

بررسی الگوی دگرشکلی با استفاده از تحلیل استرین نهایی و عدد تاوایی جنبش شناختی در پهنه دگرشکل شده چشمه سفید، کمربند دگرگونی سنندج-سیرجان

بابک سامانی

دانشکده علوم زمین دانشگاه شهیدچمران اهواز

علی فقیه

بخش علوم زمین دانشگاه شیراز

عباس چرچی

دانشکده علوم زمین دانشگاه شهیدچمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۱۷

Samani.babak@gmail.com

چکیده

کنگلومرا و میکروکنگلومرای دگرشکل شده مزوزوئیک در کمربند دگرگونی سنندج-سیرجان یکی از بهترین نشانگرهای جنبش شناختی برای مطالعات استرین می باشد. در بررسی استرین دوبعدی با استفاده از روش R_p/θ بیشترین مقدار استرین تکنونیک ($R_s=5.4$) در صفحه XZ بیضوی استرین در مقایسه با صفحات XY و YZ بدست آمد. ترسیم مقادیر میانگین هماهنگ نسبت ابعادی قلوه های کنگلومرا بر روی نمودار فلین نشان دهنده تغییرات پارامتر شکل بیضوی استرین (K) بین ۰/۶ تا ۰/۹ می باشد. تحلیل تاوایی پورفیروکلاستهای دگرشکل شده نشان دهنده تغییرات عدد تاوایی (W_k) بین ۰/۴۳ تا ۰/۶۳ بوده که نشان دهنده عملکرد هر دو مولفه های برش ساده و محض در منطقه مورد مطالعه است. بر اساس تحلیل عدد تاوایی جنبش شناختی مقادیر درصدی برش ساده و محض (>0.30) برش ساده (>0.42) و (>0.58) برش محض (>0.70) تعیین گردید. این نتایج ماهیت استرین با غلبه برش محض حاصل از حرکات همگرایی بین صفحات آفرو-عربی و صفحه ایران را آشکار می سازد. با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل استرین و تاوایی، مقادیر کوتاه شدگی در صفحه XZ بیضوی استرین در منطقه مورد مطالعه بین ۴۲٪ تا ۵۰٪ محاسبه گردید.

کلمات کلیدی: استرین نهایی، عدد تاوایی، بیضوی استرین، الگوی دگرشکلی، کنگلومرا.

مقدمه

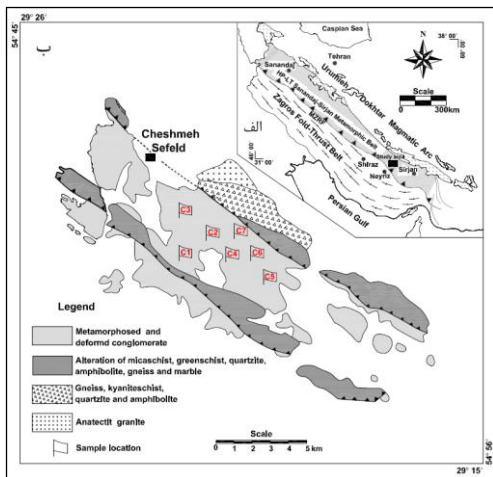
کنونی تحلیل و اندازه گیری مقدار استرین از مطالعه آنها توسعه یافته اند. با به کارگیری روش R_p/θ در مورد کنگلومراهایی که حجم زیادی از آنها را ذرات قلوه سنگ تشکیل داده اند می توان با تقریب نسبتاً مناسبی به مقدار استرین در کل توده سنگ دست یافت (Treagus and Treagus, 2002). تحلیل های استرین در دستیابی به مقدار استرین در مقیاس محلی و فهم تاریخچه دگرشکلی بسیار مفید است. جهت یابی و پراکنندگی محور بزرگ نشانگرهای استرین در سنگهای دگرشکل شده حاوی اطلاعات ارزشمندی از مقدار استرین و تاریخچه دگرشکلی می باشد. هدف از انجام این پژوهش تعیین مقدار استرین، میزان تاوایی جنبش شناختی، توزیع دگرشکلی و مقدار کوتاه شدگی پوسته ای با به کارگیری روشهای تحلیل استرین و تاوایی در قالب مطالعات ساختاری و ریزساختاری در منطقه مورد مطالعه می باشد.

جایگاه زمین ساختی منطقه مورد مطالعه

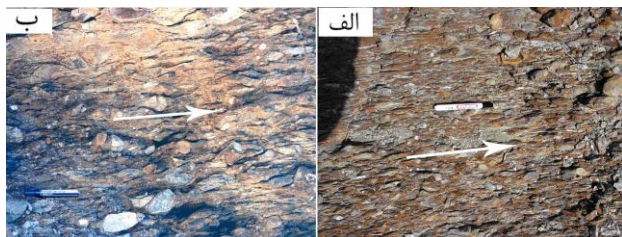
تکامل ساختاری و تکتونیک کمربند کوهزایی زاگرس در نتیجه سه رخداد اصلی الف) فرورانش پوسته اقیانوسی دریای نئوتتیس به زیر پوسته قاره ای ایران در طول کرتاسه پایینی، ب) جاگیری و رورانث پوسته اقیانوسی نئوتتیس بر روی حاشیه صفحه آفرو-عربی و توسعه افیولیت های زاگرس در اواخر کرتاسه، ج) برخورد قاره ای-قاره ای صفحه آفرو-عربی با صفحه ایران در اواخر کرتاسه به بعد صورت گرفته است (Alavi, 1994, 2004). برخورد قاره ای رخ داده باعث ایجاد یک منطقه دگرشکل شده به مساحت تقریبی

تحلیل استرین نهایی، استرین پیشرونده و تاوایی درمقیاسهای مختلف میکروسکوپی، مزوسکوپی و ماکروسکوپی در سال های اخیر در راس مطالعات زمین شناسی ساختاری قرار گرفته است. در دهه های اخیر، مطالعات استرین بر روی نشانگرهایی که تقریباً حالتی بیضوی شکل دارند متمرکز شده است. این نشانگرها عمدتاً شامل دانه های الیت، کلاستهای آذرین و رسوبی، دانه های ماسه ای و قلوه ای در ماسه سنگها و کنگلومراها می باشند. در مطالعات تحلیل استرین استفاده از نشانگرهایی نظیر دانه ها و قلوه های کوارتزی در ماسه سنگها، کنگلومراهای دگرشکل شده و دانه های الیتی در سنگهای آهکی که دارای اختلاف مقاومت کمی نسبت به ماتریکس دربرگیرنده می باشند بسیار مناسب می باشد. در حالاتی که اختلاف مقاومت زیادی بین نشانگرها و مواد زمینه وجود داشته باشد توزیع استرین متفاوت بوده و مقدار استرین بدست آمده نمی تواند نشان دهنده استرین کل توده سنگ باشد (Meere and Mulchrone, 2003) بطور کلی روشهای مختلفی برای اندازه گیری و تحلیل استرین در سنگها وجود دارد. از آنجا که در شرایط طبیعی، سنگها طی مکانیزمهای مختلفی دگرشکل می شوند بنابراین ممکن است روشهای مختلف تحلیل استرین نتایج متفاوتی را در بر داشته باشد (Ramsay and Huber, 1983). کنگلومراهای دگرشکل شده ابزاری مناسب برای تحلیل استرین در توالی ستونهای چینه شناسی می باشند به گونه ای که بسیاری از روشهای

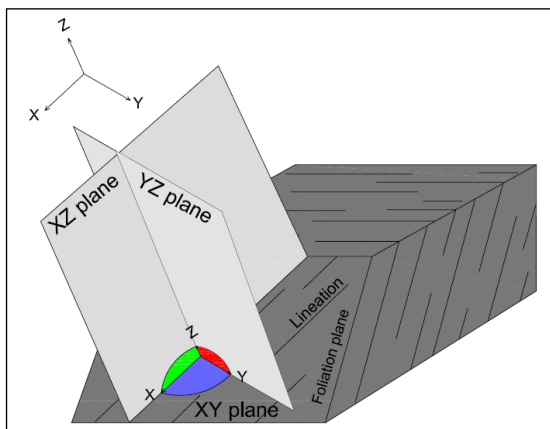
(R_{XZ} , R_{XY} and R_{YZ}) برای هفت نمونه در سطوح اصلی بیضوی استرین (سطوح XY , XZ و YZ) اندازه گیری شد. سعی شد تا نمونه برداریها از مناطقی که نسبت قلوه به ماتریس بالا بوده و ساختارهای صفحه ای و خطی توسعه خوبی نشان می دهند صورت پذیرد. موقعیت نمونه ها در شکل (۱) (ب) نشان داده شده است. نسبتهای طول به عرض قلوه ها در سطوح اصلی بیضوی استرین (XZ صفحه عمود بر برگواری و موازی با خط وارگی، XY صفحه موازی با برگواری و YZ صفحه عمود بر برگواری و خط وارگی) و جهت یابی محور بزرگ نشانگرها نسبت به راستاهای مرجع اندازه گیری شد (شکل ۳). با استفاده از روشهای متداول مولفه های استرین و تاوایی مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً جزء بندی استرین و کوتاه شدگی پوسته ای در منطقه، مورد مطالعه قرار گرفت.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه



شکل ۲ الف و ب- کنگلومرای دگرشکل شده در محدوده مورد مطالعه. پیکانها نشان دهنده راستای خط وارگی حاصل از دنبال هم قرار گیری محور بزرگ قلوه ها می باشند

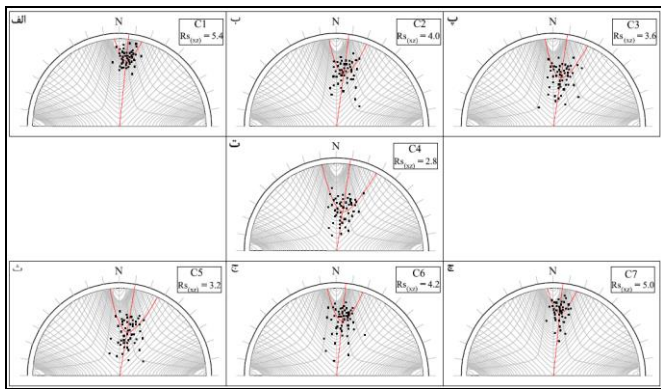
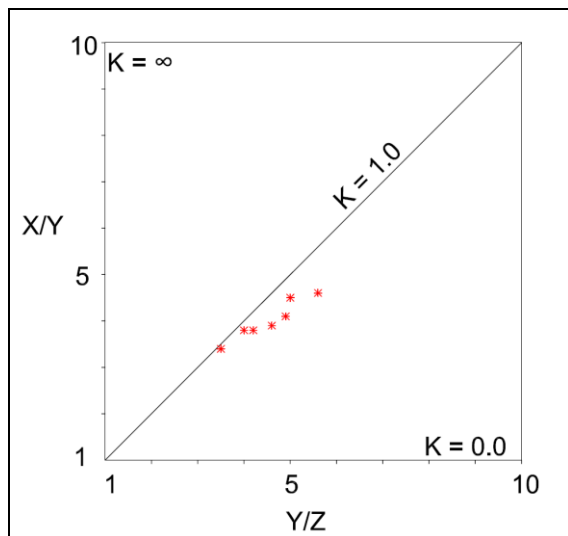


شکل ۳. موقعیت سطوح اصلی بیضوی استرین نسبت به راستای عناصر ساختاری (صفحه برگواری و خط وارگی)

۳۰۰۰۰۰ کیلومترمربع در پوسته زمین و شکل گیری یکی از مهمترین کمرندهای کوهزایی در پوسته گردیده است. منطقه چین و رانده زاگرس یک منطقه دگرشکل شده خطی بوده که خود جزئی از کمر بند کوهزایی آلپ-همیالی به شمار می آید (Berberian and King 1981, McClay et al., 2004) در راستای شمال شرق به جنوب غرب، کمر بند کوهزایی زاگرس شامل سه بخش اصلی: (۱) کمر بند ماگمایی ارومیه دختر، (۲) کمر بند دگرگونی سنندج-سیرجان و (۳) کمر بند چین و رانده زاگرس با راستاهای شمال غرب - جنوب شرق می باشد (شکل الف). سنگ های دگرشکل شده کمر بند دگرگونی سنندج-سیرجان نشان دهنده چندین فاز دگرشکلی در خود می باشند که آخرین فاز دگرشکلی نشان دهنده فرایند برخورد قاره ای بین صفحات آفر-عربی و ایران می باشد (Mohajjel and Fergusson, 2000, Mc Quarie, 2004). این بخش از کمر بند کوهزایی زاگرس دارای پهنایی در حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر و دارای درازایی در حدود ۱۵۰۰ کیلومتر می باشد که از منطقه سنندج در شمال غرب تا منطقه سیرجان در جنوب شرق کشیده شده است (Sarkarinejad et al., 2008, 2010). به دلیل نزدیکی منطقه سنندج-سیرجان به پهنایی دگرشکلی، میزان کوتاه شدگی پوسته ای در ارتباط با فرورانش و برخورد قاره ای در این منطقه میزان قابل توجهی را نشان می دهد (Samani, 2011). در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از ترکیب مطالعات ساختاری و تحلیل های استرین و تاوایی به برآوردی از میزان کوتاه شدگی پوسته ای در منطقه مورد مطالعه دست یافت. منطقه مورد مطالعه در نزدیکی روستای چشمه سفید واقع در ناحیه نیریز در استان فارس در جنوب غرب ایران واقع شده است. سنگهای دگرشکل شده این منطقه بخشی از سنگهای کمر بند دگرگونی سنندج-سیرجان می باشند. از لحاظ سنگ شناسی عمده سنگهای موجود در این منطقه شامل کنگلومرا و میکروکنگلومراهای دگرشکل شده تریاس بالایی و ژوراسیک می باشد (شکل ۲) که بصورت دگرشیب بر روی واحدهای دگرگونی قدیمی تر قرار گرفته است (Berberian and King 1981, Eshraghi et al., 1999) همچنین در این محدوده سنگهای میکاشیست و آمفیبولیت شیست نیز توسعه یافته اند که همراه با واحدهای سنگی کنگلومرای یک برگواری و خط وارگی غالب را در منطقه نشان می دهند. واحدهای کنگلومرای و میکروکنگلومرای در یک حوضه رسوبی توریدیتی نهشته شده اند که هندسه و ماهیت این حوضه رسوبی هنوز به خوبی شناخته نشده است (Sheikholeslami, 2008) واحدهای کنگلومرای عمدتاً شامل قلوه های کوارتزیتی و شیستی بوده و دارای ضخامتی در حدود ۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰ متر می باشند (Sarkarinejad et al., 2010). زمینه اطراف قلوه ها عمدتاً شامل ترکیب کوارتزی، مسکویتتی و فلدسپاتی بوده و اختلاف مکانیکی زیادی بین مواد زمینه ای و قلوه سنگها وجود ندارد از این رو این واحد کنگلومرای ابزاری مناسب جهت انجام مطالعات استرین می باشد. بر اساس مطالعات سرکاری نژاد (۱۹۹۹) درجه دگرگونی این واحد کنگلومرای نسبتاً پایین بوده و نشان دهنده شرایط رخساره ای شیست سبز می باشد. شکل (ب) موقعیت و نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.

روش کار

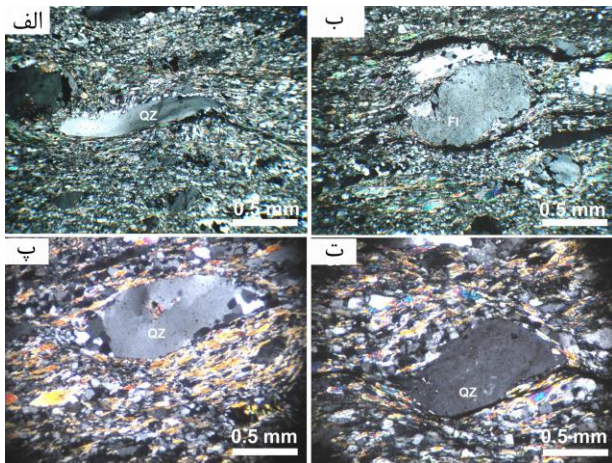
پدیده دگرشکلی در یک زون برشی استرین بالا، شامل یک سری از پارامترهای فیزیکی می باشد که استرین نهایی و تاوایی از مهمترین آنها می باشند. به منظور تعیین مقدار استرین نهایی، میزان تاوایی جنبش شناختی و نهایتاً میزان توزیع استرین و مقدار کوتاه شدگی در طی دگرشکلی در محدوده مورد مطالعه، قلوه های موجود در کنگلومرای دگرشکل شده بعنوان نشانگرهای جنبش شناختی استرین مورد استفاده قرار گرفت. نسبتهای استرین نهایی


 شکل ۴. مقادیر استرین تکتونیکی (R_s) در صفحه XZ بیضوی استرین

 شکل ۵. توزیع مقادیر میانگین هماهنگ (H) نسبت ابعادی نشانگرها در سطوح اصلی بیضوی استرین در نمودار فلین

عدد تاوایی جنبش شناختی

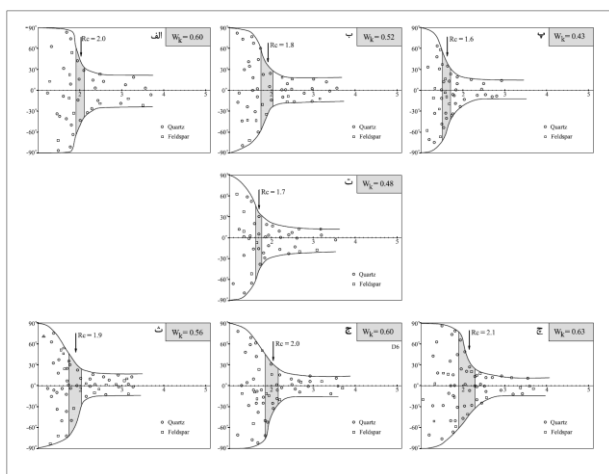
تاوایی یک پارامتر متداول در علم مکانیک سیالات می باشد و برای اولین بار توسط Means et al., 1980 وارد فرهنگ زمین شناسی ساختاری گردید. عدد تاوایی جنبش شناختی (W_k) یک پارامتر بدون بعد از چرخش نسبی در استرین می باشد و نشان دهنده میزان کشیدگی متناسب با جابجایی در جریان دگرشکلی می باشد. تاوایی در اصل مشخص کننده چرخش لحظه ای نسبت به کشیدگی لحظه ای در یک نقطه می باشد (Truesdell, 1953; Means et al., 1980). بسیاری از روشهای متداول تحلیل تاوایی از داده های جمع آوری شده از روی صفحه XZ بیضوی استرین نهایی (صفحه عمود بر برگواگی و موازی با خط وارگی) استفاده می کنند و در اکثر آنها وجود یک جریان دگرشکلی ثابت همراه با یک مولفه تاوایی که تقریباً به موازات محور Y بیضوی استرین می باشد فرض می شود. عدد تاوایی نشان دهنده یک مقدار عددی از میزان پیش جریانی بوده و معمولاً بصورت کسینوس زاویه حاده بین راستاهای جاذب جریان دگرشکلی (Fabric attractor) بیان می شود (شکل ۶ الف-پ). دامنه تغییرات پارامتر تاوایی بین صفر و یک می باشد که مقدار $W_k=0$ نشان دهنده جریان دگرشکلی است که در آن منحصراً برش محض عمل می کند و مقدار $W_k=1$ نشان دهنده جریان دگرشکلی با حالت برش ساده تنها می باشد. پارامتر تاوایی

کنگلوامرای مورد بحث یک کنگلوامرای پلی ژنتیک بوده که شامل کانیهها و عناصر سنگی متفاوتی می باشد. قلوه های موجود در کنگلوامرا عمدتاً دارای ترکیب کوارتزیتی و شیستی بوده که کوارتز، فلدسپات و میکا بعنوان فازهای کانایی غالب در آن می باشند. از لحاظ مقاومت فلدسپات و میکا به ترتیب قوی ترین و ضعیف ترین فازهای کانایی موجود در قطعات کنگلوامرا می باشند. از آنجا که کوارتز در برابر واکنش (نسبت به فلدسپات و میکا) دارای رفتاری نزدیک به حالت کشسان-خمیرسان (الاستوپلاستیک) می باشد از این رو بمنظور برآورد مناسب و میانگین از میزان استرین، اندازه گیریها عمدتاً بر روی قلوه های کوارتزیتی که دارای ترکیب بالایی از کوارتز بودند صورت پذیرفت. از آنجا که در مطالعات استرین برای اندازه گیری برخی روابط زاویه ای نیاز به یک راستای مینا می باشد تا اندازه گیریها نسبت به آن راستا اندازه گیری شود لذا راستای تقریبی گسلهای تراستی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعات استرین این راستا یک راستای دلخواه می باشد که معمولاً می توان از امتداد گسلهای منطقه و یا اثر برگواگی بر روی صفحه مورد مطالعه استفاده نمود. در این مطالعه راستای امتداد گسل های تراستی به عنوان راستای مرجع در نظر گرفته شدند و زاویه Φ نشان دهنده زاویه بین امتداد گسلهای تراستی و محور بزرگ (محور X) نشانگرهای استرین می باشد. در تحلیل های استرین موضوع تغییر حجم یک مساله بفرنج بحساب می آید که می تواند تغییرات شدیدی را در شکل بیضوی استرین نهایی ایجاد کند. (Ramsay and Wood, 1973; Sarkarnejad and Azizi, 2008; Sarkarnejad et al., 2010) تقریباً نشان دهنده هندسه استرین صفحه ای ($K \approx 0.85$) با تغییرات حجم اندک می باشد. بنابراین با توجه به کم بودن تغییرات حجم، در طول این تحقیق تاثیرات تغییر حجم در طول دگرشکلی بر روی اندازه گیریها نادیده گرفته شد و دگرشکلی با حجم ثابت مفروض گردید. معمولاً یکی از اهداف تحلیلهای استرین پیدا کردن ابعاد و جهت یابی محورهای بیضی استرین نهایی می باشد. نسبت آماری طویل ترین و کوتاه ترین محورهای بیضی استرین نهایی تحت عنوان پارامتر استرین تکتونیکی (R_s) معرفی می گردد. به منظور دستیابی به یک تخمین مناسب از استرین تکتونیکی داده های حاصل از قلوه های کوارتزی بر روی شبکه هیپربولیکی (De Paor, 1988) تصویر گردیدند. در هر نمونه نسبت ابعادی بیش از ۳۰ قلوه کوارتزی اندازه گیری گردید (در روش شبکه هیپربولیکی حد اقل به ۱۶ داده نیاز می باشد (De Paor, 1988). بنابراین نسبت طول به عرض (R_f) نشانگرهای استرین و جهت یابی محور بزرگ آنها نسبت به راستای مرجع (زاویه Φ) بر روی شبکه هیپربولیکی تصویر اندازی شد (شکل ۴). هدف این رویکرد تعیین مقادیر استرین تکتونیکی (R_s) برای تمام بیضی های استرین نهایی می باشد. در روش شبکه هیپربولیکی با استفاده از مشخص کردن بهترین منحنی هذلولی گذرا از داده ها می توان به تخمین مناسبی از اندازه استرین تکتونیکی دست یافت. بنابراین مقادیر R_s برای مقاطع XZ ، XY و YZ بیضوی استرین نهایی محاسبه گردید (جدول ۱). همچنین مقادیر میانگین هماهنگ (H) نسبت ابعادی نشانگرها در سطوح اصلی بیضوی استرین اندازه گیری گردید و با استفاده از نتایج بدست آمده و ترسیم آنها بر روی نمودار فلین (شکل ۵) پارامتر شکل بیضوی استرین (K) برای هر نمونه تعیین گردید.



شکل ۷. پورفیروکلاستهای کوارتزی و فلدسپاتی که طی جریان دگرشکلی دچار

چرخش شده اند



شکل ۸. اندازه گیری راستا و نسبت ابعادی پورفیروکلاستها و تعیین نسبت ابعادی بحرانی و محاسبه مقادیر عدد تاوایی

مقادیر عدد تاوایی بر روی صفحه XZ بیضوی استرین برای هر نمونه طبق معادله (۱) (Passchier and Trouw, 2005) تعیین گردید.

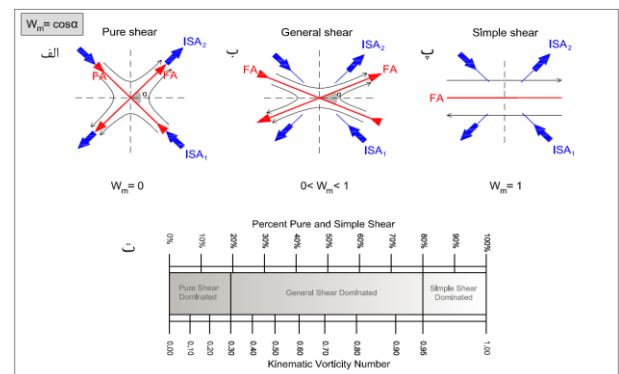
$$W_k = (R_c^2 - 1) / (R_c^2 + 1) \quad \text{معادله (۱)}$$

بوسیله این معادله مقادیر عدد تاوایی ($0.43 < W_k < 0.63$) محاسبه گردید. تحلیل تاوایی در کنگلومرا و میکروکنگلومرای موجود در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده دگرشکلی با حالت برش عمومی می باشد که در آن هر دو مولفه برش محض و ساده بصورت ترکیبی عمل کرده اند. مطالعات استرین نهایی و تاوایی می تواند نشان دهنده ماهیت جریان دگرشکلی در منطقه باشد. بررسی سه بعدی بیضوی استرین حاصل از داده های موجود بر روی دیاگرام فلین در محدوده مورد مطالعه نشان دهنده تغییرات شکل بیضوی استرین سه بعدی بصورت بیضوی پخ شده سه محوری می باشد (شکل ۵).

توزیع دگرشکلی

توزیع دگرشکلی یک پدیده مهم می باشد که در بسیاری از مناطق دگرشکلی بوقوع می پیوندد (Lin et al., 1998). توزیع دگرشکلی در ارتباط با تمرکز مکانی متفاوت مولفه های برش ساده و محض می باشد. توزیع متفاوت برش ساده و محض باعث تغییرات در نسبت برش ساده به برش محض می

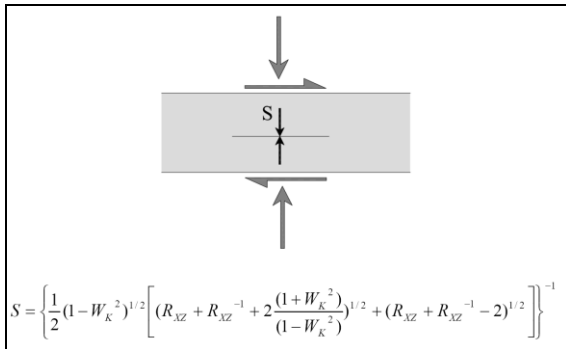
دارای مقیاس خطی نمی باشد اما می تواند بوسیله محاسبه مقادیر درصدی مولفه های برش محض و ساده به یک پارامتر با مقیاس خطی تبدیل شود (شکل ۶ ت). هر چند برخی از محققین دگرشکلی را بصورت دو قلمرو برش محض و ساده تقسیم بندی کرده اند اما در حقیقت یک پیوستگی بین مولفه های برش ساده و محض وجود دارد. بعنوان مثال Fort and Bailey, 2007 میدان یا قلمرو دگرشکلی برش ساده برش محض و برش عمومی را مورد توجه قرار دادند (شکل ۶ ت). دگرشکلی که در آن برش محض مولفه غالب می باشد تغییرات پارامتر تاوایی بین 0.3 تا 0.95 می باشد و در آن برش ساده کمتر از 20 درصد نقش دارد. در مقابل دگرشکلی که در آن برش ساده مولفه غالب می باشد تاوایی دارای مقادیری بزرگتر از 0.95 می باشد و در آن برش ساده بیشتر از 85 درصد نقش ایفا می کند. مقادیر تاوایی بین 0.3 تا 0.95 نشان دهنده جریان دگرشکلی عمومی می باشد (شکل ۶ ت).



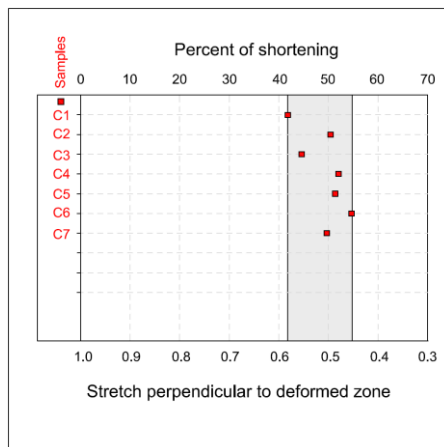
شکل ۶. انواع دگرشکلی با مقادیر متفاوت تاوایی بر اساس زاویه بین راستاهای جاذب جریان دگرشکلی (FA). الف) برش محض، ب) برش عمومی، پ) برش ساده. ت) نمودار خطی مربوط به مقادیر درصدی مولفه های برش محض و ساده بر اساس مقادیر عدد تاوایی. اقتباس از (Xypolias, 2010)

تاکنون چندین روش برای اندازه گیری عدد تاوایی در سنگهای دگرشکل شده ارائه گردیده است که مهمترین آنها عبارتند از: (۱) روش استفاده از اندازه گیری راستا و نسبت ابعادی پورفیروکلاستها و تعیین نسبت ابعادی بحرانی (R_c). (Wallis et al., 1993). (۲) استفاده از روش هیپربولیک (Simpson and De Paor, 1997) و اندازه گیری کسینوس زاویه حاده هذلولی تفکیک کننده میدان چرخش جلویی (Forward rotate) و چرخش پشتی (Backward rotate) پورفیروکلاستها. (۳) روش استفاده از اندازه گیری فابریک محور C کانی کوارتز و نسبت استرین در صفحه XZ بیضوی استرین (Wallis, 1995) و استفاده از ارتباط بین نسبت استرین (R_s) و زاویه بین مرز زون دگرشکلی و محور بزرگ بیضوی استرین (θ). (Bailey et al., 1999). در این مقاله با استفاده از روش اول و تعیین مقادیر بحرانی (R_c) مقادیر عدد تاوایی در منطقه اندازه گیری شد. شکل (۷) نشان دهنده پورفیروکلاستهای کوارتزی و فلدسپاتی می باشد که درون میکروکنگلومرای دگرشکل شده دچار چرخش شده اند. برای هر نمونه (C1 تا C7) بوسیله اندازه گیری و تصویر کردن پارامترهای هندسی پورفیروکلاستهای کوارتزی و فلدسپاتی مقادیر بحرانی (R_c) محاسبه گردید (شکل ۸).

کوتاه شدگی در مرحله قبل از چین خوردگی صورت می گیرد (Ramsay and Huber, 1983).



شکل ۱۰. حل عددی تعیین مقادیر کوتاه شدگی با استفاده از داده های استرین و عدد تاوایی. اقتباس از (Law et al., 2004)



شکل ۱۱. تابع تصویری مقادیر کوتاه شدگی پوسته ای (بین ۴۲ تا ۵۵ درصد) در منطقه مورد مطالعه

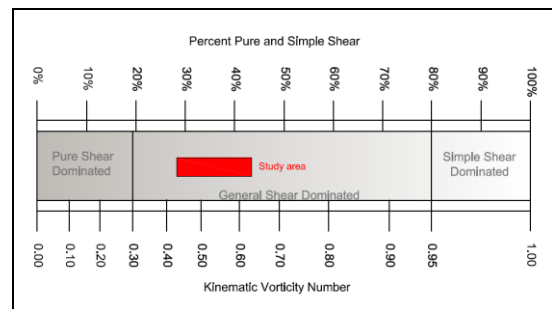
نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحلیل های استرین و تاوایی در تعیین ماهیت جریان دگرشکلی بسیار مفید می باشد. مطالعات استرین بیانگر هندسه بیضوی استرین نهایی با حالت پهن شده سه محوره ($0.6 < K < 0.9$) در منطقه مورد مطالعه می باشد. هم چنین تحلیل های تاوایی در منطقه مورد مطالعه نشانگر عملکرد هر دو مولفه های برش ساده و محض (با غلبه برش محض) است. وجود جریان دگرشکلی با غلبه مولفه برش محض ناشی از حرکات همگرایی بین صفحات آفر-عربی و صفحه ایران در طول کوهزایی زاگرس می باشد. همچنین نتایج بدست آمده نشان دهنده یک میزان کوتاه شدگی قابل توجه بین ۴۲ تا ۵۵ درصد در منطقه مورد مطالعه می باشد. یکی از نقاط قوت اینگونه مطالعات و گاهی هزینه های زیادی می باشد. از این رو در این مقاله راهکار فوق بعنوان یک روش مناسب جهت اندازه گیریهای کوتاه شدگی پوسته ای معرفی می گردد.

قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و دانشگاه شیراز به خاطر همه همکاریها و حمایت هایشان کمال تشکر و قدردانی را بجا می آوریم.

شود. بنابراین تغییرات در نسبت برش ساده به برش محض بدان معناست که قسمتهای مختلف درون یک زون دگرشکلی ممکن است مسیرهای دگرشکلی مختلفی را دنبال کنند. این پدیده تحت عنوان توزیع دگرشکلی شناخته می شود (Line et al., 1998). نتایج این تحقیق نشان دهنده تغییرات در نسبت برش ساده به برش محض و وقوع پدیده توزیع دگرشکلی در منطقه می باشد. نتایج حاصل از تحلیل تاوایی نشان دهنده تغییرات مولفه های برش محض و ساده می باشد به گونه ای که مولفه برش ساده دارای دامنه ای بین ۳۰ تا ۴۲ درصد و برش محض دارای دامنه ای بین ۵۸ تا ۷۰ درصد می باشد (شکل ۹). این موضوع بیانگر ماهیت جریان دگرشکلی با حالت غلبه مولفه برش محض می باشد به گونه ای که غالب بودن مولفه برش محض می تواند نشان دهنده مولفه همگرایی غالب بین صفحات آفر-عربی و صفحه ایران در طول کوهزایی زاگرس باشد.



شکل ۹. محاسبه مقادیر درصدی مولفه های برش محض و برش ساده

درصد کوتاه شدگی

تحلیل های استرین و تاوایی نشان دهنده وجود یک مولفه مهم از برش محض در منطقه مورد مطالعه می باشد. همانگونه که ذکر گردید به دلیل نزدیکی منطقه سندانج-سیرجان به پیشانی دگرشکلی، میزان کوتاه شدگی پوسته ای در ارتباط با فرورانش و برخورد قاره ای در این منطقه میزان قابل توجهی را نشان می دهد (Samani, 2011). با فرض انطباق گسلهای تراستی بعنوان مرز زون دگرشکلی و با در دست داشتن مقادیر استرین و تاوایی اندازه گیری مقادیر کوتاه شدگی در جهت عمود بر مرز زون دگرشکلی امکان پذیر می باشد. حل عددی این مساله بوسیله Wallis et al., 1992 ارائه شده است که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱۰). مقادیر کوتاه شدگی در منطقه مورد مطالعه بموازات صفحه XZ بیضوی استرین نهایی با بکارگیری نتایج تحلیل استرین و تاوایی برای تمام نمونه ها اندازه گیری شد. نتایج حاصله نشان دهنده میزان کوتاه شدگی در محدوده ۴۲ تا ۵۵ درصد در منطقه مورد مطالعه می باشد (شکل ۱۱). مقادیر کوتاه شدگی حاصل از این روش نسبت به روش تهیه مقاطع متعادل شده (Balanced cross section) بسیار قابل اطمینان تر می باشد. در تهیه مقاطع متعادل شده منحصراً چین خوردگیها باز شده و گسلها بازسازی می شوند و کوتاه شدگی های پیش از چین خوردگی که در بدنه جسم بوجود می آید قابل اندازه گیری نمی باشد. کوتاه شدگی های پیش از چین خوردگی بسیار قابل اهمیت بوده و گاهی تا بیش از ۳۰ درصد از جهت تعیین میزان کوتاه شدگی، اندازه گیری کوتاه شدگی رخ داده پیش از وقوع چین خوردگی می باشد که در تهیه مقاطع متعادل شده قابل برآورد نمی باشد. انجام این قبیل مطالعات می تواند بعنوان یک روش مکمل در اندازه گیری میزان کوتاه شدگی در کنار مطالعات تهیه مقاطع متعادل شده به کار گرفته شود. از دیگر محدودیتهای اندازه گیری میزان کوتاه شدگی با استفاده از مقاطع متعادل شده تهیه نبرخهای زمین شناسی دقیق از ساختارهای تحت الارضی می باشد. در حقیقت تهیه اینچنین مقاطع زمین شناسی مستلزم وقت

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211-238.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforeland evolution. *American Journal of Science* 304, 1-20.
- Bailey, C.M., Gilmer, A.K., 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* 31 (7), 59.
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 210-265.
- De Paor, D.G., 1988. R_f / ϕ strain analysis using an orientation net. *Journal of Structural Geology* 10, 323-333.
- Dewey, J.F., Pitman, W.C. III, Ryan, W.B.F., Bonnin, J., 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine System. *Geological Society of America Bulletin* 84, 3137-3180.
- Eshraghi, S.A., Roshan Ravan, J., Sabzehei, M., 1999. Geological map of the Quatrueh area, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Fort, A.M., Bailey, C.M., 2007. Testing the utility of the porphyroclast hyperbolic distribution method of kinematic vorticity analysis. *Journal of Structural Geology* 29, 983-1001.
- Law, R.D., Searle, M.P., Simpson, R.L., 2004. Strain, deformation temperatures and vorticity of flow at the top of the Greater Himalayan Slab, Everest Massif, Tibet. *Journal of the Geological Society, London* 161, pp. 305-320.
- Lin, S., Jiang, D., Williams, P.F., 1998. Transpression (or transtension) zones of triclinic symmetry: natural example and theoretical modelling. In: Holdsworth, R.E., Strachan, R.A., Dewey, J.F. (Eds.), *Continental Transpressional and Transtensional Tectonics*. Special Publication of the Geological Society, London 135, pp. 41-57.
- McClay, K.R., Whitehouse, P.S., Dooley, M and Richards, M., 2004. 3D evolution of fold and thrust belts formed by oblique convergence. *Marine and Petroleum Geology* 21, 857-877.
- Mc Quarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology* 26, 519-535.
- Means, W.D., Hobbs, B.E., Lister, G.S., Williams, P.F., 1980. Vorticity and noncoaxiality in progressive deformations. *Journal of Structural Geology* 2, 371-378.
- Meere, P.A., Mulchrone, K.F., 2003. The effect of sample size on geological strain estimation from passively deformed elastic sedimentary rocks. *Journal of Structural Geology* 25, 1587-1595.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Structural Geology*, 22, 1125-139.
- Passchier, C. W., Trouw, R. A. J., 2005. *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlin. 336p.
- Ramsay, J.G., Huber, M.I., 1983. *The Techniques of Modern Structural Geology, Volume 1. Strain Analysis*. Academic Press, London.
- Ramsay, J.G., Wood, D.S., 1973. The geometric effects of volume change during deformation processes. *Tectonophysics* 16, 263-277.
- Samani, B., 2010. Finite strain and deformation flow geometry in the Sanandaj-Sirjan HP-LT metamorphic belt, Iran. Ph.D thesis, Shiraz University, Iran.
- Sarkarinejad, K., 1999. Tectonic finite strain analysis using Ghuri deformed conglomerate, Neyriz area Southwestern Iran. *Iranian Journal of Science and Technology* 23, 351-363.
- Sarkarinejad, K., Azizi, A., 2008. Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. *Journal of Structural Geology* 30, 116-136.
- Sarkarinejad, K., Faghih, A., Grasemann, B., 2008. Transpressional deformations within the Sanandaj-Sirjan Metamorphic Belt (Zagros Mountains, Iran). *Journal of Structural Geology* 30, 818-826.
- Sarkarinejad, K., Samani, B., Faghih, A., Grasemann, B., Moradipoor, M., 2010. Implications of strain and vorticity of flow analyses to interpret the kinematics of an oblique convergence event (Zagros Mountains, Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 38, 34-43.
- Sheikholeslami, M.R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H., Hashem Emami, M., 2008. Tectono-metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Quri-Kor-e-Sefid area (Sanandaj-Sirjan Zone, SW Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 31, 504-521.

- Simpson, C., De Paor, D. G. 1997. Practical analysis of general shear zones using porphyroclast hyperbolic distribution method: an example from the Scandinavian Caledonides. In: SENGUPTA, S. (ed) Evolution of Geological Structures in Micro- to Macro-scales. Chapman and Hall, London, 169–184.
- Stocklin, J. 1968. Structural history and tectonics of Iran. A review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52, 1229-1258.
- Treagus, S.H., Treagus, J.E., 2002. Studies of strain and rheology of conglomerates. Journal of Structural Geology 24, 1541-1567.
- Truesdell, C., 1953. Two measures of vorticity. Journal of Rotational Mechanical Analysis 2, 173-217.
- Wallis, S.R., 1992. Vorticity analysis in a metachert from the Sanbagawa belt, SW Japan. Journal of Structural Geology 14, 271-280.
- Wallis, S., 1995. Vorticity analysis and recognition of ductile extension in the Sanbagawa belt, SW Japan. Journal of Structural Geology 17, 1077–1093.
- Wallis, S. R., Platt, J. P., Knott, S. D. 1993. Recognition of syn-convergence extension in accretionary wedges with examples from the Calabrian Arc and the Eastern Alps. American Journal of Science, 293, 463–495.
- Xypolias, P., 2010. Vorticity analysis in shear zones: A review of methods and applications. Journal of Structural Geology 32, 2072–2092.