

## استفاده از ریزساختار بلورهای کوارتز و کلسیت و شاره‌های درگیر در تحلیل شرایط دگرشکلی و برآورد خاستگاه سیستم رورانده‌ی کوهزاد زاگرس در منطقه‌ی بختیاری

مسعود نعمتی<sup>۱</sup>، علی یساقی<sup>\*</sup>، محمد رضا کمالی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس

۲- مرکز مطالعات اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت

(دریافت مقاله: ۸۸/۴/۲۵، نسخه نهایی: ۸۸/۱۰/۱۲)

**چکیده:** بررسی ساختاری از زاگرس مرتفع و جنوب غربی پهنه‌ی سنندج-سیرجان در منطقه‌ی چهار محال و بختیاری منجر به شناسایی یک سیستم گسل‌های رورانده شده است که از شمال شرقی به سمت جنوب غربی شامل برگه‌های رورانده‌ی بن، هفشجان، فارسان، کوهرنگ و بازفت می‌باشند. در این مقاله با استفاده از بررسی ریزساختاری دانه‌های کوارتز و کلسیت و نیز شاره‌های درگیر درون بلورها، شرایط دگرشکلی این سیستم برگه‌های رورانده تحلیل شده‌اند. بررسی ریزساختاری دانه‌های کوارتز از برگه‌های رورانده بن و هفشجان و پهنه‌های گسلی قاعده‌ای آن‌ها، نشان‌دهنده‌ی وجود شواهدی از دگرشکلی شکل‌پذیر بوده است به گونه‌ای که دمای دگرشکلی  $250^{\circ}\text{C}$  تا  $350^{\circ}\text{C}$  را برای این برگه‌ها نشان می‌دهند. همچنین بررسی زمین‌گرماسنجی با استفاده از ماکل‌های مکانیکی کلسیت نمونه‌های این برگه‌ها نیز نشان‌دهنده‌ی دمای  $250^{\circ}\text{C}$  برای آن‌هاست. بررسی شاره‌های درگیر رگه‌های کوارتز این برگه‌های رورانده نیز دمای همگونی تا  $220^{\circ}\text{C}$  را برای ادخال‌های اولیه نشان می‌دهد. این بررسی‌های زمین‌دماسنجی نشان می‌دهند که شرایط فیزیکی دگرشکلی در زاگرس مرتفع و حاشیه‌ی جنوب غربی پهنه‌ی ساختاری سنندج-سیرجان دارای اختلاف چشمگیری نیستند؛ گرچه دمای دگرشکلی به‌طور عمومی از بخش داخلی‌تر به خارجی‌تر کوهزاد زاگرس کاهش می‌یابد. این داده‌ها بیانگر آن است که منطقه‌ی بین برگه‌های رورانده بن و هفشجان، که به‌عنوان حاشیه‌ی جنوب غربی پهنه‌ی ساختاری سنندج-سیرجان و بخش داخلی کوهزاد زاگرس در نظر گرفته می‌شود، ویژگی‌های یک گستره‌ی انتقالی را نشان می‌دهد. بنابراین برگه‌ی رورانده‌ی فارسان یا گسل اصلی وارون زاگرس، که به‌عنوان مرز بین بخش داخلی و خارجی کوهزاد زاگرس در نظر گرفته می‌شود چنین ویژگی را نداشته و انتقال از پهنه‌ی ساختاری سنندج-سیرجان به‌عنوان بخش داخلی به زاگرس مرتفع یا بخش خارجی کوهزاد زاگرس به‌صورت پهنه‌ای انتقالی متشکل از یک سیستم رانده‌ی است که به‌طور جزئی درگیر بودن پی سنگ را نیز نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** زاگرس مرتفع، برگه‌های رانده، ریزساختار کلسیت، ریزساختار کوارتز، شاره‌های درگیر.

### مقدمه

مدل‌های زمین‌ساختی ستبرپوسته یا نازک‌پوسته است [۱،۲]. نحوه‌ی تفسیر زمین‌ساختی حاکم بر یک کمربند چین‌خورده-رانده، بر نحوه‌ی تفسیر تاریخچه‌ی دگرشکلی، تکامل حوضه‌ی رسوبی و پی‌جویی هیدروکربوری در آن اثر خواهد داشت [۳،۱].

چگونگی رابطه‌ی پی‌سنگ و پوشش رسوبی به‌هنگام دگرشکلی از مسائل بنیادین در تفسیر خاستگاه ساختارها در کمربندهای چین‌خورده-رانده است. این رابطه اساس انتخاب یکی از

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۸۲۸۸۳۴۰۶ (۰۲۱)، نمابر: ۸۲۸۸۳۴۶۰ (۰۲۱)، پست الکترونیکی: Yassaghi@modares.ac.ir

بررسی، شرایط فیزیکی دگرشکلی و خاستگاه این برگه‌های رورانده و چگونگی درگیری پی‌سنگ در آن‌ها بیان شده است.

#### زمین شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

منطقه‌ی مورد بررسی در بخش زاگرس بلند و حاشیه‌ی جنوب غربی پهنه‌ی سنندج-سیرجان منطقه‌ی بختیاری قرار دارد (شکل ۱). رو راندگی‌های با روند شمال غربی و شیب شمال شرقی از ساختارهای مهم منطقه‌ی مورد بررسی است که به ترتیب از شمال شرقی به جنوب غربی شامل رو راندگی‌های بن، هفشجان، فارسان، نیاکان، کوهرنگ-اردل، دویلان و بازفت هستند (شکل‌های ۱ و ۲). بر اساس جایگاه روراندگی‌هایی که در منطقه‌ی انتقالی از پهنه‌ی سنندج-سیرجان به‌عنوان بخش داخلی با زاگرس بلند به‌عنوان بخش خارجی کوهزاد قرار دارند، به دو گروه شمال شرقی و جنوب غربی تقسیم شده‌اند [۲۰، ۲۱] که مرز آن‌ها را روراندگی فارسان که بخشی از گسل اصلی زاگرس (Main Zagros Reverse Fault) است تشکیل می‌دهد (شکل ۲). واحدهای سنگی در برگه‌های جنوب غربی گسل فارسان بیشتر به‌صورت یکنواخت به‌سمت شمال شرقی شیب دارند و جز در نزدیکی پهنه‌های گسلی قاعده‌ای، برگه‌ها دگرشکلی زیادی نشان نمی‌دهند. درحالی‌که دگرشکلی در روراندگی‌های واقع در شمال شرقی گسل فارسان شدیدتر بوده و فقط محدود به پهنه‌های گسلی قاعده‌ای برگه‌های رورانده نبوده و در تمام راندگی‌ها منتشر شده است.

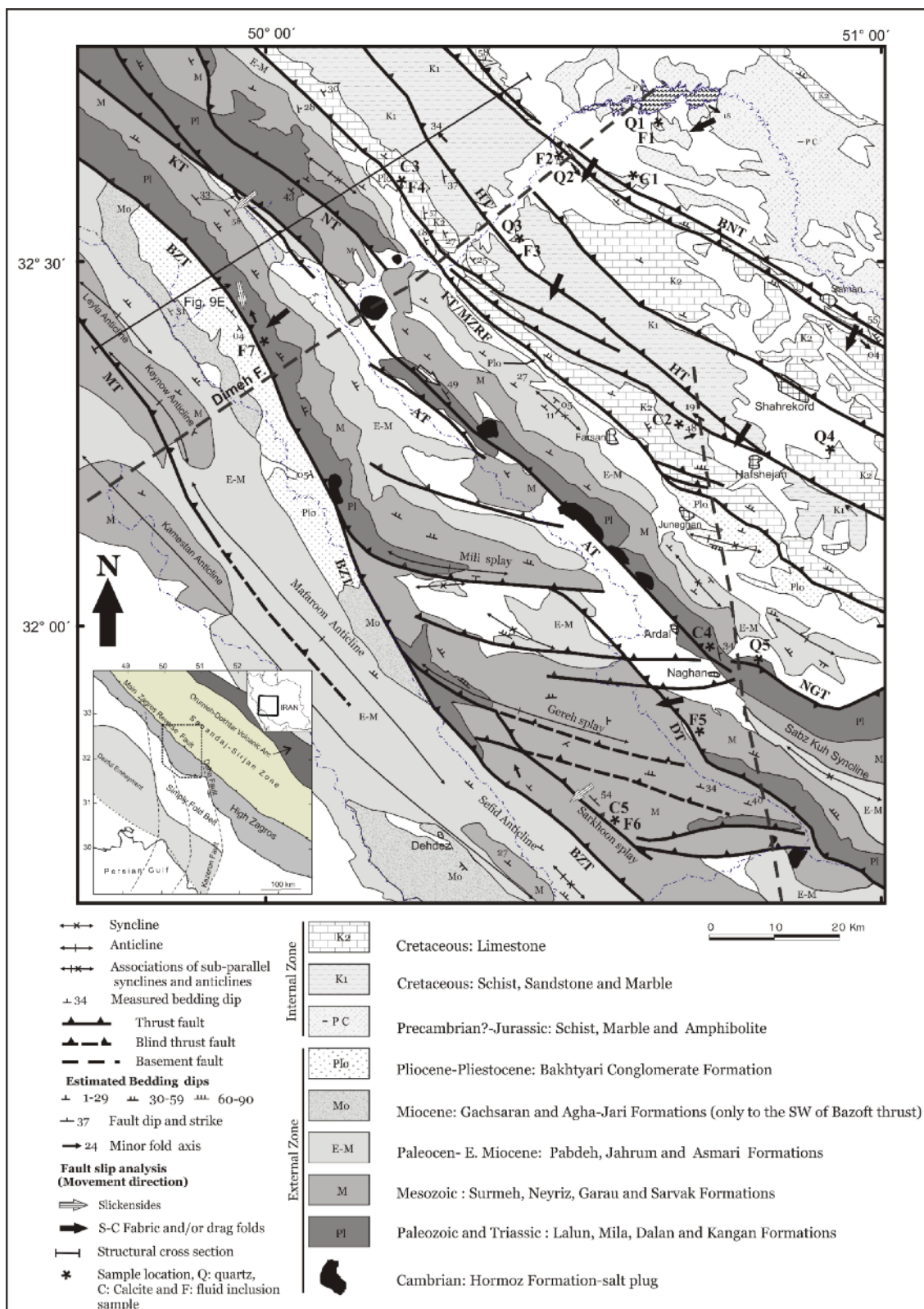
در هر یک از روراندگی‌های جنوب غربی، دنباله‌ی نسبتاً کاملی از رسوبات زاگرس رخمون دارد. این رسوبات به‌طور کلی شبیه به بخش‌های خارجی زاگرس است ولی تفاوت‌هایی نیز در آن دیده می‌شوند. چینه‌شناسی بخش‌های شمال شرقی منطقه، به‌دلیل تاثیر گسلش راندگی و به هم ریختگی دنباله‌ی رسوبی و وجود واحدهای نابرجای متعدد نمونه‌های مناسبی در این منطقه گردآوری نشدند. در گستره‌ی بین راندگی بن و فارسان رسوبات بیشتر کربناتی همراه با سنگ‌های تخریبی کرتاسه که در درجه‌ی بسیار پائین دگرگون شده‌اند گسترش دارند. در شمال شرقی راندگی بن، سنگ‌های کربناتی و تخریبی و آتشفشانی پرمین-ژوراسیک و سنگ‌های دگرگونی

در کمربندهای چین‌خورده-رانده نازک‌پوسته، راندگی‌ها خاستگاه کم عمق دارند و به یک جدایش در مرز پوشش ته-نشستی و پی‌سنگ می‌پیوندند؛ بنابراین ساختارهای دگرشکلی در پهنه‌های گسلی و برگه‌های رورانش بیشتر شرایط شکنای دگرشکلی را نشان می‌دهند [۴، ۵]. در کمربندهای چین-خورده-رانده ستبر پوسته، راندگی‌ها خاستگاه عمیق‌تر دارند و در پی‌سنگ نفوذ می‌کنند؛ بنابراین ساختارهای دگرشکلی در این مناطق، بیشتر شرایط شکل‌پذیر دگرشکلی را نشان می‌دهند [۶ تا ۸].

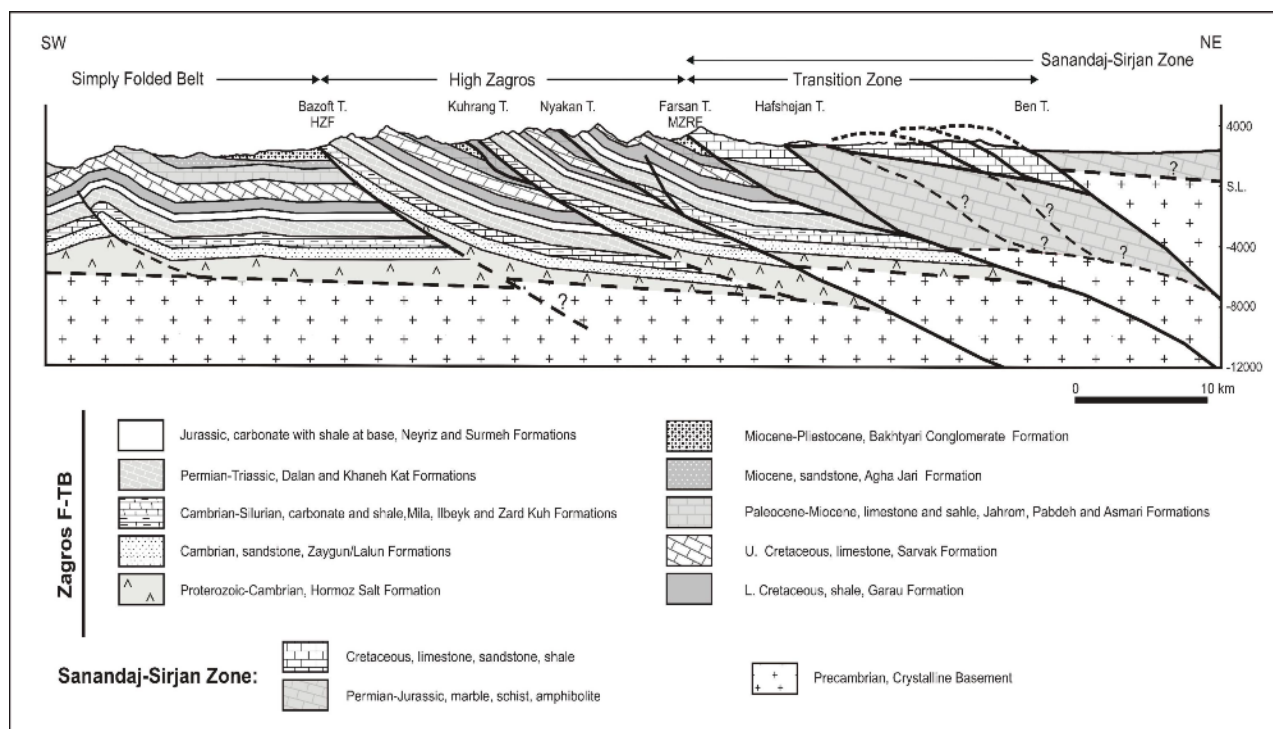
تعیین شرایط دگرشکلی پهنه‌های گسلی و برگه‌های رورانده راهنمایی بر تبیین خاستگاه آن‌هاست [۹ تا ۱۱]. از روش‌های مختلف زمین‌گرما- فشارسنجی چون تحلیل ریز ساختارهای دگرشکلی پویای کوارتز، ماکل‌های دگرشکلی کلسیت و تعادل ترمودینامیکی کانی‌های دگرگونی و شاره‌های درگیر می‌توان در تعیین شرایط دگرشکلی استفاده کرد [۱۰، ۱۲ تا ۱۹].

بررسی ساختاری در گستره‌ی زاگرس مرتفع و بخش جنوب غربی پهنه‌ی سنندج-سیرجان در منطقه‌ی چهارمحال و بختیاری منجر به شناسایی یک سیستم گسل‌های رانده در این منطقه شده است (شکل ۱). این سیستم راندگی، بر اساس تحلیل هندسی و جنبشی ساختارهای پهنه‌های گسلی قاعده‌ای برگه‌های راندگی، به دو بخش داخلی با سرشت ستبر پوسته همراه با درگیری پی‌سنگ، و خارجی با سرشت نازک پوسته تقسیم شده است (شکل ۲) که در آن، سنگ‌های بخش داخلی در شرایط فیزیکی عمیق‌تری دگرشکل شده‌اند. [۲۰، ۲۱]. بررسی شرایط دگرشکلی این سیستم برگه‌های روراند و به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر و کمی‌تر از ژرفا و نوع دگرشکلی آن‌ها از مسائل اصلی در تحلیل جایگاه زمین‌ساختی-زمین ساختاری این برگه‌های رورانده در کوهزاد زاگرس است. در این بررسی، با استفاده از آگاهی از ریزساختار دانه‌های کوارتز و کلسیت و چگونگی گسترش فرایند دگرشکلی در آن‌ها و نیز بررسی شاره‌های درگیر موجود در دانه‌های کوارتز، شرایط دگرشکلی سیستم برگه‌های رورانده‌ی کوهزاد زاگرس در گذر از بخش داخلی به خارجی آن تحلیل شده است. از نتایج چنین

درجه‌ی متوسط و بالا شامل گنیس، آمفیبولیت و گارنت  
شیست رخنمون دارند [۲۲ تا ۲۷] که در درون آن‌ها سنگ-



شکل ۱ نقشه ساختاری بخش گذار از مناطق داخلی به خارجی کوهزاد زاگرس در منطقه‌ی بختیاری. برای مشاهده برش به شکل ۲ مراجعه شود. از جنوب به شمال: MT راندگی مافارون، BZT راندگی بازفت، DP راندگی دوپلان، KT راندگی کوه‌رنگ، AT راندگی اردل، NGT راندگی



ناغان، NT راندگی نیاکان، FT راندگی فارسان، HF راندگی هفشجان و BNT راندگی بن.

شکل ۲ برش ساختاری عمود بر روند زاگرس از گستره گذار از پهنه‌ی ساختاری سنندج سیرجان به زاگرس چین خورده در منطقه‌ی بختیاری. در بخش‌های خارجی تر پی‌سنگ در دگرشکلی درگیر نیست ولی در بخش‌های داخلی‌تر، دگرشکلی درگیر شده است. موقعیت برش روی شکل ۱ مشخص شده است.

## روراندگی‌ها

در این بخش جزئیاتی از ویژگی‌های ساختاری روراندگی‌های منطقه‌ی بختیاری را که از بخش‌های داخلی‌تر به بخش‌های خارجی کوهزاد زاگرس عبارتند از روراندگی بن، هفشجان، فارسان، نیاکان، اردل-کوه‌رنگ، دوپلان و بازفت [۲۱]، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

پهنه‌ی برشی قاعده‌ای روراندگی بن شامل مجموعه‌ای از راندگی‌های با شیب به سمت شمال شرقی است که سنگ‌های کربناتی کرتاسه و پرمین را روی مجموعه‌های پلیتی و تخریبی کرتاسه و پالئوسن برگه هفشجان قرار داده است. شاخه‌های فرودیواره‌ای راندگی بن به سمت جنوب غربی انتشار یافته و یک سیستم دوگانه (Duplex) را ایجاد کرده‌اند (شکل ۲). گسل راس و بخش بالایی خرک‌های این سیستم فرسایش یافته است. به نظر می‌رسد که سفره‌های نابرجای کربناتی که در شرق

منطقه مورد بررسی و روی برگه‌های هفشجان و فارسان گسترش دارند از گسل راس این سیستم دوگانه ریشه گرفته‌اند. با توجه شکننا بودن ساختارهای گسلی قاعده‌ی این سفره‌های راندگی، سطح جدایشی این سیستم دوگانه باید کم عمق بوده و درون پوشش رسوبی قرار داشته باشد (شکل ۲).

روراندگی هفشجان، با روند شمال غربی، در فاصله‌ی تقریباً ۲۰ کیلومتری جنوبی غرب راندگی بن واقع شده است (شکل ۱). شیب گسل قاعده‌ی این برگه به سمت شمال شرقی است و بیشتر نشانگرهای جنبشی جابه‌جایی شیب لغز این برگه را به سمت جنوب غربی نشان می‌دهند. سنگ‌های گسلی پهنه‌ی قاعده‌ای برگه‌ی راندگی هفشجان ساختارهای شکننا-شکل‌پذیر نیز نشان می‌دهند و ساختارهای S-C و چین‌های کوچک و رگه‌های دگرشکل شده کوارتز در آن‌ها به خوبی گسترش یافته است. برگه راندگی هفشجان بیشتر از سنگ‌های تخریبی و به

جایی گسل بازفت به شاخه‌های واگرای گسل و نیز راندگی‌های دیگر بویژه راندگی دوگانه‌ای توزیع می‌شود. سنگ‌های پهنه‌ی گسلی بازفت مشابه برگه‌ی راندگی مافارون ساختارهای شکنا دارند (شکل ۱).

#### روش بررسی

برای بررسی شرایط دگرشکلی روراندگی، با توجه به حساسیت ریزساختارهای کانی‌های کلسیت و کوارتز نسبت به دمای دگرشکلی، از این کانی‌ها استفاده شده است. در بسیاری از رگه‌های کوارتز، کلسیت نیز نهشته شده است که امکان برآورد و مقایسه‌ی دمای دگرشکلی با استفاده از ریزساختارهای این دو کانی را فراهم می‌آورد. نمونه‌ها از پهنه‌های گسلی و رورانده‌ها انتخاب شده‌اند. در بخش جنوب غربی منطقه که رگه‌های کوارتز گسترش ندارند، از نمونه‌های کربناتی سنگ زمینه و نیز از کلسیت پرکننده‌ی شکستگی‌ها استفاده شده است. نمونه‌های شاره‌های درگیر از رگه‌های همزمان با دگرشکلی دارای کوارتز و کلسیت و از پهنه‌های گسلی و رورانده انتخاب شدند. بررسی ریزساختارها با میکروسکوپ نوری و با استفاده از ملاک‌های [۱۴ تا ۱۶] و بررسی شاره‌های درگیر بر اساس روش ارائه شده توسط [۱۹] انجام گردیده است.

#### زمین‌دماسنجی با استفاده از ریز ساختارهای کوارتز

بررسی ریزساختار روی دانه‌های کوارتز موجود در نمونه‌های گرفته شده از برگه‌ها و پهنه‌های گسلی قاعده‌ای رورانده‌های بن، هفشجان و ناغان انجام شده است.

ریزساختارهای دگرشکلی دانه‌های کوارتز در نمونه‌ای از شیبست‌های شمال شرقی رورانده‌ی بن (نمونه Q1، شکل ۱) شامل خاموشی جارویی و وصله‌ای قوی، گسترش زیردانه‌های (Subgrains) درشت، تبلور گسترده‌ی دوباره و شواهد رشد دانه‌های جدید به‌صورت ساختار هسته-حاشیه (Core and Mantle Structure) هستند (شکل ۳ الف). با توجه به این ساختارها، این نمونه معادل ریزساختارهای آزمایشگاهی در رژیم ۲ [۱۵] بوده و بیشتر با ساز و کار تبلور دوباره از نوع چرخش زیردانه‌ای (Subgrain Rotation Recrystallization) در دمای حداکثر تا ۳۰۰ درجه [30] دگرشکل شده است. در نمونه‌ای از گستره‌ی راندگی بن، از یک رگه‌ی کوارتز دگرشکل شده (نمونه Q2، شکل ۱)، ریز ساختارهای دگرشکلی عبارتند از خاموشی موجی و وصله‌ای شدید و فراوان، تیغه‌ی دگرشکلی، گسترش زیردانه‌ها، مرزهای دندانه‌ای دانه‌ها و ساختارهای برآمدگی مرز دانه (Grain

مقدار کمتری کربناتی با درجه‌ی پائین دگرگونی تشکیل شده است.

گسل قاعده‌ای رورانده‌ی فارسان همان گسل اصلی واژگون زاگرس است که در منطقه‌ی بختیاری هندسه کم و بیش یکنواختی دارد. کمربالای گسل از سنگ آهک ضخیم لایه و توده‌ای تشکیل شده که سن آن کرتاسه تعیین شده است [۲۳، ۲۶] (شکل ۱). این سنگ‌ها که نزدیک به پهنه‌ی گسلی قاعده-ای برگه‌ی فارسان به‌شدت خرد شده هستند، در بسیاری از بخش‌های مرکزی زاگرس مرتفع گزارش شده و بنام پهنه‌ی خرد شده (Crush Zone) نامیده شده‌اند [۲۷]. سنگ‌های فرودیاورهای گسل قاعده‌ای برگه‌ی فارسان از کنگلومرای بختیاری، برگه‌های نیاکان و اردل تشکیل شده است که معمولاً به‌سمت شمال شرقی کج شده‌اند و در برخی نقاط با محور شمال غربی چین خورده‌اند [۲۴]. گسترش ساختارهای شکل-پذیر دگرشکلی در برگه‌ی فارسان در مقایسه با برگه‌ی هفشجان بسیار کمتر است [۲۱].

روراندگی اردل-کوه‌رنگ از واحدهای سنگی پالئوزوئیک تا میوسن با شیب به‌سمت شمال شرقی تشکیل شده است که به-سمت جنوب غربی روی کنگلومرای بختیاری و آهک‌های الیگومیوسن برگه‌ی بازفت رانده شده است (شکل ۱). سنگ-های گسلی گسل قاعده‌ای این روراندگی، ساختار دگرشکل و شکنا نشان می‌دهند.

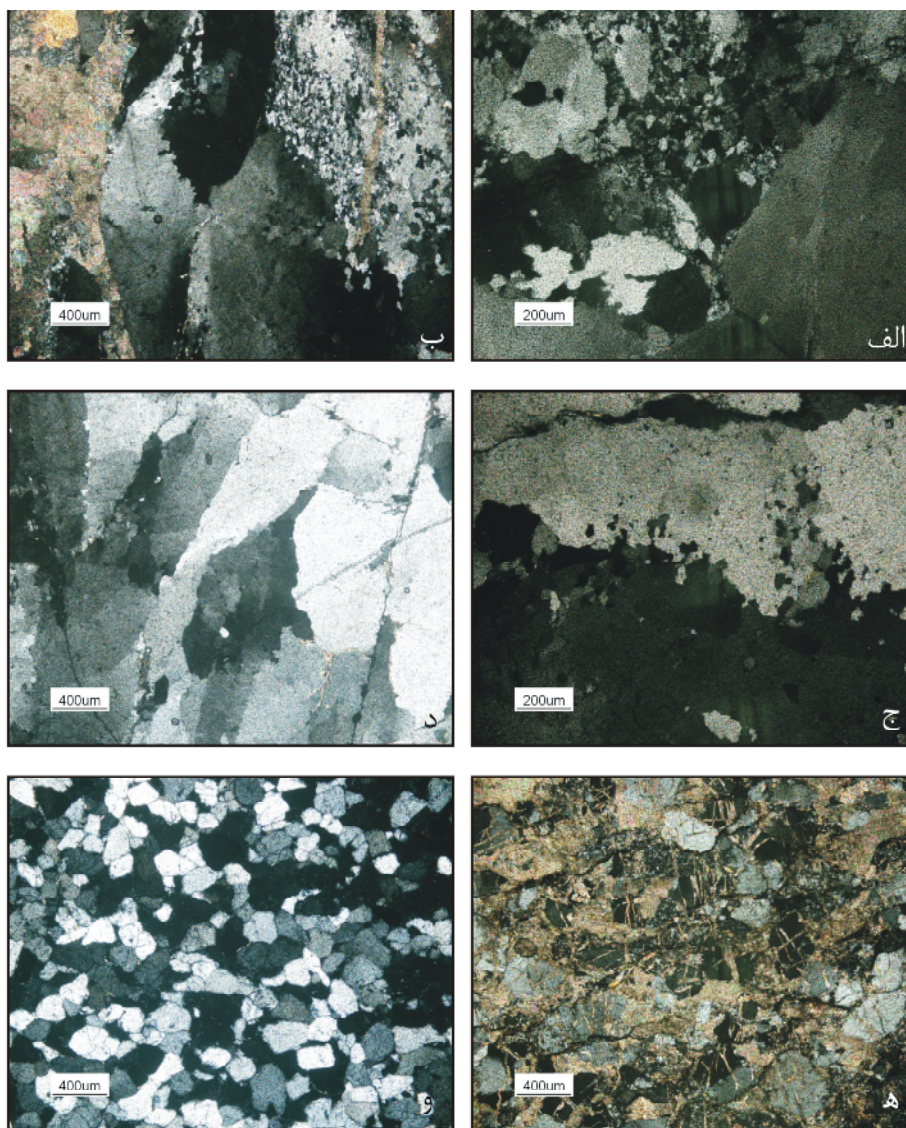
راندگی دوپلان در جنوب غربی راندگی اردل قرار دارد و محدود به جنوب شرقی منطقه است (شکل ۱). جابه‌جایی این گسل به‌سمت شمال غربی کاهش می‌یابد و درون روراندگی بازفت محو می‌شود. لایه‌های پالئوزوئیک زیرین در رو رانده‌ی دوپلان روی آهک‌های کرتاسه بالایی سازند سروک رانده شده و به سطح رسیده‌اند. در بخش‌های شمال شرقی آن پهنه‌های پیوندی (Connecting splay) [۲۸] بین این گسل و راندگی بازفت در جنوب غربی دیده می‌شوند.

روراندگی بازفت، جنوبی‌ترین رو راندگی در کمربند زاگرس بلند در منطقه‌ی بختیاری است که به‌عنوان مرز زاگرس بلند و کمربند ساده‌ی چین‌خورده زاگرس (Simply Fold Belt) در نظر گرفته شده است [۲۹]. رو راندگی بازفت از دنباله‌ی کاملی از سازندهای کامبرین تا پلیستوسن تشکیل شده است که به‌سمت شمال شرقی یا شمال شیب دارند (شکل ۱). جابه‌جایی گسل بازفت به‌سمت جنوب شرقی کاهش می‌یابد و بخشی از جابه-



در نمونه‌ای که از سنگ‌های آواری نزدیک به پهنه‌ی گسلی قاعده‌ای رورانده‌ی هفشجان گرفته شده (نمونه Q3، شکل ۱)، ریزساختارهای دگرشکلی کوارتز، بیشتر به صورت خاموشی موجی و وصله‌ای فراوان، زیردانه‌های فراوان، تیغه‌های دگرشکل، برآمدگی مرز دانه به صورت دانه‌های نوزاد بسیار ریز و دیوارهای دندان‌های دانه‌ها دیده می شوند. در این نمونه درصد حجمی تبلور دوباره بسیار کم است و در آن شکستگی‌های درون بلوری فراوان‌ترند (شکل ۳ چ و د). این ساختارها غلبه‌ی رژیم ۱ دگرشکلی [۱۵] و دمای دگرشکلی کمتر از ۳۰۰ درجه را برای این نمونه و رورانده‌ی هفشجان نشان می دهند.

(Boundary Bulging) (شکل ۳ ب). در این نمونه ساختار هسته-حاشیه نیز دیده می شود ولی فراوانی آن نسبت به نمونه-ی درون رورانده‌ی بن کمتر است. همچنین شکستگی‌های درون بلوری که با کلسیت پر شده باشند نیز به ندرت دیده می-شوند. مجموعه‌ی این ساختارها نشان می دهند که این نمونه در دمای کمتری نسبت به نمونه‌ی Q1 دگرشکل شده است (شکل‌های ۳ الف و ب مقایسه شوند). دمای دگرشکلی این نمونه بر اساس اندازه‌گیری‌های [۳۰] کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد برآورد می شود.



شکل ۳ ریز ساختارهای موجود در دانه‌های کوارتز از رورانده‌های منطقه‌ی بختیاری در زاگرس مرتفع. الف) شمال شرقی راندگی بن که در آن خاموشی موجی، رشد زیر دانه‌ها و ساختار هسته-حاشیه دیده می شود و نشانگر غلبه ساز و کار دگرشکلی تبلور دوباره چرخش زیر دانه است. دانه-

ی کوارتز آمیبی شکل که در پائین چپ تصویر دیده می شود فعال بودن ساز و کار دگرشکلی مهاجرت مرز دانه را نیز نشان می دهد. ب) گستره ی راندگی بن، نشان دهنده ساختارها و شرایط دگرشکلی مشابه الف است. ج و د) گستره ی گسل هفشجان که در آن خاموشی موجی و زیر دانه ها غالب هستند و دانه های جدید ریز در راستای مرز دانه ها تشکیل شده اند. این ساختارها فعال بودن ساز و کارهای دگرشکلی تبلور دوباره چرخش زیر دانه و برآمدگی مرز دانه را نشان می دهند. ه) گستره ی بین راندگی بن و هفشجان که در آن ریز ساختارهای مربوط به شرایط دمایی پائین دگرشکلی مانند انحلال فشاری و شکستگی های درون بلوری و به مقدار کمتری خاموشی دیده می شود. و) کوارتز آرنایت از پهنه ی گسلی ناغان که هیچگونه دگرشکلی شکنا یا شکل پذیری را نشان نمی دهد.

#### زمین دماسنجی بوسیله ی ریز ساختارهای کلسیت

با توجه به فراوانی سنگ های کربناتی در منطقه ی مورد بررسی، نمونه های کلسیت از تمامی روراندگی ها و پهنه های برشی در منطقه برداشت و بررسی شده اند. دانه های کلسیت در تمامی نمونه ها دارای ماکل های دگرشکلی فراوان بوده و لذا بر اساس هندسه و با استفاده از ریخت شناسختی آن ها [۱۴، ۱۶] می توان شرایط دمایی دگرشکلی را در روراندگی ها تعیین و تغییرات آن را در منطقه بررسی کرد.

در نمونه هایی که از پهنه ی قاعده ای رو رانده ی بن به دست آمده (نمونه C1، شکل ۱) دانه های کلسیت دارای دو رشته ماکل مستقیم و ضخیم (Type II)، دارای بیشترین فراوانی هستند. در این نمونه ها ماکل های گوه ای و خمیده (Type III) و مقطع (Type IV) نیز دیده می شوند (شکل ۴ الف و ب) (جدول ۲). بر اساس این ساختارها، دمای دگرشکلی دانه های کلسیت در این نمونه ها تا بیش از ۲۵۰ درجه سانتی گراد برآورد شد. دانه های کلسیت از نمونه C2 از پهنه ی برشی گسل قاعده ای رورانده ی هفشجان (شکل ۱) دارای ماکل های نوع II و نوع I هستند؛ ولی در آن ها ماکل نوع III دیده نمی شود (شکل ۴ ج) (جدول ۲). این نمونه ها دمای دگرشکلی کمتری نسبت به برگه ی بن و در حدود ۲۰۰ درجه ی سانتی گراد را نشان می دهند [۱۴ و ۱۶].

نمونه ی دیگری که از سنگ های آواری رورانده ی هفشجان گرفته شده است که ساختارهای دگرشکلی کاملاً متفاوتی با نمونه Q1 تا Q3 نشان می دهد. این نمونه (نمونه Q4، شکل ۱) یک ماسه سنگ با سیمان کلسیتی است و گسترش ساختارهای کاتاکلاسیتی است. در این نمونه، انحلال فشاری گسترده، هم در سیمان کلسیتی و هم در دانه های کوارتز، دیده می شود. شکستگی درون دانه ای در دانه های کوارتز بسیار گسترده بوده و بسیاری از شکستگی ها با کلسیت ثانویه پر شده اند. دانه های کوارتز به ندرت خاموشی موجی و تیغه های دگرشکلی نیز نشان می دهند (شکل ۳ ه). ساختارهای این نمونه به خوبی روانی کاتاکلاسیتی را در دماهای زیر ۲۵۰ درجه نشان می دهند.

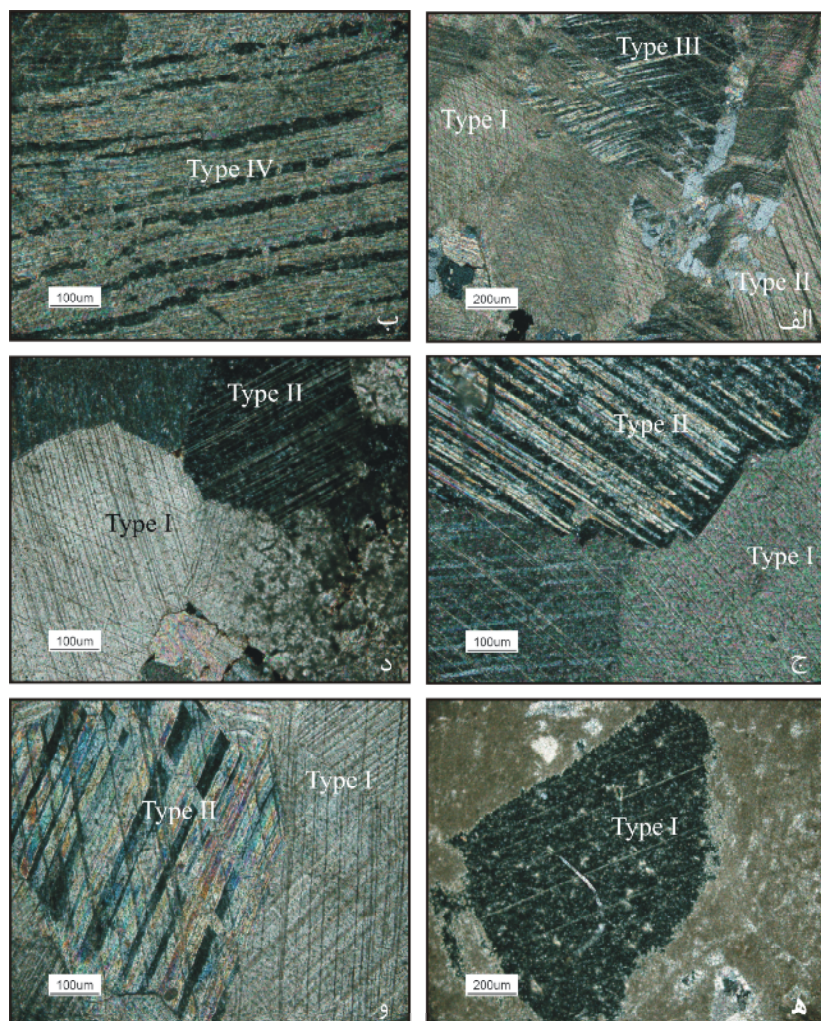
بررسی و مقایسه ی ریزساختارهای کوارتز از بخش های شمال شرقی منطقه نشان می دهد که دمای دگرشکلی در این بخش به ندرت به بیش از ۳۰۰ درجه سانتی گراد می رسد. علاوه بر آن یک گرادیان دمایی ملایم در گستره ی رورانده ی بن و هفشجان دیده می شود (جدول ۱). هرچند این داده ها نشان می دهند که خاستگاه راندگی ها در این بخش از کوهزاد زاگرس که حاشیه ی جنوب شرقی پهنه ی ساختاری سنندج-سیرجان را تشکیل می دهد، نسبتاً عمیق است، ولی شرایط بخش های داخلی یک کوهزایی را نیز نشان نمی دهد.

**جدول ۱** مشخصات نمونه ها و ریزساختارهای مشاهده شده در بلورهای کوارتز از برگ ها و پهنه های رانده در منطقه ی مورد بررسی و دمایی که با استفاده از این ریزساختارها برآورد شده است.

| Sample ID | Location                                             | Description                                     | Microstructures description                                                                                                             | T (°C) |
|-----------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Q1        | <b>Ben thrust sheet</b><br>Near Zayandehrud dam site | Quartz vein in schist                           | Core and mantle structure, sweeping and patchy extinction, large subgrains, new grains, extensive recrystallization, subgrain growth.   | ۳۵۰ >  |
| Q2        | <b>Ben thrust zone</b><br>Bard-Shah village          | Calcite+ quartz vein in low grade pelitic rocks | Abundant patchy and sweeping extinction, deformation bands, Subgrains, core and mantle structure, serrated and diffuse grain boundaries | ~۳۰۰   |
| Q4        | <b>Hafshejan thrust sheet</b><br>Taghanak city       | Cataclastic sandstone                           | Extensive pressure solution particularly in calcite cement, widespread intracrystalline cracks, weak undulose                           | ۲۵۰ >  |



|    |                                                          |                                            |                                                                                                                                                           |       |
|----|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|    |                                                          |                                            | extinction, deformation lamellae (rare).                                                                                                                  |       |
| Q3 | <b>Hafshejan sheet</b><br>West of the Marghmalek village | Quartz vein in very low grade pelitic rock | Patchy undulose extinction, abundant subgrains, fine new grains along grain boundaries, Intracrystalline cracks, negligible volumetric recrystallization. | ۳۰۰ > |
| Q5 | <b>Naghan thrust Zone</b><br>Near Galoogerd village      | Sandstone (quartz arenite)                 | No evidence of crystal plastic or brittle deformation was observed.                                                                                       | (۹)   |



**شکل ۴** ماکل‌های مکانیکی در نمونه‌های کلسیت از بخش‌های مختلف زاگرس مرتفع در منطقه‌ی بختیاری که کاهش دمای دگرشکلی از بخش-های داخلی به خارجی کوهزاد زاگرس را نشان می‌دهند. الف) ماکل‌های گوه‌ای نوع III و انواع II و I در رگه‌ی کلسیتی از رورانده‌ی بن، نزدیکی روستای حیدری. ب) ماکل‌های منقطع نوع IV در رورانده‌ی بن، نزدیکی روستای برد شاه. ج) گسترش ماکل‌های نوع II و به مقدار کمتری نوع I در رگه‌ی کلسیت در رورانده‌ی هفشجان، نزدیکی روستای مصطفی آباد. د) گسترش ماکل‌های نوع I و به‌طور محدود نوع II در سیمان کلسیتی پرکننده‌ی شکستگی‌های سنگ در رورانده‌ی فارسان. هـ) ماکل‌های دگرشکلی نوع I در کلسیت ثانویه پرکننده‌ی فضای خالی در رورانده‌ی اردل، نزدیکی ناغان و و) ماکل‌های نوع I و II در پهنه‌ی گسلی سرخون (یکی از شاخه‌های راندگی بازفت)، نزدیکی روستای سرخون.

**جدول ۲** فراوانی انواع مختلف ماکل‌های مکانیکی کلسیت بر حسب درصد و برآورد دمای دگرشکلی نمونه‌های برگه‌ها و پهنه‌های گسلی در منطقه‌ی مورد بررسی با استفاده از این ماکل‌ها.



| Structural position    | Type I | Type II | Type III | Type IV | T (°C) |
|------------------------|--------|---------|----------|---------|--------|
| Ben thrust sheet       | -      | ۶۵      | ۲۵       | ۱۰      | ۲۵۰~   |
| Ben fault zone         | ۱۵     | ۶۰      | ۲۰       | ۵       | ۲۵۰~   |
| Hafshejan thrust sheet | ۱۰     | ۸۰      | ۱۰       | -       | ۲۰۰~   |
| Hafshejan fault zone   | ۵۰     | ۵۰      | -        | -       | ۲۰۰~   |
| Farsan FZ              | ۵۵     | ۴۵      | -        | -       | ۲۰۰~   |
| Ardal thrust sheet     | ۱۰۰    | -       | -        | -       | ۱۷۰<   |
| Bazoft thrust sheet    | ۲۵     | ۷۵      | -        | -       | ۲۰۰~   |

از حداقل دمای تشکیل اذخال‌ها است [۱۹]، صورت گرفته است.

در نمونه‌های مورد بررسی سه گروه اصلی اذخال بر اساس خاستگاه، هندسه و نوع و رابطه‌ی فازهای مختلف آن‌ها شناسایی شدند (شکل ۵). نوع I که شاخص آن‌ها بزرگ بودن نسبی فاز بخار و داشتن مقداری  $CO_2$  است، غالباً به صورت اذخال‌های ریز در ابعاد یک تا سه میکرون و به صورت نیمه شکل‌دار و گاهی بلور منفی ظاهر می‌شوند. انواع بزرگتر این نسل به ۵ میکرون نیز می‌رسند و معمولاً نیمه شکل‌دارند (شکل ۵ الف). این نسل از اذخال‌ها دمای همگونی بالاتری را (در فاز مایع) نسبت به انواع دیگر نشان می‌دهند و غلظت نمک در آن‌ها بیشتر از انواع دیگر است. اذخال‌های نوع I به خوبی دارای مشخصات اذخال‌های اولیه هستند [۱۹]. نوع II اذخال‌ها دارای هندسه‌ی مشابهی با نوع I هستند ولی فاز بخار در آن‌ها نسبت به نوع I بسیار کوچک است و در آن‌ها  $CO_2$  نیز دیده نمی‌شود (شکل ۵ ب). این نوع اذخال دمای همگونی پائین‌تری نسبت به نوع I دارند. نوع III اذخال‌ها ثانویه هستند که با دو هندسه‌ی متفاوت ظاهر می‌شوند. گروهی از آن‌ها به صورت اذخال‌های بسیار ریز ( $<2\mu m$ ) در راستای شکستگی‌های ترمیم شده تشکیل شده‌اند و اشکال کروی و گاهی کشیده دارند و فاز بخار فقط در برخی از آن‌ها قابل تشخیص است (شکل ۵ ج). برخی دیگر که در گستره‌های رشد ثانویه بلورها تشکیل شده‌اند دارای ابعاد بزرگ تا ۱۰ میکرون بوده و غالباً در فاز شاره هستند و تنها در برخی از آن‌ها فاز بخار به صورت محدود دیده می‌شود (شکل ۵ ج). بررسی این نمونه‌ها نشان‌دهنده دمای پائین‌تر همگونی آن‌ها نسبت به انواع دیگر است که گاهی به کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شکل ۶). بجز این سه گروه

در نمونه‌هایی که از پهنه‌ی خرد شده‌ی فارسان به دست آمده (نمونه C3، شکل ۱)، دانه‌های کلسیت، ماکل‌های نوع I و نوع II را نشان می‌دهند که نشان دهنده‌ی دمای دگرشکلی کمتر از ۲۰۰ درجه برای این نمونه‌هاست (شکل ۴ د). دانه‌های کلسیت در روراندی اردل (نمونه C4، شکل ۱) نیز تنها دارای ماکل‌های نوع I هستند (شکل ۴ ه) و شرایط دمایی دگرشکلی آن‌ها نزدیک به روراندی فارسان و کمتر از ۱۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است [۱۴ و ۱۶] (جدول ۲).

دانه‌های کلسیت بررسی شده از پهنه‌ی برشی راندگی سرخون (نمونه C5، شکل ۱)، و یکی از شاخه‌های راندگی بازفت، بیشتر دارای ماکل‌های از نوع II هستند، ولی نوع I نیز در آن‌ها دیده می‌شوند (شکل ۴ و). بر این اساس دمای دگرشکلی در این پهنه‌ی گسلی، کمی بیش از پهنه‌های گسلی فارسان و اردل و در حدود ۲۰۰ درجه‌ی برآورد سانتی‌گراد می‌شود [۱۴ و ۱۶].

#### زمین‌دماسنجی با استفاده از شاره‌های درگیر

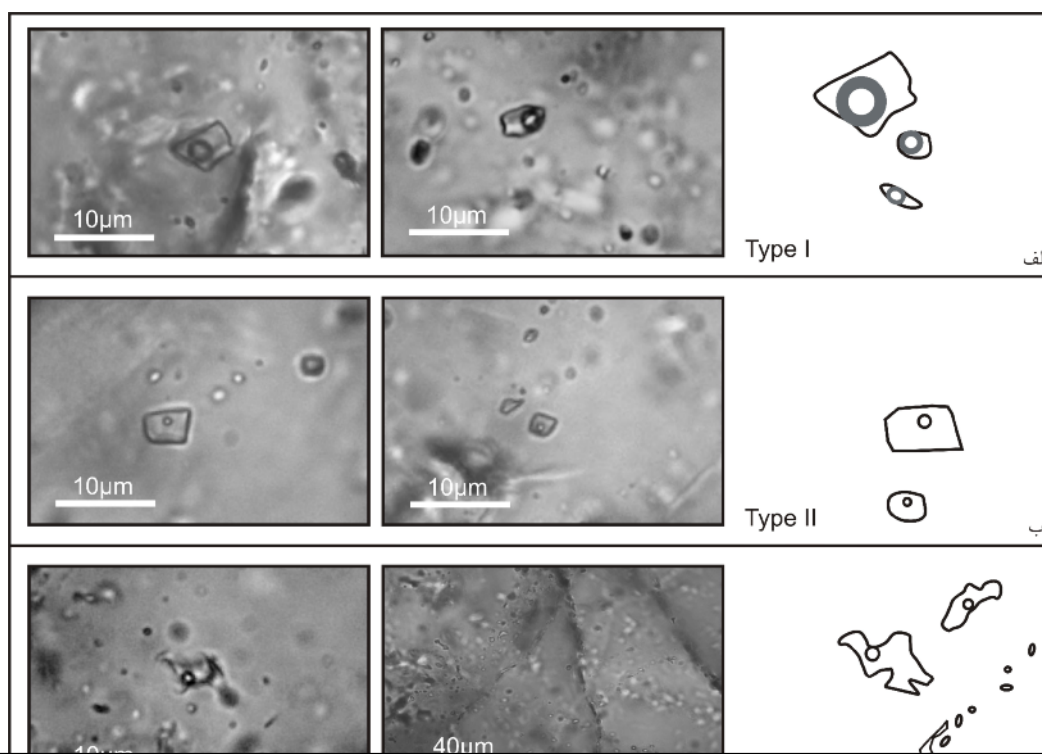
تعداد ۷ نمونه برای بررسی شاره‌های درگیر از روراندی‌ها و پهنه‌های برشی قاعده‌ای آن‌ها تهیه و بررسی شدند (نمونه‌های F1 تا F7، شکل ۱). از این میان، ۴ نمونه کربناتی از بخش‌های خارجی‌تر منطقه، فاقد اذخال‌های سیال قابل بررسی بودند (نمونه‌های F4 تا F7، شکل ۱). بین سه نمونه از رگه‌های کوارتز نیز تنها دو نمونه دارای اذخال‌های مناسب برای بررسی زمین‌گرماسنجی بودند (نمونه‌های F1 و F3، شکل ۱). این نمونه‌ها از رگه‌های کوارتزی روراندی بن و هفشجانند. بررسی میکروسکوپی برای شناخت هندسه و فازهای مختلف آبی، بخار و جامد درون اذخال‌ها و نیز بررسی دماسنجی روی نمونه‌ها برای تعیین درجه‌ی شوری و دمای همگونی آن‌ها (که برآوردی

رسد که حین دگرشکلی در اثر تعادل دوباره‌ی اذخال‌های اولیه و تاثیر آب‌های بین بلوری در مرز دانه‌ها یا زیردانه‌ها تشکیل شده و حین جابه‌جایی مرز بلور و تکامل زیر بلورها در درون بلورها قرار گرفته‌اند [۳۱].

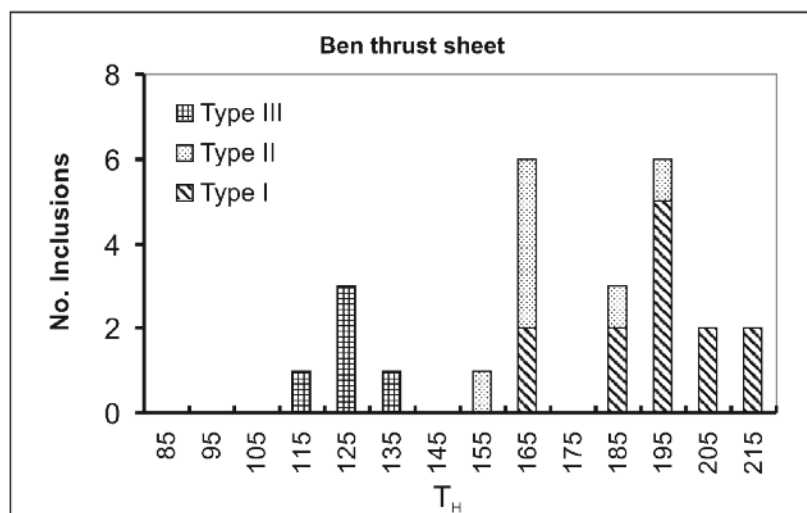
با توجه به دمای همگونی بسیار کم و تشکیل در راستای شکستگی‌های درون بلوری، به‌نظر می‌رسد که اذخال‌های نوع III در شرایط عمقی بسیار کمتری نسبت به انواع دیگر تشکیل شده و بیشتر شرایط شکنای دگرشکلی را نشان می‌دهند. به‌طور کلی نمونه‌های بررسی شده یک روند زمانی و مکانی (به‌سمت بخش خارجی) کاهش دما را نشان می‌دهند (جدول ۳). در هر یک از رورونده‌های اذخال‌های قدیمی‌تر (نوع I) دمای همگونی بالاتری دیده می‌شود و انواع جوانتر (نوع II و III) دمای کمتری دارند. به‌همین ترتیب اذخال‌های نوع I، II و III در رورنده‌ی بن دمای بالاتری از انواع مشابه خود در رورنده‌ی هفشجان دارند و یک روند کم شدن دما به‌سمت بخش‌های خارجی کوهزاد زاگرس را نشان می‌دهند (جدول ۳). نمودار شوری نسبت به دما (شکل ۷) نشان می‌دهد که یک روند کلی کم شدن شوری و کم شدن دما در نمونه‌های بخش داخلی به خارجی کوهزاد دیده می‌شود. اختلاف شدید شوری نمونه‌هایی با دمای مشابه می‌تواند به‌عملکرد گسل در اختلاط شدید شاره حین دگرشکلی (Dilatancy Pumping) [۳۲] وابسته باشد. این پدیده در ریزساختارهای نمونه Q4 از رورنده‌ی هفشجان (شکل ۱) که دارای ریزشکستگی‌های درون بلوری باز شده فراوان است نیز قابل مشاهده است (شکل ۳ ه).

اصلی، انواع دیگری نیز به‌صورت بسیار محدود در نمونه‌ها مشاهده شدند. برخی از آن‌ها دارای فاز جامد (کانی دختر) در شاره هستند و در برخی نیز فاز جامد خارجی به تله افتاده است.

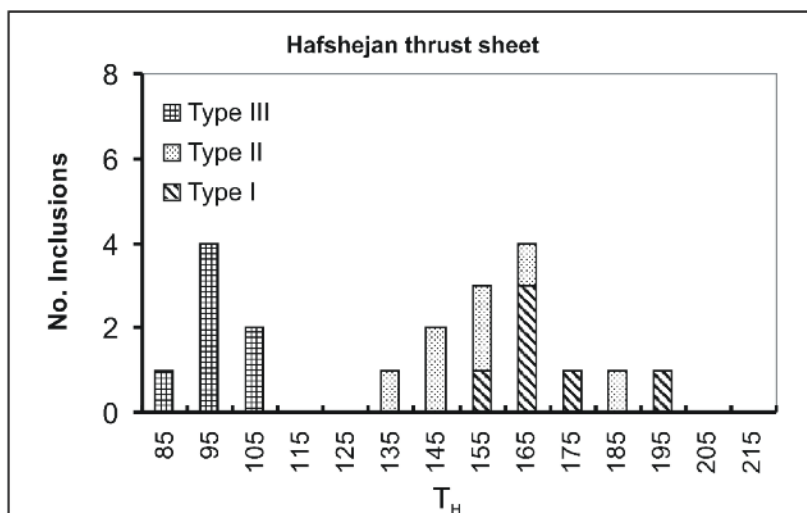
بررسی دمای همگونی نمونه‌ها نشان می‌دهد که این دما در تمامی نمونه‌ها از ۲۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد فراتر نمی‌رود (شکل ۶). اذخال‌های نوع I دارای بالاترین دمای همگونی هستند و در رورنده‌ی بن دمای بالاتری را نسبت به رورنده‌ی هفشجان نشان می‌دهند (شکل ۶). این دما با دمای بدست آمده از ریزساختارهای کوارتز و کلسیت همخوانی دارد (به بخش ۳-۱ و ۳-۲ مراجعه شود). دمای میانگین همگونی این نوع اذخال‌ها در رورنده‌ی هفشجان در حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد کمتر از رورنده‌ی بن است (جدول ۳). اذخال‌های نوع II، هم در برگه‌ی بن و هم در برگه هفشجان دمای همگونی کمتری را نسبت به نوع I نشان می‌دهند. اذخال‌های نوع III که ثانویه‌اند، و دمای همگونی بسیار کمتری را نسبت به انواع دیگر نشان می‌دهند (شکل ۶). با توجه به حضور آن‌ها در شکستگی‌های درون بلوری و دمای کم همگونی، به‌نظر می‌رسد که این نوع از اذخال‌ها در شرایط کم عمق‌تری از دگرشکلی تشکیل شده‌اند. حضور CO<sub>2</sub> در اذخال‌های نوع I نشان‌دهنده دمای بالاتر تشکیل و گستردگی بیشتر دگرشکلی پلاستیک در آن‌هاست [۳۱]. همچنین این نوع از اذخال‌ها غلظت نمک بیشتری را نشان می‌دهند (شکل ۷) که نشان‌دهنده عمق بیشتر تشکیل و تاثیر کمتر آبهای جوی در تشکیل آن‌هاست. اذخال‌های نوع II در بلورهای با دگرشکلی پلاستیک دیده می‌شوند و به‌نظر می‌-



**شکل ۵** سه نوع اصلی از ادخال‌های سیال در نمونه‌های مورد بررسی. الف) نوع I با شکل منظم و فاز بخار بزرگتر، اولیه بوده و دمای بالاتری را نشان می‌دهند. ب) نوع II ادخال با شکل منظم. به اندازه‌ی فاز بخار این نوع در مقایسه با نوع I دقت کنید. ج) نوع III با شکل نامنظم که یا در اثر دگرشکلی از ادخال‌های I و II به وجود آمده یا در راستای شکستگی‌های ترمیم شده تشکیل شده‌اند.



الف

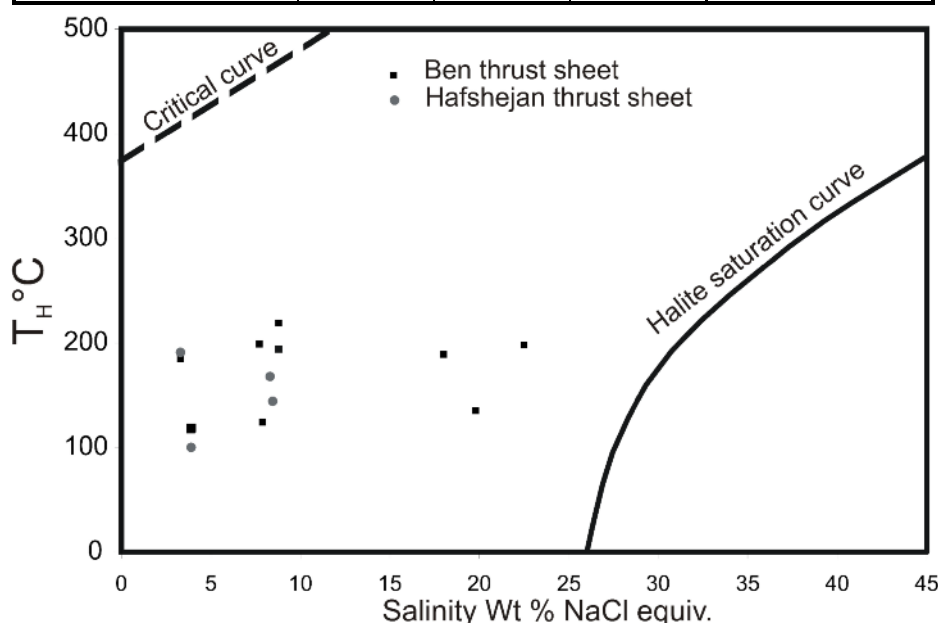


ب

**شکل ۶** دمای همگونی انواع مختلف ادخال‌های سیال در نمونه‌های بررسی شده در الف) رورانده‌ی بن و ب) رورانده‌ی هفشجان. به بالاتر بودن دمای همگونی ادخال‌ها در نمونه‌های رورانده‌ی بن و نیز به بالاتر بودن دمای همگونی ادخال‌های نوع I نسبت به انواع دیگر دقت کنید.

**جدول ۳** مقایسه‌ی دمای همگونی ( $T_H$ )، دمای انجماد ( $T_F$ ) و شوری در سه نوع اصلی شاره‌های درگیر در رورنده‌های بن و هفشجان. به کاهش عمومی دمای همگونی و نیز شوری شاره‌های درگیر از راندگی بن به هفشجان و نیز از ادخال‌های نوع I به III توجه کنید. برای مشخصات انواع مختلف ادخال به بخش ۳-۳ مراجعه کنید.

|                        | Type I | Type II | Type III |                              |
|------------------------|--------|---------|----------|------------------------------|
| Ben thrust sheet       | ۱۹۶    | ۱۶۸     | ۱۲۴      | Average $T_H$ (°C)           |
| Hafshejan thrust sheet | ۱۷۲    | ۱۵۱     | ۹۶       |                              |
| Ben thrust sheet       | -۱۶٫۸  | -۵٫۰    | -۱٫۸     | Average $T_F$ (°C)           |
| Hafshejan thrust sheet | -۵٫۲   | -۵٫۰    | -۱٫۷     |                              |
| Ben thrust sheet       | ۲۰٫۵   | ۸٫۳     | ۳٫۷      | Average Salinity (wt % NaCl) |
| Hafshejan thrust sheet | ۸٫۴    | ۸٫۳     | ۳٫۶      |                              |



**شکل ۷** دمای همگونی نسبت به درجه‌ی شوری نمونه‌هایی که در آن‌ها هم انجماد و هم همگونی صورت گرفته است. علیرغم تغییرات نه چندان زیاد در دمای همگونی، شوری نمونه‌ها تغییرات فاحشی نشان می‌دهند که می‌تواند به دلیل گردش شدید شاره‌ها در اثر جابه جایی گسل حین دگرشکلی و اختلاط آب‌های جوی باشد.

### بحث و بررسی

پوسته‌ی نازک همخوانی دارد. به‌طوری که ساختارهای دگرشکلی در پهنه‌های برشی قاعده‌ای این برگه‌ها کاملاً شکننا بوده و تحلیل دمای دگرشکلی با استفاده از ماکل‌های کلسیت با دمای بسیار پائین دگرشکلی (در گستره‌ی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد یا کمتر) و نیز یک گرادیان دمایی ملایم از بخش درونی به بخش خارجی را نشان می‌دهد (جدول ۲). این داده‌ها با تحلیل ساختاری رورنده‌ها (شکل ۲)، که نشان‌دهنده‌ی عدم درگیری پی سنگ در دگرشکلی این رورنده‌هاست، همخوانی دارد. در بخش‌های داخلی‌تر زاگرس، لبه‌ی جنوب غربی پهنه‌ی ساختاری سندنچ- سیرجان و شمال شرقی

بررسی شرایط دمایی دگرشکلی رورنده‌ها در گستره‌ی مورد بررسی و در گذر از بخش درونی به بیرون کوهزاد زاگرس با ساختارهای دگرشکلی کانی‌های کوارتز و کلسیت و استفاده از شاره‌های درگیر نشان می‌دهد که به‌طور کلی دمای دگرشکلی در این بخش از زاگرس بالا نبوده و شرایط دگرشکلی تنها در بخش‌های داخلی‌تر (رورنده‌های بن و هفشجان) به شرایط درجه پائین دگرگونی نزدیک می‌شود. شرایط دگرشکلی در بخش‌های خارجی‌تر زاگرس (رورنده‌های فارسان-بازفت)، با شرایط دمایی دگرشکلی کمربندهای چین خورده- رانده‌ی



دارای اختلاف قابل ملاحظه‌ای نیستند. دمای دگرشکلی به‌طور عمومی از بخش داخلی به خارجی کاهش می‌یابد ولی تغییر ناگهانی در این راستا روی نمی‌دهد. شرایط دگرشکلی در حاشیه‌ی جنوب غربی پهنه‌ی ساختاری سنندج- سیرجان شبیه به این منطقه گذار از بخش داخلی به خارجی کوهزاد زاگرس است و با بخش‌های خارجی کوهزاد اختلاف چندانی ندارد. بر اساس این داده‌ها، به نظر می‌رسد که زاگرس مرتفع شرایط بخش خارجی یک کمربند چین خورده- رانده را با طبیعت نازک پوسته نشان می‌دهد در حالی که منطقه‌ی بین رورانده‌های بن و هفشجان که به‌عنوان حاشیه‌ی جنوب غربی پهنه‌ی ساختاری سنندج- سیرجان در نظر گرفته می‌شود ویژگی‌های یک گستره‌ی حدواسط را داراست. بنابراین رورانده- ی فارسان یا گسل اصلی معکوس زاگرس که به‌عنوان زمیندرز مرز برگه‌ی عربی با ایران مرکزی در نظر گرفته می‌شود چنین ویژگی را نداشته و انتقال از پهنه‌ی ساختاری سنندج- سیرجان به‌عنوان بخش داخلی به زاگرس مرتفع یا بخش خارجی کوهزاد زاگرس ناگهانی نبوده و به‌صورت پهنه‌ای انتقالی است که از یک سیستم رانده تشکیل شده که بطور جزئی پی سنگ نیز در آن درگیر می‌باشد.

#### مراجع

- [1] Coward M. P., "Balancing sections through inverted basins", Geological Society of London Special Publications 99 (1996) 51-77.
- [2] Hatcher R. D. Jr., "Confirmation of Thin-skinned Thrust Faulting in Foreland Fold-Thrust Belts and Its Impact on Hydrocarbon Exploration: Bally, Gordy, and Stewart, Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1966", American Association of Petroleum Geologists article 70034 (2007) 4 p.
- [3] Tozer R., Butler R.W.H., Corrado S., "Comparing thin-and thick-skinned thrust tectonic models of the Central Apennines, Italy", In: Bertotti, G., Schulmann, K., Cloetingh, S.A.P.L. (eds.), Continental collision and the tectono-sedimentary evolution of forelands, EGU Stephan Mueller Special Publication Series 1 (2002) 181-194.
- [4] Hubbert M.K., Rubey W., "Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting", Geological Society of America Bulletin 70 (1959) 115-205.
- [5] Müller W.H., Hsü K.J., "Stress Distribution in overthrusting slabs and mechanics of Jura

راندگی فارسان، ساختارهای دگرشکلی کوارتز و کلسیت شرایط دمایی بالاتری را نشان می‌دهند؛ با این شرایط دگرشکلی این رورانده مشابه انواع آن‌ها در کمربند چین خورده- رانده‌ی ستبر پوسته نیست. شرایط دمایی دگرشکلی در این بخش بیشتر مشابه شرایط گستره‌ی گذار از بخش داخلی به خارجی کوهزاد است که در آن پی‌سنگ نیز به‌طور محدود درگیر دگرشکلی می‌شود.

در گذار از راندگی‌های بخش‌های داخلی به خارجی کوهزاد زاگرس در منطقه‌ی بختیاری یک کاهش ملایم در دمای دگرشکلی دیده می‌شود ولی هیچ‌گونه جهش ناگهانی در دمای دگرشکلی در گذار از این راندگی‌ها مشاهده نمی‌شود (جدول ۲). این نشان‌دهنده پیوستگی ساختاری حاشیه‌ی جنوب غربی پهنه‌ی سنندج- سیرجان و کمربند چین خورده- رانده‌ی زاگرس در گذار از زاگرس مرتفع در منطقه‌ی بختیاری است. با این حال سنگ‌های با شرایط دگرشکلی بسیار پائین (کاتاکلاسیست) در گستره‌ی بین راندگی‌های بن و هفشجان از این قاعده پیروی نمی‌کنند (شکل ۳ ه) و شرایط و دمای دگرشکلی پائینتری را نشان می‌دهند. شواهد ساختاری و داده- های ژئوفیزیکی نشان می‌دهند که در این گستره‌ی یک سیستم راندگی دوگانه با سطح جدایش قاعده‌ای کم عمق گسترش یافته است. این سنگ‌های کاتاکلاسیستی در این سیستم راندگی محلی کم عمق، دگرشکل شده‌اند. همچنین در گستره‌ی راندگی بازفت افزایش خفیفی در دمای دگرشکلی نسبت به راندگی اردل و فارسان دیده می‌شود که با پیدایش دوباره‌ی ماکل‌های کلسیت نوع II در این پهنه گسلی مشخص می‌شود (جدول ۲). به نظر می‌رسد این تغییر که از روند عمومی کاهش دما به سمت جنوب غربی پیروی نمی‌کند، در اثر بیشتر شدن عمق پی سنگ در این گستره و یا درگیری جزئی پی سنگ در راستای این گسل ایجاد شده باشد (شکل ۲). با این حال باید توجه داشت که این افزایش دما بسیار خفیف بوده و سازوکار دگرشکلی در پهنه‌ی گسلی بازفت نیز کاملاً شکناست.

#### برداشت

بررسی زمین‌دماسنجی دگرشکلی در منطقه‌ی بختیاری واقع در منطقه‌ی گذار از بخش داخلی به خارجی کوهزاد زاگرس نشان می‌دهد که شرایط فیزیکی دگرشکلی در زاگرس مرتفع و حاشیه‌ی جنوب غربی پهنه‌ی ساختاری سنندج- سیرجان

- [15] Hirth G., Tullis J., "Dislocation creep regimes in quartz aggregates", *Journal of Structural Geology* 14 (1992) 145-159.
- [16] Burkhard M., "Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review", *Journal of Structural Geology* 15(1993) 351-368.
- [17] Hollister L. S., Burruss R. C., Henry D. L., Hendel E. M., "Physical conditions during uplift of metamorphic terranes as recorded by fluid inclusions", *Bulletin Societe France, Mineralogie Crystallographie* 102 (1979) 555-561.
- [18] Yonkee W.A., Parry W.T., Bruhn R.L., Cashman P.C., "Thermal models of thrust faulting: Constraints from fluid inclusion observations, Willard thrust sheet, Idaho-Utah-Wyoming thrust belt", *Geological Society of America Bulletin* 101 (1989) 304-313.
- [19] Shepherd T. J., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A practical guide to fluid inclusion studies", *Chapman & Hall* (1985) 239p.
- [20] Nemati M., Yassaghi A., Kamali M.R., "Geometry and Kinematics of thrust sheets in the High Zagros zone at Bakhtyari area, Iran", *Proceedings of 33rd International Geological Congress, Oslo* (2008) session STT-06.
- [21] Nemati M., Yassaghi A., "Structural characteristics of the transitional zone from internal to external parts of the Zagros orogen, Iran", *Asian Journal of Earth Sciences* 39 (2010) 161-172.
- [22] NIOC, "Geological Map of Iran, Sheet No. 4, South-West Iran", *National Iranian Oil Company, Exploration and Production Affairs* (1975), Scale 1:1,000,000.
- [23] Zahedi M., Samadian M., Tatevosian Sh., Amidi M., "Geological map of Esfahan", *Geological Survey of Iran* (1978), Scale 1:250,000.
- [24] Zahedi M., Vaezipour J., Rahmati Ilkhchi M., "Geological map of Shhrekord", *Geological Survey of Iran* (1993), Scale 1:250,000.
- [25] Ghasemi A., Hajhosseini A., Hosseini M., "Geological map of Chadegan", *Geological Survey and Mineral Exploration of Iran* (2006), Scale 1:100,000.
- [26] Davoudian A. R., Genser J., Dachs E., Shabanian N., "Petrology of eclogites from north of Shahrekord, Sanandaj-Sirjan Zone, Iran", *deformation*", *Rock Mechanics, Supplement* 9 (1980) 219-232.
- [6] Harris L. D., Milici R. C., "Characteristics of thin-skinned style of deformation in the southern Appalachians, and potential hydrocarbon traps", *U.S. Geological Survey Professional Paper* 1018 (1977) 40 p.
- [7] Gilotti J.A., Kumpulainen R., "1986, Strain softening induced ductile flow in the Särvi thrust sheet, Scandinavian Caledonides", *Journal of Structural Geology* 8 (1986) 441-455.
- [8] Yassaghi A., James P. R., Flottmann T., "Geometric and kinematic evolution of asymmetric ductile shear zones in thrust sheets, southern Adelaide Fold-Thrust Belt, South Australia", *Journal of Structural Geology* 22 (2000) 889-912.
- [9] Schmid S.M., "Microfabric studies as indicators of deformation mechanisms and flow laws operative in mountain building", In: Hsü, K.J. (Ed.), *Mountain Building Processes*, Academic Press, London (1982) 95-110.
- [10] Yassaghi A., James P. R., Flöttmann T., Winsor C. N., "P-T conditions and kinematics of shear zones from the southern Adelaide Fold-Thrust Belt, South Australia: insights into the dynamics of a deeply eroded orogenic wedge", *Australian Journal of Earth Sciences* 51 (2004) 301-317.
- [۱۱] مفیدی ا.، یساقی ع.، رحیمی ب.، "تحلیل کرنش و ریزساختار دانه‌های کوارتز در برآورد خاستگاه و شرایط دگرشکلی برگه‌های راندگی البرز شرقی"، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره ۱ (۱۳۸۶) ص ۳-۲۲.
- [12] O'Hara K.D., Haak A., "A fluid inclusion study of fluid pressure and salinity variations in the footwall of the Rector Branch thrust, North Carolina, U.S.A", *Journal of Structural Geology* 14 (1992) 579-589.
- [13] Webe J. C., Ferrill D.A., "Rodén-Tice, M.K., "Calcite and quartz microstructural geothermometry of low-grade metasedimentary rocks, Northern Range, Trinidad", *Journal of Structural Geology* 23 (2001) 93-212.
- [14] Ferrill D.A., Morris A.P., Evans M.A., Burkhard M., Groshong R.H. Jr, Onasch C.M., "Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer", *Journal of Structural Geology* 26 (2004) 1521-529.

Mineralogy and Petrology (2007) 21p., DOI 10.1007/s00710-007-0204-6.

[27] BP, "Geological Map of Isfahan", British Petroleum Company Ltd., Survey Branch (1963), Scale 1:250,000.

[28] Boyer S.E., Elliott D., "Thrust systems", American Association of Petroleum Geologists Bulletin 66 (1982) 1196-1230.

[29] Berberian M., "Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics", Tectonophysics, 241, 1995, p. 193-224.

[30] Stipp M., Stünitz H., Heilbronner R., Schmid S.M., "The eastern Tonale fault zone: a 'natural laboratory' for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 °C". Journal of Structural Geology 24 (2002)1861-1884.

[31] Hollister L.S., "Enrichment of CO<sub>2</sub> in fluid inclusions in quartz by removal of H<sub>2</sub>O during crystal-plastic deformation", Journal of Structural Geology 12 (1990) 895-901.

[32] McCaig A. M, Tritlla J., Banks D. A., "Fluid mixing and recycling during Pyrenean thrusting: evidence from fluid inclusion halogen ratios", Geochimica et Cosmochimica Acta 64 (2000) 3395-3412.