

بررسی نمودارهای گل سرخی با سیستم‌های درزه آماری در معادن سنگ‌های نفوذی منطقه شهر ستن، پیرانشهر (آذربایجان غربی)

صمد علیپور^{۱*} و رامین نیک روزا

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۴/۱۷

چکیده

محدوده معدنی شهر ستن در پیرانشهر، بیشترین تولید کننده سنگ‌های نمای نوع گرانیتی در ایران است. در این محدوده حدود ۲۵ معدن فعال وجود دارد. جنس بیشتر سنگ‌های نفوذی از نوع سینیت، مونزونیت، گابرو و گرانیت است، که در منطقه وسیعی رخنمون دارند. از نظر ترکیب شیمیایی، سنگ اصلی منطقه، آلکالی سینیت است. تنوع بافتی و ترکیب سنگ‌ها، همراه با تغییرات شدید رنگ در فواصل اندک، همراه درزه‌ها، گسل‌ها و روراندگی در پیرامون این سنگ‌ها که تا حد زیادی نیز دگرگون و تکتونیزه شده‌اند، مشکلات فراوانی را در مرحله بهره‌برداری فراهم می‌آورند. بررسی نمودارهای گل سرخی با سیستم‌های درزه آماری در معادن سنگ‌های تزئینی این منطقه با هدف کاهش هزینه‌ها و انتخاب روش بهینه استخراج، در این معادن انجام گرفته است. نتیجه بررسی نشان می‌دهد که با توجه به روند کلی چین خوردگی‌ها در امتداد شمال‌باختر - جنوب‌خاور، برای کاهش ضایعات و افزایش راندمان کار باید سینه کارهای بخش مرکزی (حوالی شهر ستن، حجران و قلات) در راستای شمالی - جنوبی و در بخش شمال باختری (قلات، سیوگده و کانی نبتیان) در امتداد شمال باختری - جنوب خاوری و در منطقه پانه سر و خاور شهر ستن در راستای شمال خاوری - جنوب باختری باشند.

کلید واژه‌ها: پیرانشهر، نمودار گل سرخی، سینیت، سنگ نما

*نویسنده مسئول: صمد علیپور

E-mail: alipour_samad@yahoo.com

۱- مقدمه

منطقه شهر ستن از توابع پیرانشهر در وسعتی حدود ۱۰۰۰ هکتار در بین طول خاوری $45^{\circ} 25'$ تا $45^{\circ} 30'$ عرض شمالی $28^{\circ} 31'$ تا $36^{\circ} 31'$ قرار گرفته است. بلندترین ارتفاع منطقه در سنگ‌های آذرین با ۲۳۸۰ متر و کمترین ارتفاع آن ۱۶۶۰ متر و نزدیک روستای شهر ستن قرار گرفته است. در این محدوده حدود ۲۵ معدن فعال وجود دارد که از اراضی مسطح مزروعی تا قله مرتفع را در بر می‌گیرند (شکل ۱). انواعی از سنگ‌های سینیتی، گرانیتی و دیوریتی متمایل به گابرو و سنگ‌های دگرگونی سبز تا سیاه رنگ و آهک‌های پر مین به طور فشرده از آنها استخراج می‌شود. تنوع رنگ و ترکیب سنگ‌ها و وجود درزه‌ها، گسل‌ها از عمده مشکلات در اکتشاف و توسعه سینه کارها در زمان اکتشاف و بهره‌برداری است. بخشی از این سنگ‌ها به صورت صخره‌های مرتفع خرد شده و همچنین توده‌های سنگی هوازده درون حجم قابل توجهی از خاک روبراه و در شیب بالای ۴۵ درجه واقع شده‌اند. نظر به مشکلات زیادی که در استخراج سنگ‌های ناحیه و اکتشاف و استخراج این معادن وجود دارد، درزه‌نگاری این ناحیه با هدف شناخت ساختار و به کارگیری آن به عنوان یک راهنما برای مراحل اکتشاف و استخراج مورد مطالعه قرار گرفته است. شناخت از سیستم درزه‌های این ناحیه می‌تواند راهنمای بسیار خوبی در مورد شیوه استخراج معادن بوده و در نهایت کاهش هزینه‌ها را به دنبال داشته باشد.

۲- روش کار

در این مطالعه از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده و همه اطلاعات حاصل براساس مطالعه و برداشت صحرایی درزه‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی به صورت میدانی انجام گرفته است (شکل ۱). برای روشن شدن وضعیت زمین‌ساختی منطقه، شواهد صحرایی زمین‌ساختی شامل سیستم‌های درز و شکاف، گسل‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای امکان افزایش بازده بهره‌برداری از معادن سنگ تزئینی حدود ۳۰ معدن فعال و متروکه (که به علت افزایش شکستگی‌های موجود ادامه کار آنها توجیه اقتصادی نداشت) مورد بررسی و برداشت درزه‌ای قرار گرفته و سپس داده‌های برداشت شده پردازش شدند.

۳- زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه

این ناحیه در زمین‌شناسی ایران، از ویژگی‌های منحصر به فردی برخوردار است (شکل ۲) که سبب اختلاف در جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناسی آن در فلات ایران شده است. Stocklin (1968) آن را شامل ناحیه تکاب و ارومیه جزو کمربند دگرگونی سنندج - سیرجان می‌داند. این زون در اصل جزئی از زون ایران مرکزی است که دارای اختصاصات ویژه‌ای بوده و به صورت نوار باریک دگرگون شده‌ای در امتداد و به موازات روراندگی زاگرس از شمال سنندج در شمال باختری تا سیرجان و اسفندقه در جنوب خاوری ادامه پیدا می‌کند. از نظر رسوبگذاری نیز دارای ویژگی‌های ساختاری مانند ایران مرکزی بوده، اما از نظر جهت و امتداد کلی از زاگرس پیروی کرده و دارای دگرگونی ناحیه‌ای از نوع درجه بالا می‌باشد.

در بعضی از تقسیمات زمین‌شناسی ساختار ایران بخش‌هایی از مناطق شمال‌باختر کشور جزو البرز تلقی شده است. نبوی (۱۳۵۵) این بخش را ادامه البرز به حساب آورده و بلندی‌های گوشه شمال باختر آذربایجان واقع میان گسل زرینه‌رود و مرز بین ایران و ترکیه تا مهاباد را به عنوان واحد خوی - مهاباد مشخص کرده و بخش شمالی آن را نیز با عنوان واحد آمیزه رنگین از آن جدا کرده است. واحد ساختاری خوی - مهاباد یک زون چین خورده و شکسته است که در ساختار آن سنگ‌های دگرگونی و رسوبی از پالئوزویک تا کواترنر شرکت دارند و ساختار چین خورده آن توسط گسل‌های زیادی شکسته شده و اختلاف سطح قابل ملاحظه‌ای را حاصل کرده‌اند. Eftekhamezhad (1975) این زون را به زیر بخش‌های کوچک‌تری تقسیم کرده و فقط مناطق حد فاصل مهاباد پیرانشهر تا باختر خوی را به دلیل ویژگی‌های مشابه به عنوان زون خوی - مهاباد معرفی می‌کند. زون خوی مهاباد توسط گسل‌های پیرانشهر در باختر و گسل زرینه‌رود در خاور به ترتیب از زون‌های زاگرس و البرز باختری جدا می‌شود. زون خوی - مهاباد توسط گسل‌های پیرانشهر در باختر و گسل زرینه‌رود در خاور به ترتیب از زون‌های زاگرس و البرز باختری مشخص می‌شوند.

۴- گسل‌ها و چین خوردگی‌ها

در محدوده و پیرامون ایالت معدنی شهر ستن گسل‌های بیشتری وجود دارد که بیانگر

کانی نیتیان و سیوگده درزه‌نگاری شده و نمودارهای گل سرخی متفاوتی حاصل شده است. به رغم این گوناگونی یک محدوده جهت آماری چیره در راستای N05 تا N35 در روند چیره درزه‌های منطق دیده می‌شود که عمده تمرکز آنها به طرف شمال می‌باشد. همچنین یک‌سری درزه‌های با تمرکز کمتر با راستای مقاطع و تقریباً عمود بر جهت‌های اصلی دیده می‌شود که از فراوانی و تمرکز کمتری برخوردارند. همان‌گونه که دیده می‌شود، دو سری درزه‌های متفاوت (یک سری در جهت روند عمومی زمین ساخت منطقه و تقریباً شمالی - جنوبی و سری دوم در راستای زاویه دار نسبت به روند اصلی زمین ساخت منطقه) قابل تشخیص است.

۵-۶. نمودار گل سرخی منطقه خاور قلات

در این معدن یک سری درزه‌ها با زاویه تقریباً ۴۵ درجه نسبت به هم حاصل شده‌اند که حاکی از تنش‌های فشارشی خاوری باختری بر منطقه است. ظاهراً توده نفوذی خاور قلات از نظر زمانی پس از کرتاسه در منطقه تزیق شده و اثرات فشارشی نیروهای شمالی - جنوبی بر آن ضعیف است. این روند در درزه‌های حاکم بر معدن خاور حجران نیز حاکمیت دارد (شکل ۱۰).

۵-۷. نمودار گل سرخی منطقه شمال قلات

در توده سنگ‌های شمال قلات، جهت آماری چیره درزه‌ها مشابه روند عمومی شمالی - جنوبی درزه‌های منطقه است که با یک سری درزه‌های اتفاقی با جهت‌های پراکنده دیده می‌شوند. به ظاهر در منطقه قلات دو نوع سنگ‌های نفوذی متفاوت وجود دارد: توده شمالی مشابه با توده اصلی منطقه بوده و ویژگی‌های زمین ساختی عمومی منطقه را دارد در حالی که توده خاوری تا حدی نوع بازی داشته و از نظر سنی به احتمال جوان‌تر از توده اصلی منطقه است این توده دارای ویژگی‌های زمین ساختی متفاوت‌تر نسبت به توده اصلی منطقه است و بیشتر دارای ویژگی‌های زمین ساختی توده کاسه گران است (شکل ۱۱).

۵-۸. نمودار گل سرخی درزه‌های سنگ‌های معادن جنوب شهرستان

توده سنگ‌های منطقه جنوب شهرستان دارای همان ویژگی‌های زمین ساختی عمومی منطقه بوده و روند درز و شکاف‌ها و گسل‌های آن شمالی - جنوبی است. همچنین لازم به یادآوری است که در پیرامون برخی از گسل‌های منطقه برخی شکستگی‌های پرمغزی دیده می‌شود که تحلیل زمین ساختی آنها نیز روند عمومی سیستم زمین ساختی منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۱۲).

۵-۹. نمودار گل سرخی سنگ‌های آهکی معدن چینی سیوگده

به منظور بررسی نقش توده نفوذی منطقه بر روی سنگ‌های میزبان منطقه از آهک‌های بلورین شده، خاور روستای سیوگده و جنوب کانی نیتیان نیز درزه‌نگاری انجام شد و نتایج این درزه‌نگاری که بر روی نمودار گل سرخی پیاده شده، از سیستم عمومی منطقه حکایت داشته و از فازهای متأثر بر توده نفوذی تأثیر پذیرفته‌اند. به عبارت بهتر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روند عمومی شمالی - جنوبی در درزه‌های منطقه به تنش‌های انقباضی سرد شدن توده نفوذی یا فرایندهای درونی توده نفوذی مربوط نمی‌شود و بیشتر به زمین ساخت کلی منطقه و فازهای فشارشی منطقه مرتبط است (شکل ۱۳).

۶- بحث

در مناطق دارای درزه‌های زمین ساختی، یک‌سری گسل‌های موازی آنها نیز وجود دارند که به درزه‌های یاد شده مرکزیت داده و درزه‌ها را به جای عملکرد اختصاصی به یک زون گسستگی تبدیل نموده است. در این مناطق، افزون بر آن که خود گسل‌ها موجب برش سنگ‌ها تا ژرفای زیادی شده‌اند، امکان انتقال آب‌های جوی به اعماق از راه این سیستم‌های گسستگی دگرسانی را از هر دو جنبه عمقی و کیفی به شدت بالا برده و در نهایت درجه کیفی سنگ‌ها به سرعت کاهش یافته است.

تحلیل اثرات درزه‌ها بر توجیه فنی - اقتصادی و راهکارهای کاهش ضایعات در معادن از اهمیت خاصی برخوردار است (Gorden, 2003). با توجه به نتایج گرفته شده از

حالت فعال زمین ساختی منطقه بوده و آثار و علائم آنها به صورت توپوگرافی خشن و ناهموار همراه با خردشدگی سنگ‌ها در باتولیت شهرستان به صورت گسل‌های اصلی و یا فرعی فعال ظاهر گشته است.

در باختر منطقه معدنی شهرستان گسل بزرگ پیرانشهر با شاخه‌های فرعی بیشتری با جهت شمال باختر - جنوب خاور واقع شده که از جنوب پیرانشهر تا حوالی بانه ادامه دارد و بخش وسیعی از مسیر رودخانه زاب نیز در مسیر این گسل استقرار یافته است. در خاور این محدوده یک روراندگی بزرگ اتفاق افتاده که جهت عمومی آن در بخشی از مسیر آن شمال باختری - جنوب خاوری و سپس به طرف شمال خاور - جنوب باختر تغییر مسیر داده است. گسل‌های کوچک‌تر حد فاصل این روراندگی و منطقه مورد بحث، بیشتر شمالی - جنوبی و شمال خاوری - جنوب باختری می‌باشند و بیشتر سازندهای زمین‌شناسی نزدیک دارای همبری گسلی هستند. به دلیل توسعه تراکم گسل‌ها، سنگ‌های موجود در منطقه تا حد زیادی خرد گشته‌اند.

روند کلی شمال باختری - جنوب خاوری چین‌خوردگی‌ها سبب شده که محور آن خط تقسیم آب میان مرز حوزه خاوری آبخیز زاب و محدوده حوزه باختری آبخیز مهاباد را تشکیل دهد. شیب طبقات در برنزنگی‌های سنگی بویژه هورنفلس‌ها و در آهک‌های پرمین که در خاور و جنوب خاور منطقه برنزد یافته‌اند ۶۰ تا ۶۵ درصد متغیر و شیب آنها به سمت باختر است. عدم تنوع سازندها در محدوده، واقع شدن آن در پهنه خوی - مهاباد، عدم وجود نهشته‌های سیلورین، دونین و کربنیفر ویژگی آشکار این منطقه است.

۵- درزه‌نگاری باتولیت منطقه شهرستان و نمایش نمودار گل سرخی جهت‌های آماری چیره آنها

در این بخش ابتدا ویژگی‌های زمین ساختی برداشت شده هر معدن، به طور مستقل مورد بررسی و با رسم نمودار گل سرخی مربوط ویژگی‌های هر ناحیه، شامل امتداد و شیب درزه‌ها نشان داده شده است.

۵-۱. نمودار گل سرخی معدن کاسه گران

در این معدن سه دسته درزه سیستماتیک دیده می‌شوند که با یکدیگر زاویه ۶۰ درجه دارند اما جهت چیره آماری، با راستای N75 می‌باشد (شکل ۳). همچنین بیشترین جهت شیب نیز در راستای شمال باختری (N165) است. شکل ۴ فاصله درزه‌ها از ۳۰ تا ۴۰ سانتی متری شروع و تا ۲/۵ و ۳ متر می‌رسد. زاویه شیب درزه‌ها بین ۵۰ تا ۸۰ درجه است.

۵-۲. نمودار گل سرخی معدن حجران شماره سه

در این معدن یک دسته درزه سیستماتیک دیده می‌شود که به طور عموم جهت شمالی - جنوبی و کمی متمایل به طرف خاور (N170) است (شکل ۵). همچنین جهت شیب نیز در راستای جنوب خاوری (N85) است (شکل ۶). زاویه شیب درزه‌ها در گروه اصلی حدود ۳۰ تا ۶۰ درجه است.

۵-۳. نمودار گل سرخی پانه‌سر

در این معدن سه دسته درزه سیستماتیک دیده می‌شوند که باهمدیگر زاویه ۶۰ درجه دارند و تقریباً همگن پراکنده شده‌اند (شکل ۷). جهت‌های آماری امتداد این سه دسته عبارتند از: N50 و N70 و N135. زاویه شیب درزه‌ها بیش از ۸۰ درجه و نزدیک به قائم است.

۵-۴. نمودار گل سرخی معدن خاور حجران (آغجسته)

در این معدن دو دسته درزه سیستماتیک دیده می‌شوند که با یکدیگر زاویه تقریباً ۹۰ درجه نسبت به هم و در جهت‌های N15 و N75 واقع شده‌اند. اما جهت آماری چیره میان این دو گروه وجود ندارد (شکل ۸).

۵-۵. نمودار گل سرخی منطقه کانی نیتیان (سیوگده)

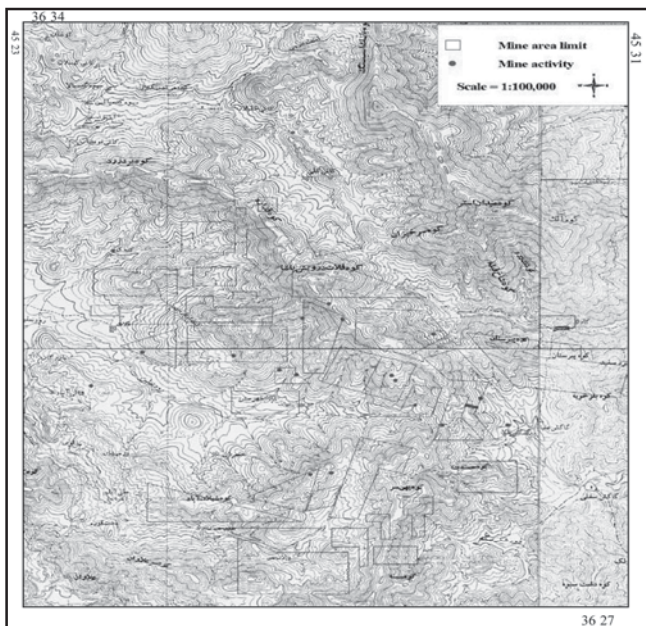
در منطقه کانی نیتیان به دلیل عملکرد گسل‌های محلی و توده نفوذی دسته‌های متفاوتی از درزه‌ها پیاپی می‌شود (شکل ۹). بر این اساس در نقاط مختلف منطقه

گروه می‌باشند، فراوان‌ترین نوع درزه‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. علت اصلی زایش و شکل‌گیری این گروه درزه‌ها به یقین، از تنش‌های انقباضی ناشی از سرد شدن و مبادلات حرارتی بین توده گرم نفوذی با سنگ‌های سرد میزبان ناشی شده است. ب- دسته دوم درزه‌ها ثانویه یا زمین‌ساختی بوده که منشأ آنها فرایندهای فشارشی یا برشی حاصل از تحولات زمین‌ساختی کلی منطقه می‌باشند. این گروه درزه‌ها به‌رغم آن که از نظر کمی کمترین میزان درزه‌ها را تشکیل می‌دهند، اما بیشترین تخریب و خردایش را در سنگ‌ها سبب شده و افزون بر این، موجبات ایجاد گسستگی‌های عمقی و توسعه عملی دگرسانی را فراهم آورده‌اند.

۳- در درزه‌های غیر زمین‌ساختی و غیر سیستماتیک روند خاص آماری قابل برداشت یا پیش‌بینی وجود ندارد. در حالی که در درزه‌های زمین‌ساختی منطقه یک جهت آماری چیره در بیش از ۵۰ درصد نمودارهای گل‌سرخ منطقه قابل شناسایی است. لازم به یادآوری است جهت یاد شده با جهت‌های ۸۰٪ گسل‌های شناسایی شده و دایک‌های فلدسپاری و سیلیسی برداشت شده منطقه نیز مطابقت دارد. در مناطقی مانند کاسه گران و پانه سر و کانی نبتیان که دورتر از بخش مرکزی و هسته توده نفوذی واقع شده‌اند، فراوانی درزه بویژه درزه‌های سیستماتیک و زمین‌ساختی کمتر می‌باشد در حالی که در مناطقی چون حجران و قلات و سیوگده فراوانی درزه بیشتر است. همچنین در مناطق اخیر درزه‌های زمین‌ساختی تا حدودی یک روند شمالی-جنوبی نشان می‌دهند که هم راستا با گسل‌های این منطقه است. از سوی دیگر بررسی عکس‌های هوایی منطقه نشان می‌دهد که توده هلالی نفوذی دارای یک سری جهت‌یافتگی شمالی-جنوبی در بخش مرکزی می‌باشد که دقیقاً با روندهای زمین‌ساختی مناطق یاد شده همخوانی دارد به عبارت بهتر، جهت‌های زمین‌ساختی حاکم بر منطقه پیش از نفوذ توده اصلی منطقه نیز در همان روند شمالی-جنوبی بوده و در نتیجه سیستم کشتی کنترل‌کننده جایگیری توده نفوذی منطقه نیز شمالی-جنوبی بوده است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از سرکار خانم دکتر اکرم علیزاده و آقای مهندس علی همتی به خاطر همکاری در عملیات صحرایی و ترسیم نقشه‌ها سپاسگزاریم.



شکل ۱- نقشه محدوده‌های معدنی منطقه شهرستن و موقعیت چیره سینه کارهای استخراجی منطقه شهرستن پیرانشهر

تحلیل زمین‌ساختی درزه و سیستم‌های ناپیوستگی و گسستگی‌های منطقه مورد مطالعه و نیز به استناد مشاهدات صحرایی صورت گرفته، تأثیر عوامل گسستگی و درزه‌های منطقه بر روند کوپ‌دهی و کیفیت سنگ‌های استخراجی منطقه به شرح زیر ارزیابی می‌شود: در منطقه مورد بررسی طرح که اساس آن بر منطقه معدنی گرانت‌های پیرانشهر و معادن آن استوار شده است، درزه‌های سیستماتیک و ناپیوستگی خطی چون گسل‌ها عموماً در زون‌های بخصوص و محدودی متمرکز شده‌اند. جهت آماری درزه‌ها تقریباً شمالی جنوبی بوده و از امتداد N15 تا N35 در نوسان است (شکل ۱۴). عمده درزه‌ها قائم یا شیب نزدیک به قائم داشته و طول پیوستگی درزه‌ها به‌ندرت از ۸ تا ۱۰ متر تجاوز می‌کند. فاصله عمودی درزه‌های سیستماتیک عموماً بیش از ۳ متر است مگر در مناطقی که فقط زون خرد شدگی تشکیل داده باشند که در این مناطق ممکن است فاصله عمودی درزه‌ها خیلی کمتر باشد. باز شدگی درزه‌ها بیشینه به ۳ تا ۵ سانتی‌متر می‌رسد. فضای بین سطوح درزه‌ها فاقد پرشدگی و کانی‌های ثانویه بوده و فرایندهای ثانویه و سیمانی شدن یا تبلور دوباره در شکاف‌های درزه‌ها دیده نمی‌شود. در درزه‌هایی که در خاک مدفون هستند خاک به علت جذب آب مانند اسفنج مرطوب عمل نموده و درجه دگرسانی را با فرسایش سطوح درزه افزایش داده است. با توجه به توضیحات ارائه شده، می‌توان چنین خلاصه کرد که درزه‌های منطقه پیرانشهر چه آنها که منشأ زمین‌ساختی داشته و حتی آنها که غیر زمین‌ساختی می‌باشند، به طور اولیه و از نظر فرایندهای برشی و کششی اثرات چندانی بر روند کمی و کیفی سنگ‌های منطقه نگذاشته‌اند.

با توجه به مجموع بررسی‌ها چنین نتیجه‌گیری می‌شود که روش‌های مهار ضایعات درزه‌های منطقه در گرو فرایندهای هوازدگی قرار داشته و تنها راهکار مستقلی که فقط در بر گیرنده درزه‌ها و سیستم‌های گسستگی خطی باشد، استفاده از روند خطی جهت‌های درزه‌ها و گسستگی‌های سیستماتیک به‌عنوان یکی از دیواره‌ها و جهت گسترش سینه کارهای استخراج سنگ در معادن منطقه پیرانشهر است. از این روست که به‌منظور کاهش ضایعات حاصل از خردایش زمین‌ساختی و درزه‌های موجود اولاً پیش از ایجاد سینه کار باید محل از نظر درزه و فراوانی آن بررسی و تا حد ممکن کم‌درزه‌ترین محل با مد نظر قرار دادن دیگر پتانسیل‌های معدنی برای احداث سینه کار در نظر گرفته شود. ثانیاً پس از باطله برداری که اثرات درزه‌های غیر زمین‌ساختی تا حدودی تعدیل شده و بسیاری از درزه‌های زمین‌ساختی و احیاناً سیستم‌های گسلی آشکار می‌شود، روند ایجاد و توسعه سینه کار در امتداد سیستم درزه محل صورت بگیرد. بدیهی است با رعایت این شرایط و بر طبق درزه‌نگاری انجام شده و نتایج حاصل از زمین‌ساخت کلی منطقه، قاعدتاً باید سینه کارهای بخش مرکزی (حوالی شهرستن، حجران و قلات) شمالی-جنوبی و در بخش شمال باختری (قلات، سیوگده و کانی نبتیان) شمال باختری-جنوب خاوری و منطقه پانه‌سر و خاور شهرستن شمال خاور-جنوب باختری باشند.

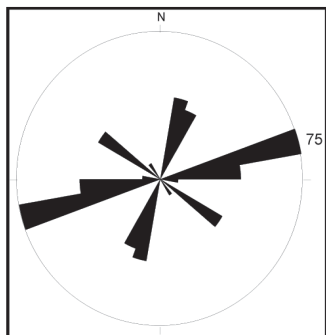
۷- نتیجه‌گیری

نتایج نهایی درزه‌نگاری آماری انجام گرفته بر روی برونزدهای توده نفوذی اصلی منطقه و نیز برخی سنگ‌های نزدیک پیرامون توده نفوذی (آهک‌های بلورین شده و سنگ‌های آتشفشانی) و دسته‌بندی آنها نشان دهنده موارد زیر است:

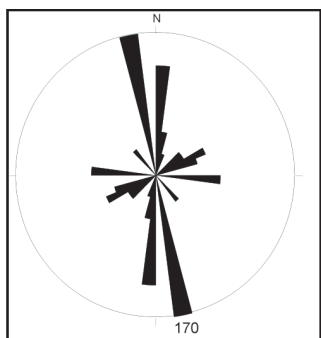
۱- درزه‌های در معرض برونزد (قابل برداشت) منطقه از نظر فراوانی و تراکم از چگالی پایینی برخوردار هستند.

۲- درزه‌های منطقه از نظر ژنتیکی دارای دو منشأ متفاوت است:

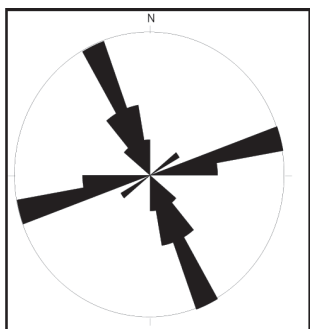
الف- گروه اول درزه‌های اولیه یا غیر سیستماتیک بوده که منشأ غیر زمین‌ساختی داشته که همزمان با نفوذ و جایگیری و سرد شدن توده نفوذی در آن شکل گرفته‌اند. این گروه درزه‌ها به همراه درزه‌هایی که ناشی از فرایندهای هوازدگی و توسعه همین



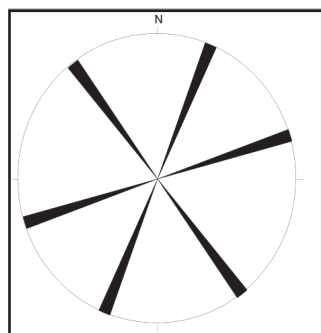
شکل ۳- نمودار گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌ها



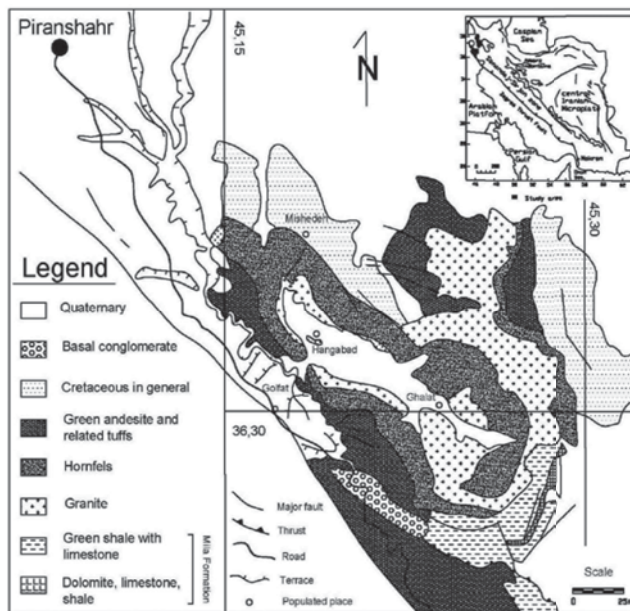
شکل ۵- نمودار گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌های معدن حجیران



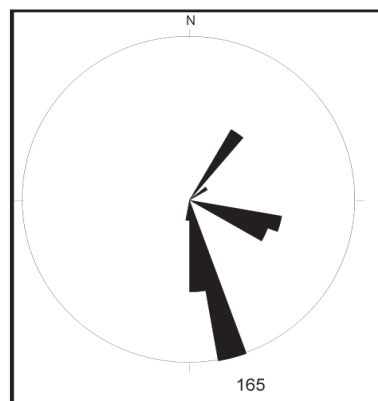
شکل ۷- نمودار گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌های معدن گرانیت پانه‌سر



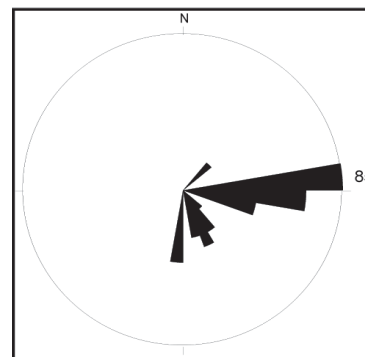
شکل ۸- نمودار گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌های معدن گرانیت خاور حجیران



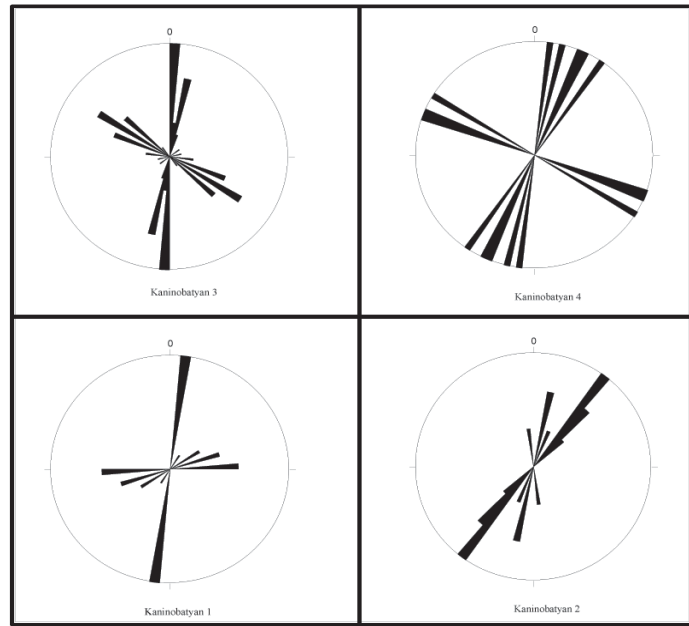
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



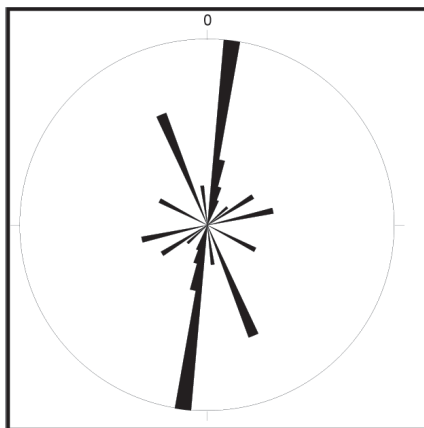
شکل ۴- نمودار گل سرخی فراوانی جهت شیب درزه‌ها



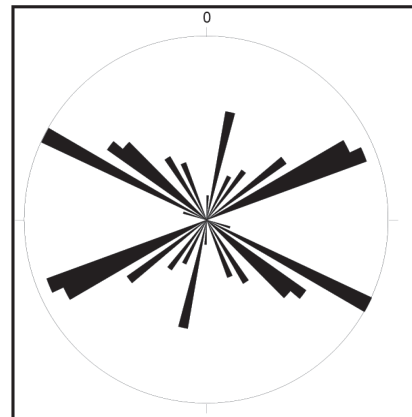
شکل ۶- نمودار گل سرخی فراوانی جهت شیب درزه معدن حجیران



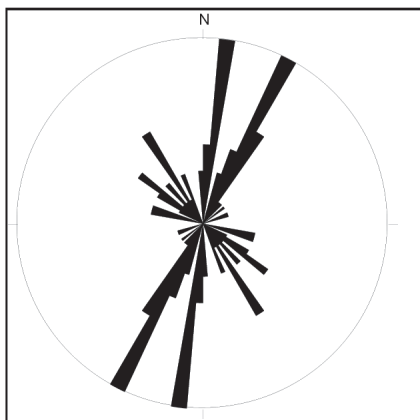
شکل ۹- نمودارهای گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌های گرانیت‌های منطقه کانی نبتیان (سیوگده)



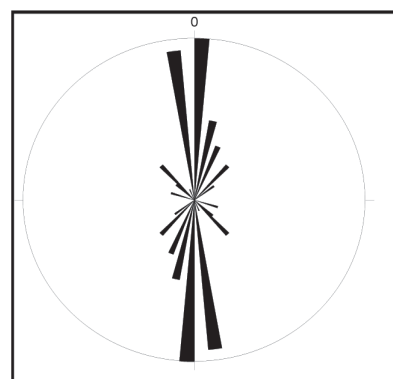
شکل ۱۱- نمودار گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌های توده سنگ‌های گرانیتی شمال قلات



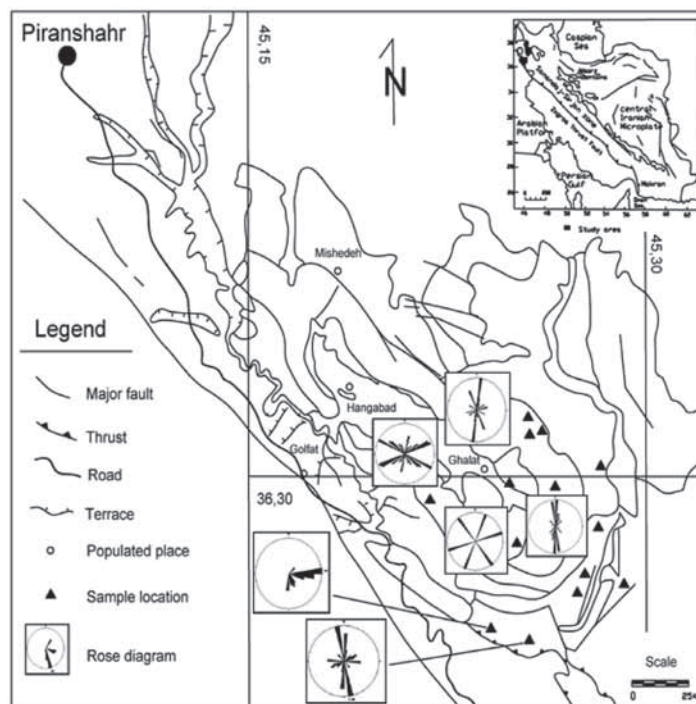
شکل ۱۰- نمودار گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌های معدن گرانیت خاور قلات



شکل ۱۳- نمودار گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌های سنگ‌های آهکی بلورین خاور سیوگده و جنوب کانی نبتیان



شکل ۱۲- نمودار گل سرخی فراوانی جهت امتداد درزه‌های سنگ‌های گرانیتی جنوب شهرستن



شکل ۱۴- نمودارهای گل‌سرخ‌ی زمین‌ساختی و ارتباط آنها با فعالیت گسل‌های موجود در منطقه

کتابنگاری

- شرکت الماس گرانیت، ۱۳۷۴- گزارش پایان اکتشاف معدن سینیت شهر سنندج شماره ۳ پیرانشهر، سازمان صنایع و معادن استان آذربایجان غربی.
- شرکت طاووس گرانیت، ۱۳۷۵- گزارش پایان اکتشاف معدن سینیت هرمه شماره ۲ پیرانشهر، سازمان صنایع و معادن استان آذربایجان غربی.
- شرکت معدنی کاوه، ۱۳۷۷- گزارش پایان اکتشاف معدن سینیت هرمه شماره ۳ پیرانشهر، سازمان صنایع و معادن استان آذربایجان غربی.
- علیپور، ص، ۱۳۸۲- گزارش طرح اکتشافی چگونگی کاهش هزینه در اکتشاف معادن سنگ تزئینی در استان آذربایجان غربی، منطقه پیرانشهر، سازمان صنایع و معادن استان آذربایجان غربی.
- مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، ۱۳۸۱- گزارش طرح اکتشافی بررسی استخراج سنگ‌های تزئینی در منطقه پیرانشهر با تکیه بر عوامل زیست‌محیطی و توسعه پایدار.
- نبوی، م.ح، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

References

- Eftekharneshad, J., 1975- Brief history and structural development of Azarbaijan. Geol. Survey of Iran. International Report. 8 pp.
- Gorden, G., 2003- Morphometric analysis and tectonic interpretation of digital terrain data, A case study, Earth Surface Processes and Landforms, 28, 807-822
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: A review, Am. Ass. petrol. Geol. Bull. 52, 1229-1258

آشکار سازی پویایی نوین گسل درونه با کمک داده‌های دورسنجی و اطلاعات زمین‌شناسی

حمیده امینی^{۱*}، مرتضی فتاحی^۱ و محمدرضا قاسمی^۲

^۱ مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۲ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۹/۰۵

چکیده

گسل درونه، یک گسل راستالغز چپ‌بر و فعال در شمال خاور ایران است که اثر سطحی آن حدود ۷۰۰ کیلومتر درازا دارد. این گسل در طول مسیر خود نهشته‌های تشریری و کواترنری را قطع می‌کند. در چند بخش از آن می‌توان نهشته‌هایی وابسته به دوره‌های پالئوژن، نوژن و مخروط افکنه‌های کواترنری را شناسایی کرد که در آنها جابه‌جایی‌های ناشی از گسلش دیده می‌شود؛ از خاور بیرق تا خاور خلیل آباد، در نهشته‌های نوژن می‌توان جابه‌جایی‌هایی بین ۹۱-۴۵۷ متر را در تصاویر لندست مشاهده کرد. در آبراهه‌هایی که بر روی این واحدها جریان دارند نیز جابه‌جایی‌هایی قابل مشاهده است. در این نوشتار، تلاش شده است تا تاریخچه اخیر گسلش، با استفاده از جابه‌جایی‌های به دست آمده و نرخ لغزش گسل، محاسبه شود. مطابق انتظار، سن آغاز جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی بسیار کمتر از سن واحدها در نقشه‌های زمین‌شناسی و سن آبراهه‌هایی که بر روی این واحدها جریان دارند کمتر از سن واحدها به دست آمده است و از آنجا که در چندین هزار سال گذشته جابه‌جا شده‌اند، تأییدی بر فعال بودن گسل درونه در زمان حال هستند.

کلیدواژه‌ها: گسل درونه، جابه‌جایی، زمین‌شناسی

*نویسنده مسئول: حمیده امینی

E-mail: ese_Amini@yahoo.com

۱- مقدمه

فلات ایران بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا است و در محل همگرایی دو صفحه اصلی عربستان و اوراسیا قرار دارد. فشارش ناشی از این همگرایی باعث ایجاد گسل‌های فراوانی در ایران شده است که راستای برخی از این گسل‌ها زاویه بزرگی با جهت فشار ناشی از این دو صفحه می‌سازد. از جمله این گسل‌ها می‌توان به گسل درونه که در تقسیمات پهنه‌های رسوبی ایران، آن را مرز میان خردقاره ایران مرکزی و پهنه مرکزی ایران در نظر می‌گیرند (آقانباتی، ۱۳۸۳) اشاره کرد.

گسل درونه، گسل طولی است که از مرز ایران و افغانستان، در شمال خاور از حدود طول جغرافیایی ۵۵° ۶۰' خاوری با روند شمال باختر- جنوب خاور شروع می‌شود و در بخش میانی به طور تقریبی در راستای خاوری- باختری قرار دارد و سپس تا نزدیک مرکز ایران در طول جغرافیایی ۵۳° ۰۰'~ خاوری با روند شمال خاور- جنوب باختر و با تفرقه به سمت جنوب ادامه پیدا می‌کند.

۲- زمین‌شناسی گسل درونه

گسل درونه طولی‌ترین گسل ایران پس از گسل اصلی زاگرس است. بخش زیادی از سیستم گسل درونه بدون لرزه است (زارع، ۱۳۷۹) بنابراین، میزان ارتعاشات زمین در اطراف این گسل در مقایسه با دیگر مناطق ایران، کمتر و ملایم‌تر است (Berberian, 1976b). تنها یک زمین لرزه بزرگ‌تر از ۷ (زمین لرزه ۱۶۱۱، با بزرگای ۷ در گستره این گسل (Ambrasys & Melville, 1982)) در دوغ آباد ثبت شده است. اطلاعات دستگاهی نیز بیشینه شدت زمین لرزه‌های ثبت شده تاکنون در اطراف این گسل را ۵/۶ نشان می‌دهند (با توجه به کاتالوگ‌های مختلف). اما براساس شواهد زمین‌ریخت‌شناسی شامل جابه‌جایی در میان نهشته‌های جوان کواترنری، این گسل فعال است (Tchalenko et al., 1973). از این رو، انجام بررسی‌های دقیق بر روی گسل از دیدگاه خطر لرزه‌ای بخش شمال ایران ضروری به نظر می‌رسد.

برای بررسی این گسل از اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی (ترت-جام، ترت-حیدریه، کاشمر، خارتوران، تابباد، گناباد)، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی این ناحیه استفاده شد؛ و اطلاعاتی در مورد زمین‌شناسی گسل درونه و میزان جابه‌جایی بعضی از واحدهای زمین‌شناسی اطراف آن ارائه شد.

جابه‌جایی آبراهه‌ها که بر روی این واحدها جریان دارند، در اطراف گسل درونه، بررسی شود. شکل ۲- الف گسل درونه را به صورت خط قرمز و بخش مورد بررسی را در درون مستطیل سفید نشان می‌دهد.

با مقایسه نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای لندست و کویک‌برد، در بخش میانی گسل از روستای درونه در باختر تا کاشمر در خاور، در چند محل نهشته‌های سنگ‌جوش‌های نئوژن در حد فاصل میان طول و عرض‌های $38^{\circ} 57' N$, $35^{\circ} 22' E$ تا $35^{\circ} 17' N$, $58^{\circ} 22' E$ دیده شده‌اند که جابه‌جایی آنها به گونه‌ای است که به راحتی می‌توان حرکت چپ‌برگسل را از روی آنها تشخیص داد. شکل ۳، چند جابه‌جایی که در این بخش از گسل دیده می‌شود و موقعیت آنها در تصویر ماهواره‌ای شکل ۲- ج با مستطیل سفید رسم شده است را نشان می‌دهد. مقادیر جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی، در جدول ۱ ارائه شده‌اند. از آنجا که اختلاف بین مقادیر جابه‌جایی به‌دست آمده از تصاویر لندست و کویک‌برد کم است، در شکل‌های ۴ و ۵، تنها به یادآوری جابه‌جایی واحدها در تصویر لندست اکتفا می‌شود. همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، در بیشتر موارد مقدار جابه‌جایی‌ها در تصاویر کویک‌برد، کمتر از مقدار جابه‌جایی‌ها در لندست است. توجهی که برای این اختلاف وجود دارد، دقتی است که تصاویر کویک‌برد دارند؛ زیرا موقعیتی که در تصویر لندست امکان مشاهده آن وجود ندارد را می‌توان در تصویر کویک‌برد به علت دقت بالای کویک‌برد (۶۰cm) دید. البته در طول زمان ممکن است نهشته‌هایی در بخش‌های اطراف جابه‌جایی‌ها (به‌طور مثال رسوبگذاری در اطراف رودخانه‌ها) نهشته شوند و اجازه مشاهده دقیق پدیده را ندهند. در مشاهده واحدهای زمین‌شناسی، نه تنها در طول زمان زمین‌شناسی، بلکه در هر واحد زمانی در دو طرف واحدها نیز ممکن است اختلافاتی در جابه‌جایی‌های چپ و راست واحدها مشاهده شوند که می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله میزان فرسایش در منطقه باشد (جدول ۱).

افزون بر جابه‌جایی موجود بر روی واحدهای زمین‌شناسی، می‌توان در آبراهه‌هایی که بر روی این واحدها جریان دارند نیز جابه‌جایی‌هایی را دید. آشکار است که مقادیر جابه‌جایی آبراهه‌هایی که بر روی واحدهای زمین‌شناسی جریان دارند باید کمتر از جابه‌جایی واحدها باشد که این مطلب با بررسی‌های انجام شده بر روی آبراهه‌ها در این پژوهش تصدیق می‌شود (جدول ۱، شکل‌های ۵ و ۴). در بررسی‌های انجام شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، در برخی نقاط نزدیک گسل یک دسته از جابه‌جایی‌ها قابل دیدن است که به احتمال بیانگر حضور شاخه‌ای احتمالی از گسل در این مناطق هستند (شکل ۵- ج). لازم به یادآوری است که در نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰) در این محل‌ها به وجود گسل اشاره نشده است. شکل ۵- ج، بخشی از گسل را نشان می‌دهند که تنها بخشی از گسل (در منطقه مورد بررسی) هستند که در آن واحد زمین‌شناسی در دو شاخه گسل گسترش یافته است. با به‌دست آوردن مجموع جابه‌جایی‌ها در تصویر لندست، در این بخش بر روی هر شاخه از گسل در واحدهای زمین‌شناسی (در شاخه شمالی حدود ۴۰۱/۵ متر و در شاخه جنوبی حدود ۳۳۵ متر) و در آبراهه‌های مسیر (در شاخه شمالی حدود ۳۰۸ متر و در شاخه جنوبی حدود ۳۹۰ متر)، مجموع جابه‌جایی‌های زمین‌شناسی و آبراهه به‌دست آمده در دو شاخه دارای اختلاف کمی با هم هستند؛ اما به هر حال جابه‌جایی آبراهه‌ها کمتر از واحدهای زمین‌شناسی است. پس می‌توان نتیجه گرفت که نرخ لغزش در دو شاخه گسلی تقریباً با هم برابر خواهد بود؛ مطالعه ژئودتیک (GPS) و تعیین سن (OSL) در بخشی از گسل نرخ لغزش را به میزان

چرخش پادساعتگردی که در منطقه گسل درونه وجود دارد، یکی از علل حرکت چپ‌برگسل درونه است (شکل ۳، ۴ و ۵). زارع (۱۳۷۹)، سازوکار راست‌الغز راست‌بری را با توجه به روندهای ساختاری اصلی و ریخت آبراهه‌ها به بخش خاوری آن نسبت داده است.

در این پژوهش، با مقایسه نقشه‌های زمین‌شناسی پهنه گسل درونه تلاش شده است تا میزان جابه‌جایی تجمعی واحدهای زمین‌شناسی بر روی گسل برآورد شود. بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین نهشته‌هایی که در امتداد گسل درونه دیده می‌شوند، نهشته‌های کواترنری هستند. این نهشته‌ها از فرسایش کوه‌های اطراف (که مهم‌ترین آنها کوه‌سرخ در شمال کاشمر است) حاصل شده‌اند. مواد فرسایش یافته ناشی از آبراهه‌های بسیاری که (در شناسایی جنبش گسل نیز به کار می‌روند) از این کوه‌ها سرچشمه گرفته‌اند، با گذر زمان بر روی نهشته‌های تشریری نهشته شده‌اند. هم‌اکنون، می‌توان نهشته‌هایی از دوره‌های پالئوژن، نئوژن و نهشته‌های آبرفتی کواترنری را در اطراف گسل دید. با بررسی نهشته‌های اطراف گسل و بر اساس اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده، اطلاعاتی در مورد منطقه مورد بررسی به‌دست می‌آید؛ از بخش خاور به سمت باختر بخش مورد مطالعه، در منطقه کاشمر، خلیل‌آباد و بردسکن قطعاتی از فلیش‌ها و سنگ‌جوش‌ها در بین نهشته‌های پادگانه‌های جوان که با گسل قطع شده‌اند، دیده می‌شوند. در منطقه کاشمر، ریولیت‌ها و توف‌ها و در حوالی بردسکن، توف‌های سبز رنگ همراه با آهک در مسیر گسل قرار گرفته‌اند. در نزدیکی روستای درونه پادگانه‌های قدیمی و نیز سنگ‌جوش‌هایی با میان‌لایه‌های مارل نومولیتی در مسیر گسل قرار می‌گیرند، در باختری‌ترین بخش گسل، نهشته‌های بیشتر شامل، مارل-سنگ‌ماسه و سنگ‌جوش‌های سبز و سرخ به سن پالئوسن هستند و در میان آنها پهنه‌های آبرفتی دیده می‌شود. در بخش جنوبی گسل، رسوبات آبرفتی همراه با سنگ‌جوش‌های سخت نشده و نیز گراول‌های جدید دیده می‌شوند (شکل ۲- ب).

۳- روش مطالعه

شواهد زمین‌ریخت‌شناختی نمایانگر جابه‌جا شدن واحدهای زمین‌شناسی و رودخانه‌ها در راستای گسل درونه هستند. در این نوشتار، با توجه به شواهد دورسنجی، برای مشاهده جابه‌جایی‌های ایجاد شده توسط گسل بر روی شواهد زمین‌ریختی، افزون بر استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های (۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰)، از عکس‌های هوایی (۱:۵۰۰۰۰) و تصاویر ماهواره‌ای لندست (ETM ۱۵ m) و کویک‌برد (۶۰ cm) نیز استفاده شده است و با استفاده از انطباق همه تصاویر با یکدیگر مقدار جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی و آبراهه‌های روی آنها اندازه‌گیری شده‌اند. با استفاده از این داده‌ها و مقایسه آنها با نرخ لغزش برآورد شده از سوی (Fattahi et al. (2006 و (Tavakoli (2007 سن تقریبی آغاز جابه‌جایی چپ‌بر روی گسل درونه برآورد شده است.

۴- جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی و آبراهه‌ها در اثر حرکت گسل درونه

از جمله افرادی که بر روی جابه‌جایی‌های اطراف گسل درونه بحث و بررسی انجام داده‌اند می‌توان به (Fattahi et al. (2006 و (جوادی (۱۳۸۵) اشاره کرد که البته بیشترین تمرکز آنها بر روی جابه‌جایی آبراهه‌ها، در اطراف گسل بوده است. در این نوشتار سعی شده با اطلاعات جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی بخشی از گسل و نیز

۲/۵ mm/yr ~ نشان می دهند.

می سازد.

همان گونه که در شکل های ۴ و ۵ دیده می شود جابه جایی هایی که در واحدهای زمین شناسی و آبراهه ها مشاهده می شود، چپ بر بودن جابه جایی این گسل را آشکار می کنند که تأییدی بر آنچه (Walker et al. (2004) Wellman (1966) بیان کردند، خواهد بود. با استفاده از جابه جایی هایی که در اطراف گسل به دست آمده است، به همراه نرخ لغزش به دست آمده به روش های OSL توسط (Fattahi et al. (2006 و GPS توسط (Tavakoli (2007 که هر دو به مقدار تقریبی ۲/۵ mm/yr اشاره کرده اند، سن شروع گسلسش و جابه جایی چپ بر واحدها، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده است.

رابطه (۱) $T = \frac{d}{v}$ که در آن T مدت زمان شروع جابه جایی و d مقدار جابه جایی به دست آمده به میلی متر و v نرخ لغزش در طول گسل با واحد میلی متر بر سال است. مقادیر جابه جایی واحدها و آبراهه ها به همراه طول و عرض و نرخ لغزش آنها و سن شروع جابه جایی آنها، در جدول ۱ نشان داده شده است. کمینه و بیشینه سن شروع جابه جایی به دست آمده برای واحدهای نئوژن، به ترتیب ۳۶,۴۰۰ و ۱۸۲,۸۰۰ سال برآورد شده است؛ کمینه و بیشینه سن جابه جایی به دست آمده برای آبراهه ها، به ترتیب ۱۴,۴۰۰ و ۱۶۱,۶۰۰ سال برآورد شده است که این سن نیز کمتر از سن به دست آمده برای جابه جایی واحدهای نئوژن است. سن به دست آمده برای شروع گسلسش در واحدها و آبراهه های گسل درونه به هولوسن و بخشی از پلیستوسن وابسته است.

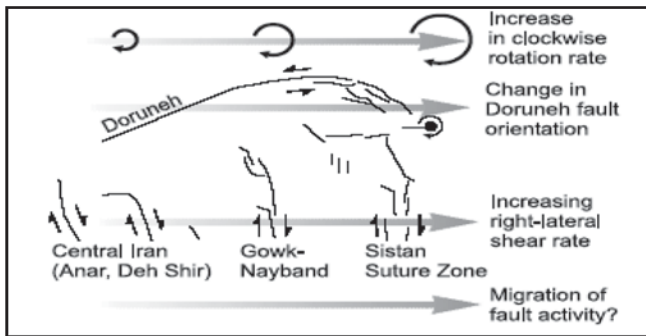
تعریف های موجود بیان می دارند گسل هایی که از ۱۰ هزار سال پیش تا کنون دارای فعالیت بوده اند، گسل فعال هستند (برگی، ۱۳۷۰). گسل درونه با توجه به میزان جابه جایی های اندازه گیری شده بر روی آن و سن تقریبی این جابه جایی ها، بر خلاف آن که زمین لرزه بزرگی بر روی این گسل ثبت نشده است، گسلی فعال در این زمان است. با توجه به آن که وجود دست کم یک جنبش در ۳۵ هزار سال پیش، بیانگر توان جنبشی گسل است (برگی، ۱۳۷۰)، گسل درونه از توان جنبشی بالایی نیز برخوردار است. بنابراین گسل درونه، از گسل هایی است که به دلیل فعال بودن و توان جنبشی بالا، باید در بررسی خطر زمین لرزه ای در اولویت بررسی قرار گیرد.

۴- بحث و نتیجه گیری

گسل درونه با استفاده از نقشه های زمین شناسی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای لندست و کویک برد بررسی شد. کمینه و بیشینه میزان جابه جایی واحدهای زمین شناسی در گستره میانی گسل به ترتیب ۹۱ و ۴۵۷ متر به دست آمد. مقدار کمینه و بیشینه جابه جایی پدیده های جوان تر، مانند آبراهه ها، در این گستره به ترتیب ۳۶ و ۴۰۴ متر برآورد شد. دقت و درستی این نتایج را می توان با مشاهدات صحرائی افزایش داد. سن آغاز جابه جایی چپ بر واحدهای زمین شناسی در راستای گسل درونه، با استفاده از جابه جایی های برآورد شده و نرخ لغزش های به دست آمده بر روی این گسل بین ۳۶,۴۰۰ و ۱۸۲,۸۰۰ سال و سن شروع جابه جایی آبراهه ها در راستای این گسل ۱۴,۴۰۰ و ۱۶۱,۶۰۰ محاسبه شد. با توجه به آن که به نظر می رسد بخش اصلی جابه جایی تجمعی بر روی گسل در طی کواترنری (و حتی هولوسن) روی داده باشد، می توان این گسل را یک گسل فعال در نظر گرفت. این موضوع ضرورت بررسی های دقیق تر با کمک اندازه گیری GPS و سن یابی مطلق به روش OSL، تعیین بهتر میزان فعالیت در بخش های مختلف گسل درونه را آشکار

سپاسگزاری

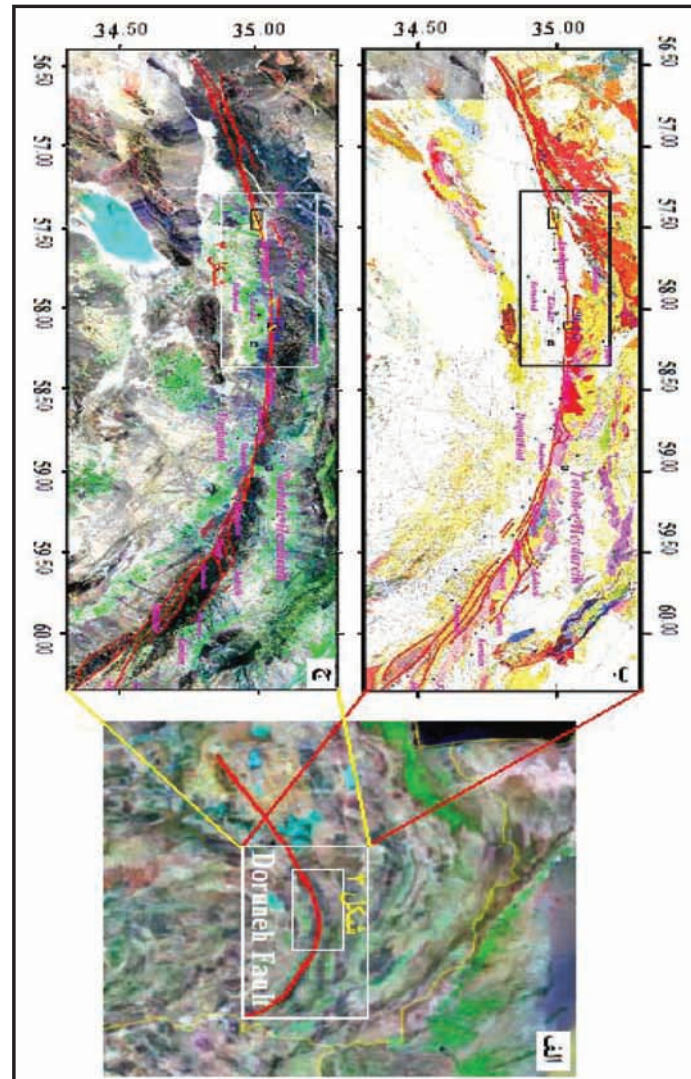
با تشکر از آقای مهندس جوادی که عکس های هوایی اطراف گسل درونه را در اختیار قرار دادند و نیز با تشکر از آقای دکتر توکلی که اطلاعات نرخ لغزشی که بر روی گسل درونه به دست آورده اند و نتایج نهایی کار خود را در اختیار نویسندگان قرار دادند.



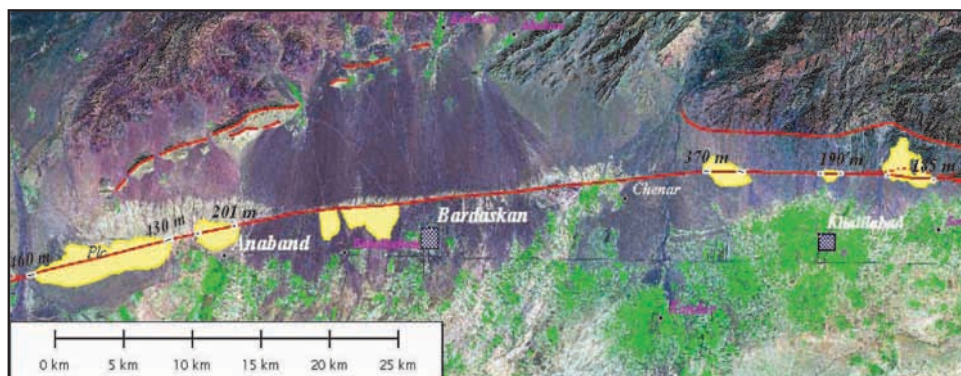
شکل ۱- تصویر نمادین از توزیع ناهمبندگی (uneven) برش راست بر شمالی - جنوبی بر روی سامانه گسل های ایران مرکزی در خاور. تجمع برش راست بر در گسل های مرکزی و خاوری باعث ایجاد چرخش چپ بر بر روی گسل درونه می شود (Walker & Jackson, 2004).

جدول ۱- مقایسه میزان جابه جایی بخش های باختری و خاوری سنگ جوش های نئوژن در گستره گسل درونه، در تصاویر لندست و کویک برد، به همراه جابه جایی آبراهه های این واحدها؛ سن آغاز جابه جایی واحدها و آبراهه هایی که بر روی آنها جریان دارند، با در نظر گرفتن نرخ لغزش ۲/۵ mm/yr ~، برآورد شده است.

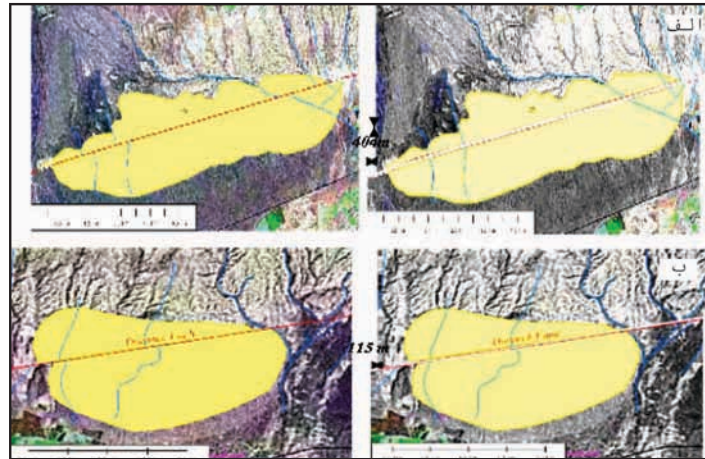
شکل	موقعیت	جابه جایی (متر)			
		اندازه گیری شده در واحدها		اندازه گیری شده در آبراهه ها	
		محل	مقدار	محل	مقدار
۴- الف	باختر انابد ۳۵°۱۴'N, ۵۷°۳۹'E ۳۵°۱۵'N, ۵۷°۴۵'E	باختر	۴۵۷	۳۴۰	۱۳۶۰۰
		خاور	۴۳۷	۴۰۴	۱۶۱۶۰۰
				۲۰۷	۸۸۰۰
				۱۸۱	۷۲۴۰۰
۴- ب	شمال انابد ۳۵°۱۶'N ۵۷°۴۸'E, ۵۷°۴۷'E	باختر	۲۰۱	۷۹	۳۱۶۰۰
		خاور	۲۰۱	۱۱۵	۴۶۰۰
				۸۸	۳۵۲۰۰
۵- الف	باختر خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۳'E, ۵۸°۱۱'E	باختر	۳۹۴	۳۶۱	۱۴۴۴۰۰
		خاور	۳۶۸	۳۴۹	۱۳۹۶۰۰
				۲۴۵	۹۸۰۰۰
۵- ب	شمال خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۷'E, ۵۸°۱۸'E	باختر	۲۱۲	۶۱	۲۴۴۰۰
		خاور	۱۹۳	۳۶	۱۴۴۰۰
				۵۷/۵	۲۳۰۰۰
۵- ج	خاور خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۹'E, ۵۸°۲۲'E	شاخه بالایی	۱۰۵	۵۲	۲۰۸۰۰
			۹۱	۵۶	۲۲۴۰۰
			۱۰۹	۶۵	۲۶۰۰۰
		شاخه پایینی	۹۶/۵		۳۸۶۰۰
			۱۵۰	۷۸	۳۱۲۰۰
			۱۸۵	۵۵	۲۲۰۰۰
		۷۴	۲۹۶۰۰		
		۶۹	۲۷۶۰۰		



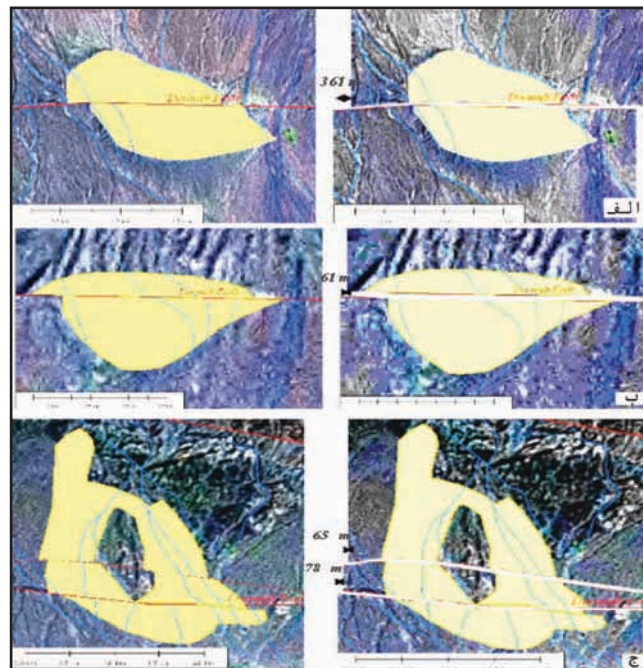
شکل ۲- الف) تصویر ماهواره ای گوگل (کوئیک برد) موقعیت گسل درونه به صورت خط قرمز و گستره مورد بررسی با مستطیل سفید در شمال خاور ایران نشان داده شده است. ب) نقشه زمین شناسی و موقعیت بخشی از گسل درونه که واحدهای زمین شناسی آن مورد بررسی قرار گرفته است به صورت خط قرمز در داخل مستطیل ها نشان داده شده. ج) تصویر ماهواره ای لندست ۷ منطقه.



شکل ۳- واحدهای زمین شناسی نوژن و جابه جایی های آنها در گستره بی $58^{\circ}22'$ ، $57^{\circ}39'$ درجه خاوری حد فاصل بین خلیل آباد و بیرق در راستای گسل درونه در تصویر لندست ۷.



شکل ۴- جابه‌جایی چپ‌بر آبراهه‌ها و واحدهای زمین‌شناسی در تصویر لندست ۷، در باختر و شمال انابد، که در آن واحدهای نوژن به رنگ زرد و آبراهه‌ها به رنگ آبی نشان داده شده‌اند؛ الف) آبراهه‌های باختر انابد با بیشینه ۴۰۴ متر جابه‌جایی در تصویر نشان داده شده‌اند، با کمی جابه‌جایی بیشتر واحد زمین‌شناسی دقیق‌تر منطبق خواهد شد چرا که مطابق جدول ۱ کمترین جابه‌جایی واحد زمین‌شناسی ۴۳۷ متر است و برای انطباق باید کمی جابه‌جا شود. ب) آبراهه‌های شمال انابد با بیشینه جابه‌جایی ۱۱۵ متر نشان داده شده‌اند، در این تصویر نیز باید برای انطباق واحد زمین‌شناسی تصویر کمی بیشتر جابه‌جا شود، چرا که کمترین جابه‌جایی واحد زمین‌شناسی در این منطقه ۲۰۱ متر است (در محدوده طول جغرافیایی $57^{\circ} 38' E$, $57^{\circ} 49'$)



شکل ۵- جابه‌جایی آبراهه‌ها و واحدهای زمین‌شناسی منطقه خلیل‌آباد در تصویر لندست ۷، که در آن واحدهای نوژن به رنگ زرد و آبراهه‌ها به رنگ آبی نشان داده شده‌اند، چپ‌بر بودن حرکت گسل را نمایش می‌دهد؛ الف) آبراهه‌های باختر خلیل‌آباد، با بیشینه ۳۶۱ متر جابه‌جایی در تصویر نشان داده شده‌اند، برای انطباق دو سمت واحد زمین‌شناسی، کمی جابه‌جایی دیگر لازم است، چرا که کمترین جابه‌جایی واحد نوژن ۳۶۸ متر است. ب) آبراهه‌های شمال خلیل‌آباد، با بیشینه جابه‌جایی ۶۱ متر نشان داده شده‌اند، در این تصویر مقدار جابه‌جایی بیشتری نسبت به بخش قبل برای انطباق واحد زمین‌شناسی لازم است، به دلیل آن که کمترین جابه‌جایی واحد نوژن در این منطقه ۱۹۳ متر است. ج) آبراهه‌های بخش خاوری خلیل‌آباد، با بیشینه جابه‌جایی ۶۵ متر در شاخه بالایی و ۷۸ متر در شاخه پایینی گسل نشان داده شده‌اند. در این بخش نیز مقدار جابه‌جایی واحد نوژن بیشتر از جابه‌جایی آبراهه‌های مسیر است (بیشینه ۱۰۹ متر در شاخه بالایی و ۱۸۵ متر در شاخه پایینی) در محدوده طول و عرض $35^{\circ} 17' N$, $57^{\circ} 22' E$ - $57^{\circ} 11'$

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران، ۵۸۶ صفحه.
- برگی، خ.، ۱۳۷۰- اصول مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران.
- جوادی، ح.ر.، ۱۳۸۵- زمین‌ساخت جنبه، لرزه زمین‌ساخت و تحلیل ساختاری سامانه گسل درونه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۲۱۰ صفحه.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۱ صفحه.
- زارع، م.، ۱۳۷۹- تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی سیستم گسله درونه و بررسی زلزله‌های زمستان ۱۳۷۸- بهار ۱۳۷۹ کاشمر، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ص ۳۲-۴۰.

References

- Ambraseys, N. N. & Melville, C., 1982- A history of Persian earthquakes, Cambridge University Press, Cambridge.
- Berberian, M., 1976b- Contribution to the seismotectonic of Iran (Part II), Geological Survey Of Iran, Rep. No. 39, 1976b.
- Fattahi, M., Walker, R. T., Khatib, M. M., Dolati, A. & Bahroudi, A., 2006- Slip-rate estimate and past earthquakes on the Doruneh fault, eastern Iran, *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.03248.x.
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological Quandarangle Map, 1:250,000 series, Kashmar sheet No. J5.1976.
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological Quandarangle Map, 1:250,000 series, Khartouran sheet No. I5. 1987.
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological Quandarangle Map, 1:250,000 series, Torbat-e-Heidarieh sheet No. K5.
- Stocklin, J., Nabavi, M. H., 1973- Tectonic map of Iran, *Geol. Surv Iran*.
- Tavakoli, F., 2007- Present-day deformation and kinematics of the active faults observed by GPS in the Zagros and east of Iran, Thesis, 313P.
- Tchalenko, J. S. & Berberian, M. & Behzadi, H., 1973- Geomorphologic and seismic evidence for recent activity on the Doruneh Fault Iran, *Tectonophysics*, 19: 333-341.
- Walker, R. & Jackson, J., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, Vol.23, TC5010. doi:10.1029/2003TC001529.
- Walker, R., Jackson, J. & Baker, C., 2004 - Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran, *Geophys. J. Int.*, 157, 265–282.
- Wellman, H. W., 1966- Active wrench faults of Iran, Afghanistan, and Pakistan, *Geologische Rundschau*, 55, 716–735.