

آشکار سازی پویایی نوین گسل درونه با کمک داده‌های دورسنجی و اطلاعات زمین‌شناسی

حمیده امینی^{۱*}، مرتضی فتاحی^۱ و محمدرضا قاسمی^۲^۱مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.^۲پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۹/۰۵

چکیده

گسل درونه، یک گسل راست‌الغز چپ‌بر و فعال در شمال خاور ایران است که اثر سطحی آن حدود ۷۰۰ کیلومتر درازا دارد. این گسل در طول مسیر خود نهشته‌های ترشیری و کواترنری را قطع می‌کند. در چند بخش از آن می‌توان نهشته‌هایی وابسته به دوره‌های پالئوژن، نوژن و مخروط‌افکنه‌های کواترنری را شناسایی کرد که در آنها جابه‌جایی‌های ناشی از گسلش دیده می‌شود؛ از خاور بیرق تا خاور خلیل آباد، در نهشته‌های نوژن می‌توان جابه‌جایی‌هایی بین ۹۱-۴۵۷ متر را در تصاویر لندست مشاهده کرد. در آبراهه‌هایی که بر روی این واحدها جریان دارند نیز جابه‌جایی‌هایی قابل مشاهده است. در این نوشتار، تلاش شده است تا تاریخچه اخیر گسلش، با استفاده از جابه‌جایی‌های به‌دست آمده و نرخ لغزش گسل، محاسبه شود. مطابق انتظار، سن آغاز جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی بسیار کمتر از سن واحدها در نقشه‌های زمین‌شناسی و سن آبراهه‌هایی که بر روی این واحدها جریان دارند کمتر از سن واحدها به‌دست آمده است و از آنجا که در چندین هزار سال گذشته جابه‌جا شده‌اند، تأییدی بر فعال بودن گسل درونه در زمان حال هستند.

کلیدواژه‌ها: گسل درونه، جابه‌جایی، زمین‌شناسی

*نویسنده مسئول: حمیده امینی

E-mail: ese_Amini@yahoo.com

۱- مقدمه

فلات ایران بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا است و در محل همگرایی دو صفحه اصلی عربستان و اوراسیا قرار دارد. فشارش ناشی از این همگرایی باعث ایجاد گسل‌های فراوانی در ایران شده است که راستای برخی از این گسل‌ها زاویه بزرگی با جهت فشار ناشی از این دو صفحه می‌سازد. از جمله این گسل‌ها می‌توان به گسل درونه که در تقسیمات پهنه‌های رسوبی ایران، آن را مرز میان خردقاره ایران مرکزی و پهنه مرکزی ایران در نظر می‌گیرند (آقانباتی، ۱۳۸۳) اشاره کرد.

گسل درونه، گسل طولی است که از مرز ایران و افغانستان، در شمال خاور از حدود طول جغرافیایی ۵۵° ۶۰° خاوری با روند شمال باختر- جنوب خاور شروع می‌شود و در بخش میانی به طور تقریبی در راستای خاوری- باختری قرار دارد و سپس تا نزدیک مرکز ایران در طول جغرافیایی ۵۳° ۰۰' خاوری با روند شمال خاور- جنوب باختر و با تقعر به سمت جنوب ادامه پیدا می‌کند.

گسل درونه طولی‌ترین گسل ایران پس از گسل اصلی زاگرس است. بخش زیادی از سیستم گسل درونه بدون لرزه است (زارع، ۱۳۷۹) بنابراین، میزان ارتعاشات زمین در اطراف این گسل در مقایسه با دیگر مناطق ایران، کمتر و ملایم‌تر است (Berberian, 1976b). تنها یک زمین لرزه بزرگ‌تر از ۷ (زمین لرزه ۱۶۱۱، با بزرگای ۷ در گستره این گسل (Ambrasys & Melville, 1982)) در دوق‌آباد ثبت شده است. اطلاعات دستگاهی نیز بیشینه شدت زمین لرزه‌های ثبت شده تاکنون در اطراف این گسل را ۵/۶ نشان می‌دهند (با توجه به کاتالوگ‌های مختلف). اما براساس شواهد زمین‌ریخت‌شناسی شامل جابه‌جایی در میان نهشته‌های جوان کواترنری، این گسل فعال است (Tchalenko et al., 1973). از این رو، انجام بررسی‌های دقیق بر روی گسل از دیدگاه خطر لرزه‌ای بخش شمال ایران ضروری به نظر می‌رسد.

برای بررسی این گسل از اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی (ترت‌جام، ترت‌حیدریه، کاشمر، خارتوران، تایباد، گناباد)، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی این ناحیه استفاده شد؛ و اطلاعاتی در مورد زمین‌شناسی گسل درونه و میزان جابه‌جایی بعضی از واحدهای زمین‌شناسی اطراف آن ارائه شد.

Walker & Jackson (2004) به حرکت چرخشی گسل درونه اشاره کرده‌اند. با توجه به حضور جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی وابسته به کواترنری در اطراف گسل درونه، می‌توان بر چپ‌بر بودن حرکت این گسل تأکید کرد (شکل ۱). در این نوشتار، پس از توصیف زمین‌شناسی پیرامون گسل درونه، جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی بررسی شده در اطراف گسل، شرح داده می‌شود و جابه‌جایی‌های به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای با هم مقایسه می‌شوند. در پایان، با استفاده از جابه‌جایی‌های به‌دست آمده در تصویر لندست و نرخ لغزش بر روی گسل (با کمک تعیین سن به روش OSL (Fattahi et al., 2006)) و با استفاده از GPS (Tavakoli, 2007)، سن احتمالی آغاز جابه‌جاشدگی در واحدهای زمین‌شناسی نوژن در گستره این گسل محاسبه می‌شود.

۲- زمین‌شناسی گسل درونه

Wellman (1966) این گسل را به دلیل عبور آن از نزدیکی روستای درونه، به نام گسل درونه، و Stocklin & Nabavi (1973) بخش باختری این گسل را کویر بزرگ نامگذاری کردند (شکل ۲-الف). در طی ژوراسیک با ایجاد نیروهای کششی، خرده قاره ایران مرکزی از سپر توران جدا شده است و موقعیت این جداشدگی در حد فاصل میان محل برخورد هرسین در شمال و گسل کویر بزرگ (گسل درونه) در جنوب واقع بوده است. خرد قاره ایران مرکزی طی ژوراسیک، چرخش به تقریب ۷۰ درجه‌ای پادساعتگرد نسبت به صفحه توران داشته است. در طول مزوزویک تا زمان حال چرخش ۱۳۵° پادساعتگرد در ایران مرکزی در خلاف جهت عقربه ساعت رخ داده است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). گسل درونه، نزدیک طول جغرافیایی ۵۷°E تغییر روند می‌دهد. گسل درونه و دشت بیاض در مرز ایران و افغانستان با زاویه ۲۰° به سمت یکدیگر همگرایی دارند (Walker et al., 2004)، در زمان حال شاید بتوان گفت که حرکت چرخشی گسل درونه به دشت بیاض انتقال پیدا کرده است (Tavakoli, 2007). Wellman (1966) بر مبنای عکس‌های هوایی منطقه و با توجه به الگوی آبراهه‌ای، به حرکت چپ‌بر گسل اشاره کرده و از آن به عنوان گسلی فعال در زمان اخیر یاد کرده است.

جابه‌جایی آبراهه‌ها که بر روی این واحدها جریان دارند، در اطراف گسل درونه، بررسی شود. شکل ۲- الف گسل درونه را به صورت خط قرمز و بخش مورد بررسی را در درون مستطیل سفید نشان می‌دهد.

با مقایسه نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای لندست و کویک‌برد، در بخش میانی گسل از روستای درونه در باختر تا کاشمر در خاور، در چند محل نهشته‌های سنگ‌جوش‌های نئوژن در حد فاصل میان طول و عرض‌های $38^{\circ} 15' N$, $57^{\circ} 38' E$ - $35^{\circ} 22' N$, $58^{\circ} 17' E$ دیده شده‌اند که جابه‌جایی آنها به گونه‌ای است که به راحتی می‌توان حرکت چپ‌بر گسل را از روی آنها تشخیص داد. شکل ۳، چند جابه‌جایی که در این بخش از گسل دیده می‌شود و موقعیت آنها در تصویر ماهواره‌ای شکل ۲- ج با مستطیل سفید رسم شده است را نشان می‌دهد. مقادیر جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی، در جدول ۱ ارائه شده‌اند. از آنجا که اختلاف بین مقادیر جابه‌جایی به دست آمده از تصاویر لندست و کویک‌برد کم است، در شکل‌های ۴ و ۵، تنها به یادآوری جابه‌جایی واحدها در تصویر لندست اکتفا می‌شود. همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، در بیشتر موارد مقدار جابه‌جایی‌ها در تصاویر کویک‌برد، کمتر از مقدار جابه‌جایی‌ها در لندست است. توجهی که برای این اختلاف وجود دارد، دقتی است که تصاویر کویک‌برد دارند؛ زیرا موقعیتی که در تصویر لندست امکان مشاهده آن وجود ندارد را می‌توان در تصویر کویک‌برد به علت دقت بالای کویک‌برد (۶۰ cm) دید. البته در طول زمان ممکن است نهشته‌هایی در بخش‌های اطراف جابه‌جایی‌ها (به طور مثال رسوبگذاری در اطراف رودخانه‌ها) نهشته شوند و اجازه مشاهده دقیق پدیده را ندهند. در مشاهده واحدهای زمین‌شناسی، نه تنها در طول زمان زمین‌شناسی، بلکه در هر واحد زمانی در دو طرف واحدها نیز ممکن است اختلافاتی در جابه‌جایی‌های چپ و راست واحدها مشاهده شوند که می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله میزان فرسایش در منطقه باشد (جدول ۱).

افزون بر جابه‌جایی موجود بر روی واحدهای زمین‌شناسی، می‌توان در آبراهه‌هایی که بر روی این واحدها جریان دارند نیز جابه‌جایی‌هایی را دید. آشکار است که مقادیر جابه‌جایی آبراهه‌هایی که بر روی واحدهای زمین‌شناسی جریان دارند باید کمتر از جابه‌جایی واحدها باشد که این مطلب با بررسی‌های انجام شده بر روی آبراهه‌ها در این پژوهش تصدیق می‌شود (جدول ۱، شکل‌های ۴ و ۵). در بررسی‌های انجام شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، در برخی نقاط نزدیک گسل یک دسته از جابه‌جایی‌ها قابل دیدن است که به احتمال بیانگر حضور شاخه‌ای احتمالی از گسل در این مناطق هستند (شکل ۵- ج). لازم به یادآوری است که در نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰) در این محل‌ها به وجود گسل اشاره نشده است. شکل ۵- ج، بخشی از گسل را نشان می‌دهند که تنها بخشی از گسل (در منطقه مورد بررسی) هستند که در آن واحد زمین‌شناسی در دو شاخه گسل گسترش یافته است. با به دست آوردن مجموع جابه‌جایی‌ها در تصویر لندست، در این بخش بر روی هر شاخه از گسل در واحدهای زمین‌شناسی (در شاخه شمالی حدود ۴۰۱/۵ متر و در شاخه جنوبی حدود ۳۳۵ متر) و در آبراهه‌های مسیر (در شاخه شمالی حدود ۳۰۸ متر و در شاخه جنوبی حدود ۳۹۰ متر)، مجموع جابه‌جایی‌های زمین‌شناسی و آبراهه به دست آمده در دو شاخه دارای اختلاف کمی با هم هستند؛ اما به هر حال جابه‌جایی آبراهه‌ها کمتر از واحدهای زمین‌شناسی است. پس می‌توان نتیجه گرفت که نرخ لغزش در دو شاخه گسلی تقریباً با هم برابر خواهد بود؛ مطالعه ژئودتیک (GPS) و تعیین سن (OSL) در بخشی از گسل نرخ لغزش را به میزان

چرخش پادساعتگردی که در منطقه گسل درونه وجود دارد، یکی از علل حرکت چپ‌بر گسل درونه است (شکل ۳، ۴ و ۵). زارع (۱۳۷۹)، سازوکار راستالغز راست‌بری را با توجه به روندهای ساختاری اصلی و ریخت آبراهه‌ها به بخش خاوری آن نسبت داده است.

در این پژوهش، با مقایسه نقشه‌های زمین‌شناسی پهنه گسل درونه تلاش شده است تا میزان جابه‌جایی تجمعی واحدهای زمین‌شناسی بر روی گسل برآورد شود. بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین نهشته‌هایی که در امتداد گسل درونه دیده می‌شوند، نهشته‌های کواترنری هستند. این نهشته‌ها از فرسایش کوه‌های اطراف (که مهم‌ترین آنها کوه سرخ در شمال کاشمر است) حاصل شده‌اند. مواد فرسایش یافته ناشی از آبراهه‌های بسیاری که (در شناسایی جنبش گسل نیز به کار می‌روند) از این کوه‌ها سرچشمه گرفته‌اند، با گذر زمان بر روی نهشته‌های تشریری نهشته شده‌اند. هم اکنون، می‌توان نهشته‌هایی از دوره‌های پالئوژن، نئوژن و نهشته‌های آبرفتی کواترنری را در اطراف گسل دید. با بررسی نهشته‌های اطراف گسل و بر اساس اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده، اطلاعاتی در مورد منطقه مورد بررسی به دست می‌آید؛ از بخش خاور به سمت باختر بخش مورد مطالعه، در منطقه کاشمر، خلیل‌آباد و بردسکن قطعاتی از فلیش‌ها و سنگ‌جوش‌ها در بین نهشته‌های پادگانه‌های جوان که با گسل قطع شده‌اند، دیده می‌شوند. در منطقه کاشمر، ریولیت‌ها و توف‌ها و در حوالی بردسکن، توف‌های سبز رنگ همراه با آهک در مسیر گسل قرار گرفته‌اند. در نزدیکی روستای درونه پادگانه‌های قدیمی و نیز سنگ‌جوش‌هایی با میان لایه‌های مارل نومولیتی در مسیر گسل قرار می‌گیرند، در باختری‌ترین بخش گسل، نهشته‌های بیشتر شامل، مارل- سنگ‌ماسه و سنگ‌جوش‌های سبز و سرخ به سن پالئوسن هستند و در میان آنها پهنه‌های آبرفتی دیده می‌شود. در بخش جنوبی گسل، رسوبات آبرفتی همراه با سنگ‌جوش‌های سخت نشده و نیز گراول‌های جدید دیده می‌شوند (شکل ۲ - ب).

۳- روش مطالعه

شواهد زمین‌ریخت‌شناختی نمایانگر جابه‌جا شدن واحدهای زمین‌شناسی و رودخانه‌ها در راستای گسل درونه هستند. در این نوشتار، با توجه به شواهد دورسنجی، برای مشاهده جابه‌جایی‌های ایجاد شده توسط گسل بر روی شواهد زمین‌ریختی، افزون بر استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های (۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰)، از عکس‌های هوایی (۱:۵۰۰۰۰) و تصاویر ماهواره‌ای لندست (ETM ۱۵ m) و کویک‌برد (۶۰ cm) نیز استفاده شده است و با استفاده از انطباق همه تصاویر با یکدیگر مقدار جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی و آبراهه‌های روی آنها اندازه‌گیری شده‌اند. با استفاده از این داده‌ها و مقایسه آنها با نرخ لغزش برآورد شده از سوی Fattahi et al. (2006) و Tavakoli (2007) سن تقریبی آغاز جابه‌جایی چپ‌بر روی گسل درونه برآورد شده است.

۴- جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی و آبراهه‌ها در اثر حرکت گسل درونه

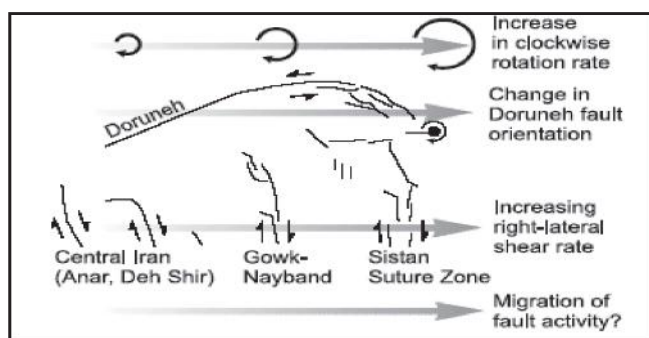
از جمله افرادی که بر روی جابه‌جایی‌های اطراف گسل درونه بحث و بررسی انجام داده‌اند می‌توان به Fattahi et al. (2006) و جوادی (۱۳۸۵) اشاره کرد که البته بیشترین تمرکز آنها بر روی جابه‌جایی آبراهه‌ها، در اطراف گسل بوده است. در این نوشتار، سعی شده تا اطلاعات جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی بخشی از گسل و نیز

۲/۵ mm/yr نشان می دهند.

می سازد.

سپاسگزاری

با تشکر از آقای مهندس جوادی که عکس های هوایی اطراف گسل درونه را در اختیار قرار دادند و نیز با تشکر از آقای دکتر توکلی که اطلاعات نرخ لغزشی که بر روی گسل درونه به دست آورده اند و نتایج نهایی کار خود را در اختیار نویسندگان قرار دادند.



شکل ۱- تصویر نمادین از توزیع ناهمبستگی (uneven) برش راست بر شمالی- جنوبی بر روی سامانه گسل های ایران مرکزی در خاور. تجمع برش راست بر در گسل های مرکزی و خاوری باعث ایجاد چرخش چپ بر روی گسل درونه می شود (Walker & Jackson, 2004).

جدول ۱- مقایسه میزان جابه جایی بخش های باختری و خاوری سنگ جوش های نوژن در گستره گسل درونه، در تصاویر لندست و کویک برد، به همراه جابه جایی آبراهه های این واحدها؛ سن آغاز جابه جایی واحدها و آبراهه هایی که بر روی آنها جریان دارند، با در نظر گرفتن نرخ لغزش ۲/۵ mm/yr برآورد شده است.

شکل	موقعیت	جابه جایی (متر)				سن آغاز جابه جایی (هزار سال)	
		اندازه گیری شده در واحدها		اندازه گیری شده در آبراهه ها		در واحدها	در آبراهه ها
		محل	مقدار	محل	مقدار		
۴- الف	باختر انابد ۳۵°۱۴'N, ۵۷°۳۹'E ۳۵°۱۵'N, ۵۷°۴۵'E	باختر	۴۵۷		۳۴۰	۱۸۲۸۰۰	۱۳۶۰۰۰
		خاور	۴۳۷		۴۰۴	۱۷۴۸۰۰	۱۶۱۶۰۰
					۲۰۷		۸۲۸۰۰
					۱۸۱		۷۲۴۰۰
۴- ب	شمال انابد ۳۵°۱۶'N ۵۷°۴۸'E, ۵۷°۴۷'E	باختر	۲۰۱		۷۹	۸۰۴۰۰	۳۱۶۰۰
		خاور	۲۰۱		۱۱۵	۸۰۴۰۰	۴۶۰۰۰
					۸۸		۳۵۲۰۰
۵- الف	باختر خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۳'E, ۵۸°۱۱'E	باختر	۳۹۴		۳۶۱	۱۵۷۶۰۰	۱۴۴۴۰۰
		خاور	۳۶۸		۳۴۹	۱۴۷۲۰۰	۱۳۹۶۰۰
					۲۴۵		۹۸۰۰۰
۵- ب	شمال خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۷'E, ۵۸°۱۸'E	باختر	۲۱۲		۶۱	۸۴۸۰۰	۲۴۴۰۰
		خاور	۱۹۳		۳۶	۷۷۲۰۰	۱۴۴۰۰
					۵۷/۵		۳۲۰۰۰
۵- ج	خاور خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۹'E, ۵۸°۲۲'E	شاخه بالایی	۱۰۵	شاخه بالایی	۵۲	۴۲۰۰۰	۲۰۸۰۰
			۹۱		۵۶	۳۶۴۰۰	۲۲۴۰۰
			۱۰۹		۶۵	۴۳۶۰۰	۲۶۰۰۰
			۹۶/۵		۳۸۶۰۰		
		شاخه پایینی	۱۵۰	شاخه پایینی	۷۸	۶۰۰۰۰	۳۱۲۰۰
			۱۸۵		۵۵	۷۴۰۰۰	۲۲۰۰۰
					۷۴		۲۹۶۰۰
					۶۹		۲۷۶۰۰

همان گونه که در شکل های ۴ و ۵ دیده می شود جابه جایی هایی که در واحدهای زمین شناسی و آبراهه ها مشاهده می شود، چپ بر بودن جابه جایی این گسل را آشکار می کنند که تأییدی بر آنچه Walker et al. (2004) Wellman (1966) بیان کردند، خواهد بود. با استفاده از جابه جایی هایی که در اطراف گسل به دست آمده است، به همراه نرخ لغزش به دست آمده به روش های OSL توسط Fattahi et al. (2006) و GPS توسط Tavakoli (2007) که هر دو به مقدار تقریبی ۲/۵ mm/yr اشاره کرده اند، سن شروع گسلش و جابه جایی چپ بر واحدها، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده است.

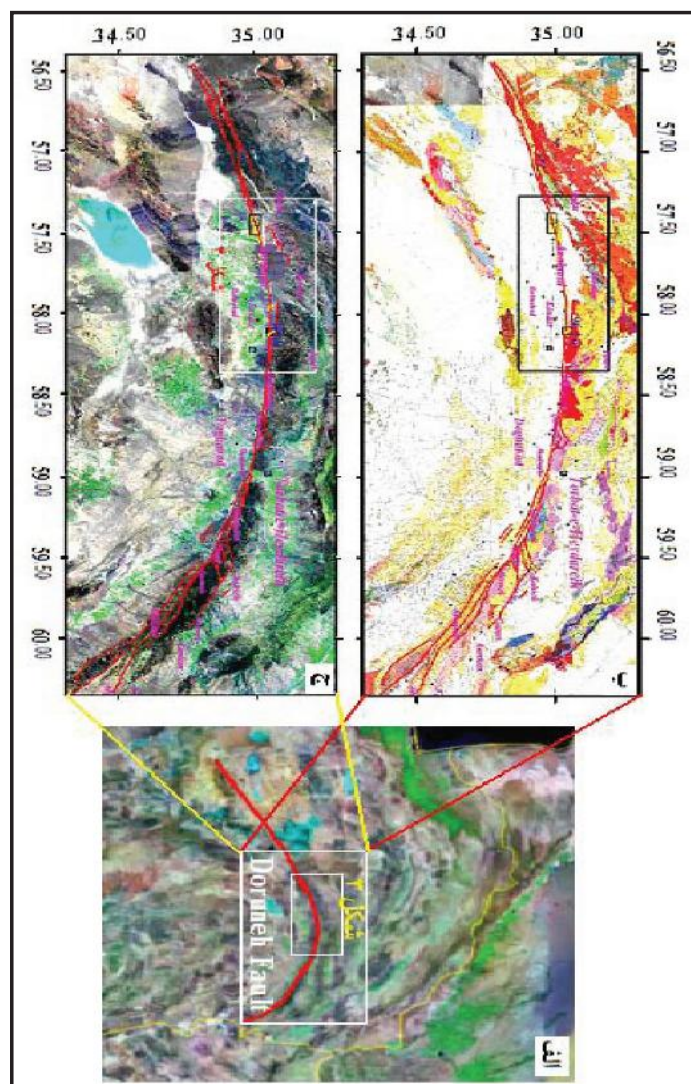
رابطه (۱)

$$T = \frac{d}{v}$$
 که در آن T مدت زمان شروع جابه جایی و d مقدار جابه جایی به دست آمده به میلی متر و v نرخ لغزش در طول گسل با واحد میلی متر بر سال است. مقادیر جابه جایی واحدها و آبراهه ها به همراه طول و عرض و نرخ لغزش آنها و سن شروع جابه جایی آنها، در جدول ۱ نشان داده شده است. کمینه و بیشینه سن شروع جابه جایی به دست آمده برای واحدهای نوژن، به ترتیب ۳۶,۴۰۰ و ۱۸۲,۸۰۰ سال برآورد شده است؛ کمینه و بیشینه سن جابه جایی به دست آمده برای آبراهه ها، به ترتیب ۱۴,۴۰۰ و ۱۶۱,۶۰۰ سال برآورد شده است که این سن نیز کمتر از سن به دست آمده برای جابه جایی واحدهای نوژن است. سن به دست آمده برای شروع گسلش در واحدها و آبراهه های گسل درونه به هولوسن و بخشی از پلیستوسن وابسته است.

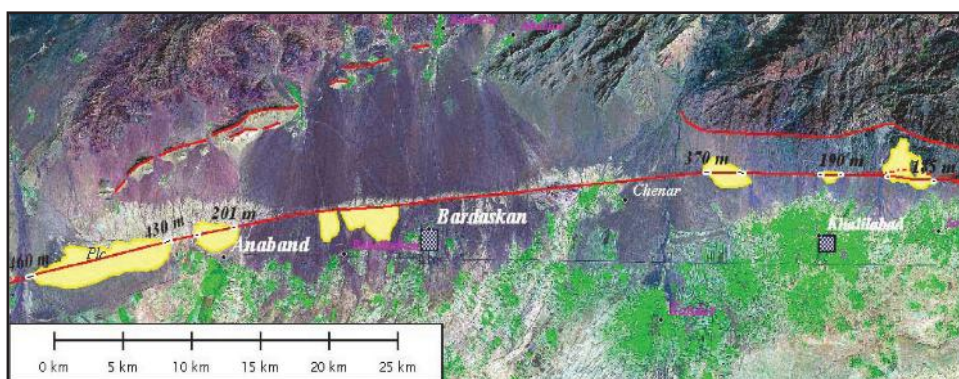
تعریف های موجود بیان می دارند گسل هایی که از ۱۰ هزار سال پیش تا کنون دارای فعالیت بوده اند، گسل فعال هستند (برگی، ۱۳۷۰). گسل درونه با توجه به میزان جابه جایی های اندازه گیری شده بر روی آن و سن تقریبی این جابه جایی ها، بر خلاف آن که زمین لرزه بزرگی بر روی این گسل ثبت نشده است، گسلی فعال در این زمان است. با توجه به آن که وجود دست کم یک جنبش در ۳۵ هزار سال پیش، بیانگر توان جنبشی گسل است (برگی، ۱۳۷۰)، گسل درونه از توان جنبشی بالایی نیز برخوردار است. بنابراین گسل درونه، از گسل هایی است که به دلیل فعال بودن و توان جنبشی بالا، باید در بررسی خطر زمین لرزه ای در اولویت بررسی قرار گیرد.

۴- بحث و نتیجه گیری

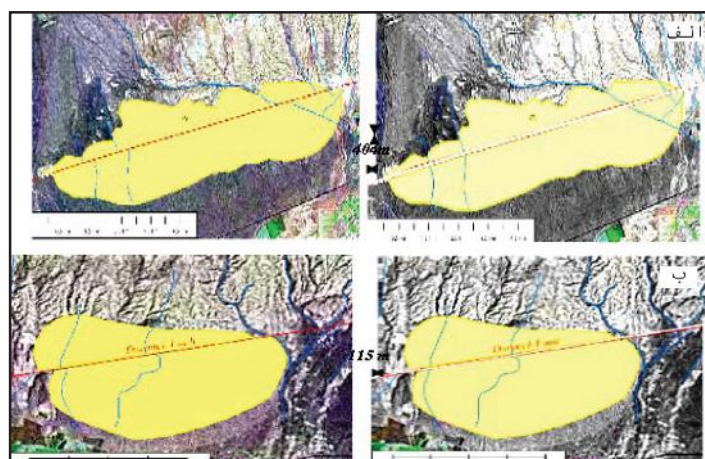
گسل درونه با استفاده از نقشه های زمین شناسی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای لندست و کویک برد بررسی شد. کمینه و بیشینه میزان جابه جایی واحدهای زمین شناسی در گستره میانی گسل به ترتیب ۹۱ و ۴۵۷ متر به دست آمد. مقدار کمینه و بیشینه جابه جایی پدیده های جوان تر، مانند آبراهه ها، در این گستره به ترتیب ۳۶ و ۴۰۴ متر برآورد شد. دقت و درستی این نتایج را می توان با مشاهدات صحرائی افزایش داد. سن آغاز جابه جایی چپ بر واحدهای زمین شناسی در راستای گسل درونه، با استفاده از جابه جایی های برآورد شده و نرخ لغزش های به دست آمده بر روی این گسل بین ۳۶,۴۰۰ و ۱۸۲,۸۰۰ سال و سن شروع جابه جایی آبراهه ها در راستای این گسل ۱۴,۴۰۰ و ۱۶۱,۶۰۰ محاسبه شد. با توجه به آن که به نظر می رسد بخش اصلی جابه جایی تجمعی بر روی گسل در طی کواترنری (و حتی هولوسن) روی داده باشد، می توان این گسل را یک گسل فعال در نظر گرفت. این موضوع ضرورت بررسی های دقیق تر با کمک اندازه گیری GPS و سن یابی مطلق به روش OSL، برای تعیین بهتر میزان فعالیت در بخش های مختلف گسل درونه را آشکار



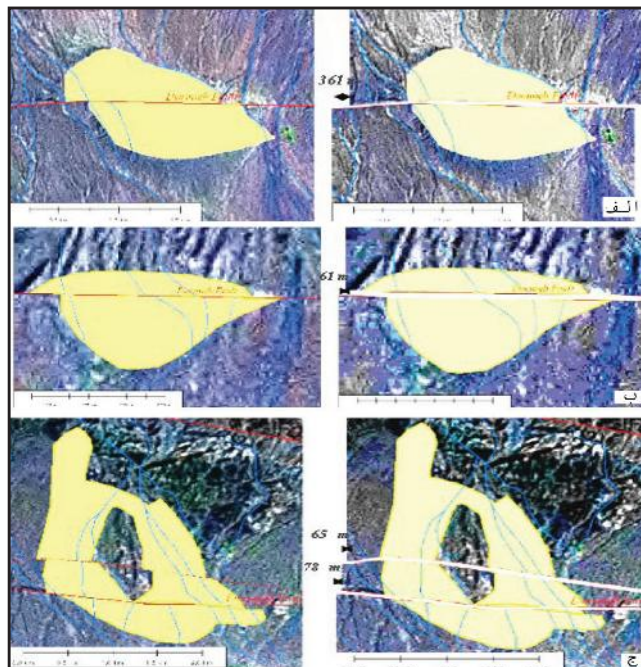
شکل ۲- الف) تصویر ماهواره ای گوگل (کوئیک برد) موقعیت گسل درونه به صورت خط قرمز و گستره مورد بررسی با مستطیل سفید در شمال خاور ایران نشان داده شده است. ب) نقشه زمین شناسی و موقعیت بخشی از گسل درونه که واحدهای زمین شناسی آن مورد بررسی قرار گرفته است به صورت خط قرمز در داخل مستطیل ها نشان داده شده. ج) تصویر ماهواره ای لندست ۷ منطقه.



شکل ۳- واحدهای زمین شناسی نوژن و جابه جایی های آنها در گستره بی $58^{\circ}22'$ ، $57^{\circ}39'$ در جه خاوری حد فاصل بین خلیل آباد و بیرق در راستای گسل درونه در تصویر لندست ۷.



شکل ۴- جابه‌جایی چپ‌بر آبراهه‌ها و واحدهای زمین‌شناسی در تصویر لندست ۷، در باختر و شمال انابد، که در آن واحدهای نئوژن به رنگ زرد و آبراهه‌ها به رنگ آبی نشان داده شده‌اند؛ الف) آبراهه‌های باختر انابد با بیشینه ۴۰۴ متر جابه‌جایی در تصویر نشان داده شده‌اند، با کمی جابه‌جایی بیشتر واحد زمین‌شناسی دقیق‌تر منطبق خواهد شد چرا که مطابق جدول ۱ کمترین جابه‌جایی واحد زمین‌شناسی ۴۳۷ متر است و برای انطباق باید کمی جابه‌جا شود. ب) آبراهه‌های شمال انابد با بیشینه جابه‌جایی ۱۱۵ متر نشان داده شده‌اند، در این تصویر نیز باید برای انطباق واحد زمین‌شناسی تصویر کمی بیشتر جابه‌جا شود، چرا که کمترین جابه‌جایی واحد زمین‌شناسی در این منطقه ۲۰۱ متر است (در محدوده طول جغرافیایی $57^{\circ} 49' E$, $57^{\circ} 38' E$)



شکل ۵- جابه‌جایی آبراهه‌ها و واحدهای زمین‌شناسی منطقه خلیل‌آباد در تصویر لندست ۷، که در آن واحدهای نئوژن به رنگ زرد و آبراهه‌ها به رنگ آبی نشان داده شده‌اند، چپ‌بر بودن حرکت گسل را نمایش می‌دهد؛ الف) آبراهه‌های باختر خلیل‌آباد، با بیشینه ۳۶۱ متر جابه‌جایی در تصویر نشان داده شده‌اند، برای انطباق دو سمت واحد زمین‌شناسی، کمی جابه‌جایی دیگر لازم است، چرا که کمترین جابه‌جایی واحد نئوژن ۳۶۸ متر است. ب) آبراهه‌های شمال خلیل‌آباد، با بیشینه جابه‌جایی ۶۱ متر نشان داده شده‌اند، در این تصویر مقدار جابه‌جایی بیشتری نسبت به بخش قبل برای انطباق واحد زمین‌شناسی لازم است، به دلیل آن که کمترین جابه‌جایی واحد نئوژن در این منطقه ۱۹۳ متر است. ج) آبراهه‌های بخش خاوری خلیل‌آباد، با بیشینه جابه‌جایی ۶۵ متر در شاخه بالایی و ۷۸ متر در شاخه پایینی گسل نشان داده شده‌اند. در این بخش نیز مقدار جابه‌جایی واحد نئوژن بیشتر از جابه‌جایی آبراهه‌های مسیر است (بیشینه ۱۰۹ متر در شاخه بالایی و ۱۸۵ متر در شاخه پایینی) در محدوده طول و عرض $57^{\circ} 22' E$, $35^{\circ} 11' N$

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران، ۵۸۶ صفحه.
- برگی، خ.، ۱۳۷۰- اصول مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران.
- جواد، ح. ر.، ۱۳۸۵- زمین‌ساخت جنوب، لرزه زمین‌ساخت و تحلیل ساختاری سامانه گسل درونه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۲۱۰ صفحه.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۱ صفحه.
- زارع، م.، ۱۳۷۹- تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی سیستم گسله درونه و بررسی زلزله‌های زمستان ۱۳۷۸- بهار ۱۳۷۹ کاشمر، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ص ۳۲-۴۰.

References

- Ambraseys, N. N. & Melville, C., 1982- A history of Persian earthquakes, Cambridge University Press, Cambridge.
- Berberian, M., 1976b- Contribution to the seismotectonic of Iran (Part II), Geological Survey Of Iran, Rep. No. 39, 1976b.
- Fattahi, M., Walker, R. T., Khatib, M. M., Dolati, A. & Bahroudi, A., 2006- Slip-rate estimate and past earthquakes on the Doruneh fault, eastern Iran, Geophys. J. Int., doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.03248.x.
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological Quadrangle Map, 1:250,000 series, Kashmar sheet No. J5.1976.
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological Quadrangle Map, 1:250,000 series, Khartouran sheet No. I5. 1987.
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological Quadrangle Map, 1:250,000 series, Torbat-e-Heidarieh sheet No. K5.
- Stocklin, J., Nabavi, M. H., 1973- Tectonic map of Iran, Geol. Surv Iran.
- Tavakoli, F., 2007- Present-day deformation and kinematics of the active faults observed by GPS in the Zagros and east of Iran, Thesis, 313P.
- Tchalenko, J. S. & Berberian, M. & Behzadi, H., 1973- Geomorphic and seismic evidence for recent activity on the Doruneh Fault Iran, Tectonophysics, 19: 333-341.
- Walker, R. & Jackson, J., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, Tectonics, Vol.23, TC5010 .doi:10.1029/2003TC001529.
- Walker, R., Jackson, J. & Baker, C., 2004- Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran, Geophys. J. Int., 157, 265–282.
- Wellman, H. W., 1966- Active wrench faults of Iran, Afghanistan, and Pakistan, Geologische Rundschau, 55, 716–735.

The assemblage, abundance, and species diversity of foraminifera in the examined samples shows noticeable changes in the paleoenvironmental conditions. The maximum diversity of foraminifera is sixteen species. Based on species diversity, the strata classified to nine assemblages A to I. The abundance of foraminifera in each assemblage indicates that the sediments of the Qom Formation belong to inner shelf environments.

Keywords: Central Iran, Mahneshan, Early Miocene, Biostratigraphy, Paleoenvironment, Foraminifera, Qom Formation.

For Persian Version see pages 45 to 50

* Corresponding author: J. Daneshian ; E_mail: daneshian@saba.tmu.ac.ir

The Study of Rose Diagrams by Statistical Joint Systems of Intrusive Rocks in Shahrestan Area, Piranshahr (West Azarbaijan)

S. Alipour^{1*} & R. Nikrouz¹

¹ Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 2008 July 07

Accepted: 2009 February 22

Abstract

Shahrestan mining district is the largest extensive granitic stone province in Iran. There are 25 active mines in this area. The study of rose diagrams with statistical joint systems at this ornamental stone mining district carried out in order to reduce expenses with low waste disposal of mining extraction. The most types of intrusive rocks are syenite, monzonite, gabbro and granite cropped out in the region. Alkali syenite is the main rock type in spite of varying color and texture. Diversity of apparent color and rock composition associated with variety of color in low distances, existence of joints, faults and thrusts around formations and rocks of moderately being metamorphosed, are the source of major problems in the region from the exploration till the excavation stages. The study results indicate that the main folding trend is extended in a northwest-southeast direction. Therefore the direction of quarries in central part must be developed in a north-south direction and in the northwest part in northwest-southeast direction while in the east of Shahrestan quarries must be created in a northeast – southwest trend.

Keywords: Piranshahr, Rose diagram, Syenite, Ornamental stone

For Persian Version see pages 51 to 56

*Corresponding author: S. Alipour ; E-mail: alipour_samad@yahoo.com

Detection of Recent Activity on Doruneh Fault Using Remote Sensing Data and Geological Information

H. Amini^{1*}, M. Fattahi¹ & M. R. Ghassemi²

¹Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran.

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

Received: 2008 November 25

Accepted: 2009 February 23

Abstract

Doruneh is an active left- lateral strike- slip fault in North-East Iran. Surface trace of this fault is about 700 km long, and cuts across Quaternary and Tertiary deposits. In some places along the fault, sediments of Paleogene, Neogene, and alluvial fans of Quaternary age are displaced by the fault. Left- lateral displacement between 91-457 m are evident in Landsat images between east of Beiragh and east of Khalil-abad. Displacements are also evident in streams that are incised over the above mentioned deposits. We have tried to estimate the recent history of activity on the fault on the basis of the measured displacements and estimated slip rates of the fault. Estimated age of left- lateral movement inception on the fault is very much younger than the displaced geologic units. These observations indicate that Doruneh Fault has been mostly active during the last few millions, which in turn proves the fault to be an active structure.

Keywords : Doruneh fault, Displacement, Geology

For Persian Version see pages 57 to 62

*Corresponding author: H. Amini; E-mail: ese_Amini@yahoo.Com

Lithofacies, Depositional Environment and Relative Sea Level Changes in Deposits Attributed to Lalun Formation in Bahmoo Section, Poshte Badam Block

M. Hosseini-Barzi^{1*} & N. Etamad Saeed¹

¹Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran.

Received: 2008 September 15

Accepted: 2009 February 23

Abstract

The Early Cambrian Lalun Formation in Poshte- Badam block has been studied in Bahmoo section with 550 m thickness, to illuminate its sedimentary environment and sea level changes. The field investigations, collection of 110 paleocurrent data, petrography, study of SEM images and XRD analysis of shale samples have been used for facies analysis, paleocurrent recognition and sedimentary environment reconstruction. The facies analyses imply 5 siliclastic coarse grained (Gm), medium grained (Sp, St, Sh) and fine grained (Fl) lithofacies and 1 carbonate (dolomite) microfacies. The lithofacies, bipolar bimodal paleocurrent pattern and petrographic evidences such as the existence of glauconitic sandstones with high textural and compositional maturity imply deposition of these sediments in a Tidal Flat environment. Studying the relative sea level changes of Lalun deposits in this area imply two sequences which have been bounded between SB1 unconformities.

Key Words: Lalun Formation, Lithofacies, Paleocurrent, Relative sea level changes

For Persian Version see pages 63 to 70

*Corresponding author: M. Hosseini-Barzi; E-mail: m_hosseini@sbu.ac.ir

Detecting Potential Seepage Paths in Bakhtyari Dam Site using Seismic Tomography

Y. Sharghi^{1*}, F. Alinia² & H. R. Siahkoobi³

¹Mining Engineering Department, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

²Mining Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

³Institute of Geophysics, Tehran University, Tehran, Iran

Received: 2008 August 02

Accepted: 2009 March 01

Abstract

Seismic travel time tomography uses seismic waves to image velocity distribution inside the ground. This method has been widely applied to practical applications in many fields including earth sciences. In this method, first-arrival times of seismic waves due to artificial sources, observed at receivers in the vicinity of the exploration target are analyzed to obtain the velocity distribution within the propagation area. This paper describes the seismic tomography investigation performed at the abutments of Bakhtyari Dam site. The study aimed to find the low-velocity zones that may correspond to jointed media where seepage most likely happens. We performed 3-D tomographic inversion on Bakhtyari dam seismic data. To perform ray tracing and travel-time computation at each iteration, we used Um and Thurber (1987) method and for inversion step we used SIRT method. In most of the tomograms, average velocity was 3km/s. According to the Barton relation (2006) the seepage potential in dam sit abutments, is low. A low velocity zone has been detected above the 690 m level in right abutment. It shows that the weak zones extended from surface down to this level. Despite the presence of some weak zones, the rock mass quality is good, and the design of the grout curtain could help to bypass the reservoir water away from these seepage paths