فصلنامه زمین‌ساخت

بهـار ۱۴۰۲، سـال هفتـم، شـماره ۲۵

doi 10.22077/jt.2024.7540.1174

کانه‌سازی مس در بستر تحولات زمین ساختی لبه غربی کمربند گرانیتی زاهدان؛ مثالی از منطقه جهانگیروک

مهدی کوهساری[۱]، ساسان باقری[۲*]، عبدالرضا پرتابیان[۳]، آرش احمدی[۴]، الهام بهرام نژاد[۵]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲-دانشیار تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۳- دانشیار تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۴-کارشناس ارشد زمین شناسی، شرکت آریا مس شرق، زاهدان، ایران.

۵-دکتری پترولوژی، شرکت آریا مس شرق، زاهدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

چکیده:

لبـه غربـی کمربنـد گرانیتـی زاهـدان بسـتر کانه‌زایی‌هـای متنوعـی از جملـه مـس، آهـن، آنتیمـوان و طـلا بـوده اسـت. بـر مبنـای مقایسـه زمـان نسـبی و فضـای مناسـب انتقـال و جای‌گیـری رگه‌هـای کانیایـی و عناصـر دگرشـکلی در دو منطقـه کانه‌سـازی مـس در شـمال و جنـوب جهانگیروک-غـرب زاهـدان، چنیـن اسـتنباط می‌گـردد کـه فراینـد کانی‌سـازی نسـبتاً جـوان و مرتبـط بـا سـاختارهای دگرشـکلی مختلفـی بـوده اسـت؛ ایـن سـاختارها فرصـت و فضـای کافـی بـرای حرکـت و تبلـور سـیال از سـیل‌های حامـل گدازه‌هـای بازالـتی آمفیبـول دار را فراهـم نموده‌انـد. سـیالات کانـه سـاز بـه نظـر هم‌زمـان یـا کمـی بعـد از گسـلش عمومـی تراسـتی در منطقـه از طریـق کانال‌هـا و مجـاری بـا راسـتای عمدتـاً شـمال غربـی و شـیبی بـه سـمت شـمال شـرق بالاآمده‌انـد. در معـدود مـواردی کانه‌سـازی مرتبـط بـا مؤلفه‌هـای کششـی بـا رونـد شـمال شـرق بـوده اسـت. در منطقـه شـمالی ارتبـاط مجـاری سـیالات کانـه سـاز و کانسـار متمرکـز در بازالت‌هـا در چاهک‌هـای حفـاری شـده قابـل رویـت اسـت؛ امـا در منطقـه جنوبـی ایـن ارتبـاط یـا رخنمـون نداشـته و یـا در حـال حاضـر بـه دلیـل فقـدان چاهک‌هـای مشـاهده‌ای دیـده نمی‌شـود. در حادثـه دگرشـکلی جوان‌تـر، فعالیـت مجـدد گسـل‌های رانـده و یـا ایجـاد نسـل جدیـدی از گسـل‌ها هم‌زمـان بـا خمـش اروکلاینـی در شـرق، شـرایط بـرای توسـعه مرحلـه سـوپرژن و انحـلال کانسـار اولیـه و جای‌گیـری مجـدد سـیالات خصوصـاً در امتـداد فابریک‌هـای قدیمـی فراهـم آمـده اسـت.

کلیدواژه‌ها: طلای کوه‌زایی، پهنه جوش‌خورده سیستان، ارتباط کانه‌زایی و تکتونیک، نهشته‌های اپی‌ژنتیک، IOCG.

*ایمیل: sasan.bagheri@science.usb.ac.ir

تلفن تماس: ۰۹۱۳۲۱۳۸۶۱۴

Copper mineralization in the context of the structural evolution of the western edge of the Zahedan granite belt; An example from Jahangiruk region

Mehdi Koohsari[1], Sasan Bagheri[1]*, Abdolreza Partabian [3]Arash Ahmadi, [4]Elham Bahram Nejad[5]

1- Master of Science in Economic Geology, Velayat University, Iranshahr, Zahedan, Iran.

2- Associate Professor of Tectonics, Geology Department, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

3- Associate Professor of Tectonics, Geology Department, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

4- Master of Science in Geology, Aria Copper company East, Zahedan, Iran.

5- PhD of Science in Economic Geology, Aria Copper company East, Zahedan, Iran.

Abstract

The western edge of the Zahedan granite belt has been a host to various minerals such as copper, iron, antimony and gold. Based on the comparison of the relative time and suitable space for the transfer and emplacement of veins and deformational fabrics in the two north and south copper ore deposits of Jahangiruk-West Zahedan, it is inferred that the mineralization process was relatively young and associated with various deformational structures; these structures have provided enough opportunity and space for fluid movement which were devoted from amphibole-bearing basaltic lavas. Ore-forming fluids through channels and conduits with a mostly northwest strike and northeast dip seem to have derived at the same time or shortly after the general thrusting event. In a few cases, the mineralization was related to the tensile components with the northeast trend. In the northern region, the connection between the channels of ore-forming fluids and the ore concentrated in the basalts can be seen in the drilled wells, but in the southern region, this connection is either not exposed or is currently not seen due to the lack of observation wells. In the next younger deformation event, the reactivation of thrust faults or the creation of a new generation of faults at the same time as the oroclinal bending in the east Iran, the conditions for the development of the supergene stage and the dissolution of the primary deposit and the redeposition have been provided, especially along the old fabrics.

Keywords: Orogenic gold, Sistan Suture zone, Relationship between mineralization and tectonic, Epigenetic deposits, IOCG.

*Email: sasan.bagheri@science.usb.ac.ir

Tel: +989132138614

مقدمه

زمین‌شناسی ساختاری در درک شکل‌گیری و اکتشاف نهشته‌های رگه‌ای در مقیاس‌های ناحیه‌ای، منطقه‌ای و پیکره ماده معدنی نقش بسیار مهمی بازی می‌کند (Peters, 2001; Chauvet, 2019; Zhai et al ., 2014; Faulkner et al., 2010). شناسایی زمان حوادث ساختاری در یک محدوده کانی‌سازی اجازه تقسیم‌بندی و تجزیه‌وتحلیل کانال‌های حامل سیال ماده معدنی و مدل‌سازی ژنتیکی شکل‌گیری ماده معدنی را امکان‌پذیر می‌سازد. کاربردی‌ترین مورداستفاده زمین‌شناسی ساختاری در محاسبه و تعیین عوامل مرتبط با توده معدنی است که می‌توان در تعیین ذخیره، کنترل‌کننده‌های سطحی، کنترل‌کننده درجه خلوص، موارد ایمنی و طراحی معدن از آنها بهره گرفت. مطالعات ساختاری در مقیاس‌های ناحیه‌ای و منطقه‌ای مستقیماً در سیاست‌گذاری‌های معدنی بلندمدت، طرح‌های اقتصادی و مالکیت‌های مربوطه بکار گرفته می‌شود (Peters, 2001). منشأ، بررسی ارتباط عناصر زمین ساختی نسبت به رگه‌های معدنی در محدوده مس جهانگیروک مورد پرسش است. در اینجا تلاش می‌گردد از زمین‌شناسی ساختاری به‌عنوان ابزاری برای نیل به پاسخ پرسش فوق استفاده گردد. تفکیک حوادث دگرشکلی که منطقه موردنظر پشت سر گذاشته است، بر اساس نوع، کیفیت و جهت‌یابی عناصر ساختاری مربوطه، مطالعه و تقسیم‌بندی می‌گردد. ازآنجائی‌که ماده معدنی در بخش شمالی و جنوبی ساختار کلی هندسی، صفحه‌ای شکل نشان می‌دهد، جایگاه مشخصی در تقسیم‌بندی ما خواهد داشت؛ بنابراین شناخت ماده معدنی بر اساس جهت‌یابی، موقعیت سنگ‌شناسی، موقعیت فیزیکی نسبت به گسل‌ها و سن نسبی آن در بستر سایر حوادث منطقه بارز خواهد شد. برای صحت سنجی موقعیت ماده معدنی از سایر شواهد و داده‌های تکمیلی که حتی‌الامکان در پیشینه مطالعات منطقه وجود داشته مثل اطلاعات ترانشه‌ها، چاهک‌ها و داده‌های ژئوفیزیکی استفاده می‌گردد.

زمین‌شناسی منطقه

محدوده اکتشافی جهانگیروک به دو بخش شمالی و جنوبی قابل‌تقسیم است. منطقه موردمطالعه در واقع در مرز تدریجی بین کمربند طویل گرانیت زاهدان در شمال شرق و پهنه حاوی سنگ‌های سیلیسی-کلاستیکی شامل شیل، سیلت استون و ماسه‌سنگ که مجموعاً موسوم به فلیش ائوسن در سمت جنوب غرب می‌باشد، واقع گردیده است (شکل ۱). محدوده اکتشافی مس جهانگیروک به مختصات جغرافیایی ″۱۸ ′۲۱ °۶۰ طول شرقی و ″۲۷ ′۳۷ °۲۹ عرض شمالی در ۶۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان واقع گردیده است. کمربند گرانیتی زاهدان با پهنای چند ده کیلومتر و طول در حدود ۴۰۰ کیلومتر در راستای شمال-شمال غرب کشیده شده و حاوی انواع پلوتون‌های نفوذی (برای نمونه توده درگیابان در شمال شرقی منطقه) با جنس عمدتاً گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز دیوریت است. توده‌های فلسیک از جمله لویکوگرانیت و مافیک همچون دیوریت و گابرو نیز تا حدودی بچشم می‌خورند. منشأ این توده‌ها مخلوطی از ماگماهای مشتق از گوشته و انواع ناشی از ذوب پوسته با جنس توربیدایت تعیین گشته، این توده‌ها سن بین ۴۴-۴۱ میلیون سال دارند (Mohammadi et al., 2016) و با دسته دایک‌های جوان‌تری به سن ۳۰-۲۷ میلیون سال قطع شده‌اند. این دایک‌ها ترکیب حد واسط دارند. برخی از این دایک‌ها در سنگ‌های فلیشی میزبان گرانیت‌ها نیز نفوذ کرده‌اند و گاهی به شکل سیل در منطقه موردمطالعه ظاهر شده‌اند. این سنگ‌های ساب ولکانیکی معمولاً توأم با کانی‌زایی در منطقه هستند. سنگ‌های مجموعه فلیشی در طی جای‌گیری اولیه گرانیت‌ها دچار دگرگونی حرارت بالا-فشار کم شده‌اند و بسته به عمق دگرگونی به مجموعه‌ای از شیست‌ها تا فیلیت‌های پلیتی تا پسامیتی تبدیل شده‌اند. کوردیریت معمول‌ترین کانی شاخص این سنگ‌هاست و شرایط در حد رخساره‌های آلبیت-اپیدوت هورنفلس تا زیر شیست سبز را نشان می‌دهد. هورنفلس در اعماق کم ظاهر شده است. مرز بین دو پهنه بر روی نقشه زمین‌شناسی منتشر شده منطقه با سنگ هورنفلس و با کنتاکت اولیه به نمایش گذاشته شده است (Eftekharnezhad, 1995). اما مطالعات ما به‌وضوح نشان می‌دهد که این پهنه در مرز گسله بین دو پهنه فوق واقع گردیده است. گسل راستا لغز جون آباد با طولی بالغ بر ۱۰۰ کیلومتر از مرز این دو پهنه عبور می‌کند و منطقه موردمطالعه در دیواره جنوبی آن

واقع گردیده است. در واقع یک کمربند چین-تراستی است که گسل‌های رانده حامل سنگ‌های گرانیتوئیدی و سنگ‌های دگرگونی همراه آنهاست که از سوی شمال شرق به‌سوی جنوب غرب کیلومترها جابه‌جا شده‌اند. برگشتگی چین‌های بسته، به سمت جنوب غرب، این جابه‌جایی را تأیید می‌نماید (دیواره شمالی گسل جون آباد در شمال غرب منطقه مطالعاتی). این جابه‌جایی به نظر از اعماق نسبتاً زیاد در انتهای ائوسن آغاز گشته و تا خودنمایی ساختارها بر روی سطح زمین احتمالاً در زمان الیگوسن به طول انجامیده است. این جابه‌جایی با میلونیتی شدن گسترده سنگ‌های گرانیتی و در ادامه با کاتاکلاسته شدن همین سنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های هورنفلسی شده اطراف آنها همراه گشته است. با عبور از این منطقه انتقالی به‌تدریج سنگ‌های فلیشی عاری از برش‌های گرانیتی نابرجا و هر گونه دگرگونی یا دگرشکلی قابل‌ملاحظه ظاهر گشته‌اند. در مقابل در بخش شمال شرقی این پهنه گذرا تعداد قاچ‌های تکتونیکی گرانیتی، رگه‌های لویکوگرانیتی و رگه‌های سیلیسی به فراوانی مشاهده می‌گردند. سنگ‌های فلیشی در بخش جنوب غربی حاوی لایه‌ها و توده‌های سنگ‌های ولکانیکی پورفیری هستند. آندزیت‌ها و داسیت‌های پورفیری خاکستری‌رنگ در میان توالی‌های شیل و ماسه‌سنگ دگرگون شده به حالت توده‌های محدود به گسل‌ها یا تورق‌های برشی ظاهر گشته‌اند. این سنگ‌های ولکانیکی معمولاً توأم با کانی‌زایی در منطقه نیستند. در منطقه اکتشافی جنوبی جهانگیروک شواهد تماس‌های تکتونیکی شامل گسل‌های رانده (با حرکتی از شمال شرق به جنوب غرب) بین توده‌های گرانیت میلونیت و سنگ‌های دیوریت پورفیر/آندزیت همراه با سنگ‌های دگرگونی حرارتی مانند آنچه در منطقه شمالی دیده می‌شود، در دست نیست. در اینجا در واقع با عبور از منطقه گذار (انتقالی)، به محدوده‌ای با سنگ‌های توربیدایتی (فلیشی) عاری از شواهد دگرگونی یا دگرشکلی قابل‌ملاحظه وارد شده‌ایم. شکل گیری و فعالیت گسل‌های رانده با امتداد شمالغرب و جابجایی به سمت جنوب غرب در منطقه متاثر از خمش اروکلاینی و شکل گیری چین های بزرگ مقیاس مخروطی متصور گردیده است(Bagheri and Damani Gol, 2020).

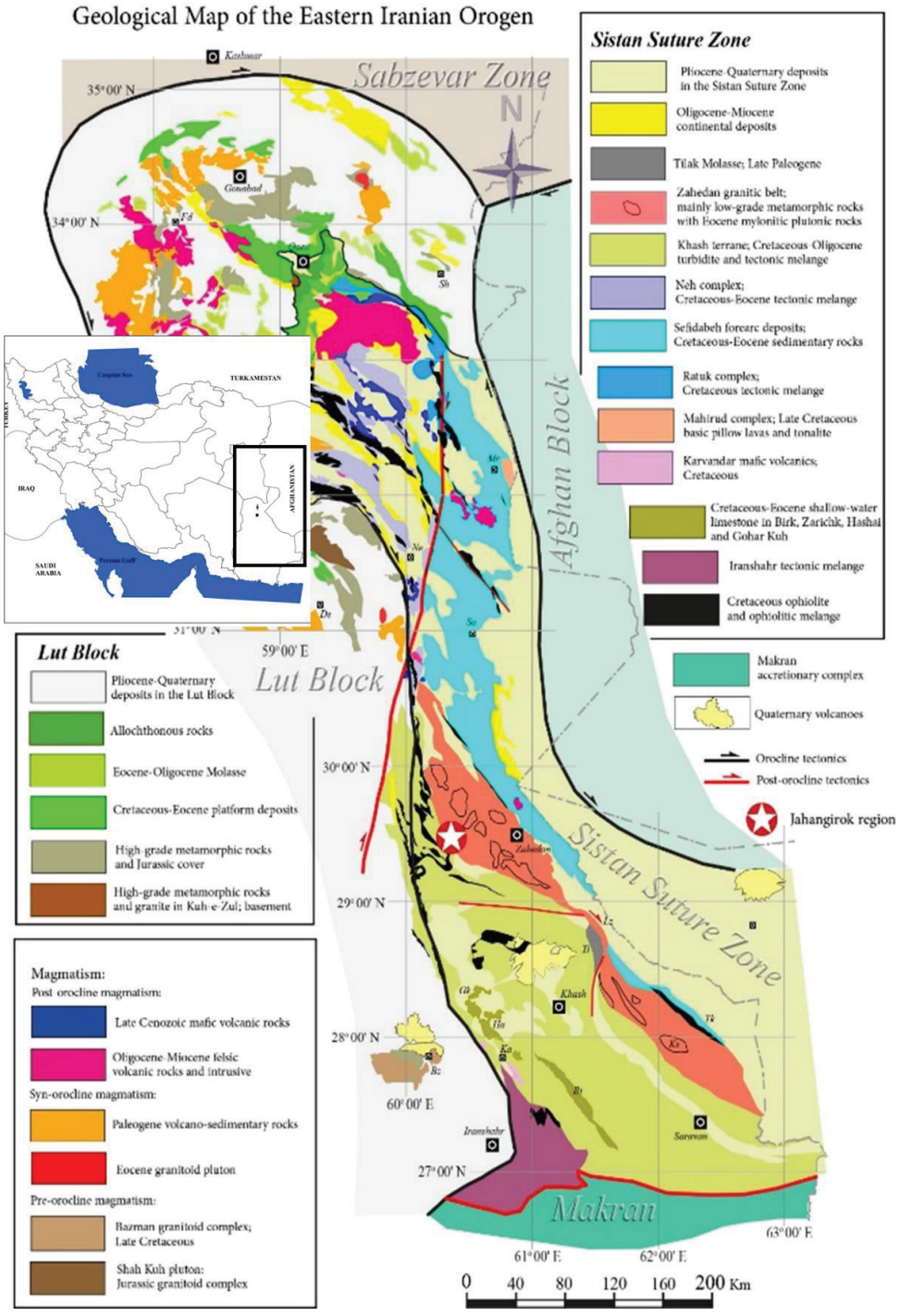
رخنمون‌های نامناسب به دلیل نرخ بالای فرسایش امکان مشاهده ارتباطات سنگ‌شناسی و تکتونیکی را از ما سلب نموده است. علی‌رغم آن، اغلب تپه‌های کم‌ارتفاع محدوده پسامیت‌ها (ماسه‌سنگ‌های کمی دگرگون شده اما نسبتاً دگرشکل شده) با رنگ هوازده سیاه را در قله‌های خود به نمایش می‌گذارند. درحالی‌که فیلیت‌های سبزرنگ در دامنه تپه‌ها و دشت‌ها رخ می‌نمایند. تورق نافذ تکتونیکی عمدتاً به شکل تورق رخ اسلیتی با امتداد شمال غرب و شیبی به سمت شمال شرق تقریباً در همه‌جا لایه‌بندی و چین‌های قبل از خود را بریده‌اند. در جنوب شرقی محدوده جنوبی، توالی ضخیمی از توربیدایت‌های شیل و ماسه‌سنگی تقریباً عاری از هر گونه شواهد دگرگونی با ساختار یک ناودیس بزرگ نامتقارن ظاهر گردیده است. سطح محوری این بزرگ ناودیس روند شمال غربی دارد درحالی‌که شیب محسوسی به سمت جنوب غرب دارد. تورق نافذ دگرشکلی قبل تا هم‌زمان با دگرگونی با ساختار غالب روند شمال غرب و شیب به سمت شمال شرق چین‌خوردگی را قطع نموده است. به دلیل رخنمون رسوباتی با عمق کم در این محل، بنظر نبایستی انتظار مشاهده کانه سازی معمول منطقه را در این بخش داشت. گسل اصلی جهانگیر (در این گزارش با این نام از آن اسم برده میشود) با روند شمال غرب سنگهای دگرگونی در حد رخساره ساب گرین شیست را در کنار توربیدایت‌های یاد شده بالا آورده است. این سنگ‌های دگرگونی ندرتاً لایه بندی سنگ مادر را نشان می‌دهند و اغلب با تورق غالب شمال غرب و با شیب شمال شرق مشخص می‌شوند. رگه‌های سیلیسی به موازات این تورق بدون کانه سازی در منطقه گسترش دارند. تورق رخ اسلیتی یاد شده در جای جای منطقه با گسل‌های تراستی با شیب شمال شرق و با حرکتی به سمت جنوب غرب بریده شده اند، دقیقا مشابه آنچه در منطقه شمالی بوقوع پیوسته است. فرادیواره اغلب گسل‌های تراستی با نفوذ رگه‌های سیلیسی-کربناته آغشته به کانی‌سازی کربناته مس و اکسیدهای آهن مشخص می‌گردد. ساختار رخنمونی این رگه‌های کانی‌سازی بیان می‌دارد که سیال کانه ساز بشکل مطبق و پلکانی و با تبعیت از گسل‌ها و یا تورق قدیمی بالا آمده باشد. در میان

سنگ‌های دگرگونی تقریباً آثار هیچ گونه سنگ آذرین دگرگون‌شده مشاهده نگردیده است. در یک نقطه از بخش شمالی منطقه جنوبی در میان سنگ‌های فیلیتی، بلوکی حاوی فسیل‌های نومولیتی کاملا رکریستالیزه مشاهده گردیده است که بنظر یک بلوک الیستولیتی بوده و تاکیدی بر سن ائوسن میانی تا بالایی توربیدایت‌ها قبل از دگرگون شدن دارد.

توالی حوادث دگرشکلی و جایگاه ماده معدنی در منطقه جهانگیروک شمالی

نقشه زمین‌شناسی منطقه جهانگیروک شمالی در شکل ۲ آورده شده است. توالی حوادث دگرشکلی در منطقه مطالعاتی جهانگیروک شمالی را می‌توان به‌قرار زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱- لایه بندی اولیه یا تورق S0 در حقیقت بقایای لایه



شکل ۱) مهمترین واحدهای تکتونیکی سازنده زمین شناسی شرق ایران(Bagheri and Damani Gol, 2020).

هـای سـنگ مـادر رسـوبی اسـت کـه در معـدود مناطقـی در منطقـه محفـوظ مانـده اسـت (شـکل۳- الـف). در اینجـا تورق‌هـای دگرگونـی و برشـی، ایـن لایـه هـا را بریده‌انـد.

۲- تورق نافذ دگرگونی یا S1 اغلب به شکل شیستوزیته تا رخ اسلیتی با امتداد کلی شمال غرب و شیب غالب شمال شرق خصوصاً در بخش غربی منطقه شمالی گسترش غالب دارد (شکل۳- ب و ج).

۳- تورق نافذ اما منفصل برشی تا کششی S2 با روند عمومی شمال شرقی و شیب تند تقریباً در همه جا حضور دارد (شکل۴-الف).

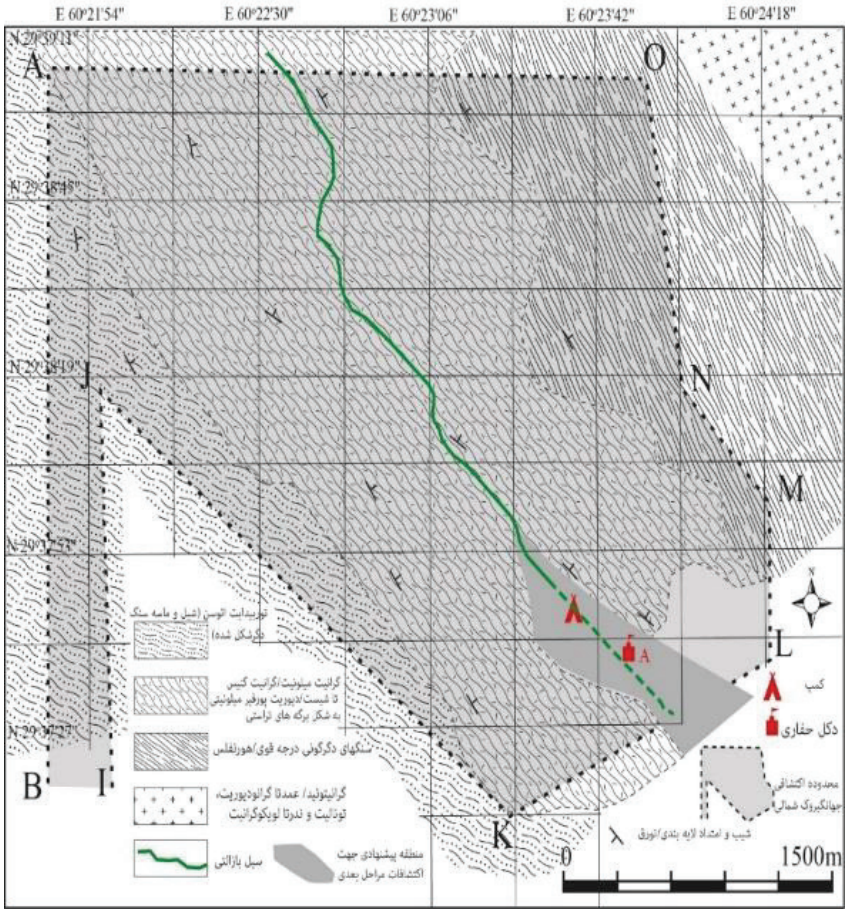
۴- رگه‌های کششی با روند عمومی شمال تا شمال شرق که با علامت S3 مشخص می‌شوند و تمامی ساختارهای قدیمی تر از خود را می‌برند و خود توسط برش‌های جوانتر قطع می گردند (شکل۴- ب). یک سیل مرکب با ترکیب هورنبلند بازالت در منطقه شمالی با این مشخصات ظاهر شده و منشاء کانی سازی بحساب می آید.

۵- تـورق خمیـری نافـذ مرتبـط بـا راندگی‌هـا کـه معمـولاً رونـد شـمال غربـی دارنـد ولـی شـیب کمـی بـه سـمت شـمال شـرق دارنـد. (شـکل۵-الف). ایـن تـورق در هنـگام تشـکیل سـاختار مطبـق منطقـه ظاهـر شـده و مربـوط بـه عمق قابـل ملاحظـه اسـت؛ تمامـی سـاختارهای قبلـی را مـی بـرد و یـا تحـت تاثیـر قـرار داده اسـت. ایـن تـورق اغلـب همـراه بـا تخطـط و یـا خـش لغزهایـی بـه سـمت شـرق تـا شـمال شـرق همراهـی مـی شـود (شـکل۵- ب).

توالـی حـوادث دگرشـکلی و جایـگاه مـاده معدنـی در منطقـه جهانگیـروک جنوبـی

نقشـه زمین‌شناسـی منطقـه جهانگیـروک جنوبـی در شـکل ۶ آورده شـده اسـت. توالـی حـوادث دگرشـکلی در منطقـه مطالعاتـی جهانگیـروک شـمالی را می‌تـوان به‌قـرار زیـر تقسـیم‌بندی نمـود:

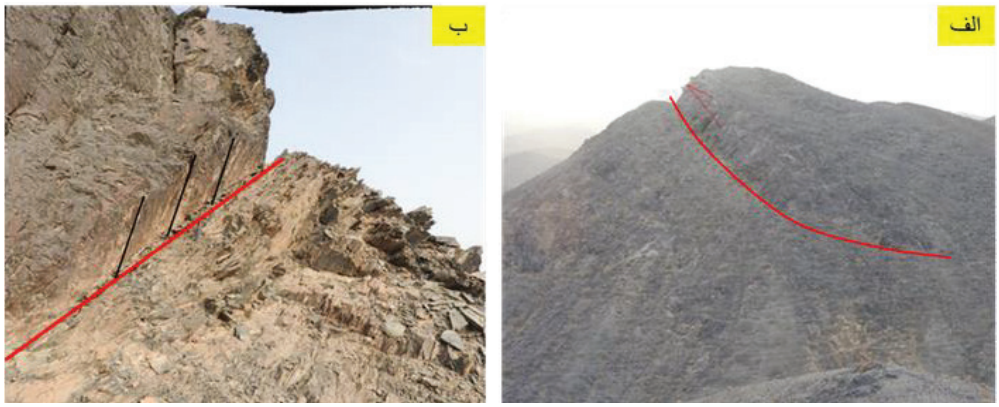
۱- لایـه بنـدی اولیـه یـا تـورق S0 در حقیقـت بقایـای لایه‌هـای سـنگ مـادر رسـوبی اسـت کـه بطـور کامـل در بخـش جنـوب شـرقی محفـوظ مانـده درحالیکـه در اغلـب نقـاط منطقـه بـا تورق‌هـای دگرگونـی یـا دگرشـکلی محـو شـده اسـت (شـکل ۷- الـف). تنهـا بخـش مقـاوم لـولای برخـی چین‌هـای ماسـه سـنگی، لایـه بنـدی اولیـه را حفـظ



شکل۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه شمالی با محدوده اکتشافی پیشنهادی جزئی‌تر بر روی آن

شکل۳) الف- لایه ماسه‌سنگی اولیه به رنگ قهوه‌ای در مرکز عکس که توسط تورق دگرگونی به شکل برشی بریده شده است (دید به سمت شمال غرب) ب) نمای دور از تورق دگرگونی در بخش مرکزی محدوده شمالی منطقه (دید به سمت شمال) ج) نمای نزدیک از تورق دگرگونی شیستوزیته شامل بلورهای موسکویت و بیوتیت.

شکل۴) الف- نمایی از تورق برشی منفصل با راستای شمال شرقی که تورق نافذ دگرگونی را می‌برد (دید به سمت شمال شرق) ب) نمایی از رگه‌های سیلیسی موازی که تورق دگرگونی را در فرادیواره یک گسل رانده بزرگ قطع می‌کند، اما خود توسط گسل اصلی بریده می‌شود. در اینجا رگه‌های کششی فاقد کانی‌زایی هستند (دید به سمت شمال غرب)



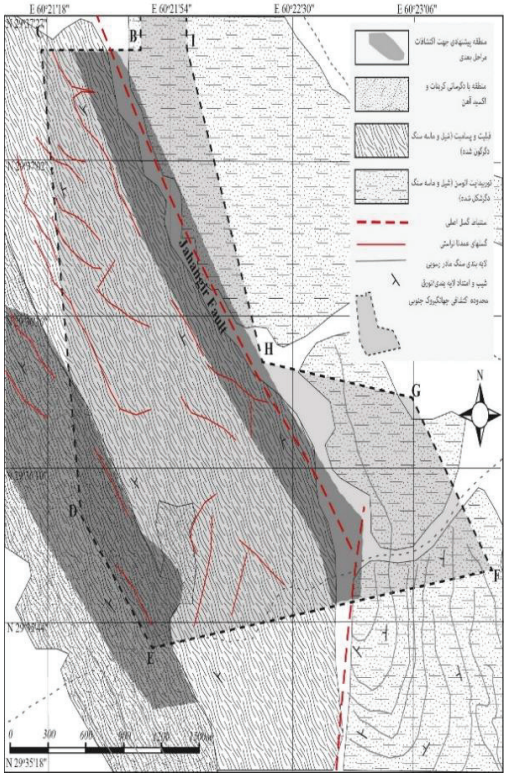
شکل ۵) گسل‌های تراستی با راستای شمال غرب و شیب شمال شرق؛ الف) نمای دور از یک برگه رانده گرانیتی که بر روی سنگ‌های سیلیسی-کلاستیکی حاوی آندزیت پورفیری‌های دگرگون شده رانده شده‌اند (دید به سمت شمال) ب) نمایش شیارهای لغزشی بر روی سطح زیرین فرادیواره گسل معکوس که تورق دگرگونی واضح در فرودیواره را بریده است. روند شیارها به وضوح جابجایی از شرق به غرب را نشان می‌دهند (دید به سمت شمال غرب)

میکنند (شکل ۷- ب). تورق سطح محوری S1 اغلب منطبق با تورق دگرگونی همپوشان گردیده و خودنمایی نمی کند.

۲- تورق نافذ دگرگونی یا S2 اغلب به شکل رخ اسلیتی و ندرتاً شیستوزیته تا با امتداد کلی شمال غرب و شیب غالب شمال شرق خصوصاً در بخش غربی منطقه شمالی گسترش غالب دارد (شکل ۷- الف).

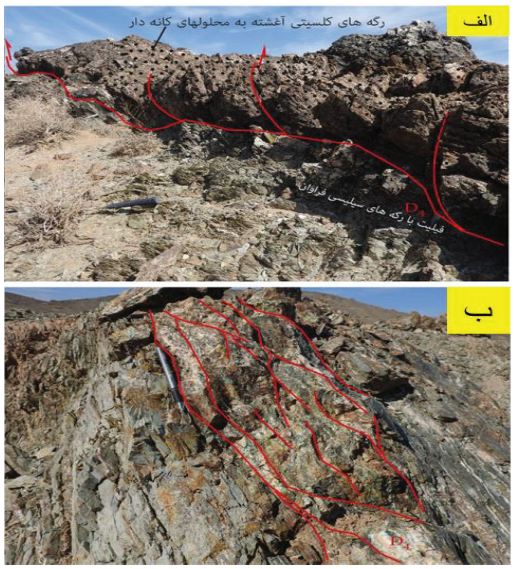
۳- رگه‌های کششی با روندعمومی شمال تا شمال شرق

که با علامت S3 مشخص میشوند، تمامی ساختارهای قدیمی تر از خود را می برند و خود توسط برشهای جوانتر قطع می گردند. ندرتاً این رگه ها توام با کانی سازی هستند. ۴- تورق برشی نافذ منفصل مرتبط با حرکت تراستها که معمولا روند شمال غربی وشیبی به سمت شمال شرق دارند. بسیاری از این تورقهای برشی کانال مناسبی برای حرکت سیالات بوده و میزبان کانی‌سازی‌اند (شکل ۸- الف و ب). این تورق در هنگام تشکیل با ساختار مطبق در منطقه ظاهر شده، تمامی ساختارهای قبلی را می برد و یا تحت تاثیر قرار داده است. معمولا کانه سازی در فرادیواره این گسل‌ها ظاهر شده و بیانگر انتقال و تراوش سیالات از اعماق به سمت بالاست. به سمت بالاست. آلتراسیون کربناته- آهنی در بخش جنوب غربی پهنه جنوبی کانسار مس جهانگیروک فراگیر است. اغلب سنگهای شیل و ماسه سنگی با حفظ ساختار خود تغییر ماهیت داده و کاملا با سیالات کربناته-آهنی متاسوماتیزم شده‌اند (شکل ۹ و ۱۰). این پهنه به سبب حجم بالای سیالات عبوری بنظر رديـاب مناسبی برای پی جویی ماده معدنی در عمق می باشد.

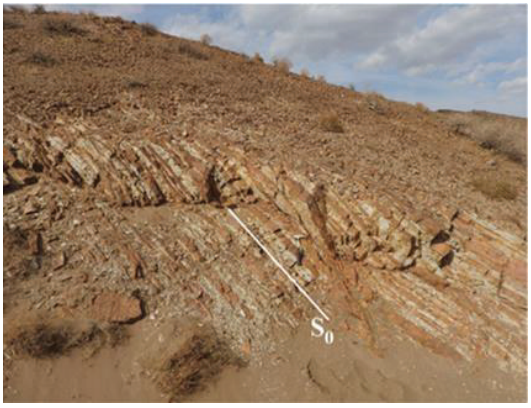


شکل ۶) نقشه زمین‌شناسی منطقه جنوبی با محدوده‌ی اکتشافی پیشنهادی جزئی‌تر بر روی آن.

شکل ۷) نماهایی از دگرشکلی در بخش جنوبی منطقه اکتشافی جهانگیروک. S بیانگر تورق است. الف) نمای نزدیک از تلاقی تورق رخ اسلیتی با راستای شمال غربی بعنوان حادثه دگرشکلی دوم که لایه بندی اولیه را بریده است، ب) بقایای منطقه لولای چین های بسته تا هم شیب با سطح محوری شمال غربی و پلانجی به سمت جنوب شرقی که در اینجا به عنوان اولین حادثه دگرشکلی متصور شد. ارتباط چین‌ها در این تصویر بازسازی شده است؛ دید به سمت شر ق.



شکل ۸) الف- تاثیر فاز دگرشکلی چهارم بشکل تورق برشی مرتبط با گسلها در منطقه جنوبی. سیالات سیلیسی-کربناته منطبق با تورق برشی حامل سولفیدها و کربناتهای مس، ب) جایگزینی تورق دگرگونی با الگوی الیافی. تصاویر بترتیب رو به شمال و شمال غرب گرفته شده اند.

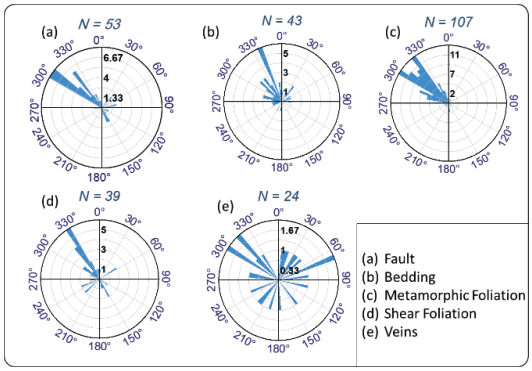


شکل ۹) نمایی از آلتراسیون کربناته-آهنی در گوشه جنوب غربی محدوده اکتشافی جهانگیروک، پهنه جنوبی. توالی توربیدایتی که با کربنات آغشته به آهن جایگزین شده اند. لایه بندی اولیه شمال‌غربی بخوبی محفوظ است. (دید به سمت شمال).

شکل ۱۰) نمای نزدیکی از پهنه جوشش گاز سیال کانه دار و ته نشینی آهک‌های تیپ تراورتنی را نمایش می‌دهد.

تحلیل هندسی عناصر ساختاری در منطقه مطالعاتی

در همهٔ مدل‌های ساختاری، فعالیت ساختارهای اصلی مهم‌ترین کنترل‌کننده ناحیه‌ای برای منشأ و تمرکز سیالات هیدروترمال و همچنین جایگاه‌های کانی‌سازی به شمار می‌روند (Stephens et al., 2004). در منطقه مطالعاتی ارتباط نزدیکی بین عناصر ساختاری و کانه‌زایی وجود دارد. برداشت‌های ساختاری صورت‌گرفته در منطقه مطالعاتی شامل ۵۳ گسل، ۴۳ لایه‌بندی، ۳۷ تورق دگرگونی، ۳۹ تورق برشی و ۲۴ رگه معدنی است. نمودارهای گل‌سرخی عناصر ساختاری برداشت شده در شکل ۱۰ آورده شده است. طبق نمودارهای گل‌سرخی در شکل ۱۰، گسل‌های منطقه بیشتر دارای روند غالب شمال شرق و به میزان کمتری روند شمال غرب-جنوب غرب دارند. روند غالب لایه‌بندی‌ها و تورق‌های دگرگونی و برشی نیز شمال غربی است. رگه‌های معدنی در همه جهات وجود دارند؛ اما بیشترین تراکم آنها شمال شرق و شمال غرب است که با تورق‌های برشی و دگرگونی منطقه همخوانی نزدیکی دارند.

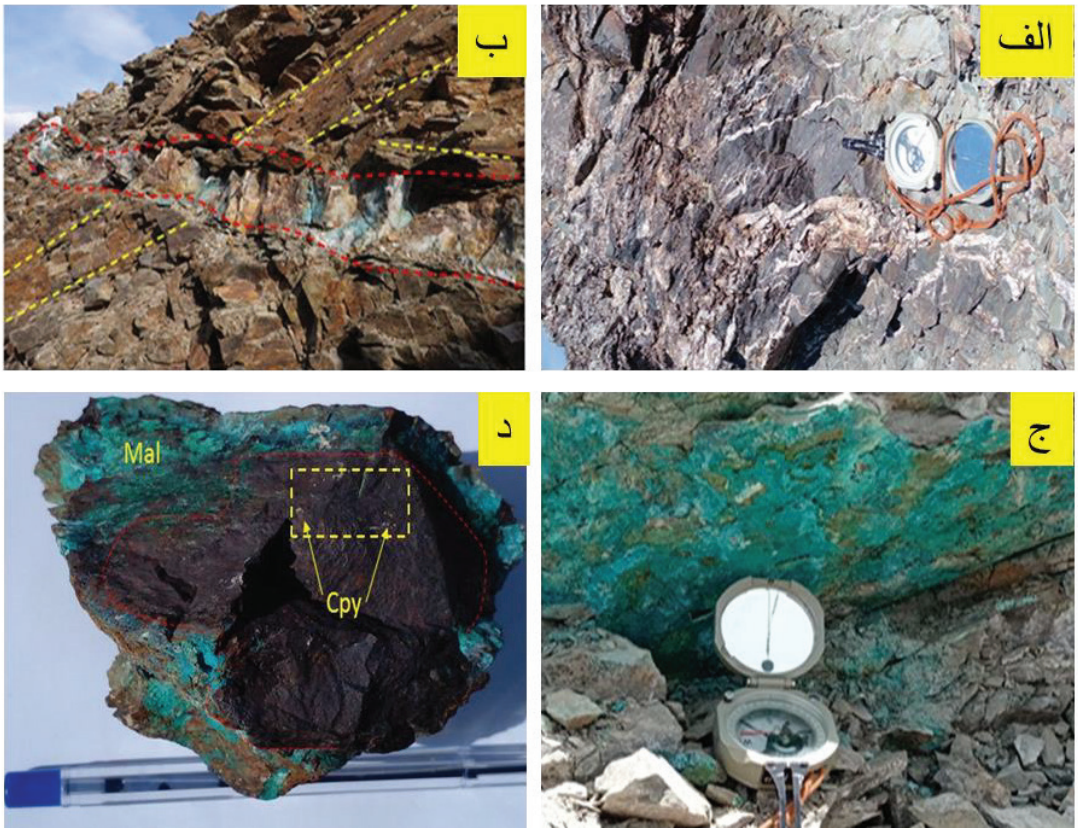


شکل ۱۱) نمودارهای گل سرخی عناصر ساختاری برداشت شده در منطقه جهانگیروک شمالی و جنوبی.

کانی‌سازی و دگرسانی

به‌طورکلی تاریخچه تکتونیکی و دگرشکلی‌های شرق ایران بسیار پیچیده بوده و دچار بی‌نظمی‌های زیادی در مقیاس‌های ناحیه‌ای و محلی شده است. این بی‌نظمی‌ها از قبیل گسل- خوردگی، چین‌خوردگی و شکستگی‌های فراوان شرایط لازم را در تسهیل جریان سیالات، حمل و انتقال عناصر و ته‌نشست مواد معدنی فراهم نموده است. اکثر ذخایر و اندیس‌های معدنی شرق ایران رگه‌ای بوده و اغلب فازهای تکتونیکی مختلفی را در مقیاس‌های محلی پشت سر گذاشته و ازاین‌جهت توسط ساختارهای زمین ساختی کنترل شده‌اند. به نظر خطیب و زرین کوب (۱۳۹۱) بیشترین تجمع ذخایر معدنی در شرق ایران در درون پهنه‌های برشی و هم چنین در محل تقاطع این پهنه‌ها شکل گرفته است. پهنه‌های برشی شمالی-جنوبی راست‌گرد و پهنه‌های فشاری برشی با روند میانگین N130 از مهمترین ساختارهای باروری ذخایر معدنی هستند. در محدوده اکتشافی جهانگیروک رگه‌های سیلیسی فراوانی با روندهای مختلف وجود دارد. بیشترین تراکم این رگه‌ها *در جهات شمال غربی و شمال شرق می‌باشد*. منشا اصلی رگه‌های سیلیسی کانه‌دار، عمدتاً وجود دسته سیل‌هایی با ترکیب چیره هورنبلند بازالت در منطقه می‌باشد. نفوذ این واحدهای سیل به درون فلیش‌های منطقه باعث آزاد

شدن سیالات کانه‌زا، دگرسانی، تشکیل رگه‌های معدنی و نهایتاً به مراتب کانی‌سازی شده است. به طور کلی رگه‌های سیلیسی محدوده اکتشافی را میتوان به دو دسته؛ ۱- رگه‌های سیلیسی همزمان با تکتونیک (Syn-tectonic) ۲- رگه‌های سیلیسی بعد از تکتونیک (Post-tectonic) تقسیم بندی کرد. رگه‌های سیلیسی مورد اول دارای حالتی از ضخیم و باریک شدگی، پلکانی و متحمل دگرشکلی شده‌اند (شک ۱۲ الف). این رگه‌ها به ندرت دارای کانی‌سازی بوده و معمولاً متاثر از فرایندهای دگرگونی رخ داده در منطقه اکتشافی می‌باشند. رگه‌های مورد دوم مرتبط با سیل‌های هورنبلند بازالتی در منطقه هستند. این رگه‌ها در مجاورت سیل های مذکور رخنمون دارند و کانی‌زایی اصلی منطقه محسوب می‌شوند و به نسبت رگه‌های مورد اول حالت منظم تر، درشت‌تر و طول و عرض بیشتری دارند (شکل ۱۲ ب). به طور کلی سنگ میزبان همه‌ی رگه‌های سیلیسی فلیش‌های دگرگونه‌ای می‌باشد که ظاهراً مرحله‌ای از آغاز دگرگونی را پشت سر گذاشته‌اند. بیشترین تمرکز رگه‌های دارای کانی‌سازی در اطراف توده‌های نفوذی (گرانیت‌ها) و خروجی (آندزیت و هورنبلند بازالت) منطقه می‌باشد. کانی‌سازی در محدوده اکتشافی در فرادیواره گسل‌ها و هم‌چنین در صفحات گسلی مشاهده می‌شود که نشان از کنترل کانی‌زایی توسط عوامل زمین ساختی می‌باشد (شکل ۱۲ ج). ژئومتری ماده معدنی به صورت رگه‌ای و باطله اصلی همراه با آن کوارتز می‌باشد (شکل ۱۲ د). به طور کلی کانی‌سازی به دو صورت سولفیدی و اکسیدی رخ داده است. کانی‌های اکسیدی شامل اکسید و هیدوکسیدهای آهن و مالاکیت می‌باشد. پیریت، کالکوپیریت و مقدار جزئی بورنیت سولفیدهای اصلی منطقه به شمار می‌روند. کالکوپیریت بیشتر به صورت بلورهای ریز و با بافت افشان در متن سنگ میزبان (سیل بازالتی) مشاهده می‌شود (شکل ۱۲ د).

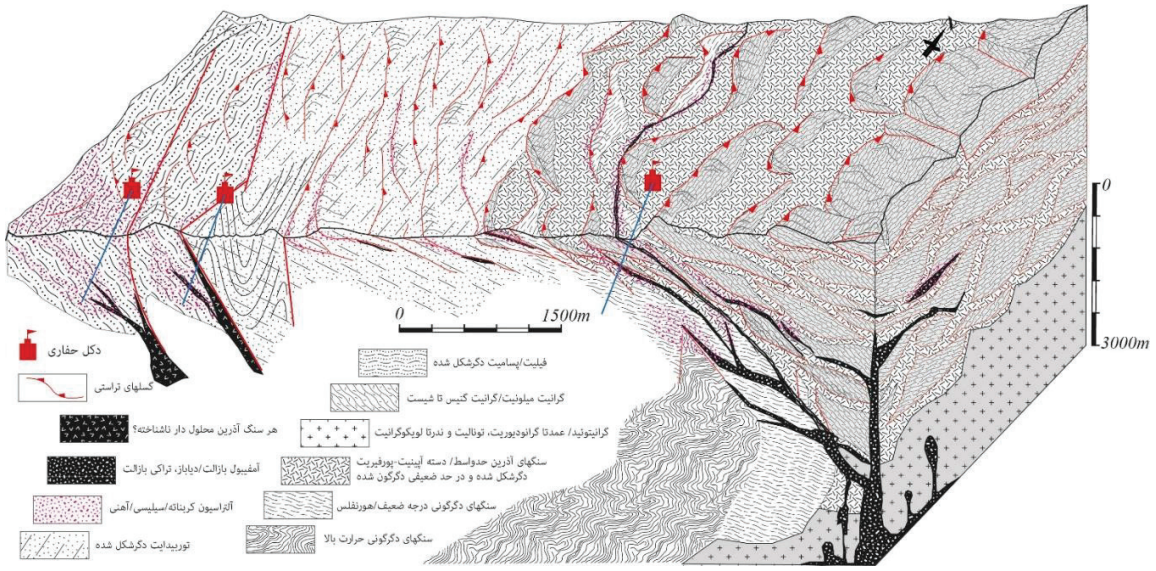


شکل ۱۲) الف- رگه-رگچه‌های سیلیسی فاقد کانی‌سازی که دچار ضخیم و باریک شدگی و دگرشکلی شده‌اند.ب- رخنمون کانی‌سازی مالاکیت به شکل رگه‌ای که تورق دگرگونی را قطع کرده است.ج- سطح گسلی آغشته به کانی‌سازی مالاکیت که گویای نقش عوامل زمین ساختی در کنترل کانی‌سازی می‌باشد.د- کانی سازی کالکوپیریت و پیریت به صورت افشان (دانه پراکنده) در محدوده اکتشافی جهانگیروک. (Cpy= کالکوپیریت، Mal= مالاکیت).

نتیجه‌گیری و مدل کانی‌سازی

سیالات داغ با قابلیت انحلال و حمل مواد معدنی امروزه مهمترین عامل کانه زایی بحساب می آیند. در منطقه مطالعاتی، محدوده جنوبی از منطقه اکتشافی مس جهانگیروک در طی پیمایش صحرایی به منظور تهیه نقشه زمین شناسی ساختاری، ارتباط واقعی بین ساختارهای تکتونیکی و کانه زایی بررسی گردید. ردیابی سیالات کربناته-سیلیسی از محل گسل‌ها و تورق‌های برشی مربوط به آنها نشان میدهد که سیالات بشکل متناوب از طریق کانال‌هایی از شمال شرق به سمت جنوب غرب حرکت نموده‌اند. این سیالات از منشاء خود جایی در اعماق و احتمالاً مرتبط با سنگ‌های مافیک (سیل های بازالتی هورنبلند دار) ساطع گردیده و به سمت غرب بشکل پلکانی در امتداد تورق یا شکستگی‌ها بالا آمده‌اند. اغلب رگه‌های مربوطه ساختارهای فازهای اول تا چهارم را می‌برند و یا آنها را استحاله کرده‌اند. آثار گدازه‌های سیل‌های بازالتی منطقه شمالی در این پهنه دیده نمی‌شوند و ممکن است به دلیل عمق کم رخنمون منطقه جنوبی باشد. بنابراین گسل‌های جوان و اصلی در بخش شرقی محدوده مثل گسل جهانگیر پتانسیل بالایی برای پی‌جویی مراحل بعدی دارند. همچنین حجم بالای آلتراسیون ناشی از متاسوماتیزم سنگ‌ها در بخش گوشه جنوب غربی محدوده امید وجود ماده معدنی را در آن ناحیه زنده می‌سازد. مدل کانه‌سازی جهانگیروک و ارتباط سنگهای ماگمایی با ساختارهای میزبان دگرشکلی و سیالات کانه ساز در شکل ۱۳ آورده شده است.

اغلب کانه زایی ها در منطقه از ساختارهای صفحه ای گسل‌های رانده با امتدا شمال غرب و شیب شمال شرق تبعیت می کنند. این گسل‌ها توزیع سنگ های آذرین منطقه شامل هر سه گروه گرانیتوئیدها، سنگهای حد واسط و سیل‌های بازالتی را کنترل کرده است. بنابراین در مدل ارائه شده تلاش گردیده تا گسل‌ها مسیر اصلی انتقال سیالات از اعماق به درون سنگ‌های آذرینی و دگرونی‌های در برگیرنده آنها را توضیح دهد.



شکل ۱۳) مدل کانه‌سازی جهانگیروک و ارتباط سنگ‌های ماگمایی با ساختارهای میزبان دگرشکلی و سیالات کانه ساز

منابع

خطیب، م، م.، زرین کوب، م، ح.، ۱۳۹۱، کنترل کننده‌های ساختاری در تشکیل رگه‌های معدنی شرق ایران، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

Bagheri, S. and Gol, S.D., 2020. The eastern iranian orocline. Earth-Science Reviews, 210, p.103322.

Eftekharnezhad, J., Behroozi, A., Saidi, A., 1995. Geological Quadrangle Map of Zahedan.

Tehran, Geological Survey of Iran (scale 1: 250,000).

Mohammadi, A., Burg, J. P., Bouilhol, P., Ruh, J., 2016. Ue-Pb geochronology and geochemistry of Zahedan and Shah Kuh plutons, southeast Iran: Implication for closure of the South Sistan suture zone. Lithos 248–251, 293–308.

Peters S. G., 2001. Use of structural geology in exploration for and mining of sedimentary rock-hosted Au deposits, U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Open-File Report 01–151.

Stephens, J. R., Mari, J. L., Oliver, N. H., Hart, C. J., Baker, T., 2004. Structural and mechanical controls on intrusion-related deposit of the Tombstone Gold belt, Yukon, Canada, with comparisons to other vein-hosted ore-deposit types. Journal of Structural Geology, 26: 1025-1041.

Chauvet, A., 2019, Structural Control of Mineral Deposits, Theory and Reality, Minerals, 9, 171, pp. 244. doi:10.3390/min9030171.

Chauvet, A., 2019, Structural Control of Ore Deposits: The Role of Pre-Existing Structures on the Formation of Mineralized Vein Systems; 9, 56, 5-26, doi:10.3390/min9010056.

Zhai, W., Sun, X., Yi, J., Zhang, X., Mo, R., Zhou, F., Wei, H. and Zeng, Q.,2014, Geology, geochemistry, and genesis of orogenic gold–antimony mineralization in the Himalayan Orogen, South Tibet, China, Ore Geology Reviews, 58, 68–90.

Faulkner, D.R., Jackson, C.A.L., Lunn, R.J., Schlische, R.W., Shipton, Z.K., Wibberley, C.A.J., Withjack, M.O.; 2010, A review of recent developments concerning the structure, mechanics and fluid flow properties of fault zones, Journal of Structural Geology 32, 1557-1575.