بازسازی محیط زمین‌شناسی سنگ مادر مجموعه‌های دگرگونی گل‌گهر، روتشون و خبر (جنوب باختر بافت، استان کرمان)

حسین فاتحی[1]* و حمید احمدی‌پور[2]

[1]دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
[2]دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۵/ ۰۹/ ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: ۰۵/ ۱۱/ ۱۳۹۵

چکیده

مجموعه‌های دگرگونی گل‌گهر، روتشون و خبر (در جنوب باختری بافت، استان کرمان)، جزیی از پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان و شامل تناوبی از سنگ‌های رسوبی دگرگون شده، متابازیت‌ها و آهک‌های ناخالص دگرگون شده هستند. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در این سنگ‌ها، اولین رخداد دگرگونی، با نخستین فاز دگرشکلی و جهت‌یابی کانی‌های مسکوویت، بیوتیت، گارنت، کوارتز و فلدسپات همراه بوده و یک برگوارگی، موازی با لایه‌بندی اولیه (S_0) ایجاد کرده است. رخداد دوم دگرگونی که با فاز دوم دگرشکلی همراه بوده، سبب ایجاد ریزچین‌ها و جهت‌یابی ترجیحی مسکوویت، بیوتیت، گارنت و آمفیبول و تشکیل برگوارگی S_2 شده است. اما رخداد دگرگونی سوم، به‌صورت پسرونده بوده است که رخدادهای دگرشکلی و دگرگونی رخ داده منطبق بر فاز کوهزایی سیمرین پیشین هستند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های رسوبی دگرگون شده منطقه، بیانگر منشأ شیلی برای این سنگ‌هاست. تطابق و تغییرات سنگ‌شناسی واحدها در ستون‌های چینه‌شناسی، از شمال باختر به سوی جنوب خاور منطقه، نشان می‌دهد که در کمپلکس گل‌گهر (بخش باختری منطقه)، سنگ‌های رسوبی تخریبی دگرگون شده، فراوانی قابل توجهی دارند. این بدان معنی است که سنگ‌های اولیه، در یک محیط کم ژرفا و آشفته تشکیل شده و همزمان با رسوب‌گذاری واحدهای تخریبی، ماگماهای بازیک نیز وارد حوضه رسوبی می‌شده‌اند. با گذشت زمان، به سوی خاور و در زمان تشکیل سنگ‌های مادر کمپلکس روتشون، حوضه رسوبی کمی ژرف‌تر شده و گهگاه لایه‌های آهکی در میان سنگ‌های تخریبی و گدازه‌ها نهشته می‌شده است. سپس، حوضه رسوبی ژرف‌تر و آرام‌تر شده یعنی در زمان رسوب‌گذاری سنگ‌های مادر مجموعه خبر، مقدار زیادی آهک در حوضه ته‌نشین و فعالیت‌های ماگمایی به کلی متوقف شده است. روابط چینه‌شناسی مجموعه‌های یاد شده نشان می‌دهد که در زمان تشکیل سنگ‌های اولیه آنها نیز، ابتدا سنگ‌های مجموعه گل‌گوهر نهشته شده و در ژرفای بیشتری قرار گرفته‌اند. به همین دلیل بالاترین درجه دگرگونی در بخش باختری منطقه (کمپلکس گل‌گهر و روتشون) و کمترین درجه دگرگونی در بخش خاوری منطقه (کمپلکس خبر) دیده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: پهنه سنندج- سیرجان، بافت، کمپلکس گل‌گهر، کمپلکس روتشون، کمپلکس خبر، فازهای دگرشکلی، سنگ‌های رسوبی دگرگون شده، متابازیت‌ها، آهک‌های ناخالص دگرگون شده.

***نویسنده مسئول:** حسین فاتحی
E-mail: hoseinfatehi61@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

نوع سنگ دگرگونی، بازتابی از ترکیب شیمیایی- کانی‌شناسی سنگ مادر و درجات دگرگونی است. بنابراین تغییرات سنگ‌شناسی یک مجموعه دگرگونی، افزون بر اینکه تغییرات ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ مادر را به نمایش می‌گذارد؛ نشان‌دهنده محیطی است که این سنگ‌ها در آن نهشته و سپس در اثر فرایندهای زمین‌شناسی متفاوت، دگرگون شده‌اند. چنانچه این مطالعات، با بررسی دقیق ستون‌های چینه‌شناسی مجموعه‌های دگرگونی و تطابق آن ستون‌ها در نقاط مختلف مجموعه و مطالعات ژئوشیمیایی همراه باشند؛ می‌توانند در بازسازی محیط تشکیل سنگ‌های اولیه، به خوبی مورد استفاده قرار گیرند. منطقه مورد مطالعه در این مقاله، بخشی از انتهای جنوب خاور پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان است که در جنوب استان کرمان جای گرفته است. از جمله مطالعات انجام شده روی بخش جنوبی پهنه سنندج- سیرجان می‌توان به مطالعات سبزه‌یی (۱۳۷۶) اشاره کرد. وی سنگ‌های دگرگونی منطقه مورد مطالعه را اجزای یک محیط رسوبی دانسته که در دوره زمانی پالئوزوییک زیرین تا اوایل مزوزوییک تشکیل شده‌اند. به‌طوری که این محیط‌ها، هم‌زمان دارای یکسری فعالیت‌های ماگمایی نیز بوده‌اند. سپس تحت تأثیر یک دگرگونی ایستایی قرار گرفته‌اند و در پی آن در طی فاز سیمرین پیشین دگرگونی اصلی رخ داده است. شفیعی بافتی (۱۳۷۹)، نیز به بررسی تکوین ساختاری و زمین‌ساختی سنگ‌های پالئوزوییک کمربند سنندج- سیرجان در منطقه خبر پرداخته است. وی دگرگونی نهشته‌های پالئوزوییک را مربوط به سیمرین آغازی می‌داند و بیان می‌کند که تأثیر رژیم زمین‌ساختی کششی در سیمرین میانی و عملکرد کوهزایی لارامید به عنوان شروع رژیم فشارشی همگی در این منطقه دیده می‌شود. هدف از این پژوهش، بازسازی محیط تشکیل سنگ‌های اولیه سه مجموعه دگرگونی گل‌گهر، روتشون و خبر است. برای دست‌یابی به این هدف، اطلاعات سنگ‌شناسی در صحرا و مقاطع نازک، با اطلاعات چینه‌شناسی حاصل از مطالعه دقیق ستون‌های چینه‌شناسی مجموعه‌های مورد نظر و اطلاعات ژئوشیمیایی سنگ‌ها، تلفیق شد تا در پایان تصویر روشن‌تری از وضعیت ابتدایی سنگ‌های دگرگونی این مجموعه‌ها به دست آید.

۲- روش مطالعه

به منظور بررسی سنگ‌های دگرگونی مورد مطالعه، مطالعات صحرایی در قالب پیمایش‌ها و اندازه‌گیری های دقیق ستون‌های چینه‌شناسی صورت گرفت. با توجه به گستردگی منطقه، ۱۶ سکشن برای پیمایش و مطالعه انتخاب شد. پس از گردآوری نمونه‌های جهت‌دار مورد نظر به روش سیستماتیک، ۱۵۰ مقطع نازک برای مطالعات سنگ‌نگاری، پتروفابریک و روابط دگرگونی- دگرشکلی انتخاب شد. سپس ۱۰ نمونه از واحدهای رسوبی مورد مطالعه برای تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا فرستاده شد و عناصر اصلی به روش ICP-MS (ME-ICP06) و عناصر فرعی و کمیاب به روش ICP-AES (ME-MS81) تجزیه شدند.

۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پهنه برشی- دگرگونی سنندج- سیرجان، در استان کرمان و در جنوب باختر شهرستان بافت قرار دارد و از سه کمپلکس دگرگونی اصلی گل‌گهر، روتشون و خبر تشکیل شده است (سبزه‌ئی، ۱۳۷۶؛ شکل ۱). کمپلکس دگرگونی گل‌گهر با تن رنگی چیره تیره، نسبت به دیگر کمپلکس‌ها، توپوگرافی پست‌تری

دارد. روی این واحدها، کمپلکس روتشون با تن رنگی چیره سرخ قهوه‌ای قرار گرفته است (شکل ۲- الف). کمپلکس دگرگونی خبر با تن رنگی چیره خاکستری روشن تا سفید، روی دو کمپلکس پیشین، جای دارد و بیشتر بخش‌هایی مرتفع را به خود اختصاص می‌دهد (سبزه‌ئی، ۱۳۷۶؛ شکل ۲- ب). همچنین در این منطقه، مجموعه‌های سنگی رسوبی و آذرین مربوط به مزوزوییک شامل کمپلکس‌های آب خاموش (Jf)، کاهدان (JKmt) و ده‌سرد (JKlv) و سنگ‌های رسوبی سنوزوییک نیز رخنمون دارند (سبزه‌ئی، ۱۳۷۶). کمپلکس دگرگونی گل‌گهر شامل تناوبی از سنگ‌های پلیتی، مافیکی و آهکی دگرگون شده است که توسط توده‌های نفوذی اسیدی دگرگون شده (متاگرانیتوییدها) قطع شده‌اند. کمپلکس دگرگونی روتشون شامل تناوبی از سنگ‌های پلیتی، آهکی- دولومیتی و مافیکی دگرگون شده است. کمپلکس دگرگونی خبر از آهک‌های نازک‌لایه همراه با میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های رسوبی ریزدانه دگرگون شده، تشکیل شده است. سنگ‌های پلیتی و کربناتی دگرگون شده شامل اسلیت، فیلیت، میکا شیست و مرمر هستند؛ در حالی که سنگ‌های مافیک منطقه، بیشتر از متابازالت تشکیل شده‌اند.

اسلیت‌ها با رنگ خاکستری تا سیاه به‌صورت لایه‌هایی با ستبرای متغیر (از ۰/۲ متر تا بیش از ۸۰ متر) در تناوب با دیگر واحدهای سنگی هستند و در بیشتر نقاط منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند. در این سنگ‌ها، رخ اسلیتی به روشنی و اشکال کینک‌باند و چین‌خوردگی دیده می‌شود (شکل ۲- پ). فیلیت‌های منطقه درشت‌تر هستند؛ فولیاسیون واضح‌تری دارند؛ در سطح فولیاسیون، جلای براق نشان می‌دهند و دارای کانی‌های ریز بیوتیت و مسکوویت هستند. همچنین ریزبلورهایی از گارنت به‌صورت تاول مانند روی سطح صاف سنگ دیده می‌شود (شکل ۲- ت). شیست‌ها به‌صورت لایه‌هایی با رنگ خاکستری روشن تا سبز روشن، بیشتر در بخش‌های باختری منطقه برونزد دارند. این سنگ‌ها دارای پورفیروبلاست‌های گارنت، بیوتیت و مسکوویت و شامل انواع بیوتیت‌شیست، مسکوویت‌شیست و بیوتیت گارنت شیست هستند. در برخی نمونه‌ها اندازه پورفیروبلاست‌های گارنت به ۱/۵ سانتی متر می‌رسد (شکل ۲- ث).

سنگ‌های مافیک دگرگون شده با رنگ خاکستری تیره متمایل به سیاه و سبز روشن تا تیره دیده می‌شوند. سنگ‌هایی که در پایین‌ترین درجات دگرگونی قرار دارند، ریز دانه هستند، شیستوزیته در آنها کمتر گسترش پیدا کرده (Arkai et al., 2000; Best, 1982) و آثار کانی‌شناسی سنگ مادر تا حدودی قابل تشخیص است؛ اما با پیشرفت درجه دگرگونی، سنگ‌ها درشت‌دانه‌تر می‌شوند (شکل ۲- ج) و شیستوزیته را به خوبی نشان می‌دهند.

۴- تشریح ستون‌های مطالعه شده در صحرا

در بسیاری نقاط از منطقه مورد مطالعه، توالی‌های پیوسته و منظمی از سنگ‌های رسوبی، سنگ‌های آذرین بازیک و سنگ‌های آهکی دگرگون شده وجود دارد. مطالعه این واحدها به‌طور منظم، عمود بر امتداد لایه‌ها و از سوی واحدهای کهن‌تر به سوی واحدهای جوان‌تر انجام گرفت. از آنجا که نیاز بود ارتباطات عمودی و جانبی واحدها تا حد امکان بررسی شود؛ بسیاری از ویژگی‌های صحرایی سنگ‌های موجود در هر کمپلکس، در قالب ستون‌های چینه‌شناسی مطالعه شد. با مطالعه این ستون‌ها، ضمن بررسی ویژگی‌های صحرایی واحدها، ارتباط آنها با یکدیگر، ستبرای واقعی آنها و تغییرات عمودی و جانبی واحدها مطالعه شد و در انتها یک تطابق چینه‌شناسی میان کمپلکس‌های موجود در مناطق مختلف برقرار شد. در این بخش به تشریح شماری از ستون‌های مطالعه شده پرداخته می‌شود که دارای کامل‌ترین سنگ‌شناسی هستند.

- ستون J: این ستون مربوط به واحدهای دگرگونی کمپلکس گل‌گهر (واحد بره کشان) در بخش مرکزی منطقه خبر بوده و موقعیت آن "۱۱ '۱۴ ° ۵۶ طول خاوری و "۱۸ '۴۵ ° ۲۸ عرض شمالی است (شکل ۳). این ستون با یک واحد متابازیت (با ستبرای ۳۰ متر) شروع می‌شود که توسط توده دیوریتی دگرگون شده قطع می‌شود؛ سپس یک واحد رسوبی دگرگون شده (میکاشیست) وجود دارد. ستبرای این واحد ۴۰ متر است. لایه ریزدانه فیلیت (با منشأ رسوبی)، با پورفیروبلاست‌های بیوتیت، مسکوویت و اکتینولیت و ستبرای ۱۵۰ متر، سومین واحد بخش ستون (شکل ۳؛ واحد سوم) و دارای رنگ واحد خاکستری متمایل به سبز است و در نمونه دستی برگوارگی نشان می‌دهد. این برگوارگی توسط بلورهای ریز بیوتیت و مسکوویت ایجاد شده است. پورفیروبلاست‌های اکتینولیت در واحدهای موجود در این ستون دیده می‌شوند که در مواردی، در سطح فولیاسیون قرار گرفته‌اند و جهت‌یافتگی نشان می‌دهند (شکل ۲- چ). واحد چهارم یک اسلیت دارای پورفیروبلاست‌های اکتینولیت با رنگ خاکستری تیره و ستبرای ۱۴۰ متر است. سپس یک واحد آمفیبول‌شیست قرار گرفته که احتمالاً سنگ آذرین بازیکی بوده که دگرگون شده است (شکل ۳). رنگ این واحد، خاکستری تیره و ستبرای آن ۳۵ متر است. واحد ششم یک واحد اسلیتی سبزرنگ با ستبرای ۱۸۰ متر است. در ادامه یک واحد فیلیتی قرار دارد که دارای پورفیروبلاست‌های بیوتیت، مسکوویت و اکتینولیت (با جهت‌های تصادفی) است. رنگ این واحد خاکستری روشن و ستبرای آن ۴۵ متر است. به سوی بالاتر (واحد هشتم)، یک واحد اسلیتی به رنگ خاکستری تیره با ستبرای ۱۷۰ متر رخنمون دارد. درون این واحد، پورفیروبلاست اکتیولیت دیده نمی‌شود؛ اما سنگ‌ها، دارای کلیواژ اسلیتی هستند و با ضربات چکش به آسانی جدا می‌شوند. واحد ۹، یک واحد فیلیتی ریزدانه با ستبرای ۵۰ متر است که پورفیروبلاست‌های شعاعی اکتینولیت دارد. سپس به سوی بالا، یک واحد آمفیبول‌شیست (واحد ۱۰) به رنگ خاکستری تیره تا سبز با ستبرای ۴۸ متر قرار گرفته است. این واحد دارای پورفیروبلاست‌های آمفیبول و رگه‌های کوارتز تراوشی است. واحد یازدهم، یک واحد اسلیتی خاکستری رنگ با ستبرای ۷۰ متر است. درون این واحد پورفیروبلاست‌های اکتینولیت به همراه رگه‌های کوارتز تراوشی دیده می‌شود (شکل ۳). از ویژگی‌های این واحد، کلیواژ اسلیتی است؛ به‌طوری که سنگ به آسانی با ضربات چکش متورق می‌شود. به سوی بالاتر در ستون مورد مطالعه، یک لایه آمفیبول‌شیست (واحد ۱۲) به رنگ خاکستری تیره تا سبز، با ستبرای ۳۵ متر دیده می‌شود. این واحد دارای برگوارگی کامل است. در متن سنگ، پورفیروبلاست‌های کوچک آمفیبول، بیوتیت و پلاژیوکلاز نیز دیده می‌شود و می‌تواند از دگرگونی یک سنگ آذرین بازیک (مانند گدازه بازالتی) ایجاد شده باشد. واحد سیزدهم، از یک لایه آهک دگرگون شده به رنگ سرخ قهوه‌ای و ستبرای ۲۵ متر تشکیل شده است. این لایه، دارای شکستگی‌های برشی زیادی است که بیشتر با کلسیت و در مواردی با کوارتز پر شده‌اند. این رگه‌های کلسیتی و کوارتزی احتمالاً پس از شرایط اوج دگرگونی تشکیل شده‌اند. به سوی بالا، یک واحد ستبر از سنگ‌های بازیک دگرگون شده به رنگ خاکستری تیره و ستبرای ۴۸۰ متر قرار گرفته است. در این واحد، سنگ‌ها کمی حالت توده‌ای پیدا کرده‌اند و در برخی بخش‌ها، شیستوزیته ضعیفی نیز دیده می‌شود. در سنگ‌های این واحد، پورفیروبلاست‌های ریز بیوتیت، گارنت، فلدسپار و آمفیبول وجود دارد و واحد مورد نظر را می‌توان آمفیبولیت نامید. درون این واحد تجمعاتی عدسی مانند (کمتر از ۱ متر) از بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول با بافت گرانولار دیده می‌شود که تفاوت بسیار مشخصی در اندزه دانه‌ها میان آنها و سنگ‌های آمفیبولیتی در برگیرنده دیده می‌شود (شکل ۲- خ). به نظر می‌رسد احتمالاً در بخش‌هایی از این واحد، محلول‌ها تمرکز بیشتری داشته‌اند و شرایط موضعی برای رشد بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول فراهم بوده که سبب درشت شدن این بلورها و بافت گرانولار آنها شده است. در این واحد متابازیتی، توده‌های نفوذی اسیدی دگرگون شده (متاگرانیتوییدها) تزریق شده‌اند که پورفیروبلاست‌های گارنت، بیوتیت و فلدسپار دارند. رنگ این واحد خاکستری روشن و مساحت آن ۲۰۰ متر مربع است. در این واحد جهت‌یابی ترجیحی بلورهای بیوتیت، فلدسپار و بیوتیت به‌صورت نوارهای ظریف، به روشنی دیده می‌شود و باندهایی متشکل از کانی‌های تیره (بیوتیت) و کانی‌های روشن (کوارتز و فلدسپار) در آنها تشکیل شده است (شکل ۲- ح). در این ستون واحدهای با درجه دگرگونی بالاتر (مانند واحد آمفیبولیتی و متاگرانیتوییدی در بخش بالایی ستون)، در ظاهر روی

واحدهایی با درجه دگرگونی کمتر قرار گرفته‌اند. این قرارگیری به دلیل عملکرد گسل‌های راندگی بسیاری است که در منطقه ایجاد و سبب شده‌اند که واحدهای کهن‌تر روی واحدهای جوان‌تر و با درجه دگرگونی کمتر قرار گیرند. وضعیت و محل این راندگی‌ها در ستون‌های مطالعه شده مشخص شده است. همچنین راندگی‌های یاد شده در نقشه زمین‌شناسی خبر توسط سبزه‌ئی (۱۳۷۶) نیز آورده شده‌اند. بررسی تغییرات جانبی واحدهای سنگی میان ستون J و ستون‌های مجاور آن، نشانگر چند موضوع است:

– گسترش واحدهای گنیسی در ستون J و نبود آنها در ستون مجاور (ستون A)، نشان می‌دهد که در بخش مرکزی منطقه خبر، از سوی جنوب خاور به سمت شمال باختر، درجه دگرگونی کمی افزایش یافته است.

– مقدار و ستبرای آهک‌های دگرگون شده، به سوی شمال باختر افزایش مشخصی نشان می‌دهند.

– مقدار و ستبرای سنگ‌های آذرین بازیک دگرگون شده به سوی شمال باختر کاهش یافته است.

– ستون C: این ستون، در واحدهای دگرگونی کمپلکس گل‌گهر (واحد بره‌کشان) و کمپلکس روتشون در جنوب روستای قلعه خم (جنوب خاور سیرجان) با موقعیت "۱۹ ′۵۸ °۵۵ طول خاوری و "۲۶ ′۵۶ °۲۸ عرض شمالی جای گرفته است.

پایین‌ترین بخش ستون C را، یک واحد آمفیبولیتی (احتمالاً گدازه بازی دگرگون‌شده) به رنگ سبز متمایل به سفید و با ستبرای ۱۰۰ متر تشکیل می‌دهد که توسط توده نفوذی گابرویی دگرگون شده (متا گابرو) و توده‌های نفوذی اسیدی دگرگون شده (متاگرانیتوئید) قطع شده‌اند. این آمفیبولیت‌ها پورفیروبلاست‌های درشتی از گارنت، آمفیبول و پلاژیوکلاز دارند (شکل ۲– ج). در این سنگ‌ها خطوارگی ناشی از جهت‌یابی ترجیحی بلورها به‌صورت باندهای تیره و روشن دیده می‌شوند. در نمونه دستی، متاگرانیتوئیدها دارای پورفیروبلاست‌هایی از بیوتیت و فلدسپار هستند. به صف‌شدگی و جهت‌یابی ترجیحی بلورها سبب گسترش برگوارگی و خطوارگی واضحی در این واحدها شده است. همچنین چشم‌هایی از فلدسپار بافت چشمی را در این نمونه‌ها به نمایش می‌گذارد (شکل ۲– د). واحد دوم به سوی بالاتر، یک واحد شیستی با ستبرای ۴۵ است که در نمونه دستی درشت‌بلورهای بیوتیت و گارنت دارد. در ادامه نیز یک واحد آمفیبولیتی به رنگ سبز متمایل به سفید و ستبرای ۱۶۰ متر رخنمون دارد که دارای پورفیروبلاست‌های درشتی از آمفیبول و پلاژیوکلاز بوده و توسط متاگرانیتوئیدها قطع شده است. واحد چهارم یک شیست است که پورفیروبلاست‌های ریزی از بیوتیت، مسکوویت و گارنت دارد. رنگ این واحد خاکستری روشن تا سفید، ستبرای آن ۱۰ متر و برگوارگی و خطوارگی از ویژگی این واحد است. سپس، واحد پنجم پدیدار می‌شود که دوباره یک آمفیبولیت متشکل از پورفیروبلاست‌های تقریباً هم‌بعد پلاژیوکلاز و آمفیبول است. رنگ این واحد سبز متمایل به خاکستری و ستبرای آن ۱۰ متر است (شکل۳). در ادامه، واحد ششم قرار دارد که یک واحد آهکی دگرگون شده با ستبرای ۱۰ متر است و در نمونه دستی آن بلورهای کلسیت دیده می‌شود.

به سوی بالاتر ستون، تناوبی از واحدهای آذرین بازیک دگرگون شده (آمفیبولیت‌ها) و واحدهای رسوبی دگرگون شده دیده می‌شود؛ تا کمپلکس دگرگونی روتشون که با یک مرز گسلی روی واحدهای کمپلکس گل‌گوهر قرار گرفته است. آمفیبولیت‌ها در واحد ۷، دارای پورفیروبلاست‌های درشت آمفیبول و پلاژیوکلاز هستند؛ رنگ این واحد سبز متمایل به سفید و ستبرای آن ۴۰ متر است. در برخی بخش‌های این واحد، نوارهایی تیره و روشن متشکل از کانی‌های آمفیبول و فلدسپار دیده می‌شود. واحد هشتم، واحد رسوبی دگرگون شده درشت‌دانه (شیست) با ستبرای ۱۰ متر است. واحد نهم یک آمفیبولیت به ستبرای ۴۵ متر با ویژگی‌هایی همانند واحد هفتم است (شکل ۳). از این بخش ستون به بالا، واحدهای دگرگونی کمپلکس روتشون با یک مرز گسلی، روی واحدهای گل‌گهر قرار گرفته‌اند و با تن رنگی سرخ تا قهوه‌ای مشخص می‌شوند (شکل ۲– الف).

اولین واحد روتشون (واحد دهم) یک آهک به رنگ سرخ قهوه‌ای با ستبرای ۴۰ متر است (شکل ۳). این واحد، شواهد دگرگونی و تبلور دوباره نشان می‌دهد و دارای بلورهای ریز کلسیت است. چین‌خوردگی و ریزچین‌های بسیار، درون این واحد دیده می‌شود. به سوی بالا، دوباره یک واحد آمفیبولیتی (واحد ۱۱) به رنگ خاکستری تیره و با ستبرای ۱۰۰ متر وجود دارد. این نمونه‌ها بیشتر حالت توده‌ای دارند؛ در برخی بخش‌ها شیستوزیته ضعیفی به‌صورت نوارهای تیره و روشن نشان می‌دهند و از پورفیروبلاست‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند. سپس دوباره، واحد آهکی سرخ قهوه‌ای (واحد ۱۲) با ستبرای ۵۰ متر و واحد آمفیبولیتی (واحد ۱۳) به رنگ خاکستری تیره و ستبرای ۶۰ متر رخنمون دارند. درون این واحد، لایه‌های نازکی از آهک و در آن، پورفیروبلاست‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول دیده می‌شود. بالاترین بخش ستون مورد مطالعه را یک واحد آهک خاکستری رنگ با ستبرای ۸۰ متر تشکیل می‌دهد، این آهک نیز متبلور و دارای بلورهای کلسیت است (شکل ۳).

– ستون F: این ستون مربوط به واحدهای دگرگونی کمپلکس روتشون و کمپلکس خبر است و در جنوب خاور روستای روتشون با موقعیت "۱۹ ′۱۹ °۵۶ طول خاوری و "۳۹ ′۳۹ °۲۸ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۲– ب). در بخش پایین این ستون واحدهای اسلیتی، آهکی و فیلیتی کمپلکس روتشون و در بخش بالا، واحدهای آهکی با میان‌لایه‌هایی از اسلیت‌های کالک‌سیلیکاتی کمپلکس خبر قرار دارند. پایین‌ترین بخش ستون مورد مطالعه را یک واحد رسوبی ریزدانه دگرگون‌شده (اسلیت) با رنگ سبز روشن به ستبرای ۱۰۰ متر تشکیل می‌دهد (شکل ۳). سنگ‌های این واحد ریزدانه هستند و در آنها بلور درشتی تشخیص داده نمی‌شود. کلیواژ اسلیتی و ورقه‌ورقه شدن، از ویژگی‌های این واحد است. واحد دوم از یک لایه آهکی به رنگ سرخ قهوه‌ای به ستبرای ۸۰ متر تشکیل شده است. این آهک‌ها نیمه‌متبلور هستند و در آنها بلورهای کلسیت قابل تشخیص است. وجود ریزچین‌ها و رگه‌های کلسیتی، از ویژگی‌های این واحد آهکی است. سپس یک واحد فیلیتی (واحد سوم) به رنگ خاکستری متمایل به سبز و ستبرای ۹۰ متر قرار دارد. لایه‌های نازکی از سنگ‌های آهکی درون این واحد دیده می‌شود. این نمونه‌ها ریزدانه هستند و در آنها ریزبلورهای مسکوویت و بیوتیت دیده می‌شود. در این سنگ‌ها، برگوارگی و کینک‌باند به خوبی گسترش پیدا کرده است (شکل ۲– ذ). از این بخش از ستون به سوی بالا، واحد آهکی دگرگون شده متعلق به کمپلکس خبر دیده می‌شود که با یک تماس گسلی، روی واحدهای کمپلکس روتشون قرار گرفته است (شکل ۳). کمپلکس خبر از یک واحد آهکی دگرگون شده خاکستری تا کرم رنگ (واحد چهارم) به ستبرای ۱۱۰ متر همراه با میان‌لایه‌هایی از اسلیت‌های کالک‌سیلکاتی ریزدانه سبز رنگ تشکیل شده است (شکل ۲– ر). آهک‌ها در کمپلکس خبر، رنگ خاکستری روشن متمایل به کرم دارند و با تن رنگی روشن، مشخص می‌شوند؛ در حالی که در کمپلکس روتشون، آهک‌ها بیشتر رنگ سرخ قهوه‌ای دارند. سنگ‌های کالک‌سیلیکاتی در کمپلکس خبر، بسیار ریزدانه هستند و در حد درجات پایین رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند و در آنها بلور درشتی قابل تشخیص نیست. نبود واحدهای آذرین دگرگون شده و گسترش واحدهای آهکی در این کمپلکس، نشان می‌دهد که در زمان تشکیل سنگ‌های اولیه، آرامش نسبی بر حوضه رسوبی حاکم شده و تنها تغییرات کمی در ژرفای آب دریا رخ داده است که حاصل آن تناوب آهک‌های نازک‌لایه و آهک‌های توده‌ای در بخش‌هایی بالایی ستون است. شکل ۳ جانمایی ستون‌های مطالعه شده در صحرا را روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

۵– سنگ‌نگاری

بر پایه مطالعات میکروسکوپی، در اسلیت‌ها و فیلیت‌های ریزدانه، لایه‌بندی اولیه (S_0) به خوبی مشهود است و به‌صورت تناوب لایه‌های روشن غنی از کوارتز و فلدسپار و تیره غنی از کلریت، مسکوویت و گرافیت خود را نشان می‌دهد. اولین دگرشکلی (D_1) در این سنگ‌ها، با ایجاد کلیواژ اسلیتی (S_1) تظاهر کرده و یک

برگوارگی واضح، به موازات لایه‌بندی اولیه شکل داده است. این برگوارگی (S_1) در سنگ‌های مورد نظر به وسیله کانی‌های کوارتز، فلدسپار، کلریت، کانی‌های کدر و گرافیت تعریف می‌شود که در اثر دگرشکلی کشیده شده و جهت‌یابی پیدا کرده‌اند. افزون بر این، در این شیستوزیته کانی‌های جدیدی شامل مسکوویت، بیوتیت و گارنت نیز ایجاد شده‌اند (شکل ۴- الف). شیست‌های منطقه، شامل مسکوویت‌شیست، بیوتیت‌شیست و بیوتیت‌گارنت‌شیست هستند. پاراژنز کانیایی این سنگ‌ها شامل بیوتیت، مسکوویت، گارنت، کوارتز و فلدسپار هستند. کانی‌های زیرکن، تورمالین، کلریت و کانی‌های کدر از فازهای فرعی موجود در این نمونه‌ها به شمار می‌روند. دگرشکلی بعدی (D_2)، سبب گسترش شیستوزیته S_2 شده و طی آن، ریزچین‌های منظمی در برگوارگی S_1 ایجاد شده است. در سنگ‌های حاصل، تنها بقایایی از شیستوزیته S_1 با جهتی متفاوت در میان شیستوزیته S_2 دیده می‌شود (شکل ۴- ب). بافت غالب این سنگ‌ها، گرانولپیدوبلاستیک و نماتوبلاستیک است. البته سنگ با درشت شدن اندازه بلورها، بافت گرانوبلاستیک نشان می‌دهد که ناشی از افزایش درجات دگرگونی است (شکل ۴- پ).

سنگ‌های مافیک دگرگون شده شامل آمفیبول‌شیست، اپیدوت‌آمفیبولیت و آمفیبولیت هستند. این سنگ‌ها پاراژنز کانیایی کلریت، اپیدوت، اکتینولیت، بیوتیت و پلاژیوکلاز دارند. وجود مقدار زیاد اکتینولیت، کلریت و اپیدوت که گاه بیش از ۷۰ درصد حجمی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند و نشانه مقادیر بالای آهن و منیزیم در سنگ اولیه هستند، به همراه گسترش برگوارگی ضعیف در این سنگ‌ها نشان می‌دهد که سنگ منشأ آنها به احتمال بسیار زیاد، سنگ‌های آذرین بازیک، مانند بازالت و یا معادل درونی آن بوده است. پورفیروبلاست‌های گارنت در سنگ‌های آذرین بازیک دگرگون شده کمپلکس گل‌گهر به‌طور معمول دیده می‌شوند (شکل ۴- ت)؛ اما در سنگ‌های مافیک کمپلکس روتشون وجود ندارند. سنگ‌هایی با پایین‌ترین درجات دگرگونی، شیستوزیته ضعیفی دارند و در این نمونه‌ها بلورهای اپیدوت و کلریت به جای کانی‌های فرومنیزین قدیمی و کلریت، کلسیت و سریسیت بجای بلورهای فلدسپار متبلور شده‌اند. با افزایش درجه دگرگونی، شیستوزیته در این سنگ‌ها گسترش بیشتری می‌یابند؛ بلورهای آمفیبول، بیوتیت و فلدسپار به موازات شیستوزیته سنگ جهت‌گیری می‌کنند و سبب ایجاد بافت نواری به‌صورت تناوبی از باندهای تیره و روشن در سنگ می‌شوند (شکل ۴- ث).

سنگ‌های متاگرانیتوییدی موجود در کمپلکس گل‌گوهر، در زیر میکروسکوپ دارای پاراژنز کانیایی فلدسپار آلکالن، پلاژیوکلاز، گارنت، کوارتز، مسکوویت، بیوتیت، کلریت و اپیدوت هستند. بلورهای فلدسپار پتاسیم موجود در این سنگ‌ها دو گروه هستند. گروه اول فلدسپارهای درشتی هستند که به احتمال زیاد به سنگ مادر تعلق دارند و در اثر دگرسانی، در حال تبدیل به ریزبلورهای مسکوویت هستند (شکل ۴- ج). گروه دیگر فلدسپارها ریزبلور هستند و در اثر واکنش‌های دگرگونی به وجود آمده‌اند و به شکل‌های ارتوز پرتیتی و یا میکروکلین دیده می‌شوند. در این سنگ‌ها، با افزایش درجه دگرگونی اندازه پورفیروبلاست‌ها درشت‌تر می‌شود و بافت گرانوبلاستیک در سنگ پدید می‌آید (شکل ۴- چ). گارنت‌های موجود در واحدهای پلیتی و مافیکی یاد شده، از اندازه‌های ریز تا درشت (با بیشینه قطر ۱/۵ سانتی‌متر) حضور دارند و دارای دربرداری‌های فراوانی از کوارتز و کانی‌های کدر هستند. این پورفیروبلاست‌های گارنت به همراه دیگر پورفیروبلاست‌ها، در طی مراحل مختلف دگرگونی و دگرشکلی رشد کرده‌اند. رشد این پورفیروبلاست‌ها با توجه به ارتباط آنها با ریزساختارها به‌صورت همزمان با، پیش و پس از دگریختی صورت گرفته است. در مناطق مشابه در دنیا نیز این کانی در مراحل مختلف دگرشکلی ایجاد می‌شود و هر کدام بافت و شیمی خاص خود را دارند (Bheemalingeswara and Tadesse, 2009).

۶- توصیف مراحل دگریختی در مجموعه‌های مورد مطالعه

سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، تحت تاثیر چند مرحله دگرگونی و دگریختی قرار گرفته‌اند.

۶- ۱. دگریختی مرحله اول

برگوارگی نسل اول (S_1)، محصول دگریختی مرحله اول (D_1) است که با جهت‌یابی کانی‌های مسکوویت، بیوتیت، گارنت و مسطح شدن بلورهای کوارتز و فلدسپار در اثر دفن شدن رسوبات اولیه شروع شده و در بیشتر موارد موازی با لایه‌بندی اولیه است. سپس با پیشرفت دگرشکلی، کانی‌ها درشت‌تر شده و پورفیروبلاست‌های گارنت تشکیل شده‌اند؛ در بخش میکرولیتون کلیواژها دیده می‌شوند و نسبت به برگوارگی نسل دوم، سایه فشاری متقارن دارند (شکل ۴- ح). در این مرحله، چین‌خوردگی‌هایی نیز ایجاد شده است؛ اما دیدن این چین‌های نسل اول در بیشتر موارد، تنها در طرح‌های تداخلی آنها با چین‌های مراحل بعدی دگریختی امکان‌پذیر است.

۶- ۲. دگریختی مرحله دوم

دگریختی مرحله دوم (D_2)، در سنگ‌های منطقه بیشترین تأثیر را دارد و قوی‌ترین دگریختی به شمار می‌رود. در این مرحله، برگوارگی نسل دوم (S_2)، با ایجاد شیستوزیته به موازات سطح محوری چین‌ها گسترش می‌یابد؛ با رشد کانی‌های بیوتیت، مسکوویت و گارنت مشخص می‌شود و از نوع برگوارگی کنگره‌ای پیوسته، متقارن، نامتقارن و فاصله‌دار است (شکل ۴- ب). چین‌خوردگی نسل دوم به‌صورت چین‌های متوسط تا ریزمقیاس و در اثر دوباره چین خوردن سطح محوری چین‌های مرحله اول ایجاد شده است.

۶- ۳. دگریختی مرحله سوم

عملکرد این فاز دگرشکلی سبب جهت‌یابی ترجیحی بلورها در امتداد پهنه‌های برشی شده و برگوارگی محلی S_3 را شکل داده است. در مواردی نیز، این برگوارگی موازی برگوارگی S_2 تشکیل شده است. این برگوارگی به وسیله پهن‌شدگی دانه‌های کوارتز و فلدسپار و قرارگیری و مرتب شدن مسکوویت‌های اولیه در پیرامون این پورفیروبلاست‌ها خود را نشان می‌دهد. همچنین این فاز دگرشکلی به‌صورت ساختارهای میلونیتی، سطوح $S - C$ و C'، میکاهای ماهی‌شکل، ایجاد ساختار قفسه‌کتابی و کینک‌باند در بلورها، شکستگی، بودینه شدن و چین‌خوردگی رگه‌های کوارتز تراوشی و کلسیتی، عدسی شدن بلورهای پلاژیوکلاز، کوارتز یا گارنت یا همه این بلورها با هم در زمینه‌ای ریزبلور (پورفیروبلاست‌های پوششی σ یا δ) و ایجاد دگرسانی و کرونا در پیرامون پورفیروکلاست‌ها در سنگ‌های منطقه دیده می‌شود (شکل ۴- خ).

۶- ۴. دگریختی مرحله چهارم

این مرحله دگریختی پس از یک دوره فرسایش و رسوب‌گذاری (پس از مراحل D_1 تا D_3) بر مجموعه‌های سنگی منطقه اثر کرده و سبب ایجاد گسل‌های عادی، وارون و امتدادلغز شده است. اثرات آن به‌صورت ایجاد دره‌های پرشیب، تغییر جهت شیب و امتداد لایه‌ها و شکستگی و خردشدگی واحدهای یاد شده دیده می‌شوند (شکل ۵).

با وجود مراحل مختلف دگریختی که روی مجموعه‌های مورد مطالعه تأثیر گذاشته‌اند؛ بررسی دقیق ساختارها در سنگ‌ها به همراه ارتباط آنها در رخنمون‌های مختلف در هر مجموعه و سپس تطابق دگریختی‌ها میان مجموعه‌های گل‌گهر، روتشون و خبر نشان می‌دهد که این مجموعه‌ها، سری‌های اولیه کم‌وبیش پیوسته رسوبی و آذرینی را به نمایش می‌گذارند که پس از تشکیل، تحت تأثیر دگرشکلی‌های مختلف قرار گرفته‌اند؛ اما از آنجایی که در ژرفاهای متفاوتی قرار داشته‌اند؛ درجات دگرگونی در آنها تفاوت‌های کمی نشان می‌دهد؛ به‌طوری که درجه دگرگونی در مجموعه گل‌گهر کمی بالاتر است و مجموعه خبر، کمترین شدت را نشان می‌دهد. اما قرارگیری این مجموعه‌ها به‌طور پیوسته روی یکدیگر که در ستون‌های مطالعه شده نیز به خوبی روشن است و همچنین تطابق واحدهای آنها نشان می‌دهد که این مجموعه‌ها در ابتدا به یک حوضه رسوب‌گذاری تعلق داشته‌اند و مراحل دگرشکلی، در ژرفاهای مختلف سبب ایجاد تفاوت‌هایی در ساختارها و شدت دگرشکلی آنها شده است.

۷- ژئوشیمی

برای تعیین و تشخیص نوع سنگ مادر در محیط‌های دگرگونی، می‌توان از

بررسی‌های صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و معیارهای ژئوشیمیایی استفاده کرد. اما در این میان ترکیب شیمیایی سنگ کل یکی از مهم‌ترین معیارها برای تعیین سنگ منشأ به شمار می‌آید (Suk, 1983). در این بخش به چندین فاکتور از معیارهای ژئوشیمیایی پرداخته می‌شود که برای تعیین سنگ منشأ استفاده می‌شوند:

۱) استفاده از تابع تشخیص شاو (DF) که به‌صورت زیر به دست می‌آید (Shaw, 1972):

$$DF= 10.44- 0.21\ SiO2- 0.32\ Fe_2O_3t - 0.98\ MgO+ 0.55\ CaO + 1.46\ Na_2O + 0.54\ K_2O$$

مقدار مثبت DF نشانگر سنگ مادر آذرین و مقدار منفی آن، بیشتر مشخصه سنگ‌های رسوبی دگرگون شده است. وجود مقادیر مثبت و منفی برای عده‌ای از سنگ‌های دگرگونی، نشان‌دهنده اختلاط منشأ رسوبی و آذرین است. مقادیر DF برای متاپلیت‌های مورد مطالعه میان ۰/۷۵- تا ۷/۲۶- در تغییر است.

۲) استفاده از عناصر فرعی و تغییرات آن در مقایسه با سنگ‌های رسوبی و آذرین (Castro et al., 1996; Evans and Leake, 1956; Engel and Engel, 1951; Leake, 1964).

۳) استفاده از درصد نورماتیو کوارتز به‌گونه‌ای که درصدهای کمتر از ۳۰ درصد نشانگر منشأ آذرین و درصدهای ۳۰ تا ۴۰ درصد نشان‌دهنده سنگ‌های رسوبی دگرگون شده هستند (Kamp et al., 1976). درصد کوارتز در متاپلیت‌های مورد بررسی عموماً بیش از ۳۰ درصد است.

برای پی بردن به سنگ مادر سنگ‌های دگرگونی مورد مطالعه، ۱۰ نمونه از سنگ‌های رسوبی دگرگون شده منطقه مورد تجزیه شیمیایی سنگ کل قرار گرفت که شامل ۴ نمونه از مجموعه گل‌گهر، ۵ نمونه از روتشون و ۱ نمونه از خبر است (جدول ۱). تجزیه‌های شیمیایی این سنگ‌های رسی- نیمه‌رسی در منطقه، درصد وزنی متوسط Na_2O را ۲/۳۶ و K_2O را ۳/۱ نشان می‌دهد (جدول ۱). اینها از ویژگی‌های سنگ‌های رسی است؛ به‌ویژه سنگ‌هایی که دارای مقادیر زیادی ایلیت و مونت‌موریلونیت هستند (Mason and Moore, 1982).

در نمودار Garrles and Mackenzie (1972) بیشتر نمونه‌ها در محدوده شیل و ماسه‌سنگ قرار می‌گیرند (شکل ۶- الف). همچنین در نمودار De La Roche (1996) تمرکز نمونه‌ها در پیرامون محدوده شیلی قابل توجه است (شکل ۶- ب) و در نمودار Petti Jone et al. (1972) برخی نمونه‌های شیلی به دلیل کمبود Na_2O نسبت به K_2O، در محدوده لگاریتمی منفی قرار می‌گیرند (شکل ۶- پ). این نمودار نشان می‌دهد که پروتولیت سنگ‌های اسلیت، فیلیت و میکاشیست در منطقه، گری‌وک‌ها و لیتارنایت‌هایی بوده‌اند که میزان K_2O در آنها بیشتر از Na_2O است. همچنین در نمودار Herron (1988) نمونه‌ها در محدوده شیل و گری‌وک قرار می‌گیرند (شکل ۶- ت).

۸- بازسازی محیط تشکیل سنگ‌های مورد مطالعه

بررسی‌های دقیق صحرایی کمپلکس‌های گل‌گهر، روتشون و خبر و ارتباطات عمودی و جانبی واحدهای موجود در آنها که در قالب مطالعه ستون‌ها صورت گرفت (شکل ۶)؛ بیانگر موارد زیر است:

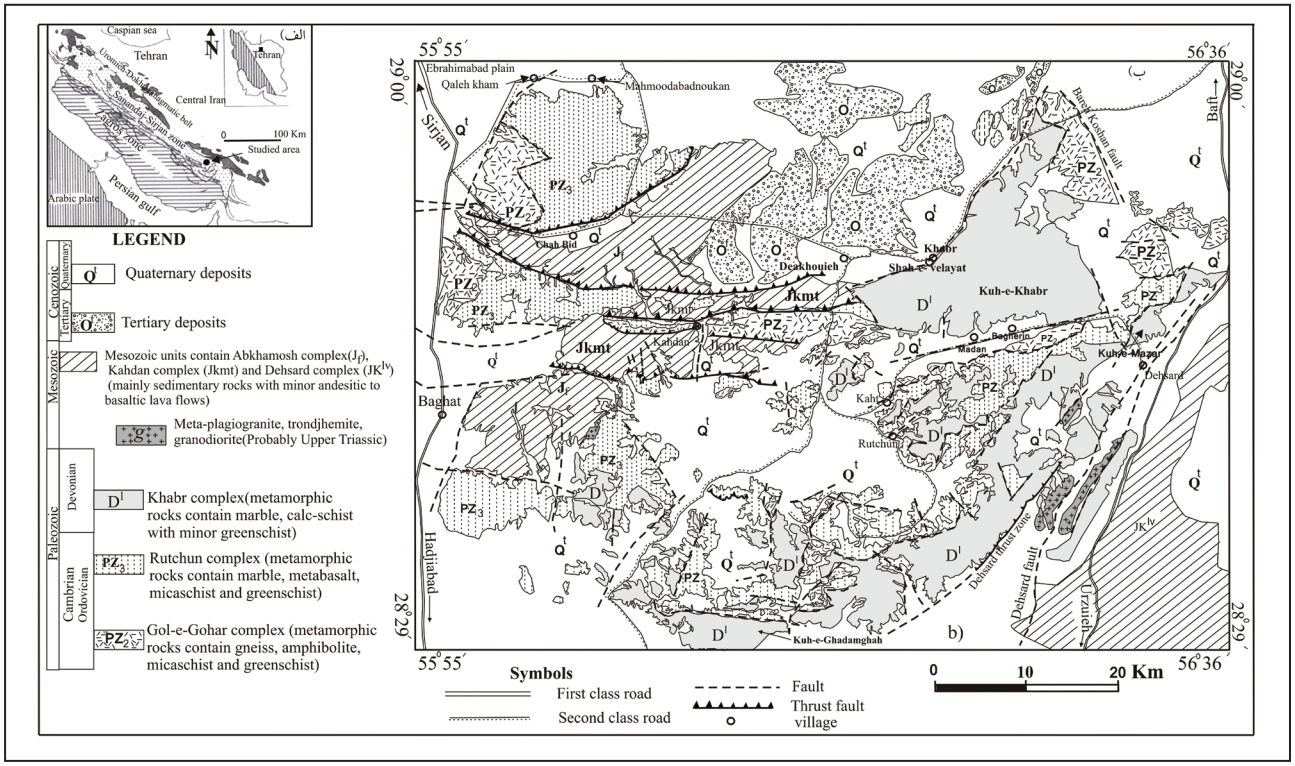
کهن‌ترین کمپلکس، یعنی کمپلکس گل‌گهر دارای بیشترین مقدار سنگ‌های رسوبی تخریبی دگرگون شده، یعنی سنگ‌های رسی دگرگون شده است و این نشان می‌دهد که سنگ‌های اولیه این کمپلکس، در یک محیط رسوبی نه چندان ژرف تشکیل شده‌اند. محیط مورد نظر، محیطی آشفته است که همزمان با رسوب‌گذاری واحدهای تخریبی، از زیر نیز مورد هجوم ماگماهای بازیک قرار گرفته و همین فرایندها، سبب شده است که تناوبی از سنگ‌های رسوبی و آذرین در این حوضه پرتکاپو به وجود آید. هر چند که گاه مقدار رسوبات بیشتر شده است و گاهی نیز فعالیت های آذرین پیشی گرفته‌اند. حضور سنگ‌های متاپلیتی و آمفیبول شیست‌های امروزی نشان‌دهنده همان سکانس رسوبی- آذرین در آن حوضه رسوبی است.

با گذشت زمان و با رسوب‌گذاری واحدهای مربوط به کمپلکس جوان‌تر، یعنی کمپلکس روتشون، حوضه رسوبی کمی ژرف‌تر شده و گهگاه، لایه‌های آهکی در میان سنگ‌های تخریبی و گدازه‌ها نهشته شده است؛ اما حوضه رسوبی همچنان پرتکاپو بوده و ژرفای آب به‌طور متناوب و مرتب تغییر کرده است. در هر صورت، هنوز فعالیت‌های آذرین با قدرت ادامه داشته است و وجود مقدار زیادی آمفیبول‌شیست و آمفیبولیت نشان از ماگماتیسم بازیک (احتمالاً بازالت) به همراه رسوب‌گذاری در آن زمان دارد. با گذشت زمان، به نظر می‌رسد که حوضه رسوبی ژرف‌تر و آرام‌تر شده و مقدار زیادی آهک در حوضه رسوب‌گذاری ته‌نشین شده است. در همین زمان، فعالیت‌های آذرین نیز به تدریج کاهش می‌یابد و نوبت به کمپلکس جوان‌تر، یعنی کمپلکس خبر می‌رسد. در زمان تشکیل سنگ‌های اولیه این کمپلکس، حوضه رسوبی ژرفای بیشتر و آرامش نسبی داشته و در آن، تنها رسوبات کربناته به همراه مقدار کمی سنگ‌های پلیتی نهشته می شده است و به هیچ عنوان اثری از فعالیت‌های ماگمایی دیده نمی‌شود. به همین دلیل ستون‌های مطالعه شده در کمپلکس خبر، تنها شامل سنگ‌های آهکی دگرگون شده و مقدار بسیار کمی سنگ‌های رسی دگرگون شده است. همچنین تطابق چینه‌شناسی واحدها و تغییرات جانبی آنها در کمپلکس‌های گل‌گهر، روتشون و خبر که از سوی شمال باختر به سوی جنوب خاور منطقه انجام شده و در شکل ۷ به نمایش گذاشته است؛ نشان می‌دهد که در زمان تشکیل پی‌سنگ اولیه این کمپلکس‌ها، با فرونشینی مداوم کف حوضه رسوبی و ورود رسوبات به درون آن، ابتدا سنگ‌های اولیه کمپلکس گل‌گهر در بخش‌هایی پایین‌تر نهشته شده‌اند؛ سپس سنگ‌های اولیه کمپلکس روتشون روی آنها تشکیل شده و آن گاه، آهک‌های سازنده کمپلکس خبر روی مجموعه‌های قبلی رسوب کرده‌اند. این ترتیب قرارگیری کمپلکس‌ها، با سن تشکیل پی‌سنگ اولیه آنها نیز همخوانی دارد. همچنین تغییرات جانبی واحدها در کمپلکس‌های یاد شده نشان می‌دهد که با توجه به ژرفای قرارگیری کمپلکس‌های یاد شده، درجه دگرگونی نیز در این کمپلکس‌ها متفاوت بوده و از باختر به خاور منطقه کاهش یافته است. به‌طوری که بیشترین درجه دگرگونی در باختری‌ترین بخش منطقه، مربوط به کمپلکس‌های گل‌گهر و روتشون و کمترین درجه دگرگونی در خاوری‌ترین بخش منطقه مربوط به کمپلکس خبر است. وضعیت و موقعیت فعلی مجموعه‌های گل‌گوهر، روتشون و خبر در منطقه مورد مطالعه حاصل عملکرد گسل‌های راندگی بسیاری است که سبب شده حالت اولیه این مجموعه‌ها تغییر کند. همچنین تغییرات سنگ‌شناسی در کمپلکس‌های یاد شده از باختر به خاور نشان می‌دهد که در بخش‌های باختری بیشتر واحدها نازک‌لایه هستند؛ اما به سوی خاور، ستبرای واحدها بیشتر می‌شود و بیشتر واحدهای آهکی ستبرلایه ته‌نشست کرده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که در زمان ته‌نشست اولیه واحدها در کمپلکس خبر، حوضه رسوبی ژرف بوده و آرامش نسبی برای ته‌نشست لایه‌های ستبر آهکی داشته است.

۹- نتیجه‌گیری

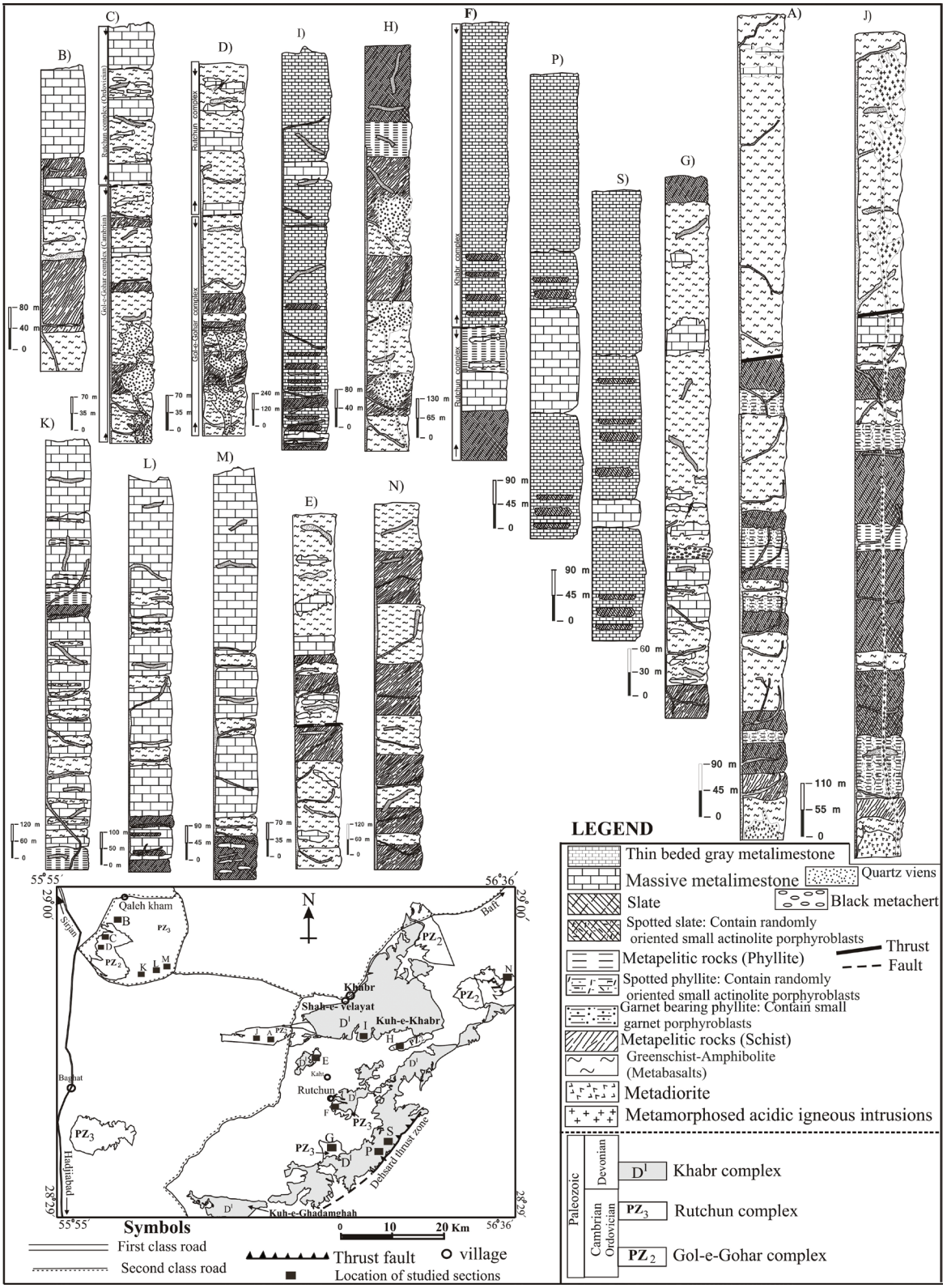
مطالعات سنگ‌نگاری و دگرشکلی نشان می‌دهد که کمپلکس‌های دگرگونی گل‌گهر، روتشون و خبر تحت تأثیر سه فاز دگرگونی و چهار فاز دگرشکلی قرار گرفته‌اند. دگرگونی M_1 و M_2 به‌صورت ناحیه‌ای و پیشرونده رخ داده‌اند و فاز دگرگونی M_3 به‌صورت پسرونده رفتار کرده است.

کمپلکس گل‌گهر در یک محیط کم‌ژرفا و آشفته تشکیل شده است و همزمان با رسوبگذاری واحدهای تخریبی، ماگماهای بازیک نیز وارد حوضه رسوبی شده‌اند. در زمان تشکیل کمپلکس روتشون، حوضه رسوبی کمی ژرف‌تر شده است و لایه‌های آهکی در میان سنگ‌های تخریبی و گدازه‌ها نهشته شده‌اند. سپس با ژرف‌تر و آرام‌تر شدن حوضه رسوبی، کمپلکس خبر تشکیل شده است و در آن لایه‌های ستبری از آهک نهشته و فعالیت‌های ماگمایی متوقف شده‌اند. با توجه به ژرفای قرارگیری کمپلکس‌های یاد شده، درجه دگرگونی نیز در این کمپلکس‌ها متفاوت بوده و از باختر به خاور منطقه کاهش یافته است؛ به‌طوری که بیشترین درجه دگرگونی در باختری‌ترین بخش منطقه، مربوط به کمپلکس‌های گل‌گهر و روتشون و کمترین درجه دگرگونی در خاوری‌ترین بخش منطقه مربوط به کمپلکس خبر است.

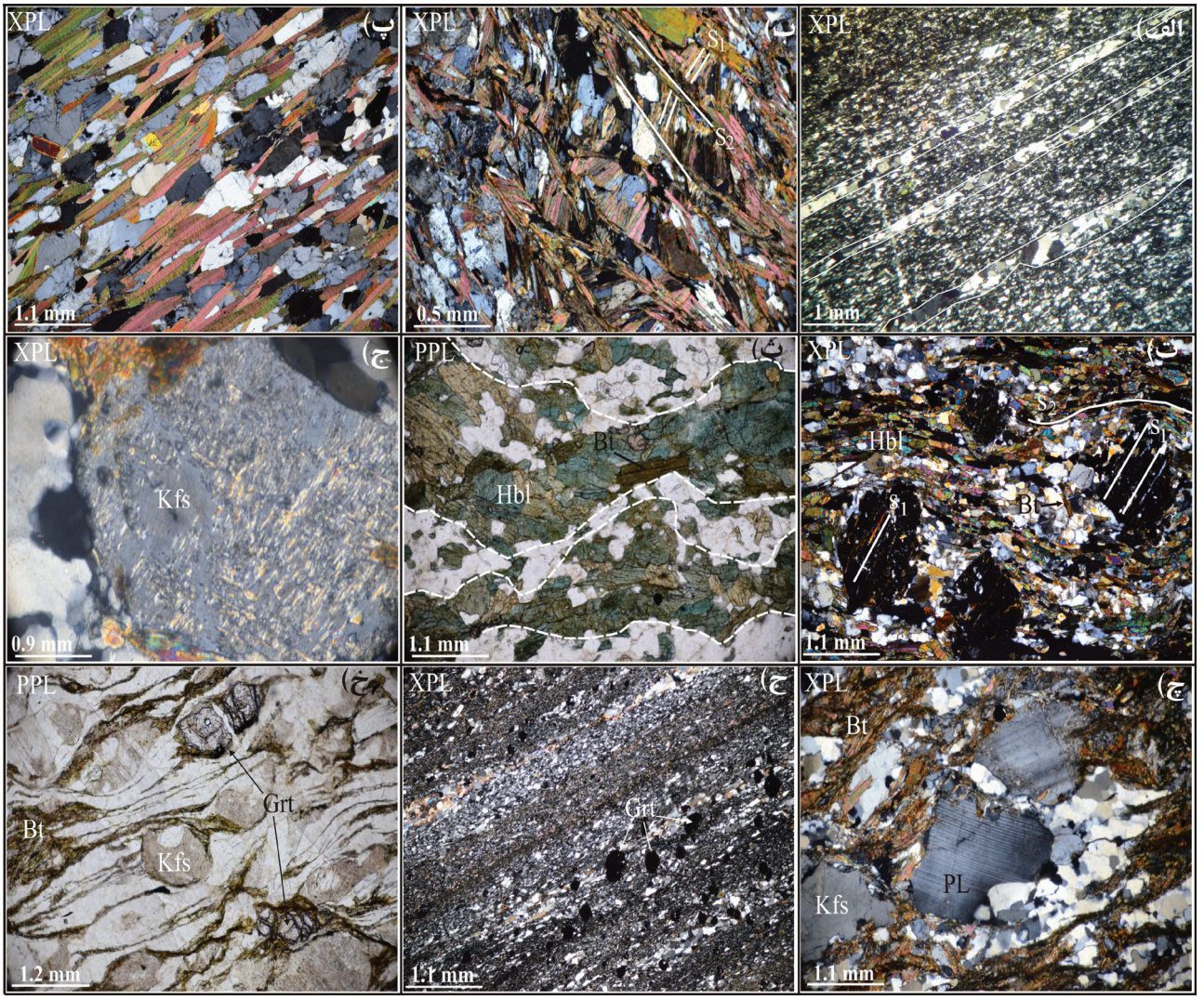


شکل ۱- الف) نقشه زمین‌شناسی ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی آن (Mohajjel and Fergusson, 2000)، ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده‌ای از منطقه، نقل از سبزه‌ئی و همکاران (۱۳۷۶) با تغییرات.

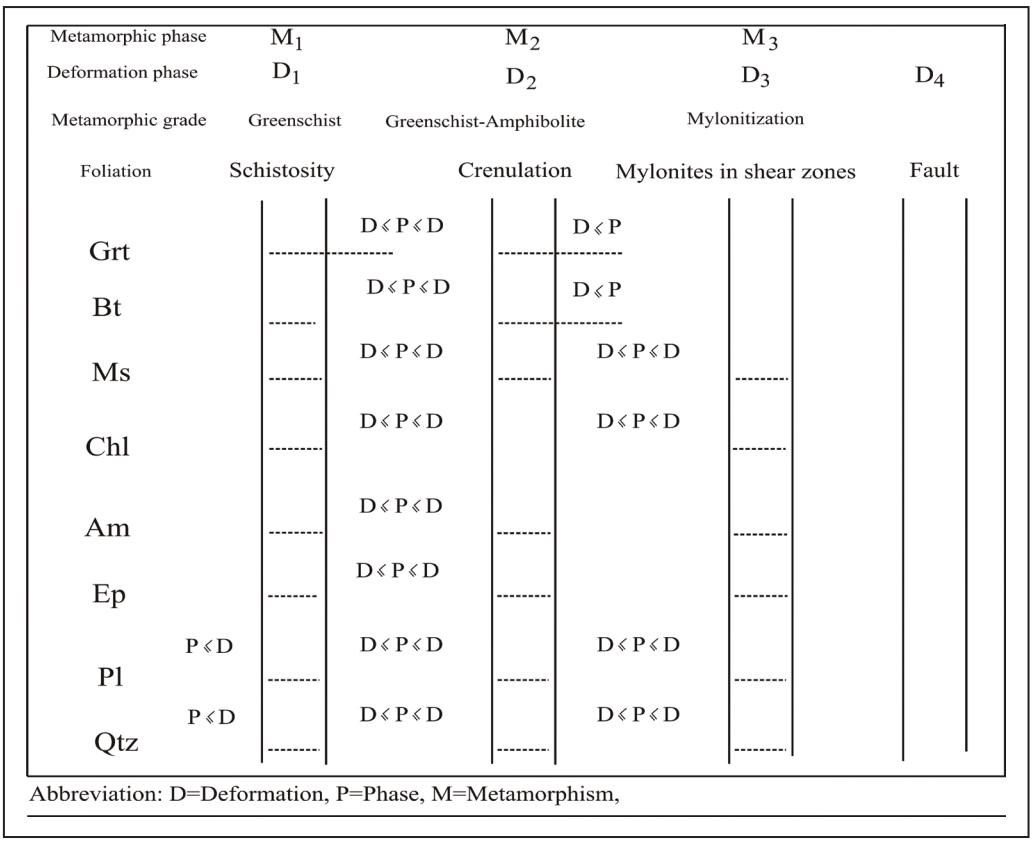
شکل ۲- تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی منطقه. الف) قرارگیری کمپلکس دگرگونی روتشون روی کمپلکس دگرگونی گل‌گهر؛ ب) تصویر صحرایی از کمپلکس دگرگونی خبر در بخش بالا که روی کمپلکس دگرگونی روتشون قرار گرفته است؛ پ) پدیده کینک‌باند در اسلیت‌های کمپلکس گل‌گهر؛ ت) تصویری از ریزبلورهای گارنت در سنگ‌های فیلیتی کمپلکس روتشون؛ ث) پورفیروبلاست‌های درشت گارنت در شیست‌های گل‌گهر؛ ج) پورفیروبلاست‌های درشت گارنت در آمفیبولیت‌های کمپلکس گل‌گهر؛ چ) پورفیربلاست‌های اکتینولیت با بافت گارین شیفر که فولیاسیون سنگ را قطع کرده‌اند؛ ح) تناوبی از باندهای تیره و روشن در گنیس‌های کمپلکس گل‌گهر؛ خ) تصویری از سنگ‌های آمفیبولیتی گل‌گهر که در برخی بخش‌ها، عدسی‌هایی متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول با بافت گرانولار درون آنها دیده می‌شود؛ د) بافت چشمی در گنیس‌های گل‌گهر؛ ذ) ریزبلوهای مسکوویت و بیوتیت در فیلیت‌های کمپلکس روتشون؛ ر) اسلیت‌های کالک‌سیلیکاتی سبزرنگ در کمپلکس خبر.



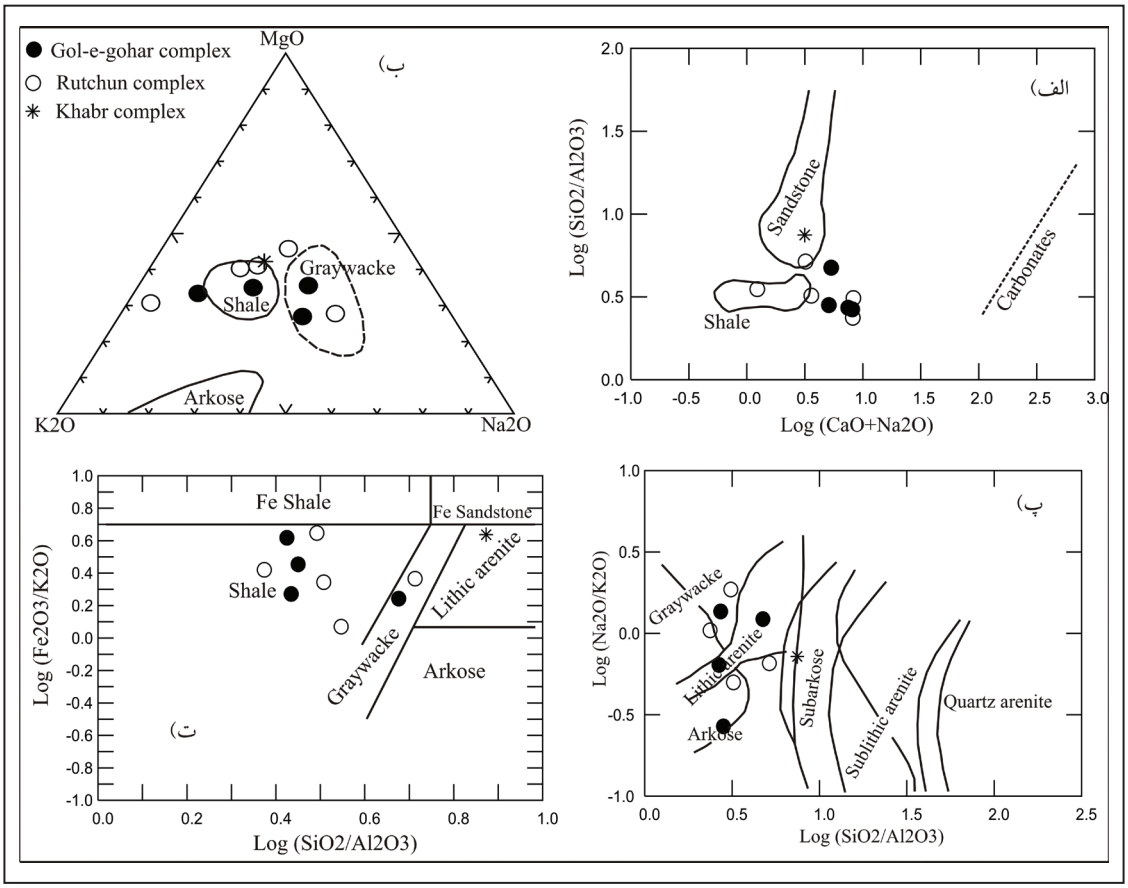
شکل ۳- ستون‌های مطالعه شده در صحرا و موقعیت آنها در نقشه منطقه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خبر (سبزه‌ئی، ۱۳۷۶).



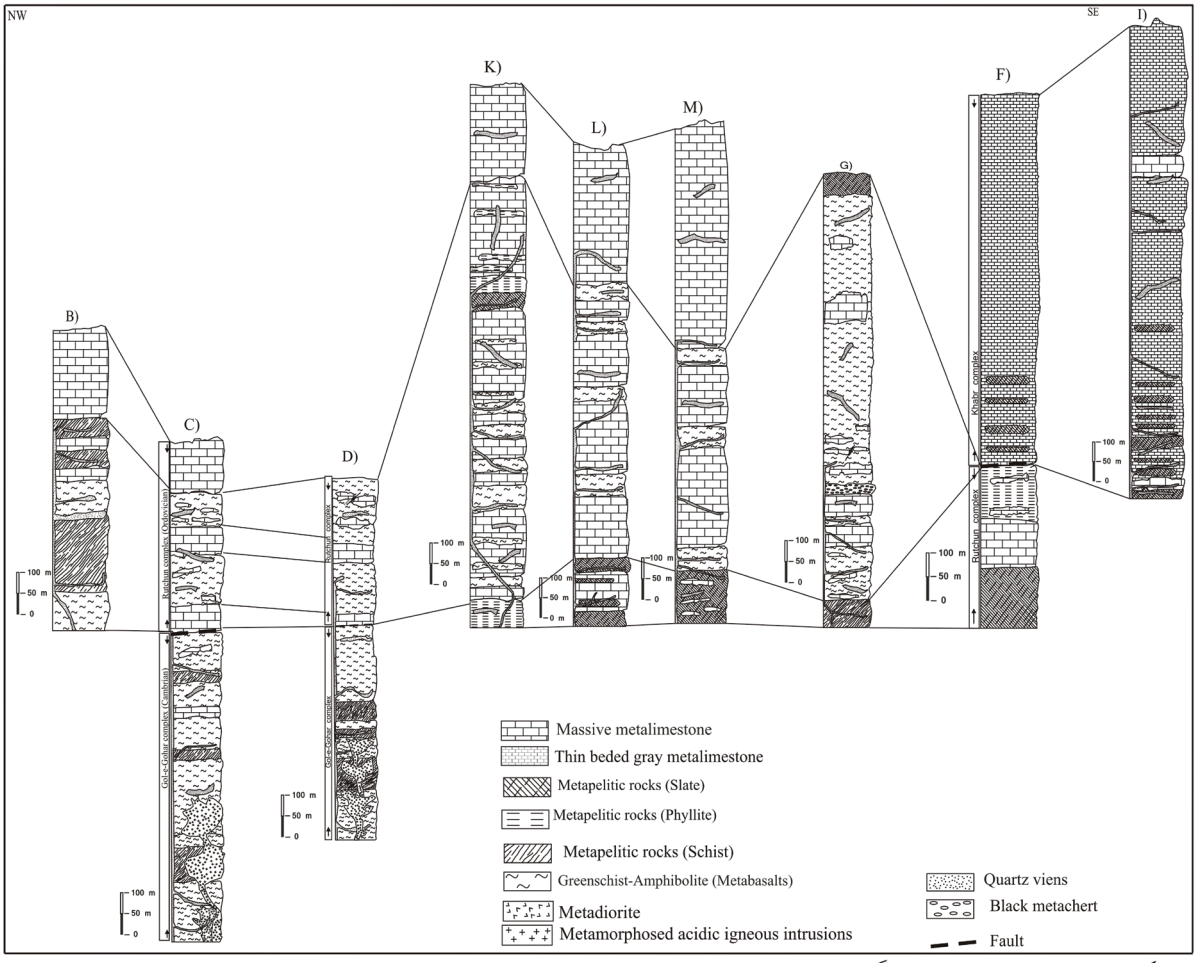
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های منطقه. الف) گسترش کلیواژ اسلیتی به موازات لایه‌بندی اولیه در فیلیت‌های کمپلکی گل‌گهر؛ ب) گسترش شیستوزیته S_2 در شیست‌های روتشون؛ پ) درشت‌شدگی پورفیروبلاست‌ها ناشی از افزایش درجه دگرگونی در شیست‌های گل‌گهر؛ ت) پورفیروبلاست‌های گارنت در آمفیبولیت‌های گل‌گهر؛ ث) تناوبی از باندهای تیره و روشن در آمفیبولیت‌های گل‌گهر؛ ج) تیغه‌های ریز مسکوویت درون درشت‌بلور فلدسپار پتاسیم؛ چ) پورفیروبلاست‌های پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم در گنیس‌های گل‌گهر؛ ح) گسترش کلیواژ اسلیتی (شسیتوزیته S_1) در فیلیت‌های کمپلکس روتشون. پورفیروبلاست‌های گارنت‌های دارای سایه فشاری متقارن هستند؛ بیشتر در بخش میکرولیتون کلیواژها دیده می‌شوند و مربوط به نسل اول هستند؛ خ) عدسی شدن بلورهای فلدسپار، ایجاد ساختارهای برشی- میلونیتی و تشکیل شیستوزیته محلی S_3 در گنیس‌های گل‌گهر.



شکل ۵- ارتباط میان رخدادهای دگرگونی با فازهای دگرشکلی و پاراژنز کانیایی در سنگ‌های مورد مطالعه.



شکل ۶- نمودارهای ژئوشیمیایی مربوط به سنگ های رسوبی دگرگون شده منطقه. الف) نمودار Garrles and Mackenzie (1972) که در آن، بیشتر نمونه‌ها در محدوده شیل و یا نزدیک به آن جانمایی می‌شوند؛ ب) نمودار De La Roche (1996) که در آن، نمونه‌ها در محدوده شیل و گری‌وک جای می‌گیرند؛ پ) نمودار Petti Jone et al. (1972) که در آن، نمونه‌ها در محدوده گری‌وک و لیتارنایت جانمایی می‌شوند؛ ت) نمودار Herron (1988) که در آن، نمونه‌ها در محدوده شیل و گری‌وک جای می‌گیرند.



شکل ۷- تطابق چینه‌شناسی ستون‌های اندازه‌گیری شده در منطقه.

کتابنگاری

سبزه‌ئی، م.، ۱۳۷۶- نقشه زمین شناسی خبر، مقیاس ۱۰۰۰۰۰ /۱، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

شفیعی بافتی، ش.، ۱۳۷۹- تکوین ساختاری و تکتونیکی سنگ های پالئوزوییک- مزوزوییک کمربند سنندج- سرجان، منطقه خبر (جنوب غربی بافت)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۵۳ ص.

References

Arkai, P., Mata, M. P., Giorgetti, G., Peacor, D. R. and Toth, M., 2000- Comparison of diagenetic and low-grade etamorphic evolution of chlorite in associated metapelites and metabasites: an integrated TEM and XRD study. Journal of Metamorphic Geology 18: 531–550.

Best, M. G., 1982- Igneous and metamorphic petrology. W. H. Freeman and Co., San Francisco 2: 1-630.

Bheemalingeswara, K. and Tadesse, N., 2009- Petrographic and Geochemical Study of Low Grade Metamorphic Rocks around Negash with Reference to Base Metal Mineralization and Groundwater Quality, Tigray, Northern Ethiopia. K. Bheemalingeswara and Nata T (MEJS),Mekelle University, Mekelle 1: 106-132.

Castro, A., Fernandez, C., De La Rosa, J. D., Memeno-Ventas, I. and Rogers, G., 1996- Significance of MORB derived amphibolites from the Aracena Metamorphic belt, southwest Spain. Journal of Petrology 37: 235-260.

De La Roche, H., 1996- Sur existence de plusieurs facies geochemiques dans Les schistes Palezoiques des Pyrenees Luchonnaises. Geology of Rundsch 35: 274-300.

Engel, A. E. J. and Engel, C. G., 1951- Origin and evolution of hornblende andesine amphibolites and Kindred facies, Bulletin of Geological Society of America 62: 12-35.

Evans, B.W. and Leake, B. E., 1956- The composition and origin of the striped amphibolites of Connemara, Ireland, Journal of Petrology 1: 337-363.

Garrels, R.M. and Mackenzie, F.T., 1972- Evolution of sedimentary rocks. W.W. Norton and Co., Inc.,New York 397 pp.

Herron, M. M., 1988- Geochemical classification of terrigeneous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary Petrology 58: 820-829.

Kamp, P. C., Leake, B. E. and Senion, A. , 1976- The petrography and geochemistry of some California arkoses with application to identifying gneisses of metasedimentary origin. Journal of Geology 84: 195-212.

Leake, B. E., 1964- The chemical distinction between Ortho- and para-amphibolites, Journal of. Petrology 5: 238-254.

Mason, B. and Moore, C. B., 1982- Principles of geochemistry. John Wiley and Sons, 344 pp Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R., 1972- Sand and Sandstone. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1.5.13: 1-618.

Mohajjel, M. and Fergusson, C.L., 2000- Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, Western Iran. Journal of Structural Geology, 22, 1125-1139.

Shaw, H. R., 1972- Viscosities of magmatic silicate liquids: An empirical method of prediction. American Journal of Science 272: 870-893.

Suk, M., 1983- Petrology of Metamorphic Rocks. Elsevier Scientific Publishing Company 322p.

Reconstruction of geological setting for the protolith of Gole-Gohar, Ruchun and Khabr metamorphic complex (South-west of Baft, Kerman province)

H. Fatehi[1*] and H. Ahmadipour[2]

[1]Ph.D. Student, Department of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2015 December 06 Accepted: 2017 January 24

Abstract

Gole-Gohar, Ruchun and Khabr metamorphic complexes (South-west of Baft, Kerman province), form a part of the Sanandaj-Sirjan metamorphic zone and contain an alternation of metamorphosed impure limestone, sedimentary rocks and basic igneous rocks. Different studies show that the first metamorphic event has been associated with the first deformational phase and orientation of muscovite, garnet, quartz and feldspar in these rocks. At this stage, a foliation parallel to the primary bedding (S0) formed. The second metamorphic event which has accompanied with the second deformational phase, caused the formation of microfolds and preferred orientation of muscovite, biotite, garnet and amphibole in the second foliation (S2), but the third event has been acted as retrograde metamorphism that are corresponding to early Cimmerian orogenic phase. Geochemical characteristics of metamorphosed sedimentary rocks in the area suggest a shale origin for them. Correlations between units and lithological variations in stratigraphic columns from north-west to the south-east, indicate that in Gole-Gohar complex (western part of the area), metamorphosed detrital sedimentary rocks are frequent. This means that the primary sediments have been settled in a turbulent shallow environment and the basic magmas have been entered into the basin simultaneously. With the passing of time, toward the east and at the time of the formation of Ruchun complex protolith rocks, sedimentary basin has been deepened more and occasionally, limestone layers were formed between detritic sediments and igneous rocks. Then the basin became very deep and large volume of limestone precipitated during formation of Khabr protolith rocks. At this time, igneous activity had been ceased. Stratigraphic relationships in the studied complex suggest that Gole Gohar complex rocks formed first and placed at deeper levels at the time of the formation of their parental rocks. Therefore, the highest grade of metamorphism occurred at the western part of the area (Gole Gohar complex) and the lowest grade is observed at the eastern part (Khabr complex).

Keywords: Sanandaj-Sirjan zone, Baft, Gole Gohar complexe, Ruchun complexe, Khabr complexe, Deformational phases, Metamorphosed sedimentary rocks, Metabasites, Metamorphosed impure limestones.

For Persian Version see pages 253 to 264

*Corresponding author: H. Fatehi; E-mail: hoseinfatehi61@gmail.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional