدل فرکتالی ارائه شده، نتایج حاصل در طراحی تعداد و مکان بلوک‌های معدنی و طبقه‌بندی مجموعه واحدهای سنگ‌چینه‌ای کاربرد گسترده‌ای خواهد داشت (رستمی‌پایدار و همکاران، ۱۳۹۵). در این نوشتار ضمن بررسی ارتباط مدل فرکتالی ارائه شده تعداد- شاخص کیفیت سنگ (RQD-Number (RQD-N و حجم- شاخص کیفیت سنگ RQD-Volume (RQD-V) با مدل زمین‌شناسی محدوده، به بررسی و تشخیص نحوه تأثیر گسل‌خوردگی و تغییرات شاخص کیفیت سنگ در منطقه معدنی زرشوران پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

یکی از شاخص‌های متداول در رده‌بندی توده‌های سنگی در معادن که در حین حفاری گمانه‌های اکتشافی انجام می‌شود رده‌بندی براساس شاخص RQD است که به‌صورت درصد بیان می‌شود. مقدار RQD به ناپیوستگی موجود در توده سنگ وابسته است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- الف) موقعیت معدن طلای زرشوران و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Asadi Harooni, 2000 با تغییرات)؛ ب) موقعیت گمانه‌های اکتشافی در محدوده معدن طلای زرشوران؛ ج) موقعیت گسل‌های اصلی محدوده معدن طلای زرشوران.

به منظور محاسبه این شاخص با انجام حفاری دورانی توأم با مغزه‌گیری (با استفاده از نمونه‌گیر دو جداره) نمونه‌گیری صورت می‌گیرد. سپس مغزه‌های سنگ حاصل از حفاری در جعبه‌های چوبی دارای پنج ردیف یک متری قرار داده می‌شود (شکل ۲). آنگاه برای طول معینی از حفاری، طول مغزه‌های سنگ بزرگ‌تر از ۱۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری، مجموع آنها به طول حفاری معین شده تقسیم و شاخص RQD بر حسب درصد محاسبه می‌شود:

$$RQD = L/Ld * 100 \quad (1)$$

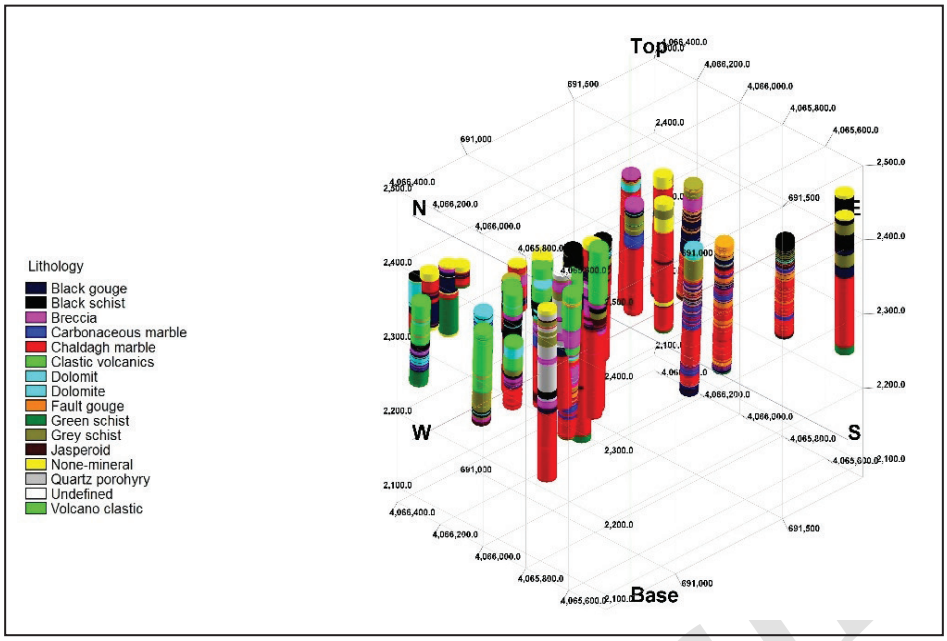
شکل ۲- مغزه‌های حفاری در معدن زرشوران که این داده‌های حفاری جهت محاسبه مقدار RQD استفاده می‌شود.

در این رابطه L مجموع طول مغزه‌های سنگ بزرگ‌تر از ۱۰ سانتی‌متر و Ld طول حفاری است. پس از محاسبه درصد RQD برای طول‌های معین حفاری با استفاده از جدول استاندارد می‌توان توده سنگ را رده‌بندی کرد. جهت بررسی تغییرات RQD، ۴۳ حلقه گمانه اکتشافی به متراژ کلی ۹۵۳۰ متر تا تاریخ اسفند ۱۳۹۱ با زوایای مختلف نسبت به افق در محدوده کانسار زرشوران حفر شده است (مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۱). عمق گمانه‌ها از ۳۲۴ تا ۲۵ متر متغیر است. که کمترین عمق را گمانه A4 (۲۵ متر) و بیشترین عمق را گمانه L1 (۳۲۴ متر) دارد. شکل ۳، نمای سه‌بعدی گمانه‌ها و شبکه حفاری را نشان می‌دهد. ۳۲۶۷ نمونه عمقی از مغزه‌های حفاری با نمونه‌برداری فواصل ۱ تا ۳ متر برداشت و RQD آنها محاسبه شد. در راستای مدل‌سازی معدنی، در ابتدا یک پایگاه داده بر اساس داده‌های حفاری ساخته شد که شامل واحدهای لیتولوژی و مقادیر RQD است.

سپس مجموعه داده‌ها در نرم‌افزار Rockworks v.15 برای ساخت مدل سه‌بعدی لیتولوژی و RQD وارد شد که در این راستا از روش کاربردی نسبت ناهمگنی چگالی با عکس فاصله (IDW) استفاده شده است.

ابعاد پروژه برابر با ۱۲۰۰ در ۹۷۵ در ۴۲۰ متر در راستای سه محور X,Y و Z و ابعاد هر ریز بلوک معدنی (voxel) به ترتیب برابر ۲۵ در ۲۵ در ۱۰ متر است. قدم بعدی ایجاد مدل فرکتالی تعداد- RQD برای تعیین جمعیت‌های مختلف سنگی است. در ادامه از یک ابزار ریاضی در نرم‌افزار به نام «ادغام مدل با مدل» جهت ساخت بلوک‌های معدنی به‌صورت مدل سه‌بعدی استفاده شد که در یک بعد با مدل سه‌بعدی دیگری در اشتراک هستند.

Archive
www.SID.ir



شکل ۳- نمای سه‌بعدی گمانه‌ها و شبکه حفاری در معدن زرشوران بر اساس واحدهای سنگ‌چینه‌ای.

۳- موقعیت زمین‌شناسی و واحدهای سنگ‌چینه‌ای معدن زرشوران

معدن زرشوران تقریباً با ۲۰ کیلومتر مربع وسعت در ۷۳ کیلومتری شمال خاوری زنجان و ۴۵ کیلومتری شمال شهرستان تکاب، در کمربند ماگمایی سنوزوییک ارومیه- دختر در زاگرس با روند شمال باختری- جنوب خاوری ایران قرار گرفته است. از نظر زمین‌شناسی ساختاری محدوده زرشوران در بخش میانی یال جنوب خاوری تاقدیس ایمان خان با هسته پروتروزوییک بالایی جای دارد. این تاقدیس میل (پلانژ) دو سویه، راستای N 125 (NW-SE)، شکل بیضی، طول ۸ کیلومتر و عرض حدود ۲ کیلومتر دارد. شیب طبقات در دامنه‌های تاقدیس در محدوده مورد مطالعه به سمت جنوب باختری و در حدود ۳۵ تا ۵۰ درجه و در نواحی مرکزی تاقدیس بین ۴۵ تا ۷۰ درجه است. در شمال خاوری این تاقدیس نهشته‌های کربناته بلورین واحد چالداغ توسط یک گسل معکوس در مجاورت رسوبات الیگومیوسن قرار می‌گیرد. در مرکز این تاقدیس مجموعه دگرگونی ایمان‌خان قرار گرفته است. روی این مجموعه را سنگ‌آهک‌های چالداغ با همان ساختمان تاقدیسی می‌پوشاند که اغلب ارتفاعات ناحیه را تشکیل داده‌اند. در محدوده مورد بررسی با توجه به نقشه گسل‌های ارائه شده، ۳۰ گسل اصلی شناسایی و سایر گسل‌های کوچک نیز در نقشه نمایش داده شده است. گسل‌های اصلی F4 در امتداد دره کبکان، گسل F1 در امتداد دره معدن، گسل F3 در امتداد دره کربلایی عباس و تقریباً در امتداد شمالی- جنوبی محدوده معدن قرار گرفته‌اند. این گسل‌ها باعث حرکت و جابه‌جایی در واحدهای زمین‌شناسی محدوده شده‌اند. شکستگی‌های مرتبط با این گسل‌ها، گسل‌های فرعی را به وجود آورده‌اند که مجموع تأثیر آنها باعث شکل‌گیری شبکه‌ای از شکستگی‌های پیوسته و درزه‌های فراوان شده است. گسل‌های شیب‌لغز F10، F9 و Fu امتداد خاوری- باختری دارند (شکل ۱). با توجه به ارتباط واحدهای سنگی و گسل‌های محدوده بر اساس شواهد صحرایی می‌توان گفت گسل‌های موجود در شمال محدوده و نیز گسل F8 به عنوان گسل‌هایی هستند که در کانی‌سازی دخالت مستقیم داشته‌اند. به دلیل وجود پوشش ضخیم خاک بر روی رخنمون‌های سنگی، در مورد گسل Fu نمی‌توان شواهد صحرایی سطحی را به وضوح مشاهده کرد و شناسایی این گسل مهم از روی لاگ حفاری صورت گرفته است.

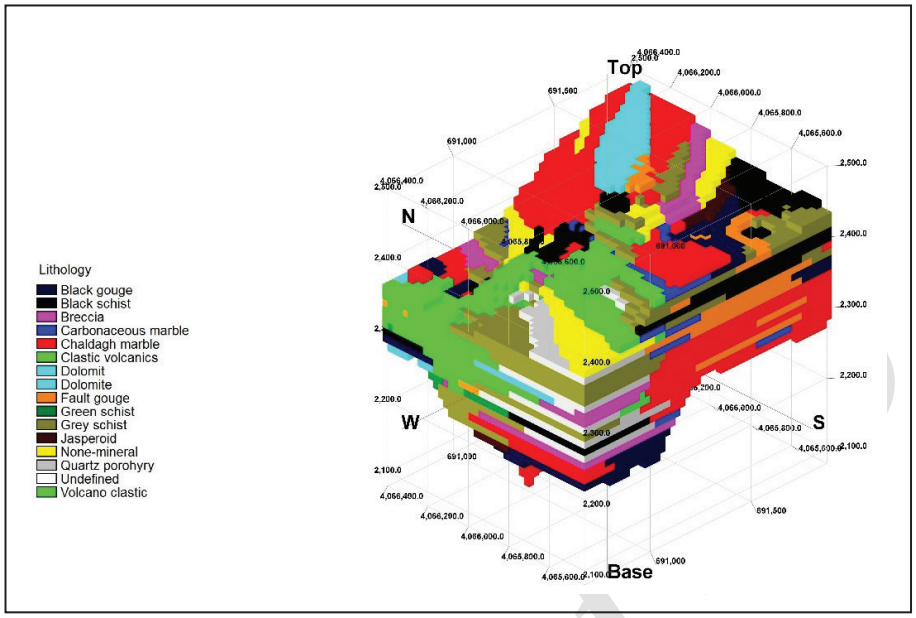
در معدن طلای زرشوران مقدار ذخیره زمین‌شناسی حدود ۲۶ میلیون تن کانسنگ با عیار حد ۰/۳ گرم بر تن و ۱۱۰ تن طلای خالص برآورد شده است که بالاترین ظرفیت تولید طلای کشور را به خود اختصاص می‌دهد. منطقه مورد مطالعه که در قدیم به معادن آرسنیک مشهور بوده، در حال حاضر به عنوان یک معدن طلا مطرح است. در منطقه تکاب کانسارهای دیگری از آرسنیک- طلا (عرب‌شاه)، استیبنیت (آغدره بالا و بالدرقانی)، جیوه (شاخ-شاخ، شیرمرد و یارعزیز)، منگنز (دبل‌کوه و امیرآباد)، آهن (شهرک، قالیچه بلاغ و کوه بابا) و سرب و روی (انگوران، علم‌کندی، پشت کوه، ملا و آی‌قلعه‌سی) نیز وجود دارد که عمدتاً همراه با فعالیت‌های آتشفشانی- هیدروترمال سنوزوییک هستند. آلتراسیون‌های هیدروترمال باعث ماسه‌ای شدن سنگ‌های کربناته و تولید کربن آزاد شده است. به‌صورت محلی کانه‌زایی طلا همراه با سنگ‌های کربناته ماسه‌ای که متحمل آلتراسیون سیلیسی شده‌اند - به خصوص در کانسار زرشوران- وجود دارد (Nazarpour et al., 2015a). بر اساس داده‌های حاصل از گمانه‌ها مهم‌ترین واحدهای سنگ- چینه‌ای مرتبط با کانه‌زایی شامل واحد شیل سیاه زرشوران، آهک سیلیسی چالداغ، و ژاسپروییدها هستند (رستمی‌پایدار، ۱۳۹۷). دیگر واحدهای زمین‌شناسی دارای کمترین میزان کانه‌زایی که در مدل‌سازی زمین‌شناسی به عنوان بخش فاقد کانه‌زا در نظر گرفته می‌شوند، شامل شیست‌های ایمان‌خان، بخش کوارتز پورفیری و بخش برشی شده هستند (اجاقی، ۱۳۷۵؛ رشیدنژاد و همکاران، ۱۳۹۳).

۴- مدل زمین‌شناسی واحدهای سنگ‌چینه‌ای معدن زرشوران

مدل‌سازی زمین‌شناسی کانسارها نقش بسیار مهمی در ارزیابی فضای مناسب برآورد، جهت بررسی‌های زمین‌آماری ایفا می‌کند. به خصوص در مورد کانسارهای طلا، که تغییرات در حد بسیار ناچیز هم می‌تواند قابل توجه باشد، اهمیت بسزایی دارد (Nazarpour et al., 2016; Carranza, 2008). مدل‌سازی کانسارها شامل ساخت و تفکیک مدل واحدهای حاوی کانی‌سازی، تهیه مدل سنگ‌شناسی و دگرسانی آنها و در نهایت ارائه مدل کلی، بر اساس داده‌های حاصل از عملیات اکتشافی است. بر اساس داده‌های حاصل از ۴۳ گمانه حفاری شامل مختصات، شیب، آزیموت، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و آلتراسیون، مهم‌ترین واحدهای لیتولوژی مرتبط با کانه‌زایی، شامل واحد شیل سیاه زرشوران، آهک سیلیسی چالداغ و ژاسپروییدها هستند. دیگر واحدهای زمین‌شناسی دارای کمترین کانه‌زایی که در مدل‌سازی زمین‌شناسی به عنوان بخش فاقد کانه‌زایی در نظر گرفته می‌شوند، شامل شیست‌های ایمان‌خان، بخش کوارتز پورفیری و بخش برشی شده هستند

Archive of SID
www.SID.ir

(رستمی‌پایدار، ۱۳۹۷). تفاوت کانی‌سازی به میزان نفوذ توده سیال و شدت دگرسانی در واحدهای سنگ‌چینه‌ای منطقه مربوط است. در مدل به دست آمده در شکل ۴ واحدهای مختلف سنگ‌چینه‌ای محدوده معدن زرشوران با رنگ‌های متفاوت نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که در تصویر مشاهده می‌شود واحدهای آهک و دولومیت با رنگ قرمز و آبی روشن در بخش‌های خاوری و جنوبی گسترش دارند. واحدهای شیلی و ژاسپیرووییدی با رنگ مشکی و قهوه‌ای در بخش‌های خاوری و مرکزی محدوده کانسار و واحدهای ولکانیکی در بخش‌های باختری و مرکزی قابل مشاهده هستند.



شکل ۴- مدل‌سازی واحدهای زمین‌شناسی معدن طلای زرشوران.

۵- شاخص کیفیت توده سنگ (RQD)

Deere (1963)، یک اندیس کمی مبتنی بر فرایند «اصلاح شده بازیابی مغزه» پیشنهاد کرد که عبارتست از نسبت مجموع قطعات سالمی از مغزه با طول برابر ۱۰ سانتی‌متر و یا بیشتر به طول کلی هر دور حفاری. این اندیس کیفی سنگ و یا RQD به‌طور وسیعی در طرح‌های مختلف مهندسی استفاده و در طراحی هندسه پلکان حفاری‌های معدنی نیز سودمند واقع شده است. جدول ۱ کیفیت سنگ دیر را با توجه به مقدار RQD ارائه می‌کند. اندیس کیفی سنگ RQD عبارتست از:

(۲)

RQD= طول دوره حفاری/ مجموع طول مغزه های با ده سانتی متر و بیشتر

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص کیفیت سنگ Deere (1963).

درصد RQD	کوچک‌تر از ۲۵	۲۵ تا ۵۰	۵۰ تا ۷۵	۷۵ تا ۹۰	۹۰ تا ۱۰۰
کیفیت سنگ	خیلی سست	سست	نسبتاً خوب	خوب	عالی

۶-روش‌های فرکتالی تعداد-RQD و حجم- RQD

مدل فرکتالی تعداد -RQD براساس معادله زیر به دست آمده است (Mandelbort,1983; Agterberg et al., 1993; Agterberg, 1995; Deng et al., 2010):

$$N(\geq \rho) = F\rho^{-D} \quad (۳)$$

که در آن p نشان‌دهنده مقادیر RQD، N(≥ p) گویای عدد فراوانی نمونه‌های با RQD بزرگ‌تر یا مساوی F، p یک ثابت و D نشان‌دهنده مقیاس ابعاد فرکتالی توزیع مقادیر RQD است. بر اساس مبانی بحث و نمودارهای log-log که برای اولین بار توسط Mandelbrot (1983) ارائه و توسط Nazarpour et al. (2015b) استفاده شده، منحنی N (≥ ρ) در مقابل p از خطوط مستقیم با شیب متفاوت وابسته به مقدار D- تشکیل شده است که بازه‌های مختلف RQD را نشان می‌دهند. اساس روش فرکتالی حجم- RQD نیز تابع رابطه بین ابعاد یک سلول دوبُعدی یا ریزبلوک (المان) سه‌بُعدی را با تعداد آن و نیز متغیر اندازه‌گیری شده در آن بیان می‌کند (Afzal et al., 2011). با کمک این تابع، در صورت انجام مطالعه در سه بُعد و سر و کار داشتن با ریزبلوک‌ها، می‌توان به رابطه ذیل رسید:

$$V(\geq \rho) \alpha \rho^{-D} \quad (۴)$$

که در این رابطه، V حجم در برگیرنده RQDهای بزرگ‌تر و برابر با ρ در کانسار مورد مطالعه است. همچنین D بیانگر بُعد فرکتالی است. به‌عبارت دیگر، می‌توان گفت که چون حجم تابعی از سطح است، می‌توان از روند کلی اثبات رابطه RQD- مساحت ارائه شده توسط Cheng et al. (1994) برای اثبات روش RQD- حجم استفاده کرد (صادقی، ۱۳۹۱). در نهایت رابطه مدل فرکتالی RQD- حجم را نیز می‌توان این گونه بیان کرد (Afzal et al., 2012; Sadeghi et al., 2012):

$$V(\rho \leq \upsilon) \propto \rho^{-a_1} \; ; \; V(\rho \geq \upsilon) \propto \rho^{-a_2} \quad (۵)$$

که در آن، V(ρ≤υ) و V(ρ≥υ) نشان‌دهنده دو حجم با RQDهای کمتر و بیشتر از مقدار RQD کانتورυ، ρ بیانگر مقدار آستانه یک زون یا حجم و a_1 و a_2 هم توان‌های توصیف‌کننده هستند. این روش توسط افضل و همکاران (۱۳۸۹) برای جدایش زون‌های کانی‌سازی و سنگ دیواره در ذخایر مس پورفیری استفاده شده است (Afzal et al., 2010; Yasrebi et al., 2013).

۶- ۱. کاربرد مدل فرکتالی تعداد-RQD در معدن زرشوران

از ۴۳ چاه حفاری شده در معدن زرشوران، ۳۲۶۷ نمونه RQD با فاصله‌بندی یک تا سه متر به دست آمد. شاخص‌های آماری توزیع نمونه‌ها در طول ۴۳ چاه اکتشافی در

Archive of SID
www.SID.ir

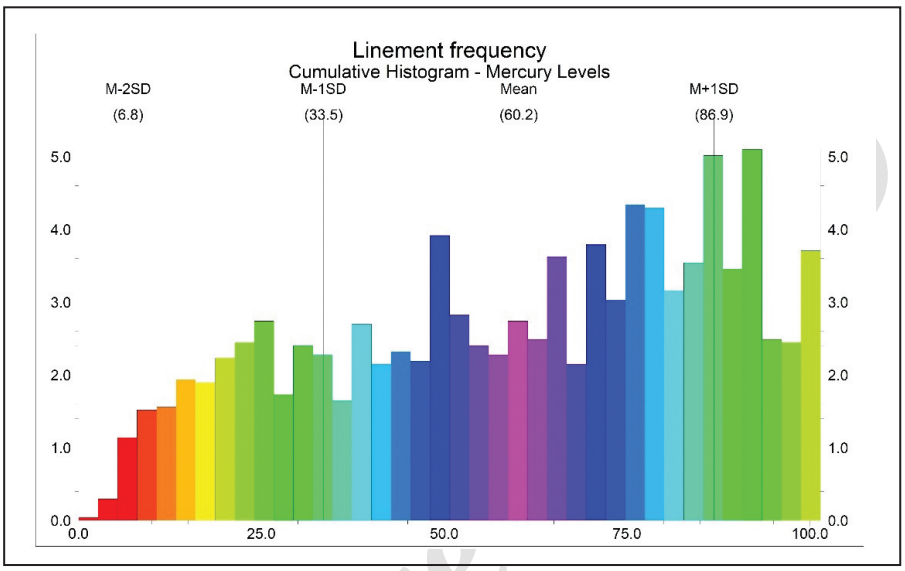
جدول ۲ آمده است. هیستوگرام داده‌های RQD نشان‌دهنده نمودار مولتی- مودال با مقدار میانگین RQD ۶۰/۱ و انحراف استاندارد ۲۶/۶ است.

جدول ۲- شاخص‌های آماری داده‌های ۳۲۶۷ نمونه RQD به دست آمده از معدن طلای زرشوران.

میانه	انحراف استاندارد	میانگین	بازه	بیشینه	کمینه
۶۳/۸۷۵	۲۶/۶۷۹	۶۰/۱۲۵۹	۹۸/۶۸۸۵	۱۰۰	۱/۳۱۱۴

معدن زرشوران شامل ۵۲۶/۷۵۰ ریزبلوک است که هر کدام دارای ابعاد ۲۵ در ۲۵ در ۱۰ متر در راستای Y، X و Z هستند که نشان‌دهنده ویژگی‌های هندسی معدن و ابعاد شبکه حفاری است (David, 1977). اصطلاحات خیلی سست، سست، نسبتاً خوب و خوب برای طبقه‌بندی ویژگی‌های توده سنگی بر اساس مدل فرکتالی با توجه به طبقه‌بندی‌های Deere and Miller (1966) است.

با توجه به اهمیت بررسی الگوی توزیع مقادیر عددی شاخص کیفیت سنگ‌های معدن زرشوران از نظر پارامترهای آماری، مقادیر RQD در جدول ۲ آمده است. بر این اساس مقدار متوسط داده‌های RQD برابر ۶۰/۱۲۵۹ درصد است که با توجه به شاخص کیفیت مغزه Deere (1963)، در بازه نسبتاً خوب قرار می‌گیرد. در شکل ۵ هیستوگرام داده‌های RQD معدن زرشوران نشان داده شده است.

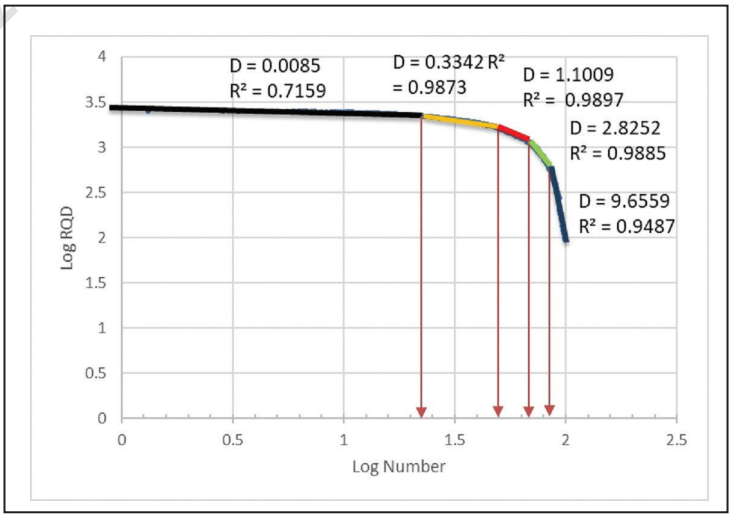


شکل ۵- هیستوگرام به دست آمده از داده‌های RQD معدن طلای زرشوران.

در این بخش روش تعداد- RQD برای داده‌های RQD مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶). انتخاب نقاط شکست به عنوان مقادیر آستانه نشان‌دهنده نحوه انتخاب جمعیت‌های RQD بوده که تعیین‌کننده بخش‌های مختلف نمودار log-log شاخص کیفیت سنگ است (شکل ۶). به عبارت دیگر حساسیت کیفی RQD توسط شیب خط هر کدام از بخش‌های نمودار log-log تعیین می‌شود.

اولین حد آستانه‌ای RQD برابر ۲۰/۴۱ است و مقادیر کوچک‌تر از ۲۰/۴۱ گویای سنگ‌های با شاخص کیفی خیلی سست هستند. حد آستانه دوم RQD برابر با ۴۷/۷۶ است و سنگ‌های مابین ۲۰/۴۱ و ۴۷/۷۶ گویای ترکیبی از سنگ‌های با شاخص کیفی خیلی سست تا سست هستند.

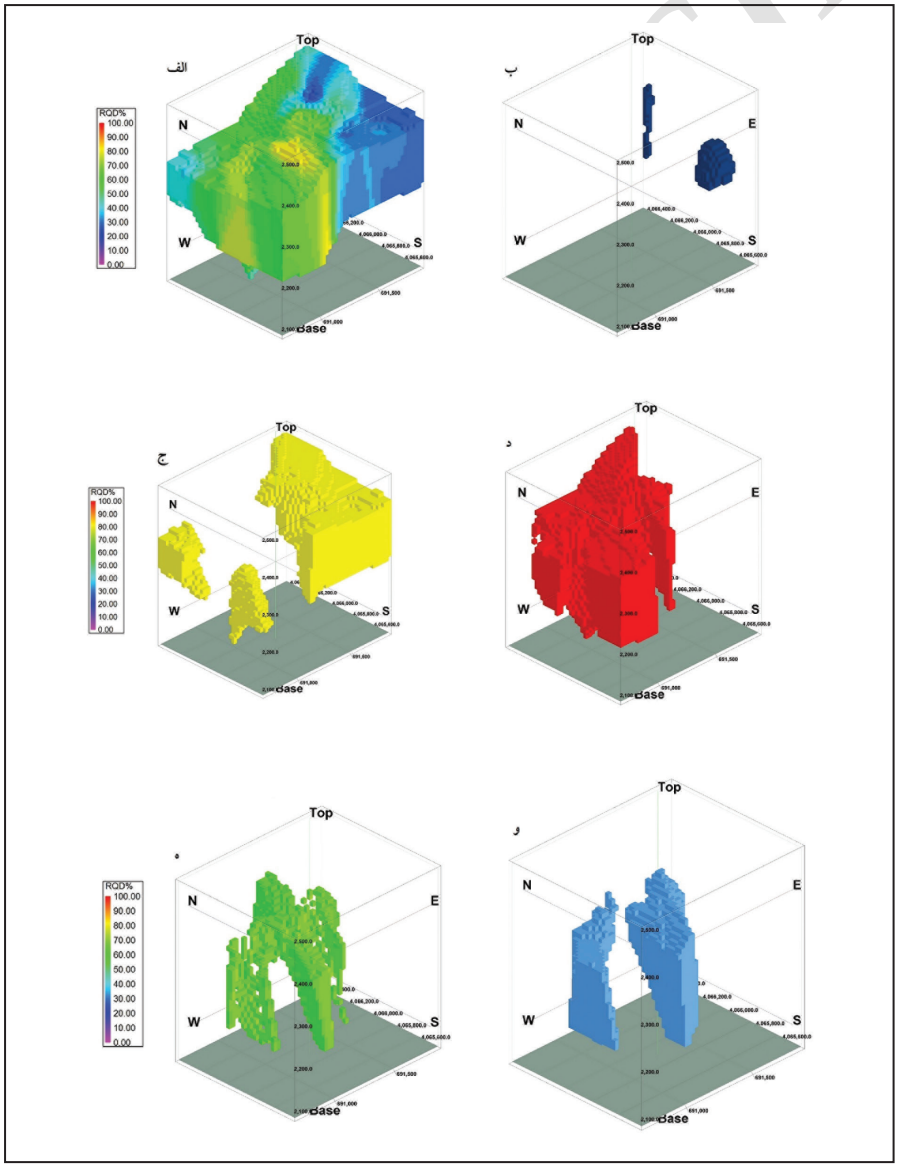
حد آستانه‌ای سوم برابر ۶۹/۱۸ است و سنگ‌های بین ۴۷/۷۶ و ۶۹/۱۸ گویای ترکیبی از سنگ‌های با شاخص کیفی سست تا نسبتاً خوب هستند. حد آستانه‌ای چهارم برابر ۸۱/۲۸ است و سنگ‌های بین ۶۹/۱۸ تا ۸۱/۲۸ برابر ترکیبی از سنگ‌های نسبتاً خوب تا خوب هستند. مقادیر بزرگتر از ۸۱/۲۸ شاخص کیفی عالی را شامل می‌شوند.



شکل ۶- نمودار Log-log برای روش تعداد- RQD در معدن طلای زرشوران.

Archive
www.SID.ir

جهت جداسازی زون‌های مختلف با مقادیر تعداد- RQD با توجه به حدود آستانه به دست آمده مدل فرکتالی تعداد- RQD توسط روش ریاضی ساده‌سازی در نرم‌افزار Rockworks به نام نوع داده‌های بولین به دست آمد (شکل ۷- الف). نتایج منطقه مورد مطالعه در مدل‌سازی ۳ بعدی که توسط کدهای باینری صفر و یک تعیین شده است؛ نشان می‌دهد که مناطق با کد صفر حذف شده و مناطق با کد یک در مدل ۳ بعدی باقی مانده‌اند. به عبارت دیگر این ابزار اعداد حقیقی مدل فضایی را به فایل بولین (صحیح/ غلط) تبدیل می‌کند. در این پروسه گره‌های مربوط به مقادیر RQD برابر یک، معادل مقادیر اصلی هستند که به عنوان مشخصه‌های کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرند و مقادیر RQD صفر در این بازه قرار نمی‌گیرند. در قدم بعدی مدل بولین، با توجه به فیلترهای اعمال شده محاسباتی یا مقدار ضرایب مدل اصلی در محدوده بدون مقادیر صفر، محاسبه شد. به طوری که معیارهای آن ناهمگرایی نشان می‌دهند. بر اساس طبقه‌بندی مدل ۳ بعدی داده‌های RQD و با توجه به حدود آستانه‌ای به دست آمده از روش فرکتالی تعداد- RQD، زون‌های مربوط به سنگ‌های با شاخص کیفی خیلی سست در بخش جنوب خاوری و شمال خاوری دیده می‌شوند که شامل واحدهای شیست ایمان‌خان هستند. سنگ‌های با شاخص کیفی خیلی سست تا سست در اغلب بخش‌های شمال خاوری تا جنوب خاوری و محدوده‌هایی در باختر معدن مشاهده می‌شوند که شامل واحدهای شیست سبز، شیست‌های ایمان‌خان، بخش کوارتز پورفیری و بخش برشی شده هستند (شکل ۷- ج). سنگ‌های با شاخص کیفی سست تا نسبتاً خوب در بخش‌های شمالی و مرکزی قرار دارند و شامل واحدهای کنگلومرای همراه با کوارتزهای سفید و خاکستری و شیست‌های کوارتز، شیل سیاه زرشوران و سریسیت‌دار هستند (شکل ۷- د). سنگ‌های با شاخص کیفی نسبتاً خوب و خوب در مرکز و بخش باختر معدن قرار دارند و شامل آهک سیلیسی چالداغ، و ژاسپرویدها هستند (شکل ۷- ه). سنگ‌های با شاخص کیفی خوب و عالی نیز در بخش مرکزی متمرکز شده‌اند و شامل واحدهای دولومیت کرم- خاکستری و ژاسپرویدها هستند (شکل ۷- و). در راستای تصحیح بین بلوک‌های سه‌بعدی RQD به دست آمده در مقابل فراوان‌ترین واحدهای لیتولوژی -که آهک ماسه‌ای دارای طلا و مدل RQD است- مدل‌های شکل ۷ به دست آمد.



شکل ۷- الف) بلوک مدل تعداد- RQD معدن طلای زرشوران؛ ب) سنگ‌های خیلی سست؛ ج) سنگ‌های خیلی سست تا سست؛ د) سنگ‌های سست تا نسبتاً خوب؛ ه) سنگ‌های نسبتاً خوب تا خوب؛ و) سنگ‌های خوب تا عالی.

www.SID.ir

۶- ۲. کاربرد مدل فرکتالی RQD- حجم در معدن زرشوران

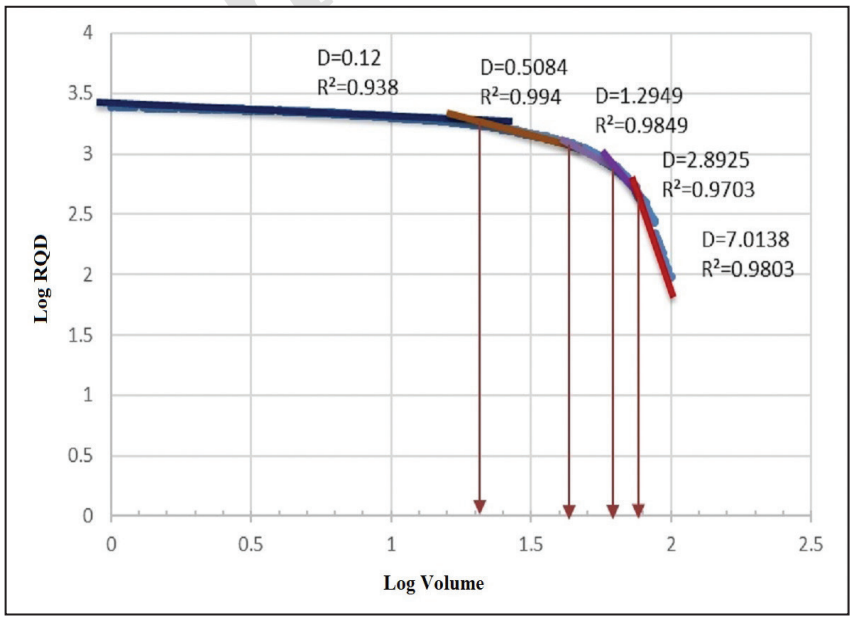
در این مرحله با استفاده از روش RQD- حجم جوامع گوناگون حجمی بر اساس مقادیر متغییر RQD در معدن زرشوران از یکدیگر تفکیک شدند. روش‌های فرکتالی می‌توانند روابط بین نتایج به دست آمده از مطالعات زمین‌شناسی، شکستگی‌ها و کانی‌شناسی را توضیح دهند و نمودارهای لگاریتمی حاصل از روش فراکتال RQD- حجم، بیانگر تغییرات و تفاوت‌های زمین‌شناختی هستند. شکست‌های بین قطعه‌های خط مستقیم روی نمودار و مقادیر متناظر RQD مغزه، به عنوان حدود آستانه‌ای، برای جداسازی مقادیر شکستگی در میان مؤلفه‌های گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیان‌کننده عوامل مختلفی از جمله تفاوت‌های سنگ‌شناسی و فرایندهای شکستگی هستند (Lima et al., 2003). مطالعات حاصل از روش‌های فرکتالی ضریب هورست و توان- قانون و همچنین روش شمارش مربعات نشان‌دهنده عدم توزیع نرمال شکستگی‌ها در واحدهای زمین‌شناختی کانسار طلای زرشوران هستند (رشیدنژاد و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین انتظار می‌رود که در روش مدلسازی RQD- حجم نیز چندین جمعیت شکستگی وجود داشته باشد. در شکل ۸ نمودار لگاریتمی RQD- حجم برای شکستگی‌ها نشان داده شده است که در آن تغییر شیب در خط برازش شده به نقاط، نشانگر در جامعه شکستگی است. با توجه به مدل سه‌بعدی RQD به دست آمده، بر اساس نتایج حجم‌های در ارتباط با مقادیر شاخص کیفیت سنگ، مدل حجم- RQD محاسبه شد. مقادیر آستانه شاخص کیفیت سنگ که در نمودار لگاریتمی RQD- حجم مشخص شده‌اند، توسط روش فرکتالی توان- قانون بین مقادیر RQD و حجم اشغال شده به دست آمد. پیکان‌های ترسیم شده در نمودار لگاریتمی نشان‌دهنده مقادیر آستانه‌ای در چهار نقطه گسست مرتبط برابر با ۱/۳۳، ۱/۶۴، ۱/۸ و ۱/۹ است.

منحنی RQD- حجم رسم شده برای کانسار زرشوران چهار نقطه شکست را نشان می‌دهد (شکل ۸). همچنین این منحنی یک ساختار چند فرکتالی را نشان می‌دهد که زون‌های شکستگی با بعد فرکتالی بیشتر قابل مشاهده هستند. نقاط شکست موجود در منحنی به ترتیب منطبق بر مقادیر ۱/۳۳، ۱/۶۴، ۱/۸ و ۱/۹ هستند که به ترتیب برابر ۲۱/۳۷، ۴۳/۶۵، ۶۳/۰۹ و ۷۹/۴۳ برای RQD است. بر اساس نمودار لگاریتمی مقادیر RQD بالاتر از ۷۹/۴۳ درصد مربوط به جمعیت سنگی با شاخص عالی و خوب، مقادیر RQD با کیفیت نسبتاً خوب در بازه ۷۹/۴۳ تا ۶۳/۰۹، جمعیت سنگی با مقادیر RQD ضعیف یا سست در بازه ۶۳/۰۹ تا ۴۳/۶۵ و مقادیر RQD خیلی سست در بازه ۴۳/۶۵ تا ۲۱/۳۷ قرار دارند (جدول ۱). براساس مدل RQD- حجم گستردگی سنگ‌های با سستی بالا محدود به بخش خاوری معدن و شامل شیل زرشوران است. سنگ‌های با کیفیت سست تا خوب گستردگی بیشتری در تمام قسمت خاوری و به‌صورت جزیی‌تر در باختر معدن دارند. سنگ‌های با کیفیت خوب در راستای شمال خاوری- جنوب باختری و بخش شمالی و نهایتاً سنگ‌های با کیفیت عالی در بخش مرکزی دیده می‌شوند (شکل‌های ۹- الف تا د).

۶- ۳. مقایسه مدل‌های فرکتالی تعداد- RQD و حجم- RQD

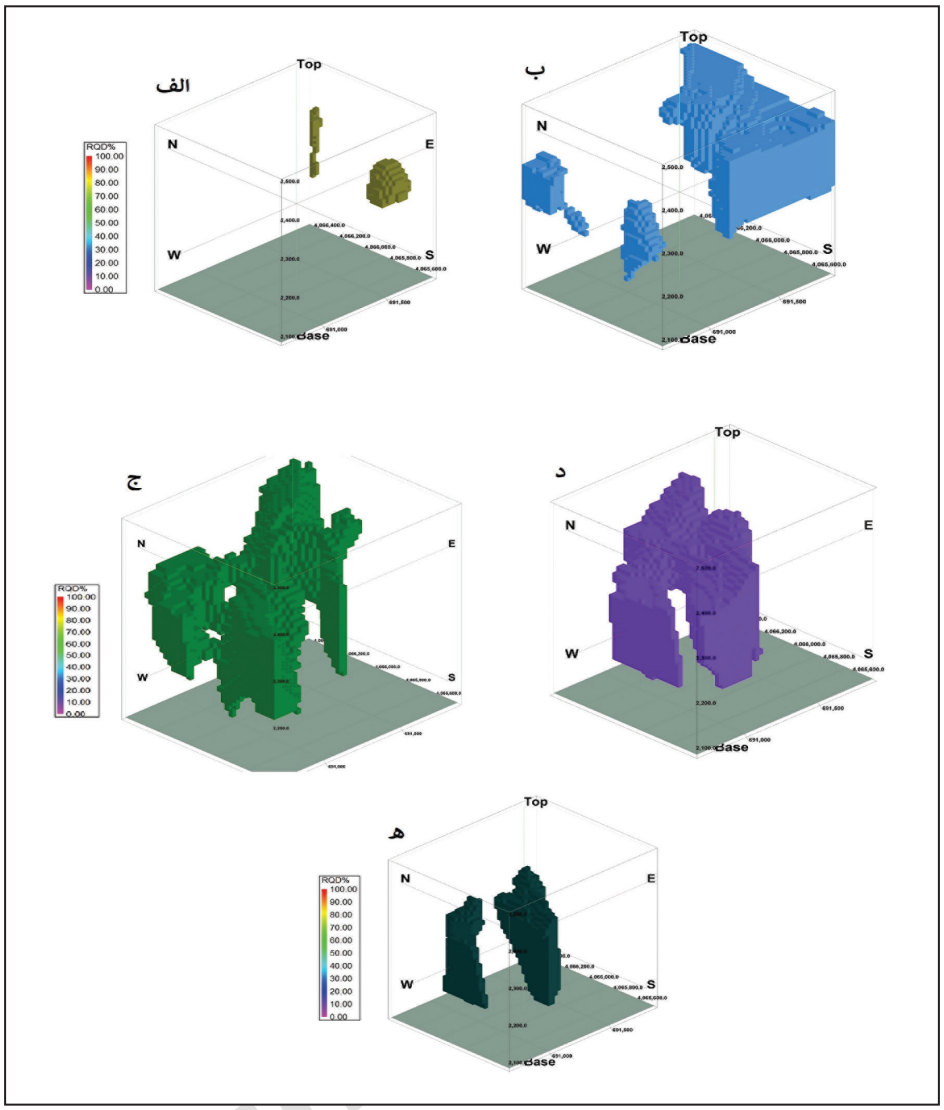
مدل کلی لیتولوژی واحدهای سنگ‌چینه‌ای زرشوران توسط نرم‌افزار Rockworks v.15 و با توجه به داده‌های حفاری ۴۳ چاه اکتشافی، به‌صورت سه‌بعدی طراحی و نتیجه آن با نتایج مدل‌های فرکتالی تعداد- RQD و حجم- RQD مطابقت داده شد. بر این اساس، سنگ‌های با کیفیت عالی (شکل‌های ۶- و و ۹- ه) در ارتباط با واحد دولومیت کرم- خاکستری و ژاسپیرویدها هستند و از نظر هندسه فضایی ارتباط معنی‌داری بین مقدار شاخص کیفی آنها و میانگین مدل‌های حجم- RQD و تعداد- RQD مشاهده می‌شود. بر این اساس هر دو مدل، بخش مرکزی واحدهای سنگ- چینه‌ای معدن زرشوران را در ارتباط با سنگ‌های دارای شاخص کیفی عالی نشان می‌دهند. همچنین سنگ‌های با کیفیت سست که در ارتباط با شیل زرشوران هستند، در هر دو مدل در بخش‌های خاوری معدن نشان داده شده‌اند (شکل‌های ۶- ج و ۹- ب).

سنگ‌های با کیفیت خوب و در ارتباط با آهک سیلیسی چالداغ، و ژاسپرویدها در باختر و شمال معدن مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۶- ه و۹- د).



شکل ۸- منحنی لگاریتمی RQD- حجم برای مقادیر شاخص کیفیت سنگ در معدن طلای زرشوران.

www.SID.ir



شکل ۹- مدل‌سازی RQD- حجم در کانسار طلای زرشوران؛ الف) سنگ‌های خیلی سست (شیل سیاه زرشوران)؛ ب) سنگ‌های خیلی سست تا سست (شیل سیاه و گوه گسلی)؛ ج) سنگ‌های سست تا نسبتاً خوب؛ د) سنگ‌های نسبتاً خوب تا خوب؛ ه) سنگ‌های خوب تا عالی.

۷- نتیجه‌گیری

مدل فرکتالی تعداد- RQD در کانسار طلای زرشوران، نشان‌دهنده چهار گونه جمعیت سنگی در این واحدهای سنگ- چینه‌ای است. مقادیر حدود آستانه برای سنگ‌های با شاخص کیفی خوب و عالی بزرگ‌تر از ۸۱/۲۸ بر اساس مدل فرکتالی در بخش مرکزی محدوده معدن قرار دارند و شامل واحدهای سنگ- چینه‌ای دولومیت کرم- خاکستری و ژاسپیرویدها هستند. سنگ‌های با شاخص کیفی نسبتاً خوب تا خوب در بازه ۶۹/۱۸ تا ۸۱/۲۸ در مرکز و بخش باختر معدن قرار دارند که شامل شیل سیاه زرشوران، آهک سیلیسی چالداغ، و ژاسپرویدها هستند. سنگ‌های با شاخص کیفی سست تا نسبتاً خوب در بازه ۴۷/۸۶ تا ۶۹/۱۸ در بخش‌های شمالی و مرکزی قرار دارند که شامل واحدهای کنگلومرای همراه با کوارتزهای سفید و خاکستری و شیست‌های کوارتز و سریسیت‌دار است. سنگ‌های با شاخص کیفی خیلی سست و سست در بازه ۲۰/۴۱ تا ۴۷/۸۶، اغلب بخش‌های شمال خاوری تا جنوب خاوری و محدوده‌هایی در باختر معدن مشاهده می‌شوند که شامل واحدهای شیست سبز، شیست‌های ایمان‌خان، بخش کوارتز پورفیری و بخش برشی شده هستند. سنگ‌های با شاخص کیفی خیلی سست در بازه کمتر از ۲۰/۴۱ تا ۱/۳ قرار دارند که در بخش جنوب خاوری و شمال خاوری دیده می‌شوند و شامل واحدهای شیست ایمان‌خان هستند. از سوی دیگر، نتایج مدل‌سازی فرکتالی به روش RQD- حجم نشان‌دهنده چهار جامعه شکستگی در این کانسار است. مقادیر آستانه زون با شاخص کیفیت سست بر اساس مدل‌های فرکتالی برابر ۲۱/۳۷ و شامل پهنه‌ای است که تنها در بخش کوچکی از کانسار مشاهده می‌شود و از نظر حجم ذخیره کوچک است. زون با شاخص کیفی خوب در بازه ۶۹/۰۹ تا ۷۹/۴۳ در مدل RQD- حجم، وسعت بیشتری نسبت به جامعه قبلی نشان می‌دهد. همچنین نتایج مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی و مدل‌سازی‌های فرکتالی نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز حجمی شکستگی‌ها در دامنه تراکم با محدوده ۲۱/۳۷ تا ۴۳/۶۵ برای مدل RQD- حجم وجود دارد که در اغلب نقاط معدن پراکندگی دارند. مقایسه بین نتایج فوق نشان می‌دهد که نتایج مدل‌سازی فرکتالی تعداد- RQD و RQD- حجم مقادیر مشابهی ارائه می‌دهند. اما مقایسه آنها با مدل زمین‌شناسی منطقه زرشوران بر دقت بهتر مدل فرکتالی

www.SID.ir

تعداد- RQD تأکید دارد. بدیهی است که نتایج حاصل از به کارگیری مدل‌های فرکتالی تعداد- RQD و RQD- حجم در کانسار زرشوران می‌تواند به عنوان یک روش مطمئن در ارزیابی الگوی شکستگی‌ها برای طراحی معدن و نیز در بخش‌های دارای زمین‌شناسی مشابه مورد استفاده و توجه قرار گیرد. با عنایت به مناسب بودن کاربرد این روش در امر طراحی معادن، لازم به ذکر است که شاخص RQD به دلیل در نظر نگرفتن تأثیر عواملی نظیر جهت‌یافتگی درزه‌ها، مقاومت و نوع مواد پرکننده درزه‌ها، کاستی‌هایی نیز دارد و با اینکه یک پارامتر عملی برآورد کیفیت مغزه است، اما به تنهایی برای تشریح توده سنگ در پروژه‌های عمرانی دقیق کافی نیست و می‌بایست با روش‌های دیگر نیز اعتبارسنجی شود. در پایان نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده تطابق و همخوانی قابل قبول بین شاخص کیفیت سنگی واحدهای سنگ- چینه‌ای معدن و تقسیم‌بندی Deer and Miller (1966) است که با طراحی تعداد بلوک‌های معدنی با توجه به واحدهای لیتولوژی معدن زرشوران و کیفیت توده سنگ آن نسبت مستقیم دارد.

سپاسگزاری

از مسئولین محترم معدن طلای زرشوران برای در اختیار قرار دادن داده‌های حفاری و فراهم کردن امکان بازدید و برداشت‌های صحرایی و همچنین از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز برای حمایت مالی تشکر و قدردانی می‌شود.

کتابنگاری

اجاقی، ب.، ۱۳۷۵- زمین‌شناسی اقتصادی و بررسی شکل توده کانسار طلای زرشوران (شمال تکاب)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

افضل، پ.، خاکزاد، ا.، معارف‌وند، پ.، رشیدنژاد عمران، ن. و فداکار القلندیس، ی.، ۱۳۸۹- استفاده از روش فرکتالی عیار- حجم در جدایش زون‌ها در کانسارهای پورفیری، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۸، ص. ۱۶۸ تا ۱۷۲.

رستمی‌پایدار، ق.، نظرپور، ا. و اسدی حویزیان، ه.، ۱۳۹۵- کابرد مدل فرکتالی شاخص کیفیت سنگ- تعداد در طراحی پلکان معدنی، کانسار طلای زرشوران، زون ارومیه- دختر، سی و پنجمین گردهمایی علوم زمین، تهران، ایران.

رستمی‌پایدار، ق.، ۱۳۹۷- بهره‌گیری از مدل‌های فرکتالی جهت جداسازی زون‌های پرعیار کانه‌زایی در کانسار طلای زرشوران، تکاب، شمال باختری ایران، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۱۰، زمستان ۹۷، ص ۵۵-۶۶.

رشیدنژاد عمران، ن.، رستمی‌پایدار، ق.، نظرپور، ا. و محرابی‌نژاد، ع.، ۱۳۹۳- الگوی توزیع ژئوشیمیایی عمقی عیار طلا با استفاده از روش‌های فرکتالی به منظور پهنه‌بندی اهداف اکتشافی ناحیه‌ای در کانسار طلای زرشوران، تکاب، شمال‌باختر ایران، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲، ص. ۵۳ تا ۶۲.

صادقی، ب.، ۱۳۹۱- کاربرد روش فرکتالی عیار- تعداد، برای جدایش زون‌های کانی‌سازی در کانسار سنگ آهن زاغیای بافق- آنومالی 2C؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب.

کریمی، م.، ۱۳۷۲- مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و نحوه تشکیل کانسار طلا و آرسنیک زرشوران (تکاب)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۱- گزارش زمین‌شناسی و تکتونیک ناحیه معدنی زرشوران.

References

Afzal, P., Fadakar Alghalandis, Y., Khakzad, A., Moarefvand, P. and Rashidnejad Omran, N., 2011- Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration–volume modeling. J Geochem Explor 108:220- 232.

Afzal, P., Fadakar Alghalandis, Y., Khakzad, A., Moarefvand, P., Rashidnejad, Omran, N. and Asadi Haroni, H., 2012- Application of power-spectrum–volume fractal method for detecting hypogene, supergene enrichment, leached & barren zones in Kahang Cu porphyry deposit, Central Iran. Journal of Geochemical Exploration 112, 131- 138.

Afzal, P., Khakzad, A., Moarefvand, P., Rashidnejad Omran, N., Esfandiari, B. and Fadakar Alghalandis, Y., 2010- Geochemical anomaly separation by multifractal modeling in Kahang (Gor Gor) porphyry system, Central Iran. J Geochem Explor 104:34- 46.

Agterberg, F. P., 1995- Multifractal modeling of the sizes & grades of giant & supergiant deposits. International Geology Review 37, 1- 8.

Agterberg, F. P., Cheng, Q. and Wright, D. F., 1993- Fractal modeling of mineral deposits. In: Elbrond, J., Tang, X.(Eds.), 24thAPCOMsymposiumproceeding.Montreal, Canada;.p.43- 53.

Asadi Harooni, H., 2000- The Zarshuran gold deposit model applied in a mineral exploration GIS in Iran. PH.D. Thesis, Delft university, The Netherlands.

Carranza, E. J. M., 2008- Geochemical anomaly & mineral prospectivity mapping in GIS. Handbook of exploration and environmental geochemistry vol 11. Elsevier, Amsterdam.

Archive of SID
www.SID.ir

Cheng, Q., Agterberg, F. P. and Ballantyne, S. B., 1994- The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. J Geochem Explor 51:109- 130.

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

Deere, D. U. and Miller, R. P., 1966- Engineering classification and index properties for intact rock. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report AFWL-TR-65-116, 277 p.

Deere, D. U., 1963- Tectichal description of rock cores for engineering purposes. Rock Mech., Engng Geol. 1, 18- 22.

Deng, J., Wang, Q., Yang, L., Wang, Y., Gong, Q. and Liu, H., 2010- Delineation and explanation of geochemical Anomalies using fractal models in the Heqing area, Yunnan Province, China. Journal of Geochemical Exploration 105, 95- 105.

Hustrulid, W. and Kuchta, M., 2006- Open pit mine planning & design. London: Taylor & Francis; 972.

Lima, A., De Vivo, B., Cicchella, D., Cortini, M. and Albanese, S., 2003- Multifractal IDW interpolation & fractal filtering method in environmental studies: an application on regional stream sediments of(Italy), Campania region. Appl Geochem; 18:1853- 65.

Mandelbrot, B., 1983- The fractal geometry of nature. Freeman & Company, New York. 468 pp.

Nazarpour, A., Omran, N. R. and Rostami Paydar, Gh., 2015b- Application of classical statistics, log ratio transformation & multifractal approaches to delineate geochemical anomalies in the Zarshuran gold district, NW Iran, . Chem. De Erde-Geochem.

Nazarpour, A., Rashidnejad Omran, N. and Rostami Paydar, Gh., 2015a- Application of multifractal models to identify geochemical anomalies in Zarshuran Au deposit, NW Iran. Arab J Geosci, 8:877- 889.

Nazarpour, A., Rostami Paydar, Gh. And Carranza, E. J. M., 2016- Stepwise regression for recognition of geochemical anomalies: Case study in Takab area, NW Iran. Journal of Geochemical Exploration 168, 150- 162.

Sadeghi, B., Moarefvand, P., Afzal, P., Yasrebi, A. B. and Daneshvar Saein, L., 2012- Application of fractal models to outline mineralized zones in the Zaghia iron ore deposit, Central Iran. J Geochem Explor 122: 9- 19, Special Issue"fractal/multifractal modelling of geochemica.

Turcotte, D. L., 1997- Fractals and Chaos in geology & geophysics. Cambridge: Cambridge University Press.

Wen, Z., JianPing, C., Qing, W., DongHe, M., Cencen, N. and Wu, Z., 2013- Investigation of RQD variation with scanline length & optimal threshold based on three-dimensional fracture network modeling, Science China Technological Sciences, Vol. 56(3), pp. 739-748.

Xie, H., 1993- Fractals in rock mechanics. Rotterdam: Taylor& Francis, 453p.

Yasrebi, A. B., Wetherelt, A., Foster, P. J., Afzal, P., Coggan, J. and Ahangaran, D. K., 2013- Application of RQD-Number and RQD-Volume multifractal modeling to delineate rock mass characterization in Kahang Cu-Mo porphyry deposit, central Iran. Arch. Min. Sci., Vol. 58, No 4, p. 1023- 1035.

Archive of SID

www.SID.ir

Applying fractal models to delineation of rock quality designation in the Zarshuran gold deposit, Takab, Iran

Gh. Rostami Paydar[1*] and H. Asadi Hoveizian[2]

[1]Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran

[2]Instructor, Department of Geology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran

Received: 2017 March 05 Accepted: 2018 March 10

Abstract

Determination of relationship between rock mass properties concerning to rock qualification design (RQD) has an important role in mine planning and designation. The aim of this study is separation of rock mass properties to designing the mine planning based on the 3267 RQD data analysis of 43 drill-core within Zarshuran gold deposit in Orumieh- Dukhtar assemblage zone applying RQD-Number and RQD-Volume fractal modeling. The results of log-log plots for RQD-N model revealed four rock populations that divided by RQD thresholds 20.41, 47.86, 69.18 and 81.28. The results of log-log plots for RQD-V model release four populations divided by RQD thresholds 21.37, 43.65, 63.09, 79.43 respectively which represent very poor, poor, fair and good rocks based on Deere and Miller rock classification. In other hand the lithological units modeled based on the drill-core data to obtain the spatial distribution of Zarshuran deposit. The results of RQD-N and RQD-V fractal modeling versus lithological units modeling results revealed that Chaldagh limestone unit and Jaspiroid unit shows fair and good quality with RQD fractal value 69.18 till 81.28 and located at the center and western part of Zarshuran deposit. Therefore, in mine slop designing and planning have excellent conditions. The results of the RQD-N fractal modeling in Zarshuran deposit can usage as a practical method in similar districts.

Keywords: Modeling, Fractal, RQD, Zarshuran, Gold

For Persian Version see pages 151 to 160

*Corresponding author: Gh. Rostami Paydar; E-mail: rostamigsi2006@gmail.com

Archive of SID

Created with nitroPDF professional
www.SID.ir
download the free trial online at nitropdf.com/professional