تحلیل ساختاری پهنه برشی سیه‌کمر و ارتباط فابریک‌های شکنا با کانه‌زایی طلا (هیرد، جنوب بیرجند)

محمدعلی قربانی

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین

محمد محجل

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم، بخش زمین‌شناسی

معصومه علیمحمدی

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱۵ *تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲۵*

ghorbanitc@gmail.com

چکیده

ناحیه معدنی هیرد در شرق خرد قاره ایران مرکزی و حاشیه شرق ـ شمال شرق پهنه لوت و در غرب پهنه زمین‌درز سیستان قرار دارد. سامانه گسلی نهبندان که کنترل کننده اصلی دگرشکلی در پهنه سیستان است، در بخش شمالی با تغییر جهت به طرف غرب به صورت تداخلی وارد پهنه لوت شده است. در این نواحی، ساختارهای با راستای ENE-WSW مانند پهنه بُرشی ـ گسلی سیه‌کمر، دارای مؤلفه شیب‌لغز معکوس غالب هستند. سنگ‌های گسلی در پهنه‌های بُرشی وابسته به گسل‌ها، شامل کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار و بدون برگواره، بِرش و گوژ می‌باشند. فابریک در بِرش و کاتاکلاسیت‌های بدون برگواره به صورت تصادفی است. ساخت S-C در مقاطع XZ از نمونه‌های دستی صیقل‌یافته و مقاطع نازک حاصل از کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار، نشان‌دهنده سوی بُرش پهنه بُرشی در بردارنده آن‌ها است. بررسی فابریک در مغزه‌های پهنه بُرشی سیه‌کمر در مقیاس‌های میکروسکوپی و مزوسکوپی، نشان می‌دهد که در بخش داخلی پهنه، بیشینه شدت دگرشکلی و با فاصله گرفتن به سمت حاشیه‌های پهنه، شدت دگرشکلی کاهش می‌یابد. عیار طلا نیز ارتباط مستقیمی با شدت دگرشکلی شکنا نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: *پهنه برشی شکنا، فابریک، کاتاکلاسیت، سیه‌کمر*

مقدمه

یکی از الگوهای متعارف دگرشکلی ناهمگن که در مجموعه‌های سنگی رخ می‌دهد، تمرکز دگرشکلی در پهنه‌های صفحه‌ای است که سازگار کننده جنبش نسبی قطعات سنگ دیواره نسبت به هم می‌باشند. تغییرشکل در یک چنین پهنه‌هایی، شامل چرخش مؤلفه‌ها و جابه‌جایی قطعات سنگ دیواره نسبت به هم است. چنین پهنه‌های دارای دگرشکلی شدید، پهنه‌های بُرشی می‌باشند (Chester et al. 1985)، که اغلب پهنای آن‌ها کمتر از طول آن‌ها است و در ابعاد کیلومتری تا بسیار کوچک (ریزساختار درون یک کانی) مشاهده می‌شوند. ناهمگنی میان واحدهای سنگی دارای تراکم زیاد در تقابل با واحدهای کم تراکم، تعیین کننده محل پهنه‌های بُرشی و شدت دگرشکلی در هر پهنه است (Coelho and Sillva, 1998). بِرش[1]، کاتاکلاسیت[2] (به صورت سخت‌شده یا سخت‌نشده[3]) و گوژ گسلی[4]، سه نوع معمول سنگ‌های این پهنه‌ها با ضخامت متغیر هستند که طبیعت سخت شده این سنگ‌ها ناشی از ته‌نشینی و تبلور کانی‌هایی مانند کوارتز، کلسیت، اپیدوت یا کلریت از یک سیال است (Chester et al. 1985). سنگ‌های گسلی غیرچسبنده به طور معمول در سطوح کم‌عمق پوسته و در پهنه‌های گسلی با ضخامت متغیر یافت می‌شوند، ولی سنگ‌های گسلی چسبنده در سطوح عمیق‌تر ایجاد می‌شوند. در بِرش‌ها، بیش از ۳۰ درصد و در کاتاکلاسیت‌ها کم‌تر از ۳۰ درصد از حجم قطعات زاویه‌دار سنگ

1 -Breccia
2 -Cataclasite
3-Cohesive or incohesive
4 -Fault gouge

دیواره یا رگه‌های خرد شده در یک زمینه[5] ریز دانه قرار گرفته‌اند. در گوژ گسلی، قطعات بزرگ معدودی به صورت منفرد در زمینه واقع شده‌اند. این زمینه در مواردی ممکن است دارای برگواره نیز باشد و قطعات به طور عادی از شکلی عدسی‌مانند[6] برخوردار هستند (Passchier and Trouw, 2005). اگرچه اکثر کاتاکلاسیت‌ها دارای فابریک تصادفی هستند، ولی در مواردی فابریک برگواره‌ای نیز دیده می‌شود که این فابریک می‌تواند در نتیجه به موازات هم قرارگیری شکستگی‌های بُرشی فرعی باشد (Lin, 2001). ساختارهای نوار بُرشی در کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار، یک ساخت معمول است (Chester et al., 1985). این فابریک در کاتاکلاسیت‌ها، اطلاعات مهمی در مورد تاریخچه تکتونیکی فراهم کرده و از نشان‌گرهای جنبشی قابل اطمینان سوی بُرش در پهنه‌های بُرشی شکنا یا گسل‌ها به شمار می‌رود (Passchier and Trouw, 2005).

در این مقاله سعی در تشریح و تفسیر انواع سنگ‌های گسلی در طول پهنه‌های بُرشی شکنای همراه با کانه‌سازی طلا در ناحیه معدنی هیرد واقع در شرق ایران (جنوب بیرجند) گردیده است. از فابریک S-C در کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار، در دو مقیاس مزوسکوپی و میکروسکوپی، جهت تعیین سوی بُرش پهنه‌های بُرشی دربردارنده آن‌ها استفاده می‌شود. به‌علاوه، کوشش بر این است تا با بررسی فابریک در مجموعه سنگ‌های گسلی مشاهده شده در سطح و نیز در مغزه‌های حاصل از حفاری در طول و عرض پهنه‌های گسلی کانه‌دار، ارتباط بین کانی‌سازی با شدت و نوع دگرشکلی منطقه بررسی شود.

جایگاه زمین‌شناسی و تکتونیکی

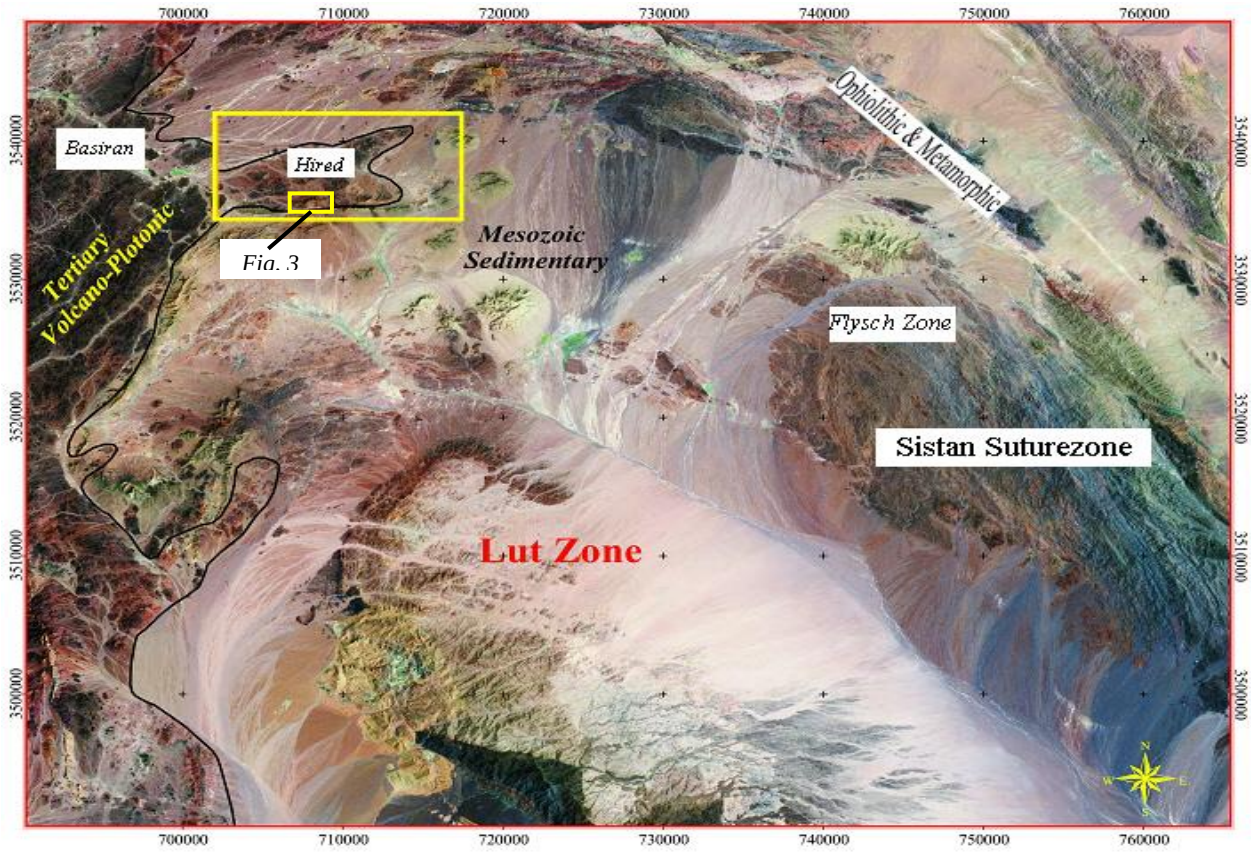
ناحیه معدنی هیرد بین عرض جغرافیایی ′۵۴ °۳۱ تا ′۵۹ °۳۱ شمالی و طول جغرافیایی ′۰۸ °۵۹ تا ′۱۵ °۵۹ شرقی در فاصله ۱۰۵ کیلومتری جنوب بیرجند واقع شده است. این ناحیه از نظر تقسیم‌بندی ایالت‌های ساختاری پوسته ایران‌زمین (نوگل‌سادات، ۱۹۹۳)، در شرق خُرد قاره ایران مرکزی و حاشیه شرق ـ شمال شرق پهنه لوت ـ زیرپهنه ماگماتیسم مرکزی ـ و در مجاورت پهنه زمین‌درز سیستان یا پهنه فلیش شرق ایران واقع شده است. پهنه زمین‌درز سیستان، در شرق ایران و با راستای کلی شمال ـ جنوب، در واقع پهنه‌ای برخوردی است که حاصل بسته‌شدن باریکه اقیانوسی شرق ایران بین پهنه لوت و قطعه افغان در انتهای مزوزوئیک ـ ابتدای ترشیر می‌باشد (Tirrul et al. 1985). سامانه گسلی نهبندان که تمامی ایالت ساختاری سیستان را دربر می‌گیرد، در بخش شمالی با تغییر جهت به طرف غرب به صورت تداخلی وارد پهنه لوت شده است. در پهنه‌های بُرشی وابسته به پهنه گسلی نهبندان، ذخایر معدنی فراوانی بر جای گذاشته شده است که از هندسه گسل تبعیت می‌کنند (خطیب، ۱۳۷۷). ناحیه معدنی هیرد نیز در حقیقت در جنوبی‌ترین محل این تغییر روند ساختاری واقع شده و متأثر از اُریب[7]های سامانه گسلی نهبندان می‌باشد.

بر اساس نقشه زمین‌شناسی ـ معدنی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ هیرد (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۲)، واحد شیلی ـ ماسه‌سنگی ژوراسیک، قدیمی‌ترین رخنمون سنگی منطقه است که با یک دگرشیبی به توالی رسوبی کرتاسه بالایی شامل واحدهای شیلی، کنگلومرایی، ماسه‌سنگی، آهکی ـ مارنی، توف‌های آهکی و آهک ماسه‌ای تبدیل می‌شود. این توالی رسوبی، توسط یک کنگلومرای قاعده‌ای پالئوسن و یک کنگلومرای قاعده‌ای ائوسن به سکانس ماگمایی ترشیر (شامل سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی) متصل می‌شود. توده‌های نفوذی با ترکیب گرانودیوریت، کوارتزمونزودیوریت و گابرو ـ نوریت با سن بعد از ائوسن، درقسمتی از واحدهای آتشفشانی منطقه که عمدتاً دارای ترکیب آندزیت و توف می‌باشند نفوذ نموده و در مواردی ایجاد دگرسانی و کانه‌زایی طلا کرده‌اند. عمده منطقه مورد بررسی در همین توالی آتشفشانی ـ نفوذی ترشیری واقع شده است. با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی ـ معدنی انجام شده در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و نتایج حاصل از آن، در نهایت ۴ محدوده امید بخش معدنی در این منطقه، جهت انجام ادامه عملیات اکتشافی پیشنهاد شده است. تصویر۱، جایگاه منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی پهنه لوت، واقع در مجموعه واحدهای آتشفشانی ـ نفوذی ترشیری و واحدهای چین‌خورده مزوزوئیک را نشان می‌دهد.

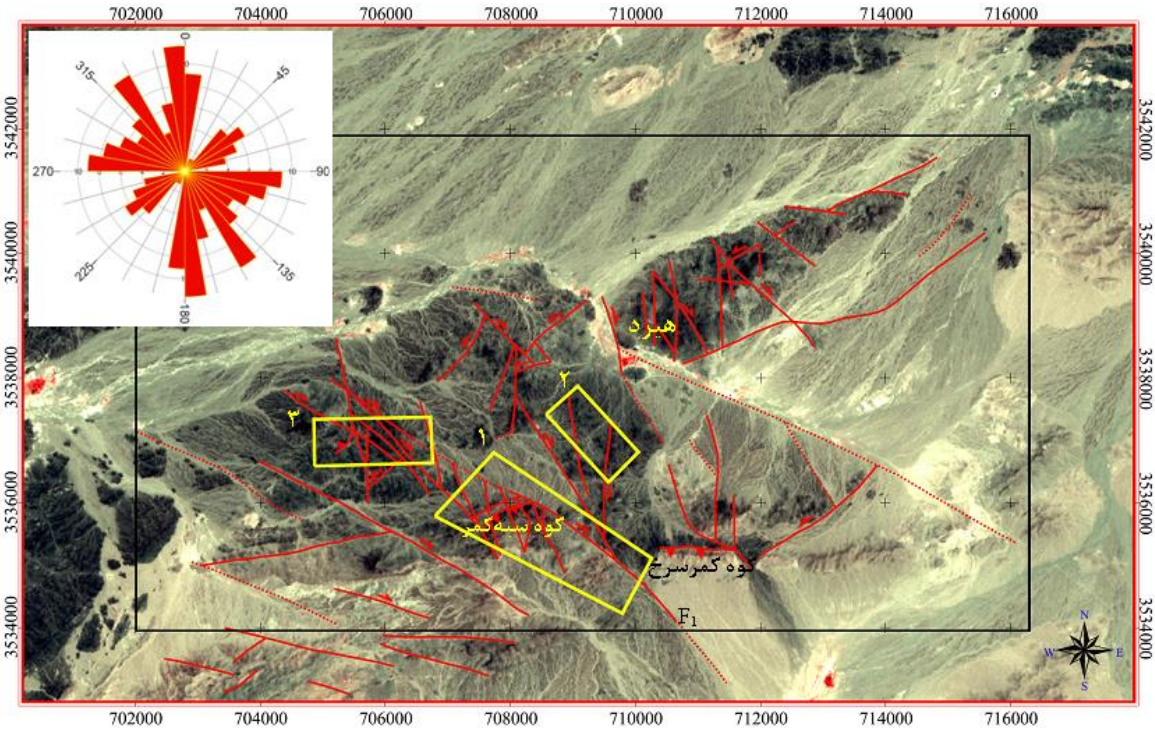
زمین‌شناسی ساختمانی

انواع گسل‌ها، رگه‌ها، دایک‌ها و نسل‌های مختلف چین‌خوردگی، تشکیل‌دهنده عناصر ساختاری محدوده مورد مطالعه هستند که از ارتباط هندسی خاصی نسبت به یکدیگر برخوردار می‌باشند. بر پایه تجزیه و تحلیل ساختارهای مذکور، ناحیه معدنی هیرد تحت تأثیر یک سیستم بُرشی ـ فشارشی راست‌گرد[8] که خود از سرشاخه‌های سیستم گسلی نهبندان در ۸۰ کیلومتری شرق آن می‌باشد، قرار گرفته است. در این سیستم، گسل‌های با راستای NW-SE (آزیموت ۳۲۰-۳۱۰ درجه)، به عنوان پهنه‌های جابه‌جایی اصلی[9] (PDZ) عمل نموده‌اند (تصویرهای۲و۳). در داخل سیستم مذکور، انواع بُرش‌های همسو و ناهمسو با پهنه اصلی، شکستگی‌های کششی شامل گسل‌های عادی، رگه‌ها و دایک‌ها؛ ساختارهای فشارشی از قبیل گسل‌های معکوس و چین‌ها، به گونه‌ای حدوداً منطبق بر هندسه سیستم دربردارنده، شکل گرفته‌اند. تجزیه و تحلیل ساختاری دلالت بر جهت‌گیری عمومی ESE محور طویل‌شدگی و NNE محور کوتاه‌شدگی بیضی واتنش برای منطقه مورد مطالعه دارد (قربانی، ۱۳۸۷) (تصویر۳). گسل‌های معکوس با راستای ENE-WSW یکی از بارزترین ساختارهای تکتونیکی در محدوده مطالعاتی می‌باشند که منطبق بر هندسه گسلی حاکم بر کل منطقه می‌باشند. بخش عمده‌ای از کانی‌سازی در محدوده اکتشافی شماره ۱، در طول پهنه بُرشی ـ گسلی در ارتباط با گسلی معکوس رخ داده است (تصویرهای۲و۴).

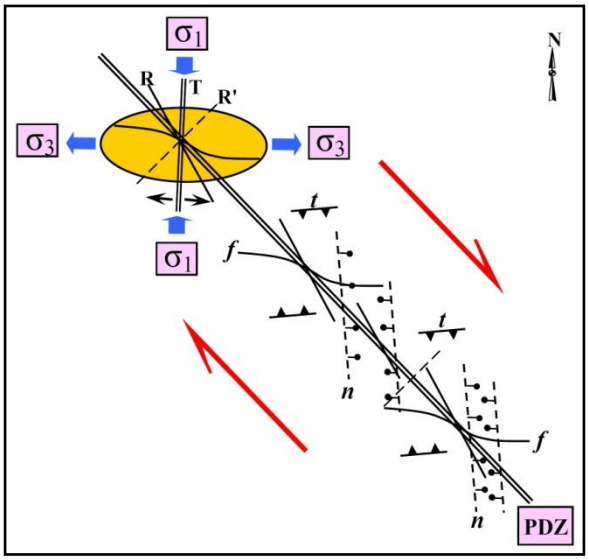
5 -Matrix
6. Lensoid
7. Splay
8. Dextral transpressional system
9. Principle displacement zone



تصویر۱. موقعیت ناحیه مورد مطالعه (کادر زرد) در شمال شرق پهنه لوت (جنوب بیرجند) و در حاشیه غربی پهنه زمین‌درز سیستان، واقع در مجموعه واحدهای آتشفشانی ـ نفوذی ترشیری و رسوبی مزوزوئیک (داده لندست، TM، کادر کوچک زرد رنگ موقعیت تصویر ۳ را نشان می‌دهد).



تصویر۲. نقشه و نمودار گل‌سرخی گسل‌های ناحیه معدنی هیرد، کادرهای زرد نشان‌گر محدوده‌های امیدبخش معدنی هستند. گسل F_1 (شرق ـ شمال کوه سیه‌کمر) و سایر گسل‌های هم‌روند با آن، بارزترین ساختار تکتونیکی منطقه محسوب می‌شوند. جنبش امتدادی با پیکان قرمز و جنبش معکوس با مثلث‌های توپر قرمز برای تعدادی از مهم‌ترین گسل‌ها نمایش داده شده است (داده ASTER، RGB:321).



تصویر۳. الگوی دگرشکلی ناحیه معدنی هیرد؛ جهت‌گیری تقریبی E-W محور طویل‌شدگی بیضی واتنش در یک سیستم بُرشی ـ فشارشی راست‌بر، PDZ معرف پهنه جابه‌جایی اصلی ـ گسل‌های راست‌بر دارای راستای ۳۲۰-۳۱۰ درجه ـ ، t معرف گسل‌های معکوس، T , n معرف ساختارهای کششی و گسل‌های عادی، f معرف محور چین و R,R' معرف شکستگی‌های بُرشی همسو و ناهمسو با پهنه جابه‌جایی اصلی هستند.

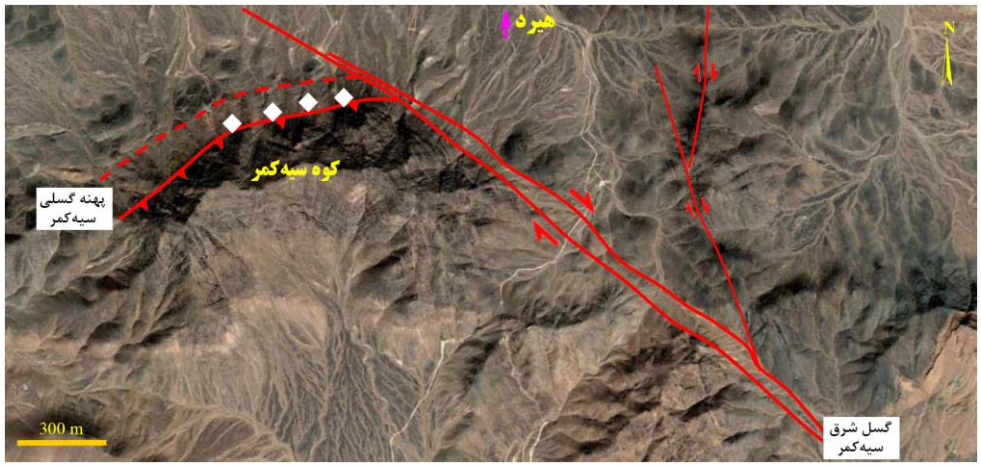
پهنه بُرشی سیه‌کمر

گسل کوه سیه‌کمر به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین گسل‌های محدوده مطالعاتی با حدود ۱ کیلومتر طول، در دامنه‌های شمالی کوه سیه‌کمر در جنوب غرب دهکده هیرد واقع شده است. راستای عمومی گسل دارای آزیموت ۰۸۰-۰۶۰ درجه است که با شیبی برابر ۳۵-۲۵ درجه به سوی جنوب شرق، دارای سازوکار معکوس می‌باشد (تصویرهای۴و۵). این پهنه گسلی از شرق به پهنه گسلی راستالغز راست‌گرد شرق سیه‌کمر (F_1) که اصلی‌ترین وبزرگ‌ترین ساختار گسلی منطقه است متصل می‌شود (تصویر۴). پهنه بُرشی مربوط به این گسل به رنگ نخودی دارای عرضی متغیر از ۱۷۵ متر در غرب تا ۶۵ متر در شرق می‌باشد و بخش عمده‌ای از دگرسانی و کانی‌سازی رخ داده در غرب محدوده امیدبخش معدنی (۱) را به خود اختصاص می‌دهد و از مهم‌ترین کنترل‌کننده‌های ساختاری در این محدوده به شمار می‌رود (تصویرهای۴و۵).

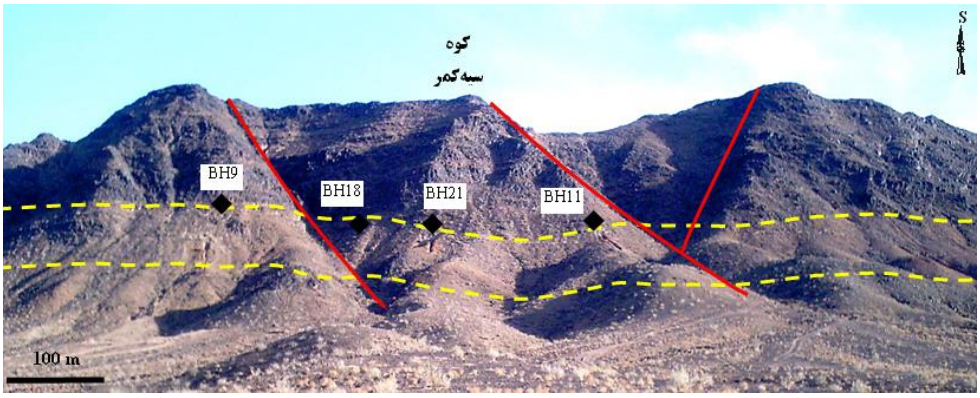
سنگ‌های تشکیل دهنده فرادیواره (بخش‌های جنوب گسل) و فرودیواره (بخش‌های شمال گسل) شامل توف ـ بِرش‌های آتشفشانی و کنگلومرا با سن ائوسن است که دارای لایه‌بندی ملایم با جهات شیب متفاوت می‌باشند، به طوری‌که در بخش شمالی پهنه گسلی، وضعیت میانگین لایه‌ها N30E,42NW است ولی در بخش جنوبی پهنه گسلی (فرادیواره)، لایه‌بندی به صورت ملایم و در چین‌های باز مشاهده می‌شود. جهت شیب لایه‌ها در طول گسل متفاوت و به سمت جنوب و شمال با شیب میانگین ۱۵-۵ درجه در تغییر می‌باشد. یک سری شکستگی‌های کششی با راستای NNE و NNW، این پهنه را بریده‌اند (تصویر۵). در دو مقطع شرقی و غربی این گسل تعیین کننده‌های سوی بُرش شامل ساختار S-C و شکل‌های عدسی‌مانند نامتقارن[10] هستند که گویای جنبش معکوس این گسل می‌باشند (تصویرهای۶و۷ الف).

تحلیل چین‌خوردگی واحدهای چین‌خورده کمربالا و کمرپایین پهنه گسلی مذکور گویای وجود یک چین نامتقارن و ملایم است که الگوی منحنی‌های تراز قطب‌های لایه‌بندی آن، مؤید وضعیت 260, 04 برای محور چین‌خوردگی است. این محور تقریباً به موازات راستای گسل معکوس سیه‌کمر (۰۸۰-۰۶۰ درجه) است (تصویر۷ب). پهنه خردشده که در واقع جبهه پیشانی گسل معکوس سیه‌کمر است، به طور کلی شامل سنگ‌های کاتاکلاستیک مانند کاتاکلاسیت‌ها، بِرش و گوژ گسلی است. کاتاکلاسیت سنگی است مرکب از قطعات سنگ ـ کانی که بر اثر خردشدگی شکنا، بدون پدیده ذوب تشکیل می‌شود (Chester et al. 1985). در این واحدها، نسبت پورفیروکلاست‌ها به زمینه تقریباً برابر است. حجم اصلی پورفیروکلاست‌ها را کانی کوارتز و قطعات سنگ‌های تخریبی اولیه تشکیل می‌دهند. کاتاکلاسیت‌ها قابل تقسیم به دو دسته کاتاکلاسیت‌های بدون برگواره و برگواره‌دار[11] می‌باشند. کاتاکلاسیت‌های بدون برگواره در عرض پهنه گسلی و دورتر از صفحه گسل اصلی که توسط بِرش و گوژ گسلی محصور می‌شود، واقع می‌شوند. کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار با پهنایی برابر ۲۰-۵ متر درون پهنه خردشده قرار دارند و با ویژگی دارا بودن برگواره‌هایی به موازات یا نیمه‌موازات با صفحه گسل اصلی شناخته می‌شوند. برگوارگی در این دسته از سنگ‌های گسلی با تغییرات در رنگ، جهت‌یابی ترجیحی قطعات سنگی تشکیل دهنده سنگ و نوارهای بُرشی قابل مشاهده در رخنمون، جلوه‌گر می‌شود (تصویرهای۶و۸ب). از کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار در پهنه بُرشی این گسل، جهت تعیین سوی بُرش در مطالعات میکروسکوپی استفاده شده است. پهنه خردشده که در واقع جبهه پیشانی گسل معکوس سیه‌کمر است، به طور کلی شامل سنگ‌های کاتاکلاستیک مانند کاتاکلاسیت‌ها، بِرش و گوژ گسلی است. کاتاکلاسیت سنگی است مرکب از قطعات سنگ ـ کانی که بر اثر خردشدگی شکنا، بدون پدیده ذوب تشکیل می‌شود (Chester et al. 1985). در این واحدها، نسبت پورفیروکلاست‌ها به زمینه تقریباً برابر است. حجم اصلی پورفیروکلاست‌ها را کانی کوارتز و قطعات سنگ‌های تخریبی اولیه تشکیل می‌دهند. کاتاکلاسیت‌ها قابل تقسیم به دو دسته کاتاکلاسیت‌های بدون برگواره و برگواره‌دار می‌باشند. کاتاکلاسیت‌های بدون برگواره در عرض پهنه گسلی و دورتر از صفحه گسل اصلی که توسط بِرش و گوژ گسلی محصور می‌شود، واقع می‌شوند. کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار با پهنایی برابر ۲۰-۵ متر درون پهنه خردشده قرار دارند و با ویژگی دارا بودن برگواره‌هایی به موازات یا نیمه‌موازات با صفحه گسل اصلی شناخته می‌شوند. برگوارگی در این دسته از سنگ‌های گسلی با تغییرات در رنگ، جهت‌یابی ترجیحی قطعات سنگی تشکیل دهنده سنگ و نوارهای بُرشی قابل مشاهده در رخنمون، جلوه‌گر می‌شود (تصویرهای۶و۸ب). از کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار در پهنه بُرشی این گسل، جهت تعیین سوی بُرش در مطالعات میکروسکوپی استفاده شده است.

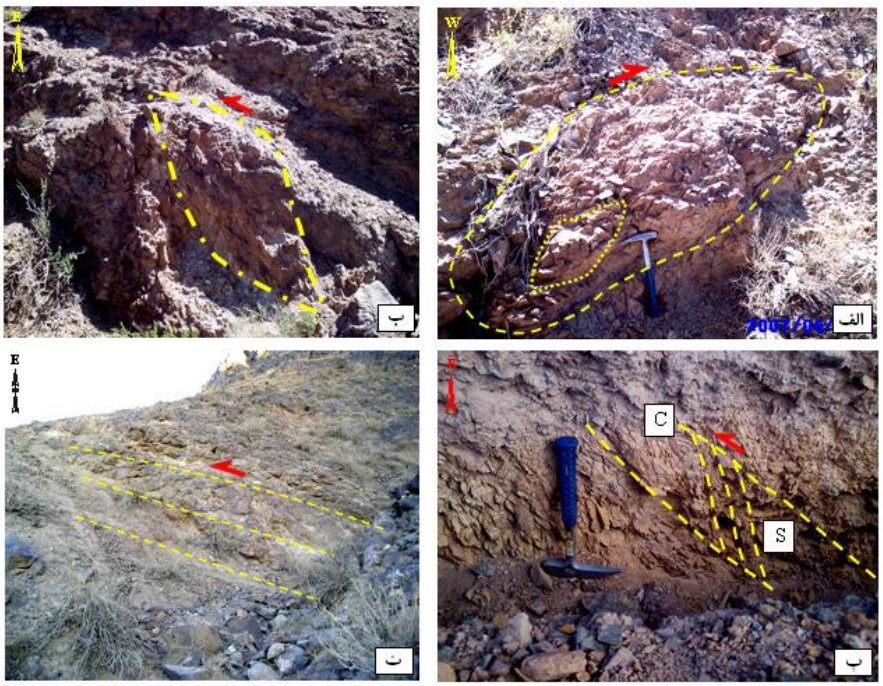
10. Asymmetric lensoid shapes
11. Nonfoliated & foliated cataclasites



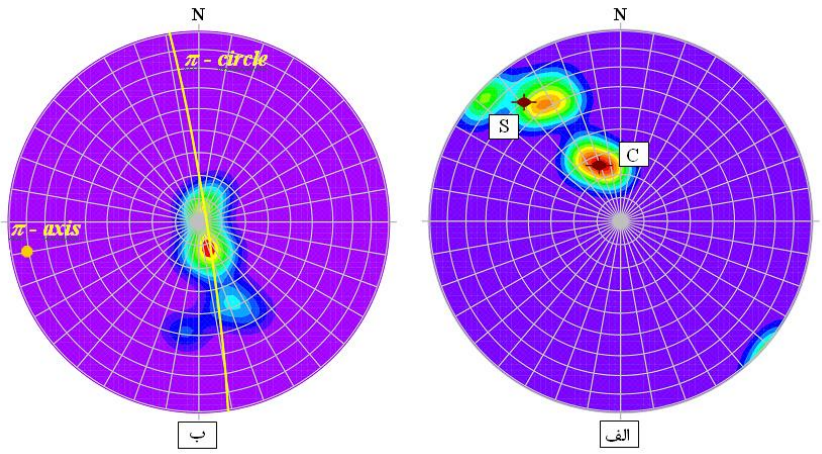
تصویر۴. موقعیت پهنه گسلی سیه‌کمر در دامنه‌های شمالی کوه سیه‌کمر واقع در جنوب غرب دهکده هیرد، لوزی‌های سفید نشان‌گر گمانه‌های اکتشافی به ترتیب از شرق به غرب با شماره‌های ۹، ۱۸، ۲۱ و ۱۱ هستند (داده Quickbird)



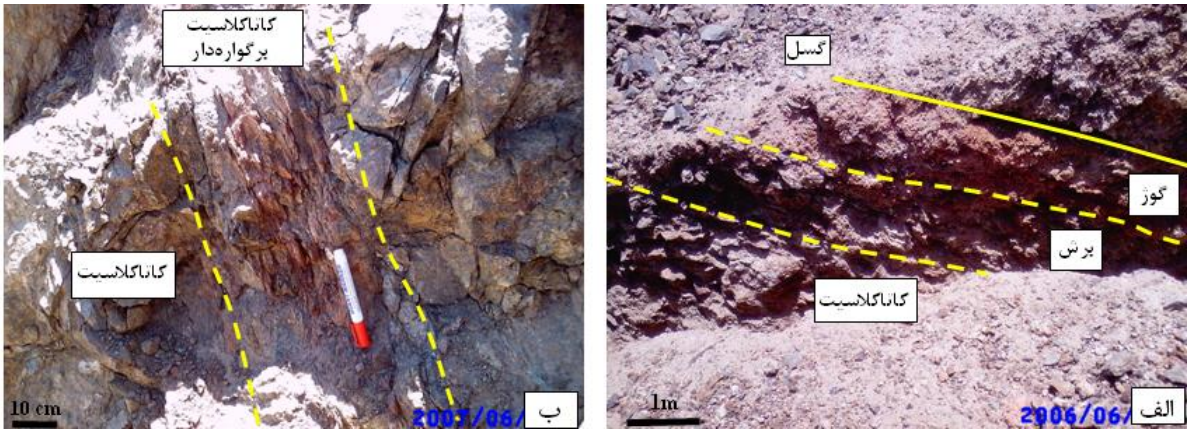
تصویر۵. نمایی از دامنه شمالی کوه سیه‌کمر؛ محدوده بین خطوط زرد، پهنه بُرشی سیه‌کمر با راستای تقریبی E-W و خطوط قرمز نشان‌دهنده شکستگی‌های کششی با راستای تقریبی NNW و NNE قطع کننده آن می‌باشد. موقعیت تقریبی تعدادی ازگمانه‌های اکتشافی نیز نشان داده شده است.



تصویر۶ . تعیین کننده‌های سوی بُرش در مقاطع شرقی و غربی پهنه بُرشی سیه‌کمر؛ الف و ب. بخش‌های عدسی‌مانند نامتقارن به ترتیب در مقاطع شرقی و غربی پهنه برشی سیه‌کمر که جهت حرکت را از سمت جنوب به سوی شمال نشان می‌دهند، پ. ساخت S-C در یکی از ترانشه‌های اکتشافی و ت. صفحات جابه‌جایی در مقطع غربی همان پهنه که به‌صورت خطوط موازی در مرکز تصویر، شیبی حدود ۳۰ درجه به سوی جنوب نشان می‌دهند.



تصویر۷. الف. الگوی منحنی‌های تراز قطب‌های صفحات S-C گسل سیه‌کمر در شبکه هم‌مساحت و ب. الگوی منحنی‌های تراز قطب‌های لایه‌بندی واحدهای فرادیواره و فرودیواره گسل سیه‌کمر در شبکه هم‌مساحت، جهت تعیین محور چین سیه‌کمر با استفاده از نمودار π ؛ محور π (π-axis) ، معادل محور چین است.

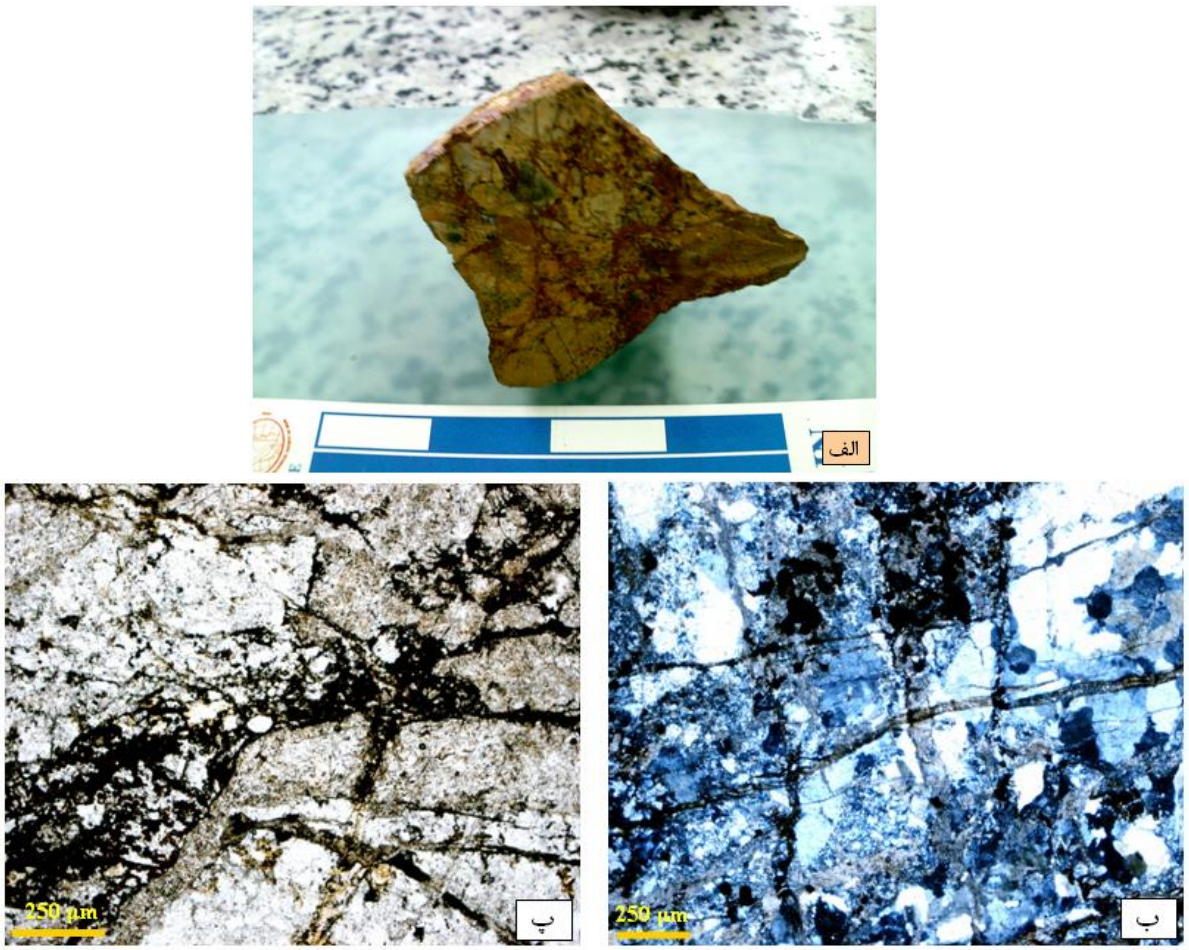


تصویر۸. الف و ب. گوژ، بِرش و کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار و بدون برگواره در پهنه بُرشی گسل سیه‌کمر

بِرش‌های گسلی غیرچسبنده هم در طول گسل اصلی و هم دسته‌جات گسل‌های فرعی دیده می‌شوند که تشکیل دهنده پهنه‌هایی باریک و با ضخامت‌هایی کم می‌باشند. به طور کلی مرز بین بِرش‌ها و سنگ‌های دیواره، به صورت تدریجی است. بِرش‌های گسلی با رنگ‌های قهوه‌ای، کِرم و خاکستری مشخص می‌شوند که شامل قطعات سنگی زاویه‌دار تا نیمه زاویه‌دار می‌باشند (تصویر۸ الف). گوژ گسلی در طول صفحه گسل اصلی و گسل‌های فرعی دیده می‌شود و ضخامتی متغیر از چند سانتی‌متر تا چند متر نشان می‌دهد. مرز بین گوژ گسلی، بِرش گسلی و کاتاکلاسیت‌ها، عموماً تدریجی است (تصویر۸ الف و ب).

فابریک در بِرش و کاتاکلاسیت

همان‌طور که ذکر شد، فابریک در بِرش و کاتاکلاسیت‌ها به صورت تصادفی است. این فابریک در پهنه‌های بُرشی شکنا با ظهور انواع سیستم شکستگی، رگه و رگچه و به‌طور کلی خُردشدگی و در نتیجه ایجاد بِرش گسلی و فابریک کاتاکلاسیت همراه است. همچنان‌که مطالعه میکروسکوپی نمونه‌های برداشتی از پهنه بُرشی سیه‌کمر نیز این واقعیت را گویا می‌باشد (تصویر۹) در نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های متفاوت درون پهنه بُرشی ـ گسلی سیه‌کمر، شدت بالایی از خردشدگی، مراحل چندگانه دگرشکلی شکنا و رگه و رگچه‌ای شدن به چشم می‌خورد به طوری‌که فاز سوم دگرشکلی که احتمالاً همراه با هجوم سیالات کانه‌دار بوده، سبب خردشدن و بِرشی‌شدن شدید سنگ‌ها و در نتیجه ایجاد فابریک‌های مورد بحث گشته است (تصویر۹).



تصویر۹. الف. نمونه دستی صیقل‌یافته از بِرش گسلی ـ هیدروترمالی، ب و پ. مقاطع نازک از بِرشی‌شدن شدید و ایجاد فابریک کاتاکلاسیت در زمینه‌ای از اکسیدهای آهن و کلسیت مربوط به داخلی‌ترین بخش‌های پهنه بُرشی سیه‌کمر

فابریک S-C در کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار

اگرچه نمونه‌گیری و تهیه مقطع نازک از گوژ گسلی و کاتاکلاسیت‌های غیرچسبنده جهت بررسی‌های میکروسکوپی دشوار است، ولی این مقاطع ممکن است حاوی اطلاعات باارزشی از سوی بُرش باشند. یک گوژ گسلی به طور عادی شامل قطعات سنگی و کانیایی در یک زمینه مواد ریز غنی از رس است. این زمینه ممکن است در زیر میکروسکوپ، نوارهای بُرشی و جهت‌یابی ترجیحی از خود نشان دهد که هر دو می‌توانند همانند روابط بین برگواره‌های مایل و نوارهای بُرشی در میلونیت‌ها، در تعیین سوی بُرش دارای کاربرد باشند. فابریک S-C شامل نوارهای بُرشی (C) و صفحات (S) است. این فابریک اغلب بیرون از پهنه بُرشی، ضعیف و در نهایت ناپدید می‌شود؛ به این معنی که در نتیجه فرآیند بُرش ایجاد شده است. صفحات (S) با جهت‌یابی ترجیحی قطعات سنگ یا کانی که توسط نوارهای بُرشی قطع می‌گردند، تعریف می‌شوند. این صفحات اغلب در تمام مقیاس‌ها نافذ می‌باشند. صفحات (C) یا کلیواژ نوار بُرشی نوع C [۱۲]، اغلب به طور نسبی به موازات مرزهای پهنه بُرشی میزبان ایجاد و از یک دسته سطح بُرش فاصله‌دار تشکیل می‌شوند. این سطوح ممکن است در مقیاس نمونه دستی نافذ باشند، ولی اغلب در مقیاس مقطع نازک، نافذ نیستند. از رابطه زاویه‌ای میان این دو ساختار، بر پایه مفاهیم بیضی واتنش، می‌توان برای تعیین سوی بُرش استفاده نمود. هر دو صفحه به صورت هم‌زمان در سنگ دگرشکل شونده تشکیل می‌شوند. نامتقارنی برگوارگی S نسبت به سطح C، جهت چرخش را به‌دست می‌دهد که گویای جهت بُرش است (Chester et al., 1985).

بررسی نمونه‌های دستی صیقل یافته و مقاطع نازک، جهت مطالعه فابریک S-C ، در مقاطع XZ ـ مقاطع در برگیرنده محورهای بیشینه و کمینه واتنش ـ صورت می‌گیرد. زیرا این مقاطع باید عمود بر برگوارگی و به موازات ساخت خطی باشند تا جهت‌گیری درست را برای تعیین سوی بُرش نشان دهند.

کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار با تغییرات در رنگ، جهت‌یابی ترجیحی قطعات سنگ یا کانی تشکیل دهنده سنگ و نوارهای بُرشی جلوه‌گر می‌شود. در مقاطع XZ صیقل‌یافته از نمونه دستی و نیز مقاطع نازک مربوط به این دسته از سنگ‌ها در پهنه گسلی سیه‌کمر، تکه‌های ریزدانه تشکیل دهنده سنگ اولیه که دارای شکل‌های نامتقارن هستند، به صورت زاویه‌دار نسبت به نوارهای بُرشی، جهت‌گیری نموده‌اند. این ساختار تأیید کننده جنبش معکوس پهنه گسلی سیه‌کمر است (تصویر ۱۰).

12. C-type shear band cleavage

مطالعات ریزساختاری زیرسطحی و ارتباط آن با کانه‌زایی

وقوع تغییرات ساختاری ماکروسکوپی و میکروسکوپی از قبیل کاهش اندازه دانه‌ها، جابه‌جایی سیالات در مسیر شکاف‌ها و ... طی دگرشکلی پیش‌رونده[13] در یک پهنه بُرشی، از دیدگاه کانه‌زایی و تمرکز طلا بسیار حائز اهمیت است به‌طوری‌که در سیستم‌های هیدروترمالی، حرکت سیال در میان ریزساختارها، شکستگی‌ها و فابریک‌های شکل گرفته در پهنه‌های بُرشی، متمرکز شده و توسعه می‌یابد (Sibson, 1977). همان‌طور که پیش از این نیز ذکر شد، بخشی از کانی‌سازی در محدوده اکتشافی شماره (۱)، در طول پهنه بُرشی ـ گسلی سیه‌کمر رخ داده است. ۴ گمانه با شماره‌های ۹، ۱۱، ۱۸و ۲۱ در یک راستای شمال شرق ـ جنوب غرب در فرادیواره پهنه برشی، و با زاویه انحراف[14] ۳۰ درجه رو به جنوب و تا بیشینه عمق ۱۳۳ متر حفر شده‌اند (تصویر۴). طی یک مطالعه و بررسی ریزساختارهای موجود در مغزه‌های حاصل از گمانه‌های مذکور چه در مقیاس مزوسکوپی و چه میکروسکوپی، ۴ منطقه به نام‌های A_1 ، B_1 ، A_2 و B_2 در هر یک از آن‌ها قابل مشاهده و تفکیک می‌باشد، به طوری‌که فاکتورهایی از قبیل شدت خردشدگی، فراوانی و تمرکز رگه‌ها و رگچه‌ها، نوع و شدت دگرسانی، رنگ و جنس واحدها و ... ، در هر یک از این منطقه‌ها دارای ویژگی‌های مخصوص به خود می‌باشند. از این میان، منطقه A1 در واقع همان پهنه بُرشی ـ گسلی کانه‌دار است که از رخنمون سطحی نیز برخوردار می‌باشد و سه منطقه دیگر با سنگ‌شناسی آگلومرا، توف، آندزیت همراه کنگلومراهای تازه، در گمانه‌های متفاوت نقش سنگ دیواره به نسبت سالم را ایفا می‌کنند. پس از تقسیم‌بندی ساختاری هر یک از گمانه‌های نامبرده، قادر به برقراری ارتباط و انطباق نسبتاً خوبی بین منطقه‌های تعریف و تفکیک شده در گمانه‌ها در امتداد پهنه بُرشی سیه‌کمر خواهیم بود، به گونه‌ای که پهنه بُرشی ـ گسلی طلادار با مشخصات خاص خود قابل مشاهده و تعقیب می‌باشد.

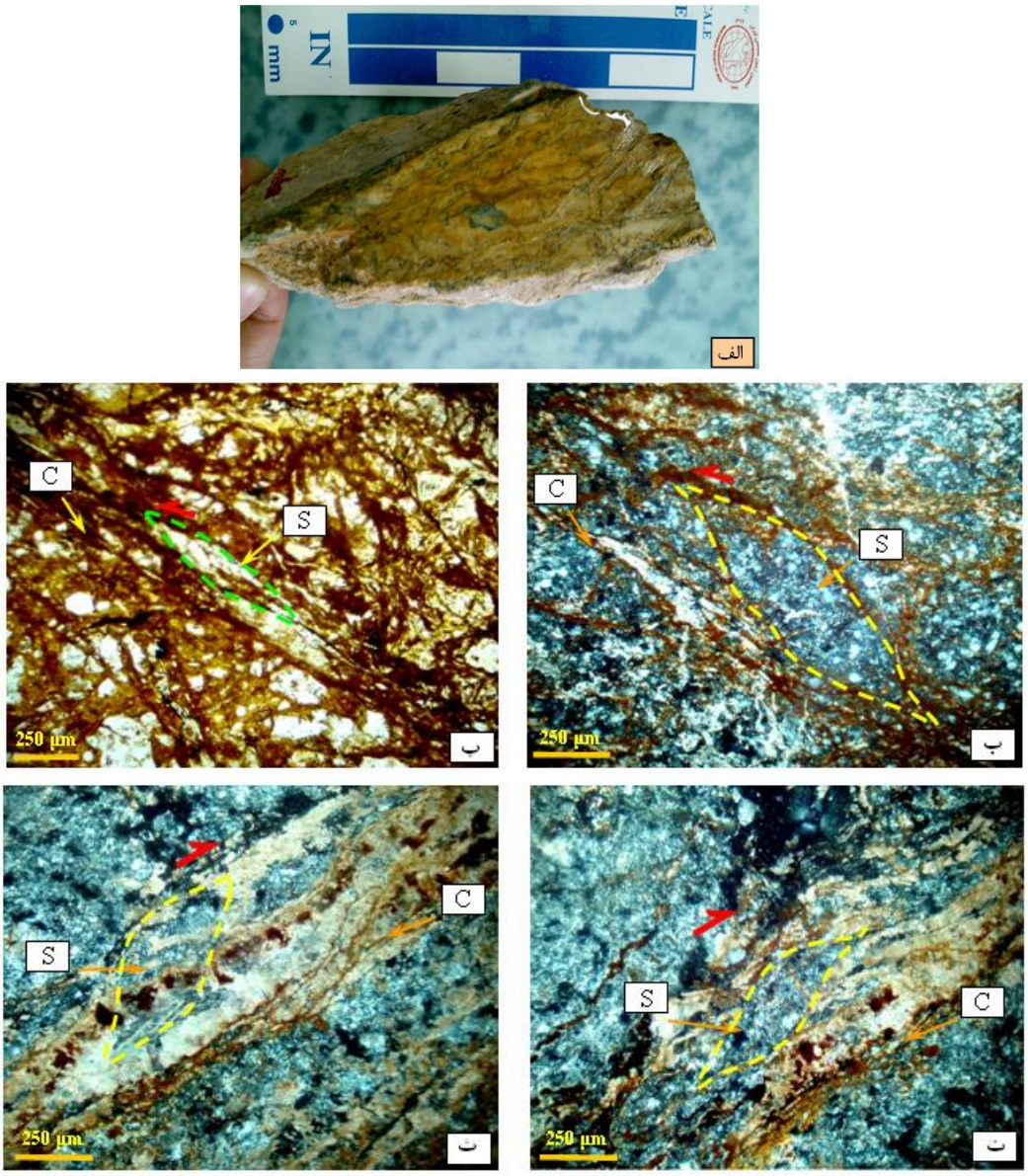
منطقه (A_1)

این منطقه در واقع پهنه بُرشی ـ گسلی طلادار اصلی بوده که در سطح زمین و به طور ویژه در بُرش‌های حاصل از حفر ترانشه‌ها نیز قابل مشاهده و ردیابی می‌باشد. ضخامت این پهنه در تمام گمانه‌های مورد بررسی یکسان نبوده به طوری‌که به ترتیب در گمانه‌های ۹، ۱۱، ۱۸و ۲۱ دارای ضخامت ظاهری تقریبی ۳۲، ۲۲/۵، ۲۳ و ۱۸ متر می‌باشد. سنگ‌شناسی این پهنه کنگلومرا است و از لحاظ ساختاری کاملاً خرد و شکسته شده می‌باشد، به طوری‌که قطعات تشکیل دهنده آن (بیش از ۳۰ درصد حجم آن) که به طور عمده واحدهای تخریبی و سیلیس می‌باشند، به شدت خردشده و تشکیل قطعات زاویه‌دار در ابعاد مختلف داده‌اند؛ بر این اساس می‌توان به آن نام بِرش اطلاق نمود (Chester et al. 1985).

بر اساس مطالعه مغزه‌ها، دگرسانی غالب و اصلی در این پهنه؛ سیلیسی در بخش‌هایی همراه با وفور کانی‌های رسی و کربناتی و دگرسانی فرعی کلریتی همراه با کانی‌های کربناته است. به پیروی از شکستگی‌های فراوان، میزان اکسیداسیون نیز بسیار بالا (بیش از ۸۰ درصد) است. رنگ کلی این پهنه نخودی تا قهوه‌ای می‌باشد. فراوانی رگه‌ها و رگچه‌هایی با ترکیب لیمونیت و کوارتز ـ کربنات در این پهنه بالا است که در اکثر موارد به صورت نامنظم و در جهات گوناگون توزیع شده‌اند (تصویر۱۱ الف و ب). در قسمت‌هایی از این بخش، آثار شکستگی‌ها و رگه‌های منظم نیز به چشم می‌خورد. ریزگسل‌های[15] زیادی در قسمت‌های مختلف این پهنه قابل مشاهده بوده به گونه‌ای که گاه سبب جدایش‌هایی تا ۸-۷ سانتی‌متر شده‌اند (تصویر۱۲). در بعضی از قسمت‌ها مانند قسمت‌های میانی منطقه A_1 در گمانه‌های ۱۱و۱۸، در طول گسل‌های فرعی، شدت خردشدگی و پودرشدگی به قدری زیاد است که میزان قطعات بزرگ بسیار کم بوده و به آن باید نام گوژ اطلاق نمود (تصویر۱۳).

بر پایه مطالعات مذکور، در پهنه بُرشی ـ گسلی سیه‌کمر؛ مشابه آن‌چه که در سطح زمین دیده می‌شود، انواع سنگ‌های گسلی یک رژیم دگرشکلی شکنا قابل تشخیص است به نحوی که در ابتدا و مجاور مرزهای گسل اصلی، گوژ و بِرش و به سمت داخل پهنه با افزایش شدت خُردشدگی، کاتاکلاسیت‌ها دیده می‌شوند. بر اساس مطالعه مقاطع میکروسکوپی مربوط به این پهنه، سه فاز دگرشکلی به صورت شکنا قابل تفکیک است. از قدیمی‌ترین مرحله، که با رگچه‌های سیلیسی پرکننده شکستگی‌ها مشخص می‌شود؛ به دلیل تأثیر فعالیت‌های شدید تکتونیکی بعدی، آثار زیادی قابل مشاهده نمی‌باشد و به زحمت آثار رگچه‌های کوارتز در آن به‌چشم می‌خورد. در مرحله دوم، این پهنه کاملاً تحت تأثیر محلول کربناته و بعضاً کوارتز ـ کربنات قرار گرفته به گونه‌ای که هم قطعات تشکیل دهنده سنگ و هم رگچه‌های حاصل از فاز اول را متأثر ساخته و قطع نموده است (تصویر۱۴الف). تحت تأثیر این فاز سنگ‌ها به شدت خُرد و بِرشی و دارای فابریک کاتاکلاسیت شده‌اند. در فاز سوم از دگرشکلی، این پهنه بُرشی تحت تأثیر محلول‌های سولفیدی تبدیل شده به اکسید و هیدراکسیدهای آهن (لیمونیت، هماتیت و گوتیت)، قرار گرفته، به طوری‌که رگه‌ها و رگچه‌های مربوط به مراحل قبل را قطع نموده و حتی در بعضی موارد، مشابه آن‌چه که در مقیاس نمونه دستی مشاهده شد، سبب جابه‌جایی آن‌ها نیز شده است (تصاویر۱۲و۱۴ ب،پ). این محلول سولفیدی اکسیدشده، در واقع همان محلول کانه‌دار این پهنه بُرشی می‌باشد؛ چرا که همگام با افزایش آن در بخش‌های به شدت خردشده، میزان عیار طلا نیز افزایش یافته است. این رگچه‌های کانه‌دار در مواردی در راستای شکستگی‌های پر شده از کربنات و در مواردی نیز به صورت مستقل عمل نموده‌اند. در قسمت‌هایی نیز کانی‌زایی مرتبط با این مرحله به پیروی از شکستگی‌ها حالت منظم نشان می‌دهد (تصویر۱۴).

13. Progressive deformation
14. Inclination
15. Micro faults

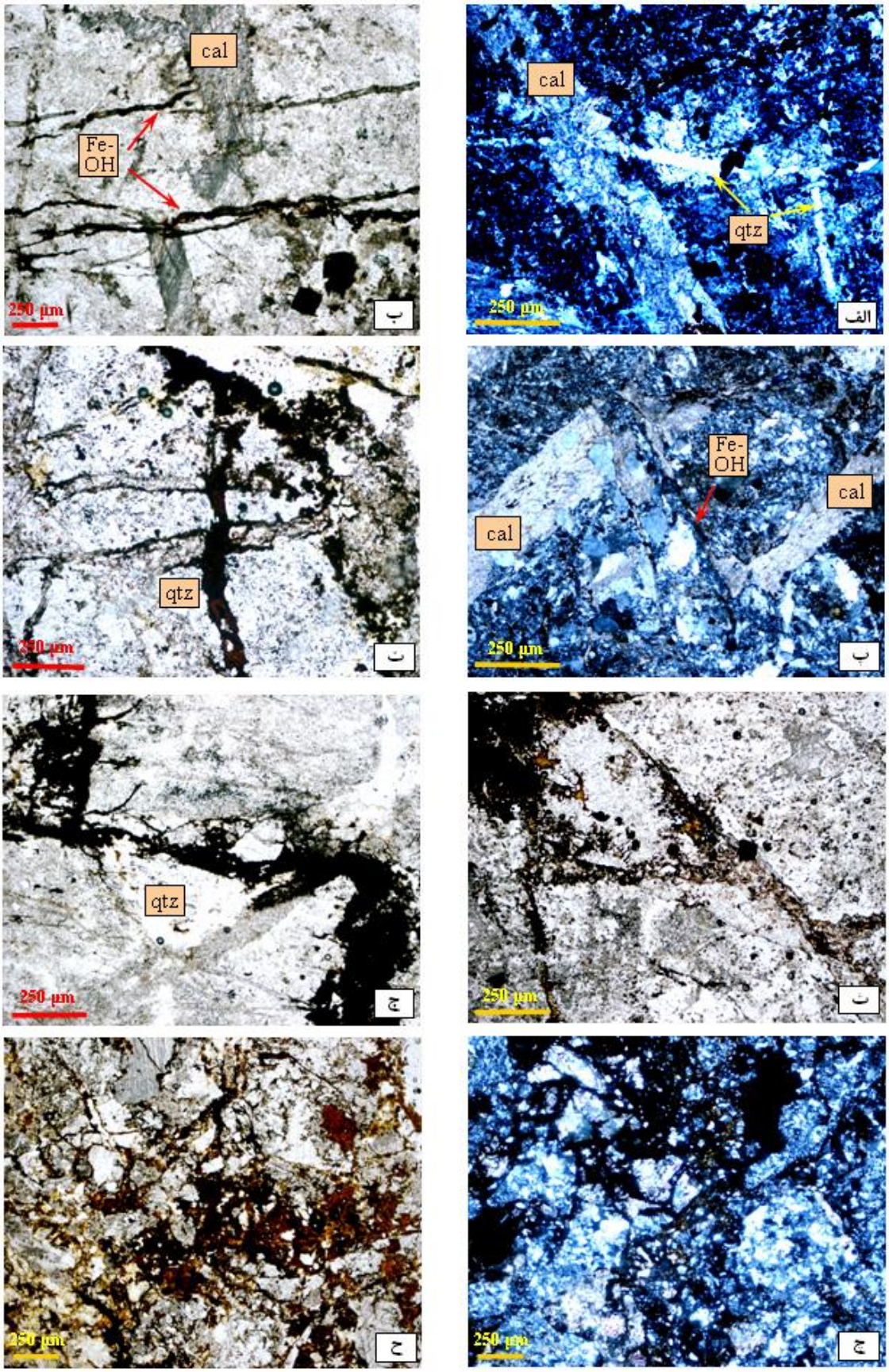


تصویر ۱۰. مقاطع XZ ریزساختارهای درون کاتاکلاسیت‌های پهنه بُرشی سیه‌کمر؛ الف. نمونه دستی صیقل‌یافته، ب و پ. مقاطع نازک معرف مقطع غربی (دید به شرق)، ت و ث. مقاطع نازک معرف مقطع شرقی پهنه مذکور است (دید به غرب). برگوارگی (S)، با جهت‌گیری ترجیحی کوارتز و قطعات سنگی نامتقارن و نوارهای بُرشی (C)، توسط لایه‌های تیره اکسیدهای آهن؛ مشخص می‌شوند. پیکان‌های قرمز، نمایش‌گر سوی بُرش (معکوس) هستند.

تصویر۱۱. الف. بخش بِرشی حاصل از گمانه۱۱، نشان‌گر پهنه بُرشی طلادار، ب. نمایی نزدیک از واحد بِرشی (بِرش گسلی ـ هیدروترمالی)

تصویر۱۲. ریزگسل در رگه‌های اکسید آهنی در بِرش ـ کاتاکلاسیت‌های پهنه بُرشی طلادار

تصویر۱۳. تشکیل گوژ در قسمت‌های گسلی پهنه بُرشی طلادار (گمانه ۱۱)



تصویر۱۴. الف. قطع‌شدگی رگچه‌های کوارتز (qtz) توسط رگه کلسیتی (cal)، ب و پ. قطع‌شدگی و جابه‌جایی رگه‌های کلسیتی (cal) توسط رگچه‌های هیدراکسیدآهنی (Fe-OH)، ت ـ ج. ایجاد و گسترش رگچه‌های کانه‌دار به صورت منظم و نامنظم در راستای شکستگی‌ها و رگه‌های از قبل موجود، چ و ح. ایجاد فابریک کاتاکلاسیت در زمینه‌ای از اکسیدهای آهن و کربنات‌ها مربوط به داخلی‌ترین بخش‌های پهنه برشی به ترتیب در عمق ۲۳ متر گمانه ۱۱ و ۲۰ متر گمانه ۱۸.

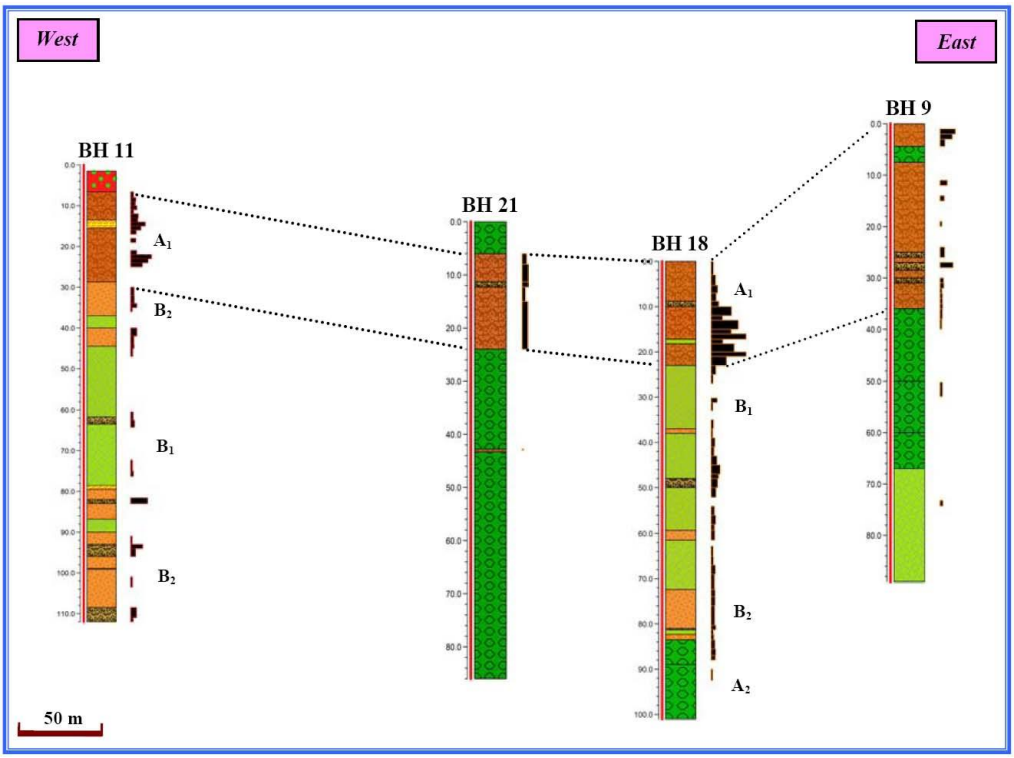
بحث و نتیجه‌گیری

پس از توصیف و تقسیم‌بندی ریزساختاری بخش‌های مختلف گمانه‌های مذکور، اقدام به رسم نمودار[16] هر یک از آن‌ها در نرم‌افزار RockWorks,2008 گردید. در مرحله بعد با قرار دادن نتایج تحلیل طلا (سازمان زمین‌شناسی)، به صورت ستونی در مقابل نمودارهای مربوطه، به‌طور مشخص و واضح ارتباط مستقیم بین پهنه بُرشی و به شدت خردشده اصلی، با میزان عیار ماده معدنی قابل مشاهده می‌باشد. با کنار هم قرار دادن نمودارها، قادر به برقراری همبستگی و تطبیق[17] بین آن‌ها در طول پهنه بُرشی سیه‌کمر خواهیم بود به گونه‌ای که پهنه بُرشی ـ گسلی پر عیار با مشخصات خاص خود قابل مشاهده و تعقیب می‌باشد (تصویر۱۵).

در یک پهنه بُرشی شکنا، همبری بین سنگ‌های گسلی و سنگ دیواره سالم اغلب به‌صورت یک پهنه انتقالی تدریجی در کاهش شدت دگرشکلی شکنا می‌باشد (Passchier and Trouw, 2005)، به‌طوری‌که در بخش داخلی پهنه بیشینه شدت دگرشکلی و با فاصله گرفتن به سمت حاشیه‌های پهنه، شدت دگرشکلی کاهش می‌یابد. این موضوع در مورد پهنه بُرشی سیه‌کمر علاوه بر سطح زمین در بررسی‌های عمقی نیز صادق می‌باشد چنان‌چه در گمانه‌های شماره ۱۱و۱۸، بیشترین شدت دگرشکلی شکنا که با ظهور انواع سیستم شکستگی، رگه و رگچه، بِرش گسلی و فابریک کاتاکلاسیت و به‌طور کلی خُردشدگی همراه است؛ در بخش داخلی پهنه مشاهده می‌شود (تصویر۱۴، چ ،ح). جالب توجه این‌که بیشینه عیار طلا نیز مربوط به همین قسمت از پهنه بُرشی می‌باشد (تصویر۱۵، نمودارهای مربوط به گمانه‌های ۱۱و۱۸). اما با فاصله گرفتن از پهنه مربوطه به سمت سنگ دیواره، شدت دگرشکلی شکنا کاهش می‌یابد؛ به طوری‌که منطقه‌های B_1 ، B_2 و A_2 که در گمانه‌های مختلف پس از منطقه A_1 واقع شده‌اند، از شدت‌های کمتر دگرشکلی شکنا برخوردارند و به نسبت، عیار طلای کمتری هم دارا می‌باشند. البته همان‌گونه که در تصویر ۱۵ دیده می‌شود، در قسمت‌های پایین گمانه‌های ۱۱و۱۸، بخش‌های فرعی طلاداری نیز وجود دارند که با توجه به شباهت ساختاری تقریبی به پهنه اصلی، احتمالاً مربوط به پهنه‌های بُرشی فرعی می‌باشند و به طور کلی باید گفت که عیار طلا ارتباط مستقیمی با شدت دگرشکلی شکنا نشان می‌دهد.

در مجموع کانی‌سازی در محدوده طلادار هیرد، با توده‌های نفوذی احیایی نوع S با ترکیبی در حد گرانودیوریت ـ کوارتزمونزودیوریت با بافت پورفیری در ارتباط است. کانی‌سازی حالت بی‌نظم و پراکنده دارد و می‌توان آن را به سه بخش درون توده نفوذی، در حاشیه توده نفوذی و دور از توده نفوذی تقسیم نمود. همین مسئله باعث شده که کانی‌سازی از نظر عیار و ذخیره در بخش‌های مختلف منطقه متفاوت باشد (علیمحمدی، ۱۳۸۶). کانی‌سازی در بخش غربی محدوده اکتشافی شماره ۱ (پهنه برشی سیه‌کمر)، در اثر نفوذ توده گرانیتوئیدی داخل سنگ‌های آتشفشانی ـ رسوبی شامل آندزیت، توف و کنگلومرا تشکیل شده است. بنابراین؛ در این بخش کانی‌سازی از نوع حاشیه توده نفوذی است. در این بخش از محدوده، محلول کانی‌ساز از طریق گسل‌ها و سیستم‌های شکستگی تشکیل دهنده بلوک‌های گسلی و پهنه‌های برشی ـ گسلی به شدت خردشده در طی فرآیندهای دگرشکلی پیشرونده، بالا آمده است. و پهنه‌های برشی شکنای[18] به شدت خردشده از کنترل کننده‌های ساختاری اصلی کانه‌زایی می‌باشند. در منطقه هیرد، سنگ‌های گسلی در پهنه‌های بُرشی وابسته به گسل‌ها، شامل کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار و بدون برگواره، بِرش و گوژ می‌باشند. فابریک در بِرش و کاتاکلاسیت‌های بدون برگواره به صورت تصادفی است و با ظهور انواع سیستم شکستگی، رگه و رگچه و به‌طور کلی خردشدگی همراه است. ساخت S-C در مقاطع XZ از نمونه‌های دستی صیقل‌یافته و مقاطع نازک حاصل از کاتاکلاسیت‌های برگواره‌دار، تأیید کننده جنبش معکوس گسل سیه‌کمر می‌باشد.

16. Log
17. Correlation
18. Brittle shear zones or fault zones



تصویر۱۵. نمودار گمانه‌های مورد بررسی در پهنه بُرشی سیه‌کمر؛ محور سمت چپ هر نمودار بیان‌گر عمق گمانه (متر) است. منطقه‌های تفکیک شـده A_1, A_2, B_1, B_2 (توضـیح در مـتن)، در مورد گمانه‌های ۱۱و۱۸ نشان داده شده‌اند. نمودار ستونی مقابل نمودار هر کدام از گمانه‌ها، بیان‌گر مقادیر عیار طلا (ppm) (سازمان زمین‌شناسی) در عمق مربوطه می‌باشد، به‌طوری‌که بیشینه عیار طلا در گمانه ۱۸، برابر ۲/۳۱؛ در گمانه ۱۱، برابر ۱/۴۳؛ در گمانه ۹، برابر ۱؛ و در گمانه ۲۱، برابر ۰/۴ (ppm)، است. فاصله افقی بین گمانه‌های ۹ و ۱۱، حدود ۵۴۰ متر می‌باشد.

منابع

خطیب، م.م.، ۱۳۷۷، هندسه پایانه گسل‌های امتدادلغز با نگاهی ویژه به گسل‌های خاور ایران، رساله دکتری دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۴ ص.

عسکری، ع. و صفری، م.، ۱۳۸۲، گزارش نقشه زمین شناسی معدنی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ ناحیه امید بخش معدنی طلای هیرد (شمال غرب نهبندان)، طرح اکتشافات مواد معدنی در جنوب خراسان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۲۵۰ ص.

علیمحمدی، م.، ۱۳۸۶، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، دورسنجی و ژنز کانسار طلای هیرد (جنوب بیرجند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، گرایش اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی،۲۲۰ ص.

قربانی، م.ع.، ۱۳۸۷، تحلیل ساختاری ناحیه معدنی هیرد (جنوب بیرجند) و پتروفابریک پهنه‌های بُرشی طلادار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، گرایش تکتونیک، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۰۶ ص.

Chester, F.M., Friedman, M. and Logan, J.M., 1985, Foliated cataclasites. Tectonophysics, Vol: 111, p: 139–146.

Coelho, C.E.S. and Sillva, F.H.F., 1998, The structural control of the gold deposits of the Fazenda Maria Preta gold district at Rio Itapicuru greenstone belt, northeastern Brazil, Revista Brasileria de Geociencias, Vol: 28, p: 367-376.

Kerrich, R., Allison, I., Barnett, R.L., Moss, S. and Starkey, J., 1980, Microstructural and chemical transformation accompanying deformation of granite in shear zones at Mieville, Switzerland, with implication for stress cracking and super plastic flow, Contrib. Mineral. Petrol., Vol: 73, p: 221-242.

Lin, A., 2001, S-C fabrics developed in cataclastic rocks from the Nojima fault zone, Japan and their implications for tectonic history, Journal of Structural Geology, Vol: 23, p: 1167–1178.

Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J., 2005, Microtectonics, 2nd Ed, Springer Verlag, Berlin, Heidelburg, 350 pp.

Sibson, R.H., 1977, Fault rocks and fault mechanisms, Journal of Geological Society of London, Vol: 133, p: 191-213.

Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983, The Sistan suture zone of eastern Iran, Geological Society America Bulletin, Vol: 94, p: 134-150.