

"یادداشت فنی"

تحلیل هندسی عناصر ساختاری در پهنه برشی معدن قلعه زری

راهله غضبانی^۱، محمدمهدی خطیب^{۲*}

۱- مدرس، پژوهشگر ژئوتوریسم، پارک علم و فناوری دانشگاه سمنان، rghazbanee@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند mkhatibm@yahoo.com

(دریافت ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۰، ۲۶ آذر ۱۳۹۱)

چکیده

مهم ترین عناصر ساختاری در معدن قلعه زری، گسل ها، درزه ها، رگه ها و دایک ها هستند که در دو پهنه برشی اصلی راست گرد واقع شده اند. پهنه برشی با امتداد N135 به عنوان برش اصلی و اولیه و پهنه برشی با امتداد N75، با ادامه عملکرد پهنه برشی راست گرد، و در نسل دوم بوجود آمده است. جهت گیری عمده شکستگی ها به ترتیب در سه راستای مهم NW-SE، NE-SW و ESE می باشد که مطابق با امتداد غالب گسل ها در منطقه و به ترتیب در راستای شکستگی های ریدل همسو با پهنه برشی، ناهمسو با پهنه برشی و شکستگی های کششی هستند. عناصر ساختاری، در دو نسل می باشند و از هندسه پهنه های برشی تبعیت می کنند. با افزایش کرنش برشی، نسل اول چرخش راست گرد حاصل کرده و سپس نسل دوم تشکیل شده اند، لذا می توان نوع دگرشکلی غیرهم محور را برای منطقه در نظر گرفت.

کلمات کلیدی

پهنه برشی، شکستگی های ریدل، عناصر ساختاری

۱ - مقدمه

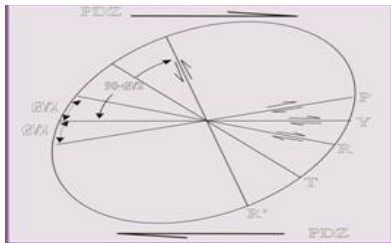
معدن مس قلعه زری بین طول‌های جغرافیایی $۵۸^{\circ} ۵۸' - ۵۸^{\circ} ۱'$ و ۵۹° شرقی و عرض‌های جغرافیایی $۳۱^{\circ} ۴۶' - ۳۱^{\circ} ۴۹'$ شمالی، تقریباً در ۱۸۰ کیلومتری جنوب بیرجند واقع شده است. این منطقه در شرق پهنه لوت-زیرپهنه ماگماتیسیم خرد قاره مرکزی و تحت تأثیر گسل‌های اصلی شمال-جنوبی راست بر نهبندان در شرق و نایبند در غرب قرار گرفته است. فعالیت این گسل‌ها بصورت امتداد لغز راست گرد موجب پدیده برش، ایجاد فضاهای کششی و سرانجام نفوذ ماگما شده به-طوری که سنگ‌های آذرین دوره پالئوژن، سنگ میزبان منطقه مطالعاتی را تشکیل می‌دهند. براساس مطالعات پیشین [۲، ۴، ۱۷]، در محدوده قلعه‌زری عمده واحدهای سنگ شناختی که رخمون دارند از نوع واحدهای رسوبی و آذرین است. واحدهای سنگ شناختی رسوبی شامل شیل، تناوب شیل و ماسه سنگ و کنگلومرای ریزدانه تیره رنگ است. از واحدهای سنگ شناختی آذرین که در این منطقه بیرون زدگی دارند می‌توان به انواع آندزیت‌های ریزدانه تا آندزیت‌های پورفیری، بازالت‌ها و توف-های بازالتی، توفهای آندزیتی، داسیت و ریوداسیت اشاره کرد. در محدوده کانسار قلعه‌زری بطور محدود رخمون‌های کوچکی از نفوذی‌های ریزدانه یا ترکیب گرانیات تا گرانودیوریت گزارش شده است [۱]. به لحاظ زمانی، واحدهای رسوبی ژوراسیک، سنگهای آذرین آتشفشانی پالئوژن و نفوذیه‌های منطقه را متعلق به اولیگومیوسن می‌دانند. بررسی‌ها نشان می‌دهد سنگ میزبان اصلی رگه‌های کانه‌دار کانسار قلعه‌زری بیشتر آندزیتی است. توده‌های نفوذی نیمه عمیق و سنگ‌های آتشفشانی غنی از پتاسیم و کالک آلکالن هستند و در منطقه فرورانش تشکیل شده‌اند [۶].

کانی‌سازی در این معدن بصورت رگه‌ای و داخل شکستگی‌های حاصل از فعالیت فشارشی-برشی راست گرد با امتداد N135 صورت گرفته است [۳]. بسیاری از مناطق گسلی را می‌توان به‌عنوان پهنه‌های برشی در نظر گرفت [۱۴]. برخی محققین پهنه‌های برشی شکنا را معادل گسل‌ها می‌دانند و دارای مشخصات زیر می‌باشند؛

- این پهنه‌ها در پوسته بالایی، سریع تشکیل می‌شوند.
- این پهنه‌ها نشان‌دهنده برش، شکستگی‌ها، گسل‌ها و گوزهای گسلی می‌باشند.
- ضخامت این پهنه‌ها با افزایش جابجایی افزایش می‌یابد [۹]. در این پهنه‌های برشی چهار دسته شکستگی توسعه

می‌یابند. از لحاظ هندسی الگوی شعاعی توسط یک سری از شکستگی‌هایی که با زاویه مخصوص نسبت به روند پهنه برشی اصلی چرخش می‌کنند تعریف می‌شود [۷].

- برش‌های شعاعی اصلی (R)، که سوی برش همسو نسبت به پهنه برش اصلی بوده [۱۸] و با زاویه $\pm ۴۵^{\circ} / ۲$ نسبت به جهت برش اعمال شده قرار می‌گیرند [۸]. این برش‌ها بیشتر در مناطق گسل‌های شیب‌لغز تشکیل می‌شوند [۱۲].
- برش‌های شعاعی (R')، که سوی برش ناهمسو نسبت به پهنه برش اصلی بوده [۱۸] و با زاویه $\pm ۹۰^{\circ} / ۲$ نسبت به جهت برش اعمال شده قرار می‌گیرند.
- برش‌های (P)، که سوی برش همسو با پهنه برش اصلی بوده [۱۸] و با زاویه $\pm ۴۵^{\circ} / ۲$ نسبت به جهت برش قرار می‌گیرند. شکستگی‌های نوع P از چرخش شکستگی‌های نوع R و با افزایش دگرشکلی ایجاد می‌شوند.
- یک سری شکستگی‌های بُرشی، تقریباً به موازات اثر پهنه بُرشی شکل می‌گیرند که همسو با آن عمل می‌کنند و به نام بُرش‌های (Y) خوانده می‌شوند [۱۹].
- شکستگی‌های (T)، با زاویه $\pm ۴۵^{\circ}$ درجه نسبت به جهت برش قرار می‌گیرند. این شکستگی‌ها به‌طور کامل خواص کششی دارند [۸] (شکل ۱).

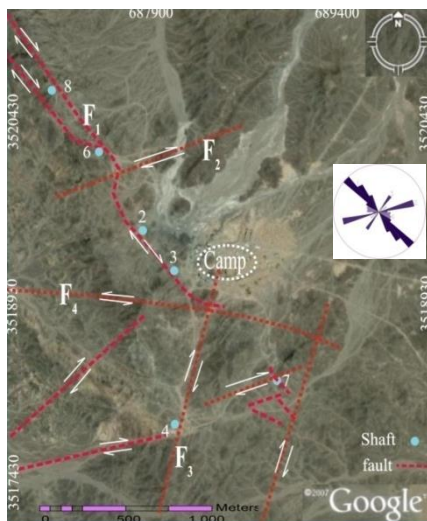


شکل ۱. طرح نمایش‌گر عناصر معمول درون یک سیستم بُرشی ریدل (Woodcock & Schubert, 1994).

به اعتقاد بسیاری از محققین، بُرش‌های R، اولین یا یکی از اولین بُرش‌هایی هستند که در سیستم مذکور شکل می‌گیرند [۱۷]. اگرچه در بعضی از سیستم‌های انبساطی، بُرش‌های P نیز ممکن است ابتدا شکل گیرند [۱۵]. به‌طور کلی، بسیاری بر این عقیده‌اند که بُرش‌های R و P، هم‌زمان با یکدیگر و بُرش‌های Y، دیرتر از سایر عناصر توسعه می‌یابند. این ساختارها متشکل از شبکه‌های نوارهای بُرشی بوده که اغلب در اولین مراحل گسلس در رژیم‌های با دگرشکلی بُرش ساده توسعه می‌یابند [۱۳]. اگرچه پهنه‌های بُرشی ریدل در رژیم‌های گسلی شیب‌لغز هم دیده می‌شوند [۱۱، ۱۲]، با این وجود؛ تشکیل این الگو عموماً در توالی‌های پوشاننده سیستم‌های راستالغز پی‌سنگی، فرض نهاده شده است [۷، ۱۰]. دنباله (Tip) شکاف‌های کششی

شمال غرب-جنوب شرق بوجود آمده‌اند (F_2). گسل‌های مرتبه سوم (F_3) گسل‌های شمال شرق-جنوب غرب با آزیموت $N30$ درجه و سازوکار امتدادلغز راست بر با مؤلفه معکوس می‌باشند. گسل‌های با آزیموت $N95-105$ درجه، گسل‌های مرتبه چهارم (F_4) هستند و سازوکار امتدادلغز چپ بر با مؤلفه معکوس دارند (شکل ۳).

در این منطقه درزه‌ها بصورت سیستماتیک و فراوان دیده می‌شوند و در امتداد بسیاری از آنها کانی‌سازی صورت گرفته‌است. از یک دیاگرام گل سرخی، برای تفسیر کل شکستگی‌های موجود در منطقه استفاده شده‌است (شکل ۴الف). دسته اول که فراوانی بیشتری دارند، شامل دو روند غالب $N120$ و $N150$ و دسته دوم که از لحاظ فراوانی در درجه دوم از اهمیت هستند روند غالب $N30$ دارند. و دسته سوم روند غالب شرقی-غربی دارند و دسته چهارم که از اهمیت کمتری برخوردارند و فاقد کانه‌زایی هستند روند شمالی-جنوبی دارند و بیشتر در شمال منطقه دیده می‌شوند. درزه‌های دسته اول و دوم، مربوط به درزه‌های برشی یا میل پهنه جابجایی اصلی هستند. درزه‌های دسته سوم از نوع کششی اند و درزه‌های دسته چهارم فشارشی هستند.



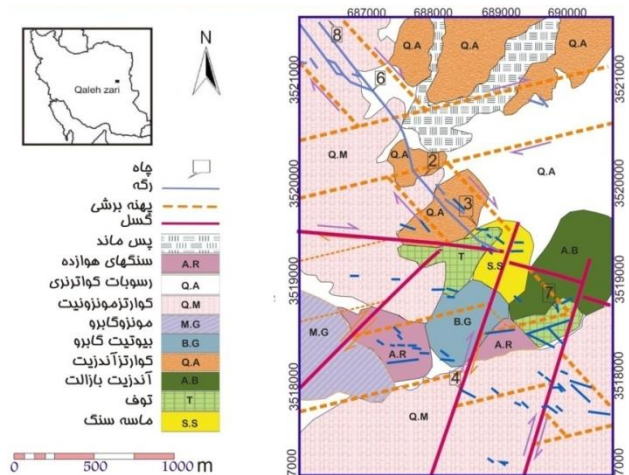
شکل ۳. نمایش گسل‌های اصلی منطقه بر روی عکس ماهواره‌ای به‌مراه دیاگرام گل سرخی فراوانی آن‌ها که نمایانگر بیشترین فراوانی گسل به ترتیب در امتداد NE ، ENE ، NW و در نهایت در امتداد WNW می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، زاویه امتداد درزه‌های برشی نسبت به درزه‌های کششی حدوداً 30° درجه است. و تراکم درزه‌های دسته اول بیش از دسته دوم می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت درزه‌های برشی در این امتداد گسترش بیشتری دارند و روند غالب کانی‌زایی منطقه را تشکیل می‌دهند. دسته اول را می‌توان بترتیب جزء شکستگی‌های ریدل R_1 و دسته دوم را جزء شکستگی‌های ریدل R' دسته‌بندی کرد. در

در جهت موازی با σ_1 جهت‌یابی شده و اغلب با کانی‌های فیبری که در جهت σ_1 رشد کرده‌اند پر شده‌است. ساختار هندسی مواد معدنی در معدن قلعه‌زری می‌تواند بعنوان داده مهمی در ارائه مدل اکتشافی و نحوه بهره‌برداری مورد استفاده قرار گیرد. این معدن دارای ساختار رگه‌ای با اشکال هندسی می‌باشد. در این مقاله، ابتدا به تحلیل جنبشی و هندسی مجموع عناصر ساختاری برداشت شده پرداخته می‌شود و سپس با استفاده از مجموع تحلیل‌های صورت گرفته در مورد پهنه برشی و عناصر ساختاری متفاوت، یک مدل ساختاری و هندسی جامع ارائه خواهد شد.

۲- تحلیل داده‌های ساختاری و الگوی تکتونیکی منطقه

در منطقه مطالعاتی، دو پهنه برشی شکناکی فشارشی-برشی راستگرد شناسایی شده‌است. پهنه برشی شماره ۱، دارای آزیموت $N135$ و عرض 300 متر است. در اثر عملکرد گسل-های امتدادلغز راستگرد که اصلی‌ترین گسل‌های منطقه هستند، و در نسل اول ایجاد شده‌اند. این پهنه از نظر کانی‌سازی در درجه اول اهمیت قرار دارد. پهنه برشی شماره ۲، دارای آزیموت $N75$ ، عرض 250 متر و عملکرد راست‌بر است. گسل‌های تشکیل دهنده این پهنه، عناصر ساختاری موجود در پهنه‌های برشی شمال‌غرب-جنوب‌شرق را جابجا کرده، بنابراین پس از آن تشکیل شده‌است (شکل ۲).

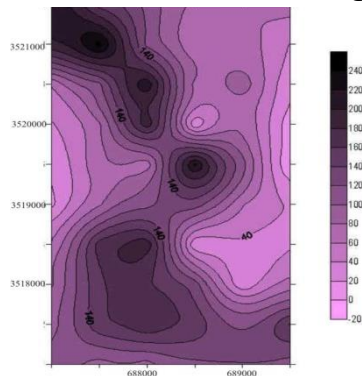


شکل ۲. نقشه ساختاری و زمین‌شناسی قلعه‌زری. (گسل‌های منطبق بر رگه یا پهنه برشی در این شکل نشان داده نشده‌است).

اغلب گسل‌های مهم منطقه همسو با پهنه برشی ۱ و در راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق هستند. به طوری که گسل‌های با آزیموت $310-320$ درجه، دسته اول از نظر اهمیت و فراوانی هستند (F_1) و گسل‌های با روند ENE با مکانیسم معکوس و مؤلفه راستگرد دارند گسل‌های مرتبه دوم می‌باشند که در اثر پیشرفت دگرشکی و رشد گسل‌های امتدادلغز راستگرد با امتداد

با برش اصلی R' و بعد از آن شکستگی‌های فشارشی شرقی- غربی ایجاد شده‌اند، که نسل اول شکستگی‌ها به شمار می‌روند و توسط شکستگی‌های نسل دوم قطع شده‌اند.

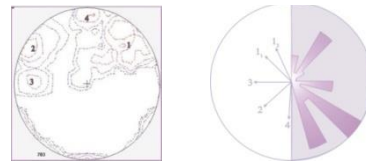
قابل ذکر است که نقشه هم‌شدت شکستگی، نیز بیانگر بیشترین شدت شکستگی در شمال غرب و جنوب شرق منطقه است و این تراکم با راستای پهنه‌های برشی اصلی و گسل‌های اصلی تطابق دارد (شکل ۶). جهت تعیین شدت شکستگی برای بررسی تغییرات شکستگی و فعال بودن منطقه محدوده مطالعاتی، در ابتدا طول شکستگی‌های موجود در منطقه اندازه‌گیری شد و سپس گستره مورد مطالعه به واحد‌های به ابعاد 0.5×0.5 کیلومتر تقسیم شد و در هر کدام از این واحدها شدت شکستگی بر اساس فرمول $\Sigma L = A/L$ به دست آمد که ΣL بیانگر مجموع طول شکستگی و A مساحت دربرگیرنده منطقه است. در نهایت نقشه هم‌شدت شکستگی رسم شد. از آنجائی که شکستگی‌ها درون پهنه برشی و ناشی از آن هستند اغلب بصورت سیستماتیک و منطبق بر شکستگی‌های ریدل می‌باشند. نواحی شرق و غرب منطقه هموار و پوشیده از آبرفت است و مقدار شکستگی کمی در آنها مشاهده می‌شود، باید توجه داشت مناطقی که دارای این ویژگی‌ها می‌باشد با مناطق فاقد شکستگی اشتباه گرفته نشوند.



شکل ۶. نقشه هم‌شدت شکستگی‌های منطقه مورد مطالعه که توسط نرم افزار **surfer** تهیه شده است.

فراوان‌ترین دایک‌های منطقه دایک‌های آندزیت-بازالت پالئوژن با ضخامت بین ۵-۰/۵ متر هستند که در واحدهای رسوبی ژوراسیک نفوذ کرده‌اند (تصویر ۷الف). دایک‌های اسیدی که از پراکندگی کمی دارند در جنوب منطقه با امتداد $N45^{\circ}E$ دیده شده است. ضخامت این دایک‌ها بین ۰.۳-۲ متر در تغییر است و احتمالاً محصول نهایی تفریق توده گرانیتوئیدی منطقه می‌باشند و از آنجائی که ساختارهای شرقی-غربی منطقه دیرتر شکل گرفته‌اند این دایک‌ها جوانتر از دایک‌های بازیک در نظر گرفته می‌شوند. (تصویر ۷ب). در دایک‌های نسل دوم محور تنش حدود 30° درجه چرخش راست‌گرد نسبت به دایک‌های نسل اول داشته است که این چرخش خاص برش راست‌گرد

شکل ۵ب کنترل دیاگرام مربوط به کل درزه‌های منطقه مشاهده می‌شود. در این دیاگرام، چهار نقطه تمرکز، نشان‌دهنده چهار دسته درزه موجود در منطقه است.



شکل ۴. الف. نمودار گلسرخی ب. استریوگرام کل شکستگی‌های منطقه از آنجا که برخی شکستگی‌ها توسط برخی دیگر قطع شده‌اند می‌توان تقدم و تأخر تشکیل آن‌ها را نسبت به هم تعیین کرد. شکستگی‌های هم‌مسو با پهنه برشی قبل از شکستگی‌های ناهم‌مسو ایجاد شده‌اند (شکل ۵الف). درزه‌های شمالی-جنوبی نیز توسط درزه‌های شرقی-غربی جایجا شده‌اند و نشان می‌دهد قبل از آن بوجود آمده‌اند (شکل ۵ج). شکستگی‌های شرقی-غربی موجب جایجایی چپگرد درزه‌های شمال غرب-جنوب شرق شده‌اند و پس از آنها تشکیل شده‌اند (شکل ۵د). رگه شمال غرب-جنوب شرق موجب جایجایی شکستگی شمالی-جنوبی شده است (شکل ۵ی).

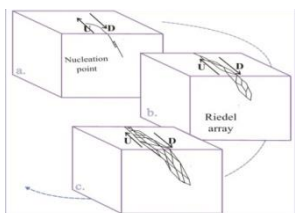


شکل ۵. الف. شکستگی‌های هم‌مسو با پهنه برشی اصلی توسط شکستگی‌های ناهم‌مسو R' ، بصورت چپ‌بر جایجا شده است. ب. شکستگی‌های منطبق با R' ، توسط شکستگی RP ، PR نسل دوم (بموازات Y) به صورت راست‌بر جایجا شده است. سر خودکار بسمت شمال ج. شکستگی‌های شمالی-جنوبی، توسط گسل شرقی-غربی بصورت چپ‌بر جایجا شده است که نشان‌دهنده تقدم تشکیل شکستگی‌های شمالی-جنوبی نسبت به شرقی-غربی است. د. جایجایی چپ‌بر رگه شمال غرب-جنوب شرق توسط شکستگی شرقی-غربی. ی. رگه شمال غرب-جنوب شرق موجب جایجایی راست‌بر رگه شمالی-جنوبی شده است.

در ابتدا شکستگی‌های شمالی-جنوبی سپس به ترتیب شکستگی‌های هم‌مسو با پهنه برش اصلی، شکستگی‌های ناهم‌مسو

شکل ۱۰. بازشدگی شکستگی‌های برشی بشکل رومبوندری است

است.

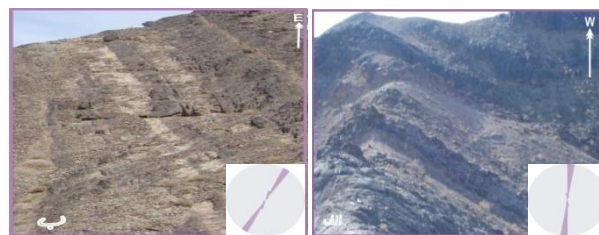


شکل ۱۱. تصویر شماتیک از نحوه پیشرفت شکستگیهای میزبان رگه a. نقطه آغاز تشکیل پهنه برشی در محل چاه اصلی (شماره ۳) b. ادامه فعالیت پهنه برشی و تشکیل شکستگیهای ریدل c. توسعه شکستگیها با تبعیت از مدل ریدل

تصویر شماتیک نحوه پیشرفت شکستگی در سنگ میزبان شکل ۱۱ نشان داده شده است. محدوده چاه ۳، بخش مرکزی و نقطه آغاز فعالیت پهنه برشی اصلی شمال غرب-جنوب شرق منطقه است. و این محدوده قدیمی ترین کانی زایی را در درجه حرارت بالاتری نشان می دهد [۵]. شروع پیدایش فعالیت پهنه برشی شمال غرب-جنوب شرق، حوالی چاه ۳ بوده است. شکستگیها و رگهها در این منطقه در دو نسل مشاهده می گردند، در اثر کرنشهای وارده ابتدا رگههای نسل اول ایجاد شده است که با افزایش کرنشهای برشی دچار چرخش شده اند و رشد آنها متوقف شده است و نسل دوم رگهها و شکستگیها شروع به رشد کرده اند که در این رگهها نیز آثار چرخش مشاهده می شود. مشاهده آثار چرخش در این رگهها دلیل بر چرخش عناصر خطی نسبت به محورهای اصلی بیضوی کرنش نهایی است [۱۵]، بنابراین نوع دگرشکلی رخ داده غیر هم محور می باشد. با توجه به مشاهده آثار چرخش در هر دو نسل از رگهها در پهنه برشی می توان نوع دگرشکلی رخ داده در این منطقه را غیر هم محور دانست.

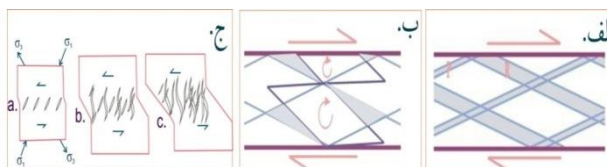
۳- نتیجه گیری

در معدن قلعهزری دو سیستم برشی - فشارشی راست گرد با آزمون N135 و N75 شناسایی شده است. که محل پیدایش پهنه برشی اصلی منطقه با آزمون N135 حوالی چاه شماره ۳ است که متحمل بیشترین بازشدگی شده است. به طوری که شواهد حاکی از ترکیبات قدیمی تر و حرارت بالاتر کانی سازی در رگههای این ناحیه است. در این سیستم برشی - فشارشی راست گرد، گسل های با راستای NW-SE (آزمون ۳۳۰-۳۱۰ درجه)، (گسل F₁ و سایر شکستگیهای موازی با آن)، به عنوان گسل های همسو با پهنه برشی هستند. این ساختار و ساختارهای مشابه دارای ساز و کار **راستالغز** راست گرد

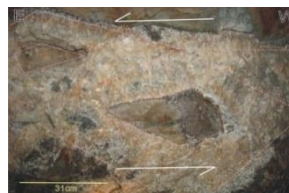


شکل ۷. الف. دایکهای آندزیتی ب. دایکهای با ترکیب اسیدی

از آنجائی که رگه های موجود در منطقه مورد مطالعه، در فضاهای باز جایگزین شده اند بنابراین برای تحلیل ساختار هندسی رگه ها، به بررسی فضاهای باز موجود، پرداخته می شود. اکثریت این فضاها در اثر حرکت شکستگیهای ریدل P, R و R' تحت تأثیر برش راستگرد ایجاد شده اند و روند شمال باختر- جنوب خاور دارند (شکل ۸ الف). دسته دوم از چرخش راستگرد بلوکهای رومبوندری حاصل از این شکستگیها ایجاد شده اند (شکل ۸ ب). تعداد کمی از فضاهای باز نیز بشکل Open-gash و سیگموئیدالهایی هستند که از گسترش برش راستگرد بوجود آمده اند (شکل ۸ ج). بدلیل اینکه رشد بلورها از دیواره به سمت مرکز است حفره میانی که هنوز فرصت کانی زایی پیدا نکرده، بشکل لوزی باقی مانده است (شکل ۹). در اثر پیشرفت دگرشکلی گاهی فضای میانی بصورت سیگموئیدال در می آید (شکل ۱۰) و بنابر نوع عملکرد پهنه برشی حرکت راست بر یا چپ بر نشان می دهند.



شکل ۸. الف. حرکت راست بر شکستگیهای ریدل، فضاهای باز کششی ایجاد می کند. ب. پیدایش فضاهای کششی باز در اثر چرخش بلوکهای گسلی در پهنه های برشی. این مناطق در شکل با رنگ آبی پر شده اند. ج. نحوه تشکیل فضای باز (open gash) و سیگموئیدال



شکل ۹. تقاطع رگه های P&R' با زاویه ۹۰ درجه بین آنها



MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian).

[7] Ahlgren, S.G., 2001, The nucleation and evolution of Riedel shear zones as deformation bands in porous sandstone, *J. Stru. Geol.*, V.23, pp.1203-1214.

[8] Bartlett, W.L., Friedman, M. and Logan, J.M., 1981, Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure, Part IX: Wrench faults in limestone layers, *Tectonics* V.79, pp. 255-277.

[9] Davis, G.H., & Reynolds, S.J. 1996. *Structural geology of rocks and regions*. New York: John Wiley and Sons, p.800.

[10] Davis, G.H., Bump, A.P., Garcia, P.E. and Ahlgren, S.G., 1999, Conjugate Riedel deformation band shear zones, *J. Stru. Geol.*, V.22, pp. 169-190.

[11] Dengo, C.A. and Logan, J.M., 1979, Correlation of fracture patterns in natural and experimental shear zones, *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* 60, 955.

[12] Garcia, P. and Davis, G.H., 1997, Detailed internal structure of a conjugate normal deformation band shear zone system in the Navajo Sandstone at the northern end of the East Kaibab Monocline, southern Utah, *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* 78, F702.

[13] Katz, Y., Weinberger, R. and Aydin, A., 2004, Geometry and Kinematics evolution of Riedel shear structures, Capitol Reef National Park, Utah, *J. Stru. Geol.*, V.26, pp. 491-501.

[14] MacClay, K., 1987. *The mapping of geological structures*. New York: John Wiley and Sones.

[15] Moore, D.E., and Byerlee, J., 1992, Relationships between sliding behavior and internal geometry of laboratory fault zones and some creeping and locked strike-slip faults of California, *Tectonophysics*, V.211, pp. 305-316.

[16] Suzuki, Y., K. Ogawa and N. Akiyama (1976). "Copper ores from Qaleh-Zari mine, Iran" *Mining Geology*, V. 26.

[17] Tchalenko, J.S., 1970, Similarities between shear zones of different magnitudes, *Geological Society of America Bulletin*, V.81, pp. 1625-1640.

[18] Wilcox, R.E., Harding, T.P., Seely, D.R. 1973. Basic wrench tectonics. *Am.As. Petrol. Geol. Bull.*, V.57, p.74-96.

[19] Woodcock, N. and Schubert, C., 1994, Continental strike-slip tectonics, In: Hancock, P. (Ed.), *Continental deformation*, Pergamon Press, New York, pp. 251-263.

همراه با مؤلفه کوچک فشارشی هستند. گسل‌های ESE بعد از گسل‌های F_1 بر اثر پیشرفت دگرشکلی شکل گرفته‌اند. پس از آن گسل‌های با امتداد ENE و عملکرد معکوس با مؤلفه راست‌بر، گسل‌های پس از چرخش راست‌گرد محور تنش هستند. گسل‌های شمال‌شرق-جنوب‌غرب آخرین گسل‌های تشکیل شده‌اند و ساز و کار امتدادلغز راست‌بر با مؤلفه معکوس دارند.

شکستگی‌ها به ترتیب در سه راستای شمال‌غرب-جنوب-شرق (منطبق بر شکستگی‌های ریدل همسو با پهنه برشی اصلی P, R, Y و نیز گسل‌های امتدادلغز راست‌بر)، شمال-شرق-جنوب‌غرب (منطبق بر شکستگی‌های ریدل ناهمسو با پهنه برشی اصلی R') و نیز شرق-جنوب‌شرق (شکستگی‌های کششی) رخ داده‌اند. در این منطقه فرآیندهای تکتونیکی در دو نسل و به صورت غیرهم‌محور عمل کرده است.

از دایک‌های آندزیتی نسل اول تا دایک‌های اسیدی نسل دوم، چرخشی معادل ۳۰ درجه و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌توان متصور شد که این با سازوکار بُرش راست‌گرد منطقه هم‌خوانی نشان می‌دهد.

البته ساز و کار نفوذ ماگمای اولیه با توجه به نحوه پراکندگی مقدار کرنش در نقاط مختلف پهنه برشی مذکور و فعل و انفعالات بین ماگما و محلول‌های گرمایی با کرنش حجمی، هنوز جای بررسی دارد.

منابع

[1] Hassannejad, A.A., 1993, Geochemical and fluid inclusion studies of the Qaleh-Zari copper mine, Khorasan, Iran. *Economic Geology* MSc thesis, University of Shiraz. (in Persian).

[2] Hassannejad, A.A., 2005, Metallogenic copper, gold and silver in eastern Looft of Iran, PhD thesis, Field of Economic Geology, University of Shiraz. (in Persian).

[3] Khatib, M.M., 1999, Relationship between Shear deformation and mineral veins in Qaleh-Zari, East Conference of recognition of mineral capabilities of eastern Iran, Birjand. (in Persian).

[4] Deimehvar, M., 1995, Study of Geology, Mineralogy, Geochemistry, and Genesis of Qaleh-Zari copper deposit, *Economic geology* MSc thesis, Tarbiat Modarres University. (in Persian).

[5] Ghazbanee, R., Khatib, M.M., Zarrinkub, M.H., 2009, Interaction of tectonic stages and processes of mineralization in Qaleh-Zari mine area - South of Birjand, Seventeenth Congress of Crystallography and Mineralogy association of Iran, Hamedan. (in Persian).

[6] Mohammadi, F., Thermometry, petrography and geochemistry of alteration zones of Qaleh-Zari's copper - gold mine (Southern Khorasan),