

# تحلیل هندسی - جنبشی و تکامل ساختاری گسل‌های کوه درنجال، بلوک خاوری گسل کلمرد (ایران مرکزی)

رعنا صمدی مقدم<sup>۱</sup>، رضا نوزعی<sup>۲\*</sup>، مریم ده‌بزرگی<sup>۳</sup> و محمد محجل<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۷

## چکیده

منطقه کوه درنجال در پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی، در شمال باختری بلوک طیس و در سمت خاوری گسل کلمرد با روند شمال خاوری - جنوب باختری قرار دارد. در این منطقه تنها واحدهای سنگی پالئوزویک (به سن کامبرین تا دونین) به همراه برونزد بسیار کمی از سنگ‌آهک به سن کرتاسه دیده می‌شود. سنگ‌های آذرین منطقه شامل توده آندزیتی لزی شکل شمال کوه درنجال (به سن احتمالی ژوراسیک میانی) و توده‌های نفوذی با ترکیب دیابازی نفوذ کرده در سازند کالشانه است. چرخش بلوک‌های ایران مرکزی، برخورد صفحه عربی با ایران و همچنین اندرکنش ساختاری میان بلوک‌های ایران مرکزی در طی تکامل زمین‌ساختی خود، سبب تغییر در جهت‌گیری محورهای تنش جنبشی (Kinematic Stress Tensor, P-T-B) و در نتیجه شکل‌گیری ساختارهای جدید و تغییر در ساختارهای کهن در طول تاریخ زمین‌شناسی منطقه بوده است. گسل کلمرد به عنوان یک گسل پی‌سنگی ایران مرکزی و نیز به عنوان پهنه اصلی جابجایی (PDZ) سبب شکل‌گیری گسل‌های امتدادگنز و وارون در منطقه کوه درنجال شده است. مشاهدات و برداشت‌های صحرایی نشان‌دهنده وجود گسل‌های همسو (R, P)، ناهمسو (R', X) و فشارشی رده C2 و نیز چین‌خوردگی‌های رده F1 در منطقه کوه درنجال هستند. موقعیت و سازوکار ساختارهای ناحیه کوه درنجال، نشانگر تغییر جهت راستای محور فشارش (P Axis) به صورت پادساعت‌گرد از حالت عمود بر گسل کلمرد تا موازی با آن در بازه زمانی پالئوزویک پایانی تا سنوزویک پایانی است که سبب تشکیل گسل‌ها و تغییر سازوکار جنبشی برخی از گسل‌های مهم منطقه شده است.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل هندسی - جنبشی، تکامل ساختاری، کوه درنجال، گسل کلمرد، ایران مرکزی

\* نویسنده مسئول: رضا نوزعی

E-mail: nozaem@ut.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

کشور ایران در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا پیشینه زمین‌شناسی پیچیده‌ای به دلیل فعالیت‌های زمین‌ساختی زمین دارد که از این میان خرده‌قاره ایران مرکزی با وجود گسل‌های ژرف و پی‌سنگی چون گسل کلمرد، نابیند، نهندان و درونه که عموماً طی رخدادهای کوهزایی کهن تشکیل شده‌اند (Aghanabati, 1975; Stöcklin, 1968; Jackson and Mackenzie, 1984) اهمیت زیادی دارند. همچنین چرخش و جابه‌جایی بلوک‌های ایران مرکزی و اندرکنش ساختاری متأثر از تغییر نوع و سوی حرکت آنها در طول زمان، موجب پیچیده‌تر شدن ساختارهای ایران مرکزی شده است (Walker and Jackson, 2004; Mattei et al., 2012; Allen et al., 2011; Meyer and Dortz, 2007; Nozaem et al., 2013). گسل کلمرد در میان بلوک طیس و ریزبلوک کلمرد، یکی از کهن‌ترین گسل‌های خرده‌قاره ایران مرکزی است که با طولی در حدود ۳۸۰ کیلومتر و با روند اولیه شمالی - جنوبی در پیامد کوهزایی کاتانگایی (پرکامبرین پسین) شکل گرفته است؛ اما بعدها طی رخداد کالدونی بخش شمالی آن در منطقه شیرگشت دارای خمیدگی و متمایل به سوی شمال - شمال خاور (شکل ۱) و نیز طی حرکات کوهزایی سیمیرین پیشین بر خمیدگی آن نیز افزوده شده است (نبوی، ۱۳۵۵). جابه‌جایی افقی گسل کلمرد نیز در واحدهای پرمین و تریاس، در حدود ۴۰ تا ۵۰ کیلومتر با حرکت امتدادگنز راست‌گرد با مؤلفه وارون معرفی شده است (Allen and Armestrang, 2008; Aghanabati, 1975; Ruttner et al., 1968).

از آنجا که تاکنون مطالعه ساختاری در این محدوده صورت نگرفته؛ سازوکار و چگونگی تشکیل گسل‌های منطقه کاملاً ناشناخته است. همچنین هیچ اطلاعاتی از ارتباط ساختارهای یاد شده با گسل کلمرد و به‌طور جامع‌تر، تکوین زمین‌ساختی منطقه در دست نیست. به همین منظور در این پژوهش سعی شده است با اندازه‌گیری دقیق از عناصر ساختاری و تحلیل هندسی - جنبشی آنها الگویی مناسب برای تکامل ساختاری منطقه درنجال ارائه و پیشنهاد شود.

## ۲- موقعیت زمین‌شناختی و زمین‌ساختی

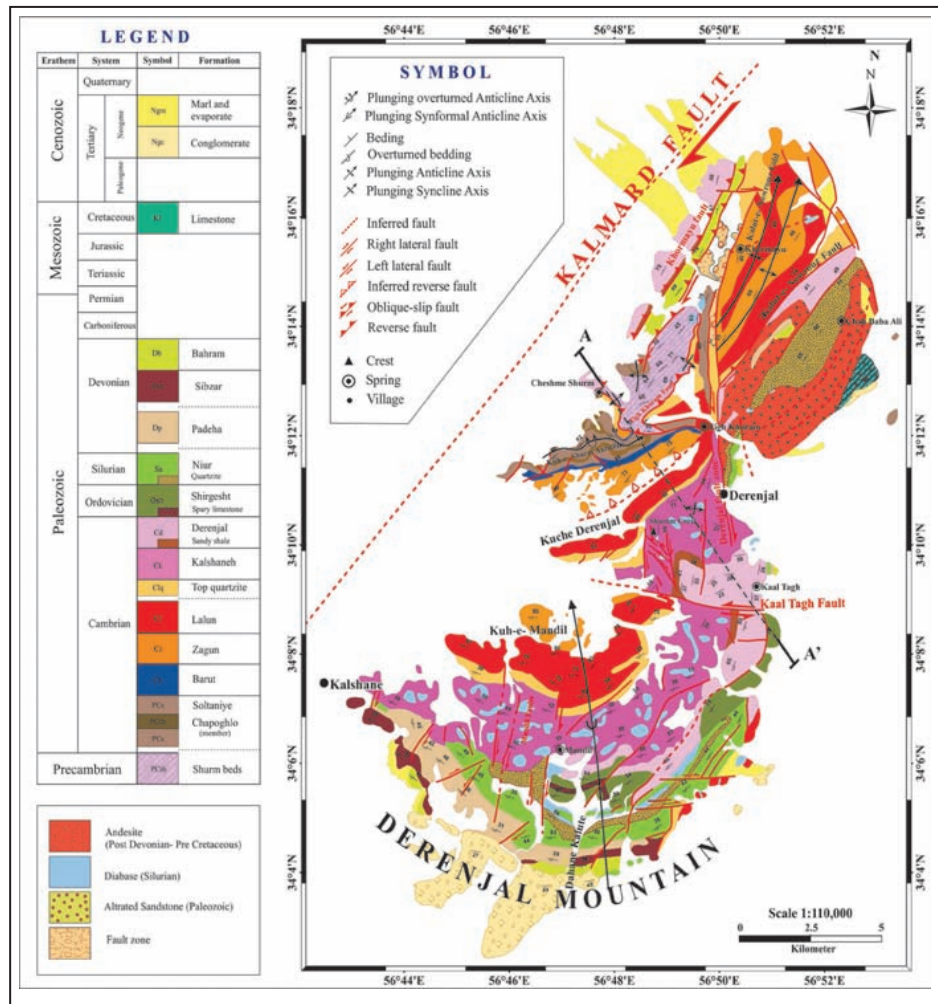
منطقه کوه درنجال در مجاورت و خاور گسل کلمرد و در شمال بلوک طیس (در منطقه شیرگشت) جای گرفته است (شکل ۱). این کوه به صورت منفرد و با مساحت تقریبی ۴۵۰ کیلومتر مربع متشکل از کهن‌ترین سازندهای چینه‌شناسی به سن پالئوزویک است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱) نشان می‌دهد که کوه درنجال احتمالاً در اثر دگربرختی و بالآمدگی واحدهای پالئوزویک (کامبرین تا دونین) تشکیل شده و با توجه به قرارگیری این منطقه در مجاورت گسل کلمرد بی‌شک این دگربرختی متأثر از تغییرات رژیم حرکتی گسل کلمرد در طول زمان بوده است. در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از این کوه، برگرفته از تنها مرجع زمین‌شناسی موجود این ناحیه - نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شیرگشت (Ruttner et al., 1968 and 1994) - نشان داده شده که با توجه به مطالعات و برداشت‌های صحرایی و نیز تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM<sup>+</sup> اصلاح و رسم شده است.

## ۳- زمین‌شناسی عمومی

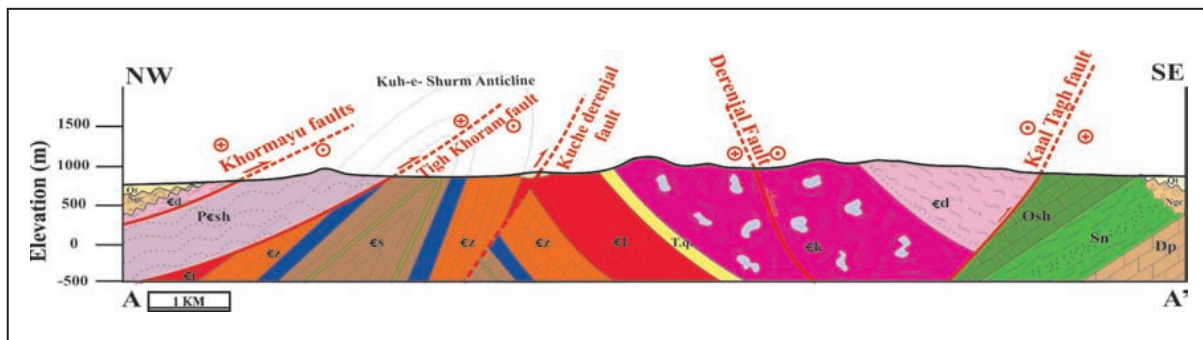
سازندهای رسوبی پالئوزویک در این کوه به صورت توالی پیوسته و بدون دگرشیبی در کوه درنجال برونزد یافته‌اند. این واحدها در ابتدا شامل سازند سلطانیه به جنس دولومیت، سازند باروت شامل سنگ‌آهک‌های تیره‌رنگ، سازند شیلی زاگون، سازند لالون به جنس ماسه‌سنگ سرخ است که در زمان کامبرین پیشین تشکیل شده‌اند. در ادامه ۳ سازند شاخص در این کوه قرار دارند که شامل سازند کالشانه به جنس دولومیت همراه با توده‌های دیوریت نفوذ یافته به سن کامبرین میانی و روی آن سازند آهکی درنجال به سن کامبرین پسین و همچنین سازند مارنی و آهکی شیرگشت به سن اردوئیسین هستند. در بخش‌های مرکزی منطقه در ادامه توالی، سازند شیلی نیور به سن سیلورین و سازند پادها با تناوب ماسه‌سنگ و دولومیت و در پایان سازندهای دولومیتی و آهکی سبزرار و بهرام به سن دونین جای دارند. این

واحدهای جوان‌تر به سن کامبرین جای گرفته است (شکل ۲). در برش ساختاری رسم شده (شکل ۲) این ساختار نشان داده شده است. در شمال خاور کوه درنجال نیز برونزد کوچکی از مارن و سنگ آهک کرتاسه با یک سطح دگرشیبی روی توده آذرین این ناحیه جای دارد. همچنین در حاشیه‌های شمالی و جنوبی این کوه مارن و کنگلومرای نئوژن روی سازندهای پالئوزویک جای گرفته‌اند و در پایان رسوبات کوآرترنی پیرامون این کوه را فراگرفته است (Ruttner et al., 1968).

توالی پیوسته با سبزی در حدود ۱۰ کیلومتر در بخش جنوبی کوه، چین‌خورده و به‌صورت برگشته در بخش جنوبی کوه درنجال جای گرفته است به‌صورتی که واحدهای کهن‌تر روی واحدهای جوان‌تر جای گرفته‌اند (شکل ۱). اما کهن‌ترین واحد رسوبی برونزد یافته در منطقه در بخش شمال باختری این کوه است که شامل لایه‌های به شدت چین و گسل خورده شورم به سن پرکامبرین است. این واحد توسط گسل تیغ خرم که یک گسل شیب‌لغز با مؤلفه وارون است؛ بالا آمده و در مجاورت



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی کوه درنجال برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ شیرگشت (Ruttner et al., 1968 and 1994).



شکل ۲- برش ساختاری A-A' از بخش میانی کوه درنجال.

شده است. در شکل ۴ تصویر استریوگرافیک از گسل‌های برداشت شده، در امتداد پهنه گسلی درنجال به تفکیک دو نوع جابه‌جایی راست‌گرد و چپ‌گرد نشان داده شده است. از آنجا که طی مطالعات صحرایی، ساختارهای همراه ناشی از جابه‌جایی چپ‌گرد گسل، به مراتب کمتر از حرکت راست‌گرد یافت شدند؛ بنابراین می‌توان این‌طور در نظر گرفت که حرکت چپ‌گرد پیش از جابه‌جایی راست‌گرد صورت گرفته و بدین ترتیب شواهد کمتری از حرکت چپ‌گرد باقی مانده است و بیشتر ساختارهای مطابق با عملکرد راست‌گرد گسل در منطقه دیده شده‌اند.

در این خصوص در بخش تکوین ساختاری به تفصیل صحبت خواهد شد.

**۴-۱ گسل‌های چاه بابعلی:** همان‌طور که در تصاویر ماهواره‌ای مشخص است (شکل ۵-الف)، آثار گسلی درون توده آذرین شمال کوه درنجال دیده می‌شود (شکل‌های ۵-ب، ج و د). بیشتر این گسل‌ها با روند شمال‌خاوری (N20E تا N45E) با حرکت راست‌گرد اندازه‌گیری شده‌اند. زاویه ریک خش لغز در این گسل‌ها بیشینه در حدود ۳۰ درجه از سوی شمال‌خاور بوده است و بنابراین این گسل مؤلفه شیب‌لغز نیز دارد.

**۴-۲ مجموعه گسل‌های مندیل:** این مجموعه گسلی در خاور روستای کالشانه و در سازندهای لالون تا نیور جای دارد (شکل ۶-الف). روند این مجموعه میان N تا N05E است؛ و شیب آن میان ۸۰ تا ۹۰ درجه به سوی باختر با زاویه ریک خش لغز به‌طور میانگین ۸ درجه از سوی شمال‌خاور اندازه‌گیری شده است. جابه‌جایی چپ‌گرد این مجموعه گسل‌ها به‌صورت امتدادلغز راست‌گرد است (شکل ۶-ب). در بخش‌های انتهایی این مجموعه گسلی، گسل‌ها با حرکت شیب‌لغز وارون برداشت شده‌اند که زاویه ریک در حدود ۵۵ درجه دارند (شکل ۶-ج)؛ در پایانه‌های گسل‌های امتدادلغز به دلیل توزیع تنش به‌صورت فشارشی و یا کششی، دیده شدن گسل‌های شیب‌لغز دور از انتظار نیست (Sylvester, 1988; Kim et al., 2004).

**۴-۳ دوپلکس شازم:** این ساختار در جنوب باختر روستای درنجال با روند شمالی-جنوبی و در سازند کالشانه شکل گرفته است. گسل‌های جانبی این دوپلکس با روند شمالی-جنوبی و با شیب ۸۰ درجه حرکت امتدادلغز راست‌گرد دارند که همین حرکت یک سری گسل فرعی با روند N40W تا N20W از نوع مورب‌لغز وارون با مؤلفه راست‌گرد با ریک بیش از ۵۰ درجه به وجود آورده که سبب شده است این منطقه به شکل دوپلکس فشاری میان دو گسل امتدادلغز ارتفاع‌گیری داشته باشد که بلندترین بخش کوه درنجال را به نام قله شازم با ارتفاع ۱۳۱۰ (نقشه توپوگرافی ۲۵۰,۰۰۰ می‌سازد (شکل ۷)).

**۴-۴ گسل کال‌طاق:** این گسل با روند N70W در جنوب روستای درنجال به طول ۵ کیلومتر کشیده شده است (شکل ۸). جابه‌جایی واحدهای درنجال و کالشانه در مجاورت این گسل نشانگر حرکت چپ‌گرد این گسل با مقدار در حدود ۲ کیلومتر است. شیب این گسل در حدود ۷۰ درجه به سوی شمال و زاویه ریک آن به‌طور میانگین ۳۵ درجه اندازه‌گیری شده است. شکستگی‌های ریدل همسو در امتداد این گسل حرکت چپ‌گرد را برای آن تأیید می‌کند (شکل‌های ۸-ب و د).

**۴-۵ گسل‌های حاشیه‌ای چین درنجال:** مجموعه‌ای از گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد و چپ‌گرد در حاشیه چین جنوبی در سازندهای نیور تا بهرام دیده می‌شود. این گسل‌ها در روندهای N60E تا N80W و به‌صورت شعاعی در حاشیه چین جنوبی کوه درنجال جای گرفته‌اند (شکل ۹) و جابه‌جایی‌هایی در حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰ متر دارند. میزان زاویه ریک خش لغز آنها میان ۳۰ تا ۵ درجه اندازه‌گیری شده است.

#### ۴-۲ گسل‌های شیب‌لغز وارون

این گروه گسل‌های کوه درنجال با شیب زیاد و مقدار زاویه افتادگی خش لغز در حدود ۴۰ تا ۶۰ درجه، دارای جابه‌جایی شیبی آشکاری به‌صورت وارون هستند که نسبت به حرکت امتدادلغزی آنها چپ‌گرد است؛ به همین دلیل در این مطالعه تحت عنوان گسل‌های وارون رده‌بندی شدند. این گسل‌ها بیشتر در روند حدودی N35E جای دارند که عبارتند از:

توده آذرین لنزی شکل بزرگی در شمال‌خاور منطقه قرار دارد (شکل ۱) که با مورفولوژی تپه‌ای و کم‌ارتفاع، طیف گسترده‌ای از کوارتز پورفیری تا البوین بازالت را پوشش می‌دهد (Ruttner et al., 1968). این مجموعه به عنوان توده آندزیتی چاه بابعلی نام‌گذاری شد. با توجه به آنکه سنگ‌آهک‌های مارنی به سن کرتاسه، حاشیه خاوری این توده را پوشانده‌اند و بدون هر گونه آثار دگرگونی هستند؛ می‌توان سن این توده را پیش از کرتاسه در نظر گرفت.

از سوی دیگر بخش‌هایی از سازندهای دونین (سازندهای بهرام و سیب‌زار) به‌صورت زنولیت‌هایی (Xenolite) با شواهد دگرگونی و دگرسانی آشکار در این توده وجود دارند که به‌طور قطع نشان می‌دهد جایگیری این توده پس از زمان دونین بوده است. بنابراین می‌توان به‌طور نسبی سن این توده را در بازه زمانی میان دونین تا کرتاسه در نظر گرفت و شاید با توجه به تعیین سن رادیومتریک توده‌هایی با ترکیب مشابه در امتداد شمال باختری همین محدوده در منطقه کوه سرهنگی (نوزعم، ۱۳۹۱)، بتوان آن را به زمان ژوراسیک میانی (۴) نسبت داد.

#### ۴-۴ مشاهدات صحرایی و تحلیل ساختاری گسل‌های کوه درنجال

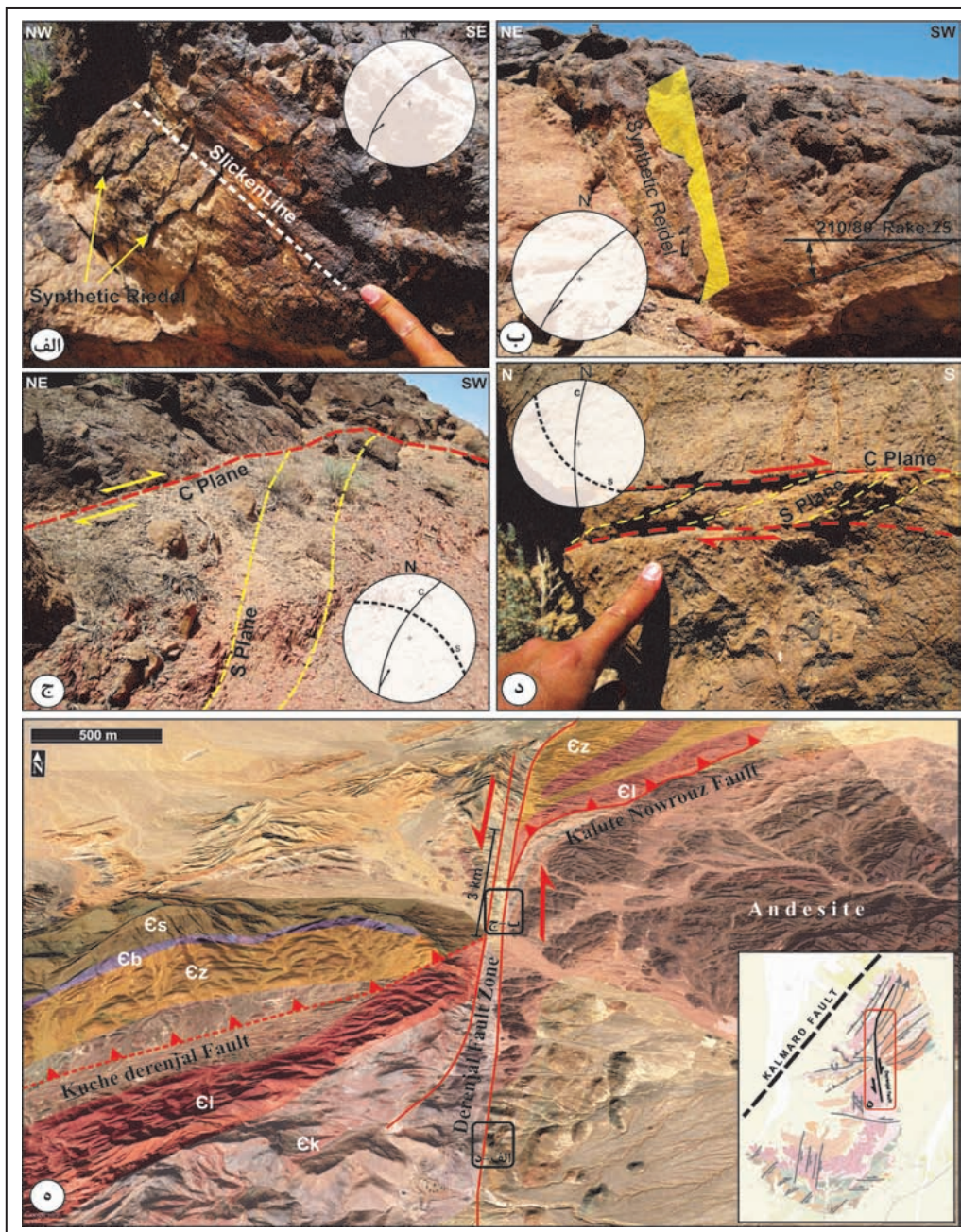
گسل‌های بسیاری در کوه درنجال وجود دارد که دارای گوناگونی در موقعیت صفحه گسلی، جنبش و ابعاد هستند. طی مطالعات صحرایی، مشخصات هندسی گسل‌های شاخص منطقه اندازه‌گیری و با بهره‌گیری از منابع رایج (Petit, 1987; Swanson, 1988; Storti et al., 2006; Kim et al., 2004) نوع کینماتیک و جابه‌جایی هر کدام تعیین شد. در این مطالعات ضمن تشخیص صفحه گسل و موقعیت خش لغز، با کمک ساختارهای همراه گسل‌ها نوع کینماتیک گسل‌ها تعیین شده است. برای ارزیابی رابطه تکاملی این مجموعه، گسل‌ها نخست بر پایه نوع حرکت و سپس بر پایه روندشان دسته‌بندی و تحلیل شده‌اند. در ادامه گسل‌های موجود در منطقه تنها بر پایه مؤلفه‌های اصلی یا چپ‌گرد تقسیم‌بندی و معرفی شده‌اند اما باید توجه داشت که سازوکار این گسل‌ها بیشتر به‌صورت مورب‌لغز است.

#### ۴-۱ گسل‌های راست‌لغز

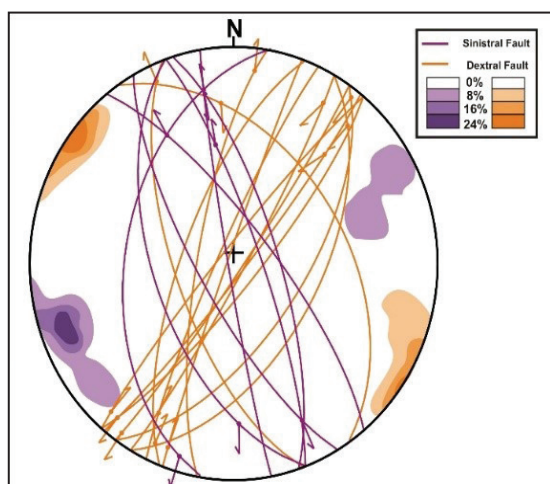
گسل‌های راست‌لغز در سراسر کوه درنجال دیده می‌شوند. این گسل‌ها بیشتر راست‌گرد هستند و در روند شمالی-جنوبی و شمال‌خاوری-جنوب باختری جای گرفته‌اند و به تعداد کمتری گسل‌های چپ‌گرد به روند تقریباً خاوری-باختری وجود دارند.

**۴-۱-۱ گسل درنجال:** این پهنه گسل که بزرگ‌ترین و مهم‌ترین گسل کوه درنجال به شمار می‌آید؛ به طول ۱۲ کیلومتر از شمال کوه تا جنوب روستای درنجال در مجاورت باختری مجموعه آندزیتی چاه بابعلی کشیده شده است (شکل ۳-۵). آثار هر دو نوع حرکت راست‌لغز (راست‌گرد و چپ‌گرد) در این پهنه گسلی دیده می‌شود. این گسل انحنای دارد؛ به‌طوری که روند آن در بخش‌های شمالی N20E است و در بخش‌های جنوبی به حدود N10W می‌رسد. طی برداشت‌های صحرایی شیب آن در بخش‌های شمالی حدود ۸۰ درجه به سوی شمال باختر با زاویه ریک خش لغز میان ۱۰ تا ۲۰ درجه از سوی جنوب باختر اندازه‌گیری شده است. در بخش‌های جنوبی نیز شیب گسل مقداری کمتر در حدود ۷۵ درجه به سوی شمال‌خاور با همان میزان زاویه ریک است (شکل ۳). با وجود ساختارهای همراه در امتداد این گسل همچون ساختار برگوارگی S-C (شکل‌های ۳-ج و د) و نیز گسل‌های ریدل همسو (شکل‌های ۳-الف و ب)، جابه‌جایی راست‌گرد با مؤلفه وارون برای این گسل قطعی است.

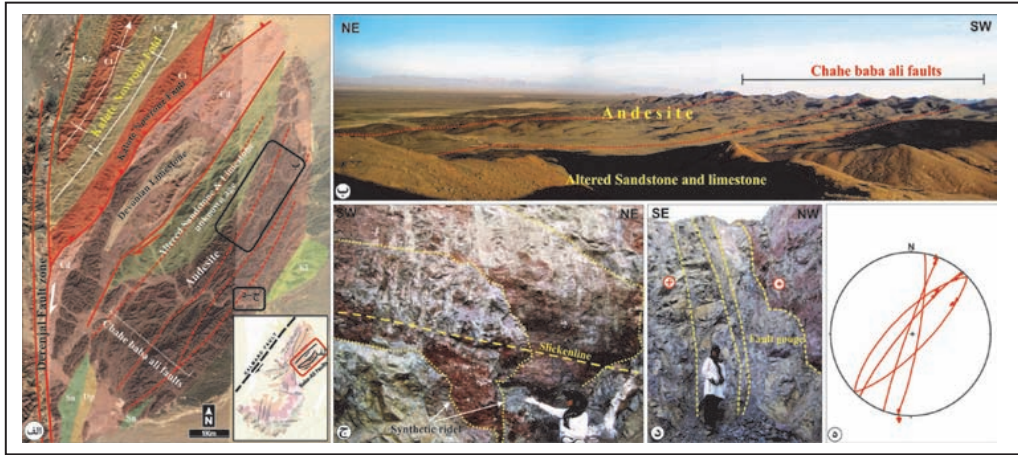
اما جابه‌جایی افقی سازند لالون در حدود ۳ کیلومتر به عنوان لایه کلیدی (Key bed) با برش چپ‌گرد کاملاً سازگار است. افزون بر این خمیدگی در اثر جابه‌جایی گسل (Dragging) در سازندها و گسل‌های کوچک درنجال و کلویت نوروز در دو سوی این پهنه گسلی این امر را تصدیق می‌کند (شکل ۳-۵). زاویه ریک خش لغز برای حرکت چپ‌گرد نیز میان ۵ تا ۲۰ درجه اندازه‌گیری



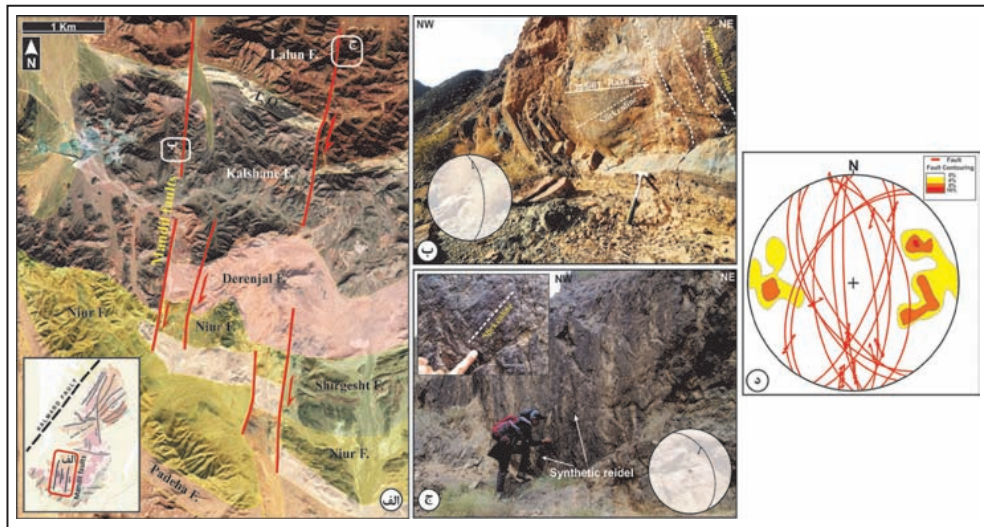
شکل ۳- الف و ب) شکستگی ریدل؛ ج و د) ساختار برگواگی S - C در امتداد گسل درنجال مطابق با کینماتیک راست گرد؛ ه) تصویر ماهواره‌ای (Google Earth) از پهنه گسلی درنجال با جابه‌جایی چپ‌گرد و ایجاد خمیدگی در سازندهای رسوبی زاگون و لالون.



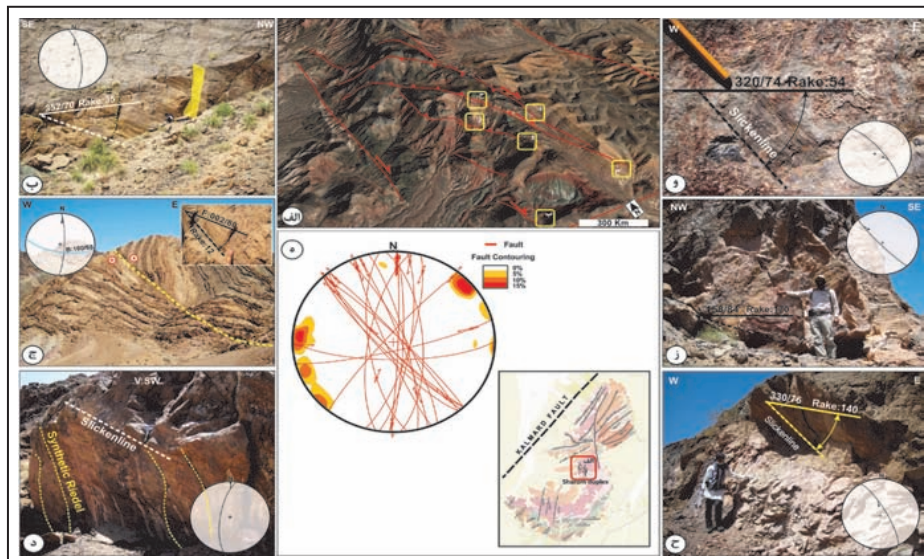
شکل ۴- تصویر استریوگرافیک گسل‌های برداشت شده در پهنه گسلی درنجال (گسل‌های راست گرد به رنگ نارنجی و گسل‌های چپ گرد به رنگ بنفش نشان داده شده‌اند).



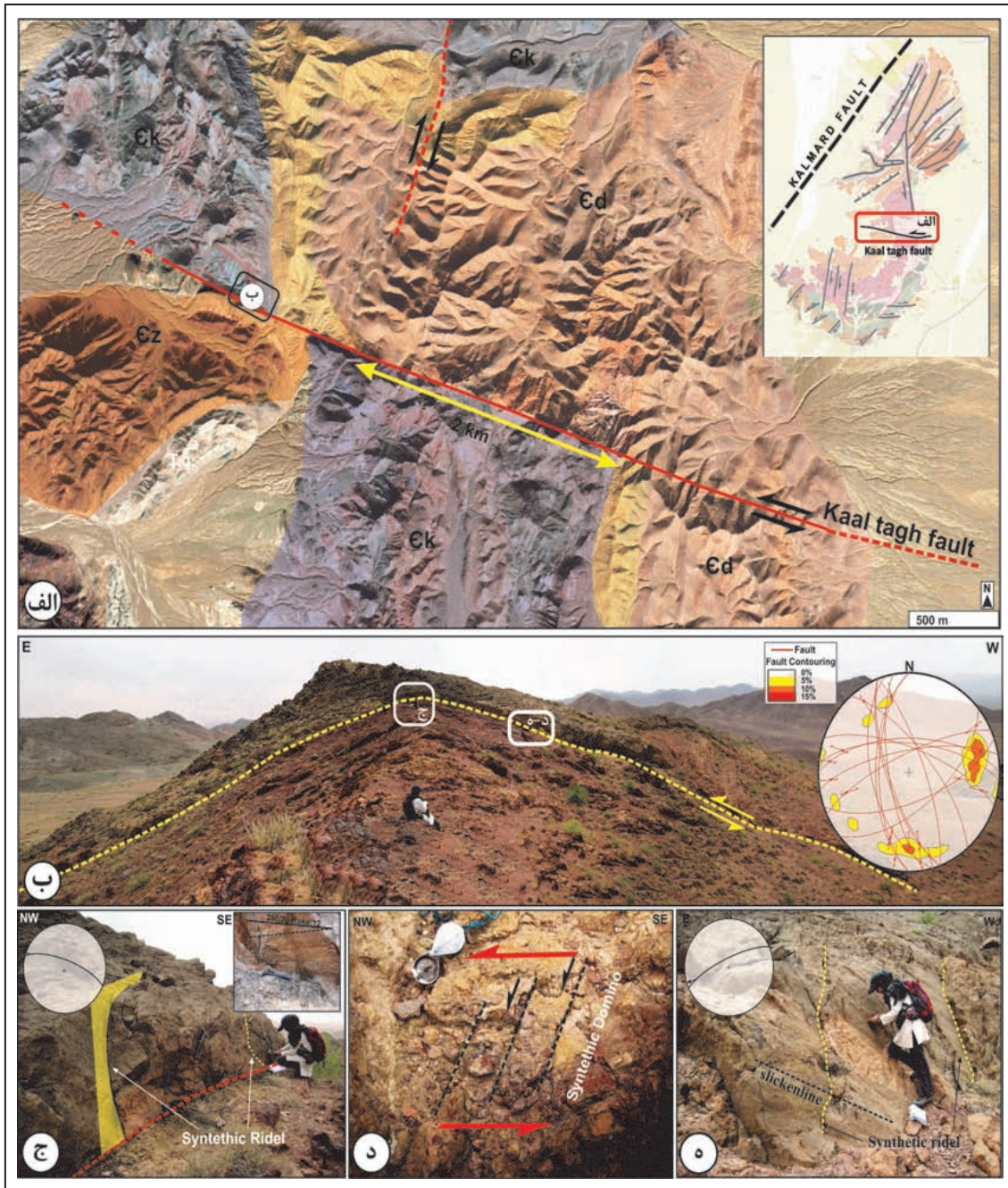
شکل ۵- گسل های چاه باباعلی درون توده آندزیتی؛ الف) تصویر ماهواره ای (Google Earth) از گسل های چاه باباعلی، کلویت نوروز و درنجال؛ ب) نمای کلی از مرز توده آذرین و واحدهای ماسه سنگی و آهکی فرسایش یافته پالئوزوییک؛ ج) صفحه گسلی در تراشه معدن مس؛ د) نمای عرضی از پهنه گسلی چاه باباعلی؛ ه) تصویر استریونت از گسل های برداشت شده.



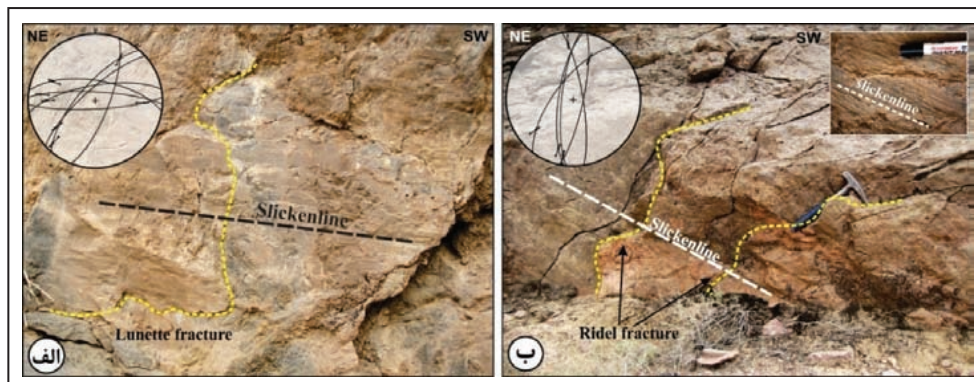
شکل ۶- الف) تصویر ماهواره ای (Google Earth) از مجموعه گسل های مندیل، با جابه جایی پلکانی راست گرد واحدهای رسوبی؛ ب) صفحه گسلی با حرکت چیره راستالغز راست گرد؛ ج) صفحه گسلی با حرکت چیره شیب لغز وارون؛ د) تصویر استریوگرافیک از تمام گسل های برداشت شده در مجموعه گسلی مندیل.



شکل ۷- الف) تصویر ماهواره ای (Google Earth) از دوپلکس شام؛ ب، ج، د) گسل های برداشت شده به حرکت راستالغز راست گرد؛ و، ز و ح) گسل های با حرکت شیب لغز وارون؛ ه) استریونت گسل های دوپلکس شام.



شکل ۸- الف) تصویر ماهواره‌ای (Google Earth) از گسل کال‌طاق؛ ب) نمای کلی از گسل به همراه تصویر استریونت همه گسل‌های برداشت شده؛ ج) صفحه گسل با نمایش صفحه ریدل همسو؛ د) ساختار دومینو همسو در امتداد این گسل؛ ه) صفحه گسل با نمایش خشن لغز و شکستگی‌های ریدل همسو.



شکل ۹- گسل‌های حاشیه چین جنوبی. الف) گسل امتدادلغز راست‌گرد؛ ب) گسل امتدادلغز چپ‌گرد.

مشخص است؛ گسل‌ها به‌طور چپ‌بر در روندهای N40E، N23E، N63E و N5E جای دارند که روندهای یاد شده مطابق با گسل‌های درنجال، چاه باباعلی، مندیل، کلوت نوروز و دوپلکس شارم است. در مورد گسل‌های چپ‌گرد (شکل ۱۴-د) نیز روندهای چپ‌بر N8E، S60E مطابق با گسل درنجال است. این گسل دارای انحنا، در بخش شمالی روند NE-SW و در انتهای جنوبی آن روند NW-SE دارد که با رنگ‌های سرخ و سبز در نمودار گل‌سرخ‌گی گسل‌های امتدادلغز چپ‌گرد نشان داده شده است. همچنین روند N70W که در نمودار گل‌سرخ‌گی گسل‌های چپ‌گرد به رنگ آبی نشان داده شده است؛ مطابق با گسل کالطاق است. در شکل‌های ۱۴-ه و نمودار فراوانی با توجه به میزان شیب گسل‌ها و زاویه ریک خش‌لغزها و مقدار فراوانی در روندهای چپ‌بر رسم شده است. بدین ترتیب بیشترین شیب گسل برداشت شده حدود ۸۳ درجه (با ۲/۶ درجه انحراف معیار) و در کمترین حالت ۵۰ درجه (با ۴/۵ درجه انحراف معیار) بوده است. برای زوایای ریک خش‌لغزها نیز بیشترین زاویه برداشت شده حدود ۷۰ درجه و در کمترین میزان حدود ۱۰ درجه بوده است.

گسل‌های منطقه طبق نمودار (Angelier (1994 که بر پایه زاویه شیب صفحات گسل و زاویه ریک (Rake=Pitch) خش‌لغز است؛ بیشتر پرشیب (بیشتر از ۶۰ درجه) و با زاویه ریک کم (کمتر از ۳۰ درجه) هستند که معرف حرکات راستالغز چپ‌بر است. گسل‌های وارون این کوه نیز همان‌طور که در شکل نشان داده شده است با شیب میان ۳۰ تا ۶۰ درجه و با زاویه ریک خش‌لغز ۵۰ تا ۶۵ درجه هستند. بنابراین بر پایه داده‌های ساختاری، گسل‌های منطقه به‌صورت مورب‌لغز هستند و بیشتر ماهیت راستالغز با مؤلفه شیب‌لغز (بیشتر وارون) دارند و در برخی موارد مؤلفه شیب‌لغز بر مؤلفه راستالغز برتری دارد.

#### ۶- الگوی هندسی - جنبشی گسل‌های کوه درنجال

به منظور رده‌بندی گسل‌ها و ارتباط دادن آنها با گسل بزرگ کلمرد به عنوان پهنه جابه‌جایی اصلی (PDZ)، از مدل ارائه‌شده توسط (Sylvester (1988)، (Swanson (1988) و (Storti et al. (2006) (شکل ۱۵-ب) استفاده شده است. با در نظر داشتن حرکت کنونی گسل کلمرد به‌صورت راستالغز راست‌گرد (شیخ‌الاسلامی و زمانی، ۱۳۷۸؛ نوزعم، ۱۳۹۱؛ شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Nozaem et al., 2013; Calzolari et al., 2015) و با توجه به آرایش هندسی - جنبشی ساختارهای منطقه امکان تشکیل آنها تنها با حرکت امتدادلغز راست‌گرد ساده امکان‌پذیر نیست. بر پایه این مدل و بر پایه آرایش هندسی - جنبشی ساختار منطقه نسبت به همدیگر و نسبت به گسل کلمرد امکان جهت‌گیری تنش فشارشی (P axis)، در سه حالت (عمود، موازی و مورب با زاویه ۴۵ درجه) ممکن خواهد بود که در هر حالت نیز امکان تشکیل گسل‌های فرعی راست‌گرد و چپ‌گرد و نرمال و وارون با زاویه‌ای مشخص از گسلش اصلی وجود دارد. بنابراین در مجموع تشکیل ۱۲ نوع شکستگی پیرامون هر گسل راستالغز بزرگ قابل انتظار است. گسل کلمرد نیز به عنوان یک گسل قدیمی و پی‌سنگی در ایران مرکزی، دارای جهت‌گیری‌های مختلف تنش در طول زمان بوده است که چرخش بلوک‌های خرده‌قاره ایران مرکزی می‌تواند به عنوان عامل مهمی در این جهت‌گیری‌ها باشد (Walker and Jakson, 2004; Nozaem et al., 2013; Calzolari et al., 2015). گرچه لازم به ذکر است تغییر جهت تنش، لزوماً به معنای چرخش بلوک ناست. با توجه به حرکت امتدادلغز راست‌گرد گسل کلمرد، تشکیل گسل‌های راست‌گرد و چپ‌گرد به‌صورت گسل‌های ریدل همسو و ناهمسو (Synthetic and Antithetic ridel fault) در این گستره دور از انتظار نیست. همچنین شکل‌گیری گسل‌های وارون در مناطق ترفشارشی میسر است.

طبق این مدل، گسل‌های شیب‌لغز وارون منطقه که با گسل کلمرد (PDZ) موازی هستند بنابراین تشکیل آنها می‌تواند طی حالت فشارش عمود به گسلش، به عنوان C2 صورت گرفته باشد (Fault-perpendicular contraction). گسل‌های تشکیل شده در این حالت با رنگ بنفش در شکل ۱۵ نشان داده شده‌اند. گسل‌های راست‌گرد مندیل

— **گسل کلوت نوروز:** این گسل با روند N30E تا N40E با شیب میان ۶۰ تا ۷۰ درجه به سوی شمال باختر دارای زاویه ریک در حدود ۵۰ درجه است و نوع حرکت آن وارون با مؤلفه راستالغز راست‌گرد است. این گسل با طول ۶/۵ کیلومتر در مجاورت توده آندزیتی چاه باباعلی و در مرز مستقیم با این توده جای دارد (شکل ۱۰). تصویر ماهواره‌ای این گسل نیز در شکل ۳-الف نشان داده شده است.

— **مجموعه گسل‌های خرمايو:** این گسل‌ها با روند N40E در شمال باختری کوه درنجال، سازند درنجال (کامبرین) را روی سازند بهرام (دوینین) و سازند بهرام را روی پهنه خرد شده و به هم ریخته گسل درنجال جای داده‌اند (شکل ۱۱-الف). با توجه به خش‌لغزهای برداشت شده که عموماً دارای زاویه ریک میان ۲۰ تا ۳۰ درجه هستند (شکل ۱۱-ب) و نیز ساختارهایی چون برگواری S-C (شکل ۱۱-ج)، حرکت فعلی این گسل امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه وارون است؛ اما به سبب قرارگیری سازند درنجال به سن کامبرین روی سازند بهرام با سن دوینین، می‌توان حرکت شیب‌لغز وارون را نیز برای این گسل مفروض دانست. در مورد تقدم و تأخر جابه‌جایی‌های امتدادلغز و شیب‌لغز این مجموعه، در ادامه توضیح داده خواهد شد. طول این مجموعه گسلی در حدود ۹ کیلومتر است و تا نزدیکی چشمه شورم کشیده شده و در برش ساختاری رسم شده (شکل ۲) این گسل نشان داده شده است.

— **گسل تیغ خرم:** این گسل از ناحیه چشمه شورم تا نزدیکی گسل درنجال کشیده شده است. عملکرد این گسل سبب جایگیری لایه‌های شورم و سازند سلطانیه روی تاپ کوارتزیت و سازند لالون شده است. در شکل ۱۲-الف نمای سه‌بعدی این گسل در تصاویر ماهواره‌ای آورده شده است. به علت توپوگرافی سخت و صخره‌ساز اطلاعات ساختاری و هندسی - جنبشی از این گسل به دست نیامده است. بنابراین با توجه به جابه‌جایی چینه‌شناسی و شیبی این گسل که موجب جایگیری لایه‌های شورم و سلطانیه روی سازندهای جوان‌تر (سازندهای زاگون و لالون) شده است؛ عملکرد شیب‌لغز با مؤلفه وارون برای آن مفروض است. این گسل از جمله ساختارهایی است که نیاز به بررسی بیشتر و دقیق‌تر در آینده دارد.

— **گسل کوچه درنجال:** در ناحیه کوچه درنجال یک چین با راستای شمال خاوری - جنوب باختری با طول حدود ۹ کیلومتر وجود دارد. توالی لایه‌ها در پهلوی شمالی آن حالت برگشته دارد (توالی برگشته سازندهای سلطانیه، باروت و زاگون) و لایه‌ها با شیب حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه به سوی شمال باختر دیده می‌شوند (شکل ۱۳-الف). در صورتی که در پهلوی جنوبی لایه‌ها با توالی عادی (سازندهای لالون، کالشانه، درنجال) جای دارند. با توجه به هندسه چین‌خوردگی لایه‌ها و ناهمسانی توالی در پهلوی شمالی و جنوبی به نظر می‌رسد که در محل کوچه درنجال یک گسل وارون (با شیب به سوی شمال باختر) به‌صورت مدفون در زیر آبرفت‌های کواترنر وجود داشته باشد. گرچه این گسل رخنمون سطحی ندارد؛ اما می‌توان تا حدی از وضعیت چین‌خوردگی این بخش به وجود آن پی برد. همچنین (Ruttner et al. (1968 and 1994) نیز به وجود یک گسل مدفون در این ناحیه اشاره کرده‌اند. در شکل ۱۳-ب، برش ساختاری توصیفی از موقعیت این گسل و لایه‌بندی‌های مجاور آن نشان داده شده است.

#### ۵- رده‌بندی گسل‌های منطقه

همان‌طور که گفته شد با برداشت ساختارهای گسلی طی مطالعات صحرایی، به‌طور کلی گسل‌های کوه درنجال با ۳ سازوکار راست‌گرد، چپ‌گرد و شیب‌لغز وارون اندازه‌گیری شده‌اند.

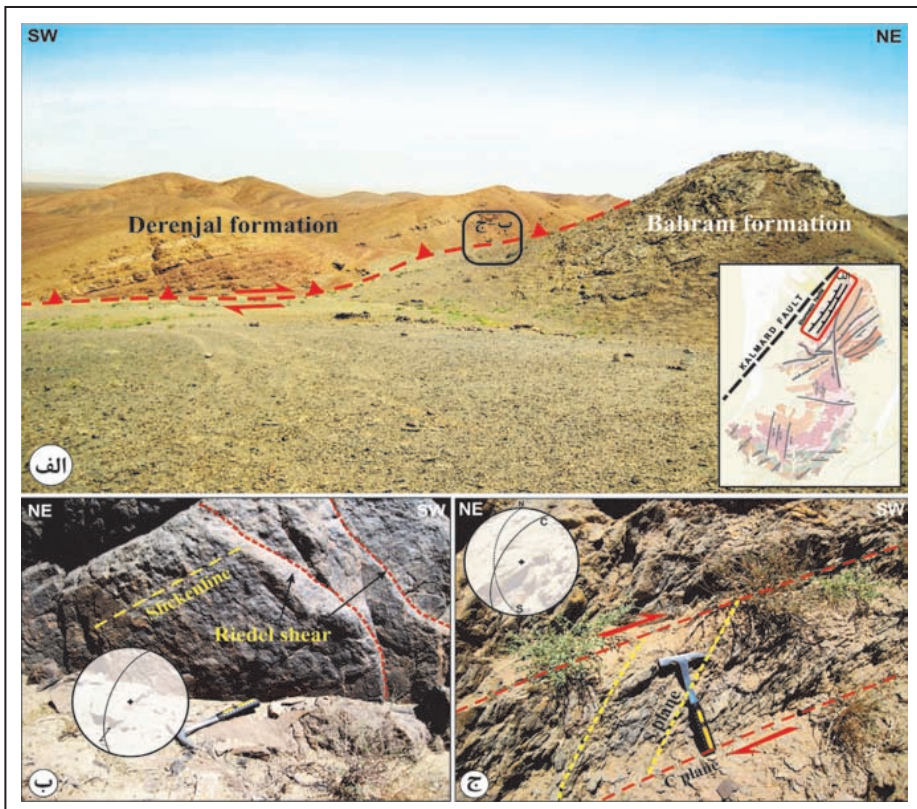
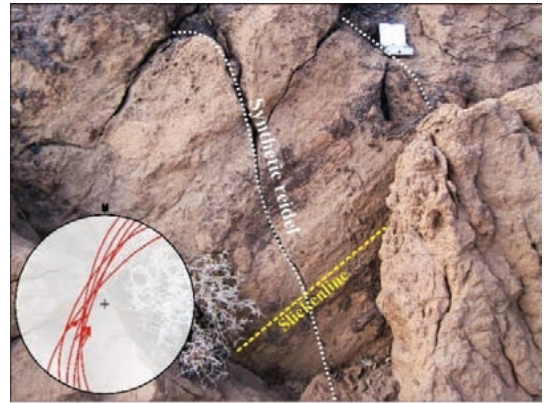
در شکل ۱۴ تصاویر استریوگرافیک از موقعیت صفحات گسلی و نمودار پربندی قطب (Contour diagram) آنها و همچنین نمودار گل‌سرخ‌گی (Rose diagram) گسل‌های برداشت شده در منطقه با تفکیک دو حرکت راست‌گرد و چپ‌گرد رسم شده‌اند. همان‌طور که از نمودار گل‌سرخ‌گی گسل‌های راست‌گرد (شکل ۱۴-ج)

داده‌های زیرسطحی، چگونگی جایگیری آن را بررسی کرد. در مورد گسل‌های موجود در حاشیه چین جنوبی (گسل‌های با رنگ مشکی در شکل ۱۵- الف) نمی‌توان به یقین اظهار نظر کرد، زیرا خود چین چنانچه در پیش‌نوشتار گفته شد؛ تاریخچه پیچیده‌ای داشته است. به طوری که پس از تشکیل، چرخیده و به صورت برگشته (تاقدیس ناوگون) قرار گرفته است (صمدی مقدم، ۱۳۹۵). بنابراین ممکن است که تشکیل این گسل‌ها با سامانه شکستگی‌های منطقه (Ridel system) ارتباطی نداشته باشد و به صورت گسل‌های شکستگی‌های مزدوج همزمان با چین خوردگی (Conjugate fracture-related folding) و یا به صورت شکستگی‌های کششی کمان خارجی چین (Outer-arc Extension fracture) به وجود آمده و بعدها مشابه گسل‌های امتدادلغز منطقه، جابه‌جایی‌های راست‌گرد و چپ‌گرد داشته باشند. البته دور از انتظار نیست که این گسل‌ها می‌توانند پس از چرخش یاد شده و در اثر تنش توزیع شده در منطقه به عنوان شکستگی‌های ریدل نیز شکل گرفته باشند.

و دوپلکس شارم، با شکستگی‌های P در حالت فشارش موازی با گسل همخوانی دارند (Fault-Parallel contraction) که به رنگ سبز نشان داده شده‌اند. و گسل‌های چاه باباعلی نیز به عنوان شکستگی‌های R و گسل کال‌طاق به عنوان شکستگی R در حالت برش ساده (Fault-Parallel simple shear) شکل گرفته و با رنگ آبی رسم شده‌اند. همچنین گسل درنجال با برش چپ‌گرد، با گسل‌های ناهمسوی X در حالت فشارش عمود بر صفحه گسل همخوانی دارد (شکل ۱۵- الف).

سیمای ظاهری توده آندزیتی چاه باباعلی به شکل یک توده لنزی شکل است. با فرض اینکه روند لنزی شکل آن در اثر اعمال تنش و ایجاد شکستگی‌های کششی باشد؛ می‌توان تشکیل آن را مرتبط با فشارش مورب با گسل و به صورت گسل‌های کششی سری T2 در نظر گرفت. در این حالت این توده به صورت فعالیت ماگمایی شکافی در شمال کوه درنجال جای گرفته است. اما ممکن است شکل آن به صورت توده‌ای غیرمنظم و با جهت‌گیری متفاوت و تنها رخنمون فعلی آن در سطح زمین به حالت لنزی شکل باشد در این حالت نمی‌توان بدون در دست داشتن

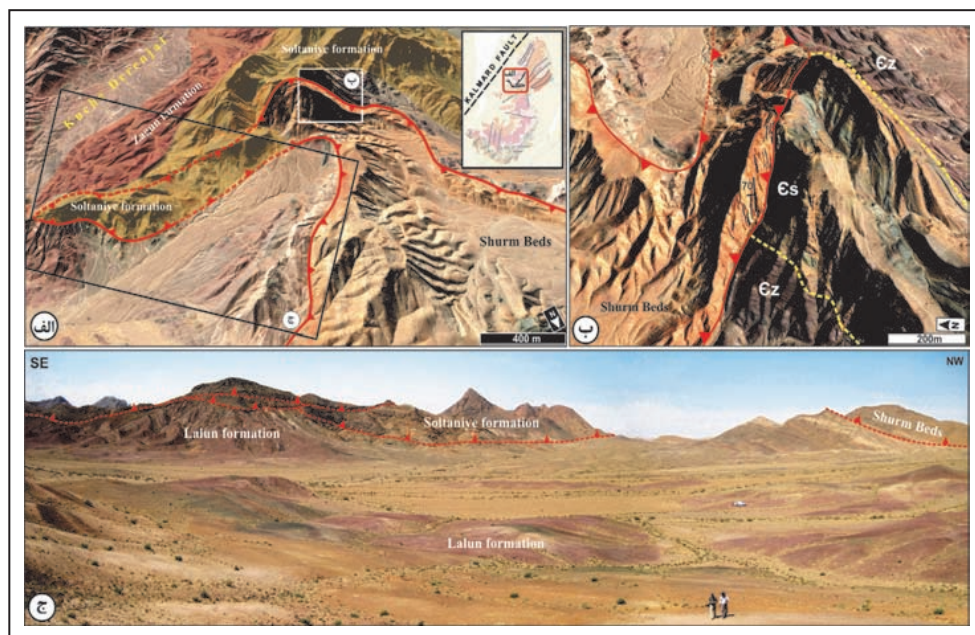
شکل ۱۰- گسل کلوت نوروز، به همراه تصویر استریوگرافیک صفحات گسل‌های برداشت شده در امتداد این گسل.



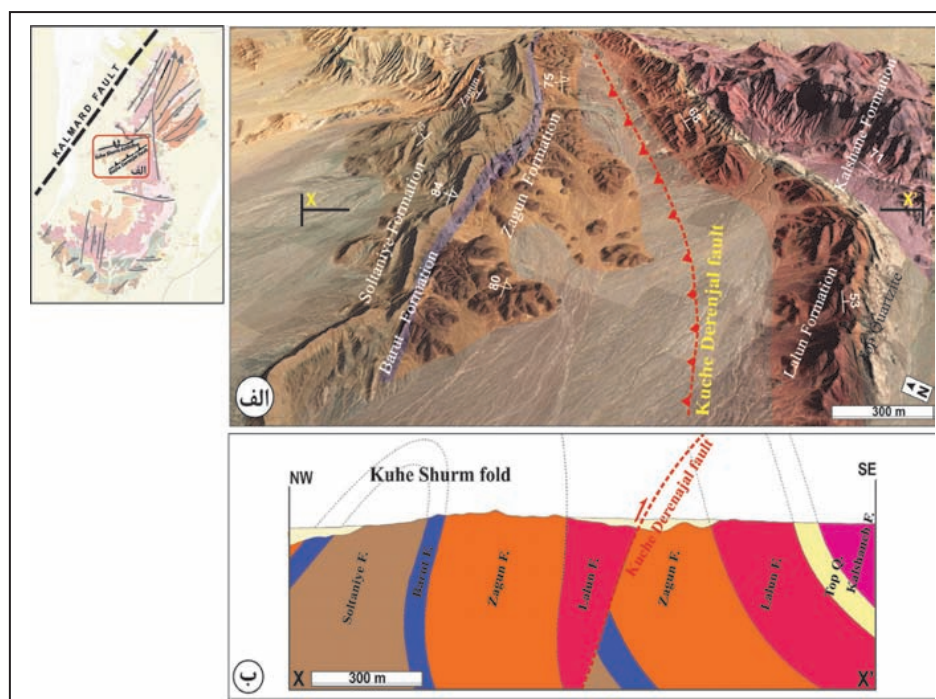
شکل ۱۱- الف) گسل راندگی شمال خرمايو که سبب قرارگیری سازند درنجال روی سازند بهرام شده است؛ ب) صفحه گسل در آهک بهرام؛ ج) برگواری S-C منطبق با حرکت راست‌گرد در امتداد گسل خرمايو.



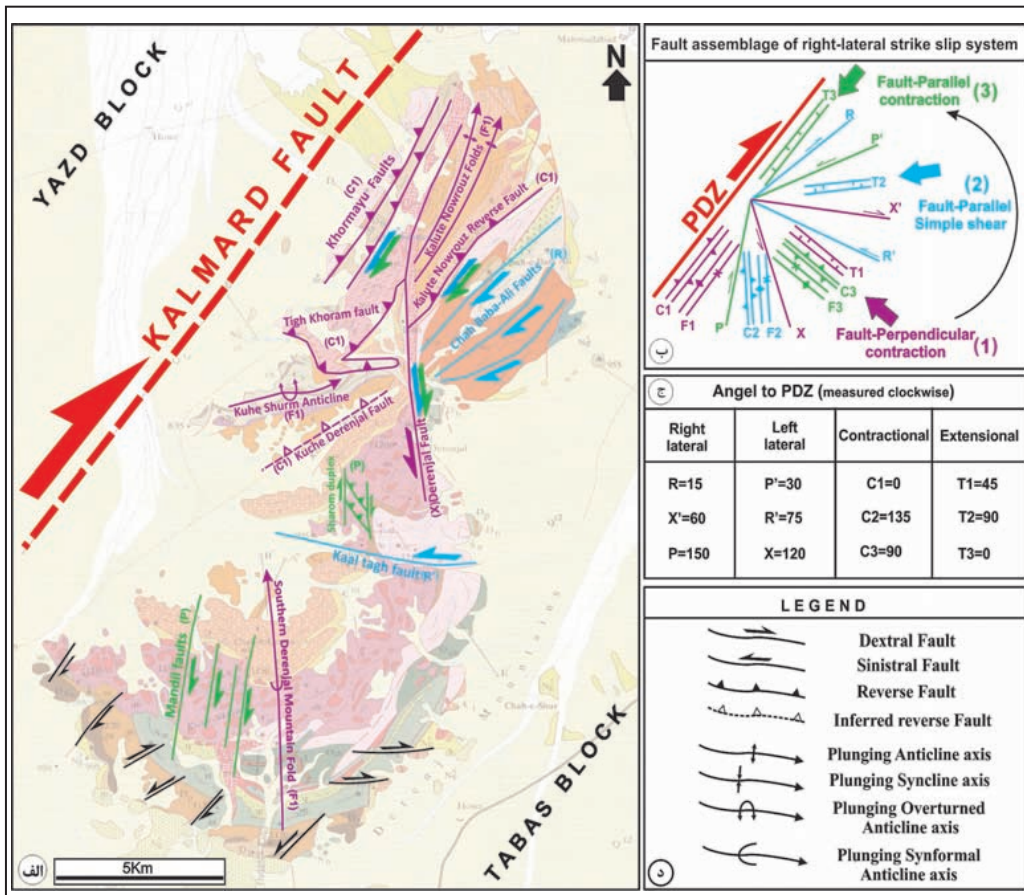
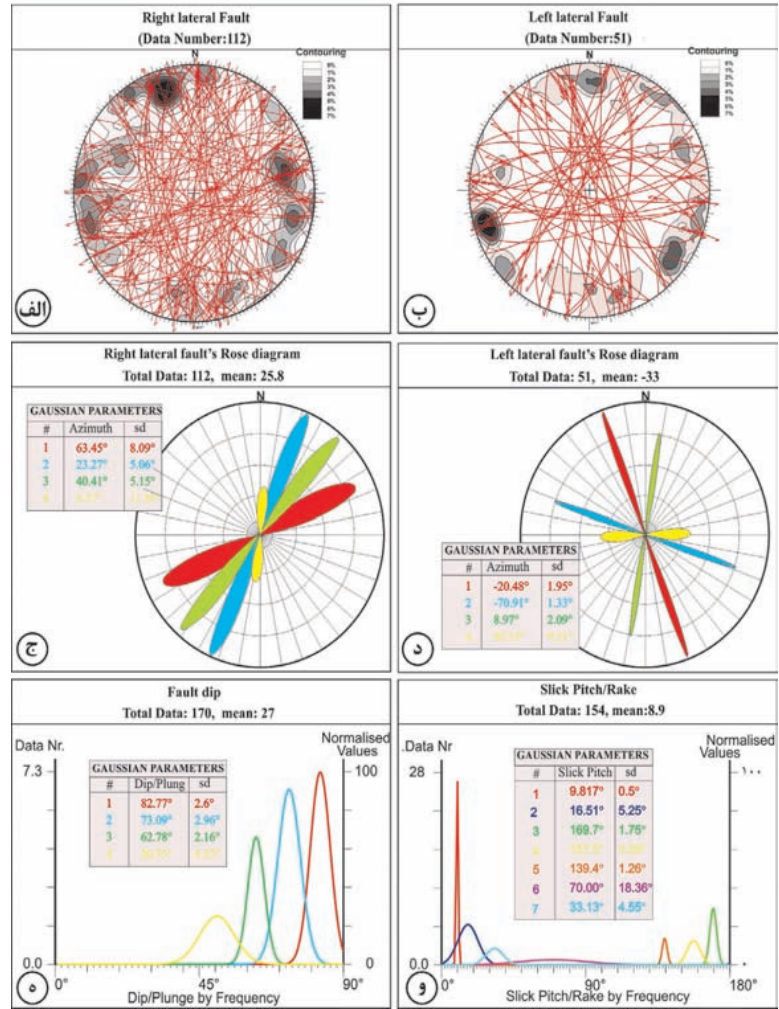
شکل ۱۲- الف) تصویر ماهواره‌ای (Google Earth) از گسل وارون تیغ خرم؛ ب) تصویر ماهواره‌ای از بخشی از گسل تیغ خرم با قرارگیری لایه‌های شورم روی دولومیت سلطانیه؛ ج) نمای کلی از بخش خاوری این گسل.



شکل ۱۳- الف) تصویر ماهواره‌ای (Google Earth) از موقعیت چین و گسل مدفون کوچه درنجال؛ ب) برش ساختاری از ناحیه کوچه درنجال با نمایش ساختارهای موجود.



شکل ۱۴- الف و ب) تصویر استریوگرافیک از داده‌های گسلی با حرکت امتدادلغز راست‌گرد و چپ‌گرد؛ ج و د) نمودارهای گل سرخی گسل‌های راست‌گرد و چپ‌گرد؛ ه) نمودار فراوانی شیب گسل‌ها؛ و) نمودار فراوانی زاویه ریک خش لغزها.



شکل ۱۵- الف) نقشه ساختاری کوه درنجال با آرایش گسل‌ها و چین خوردگی‌های منطقه نسبت به گسل کلمرد، ب) تفکیک نوع و آرایش گسل‌ها و چین‌ها در یک سامانه امتدادلغز با توجه به تغییر جهت محور فشارش (P Axis)، با اقتباس از الگوهای ارائه شده توسط (Sylvester 1988)، (Swanson 1988) و (Storti et al., 2006). لازم به ذکر است در هر مرحله رنگ ساختارها، با بردار فشارش مربوطه هم‌رنگ می‌باشد. ج) زاویه هر کدام از ساختارها نسبت به زون اصلی جابجایی (PDZ)، د) راهنمای علائم به کاررفته در نقشه ساختاری کوه درنجال.

جدول ۱- گسل های کوه درنجال به عنوان شکستگی های ریدل (Riedel) نسبت به گسل کلمرد.

فشارش عمود بر گسل			برش ساده موازی با گسل		فشارش موازی با گسل
X	C1	F1	R	R'	P
گسل درنجال	گسل خرمايو گسل كلوت نوروز گسل كوچه درنجال گسل تيغ خرم	چين جنوبي كوه درنجال چين كلوت نوروز	گسل چاه باباعلی	گسل كال طاق	گسل های منديل دوپلكس شارم

## ۷- نتیجه گیری

Mattei et al., (2012) در سازندهای ژوراسیک منطقه طیس- شیرگشت نیز حرکت راست گرد گسل کلمرد را در زمان ژوراسیک و پس از آن تأیید می کند.

۳) مرحله سوم دگرریختی به صورت تنش موازی با گسل کلمرد (Fault-parallel contraction) در بازه زمانی سنوزویک (پایانی؟) است. بر پایه مطالعات (Walker and Jakson (2004); Meyer and Dortz (2007) و Nozaem et al. (2013) و Calzolari et al. (2015) بلوک یزد و پهنه شمال باختری گسل کلمرد، از زمان نوژن تاکنون با روند NE-SW و به صورت موازی با گسل کلمرد در حال حرکت به سوی شمال خاور است و در نتیجه گسل کلمرد در این بازه زمانی نیز دارای حرکت چیره امتدادلغز راست گرد است. داده های حاصل از مطالعات GPS صورت گرفته در محدوده ایران مرکزی نیز (Nilforushan et al., 2003; Vernant et al., 2004; Walpersdorf et al., 2014) این امر را تأیید می کند. در این حالت دوپلكس شارم و گسل های منديل به عنوان گسل های سری P و به صورت امتدادلغز راست گرد در این مرحله تشکیل شده اند که با رنگ سبز نشان داده شده اند (شکل ۱۵).

گفتنی است که در هر مرحله اعمال تنش با راستای جدید، سازوکار جنبشی جدید روی گسل های مرحله پیش فرانهاده می شوند. بنابراین در کوه درنجال با شروع مرحله ۲، گسل های شیب لغز وارون که در مرحله ۱ تشکیل شده بودند؛ دچار جابه جایی راست گرد نیز می شوند و این امر تا مرحله ۳ ادامه میابد. همچنین گسل درنجال که در مرحله ۱ جابه جایی آشکار چپ گرد داشته است؛ در مراحل بعدی سازوکار راست گرد از خود نشان می دهد. به همین دلیل شواهدی از هر دو جنبش چپ گرد و راست گرد در امتداد این گسل دیده می شود. بنابراین در شکل ۱۵ با افزودن فلش های آبی و سبز به گسل های یاد شده، فرانهاده گی سازوکار راست گرد به گسل ها نشان داده شده است. به طور کلی ساختارهای کوه درنجال متشکل از گسل های و چین خوردگی ها را می توان متأثر از فرانهاده گی (Superimposition) زمین ساخت امتدادلغز (Strike-Slip Tectonics) روی زمین ساخت فشارشی (Contractional Tectonics) دانست.

## سیاسگراری

این نوشتار در راستای پایان نامه ثبت شده در دانشکده علوم زمین دانشگاه خوارزمی، نگاشته شده است. بنابراین نگارندگان از ریاست و کارکنان محترم دانشکده علوم زمین و امور نقلیه دانشگاه خوارزمی برای فراهم سازی امکانات لازم و همچنین از زحمات سردبیر محترم و کارکنان فصلنامه علوم زمین و داوران گرامی که با ارائه نظرات ارزشمند خود موجب غنای بیشتر این پژوهش شدند، سپاسگراری می کنند و در پایان نیز یاد و خاطره زنده یاد مرحوم دکتر محمد محجل را برای تأثیر بسزایشان در این پژوهش گرامی می دارند.

چنانچه گفته شد آرایش هندسی- جنبشی ساختاری های منطقه کوه درنجال (شکل ۱۵) در بلوک خاوری گسل کلمرد، نشان دهنده تغییر سوی محور بیشینه تنش در طول زمان زمین شناسی است. با در نظر داشتن شواهد چینه شناسی منطقه، شواهد هندسی- جنبشی، تقدم و تأخر شکل گیری ساختارها و فعالیت ماگمایی موجود در منطقه، این گونه استنباط می شود که تا زمان دونین رسوب گذاری بدون هیچ گونه دگرشیبی آشکار در منطقه صورت گرفته و دگرریختی آنها دست کم در بازه زمانی پس از دونین آغاز شده است. آرایش هندسی- جنبشی ساختارها بیانگر چرخش محور فشارش (P axis) از حالت عمود بر گسل کلمرد تا موازی با آن است. در ادامه مراحل زیر برای تکوین ساختاری منطقه پیشنهاد می شود:

پس از مرحله رسوب گذاری می توان تکوین ساختاری محدوده کوه درنجال را در سه مرحله در نظر گرفت:

۱) در اولین گام ساختاری، جهت گیری تنش فشاری بیشینه به صورت عمود بر گسل کلمرد (Fault-perpendicular contraction) بوده است که گسل های وارون (C1)، چین های اصلی (با صفحه محوری موازی با گسل کلمرد) و گسل درنجال اولیه به صورت شکستگی X با جابه جایی چپ گرد در این زمان تشکیل شده اند. زمان این دگرریختی پس از دونین بوده است؛ زیرا آخرین سازند رسوبی منطقه که دچار چین خوردگی شده، سازند بهرام با همین سن است (شکل ۲). ساختارهای شکل گرفته در این حالت به رنگ بنفش نشان داده شده اند (شکل ۱۵).

۲) مرحله دوم دگرریختی به صورت برش ساده (مورب با گسل) (Fault-parallel simple shear) روی داده است. در این حالت افزون بر ایجاد شکستگی های کششی که فضای مناسب برای خروج توده آندزیت چاه باباعلی را فراهم کرده است؛ گسل امتدادلغز چپ گرد کال طاق به صورت یک گسل ناهمسو (R') و گسل های امتدادلغز راست گرد چاه باباعلی (R) شکل گرفته اند. زمان این مرحله از دگرریختی را می توان با توجه به پوشانده شدن آندزیت های چاه باباعلی با مارن های آهکی کرتاسه (که دگرگون نشده اند) پیش از کرتاسه در نظر گرفت. بدیهی است اظهار نظر قطعی در این مورد به تعیین سن رادیومتری آندزیت های چاه باباعلی نیاز دارد. همچنین به نظر می رسد شروع چرخش پادساعت گرد (با دید به سمت باختر) چین جنوبی کوه درنجال پیرامون قطب صفحه محوری (تبدیل از حالت تاقدیس به تاقدیس ناوگون) نیز در این مرحله صورت گرفته باشد که عملکرد گسل های درنجال و کال طاق، نقش مؤثری در این چرخش داشته است. در مدل زمین ساختی ارائه شده توسط Masoodi et al. (2013) چگونگی فرورانش نوتیس به زیر خرده قاره ایران مرکزی (در بازه زمانی تریاس پسین تا ژوراسیک) به تصویر کشیده شده است. در این مدل طی همگرایی، بردار تنش حاصل از فرورانش نوتیس به صورت مورب بر گسل کلمرد اعمال می شود که حاصل آن ایجاد برش امتدادلغز راست گرد فشارشی است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. همچنین مطالعات پالئومغناطیس صورت گرفته توسط

## کتابنگاری

- شیخ‌الاسلامی، م. ر. و زمانی، م. م. ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی حلوان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شیخ‌الاسلامی، م. ر.، جوادی، ح. ر.، اسدی سرشار، م.، آقاسینی، ا.، کوه‌پیمای، م. و وحدتی دانشمند، ب. ۱۳۹۲- دانشنامه گسله‌های ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۵۹ ص.
- صمدی مقدم، ر. ۱۳۹۵- تحلیل ساختاری و مورفوتکتونیک گستره کوه‌های درنجال در بلوک خاوری گسل کلمرد (ایران مرکزی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران، ۱۷۱ ص.
- نوی، م. ح. ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ ص.
- نوزعیم، ر. ۱۳۹۱- تحلیل دگربخشی گستره کوه سرهنگی در شمال باختر بلوک لوت، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۰۰ ص.

## References

- Aghanabati, S. A., 1975- Etude geologique de la region de Kalmard (W. Tabas) Central Iran, Stratgraphie et tectonique. Thesis, Grenoble.
- Allen, M. B. and Armstrong, H. A., 2008- Arabia-Eurasia collision and the forcing of mid-Cenozoic global cooling, Palaeoecology, V. 265, p. 52-58.
- Allen, M., Kheirkhah, M., Emami, M. H. and Jones, S. J., 2011- Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone. Geophysical Journal International V.184, p.555-574.
- Angelier, J., 1994- Fault slip analysis and palaeostress reconstruction. In P. L. Hancock (Ed.), Continental Deformation. Oxford: Pergamon Press, p. 53-100
- Calzolari, G., Della Seta, M., Rossetti, F., Nozaem, R., Vignaroli, G., Cosentino, D. and Faccenna, C., 2015- geomorphic signal of active faulting at the northern edge of Lut Block: Insights on the kinematic scenario of Central Iran, American Geophysical Union, Tectonics, V.35, p.148-165.
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1984- Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, V. 77, p. 185-264.
- Kim, Y. S., Peacock, D. C. P. and Sanderson, D.J., 2004- Fault damage zones. Journal of Structural Geology, V. 26, p.503-517.
- Masoodi, M., Yassaghi, A., Nogole Sadat, A. A., Neubauer, F., Bernroider, M., Friedl, G., Genser, J. and Houshmandzadeh, A., 2013- Cimmerian evolution of the Central Iranian basement: Evidence from metamorphic units of the Kashmar-Kerman Tectonic Zone, TectonophysicsJournal, V.588, p.189-208.
- Mattei, M., Cifelli, F., Muttoni, G., Zanchi, A., Berra, F., Mossavvari, F. and Eshraghi, S. A., 2012- Neogene block rotation in central Iran: evidence from paleomagnetic data. Geological Society of America Bulletin V. 124, p.943-956.
- Meyer, B. and Le Dortz, K., 2007- Strike-slip kinematics in Central and Eastern Iran: Estimating fault slip-rates averaged over the Holocene, Tectonics Journal, V. 26, p. 235-246.
- Nilforoushan, F., Vernant, P. and Hatzfeld, D., 2003- GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran. Journal of Geodesy V.77, p.411-422.
- Nozaem, R., Mohajjel, M., Rossetti, F., Della Seta, M., Vignaroli, G., Yassaghi, A., Salvini, F. and Eliassi, M., 2013- Post-Neogene right-lateral strike-slip tectonics at the north-western edge of the Lut Block (Kuh-e-Sarhangi Fault), Central Iran, Tectonophysics Journal, V. 589, p. 220-233.
- Petit, J. P., 1987- Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. Journal of Structural Geology, V. 9, p. 597-608.
- Ruttner, A., Nabavi, M. H. and Hajian, J., 1968- Geology of Shirgesht area (Tabas area, East Iran), Geological survey of Iran, Report no.4.
- Ruttner, A., Nabavi, M. H., Hajian, J. and Aghanabati, A., 1994- Geological map of Iran 1:100000, Shirgesht Sheet, Geological survey of Iran.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 52, p. 1229-1258.
- Storti, F., Rossetti, F., Laufer, A. L. and Salvini, F., 2006- Consistent kinematic architecture in the damage zones of intraplate strike-slip fault systems in North Victoria Land, Antarctica and implications for fault zone evolution, Journal of Structural Geology, V. 28, p.50-63
- Swanson, M. T., 1988- Pseudotachylyte-bearing strike-slip duplex structures in the Fort Foster Brittle Zone of southernmost Maine. Journal of Structural Geology, V. 10, p. 813-828.
- Sylvester, A. G., 1988- Strike-slip faults. Geol. Soc. Am. Bull, V. 100, p. 1666-1703.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakolim, F. and Chéry, J., 2004- Present- ay crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. Geophysical Journal International V. 157, p. 381-398.
- Walker, R. and Jackson, J., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, Tectonics, V. 23, p. 567-578.
- Walpersdorf, A., Manighetti, I., Mousavi, Z., Tavakoli, F., Vergnolle, M., Jadidi, A., Hatzfeld, D., Aghamohammadi, A., Bigot, A., Djamour, Y., Nankali, H. and Sedighi, M., 2014- Present-day kinematics and fault slip rates in eastern Iran, derived from 11 years of GPS data: Journal of Geophysical Research-Solid Earth, V. 119, no. 2, p. 1359-1383.

## Geometric and kinematic analysis and of Derenjal Mountain's faults, eastern block of Kalmard fault (Central Iran)

R. Samadi Moghadam<sup>1</sup>, R. Nozaem<sup>2\*</sup>, M. Dehbozorgi<sup>3</sup> and M. Mohajjel<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Tectonic Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2016 September 27

Accepted: 2017 July 08

### Abstract

Derenjal Mountains with NE-SW trend, is located in Central Iran, in northwest of Tabas block and in eastern block of Kalmard fault. In this region, the Paleozoic formations (Cambrian to Devonian) have been exposed and surrounded by Neogene and Quaternary deposits. Volcanic rocks of Cambrian limited to Diabasic Rocks Dominated in Kalshaneh Formation and Middle Jurassic (?) lens-shape Andesite massive that covered uncomfortably with Cretaceous non metamorphosed limestone. Kalmard Fault as an old basement and active fault in Central Iran as Principal Displacement Zone (PDZ) and adjacent deformed Derenjal Mountains, have a complex deformation history with respect to rotation of the Compressional Incremental Kinematic Axis during Geological time scale since late Paleozoic to late Cenozoic. Rotation in Central Iran blocks, changing of the convergence direction of Afro-Arabian plate with respect to Iran and also structural interaction between the Central Iran blocks, during tectonic evolutions, imposed the rotation of the Incremental Kinematic Axis (P-T-B) directions with respect to Derenjal Mountains and Kalmard Fault. These process made progressively new structures and also made changes in old structures since post Devonian. In this study, based of Field observation and geometric - kinematic structural Analysis of the more the 150 fault data, the architecture of fault assemblage of Derenjal area demonstrate Synthetic faults (P, R), antithetic faults (X, R'), compression faults (C2) faults and folding in F1 Class in Derenjal Area. These structures represent that the Compressional Incremental Kinematic Axis trend has been changed in anticlockwise direction from perpendicular to parallel with respect to Kalmard Fault since post Devonian to Late Cenozoic and finally superimposition of the strike slip tectonics on the contraction tectonics.

**Keywords:** Geometric and kinematic analysis, Structural evolution, Derenjal Mountain, Kalmard fault, Central Iran

For Persian Version see pages 75 to 86

\*Corresponding author: R. Nozaem; E-mail: nozaem@ut.ac.ir