

# سازوکار گسل جوان البرز (منطقه شمالی قم)، شاهدهی بر انتقال وارون‌شدگی گسل‌های پهنه البرز مرکزی-باختری به گسل‌های هم‌راستای آنها در جنوب این پهنه

رامین الیاس زاده<sup>۱</sup>، محمد محجل<sup>۲</sup>، بهزاد فراهانی<sup>۳</sup>، سیده راضیه جعفری<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، تبریز، ایران

<sup>۲</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۳</sup> سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۴</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۲/۱۴

## چکیده

گسل البرز در منطقه شمال قم، راستای شمال باختری- جنوب خاوری دارد. مطالعه ساختاری، دو نوع سازوکار را برای گسل البرز نشان می‌دهد. تحلیل نوع جابه‌جایی بر اساس خش خط‌های موجود دارای ریک میانگین (۵۳°-۴۵°) بر روی صفحه گسلی جوان در پهنه گسلی البرز، نشان می‌دهد که گسل البرز با هندسه N135/75SW سازوکار جوان معکوس با مؤلفه برشی چپ‌بر دارد در صورتی که این جابه‌جایی با سازوکار پیشین آن متفاوت است. با توجه به ساختارهای ایجاد شده در اثر فعالیت پیش‌تر این گسل مانند تاقدیس البرز، گسل خوردگی‌های همسو و ناهمسو و درزه‌ها مشخص می‌شود که گسل البرز دارای حرکت معکوس با مؤلفه راست‌بر بوده است، جابه‌جایی جوان چپ‌بر در گسل‌های راستالغز و مایل‌لغز با راستای مشابه گسل البرز در البرز مرکزی- باختری (مانند گسل‌های مشا و طالقان) و در گسل‌های با راستای مشابه در جنوب البرز (مانند گسل ایپک و کوشک نصرت) گزارش شده است. در سال‌های اخیر، علت وارون‌شدگی سازوکار در گسل‌های راستالغز و مایل‌لغز البرز مورد توجه محققان بوده و آن را نتیجه تأثیر تنش پوسته اقیانوسی خزر جنوبی بر البرز معرفی کرده‌اند. تغییر سازوکار گسل البرز، از سازوکار معکوس با مؤلفه راست‌بر به سازوکار معکوس با مؤلفه چپ‌بر، نشان می‌دهد که در اثر تأثیر تنش پوسته اقیانوسی خزر جنوبی وارون‌شدگی در گسل‌های راستالغز و مایل‌لغز البرز مرکزی- باختری و گسل‌های هم‌راستای موجود در فاصله البرز تا قم به گسل البرز در شمال قم رسیده است.

**کلیدواژه‌ها:** گسل البرز، البرز، گسل‌های راستالغز، قم

\*نویسنده مسئول: رامین الیاس زاده

E-mail: Ramin403@yahoo.com

## ۱- مقدمه

گسل البرز با راستای شمال باختر- جنوب خاور در منطقه شمال قم قرار دارد. در این مطالعه، افزون بر شواهد ساختاری جابه‌جایی راستالغز راست‌بر گسل البرز و ساختارهای مرتبط با آن در منطقه شمال قم، شواهد جنبشی حرکت جوان راستالغز چپ‌بر ارائه شده و عوض شدن سازوکار حرکتی آن از راستالغز راست‌بر به راستالغز چپ‌بر بحث شده است. شواهد ساختاری نشان می‌دهد که وارون‌شدگی سازوکار در گسل‌های با راستای شمال باختر- جنوب خاور از گسل‌های البرز مرکزی- باختری، به گسل‌های موجود در جنوب البرز مانند ایپک، کوشک نصرت ادامه یافته و در نهایت به گسل البرز در ناحیه قم رسیده است (شکل ۱).

## ۲- زمین‌شناسی

منطقه قم در بخش میانی صفحه ایران قرار دارد که در آن رسوبات ائوسن و جوان‌تر شامل سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- آواری همراه با کربنات‌ها و تبخیری‌های دریایی نهشته شده‌اند (Berberian and King, 1981; Bina et al., 1986). رسوبات ائوسن به صورت ناپیوسته بر روی سنگ‌های زوراسیک قرار می‌گیرند. توالی‌های ائوسن با کنگلومرای قاعده‌ای و آواری‌های درشت دانه شروع می‌شود و با نهشته‌های آتشفشانی که بیشتر کلسیمی- قلیایی و شاخص چینه‌شناسی ائوسن هستند، دنبال می‌شود (Stocklin, 1968). سه واحد چینه‌شناسی عمده در حوضه میانی صفحه ایران شامل رسوبات سازند سرخ زیرین به سن الیگوسن، رسوبات سازند قم به سن الیگوسن پسن-میوسن پیشین و رسوبات سازند سرخ بالایی به سن میوسن پیشین- پلیوسن پیشین وجود دارد (Gansser, 1955a; Furrer and Sonder, 1955; Abaie et al., 1964). سازند سرخ زیرین به طور شاخص شامل ۱۰۰۰-۳۰۰ متر رسوب است که از نظر سنگ‌شناسی به سمت جوانب و به سمت بخش‌های بالایی متفاوت است و شامل

بررسی‌های ساختاری چند سال گذشته، جابه‌جایی جوان چپ‌بر گسل‌های راستالغز و مایل‌لغز با راستای شمال باختر- جنوب خاور در البرز مرکزی- باختری را به اثبات رسانده است. از این گسل‌ها می‌توان به گسل مشا اشاره کرد که در طول تکوین خود یک گسل نرمال اولیه بوده و در اثر وارونگی زمین‌ساختی به گسل‌راندگی تبدیل شده و در نهایت در میوسن پایانی حرکت مورب‌لغز چپ‌بر به آن افزوده شده است (Ehteshami & Yassaghi, 2007). هم‌راستا با گسل مشا، برای گسل طالقان نیز حرکت جوان معکوس با مؤلفه راستالغز چپ‌بر معرفی شده است (Vernant et al., 2004; Allen et al., 2003). گسل رودبار نیز از گسل‌های دیگر با راستای مشابه شمال باختر- جنوب خاور است که حرکت جوان چپ‌بر داشته است. زمین‌لرزه رودبار طارم بر روی این گسل حدود ۸۰ کیلومتر گسستگی سطحی ایجاد کرد. این گسل دارای سازوکار مورب‌لغز بوده و جابه‌جایی چپ‌بر آن بر اثر زمین‌لرزه رودبار در سال ۱۹۹۰ حدود ۶۰ سانتی‌متر گزارش شده است (Berberian et al., 2002). افزون بر این، گسل‌های با راستای مشابه در جنوب البرز نیز سازوکار مشابه با گسل‌های هم‌راستا در البرز داشته‌اند. به عنوان نمونه، گسل ایپک که بر اثر زمین‌لرزه بوئین زهرا حرکت مورب‌لغز چپ‌بر داشته است. جابه‌جایی چپ‌بر آن حدود ۶۰ سانتی‌متر بوده است (Ambraseys, 1963; Berberian, 1983; Berberian et al., 1993). گسل کوشک نصرت با راستای مشابه نیز با سازوکار جوان چپ‌بر گزارش شده است (قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۷). علت جابه‌جایی چپ‌بر گسل‌های موجود در البرز مرکزی و باختری به کوتاه‌شدگی مایل ناشی از همگرایی ناحیه‌ای صفحه‌های عربی- اوراسیا و مؤلفه باختری بردار حرکت حوضه خزر جنوبی نسبت داده شده است (Jackson et al., 2002; Allen et al., 2003).

بوده و شیب آن  $80^{\circ}$  به سمت جنوب باختر است. ریک‌های برداشت شده از صفحه گسلی آن  $45^{\circ}$  -  $53^{\circ}$  به سمت جنوب باختر است (شکل ۳). رودخانه قم رود از میان تاقدیس البرز عبور می‌کند و فعالیت گسل البرز باعث بریدگی بر اثر رودخانه قم‌رود در این ناحیه شده است، به گونه‌ای که رودخانه، سنگ بستر را به طور ژرفی بریده است. فرسایش شدید رودخانه باعث ایجاد مخروط افکنه بزرگ و بیضی شکل در دشت شمالی گسل البرز شده است. این مخروط افکنه خود توسط فعالیت دوباره رودخانه بریده شده و به صورت چپر جابه‌جا شده است (تغییر مسیر رودخانه از حالت A به حالت B در شکل ۲ موقعیت تصویر شماره ۴). همچنین راندگی البرز باعث شده که واحدهای کواترنری نیز در بخش‌های فرادیواره و فرودیواره گسل شیب‌دار شوند (شکل ۴).

این گسل دو حرکت متفاوت داشته است که یکی مورب‌لغز راست‌بر و دیگری مورب‌لغز چپر است. با توجه به مطالعات انجام شده توسط نوگل سادات (۱۳۶۴) که کل ساختارهای موجود در ایران مرکزی را مرتبط و متأثر از حرکت برشی راست‌گرد صفحه عربی نسبت به اوراسیا می‌داند، این گسل نیز به دلیل حرکت برشی راست‌گرد دو صفحه عربی و ایران نسبت به هم از زمان میوسن، به صورت معکوس با مؤلفه برشی راست‌بر تشکیل شده است. هندسه خمیدگی محور تاقدیس البرز (زمانی و حسینی، ۱۳۷۸) و گسل‌های فرعی راست‌بر که بر اثر جابه‌جایی درزه‌های عرضی تشکیل شده‌اند، گواه این سازوکار هستند. این ساختارها به دلیل قرارگیری در پهنه برشی بین گسل البرز و گسل قم تشکیل شده‌اند. گسل‌های موجود در این پهنه احتمال دارد در ژرفا به گسل البرز برسند و یا این که ژرفای آنها کمتر باشد.

#### ۴-۱- گسل‌های فرعی

بیشتر گسل‌های راست‌لغز موجود در منطقه، به صورت همسو با گسل اصلی البرز حرکت کرده‌اند که با زاویه‌های مختلف نسبت به گسل اصلی البرز قرار گرفته‌اند. بر روی شکل ۲ این گسل‌ها با شماره A تا H نشان داده شده‌اند که هر کدام از گسل‌ها به طور مختصر توضیح داده می‌شوند.

##### ۴-۱-۱ گسل FA

این گسل دارای امتداد  $340^{\circ}$  و شیب  $90^{\circ}$  است. جابه‌جایی افقی لایه‌های عضو  $M3_{URF}^{ms}$  توسط این گسل حدود ۱۰ متر، رخنمون سطحی آن حدود ۴۵۰ متر که به سمت شمال باختری و جنوب خاوری امتداد دارد و در زیر رسوبات کواترنری قرار گرفته است. ستبرای پهنه برشی این گسل حدود ۲ متر است که در این پهنه برشی رگه‌های کلسیت به موازات صفحه گسلی رشد کرده است. شیب و جهت شیب لایه‌های ماسه‌سنگی در فرادیواره و فرودیواره این گسل ۴۳/۱۹۵ است (شکل ۵).

##### ۴-۲- گسل‌های FB1 و FB2

گسل FB1 دارای شیب  $90^{\circ}$  درجه و امتداد  $020^{\circ}$  است. جابه‌جایی افقی لایه‌های عضو  $M1_{URF}^{sh}$  توسط این گسل حدود ۲۵ متر است که لایه‌های روشن رنگ  $Wh.b1_{URF}^{sh}$  و  $Wh.b2_{URF}^{sh}$  را جابه‌جا کرده است. شیب و جهت شیب‌لایه‌ها در دو سمت این گسل  $20^{\circ}$  به سمت  $205^{\circ}$  است. در پهنه برشی این گسل، رگه‌های باریت در جهت موازی با روند گسل به وجود آمده است و رشد همزمان با جابه‌جایی را نشان می‌دهد. گسل FB2 نیز دارای شیب  $90^{\circ}$  و امتداد  $350^{\circ}$  است. جابه‌جایی افقی لایه‌ها حدود ۱۰ متر است که لایه  $Wh.b1_{URF}^{sh}$  و  $Wh.b2_{URF}^{sh}$  را جابه‌جا کرده است. شیب و جهت شیب لایه‌ها در فرادیواره و فرودیواره این گسل نیز حدود  $20^{\circ}$  به سمت  $205^{\circ}$  است (شکل ۶).

##### ۴-۳- گسل‌های FC1 و FC2

گسل FC1 دارای شیب  $90^{\circ}$  و امتداد  $348^{\circ}$  است. این گسل لایه‌های روشن رنگ  $Wh.b1_{URF}^{sh}$  و  $Wh.b2_{URF}^{sh}$  را بریده و حدود ۱۰ متر جابه‌جا کرده است. شیب و جهت شیب لایه‌ها در فرادیواره و فرودیواره این گسل حدود  $15^{\circ}$  به سمت

شیل، سیلت‌سنگ، مارن‌های ژپس‌دار، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و تپخیری‌ها است (Gansser, 1955a). در برخی بخش‌ها به صورت محلی ناپیوستگی زاویه‌دار در مرز سازند سرخ زیرین با سازند قم وجود دارد که به فراخاست (Uplift) و فرسایش ناشی از حرکات کوهزایی محلی نسبت داده شده است (Gansser, 1955a).

سازند قم به طور عمده شامل کربنات‌های دریایی سکویی-بالایی شیب (shelf - upper slope) هستند که (Reuter et al., 2007) برای آنها سن روپلین تا بوردیگالین را در نظر گرفته‌اند. در حوضه قم - ساوه ۴ دوره عمده کم ژرفاشدن حوضه در رسوبات سازند قم صورت گرفته (Reuter et al., 2007) و برخی بخش‌ها به صورت محلی مرتفع شده و فرسایش در آنها صورت گرفته است که به گسل‌های نرمال و یا نخستین حرکات بر روی سازند سرخ زیرین و دیاپیرها نسبت داده می‌شود. در حوضه قم - ساوه رسوبات قم شامل مارن، کربنات، کربنات‌های ماسه‌دار و شیل‌های بیتومینه با لایه‌های انیدریت است (Reuter et al., 2007).

کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شمال قم، سازند سرخ بالایی است (شکل ۲)، اما با توجه به مطالعات انجام شده، سازندهای قدیمی‌تر نیز در بخش‌های زیرین این سازند مشخص شده است. سازند سرخ بالایی به طور شاخص شامل واحدهای آواری به ستبرای بیش از ۳ کیلومتر است که از مارن، سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است که در منطقه مورد مطالعه، به ۴ واحد شامل  $M1_{URF}^{sh}$  (شیل و ماسه‌سنگ سرخ) در عضو  $M1_{URF}^{sh}$  از سازند سرخ بالایی دو باند سفید شیلی وجود دارد که به عنوان لایه‌های شاخص و راهنما در کل تاقدیس البرز قابل پیگیری هستند که باند سفید اولی  $Wh.b1_{URF}^{sh}$  به سمت داخل (نزدیک به محور تاقدیس) حدود ۲ متر و ستبرای باند سفید دوم  $Wh.b2_{URF}^{sh}$  به سمت خارج (دور از محور تاقدیس) ۴ الی ۵ متر است. جنس این لایه‌های راهنما، عموماً شیل‌های مدادی خردشده با رنگ اصلی خاکستری هستند.  $M2_{URF}^{ms}$  از شیل و مارن سرخ روشن، ماسه‌سنگ‌های نیمه حفره‌دار تا حفره‌دار، ماسه‌سنگ‌های متورق و سیلت‌سنگ‌های ماسه‌ای تا ماسه‌سنگ‌های سیلتی تشکیل شده است،  $M3_{URF}^{ms}$  از مارن و ماسه‌سنگ حفره‌دار با میان لایه‌های کنگلومرای تشکیل شده و  $M4_{URF}^{m}$  (مارن‌زرد) این عضو به طور هم‌شیب و تدریجی بر روی عضو  $M3_{URF}^{ms}$  یعنی ماسه‌سنگ‌های حفره‌دار و به طور دگرشیب در زیر کنگلومرای پلیوسن قرار می‌گیرد (شکل ۲). به علت نبود داده‌های کافی، تشخیص سن سازند سرخ بالایی دشوار است و فقط به دلیل این که سازند سرخ بالایی با مرز ناپیوستگی و به طور موازی بر روی سازند قم قرار گرفته است، برای آن سنی حدود ۱۷ میلیون سال پیش تا پلیوسن در نظر می‌گیرند (Morley et al., 2009).

#### ۳- گسل البرز

گسل البرز در شمال شهر قم قرار گرفته است و با توجه به اهمیت این گسل در شکل‌گیری ساختار منطقه شمال قم، پیش‌تر توسط زمین‌شناسان شرکت ملی نفت، راندگی البرز نام گرفته است که دارای هندسه  $N135/75SW$  است (شکل‌های ۱ و ۲). به دنبال حفاری‌هایی که توسط شرکت ملی نفت انجام گرفته است، مشخص شده که این گسل در ژرفا کم‌شیب‌تر شده و سرانجام در نهشته‌های تپخیری بالایی سازند قم به صورت افقی در می‌آید (باغبانی و همکاران، ۱۳۷۵).

برداشت‌های انجام شده از نشانه‌های گسلی (پله‌های گسلی، خش‌لغزها و جابه‌جایی آبراهه‌ها) در پهنه گسل البرز نشان می‌دهد که حرکت گسل معکوس با مؤلفه چپر است. پهنه برشی این گسل حدود ۲۰۰ متر است و طولی حدود ۳۰ کیلومتر دارد و باعث رانده‌شدن واحدهای میوسن بر روی رسوبات پلیوسن - کواترنری شده است. با استفاده از جابه‌جایی لایه‌های کلیدی در چاه‌های حفاری، مقدار جابه‌جایی شیبی این گسل ۱۶۰۰ متر، مقدار خیز (heave) ۱۰۰۰ متر و مقدار حرکت افقی رو به شمال ۱۲۵۰ متر محاسبه شده است (امیدی، ۱۳۶۹). این گسل دارای امتداد  $N125$

آوج در ارتباط است. این سامانه از دو بخش تشکیل شده است: گسل کوشک نصرت که گسلی معکوس با مؤلفه امتدادی چپ‌بر است (قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۷) که راستای کلی گسل کوشک نصرت  $280^{\circ}$ – $290^{\circ}$  است و در بیشتر موارد، شیب بیش از  $80^{\circ}$  به سمت جنوب دارد. در آزاد راه تهران - ساوه با برداشت‌هایی که از روی صفحه گسلی صورت گرفته است، دو دسته خطوط لغزشی در آنها دیده شده است. دسته اول دارای زاویه ریک خاوری (ساعت‌گرد) با مقدار  $50^{\circ}$ – $38^{\circ}$  است (شکل ۱۲، شماره ۱) و دسته دوم زاویه ریک باختری (خلاف جهت ساعت) با مقدار  $48^{\circ}$ – $35^{\circ}$  دارند (شکل ۱۲، شماره ۲). خطوط لغزشی اخیر به حرکات جوان گسل تعلق دارند و خطوط لغزشی پیشین را قطع می‌کنند. شواهد پله گسلی سازوکار معکوس را برای گسل پیشنهاد می‌کند و بنابراین گسل کوشک نصرت گسلی است که حرکت جوان آن از نوع معکوس با مؤلفه امتدادی چپ‌بر است. حرکت قدیمی‌تر آن نیز معکوس، اما با مؤلفه راست‌گرد است.

#### ۸- زمین‌لرزه ۱۳۸۶ قم، شاهدهی دیگر بر جابه‌جایی راستالغز چپ‌بر

در ۲۸ خرداد ماه سال ۱۳۸۶ در ساعت ۱۸ زمین‌لرزه‌ای که ژرفای آن ۳۰–۴۰ کیلومتر برآورد شده بود و مرکز آن حدود ۱۱ کیلومتری منطقه کهک قم قرار داشت (شکل ۱۳)، شهرهای تهران، قم، کاشان، نائین، تفرش، کرج، اراک، قزوین، ورامین، گرمسار و ... را به لرزه درآورد که شدت آن  $5/9$  دهم در مقیاس ریشتر بود. این زمین‌لرزه نیز سازوکار فشارشی چپ‌بر داشته است (زارع، ۱۳۸۶).

#### ۹- بحث

گسل‌های راستالغز چپ‌بر در خاور البرز روند ENE و در باختر البرز روند WNW دارند و کوتاه‌شدگی شمالی- جنوبی از طریق راندگی‌های خاوری باختری صورت می‌گیرد که به داخل البرز شیب دارند. حضور گسل‌های موازی چپ‌بر در راستای البرز و نیز حضور راندگی‌ها حاکی از تقسیم‌شدگی کرنش (strain partitioning) با کوتاه‌شدگی مایل در اثر همگرایی ناحیه‌ای صفحه‌های عربی- اوراسیا و مؤلفه باختری بردار حرکت حوضه خزر جنوبی نسبت به ایران است (Jackson et al., 2002, Allen et al., 2003a) (شکل ۱۴).

(Jackson et al. (2002) دگرشکلی رشته جبال البرز را با یک مثلث سرعت توصیف می‌کنند (شکل ۱۴- الف) که مثلث یادشده دارای سه ضلع، CI (در راستای آریزیموت  $210^{\circ}$  و آهنگ  $17-13$  mm/yr؛ حرکت حوضه خزر جنوبی به طرف ایران)، CE (در راستای آریزیموت  $300^{\circ}$  و آهنگ  $10-7$  mm/yr، به صورت چپ‌بر؛ حرکت حوضه خزر جنوبی به طرف اوراسیا). این دو حرکت تحت تأثیر حرکت EI (همگرایی شمالی- جنوبی دو صفحه عربستان و ایران با آهنگ  $20-15$  mm/yr) است. در نتیجه این حرکت در تالش و کپه داغ حرکات راست‌گرد و در البرز حرکات چپ‌بر وجود دارد.

(Jackson et al. (2002) و Allen et al. (2003) به وجود دگرشکلی ترفشارشی تقسیم‌شدگی کرنش در البرز اشاره دارند (شکل ۱۴). بنابراین به ترتیب، وضعیت کنونی به ارث رسیده را از ۵ میلیون سال و  $3/4$  میلیون سال پیش می‌دانند. کوتاه‌شدگی مایل همگرایی ناحیه‌ای عربی- اوراسیا و مؤلفه باختری بردار حرکت حوضه خزر جنوبی نسبت به ایران باعث شده که اثرات وارون‌شدگی گسل‌های راستالغز کم کم از البرز به سمت جنوب گسترش یابند. در نتیجه، ساختارهای موجود در منطقه که پیش‌تر راست‌گرد بوده‌اند به صورت چپ‌بر عمل کنند.

باز شدن دریای سرخ، باعث شده تا صفحه عربی نسبت به صفحه اوراسیا به صورت مورب حرکت کند و در نتیجه بیشترین تنش فشارشی در منطقه قم در جهت عمود بر تاقدیس البرز بوده است که راستای آن حدود  $N20E$  است. پس از تشکیل کنگلومرای پلیوسن وضعیت تنش در منطقه تغییر می‌کند، به گونه‌ای که گسل البرز

$203^{\circ}$  است. شیب گسل FC2،  $90^{\circ}$  و امتداد آن جهت  $348^{\circ}$  است که این گسل نیز لایه‌های مشخص سفید رنگ  $Wh.b1_{URF}^{sh}$  و  $Wh.b2_{URF}^{sh}$  را بریده و حدود ۳۰ متر به صورت افقی جابه‌جا کرده است. شیب و جهت شیب لایه‌های فرادیواره و فرودیواره این گسل نیز در حدود  $15^{\circ}$  به سمت  $203^{\circ}$  است (شکل ۷).

#### ۴-۴. گسل FD

شیب این گسل  $90^{\circ}$  و امتداد آن  $350^{\circ}$  نسبت به شمال است (شکل ۷- الف). این گسل، لایه‌های سفید رنگ  $Wh.b1_{URF}^{sh}$  و  $Wh.b2_{URF}^{sh}$  را در حدود ۱۵ متر جابه‌جا کرده است. به احتمال زیاد این گسل ادامه گسل FC (FC1 و FC2) است. بر روی تصویر ماهواره‌ای اثر خطواره این گسل دیده می‌شود که با خطوط نقطه‌چین بر روی شکل ۳ نشان داده شده است. شیب و جهت شیب لایه‌ها در فرادیواره و فرودیواره این گسل حدود  $60^{\circ}$  به سمت  $015^{\circ}$  است (شکل ۸).

#### ۴-۵. گسل FE

این گسل دارای شیب  $90^{\circ}$  و امتداد  $342^{\circ}$  است و مقدار جابه‌جایی افقی لایه‌های سفید رنگ  $Wh.b2_{URF}^{sh}$  توسط این گسل حدود ۶ متر است. شیب و جهت شیب لایه‌ها در فرادیواره و فرودیواره این گسل حدود  $67^{\circ}$  به سمت  $030^{\circ}$  است (شکل ۹).

#### ۵- درزه‌ها

انواع مختلف درزه‌های مرتبط با چین‌خوردگی که از ابتدای شروع تأثیر تنش‌های زمین‌ساختی در لایه‌های رسوبی سازند سرخ بالایی به وجود آمده و در طی مراحل مختلف چین‌خوردگی و تکامل بعدی آنها تحت تأثیر تغییرشکل‌های برشی و جابه‌جایی قرار گرفته‌اند. چهار سامانه در این درزه‌ها قابل تشخیص است: (۱) درزه‌های مایل در دو سامانه متقاطع یا مزدوج که به طور قرینه نسبت به محور چین قرار دارند؛ این درزه‌ها شامل درزه‌های مایل راست‌گرد (شماره ۱) که دارای امتداد حدود  $07^{\circ}$  و درزه‌های مایل چپ‌گرد (شماره ۲) که دارای امتدادی حدود  $155^{\circ}$  هستند (۲) درزه‌های طولی (شماره ۳) که عمود بر سطح لایه و موازی صفحه محوری چین قرار دارند که این درزه‌ها نیز روند  $125^{\circ}$  دارند (۳) درزه‌های عرضی که عمود بر محور چین و سامانه درزه‌های طولی قرار دارند (شماره ۴) دارای روندی حدود  $025^{\circ}$  هستند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

بیشترین بازشدگی و رشد رگه‌ها در امتداد درزه‌های عرضی (درزه‌های شماره ۴) و بیشترین جابه‌جایی لایه‌ها در امتداد درزه‌های مایل راست‌بر (درزه‌های شماره ۲) صورت گرفته است (شکل ۱۱- الف).

#### ۶- تاقدیس البرز

این تاقدیس در فرادیواره گسل البرز قرار دارد که محور آن دارای پلانچ دوسویه (شکل ۱۱- ب) به دو سمت جنوب خاوری و شمال باختری است. شیب یال جنوبی آن از ۷ تا  $45^{\circ}$  درجه تغییر می‌کند، به گونه‌ای که از سمت جنوب باختری به سمت شمال خاوری (در امتداد برش ساختاری) به تدریج از شیب آن کاسته می‌شود (البته گفتنی است که در بخش‌هایی، شیب‌های متفاوتی دارند که محلی هستند و به دلیل اختلاف رئولوژی لایه‌ها و لغزش‌های بین لایه‌ای و همچنین به دلیل Flow که در لایه‌های مارنی صورت می‌گیرد، دیده می‌شوند). شیب یال شمالی نیز از  $45^{\circ}$  تا  $85^{\circ}$  تغییر می‌کند.

#### ۷- شواهد جابه‌جایی جوان معکوس با مؤلفه چپ‌بر در گسل کوشک نصرت

گسل کوشک نصرت بخشی از سامانه‌ای گسلی است که با طول تقریبی ۱۶۰ کیلومتر از جنوب خاور دریاچه حوض سلطان و روستای کوشک نصرت آغاز شده و در جنوب روستای سنگاوین منقطع شده و ادامه مسیر آن به سمت شمال باختر با گسل

البرز در شمال آن، ناشی از حرکت اوراسیا نسبت به ایران که از زمان میوسن شروع شده بود، این ناحیه را نیز متأثر کرده است. به گونه‌ای که در حال حاضر، این گسل مانند دیگر گسل‌های شمالی مانند گسل مشاء، گسل طالقان، گسل رودبار، گسل ایپک و گسل کوشک نصرت به صورت مورب‌لغز چپ‌بر حرکت می‌کند و مانند آنها از جمله گسل‌های جوان است که رسوبات کواترنری را با سازوکار جدید خود بریده است. با توجه به این موضوع به احتمال زیاد اثرات کرنش در منطقه شمال قم پس از تقسیم‌شدگی کرنش اتفاق افتاده و حرکت چپ‌بر گسل البرز که فاصله به نسبت زیادی از پوسته خزر دارد، می‌تواند پس از رسوبگذاری نهشته‌های پلیوسن شروع شده باشد. زمین‌لرزه سال ۱۳۸۶ قم نیز که به صورت فشارشی چپ‌بر عمل کرده است، این موضوع را قوت بخشیده و ادامه گسترش این حرکت جوان را به بخش‌های جنوبی‌تر نوید می‌دهد.

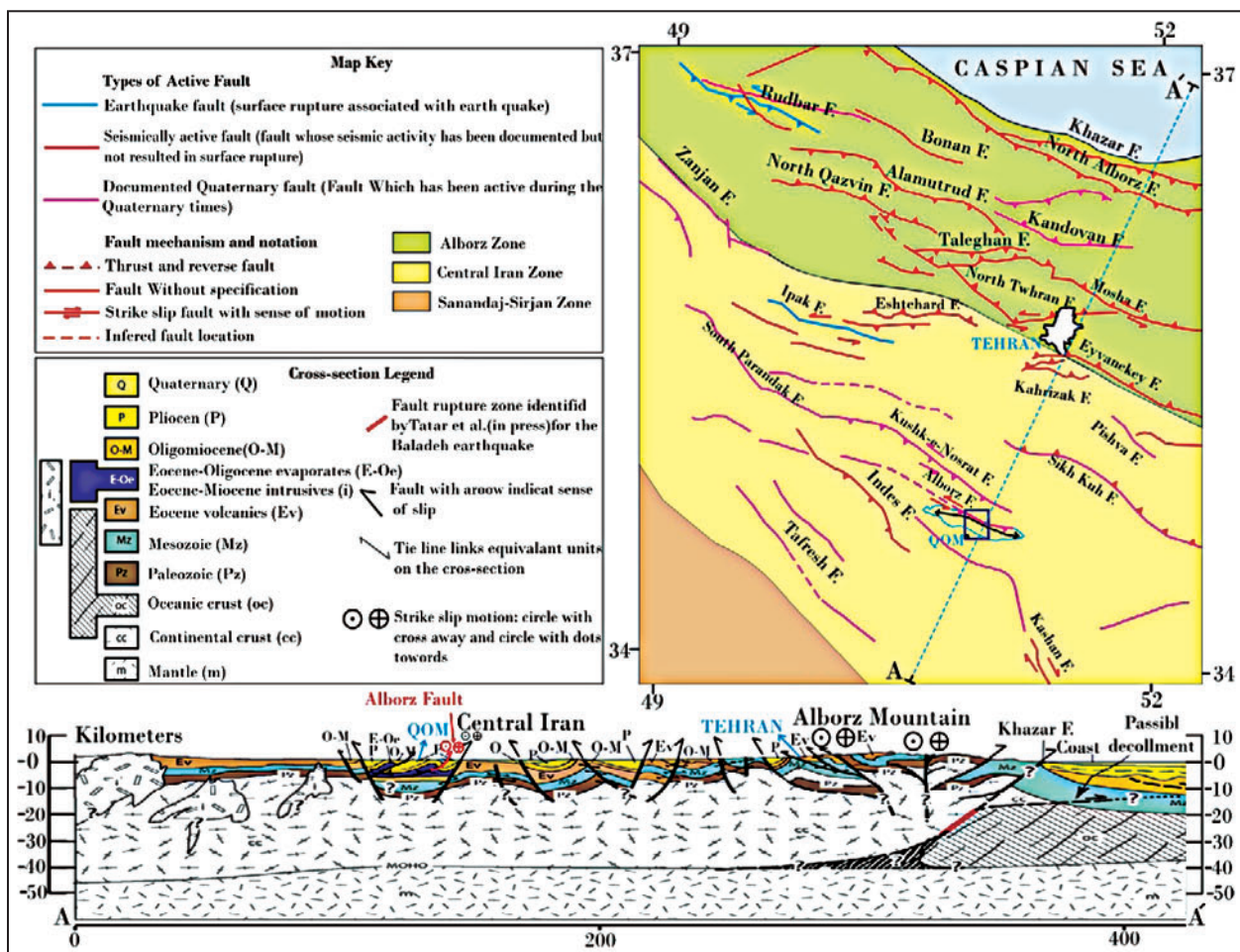
### سیاسگزاری

لازم است از دانشگاه تربیت‌مدرس و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، به خاطر فراهم نمودن این فرصت پژوهشی تشکر و قدردانی شود.

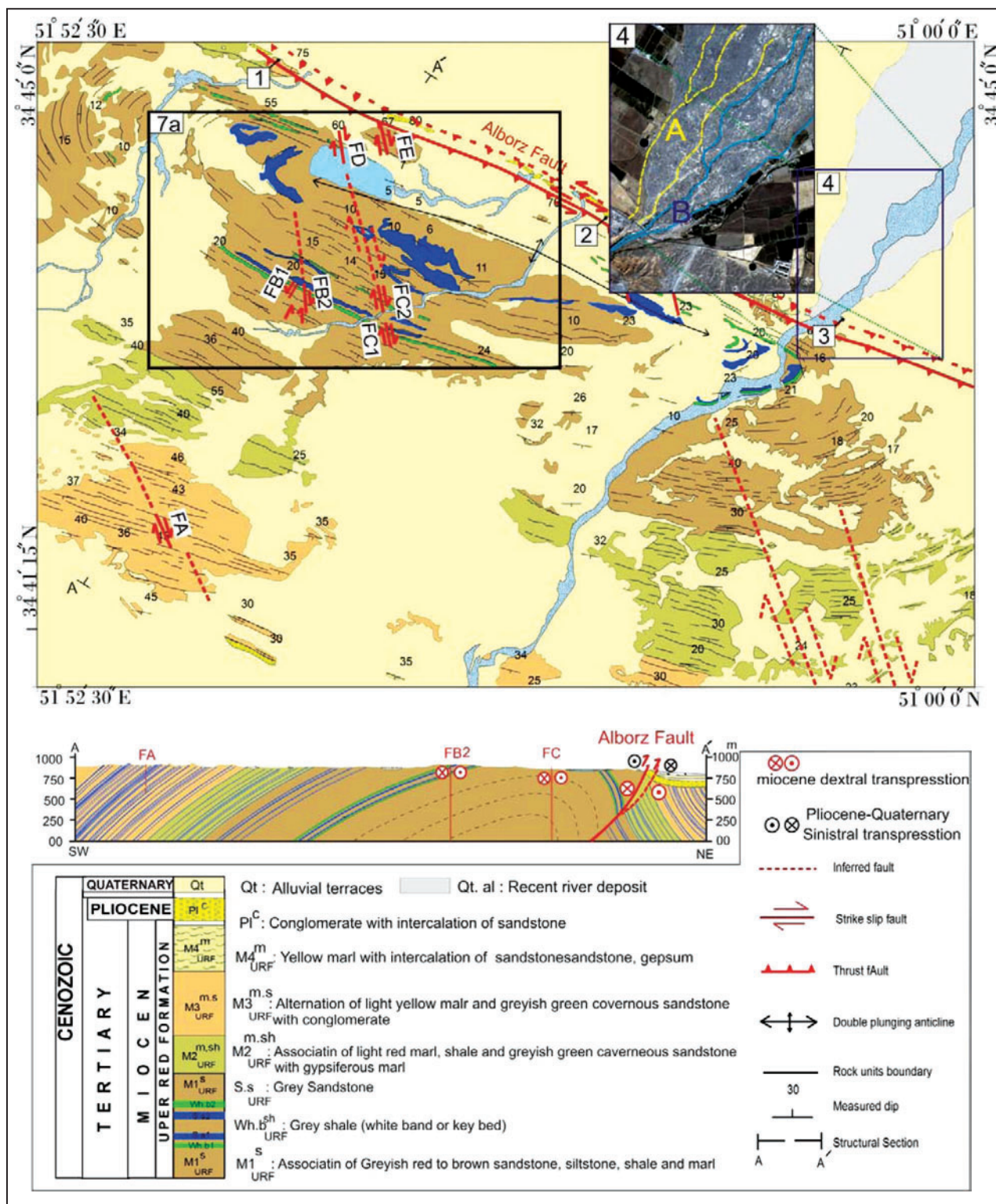
که پیش‌تر معکوس با مؤلفه راستالغزی راست‌بر بوده است، به صورت معکوس با مؤلفه راستالغزی چپ‌بر عمل کرده است و این تغییر جهت تنش با حرکت پوسته خزر به سمت باختر نسبت به صفحه ایران توجیه شده است، که بر اساس مدل Jackson et al. (2002) (۳/۵ میلیون سال پیش) و Allen et al. (2003a) (۵ میلیون سال پیش) باعث تقسیم‌شدگی کرنش و دگرشکلی ترفشارشی در البرز شده است.

### ۱۰- نتیجه‌گیری

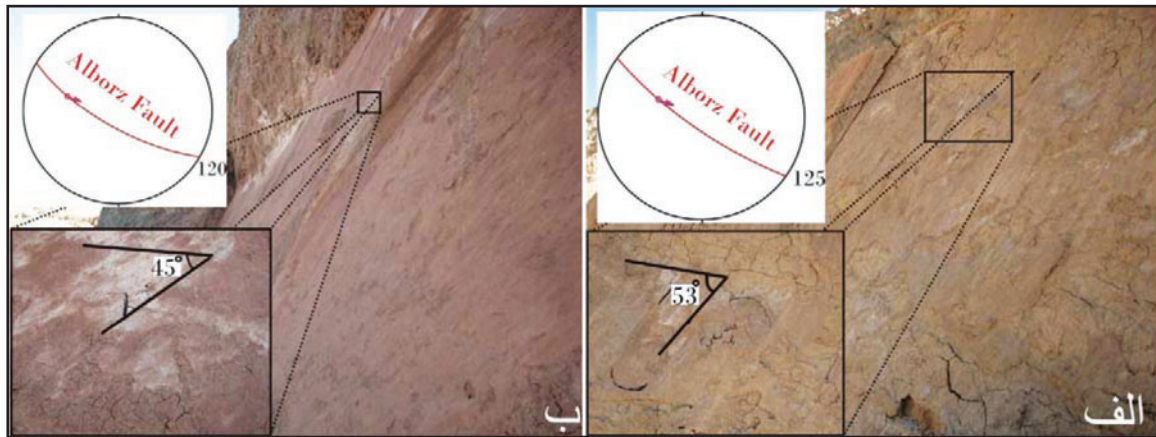
از شواهد صحرایی و ساختاری ارائه شده، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گسل البرز پس از تشکیل سازند سرخ بالای (URF) که در منطقه مورد مطالعه به صورت هم‌شیب بر روی سازند قم قرار گرفته است، به صورت معکوس با مؤلفه راستالغزی راست‌بر حرکت داشته است و تا زمان تشکیل کنگلومرای پلیوسن (PLC) که احتمالاً پس از حرکت گسل تشکیل شده است (ناپیوستگی دگرشیب مرز URF با کنگلومرای پلیوسن) حرکت معکوس با مؤلفه راستالغزی راست‌بر ادامه داشته است. از آنجا که جابه‌جایی چپ‌بر در گسل البرز، کنگلومرای پلیوسن را متأثر کرده است، می‌توان نتیجه گرفت که اثر تقسیم‌شدگی کرنش مطرح‌شده برای گسل‌های هم‌راستی گسل



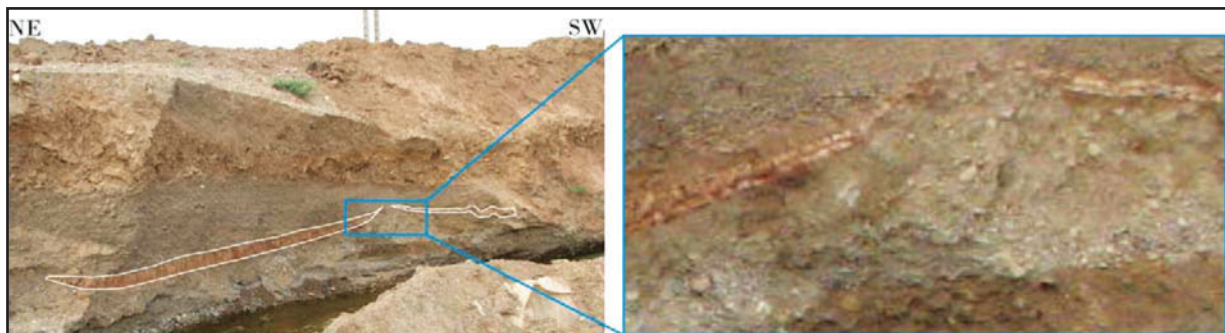
شکل ۱- موقعیت گسل البرز در منطقه شمال قم بر روی نقشه گسل‌های فعال ایران (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲). برش ساختاری که توسط Guest et al. (2007) از پهنه آتشفشانی ارومیه - دختر تا خزر جنوبی پیشنهاد شده (همراه با کمی تغییرات) دیده می‌شود. موقعیت گسل‌های امتدادلغز بر روی برش آمده است (موقعیت گسل البرز در سمت شمالی قم با پیکان سرخ رنگ مشخص شده است).



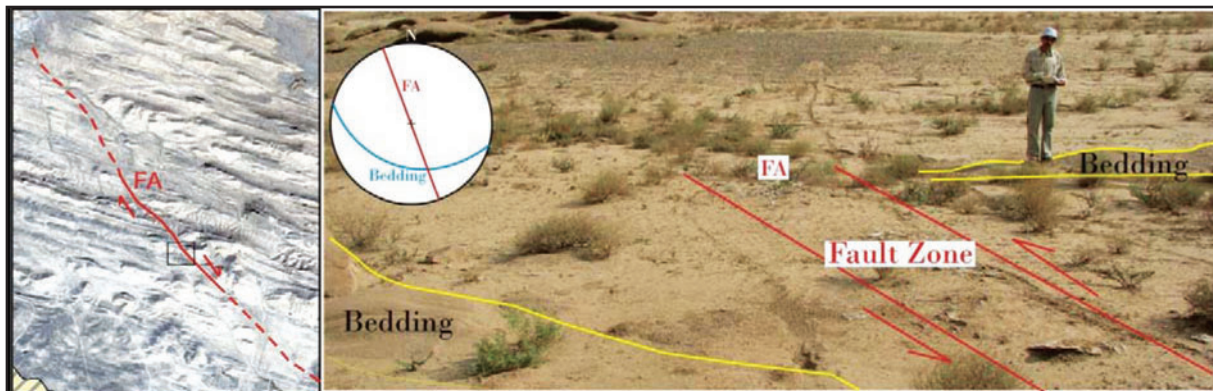
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه شمال قم. یال شمال خاوری تاقدیس البرز با گسل البرز بریده شده است. برش زمین شناسی، هندسه تاقدیس در برشی عمود بر محور آن و موقعیت گسل البرز (از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه البرز واقع در شمال باختر شهر قم)



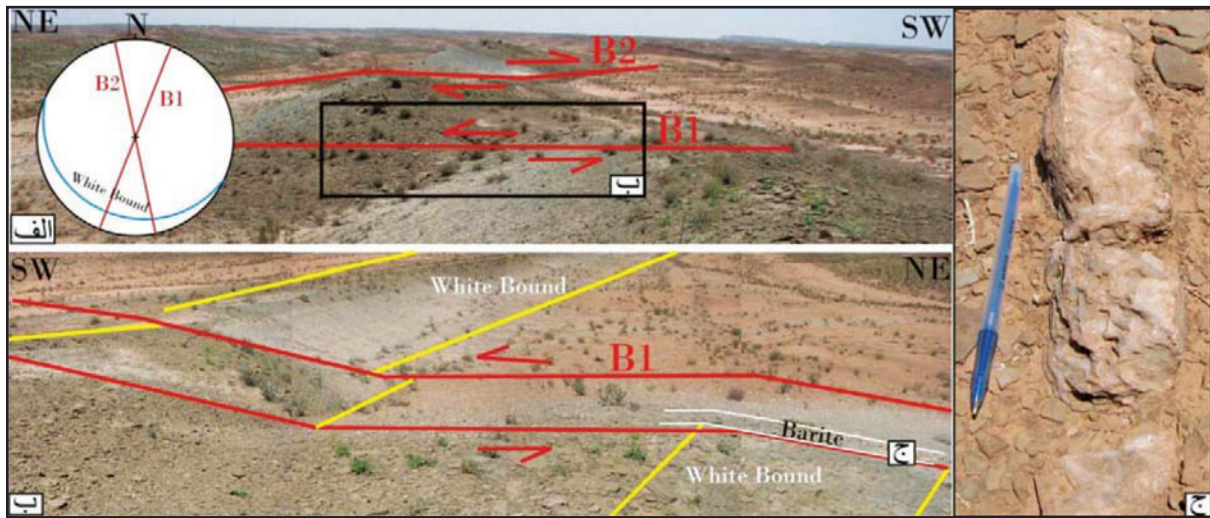
شکل ۳- الف) صفحه گسلی و پله گسلی، گسل البرز را در موقعیت شماره ۱ به مختصات جغرافیایی  $50^{\circ}54' 17''\text{E} / 34^{\circ}44' 58''\text{N}$  در شکل ۲ نشان می‌دهد. ب) صفحه گسلی و رشته‌های رشد یافته در جهت لغزش را در موقعیت شماره ۲ مختصات جغرافیایی  $50^{\circ}56' 57''\text{E} / 34^{\circ}43' 57''\text{N}$  در شکل ۲ نشان می‌دهد.



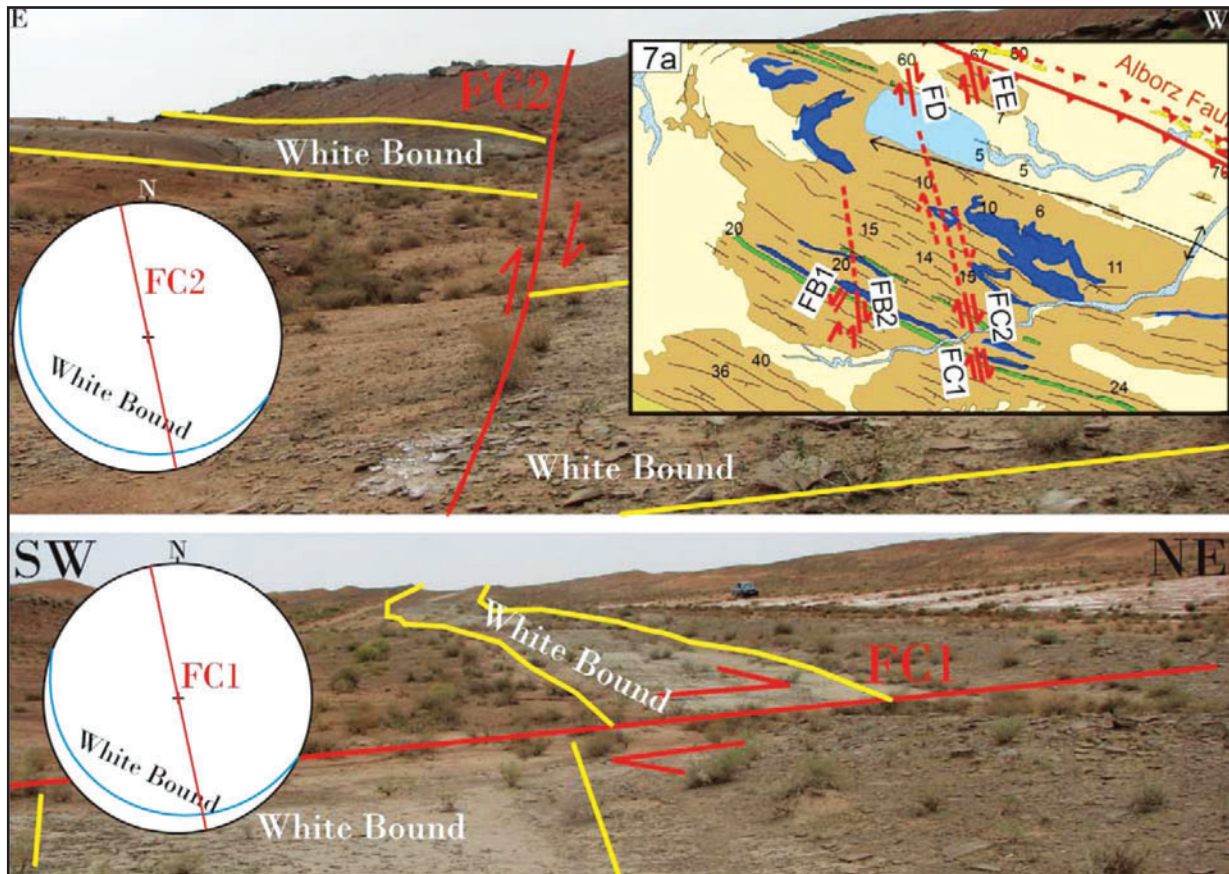
شکل ۴- در محل عبور گسل البرز لایه‌های کواترنری بر اثر حرکت گسل البرز از حالت افقی خارج شده و شیب‌دار شده‌اند (موقعیت شماره ۳ به مختصات جغرافیایی  $50^{\circ}58'54''\text{E} / 34^{\circ}43'11''\text{N}$  در شکل ۲)



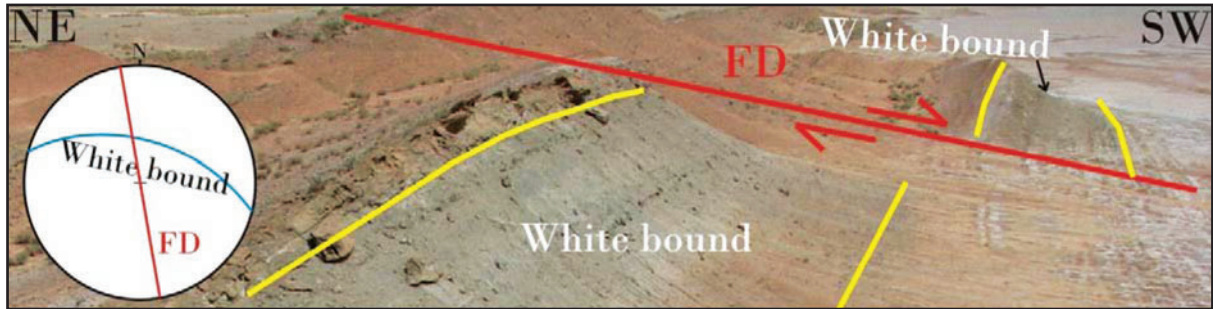
شکل ۵- شکل سمت راست موقعیت گسل FA را بر روی تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد و تصویر سمت چپ موقعیت همین گسل، زون برشی آن، استریوگرام هندسه گسل و موقعیت لایه‌بندی در عضو  $M3_{URF}^{m,s}$  در ماسه‌سنگ‌ها را نمایش می‌دهد.



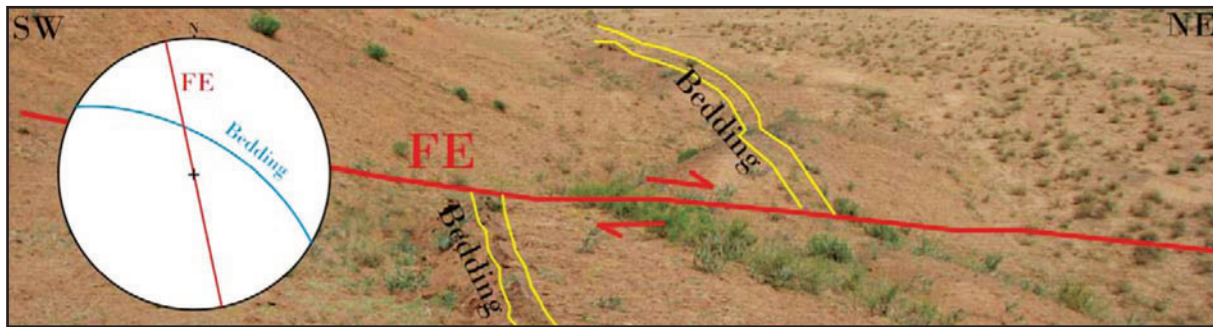
شکل ۶- الف و ب) به ترتیب گسل های FB1 و FB2 دیده می شوند. ج) رگه باریت که در پهنه برشی گسل FB1 رشد کرده، نشان داده شده است. استریوگرام هندسه گسل ها و موقعیت لایه بندی در ماسه سنگ ها را نمایش می دهد.



شکل ۷- الف) موقعیت گسل های FC1 و FC2 در منطقه. ب) گسل های FC1 و FC2 که لایه سفید Wh.b2<sup>sh</sup><sub>URF</sub> را بریده و جابه جا کرده است. استریوگرام هندسه گسل و موقعیت لایه بندی در ماسه سنگ ها را نمایش می دهد.



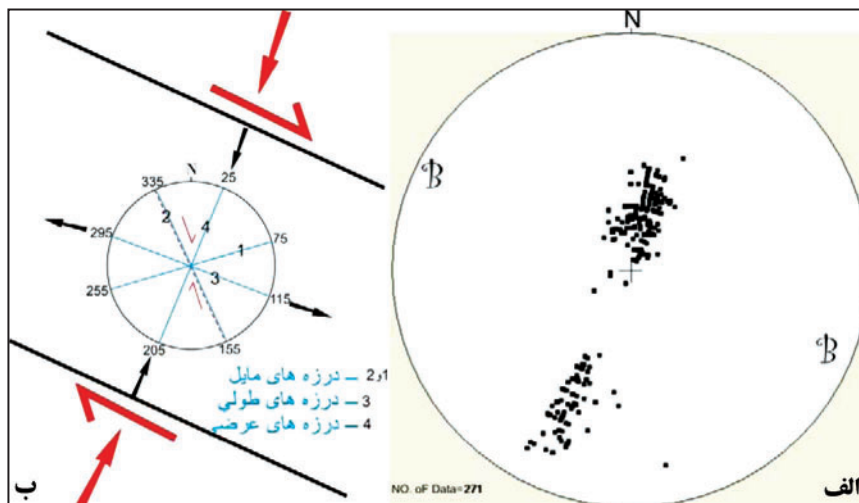
شکل ۸ - گسل FD که باعث بریدگی لایه کلیدی با رنگ روشن (White bound) شده است.



شکل ۹ - موقعیت گسل FE که باعث جابه‌جایی افقی لایه‌های  $M1_{URF}^{\delta}$  شده است.

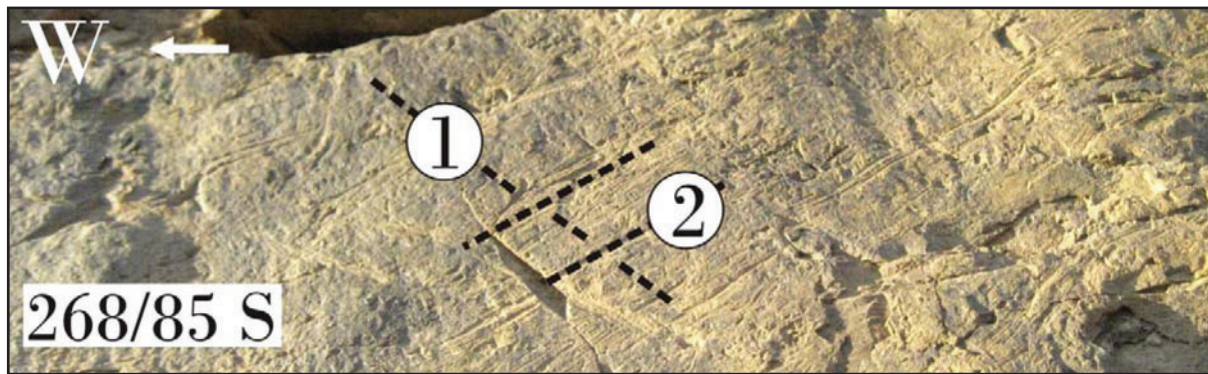


شکل ۱۰ - (الف) دو سامانه درزه طولی و عرضی در کناره هم دیده می‌شوند. (ب) درزه‌های مایل راست‌بر، طولی و عرضی.

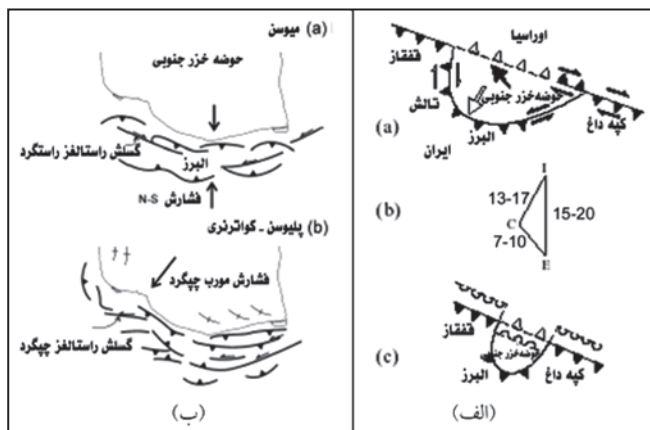


شکل ۱۱ - (الف) وضعیت درزه‌های تشکیل شده در سازند سرخ بالایی منطقه و موقعیت تنش‌های اصلی در پهنه برشی بین گسل البرز در شمال و قم در جنوب، (ب) موقعیت قطب صفحه‌های لایه‌بندی در لایه‌های سازند سرخ بالایی و محور در تاقدیس البرز.

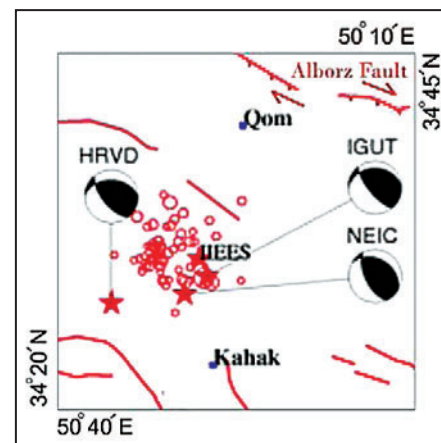




شکل ۱۲- موقعیت ریک‌های برداشت شده از صفحه گسلی کوشک نصرت که با شماره ۱ (ریک‌های مربوط به حرکت راستالغز راست‌بر) و با شماره ۲ (ریک‌های مربوط به حرکت راستالغز چپ‌بر) نشان داده شده است.



شکل ۱۴- مدل دگرشکلی البرز: الف) از Jackson et al. (2002) و ب) از Allen et al. (2003)



شکل ۱۳- محل پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۱۳۸۶/۰۳/۲۸. پس‌لرزه‌ها با دایره کوچک مشخص شده‌اند و ستاره‌ها، نشان‌دهنده تعیین محل‌های مختلف زمین‌لرزه اصلی از سوی سازمان‌های مختلف است.

### کتابنگاری

- امیدی، پ.، ۱۳۶۹- تحلیل خمیدگی ساختاری تاقدیس البرز (شمال‌قم)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- باغبانی، د.، الهیاری، م. و شاکری، ع.، ۱۳۷۵- بررسی حوضه رسوبی قم و ارزیابی توان هیدروکربنی آن (ایران مرکزی). شرکت ملی نفت ایران، گزارش زمین‌شناسی شماره ۱۸۳۸. حسامی، خ.، جمالی، ف. و طبعی، ه.، ۱۳۸۲- نقشه گسل‌های فعال ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری.
- زارع، م.، ۱۳۸۶- بررسی زلزله کهک قم، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری.
- زمانی، پ. و حسینی، ح.، ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی قم ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نوگل سادات، م. ع. ا.، ۱۳۶۴- منطقه‌های برشی و خمیدگی‌های ساختاری در ایران، دستاوردهای تحلیل ساختاری ناحیه قم، گزارش شماره ۵۵، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- قلمقاش، ج.، و فنودی، م.، ۱۳۷۷- گزارش زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ ساوه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

### References

- Abaie, I., Ansari, J. J., Badakhshan, A. and Jaafari, A., 1964- History and development of the Alborz and Sarajeh fields of central Iran: World Petroleum Congress Proceedings, Section II, Paper 13, PD3, p. 697-713.
- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. and Qorashi, M., 2003- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, J. Struct. Geol., 25, 659 – 672.

- Ambraseys, N. N., 1963- The Buyin–Zara (Iran) earthquake of 1 September 1962: a field report. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 53, 705–740.
- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981- Towards the Paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.
- Berberian, M., 1983- the southern Caspian: A compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 20, p. 163–183.
- Berberian, M. and Yeats, R. S., 2001- Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau: *Journal of Structural Geology*, v. 23, p. 563–584.
- Berberian, M., Qorashi, M., Jackson, J. A., Priestley, K. and Wallace, T., 1992- The Rudbar-Tarom earthquake of 20 June 1990 in NW Persia: preliminary field and seismological observations, and its tectonic significance. *Bulletin of the Seismological Society of America* 82, 1726e1755.
- Bina, M. M., Bucur, I., Prevot, M., Meyerfeld, Y., Daly, L., Cantagrel, J. M. and Mergoïl, J., 1986- Palaeomagnetism, petrology and geochronology of Tertiary magmatic and sedimentary units from Iran: *Tectonophysics*, v. 121, p. 303–329, doi: 10.1016/0040-1951(86)90050-8.
- Ehteshami, M. and Yassaghi, A., 2007- Geometry and kinematics of the Moshfa Fault, south central Alborz Range, Iran: An example of basement involved thrusting. *Journal of Asian Earth Sciences*, v.29, 5-6, 928-938.
- Furrer, M. A. and Sonder, P. A., 1955- The Oligo-Miocene marine formation in the Qum region (Central Iran): *Proceedings, Fourth World Petroleum Congress, Section 1/A/5, Carlo Colombo, Rome*, p. 270–277.
- Gansser, A., 1955a- New aspects of the geology of Central Iran: *Proceedings, Fourth World Petroleum Congress, Section 1/A/5, Carlo Colombo, Rome*, p. 286–305.
- Guest, B., Horton, B. K., Axen, G. J., Hassanzadeh, J. and McIntosh, W.C., 2007- Middle to late Cenozoic basin evolution in the western Alborz Mountains: implications for the onset of collisional deformation in northern Iran. *Tectonics* 26, 6011.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M., 2002- Active tectonics of the South Caspian Basin: *Geophysical Journal International*, v. 148, p. 214–245.
- Morley, C., Kongwung, B., Julapour, A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K. and Kazemi, H., 2009- Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: *The Central Basin in the Qom-Saveh area Geosphere*; August 2009; v. 5; no. 4; p. 1–38
- Reuter, M., Piller, W. E., Harzhauser, M., Mandic, O., Berning, B., Rogl, F., Kroh, A., Aubry, M.-P., Wielandt- Schuster, U. and Hamedani, A., 2007- The Oligo-Miocene Qom Formation (Iran): Evidence for an early Burdigalian restriction of the Tethyan Seaway and closure of its Iranian gateways: *International Journal of Earth Sciences*, doi: 10.1007/s00531 007-0269-9.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 52, p. 1229–1258.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Che’ry, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J.-F., Sedighi, M. and Tavakoli, F., 2004- Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, *Earth Planet. Sci. Lett.* 223 (1–2) (2004) 177–185.

## Evaluation of Gradual Ground Linear Subsidence and Geotechnical Parameters Assessment in the Taleghani Site of Eshtehard

F. Rezaie<sup>1\*</sup> & A. Dadsetan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

Received: 2007 November 27

Accepted: 2010 January 24

### Abstract

Ground subsidence in eastern part of Eshtehard, built on the alluvial deposits, is linear and gradual. Preparing geological map and profiles; we studied the structural geology of the area. The sort and situation of aquifer, evolution of ground water levels and hydrochemistry were studied and the presence of ancient channel was detected by geoelectric method. The geotechnical studies suggest that the soils in the area (USCS Classification) belong to Lean clay (CL), Fat Clay (CH) and Silty Sand (SM). The maximum soil settlement is more than allowable settlements and soils recognized to be dispersive to semi-dispersive soils. The possible entrance of waste water from Eshtehard Industrial town into Eshtehard Qanat, from septic wells and transfer water system seems to provide necessary moisture for dispersive soils and have caused the subsidence in the area. Hydrogeology of alluvial aquifer was evaluated and indicates a negative debit. Although the hydrographs of piezometric wells are not compensated but it display any role in linear subsidence. Soils prone to dispersion by infiltration of water from septic wells and urban water system and the presence of ancient Qantas hidden in the depth of 15 meters caused linear ground subsidence. The results of this study show the development of ancient Eshtehard city and the selection of new site was not carried out on the geotechnical basis. Therefore it is recommended that before constructing any projects, geotechnical studies are necessary.

**Keywords:** Linear Subsidence, Dispersive, Groundwater Hydrology, Eshtehard

For Persian Version see pages 3 to 12

\*Corresponding author: F. Rezaie; E-mail: rezaie8@yahoo.fr

## New Structural Evidence of Alborz Fault (North Qom), Evidence for Transfer of Inversion from Central-West Alborz Faults to the Same Oriented Faults in South Alborz

R. Elyaszadeh<sup>1\*</sup>, M. Mohajjel<sup>2</sup>, B. Farahani<sup>3</sup>, S.R. Jafari<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Geological Survey of Iran, Tabriz, Iran

<sup>2</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

<sup>3</sup> Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Department of Geology, Payam-e-Noor University, Tehran, Iran

Received: 2009 October 26

Accepted: 2010 May 04

### Abstract

Structural analysis of the NW-SE oriented Alborz fault in north Qom, demonstrates young left-lateral reverse displacement evidence, based on the rake of the striations on young fault planes (45°-53°). Strong structural evidence exists for its previous right-lateral reverse displacement. Young left-lateral displacement evidence in NW-SE oriented oblique and strike-slip faults recently was documented in central-west (eg. Moshā and Talegan faults) and south Alborz mountains (eg. Ipak and Kusk-e-Nosrat faults) due to the compression direction of the south Caspian oceanic crust with Alborz mountains. Replacement of right-lateral reverse mechanism by young left-lateral reverse mechanism in the Alborz fault in north Qom implies that the inversion of the central-west Alborz faults is being transferred through to the same oriented faults in south Alborz mountain up to the Qom area.

**Keywords:** Alborz fault, Alborz, Strike - slip faults, Qom

For Persian Version see pages 13 to 22

\*Corresponding author: R. Elyaszadeh; E-mail: Ramin403@yahoo.com