

بررسی ریزساختاری پنجره فرسایشی آق‌دربند با بهره‌جویی از ویژگی‌های دگرریختی کانی کلسیت

مهدی رضانی^{۱*} و محمدرضا قاسمی^۲

^۱ دانشجوی دکترا، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
^۲ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۲۵

چکیده

بی‌شک پنجره فرسایشی آق‌دربند که در شمال خاور ایران و جنوب خاور مشهد واقع شده است یکی از بهترین مکان‌ها برای مطالعه رخداد ایوسیمین در ایران است. رخداد یادشده در زمان تریاس پسین تا ژوراسیک میانی حاصل بسته شدن کامل اقیانوس تتیس کهن و برخورد ایران و توران بوده است. در این پژوهش تلاش شده است با مطالعه ریزساختاری واحدهای کربناتی رخنمون‌یافته در گستره (سازند سفیدکوه با سن تریاس پیشین و واحدهای متعلق به پالئوزویک) تأثیرات این رخداد را از دیدگاه ریزساختاری مورد بررسی قرار دهیم. میانگین میزان بیضوی‌شدگی به‌دست آمده برای دانه‌های کلسیت ۰/۷۸ است که در بخش کرنش پخ یا کلوچه‌ای نمودار فلین قرار می‌گیرند. عدد کینماتیکی تاوایی برآورد شده ۰/۷-۰/۶ است. همچنین همساختگی‌های کلسیت موجود در واحدهای کربناتی رخنمون‌یافته در گستره، دمای ۲۰۰-۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و اختلاف تنش ۱۸۰-۲۴۰ مگاپاسکال را در زمان دگرریختی آنها پیشنهاد می‌کند.

کلیدواژه‌ها: پنجره فرسایشی آق‌دربند، ایوسیمین، ریزساختار، کلسیت، عدد کینماتیکی تاوایی.

*نویسنده مسئول: مهدی رضانی

Email: Mehdi.ramazani@ymail.com

۱- پیش‌گفتار

پرداخت. بخش‌هایی از توالی‌های پالئوزویک نیز دارای واحدهای کربناتی است (مانند مرمرهای کربنیفر). از آن‌جا که این واحدها چندین گامه دگرریختی را سپری کرده‌اند، مطالعه ریزساختاری آنها در راستای هدف این پژوهش چندان سودمند به‌نظر نمی‌رسید، با این وجود در این پژوهش تلاش شد تا حدودی واحدهای کربناتی تریاس و پالئوزویک از نظر ریزساختاری نیز با یکدیگر مقایسه شوند و شرایط دگرریختی هر یک از آنها تا حدودی برآورد شود. بدین منظور تعدادی نمونه جهت‌دار از سازند سفیدکوه و واحدهای کربناتی متعلق به پالئوزویک که بیشتر در بخش شمالی گستره رخنمون دارند، برداشت شد (شکل ۲). در تهیه این نمونه‌های جهت‌دار، سطح گسل اصلی شمالی به‌عنوان برگوارگی و خط‌خش ناشی از فعالیت اصلی این گسل (که سازوکار راستالغز چپ‌بر در زمان فعالیت اصلی آن استنباط شده است) به‌عنوان خطوارگی در نظر گرفته شده است.

۲- تحلیل دوبعدی و سه‌بعدی بیضوی کرنش

در این پژوهش از روش فرای برای تحلیل دو بعدی بیضوی کرنش استفاده شد. مهم‌ترین برتری روش فرای در این است برخلاف بیشتر روش‌ها که برای برآورد کرنش در سنگ ابداع شده است، سریع و ساده است و از دیدگاه ترسیمی پاسخی که در حد مورد نیاز صحیح هم هست به ما می‌دهد. یکی دیگر از برتری‌های این روش این است که با آن می‌توان به بافت نشانگرهای کرنش نیز تا حدودی پی برد (Ramsay & Huber, 1981). برای اینکه بتوان از این روش استفاده کرد، به حضور جمعی از ذرات (در مورد این پژوهش دانه‌های کلسیت) با اندازه‌های کم و بیش یکسان در برش نازک جهت‌داری که از سنگ تهیه شده است نیازمندیم. این دانه‌ها باید پیش از رخداد دگرریختی در سنگ حضور داشته باشند تا بتوانند کرنش حاصل از آن مرحله از دگرریختی در سنگ را بر ما آشکار سازند. در این پژوهش تلاش شد که با استفاده از روش فرای تحلیلی کمی بر وضعیت کرنش در مقیاس میکروسکوپی در گستره داشته باشیم (شکل ۳). نمونه‌ها در سطح‌های XY و XZ کرنش تهیه شده‌اند. وضعیت صفحه YZ نیز بر اساس رابطه‌های ریاضی موجود محاسبه شد. البته محاسبه نسبت محورهای کرنش در صفحه YZ ناگزیر با خطاهایی همراه است. برای

گستره شمال خاور ایران جای مناسبی برای بررسی کوهزاد ایوسیمین در جهان به‌شمار می‌رود. این کوهزاد در اثر بسته شدن اقیانوس تتیس کهن و برخورد قاره‌های گندوانا و اوراسیا در تریاس رخ داده است. آثار این کوهزاد از قفقاز تا ترکیه قابل پیگیری است. در شمال خاور ایران (جنوب مشهد) افیولیت‌های به‌جامانده ناشی از این رخداد زمین‌ساختی را می‌توان مشاهده کرد (Alavi, 1991). هرچند پیرامون این موضوع اتفاق نظر وجود ندارد (Eftekharneshad & Behroozi, 1991; Ruttner, 1991) ولی آثار زمین‌درز تتیس کهن در ایران را با توجه به شواهد موجود می‌توان از تربت جام- فریمان، جنوب مشهد و تا البرز باختری و مرکزی دنبال کرد (Zanchi et al., 2009). تا پیش از بسته شدن اقیانوس تتیس کهن و برخورد صفحه‌های ایران و توران، به دلیل جدایی دو قاره یادشده سرگذشت ساختاری و چینه‌شناختی متفاوتی را سپری کرده‌اند. پنجره فرسایشی آق‌دربند در شمال خاور ایران و در جنوب خاور مشهد واقع است (شکل ۱). این گستره در بخش جنوبی صفحه توران و در شمال زمین‌درز تتیس کهن قرار گرفته است. در گستره یادشده واحدهای کهن‌تر از ژوراسیک رخنمون یافته‌اند و از این رو فرگشت ساختاری حاشیه فعال اوراسیا در بازه زمانی تریاس پسین- ژوراسیک پیشین (رخداد ایوسیمین) را در خود ثبت کرده است. رسوبات تریاس پیشین و میانی در این گستره دارای رخساره بسیار متفاوتی با دیگر نواحی ایران است. با وجود مطالعات ساختاری که تاکنون در گستره آق‌دربند صورت گرفته است، توجه زیادی به مطالعات ریزساختاری و تلفیق آن با نتایج حاصل از مطالعه ساختارهای بزرگ مقیاس گستره نشده است. البته با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناختی واحدهای رخنمون‌یافته در گستره و همچنین میزان دگرگونی پایین آنها، مطالعات ریزساختاری در گستره آق‌دربند با محدودیت‌هایی همراه است. با این وجود رخنمون واحدهای کربناتی در گستره این بستر را فراهم کرده است که بتوان از قابلیت‌های کانی کلسیت در مطالعات ریزساختاری بهره برد. از میان واحدهای رخنمون‌یافته در حوضه تریاس آق‌دربند، سازند سفیدکوه با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناختی خود بهترین گزینه برای مطالعات یادشده است. با توجه به سن این سازند (اسکتین پسین) و سرگذشت ساختاری آن، با تکیه بر برخی پیش‌فرض‌ها می‌توان تا حدودی از دید ریزساختاری نیز به تحلیل رخداد ایوسیمین در گستره

۴- استفاده از همساختگی کلسیت به عنوان یک دامسج دگرریختی

متخصصان ریزساختار بر این باورند که ارتباطی بین درجه دگرگونی در طول دگرریختی و حضور و هندسه برخی از ریزساختارها وجود دارد (Passchier & Trouw, 1998). البته تنها تعداد کمی از این ساختارها کالیبره و تنظیم شده‌اند. یکی از این سنجنده‌های قابل اعتماد برای تعیین دمای دگرریختی همساختگی (twining) کلسیت است. برای این منظور از هندسه همساختگی کلسیت به عنوان سنجنده حرارتی دگرریختی (geothermometer deformation) استفاده می‌شود (Ferrill et al., 2004). Burkhard (1993) مطالعات گسترده‌ای را بر روی هندسه همساختگی‌های کلسیت و ارتباط آنها با شرایط دمایی دگرریختی انجام داده و بر این اساس همساختگی‌ها را به ۴ نوع تقسیم‌بندی نموده است (شکل ۶). البته هنوز دلایل اصلی ارتباط بین هندسه همساختگی و دمای دگرریختی به خوبی شناخته نشده است. عواملی که بر روی شکل‌گیری همساختگی تأثیر دارند (برای نمونه تنش تفریقی، کرنش، نرخ کرنش، اندازه دانه و جهت‌گیری دانه) به الزام دخلتی در تعیین نوع همساختگی ندارند. شواهد نشان می‌دهد که نوع همساختگی به طور غالب تحت تأثیر دمای دگرریختی است و تنها در دماهای بالا از تنش تفریقی و نرخ کرنش متأثر می‌شوند (Burkhard, 1993). در این پژوهش تلاش شد شرایط دگرریختی عامل شکل‌گیری همساختگی‌ها بر اساس نوع همساختگی‌ها برآورد شود. در نمونه‌های تهیه شده از سازند سفیدکوه این همساختگی‌ها به خوبی قابل مشاهده هستند (شکل ۷). البته دانه‌های کلسیتی که در برش‌های نازک تهیه شده از سازند سینا وجود دارند نیز دارای این همساختگی‌ها هستند. همساختگی‌هایی که در واحدهای کرناتی متعلق به تریاس وجود دارند به طور غالب از نوع I و II هستند. البته گاهی نوع III نیز در آنها دیده می‌شود. واحدهای پالئوزویک که در بخش شمالی گسل اصلی شمالی رخنمون یافته‌اند (مرمرهای کربنیفر و واحدهای کرناتی متعلق به توالی دونین) از نظر نوع همساختگی به تقریب وضعیت مشابهی با واحدهای تریاس دارند. البته در واحدهای پالئوزویک همساختگی‌های نوع III فراوان‌تر هستند. به نظر می‌رسد که همساختگی‌ها در واحدهای پالئوزویک مرتبط با چندین گامه دگرریختی باشند به طوری که گاهی بر روی یکدیگر فرانهاده شده‌اند. آنچه روشن به نظر می‌رسد این است که زمانی که همساختگی‌های کلسیت در توالی‌های رخنمون‌یافته در گستره آق‌دربند شکل گرفته‌اند یک گامه دگرریختی با دمای تقریبی ۳۰۰-۱۷۰ درجه سانتی‌گراد بر گستره حکمفرما بوده است. با توجه به شواهد موجود به نظر می‌رسد که این مرحله دگرریختی مرتبط با رخداد ایوسیمین یعنی همزمان با شکل‌گیری ساختارهای بزرگ مقیاس گستره باشد. همچنین سبترها و شدت (تعداد همساختگی‌های موجود تقسیم بر عرض دانه میزبان که عمود بر همساختگی‌ها اندازه‌گیری می‌شود) همساختگی‌ها در تعدادی از برش‌های نازک مناسب‌تر برای این منظور اندازه‌گیری شد و نتایج به‌دست آمده بر روی نمودار ارائه شده توسط Ferrill et al. (2004) رسم شد (شکل ۸). تمامی نمونه‌ها در محدوده دمایی ۱۷۰-۲۰۰ درجه قرار می‌گیرند.

البته مطالعات آماری نشان می‌دهد که سبترهای همساختگی‌ها در واحدهای پالئوزویک کمی بیشتر از واحدهای تریاس (سازند سفیدکوه) است ولی شدت همساختگی‌های آنها کمتر است. ولی با این وجود با توجه به ارتباطی که بین این دو عامل وجود دارد می‌توان گفت همساختگی‌های موجود در دو توالی در شرایط دمایی یکسان شکل گرفته‌اند.

۵- استفاده از همساختگی‌های کلسیت برای برآورد تنش‌های تفریقی

در این پژوهش از روش‌های پیشنهاد شده توسط Roew & Rutter (1990) برای برآورد تنش‌های تفریقی مسبب ایجاد همساختگی‌ها در گستره استفاده شد. این روش نیز در دسته دوم روش‌هایی که در بالا بحث شد (بدون استفاده از صفحه یونیورسال)

این که خط را به کمینه برسانیم بهتر است که سه برش نازک به موازات سه صفحه یادشده تهیه شود. هدف اصلی بررسی وضعیت کرنش حاصل از رخداد ایوسیمین در گستره آق‌دربند است. بنابراین نتایج حاصل از مطالعه برش‌های نازک متعلق به توالی‌های تریاس برای این منظور مناسب‌تر است. مقدارهای به‌دست آمده برای بیضوی‌شدگی در واحدهای متعلق به پالئوزویک از ارزش پایین‌تری برای اهداف این پژوهش برخوردارند. زیرا این واحدها چندین گامه دگرریختی را پشت سر نهاده‌اند و اگر بلورهای آنها دچار تبلور دوباره نشده باشند، بیضوی‌شدگی به‌دست آمده، حاصل فرانهاده‌گی چندین گامه دگرریختی است. با این وجود نتایج به‌دست آمده از روش فرای برای واحدهای پالئوزویک و تریاس تا حدودی با یکدیگر همخوانی دارد (جدول ۱). به طور معمول زمانی که با مقدارهای نسبی کرنش سروکار داریم، برای نمایش کرنش سه بعدی از نمودار فلین استفاده می‌شود. از ویژگی‌های این روش، نمایش شکل بیضوی کرنش بر روی یک نمودار دو بعدی است.

به تقریب تمامی نمونه‌ها در زیر خط $k=1$ نمودار فلین واقع شده‌اند (شکل ۴). این بخش از نمودار را بیضوی‌های کرنش پخ و یا بیضوی‌های کلوچه‌ای شکل تشکیل می‌دهند. در تفسیر و تفکیک زمین‌ساخت ترافشارش و تراکشن، موقعیت بیضوی‌های کرنش گستره در نمودار فلین بسیار با اهمیت است. به طور خلاصه می‌توان گفت که بیضوی‌های کرنشی که در بخش زیرین خط $k=1$ قرار می‌گیرند با زمین‌ساخت ترافشارش همخوانی بیشتری دارند (Dewey et al., 1998). این موضوع با مدل پیشنهاد شده توسط رضانی و همکاران (۱۳۹۰) همخوانی دارد.

۳- تحلیل تاوایی

تاوایی (vorticity) میزان ناهم‌محوری (non-coaxiality) دگرریختی را بیان می‌کند. به عبارت دیگر نسبت برش ساده بر برش ناب مؤثر بر دگرریختی را نشان می‌دهد. تحلیل‌های تاوایی یک روش به نسبت جدید و ارزشمند است که می‌تواند بسیاری از معماهای موجود در مطالعات ساختاری و زمین‌ساختی را حل کند. با استفاده از تحلیل کرنش در سه بعد و همچنین تحلیل تاوایی می‌توان جهت‌ترابری زمین‌ساختی (tectonic transportation)، میزان جابه‌جایی و میزان کوتاه‌شدگی در عرض پهنه برش را برآورد کرد (Bailey et al., 2007). برای تحلیل تاوایی از Wk (عدد کینماتیکی تاوایی)، Wn (عدد کینماتیکی طبیعی)، Wm (متوسط عدد کینماتیکی تاوایی) استفاده می‌شود. در مواقعی که با میزان بالای برش ساده روبه‌رو هستیم به طور معمول از Wk (kinematic vorticity number) استفاده می‌شود که میزان آن از یک (تنها برش ساده) تا صفر (تنها برش ناب) تغییر می‌کند. تاکنون روش‌های متعددی برای تحلیل‌های تاوایی در مقیاس‌های متفاوت پیشنهاد شده است. از مهم‌ترین روش‌های میکروسکوپی می‌توان به دسته‌های دایک و رگه‌های دگرریخت شده، پورفیروبلاست‌ها و بافت محور c کوارتز اشاره کرد. چین‌های کشان همراه با گسل‌ها، استیلولیت‌های زمین‌ساختی و ترک‌های کششی نیز مهم‌ترین ساختارهای ماکروسکوپی هستند که برای این منظور مورد توجه قرار گرفته‌اند. در گستره آق‌دربند نیز می‌توان از بافت‌های کلسیت برای این منظور بهره برد. در بخش پیش، بیضوی‌شدگی کرنش نهایی را در بخش شمالی گستره آق‌دربند، عمود بر پهنه برش (سطح گسل اصلی شمالی) و به موازات جهت برش (خط‌خس ناشی از فعالیت گسل یادشده) برای تعدادی از نمونه‌های تهیه شده از گستره محاسبه شد. با استفاده همزمان نسبت ابعاد به‌دست آمده در صفحه XY کرنش و زاویه بین محور دراز بیضوی کرنش (محور X) با جهت برش (زاویه θ) می‌توان عدد کینماتیک تاوایی را برآورد کرد (Tikoff & Fossen, 1993). بیشتر نمونه‌ها (به‌ویژه نمونه‌های متعلق به تریاس) در محدوده $0.7/0.6$ تا $0.1/0.7$ قرار می‌گیرند (شکل ۵). این نشان‌دهنده تأثیر همزمان برش ساده و برش ناب در یک محیط ترافشارشی است.

مجزا برای تعیین سازوکار گسل‌ها استفاده می‌شود. تعیین سوی برش با استفاده از بلورهایی که دارای ۲ سری دسته همساختگی هستند در این روش متداول‌تر است. البته در این حالت باید توجه شود که تنها از همساختگی‌هایی که با زاویه زیادی نسبت به صفحه برش نازک قرار می‌گیرند، می‌توان استفاده کرد. محور c در اینجا در زاویه تند بین این ۲ سری همساختگی قرار می‌گیرد و زاویه حاده بین (زاویه β) آنها در بردارنده محورهای فشارش می‌شود (شکل ۹).

در این حالت شیب همساختگی‌ها تعیین‌کننده سازوکار گسل است. در این روش در حالتی که بلورهای کلسیت دارای ۳ دسته همساختگی هستند چگونگی استنباط سوی برش به تقریب مشابه با حالتی است که برای بلورهای دارای دو دسته همساختگی به کار برده شد. باید یادآور شویم که این روش یک روش آماری است و برای رسیدن به یک نتیجه قابل اعتماد، کمینه باید ۱۰-۵ بلور کلسیت که دارای شرایط یادشده باشند مورد بررسی قرار گیرند. البته تعدادی از بلورهای کلسیت ممکن است نتیجه‌ای نادرست به ما بدهند. این ناهمگنی ممکن است ناشی از ناهمگنی تنش و یا تقدم شکل‌گیری همساختگی بر فعالیت گسل باشد. در پژوهش حاضر نیز تلاش شد از این روش برای تعیین سازوکار گسل اصلی شمالی استفاده شود. برای این منظور از نمونه‌های جهت‌دار تهیه شده از سازند سفیدکوه در مجاورت گسل اصلی شمالی استفاده شد. برش‌های نازک مورد مطالعه در این روش عمود بر صفحه گسل و به موازات خط‌خش ناشی از فعالیت گسل اصلی شمالی (گسل MNF در شکل ۲) تهیه شده‌اند. در برش‌های نازک یادشده بیشتر بلورهای کلسیت دارای ۲ دسته همساختگی هستند. نتایج مطالعات انجام شده با استفاده از این روش نشان می‌دهد که آرایش بیشتر همساختگی‌ها (بیش از ۷۵ درصد) در بلورهای کلسیت موجود در برش‌های نازک مورد مطالعه متأثر از یک سازوکار چپ‌بر بوده‌اند (شکل ۱۰). البته تمامی همساختگی‌ها سازوکار چپ‌بر را نشان نمی‌دهند. به گونه‌ای که تعدادی از این بلورهای کلسیت سازوکار راست‌بر را آشکار می‌سازند. این ناسازگاری می‌تواند ناشی از ناهمگنی تنش و یا فعالیت‌های بعدی سامانه گسل‌های شمالی گستره باشد. سازوکار چپ‌بر استنباط شده از این روش برای گسل اصلی شمالی با شواهد مزوسکوپی ارایه شده نیز سازگاری دارد.

۷- نتیجه‌گیری

میانگین مقدار بیضوی‌شدگی به‌دست آمده بر اساس دانه‌های کلسیت موجود در واحدهای کربناتی رخنمون‌یافته در گستره آق‌دریوند به روش فرای در حدود ۰/۷ است که در بخش کرنش کلوچه‌ای نمودار فلین قرار می‌گیرد که همخوانی لازم را با مدل ترافشارشی پیشنهاد شده برای این گستره در زمان رخداد ایوسیرین (رضایی و همکاران، ۱۳۹۰) دارد.

عدد کینماتیکی تاوایی با استفاده از مطالعه ریزساختاری کانی کلسیت در حدود ۰/۶ - ۰/۷ برآورد شد که تأثیر همزمان برش ساده و برش محض در یک محیط ترافشارشی بر گستره را نشان می‌دهد.

میزان تنش تفریقی استنباط شده با استفاده از کانی کلسیت برای رخداد ایوسیرین در حدود ۲۴۰-۱۸۰ مگاپاسکال است و همچنین هندسه همساختگی‌های کلسیت در واحدهای یادشده دمای ۱۸۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را برای این رخداد درگریختی پیشنهاد می‌کند.

مطالعه آماري هندسه همساختگی‌های کانی کلسیت در نمونه‌هایی جهت‌دار تهیه شده از واحدهای کربناتی سازند سفیدکوه در نزدیکی گسل اصلی شمالی، سازوکار راستالغز چپ‌بر را برای گسل یادشده نشان می‌دهد.

قرار می‌گیرند. ایشان از راه مطالعات و بررسی‌های آزمایشگاهی معادله‌هایی به‌دست آوردند که با استفاده از آنها می‌توان تنش تفریقی مسبب شکل‌گیری همساختگی‌ها را برآورد کرد. برای استفاده از این معادله‌ها ابتدا باید چند متغیر را در برش‌های نازک اندازه‌گیری کرد. مهم‌ترین متغیرهایی که باید اندازه‌گیری شوند درصد همساختگی (twining incidence) و چگالی همساختگی (twin density) هستند. درصد همساختگی (It) به عنوان درصد دانه‌هایی که در یک رده اندازه به‌طور روشنی دارای همساختگی هستند، تعریف می‌شود. و چگالی همساختگی (D) میانگین تعداد همساختگی‌های موجود در یک میلی‌متر را بیان می‌کند. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که درصد همساختگی تا حدود زیادی مستقل از دما و نرخ کرنش است ولی به میزان تنش وابستگی شدیدی دارد (Rowe & Rutter, 1990). برای به‌دست آوردن اختلاف تنش به وسیله درصد همساختگی (It) از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\sigma = 523 + 2.13 I_t - 204 \log d \quad (1)$$

در آن σ تنش تفریقی بر حسب مگاپاسکال و d اندازه دانه بر حسب میکرومتر است. خطای استاندارد در برآورد تنش محاسبه شده ۳۱ مگاپاسکال است. البته باید اشاره شود که نتایج به‌دست آمده از این روش تنها برای نمونه‌هایی که تحت تأثیر یک تنش واحد و هم‌محور درگریخت شده‌اند مستدل است و در شرایط دیگر ممکن است میدان تنش به‌دست آمده فراتر از حد واقعی باشد.

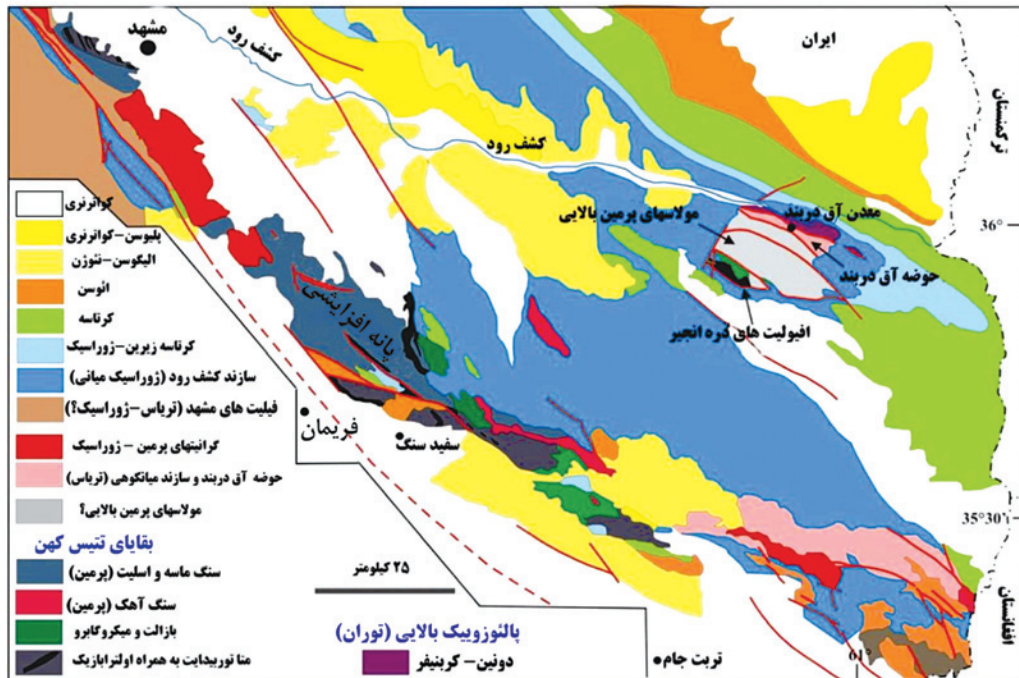
در روش دوم استفاده شده در این پژوهش، تنش تفریقی به کمک مقادیرهای تراکم همساختگی (D) اندازه‌گیری شده از مطالعات میکروسکوپی برش‌های نازک به‌دست می‌آید و بدین منظور از رابطه زیر برای برآورد تنش تفریقی استفاده می‌شود:

$$\sigma = -52 + 171.1 \log D \quad (2)$$

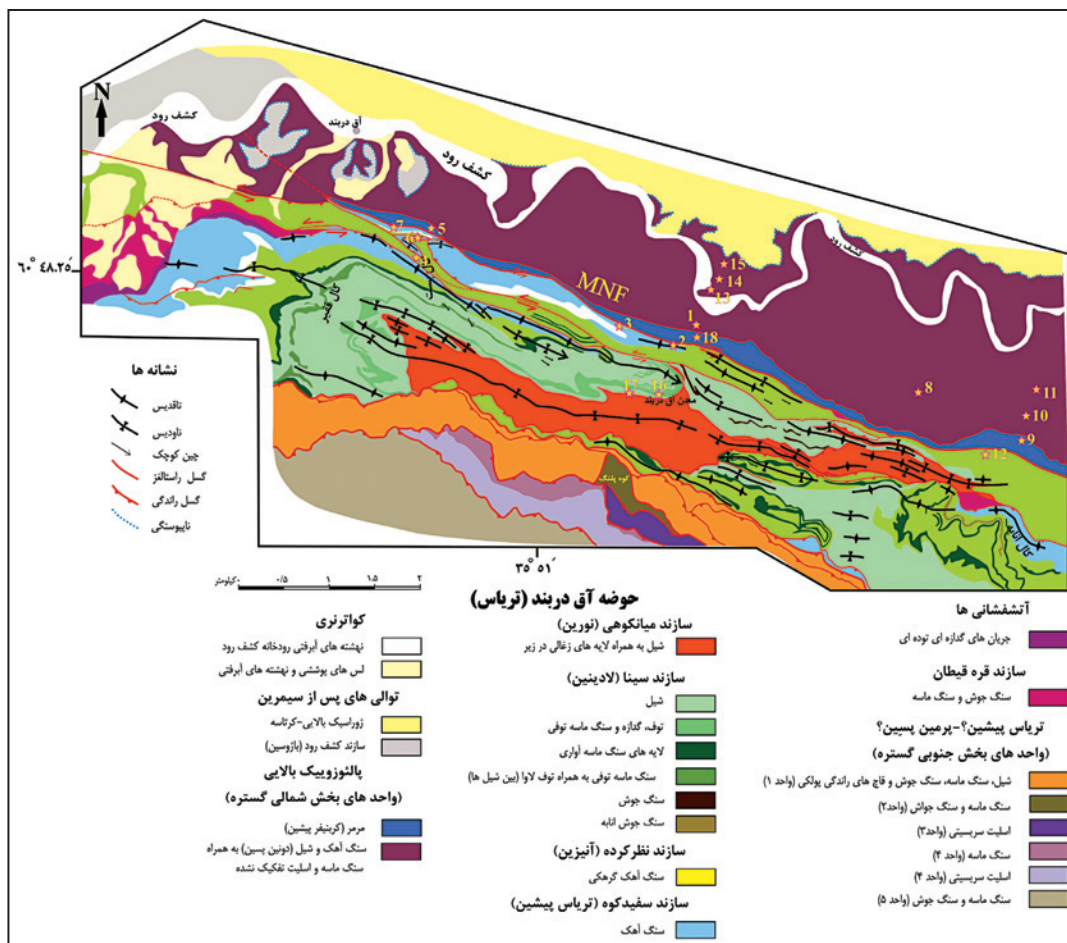
خطای استاندارد در اینجا برابر با ۴۳ مگاپاسکال است. همان‌گونه که از رابطه نیز استنباط می‌شود، نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که چگالی همساختگی برخلاف درصد همساختگی ارتباطی با اندازه دانه‌ها ندارد ولی ارتباط مستقیم با میزان تنش تفریقی دارد. به‌نظر می‌رسد دما نیز به شکل منظمی بر روی نتایج حاصل از این روش تأثیر دارد. زیرا تنش‌های مورد نیاز برای فعال‌سازی همساختگی‌ها در دماهای مختلف متغیر است. نتایج محاسبات در جدول ۲ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید مقادیر تنش تفریقی به‌دست آمده برای توالی‌های پالئوزویک و تریاس تا حدود زیادی به همدیگر نزدیک است. این نشانگر این موضوع است که همساختگی‌های یادشده تحت تأثیر میزان تنش تفریقی همانندی شکل گرفته‌اند.

۶- استفاده از همساختگی‌های کلسیت برای تعیین سازوکار گسل

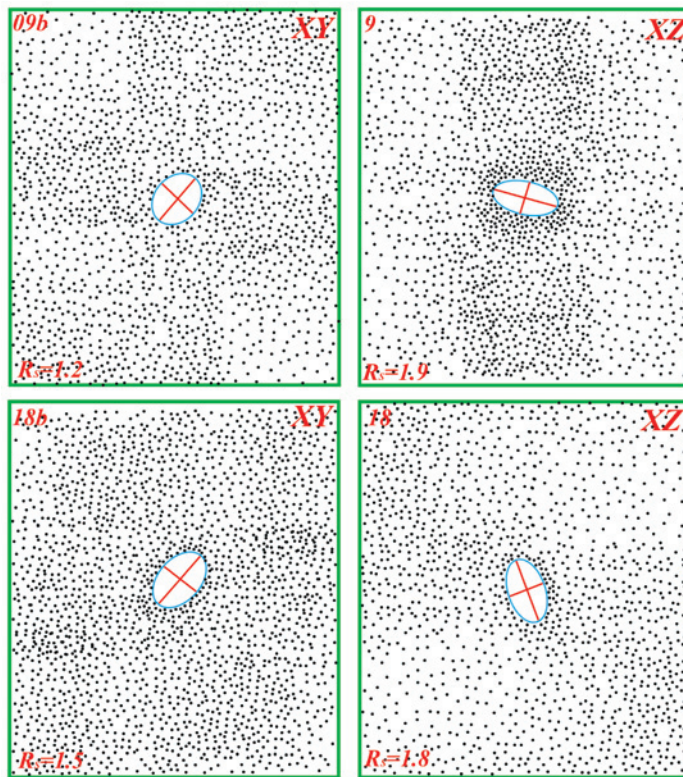
(Laurent 1987) اعتقاد دارد که با استفاده از هندسه همساختگی کلسیت می‌توان در شرایطی ویژه به سازوکار گسل‌ها پی برد. برای استفاده از این روش باید از واحدهای کربناتی موجود در نزدیکی صفحه گسل، نمونه‌های جهت‌دار تهیه کرد. برش‌های نازکی که از این نمونه‌های جهت‌دار تهیه می‌شوند باید عمود بر صفحه گسل و به موازات خط‌خش ناشی از فعالیت گسل باشند. البته روش مورد بحث تنها برای گسل‌های با سازوکار راستالغز قابل استفاده است و استفاده از آن مستلزم قبول پیش‌فرض‌هایی است. اگر همساختگی‌های کلسیت را به عنوان ریزگسل‌های هم‌یوغ در نظر بگیریم، در صورتی که سوی برش آن‌ها مشخص باشد، تفسیر این روش مشابه با روش right dihedral (Angelier & Mechler, 1977) است. در اینجا فرض شده است که این ریزگسل‌ها زاویه بزرگی با صفحه گسل و جهت لغزش می‌سازند و همچنین جهت لغزش با زاویه کوچکی نسبت به جهت خط‌خش قرار گرفته است. در این روش از بلورهای کلسیتی که دارای ۲، ۳ و ۴ دسته همساختگی هستند به صورت



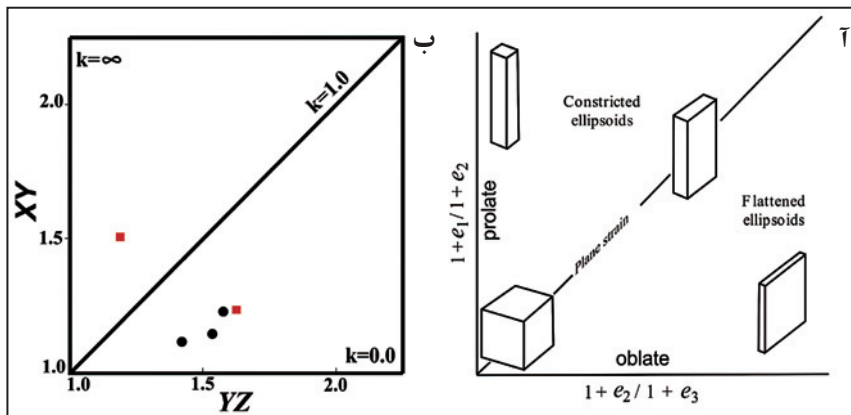
شکل ۱- موقعیت زمین‌ساختی پنجره فرسایشی آق‌دریوند در شمال خاور ایران. با تغییر از (Ruttner 1991)



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی و ساختاری گستره مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌های جهت‌دار برداشت شده در این پژوهش (ستاره‌ها). بر اساس (Ruttner, 1991) نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ آق‌دریوند (فائمی، ۱۳۸۴) و مزدوران- شیرتپه (روشن‌روان و مافی، ۱۳۸۳ و Zanchi et al., 2011) و برداشت‌های میدانی و مطالعات دورسنجی این پژوهش.

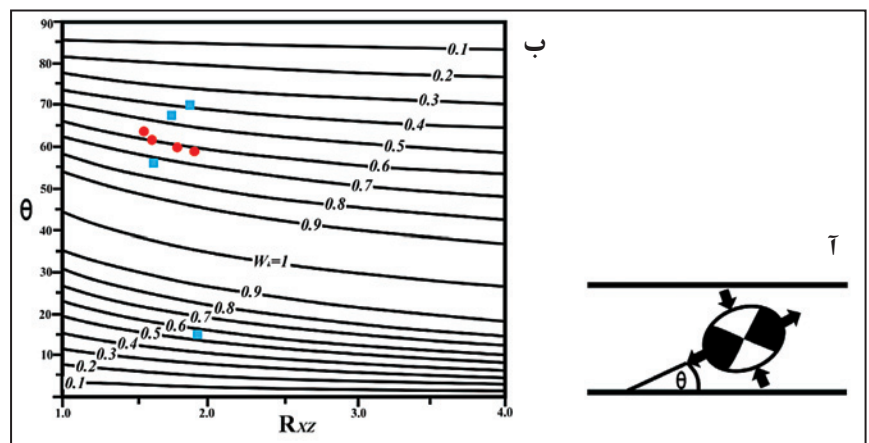


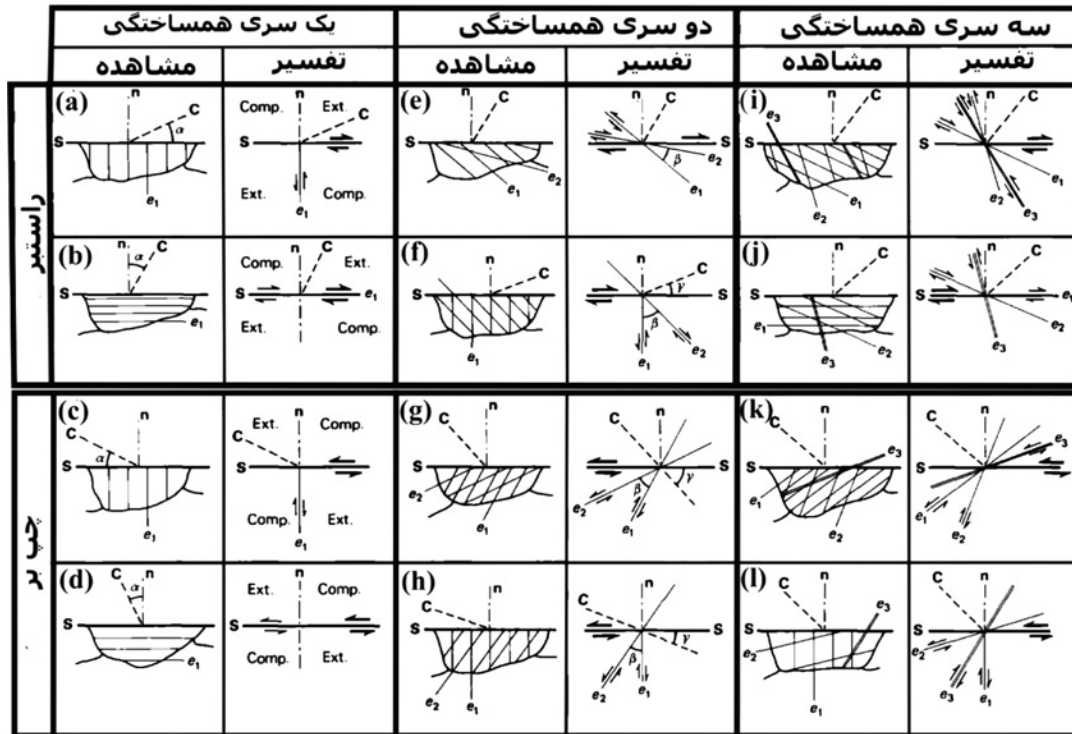
شکل ۳- نمونه‌هایی از بیضوی‌های کرنش نهایی به‌دست آمده به روش فرای در این پژوهش. برای اطلاعات بیشتر به جدول ۱ مراجعه شود. شماره‌های گوشه بالا، سمت چپ نشان‌دهنده شماره نمونه است.



شکل ۴- (آ) نمودار فلین و وضعیت کرنش در نقاط مختلف این نمودار؛ (ب) وضعیت بیضوی‌های کرنش به‌دست آمده با روش فرای بر روی نمودار فلین. دایره‌های سیاه به سازند سفیدکوه و چهارگوش‌های سرخ به مرم‌های کرنیفر تعلق دارند. همانطور که دیده می‌شود بیشتر بیضوی‌های به‌دست آمده برای گستره در محدوده بیضوی‌های کرنش پخ (oblate) یا بیضوی‌های کلوچه‌ای شکل قرار می‌گیرند.

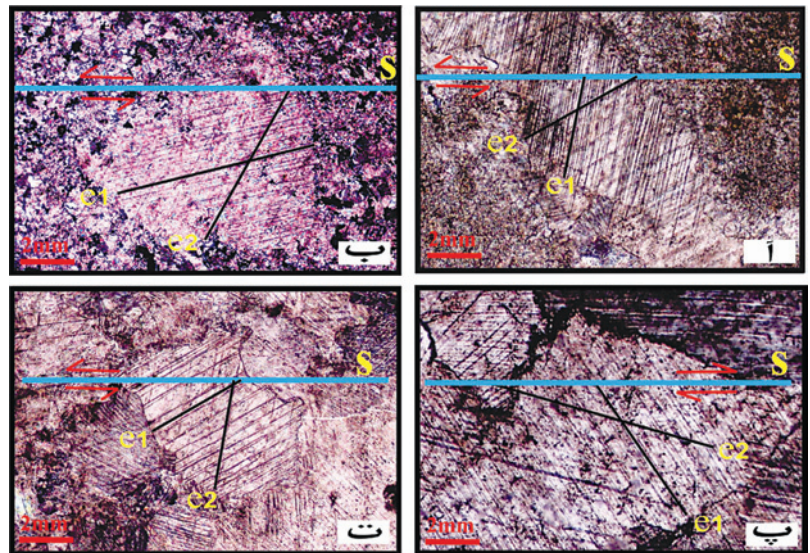
شکل ۵- (آ) چگونگی محاسبه زاویه θ در صفحه XZ کرنش. این زاویه، زاویه بین محور بزرگ کرنش و پهنه برش را نشان می‌دهد؛ (ب) نتایج حاصل از تحلیل تاوایی برای نمونه‌های متعلق به توالی‌های تریاس (دایره‌های سرخ) و پالئوزوییک (چهارگوش‌های آبی). برگرفته از Fossen & Tikoff (1995)





شکل ۹- استفاده از همساختگی کلسیت برای تعیین سوی برش. خط n خط عمود بر صفحه گسل و خط s اثر خط‌خس را نشان می‌دهد. خط C نیز جهت صفحه قائم دارای محورهای C را نمایش می‌دهد. خط‌های e_1 ، e_2 ، e_3 نشانگر اثرهای همساختگی‌ها هستند. در حالی که بلور تنها یک دسته همساختگی دارد، چارک‌های فشارش و کشش نیز نمایش داده شده است (شکل‌های a تا d). (بر گرفته از Laurent, 1987).

شکل ۱۰- استفاده از آرایش همساختگی‌های کلسیت برای تعیین سوی برش گسل اصلی شمالی. شکل‌های آ (نمونه شماره ۲)، ب (نمونه شماره ۳) و ت (نمونه شماره ۶) سازوکار چپ‌بر و شکل پ (نمونه شماره ۷) سازوکار راست‌بر را نشان می‌دهند. تمامی نمونه‌ها از سازند سفیدکوه و در نزدیکی گسل اصلی شمالی تهیه شده‌اند.



جدول ۱- مقدارهای به‌دست آمده از روش فرای برای نمونه‌های جهت‌دار تهیه شده از گستره.

شماره نمونه	سازند	R_{xy}	R_{yz}	R_{xz}	K
1	مرمرهای کربونئفر	—	—	1.7	—
9	مرمرهای کربونئفر	1.2	1.58	1.9	0.76
10	مرمرهای کربونئفر	—	—	1.8	—
18	مرمرهای کربونئفر	1.5	1.2	1.8	1.25
4	سینا	—	—	1.67	—
6	سفیدکوه	1.14	1.4	1.6	0.81
7	سفیدکوه	1.15	1.53	1.76	0.75
16	سفیدکوه	1.2	1.54	1.85	0.78

جدول ۲- نتایج به دست آمده برای برآورد تنش تفریقی برپایه استفاده از روش Rowe and Rutter (1990). برای نمونه‌های کلسیت مورد بررسی.

شماره نمونه	سازند	میانگین تراکم همساختگی (D)	میانگین اندازه دانه‌ها بر حسب میکرومتر (d)	درصد همساختگی (I_f)	تنش تفریقی بر پایه D	تنش تفریقی بر پایه I_f
2	سفیدکوه	57.31	53.41	56	248.64	299.12
3	سفیدکوه	54.28	414.62	81	244.89	161.53
16	سفیدکوه	68.57	248.12	78	262.16	200.64
6	سفیدکوه	29.14	190.21	45	198.57	153.99
4	سینا	40.23	319.90	83	222.54	202.88
5	مرمرهای کریونیر	48.75	195.14	68	236.81	200.61
8	مرمرهای کریونیر	30.45	162.17	53	201.84	185.06
9	مرمرهای کریونیر	39.17	350.78	84	220.55	182.72
18	مرمرهای کریونیر	49.12	200.18	79	237.37	221.87
15	آهک‌های دونین	52.35	201.33	62	242.11	195.61

کتابنگاری

رمضانی، م.، قاسمی، م. ر. و زانچی، آ.، ۱۳۹۰- نشانه‌های ترا فشارش و تقسیم‌شدگی کرنش حاصل از کوهزاد ایوسیمین در پنجره فرسایشی آق‌دربند، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و سوم، شماره ۸۹، ۱۲۸-۱۱۹.

روشن‌روان، ج. و مافی، ا.، ۱۳۸۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مزدوران- شیرتپه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

قائمی، ف.، ۱۳۸۴- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آق‌دربند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran., Geol. Soc. Amer. Bull., 103,p. 983-992.
- Angelier, J. & Mechler, P., 1977- Sur une me'thode graphique de recherche des contraintes principales e'galement utilisable en tectonique et en s'imologie: le me'thode des die'dres droits. Bulletin de la Socie'te' Ge'ologique de France 7, 1309-1318.
- Bailey, C. M., Polvi, L. E. & Forte, A. M., 2007 - Pure shear dominated high-strain zones in basement terranes. Geological Society of America Memoir 200, 93e108.
- Burkhard, M., 1993- Calcite Twins, their geometry appearance and significance as stress-markers and indicators of tectonic regime:a review. Journal of structural geology. ,Vol. 15, pp. 351-365.
- Dewey, J. F., Holdsworth, R. E. & Strachan, R. A., 1998- Transpression and transtension zones.In: Dewey, J.F., Holdsworth, R.E., Strachan, R.A. (Eds.), Continental Transpressional and Transtensional Tectonics. Special Publication Geological Society of London 135, pp. 1-14
- Eftekharneshad, J. & Behroozi, A., 1991-Geodynamic significance of recent discoveries of ophiolites and Late Paleozoic rocks in NE-Iran. In A.W. Ruttner (Ed.): The Triassic of Aghdarband AqDarband, NE-Iran, and its pre-Triassic frame, Abh. Geologischen Bundesanstalt, 38: 89-100.
- Ferrill, D. A., Morris, A. P., Evans, M. A., Burkhard, M., Groshong, R. H. & Onasch, C. M., 2004- Calcite twin morphology:a low-temperature deformation geothermometer. Journal of Structural Geology.,Vol. 26, pp. 1521-1529.
- Fossen, H. & Tikoff, B., 1995- The limitations of three-dimensional kinematic vorticity analysis. Journal of Structural Geology, Vol. 17, No. 12, pp. 1771 - 1784.
- Laurent, P., 1987- Shear-sense determination on striated faults from e twin lamellae in calcite. J. Struct. Geol.591-595.
- Passchier, C. W. & Trouw, R. A. J., 1998- Microtectonics. Springer, 289p.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I., 1987- The techniques of mother structural geology, v.2, Fold and fractures: London. Academic press.
- Rowe, K. J. & Rutter, E. H., 1990- Paleoestress estimation using calcite twinning: experimental calibration and application to nature. Journal of Structural Geology 12, 1-17.
- Ruttner, W., 1991- Geology of the Aghdarband Area(Kopet Dagh,NE-Iran),Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt,v.38.p.7-79
- Tikoff, B. & Fossen, H., 1993- Simultaneous pure and simple shear: the unifying deformation matrix. Tectonophysics, 217, 267-283.
- Zanchi, A., Ghassemi, R., Berra, F., Heidarzadeh, G., Bergomi, M., Nicora, A. & Zancheta, S., 2011- The palaeotethys suture zone in NE Iran: new constraint on the evolution of the Eo-Cimmerian belt. Project IR 09-12.
- Zanchi, A., Zanchetta, S., Berra, F., Mattei, M., Garzanti, E., Molyneux, S., Nawab, A. & Sabouri, J., 2009- The Eo-Cimmerian (Late? Triassic) orogeny in north Iran. Geological Society, London, Special Publications, 312, 31-55.

Microstructural Analysis of the Aghdarband Erosional Window Using Deformational Characteristics of Calcite

M. Ramazani ^{1*} & M. R. Ghassemi ²

¹Ph.D. Student, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

²Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2012 April 17

Accepted: 2012 December 15

Abstract

The erosional window of Aghdarband, located in NE Iran and SE of Mashhad is a unique place to study of the Eo-Cimmerian event. This event (Late Triassic-Middle Jurassic) resulted from closure of the Paleotethys Ocean and collision between the Iran and Turan plates. In this study, we have tried to analyze the microstructural features of the exposed carbonate units (the Sefid Kuh formation of the Early Triassic age and some Paleozoic units) in the Aghdarband area. The average of ellipticity calculated for the calcite grains is about 0.78 located in the oblate part of the Flinn diagram. The estimated kinematic vorticity number is 0.6 - 0.7. The calcite twining in the carbonate units exposed in the Aghdarband area indicate temperatures of about 180-200°C and differential stresses of about 180-240 MPa during the main deformational event of the area (Eo-Cimmerian).

Keywords: Aghdarband Erosional Window, Eo-Cimmerian, Microstructure, Calcite, Kinematic Vorticity Number.

For Persian Version see pages 79 to 86

*Corresponding author: M. Ramazani; Email: Mehdi.ramazani@ymail.com