فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ٦ (١٣٨٩)، شماره ٤: ٣٠٢-٢٩٤
www.appliedgeology.ir

تحلیل رگه‌های کششی به عنوان نشان‌گرهای سوی بُرش در ناحیه معدنی هیرد (شرق پهنه لوت)

محمدعلی قربانی*[1]، محمدمهدی خطیب[2] و معصومه علیمحمدی[1]

۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ghorbanitc@gmail.com

۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بیرجند

*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۸۹/٦/۳۰ ؛ دریافت اصلاح شده: ۸۹/۸/۱۹ ؛ پذیرش: ۸۹/۹/۱ ؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/٤/۳۰

چکیده

ناحیه معدنی هیرد واقع در شرق پهنه لوت و غرب پهنه زمین‌درز سیستان، تحت تأثیر یک سیستم بُرشی- فشارشی راست‌بر قرار گرفته که در آن گسل‌های با راستای NW-SE (آزیموت ۳۲۰-۳۱۰ درجه)، همانند پهنه گسلی شرق کوه سیه‌کمر، اصلی‌ترین روند ساختاری و عامل مهم دگرشکلی در منطقه را ایجاد نموده‌اند. پهنه مذکور طی یک دگرشکلی پیش‌رونده، فضاهای کششی متعددی را ایجاد نموده است که این فضاها در موارد زیادی توسط کوارتز، کلسیت و آراگونیت با بافت شانه‌ای و به صورت فیبری پر شده‌اند. براساس ترکیب و تنوع جهت‌گیری، سه نسل مختلف از رگه‌ها قابل تشخیص می‌باشند. رشد مستقیم فیبرهای آراگونیتی-کلسیتی در رگه‌های کششی، گویای فرآیند کشش افزایشی در یک جهت مشخص است و این رابطه زاویه‌ای عمود بین فیبرها و دیواره رگه، در مراحل مختلف کشش حفظ شده است. مقایسه جهت‌گیری‌های حاصله برای محور طویل‌شدگی بیضی واتنش با استفاده از نسل‌های مختلف رگه‌های کششی، بیان‌گر چرخش بیضی واتنش در جهت عقربه‌های ساعت و حدود ٤٠-٣٥ درجه است که این چرخش خاص بُرش راست‌بر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌درز سیستان، هیرد، دگرشکلی، پهنه بُرشی، رگه‌های کششی.

۱- مقدّمه

ناحیه معدنی هیرد بین عرض جغرافیایی ´٥٤ °٣١ تا ´٥٩ °٣١ شمالی و طول جغرافیایی ´٠٨ °٥٩ تا ´١٥ °٥٩ شرقی، در شرق خرد قاره ایران مرکزی و حاشیه شرقی پهنه لوت و غرب پهنه زمین‌درز سیستان قرار دارد.

سامانه گسلی نهبندان که کنترل کننده اصلی دگرشکلی در ایالت ساختاری سیستان است، در بخش شمالی با تغییر جهت به طرف غرب به صورت تداخلی وارد پهنه لوت شده است و محدوده مطالعاتی، در جنوبی‌ترین محل این تغییر روند ساختاری واقع 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).

شکستگی‌های کششی، یکی از بارزترین ساختارها در پهنه‌های بُرشی این نواحی هستند. این ساختارها در نتیجه شکست مکانیکی و اغلب در جهت عمود بر واتنش طولی بیشینه در سنگ ایجاد می‌شوند. با افزایش واتنش، بازشدگی عمود یا مورب نسبت به دیواره‌های شکاف، بسته به جهت بیضی واتنش ادامه می‌یابد.

تکامل تدریجی یک شکاف طی دگرشکلی پیش‌رونده (Progressive deformation) در یک سیستم کششی فعال، بدین صورت است که جهت قدیمی‌ترین شکاف‌های ایجاد شده بر جهت واتنش طولی بیشینه عمود است. چنان‌چه جهت واتنش‌های بعدی با جهات قبلی مطابقت نماید (دگرشکلی هم‌محور، Coaxial deformation)، این رابطه طی مراحل بعدی دگرشکلی پیش‌رونده نیز حفظ می‌شود (Ramsay & Huber 1983).

به طور کلی، شکستگی‌ها از کاربردی‌ترین نشان‌گرهای سوی برش و همچنین تعیین سوگیری محورهای اصلی تنش به شمار می‌روند. درزه‌ها عمود بر محور تنش σ_3 و به موازات صفحه‌ای که شامل محورهای σ_2 و σ_1 است، تشکیل می‌شوند. علاوه بر این در صورتی که توسط کانی‌های فیبری از قبیل کوارتز، کلسیت و آراگونیت پر شده باشند، جهت بازشدگی آن‌ها با استفاده از سوگیری فیبرها قابل تشخیص می‌باشد (Belayneh & Cosgrove 2010).

هدف از این مقاله، تحلیل هندسی و جنبشی ناحیه معدنی هیرد با جایگاه ویژه تکتونیکی مذکور، با استفاده از هندسه، جهت‌گیری و مراحل کانی‌سازی در رگه‌های فیبری کششی موجود در پهنه‌های بُرشی و تعیین سوی بُرش به وسیله‌ی آن‌ها می‌باشد.

۲- جایگاه زمین‌شناسی

ناحیه معدنی هیرد در ۱۰۵ کیلومتری جنوب بیرجند و حاشیه شرقی پهنه لوت ـ زیر پهنه ماگماتیسم مرکزی از خردقاره ایران مرکزی و غرب ایالت ساختاری سیستان واقع شده است.

تیرول و همکاران (Tirrul et al. 1983) و کمپس و گریفیس (Camps & Griffis 1982)، به حوضه فلیش شرق ایران، پهنه زمین‌درز سیستان (Sistan suture zone) نام داده‌اند و بر این باورند که جدایش بلوک افغان (بلوک هیلمند) از پهنه لوت در زمان سنومانین انجام گرفته که با جایگیری پوسته‌های اقیانوسی و انباشت رسوبات فلیشی همراه بوده است. در زمان ماستریشتین، فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر بلوک افغان رخ داده است و در ائوسن میانی، در اثر برخورد نهایی دو بلوک، فرورانش پایان گرفته است (تصویر ۱).

براساس نقشه زمین‌شناسی ـ معدنی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ هیرد (عسکری و صفری 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، در قسمتی از واحدهای آتشفشانی منطقه که عمدتاً دارای ترکیب آندزیت ـ توف می‌باشند نفوذ نموده و در مواردی موجبات ایجاد دگرسانی و کانه‌زایی طلا را فراهم آورده‌اند. بخش عمده منطقه مورد بررسی در همین توالی آتشفشانی ـ نفوذی واقع شده است. با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی ـ معدنی انجام شده در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه و نتایج حاصل از آن، در نهایت ٤ محدوده امیدبخش معدنی، جهت انجام ادامه عملیات اکتشافی پیشنهاد شده است. تصویر ۲، جایگاه منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی پهنه لوت، واقع در مجموعه واحدهای آتشفشانی- نفوذی ترشیری و واحدهای چین‌خورده مزوزوئیک را نشان می‌دهد.

۳- زمین‌شناسی ساختمانی

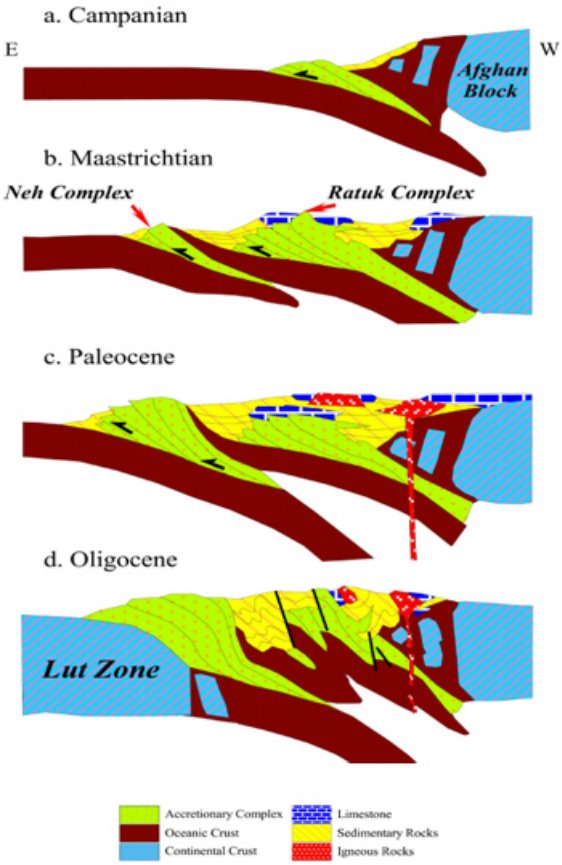
گسل‌های راستالغز عمدتاً راست‌بر و با راستای NW-SE، (دارای مؤلفه‌های کوچک فشارشی)، از بارزترین ساختارهای تکتونیکی کنترل کننده اصلی دگرشکلی در ناحیه معدنی هیرد محسوب می‌شوند (تصویر ۳). به علاوه، تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی و استخراج خطواره‌های مغناطیسی در محدوده مطالعاتی، دلالت بر جهت‌گیری‌های عمده 310-320 درجه و نیز N-S دارد (Ghorbani et al. 2008). این جهت‌گیری‌ها منطبق بر گسل‌های عمدتاً راستالغز راست‌بر در پایانه شمالی سامانه گسلی نهبندان و جایگاه تکتونیکی ویژه منطقه می‌باشد. علاوه بر این، خطواره‌هایی با جهت‌گیری 060-045 درجه نیز در نقشه مذکور دیده می‌شوند که از فراوانی کمتری برخوردار بوده و از لحاظ مغناطیسی، ساختارهایی فرعی در منطقه محسوب می‌شوند و منطبق بر گسل‌های معکوس و نیز گسل‌های راستالغز چپ‌گرد می‌باشند (قربانی ۱۳۸۷). در ادامه به شرح اصلی‌ترین ساختار محدوده مطالعاتی پرداخته می‌شود.

۳-۱- گسل شرق کوه سیه‌کمر (F_1)

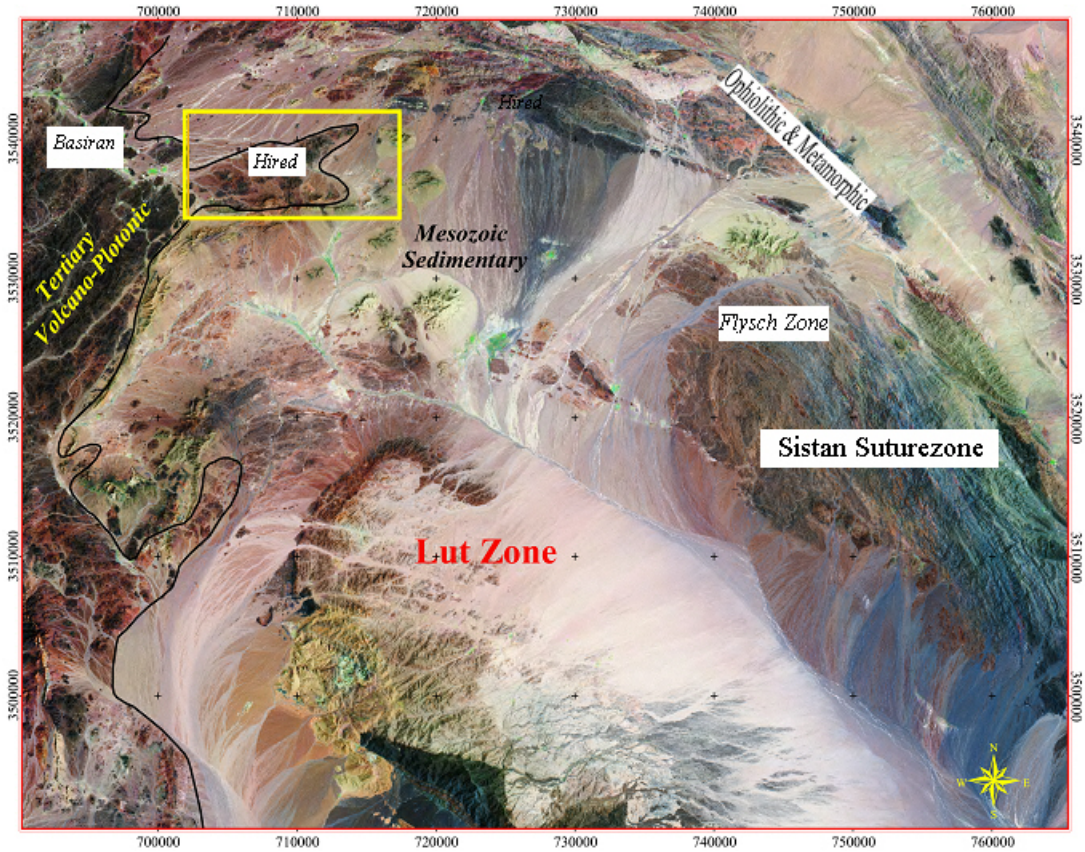
این گسل به عنوان مهم‌ترین و اصلی‌ترین گسل موجود در محدوده مطالعاتی، با حدود ٦۷۰۰ متر طول، به علت عبور از شرق کوه بزرگ سیه‌کمر، با این عنوان نامگذاری شده است (تصویر ۳). عمده رخنمون آن نیز با حدود ۳٤۰۰ متر طول، در همان محل واقع شده است. راستای میانگین گسل دارای آزیموت ۳۱۰ درجه است و با شیب میانگین ۷۰ درجه به سوی جنوب غرب، دارای سازوکار امتدادلغز راست‌بر همراه با مؤلفه شیب‌لغز معکوس می‌باشد.

گسل شرق کوه سیه‌کمر، از سرشاخه‌های اصلی گسل نهبندان در ۸۰ کیلومتری شرق محدوده مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طور که پیش از این نیز ذکر شد؛ گسل نهبندان با راستای شمال ـ جنوب در پایانه شمالی، با تغییر جهت به طرف غرب، به صورت تداخلی وارد پهنه لوت شده است.

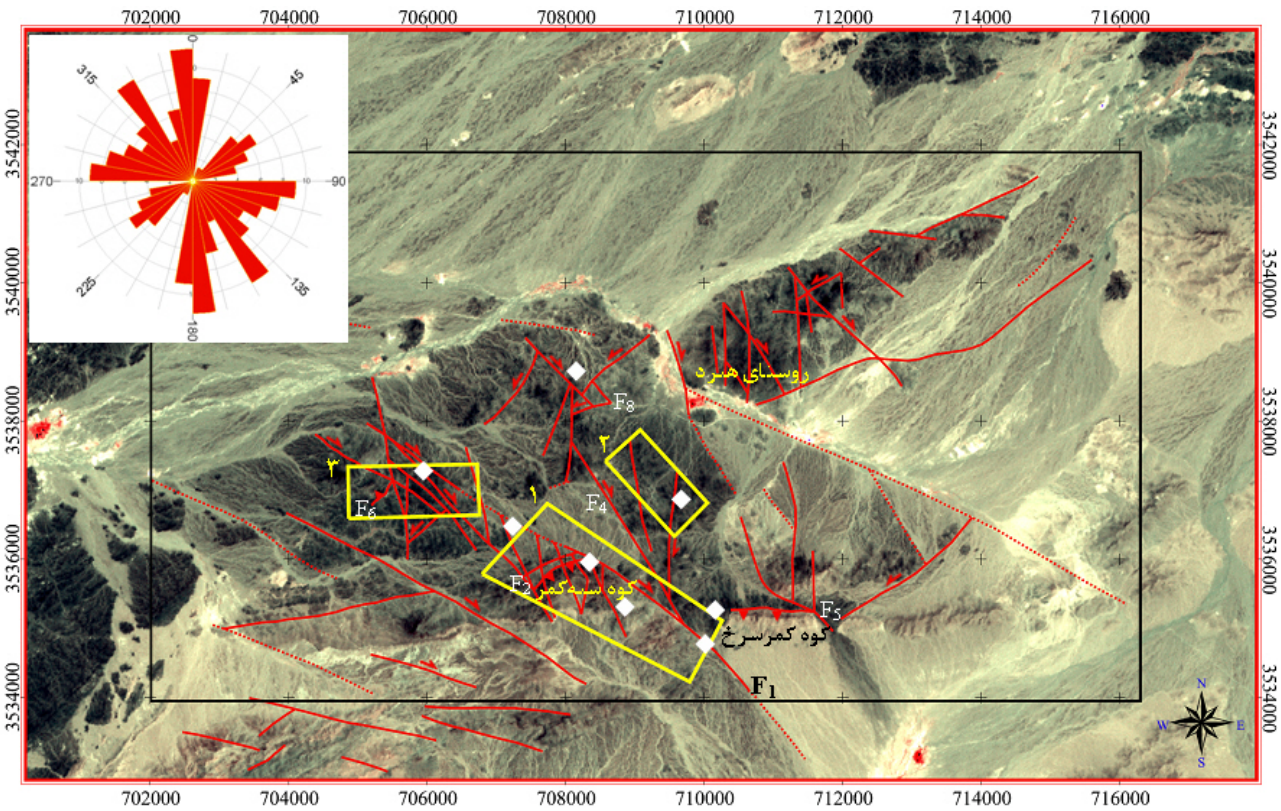
با توجه به زاویه راستای گسل شرق سیه‌کمر نسبت به راستای گسل نهبندان که حدود ٦۰-۵۰ درجه است، احتمالاً این گسل در رده اُریب‌های (Splay) مرتبه سوم از گسل نهبندان قرار می‌گیرد.



تصویر ۱- تکامل ساختاری فرضی پهنه زمین‌درز سیستان (Tirrul et al. 1983)، با ترسیم مجدد



تصویر ۲- 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



تصویر ۳- نقشه و نمودار گل‌سرخی گسل‌های ناحیه معدنی هیرد، کادرهای زرد نشان‌گر محدوده‌های امیدبخش معدنی هستند. گسل F_1 (شرق – 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. لوزی‌های سفید نقاط اندازه‌گیری رگه‌های کششی را نشان می‌دهند.

عرض پهنه بُرشی وابسته به این گسل، متغیر و بین ۱۰۰ متر در قسمت‌های جنوب شرق کوه سیه‌کمر تا حدود ٦٥ متر در شرق آن اندازه‌گیری شده است. در این بخش‌ها به دلیل رخداد دگرسانی و کانی‌سازی، رنگ پهنه بُرشی ـ گسلی کِرم تا نخودی است.

به طرف شمال غرب از عرض پهنه کاسته شده به نحوی که در بخش‌های شمال غربی، عرض آن به صفر میل می‌کند. به نظر می‌رسد ماهیت واحدهای سنگی زمین‌ساختی و رفتار مکانیکی آن‌ها، مهم‌ترین عامل این تغییرات در عرض پهنه بُرشی است، به‌طوری که در بخش‌های جنوبی گسل و نواحی اطراف کوه سیه‌کمر، با عبور گسل از میان واحدهای کنگلومرایی و توفی که در مقایسه با واحدهای آتشفشانی بخش‌های شمالی گسل از مقاومت کمتری برخوردار هستند؛ عرض پهنه بُرشی به حداکثر می‌رسد.

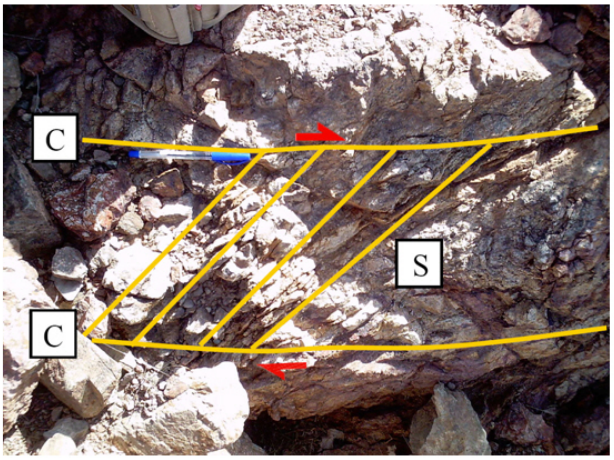
علاوه بر این در واحدهای سنگی زمین‌ساختی مشابه، عرض پهنه بُرشی در بخش میانی گسل حداکثر، ولی به طرف بخش‌های انتهایی کاهش یافته و در نهایت به صفر میل می‌کند. کاهش عرض پهنه بُرشی، بیان‌گر کاهش دگرشکلی شکننده در مسیر گسلش است که به‌تدریج به طرف پایانه گسل به صفر میل می‌کند. به‌نظر می‌رسد در آنجا واتنشی رخ نداده و یا به دلیل اُفت تنش، شکستگی صورت نمی‌گیرد (خطیب ۱۳۷۷).

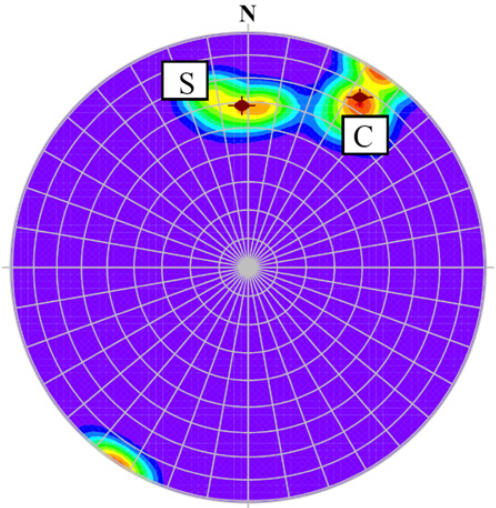
از نشان‌گرهای سوی بُرش برای این گسل باید به ساخت S-C به‌وجود آمده در اثر حرکت آن در واحدهای کاتاکلاسیت برگواره‌دار اشاره نمود (تصویر ٤).

۳-۲- ویژگی‌های ساختاری رگه‌های محدوده مطالعاتی

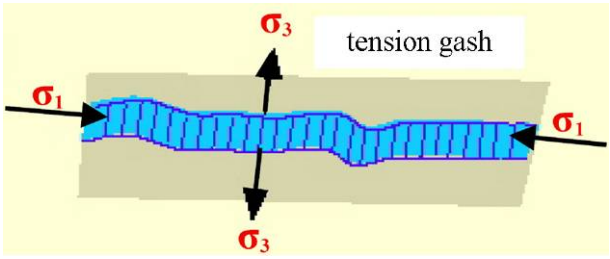
شکاف‌هایی که به تدریج باز می‌شوند، با کانی‌های بلورین از قبیل کوارتز، کلسیت، کلریت و ... پر می‌شوند که در مواردی ممکن است حالت فیبری (Fiber) یا رشته‌ای داشته باشند. در بسیاری از رگه‌ها، فیبرها در جهت بازشدگی شکاف‌ها یا جهت جابه‌جایی (حداکثر واتنش طولی (x) یا محور تنش σ_3) رشد می‌کنند و تصور می‌شود توسط جابه‌جایی (کشش) کنترل می‌گردند (Passchier & Trouw 2005) (تصویر ٥). بنابراین اگر الگوی جابه‌جایی مستقیم باشد؛ فیبرها نیز حالت مستقیم خواهند داشت (Ramsay & Huber 1983).

علاوه براین، رگه‌های کششی، ساختارهایی پر شده هستند و اغلب شامل مراحل چندگانه پرشدگی می‌باشند که دربردارنده ترکیب‌های





تصویر ٤- الف، ساخت S-C در پهنه بُرشی گسل شرق کوه سیه‌کمر که بیانگر بُرش راست‌بر برای این گسل است (نوک خودکار به سوی آزیموت ۳۰۰ درجه و بیانگر سطوح C است). ب، الگوی منحنی‌های تراز قطب‌های صفحات S-C در شبکه هم‌مساحت



تصویر ٥- رشد فیبرها در جهت محور کشش و عمود بر دیواره در یک شکاف کششی (Passchier & Trouw 2005).

مرکب از کانی‌های دارای بافت شانه‌ای، کانی‌های فیبری و بِرش هستند. یک رگه کششی با چنین وضعیتی شامل قدیمی‌ترین و جدیدترین رگه‌ها در طیف دگرشکلی پیش‌رونده می‌باشد (Laing 2004).

در مسیر پهنه‌های بُرشی، شرایط مناسب برای تشکیل فضاهای باز و عمیق مرتبط با هندسه گسل‌های امتدادلغز فراهم می‌گردد (Sylvester 1988). فضاهای باز موجب تسهیل نفوذ آب‌های سطحی به اعماق، گرم شدن، افزایش انحلال‌پذیری و برگشت آن‌ها به صورت محلول کانه‌دار به مناطق سطحی می‌شوند. اثر محلول‌های داغ بر روی سنگ‌های مسیر پهنه بُرشی، باعث ایجاد پدیده دگرسانی و متاسوماتیسم می‌گردد (Williams 1979).

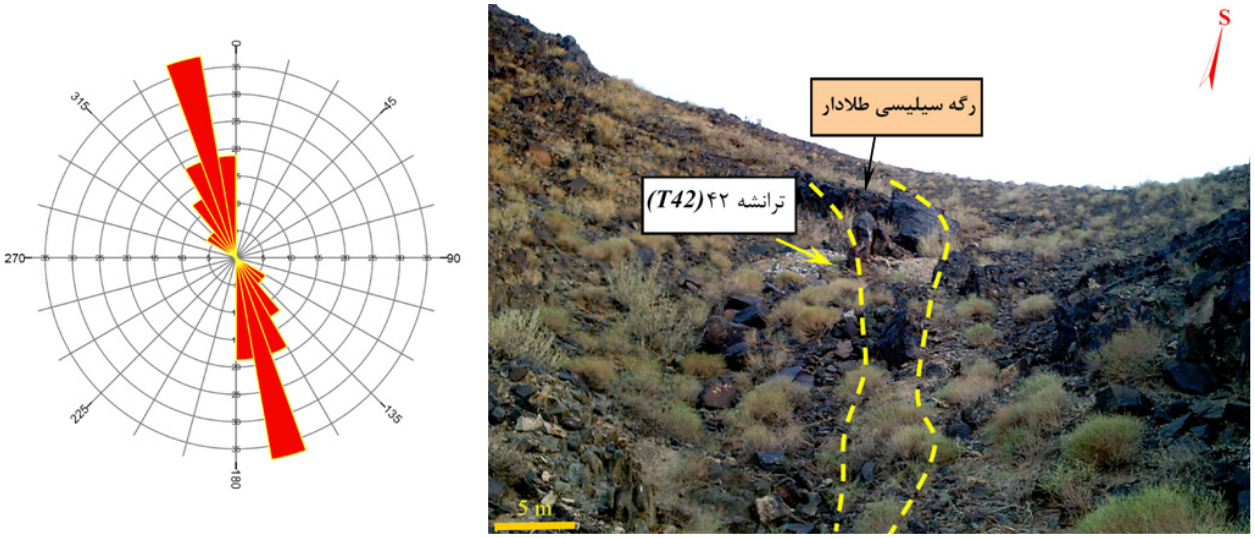
سیستم‌های رگه رشته‌ای، به طور طبیعی در سنگ‌های با مقاومت‌های متفاوت در برابر تغییر شکل موجود در مناطق دگرگونی با درجات پایین تا متوسط شکل می‌گیرند. این سیستم‌ها به‌ویژه در محیط‌هایی از تغییر شکل که دگرگونی بسیار ضعیف تا دگرگونی رخساره‌های شیست سبز متوسط را تحمل کرده باشند، متداول می‌باشند. رگه‌های رشته‌ای، گاهی و به‌ندرت در مناطق دگرگون شده درجات بالاتر از شیست سبز نیز یافت می‌شوند؛ در این حالت، فابریک نشان می‌دهد که ساختمان رشته در محیط دگرگونی درجه پایین‌تری تشکیل شده است. به عنوان مثال در مجموعه‌ای از سنگ‌ها با درجه دگرگونی آمفیبولیت، رشته‌هایی در حد نمونه دستی دیده می‌شود که در مقطع نازک به صورت بلورهای چندوجهی متساوی‌البعد، تجدید تبلور یافته‌اند. در درجات دگرگونی، وقتی حرارتی بیش از ۳۵۰ درجه را تحمل کند، بلورهای رشته‌ای شکل تشکیل می‌شود که نسبت مساحت به حجم آن بالا است و از نظر ترمودینامیکی ناپایدار می‌باشد (Ramsay & Huber 1983).

بررسی مراحل کانی‌سازی کلسیت ـ آراگونیت در رگه‌های فیبری کششی موجود در پهنه‌های بُرشی، می‌تواند نشان‌دهنده چگونگی فعالیت آن‌ها باشد. در ادامه پس از توصیف دسته‌جات مختلف رگه‌ها در منطقه، به بررسی و مطالعه جهت‌گیری و هندسه رگه‌های کششی در پهنه بُرشی شکنای گسل F_1 پرداخته شده و از آن به عنوان شاهدی برای تعیین سوی بُرش در یک سیستم بُرشی استفاده گردیده است.

۳-۲-۱- توصیف دسته‌جات مختلف رگه‌ها

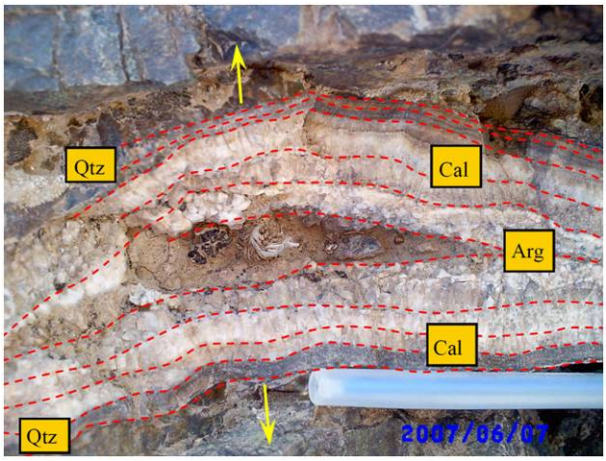
به طور کلی در محدوده مورد مطالعه، بر اساس ترکیب و تنوع جهت‌گیری، سه نسل مختلف از رگه‌ها قابل تشخیص می‌باشند. نسل اول، رگه‌های سیلیسی هستند که با طولی حدود ۵۰ تا ۷۵۰ متر و عرض بین ۲۰ سانتی‌متر تا ٤ متر، بزرگ‌ترین رگه‌های منطقه را تشکیل

می‌دهند که عموماً همراه با کانی‌سازی طلا نیز می‌باشند. این رگه‌ها در محدوده‌های امیدبخش معدنی (۲) و (۳) و قسمتی از شرق محدوده (۱) و نیز به‌صورت پراکنده در کل منطقه، پهنه‌های کانه‌دار را تشکیل داده‌اند. راستای عمومی این نسل از رگه‌ها بین آزیموت‌های ۳۶۰-۳۴۰ درجه متغیر و شیب آن‌ها بین ۹۰-۸۰ درجه و اغلب به سوی جنوب غرب می‌باشد (تصویر ٦).



تصویر ٦- الف: قسمتی از رگه سیلیسی طلادار در واحدهای آتشفشانی و نفوذی محدوده امیدبخش معدنی، ب: نمودار گل‌سرخی مجموع رگه‌های نسل اول در ناحیه معدنی هیرد

نسل دوم از رگه‌ها، رگه‌های با ترکیب سیلیسی ـ کربناتی هستند که تنها در محدوده پهنه بُرشی گسل شرق سیه‌کمر قابل مشاهده‌اند و بیان‌گر چند مرحله بازشدگی به‌صورت هم‌محور می‌باشند (تصویر ۷).



تصویر ۷- رگه‌های نسل دوم با ترکیب کوارتز (Qtz) ـ کلسیت (Cal) ـ آراگونیت (Arg) که افزایش در میزان بازشدگی را در وسط طول رگه نشان می‌دهند. رابطه زاویه‌ای عمود فیبرهای آراگونیتی ـ کلسیتی در مراحل متوالی بازشدگی نسبت به دیواره، بیان‌گر جهت ثابت محور کششی طی فرآیند دگرشکلی پیش‌رونده است. پیکان‌های زرد گویای جهت کشش (رشد فیبرها) هستند. وضعیت رگه: N40E,90

همان‌طور که در ابتدای این مبحث ذکر شد، مراحل متوالی بازشدگی در عرض یک رگه کششی به این صورت، گویای مراحل فعالیت پهنه بُرشی دربرگیرنده آن است. جهت‌گیری عمده این نسل از رگه‌ها که از فراوانی بسیار کمی برخوردار هستند، بین آزیموت‌های ۳۰ -۲۰ درجه متغیر می‌باشد.

در این نوع از رگه‌ها، رشد به صورت رشته‌ای و از دیواره به سمت مرکز است (Syntaxial fiber veins). تماس بین دو گروه از رشته‌ها به صورت درزی می‌باشد که کم و بیش در مرکز رگه واقع شده است. مواد پرکننده از نظر ترکیب، مشابه یا بسیار نزدیک به مواد دیواره‌ها است. در جایی که سنگ دیواره ترکیبات متفاوتی داشته باشد، رگه‌ها دارای رشته‌هایی از ترکیبات گوناگون هستند که تقریباً با هم موازی‌اند (Ramsay & Huber 1983).

در طول برخی از این رگه‌ها، تفاوت در میزان بازشدگی دیده می‌شود. به عنوان مثال در تصویر ۷، در وسط طول رگه؛ افزایش در ضخامت رگه و مراحل بیشتر بازشدگی و پُرشدگی دیده می‌شود. رشد مستقیم فیبرهای آراگونیتی ـ کلسیتی، گویای فرآیند کشش افزایشی در یک جهت مشخص ولی با مقادیر متفاوت می‌باشد چرا که پهنای فیبرها در مراحل مختلف بازشدگی با یکدیگر یکسان نیستند. از بررسی هندسه این دسته از رگه‌ها، تا ٦ مرحله فعالیت پهنه مذکور به صورت بازشدگی یا انبساط، قابل استنباط می‌باشد به‌طوری که تمامی مراحل به صورت هم‌محور عمل نموده‌اند. عدم مشاهده خمیدگی در راستای

رشد فیبرها، مؤید این مطلب می‌باشد. علاوه بر این، خط میانی (Median line) رگه‌ها به طور قرینه در مرکز رگه قرار ندارد بلکه به یکی از دیواره‌ها نزدیک‌تر می‌باشد. این موضوع دلالت بر بازشدگی کمتر دیواره‌ای دارد که در نزدیکی خط میانی قرار گرفته است (تصویر ۷). سومین نسل از رگه‌ها که در پهنه بُرشی گسل F_1 از فراوانی بسیار زیادی برخوردار می‌باشند، رگه‌های کلسیتی ـ آراگونیتی هستند که جهت‌گیری عمده شمال ـ جنوب تا شمال شرق ـ جنوب غرب را نشان می‌دهند. این رگه‌ها نسبت به رگه‌های نسل اول حدود ۴۰-۳۵ درجه چرخش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت نشان می‌دهند، همچنین بیشینه ضخامت این رگه‌ها ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد. تنها تفاوت این دسته از رگه‌ها با رگه‌های نسل دوم، ترکیب عاری از کوارتز در آن‌ها می‌باشد (تصویر ۸). همانند رگه‌های نسل دوم، در این دسته از رگه‌ها نیز رشد مستقیم فیبرها در تمام مراحل بازشدگی دیده می‌شود. همان‌طور که در تصویر ۸ دیده می‌شود، بازشدگی در بخش میانی رگه بیشتر است.

۳-۲-۲- رگه‌های کششی؛ شاخصی برای تعیین سوی بُرش

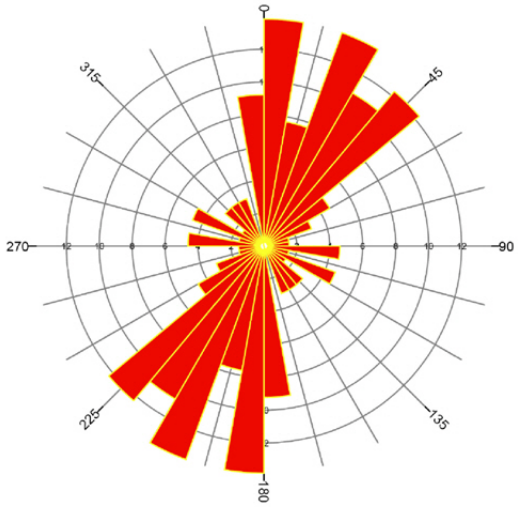
پس از توصیف هندسی رگه‌های کششی در محدوده مورد مطالعه، به تعبیر و تفسیر نحوه‌ی حرکت در پهنه‌های بُرشی در برگیرنده رگه‌ها با استفاده از چگونگی جهت‌گیری و هندسه آن‌ها پرداخته می‌شود. همان‌طور که ذکر شد، ساختارهای به موازات گسل F_1 با آزیموت ۳۱۰ درجه، با سازوکار راستالغز راست‌بر، اصلی‌ترین روند ساختاری و عامل مهم دگریختی در منطقه به‌شمار می‌روند.

در واقع عمده ساختارهای منطقه، درون پهنه‌های بُرشی که یک چنین روند ساختاری به عنوان مرزهای آن‌ها به شمار می‌رود؛ قرار می‌گیرند. همان‌طور که بیان شد، رگه‌های نسل اول دارای ترکیب سیلیسی بوده و از لحاظ کانی‌سازی طلا، ساختاری بسیار مهم به شمار می‌روند. نمودار گل‌سرخی مجموعه این رگه‌ها (تصویر ٦)، نشان‌دهنده جهت‌گیری غالب ۳۶۰-۳۴۰ درجه می‌باشد.

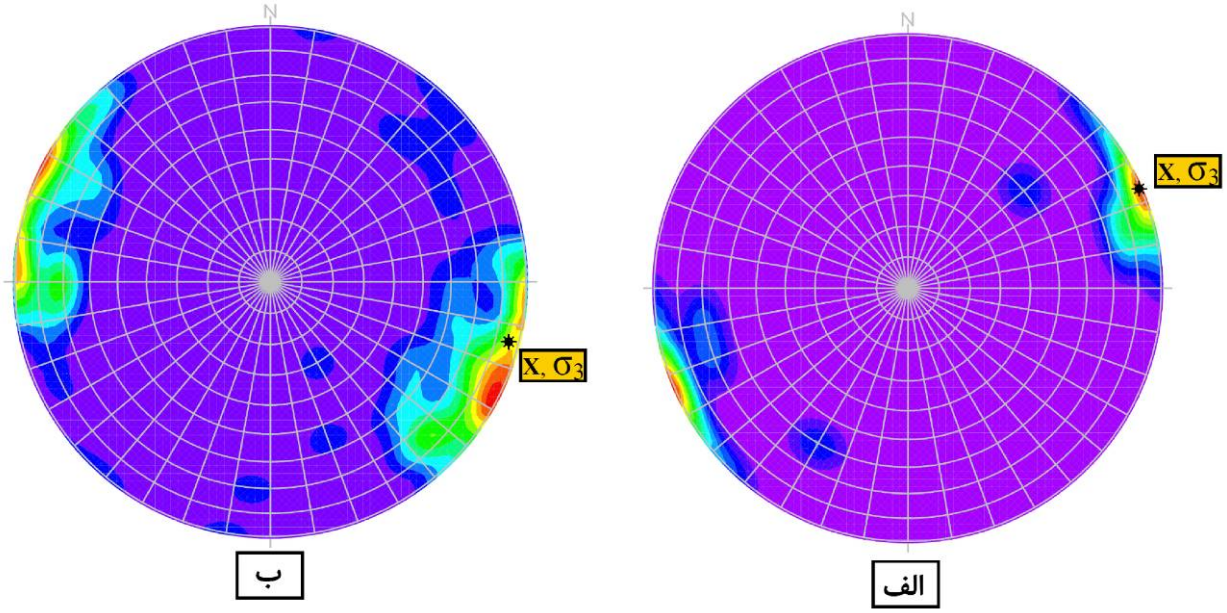
با استفاده از این جهت‌گیری می‌توان جهت محور طویل‌شدگی بیضی واتنش (x) را محاسبه نمود. بر این اساس جهت‌گیری این محور (محور تنش اصلی کمینه σ_3) برابر ۰/۵، ۰٦٦ N حاصل می‌شود (تصویر ۹ الف). این جهت‌گیری، مؤید سازوکار راستالغز راست‌بر پهنه‌های بُرشی مذکور می‌باشد.

اما مشخص شد که رگه‌های نسل دوم و سوم به ترتیب دارای ترکیب کوارتز ـ کلسیت ـ آراگونیت و کلسیت ـ آراگونیت هستند. این رگه‌ها که در طول پهنه بُرشی شرق سیه‌کمر از فراوانی و تراکم بالا برخوردارند، رشد فیبری در بلورهای کلسیت ـ آراگونیت عمود بر دیواره نشان می‌دهند. با استناد به این مسئله و جهت‌گیری عمده این دسته از رگه‌ها، جهت‌گیری محور طویل‌شدگی بیضی واتنش، N۱۰٤/۰٤ حاصل می‌شود (تصویر ۹ب).

بنابراین، چرخش محور طویل‌شدگی بیضی واتنش رگه‌های نسل اول تا رگه‌های نسل‌های دوم و سوم، در جهت عقربه‌های ساعت و حدود ۴۰-۳۵ درجه است. این چرخش خاص بُرش راست‌بر می‌باشد و بر این اساس نیز سازوکار راستالغز راست‌بر پهنه‌های بُرشی مذکور تأیید می‌شود.



تصویر ۸- رگه‌های کلسیتی ـ آراگونیتی در پهنه بُرشی گسل F_1 که چند مرحله بازشدگی هم‌محور را نشان می‌دهند (نگاه به غرب) و نمودار گل‌سرخی مجموع رگه‌های نسل‌های دوم و سوم در ناحیه معدنی هیرد



تصویر ۹- الگوی منحنی‌های تراز قطب‌های رگه‌های الف. سیلیسی کانه‌دار (رگه‌های نسل اول) و ب. رگه‌های نسل‌های دوم و سوم و برآورد محور طویل‌شدگی بیضی واتنش (x) در شبکه هم‌مساحت

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی ناحیه معدنی هیرد در شرق خرد قاره ایران مرکزی و حاشیه شرقی پهنه لوت و در غرب پهنه زمین‌درز سیستان قرار دارد. سامانه گسلی نهبندان که کنترل کننده اصلی دگرشکلی در ایالت ساختاری سیستان است، در بخش شمالی با تغییر جهت به طرف غرب به صورت تداخلی وارد پهنه لوت شده و محدوده مطالعاتی در جنوبی‌ترین محل این تغییر روند ساختاری واقع شده است. این منطقه، تحت تأثیر یک سیستم بُرشی ـ فشارشی راست‌بر قرار گرفته است و گسل‌های با راستای NW-SE (آزیموت ۳۲۰-۳۱۰ درجه)، همانند پهنه گسلی شرق کوه سیه‌کمر، با سازوکار راستالغز راست‌بر، اصلی‌ترین روند ساختاری و عامل مهم دگرشکلی در منطقه را ایجاد نموده‌اند.

پهنه مذکور طی یک دگرشکلی پیش‌رونده (Progressive Deformation)، فضاهای کششی متعددی را ایجاد کرده است که این فضاها در موارد زیادی توسط کوارتز، کلسیت و آراگونیت با بافت شانه‌ای و به صورت فیبری پر شده‌اند. بر اساس ترکیب و تنوع جهت‌گیری، سه نسل مختلف از رگه‌ها قابل تشخیص می‌باشند. رگه‌های نسل اول منطقه دارای ترکیب سیلیسی و کانی‌سازی بوده که دارای جهت‌گیری غالب ۳۶۰-۳۴۰ درجه می‌باشند. بر این اساس جهت‌گیری محور طویل‌شدگی بیضی واتنش (x) ، برابر ۰/۵، N۰۶۶ حاصل می‌شود. این جهت‌گیری، خود مؤید سازوکار راستالغز راست‌بر پهنه‌های بُرشی مذکور می‌باشد.

رشد مستقیم فیبرهای آراگونیتی ـ کلسیتی در رگه‌های کششی نسل‌های دوم و سوم موجود در پهنه‌های بُرشی، گویای فرآیند کشش افزایشی در یک جهت مشخص است. این رابطه زاویه‌ای عمود بین فیبرها و دیواره رگه، در مراحل مختلف کشش حفظ شده است. از بررسی هندسه این دسته از رگه‌ها، تا ٦ مرحله فعالیت به صورت بازشدگی یا انبساط، قابل استنباط می‌باشد به طوری‌که تمامی مراحل به صورت هم‌محور عمل نموده‌اند. عدم مشاهده خمیدگی در راستای رشد فیبرها، مؤید این مطلب می‌باشد. علاوه بر این، خط میانی رگه‌ها به طور قرینه در مرکز رگه قرار ندارد بلکه به یکی از دیواره‌ها نزدیک‌تر می‌باشد. این موضوع دلالت بر بازشدگی کمتر دیواره‌ای دارد که در نزدیکی خط میانی قرار گرفته است. با استفاده از رشد فیبری عمود بر دیواره و نیز جهت‌گیری غالب NNE رگه‌های کششی نسل‌های دوم و سوم، سوگیری محور طویل‌شدگی بیضی واتنش، N۱۰٤/۰٤ حاصل می‌شود. مقایسه جهت‌گیری‌های حاصله برای محور طویل‌شدگی بیضی واتنش با استفاده از نسل‌های مختلف رگه‌های کششی، بیانگر چرخش بیضی واتنش در جهت عقربه‌های ساعت و حدود ٤٠-٣٥ درجه است. این چرخش خاص بُرش راست‌بر می‌باشد.

مراجع

خطیب، م. م.، ۱۳۷۷، "هندسه پایانه گسل‌های امتدادلغز با نگاهی ویژه به گسل‌های خاور ایران"، *رساله دکتری دانشگاه شهید بهشتی*، ۲۲٤ 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.*

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.*

Belayneh, M. & Cosgrove, J. W., 2010, "Hybrid veins from the southern margin of the Bristol Channel Basin, UK", *Journal of Structural Geology, Vol. 32:192–201.*

Camp, V. E. & Griffis, R. J., 1982, "Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran", *Lithos, Vol. 3: 221–239.*

Ghorbani, M. A., Pourkermani, M., Mohajel, M., Alimohammadi, M., & Mozaffari Amiri, N., 2008, "Structural analysis of Hired mining area and its relation with gold mineralization using aeromagnetic data, satellite images and field studies, southern Birjand, Iran", *Geophysical Research Abstract, 10, EGU.*

Laing, W. P., 2004, "Tension vein arrays in progressive strain: Complex but predictable architecture and major hosts of ore deposits", *Journal of Structural Geology, Vol. 26:1303–1315.*

Passchier, C. W. & Trouw, R. A. J., 2005, "Microtectonics", 2nd ed, *Springer Verlag, Berlin, Heidelburg, 289 pp.*

Ramsay, J. G. & Huber, M. I., 1983, "The techniques of modern structural geology, vol. 1: Strain Analysis", *Academic Press, London, 308 pp.*

Sylvester, A. G., 1988, "Strike slip faults", *Geological Society America Bulletin, Vol. 100: 1666-1703.*

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

Williams, A. J., 1979, "Foliation development in serpentinite, Gelen rock, New south Wales", *Tectonics, Vol. 58: 81-95.*