

تحلیل پتروفابریکی و استرین نهایی در گرانیتوئید دگرشکل شده سامن

بابک سامانی*؛ عادل ساکی^۲، سمیرا آزادی مهر^۳

۱- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز

۲- دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۶

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۷/۱۸

چکیده

مطالعات ساختاری و ریزساختاری بر روی گرانیتوئید دگرشکل شده سامن حاکی از وجود مجموعه‌ای از دگرشکلی‌های شکنا و شکل‌پذیر در این توده می‌باشد. شکستگی‌ها و گسل‌های راستگرد مهم‌ترین عوارض ساختاری شکنا در منطقه بوده که در مقیاس‌های متفاوت قابل پی‌جویی هستند. بررسی‌های صحرایی و مطالعات ریزساختاری نشان دهنده توسعه یک خطوارگی کشیدگی نافذ در نتیجه کشیدگی کانی‌های کوارتز و فلدسپار در این گرانیتوئید است به‌گونه‌ای که در بسیاری موارد تداعی کننده بافت مخطط گنیسی می‌باشد. مهم‌ترین عناصر پتروفابریکی توسعه یافته شامل نوارها و تیغه‌های کوارتزی، پورفیروبلست‌های نوع سیگما، سطوح برشی C-S و شواهد تجدید تبلور دینامیکی همچون مرزهای مضرس کانی‌های کوارتز می‌باشد. نشانگرهای برش وجود یک مؤلفه برشی راستگرد در منطقه را نشان می‌دهند. تحلیل استرین نهایی بر روی کانی‌های کوارتز در سطوح اصلی بیضوی استرین نشان دهنده مقادیر استرین تکتونیکی بصورت $2.35 < R_{xz} < 4.3$ ، $1.2 < R_{xy} < 2.6$ و $1.28 < R_{yz} < 1.97$ می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان دهنده مقادیر K (پارامتر شکل بیضوی استرین) بزرگتر از یک ($1.4 < K < 1.9$) و غلبه تکتونیت نوع LS است. تحلیل عدد جنبش شناختی تاوایی نشان دهنده غلبه دگرشکلی برش عمومی ($0.4 < W_k < 0.91$) و عملکرد ترکیبی پارامترهای استرین برش محض و برش ساده می‌باشد. همگرایی مایل ناشی از حرکت صفحه عربستان به سمت صفحه ایران مهم‌ترین نیروی پیشران در وقوع این نوع دگرشکلی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیضوی استرین، تحلیل استرین، تفکیک استرین، عدد جنبش شناختی تاوایی، گرانیتوئید سامن.

مقدمه

تعیین هندسه و نوع دگرشکلی غالب در مناطق دگرشکل شده در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از زمین‌شناسان قرار گرفته است. به‌گونه‌ای که با مشخص نمودن نوع دگرشکلی می‌توان درک بهتری از چگونگی تکامل ساختاری آنها به‌دست آورد. بررسی خطواره‌های کشیدگی، فولیاسیون‌ها، مرز مناطق دگرشکل شده به درک هندسه مناطق دگرشکلی و چگونگی الگوی استرین در این مناطق کمک شایانی خواهد نمود. مناطق دگرشکل شده معمولاً دارای ساختارهایی هستند که به‌وسیله آنها می‌توان به تعیین راستای جهت برش که یک پارامتر مهم در تفسیر کینماتیکی آنها است دست یافت. پشیر و ترو (۲۰۰۶) به‌منظور دستیابی به راستای برش در زون‌های برشی در حدود بیست فابریک ساختاری را ارائه نموده‌اند. برخی از این نشانگرها در مقیاس ماکروسکوپی و مزوسکوپی و برخی از آنها در مقیاس میکروسکوپی قابل بررسی می‌باشند. برخی از نشانگرها نسبت به سایرین دارای اهمیت بیشتری بوده و به‌عنوان نشانگرهای بالقوه معرفی شده‌اند. از انواع مهم این نشانگرها خطوارگی‌های کشیدگی و سطوح برشی C-S می‌باشند. در مطالعات ساختاری اغلب فرض می‌شود که سطوح برشی S و خطوارگی‌های کشیدگی با صفحه $\lambda_1\lambda_2$ و راستای محور λ_1 بیضوی استرین نهایی موازی می‌باشند. اندازه‌گیری استرین و تعیین راستای محورهای اصلی استرین و هندسه بیضوی استرین در سنگ‌های دگرریخت شده یکی از اهداف زمین‌شناسان ساختاری می‌باشد. مهم‌ترین اصل در تحلیل استرین یافتن عناصر یا نشانگرهایی است تا بتوان از آنها در اندازه‌گیری استرین استفاده نمود. تاکنون روش‌های زیادی به‌وسیله محققین زمین‌شناسی ساختمانی جهت برآورد مقادیر استرین در سنگ‌های دگرریخت شده ارائه شده است. روش

Ri/ Φ (رمزی، ۱۹۶۷) و روش Fry (فری، ۱۹۷۹) از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری استرین می‌باشند که توسط محققین مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً مطالعات دو بعدی استرین می‌تواند به صورت کامل ویژگی‌های بیضوی استرین در سه بعد را تشریح نماید. رمزی و هابر (۱۹۸۳) چهار روش را برای اندازه‌گیری استرین سه بعدی از طریق اندازه‌گیری‌های دو بعدی استرین ارائه داده‌اند. یکی از این روش‌ها اندازه‌گیری استرین در دو صفحه اصلی بیضوی استرین و تعیین استرین در صفحه سوم از طریق ایجاد تناسب بین سه صفحه اصلی استرین و استفاده از نمودار فلین (Flinn diagram) به‌منظور درک تصویر سه بعدی بیضوی استرین می‌باشد. در بسیاری از مناطق دگرریخت شده به دلیل عدم حضور نشانگرهای مناسب انجام تحلیل‌های استرین با محدودیت‌هایی مواجه می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از شواهد پتروفابریکی سعی شده است تا نوع و جهت برش غالب در منطقه مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین با استفاده از کانی‌های دگرشکل شده کوارتز به‌عنوان نشانگر استرین مقادیر عددی استرین در صفحات اصلی بیضوی استرین، ماهیت سه بعدی بیضوی استرین، شدت استرین و عدد جنبش شناختی تاوایی در توده گرانیتوئیدی دگرشکل شده سامن مورد ارزیابی قرار گرفته است. تاکنون مطالعات ساختاری و ریزساختاری متفاوتی بر روی توده‌های نفوذی در پهنه سندنج-سیرجان صورت گرفته است، اما از دیدگاه تحلیل ماهیت و مقادیر پارامترهای استرین کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از این رو در این پژوهش با نگرشی نو بر توده گرانیتوئیدی دگرشکل شده سامن سعی شده است تا با تلفیق مطالعات ساختاری و تحلیل‌های استرین یک مدل منسجم جهت دگرشکلی رخ داده در این توده سنگی ارائه شود.

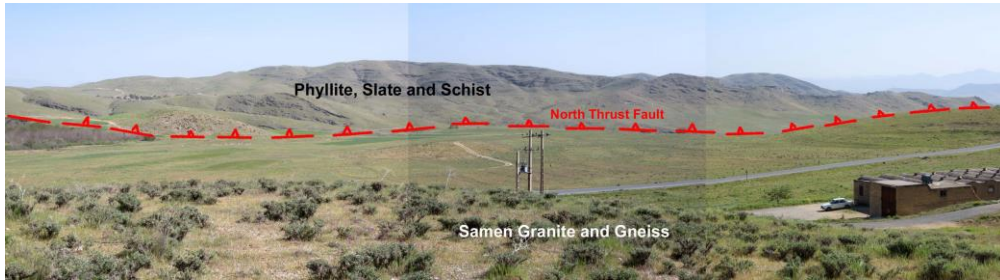
محدوده مورد مطالعه

کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا یکی از پرتکاپوترین کمربندهای کوهزایی در کره زمین است. تشکیل و تکامل این کمربند کوهزایی از پالئوزوئیک تا عهد حاضر می‌باشد (علوی، ۲۰۰۴). این کمربند کوهزایی از کوه‌های آلپ در اروپای غربی شروع شده و تا شرق آسیا ادامه دارد و به کوه‌های هیمالیا در شمال شبه قاره هند ختم می‌شود (اشتوکلین، ۱۹۷۷). برخورد‌های متوالی بین قطعات ابرقاره گندوانا در جنوب و ابرقاره اوراسیا در شمال، طی مراحل گوناگون کوهزایی آلپ سبب شکل گرفتن این کمربند شده است. پوسته فلات ایران نیز بخشی از این کمربند بوده و شامل سلسله جبال‌هایی عظیم با روند شمال غربی-جنوب شرقی و شرقی-غربی می‌باشد. پوسته ایران شامل مجموعه‌ای از خرده قاره‌های گوناگونی است که از لبه شمالی ابرقاره گندوانا جدا شده و طی مراحل مختلف کوهزایی با یکدیگر برخورد کرده‌اند (بربریان، ۱۹۹۵). بنابراین پوسته ایران به شکل یک پوسته ناهمگن دارای ویژگی‌های دگرشکلی ناهمسان می‌باشد. اکنون ایران به صورت یک ورقه محصور شده در میان ورقه‌های لیتوسفری بوده و در اثر ادامه فرایند همگرایی از سوی صفحات آفرو-عربی و اوراسیا تحت تاثیر رژیم تکتونیکی فشارشی قرار دارد. کمربند چین و تراست خورده زاگرس بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا می‌باشد که در حاشیه شمال شرقی صفحه عربستان قرار گرفته است (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). این کمربند کوهزایی شامل ۸ تا ۱۴ کیلومتر از رسوبات کامبرین تا عهد حاضر می‌باشد که بر روی پی سنگ کامبرین قرار گرفته‌اند. تکامل ساختاری و تکتونیکی کمربند کوهزایی زاگرس در نتیجه سه رخداد اصلی الف) فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران در طول ژوراسیک تا کرتاسه پایینی، ب) جاگیری و

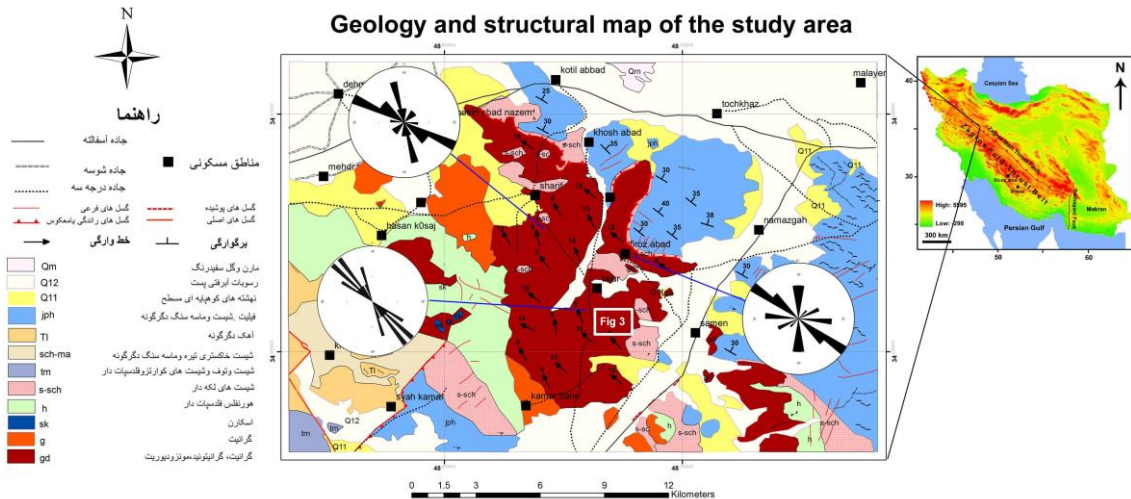
رورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس بر روی حاشیه صفحه آفرو-عربی و توسعه افیولیت‌های زاگرس در اواخر کرتاسه، ج) برخورد قاره‌ای-قاره‌ای صفحه آفرو-عربی با صفحه ایران در اواخر کرتاسه به بعد صورت گرفته است (علوی، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۴). در راستای شمال شرق به جنوب غرب، کمربند کوهزایی زاگرس شامل سه بخش اصلی: ۱) کمربند ماگمایی ارومیه دختر، ۲) کمربند دگرگونی سنندج-سیرجان و ۳) کمربند چین و رانده زاگرس با راستاهای شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. سنگ‌های دگرشکل شده کمربند دگرگونی سنندج-سیرجان نشان دهنده چندین فاز دگرشکلی در خود می‌باشند که آخرین فاز دگرشکلی نشان دهنده فرایند برخورد قاره‌ای بین صفحات آفرو-عربی و ایران می‌باشد (محجل و فرگوسن، ۲۰۰۰؛ مک کوثری، ۲۰۰۴). منطقه مورد مطالعه در ۱۶ کیلومتری جنوب غرب شهرستان ملایر در استان همدان واقع شده است. سنگ‌های دگرشکل شده این منطقه بخشی از سنگ‌های کمربند دگرگونی سنندج-سیرجان می‌باشند. از لحاظ سنگ‌شناسی عمده سنگ‌های موجود در منطقه شامل سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای همچون اسلیت، میکا شیست و شیست‌های سبز و سنگ‌های دگرگونی مجاورتی همچون هورنفلس‌ها و سنگ‌های آذرین همچون توده‌های گرانیتی و گرانودیوریتی می‌باشد. به دلیل همجواری توده‌های گرانیتی مذکور به شهرستان سامن این توده گرانیتی به‌عنوان گرانیتوئید سامن شناخته می‌شود. مرز واحدهای سنگی عموماً گسلی بوده و همجواری توده گرانیتوئیدی سامن با شیست‌ها و اسلیت‌ها در بخش شمالی به صورت ناگهانی و گسلی بوده (شکل ۱) و در بخش‌های جنوبی عموماً به صورت همبری با واحدهای سنگی هورنفلسی می‌باشد. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی حاکی از دگرشکلی شدید این توده

سنگی شده است. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی و زمین‌شناسی ساختاری منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

گرانیتوئیدی بوده به‌گونه‌ای که توسعه نوارهای کشیده شده کانی‌های کوارتز و فلدسپار باعث توسعه یک خطوارگی کشیدگی نافذ در این واحد



شکل ۱: مرز گسله واحدهای شیستی و اسلیتی و گرانیتوئید سامن در بخش شمالی



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی و ساختاری محدوده مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ملایر سازمان زمین‌شناسی)

مواد و روش‌ها

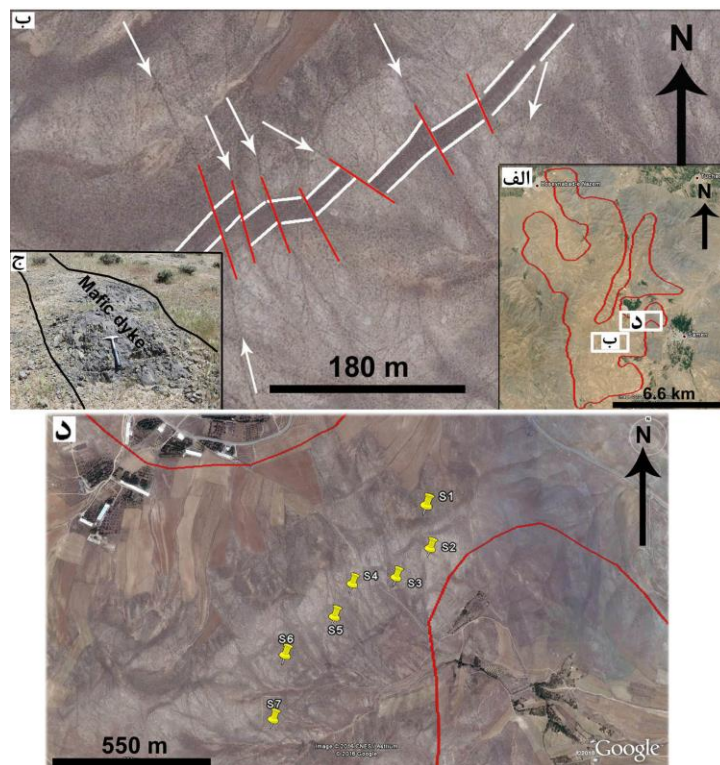
خطوارگی و با استفاده از تحلیل‌های استریوگرافی جهت‌یابی فضایی و ماهیت سه بعدی بیضوی استرین مورد تحلیل قرار گرفته است. در این پژوهش با استفاده از کانی‌های طویل شده کوارتز به‌عنوان نشانگر استرین و به کارگیری روش تحلیل استرین (R_f/Φ) مقادیر نسبت‌های استرین در سطوح اصلی بیضوی استرین محاسبه شده است.

در این پژوهش سعی شده است تا با تلفیق نتایج حاصل از مطالعات بافت ساختاری و تحلیل‌های استرین به شرایط موثر در تکامل ساختاری و ژئودینامیکی توده گرانیتوئیدی سامن پرداخته شود. بنابراین با استفاده از نشانگرهای برش ماهیت نیروهای برشی عمل‌کننده در حین تکامل این توده گرانیتوئیدی مورد بررسی قرار گرفته است. هم-چنین با استفاده از عناصر ساختاری برگوارگی و

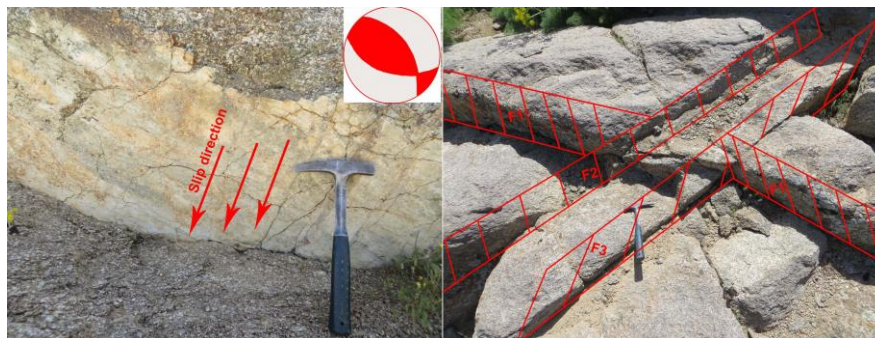
بحث و نتایج

بررسی‌ها در مقیاس تصاویر ماهواره‌ای نشان دهنده توسعه شکستگی‌ها و گسل‌های فراوانی در توده گرانیتوئیدی سامن است. براین اساس حداقل دو دسته گسل و شکستگی با روندهای غالب NNW و NE قابل تشخیص می‌باشد. در تصاویر ماهواره‌ای یک مؤلفه حرکتی افقی غالب راستگرد قابل

تشخیص می‌باشد (شکل ۳). شکستگی‌ها و گسل‌ها در مقیاس میدانی نیز به خوبی قابل تشخیص و پیجویی بوده و عموماً به صورت گسلش‌های معکوس همراه با مؤلفه امتداد لغز راستگرد می‌باشند (شکل ۴). هم‌چنین در شکل ۲ نمودار گل سرخی مربوط به شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در سه محدوده ارائه شده است.



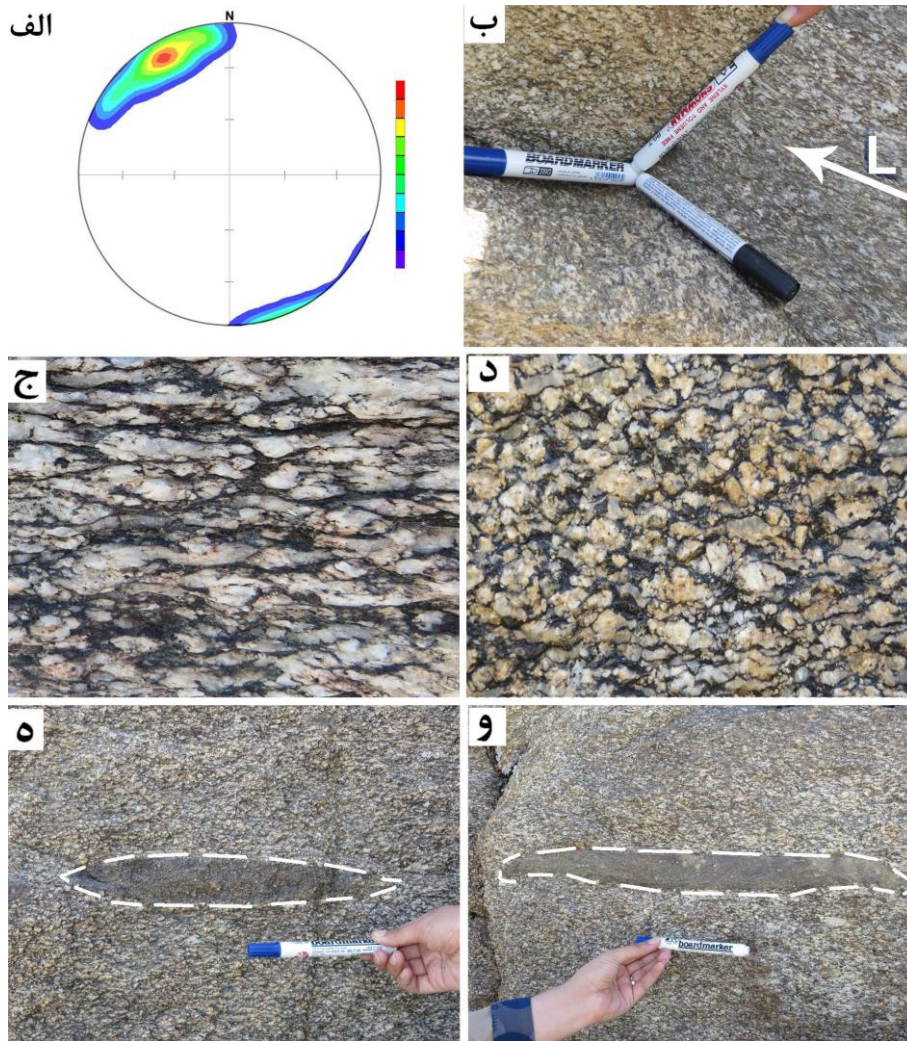
شکل ۳: الف) تصویر ماهواره‌ای مرز توده گرانیتوئیدی سامن، ب) دسته گسل‌ها با مؤلفه افقی راستگرد که باعث جابجایی رگه دایکی شده‌اند، ج) تصویر رگه دایکی مافیک، د) موقعیت برداشت نمونه‌ها.



شکل ۴: گسلش معکوس با مؤلفه امتداد لغز راستگرد موجود در واحدهای گرانیتوئیدی.

مشاهده می‌باشد (شکل ۵ الف). این خطوارگی کشیدگی، ظاهری شبیه به بافت نواری در گنیس‌ها را ایجاد کرده است (شکل ۵ ب، ج و د). این کشیدگی حتی در ادخال‌های موجود در گرانیتوئید نیز قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵ ه و و).

مهم‌ترین و قابل توجه‌ترین پدیده فابریکی در گرانیتوئید دگرشکل شده سامن توسعه یک خطوارگی کشیدگی مشخص در این واحد سنگی می‌باشد. این خطوارگی در نتیجه کشیدگی کانی-های کوارتز و فلدسپار در یک روند غالب N50W تا N02W و شیبی در حدود ۰ تا ۱۵ درجه قابل



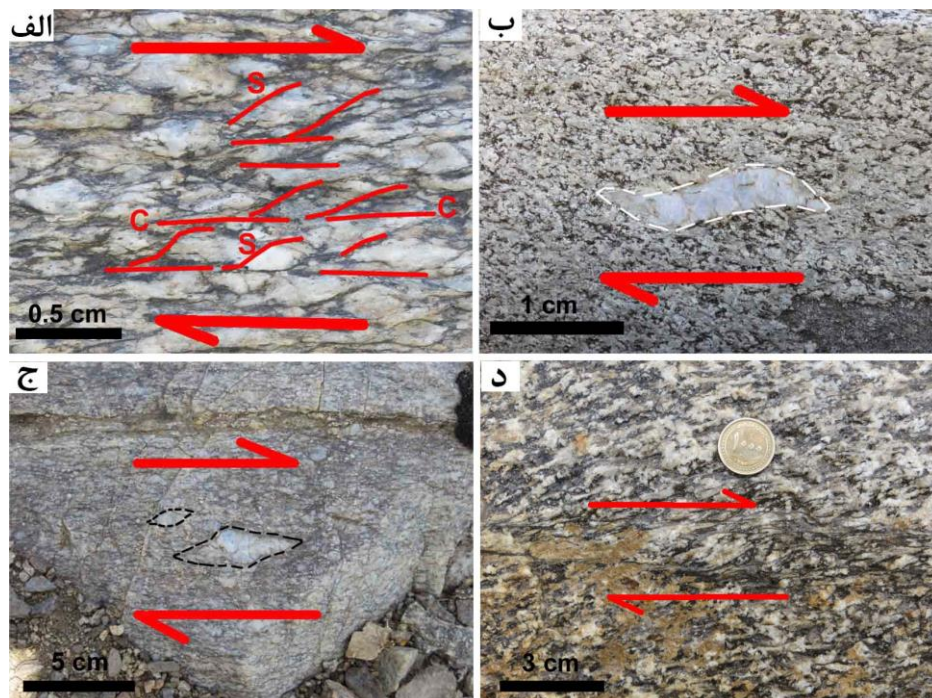
شکل ۵: الف) توزیع استریوگرافی خطوارگی کشیدگی، ب، ج) خطوارگی کشیدگی از طویل شدگی کانی‌های کوارتز و فلدسپار، د) مقاطع تقریباً دایره‌ای کانی‌های کوارتز و فلدسپار در مقطع سنگ در راستای عمود بر خطوارگی کشیدگی ه، و) کشیدگی در ادخال‌های موجود در گرانیتوئید.

عمومی برش در منطقه را تعیین نمود. برخی از این شاخص‌ها هم در مقیاس مزوسکوپی و هم در مقیاس میکروسکوپی گسترش یافته‌اند. به‌عنوان

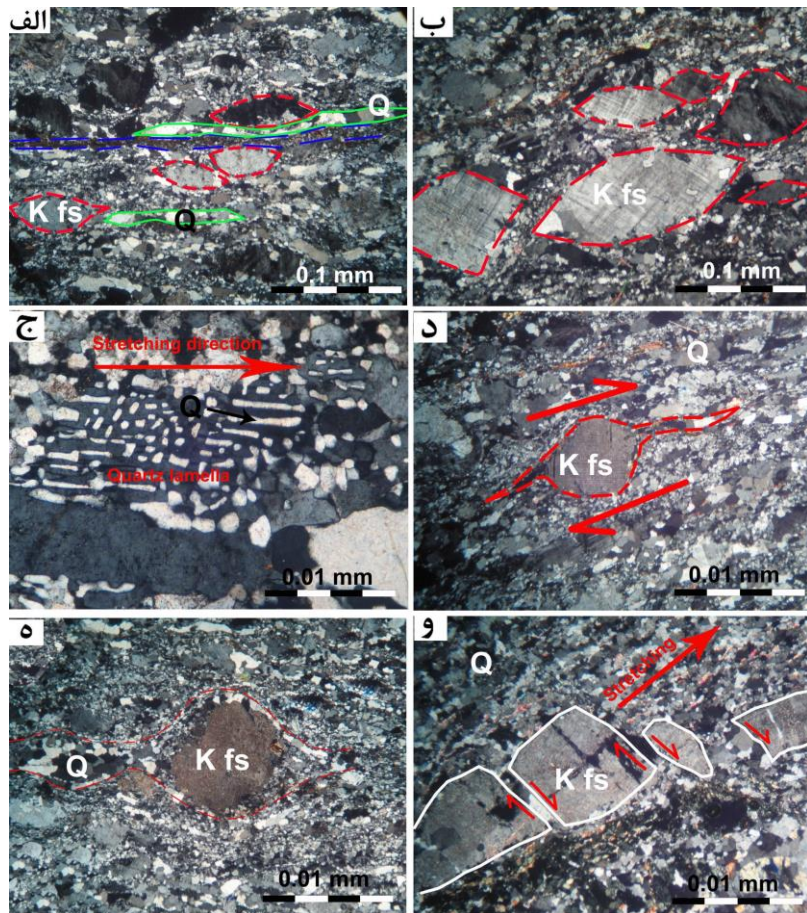
عملکرد مؤلفه‌های برش باعث توسعه و شکل‌گیری برخی از فابریک‌های نامتقارن گشته است. با استفاده از این شاخص‌های برش می‌توان جهت

در این مجموعه گرانیتوئیدی هستند. به گونه‌ای که از شکل ۷ مشخص است خمیره سنگ عموماً شامل دانه‌های ریز و خرد شده کوارتز همراه با مرزهای ناهموار و مژرس بوده که حاکی از وجود یک تجدید تبلور دینامیکی در منطقه می‌باشد. هم-چنین بودین شدگی کانی‌های مقاوم فلدسپار در زمینه کوارتزی حاکی از وجود یک مؤلفه کشیدگی در منطقه می‌باشد. از آنجا که راستای خطوارگی کشیدگی منطبق بر راستای محور بزرگ بیضوی استرین (λ_1) بوده و در ساختارهای C-S سطوح S منطبق بر صفحه $\lambda_1\lambda_2$ بیضوی استرین می‌باشد (محجل و همکاران، ۱۹۸۰؛ بیلی و ایستر، ۲۰۰۳؛ پشیر و ترو، ۲۰۰۶) لذا با برداشتهای صحرایی و با استفاده از تحلیل استریوگرافی موقعیت محورهای اصلی استرین در محدوده مطالعاتی تعیین گردید (شکل ۸).

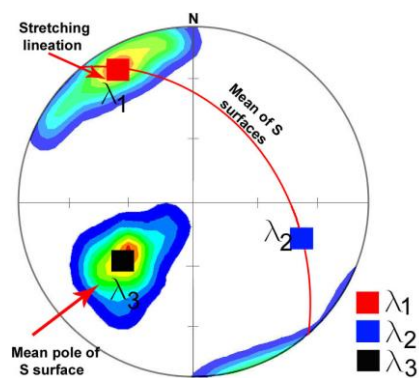
مثال می‌توان از نشانگرهای بالقوه‌ای همچون پورفیروکلاست‌های نوع سیگما، سطوح برشی C-S و زون‌های برشی باریک نام برد. شکل ۶ برخی از شاخص‌های برش در مقیاس دستی را نشان می‌دهد. به گونه‌ای که مشخص است این نشانگرها وجود یک مولفه برشی غالب راستگرد را نشان می‌دهند. در مقیاس میکروسکوپی شواهد زیادی دال بر رخداد یک تبلور مجدد دینامیکی، توسعه کشیدگی و برش خوردگی راستگرد در کانی‌های کوارتزی و فلدسپاتی وجود دارد. شکل‌گیری باندهای کوارتزی (شکل ۷ الف و ب)، پتاسیم فلدسپارهای لنزی یا چشمی شکل (شکل ۷ ب)، توسعه تیغه‌های کوارتز در زمینه پتاسیم فلدسپار (شکل ۷ ج)، پورفیروکلاست‌های نوع سیگما (شکل ۷ ب)، رشد کانی‌ها در سایه فشار (شکل ۷ ه) و میکروبودین‌ها (شکل ۷ و) همه از جمله ریزساختارهایی هستند که نشان دهنده دگرشکلی



شکل ۶: الف) سطوح برشی C-S، ب) ج) پورفیروکلاست‌های نوع سیگما، د) نوار برشی.



شکل ۷: الف و ب) توسعه نوارهای کوارتزی و لنزهای چشمی کوارتزی و فلدسپاری، ج) رشد و کشیدگی تیغه‌های کوارتز در زمینه فلدسپاری، د) پورفیروکلاست‌های فلدسپاری نوع سیگما، ه) رشد کانی‌های کوارتز در سایه فشاری پورفیروکلاست فلدسپاری، و) کشیدگی و بودین شدگی فلدسپار در زمینه ریزدانه کوارتزی.



شکل ۸: تعیین راستای محورهای اصلی بیضوی استرین با استفاده از تحلیل راستای خطوارگی کشیدگی و موقعیت میانگین سطوح برشی S.

تحلیل کمی استرین

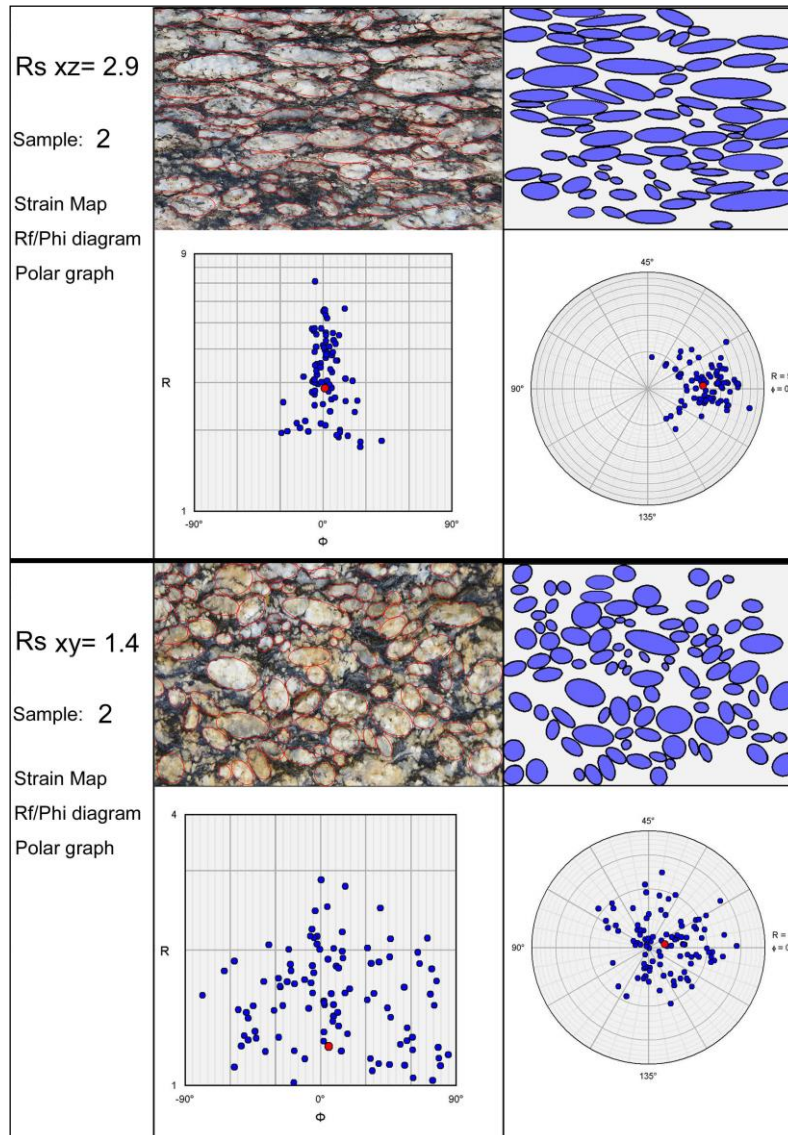
در این تحقیق با استفاده از کانی‌های دگرشکل و کشیده شده کوارتز به‌عنوان نشانگرهای استرین به تحلیل کمی استرین پرداخته شده است. مهم‌ترین فازهای کانیایی گرانیتوئید دگرشکل شده سامن شامل کوارتز، فلدسپار و کانی‌های میکایی می‌باشند. از آنجا که کوارتز از لحاظ ویژگی‌های مکانیکی دارای رفتاری حدواسط در این مجموعه کانیایی می‌باشد لذا نتایج مطالعات استرین بر روی این کانی می‌تواند معیاری برای سنجش رفتار کل مجموعه سنگی می‌باشد (سیرواستاوا و همکاران، ۱۹۹۵؛ لین و همکاران، ۲۰۰۷؛ ویتاله و موزالی، ۲۰۰۸؛ زیپولیا، ۲۰۱۰). طی یک پیمایش صحرائی با راستای تقریبی آزیموت ۲۱۰ درجه تعداد هفت نمونه جهت‌دار به‌منظور اندازه‌گیری - های استرین برداشت گردید. از هر نمونه تعداد دو برش یکی به‌موازات سطح S و دیگری در راستای کشیدگی حداکثر و عمود بر سطح S، منطبق با صفحات اصلی XY و XZ بیضوی استرین (فوزن و تیکف، ۱۹۹۳؛ فورت و بیلی، ۲۰۰۷) تهیه گردید. از هر مقطع عکس تهیه و با استفاده از نرم‌افزار EllipseFit با استفاده از روش بهترین بیضی محاطی نسبت ابعادی و جهت‌یابی محور بزرگ هر نشانگر اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش

R_i/Φ (رمزی، ۱۹۶۷) و Polar (ولمر، ۲۰۱۱) مقادیر نسبت استرین تکتونیکی (RS) در هر صفحه محاسبه گردید. شکل ۹ محاسبه مقادیر استرین تکتونیکی در صفحات اصلی XY و XZ بیضوی استرین برای نمونه شماره ۲ را نشان می‌دهد. به‌منظور اندازه‌گیری استرین در بعد سوم (صفحه YZ) از معادله رابطه ۱ (رمزی و هابر، ۱۹۸۳) استفاده گردید.

رابطه ۱)

$$R_{XZ} = R_{XY} \cdot R_{YZ}$$

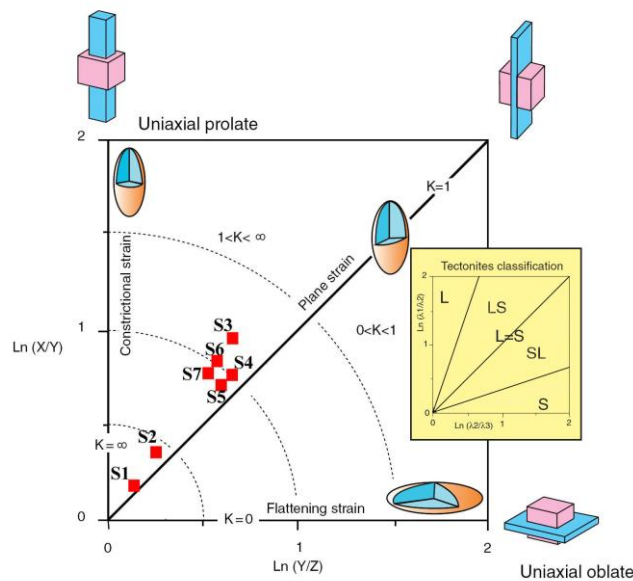
جدول ۱ مقادیر استرین تکتونیکی در صفحات اصلی بیضوی استرین برای نمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد. پارامترهای شکل بیضوی استرین $(K = R_{XY}-1/R_{YZ}-1)$ و شدت استرین $(D = ((R_{XY}-1)^2 + (R_{YZ}-1)^2)^{0.5})$ از پارامترهای مهم در تحلیل‌های استرین می‌باشند. به‌منظور درک ماهیت سه بعدی بیضوی استرین و شدت استرین مقادیر نسبت استرین در صفحات XY و YZ بر روی نمودار فلین ترسیم گردید. نتایج نشان دهنده تغییرات پارامتر K و D بیضوی استرین بصورت $K < 1.9$ و $1.2 < D < 1.8$ می‌باشد (شکل ۱۰ و جدول ۱). مقادیر به‌دست آمده حاکی از وجود و گسترش یک فابریک خطی-صفحه‌ای (تکتونیت نوع LS) غالب در منطقه می‌باشد.



شکل ۹: تعیین مقادیر استرین در صفحات XZ و XY بیضوی استرین با استفاده از روش R_s/Φ و Polar در نمونه شماره ۲ با استفاده از نرم افزار EllipseFit.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای مختلف استرین برای نمونه‌ها

Sample	Rxz	Rxy	Ryz	K	D	θ	Wk
1	2.35	1.2	1.14	1.4	0.2	10	0.5
2	2.9	1.4	1.28	1.4	0.4	13	0.7
3	3.65	2.6	1.97	1.6	1.8	9	0.6
4	3.25	2.15	1.91	1.3	1.5	20	0.9
5	3.85	2.05	1.87	1.2	1.3	19	0.9
6	4.3	2.35	1.82	1.6	1.6	12	0.8
7	4.15	2.4	1.72	1.9	1.6	5	0.4



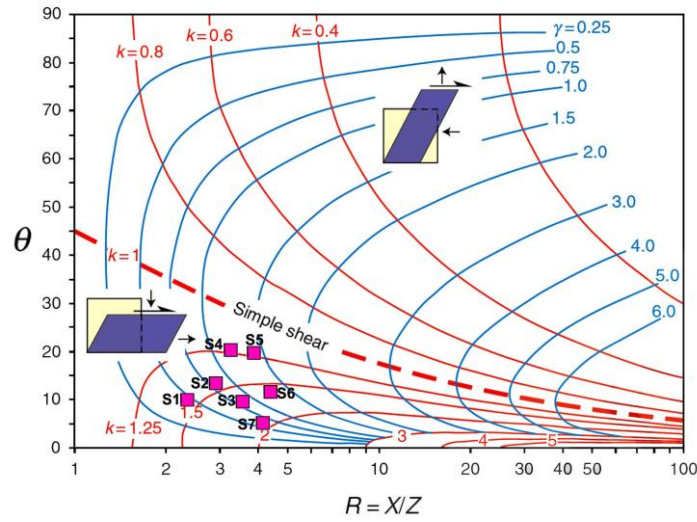
شکل ۱۰: نمودار فلین جهت نمایش پارامتر K و D بیضوی استرین در منطقه مورد مطالعه

مقیاس خطی تبدیل شود. دگرشکلی که در آن برش محض مؤلفه غالب می‌باشد تغییرات پارامتر تاوایی بین ۰ تا ۰/۳ می‌باشد و در آن برش ساده کمتر از ۱۰ درصد نقش دارد (فورت و بیلی، ۲۰۰۷). در مقابل دگرشکلی که در آن برش ساده مؤلفه غالب می‌باشد تاوایی دارای مقادیری بزرگتر از ۰/۹۵ می‌باشد و در آن برش ساده بیشتر از ۸۵ درصد نقش ایفا می‌کند. مقادیر تاوایی بین ۰/۳ تا ۰/۹۵ نشان دهنده جریان دگرشکلی عمومی می‌باشد (فورت و بیلی، ۲۰۰۷). تاکنون روش‌های مختلفی جهت محاسبه مقدار عدد جنبشی تاوایی ارائه شده است (زیپولیاس و دوتسوز، ۱۹۹۷؛ والیز، ۱۹۹۵؛ بیلی و ایستر، ۲۰۰۳؛ زیپولیاس، ۲۰۱۰). در این مطالعه با استفاده از روش ارتباط بین نسبت استرین در صفحه XZ و زاویه محور بزرگ بیضوی استرین نسبت به راستای حداکثر کشیدگی (θ) و با استفاده از تابع تصویری (بیلی و همکاران، ۱۹۹۹) به تعیین مقادیر تاوایی پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا با انتقال نتایج مقادیر استرین تکتونیکی R_{XZ} و پارامتر شکل بیضوی استرین (K) بر روی تابع تصویری چهارتایی $R_{XZ}-\theta-K-\gamma$ (تیکف و فوزن،

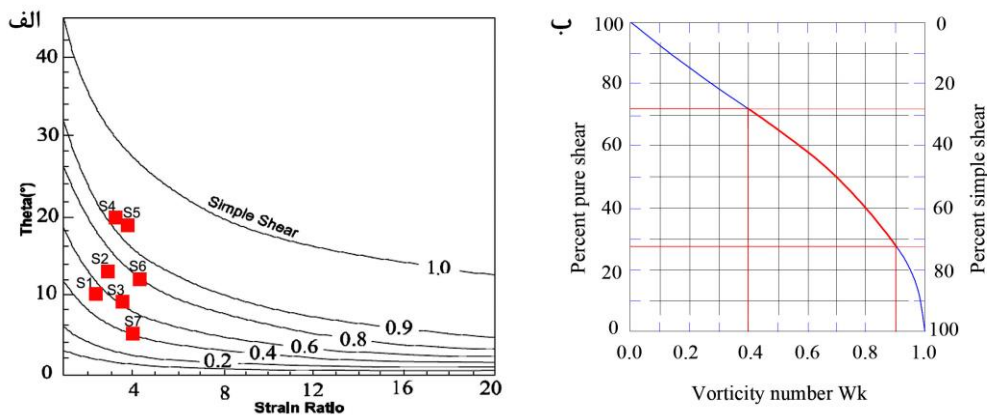
به‌منظور شناخت و فهم ماهیت دگرشکلی به بررسی عدد جنبش شناختی تاوایی (W_k) پرداخته شد. تاوایی یک پارامتر متداول در علم مکانیک سیالات می‌باشد که برای اولین بار توسط مینز و همکاران (۱۹۸۰) وارد فرهنگ زمین‌شناسی ساختاری گردید. عدد جنبش شناختی تاوایی یک پارامتر بدون بعد از چرخش نسبی در استرین می‌باشد و نشان دهنده میزان کشیدگی متناسب با جابجایی در جریان دگرشکلی می‌باشد. بسیاری از روش‌های متداول تحلیل تاوایی از داده‌های جمع آوری شده از روی صفحه XZ بیضوی استرین استفاده می‌کنند و در اکثر آنها وجود یک جریان دگرشکلی ثابت همراه با یک مؤلفه تاوایی که تقریباً به موازات محور Y بیضوی استرین می‌باشد فرض می‌شود. دامنه تغییرات پارامتر تاوایی بین صفر و یک می‌باشد که مقدار $W_k=0$ نشان دهنده جریان دگرشکلی است که در آن منحصراً برش محض عمل می‌کند و مقدار $W_k=1$ نشان دهنده جریان دگرشکلی با حالت برش ساده تنها می‌باشد. این پارامتر فاقد مقیاس خطی بوده اما می‌تواند به‌وسیله محاسبه مقادیر درصدی مؤلفه‌های برش محض و ساده به یک پارامتر با

عملکرد ۲۸ تا ۶۲ درصدی برش محض و ۷۲ تا ۳۸ درصدی برش ساده می‌باشد (شکل ۱۲ ب). این نتایج حاکی از وقوع تفکیک استرین (Strain partitioning) و عملکرد ترکیبی مؤلفه‌های برش ساده و محض می‌باشد.

(۱۹۹۳) مقادیر زاویه‌ای θ تعیین گردید (شکل ۱۱) و جدول (۱). سپس با انتقال داده‌های حاصله بر روی تابع تصویری $R_{XZ}-\theta-W_k$ مقادیر عدد جنبش شناختی تاوایی برای نمونه‌های مختلف مشخص گردید (شکل ۱۲ الف و جدول ۱). تعیین مقادیر درصدی مؤلفه‌های برش ساده و محض نشان دهنده



شکل ۱۱: استفاده از تابع تصویری $R_{XZ}-\theta-K-\gamma$ جهت تعیین مقادیر زاویه θ (تیکف و فوزن، ۱۹۹۳)

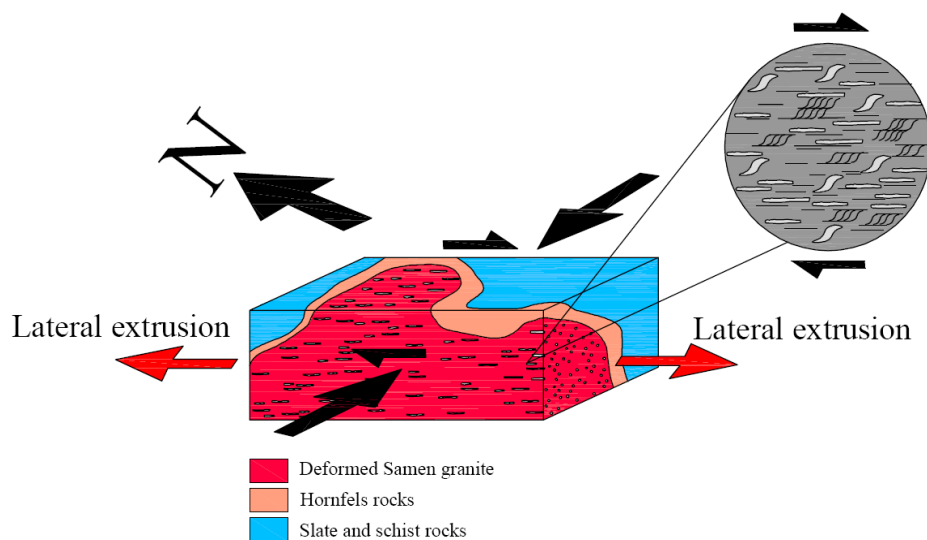


شکل ۱۲: الف) تعیین مقادیر عدد جنبش شناختی تاوایی با استفاده از تابع تصویری $R_{XZ}-\theta-W_k$ (بیلی و همکاران، ۱۹۹۳)، ب) تعیین مقادیر درصدی مؤلفه‌های برش ساده و محض.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعات ساختاری و ریزساختاری و تحلیل‌های استرین حاکی از وقوع دگرشکلی‌های شکننا و شکل‌پذیر در توده گرانیتوئیدی سامن می‌باشد. بررسی‌های عدد جنبش شناختی تاوایی حاکی از وقوع پدیده تفکیک استرین و عملکرد هر دو مولفه‌های برش محض و برش ساده در منطقه می‌باشد. همگرایی مایل ناشی از حرکت صفحه عربستان به سمت صفحه ایران مهم‌ترین نیروی پیشران در وقوع این نوع دگرشکلی می‌باشد. توسعه نشانگرهای برش در مقیاس‌های مختلف وجود یک مؤلفه برشی غالب راستگرد را در توده گرانیتوئیدی سامن تائید می‌نماید. کشیدگی و طولیل‌شدگی کانی کوارتز مهم‌ترین نمود ساختاری در توده دگرشکل

شده گرانیتوئیدی سامن بوده که باعث شکل‌گیری یک خطوارگی کشیدگی در منطقه گشته است. توسعه این خطوارگی کشیدگی را می‌توان در ارتباط با عملکرد مؤلفه استرین برشی محض و وقوع پدیده بیرون ریختگی جانبی (Lateral extrusion) دانست. این بیرون ریختگی و توسعه کشیدگی مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری استرین سه بعدی کشیده شده (Prolate strain ellipsoid) می‌باشد. شکل ۱۳ به صورت شماتیک مدل برش عمومی (General shear) و توسعه کشیدگی حاصل از بیرون ریختگی جانبی به همراه توسعه ساختارهای برشی در توده دگرشکل شده سامن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: مدل شماتیک وقوع برش عمومی و بیرون ریختگی جانبی و توسعه خطوارگی کشیدگی در توده دگرشکل شده سامن.

منابع

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations, *Tectonophysics*, v. 229, p. 211-238.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforeland evolution, *American Journal of Science*, v. 304, p. 1-20.
- Bailey, C.M. and Eyster, E.L., 2003. General shear deformation in the Pinaleno Mountains metamorphic core complex, Arizona, *Journal of Structural Geology*, v. 25, p. 1883-1893.
- Bailey, C.M., Gilmer, A.K. and Marquis, M.N., 1999. A tale of two shear zones, the vorticity and strain path of two greenschist facies shear zones, *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 31(7), 59 p.
- Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds, active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, v. 241, p. 193-224.
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 18, p. 210-265.
- Fort, A.M. and Bailey, C.M., 2007. Testing the utility of the porphyroblast hyperbolic distribution method of kinematic vorticity analysis, *Journal of Structural Geology*, v. 29, p. 983-1001.
- Fossen, H. and Tikoff, B., 1993. The deformation matrix for simultaneous simple shearing, pure shearing and volume change, and its application to transpression-transension tectonics, *Journal of Structural Geology*, v. 15, p. 413-422.
- Fry, N., 1979. Random point distribution and strain measurements in rocks, *Tectonophysics*, v. 60, p. 89-105.
- Lin, S., Jiang, D. and Williams, P.F., 2007a. Importance of differentiating ductile slickenside striations from stretching lineations and variation of shear direction across a high-strain zone, *Journal of Structural Geology*, v. 29, p. 850-862.
- McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran, *Journal of Structural Geology*, v. 26, p. 519-535.
- Means, W.D., Hobbs, B.E., Lister, G.S. and Williams, P.F., 1980. Vorticity and non-coaxiality in progressive deformations, *Journal of Structural Geology*, v. 2, p. 371-378.
- Mohajjel, M. and Fergusson, C.L., 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Structural Geology* v. 22, p.1125-1139.
- Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J., 2006. *Microtectonics*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg- New York.
- Ramsay, J.G., 1967. *Folding and fracturing of rocks*, McGraw-Hill, New York.
- Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1983. *The techniques of modern structural geology, 1: strain analysis*, Academic Press, London.
- Srivastava, H.B., Hudleston, P. and Earley, D., 1995. Strain and possible volume loss in a high-grade ductile shear zone, *J Struct Geol*, v. 17, p. 217-1231.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran, A review, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 52, p. 1229-1258.
- Tikoff, B. and Fossen, H., 1993. Simultaneous pure and simple shear, the unifying deformation matrix, *Tectonophysics*, v. 217, p. 267-283.
- Vitale, S. and Mazzoli, S., 2008. Heterogeneous shear zone evolution, the role of shear strain hardening/softening, *J Struct Geol*, v. 30, p.1383-1395.

-Vollmer, F.W., 2011. EllipseFit 2.0. <http://www.frederickvollmer.com/ellipsefit/>.

-Wallis, S.R., 1995. Vorticity analysis and recognition of ductile extension in the Sanbagawa belt, SW Japan, *J Struct Geol*, v. 17, p. 1077-1093.

-Xypolias, P. and Doutsos, T., 2000. Kinematics of rock flow in a crustal-

scale shear zone, implication for the orogenic evolution of the southwestern Hellenides, *Geological Magazine*, v. 137, p. 81-96.

-Xypolias, P., 2010. Vorticity analysis in shear zones, A review of methods and applications, *Journal of Structural Geology*, v. 42, p. 1-21.