

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

حمیده امینی<sup>۱\*</sup>، مرتضی فتاحی<sup>۱</sup> و محمدرضا قاسمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> پژوهشکده 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 تشریری 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 خلیل‌آباد، 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 (آقائباتی، 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.

### ۲- زمین‌شناسی گسل درونه

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 دوغ‌آباد 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 (ترت-جام، ترت-حیدریه، کاشمر، خارتوران، تابباد، 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.

جابه‌جایی آبراه‌ها که بر روی این واحدها جریان دارند، در اطراف گسل درون، بررسی شود. شکل ۲- الف گسل درون 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 درون در باختر تا کاشمر در خاور، در چند محل نهشته‌های سنگ‌جوش‌های نئوژن در حد فاصل میان طول و عرض‌های  $E 38^{\circ} 57', N 15^{\circ} 35'$  و  $E 22^{\circ} 58', N 17^{\circ} 35'$  دیده شده‌اند که جابه‌جایی آنها به گونه‌ای است که به راحتی می‌توان حرکت چپ‌برگسل 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 (۶۰cm) 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 ۵ و ۴). 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 درون وجود دارد، یکی از علل حرکت چپ‌برگسل درون 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 درون 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 درون دیده می‌شوند، نهشته‌های کواترنری هستند. این نهشته‌ها از فرسایش کوه‌های اطراف (که مهم‌ترین آنها کوه‌سرخ 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. هم‌اکنون، 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 درون 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 درون 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 درون برآورد شده است.

### ۴- جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی و آبراهه‌ها در اثر حرکت گسل درون

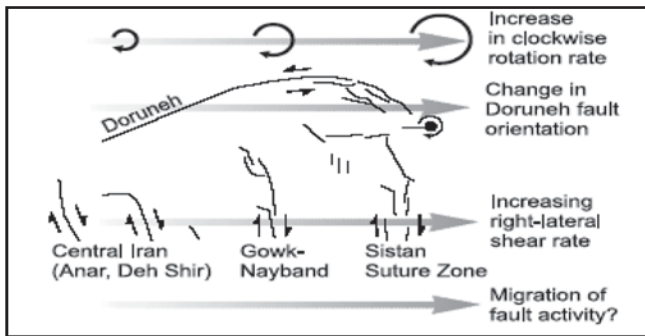
از جمله افرادی که بر روی جابه‌جایی‌های اطراف گسل درون بحث و بررسی انجام داده‌اند می‌توان به (Fattahi et al. (2006 و جوادی (۱۳۸۵) اشاره کرد که البته بیشترین تمرکز آنها بر روی جابه‌جایی آبراهه‌ها، در اطراف گسل بوده است. در این نوشتار، سعی شده تا اطلاعات جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی بخشی از گسل و نیز

می‌سازد.

۲/۵ mm/yr ~ نشان می‌دهند.

### سپاسگزاری

با تشکر از آقای مهندس جوادی که عکس‌های 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 آورده‌اند و نتایج نهایی کار خود را در اختیار نویسندگان قرار دادند.



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

جدول ۱- مقایسه میزان جابه‌جایی بخش‌های باختری و خاوری سنگ‌جوش‌های نوژن در گستره گسل درونه، در تصاویر لندست و کویک‌برد، به همراه جابه‌جایی آبراهه‌های این واحدها؛ سن آغاز جابه‌جایی واحدها و آبراهه‌هایی که بر روی آنها جریان دارند، با در نظر گرفتن نرخ لغزش ۲/۵ mm/yr ~، برآورد شده است.

شکل	موقعیت	جابه‌جایی (متر)			
		اندازه‌گیری شده در واحدها		اندازه‌گیری شده در آبراهه‌ها	
		محل	مقدار	محل	مقدار
۴- الف	باختر انابند ۳۵°۱۴'N, ۵۷°۳۹'E ۳۵°۱۵'N, ۵۷°۴۵'E	باختر	۴۵۷	در واحدها	۳۴۰
		خاور	۴۳۷	در آبراهه‌ها	۱۸۲۸۰۰
				مقدار	۲۰۷
۴- ب	شمال انابند ۳۵°۱۶'N ۵۷°۴۸'E	باختر	۲۰۱	در واحدها	۷۹
		خاور	۲۰۱	در آبراهه‌ها	۸۰۴۰۰
				مقدار	۸۸
۵- الف	باختر خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۱', ۵۸°۱۳'E	باختر	۳۹۴	در واحدها	۳۶۱
		خاور	۳۶۸	در آبراهه‌ها	۱۵۷۶۰۰
				مقدار	۲۴۵
۵- ب	شمال خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۷', ۵۸°۱۸'E	باختر	۲۱۲	در واحدها	۶۱
		خاور	۱۹۳	در آبراهه‌ها	۸۴۸۰۰
				مقدار	۳۶
۵- ج	خاور خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۹', ۵۸°۲۲'E	شاخه بالایی	۱۰۵	در واحدها	۵۲
			۹۱	در آبراهه‌ها	۴۲۰۰۰
			۱۰۹	مقدار	۳۶۶۰۰
			۹۶/۵		۳۸۶۰۰
		شاخه پایینی	۱۵۰	در واحدها	۷۸
			۱۸۵	در آبراهه‌ها	۶۰۰۰۰
				مقدار	۷۴
					۲۴۶۰۰
					۲۷۶۰۰

همان گونه که در شکل‌های ۴ و ۵ دیده می‌شود جابه‌جایی‌هایی که در واحدهای زمین‌شناسی و آبراهه‌ها مشاهده می‌شود، چپ بر بودن جابه‌جایی این گسل را آشکار می‌کنند که تأییدی بر آنچه (Walker et al. (2004), Wellman (1966) بیان کردند، خواهد بود. با استفاده از جابه‌جایی‌هایی که در اطراف گسل به دست آمده است، به همراه نرخ لغزش به دست آمده به روش‌های OSL توسط (Fattahi et al. (2006) و GPS توسط (Tavakoli (2007) که هر دو به مقدار تقریبی ۲/۵ mm/yr اشاره کرده‌اند، سن شروع گسلش و جابه‌جایی چپ بر واحدها، با استفاده از رابطه (۱)

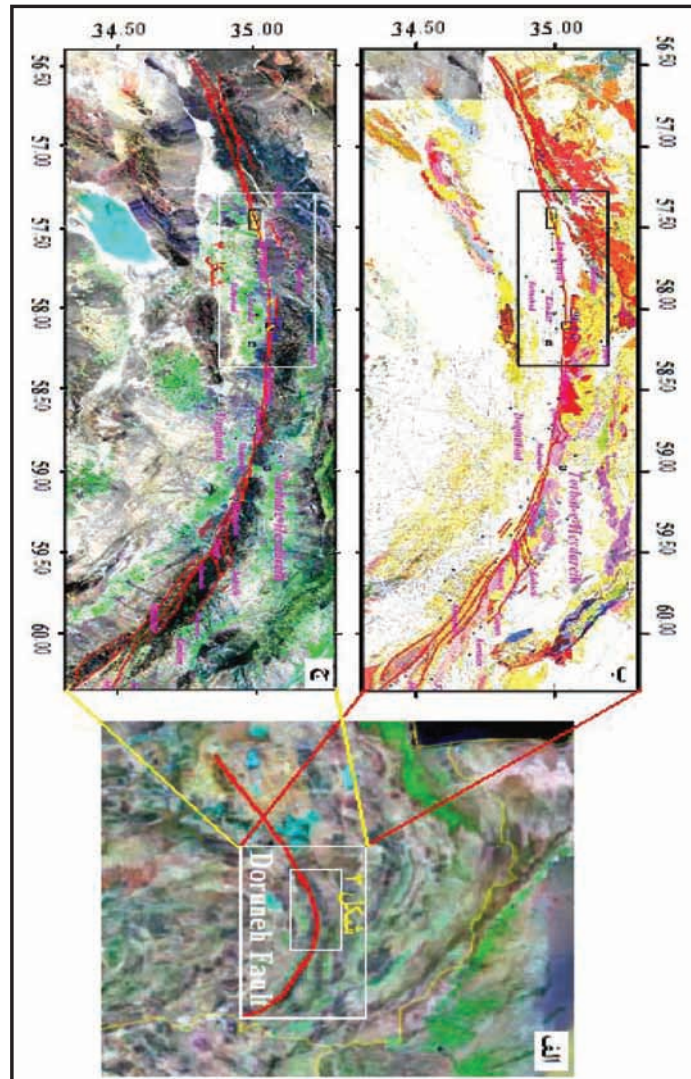
$$T = \frac{d}{v} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن T مدت زمان شروع جابه‌جایی و d مقدار جابه‌جایی به دست آمده به میلی‌متر و v نرخ لغزش در طول گسل با واحد میلی‌متر بر سال است. مقادیر جابه‌جایی واحدها و آبراهه‌ها به همراه طول و عرض و نرخ لغزش آنها و سن شروع جابه‌جایی آنها، در جدول ۱ نشان داده شده است. کمینه و بیشینه سن شروع جابه‌جایی به دست آمده برای واحدهای نوژن، به ترتیب ۳۶,۴۰۰ و ۱۸۲,۸۰۰ سال برآورد شده است؛ کمینه و بیشینه سن جابه‌جایی به دست آمده برای آبراهه‌ها، به ترتیب ۱۴,۴۰۰ و ۱۶۱,۶۰۰ سال برآورد شده است که این سن نیز کمتر از سن به دست آمده برای جابه‌جایی واحدهای نوژن است. سن به دست آمده برای شروع گسلش در واحدها و آبراهه‌های گسل درونه به هولوسن و بخشی از پلیستوسن وابسته است.

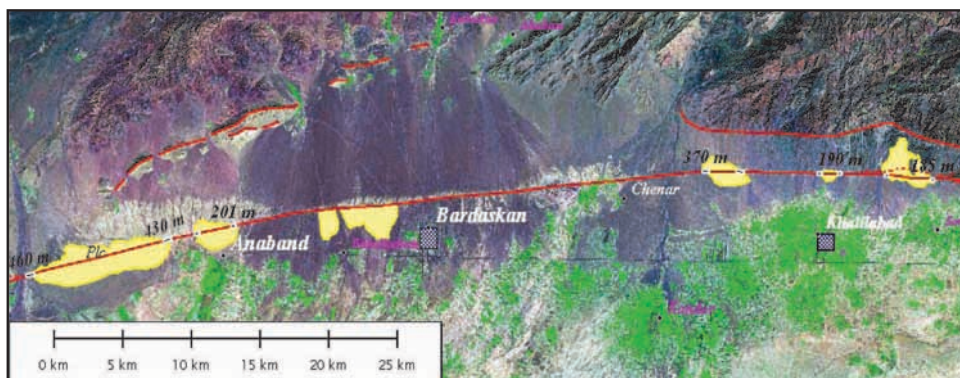
تعریف‌های موجود بیان می‌دارند گسل‌هایی که از ۱۰ هزار سال پیش تا کنون دارای فعالیت بوده‌اند، گسل فعال هستند (برگی، ۱۳۷۰). گسل درونه با توجه به میزان جابه‌جایی‌های اندازه‌گیری شده بر روی آن و سن تقریبی این جابه‌جایی‌ها، بر خلاف آن که زمین‌لرزه بزرگی بر روی این گسل ثبت نشده است، گسلی فعال در این زمان است. 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 گسل‌هایی است که به دلیل فعال بودن و توان جنبشی بالا، باید در بررسی خطر زمین‌لرزه‌ای در اولویت بررسی قرار گیرد.

### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

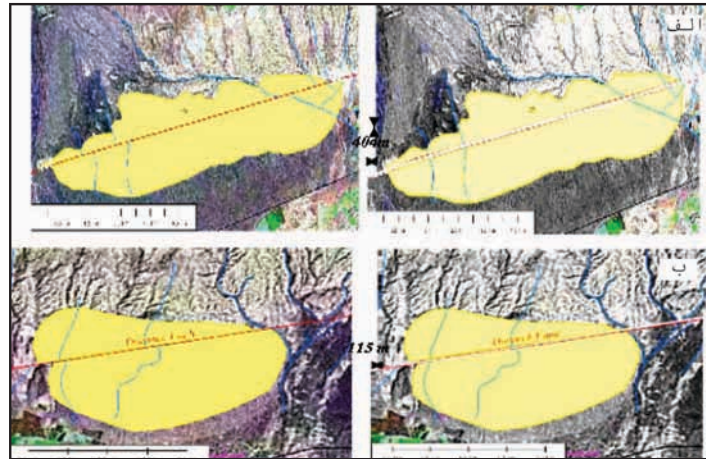
گسل درونه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای لندست و کویک‌برد بررسی شد. کمینه و بیشینه میزان جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی در گستره میانی گسل به ترتیب ۹۱ و ۴۵۷ متر به دست آمد. مقدار کمینه و بیشینه جابه‌جایی پدیده‌های جوان‌تر، مانند آبراهه‌ها، در این گستره به ترتیب ۳۶ و ۴۰۴ متر برآورد شد. دقت و درستی این نتایج را می‌توان با مشاهدات صحرائی افزایش داد. سن آغاز جابه‌جایی چپ بر واحدهای زمین‌شناسی در راستای گسل درونه، با استفاده از جابه‌جایی‌های برآورد شده و نرخ لغزش‌های به دست آمده بر روی این گسل بین ۳۶,۴۰۰ و ۱۸۲,۸۰۰ سال و سن شروع جابه‌جایی آبراهه‌ها در راستای این گسل ۱۴,۴۰۰ و ۱۶۱,۶۰۰ محاسبه شد. با توجه به آن که به نظر می‌رسد بخش اصلی جابه‌جایی تجمعی بر روی گسل در طی کوواترنری (و حتی هولوسن) روی داده باشد، می‌توان این گسل را یک گسل فعال در نظر گرفت. این موضوع ضرورت بررسی‌های دقیق‌تر با کمک اندازه‌گیری GPS و سن‌یابی مطلق به روش OSL، برای تعیین بهتر میزان فعالیت در بخش‌های مختلف گسل درونه را آشکار



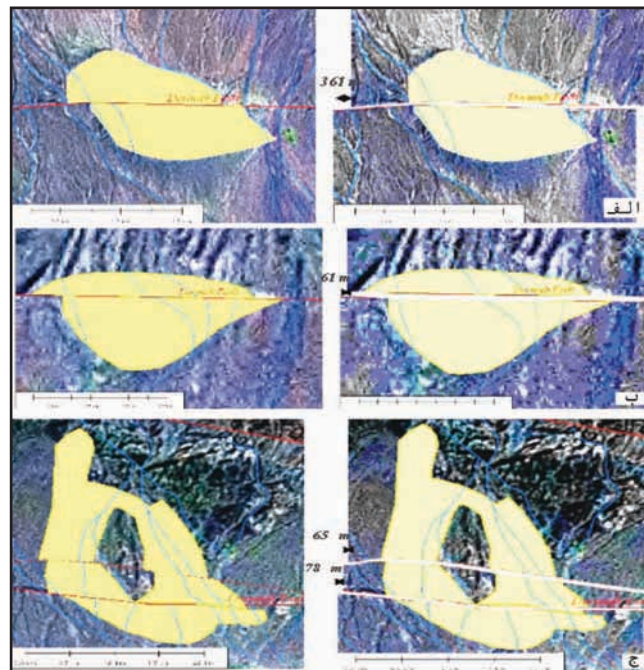
شکل ۲- الف) تصویر ماهواره‌ای گوگل (کوئیک‌برد) موقعیت گسل درونه به صورت خط قرمز و گستره مورد بررسی با مستطیل سفید در شمال خاور ایران نشان داده شده است. ب) نقشه زمین‌شناسی و موقعیت بخشی از گسل درونه که واحدهای زمین‌شناسی آن مورد بررسی قرار گرفته است به صورت خط قرمز در داخل مستطیل‌ها نشان داده شده. ج) تصویر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



شکل ۳- واحدهای زمین‌شناسی نوژن و جابه‌جایی‌های آنها در گستره بی  $58^{\circ}22'$ ،  $57^{\circ}39'$  درجه خاوری حد فاصل بین خلیل‌آباد 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 نوژن 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  $57^{\circ} 38' E$ ,  $57^{\circ} 49'$ )



شکل ۵- جابه‌جایی آبراهه‌ها و واحدهای زمین‌شناسی منطقه خلیل‌آباد در تصویر لندست ۷، که در آن واحدهای نوژن 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 نوژن 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 نوژن 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 نوژن بیشتر از جابه‌جایی آبراهه‌های مسیر است (بیشینه ۱۰۹ متر در شاخه بالایی و ۱۸۵ متر در شاخه پایینی) در محدوده طول و عرض  $35^{\circ} 17' N$ ,  $57^{\circ} 22' E$  -  $57^{\circ} 11'$

## کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران، ۵۸۶ صفحه.
- برگی، خ.، ۱۳۷۰- اصول مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران.
- جوادی، ح.ر.، ۱۳۸۵- زمین ساخت جنبه، لرزه زمین ساخت و تحلیل ساختاری سامانه گسل درونه، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۲۱۰ صفحه.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۱ صفحه .
- زارع، م.، ۱۳۷۹- تحلیل لرزه زمین ساختی 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 Quandarangle Map, 1:250,000 series, Kashmar sheet No. J5.1976.
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological Quandarangle Map, 1:250,000 series, Khartouran sheet No. I5. 1987.
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological Quandarangle 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- Geomorphologic 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.