

دگر یختی و چین خوردگی فابریک های میلوئیتی پهنه برشی شکل پذیر نوغان جنوب باختر گلبایگان، پهنه سنندج - سیرجان

محمد محجل^۱ و سیما هوشمند معنوی^۲

^۱دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
^۲کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۸

چکیده

در سنگ های دگرگون شده جنوب باختر گلبایگان، پهنه برشی شکل پذیر نوغان با روند شمال باختر- جنوب خاور گسترش دارد. در این پهنه برشی، انواعی از شیست های پلیتی و پسامینی به همراه کربنات و سنگ های آذرین، به مجموعه ای از سنگ های میلوئیتی و الترامیلوئیتی تبدیل شده اند. ساختارهای موجود در سنگ های دگرگون شده پیرامون پهنه برشی نوغان، وجود ۳ نسل بر گوارگی را روشن می سازد. در این پهنه برشی، موازی بودن بر گوارگی میلوئیتی با بر گوارگی های فراگیر نسل دوم سنگ های دگرگون شده پیرامون، پیشنهاد می دهد که بر گوارگی میلوئیتی هم زمان با دگر شکلی مرحله دوم گسترش پیدا کرده و با بر گوارگی فراگیر نسل دوم همزاد بوده است. برداشت های ساختاری، وجود یک طاق ریخت را در قلمرو این پهنه برشی پیشنهاد می کند به طوری که هندسه و ساز و کار جنبشی آن در یال شمال خاوری و یال جنوب باختری عکس ممدیگر هستند. بر گوارگی های میلوئیتی در یال شمال خاوری دارای شیب متوسط تا زیاد به سوی شمال خاور هستند ولی در یال جنوب باختری شیب متوسط به سوی جنوب باختر دارند. خطوارگی های کششی در یال شمال خاوری، دارای میل کم تا متوسط به سوی خاور- جنوب خاور هستند و در یال جنوب باختری میل آنها به سوی باختر- شمال باختر است. مطالعه میکروسکوپی نمونه های جهت دار از سنگ های این پهنه برشی روشن ساخت که در موقعیت ساختاری کنونی، نوع ساز و کار جنبشی پهنه برشی در یال شمال خاوری، راستالغز راست بر با مؤلفه عادی و در یال جنوب باختری، راستالغز چپ بر با مؤلفه وارون است. این شواهد هندسی و جنبشی پیشنهاد می کند که پهنه برشی در هنگام تشکیل، ساز و کار جنبشی راستالغز راست بر با مؤلفه عادی داشته که در دگر شکلی بعدی، چین خورده و طاق ریختی با راستای شمال باختر- جنوب خاور ساخته است.

کلیدواژه ها: دگر یختی، پهنه برشی چین خورده، طاق ریخت، گلبایگان، نوغان، سنندج - سیرجان.

E-mail: mohajjel@modares.ac.ir

*نویسنده مسئول: محمد محجل

۱- پیش نوشتار

پهنه برشی شکل پذیر نوغان در باختر استان اصفهان و ۳۰ کیلومتری جنوب باختر گلبایگان، میان شهرستان های بوئین، میاندشت و الیگودرز، در جنوب روستای نوغان و در بخش مرکزی پهنه سنندج سیرجان جای گرفته است (شکل ۱). پهنه های برشی شکل پذیر به منطقه مورد مطالعه محدود نمی شود و در ادامه جنوب خاوری در منطقه چادگان (داوودیان، ۱۳۸۴؛ بابا احمدی، ۱۳۸۷) و در ادامه شمال باختری در برگه الیگودرز (سهیلی و همکاران، ۱۳۷۱)، منطقه ازنا (Mohajjel & Fergusson, 2000; Mohajjel, 1997) نیز مطالعه شده است؛ ولی در محدوده مورد مطالعه در برگه گلبایگان (محجل، ۱۳۷۱) برای اولین بار یک پهنه برشی شکل پذیر، مطالعه و با نام نوغان معرفی می شود.

۲- روش کار

برای اندازه گیری فابریک های برشی، محدوده ای به طول تقریبی ۱۴ کیلومتر و عرض تقریبی ۱ کیلومتر در جنوب روستای نوغان بررسی و مطالعه شد. برای برداشت فابریک، چهار مسیر (aa', bb', dd', cc') در پهنای پهنه برشی و در روندی عمود بر آن یعنی در راستای شمال خاور جنوب باختر پیمایش شده است (شکل ۱). در این مطالعه ضمن معرفی اجمالی ساختار سنگ های دگرگون شده گستره مورد بررسی، شواهد صحرائی و میکروسکوپی از فابریک های موجود در پهنه برشی ارائه و سپس بر پایه شواهد هندسی و جنبشی، چگونگی تشکیل و تکامل این پهنه تحلیل شده است.

۳- دگر شکلی در سنگ های دگرگون شده پیرامون پهنه برشی

با توجه به مشاهدات صحرائی و میکروسکوپی، ۳ مرحله دگر شکلی در سنگ های منطقه تشخیص داده شده است. از شواهد تأثیر دگر شکلی مرحله

اول (D₁) می توان به بر گوارگی پیوسته نسل اول (S₁) اشاره کرد که در برخی نغدهای نازک دیده می شود (شکل ۲)؛ ولی فرایند ساختاری که سبب ایجاد آن بوده، بر اثر تأثیر مراحل پیشرونده دگر شکلی، حذف و رونقشی شده است؛ با این وجود، این بر گوارگی در بخش های مختلف پهنه سنندج سیرجان، بر گوارگی سطح محوری با توسعه چین خوردگی نسل اول معرفی شده است (محجل و سهندی ۱۳۷۷) در ازنا، ایزدی کیان و محجل (۱۳۸۶) در باختر همدان و (Mohajjel et al., 2006) در همدان.

دگر شکلی فراگیر سنگ های دگرگون شده پیرامون گستره مورد بررسی نتیجه مرحله دوم دگر شکلی است که با گسترش چین های هم شیب و بر گوارگی موازی با سطح محوری مشخص است. مطابق شکل ۲ ب با توجه به حضور کانی های دگرگونی مشابه، مانند بیوتیت در امتداد بر گوارگی نسل اول و دوم مشخص می شود که از اولین مرحله دگر شکلی، گرمای دگرگونی یکسان نیز در شکل گیری آنها مؤثر بوده است. بر گوارگی نسل اول با تشکیل کانی های صفحه ای موازی با سطح محوری چین های نسل اول پدید آمده است که در مقاطع نازک، تحت تأثیر دگر شکلی دوم، به شکل ریزچین و رخ های کنگره ای نمود یافته است.

بر اثر گسترش دومین مرحله دگر شکلی، شدیدترین تغییرات ساختاری در منطقه رخ داده که افزون بر گسترش چین های هم شیب سبب تشکیل بر گوارگی فراگیر S₂ به موازات سطح محوری این چین های هم شیب شده است. فراگیری سنگ های دگرگون شده در قلمرو پهنه برشی نوغان، سبب میلوئیتی شدن و تشکیل سنگ ساخت های میلوئیتی در بخش هایی از این سنگ ها شده است. به دلیل اینکه امتداد و شیب بر گوارگی میلوئیتی موازی با بر گوارگی S₂ در منطقه است، می توان پیدایش و ساز و کار جنبشی پهنه برشی نوغان را به دگر شکلی مرحله دوم نسبت داد. چین خوردگی نسل دوم (F₂) چین خوردگی فراگیر منطقه است و بیشتر در مرمرها و

بلوری (شکل ۶ ب) و پورفیرو کلاست فلدسپار قطعه قطعه شده از نوع دومینو (شکل ۶ پ)، در سنگ‌های آذرین اسید الترامبلونیتی شده بال شمال خاوری طاق‌ریخت نوغان، سوی برش راست‌بر به سوی جنوب خاور تعیین می‌شود.

شاخصه مهم در تفکیک مبلونیت‌های دماپایین و دما متوسط، میزان رشد کوارتزهای بازبلورین شده است. در مبلونیت‌های دماپایین (۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد)، اندازه دانه‌های کوارتز، کوچک‌تر از ۵۰ میکرون است در حالی که در مبلونیت‌های دما متوسط (حدود ۵۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد) بزرگ‌تر از ۵۰ میکرون است (Trouw et al., 2010). اندازه کوارتز بازبلورین شده در سنگ‌های آذرین اسید دگرریخت شده منطقه، نشان‌دهنده حاکم بودن شرایط درجه دما پائین تا متوسط به هنگام دگرریختی است.

۴-۲. سنگ‌های آذرین بازیک مبلونیتی

این سنگ‌های دگرریخت شده با رنگ خاکستری تیره متمایل به سبز، در بال شمال خاوری طاق‌ریخت نوغان و بخش شمالی سنگ‌های آذرین اسید الترامبلونیتی شده قرار دارند و به دلیل کوچک بودن رخنمون، در شکل ۱ ب نشان داده نشده‌اند. در مقاطع میکروسکوپی کانی‌های پلاژیوکلاز، کلریت، کانی‌های کدر و کلسیت و کمتر کوارتز دیده می‌شود (هوشمند معنوی، ۱۳۸۸). این سنگ‌ساخت‌ها در قلمرو پهنه برشی نوغان، فابریک‌های مبلونیتی نشان می‌دهند. پدیده تبلور دوباره در دانه‌های کوارتز و پلاژیوکلاز دیده می‌شود. دانه‌های کوارتز، بیشتر در رگه‌های کلسیتی تجمع یافته‌اند و در زمینه سنگ کمتر دیده می‌شوند. بازبلورین شدن در دانه‌های کوارتز به صورت مهاجرت مرز دانه نمود یافته است و در دانه‌های پلاژیوکلاز به صورت کاهش مساحت مرز دانه دیده می‌شود. دانه‌های کلسیت تحت تأثیر تنش، حالت کشیده پیدا کرده‌اند و دانه‌های کوارتز، خاموشی موجی نشان می‌دهند. با استفاده از نشانگرهایی مانند باند برشی (شکل ۶ ث)، ریخت ماهی‌شکل پلاژیوکلاز و پورفیرو کلاست پلاژیوکلاز قطعه قطعه شده از نوع دومینو (شکل ۶ ج) در این سنگ‌های آذرین بازیک مبلونیتی، سوی برش امتداد لغز راست‌بر به سوی جنوب خاور تعیین شده است. با توجه به دگرشکلی فلدسپار به صورت شکستگی و گاه بازبلورین شدن به صورت دانه‌های جدید کوچک، شرایط درجه دما پائین (حدود ۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) به هنگام دگرریختی این سنگ‌ها پیشنهاد می‌شود.

۴-۳. متاپسامیت‌های مبلونیتی شده

متاپسامیت‌ها از جمله سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای هستند که در کل گستره مورد بررسی حضور دارند و از شمال خاور به سوی جنوب باختر، دچار درجه دگرگونی بیشتری شده‌اند. به گونه‌ای که در این راستا به ترتیب به اسلیت، فلیت و شیست تبدیل شده‌اند؛ ولی فلیت بروزند بیشتری دارد و در مقاطع میکروسکوپی آنها، کانی‌های کوارتز، مسکوویت، کلریت، بیوتیت، فلدسپار، تورمالین، زبرکن، مواد آلی و کانی‌های کدر و گاه آپاتیت و گارنت‌های ریز وجود دارد. در برخی از فلیت‌ها، بیوتیت و کلریت فراوان‌تر و در برخی دیگر مسکوویت و بیوتیت بیشتر است. فلیت‌ها در پهنه برشی، تحت تأثیر دگرریختی شکل‌پذیر، به فیلونیت تبدیل شده‌اند.

در دانه‌های کوارتز، شواهد دگرشکلی مانند خاموشی موجی و مهاجرت مرز دانه دیده می‌شود. روبان‌های کوارتز به صورت تک‌بلوری و چندبلوری پورفیرو کلاست‌های فلدسپار را دور زده‌اند. خطواره کششی بیشتر از روبان‌های چندبلوری و گاه تک‌بلوری کوارتز به وجود آمده‌اند. رخ باند برش نوع C-S و C⁺-S (شکل ۷)، پورفیرو کلاست دارای سایه واتنشی، ریزساختارهای ماهی‌شکل میکا، فلدسپار، کوارتز و کوارتز چندبلوری از دیگر شواهدی هستند که در مقاطع نازک، دو سوی برش متفاوت را در بال شمال خاوری و جنوب باختری طاق‌ریخت نوغان نشان می‌دهند. به این ترتیب که سوی برش در بال شمال خاوری، راست‌بر به سوی جنوب خاور و در بال جنوب باختری، چپ‌بر به سوی باختر شمال باختر است.

اسلیت‌های شمال گستره مورد بررسی دیده می‌شود. در طی چین‌خوردگی هرچه ستبرای لایه مقاوم (competent) بیشتر باشد، طول موج بیشتر و چین استوانه‌ای و دارای لولای گرد می‌شود (Fossen, 2010; Ramsay & Huber, 1983). بر همین اساس، در لایه‌های ظریف‌تر و نازک‌تر و نامقاوم منطقه، این چین‌ها هندسه جناغی و در نوارهای ستبرتر طول موج بیشتر و لولای گرد دارند (شکل‌های ۳ الف و ب). به‌طور کلی سطح محوری این چین‌ها و برگواری سطح محوری آنها (S_۱)، شیب زیادی به سوی شمال شمال خاور دارند و میل محورشان نیز حدود ۳۲° تا ۶۵° به سوی خاور جنوب خاور است (شکل‌های ۳ پ و ت).

برگواری S_۱ موازی با سطح محوری چین‌خوردگی مرحله دوم (F_۱) گسترش یافته است (شکل‌های ۳ ب و ۴ الف). در نیمه شمالی محدوده مورد مطالعه شیب برگواری S_۱ به سوی شمال خاور و در نیمه جنوبی، به سوی جنوب باختر است. در مواردی در کرنات‌ها لایه‌بندی در راستای برگواری S_۱ ترانهاذگی (transposition) پیدا کرده است (شکل ۳ الف).

دگرشکلی مرحله سوم سبب پدید آمدن چین‌های نسل سوم (F_۳) در مقیاس‌های گوناگون شده است. این چین‌خوردگی در مقیاس بزرگ، برگواری نسل دوم و برگواری مبلونیتی موازی آن را تحت تأثیر فرار داده است (شکل ۴). متفاوت بودن جهت و مقدار میل خطوارگی کششی در این دو نیمه نتیجه چین‌خوردگی نسل سوم است. چین‌خوردگی نسل سوم در مقیاس میکروسکوپی به صورت ریزچین‌هایی در بخش‌های غنی از کانی‌های میکابی برگواری نسل دوم نمایان است (شکل ۵). برگواری نسل سوم موازی با سطح محوری این ریزچین‌ها دیده می‌شود.

۴-۴. ریزساختارها و نشانگرهای سوی برش در پهنه برشی نوغان

انواعی از سنگ‌ساخت‌های مبلونیتی در پهنه برشی نوغان وجود دارند که شامل سنگ‌های آذرین اسید و بازیک، متاپسامیت، متاپلیت و متاکرنات‌های مبلونیتی تا الترامبلونیتی هستند. به منظور بررسی این سنگ‌ها در مقیاس میکروسکوپی، مقاطع نارکی عمود بر برگواری مبلونیتی و موازی با خطوارگی کششی از نمونه‌های جهت‌دار تهیه شد. در این بخش، شواهد ریزساختارهای برشی دیده شده در سنگ‌های دگرگونی مبلونیتی و نشانگرهای سوی برش در آنها معرفی می‌شود.

۴-۱. سنگ‌های آذرین اسید الترامبلونیتی

این سنگ‌های دگرریخت شده در بخش شمال خاوری پهنه برشی گسترش دارند و از بافت اولیه آنها با توجه به میزان تأثیر برش، اثر کمی باقی مانده است. زمینه ریزبلور، بیشتر شامل کانی‌های کوارتز، فلدسپار و پولک‌های ریز میکاست و کوارتز، ارتوز (گاه به صورت پرتیت) و میکروکلین مهم‌ترین کانی‌های تشکیل‌دهنده فتوکلاست‌ها هستند. پلاژیوکلازهای دارای ماکل دگرشکلی نیز برخی از فتوکلاست‌ها را می‌سازند. کانی‌های فرعی شامل زبرکن، آپاتیت، تورمالین و کانی‌های کدر هستند (هوشمند معنوی، ۱۳۸۸).

سنگ‌های دارای بیشترین تغییر شکل معمولاً دارای میکروکلین زیادتر و ارتوکلاز کمتری هستند. بنابراین می‌توان گفت که تنش برشی حاکم بر سنگ یک عامل کنترل‌کننده مهم در تبدیل دیگر فلدسپارهای پناسیم‌دار به میکروکلین است (Barker, 1998). در دانه‌های کوارتز و فلدسپار تبلور دوباره پویا دیده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر تنش است (شکل‌های ۶ الف و ب). گردشگی پورفیرو کلاست‌ها نیز نتیجه بازبلور در حاشیه این کانی‌هاست (شکل ۶ پ). مرز زبردانه، خاموشی موجی و مهاجرت مرز دانه‌های کوارتز از دیگر شواهد دگرشکلی است. از ویژگی‌های آشکار فابریک مبلونیتی در سنگ‌های آذرین الترامبلونیتی این است که روبان‌های کوارتز چندبلوری و روبان‌های میکا، پورفیرو کلاست‌ها را دور زده‌اند (شکل ۶ الف). با استفاده از شواهدی مانند باند برشی نوع C-S و C⁺-S ریزساخت‌های ماهی‌شکل میکا، فلدسپار، کوارتز، و ماهی‌شکل‌های کوارتز چند

گرفته و چین خورده‌اند. از این رو است که در بخش جنوبی مسیر b-b'، با عوض شدن شیب برگراریگی میلوئیتی به سوی جنوب باختر، سوی میل خطوارگی کششی نیز عوض و سازوکار آن عکس یال شمالی می‌شود (جاه‌جایی یال جنوب باختر به صورت وارون به سوی شمال خاور). طرح نمایی از روند تکامل ساختاری و چین خوردگی پهته برشی در شکل ۹ نشان داده شده است.

بر پایه بررسی‌های Fossen et al. (1994) و Fossen & Tikoff (1998) رژیم‌های زمین‌ساختی ترفشارشی به دو نوع فشارش غالب و امتدادلغز غالب تقسیم می‌شوند. در رژیم‌های ترفشارشی با فشارش غالب، خطواره کششی همواره وضعیتی عمودی دارد و گسترش چندانی پیدا نمی‌کند. برگراریگی‌های برشی موجود نیز شیب زیاد تا قائم دارد و تقریباً موازی با دیواره پهته برشی قرار می‌گیرد. در رژیم‌های ترفشارشی امتدادلغز غالب، برگراریگی‌ها دارای شیب زیاد تا قائم و خطواره‌های کششی، افقی هستند و هر دو به صورت مورب نسبت به مرز پهته برشی قرار می‌گیرند. در منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود خطوارگی با سوی میل متفاوت (۱۴° تا ۷۶°) می‌توان چنین در نظر گرفت که پهته برشی از نوع امتدادلغز راست‌بر با مؤلفه عادی تشکیل شده و سپس در مرحله بعدی در طی دگربرخی هم‌محور چین خورده است.

۶- نتیجه‌گیری

گسترش فابریک میلوئیتی در سنگ‌های دگرگونی مانند برگراریگی میلوئیتی و خطواره کششی و حضور فابریک میلوئیتی در مقیاس میکروسکوپی (مانند فابریک‌های رخ باند برش، ساختار ماهی، پورفیروکلاست‌های قطعه قطعه شده از نوع دومیتو و...) نشانگر آن است که سنگ‌های دگرگون و آذرین در فلوئو بک پهته برشی شکل‌پذیر در مقیاس ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه هندسه و جهت‌یافتگی برگراریگی‌های میلوئیتی با برگراریگی سطح محوری چین‌های دگرشکلی مرحله دوم همخوانی دارد، پهته برشی نوغان هم‌زمان با دگرشکلی مرحله دوم در منطقه به وجود آمده است. تغییرات سوی شیب برگراریگی میلوئیتی در پهته برشی و تغییر سوی میل خطواره کششی از جنوب خاور به باختر شمال باختر، تغییر سوی برش راست‌بر با مؤلفه عادی در بخش شمالی پهته برشی به چپ‌بر با مؤلفه وارون در بخش جنوبی (جاه‌جایی بخش جنوب باختر به صورت وارون به سوی شمال خاور)، می‌توان نتیجه گرفت که پهته برش نوغان در ابتدا به صورت پهته برشی راستالغز تا مایل‌لغز با مؤلفه عادی بوده و سپس تحت تأثیر ادامه تنش فشاری و سوی تمايل (vergence) چرخیده و حول محور با راستای شمال باختر جنوب خاور چین خورده است.

وجود چین‌های بزرگ مقیاس نسل سوم با روند محوری مشابه (شمال باختر جنوب خاور) در سنگ‌نهنه‌های دگرگون شده موجود در منطقه و موازی بودن روند آنها با راستای چینی که پهته برشی را چین داده، مشخص می‌سازد که پهته برشی در طول دگرشکلی پیشرونده در مرحله دوم ایجاد شده و با مرحله سوم چین خورده است.

در مناسبت‌های دگربرخت شده، اندازه کوارتز بازلورین شده، نشانگر شرایط دمایی تا متوسط به هنگام میلوئیتی شدن است.

۴-۴. متابلیت‌های میلوئیتی شده

این سنگ‌های دگرگون شده در بال جنوب باختری طاق‌ربخت نوغان پروتزد دارند. متابلیت‌ها، از نظر کانی‌شناسی، مشابه مناسبت‌ها بوده ولی از کانی‌های سیلیکات و رفته‌ای غنی‌تر هستند. در بعضی موارد این نمونه‌های میلوئیتی به قدری از میکا غنی می‌شوند که می‌توان آنها را فیلیت نامید (شکل ۷ ث). برگراریگی میلوئیتی و رخ باند برش نوع C-S (شکل ۷ ج)، سوی برش چپ بر به سوی باختر شمال باختر را در بال جنوب باختری طاق‌ربخت نوغان به نمایش می‌گذارند. با توجه به اندازه کوارتز بازلورین شده، شرایط درجه دمایی تا متوسط به هنگام میلوئیتی شدن این سنگ‌های دگرگون شده پیشنهاد می‌شود.

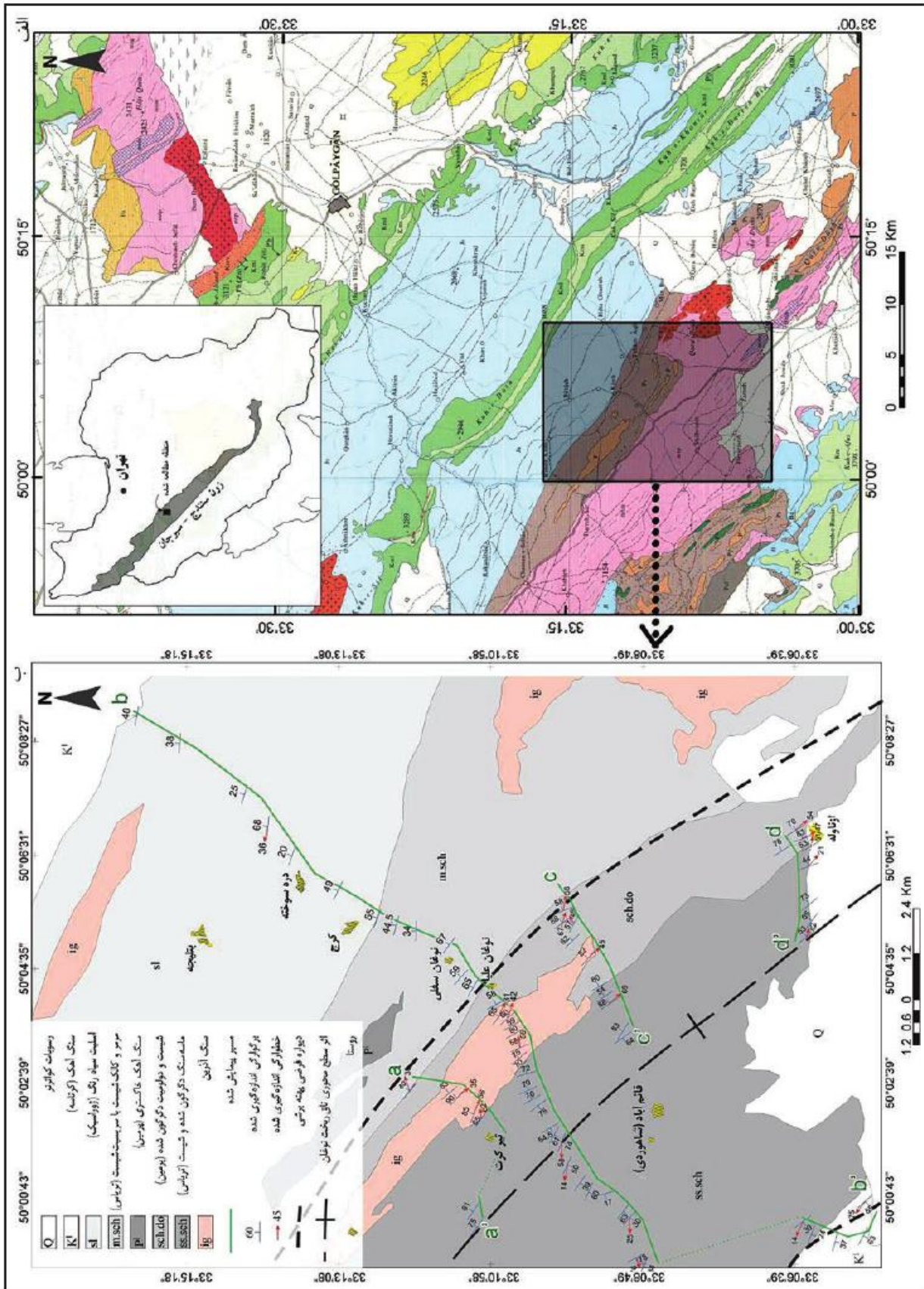
۴-۵. متاگرینات‌ها

این سنگ‌ها از دگرگون شدن دولومیت‌ها و یا سنگ‌آهک‌های کوارتزار حاصل شده‌اند. از شمال به سوی جنوب منطقه، در این سنگ‌ها میزان تبلور بلورهای کلسیت زیاد می‌شود. بازلورین شدن از نوع مهاجرت مرز دانه و ایجاد ماکل دگرشکلی (شکل ۸ الف) در دانه‌های کلسیت دیده می‌شود. دانه‌های کوارتز در اثر تنش، خاموشی مویی پیدا کرده‌اند. ماکل دگرشکلی در دانه‌های کلسیت، گاه دچار خمیدگی شده‌اند که یکی دیگر از شواهد دگرشکلی است (Passchier & Trouw, 2005). در جنوبی‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه، کلسیت‌ها با ماکل تغییرشکل نوع دو دیده می‌شود (شکل ۸ ب). این نوع ماکل در دامی میان ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌شود (Groshong et al., 1984; Burkhard, 1993; Ferrill et al., 2004).

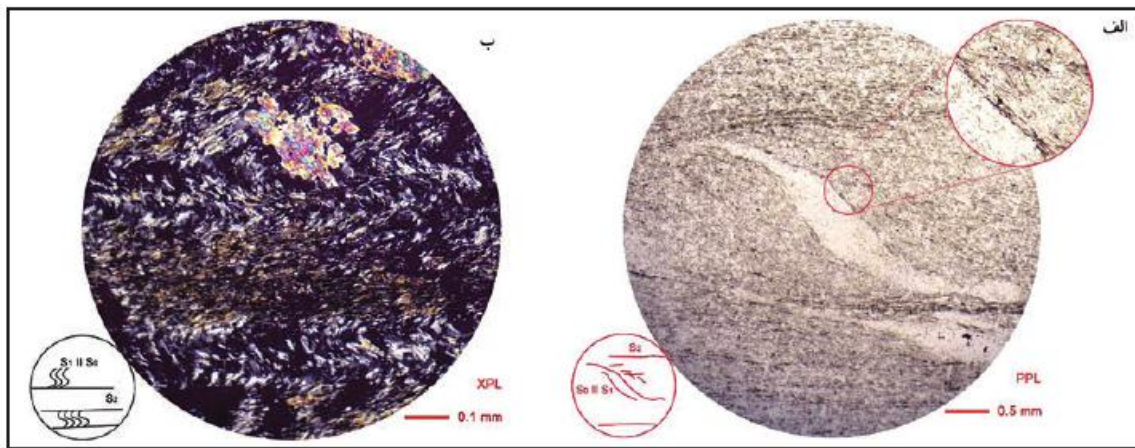
۵- چین خوردگی در پهته برشی

سوی میل خطواره‌های کششی برداشت شده در پهته برشی به دو سوی خاور جنوب خاور با میانگین آزیموت ۱۱۲° و باختر شمال باختر با میانگین آزیموت ۲۸۰° است. میانگین میل خطواره‌ها ۴۴° است. چین‌های نسل دوم در پهته برشی به تعداد کم دیده می‌شوند اما با مقایسه شکل ۳ پ و ۴ الف دیده می‌شود که برگراریگی میلوئیتی برداشت شده در مسیرهای a-a', c-c', d-d' و بخش میانی مسیر b-b'، انطباق مناسبی با برگراریگی و سطح محوری چین‌های نسل دوم برداشت شده در بخش شمالی مسیر b-b' دارند که بیرون از محدوده پهته برشی است. همین‌طور با مقایسه شکل ۳ ت و ۴ ب دیده می‌شود که روند خطوارگی‌های کششی در مسیرهای a-a', c-c', d-d' و بخش میانی مسیر b-b'، مشابه روند انتظام محور چین‌های نسل دوم است. به جز بخش جنوبی مسیر b-b' که روند خطوارگی‌ها به دلیل تأثیر دگرشکلی مرحله سوم و ایجاد چین‌های نسل سوم، به سوی باختر و شمال باختر تغییر می‌کند.

با استناد به موارد بالا می‌توان اذعان داشت که پهته برشی شکل‌پذیر نوغان هم‌زمان با دگرشکلی مرحله دوم و پیش از دگرشکلی مرحله سوم تشکیل شده است و با پیشروی دگرشکلی مرحله سوم، دگرشکلی مرحله دوم و پهته برشی تحت تأثیر قرار



شکل ۱- الف) موقعیت گستره مورد بررسی در جنوب باختر گلپایگان در نقشه گلپایگان ۱:۲۵۰,۰۰۰ (Tinele et al., 1967) و پهنه سنگ - سیرجان (ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۱۰۰,۰۰۰ (مجموعه ۱۳۷).

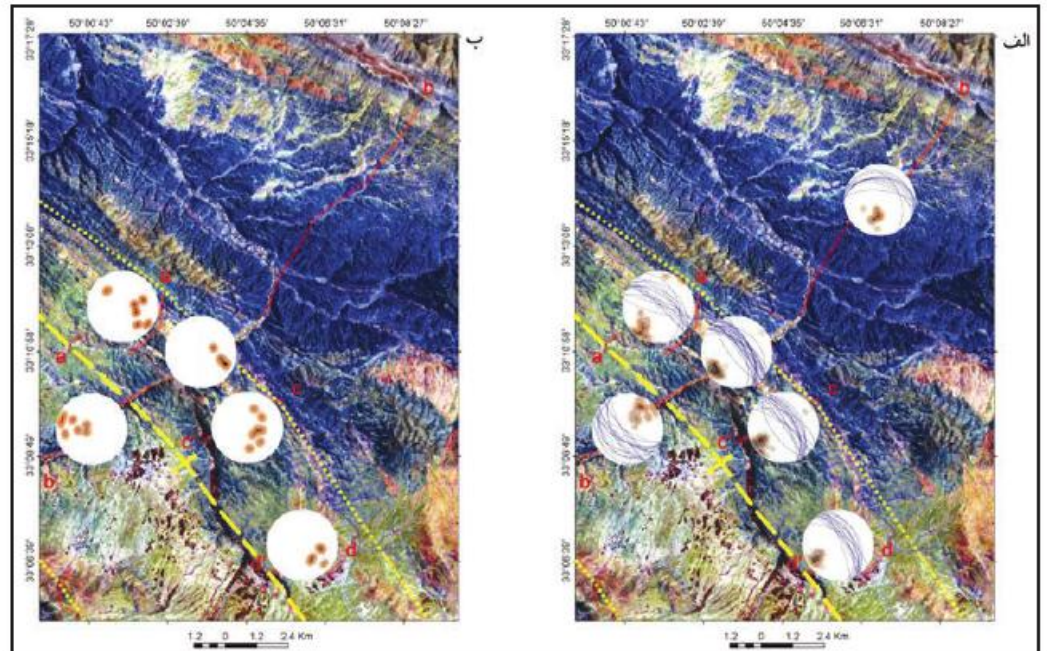


شکل ۲- الف) لایه‌بندی اولیه سنگ موازی با باند کوارتزی (رنگه یک دست سفید در نور طبیعی) در مناسبت. چنانچه در شکل مشخص است برگوارگی S_1 از نوع پیوسته و موازی با S_2 دیده می‌شود. در اثر چین خوردگی S_1 ، برگوارگی S_2 موازی با سطح محوری این چین خوردگی پدید آمده است؛ ب) برگوارگی S_1 پیوسته که در بخش غنی از کوارتز و فلدسپار و به همراه پورفیروبلاست بیوتیت دیده می‌شود، چین خورده و S_2 به صورت برگوارگی فاصله‌دار (کنگره‌ای) به وجود آمده است.

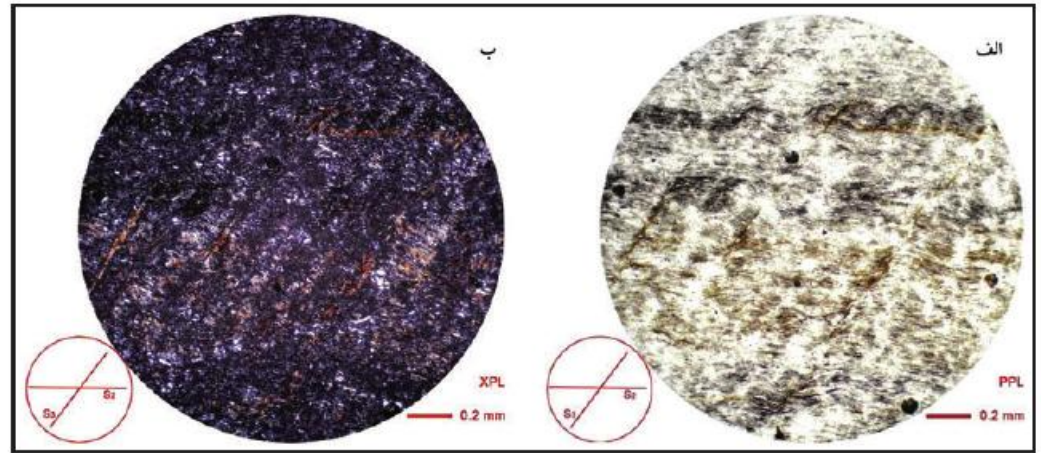


شکل ۳- چین خوردگی نسل دوم. الف) ترانهادگی لایه‌بندی در راستای برگوارگی S_1 در کرنات‌های دگرگون شده؛ ب) چین با لولای مدور در مرمر؛ پ) وضعیت سطح محوری به همراه وضعیت توزیع قطب این سطوح (تعداد برداشت=۶۵). برداشت این سطوح محوری به دلیل بروزند خوب در منطقه شرق بوین- میانداشت و از یال شمال خاوری طاق ریخت نوغان انجام شده است.

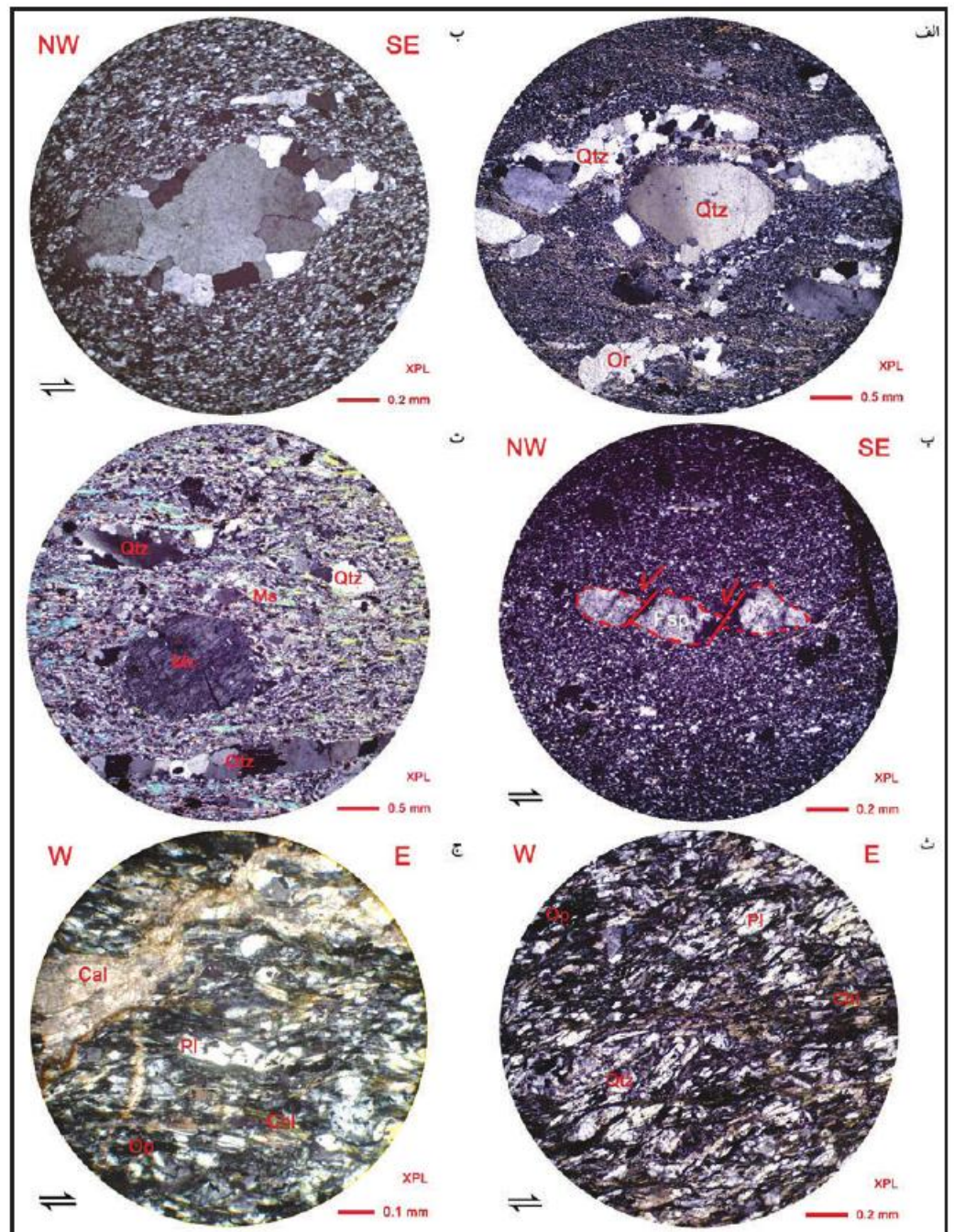
شکل ۴- الف) موقعیت روند و شیب برگوارگی‌های میلیونیتی در امتداد مسیرهای $a-a'$ ، $b-b'$ ، $c-c'$ و $d-d'$ در بخش شمالی مسیر $b-b'$ که بیرون از پهنه برشی قرار دارد، موقعیت روند و شیب برگوارگی‌های نسل دوم نشان داده شده است؛ ب) روند و میل خطوارگی‌های کششی و کانیایی برداشت شده در قلمرو پهنه برشی به تفکیک برای هر مسیر. جهت شیب برگوارگی‌ها و روند و میل خطوارگی‌ها در یال جنوب باختری طاق ریخت نوغان، برعکس یال شمال خاوری است. خطوط نقطه چین زردرنگ در تصویر، نمایانگر دیواره شمال خاوری و جنوب باختری پهنه برشی نوغان بوده و موقعیت اثر سطح محوری طاق ریخت نوغان با خط چین زرد رنگ نشان داده شده است.



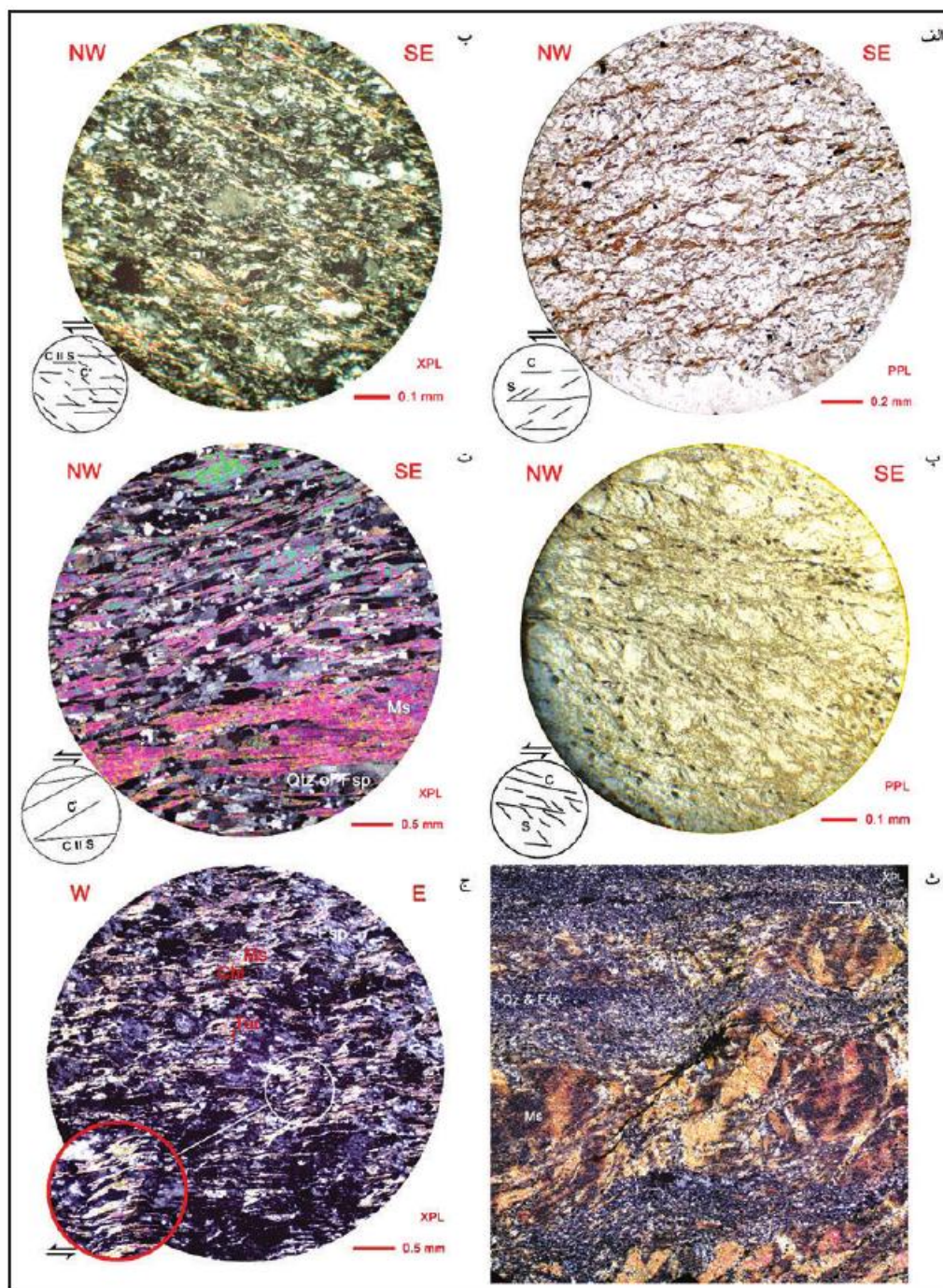
شکل ۵- الف) اسلیت دارای ۲ نسل برگوارگی S_2 و S_3 ، (نور طبیعی) ب) دو نسل کلریت یکی به موازات برگوارگی S_2 (همزمان با دگرگونی دوم) و دیگری به موازات برگوارگی S_3 (همزمان با دگرگونی سوم). برگوارگی S_3 از چین خوردگی برگوارگی S_2 به وجود آمده است (نور پلاریزه).



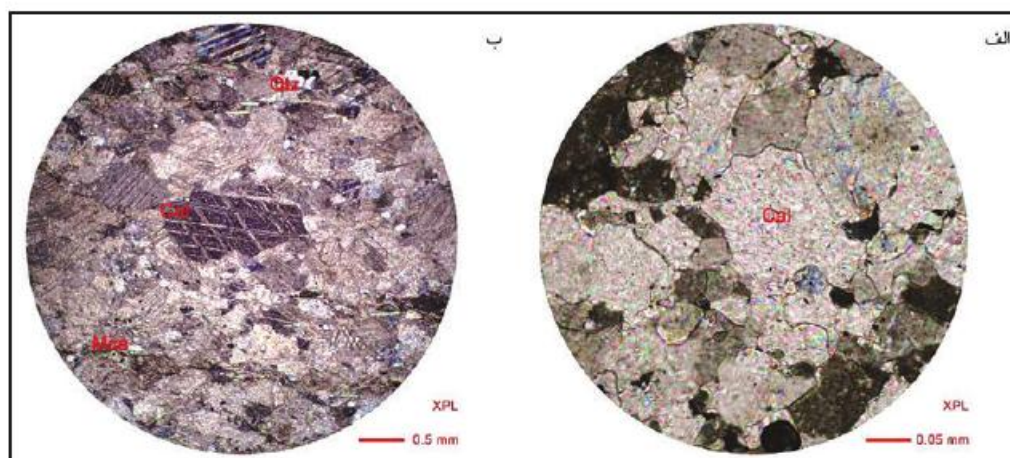
شکل ۶- ریزساختارهای سنگ‌های آذرین اسید الیومینوسی: الف) فنوکلاست ارتوز و کوارتز ماگمایی (با خاموشی موجی) دارای بازتبلور پویا؛ ب) ساختارهای از جنس کوارتز چندبلوری با سوی برش راست‌بر؛ پ) فلدسپار قطعه قطعه شده با جاده‌جایی دومینو؛ ت) فنوکلاست میکروکلین و کوارتز (با خاموشی موجی) همراه با بازتبلور پویا و رویان کوارتز؛ و ریزساختارهای سنگ‌های آذرین بازیک میلوئیتی؛ ث) رخ باند برشی نوع C-S؛ ج) پلاژیوکلاز قطعه قطعه شده با جاده‌جایی دومینو با سوی برش راست‌بر (Cal-کلسیت، Chl-کلریت، Fsp-فلدسپار، Mc-میکروکلین، Ms-مسکوویت، Op-اپیک، Or-ارتوز، Pl-پلاژیوکلاز، Qtz-کوارتز).

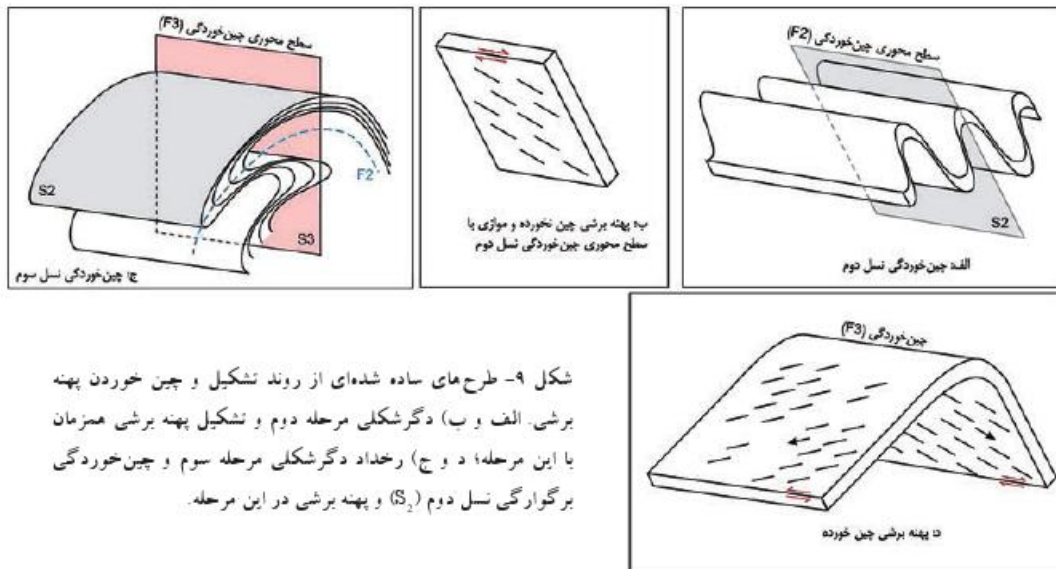


شکل ۷- الف) کلیواژ باند برشی نوع C-S با سوی برش راست بر در متاسامیت؛ ب) کلیواژ باند برش نوع C'-S با سوی برش راست بر در متاسامیت؛ پ- کلیواژ باند برش نوع C-S با سوی برش چپ بر در متاسامیت؛ ت- کلیواژ باند برش نوع C'-S با سوی برش چپ بر در متاسامیت؛ ث) فیلیت در سنگی با لایه بندی اولیه و متوالی رسوبات ماسه ای و آریلی؛ ج) رخ باند برش نوع C'-S با سوی برش چپ؛ نمونه های دارای سوی برش چپ از یال جنوب باختری طاق ریخت نوغان و نمونه های دارای سوی برش راست بر از یال شمال خاوری برداشت شده اند (Chl- کلریت، Fsp- فلدسپار، Ms- مسکوویت، Qtz- کوارتز، Tur- تورمالین).



شکل ۸- فابریک های موجود در نمونه های سنگ آهک کوارتزار مرمر شده. الف) بازتبلور مهاجرت مرز دانه در نوع دوم در کلسیت. ب) ماکل تغییر شکل نوع دوم در کلسیت. (Cal- کلسیت، Mca- میکا، Qtz- کوارتز).





شکل ۹- طرح‌های ساده شده‌ای از روند تشکیل و چین خوردن پهنه برشی. الف و ب) دگرشکلی مرحله دوم و تشکیل پهنه برشی همزمان با این مرحله؛ د و ج) رخداد دگرشکلی مرحله سوم و چین خوردگی برگراگی نسل دوم (S₂) و پهنه برشی در این مرحله.

کتابنگاری

- ایزدی کیان، ل. و محجل، م. ۱۳۸۶ چین خوردگی‌های چندمرحله‌ای و سازوکار تشکیل آنها در تکتونیت‌های موجود در ساختار گنبدی منطقه آلمابولاغ (باختر همدان)، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ۶۶.
- بابااحمدی، ع. ۱۳۸۷ تعیین ساختار مجموعه دگرگونی منطقه جادگان (غرب اصفهان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۱۳ ص.
- داوودیان، ع. ۱۳۸۴ تحول تکتونوتامورفیک و ماگماتیک ناحیه بین شهرکرد و داران (زون سنتدج سیرجان، ایران)، رساله دکتری، دانشگاه اصفهان.
- سهیلی، م.، جعفریان، م. ب. و عبدالهی، م. ۱۳۷۱ نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ الیگودرز، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- محجل، م. ۱۳۷۱ نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ گلباگان، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- محجل، م. و سهندی، م. ر. ۱۳۷۷ چند دگرشکلی و توالی چینه‌ای کمپلکس ژان، پهنه دورود اژنا، زون سنتدج سیرجان. مجموعه مقالات هفدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحه ۱۴۷-۱۵۲.
- هوشمند معنوی، س. ۱۳۸۸ پترولوژی و پتروفابریک سنگ‌های آذرین اسیدی دگرریخته پهنه برشی نوغان (۳۰ کیلومتری جنوب باختر گلباگان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۱۰ ص.

References

- Barker, A. J., 1998- Introduction to metamorphic textures and microstructures. 2nd edition. Blackie, Glasgow, 162 p.
- Burkhard, M., 1993- Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review. *Journal of Structural Geology*, 15, 351-368.
- Ferill, D. A., Morris, P. A., Evans, M. A., Burkhard, M., Groshong, Jr. R. H. & Onasch, C. M., 2004- Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer. *Journal of Structural Geology*, 26, 1521-9.
- Fossen, H. & Tikoff, B., 1998- Extended models of transpression and transtension, and application to tectonic settings. In: Holdsworth, R.E., Strachan, R. A. and Dewey, J. F. (eds), *Continental transpressional and transtensional tectonics*. Geological Society, London, Special Publications, 135, 15-33.
- Fossen, H., 2010- *Structural geology*. Cambridge University Press, 480 p.
- Fossen, H., Tikoff, B. & Teyssier, C., 1994- Strain modeling of transpressional and transtensional deformation. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 74, 134-145.
- Groshong, Jr. R. H., Teufel, L. W. & Gasteiger, C., 1984- Precision and accuracy of the calcite strain-gauge technique. *Geological Society of American Bulletin*, 95, 357-363.
- Mohajjel, M. & Fergusson, C. L., 2000- Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Structural Geology*, 22, 1125-39.
- Mohajjel, M., 1997- Structure and tectonic evolution of Paleozoic-Mesozoic rocks, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. PhD thesis, University of Wollongong, Australia. 224 p.
- Mohajjel, M., Baharifar, A., Moinevaziri, H. & Nozaem, R., 2006- Deformation history, micro-structure and P-T-t path in ALS-bearing schists, southeast Hamadan, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Journal of Geological society of Iran*, Vol. 1, No 1, 11-19.
- Passchier, C. W. & Trouw, R. A. J., 2005- *Microtectonics*, 2nd Edition. Berlin, Springer, 366p.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I., 1983- *The Techniques of Modern Structural Geology*, 1; Strain Analysis. London, Academic Press, 258 p.
- Thiele, O., AlaviNaini, M., Asefi, R., Hushmandzadeh, A., SeyedEmami, K. & Zahedi, M., 1967- Golpaygan Quadrangle Map of Iran No. E7. 1:250000, Geological Survey of Iran.
- Trouw, R. A. J., Passchier, C. W. & Wiersma, D. J., 2010- *Atlas of mylonites and related microstructures*. Springer, 332p.

Deformation and folding of mylonitic fabrics in Nowqan ductile shear zone: SW Golpaygan (Sanandaj - Sirjan zone)

M. Mohajjel^{1*} & S. Houshmand Ma'navi²

¹ Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² M.Sc., Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2015 February 28

Accepted: 2016 February 07

Abstract

A NW-SE trending ductile shear zone has been generated in the metamorphic rocks of the southwest Golpaygan. Different pelitic and psammitic schists, meta-carbonates and igneous rocks were strongly deformed in this ductile shear zone and produced mylonites and ultra-mylonites. Structural analysis indicates three stages of foliations in the metamorphic rocks. Geometry and kinematics of the fabrics in Nowqan shear zone are divided into two northeastern and southwestern parts (limbs of Nowqan antiform). Mylonitic foliation moderately to steeply dip towards northeast in the northeastern part but dips to the southwest in the southwestern part. Mineral and stretching lineation, are shallowly to moderately plunging to the east-southeast in the northeastern part of the shear zone and, to the west-northwest in the southwestern part. The microstructural indicators of shear sense cleared that the northeastern part dextrally displaced along strike with normal component and the southwestern part sinistraly displaced with reverse component at the present situation. The fabrics evidence clear that this ductile shear zone were originally right-lateral strike-slip shear zone and during its structural evolution it was rotated around its strike during later folding stage. Structural analysis of the surrounded rocks of the shear zone indicates three superposed foliations. The mylonitic foliation in the shear zone and the axial plane foliations of the second stage folding are sub-parallel. Plunge directions of the second stage folds axes and the mineral/stretching lineation are also sub-parallel. Therefore, the initiation and development of the shear zone were synchronous with the second stage folding event.

Keywords: Deformation, Folded shear zone, Antiform, Golpaygan, Nowqan, Sanandaj- Sirjan.

For Persian Version see pages 91 to 98

*Corresponding author: M. Mohajjel; E-mail: mohajjel@modares.sc.ir