

ارتباطسنجی کانه‌زایی مس و ساختارها در منطقه علی‌آباد-دره زرشک با استفاده از داده‌های زیرسطحی ژئوتکنیکی و ژئوشیمیایی

مه‌دی رضانی^۱، حجت‌اله صفری^{۲*}، غلامحسین شمعانیان^۳ و همایون صفایی^۴

۱. دانش‌آموخته دکتری تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان
۲. دانشیار تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان
۳. دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان
۴. دانشیار تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۱۱

چکیده

برای ارتباطسنجی بین کانه‌زایی مس پورفیری و سیستم‌های گسلی، کانسارهای پورفیری علی‌آباد و پورفیری-اسکارن دره زرشک در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر انتخاب شدند. در این پژوهش سعی شد این ارتباط با استفاده از داده‌های سطحی و زیرسطحی (اطلاعات حاصل از حفاری‌های صورت گرفته در قالب اطلاعات ژئوتکنیکی و میزان عیار مس) در محل کانسارهای علی‌آباد و دره زرشک، روشن شود. نتایج این مطالعات نشان داد که کمربندهای گسلی که از طریق بررسی معیار میزان کیفیت سنگ (RQD) به دست آمده انطباق به نسبت خوبی با گسل‌هایی که از طریق مطالعات سطحی و روش‌های سنجش از دور به دست آمده‌اند، دارند. همچنین در طول این پهنه‌های گسلیده عیار کانه‌زایی مس بالاتر می‌باشد، به این ترتیب، ارتباط کانه‌زایی و گسلش در منطقه اثبات می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارتباطسنجی، کانه‌زایی مس، کانسارهای علی‌آباد-دره زرشک، معیار میزان کیفیت سنگ.

مقدمه

این ساختارها می‌توانند به عنوان مجرای برای صعود ماگما عمل کرده و مکان‌های کششی برای جایگیری کم‌عمق توده‌های پورفیری فراهم آورند (Tosdal and Richards, 2001; Richards, 2003; Hezarkhani, 2006). گمان می‌رود؛ کانه‌زایی مس پورفیری به‌طور وسیع در محیط‌های کم‌تنش تشکیل شود (Kloppenburger et al., 2010). به این ترتیب، شکستگی‌های بزرگ مقیاس (ناحیه‌ای) می‌توانند باعث ایجاد کمربندهایی با نفوذپذیری

بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که کانسارهای مهم مس پورفیری (نظیر سایر کانسارهای پورفیری)، در تقاطع سیستم‌های گسلی واقع شده‌اند و به همین دلیل سال‌های زیادی است که نظریه کنترل ساختاری کانسارهای مس پورفیری مطرح شده است (Sillitoe and Perrill, 2005; Ghorbani, 2003; Richards, 2003). نقش ساختارهای ناحیه‌ای در تمرکز سیستم‌های نوع پورفیری ساده می‌باشد، به گونه‌ای که

* نویسنده مرتبط: h.safari@gu.ac.ir; safari.ho@gmail.com

بر اکتشاف ذخایر زیرزمینی در زمین‌شناسی مهندسی و هیدروژئولوژی نیز به کار گرفته می‌شود. در این پژوهش سعی شد با استفاده از اطلاعات مربوط به گمانه‌های حفر شده در گستره معادن علی‌آباد و دره زرشک به بررسی ساختارهای زیرسطحی در این معادن پرداخته و در نهایت، به بررسی نقش گسل‌ها در شکل‌گیری کانسارهای مس پورفیری و اسکارنی علی‌آباد و دره زرشک در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر با استفاده از برداشت‌های سطحی و داده‌های زیرسطحی خواهیم پرداخت.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

کانسارهای علی‌آباد و دره زرشک در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب یزد با طول جغرافیایی $45^{\circ} 53'$ تا $57^{\circ} 53'$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 31'$ تا $31^{\circ} 43'$ قرار دارند (شکل ۱). کانسار علی‌آباد با حدود دو کیلومتر مربع وسعت، در نزدیکی روستای علی‌آباد دامک واقع در مسیر جاده تفت-ابرقوه قرار گرفته است. کانسار دره زرشک نیز در حوالی روستای دره زرشک واقع شده است و از این رو این معدن را دره زرشک نام نهاده‌اند.

روش مطالعه

برای بررسی ساختارهای سطحی ابتدا از تکنیک‌های دورسنجی با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ ماهواره Landsat8 (در محیط نرم افزار Envi 4.8) استفاده شد. پس از شناسایی اولیه ساختارهای گستره با انجام مطالعات میدانی نقشه ساختاری گستره مورد مطالعه، نهایی شد. در این پژوهش سعی شده است برای تدقیق برداشت‌های ساختاری سطحی از اطلاعات مربوط به گمانه‌ها (بخصوص از پارامتر شاخص کیفیت توده سنگ (RQD)) استفاده شود. در ادامه این پارامتر توصیف شده است. روش‌های مورد استفاده در این بخش به شرح ذیل می‌باشد:

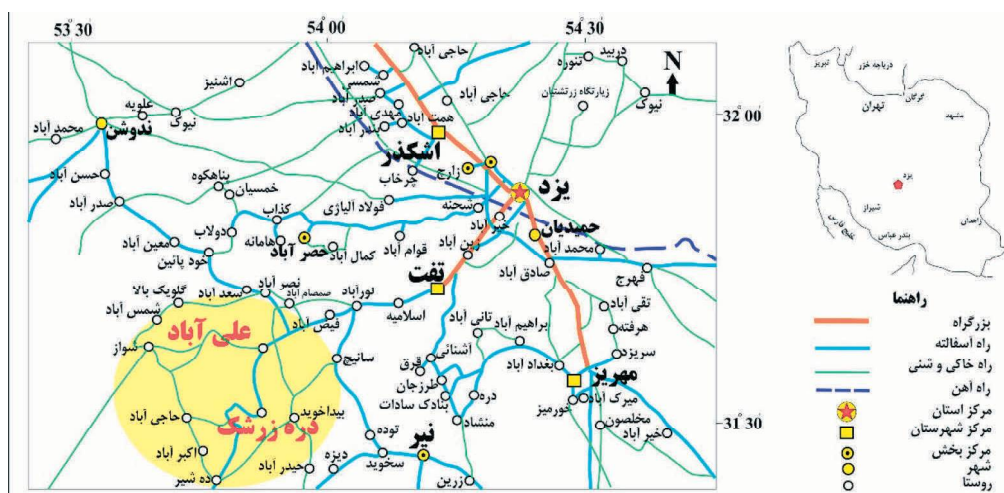
الف- تعریف شاخص کیفیت توده سنگ (RQD)

شاخص کیفی توده سنگ را دیری در سال ۱۹۶۳ (Deere, 1963) برای کمی کردن خصوصیات کیفی سنگ ارائه کرد (Deere and Deere, 1988). این شاخص تنها بر اساس میزان شکستگی توده سنگ پایه‌ریزی شده است

بالا شده و شرایط را برای جایگیری توده‌های نفوذی و تشکیل نهشته‌های مس فراهم آورند. شکستگی‌های استوک‌ورک مهم‌ترین کنترل‌کننده‌های ساختاری در نهشته‌های مس پورفیری به حساب می‌آیند (USGS, 2008).

شکستگی‌ها عوارضی پیوسته و از نظر ساختاری آنیزوتروپ در پوسته بالایی زمین هستند (Caine et al., 1996). نواحی گسلیده از نظر مکانیکی بخشی از سامانه‌های شکستگی محسوب می‌شوند. در نواحی گسلیده، چگالی شکستگی‌ها در مرکز گستره گسلش بیشتر است. بر پایه مطالعات ساختاری صورت گرفته، پهنه‌های گسلیده وضعیت سنگ‌ها را در امتداد گسل تغییر می‌دهند (Chester and Logan, 1987; Chester et al., 1993). به‌طورمعمول اطلاعات محدودی که به‌وسیله مطالعات میدانی به دست می‌آید برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی سطحی به کار می‌رود و کاربردی برای مدل‌سازی دقیق سیستم‌های گسلی به‌صورت سه بعدی ندارد (Escuder Viruetea et al., 2003). همچنین شناسایی روندهای گسلی با استفاده از مطالعات سطحی در مواقعی که رخنمون‌ها به‌صورت پیوسته وجود ندارند و یا توسط آبرفت‌ها و واحدهای نابرجا پوشیده شده‌اند کار دشواری است. در مناطقی که اطلاعات دقیق و صحیحی از روند سامانه‌های گسلی موجود نباشد، نمی‌توان اطلاعات مناسبی در مورد مسائلی همچون نفوذپذیری، تخلخل و ذخایر معدنی به دست آورد (Asghari and Madani, 2011). به‌این ترتیب، در زمان مواجهه با محدودیت‌های یاد شده، می‌توان از داده‌های ژئوتکنیکی بهره‌جست (Madani and Asghari, 2012). شاخص کیفیت توده سنگ (RQD) یک پارامتر موثر در توصیف وضعیت درزه‌ها و شکستگی‌ها در توده سنگ محسوب می‌شود. با استفاده از RQD محاسبه شده در مغزه‌های حاصل از حفاری گمانه‌ها می‌توان وضعیت گسل‌ها و شکستگی‌ها را به‌صورت سه‌بعدی بازسازی کرد.

حفاری، مهم‌ترین روش اکتشاف ذخایر معدنی می‌باشد. عملیات مختلفی که برای حفاری یک گمانه استوانه‌ای شکل در زمین انجام می‌گیرد، موسوم به گمانه‌زنی یا حفاری می‌باشد که امتداد گمانه‌ها کم‌وبیش قائم است. طول گمانه می‌تواند از چند سانتیمتر تا چند کیلومتر تغییر کند. این روش علاوه



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه (سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۷۵)

شکستگی‌ها و درزه‌ها می‌توانند ما را به شناسایی روندهای گسلش رهنمون کند.

ب- تعیین روندهای گسلش با استفاده از شاخص کیفی توده سنگ

در این پژوهش از اطلاعات گمانه‌های اکتشافی حفر شده توسط شرکت ملی صنایع مس در معادن مس علی‌آباد و دره زرشک استفاده شد. این داده‌ها از سطح زمین تا انتهای عمق حفاری شده برای هر گمانه به صورت مجزا در عمق‌های مختلف در نرم‌افزار RockWorks 16 وارد شد. برای این کار، در اعماق مختلف در گستره معادن مورد مطالعه، میزان RQD با روش^۱ (IDW) درون‌یابی شد. در این روش ارزش هر نقطه مجهول از طریق ارزش داده‌های نقطه معلومی که در مجاورت نقطه مجهول مورد نظر قرار دارد، تعیین می‌شود. برای درون‌یابی به روش IDW باید داده نقطه‌ای داشت. در ادامه، جهت بررسی عمقی وضعیت معیار RQD اقدام به تهیه مقاطع عرضی شد و بر اساس آن نیم‌رخ‌هایی رسم شد. باید به این حقیقت توجه کرد که کم بودن میزان RQD نشان از وجود پهنه‌های شکستگی داشته و به وسیله آن می‌توان به مناطق گسلیده در عمق پی برد. به این ترتیب، در گستره‌هایی که میزان RQD کمتر باشد، می‌توان آثار گسلش را در آن جستجو کرد. با توجه به الگوی میزان RQD در اعماق مختلف، روندهای اصلی گسلش شناسایی و با ساختارهای برداشت شده سطحی مقایسه شد.

و درباره استقامت و ابعاد هندسی و یا خصوصیات سطوح ناپیوستگی هیچ‌گونه اطلاعاتی ارائه نمی‌دهد. مبنای محاسبه شاخص RQD اندازه‌گیری طول قطعات مغزه به دست آمده برای یک دور حفاری است. به عبارت دیگر RQD درصد اصلاح شده بازیابی مغزه است که به عنوان نسبت مجموع طول مغزه‌های با طول بیش از ۱۰ سانتی‌متر در امتداد محور مغزه به طول کل هر دور حفاری تعریف می‌شود. این شاخص توسط رابطه زیر تعیین می‌شود (Wang et al., 2014).

$$RQD = \frac{\sum L \geq 10 \text{ cm}}{L} \times 100$$

که در آن L طول کل هر دور حفاری می‌باشد. انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ برای تعیین RQD، حداقل اندازه مغزه را NX (۵۴/۷ میلی‌متر) پیشنهاد کرده است که توسط مغزه‌گیر دوجداره با استفاده از یک سرمته الماسی، حفاری شده باشد. از آنجا که سنگ‌های رسی (آرژیلیتی) مانند شیل‌ها در مجاورت هوا، رطوبت از دست داده و ترک می‌خورند و فاصله بین سطوح ناپیوستگی آن‌ها تغییر می‌کند، لازم است بی‌درنگ بعد از تهیه مغزه حفاری به تعیین RQD پرداخت. هنگام محاسبه طول مغزه، لازم است از تمام شکستگی‌های مصنوعی چشم‌پوشی کرد. همچنین هر چه سرعت حفاری کمتر باشد، مقدار RQD با دقت بالاتری تعیین می‌شود. با توجه به توضیحات ارائه شده، RQD به میزان چشمگیری متاثر از ساختار زمین است. گسل‌ها عامل اصلی ایجاد شکستگی‌ها و ناپیوستگی‌ها محسوب می‌شوند. الگوی

1. Inverse Distance Weighted

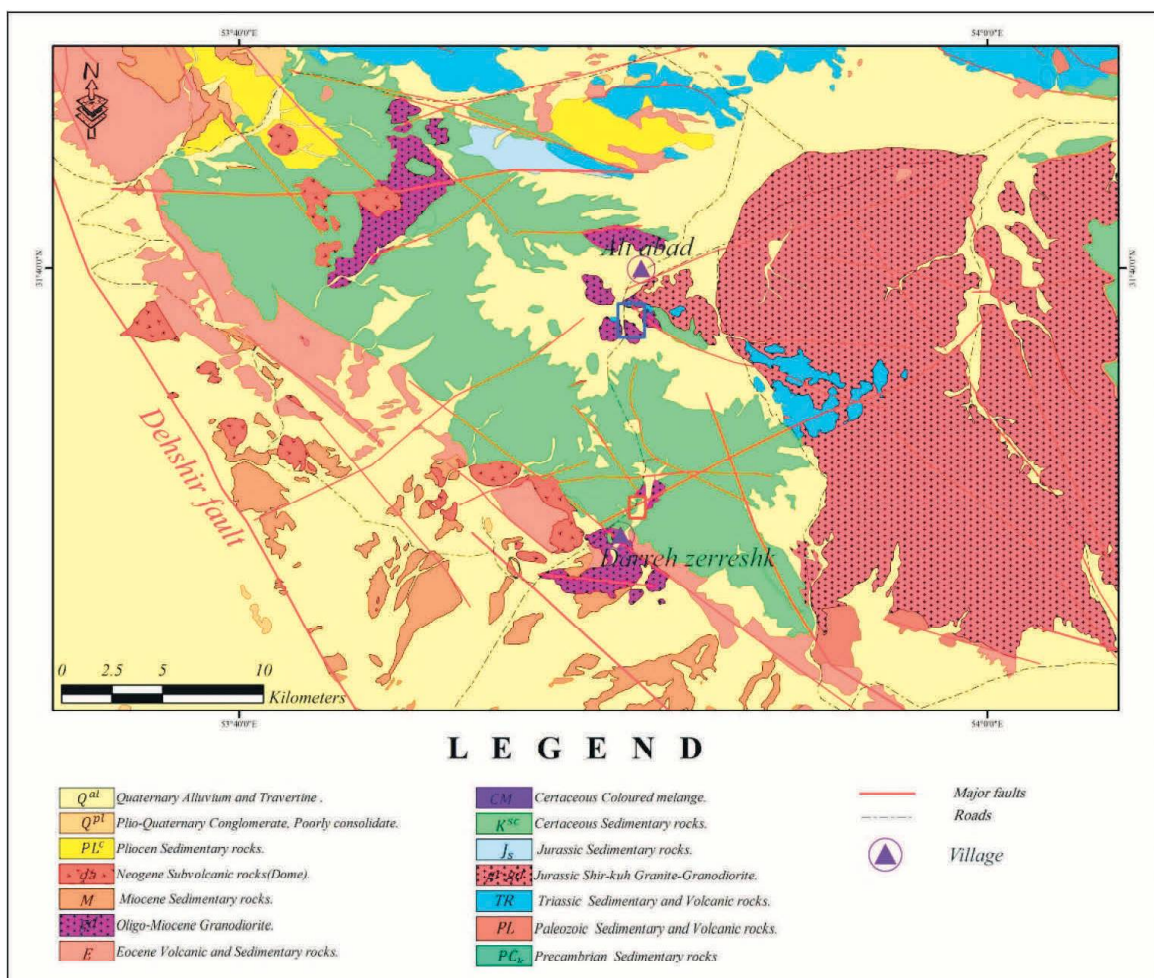
دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت) با سن ائوسن-الیگوسن تا میوسن نفوذ کرده‌اند. شکل‌گیری این کمربند ناشی از فرورانش صفحه عربستان به زیر خرد قاره ایران در حد فاصل ژوراسیک پسین تا میوسن بوده است (Mohajjel et al., 2003; Stocklin, 1984; Alavi, 1994; Berberian and King, 1981).

منطقه مورد مطالعه در بخش میانی کمربند ماگمایی (آتشفشانی-نفوذی) ارومیه-دختر قرار گرفته است. گستره مورد نظر در مجاورت بلوک شرقی گسل اصلی دهشیر با سازوکار حرکتی راست‌الغزراست برقرار گرفته است. قدیمی‌ترین سنگ‌های آذرین این کمربند در منطقه مورد مطالعه شامل توده باتولیتی شیرکوه می‌باشد که در سازند شمشک تزریق شده است و به وسیله سازند سنگستان پوشیده شده است (Sheibi and Esmacili, 2010) (شکل ۲).

پس از انجام مطالعات ساختاری در گمانه‌های موجود، توجه به فاصله گمانه‌ها از ساختارهای اصلی استنباط شده، تعدادی از گمانه‌ها برای بررسی عیار کانی مس در عمق‌های مختلف انتخاب شدند. سپس، نقشه‌های سطوح هم‌پتانسیل از میزان عیار مس در عمق‌های مختلف (با استفاده از نرم‌افزار RockWorks16) تهیه شد. برای این کار، در اعماق مختلف در گستره معادن مورد مطالعه، میزان عیار مس با روش (IDW) درون‌یابی شد.

زمین‌شناسی منطقه

کمربند ماگمایی ارومیه-دختر با طول تقریبی ۱۶۰۰ کیلومتر از آذربایجان در شمال غرب ایران تا شمال بندرعباس در جنوب ایران کشیده شده است. سنگ‌های آذرین این پهنه شامل سنگ‌های آذر-آواری فلسیک تا مافیک به سن کرتاسه تا ائوسن می‌باشند که درون آنها توده‌های گرانیتوئیدی (شامل



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

سازند سنگستان توسط واحدهای آهکی سازند تفت با سن بarmین-آپتین پوشیده شده است. سنگ‌های آذرآوری ائوسن (به‌طور عمده توف‌های ریولیتی) در شمال تا شمال شرق گستره رخنمون یافته‌اند. در توالی‌های مزوزویک-پالئوسن سنگ‌های گرانیتی با سن الیگوسن (۲۶ میلیون سال) و مجموعه‌های گرانیتوئیدی با سن میوسن (۱۷-۱۲ میلیون سال) نفوذ کرده‌اند (Zarasvandi et al., 2004). در داخل این توده‌های نفوذی کانی‌زایی مس پورفیری رخ داده است. همچنین نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی در داخل سنگ‌های آهکی گستره موجب کانی‌زایی مس و آهن نوع اسکارن شده است (Zarasvandi et al., 2005). در گستره کانی‌زایی فراگیرترین دگرسانی در رخنمون‌ها و مغزه‌های حفاری دگرسانی پتاسیک است. در بخش غربی گستره دگرسانی فیلیک به چشم می‌خورد که بر روی دگرسانی پتاسیک و پروپلیتیک ترانهاده شده است.

بررسی سطحی گسل‌های ناحیه‌ای

بررسی راستا و سازکار این گسل‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی گسل‌های اصلی گستره مورد مطالعه را از این لحاظ می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد (شکل ۳):

- گسل‌هایی با راستای شمال، شمال غرب-جنوب، جنوب شرق با سازکار راستالغز راستبر (مثل گسل دهشیر)
- گسل‌هایی با راستای شمال غرب-جنوب شرق با سازکار معکوس با مقداری مولفه راستالغز راستبر (نظیر گسل بافت) که به‌طور عمده مرزهای جنوبی و شمالی گستره مورد مطالعه را تشکیل داده‌اند.
- گسل‌های با راستای غرب، شمال غرب-شرق، جنوب شرق با سازکار راستالغز چپ‌بر با مقداری مولفه شمال (نظیر گسل‌های علی‌آباد و دره زرشک)، این گسل‌ها جدیدترین نسل گسل‌های گستره مورد مطالعه محسوب شده و تمامی ساختارهای منطقه را قطع کرده‌اند.

مهم‌ترین خصوصیات گسل‌های مذکور بر اساس شواهد و اندازه‌گیری‌های صحرایی به شرح ذیل می‌باشند:

الف- گسل دهشیر: گسل دهشیر با راستای

این توده باتولیتی خصوصیات گرانیت‌های نوع S-type را داشته و از انواع به‌شدت غنی از آلومین محسوب می‌شود (Sheibi and Esmaeili, 2010). همچنین سنگ‌های آذر-آواری فلسیک تا مافیک به سن کرتاسه تا ائوسن نیز در منطقه مشاهده می‌شوند که می‌تواند مربوط به کمان ماگمایی حاصل از فرورانش بوده باشد. این سنگ‌ها از نظر ژئوشیمیایی دارای ترکیب کالک‌آلکالین (بیشتر از نوع I-type) می‌باشند (Zahedi et al., 2014). درون این رخنمون‌های سنگی، توده‌های گرانیتوئیدی (شامل دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت) نوع I-type با ترکیب کالک‌آلکالین به سن الیگوسن تا میوسن نفوذ کرده‌اند (Zarasvandi, 2004). با آغاز فرایند برخورد صفحه عربی به ریزقاره ایران در گستره زمانی ائوسن-الیگوسن، پدیده جدایش کمربند بنیوفا و غوطه‌ور شدن آن رخ داده است. پی‌آیند این پدیده، بالا رفتن گرادیان حرارتی و نفوذ توده‌های آذرین بوده است (Mohajjel et al., 2003; Moritz et al., 2006; Agard et al., 2011).

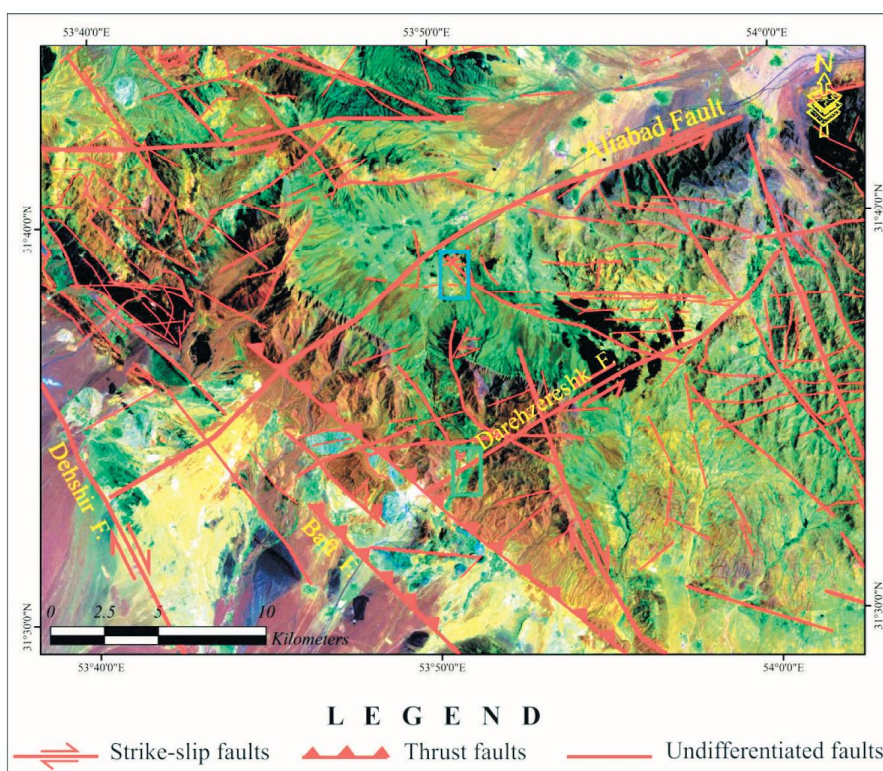
کانسارهای مهم منطقه

الف- کانسار علی‌آباد: قدیمی‌ترین واحد رخنمون یافته در گستره علی‌آباد سازند سنگستان به سن ژوراسیک پسین تا کرتاسه پیشین می‌باشد که از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل تشکیل شده است. این واحدها در بخش شمالی و جنوبی گستره توسط توف‌های ریولیتی تا ریوداسیتی و لاواها پوشیده شده‌اند. داخل سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی یاد شده توده‌های گرانیتی و گرانودیوریتی با سن میوسن نفوذ کرده است. کانی‌زایی مس در استوک‌های گرانیتوئیدی به سن حدود ۱۵ میلیون سال رخ داده است. دگرسانی فیلیک، فراگیرترین دگرسانی در گستره این کانسار می‌باشد. دگرسانی پتاسیک در بخش‌های سطحی این کانسار قابل مشاهده نیست و دگرسانی آرژیلیک (کوارتز+ کائولینیت+ مونت‌موریونیت+ سرسیت) در بخش‌های شمالی آن گزارش شده است (Zarasvandi, 2004).

کانسار دره زرشک: از نظر چینه‌شناسی در بخش شرقی و غربی این کانسار واحدهای سازند سنگستان به سن ژوراسیک بالایی تا کرتاسه زیرین رخنمون یافته است. این سازند از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل تشکیل شده است.

(Moshrefi et al., 2005). با توجه به اینکه سایر راستاهای گسلش در منطقه، گسل دهشیر و سایر گسله‌هایی با این راستا مثل گسل مهریز را بریده و جابجا کرده‌اند، می‌توان استنباط کرد که این گسل‌ها، قدیمی‌ترین نسل گسل‌های منطقه باشند. گسل دهشیر مرز غربی ساختار شکل گرفته در منطقه را تشکیل داده و مهم‌ترین گسل گستره مورد مطالعه محسوب می‌شود و به نظر می‌رسد که مهم‌ترین نقش را در فرگشت ساختاری این منطقه ایفا کرده است.

۱۵۰۰ N و طولی حدود ۳۸۰ کیلومتر، دارای عرض کمربند گسلش دو تا سه کیلومتر می‌باشد (شکل ۳). سازوکار این گسل راستالغز راستبر است و در حدود 65 ± 15 جابجایی راستبر در کمان آتشفشانی ارومیه-دختر ایجاد کرده است (Walker and Jackson, 2004 و Meyer et al., 2006). نرخ لغزش بر روی گسل دهشیر $1/2 \pm 0/3$ میلی‌متر در سال تخمین زده شده است (Le Dortz et al., 2011) و برخی سن فعالیت این گسل را کرتاسه بالایی عنوان کرده‌اند (Tabaei et al. 2016; Maghsudi et al. 2012;)



شکل ۳. تصویر ماهواره‌ای زمینگان و اصلاح‌شده منطقه مورد مطالعه به همراه گسل‌های اصلی استخراج‌شده، موقعیت معادن علی‌آباد و دره زرشک به صورت مستطیل نمایش داده شده است

(شکل ۴- A). با توجه به اینکه این گسل تمامی ساختارهای منطقه را قطع کرده است، می‌توان آن را جوان‌ترین مرحله گسلش منطقه مرتبط دانست. به نظر می‌رسد که این گسل نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری کانسار مس علی‌آباد داشته است.

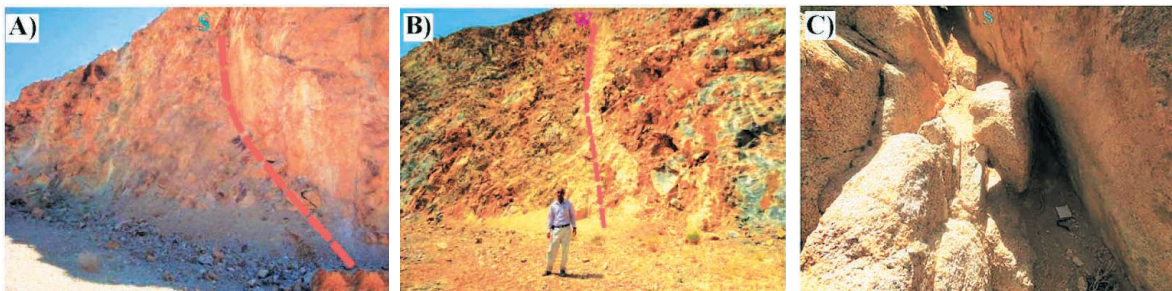
پ- گسل دره زرشک: گسل دره زرشک با راستای تقریبی $60-70$ N حدود ۶۰ کیلومتر طول دارد و به تقریب موازی گسل علی‌آباد از جنوب شرق شهر تفت آغاز و تا

ب- گسل علی‌آباد: گسل علی‌آباد با راستای تقریبی $60-70$ N دارای سازوکار راستالغز چپ بر با کمی مولفه نرمال است و نام آن از روستای علی‌آباد گرفته شده است (شکل ۳). این گسل حداقل ۷۰ کیلومتر طول دارد و عرض زون گسلش آن بیش از دو کیلومتر است و از جنوب شهرستان یزد تا شمال غرب روستای دهشیر ادامه دارد. گسل علی‌آباد به طور عمده واحدهای آهکی کرتاسه و توده‌های نفوذی شیرکوه (با سن ژوراسیک) و نفوذی‌های میوسن را متأثر ساخته است

شده است و با راستای تقریبی ۱۲۵-۱۱۵ N و طولی حدود ۸۵ کیلومتر از شمال روستای دهشیر (با نام گسل بافت) تا روستای نیر ادامه یافته است. این گسل مرز جنوبی ساختار شکل گرفته در منطقه را رقم زده است و با شیبی حدود ۷۰ درجه رو به شمال شرق دارای پهنه گسلیده‌ای با عرض بیش از چهار کیلومتر می‌باشد (شکل ۳). سازوکار این گسل با توجه به شواهد صحرایی، گسلش معکوس با مقداری مولفه راستالغز راستبر است (شکل ۴-C). این گسل نیز واحدهایی با کرتاسه و ائوسن را متاثر ساخته و به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که باید جوان‌تر از ائوسن (و جوان‌تر از گسل‌های نسل قبل) باشد.

روستای حسن‌آباد ادامه می‌یابد (شکل ۳). این گسل با طولی حدود ۶۰ کیلومتر و امتداد تقریبی ۶۰-۷۰ N در جنوب شرق گسل علی‌آباد و کم و بیش به موازات آن کشیده شده است. بر اساس مشاهدات صحرایی (شکل ۴-B) سازوکار این گسل راستالغز چپ‌بر با مقداری مولفه نرمال می‌باشد. گسل دره زرشک نیز همچون گسل علی‌آباد، به‌طور عمده واحدهای آهکی کرتاسه و توده‌های نفوذی شیرکوه (با سن ژوراسیک) و نفوذی‌های میوسن را متاثر ساخته است. با توجه به اینکه این گسل تمامی ساختارهای مسیر خود را بریده و به‌طور چپ‌بر جابجا کرده است؛ می‌توان نتیجه گرفت که این گسل نیز از نظر سنی جوان‌تر از سایر گسل‌های منطقه باشند.

ث- گسل بافت: گسل بافت از گسل دهشیر منشعب



شکل ۴. شواهد صحرایی از پهنه‌های گسلی اصلی منطقه مورد مطالعه، (A) گسل علی‌آباد، (B) گسل دره زرشک، (C) گسل بافت

بررسی سطحی ساختارها در مقیاس کانسارهای مورد مطالعه

مهم‌ترین گسل در این منطقه، گسل کانسار علی‌آباد با راستای شمال شرق-جنوب غرب است که به موازات گسل علی‌آباد و در جنوب آن قرار می‌گیرد. این گسل در بخش غربی گستره توده‌های نفوذی گرانیتی دگرسان شده را متاثر ساخته است و ادامه شرقی آن در زیر آبرفت‌های جوان ناپدید می‌شود. بر پایه شواهد صحرایی سازوکار این گسل‌ها راستالغز چپ‌بر با مولفه نرمال می‌باشد. در سطح گسل علی‌آباد می‌توان آثار دگرسانی را مشاهده کرد. شواهد گواه نقش بسیار مهم گسل علی‌آباد در شکل‌گیری کانسار علی‌آباد است.

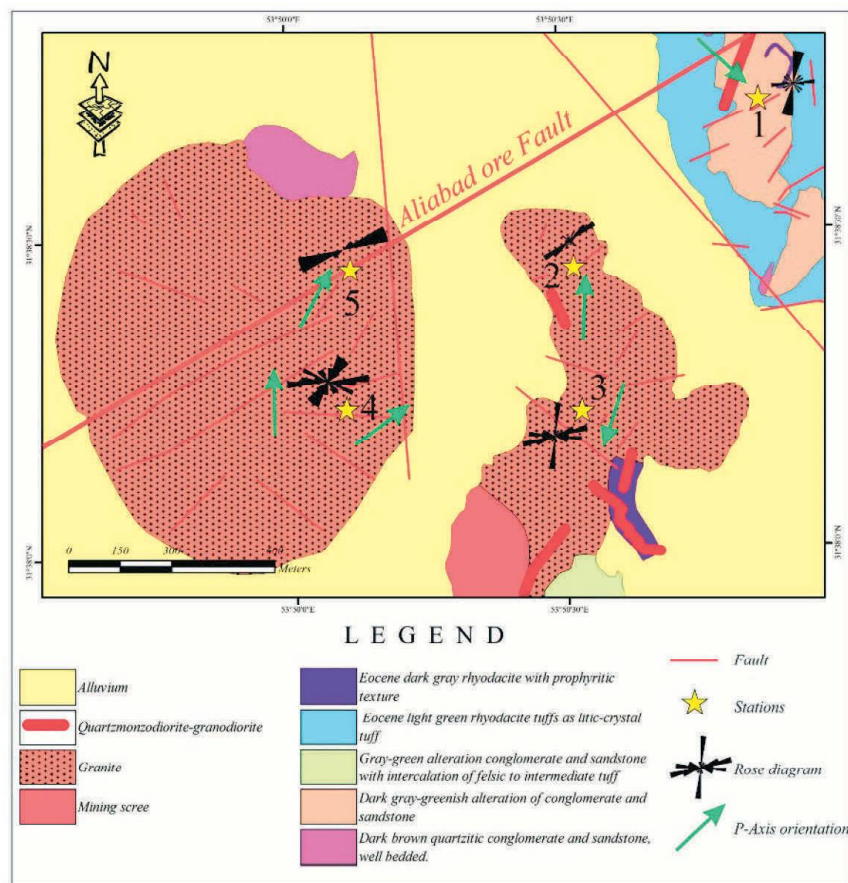
ب- ساختارها در گستره کانسار دره زرشک: در گستره کانسار دره زرشک نیز ساختارهای سطحی در چهار ایستگاه مجزا (گسل‌ها و درزه‌ها) برداشت شد. در شکل ۶ نقشه زمین‌شناسی گستره کانسار دره زرشک نمایش داده شده است. دو راستای اصلی شمال، شمال شرق-جنوب، جنوب

به‌منظور بررسی وضعیت گسل‌ها و درزه‌ها، برداشت‌های سطحی این عناصر ساختاری در مقیاس کانسار، در هر یک از کانسارهای علی‌آباد و دره زرشک انجام شد که نتایج آن به تفکیک هر کانسار در ادامه ارائه شده است.

الف- ساختارها در گستره کانسار مس علی‌آباد: در این پژوهش ساختارهای موجود در گستره کانسار مس علی‌آباد در پنج ایستگاه برداشت شد. در شکل ۵ نقشه زمین‌شناسی گستره کانسار علی‌آباد و همچنین نتایج برداشت‌ها و تحلیل‌های ساختاری ارائه شده است. در نقشه مذکور دو دسته گسله اصلی قابل مشاهده است راستای تقریبی سامانه گسلی دسته اول به تقریب شمالی-جنوبی است. سازوکار این گسل‌ها راستالغز راستبر است. راستای تقریبی دسته دوم گسل‌ها شرق، شمال شرق-غرب، جنوب غربی است.

شمال شرق-غرب، جنوب غربی دارای سازوکار راستالغز چپ‌بر هستند و شواهدی همچون وجود پله‌های کانی در سطح برخی از آنها نیز این مهم را تایید می‌کند. در سطح این نوع از گسلش می‌توان آثار دگرسانی را به‌وضوح مشاهده کرد (شکل ۴-ب). گسل دره زرشک نقش ویژه‌ای را در پیدایش کانسار دره زرشک ایفا کرده است.

غرب و شرق، شمال شرق-غرب، جنوب غرب در این نمودار برای ساختارهای برداشت شده مشهود است. راستای این گسل‌ها با گسل دره زرشک که مهم‌ترین گسل در گستره مورد مطالعه محسوب می‌شود، هم‌خوانی دارد. به عبارتی می‌توان این گسل‌ها را رده دوم گسلش در طول پهنه گسلیده گسل دره زرشک محسوب کرد. دسته گسل‌های با راستای شرق،



شکل ۵. نقشه زمین‌شناسی کانسار علی‌آباد (Zarasvandi et al., 2005) با اصلاحات و افزودن اطلاعات ساختاری، به موقعیت ایستگاه‌ها، نمودارهای گل‌سرخ و جهت‌گیری محورهای فشارش توجه شود

بررسی ساختارهای زیرسطحی (ژئوتکنیکی) در محل معادن

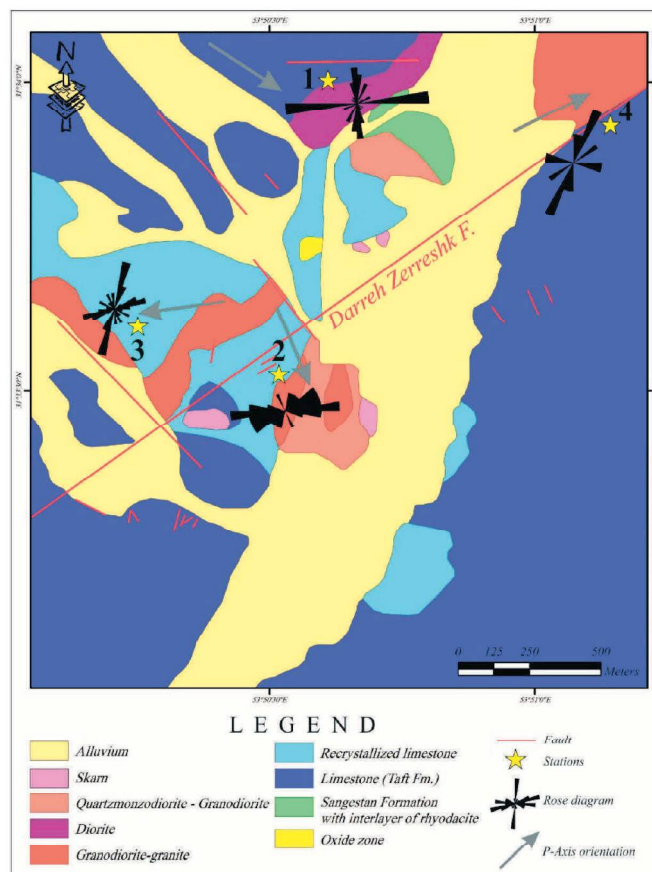
گمانه‌ها ۱۰۰ الی ۲۰۰ متر عمق دارند و پس از رسوبات عهد حاضر به‌طور عمده از توده‌های نفوذی عبور کرده‌اند.

الف-۲- کانسار دره زرشک: در این کانسار به‌منظور انجام مطالعات زیرسطحی از اطلاعات ۶۲ گمانه اکتشافی حفر شده در گستره کانسار استفاده شد. موقعیت گمانه‌های اکتشافی حفر شده در کانسار علی‌آباد در نمایش داده شده است (شکل ۷-ب).

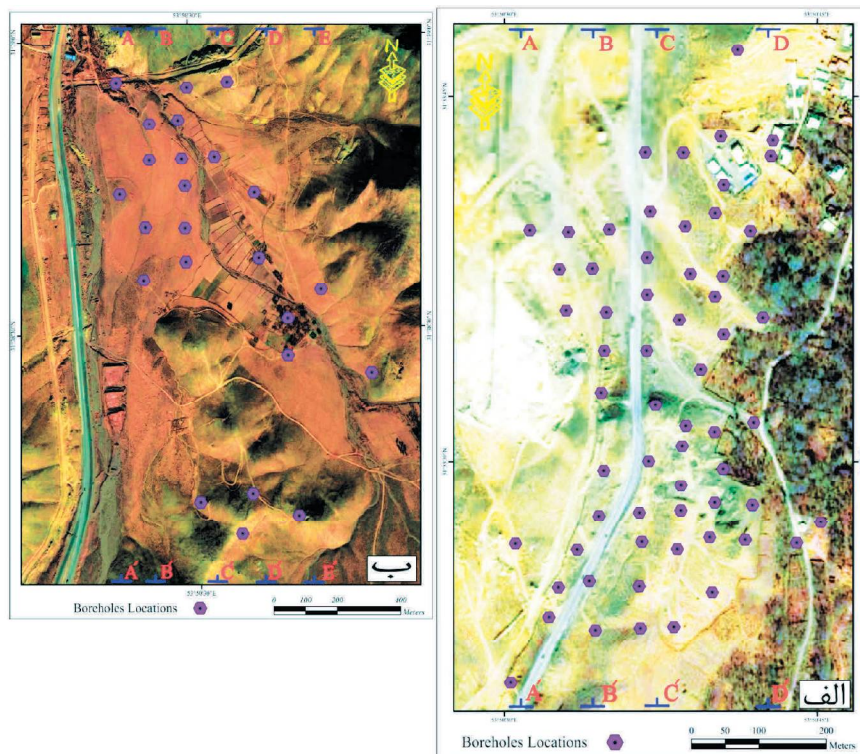
در این بخش نتایج حاصل از بررسی ساختارها با استفاده از داده‌های زیرسطحی ارائه شده است.

الف- وضعیت برداشت اطلاعات

الف-۱- کانسار علی‌آباد: برای مطالعات زیرسطحی در کانسار علی‌آباد از اطلاعات RQD استخراج شده از ۲۳ گمانه حفاری شده در رقوم ارتفاعی ۲۳۰۰ تا ۲۳۷۰ متر، در گستره کانسار مذکور استفاده شد (شکل ۷-ا).



شکل ۶. نقشه زمین‌شناسی کانسار دره زرشک (Zarasvandi et al., 2005) با اصلاحات و افزودن اطلاعات ساختاری، به موقعیت ایستگاه‌ها، نمودارهای گل‌سرخ و جهت‌گیری محورهای فشارش توجه شود



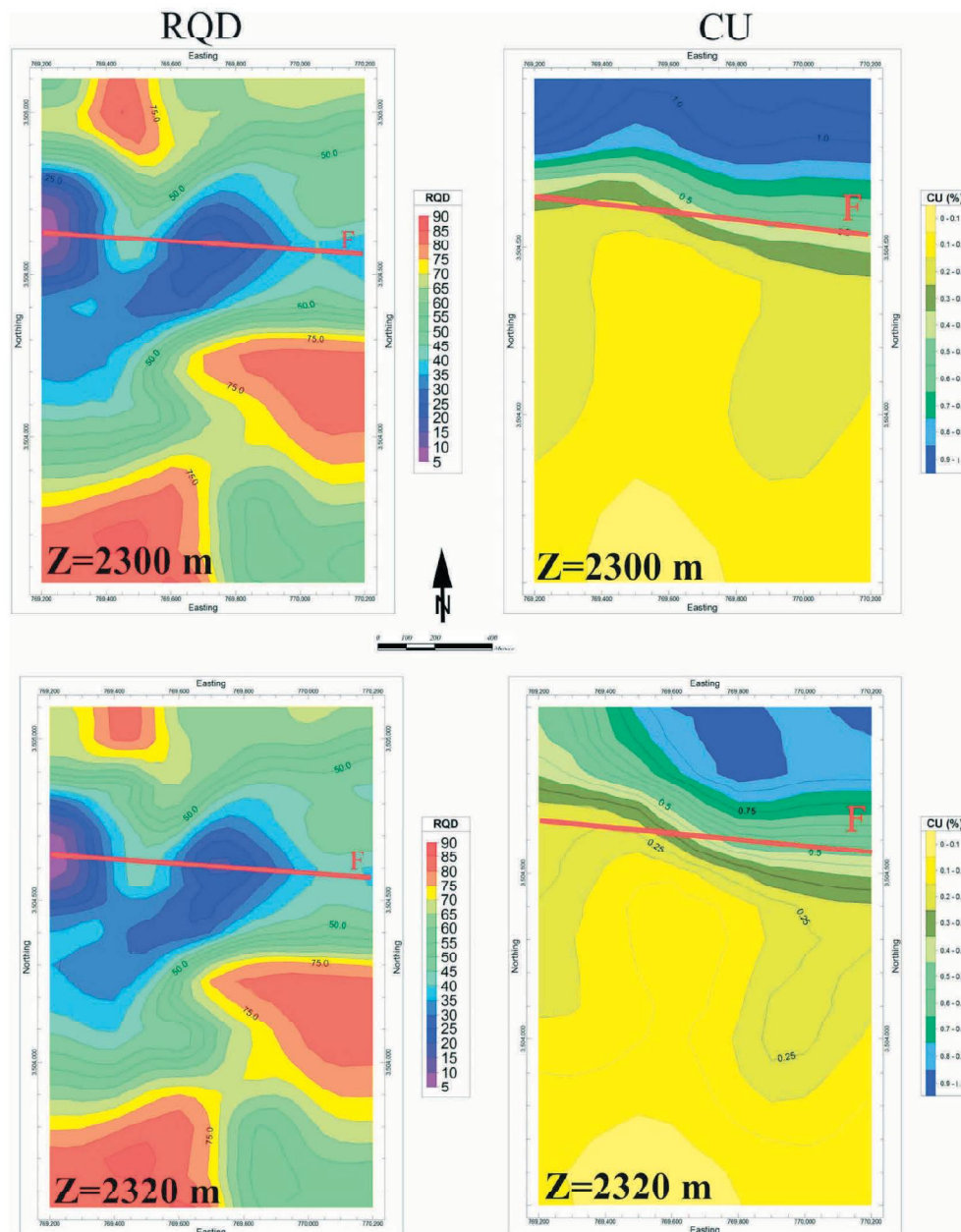
شکل ۷. موقعیت گمانه‌های اکتشافی، (A) کانسار علی‌آباد، (B) کانسار دره زرشک

علی‌آباد است که توسط رسوب‌های جوان پوشانده شده و در سطح زمین قابل مشاهده نیست. نیمرخ‌های تهیه شده از این سطوح هم‌پتانسیل (شکل ۱۰) نیز گسل یادشده را به نمایش می‌گذارد. این گسل یک پهنه خرد شده را تا عمق چند صدمتر ایجاد کرده است. تاثیر این گسل به سمت شرق گستره کمتر شده و شاید خاتمه می‌یابد.

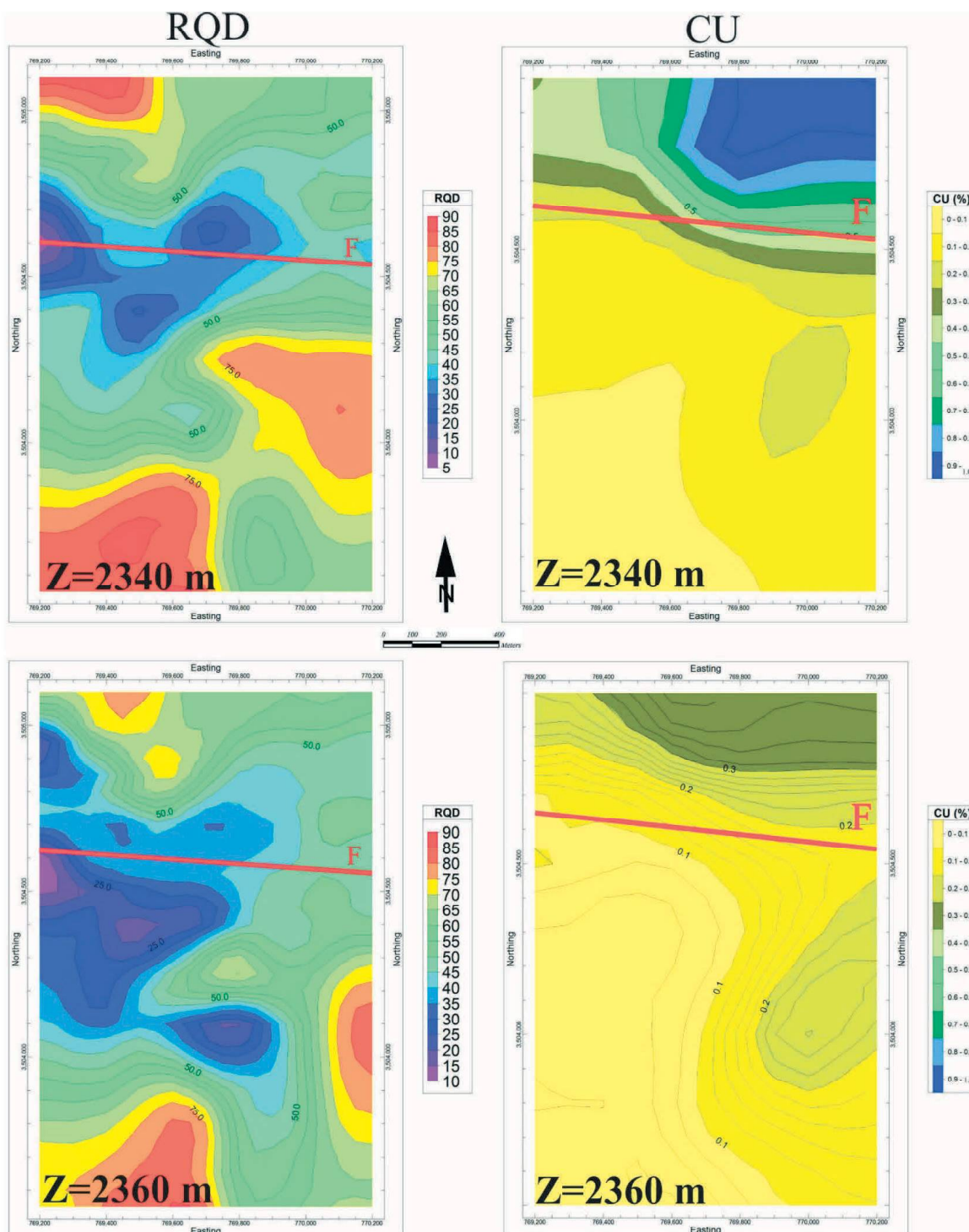
شکل‌های ۸ تا ۱۳ اعداد UTM بزرگتر نشده‌اند. راهنمای شکل‌های سمت راست کوچک و راهنمای شکل ۱۳ بسیار بزرگ است و مقیاس ندارد

ب- نتایج بررسی شکستگی‌های زیرسطحی

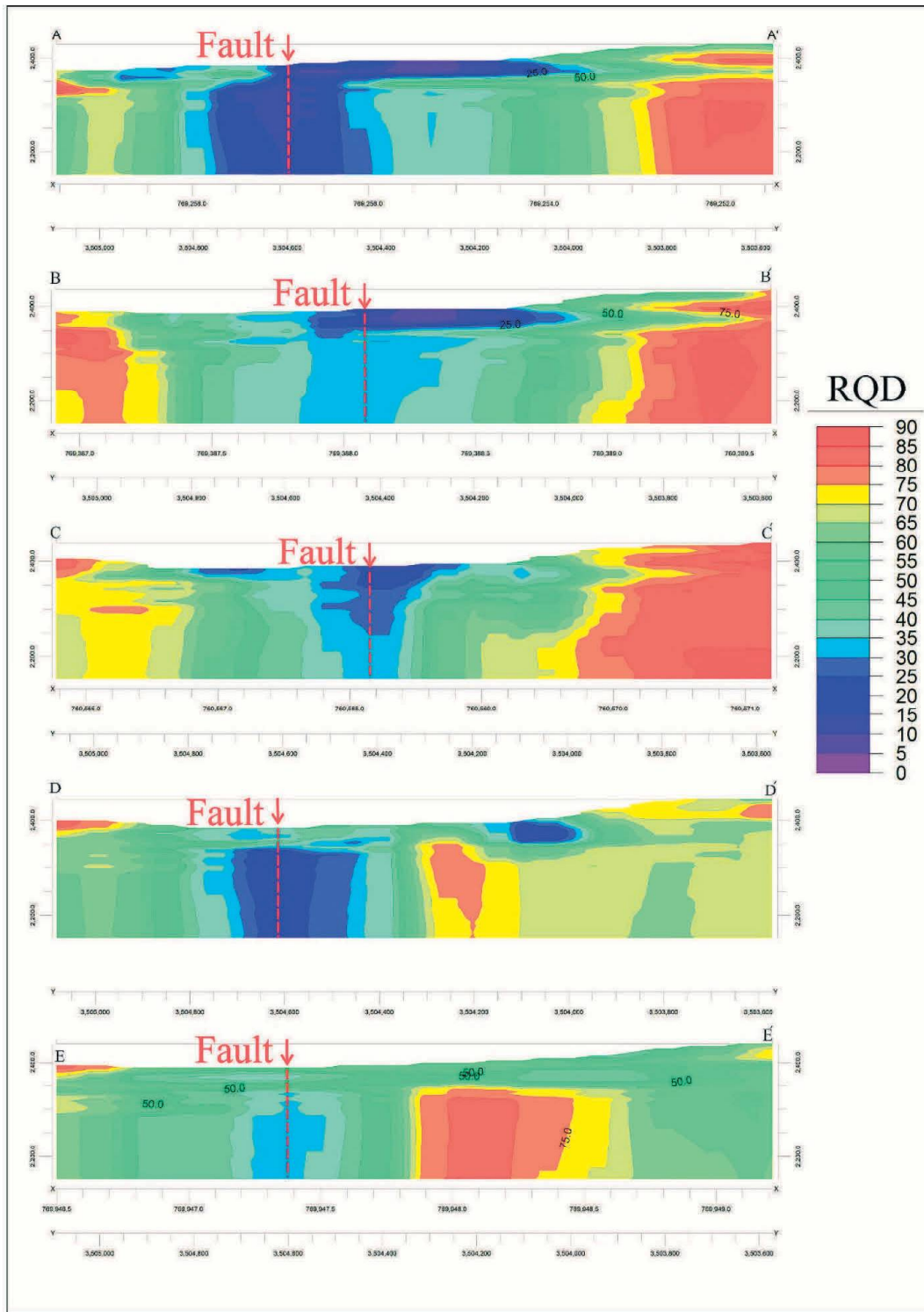
ب-۱- کانسار علی‌آباد: نقشه میزان RQD درون‌یابی شده در گستره کانسار علی‌آباد در عمق‌های مختلف (اشکال ۸ و ۹) حاکی از وجود الگوی به نسبت منظم میزان RQD در عمق‌های مختلف است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در راستای شرقی-غربی یک کاهش میزان RQD در گستره وجود دارد. این افت میزان RQD می‌تواند مرتبط با یک گسل با راستای شرقی-غربی باشد. با توجه به برداشت‌های ساختاری این گسل ادامه شرقی گسل کانسار



شکل ۸. نقشه سطوح هم‌پتانسیل مقدار RQD و عیار مس در عمق‌های مختلف در گستره کانسار علی‌آباد، اثر گسل بر محل تغییرات RQD در اعماق ۲۳۰۰ و ۲۳۲۰ متر به‌درستی مشهود است به تغییرات عیار مس در پیرامون گسل نیز توجه شود



شکل ۹. نقشه سطوح هم‌پتانسیل مقدار RQD و عیار مس در عمق‌های مختلف در گستره کانسار علی‌آباد، اثر گسل بر محل تغییرات RQD در اعماق ۲۳۴۰ و ۲۳۶۰ متر به‌درستی مشهود است به تغییرات عیار مس در پیرامون گسل نیز توجه شود

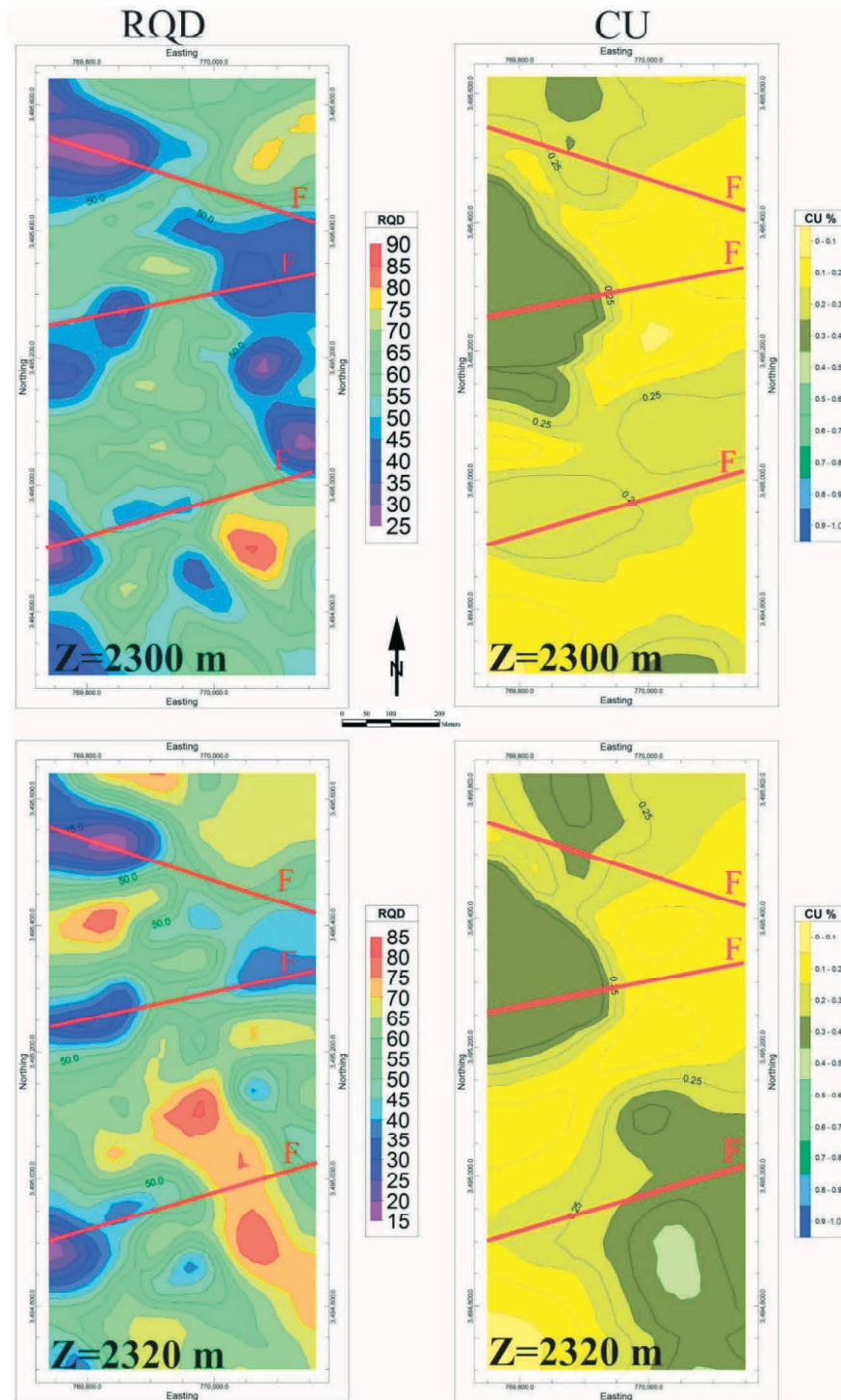


شکل ۱۰. نیمرخ‌های وضعیت RQD در عمق در گستره کانسار علی‌آباد، محل مقاطع در شکل ۷-A مشخص شده‌اند

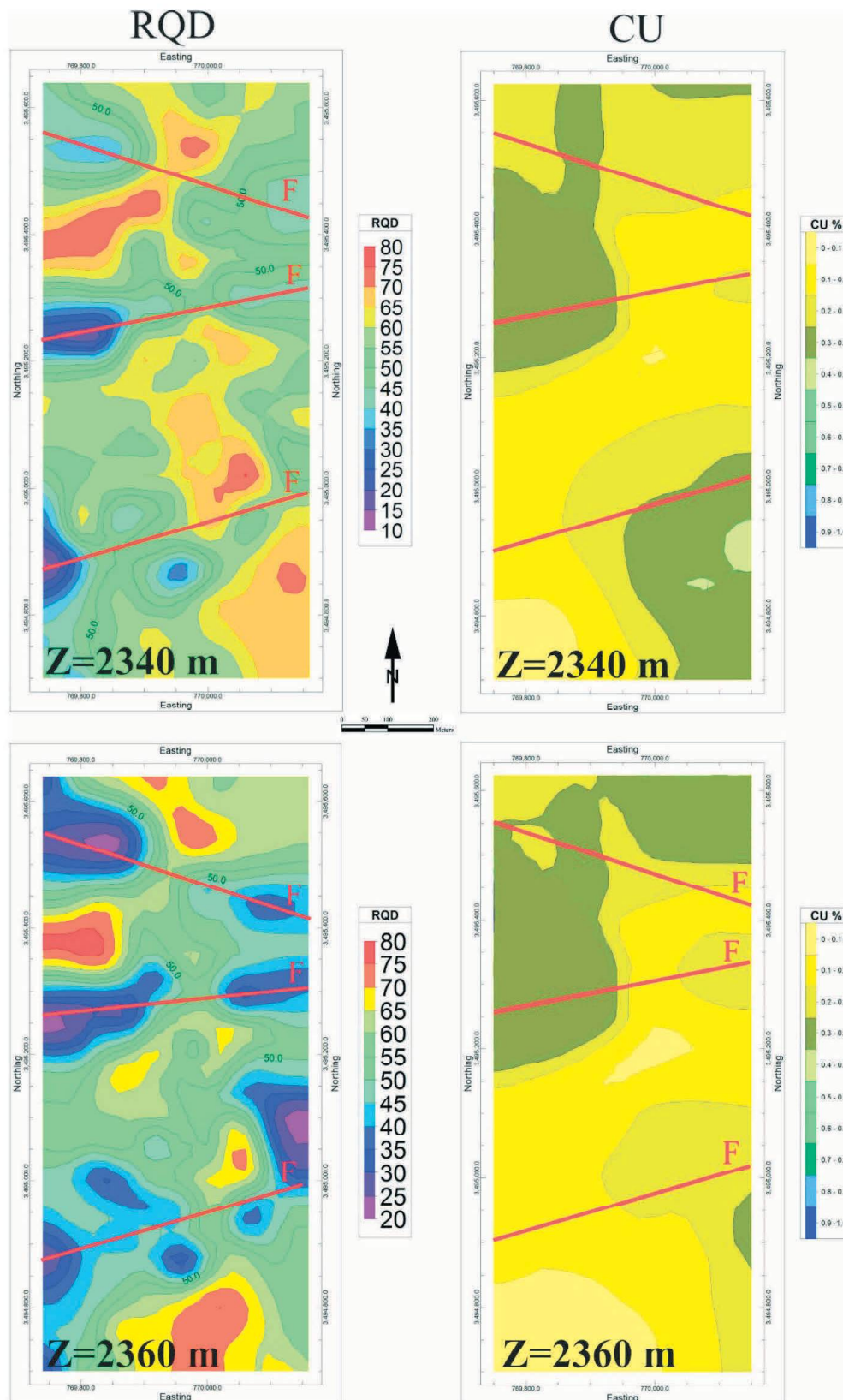
ب- کانسار دره زرشک: همان‌گونه که اشاره شد کانه‌زایی در کانسار دره زرشک از دو تیپ پورفیری و اسکارن تشکیل شده است. به همین دلیل وضعیت ساختاری در این کانسار پیچیده‌تر است و شناخت کنترل‌کننده‌های ساختاری نیز با ابهام بیشتری روبرو خواهد بود. نقشه میزان RQD درون‌یابی شده در گستره کانسار دره زرشک در عمق‌های مختلف (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) حاکی از وجود الگویی به نسبت نامنظم از میزان RQD در عمق‌های مختلف است. نتایج این

شده باشد. نیمرخ‌های تهیه شده از این سطوح هم‌پتانسیل (شکل ۱۳) نیز نشان می‌دهند که پهنه‌های گسلی برخی از این ساختارها در عمق بیشتر می‌شود. این گسل‌ها را می‌توان گسل‌های رده دوم (R و R') گسل دره زرشک در نظر گرفت.

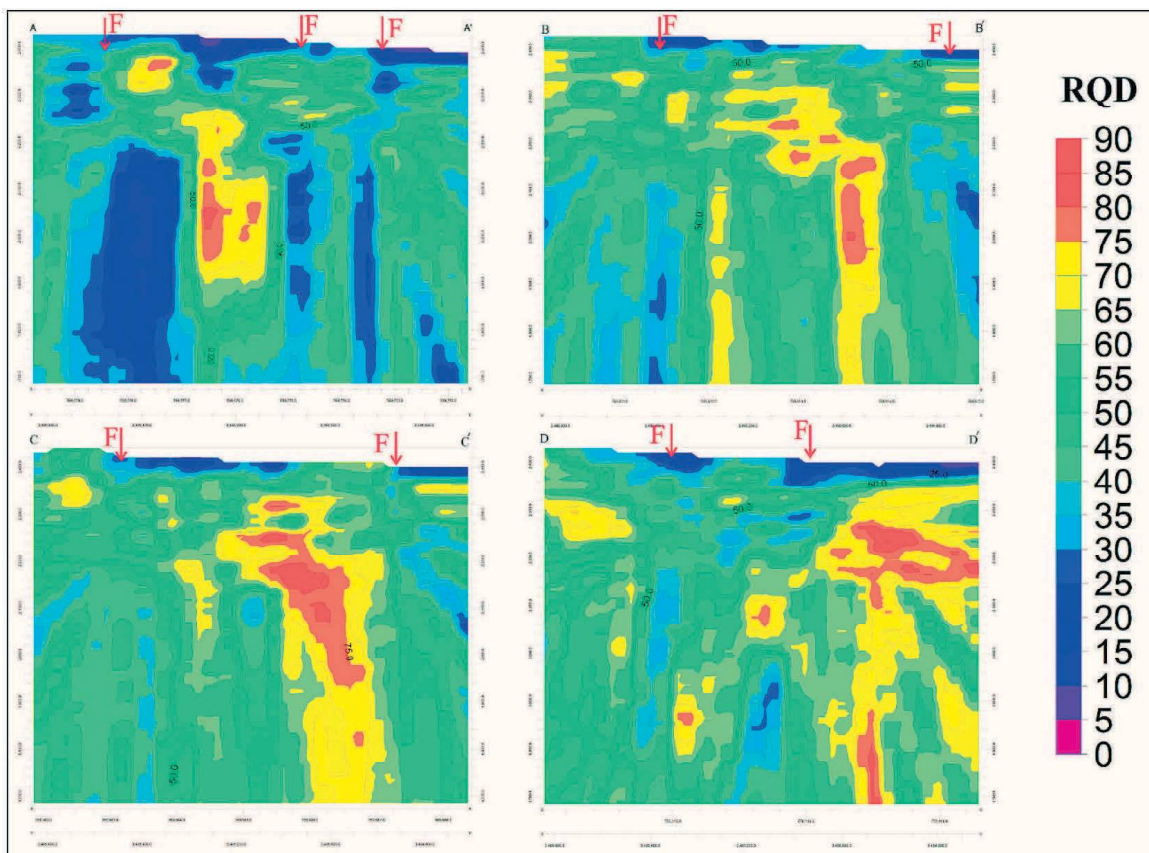
پژوهش نشان می‌دهد که در راستاهای مختلف مانند: شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی حداقل در سه مورد کاهش میزان RQD در گستره وجود دارد. این افت میزان RQD می‌تواند مرتبط با گسل‌هایی با راستاهای ذکر



شکل ۱۱. نقشه سطوح هم‌پتانسیل مقدار RQD و عیار مس در عمق‌های مختلف در گستره کانسار دره زرشک، اثر گسل بر محل تغییرات RQD در اعماق ۲۳۰۰ و ۲۳۲۰ متر به درستی مشهود است به تغییرات عیار مس در پیرامون گسل نیز توجه شود



شکل ۱۲. نقشه سطوح هم پتانسیل مقدار RQD عیار مس در عمق های مختلف در گستره کانسار دره زرشک، اثر گسل بر محل تغییرات RQD در اعماق ۲۳۴۰ و ۲۳۶۰ متر به درستی مشهود است به تغییرات عیار مس در پیرامون گسل نیز توجه شود



شکل ۱۳. نیمرخ‌های وضعیت RQD در عمق در گستره کانسار دره زرشک، محل مقاطع در شکل ۷-A مشخص شده‌اند

می‌یابد. وضعیت گسلی که از طریق تحلیل وضعیت RQD گستره به دست آمد نیز در شکل‌های ۸ و ۹ نمایش داده شده است. نکته قابل توجه همخوانی موقعیت گسل با روند کانی‌زایی در گستره کانسار است. این مسئله نقش گسل‌ها را در شکل‌گیری کانسار علی‌آباد نمایان می‌سازد.

ب- کانسار دره زرشک: در کانسار دره زرشک از نتایج تجزیه ژئوشیمیایی مغزه‌های اخذ شده از ۱۸ گمانه جهت تهیه نقشه سطوح هم‌پتانسیل از عیار مس در عمق‌های مختلف استفاده شد. این گمانه‌ها به‌طور میانگین بین ۳۰۰ الی ۶۰۰ متر عمق داشته و در واحدهای آهکی اسکارنی و توده‌های نفوذی عبور کرده‌اند. همان‌گونه که از شکل‌های ۱۱ و ۱۲ می‌توان استنباط کرد، وضعیت عیار مس در عمق‌های مختلف الگوهای نامنظمی را به نمایش می‌گذارد. در عمق‌های کمتر در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی گستره بیشترین میزان عیار مشاهده می‌شود. با افزایش عمق از میزان عیار بخش‌های جنوب شرقی کاسته می‌شود. به

بررسی عیار مس با استفاده از داده‌های زیرسطحی

پس از انجام مطالعات ساختاری در گمانه‌های موجود، با توجه به فاصله گمانه‌ها از ساختارهای اصلی استنباط شده، تعدادی از گمانه‌ها برای بررسی عیار کانی مس در عمق‌های مختلف انتخاب شدند. سپس، نقشه‌های سطوح هم‌پتانسیل از میزان عیار مس در عمق‌های مختلف (با استفاده از نرم‌افزار RockWorks16) تهیه شد. برای این کار، در اعماق مختلف در گستره معادن مورد مطالعه، میزان عیار مس با روش (IDW) درون‌یابی شد. نتایج به‌دست‌آمده به تفکیک معادن مورد مطالعه در ادامه آورده شده است.

الف- کانسار علی‌آباد: در کانسار علی‌آباد از نتایج تجزیه ژئوشیمیایی مغزه ۱۲ گمانه برای مدل‌سازی وضعیت عیار مس در عمق‌های مختلف استفاده شد. بخشی از نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. وضعیت کانه‌زایی در گستره کانسار به سمت شمال گستره افزایش

شرق-غرب، جنوب غربی هستند. در مطالعات زیرسطحی نیز این روندهای ساختاری را تا حدودی می‌توان تشخیص داد. طبق نتایج مطالعات زیرسطحی از میزان پهنه خردشدگی گسل‌ها به سمت شرق کاسته می‌شود. البته در این کانسار الگوی شکستگی‌ها نسبت به کانسار علی‌آباد نامنظم‌تر است که دلیل آن با نوع کانه‌زایی در این کانسار (پورفیری-اسکارن) مرتبط است. نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی نمونه‌های سطحی به دست آمده نشان می‌دهد که میزان عیار کانی مس در بخش غربی آن بیشتر است. در نتایج عیارسنجی زیرسطحی نمی‌توان الگوی مشخصی برای کانی‌زایی مس یافت. این مهم نشان می‌دهد که روندهای کانی‌زایی در معادن نوع اسکارن تبعیت کمتری از روندهای ساختاری دارد. در معادن نوع اسکارن هندسه توده نفوذی الگوی کانی‌زایی را مشخص می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از داده‌های زیرسطحی (معیار RQD از مغزه‌های حفاری) می‌توان در شناسایی گسل‌ها در معادن بهره برد. به‌ویژه در معادنی که به دلیل پوشش سطحی (آبرفت، گیاهان و غیره) امکان مشاهده و شناسایی دقیق ساختارها وجود ندارد. کارآمدی این روش در این پژوهش به اثبات رسید. نکته قابل توجه اینکه شناسایی روندهای گسلش در معادن مس پورفیری (مانند معدن علی‌آباد) کمک شایان توجهی در شناسایی روندهای کانی‌زایی می‌کند. به‌عنوان مثال در کانسار علی‌آباد با استفاده از داده‌های مربوط به شاخص RQD مشخص شد که یک پهنه گسلی سبب کاهش میزان RQD شده و در طول آن میزان عیار کانه‌زایی مس نیز به سمت شمال گستره کانسار افزایش می‌یابد. همچنین از این داده‌ها می‌توان برای اصلاح نقشه‌های زمین‌شناسی، پی‌جویی کانسار، طراحی الگوی استخراج کانسار و غیره استفاده کرد.

- در معادن نوع اسکارن، نمی‌توان ارتباط واضح و مشخصی بین کانی‌زایی و ساختارها یافت. با این وجود نقش گسل‌ها در ایجاد فضای مناسب برای نفوذ توده‌ها

عبارتی می‌توان این‌گونه استنباط کرد که با توجه به اینکه کانی‌زایی تیپ اسکارن در نزدیکی محل تماس توده نفوذی با واحدهای کربناته رخ می‌دهد. از این رو الگوی عیار مس در این نوع معادن متأثر از هندسه توده نفوذی هستند.

بحث

نتایج بررسی‌های زیرسطحی در دو کانسار علی‌آباد و دره زرشک نشان می‌دهد که:

- کانسار علی‌آباد: با استفاده از داده‌های مربوط به شاخص RQD مغزه‌های حفاری در کانسار علی‌آباد مشخص شد که یک پهنه گسلی سبب کاهش میزان RQD شده است. این گسل که در مطالعات صحرایی نیز آثار آن مشاهده شده، به تقریب شرقی-غربی بوده و به سمت شرق گستره، پهنه خرد شده متأثر از آن کاهش می‌یابد. این گسل به موازات و در جنوب گسل علی‌آباد قرار گرفته است. نکته قابل توجه اینکه میزان عیار کانی مس نیز به سمت شمال گستره کانسار افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، کانی‌زایی در نزدیکی گسل مذکور به شکل معناداری افزایش یافته است. در برداشت ساختاری صورت گرفته نیز از نظر سازوکار و راستا دو دسته گسل شناسایی شد. این دو دسته عبارتند از گسل‌های با راستای تقریبی شمال-جنوبی که سازوکار راستالغز راستبر دارند و گسل‌های با راستای شرقی-غربی که سازوکار راستالغز چپبر دارند. با توجه به اینکه دسته دوم گسل‌ها تمامی واحدها و ساختارهای منطقه را متأثر ساخته‌اند نسل جدیدتر گسلش در منطقه هستند. کانی‌زایی نیز در امتداد این نسل از گسلش رخ داده است. به نظر می‌رسد این دسته از گسل‌ها ابتدا به صورت کششی عمل کرده و یک محیط مساعد برای تزریق توده‌های نفوذی فراهم کرده‌اند. پس از آن با توجه به تغییر میدان تنش دچار تغییر در سازوکار خود شده‌اند.

- کانسار دره زرشک: بر اساس برداشت‌های ساختاری صورت گرفته در گستره کانسار دره زرشک، غالب گسل‌های برداشت شده دارای راستای شرق، شمال

- Caine, J.S., Evans, J.P. and Forster, C.B., 1996. Fault zone architecture and permeability structure, *Geology*, 24, 1025-1028.
- Chester, F.M. and Logan, J.M., 1987. Composite planar fabric of gouge from the Punch-bowl Fault, California, *Journal of Structural Geology*, 9, 621-634.
- Chester, F.M., Evans, J.P. and Biegel, R.L., 1993. Internal structure and weakening mechanisms of the San Andreas fault, *Journal of Geophysics Research*, 98, 771-786.
- Deere, D.U. and Deere, D.W., 1988. The RQD index in practice, proceedings symposium on Rock Classification Purposes, ASTM Special Technical Publication, 984, 91-101.
- Deere, D.U., 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes, *Rock Mechanics Engineering Geology*, 42, 397-441.
- Escuder Viruetea, J., Carbonell, R., Martí, D. and Pérez-Estau, A., 2003. 3D stochastic modeling and simulation of fault zones in the Albalá granitic pluton, SW Iberian Variscan Massif, *Journal of Structural Geology*, 25, 1487-1506.
- Ghorbani, M., 2013. The Economic Geology of Iran. Mineral Deposits and Natural Resources, Springer Science Business Media Dordrecht, 581.
- Hezarkhani, A., 2006. Hydrothermal evolution of the Sarcheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran: evidence from fluid inclusions, *Journal of Asian Earth Sciences*, 28, 4-6, 409-422.
- Kloppenburg, A., Grocott J. and Hutchinson D., 2010. Structural Setting and Synplutonic Fault Kinematic of Cordilleran Cu-Au-Mo Porphyry Mineralization System, Bingham Mining District, Utah. *Economic Geology*, 105, 743-761.
- Le Dortz, K., Meyer, B., Sebrier, M., Braucher, R., Nazari, H., Benedetti, L., Fattahi,

در مجاورت واحدهای آهکی بسیار مهم است. در کانسار دره زرشک همان گونه که داده‌های زیرسطحی نشان دادند گسل‌های با راستای تقریبی شرق، شمال شرق-غرب، جنوب غرب جدیدترین نسل گسلش هستند و نقش مهمی را در شکل‌گیری این کانسار ایفا کرده‌اند. این مهم خود نقش گسل دره زرشک را در فرگشت ساختاری و کانی‌زایی این کانسار آشکار می‌سازد.

پیشنهادها

با توجه به احتمال ادامه فرایند کانی‌زایی به موازات گسل علی‌آباد به سمت غرب پیشنهاد می‌شود در مطالعات تکمیلی ذخیره این کانسار، گمانه‌هایی در راستای گسل کانسار علی‌آباد در بخش شرقی توده نفوذی طراحی شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی شرکت ملی صنایع مس انجام گرفت. از امور اکتشافات شرکت ملی مس ایران به‌ویژه جناب مهندس بابک بابائی، جناب مهندس حسین تقی زاده و جناب مهندس کامبیز خراسانی بابت فراهم کردن شرایط مساعد برای انجام این پژوهش سپاسگزاریم.

منابع

- سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۷۵. نقشه راه‌های ایران، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰
- Agard, P., Omrani, J. and Jolivet, L., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process, *Geological Magazine*, 148, 5-6, 692-725.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-238.
- Asghari, O. and Madani N., 2011. A new approach for the geological risk evaluation of coal resources through a geostatistical simulation, *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 2, 839-839.
- Berberian, M. and King G. C. P., 1981. Towards a paleogeography and Tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-25.

- M., Bourles, D., Foroutan, M., Siame, L., Rashidi, A. and Bateman, M.D., 2011. Dating inset terraces and offset fans along the Dehshir Fault (Iran) combining cosmogenic and OSL methods, *Geophysical Journal International*, 185, 1147-1174.
- Madani, M. and Asghari, O., 2012. Fault detection in 3D by sequential Gaussian simulation of Rock Quality Designation (RQD), *Arabian Journal of Geosciences*, DOI: 10.1007/s12517-012-0633-3.
 - Maghsoudi, M., Ghorashi, M. and Nezampour, M. R., 2012. Structural evidence of changes in tectonic regime from compressional stresses to compression-shear stress in southeast of the Gavkhuni (Khushab region), *Journal of the Earth*, 24, 197-212.
 - Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O. and Agard, P., 2006. Evidence of quaternary activity along the Dehshir Fault, *Geophysical Journal International*, 164, 192-201.
 - Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahanadi, M. R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, eastern Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397-412
 - Moritz, R., Ghazban, F. and Singer, B. S., 2006. Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan tectonic zone, eastern Iran: a result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros orogeny, *Economic Geology*, 101, 1497-1524.
 - Moshrefifar, M.R., Alavi, A. and Mohajjel, M., 2005. Separation of Paleostresses phases on heterogeneous fault-slip data in the central part of Dehshir fault, *Journal of Earth Science*, 69, 64-73.
 - Richards, J.P., 2003. Tectono-Magmatic Precursors for Porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation, *Economic Geology*, 98, 1515-1533.
 - Sheibi, M. and Esmacili, D., 2010. Petrological and Geochemical evidences of Restite in Shirkuh Anatectic Granites, SW of Yazd, Iranian Crystallography and Mineralogy Journal, 18,1, 135-146.
 - Tabaei, M., Mehdizadeh, R. and Esmacili, M., 2016. Stratigraphical evidences of the Qom-Zefreh fault system activity. Central Iran, *Journal of Tethys*, 4 ,1, 018-026.
 - Tosdal, R.M. and Richards, J.P., 2001. Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu \pm Mo \pm Au deposits, *Society of Economic Geology*, 14, 157-181.
 - USGS., 2008. Preliminary model of porphyry Cu deposits, United States Geological Survey Report 2008-1321,62.
 - Walker, R. and Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23, TC5010, doi:10.1029/2003TC001529.
 - Wang, H., Xu, W., Shao, J. and Skoczylas, F., 2014. The gas permeability properties of low-permeability rock in the process of triaxial compression test, *Materials Letters*, 116, 386-388.
 - Zahedi, A., Boomeri, M., Nakashima, K., Mackizadeh, A., Ban, M. and Lentz, D., 2014. Geochemical characteristics, origin, and evolution of ore-forming fluids of the Khut Copper Skarn Deposit, West of Yazd in Central Iran, *Journal of Resource Geology*, 64,3,209-232.
 - Zarasvandi, A.R., 2004. Geology and genesis of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad copper deposits, Southwest of Yazd, based on fluid inclusion and isotope studies, Shiraz University, Iran, PhD Thesis, 280.
 - Zarasvandi, A.R., Liaghat, S. and Zanetilli, M., 2005. Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Central Iran, *International Geology Review*, 47, 620-664.