

# فرگشت ساختاری و زمین ساخت جوان گستره میانراهان، شمال خاور کرمانشاه

حمید جوانبخت جبارآبادی<sup>۱\*</sup> و سید احمد علوی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۲</sup>آستاذ، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱

## چکیده

گستره مورد مطالعه در شمال خاوری استان کرمانشاه و در محل زمین درز اصلی زاگرس قرار گرفته است. برای انجام تحلیل‌های ساختاری در این بخش، شش برش ساختاری عمود بر روند ساختارها ترسیم شده است. ساختارها و گسل‌های مختلف با سازوکارهای متفاوت در این برش‌ها نشان می‌دهد که گستره مورد مطالعه از دوره کرتاسه تاکنون، دو گامه (فاز) زمین‌ساختی را پشت سر گذاشته است. گامه نخست که یک گامه فشارشی بوده که از کرتاسه شروع شده و حداقل تا میوسن ادامه داشته است. گسل‌های ایجاد شده در این گامه به صورت راندگی‌های با جابه‌جایی زیاد هستند که مهم‌ترین آنها راندگی اصلی زاگرس است. گامه دوم زمین‌ساختی که بسیار جوان و فعال بوده؛ به صورت یک سامانه ترفشارشی عمل کرده است. اصلی‌ترین ساختارهای ایجاد شده در این گامه دو گسل راست بر صحنه و میانراهان هستند. این دو گسل از تکه‌های گسل جوان اصلی زاگرس هستند و عملکرد آنها باعث ایجاد ساختارهای ثانویه مانند حوضه واگشوده دینور و ساختار گل‌ساخت مثبت بر روی گسل صحنه شده است. در نهایت با توجه به ارتباط بین ساختارها و چینه‌های با سن‌های مختلف مدل فرگشت ساختاری گستره در شش مرحله بیان شده است. در طی این مراحل گسل‌های هم‌راستا اما با سازوکار متفاوت ایجاد شده‌اند که نشان‌دهنده چرخش محور تنش  $\sigma_1$  در خلاف جهت عقربه‌های ساعت از کرتاسه تاکنون است.

**کلیدواژه‌ها:** حوضه واگشوده، زمین‌ساخت ترفشارشی، گسل صحنه، گسل میانراهان، زمین‌درز زاگرس

**\*نویسنده مسئول:** حمید جوانبخت جبارآبادی

E-mail: hamidjavanbakhtj@gmail.com

## ۱- پیش‌نوشتار

گستره مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی علوی (Alavi, 1994) در شمال باختری پهنه‌های ساختاری سندج-سیرجان و زاگرس بلند قرار می‌گیرد. بر اساس جدیدترین مطالعات، در شمال باختر کوهزاد زاگرس دو مرحله دگرشکلی وجود دارد. نخستین مرحله دگرشکلی در کرتاسه پسین و از نوع برخورد کمان-قاره بوده که با فرارانش افیولیت‌ها بر روی لبه آرام قاره‌های زاگرس همراه بوده است. پس از آن دومین مرحله از نوع برخورد قاره-قاره بوده است که در میوسن پسین باعث بسته شدن اقیانوس تتیس‌نو شده است (Vergés et al., 2011; Mohajjel and Fergusson, 2014). Agard et al. (2005) شروع برخورد عربستان-ایران در شمال باختر زاگرس را قبل از ۲۳ تا ۲۵ میلیون سال پیش می‌دانند.

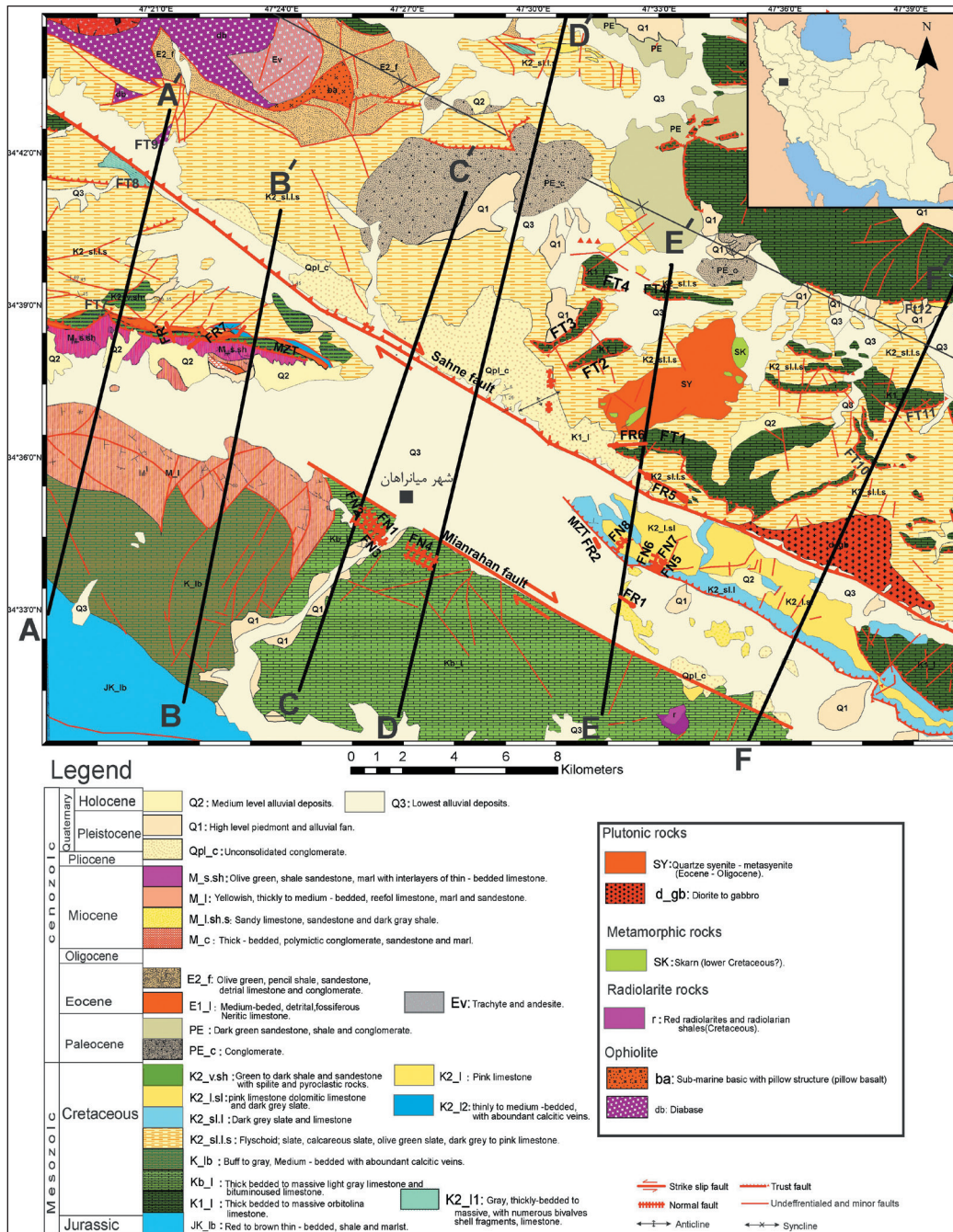
پس از برخورد قاره-قاره در زاگرس و از حدود ۳ تا ۵ میلیون سال پیش، به علت چرخش پادساعت‌گرد ورقه عربی نسبت به ایران، گسل جوان اصلی زاگرس با مؤلفه چیره راستالغز راست بر به وجود می‌آید (Talebian and Jackson, 2002). این گسل شامل شاخه‌ها و تکه‌های گسلی فراوانی است که اصلی‌ترین آنها از جنوب خاوری به شمال باختری عبارتند از گسل دورود، گسل نهاوند، گسل گارون (قارون)، گسل صحنه، گسل مروارید و گسل پیرانشهر که در نهایت به گسل آتاتولی شمالی در ترکیه می‌پیوندند. با استفاده از جابه‌جایی افیولیت‌های کرمانشاه و همچنین جابه‌جایی رودخانه‌ها در مقیاس ناحیه‌ای، مقدار ۵۰ و حتی با احتمال کمتر ۷۰ کیلومتر جابه‌جایی برای کل گسل جوان اصلی زاگرس بیان می‌کنند (Talebian and Jackson, 2002). همچنین (Alipoor et al., 2012) با استفاده از جابه‌جایی افیولیت‌ها و جابه‌جایی رودخانه‌ها به ترتیب مقدار ۱۶ و ۸ کیلومتر جابه‌جایی را برای تکه گسلی صحنه به دست می‌آورند. آنها همچنین با استفاده از مقدار بازشدگی حوضه واگشوده دینور، برای گسل میانراهان نیز مقدار ۱۶ کیلومتر جابه‌جایی تعیین می‌کنند. در طول سده گذشته، زمین‌لرزه‌های مرگباری بر روی گسل صحنه و گسل نهاوند در جنوب باختری آن اتفاق افتاده است. این زمین‌لرزه‌ها شامل زمین‌لرزه سال ۱۹۵۷ فارسینج با بزرگای ۶/۷، زمین‌لرزه سال ۱۹۵۸ فیروزآباد با بزرگای ۶/۶ و زمین‌لرزه سال ۱۹۶۳ کارخانه با بزرگای ۵/۸ هستند. گزارش زمین‌لرزه‌های فیروزآباد و کارخانه توسط Ambraseys and Moinfar (1974 a and b) تهیه شده است.

هدف از این پژوهش بررسی تحولات زمین‌ساختی این بخش از زاگرس (شمال خاور کرمانشاه) از زمان شروع برخورد در کرتاسه پسین تا امروز و همچنین بررسی ساختارهای مرتبط با پهنه ترفشارشی دو گسل جوان صحنه و میانراهان و ساختارهای به وجود آمده در اثر همپوشانی این دو گسل است. بدین منظور از شواهد صحرایی جهت تعیین توالی گامه‌ها و رخدادهای زمین‌ساختی و همچنین بررسی حرکت‌های جوان گسل‌ها و شدت فعالیت آنها استفاده شده است.

## ۲- جایگاه زمین‌شناختی و زمین‌ساختی

در باختر ایران، پهنه سندج-سیرجان هسته دگرگونی پهنه برخورد قاره‌ای زاگرس را تشکیل می‌دهد و در ناحیه کرمانشاه خود به چند زیرپهنه تقسیم می‌شود. این زیرپهنه‌ها از جنوب باختر به شمال خاور عبارتند از: ۱) زیرپهنه رادیولاریتی، ۲) زیرپهنه بیستون، ۳) زیرپهنه افیولیتی، ۴) زیرپهنه حاشیه‌ای و ۵) زیرپهنه دگرشکل شده مرکب که شامل توالی‌های حاشیه غیرفعال پالئوزویک پایانی و مزوزویک است. مجموع زیرپهنه‌های ۱ تا ۴ کمربند بیرونی نیز نامیده می‌شود (Mohajjel et al., 2003). آهک‌های بیستون، ارتفاعات بلند شمال خاوری کرمانشاه و جنوب میانراهان را تشکیل می‌دهند و سن آنها از تریاس پایانی تا کرتاسه میانی-پایانی گفته شده است (Braud, 1978). افیولیت‌های کرتاسه نیز شامل تکنونیت‌های پوسته‌ای و گوشه‌ای که به صورت بین‌انگشتی با توله‌ایت‌های جزایر کمانی قرار دارند، گدازه‌های کالک‌آلکال و همتافت دایک‌های ورقه‌ای هستند (Shafaii Moghadam and Stern, 2011). همچنین در گستره مورد مطالعه، پهنه سندج-سیرجان شامل رخنمون سنگ‌های آهکی و فلیش کرتاسه و نفوذی‌های آذرینی به سن ائوسن-الیگوسن نیز است (شکل ۱).

نخستین واحدهای رسوبی سنوزویک در گستره میانراهان دو واحد کنگلومرای به سن پالئوسن هستند. این واحدها با ناپیوستگی بر روی رسوبات اغلب آهکی کرتاسه قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده پسروی دریا در این زمان است. آخرین رسوب دریایی در این گستره نیز متعلق به میوسن است. پس از آن با شدت گرفتن کوهزایی دریا پسروی کرده و رسوبات کنگلومرای و آبرفتی پلیوسن و کواترنری بر جای می‌مانند.



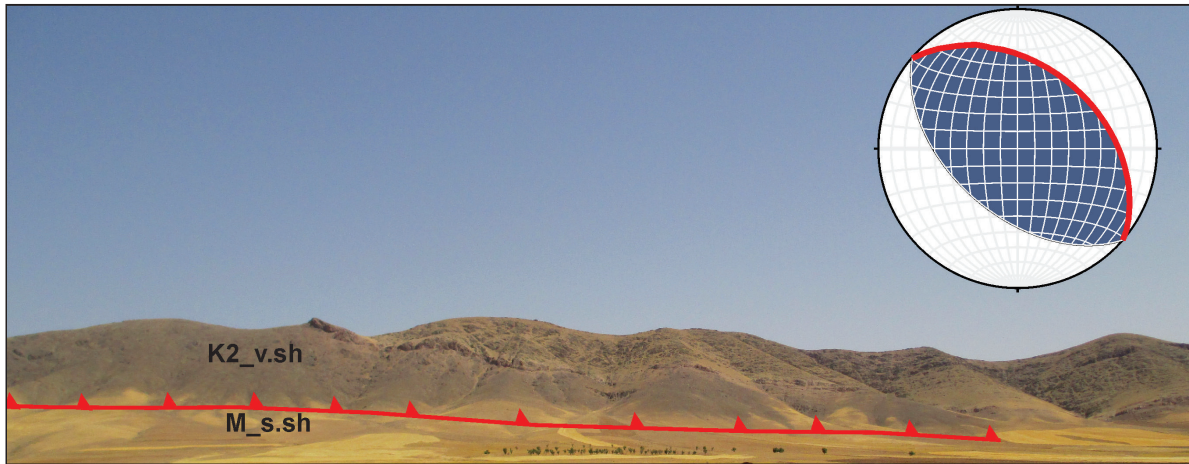
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و ساختاری ۱:۱۰۰۰۰۰ گستره مورد مطالعه برگرفته از دو نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنقر (اشراقی و همکاران، ۱۳۷۵) و میانراهان (رفعی و شهیدی، ۱۳۷۸) به همراه اصلاحات.

### ۳-۱. ساختارهای گامه (فاز) زمین‌ساختی برخوردی

قرارگیری رسوبات افقی پالئوسن بر روی لایه‌های چین‌خورده کرتاسه نشان می‌دهد که گامه فشارشی در این بخش از زاگرس در کرتاسه پسین فعال بوده است. بر اساس مطالعات Mohajjel et al. (2003) برخورد در شمال باختری زاگرس در کرتاسه پایانی از نوع برخورد قاره-قاره نبوده بلکه این فاز فشاری در اثر فرارانش افیولیت‌ها، سنگ‌آهک‌های بیستون و ورقه‌های رادیولاریتی بر روی لبه آرام ورقه عربی در اثر برخورد کمان ماگمایی بوده است. این فاز فشارشی در زاگرس با برخورد نهایی در میوسن دوباره شدت می‌گیرد که باعث فعال شدن راندگی‌های پیشین می‌شود. در این زمان اقیانوس تتیس نو بسته شده و راندگی‌های پشت سر هم در این گستره ایجاد شده است که مقدار جابه‌جایی در آنها زیاد است. مهم‌ترین این راندگی‌ها، راندگی اصلی زاگرس است که از شمال میانراهان می‌گذرد (شکل ۲).

### ۳-۲. ساختارهای گستره

در این پژوهش بر اساس برداشت‌های میدانی، مطالعه تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی سنقر (اشراقی و همکاران، ۱۳۷۵) و میانراهان (رفعی و شهیدی، ۱۳۷۸)، نقشه زمین‌شناسی و ساختاری گستره مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۱). بر اساس داده‌های به دست آمده از گسل‌های با سازوکارهای متفاوت، می‌توان این ساختارها را در دو دسته کاملاً متمایز دسته‌بندی کرد. دسته نخست گسل‌های رانده با راستای شمال باختری - جنوب خاوری هستند که شواهدی از بسته شدن اقیانوس تتیس‌نو و برخورد نهایی در زاگرس بلند و سنج - سیرجان نشان می‌دهند. دسته دوم گسل‌های راستلغز به‌طور عمده راست‌بر، منطبق بر گسل جوان اصلی زاگرس، با راستای شمال باختری - جنوب خاوری و بیانگر یک زمین‌ساخت راستلغز فعال در این بخش از زاگرس هستند.



شکل ۲- رخنمون راندگی اصلی زاگرس که از شمال میانراهنان می گذرد. در اینجا این گسل واحدهای کرتاسه را بر روی واحدهای میوسن رانده است. نگاه به سوی شمال.

است. مهم ترین ساختارهای به وجود آمده در این زمان شامل گسل صحنه، گسل میانراهنان، حوضه واگشوده (pull-apart) دینور و ساختارهای کوچک تر مانند گسل های ریدل (Ridel) و آنتی ریدل (AntiRidel) بر روی پهنه گسلی صحنه و همچنین گسل های عادی در اثر فروافتادگی دشت دینور است. گسل های ایجاد شده در این گامه بسیار فعالند و باعث ایجاد زمین لرزه های ویرانگری نیز شده اند. این ساختارها به شرح زیر هستند.

۳- **گسل صحنه:** گسل صحنه حدود ۱۰۰ کیلومتر طول دارد و از سه تکه شمال باختری، میانی و جنوب خاوری تشکیل شده است. اندازه این تکه ها با هم برابر است (Tchalenko and Braud, 1974). در گستره مورد مطالعه تکه میانی گسل صحنه قرار دارد که وضعیت آن بر اساس نتایج حاصل از عملیات ژئوفیزیکی (اویسی مؤخر و همکاران، ۱۳۸۷) 295/74NE و راست بر است. تمام تکه های گسل جوان اصلی زاگرس راستالغز هستند، اما گسل صحنه علاوه بر مؤلفه راستالغزی، یک مؤلفه معکوس نیز دارد و علت آن این است که این گسل راستای ۲۹۵ درجه دارد، در حالی که تکه های دیگر گسل جوان اصلی زاگرس راستایی در حدود ۳۱۵ درجه دارند و این باعث می شود که بر گسل صحنه یک مؤلفه کوتاه شدگی نیز وارد شود (Talebian and Jackson, 2002).

مطالعات لرزه زمین ساخت حاکی از آن است که گسل صحنه یک خط گسلی تنها نیست، بلکه به صورت یک ساختار گل ساخت مثبت است که حرکت چیره آن راستالغز راست بر با مؤلفه معکوس است (Mirzaei and Gheitanchi, 2002). این گسل بسیار فعال بوده و حتی جوان ترین رسوبات را نیز جابه جا کرده است (شکل ۳).

در گستره مورد مطالعه صفحه گسلی قابل اعتمادی از راندگی اصلی زاگرس وجود ندارد اما با توجه به شیب ظاهری آن در دره هایی که عمود بر روند گسل آن را قطع کرده اند؛ می توان گفت که شیب آن حدود ۴۰ درجه به سمت شمال خاور است. در جایی که گسل به دشت دینور می رسد ناپدید می شود که ممکن است فرونشست این دشت دلیل آن باشد. در تمام گستره مورد مطالعه، این گسل سنگ های کرتاسه را بر روی واحدهای میوسن رانده است. علاوه بر این ساختارهای دیگری که در این زمان به وجود آمده اند شامل گسل های راندگی  $F_{T11}$  تا  $F_{T12}$  (شکل های ۱ و ۹) و یک ناودیس بزرگ مقیاس در بخش شمالی گستره (شکل ۹؛ برش ساختاری DD) است. این گامه از حدود ۷ تا ۸ میلیون سال پیش در زاگرس بلند و سنندج- سیرجان خاتمه می یابد (Agard et al., 2011). با توجه به اینکه در گستره مورد مطالعه رسوبات میوسن دگرشکل شده و سنگ های قدیمی تر بر روی آنها رانده شده اند، می توان گفت که این گامه برخوردی در گستره میانراهنان، حداقل تا میوسن فعال بوده است.

### ۳-۲. ساختارهای زمین ساخت جوان

این گامه زمین ساختی به شکل یک سامانه راستالغز از حدود ۳ تا ۵ میلیون سال پیش به بعد شروع شد (Talebian and Jackson, 2002) و بیشتر ساختارهای گستره مورد مطالعه در این گامه به وجود آمده اند. علت ایجاد این گامه حرکت مایل صفحه عربستان نسبت به ایران است. که یک پهنه برشی راست بر در زاگرس بلند و سنندج- سیرجان ایجاد کرده است. در گستره مورد مطالعه این گامه زمین ساختی به شکل یک پهنه ترافشارشی راست بر همراه با مجموعه ای از گسل های کوچک و بزرگ با راستای شمال باختر- جنوب خاور عمل کرده



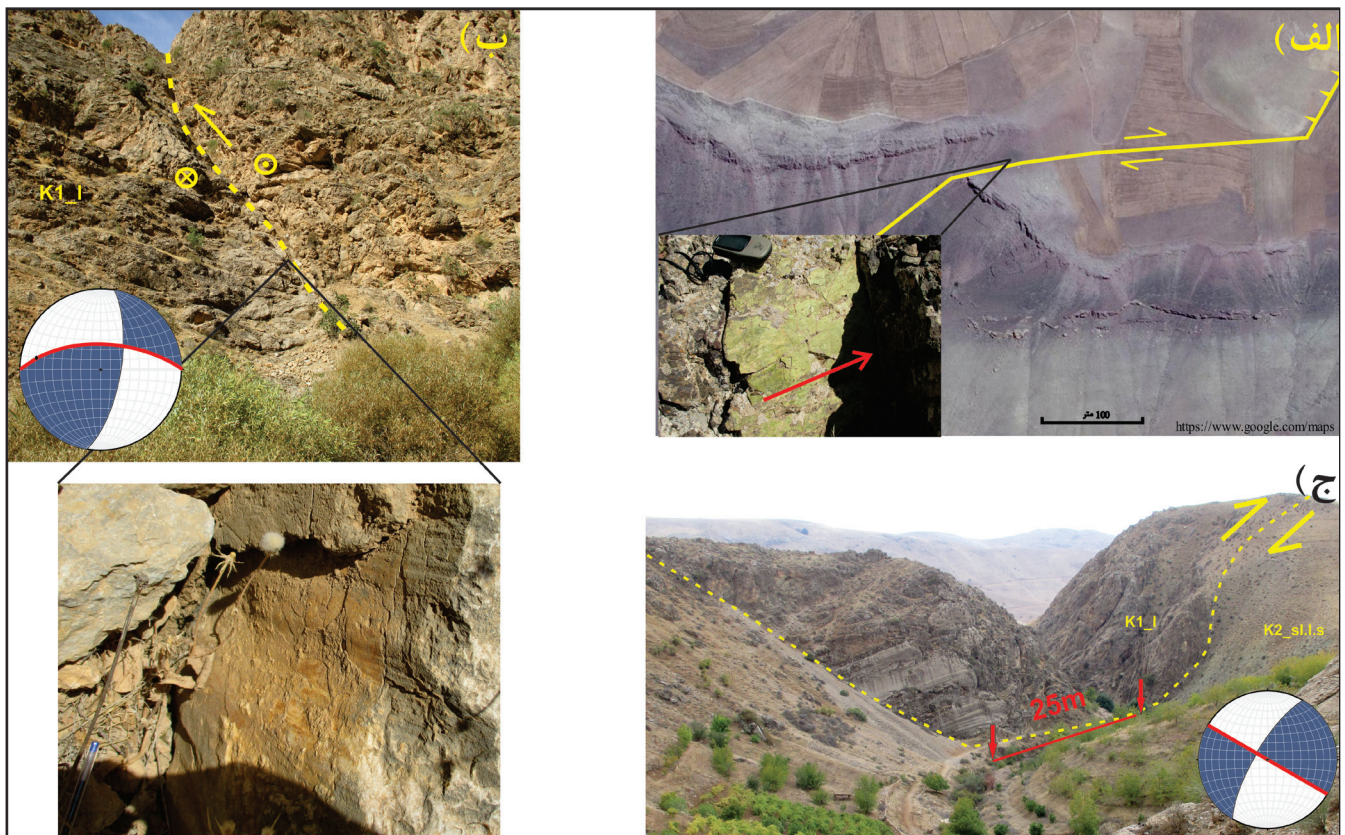
شکل ۳- گسیختگی های متعدد در رسوبات آبرفتی جوان در محل اثر سطحی گسل صحنه. نگاه به سوی باختر.

سوی شمال خاور و مؤلفه راست‌الغز راست‌بر تعیین کرده‌اند. همچنین آنها بر اساس داده‌های ژئوالکتریک موجود در منطقه محل دو گسل پنهان با مؤلفه راست‌الغز راست‌بر که در جنوب گسل میانراهان و به موازات آن قرار دارند را مشخص کرده‌اند. یک سری گسل‌های نرمال در جنوب گسل میانراهان و چسبیده به این گسل وجود دارند که به سوی شمال خاور شیب دارند و می‌توان آنها را به حرکت نرمال گسل میانراهان نسبت داد.

• **ساختارهای فرعی پهنه گسل‌های صحنه و میانراهان:** غیر از گسل‌های راندگی و دو گسل اصلی صحنه و میانراهان بقیه گسل‌های فرعی گستره را می‌توان بر اساس راستا و سازوکار در سه دسته، دسته‌بندی کرد.

نخستین گروه گسل‌هایی هستند که در اطراف پهنه برشی گسل صحنه قرار دارند و راستای آنها شمال‌باختری-جنوب‌خاوری است. این گسل‌ها را می‌توان از نوع شکستگی‌های ریدل در یک پهنه برشی دانست. این شکستگی‌ها با راستای پهنه برشی اصلی زاویه کمی می‌سازند. جهت حرکت در آنها نیز موافق جهت حرکت در پهنه اصلی (در اینجا راست‌بر) است (گسل‌های FR در شکل ۱). همچنین در این گستره، این گسل‌ها به همراه گسل صحنه یک ساختار گل‌ساخت مثبت تشکیل داده‌اند زیرا بیشتر آنها علاوه بر حرکت راست‌الغز، یک مؤلفه شیب‌لغز معکوس نیز دارند (شکل ۴). این گسل‌ها بسیار جوان هستند و حتی محل گسیختگی سطحی زمین لرزه سال ۱۳۸۲ میانراهان با بزرگای ۵/۲ (Mirzaei and Gheitanchi, 2002) از این نوع است.

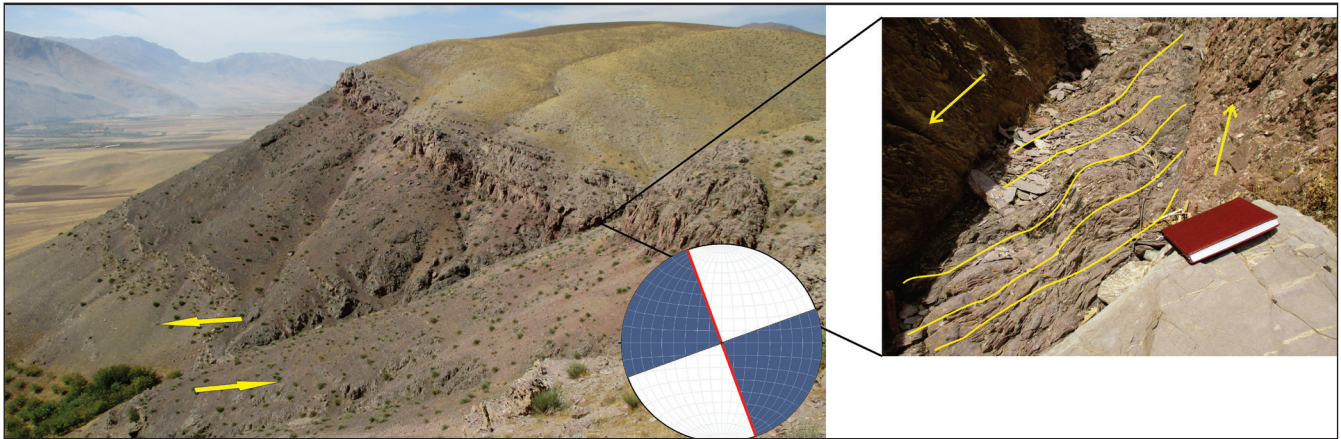
— **گسل میانراهان:** گسل میانراهان یک گسل راست‌الغز راست‌بر و فعال است. با توجه به تجمع روکانون زمین‌لرزه‌های دوره دستگامی بر روی آن به نظر می‌رسد که این گسل از گسل صحنه فعال‌تر باشد. راستای این گسل ۳۰۰ و به موازات گسل صحنه است. هیچ صفحه گسلی از این گسل در سطح زمین یافت نشد و تنها مدرک برای اینکه شیب این گسل به سمت شمال است ایجاد حوضه واگشوده دینور و زمین‌لرزه ۱۴ آوریل ۲۰۰۲ با بزرگی ۵/۲ ریشتر است که در شمال آن اتفاق افتاده و به این گسل نسبت داده شده (Mirzaei and Gheitanchi, 2002) است که با توجه به محل روکانون، می‌توان شیب حدود ۷۰ درجه به سمت شمال برای آن تعیین کرد. (Berberian (1995) از این گسل به عنوان شاخه گسلی دینور یاد می‌کند که یکی از شاخه‌های گسل جوان اصلی زاگرس است و معتقد است که گسل‌های دینور، صحنه، نهاوند و دورود که راندگی اصلی زاگرس را قطع کرده‌اند فعال‌تر از دیگر تکه‌های گسل جوان اصلی زاگرس هستند. میزان جابه‌جایی این گسل با توجه به مقدار بازشدگی حوضه واگشوده، ۱۶ کیلومتر تعیین شده است (Alipoor et al., 2012). بخش‌های جنوبی این گسل دارای ارتفاعات بلند و دره‌های عمیق است. که به احتمال می‌توان گفت فعالیت زیاد این گسل بر روی برخاستگی این نواحی تأثیر داشته است. پایانه شمال‌باختری این گسل در بخش باختری گستره مورد مطالعه، در زیر دشت کواترنری به پایان می‌رسد و اثری از آن در طرف دیگر دشت وجود ندارد. چیدری و همکاران (۱۳۹۳) در یک مطالعه بر اساس جابه‌جایی آبراه‌ها، شواهد ساختاری و داده‌های هیدرولوژیکی، گسل میانراهان را یک گسل عادی با شیب به



شکل ۴- گسل‌های راست‌الغز راست‌بر معادل شکستگی‌های ریدل در پهنه برشی گسل صحنه. ریک لغزش بر روی سطح این گسل‌ها نشان‌دهنده مؤلفه کوچک معکوس نیز است.

در گستره مورد مطالعه شناسایی شد. رخنمون این گسل در شمال باختری میانراهان قرار دارد و مشخصات سطح گسلی آن ۹۰/۱۶۰ (مقدار شیب / راستا) است. پهنه خرد شده آن حدود ۱/۵ متر ضخامت دارد و کاملاً سیمانی و محکم شده است (شکل ۵).

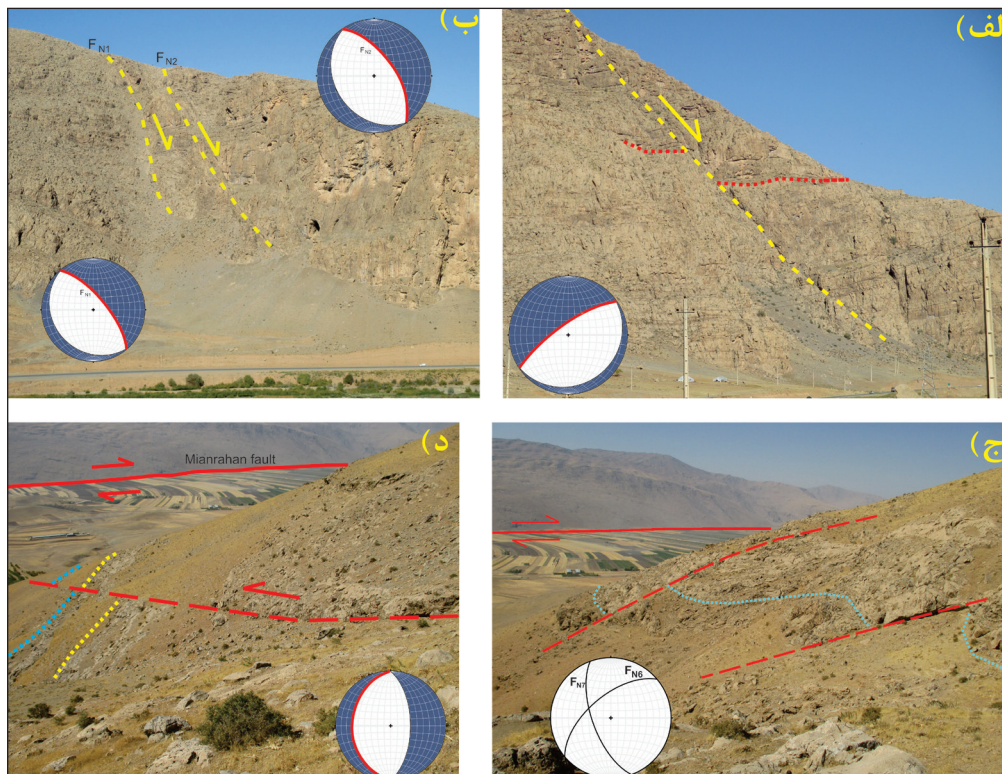
دسته دوم گسل‌هایی هستند که زاویه بزرگی با راستای پهنه برشی اصلی می‌سازند و جهت لغزش در آنها نیز عکس جهت لغزش در پهنه اصلی است. این گسل‌ها معادل شکستگی‌های آنتی ریدل در یک پهنه برشی هستند. از این دسته گسل‌ها تنها یک گسل



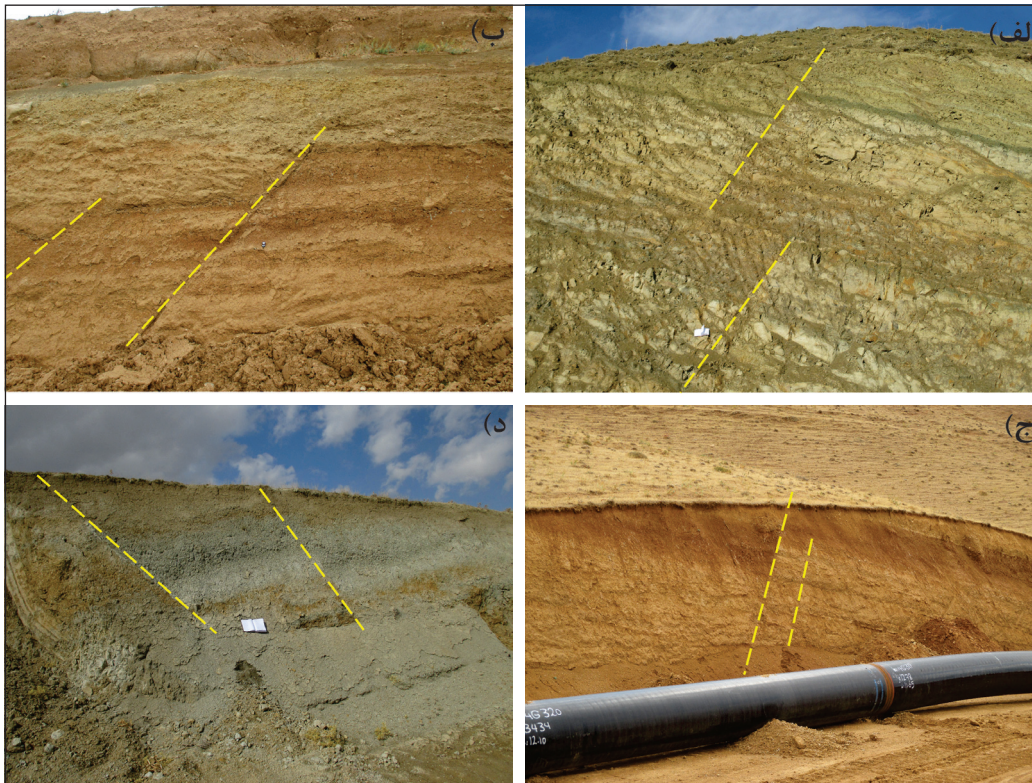
شکل ۵- گسل راستالغز با مؤلفه حرکتی چپ بر معادل شکستگی‌های نوع آنتی ریدل در پهنه برشی گسل صحنه. نگاه به سوی باختر.

شمال گسل پی سنگی صحنه نیز گسل‌های عادی در گستره وسیعی وجود دارند که بسیار فعال هستند و حتی جوان‌ترین خاک‌ها را نیز جابه‌جا کرده‌اند. اما مقیاس آنها و جابه‌جایی در آنها کوچک و فقط محدود به رسوبات پلیوسن و کواترنری است. تعداد این گسل‌ها زیاد است و تنها در سه کیلومتر برش خط لوله گاز که به صورت شمالی-جنوبی گستره را قطع می‌کند، ۱۱ عدد از این گسل‌ها شناسایی شد. با توجه به فرسایش سریع خاک‌ها و رسوبات سست، اثر سطحی این گسل‌ها به سرعت از بین می‌رود و تنها در مسیر جاده‌ها و برش‌ها مشخص هستند که در این حالت فقط می‌توان شیب ظاهری آنها را اندازه گرفت. به نظر می‌رسد که این گسل‌های عادی میانه‌مقیاس در پاسخ به بالاآمدگی شدید فرادیواره گسل صحنه به وجود آمده باشند (شکل ۷).

دسته سوم گسل‌های عادی هستند که به فراوانی در گستره وجود دارند و بسیار جوان و فعال هستند. بخشی از این گسل‌ها در اثر فروافتادگی دشت دینور به وجود آمده‌اند. در جنوب دشت دینور (در برش رودخانه گاماسیاب که اصلی‌ترین رودخانه این ناحیه است) گسل‌های عادی  $F_{N1}$ ،  $F_{N2}$ ،  $F_{N3}$  و  $F_{N4}$  (شکل ۱) با جابه‌جایی قابل توجه و گسل‌های کوچک‌تر زیادی وجود دارند. این گسل‌ها راستای شمال باختری-جنوب خاوری و شیب به سمت شمال خاوری و دشت دینور دارند که نشان‌دهنده کشش و فروافتادگی در این دشت است (شکل‌های ۶-آ و ب). در خاور دشت دینور نیز گسل‌های عادی با جابه‌جایی بیش از ده متر (گسل‌های  $F_{N5}$ ،  $F_{N6}$  و  $F_{N7}$  در شکل ۱) وجود دارند که به سمت باختر و دشت دینور شیب دارند و نشان‌دهنده فروافتادگی این بخش هستند (شکل‌های ۶-ج و د). اما در بخش‌های



شکل ۶- در اطراف دشت دینور گسل‌های عادی با جابه‌جایی قابل توجه وجود دارند که فروافتادگی این بخش را نشان می‌دهند. الف و ب) گسل‌های عادی در جنوب دشت که به سمت شمال شیب دارند. نگاه به سوی باختر؛ ج و د) گسل‌های عادی در خاور دشت که به سمت باختر شیب دارند. نگاه به سوی جنوب باختری.



شکل ۷- گسل‌های عادی جوان و فعال بر روی فرادیواره گسل صحنه که نشان‌دهنده بالاآمدگی شدید این بخش است.

### ۳-۳. دشت واگشوده دینور

عامل اصلی به وجود آورنده دشت دینور فعالیت گسل میانراهان است. بر روی گسل جوان اصلی زاگرس حوضه‌های واگشوده دیگری وجود دارند که دو مورد از آنها در نزدیکی پیرانشهر توسط Copley and Jackson (2006) برای تعیین مقدار جابه‌جایی بر روی این گسل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مقدار بازشدگی دشت دینور در مرز جنوبی آن حدود ۱۶ کیلومتر و در مرز شمالی ۸ کیلومتر است (Alipour et al., 2012). مقدار جدایش بین دو گسل صحنه و میانراهان نیز حدود ۵/۵ کیلومتر و ناپیوستگی بین آنها از نوع پله به راست است.

شکل و هندسه حوضه‌های واگشوده متأثر از چند عامل است از جمله زاویه A که زاویه بین گسل اصلی و خطی است که لبه دو گسل را به هم متصل می‌کند، مقدار هم‌پوشانی (overlap) یا عدم هم‌پوشانی (underlap) و مقدار جدایش (separation) دو گسل اصلی که باعث تغییر در نسبت طول حوضه به پهنای آن می‌شود (Dooley and Schreurs, 2012). برای فهم بهتر هندسه و سازوکار تشکیل این حوضه‌ها به صورت دوبعدی و حتی سه‌بعدی می‌توان از مدل‌های آزمایشگاهی بهره جست. در شکل ۸-ب، سه مدل مختلف آزمایشگاهی از حوضه‌های واگشوده نمایش داده شده است که نشان‌دهنده تأثیر مقادیر متفاوت هم‌پوشانی گسل‌ها بر هندسه حوضه واگشوده است.

در شکل ۸-الف، تصویر DEM از حوضه واگشوده دینور به همراه گسل‌های عادی برداشت شده در اطراف آن نمایش داده شده است. همان‌طور که در تصویر مشخص است در این مجموعه هم‌پوشانی دو گسل بسیار زیاد است و شکل حوضه نیز شبیه مربع است. بنابراین به نظر می‌رسد که سازوکار تشکیل این حوضه از مدل حوضه‌های با هم‌پوشانی زیاد گسل‌ها پیروی می‌کند. نمونه دیگری از این مدل حوضه‌ها، حوضه دریای مرده (بحرالمت) است. اما حوضه واگشوده دینور از نظر ساختاری با حوضه دریای مرده و حتی با مدل‌های آزمایشگاهی رایج تفاوت اساسی دارد که باعث پیچیدگی بیشتر آن شده است و نیاز به مطالعات بیشتری دارد. نخستین تفاوت اساسی، جهت شیب گسل‌های ایجادکننده حوضه است. در بیشتر حوضه‌های

واگشوده دنیا از جمله دریای مرده، شیب گسل‌های اصلی در دو طرف دشت به سمت داخل حوضه است در حالی که در حوضه دینور تنها گسل میانراهان به سمت حوضه شیب دارد. تفاوت دوم این است که این حوضه در یک محیط ترفشارشی شکل گرفته است و باید آن را با حوضه‌هایی مقایسه کرد که در محیط مشابهی به وجود آمده باشند.

### ۴-۱. برش‌های ساختاری

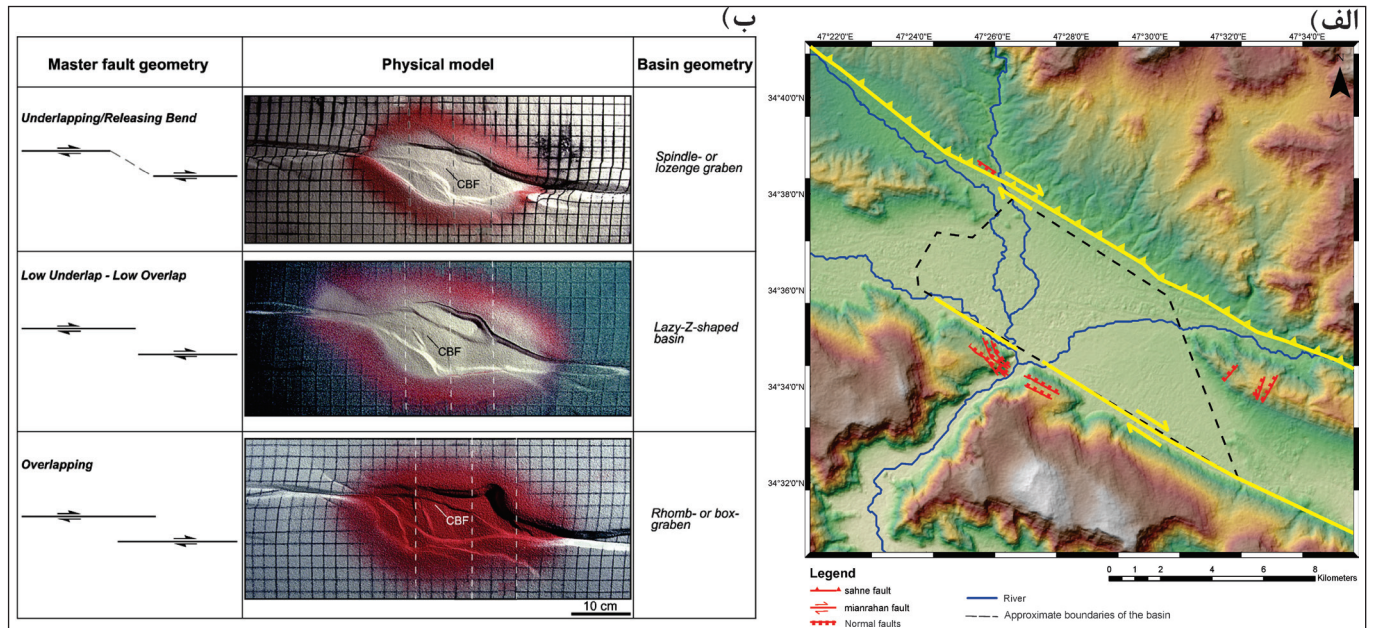
به منظور تحلیل ساختاری گستره و درک بهتر سازوکار حوضه کششی در این بخش، ۶ برش ساختاری عمود بر روند ساختارها ترسیم شده است. با توجه به دسترسی نداشتن به داده‌های لرزه‌ای و ژئوفیزیکی زیر سطحی، این برش‌ها با عمق ۸۰۰ متری و بر اساس داده‌های به دست آمده از بازدید صحرایی و برداشت سطحی صفحات گسلی و شیب و راستای لایه‌ها انجام شده است. این برش‌ها به شرح زیر هستند.

#### ۴-۱. برش ساختاری AA'

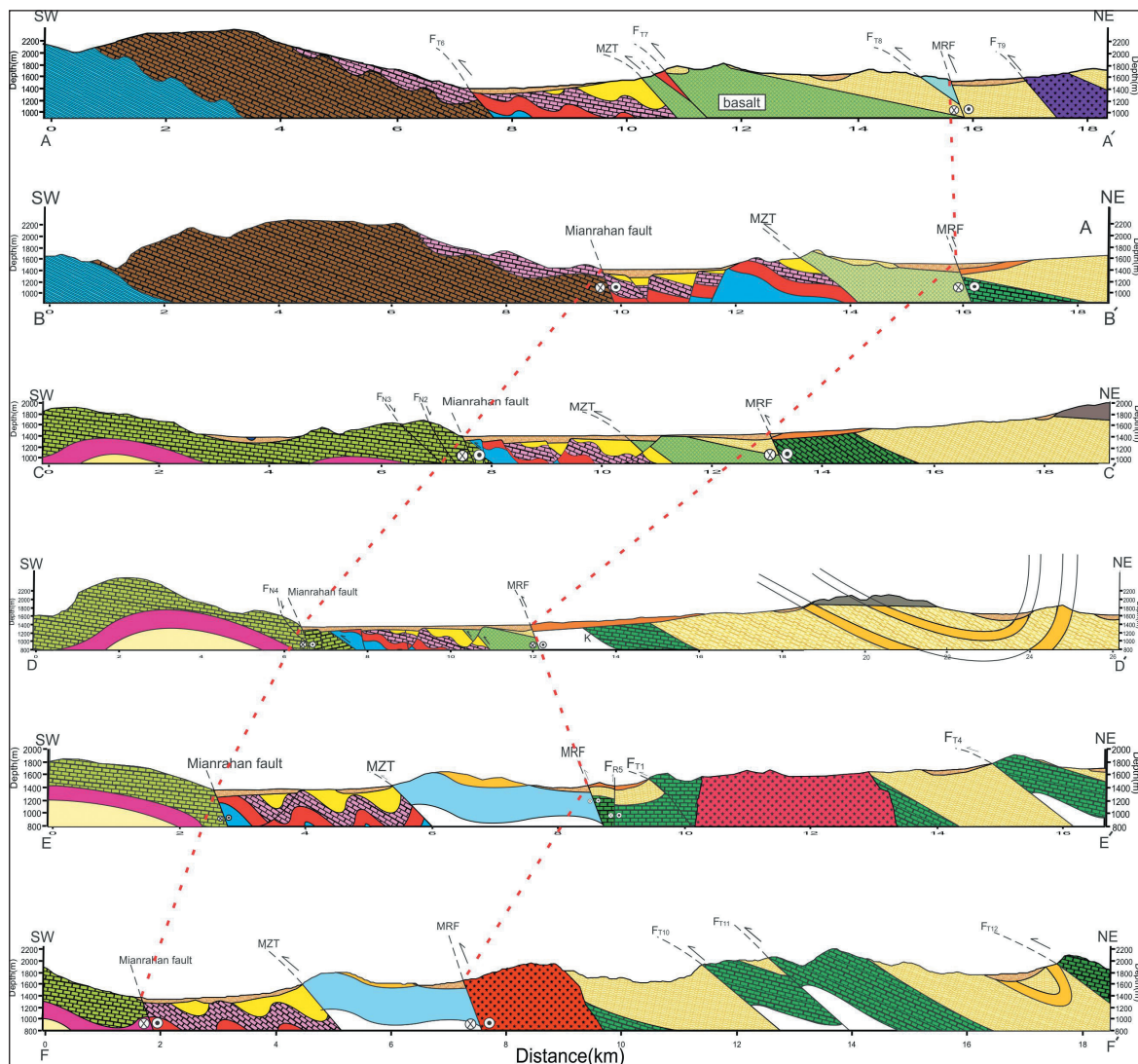
این برش در باختر گستره مورد مطالعه با طولی حدود ۱۸ کیلومتر ترسیم شده است (شکل ۹). در این برش و تمامی برش‌های دیگر گسل راندگی اصلی زاگرس (MZT) وجود دارد که واحدهای کرتاسه را بر روی واحدهای میوسن رانده است و این بیانگر فعالیت این گسل پی‌سنگی حداقل تا میوسن پسین است. در این برش گسل‌های  $F_{T7}$ ،  $F_{T8}$  و  $F_{T9}$  از نوع راندگی هستند و تنها گسل فعال در آن گسل صحنه (MRF) است. گسل میانراهان تا این برش ادامه ندارد، بنابراین ساختارهای کششی و فروافتادگی دشت دینور که در اثر عملکرد این گسل به وجود آمده‌اند نیز دیده نمی‌شود.

#### ۴-۲. برش ساختاری BB'

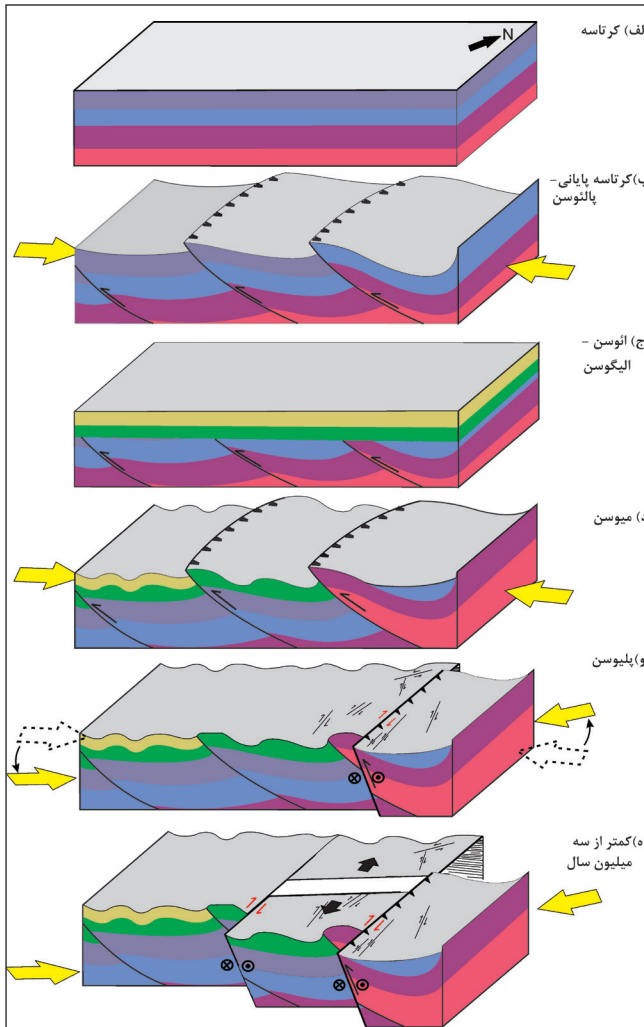
طول این برش ۱۸ کیلومتر است و به ترتیب از جنوب به سمت شمال، شامل گسل‌های میانراهان، راندگی اصلی زاگرس و گسل صحنه است. هم‌پوشانی دو گسل راست بر صحنه و میانراهان باعث ایجاد یک پهنه کششی در بین این دو گسل شده است که در آن ضخامت زیادی از رسوبات کواترنری انباشته شده است.



شکل ۸- الف) نمایی از حوضه واگشوده دینور و گسل‌های اصلی ایجاد کننده آن در تصویر DEM؛ ب) مدل آزمایشگاهی نشان‌دهنده تأثیر مقادیر متفاوت همپوشانی گسل‌های اصلی بر هندسه حوضه واگشوده (برگرفته از Dooley and Schreurs, 2012).



شکل ۹- برش‌های ساختاری در گستره میانراهان که به صورت شمالی- جنوبی و عمود بر روند ساختارها ترسیم شده است. خط چین‌ها موقعیت دو گسل صحنه و میانراهان را در این برش‌ها نشان می‌دهد. برای شرح واحدهای سنگی به شکل ۱ مراجعه شود.



شکل ۱-۰ مدل شماتیک فرگشت ساختاری گستره مورد مطالعه از کرتاسه تا امروز.

۴) پس از رسوب‌گذاری لایه‌های میوسن، زمین‌ساخت فشاری دوباره فعال شده و باعث پیشروی راندگی‌ها به درون رسوبات سنوزویک شده است. در پیمایش‌های صحرائی نیز مشخص شد که در سراسر گستره رسوبات میوسن به شدت چین‌خورده و راندگی اصلی زاگرس، واحدهای کرتاسه را بر روی آنها رانده است (شکل ۱۰-د).  
 ۵) پس از گامه فشاری، سامانه راستالغز و ترافشارشی، گستره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به گفته Talebian and Jackson (2002) این سامانه در زاگرس از حدود ۳ تا ۵ میلیون سال پیش شروع شده است. در این مرحله راستای تنش در جهت خلاف عقربه‌های ساعت چرخیده است که به موجب آن گسل‌هایی با همان روند راندگی‌های پیشین اما سازوکار متفاوت ایجاد می‌شوند. چرخش پادساعت‌گرد تنش در زاگرس بلند توسط منابع دیگری نیز تأیید شده است (McQuarrie et al., 2003; Navabpour et al., 2007). مهم‌ترین ساختار به وجود آمده در این زمان گسل صحنه -یک گسل راستالغز راست‌بر با مؤلفه معکوس- است. علاوه بر آن، ساختار گل‌ساخت مثبت و گسل‌های فرعی ریدل و آنتی‌ریدل نیز به وجود می‌آید (شکل ۱۰-و).

۶) در آخرین مرحله، عملکرد گسل میانراهان و همپوشانی پله به راست آن با گسل صحنه موجب پیدایش حوضه واگشوده دینور شده است. با توجه به داده‌های صحرائی، مشخص است که گسل‌های فرعی ریدل و آنتی‌ریدل در مجاورت دشت دینور -که یک مؤلفه معکوس نیز داشته‌اند- غیر فعال شده و جای خود را

#### ۴-۳. برش ساختاری CC'

این برش در میانه‌های گستره مورد مطالعه و عمود بر روند ساختارها ترسیم شده و طول آن حدود ۱۹ کیلومتر است. در این برش حوضه کششی دینور به بیشترین گسترش خود می‌رسد و به علت عملکرد گسل‌های عادی، گسل راندگی اصلی زاگرس در زیر رسوبات کواترنری ناپدید می‌شود. همچنین در جنوب گسل میانراهان، دو گسل عادی  $F_{N2}$  و  $F_{N3}$  رخمون دارند که وضعیت سطح گسلی آنها به ترتیب 155/75NE و 145/60NE است و به خوبی پایین‌افتادگی دشت را نشان می‌دهند.

#### ۴-۴. برش ساختاری DD'

طول این برش ۲۶ کیلومتر است. در این برش گسل  $F_{N4}$  در مجاورت دشت دیده می‌شود که وضعیت سطح گسلی آن 155/65N و سازوکار آن عادی است. به احتمال، این گسل در ژرفا با هندسه‌ای قاشقی به گسل میانراهان می‌رسد. در بخش شمالی برش یک ناودیس بزرگ مقیاس وجود دارد که باعث چین‌خوردگی لایه‌های قدیمی تر از کرتاسه شده است. به‌طور تقریبی و با کمک عکس‌های هوایی می‌توان وضعیت سطح محوری این ناودیس را 300/70N تعیین کرد. بیشتر بخش‌های این ناودیس فرسایش یافته و رسوبات کنگلومرای پالئوسن با ناپیوستگی بر روی آن نهشته شده‌اند، پس می‌توان گفت که سن ناودیس پیش از پالئوسن بوده است.

#### ۴-۵. برش ساختاری EE'

این برش با طولی در حدود ۱۶/۵ کیلومتر از بخش باختری دشت دینور می‌گذرد. در اینجا مقدار فروافتادگی دشت کمتر است و راندگی اصلی زاگرس در سطح زمین ظاهر می‌شود. گسل‌های  $F_{T1}$  و  $F_{T4}$  از نوع راندگی هستند که لایه‌های آهکی کرتاسه زیرین را بر روی لایه‌های فلیشی کرتاسه بالایی رانده‌اند. گسل  $F_{R5}$  را نیز می‌توان معادل شکستگی‌های ریدل در یک پهنه برشی دانست. وضعیت این گسل 300/90 و هم‌راستا با گسل صحنه بوده و با توجه به اینکه مؤلفه معکوس آن باعث بالاآمدگی بخش میانی بین این گسل و گسل صحنه شده است، می‌توان آن را یک ساختار گل‌ساخت مثبت نامید. گسل‌های مشابه  $F_{R5}$  که مؤلفه معکوس دارند و ساختار گل‌ساخت مثبت ایجاد کرده‌اند، در این گستره فراوان هستند.

#### ۴-۶. برش ساختاری FF'

این برش با طولی در حدود ۱۸/۵ کیلومتر در سمت خاوری گستره مورد مطالعه و به‌طور کامل در خارج از دشت واگشوده دینور ترسیم شده است. گسل‌های رخمون یافته در این برش به ترتیب از نقطه F به  $F'$  شامل گسل میانراهان، راندگی اصلی زاگرس، گسل صحنه و گسل‌های  $F_{T10}$ ،  $F_{T11}$ ،  $F_{T12}$  است. گسل‌های  $F_{T11}$ ،  $F_{T10}$  و  $F_{T12}$  از نوع راندگی هستند که لایه‌های کرتاسه زیرین را بر روی لایه‌های کرتاسه بالایی رانده‌اند. به سمت جنوب خاوری این برش، گسل میانراهان درون رسوبات کواترنری به پایان می‌رسد.

#### ۵- مدل فرگشت ساختاری

با توجه به داده‌های به دست آمده از ساختارها و رخمون‌های خوب از رسوبات با سن‌های مختلف در این بخش، می‌توان فرگشت ساختاری گستره را از کرتاسه تا امروز، به‌طور خلاصه به شرح زیر بیان کرد.

۱) بیشترین ضخامت واحدهای رسوبی در گستره مورد مطالعه، متعلق به کرتاسه است که بیشتر از نوع آهک و فلیش بوده و گویای آن است که در این زمان یک ناوه رسوبی در این بخش حاکم بوده است (شکل ۱۰-آ).

۲) در بخش شمالی گستره، رسوبات کرتاسه چین‌خورده و سپس فرسایش یافته‌اند و رسوبات کنگلومرای پالئوسن با ناپیوستگی بر روی این چین‌خوردگی قرار گرفته‌اند، که نشان می‌دهد در کرتاسه پایانی تا پالئوسن، یک گامه زمین‌ساختی فشاری عمل کرده و باعث چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی رسوبات و خروج آنها از آب شده است (شکل ۱۰-ب).

۳) در این گستره، رسوبات دریایی پالئوسن تا میوسن (به جز الیگوسن) رخمون دارند، که نشان‌دهنده پیشروی دوباره دریا و رسوب‌گذاری لایه‌های مختلف در این زمان بوده است (شکل ۱۰-ج).



گامه است. مهم‌ترین ساختارهای شکل گرفته در این گامه گسل صحنه و میانراهان است که تحولات و ریخت‌شناسی کنونی گستره تحت تأثیر عملکرد این دو گسل است. روند گسل‌های اصلی به وجود آمده در این گامه، مشابه روند راندگی‌های ایجاد شده در گامه پیشین است با این تفاوت که در گامه جدید سازوکار گسل‌ها از راندگی به راست‌لغزی راست‌بر و اریب‌لغزی تغییر کرده است. این تغییر در سازوکار گسل‌ها نشان‌دهنده چرخش محور تنش  $\sigma_1$  در جهت خلاف عقربه‌های ساعت است. بر اساس ساختارهای مشاهده شده، یک پهنه ترافشارشی راست‌بر در گستره مورد مطالعه حاکم است که مؤلفه راست‌لغزی آن بیشتر از مؤلفه معکوس است. وجود ساختار گل‌ساخت مثبت بر روی پهنه گسلی صحنه نیز مؤید آن است. با توجه به اینکه گستره مورد مطالعه در پهنه زاگرس بلند و سندج-سیرجان واقع شده است، شکل‌گیری این پهنه ترافشارشی می‌تواند ناشی از همگرایی اریب صفحه عربی-اوراسیا باشد. اما به‌طور محلی در فاصله بین دو گسل میانراهان و صحنه و به علت همپوشانی این گسل‌ها، یک حوضه کشش ایجاد شده است. حوضه واگشوده دینور را می‌توان از نوع حوضه‌های ایجاد شده در یک محیط ترافشارشی دانست که مثال‌هایی از این گونه حوضه‌ها در هیمالیا و همچنین بر روی گسل سان‌آندریاس وجود دارد. علت ایجاد این کشش همپوشانی پله به راست دو گسل صحنه و میانراهان است.

به گسل‌های عادی داده‌اند که نشان می‌دهد حوضه کششی آخرین مرحله فرگشت ساختاری در این بخش است. هر چند که گسل‌های فرعی قرار گرفته در شمال گسل صحنه و خود این گسل نیز با مؤلفه معکوس، بسیار جوان و فعال هستند (شکل ۱۰-ه).

## ۶- نتیجه‌گیری

گستره میانراهان در شمال باختری پهنه ساختاری سندج-سیرجان و زاگرس بلند واقع شده است. ساختارهای این بخش بر اساس فعال یا غیرفعال بودن و سازوکار آنها در دو گامه زمین‌ساختی کهن و جدید قرار می‌گیرند.

گامه زمین‌ساختی کهن که شروع آن در کرتاسه بوده و حداقل تا زمان میوسن ادامه داشته، هم‌اکنون غیرفعال است. این گامه در گستره مورد مطالعه به‌صورت فشارشی ناب در راستای شمال‌خاوری-جنوب باختری عمل کرده است، در نتیجه باعث ایجاد راندگی‌های پولکی (Imbricate) در راستای شمال باختری-جنوب خاوری شده است. این بخش از زاگرس محل اصلی برخورد بین دو قاره بوده است و راندگی‌های آن جابه‌جایی قابل توجهی دارند که راندگی اصلی زاگرس یکی از آنهاست.

گامه زمین‌ساختی جوان باعث ایجاد گسل‌های راست‌لغزی راست‌بر با راستای شمال باختری-جنوب خاوری شده است و فراوانی زمین‌لرزه‌ها حاکی از فعالیت بالای این

## کتابنگاری

- اشرافی، ص.ع.، جعفریان، م.ب. و اقلیمی، ب.، ۱۳۷۵- نقشه زمین‌شناسی سنقر مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اویسی مؤخر، م.، شاه‌نظری اول، ح. و قاسمی، و.، ۱۳۸۷- تشخیص گسل نهان صحنه در منطقه کرکسار با استفاده از روش مغناطیسی و VLF، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۲، صص. ۶۵ تا ۸۱
- چیزدی، ش.، نظری، ح.، کریمی باوندپور، ع.، فوت، م. و ملک محمودی، م.، ۱۳۹۳- بررسی هندسه آبخوان دشت هرسین- بیستون بر پایه مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی و گسلش جنبی، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین، ۳ تا ۵ اسفند.
- رفعی، ر. و شهیدی، ع.، ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی میانراهان (کرکسار) مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., 2005- Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences Geologische Rundschau*, v. 94, p. 401- 419.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B. and Wortel, R., 2011- Zagros Orogeny: A subduction-dominated process. *Geological Magazine*, v. 148, p. 692- 725.
- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*, v. 229, p. 211-238.
- Alipoor, R., Zaré, M. and Ghassemi, M. R., 2012- Inception of activity and slip rate on the Main Recent Fault of Zagros Mountains, Iran. *Geomorphology*, v. 175- 176, p. 86- 97.
- Ambraseys, N. and Moinfar, A., 1974a- The seismicity of Iran: the Firuzabad (Nehavand) earthquake of 16th August 1958. *Ann. Geophys*, v. 27, p. 1-21.
- Ambraseys, N. and Moinfar, A., 1974b- The seismicity of Iran: the Karkhaneh (Kangavar) earthquake of 24th March 1963. *Ann. Geophys*, v. 27, p. 23- 36.
- Berberian, M., 1995- Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, v. 241, p. 193- 224.
- Braud, J., 1978- Geological map of Kermanshah quadrangle C6. Geological Survey of Iran, scale 1:250,000, 1 sheet.
- Copley, A. and Jackson, J., 2006- Active tectonics of the Turkish-Iranian plateau. *Tectonics*, v. 25, p. 1-19.
- Dooley, T. P. and Schreurs, G., 2012- Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results. *Tectonophysics*, v.574-575, p. 1- 71.

- McQuarrie, N., Stock, J. M., Verdel, C. and Wernicke, B. P., 2003- Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 30 (20).
- Mirzaei, N. and Gheitanchi, M. R., 2002- Seismotectonics of Sahneh fault, middle segment of main recent fault, Zagros mountains, western Iran. *J. Earth Space Phys.*, v. 28, p. 1- 8.
- Mohajjel, M. and Fergusson, C. L., 2014- Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros Orogen in northwestern Iran. *International Geology Review*, v. 56, p. 263- 287.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 21, p. 397- 412.
- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2007- Cenozoic post-collisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province). *Tectonophysics*, v. 432, p. 101- 131.
- Shafaii Moghadam, H. and Stern, R. J., 2011- Geodynamic evolution of Upper Cretaceous Zagros ophiolites: Formation of oceanic lithosphere above a nascent subduction zone. *Geological Magazine*, v. 148, p. 762- 801.
- Talebian, M. and Jackson, J., 2002- Offset on the main recent fault of NW Iran and implications on the late Cenozoic tectonics of the Arabia–Eurasia collision zone. *Geophys. J. Int* 150, 422- 439.
- Tchalenko, J. S. and Braud, J., 1974- Seismicity and structure of the Zagros: the Main Recent Fault between 33° and 35°N. *Phil. Trans. R. Soc. Lond., A.*, 277, 1- 25.
- Vergés, J., Saura, E., Casciello, E., Fernández, M., Villaseñor, A., Jiménez-Munt, I. and García-Castellanos, D., 2011- Crustalscale cross-sections across the NW Zagros belt: Implications for the Arabian margin reconstruction. *Geological Magazine*, v. 148, p. 739- 761.

# Structural evolution and active tectonic of Mianrahan area, northeast of Kermanshah

H. Javanbakht Jabarabadi<sup>1\*</sup> and S. A. Alavi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Professor, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

Received: 2015 December 31

Accepted: 2017 April 10

## Abstract

The studied area located at the main suture zone of Zagros in the northeastern of Kermanshah. To do structural analysis in this area, six structural sections have been drawn perpendicular to structures direction. Structures and faults with different mechanism show that the studied area has passed two tectonic phases from Cretaceous up to present. The first phase which is a Compression phase, started from Cretaceous and lasted until Miocene. The created faults in this phase are thrusts with vast displacements in which the Main Zagros Thrust is the most important one of them. The second tectonic phase which is very young and active acts as a Transpressional system. The main structures created in second phase are dextral faults of Mianrahan and Sahne. These tow faults are part of Main Recent Fault and created some secondary structures such as Dinevar pull apart and flower structure on Sahne fault. Finally structural evolution model of the area has been expressed in six steps according to the relation among the structures and layers with different ages. During these steps, faults with the same dirctions but different mechanism have been created which demonstrates the counterclockwise rotation of stress axis  $\sigma_1$  since Cretaceous.

**Keywords:** Pull apart basin, Transpresstion tectonic, Sahne fault, Mianrahan fault, Zagros suture zone

For Persian Version see pages 175 to 184

\*Corresponding author: H. Javanbakht Jabarabadi; E-mail: hamidjavanbakht@gmail.com