

# 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 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 تفرقه 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 دوغ آباد 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 آبراهه‌ها که بر روی این واحدها جریان دارند، در اطراف گسل درونۀ بررسی شود. شکل ۲- الف گسل درونۀ 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 درونۀ در باختر تا کاشمر در خاور، در چند محل نهشته‌های سنگ‌جوش‌های نوژن در حد فاصل میان طول و عرض‌های  $38^{\circ} 57' N$ ,  $35^{\circ} 15' E$  تا  $35^{\circ} 17' N$ ,  $58^{\circ} 22' E$  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. توجیهی 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 درونۀ وجود دارد، یکی از علل حرکت چپ‌برگسل درونۀ 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 درونۀ 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 درونۀ 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، نوژن 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 درونۀ پادگانه‌های قدیمی و نیز سنگ‌جوش‌هایی با میان‌لایه‌های 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 درونۀ 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 درونۀ برآورد شده است.

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

از جمله افرادی که بر روی جابه‌جایی‌های اطراف گسل درونۀ 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 با اطلاعات جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی بخشی از گسل و نیز

۲/۵ mm/yr ~ نشان می دهند.

می سازد.

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 گسلسش 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 نئوژن، 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 نئوژن است. سن به دست آمده برای شروع گسلسش در واحدها و آبراهه های گسل درونه به هولوسن و بخشی از پلیستوسن وابسته است.

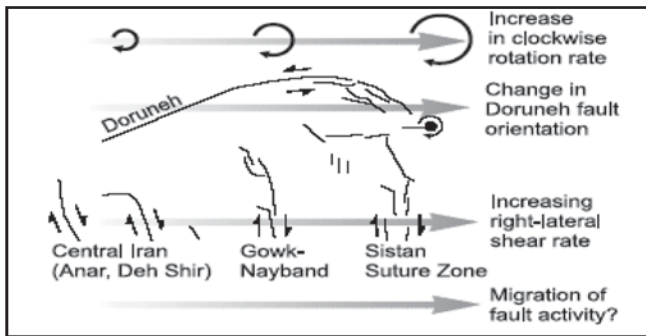
تعریف های موجود بیان می دارند گسل هایی که از ۱۰ هزار سال پیش تا کنون دارای فعالیت بوده اند، گسل فعال هستند (برگی، ۱۳۷۰). گسل درونه با توجه به میزان جابه جایی های اندازه گیری شده بر روی آن و سن تقریبی این جابه جایی ها، بر خلاف آن که زمین لرزه بزرگی بر روی این گسل ثبت نشده است، گسلی فعال در این زمان است. 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 کوواترنری (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، تعیین بهتر میزان فعالیت در بخش های مختلف گسل درونه را آشکار

#### سپاسگزاری

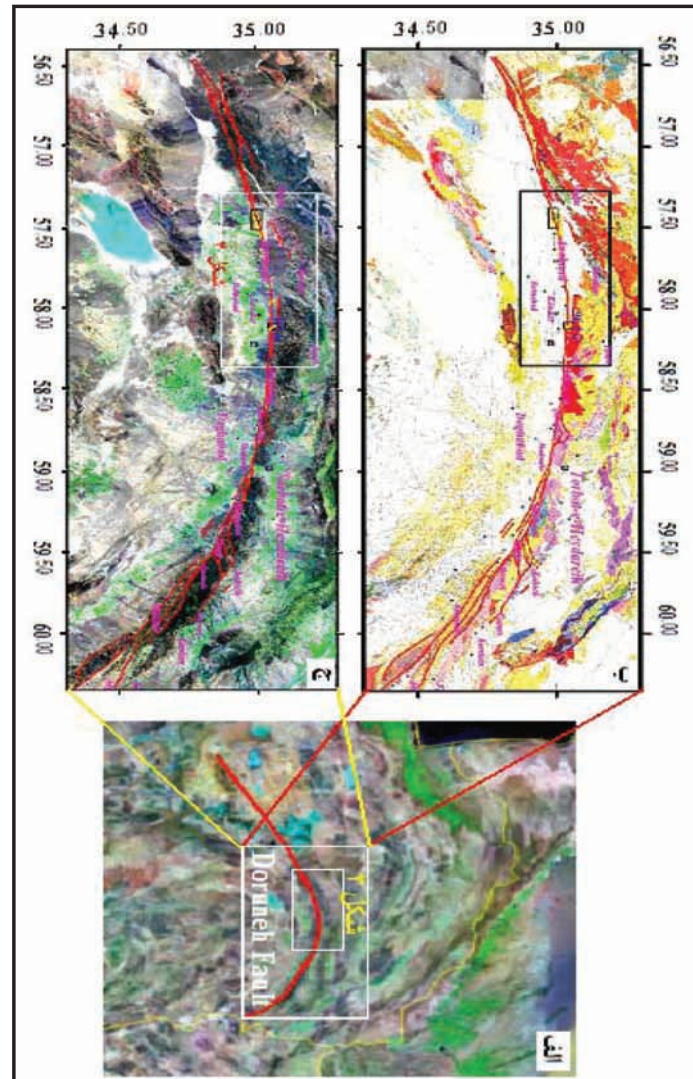
با تشکر از آقای مهندس جوادی که عکس های هوایی اطراف گسل درونه را در اختیار قرار دادند و نیز با تشکر از آقای دکتر توکلی که اطلاعات نرخ لغزشی که بر روی گسل درونه به دست آورده اند و نتایج نهایی کار خود را در اختیار نویسندگان قرار دادند.



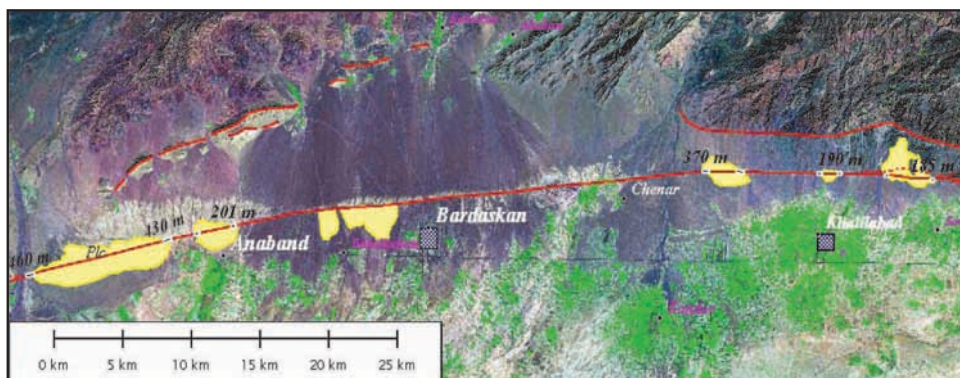
شکل ۱- تصویر نمادین از توزیع ناهمبندگی (uneven) برش راست بر شمالی - جنوبی بر روی سامانه گسل های ایران مرکزی در خاور. تجمع برش راست بر در گسل های مرکزی و خاوری باعث ایجاد چرخش چپ بر بر روی گسل درونه می شود (Walker & Jackson, 2004).

جدول ۱- مقایسه میزان جابه جایی بخش های باختری و خاوری سنگ جوش های نئوژن 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.

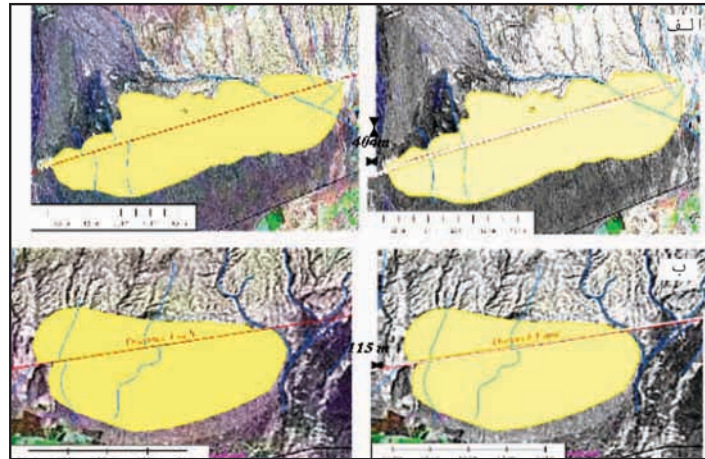
شکل	موقعیت	جابه جایی (متر)			
		اندازه گیری شده در واحدها		اندازه گیری شده در آبراهه ها	
		محل	مقدار	محل	مقدار
۴- الف	باختر انابد ۳۵°۱۴'N, ۵۷°۳۹'E ۳۵°۱۵'N, ۵۷°۴۵'E	باختر	۴۵۷	۳۴۰	۱۸۲۸۰۰
		خاور	۴۳۷	۴۰۴	۱۶۱۶۰۰
				۲۰۷	۸۸۰۰
				۱۸۱	۷۲۴۰۰
۴- ب	شمال انابد ۳۵°۱۶'N ۵۷°۴۸'E, ۵۷°۴۷'E	باختر	۲۰۱	۷۹	۸۰۴۰۰
		خاور	۲۰۱	۱۱۵	۸۰۴۰۰
				۸۸	۳۵۲۰۰
۵- الف	باختر خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۱'E, ۵۸°۱۳'E	باختر	۳۹۴	۳۶۱	۱۵۷۶۰۰
		خاور	۳۶۸	۳۴۹	۱۴۷۲۰۰
				۲۴۵	۹۸۰۰۰
۵- ب	شمال خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۷'E, ۵۸°۱۸'E	باختر	۲۱۲	۶۱	۸۴۸۰۰
		خاور	۱۹۳	۳۶	۷۷۲۰۰
				۵۷/۵	۲۳۰۰۰
۵- ج	خاور خلیل آباد ۳۵°۱۷'N ۵۸°۱۹'E, ۵۸°۲۲'E	شاخه بالایی	۱۰۵	۵۲	۴۲۰۰۰
			۹۱	۵۶	۳۶۴۰۰
			۱۰۹	۶۵	۴۳۶۰۰
			۹۶/۵	۳۸۶۰۰	۲۶۰۰۰
		شاخه پایینی	۱۵۰	۷۸	۶۰۰۰۰
			۱۸۵	۵۵	۷۴۰۰۰
		۷۴	۲۹۶۰۰		
		۶۹	۲۷۶۰۰		



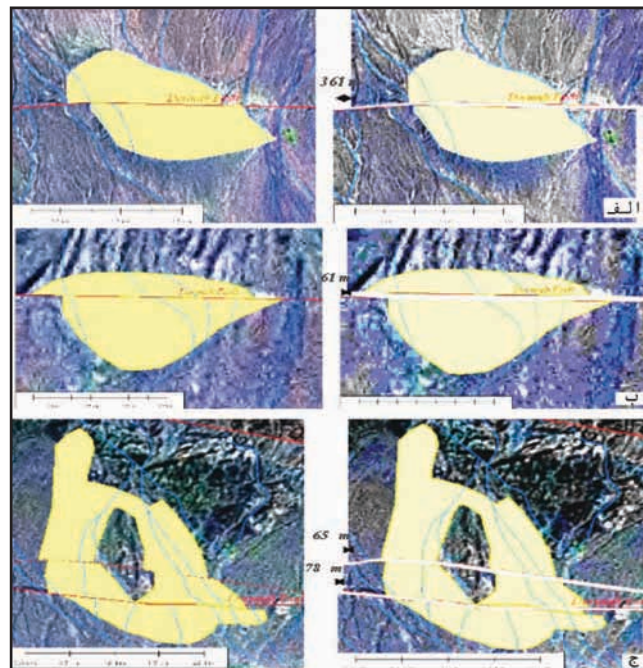
شکل ۲- الف) تصویر ماهواره ای گوگل (کوئیک برد) موقعیت گسل درونه به صورت خط قرمز و گستره مورد بررسی با مستطیل سفید در شمال خاور ایران نشان داده شده است. ب) نقشه زمین شناسی و موقعیت بخشی از گسل درونه که واحدهای زمین شناسی آن مورد بررسی قرار گرفته است به صورت خط قرمز در داخل مستطیل ها نشان داده شده. ج) تصویر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



شکل ۳- واحدهای زمین شناسی نوژن و جابه جایی های آنها در گستره بی  $58^{\circ}22'$ ،  $57^{\circ}39'$  درجه 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 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

- آقائباتی، 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- Geomorphoc 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.