

دگرریختی و چین خوردگی فابریک‌های میلوئیتی پهنه برشی شکل‌پذیر نوغان جنوب باختر گلپایگان، پهنه سندج - سیرجان

محمد محجل^{۱*} و سیما هوشمند معنوی^۲

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

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

چکیده

در سنگ‌های دگرگون شده جنوب باختر گلپایگان، پهنه برشی شکل‌پذیر نوغان با روند شمال باختر- جنوب خاور گسترش دارد. در این پهنه برشی، انواعی از شیست‌های پلیتی و پسامیتی به همراه کربنات و سنگ‌های آذرین، به مجموعه‌ای از سنگ‌های میلوئیتی و الترامیلوئیتی تبدیل شده‌اند. ساختارهای موجود در سنگ‌های دگرگون شده پیرامون پهنه برشی نوغان، وجود ۳ نسل برگوارگی را روشن می‌سازد. در این پهنه برشی، موازی بودن برگوارگی میلوئیتی با برگوارگی‌های فراگیر نسل دوم سنگ‌های دگرگون شده پیرامون، پیشنهاد می‌دهد که برگوارگی میلوئیتی هم‌زمان با دگرشکلی مرحله دوم گسترش پیدا کرده و با برگوارگی فراگیر نسل دوم هم‌زاد بوده است. برداشت‌های ساختاری، وجود یک طاق‌ریخت را در قلمرو این پهنه برشی پیشنهاد می‌کند به طوری که هندسه و سازوکار جنبشی آن در یال شمال خاوری و یال جنوب باختری عکس همدیگر هستند. برگوارگی‌های 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. خطوارگی‌های 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 نمونه‌های جهت‌دار از سنگ‌های این پهنه برشی روشن ساخت که در موقعیت ساختاری کنونی، نوع سازوکار جنبشی پهنه برشی در یال شمال خاوری، راستالغز راست‌بر با مؤلفه عادی و در یال جنوب باختری، راستالغز چپ‌بر با مؤلفه وارون است. این شواهد هندسی و جنبشی پیشنهاد می‌کند که پهنه برشی در هنگام تشکیل، سازوکار جنبشی راستالغز راست‌بر با مؤلفه عادی داشته که در دگرشکلی بعدی، چین خورده و طاق‌ریختی با راستای شمال باختر- جنوب خاور ساخته است.

کلیدواژه‌ها: دگرریختی، پهنه برشی چین خورده، طاق‌ریخت، گلپایگان، نوغان، سندج - سیرجان.

* نویسنده مسئول: محمد محجل

E-mail: mohajjel@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

پهنه برشی شکل‌پذیر نوغان در باختر استان اصفهان و ۳۰ کیلومتری جنوب باختر گلپایگان، میان شهرستان‌های بوین- میاندشت و الیگودرز، در جنوب روستای نوغان و در بخش مرکزی پهنه سندج- سیرجان جای گرفته است (شکل ۱). پهنه‌های برشی شکل‌پذیر به منطقه مورد مطالعه محدود نمی‌شود و در ادامه جنوب خاوری در منطقه چادگان (داوودیان، ۱۳۸۴؛ بابا احمدی، ۱۳۸۷) و در ادامه شمال باختری در برکه الیگودرز (سهیلی و همکاران، ۱۳۷۱)، منطقه ازنا (Mohajjel & Fergusson, 2000; Mohajjel, 1997) نیز مطالعه شده است؛ ولی در محدوده مورد مطالعه در برکه گلپایگان (محجل، ۱۳۷۱) برای اولین بار یک پهنه برشی شکل‌پذیر، مطالعه و با نام نوغان معرفی می‌شود.

۲- روش کار

برای اندازه‌گیری فابریک‌های برشی، محدوده‌ای 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 سنگ‌های دگرگون شده گستره مورد بررسی، شواهد صحرایی و میکروسکوپی از فابریک‌های موجود در پهنه برشی ارائه و سپس بر پایه شواهد هندسی و جنبشی، چگونگی تشکیل و تکامل این پهنه تحلیل شده است.

۳- دگرشکلی در سنگ‌های دگرگون شده پیرامون پهنه برشی

با توجه به مشاهدات صحرایی و میکروسکوپی، ۳ مرحله دگرشکلی در سنگ‌های منطقه تشخیص داده شده است. از شواهد تأثیر دگرشکلی مرحله

اول (D₁) می‌توان به برگوارگی پیوسته نسل اول (S₁) اشاره کرد که در برخی تیغه‌های نازک دیده می‌شود (شکل ۲)؛ ولی فرایند ساختاری که سبب ایجاد آن بوده، بر اثر تأثیر مراحل پیشرونده دگرشکلی، حذف و رونقشی شده است؛ با این وجود، این برگوارگی در بخش‌های مختلف پهنه سندج- سیرجان، برگوارگی سطح محوری با توسعه چین‌خوردگی 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).

دگرشکلی فراگیر سنگ‌های دگرگون شده پیرامون گستره مورد بررسی نتیجه مرحله دوم دگرشکلی است که با گسترش چین‌های هم‌شیب و برگوارگی موازی با سطح محوری مشخص است. مطابق شکل ۲- ب با توجه به حضور کانی‌های دگرگونی مشابه، مانند بیوتیت در امتداد برگوارگی نسل اول و دوم مشخص می‌شود که از اولین مرحله دگرشکلی، گرمای دگرگونی یکسان نیز در شکل‌گیری آنها مؤثر بوده است. برگوارگی نسل اول با تشکیل کانی‌های صفحه‌ای موازی با سطح محوری چین‌های نسل اول پدید آمده است که در مقاطع نازک، تحت تأثیر دگرشکلی دوم، به شکل ریزچین و رخ‌های کنگره‌ای نمود یافته است.

بر اثر گسترش دومین مرحله دگرشکلی، شدیدترین تغییرات ساختاری در منطقه رخ داده که افزون بر گسترش چین‌های هم‌شیب سبب تشکیل برگوارگی فراگیر S₂ به موازات سطح محوری این چین‌های هم‌شیب شده است. قرارگیری سنگ‌های دگرگون شده در قلمرو پهنه برشی نوغان، سبب میلوئیتی شدن و تشکیل سنگ‌ساخت‌های میلوئیتی در بخش‌هایی از این سنگ‌ها شده است. به دلیل اینکه امتداد و شیب برگوارگی میلوئیتی موازی با برگوارگی S₂ در منطقه است، می‌توان پیدایش و سازوکار جنبشی پهنه برشی نوغان را به دگرشکلی مرحله دوم نسبت داد. چین‌خوردگی نسل دوم (F₂) چین‌خوردگی 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 الترامیوئیتی شده یال شمال خاوری طاق‌ریخت نوغان، سوی برش راست بر به سوی جنوب خاور تعیین می‌شود.

شاخصه مهم در تفکیک میلوئیت‌های دامپاین و دمامتوسط، میزان رشد کوارتزهای بازبلورین شده است. در میلوئیت‌های دامپاین (۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد)، اندازه دانه‌های کوارتز، کوچک‌تر از ۵۰ میکرون است در حالی که در میلوئیت‌های دمامتوسط (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 پایین تا متوسط به هنگام دگرریختی است.

۴-۲. سنگ‌های آذرین بازیگ میلوئیتی

این سنگ‌های دگرریخت شده با رنگ خاکستری تیره متمایل به سبز، در یال شمال خاوری طاق‌ریخت نوغان و بخش شمالی سنگ‌های آذرین اسید الترامیوئیتی شده قرار دارند و به دلیل کوچک بودن رخنمون، در شکل ۱-ب نشان داده نشده‌اند. در مقاطع میکروسکوپی کانی‌های پلاژیو کلاز، کلریت، کانی‌های کدر و کلسیت و کمتر کوارتز دیده می‌شود (هوشمند معنوی، ۱۳۸۸). این سنگ‌ساخت‌ها در قلمرو پهنه برشی نوغان، فابریک‌های میلوئیتی نشان می‌دهند. پدیده تبلور دوباره در دانه‌های کوارتز و پلاژیو کلاز 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 پلاژیو کلاز به صورت کاهش مساحت مرز دانه دیده می‌شود. دانه‌های کلسیت تحت تأثیر تنش، حالت کشیده پیدا کرده‌اند و دانه‌های کوارتز، خاموشی موجهی نشان می‌دهند. با استفاده از نشانگرهایی مانند باند برشی (شکل ۶-ث)، ریخت ماهی شکل پلاژیو کلاز و پورفیرو کلاست پلاژیو کلاز قطعه قطعه شده از نوع دومینو (شکل ۶-ج) در این سنگ‌های آذرین بازیگ میلوئیتی، سوی برش امتداد لغز راست بر 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 پایین (حدود ۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) به هنگام دگرریختی این سنگ‌ها پیشنهاد می‌شود.

۴-۳. متاسامیت‌های میلوئیتی شده

متاسامیت‌ها 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، فیلیت و شیست تبدیل شده‌اند؛ ولی فیلیت برونزد بیشتری دارد و در مقاطع میکروسکوپی آنها، کانی‌های کوارتز، مسکوویت، کلریت، بیوتیت، فلدسپار، تورمالین، زیرکن، مواد آلی و کانی‌های کدر و گاه آپاتیت و گارنت‌های ریز وجود دارد. در برخی از فیلیت‌ها، بیوتیت و کلریت فراوان‌تر و در برخی دیگر مسکوویت و بیوتیت بیشتر است. فیلیت‌ها در پهنه برشی، تحت تأثیر دگرریختی شکل‌پذیر، به فیلوئیت تبدیل شده‌اند.

در دانه‌های کوارتز، شواهد دگرشکلی مانند خاموشی موجهی 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 ماهی شکل میکا، فلدسپار، کوارتز و کوارتز چندبلوری از دیگر شواهدی هستند که در مقاطع نازک، دو سوی برش متفاوت را در یال شمال خاوری و جنوب باختری طاق‌ریخت نوغان نشان می‌دهند. به این ترتیب که سوی برش در یال شمال خاوری، راست بر به سوی جنوب خاور و در یال جنوب باختری، چپ بر به سوی باختر-شمال باختر است.

اسلیت‌های شمال گستره مورد بررسی دیده می‌شود. در طی چین خوردگی 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 برگوارگی سطح محوری آنها (S_2)، شیب زیادی به سوی شمال-شمال خاور دارند و میل محورشان نیز حدود 32° تا 65° به سوی خاور-جنوب خاور است (شکل‌های ۳-پ و ت).

برگوارگی S_2 موازی با سطح محوری چین خوردگی مرحله دوم (F_2) گسترش یافته است (شکل‌های ۳-ب و ۴-الف). در نیمه شمالی محدوده مورد مطالعه شیب برگوارگی S_2 به سوی شمال خاور و در نیمه جنوبی، به سوی جنوب باختر است. در مواردی در کربنات‌ها لایه‌بندی در راستای برگوارگی S_2 ترانهاذگی (transposition) پیدا کرده است (شکل ۳-الف).

دگرشکلی مرحله سوم سبب پدید آمدن چین‌های نسل سوم (F_3) در مقیاس‌های گوناگون شده است. این چین خوردگی در مقیاس بزرگ، برگوارگی نسل دوم و برگوارگی میلوئیتی موازی آن را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۴). متفاوت بودن جهت و مقدار میل خطوارگی کششی در این دو نیمه نتیجه چین خوردگی نسل سوم است. چین خوردگی نسل سوم در مقیاس میکروسکوپی به صورت ریزچین‌هایی در بخش‌های غنی از کانی‌های میکایی برگوارگی نسل دوم نمایان است (شکل ۵). برگوارگی نسل سوم موازی با سطح محوری این ریزچین‌ها دیده می‌شود.

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

انواعی از سنگ‌ساخت‌های میلوئیتی در پهنه برشی نوغان وجود دارند که شامل سنگ‌های آذرین اسید و بازیگ، متاسامیت، متاپلیت و متاکربنات‌های میلوئیتی تا الترامیوئیتی هستند. به منظور بررسی این سنگ‌ها در مقیاس میکروسکوپی، مقاطع نازکی عمود بر برگوارگی میلوئیتی و موازی با خطوارگی کششی از نمونه‌های جهت‌دار تهیه شد. در این بخش، شواهد ریزساختارهای برشی دیده شده در سنگ‌های دگرگونی میلوئیتی و نشانگرهای سوی برش در آنها معرفی می‌شود.

۴-۱. سنگ‌های آذرین اسید الترامیوئیتی

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 فنوکلاست‌ها هستند. پلاژیو کلازهای دارای ماکل دگرشکلی نیز برخی از فنوکلاست‌ها را می‌سازند. کانی‌های فرعی شامل زیرکن، آپاتیت، تورمالین و کانی‌های کدر هستند (هوشمند معنوی، ۱۳۸۸).

سنگ‌های دارای بیشترین تغییر شکل معمولاً دارای میکروکلین زیادتر و ارتو کلاز کمتری هستند. بنابراین می‌توان گفت که تنش برشی حاکم بر سنگ یک عامل کنترل‌کننده مهم در تبدیل دیگر فلدسپارهای پتاسیم‌دار 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 باز تبلور در حاشیه این کانی‌هاست (شکل ۶-پ). مرز زردانه، خاموشی موجهی و مهاجرت مرز دانه‌های کوارتز از دیگر شواهد دگرشکلی است. از ویژگی‌های آشکار فابریک میلوئیتی در سنگ‌های آذرین الترامیوئیتی 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 ماهی شکل میکا، فلدسپار، کوارتز، و ماهی شکل‌های کوارتز چند

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

بر پایه بررسی‌های Fossen et al. (1994) و Fossen & Tikoff (1998) رژیم‌های زمین‌ساختی ترافشارشی به دو نوع فشارش غالب و امتدادلغز غالب تقسیم می‌شوند. در رژیم‌های ترافشارشی با فشارش غالب، خطواره کششی همواره وضعیتی عمودی دارد و گسترش چندانی پیدا نمی‌کند. برگوارگی‌های برشی موجود نیز شیب زیاد تا قائم دارد و تقریباً موازی با دیواره پهنه برشی قرار می‌گیرد. در رژیم‌های ترافشارشی امتدادلغز غالب، برگوارگی‌ها دارای شیب زیاد تا قائم و خطواره‌های کششی، افقی هستند و هر دو به صورت مورب نسبت به مرز پهنه برشی قرار می‌گیرند. در منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود خطوارگی با سوی میل متفاوت (14° تا 76°) می‌توان چنین در نظر گرفت که پهنه برشی از نوع امتدادلغز راست‌بر با مؤلفه عادی تشکیل شده و سپس در مرحله بعدی در طی دگرزبختی هم‌محور چین خورده است.

۶- نتیجه‌گیری

گسترش فابریک میلوئیتی در سنگ‌های دگرگونی مانند برگوارگی میلوئیتی و خطواره کششی و حضور فابریک میلوئیتی در مقیاس میکروسکوپی (مانند فابریک‌های رخ باند برش، ساختار ماهی، پورفیروکلاست‌های قطعه قطعه شده از نوع دومینو و...)، نشانگر آن است که سنگ‌های دگرگون و آذرین در قلمرو یک پهنه برشی شکل‌پذیر در مقیاس ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه هندسه و جهت‌یافتگی برگوارگی‌های میلوئیتی با برگوارگی سطح محوری چین‌های دگرشکلی مرحله دوم همخوانی دارد، پهنه برشی نوغان هم‌زمان با دگرشکلی مرحله دوم در منطقه به وجود آمده است. تغییرات سوی شیب برگوارگی میلوئیتی در پهنه برشی و تغییر سوی میل خطواره کششی از جنوب خاور به باختر-شمال باختر، تغییر سوی برش راست‌بر با مؤلفه عادی در بخش شمالی پهنه برشی به چپ‌بر با مؤلفه وارون در بخش جنوبی (جابه‌جایی بخش جنوب باختر به صورت وارون به سوی شمال خاور)، می‌توان نتیجه گرفت که پهنه برش نوغان در ابتدا به صورت پهنه برشی راستالغز تا مایل‌لغز با مؤلفه عادی بوده و سپس تحت تأثیر ادامه تنش فشاری و سوی تمایل (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 سنگ‌نشته‌های دگرگون شده موجود در منطقه و موازی بودن روند آنها با راستای چینی که پهنه برشی را چین داده، مشخص می‌سازد که پهنه برشی در طول دگرشکلی پیش‌رونده در مرحله دوم ایجاد شده و با مرحله سوم چین خورده است.

در متاپسامیت‌های دگرریخت شده، اندازه کوارتز بازبلورین شده، نشانگر شرایط دمایی تا متوسط به هنگام میلوئیتی شدن است.

۴-۴. متاپلیت‌های میلوئیتی شده

این سنگ‌های دگرگون شده در یال جنوب باختری طاق‌ریخت نوغان برونزد دارند. متاپلیت‌ها، از نظر کانی‌شناسی، مشابه متاپسامیت‌ها بوده ولی از کانی‌های سیلیکات ورقه‌ای غنی‌تر هستند. در بعضی موارد این نمونه‌های میلوئیتی به قدری از میکا غنی می‌شوند که می‌توان آنها را فیلونیت نامید (شکل ۷-ث). برگوارگی میلوئیتی و رخ باند برش نوع C-S (شکل ۷-ج)، سوی برش چپ‌بر به سوی باختر-شمال باختر را در یال جنوب باختری طاق‌ریخت نوغان به نمایش می‌گذارند. با توجه به اندازه کوارتز بازبلورین شده، شرایط درجه دمایی تا متوسط به هنگام میلوئیتی شدن این سنگ‌های دگرگون شده پیشنهاد می‌شود.

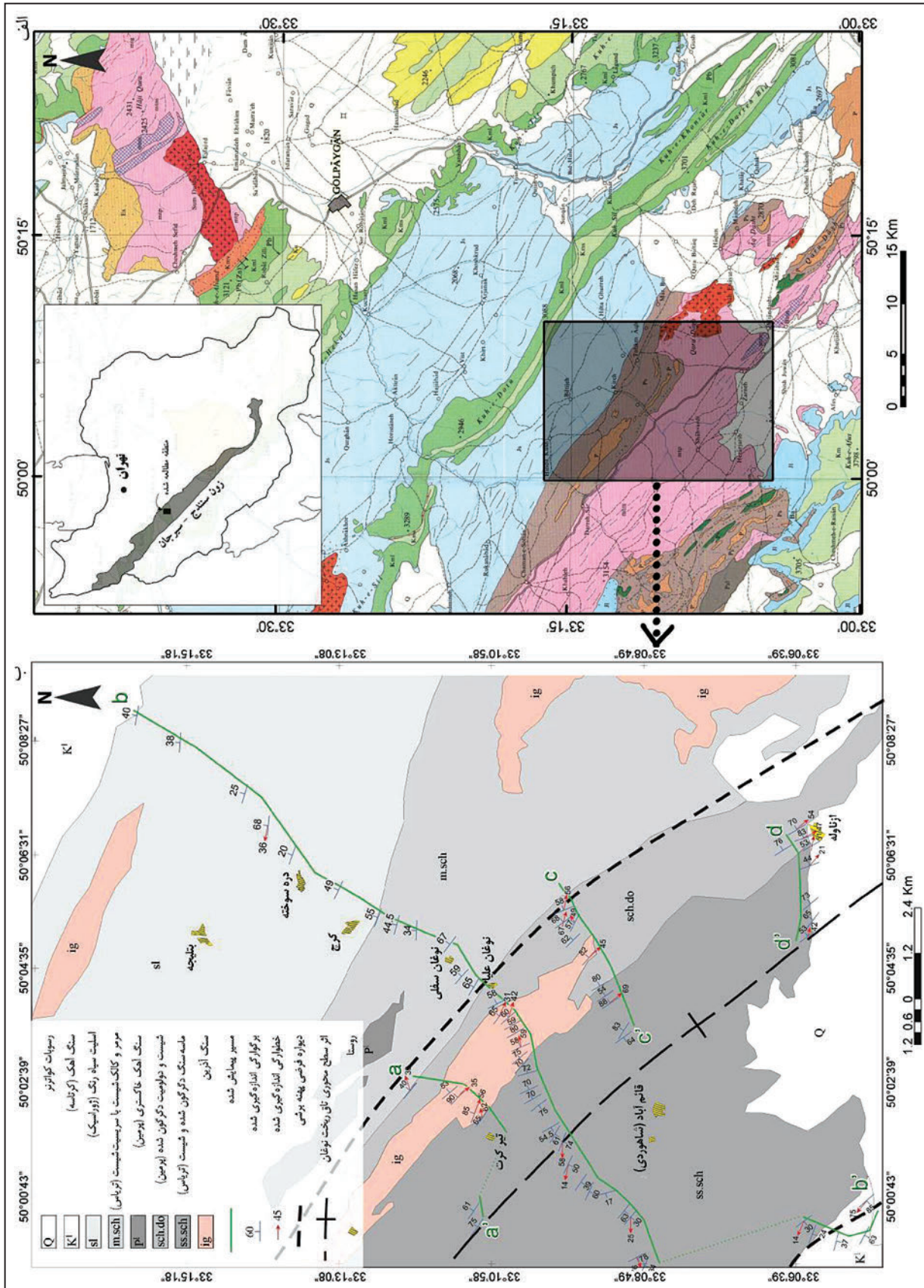
۴-۵. متاکرینات‌ها

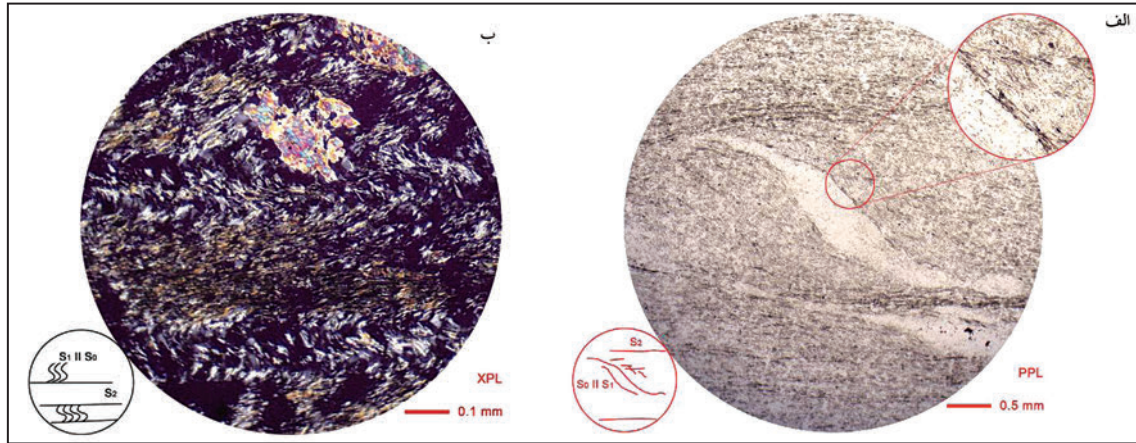
این سنگ‌ها از دگرگون شدن دولومیت‌ها و یا سنگ‌آهک‌های کوارتزدار حاصل شده‌اند. از شمال به سوی جنوب منطقه، در این سنگ‌ها میزان تبلور بلورهای کلسیت زیاد می‌شود. بازبلورین شدن از نوع مهاجرت مرز دانه و ایجاد ماکل دگرشکلی (شکل ۸-الف) در دانه‌های کلسیت دیده می‌شود. دانه‌های کوارتز در اثر تنش، خاموشی موجی پیدا 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 پهنه برشی

سوی میل خطواره‌های کششی برداشت شده در پهنه برشی به دو سوی خاور-جنوب خاور با میانگین آزیموت 112° و باختر-شمال باختر با میانگین آزیموت 280° است. میانگین میل خطواره‌ها 44° است. چین‌های نسل دوم در پهنه برشی به تعداد کم دیده می‌شوند اما با مقایسه شکل ۳-پ و ۴-الف دیده می‌شود که برگوارگی میلوئیتی برداشت شده در مسیرهای $a-a'$ ، $c-c'$ ، $d-d'$ و بخش میانی مسیر $b-b'$ ، انطباق مناسبی با برگوارگی و سطح محوری چین‌های نسل دوم برداشت شده در بخش شمالی مسیر $b-b'$ دارند که بیرون از محدوده پهنه 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 ادعا داشت که پهنه 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 پهنه برشی تحت تأثیر قرار



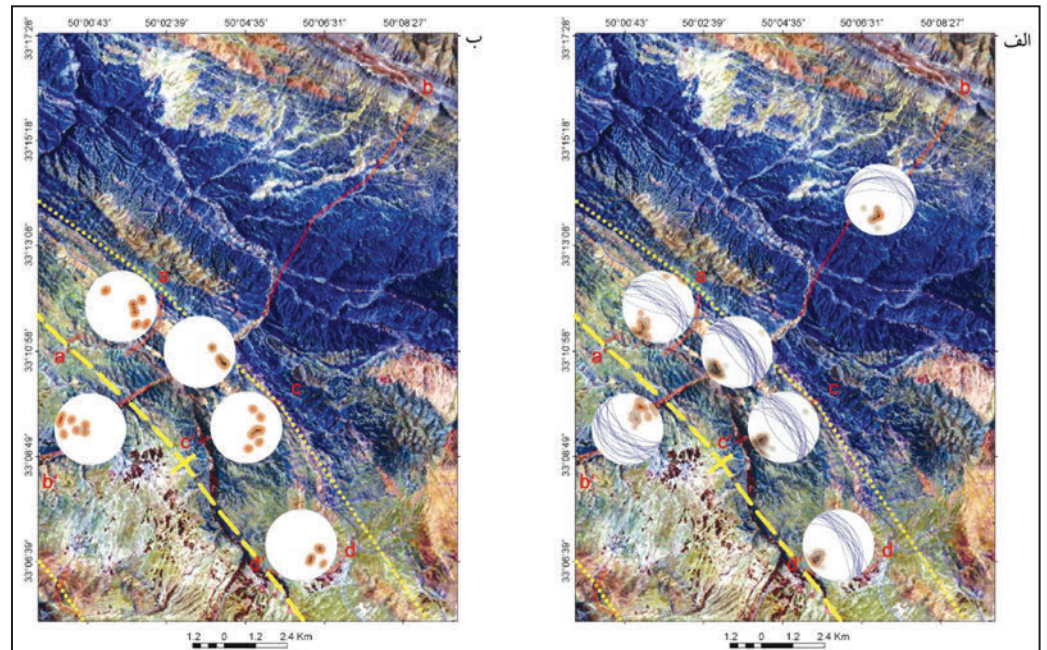


شکل ۲- الف) لایه‌بندی اولیه سنگ موازی با باند کوارتزی (رگه یک دست سفید در نور طبیعی) در متاسامیت. چنانچه در شکل مشخص است برگوارگی S_1 از نوع پیوسته و موازی با S_0 دیده می‌شود. در اثر چین‌خوردگی S_1 ، برگوارگی S_2 موازی با سطح محوری این چین‌خوردگی پدید آمده است؛ ب) برگوارگی S_1 پیوسته که در بخش غنی از کوارتز و فلدسپار و به همراه پورفایروبلاست بیوتیت دیده می‌شود، چین‌خورده و S_2 به صورت برگوارگی فاصله‌دار (کنگره‌ای) به وجود آمده است.

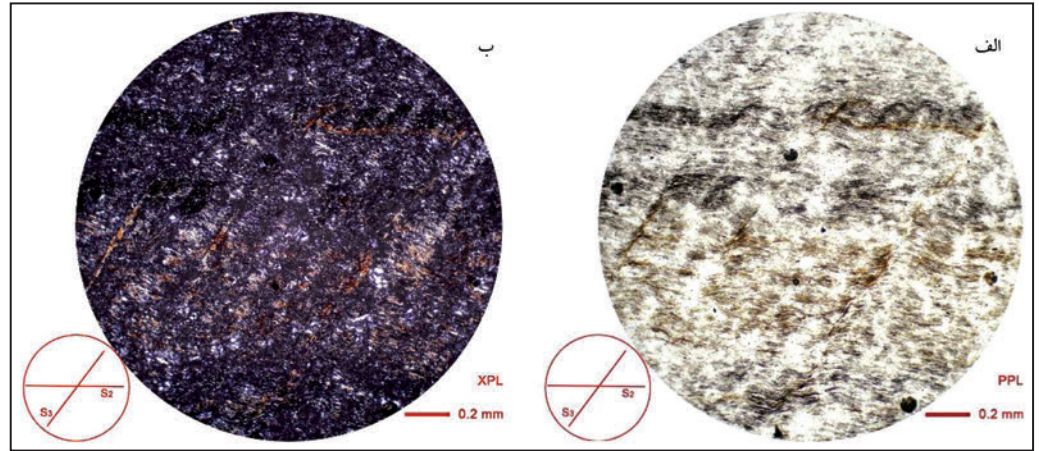


شکل ۳- چین‌خوردگی نسل دوم. الف) ترانهادگی لایه‌بندی در راستای برگوارگی S_1 در کرنات‌های دگرگون شده؛ ب) چین با لولای مدور در مرمر؛ پ) وضعیت سطح محوری به همراه وضعیت توزیع قطب این سطوح (تعداد برداشت=۶۵). برداشت این سطوح محوری به دلیل برونزد خوب در منطقه شرق بوین- میانداشت و از یال شمال خاوری طاق ریخت نوغان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

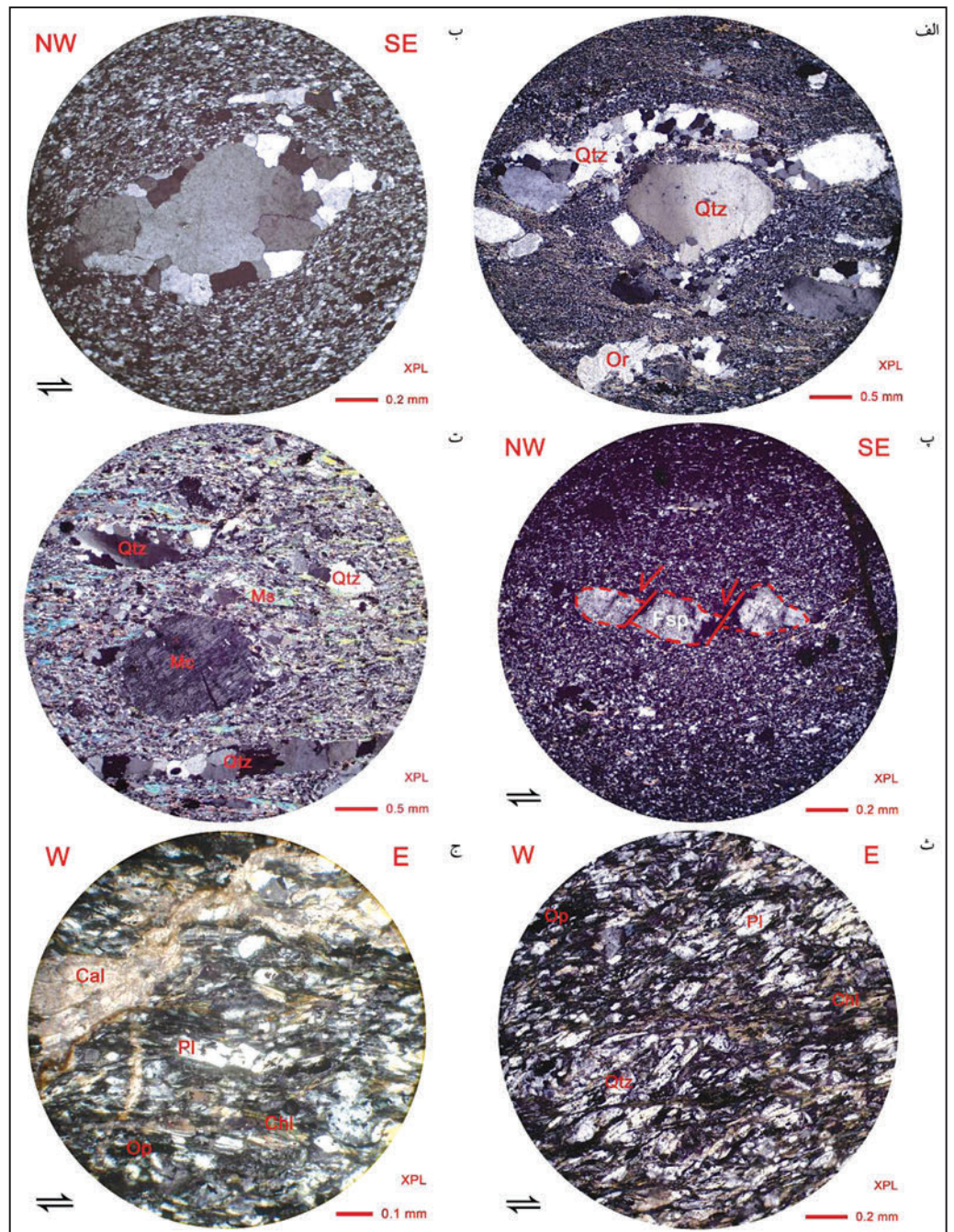
شکل ۴- الف) موقعیت روند و شیب برگوارگی‌های میلیونیتی در امتداد مسیرهای $a-a'$ ، $b-b'$ ، $c-c'$ و $d-d'$ در بخش شمالی مسیر $b-b'$ که بیرون از پهنه برشی قرار دارد، موقعیت روند و شیب برگوارگی‌های نسل دوم نشان داده شده است؛ ب) روند و میل خطوارگی‌های کششی و کانایی برداشت شده در قلمرو پهنه برشی به تفکیک برای 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.



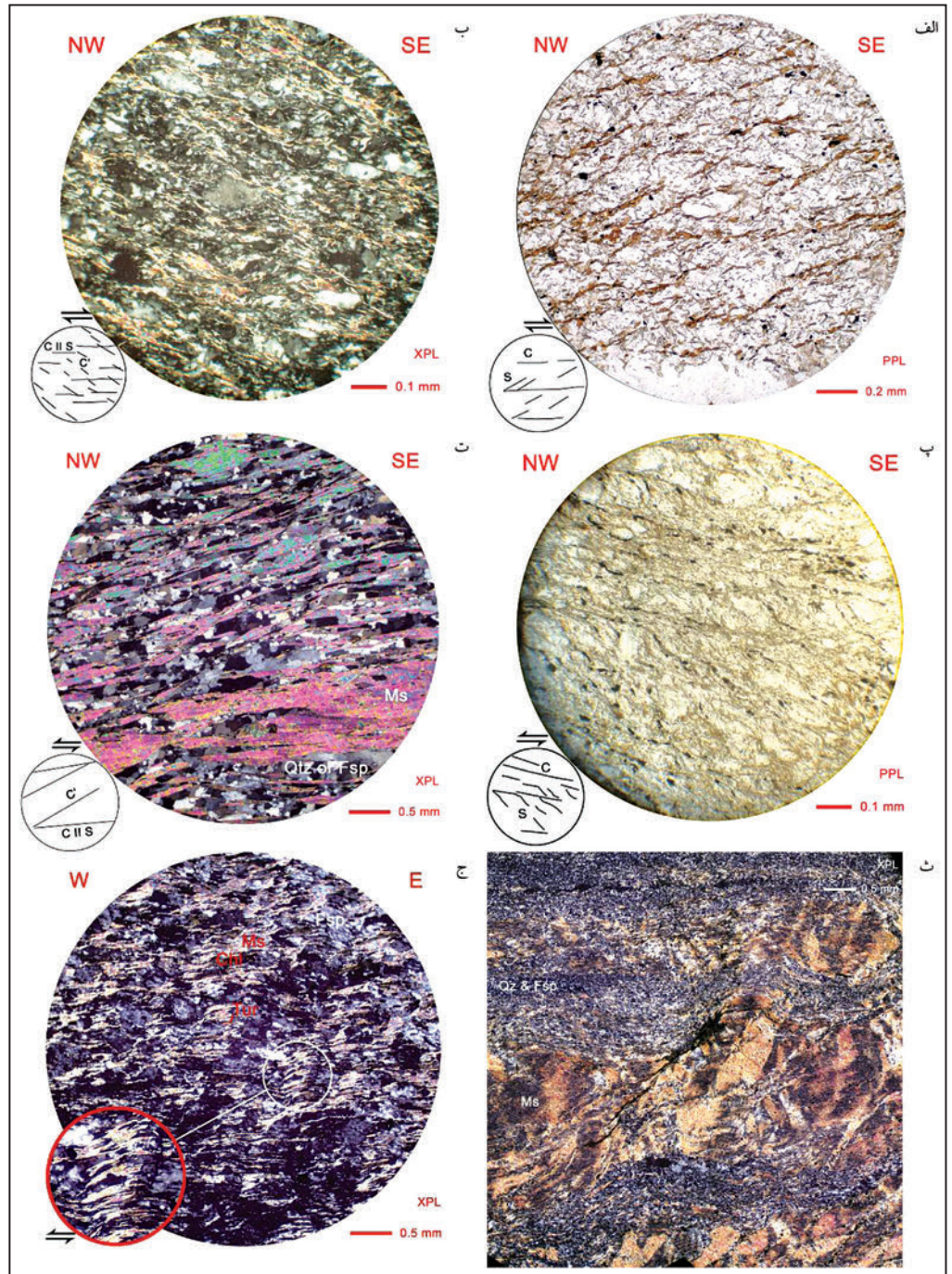
شکل ۵- الف) اسلیت دارای ۲ نسل برگوارگی S_2 و S_3 ، (نور طبیعی) ب) دو نسل کلریت یکی به موازات برگوارگی S_2 (همزمان با دگرگونی دوم) و دیگری به موازات برگوارگی S_3 (همزمان با دگرگونی سوم). برگوارگی S_3 از چین خوردگی برگوارگی S_2 به وجود آمده است (نور پلاریزه).



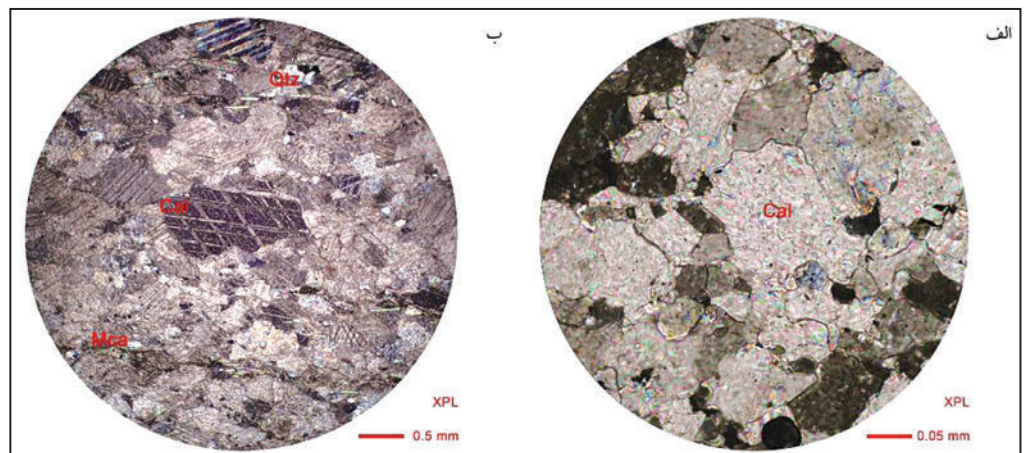
شکل ۶- ریزساختارهای سنگ‌های آذرین اسید الترامیولیتی: الف) فنوکلاست ارتوز و کوارتز ماگمایی (با خاموشی موجی) دارای بازتبلور پویا؛ ب) ساختار ماهی از جنس کوارتز چندبلوری با سوی برش راست‌بر؛ پ) فلدسپار قطعه قطعه شده با جابه‌جایی دومینو؛ ت) فنوکلاست میکروکلین و کوارتز (با خاموشی موجی) همراه با بازتبلور پویا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

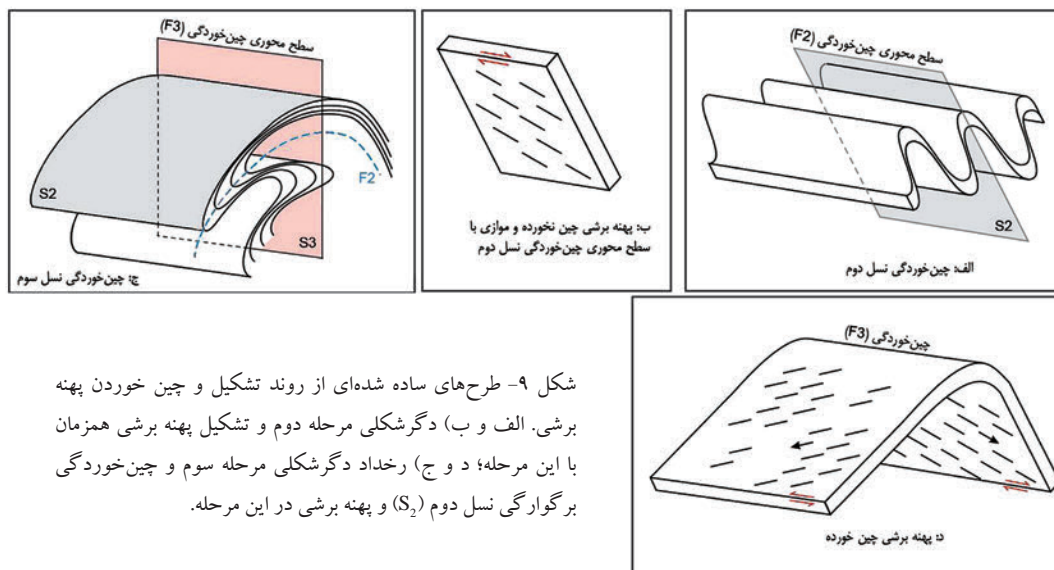


شکل ۷- الف) کلیواژ باند برشی نوع C-S با سوی برش راست بر در متاسامیت؛ ب) کلیواژ باند برش نوع C'-S با سوی برش راست بر در متاسامیت؛ پ- کلیواژ باند برش نوع C-S با سوی برش چپ بر در متاسامیت؛ ت- کلیواژ باند برش نوع C'-S با سوی برش چپ بر در متاسامیت؛ ث) فیلونیت در سنگی با لایه بندی اولیه و متوالی رسوبات ماسه ای و آرزلیلی؛ ج) رخ باند برش نوع C'-S با سوی برش چپ بر؛ نمونه های دارای سوی برش چپ بر 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) باز تبلور مهاجرت مرز دانه در نوع دوم در کلسیت. (ب) ماکل تغییر شکل 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 برگوارگی نسل دوم (S_2) 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 چادگان (غرب اصفهان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۱۳ ص.
- داوودیان، ع.، ۱۳۸۴- تحول تکتونوتمامورفیک و ماگماتیک ناحیه بین شهرکرد و داران (زون سنندج- سیرجان، ایران)، رساله دکتری، دانشگاه اصفهان.
- سهیلی، م.، جعفریان، م. ب. و عبدالهی، م. ر.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ الیگودرز، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- محجل، م.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ گلپایگان، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- محجل، م. و سهندی، م. ر.، ۱۳۷۷- چند دگرشکلی و توالی چینه‌ای کمپلکس ژان، پهنه دورود- ازنا، زون سنندج- 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 گلپایگان)، 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.
- Ferrill, 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., Alavi Naini, M., Assefi, R., Hushmandzadeh, A., Seyed Emami, 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.