

## دگرریختی فعال و لرزه خیزی سامانه گسل درونه در شمال خرد قاره ایران مرکزی با نگرشی بر زمین لرزه‌های ۱۹۰۳ ترشیز و ۱۹۲۳ کاج درخت

حمیدرضا جوادی کاریزکی<sup>۱\*</sup>، مجید شاه‌پسندزاده<sup>۲</sup>، محمدرضا قاسمی<sup>۱</sup>، مرضیه استرایی آشتیانی<sup>۱</sup>

۱- سازمان زمین شناسی کشور و اکتشافات معدنی کشور

۲- دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان

\*پست الکترونیک: hr\_javadi@gsi.ir

### چکیده

سامانه گسل درونه به عنوان یکی از گسل‌های جنبای فلات ایران نقش مهمی در دگرریختی و ریخت شناسی این پهنه بازی کرده است. این سامانه گسلی خاستگاه زمین لرزه‌های اندکی در سده بیستم بوده است. بررسی دقیق‌تر ویژگی‌های لرزه‌ای این گسل نشان‌گر آن است که با وجود جنبش زیاد گسل درونه در عهد حاضر، تعداد رویداد زمین لرزه‌ها و بزرگای آنها بر روی این گسل کم است. این موضوع ممکن است به سبب دوره بازگشت طولانی زمین لرزه‌ها، پایین بودن نرخ لغزش و یا عملکرد خزش بر روی آن باشد. با وجود این شواهدی مبنی بر رویداد زمین لرزه‌ای همراه با گسیختگی سطحی در راستای آن به چشم می‌خورد.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه گسل درونه، لرزه خیزی، ریخت زمین ساخت.

### مقدمه

را در این بخش از فلات ایران نشان می‌دهد. عمده روکانون زمین لرزه‌های دستگاهی پیرامون سامانه گسل درونه بر روی پهنه‌های گسلی کلمرد، آبیز و دشت بیاض متمرکز است که گاه زمین لرزه‌هایی بزرگای بیش از ۶ را نیز به وجود آورده‌اند در حالی که بر روی سامانه گسل درونه زمین لرزه‌های اندکی با بزرگای متوسط بیشتر از ۴ گزارش شده است، ضمن این که تعدادی از آنها با بزرگای ۵ تا ۶ می‌باشند. نرخ لغزش افقی در بخش میانی گسل به میزان  $0.3 \pm 2/4$  بر آورد شده است (فتاحی و همکاران، ۲۰۰۷). بر این اساس می‌توان دوره بازگشت زمین لرزه‌ای با بزرگای ۷ را بر روی این بخش از گسل بر پایه مطالعات (سلمونز و دپلو، ۱۹۸۶) در حدود ۶۵۰ سال پیشنهاد نمود. نزدیکی گسل درونه با شهرها و روستاهای حاشیه آن، اهمیت بررسی

در بسیاری از مناطق فعال قاره‌ای، گسل‌های راست‌الغز بزرگ با طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر دیده می‌شوند، که قادرند زمین لرزه‌های بزرگی ایجاد کنند. این گسل‌ها در ایجاد دگرشکلی‌های داخل قاره‌ای عامل مهمی محسوب می‌شوند (کوروشین و همکاران، ۱۹۹۷؛ لاسره و همکاران، ۱۹۹۹ و واکر و جکسون، ۲۰۰۴). سامانه گسل درونه با طولی حدود ۹۰۰ کیلومتر (جوادی، ۱۳۸۵)، در بین پهنه‌های کوهستانی بینالود و کپه داغ با روند ساختاری خاوری - باختری در شمال و بلوک‌های ساختاری خاور ایران، بلوک لوت و بلوک یزد در جنوب با روندهای ساختاری شمالی - جنوبی قرار دارد. توزیع روکانون زمین لرزه‌های دستگاهی در ناحیه شمال ایران مرکزی وجود منطقه‌ای فعال و لرزه‌خیز

در این استان در نوار سندج - سیرجان که به عنوان حاشیه فعال قاره‌ای جنوب باختر ایران مرکزی در مزوزوئیک در نظر گرفته می‌شود (بربریان، ۱۹۸۱). حدود ۵۰ تا ۵۵ کیلومتر است؛ در حالی که بر اساس مطالعات ثقل سنجی دهقانی و ماکریس (۱۹۸۳) ضخامت پوسته دیگر نواحی ایران مرکزی بین ۳۶ تا ۵۰ کیلومتر است.

۲- شواهد ریخت زمین ساختی مرتبط با جنبش سامانه گسل درونه فاصله سامانه گسل درونه از پیشانی کوهستان در بیشتر ناحیه مورد بررسی کمتر از ۱ کیلومتر است (شکل ۱). در بسیاری از نقاط مطالعه شده، سامانه گسلی به صورت دسته‌ای از گسل‌های موازی هم است که در مجموع پهنه‌ای به عرض تقریبی ۲ کیلومتر را تشکیل می‌دهد، اما به نظر می‌رسد که تنها یک یا دو گسل از این سری فعال و دارای حرکات جدید می‌باشند (چالنگو و همکاران، ۱۹۷۳).

در جنوب تربت حیدریه سامانه گسل درونه به صورت چند شاخه موازی هم مشاهده می‌شود، شاخه شمالی این گسل با شیب حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت شمال از میان سنگ ماسه‌های ائوسن و توفهای برشی گذشته و جابه‌جایی کمی نیز از خود نشان می‌دهد. درحالی که شاخه‌های جنوبی و جوانتر آن آبرفته‌های عهد حاضر را در مرز بین کوه و دشت بریده‌اند. میان روستاهای کاج درخت و بوری‌آباد در جنوب تربت حیدریه اثر گسل به صورت پشته باریکی از تراورتن در میان گراولها و نهشته‌های سست دشت مشخص می‌شود (چالنگو و همکاران، ۱۹۷۳). این امر نشان دهنده فعالیت نوین گسل، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و نهشته شدن رسوبات تراورتن ناشی از این فعالیت است. به نظر می‌رسد عملکرد راستالغز چپ بر گسل در این ناحیه سبب ایجاد سنگارد به نسبت چسبنده شده است (شکل ۲).

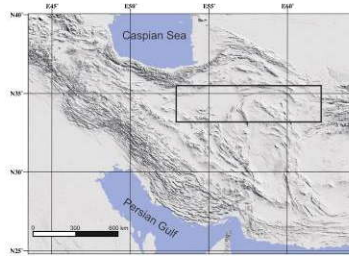
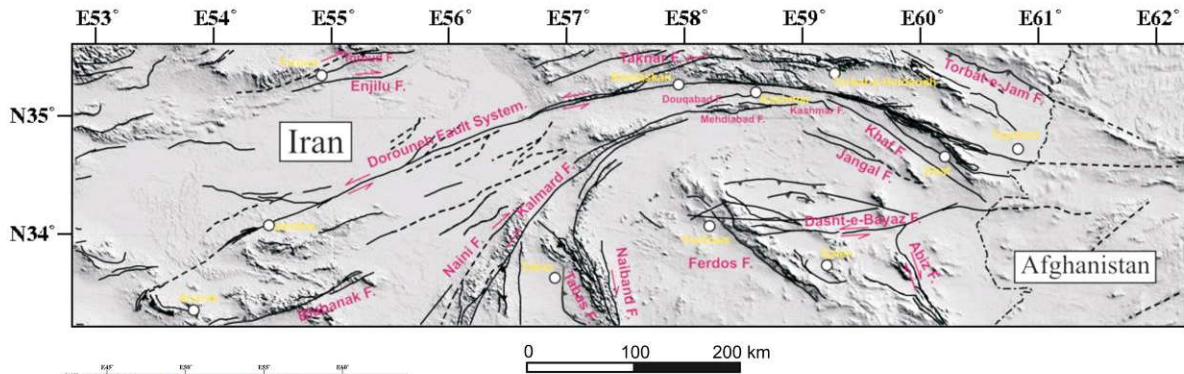
ویژگی‌های ریخت زمین ساختی و توانایی لرزه خیزی آن را نشان می‌دهد. در این مقاله ضمن بررسی ویژگی‌های نوزمین ساختی سامانه گسل درونه و رویداد زمین لرزه‌های ناشی از آن، به مطالعه دقیق‌تر شواهد سطحی هم‌لرزه‌ای گسلش در زمین لرزه‌های ۱۹۰۳ ترشیز و ۱۹۲۳ کاج درخت پرداخته می‌شود. در این پژوهش، به منظور بررسی گسلش فعال و لرزه‌خیزی این سامانه گسلی بخشی از گسل میان شهرهای تربت حیدریه و بردسکن با بیشترین تمرکز روکانون زمین لرزه‌های دستگاهی و تاریخی مورد بررسی قرار گرفته است. افزون بر این، ناحیه مورد بررسی دربردارنده بیشترین شواهد ریخت زمین ساختی ناشی از جنبش این گسل در عهد حاضر است.

## بحث

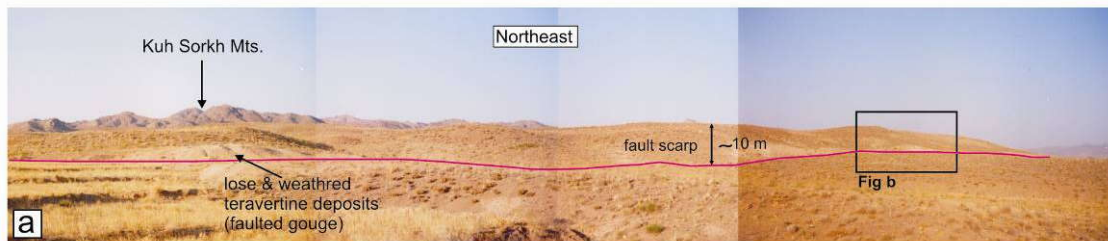
### ۱- زمین ساخت جنبا

توزیع روکانون زمین لرزه‌های دستگاهی در ناحیه شمال ایران مرکزی وجود منطقه‌ای فعال و لرزه‌خیز را در این بخش از فلات ایران نشان می‌دهد. لرزه خیزی در ایران مرکزی به طور عمده به پهنه‌های گسلی لرزه‌زا که بلوک‌های به نسبت پایدار را احاطه کرده‌اند، محدود می‌باشد. این لرزه خیزی متأثر از حرکت رو به شمال ورقه عربی به سوی ورقه اوراسیاست که سرعت آن در طول جغرافیایی  $56^{\circ}E$  در حدود  $25 \text{ mmyr}^{-1}$  است (ورنات و همکاران، ۲۰۰۴).

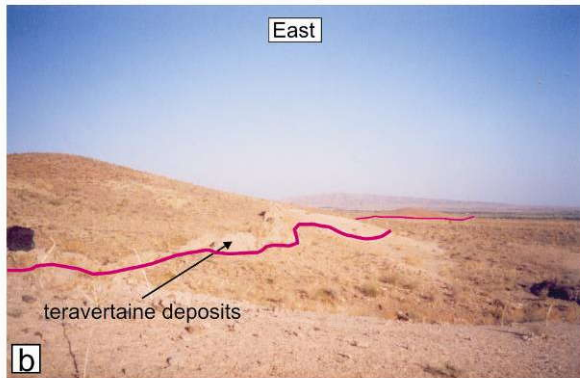
بخش خاوری ایران مرکزی لرزه‌خیزی شدیدتری را نسبت به بخش‌های مرکزی و باختری آن نشان می‌دهد (واکر و جکسون، ۲۰۰۱ و رگارد و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج مدل سازی شکل امواج و مطالعات خرد زمین لرزه‌ها نشان می‌دهد که بیشتر ژرفای کانونی زمین لرزه‌های ایران مرکزی حدود ۸ تا ۲۰ کیلومتر است (بربریان، ۱۹۸۱). عمق پوسته



شکل ۱: سامانه گسل درونه در شمال خرد قاره ایران مرکزی و ارتباط آن با گسلهای همسایه



شکل ۲: a- افزاز سامانه گسل درونه در فاصله میان روستاهای کاج درخت و بوری آباد. بیشینه ارتفاع افزاز گسلی در این ناحیه به حدود ۱۰ متر می رسد. b- برونزد نهشته های جوان تراورتن در امتداد سامانه گسل درونه در این منطقه، بخشهایی از این نهشته ها خرد شده و فرسایش یافته اند که وضعیتی شبیه به سنگارد یافته اند.



## ۱-۲- جابه جایی آبراهه ها

می آورند و با ورود به دشت رسوبات خود را به صورت بادزندهای آبرفتی مشخص ته نشست می کنند. جنبش چپ بر سامانه گسلی این آبراهه ها را قطع کرده و به طور مشهود بر روی موقعیت ریخت شناختی آنها تأثیر گذارده است

آبراهه های متعددی وجود دارد که از ارتفاعات شمالی (رشته کوه های کوه سرخ) سرچشمه گرفته و عمود بر سامانه گسل درونه به سوی دشت جنوبی جریان می یابند. این آبراهه ها در کوهستانها دره های شیب دار و عمیقی را پدید

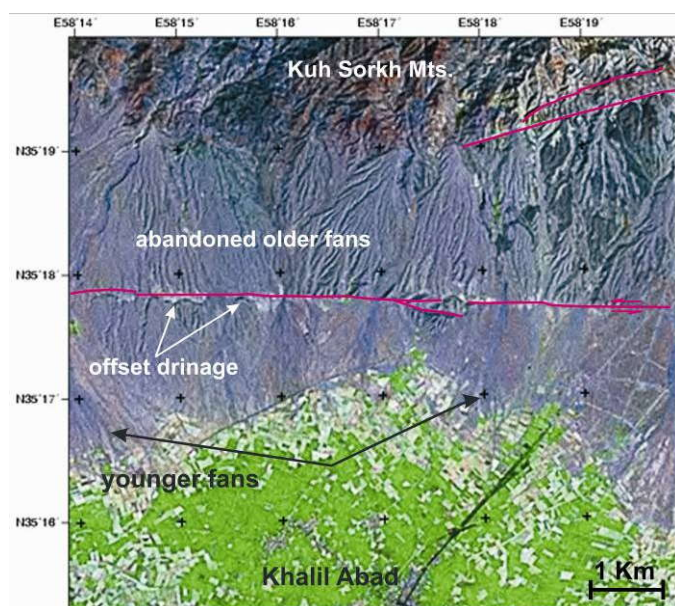
که از واریزه‌ها، گراول، ماسه، سیلت و رس تشکیل شده‌اند (گیسرن و همکاران، ۱۹۸۴).

جدیدترین بادزندهای آبرفتی که هم‌اینک نیز رسوب‌گذاری در آنها انجام می‌پذیرد در فاصله نسبتاً زیادی نسبت به سامانه گسل درونه و در سوی جنوبی آن تشکیل می‌شود، در حالی که بریده شدن بادزندهای آبرفتی قدیمی را در شمال این بادزندهای جوان و در محل گسل می‌توان مشاهده نمود. آبرفتهای قدیمی عموماً دارای ارتفاع زیادتری نسبت به بادزندهای جدید هستند و به علت فعالیت جدید سامانه گسل درونه، تقریباً تمامی آنها در محل تقاطع با گسل قطع و جابه‌جا شده‌اند (شکل ۳).

(شکل ۳). میان شهرهای رشتخوار تا بردسکن، رودخانه‌ها به طور منظم جابه‌جا شده و به طور مشخصی مؤلفه حرکت راستالغز چپ بر گسل را نشان می‌دهند. میزان این جابه‌جایی در فاصله میان تربت حیدریه تا کال شش تراز در باختر خلیل آباد به وضوح مشاهده می‌شود.

## ۲-۲- بادزندهای آبرفتی

نهشته‌های بادزن‌های آبرفتی، بخش قابل توجهی از کوهپایه‌های جنوبی رشته کوه‌های کوه سرخ را می‌پوشانند. این نهشته‌ها به دلیل اندازه بزرگشان مهمترین زمین‌چهره منطقه به شمار می‌آیند. در این ناحیه (سامانه گسل درونه از جنوب تربت حیدریه تا بردسکن) بادزندهای آبرفتی به طور جانبی به هم پیوسته‌اند و با جادای موربی را تشکیل می‌دهند



شکل ۳: تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر از توسعه بادزندهای جوان در بلوک جنوبی سامانه گسل درونه. جوانترین بادزندهای آبرفتی در در فاصله زیادی از پیشانی کوهستان تشکیل شده‌اند. به انقطاع بادزندهای قدیمی و جابه‌جایی آبراهه‌ها به واسطه عملکرد راستالغز چپ‌بر گسل درونه توجه شود.

گسل) نسبت به دشت در گذر زمان است که به احتمال قوی به سبب مؤلفه فشاری سامانه گسل درونه است. اکثر سازوکارهای کانونی زمین لرزه‌ها مانند زمین لرزه ۲۶ می ۱۹۷۱ نیز وجود مؤلفه معکوس را برای این جنبشهای لرزه‌ای گسل نشان می‌دهند (مکنزی، ۱۹۷۲).

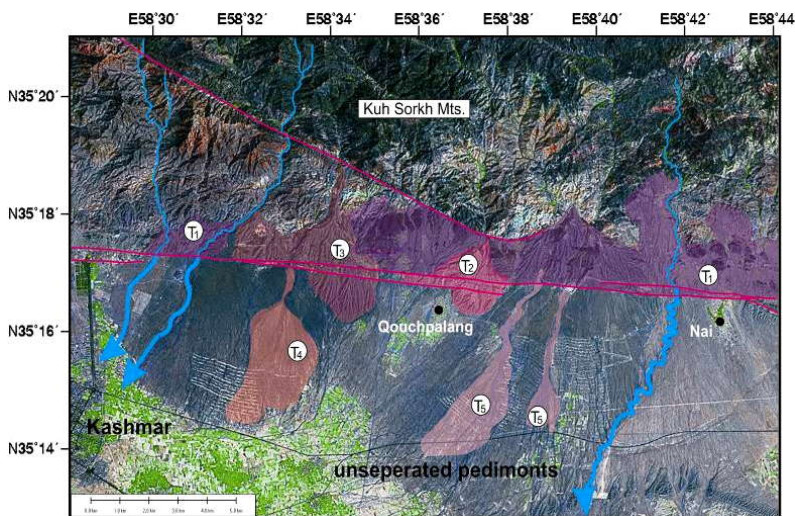
در برخی موارد فاصله میان بادزندهای آبرفتی کنونی با بادزندهای قدیمی به بیش از ۲ کیلومتر می‌رسد (شکل ۴). عدم تشکیل بادزنها به طور طبیعی و فرسایش و شکل‌گیری بادزندهای جدید در پایین دست رودخانه، نشان‌دهنده تغییرات حرکات قائم‌پیشانی کوهستان (بلوک شمالی



### ۲-۳- سامانه پادگانه‌های آبرفتی

پادگانه‌های آبرفتی در راستای رودخانه شش تراز به گونه منحصر به فردی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶). در امتداد این رودخانه شش پادگانه وجود دارد که با راستای تقریبی شمالی- جنوبی و با زاویه تقریباً قائم نسبت به افراز سامانه گسل درون تشکیل شده‌اند (گیسنر و همکاران، ۱۹۸۴).

پادگانه‌های آبرفتی در امتداد رودخانه‌های اصلی که از دامنه جنوبی رشته کوه‌های کوه سرخ منشأ می‌گیرند، دیده می‌شوند. این پادگانه‌ها در امتداد رودخانه‌های بزرگ متقاطع با گسل درون توسعه یافته‌اند به گونه‌ای که می‌توان در چندین روخانه بزرگ این سطوح را تشخیص داد.

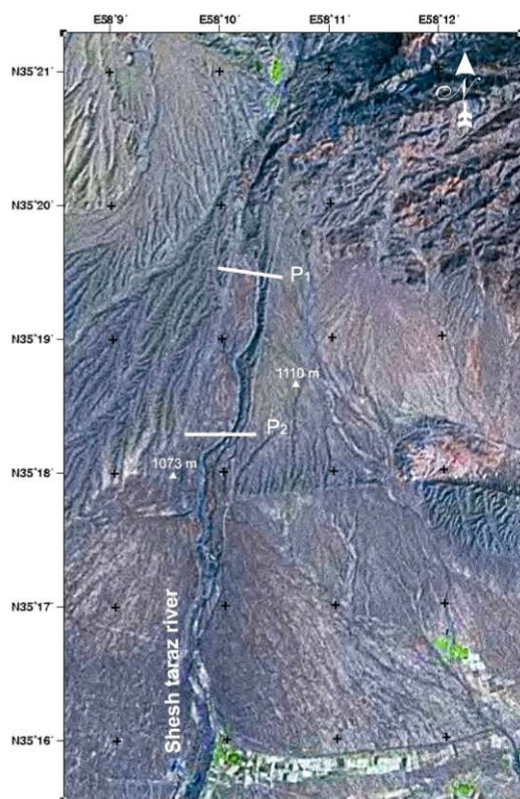


شکل ۴: تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر از سامانه گسل درون در ناحیه میان روستاهای نای و کاشمر. چندین نسل بادزن آبرفتی در این ناحیه وجود دارد، که به ترتیب از قدیم به جدید با شماره مشخص شده‌اند به گونه‌ای که T<sub>1</sub> نمایانگر قدیمی‌ترین پدیمتهای فرایش یافته و T<sub>5</sub> جوانترین بادزنها را نشان می‌دهد. علاوه بر این، همان طور که رودخانه‌ها نشان می‌دهند، بادزندهای عهد حاضر در فاصله بسیار دورتری از پیشانی کوهستان تشکیل می‌شوند. اختلاف حفر رودخانه‌ها در بلوکهای شمالی و جنوبی گسل نیز در ارتباط با جنبش قائم بلوک شمالی گسل قابل توجه است.

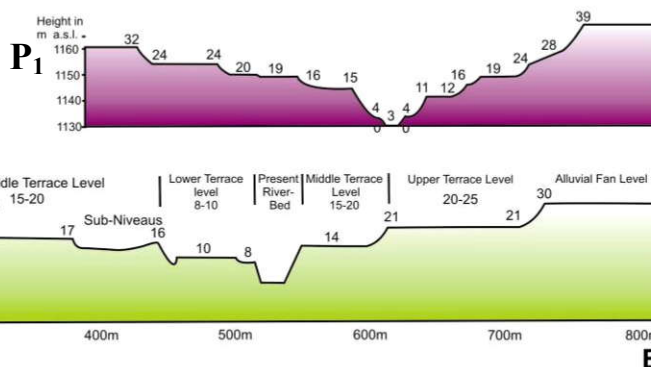
### ۲-۴- سطوح فرسایشی

که سطوح فرسایشی به واسطه فعالیت‌های زمین ساختی فرایش یافته‌اند (گیسنر و همکاران، ۱۹۸۴). پدیمتها و بادزندهای آبرفتی در راستای سامانه گسل درون به دفعات توسط رودخانه‌های جاری از دامنه جنوبی رشته کوه‌های کوه سرخ بریده شده‌اند. در بلوک جنوبی گسل میزان فرسایش عمودی کمتر است و این مسأله به سبب بالاآمدگی زمین ساختی بلوک شمالی است. تغییر عمق فرسایش در آبراه‌های جاری از ارتفاعات شمالی سامانه گسل درون در بلوک شمالی نسبت به بلوک جنوبی نشان می‌دهد که بالاآمدگی زمین ساختی در امتداد گسل درون عامل اصلی افزایش ژرفای رودخانه‌ها (river incision) در بلوک شمالی گسل است.

سطوح فرسایشی (pediments) در امتداد سامانه گسل درون حد فاصل پیشانی کوهستان و افراز خط گسلی تشکیل شده‌اند. این سطوح در قاعده شامل سنگ جوش پلیوسن همراه با سنگ ماسه‌اند که بر روی آن پوششی از رسوبات بادزندهای آبرفتی قرار دارد. ضخامت این رسوبات بادزنی به سمت سامانه گسل درون افزایش می‌یابد. در جنوب این سامانه گسلی سطوح فرسایشی یاد شده دیده نمی‌شوند و این بدان معناست که در زیر باجادا، این سطوح به سمت پایین شیب دارند. به علت حرکات زمین ساختی در امتداد سامانه گسل درون، بلوک شمالی گسل بالا آمده و به همین علت پوشش گراولی نمایان شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت



شکل ۵: a- سطوح پادگانه‌های آبرفتی در امتداد رودخانه شش تران (تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر). b- نمایش دو نیمرخ توپوگرافی از این سطوح:  $P_1$  در فاصله‌ای دور از افراز گسل درونه است در این نیمرخ توسعه پادگانه‌ها بهتر از نیمرخ  $P_2$  که در فاصله‌ای کمتر نسبت به گسل قرار دارد، تشکیل شده‌اند. اعداد بر روی هر سطح معرف ارتفاع آن سطح از سطح مبنای رودخانه است (با تغییرات از کیسنر و همکاران، ۱۹۸۴).



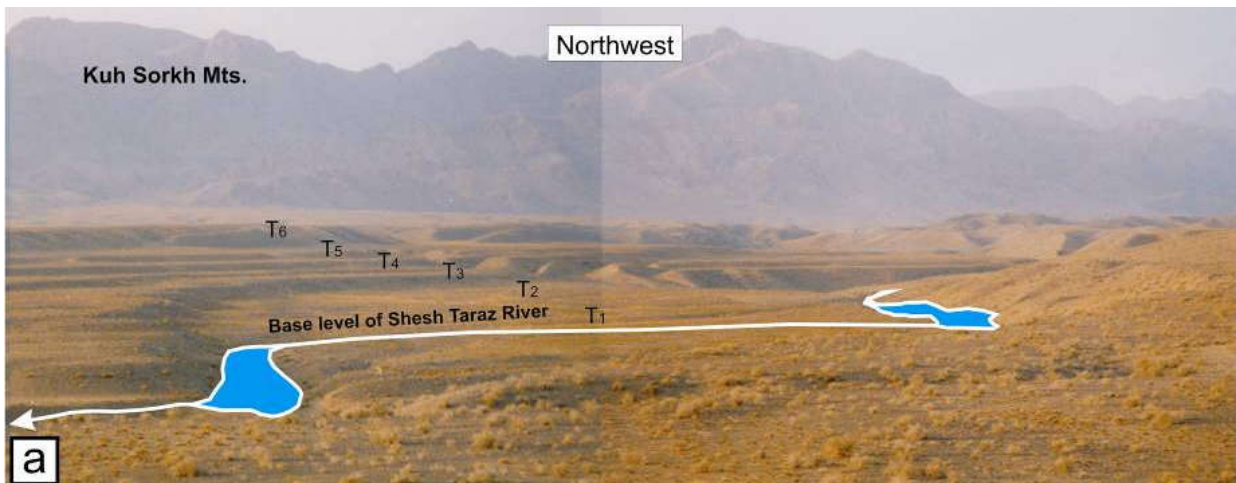
شهر کاشمر (ترشیز) و تربت حیدریه، به ترتیب در ۲۵ سپتامبر ۱۹۰۳ با ۳۵۰ نفر تلفات و ۲۵ می ۱۹۲۳ با ۲۰۰۰ نفر تلفات، دچار ویرانی شده‌اند. به علاوه زمین لرزه ۱۵ اکتبر ۱۹۶۳ نیز باعث ویرانی در فاصله میان این دو شهر شده است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲). در زمین لرزه‌های ۱۹۰۳ و ۱۹۲۳ ناحیه‌ای که بیشترین خسارت را داشت کوچک بود و طیف بزرگای زمین لرزه‌ها حدود ۵-۶ بوده است. چنین زمین لرزه‌هایی با بزرگای متوسط کانونهای بسیار کم عمقی را نشان می‌دهند که دقیقاً زیر منطقه با بیشینه ویرانی قرار می‌گیرند (چالنکو و همکاران، ۱۹۷۳). علاوه بر

### ۳- لرزه خیزی و شواهد لرزه‌ای همراه با جنبش سامانه گسل درونه

شواهد فعالیت لرزه‌ای سامانه گسل درونه (دستگاهی و مه لرزه‌ای) در بخش وسیعی از طول گسل وجود ندارد. در واقع تنها در بخشی از گسل که میان شهرهای تربت حیدریه و کاشمر قرار گرفته است، کانون زمین لرزه‌ها بر روی و یا در نزدیکی گسل قرار گرفته‌اند (شکل ۷). به عبارت دیگر در این ناحیه وضعیت لرزه خیزی نسبت به سایر نقاط ایران به گونه آرام‌تری دنبال می‌شود و تنها دو زمین لرزه با بزرگای امواج پیکری بزرگتر یا مساوی ۶ مشاهده شده است (چالنکو و همکاران، ۱۹۷۳). در این بخش از طول گسل دو

زمین لرزه نهم فروردین ۱۳۷۹ کاشمر با بزرگای  $M_s = 5.0$  به پایان رسید.

زمین لرزه های دستگاهی که در بالا به آنها پرداخته شد، در فاصله زمانی میان زمستان ۱۳۷۸ تا بهار ۱۳۷۹ یک فوج زمین لرزه (earthquake swarm) در ناحیه کاشمر روی داد که با



شکل ۶: a و b نمایش ۶ سطح پادگانه در راستای رودخانه شش تراز در فرادیواره سامانه گسل درونه.

زمین لرزه در این ناحیه وجود ندارد. به عقیده زارع (۱۳۷۹) این موضوع را از دو منظر می توان مورد توجه قرار داد: - در گزارشهای تاریخی بیشتر زمین لرزه های مخرب ثبت می شوند، بنابراین شاید زمین لرزه های با بزرگای کم تا متوسط روی داده باشد ولی چون مخرب نبوده اند ذکر نشده اند. همچنین ممکن است رویدادهای با بزرگای بیشتر

#### ۴- زمین لرزه های تاریخی

ناحیه زلزله زده ترشیز (کاشمر کنونی) در سده بیستم محل رویداد زمین لرزه های متعددی بوده است، اما در ارتباط با زمین لرزه های تاریخی (پیش از سده بیستم) اطلاعات چندانی در دست نیست. به هر حال تا شروع سده نوزدهم میلادی (سال ۱۹۰۳) هیچ گزارشی مبنی بر وقوع

در فواصلی دور از شهرها و آبادیها اتفاق افتاده باشد. به هر حال، عدم اشاره به فعالیت‌های لرزه‌ای سامانه گسل درونه شاید به بی‌لرزه و یا کم‌لرزه‌ای بودن آن در طی چندین سده مرتبط باشد، اما می‌توان نکات زیر را نیز به موارد فوق اضافه کرد:

زمین لرزه‌های تاریخی با توجه به متون قدیمی و در مناطق با تمرکز زیاد جمعیت ثبت شده‌اند، اما با توجه به این که بخش عمده‌ای از گسل درونه از میان نهشته‌های جوان دشت کویر می‌گذرد و نیز تمرکز اصلی جمعیت در بخش خاوری و مرکزی آن واقع است، زمین لرزه‌های تاریخی زیادی بر روی آن به ثبت نرسیده است. به علاوه دوره بازگشت زمین لرزه‌ها نیز اطلاعات دقیقی را از ویژگیهای لرزه‌ای بر روی این سامانه گسلی در اختیار قرار می‌دهد. از این رو احتمال طولانی بودن دوره بازگشت زمین لرزه‌ها بر روی این سامانه گسلی نیز می‌تواند از دلایل کم‌لرزه‌ای بودن آن باشد. به هر حال آنچه مسلم است این که سامانه گسل درونه گسلی جنباست که در عهد حاضر حرکات زیادی بر روی آن ثبت شده است، اما با توجه به موارد ذکر شده در بالا به نظر می‌رسد بیشتر فعالیت این سامانه گسلی بدون لرزه است. شاهد این امر را می‌توان به نبود زمین لرزه‌های بزرگتر از ۷، محدود بودن زمین لرزه‌های بزرگ در سده ۲۰ و ۲۱ و جابه‌جاییهای زیاد و متعدد که بر روی سامانه قناتهای حفر شده و عمود بر گسل مشاهده نمود. هر چند که می‌توان عدم وقوع زمین لرزه‌های بزرگتر از ۷ بر روی این سامانه گسلی را به نرخ لغزش کم و طولانی بودن دوره بازگشت زمین لرزه‌ها نسبت داد، اما جابه‌جایی نسبتاً زیادی که بر روی قناتهای متقاطع با گسل دیده می‌شود، و نیز نحوه حفر پی‌درپی قناتها در محل گسل حکایت از حرکت آرام غیر لرزه‌ای گسل درونه در عهد حاضر دارد.

به احتمال جابه‌جایی قناتها و جابه‌جایی چپ‌بر نسبتاً زیادی که در راستای این گسل به روشنی مشاهده می‌شود به صورت خزش می‌باشد. به علاوه فعالیت لرزه‌ای آن نیز بیشتر فوج گونه و با رویداد زمین لرزه‌هایی با بزرگای متوسط است.

به هر حال نزدیکی تعدادی پهنه‌های مه‌لرزه‌ای از زمین لرزه‌های تاریخی (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲) با سامانه گسل درونه، ارتباط آنها را با این گسل ممکن می‌نماید. ضمن این که باید بیان نمود زمین لرزه‌های زیر همگی در بخش خاوری سامانه گسل درونه و در نزدیکی گسلهای کوتاه‌تری خواف و جنگل روی داده‌اند.

#### ۴-۱- زمین لرزه ۷۶۳ میلادی، خراسان

در سال ۷۶۳ میلادی زمین لرزه فاجعه باری در خراسان روی داد که کوه‌ها را از جای خود حرکت داد و هیچ درخت و سنگی را بر جای خود استوار باقی نگذاشت. بازشناختن ناحیه آسیب دیده ناممکن است اما لرزه‌ای که زمین لغزه‌هایی را به راه انداخته و یا با دگرریختیهای زمین همراه بوده است، به گمان به هیچ‌یک از مراکز مهم جمعیتی آسیب نرسانده است. محل احتمالی این زمین لرزه که راههای ارتباطی مهمی از آن می‌گذشته است، منطقه قهستان (خواف، قاین، طبس) و یا ناحیه جاجرم، جوین و یا نیشابور بوده است.

#### ۴-۲- زمین لرزه ۱۲۱ اکتبر ۱۳۳۶ میلادی، خواف

در اوایل بامداد دوشنبه ۱۴ ربیع الاول ۷۳۷ قمری زمین لرزه فاجعه باری در خراسان، در منطقه خواف روی داد. شهر جرد به تمامی ویران شد (شهر جرد امروزه وجود ندارد و محل آن نیز نامشخص است اما این احتمال وجود دارد که



البته ارتباط این گسل با زمین لرزه مذکور کاملاً آشکار نیست.

#### ۵- زمین لرزه‌های دستگاهی بر روی سامانه گسل درون

با شروع سده بیستم و شکل گیری دستگاههای لرزه‌نگاری وقوع چندین زمین لرزه در بخشهای میانی سامانه گسل درون گزارش شده است که عمدتاً در راستا و یا نزدیک به این سامانه گسلی روی داده‌اند (شکل ۷). دو زمین لرزه ۱۹۷۱/۵/۲۶ و ۱۹۷۲/۱۲/۱ به یقین به دنبال فعال شدن گسل تکنار (ریوش) به وقوع پیوسته‌اند، اما قرار گیری روکانون زمین لرزه ۱۹۷۹/۱۲/۹ در نزدیکی سامانه گسل درون نشان دهنده فعالیت این گسل و بروز زمین لرزه مذکور است. روکانون دو زمین لرزه ۱۹۹۴/۱۲/۱۴ و ۱۹۹۶/۲/۲۵ (NEIC) در فواصل نسبتاً دوری نسبت به سامانه گسل درون قرار دارند. زمین لرزه ۱۹۹۴/۱۲/۱۴ به احتمال زیاد به دنبال جنبش گسل معکوس کاشمر رخ داده است. در هر صورت سازوکار کانونی این زمین لرزه‌ها در نمایش وضعیت لرزه خیزی و گسلش فعال مرتبط با سامانه گسل درون حایز اهمیت است (شکل ۷).

#### ۵-۱- زمین لرزه ۲۵ سپتامبر ۱۹۰۳ میلادی - ترشیز ( $M_s=5.9$ )

زمین لرزه شدیدی در منطقه ترشیز (نام قدیم شهر کاشمر) روی داد. بر اثر این رویداد ۳۵۰ نفر کشته شدند. در ترشیز آسیبها به ویژه در بخشهای جنوبی شهر متمرکز بود که در آن تقریباً همه خانه‌ها ویران شد و ۸۰ تا ۱۰۰ نفر جان خود را از دست دادند. در حالی که در بخشهای حومه شمالی شهر به رغم وجود خسارات به منازل، هیچ یک از آنها ویران نشد و این در حالی بود که در روستاهای بیرون از شهر که در باختر ترشیز قرار داشتند ویرانی تقریباً کامل بود

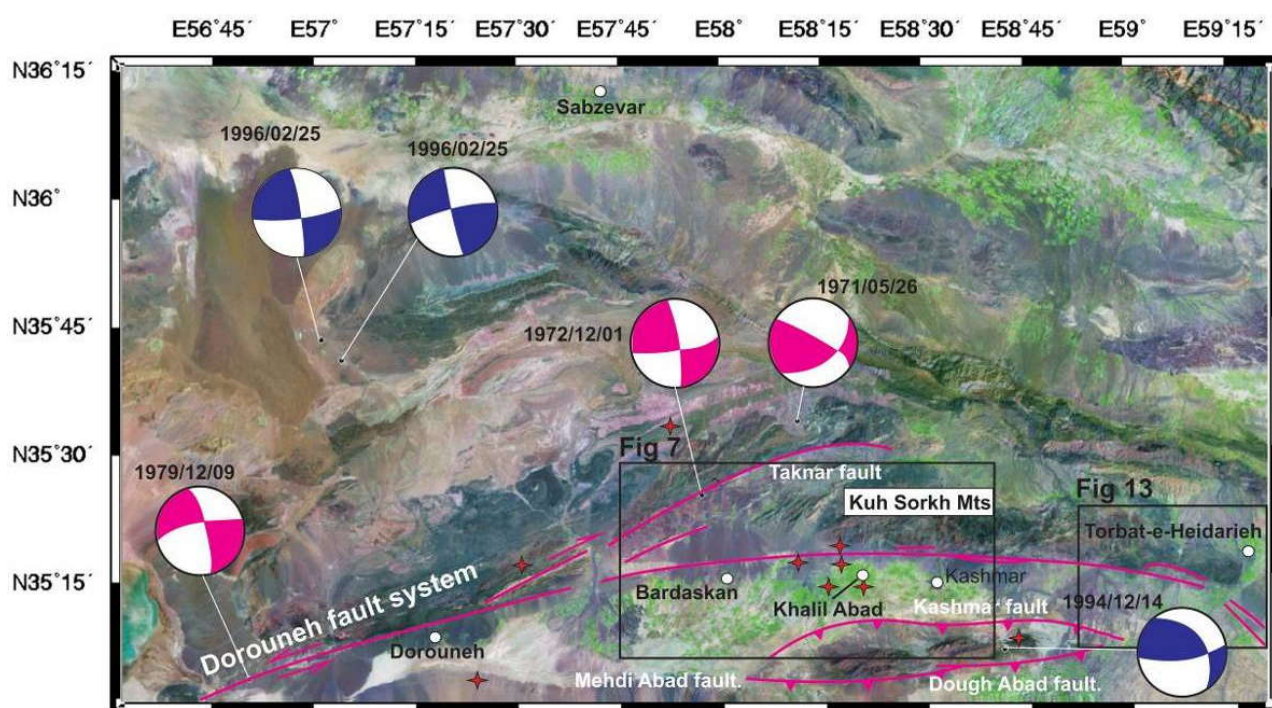
شهر جرد همان سنگان باشد). در روستاهای میان جرد و زوزن ۲۰ تا ۳۰ هزار نفر جان خود را از دست دادند. محور بلند ناحیه مه لرزه ای در حدود ۱۱۰ کیلومتر درازا دارد و در مناطقی موازی با گسلهای کواترنری است. گسلهای یاد شده با آزمون ۱۴۰ تا ۱۵۰ درجه عموماً از آبرفتیهای کواترنری می گذرند. البته آمبرسیز و ملویل (۱۹۷۷) در بررسیهای صحرائی خود در ناحیه رشتخوار و فرح آباد هیچ پهنه گسلی کواترنری را گزارش نمی کنند و بر این اساس سیمای زمین ساختی جوان، کوتاه و ناپیوسته منطقه را عامل زمین لرزه معرفی کرده اند. ایشان بیان می نمایند که "این ناحیه از هر گونه نشانه‌ای که گواه فعالیت زمین ساختی عمده‌ای باشد، تهی است"، اما باید ذکر نمود که گسلهای جنبای خواف و جنگل و نیز گسلهای پایانه خاوری سامانه گسل درون بزرگترین و اصلی ترین گسلهای نزدیک به این زمین لرزه هستند که نمی توان ارتباط آنها را با این زمین لرزه بزرگ نادیده گرفت. بزرگ بودن ناحیه کلان لرزه‌ای، موازی بودن با گسلهای جوان و کواترنری، آثار زمین لرزه بر منابع تأمین آب به ویژه قناتها و دیرش (duration) طولانی آن نشان دهنده زمین لرزه‌ای با بزرگای زیاد است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲).

#### ۴-۳- زمین لرزه مه ۱۶۱۹ میلادی، دوغ آباد

زمین لرزه ویرانگری در ناحیه زاوه و محولات از توابع شهرستان تربت حیدریه در سال ۱۶۷۹ میلادی دوغ آباد را کاملاً ویران نمود. با این که بیشتر مردم در مزارع و کشتزارها بودند، زمین لرزه حدود ۸۰۰ نفر را از بین برد. این رویداد از تمامی زمین لرزه‌هایی که پیش از آن در منطقه روی داده بودند بزرگتر تلقی شد. عمده ترین پهنه گسلی نزدیک به این ناحیه بخش خاوری سامانه گسل درون است.

گونه گواهی مبنی بر این که این زمین لرزه با جنبش این گسل همراه بوده باشد در دست نیست. این زمین لرزه در شاهرود و ترود حس شد، اما در مشهد دریافت پذیر نبود و پس لرزه‌های آن به مدت دو ماه روی می‌داد که سبب آسیبهای بیشتری به ناحیه شد.

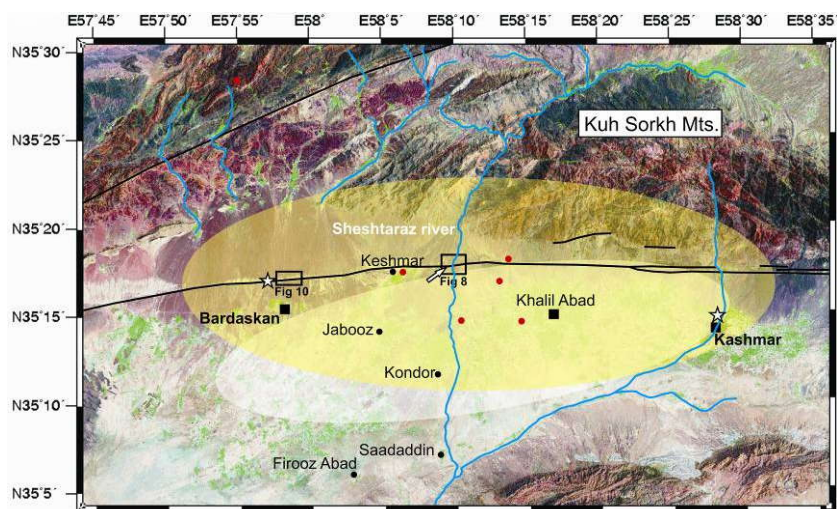
و بیش از ۱۵۰ تن کشته شدند (شکل ۸). زمین لرزه سبب فروریزش محلی زمین به ویژه در شمال نصرآباد شد و در تپه‌های شمال ترشیز سنگ‌ریزشهایی روی داد. همچنین در جریان آب چشمه‌ها و چاهها نیز تغییراتی مشاهده شد. البته ارتباط میان زمین لرزه ترشیز با سامانه گسل درونه آشکار است (شکل ۸)، اما به گمان آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، هیچ



شکل ۷: سازوکار کانونی زمین لرزه‌های پیرامون سامانه گسل درونه، سازوکارهای به رنگ قرمز از (جکسون و مکنزی، ۱۹۸۴) و سازوکارهای به رنگ آبی مربوط به (NEIC, PDE) می‌باشد. شهرها با دایره سفید رنگ و روکانون زمین لرزه‌های دستگاهی با بزرگای بیشتر از ۵ با ستاره‌های قرمز رنگ نشان داده شده‌اند. سازوکارهای ژرفی زمین لرزه‌های ۱۹۷۱/۵/۲۶، ۱۹۷۲/۱۲/۱ و ۱۹۷۹/۱۲/۹، جنبش راست‌الغز چپ‌بر را در بخش میانی سامانه گسل درونه نشان می‌دهد.

مذکور، نیز در برداشتن بخشهای شمالی سامانه گسل درونه را در این پهنه محتمل می‌نماید. علاوه بر موارد بالا، در بررسیهای صحرایی در راستای سامانه گسل درونه اثراتی از گسیختگیهای سطحی همراه با رویداد زمین لرزه و جابه‌جاییهای کوچک آبراهه‌ها در امتداد این گسیختگیها مشاهده شد که می‌توان آنها را به زمین لرزه سال ۱۹۰۳ نسبت داد:

قرار گیری پهنه مه‌لرزه‌ای که توسط آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲) برای این زمین لرزه معرفی شده است، در سوی جنوبی سامانه گسل درونه به سبب نبود روستاها و مراکز جمعیتی در شمال گسل بوده است. علاوه بر این اثر شیب سامانه گسل درونه را نیز در شکل گیری پهنه مه‌لرزه‌ای این زمین لرزه باید در نظر گرفت. تمرکز روکانون زمین لرزه‌های دستگاهی با بزرگای بیشتر از ۵ در شمال پهنه مه‌لرزه‌ای



شکل ۸: پهنه مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه ۱۹۰۳ ترشین. پهنه کوچکتر برگرفته از آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲). پهنه بزرگتر بازسازی شده بر پایه وجود خرابیها در کاشمر و شمال باختر بردسکن و نیز قرارگیری گسیختگیهای سطحی در شمال باختر بردسکن و حوضه جدایشی-کششی شش‌تراز می‌باشد. دوایر رومرکز زمین‌لرزه‌های دستگاهی، پیکانها محل گسیختگیهای سطحی و ستاره‌ها محل خرابیها را نشان می‌دهد.

متفاوت که نشان دهنده جابه‌جایی تجمعی (cumulative displacement) در راستای سامانه گسل درون است، به دفعات مشاهده می‌شود (شکل ۱۳).

#### ۵-۲- زمین لرزه ۲۵ مه ۱۹۲۳ میلادی - کاج درخت ( $M_s=5.8$ )

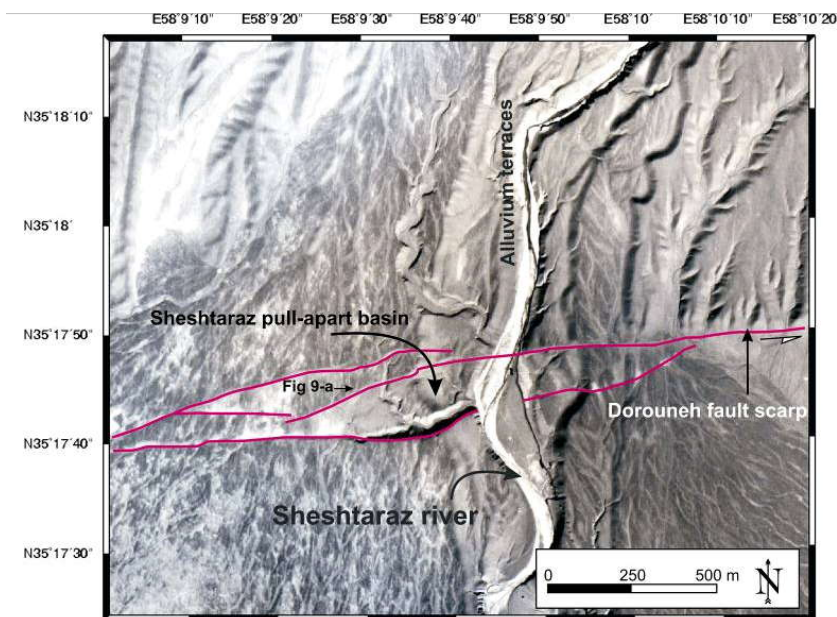
به دنبال پیش‌لرزه محلی ولی خسارت‌بار در عباس‌آباد، زمین لرزه‌ای در صبحگاه ۲۵ مه ۱۹۲۳ میلادی پنج روستا را در ناحیه پرجمعیت کاج درخت (جنوب تربت حیدریه) کاملاً ویران و به بیست روستای دیگر خسارات زیادی وارد کرد. ۷۷۰ نفر در این زمین لرزه از بین رفتند. زمین لرزه تغییرات موقتی در جریان آب زیرزمینی قناتها ایجاد نمود که شماری از آنها پس از زمین لرزه به صورت متروک رها شدند. دامنه ویرانها عمدتاً به سمت خاور پهنه مه‌لرزه‌ای گسترش داشت که در آن ۹۰ تن کشته شدند (شکل ۱۴). این زمین لرزه در تربت حیدریه نیز سبب ویرانی و کشتار شد. این لرزه در رباط سفید (میان راه تربت حیدریه به مشهد) و تربت جام حس شد و در مشهد دریافت پذیر بود. پس لرزه‌های آن پس از لرزه اصلی به مدت بیش از ۳ ماه ادامه داشت. رشته این پس لرزه‌ها با لرزشی در عباس‌آباد که

- در باختر رودخانه شش‌تراز در اثر عملکرد چپ‌بر سامانه گسل درون و هندسه چپ‌پله آن موقعیت تراکشش منطقه‌ای ایجاد شده و حوضه جدایشی - کششی را به وجود آورده است. این حوضه هم‌اینک نیز در حال توسعه بوده و مراحل تکاملی خود را طی می‌نماید (شکل ۹) و جوانترین رسوبات عهد حاضر (هولوسن)، امروزه در این حوضه در حال ته‌نشست است. سامانه گسلی درون در محل حوضه جدایشی - کششی شش‌تراز به صورت سه شاخه گسلی جوان و فعال کواترنری، شامل شاخه‌های شمالی، میانی و جنوبی مشاهده می‌شود (شکل ۹). در امتداد شاخه میانی (جابه‌جاییهای کوچک ۷۰ تا ۸۰ سانتی‌متر) در راستای آبراهه‌های بسیار جوان عهد حاضر مشاهده می‌شود که به گمان معرف جابه‌جایی افقی در اثر رویداد زمین لرزه ۱۹۰۳ است (شکل ۱۰).

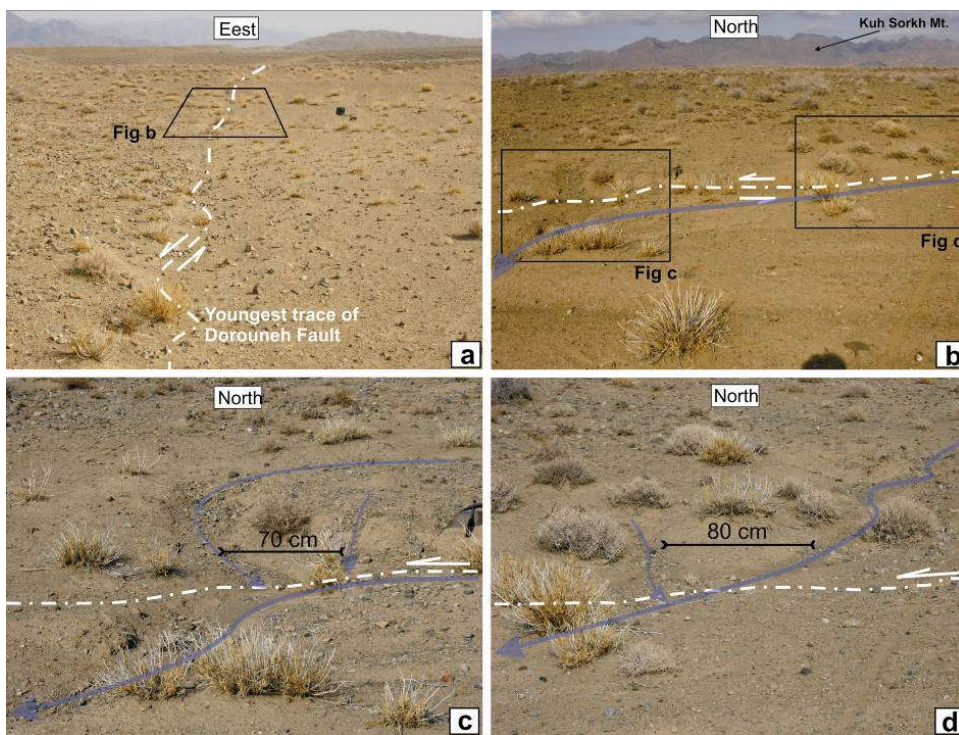
- در شمال و شمال باختر بردسکن نیز شواهدی مبنی بر گسیختگی سطحی زمین در اثر رویداد زمین لرزه‌های سده بیستم (زمین لرزه ۱۹۰۳) و جابه‌جایی چپ‌بر آبراهه‌های عهد حاضر مشاهده می‌شود (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). در این منطقه انحراف و جابه‌جایی آبراهه‌ها و قناتها با مقادیر



طی آن چند خانه فرو ریخت و یک تن کشته شد به پایان رسید (آمرسیز و ملویل، ۱۹۸۲).



شکل ۹: تشکیل و توسعه حوضه جدایشی - کششی (pull-apart basin) در راستای سامانه گسل درونه، باختر رودخانه شش تراز. (عکس هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰).



شکل ۱۰: a- اثر گسیختگی سطحی زمین در راستای سامانه گسل درونه در حوضه جدایشی - کششی باختر رودخانه شش تراز. b- جابه‌جایی آبراه‌های عهد حاضر در راستای گسیختگی ذکر شده. c- انحراف چپ‌بر به میزان حدود ۷۰ سانتی‌متر d انحراف چپ‌بر و سربریده شدن آبراهه خاوری شکل b به میزان حدود ۸۰ سانتی‌متر.

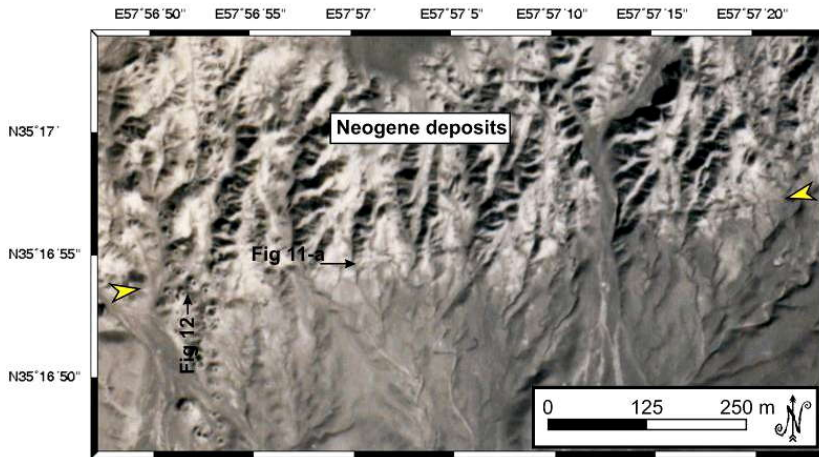
دگرریختی‌های زمین با خاستگاه زمین ساختی ناشی از جنبش گسل در دست نیست"، اما در بررسی‌های صحرائی از پهنه مه‌لرزه‌ای زمین لرزه ۱۹۲۳ در ناحیه تقاطع سامانه گسل

در گزارش آمرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، از پهنه مه‌لرزه‌ای این زمین‌لرزه بیان شده است که "به رغم نزدیکی پهنه مه‌لرزه‌ای به سامانه گسل درونه، هیچ گونه گواهی بر

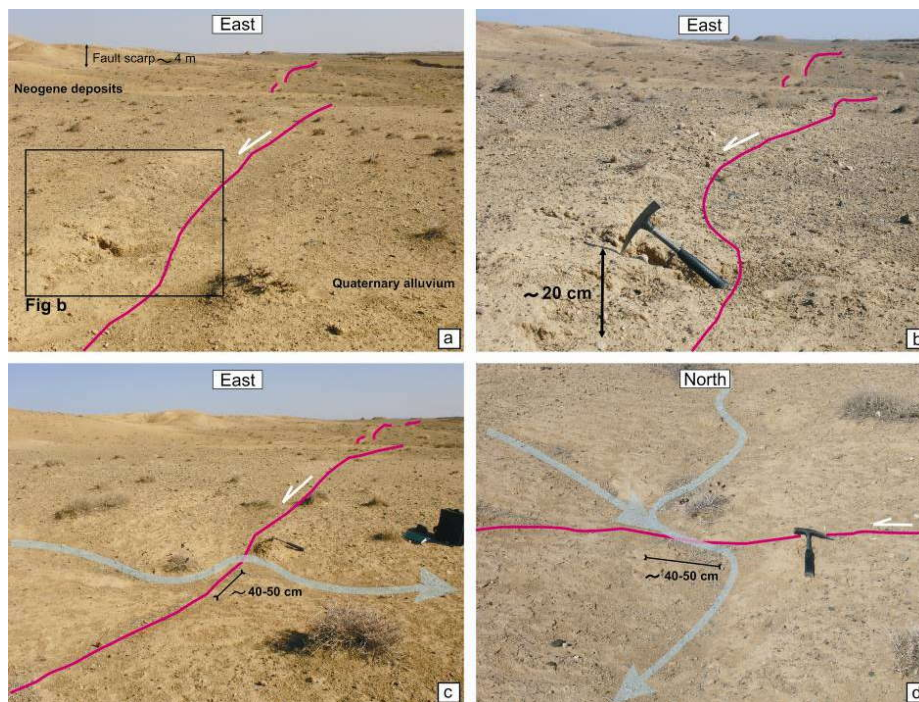


(شکل‌های ۱۵ و ۱۶).

درونه و رودخانه شادمهر آثاری از گسیختگی‌های سطحی گسلش قدیمی ناشی از این رویداد به چشم می‌خورد



شکل ۱۱: عکس هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، افراز سامانه گسل درونه در نهشته‌های نئوژن با میل به سوی جنوب. موقعیت تقریبی محل گسیختگی سطحی گسلش زمین لرزه ای با پیکانهای سفید رنگ نمایش داده شده است.

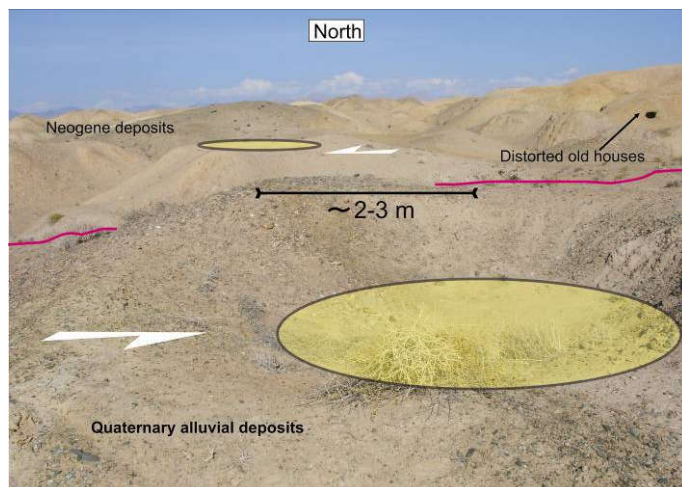


شکل ۱۲: a- اثر گسیختگی سطحی همراه با زمین لرزه سال ۱۹۰۳. افراز اصلی سامانه گسل درونه در نهشته‌های نئوژن با میل به سوی جنوب مشهود است. این گسیختگی افرازی را به ارتفاع حدود ۲۰ سانتی‌متر (شکل b) ایجاد نموده است. c و d- جابه‌جایی در حدود ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متری در آبراهه عهد حاضر در امتداد افراز ناشی از گسلش زمین لرزه‌ای سال ۱۹۰۳ از دو نمای متفاوت.

۱۹۷۱/۵/۲۶ و ۱۹۷۲/۱۲/۱ به یقین به دنبال فعال شدن گسل تکنار (ریوش) به وقوع پیوسته‌اند، اما قرارگیری روکانون زمین لرزه ۱۹۷۹/۱۲/۹ در نزدیکی سامانه گسل درونه نشان دهنده فعالیت این گسل و بروز زمین لرزه مذکور می‌باشد (شکل ۷).

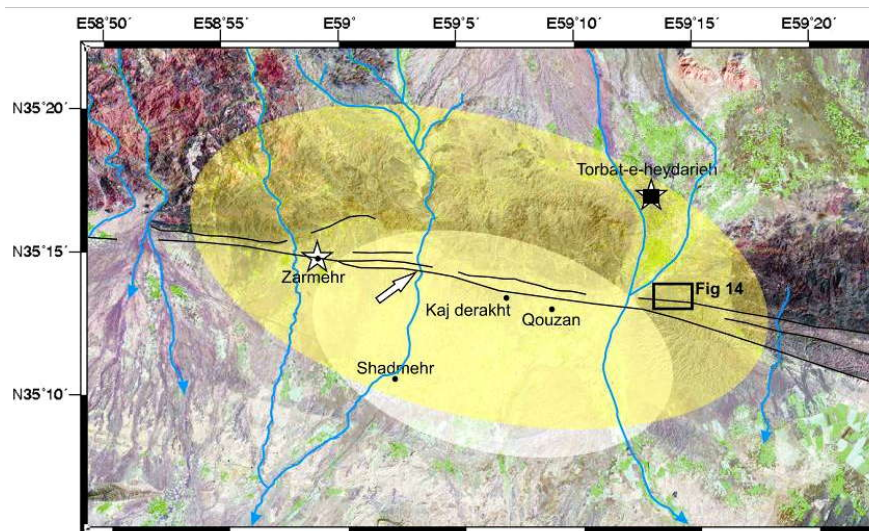
### نتیجه گیری

- سازوکارهای ژرفی مربوط به زمین لرزه‌های ۱۹۷۱/۵/۲۶، ۱۹۷۲/۱۲/۱ و ۱۹۷۹/۱۲/۹ (جکسون و مکنزی، ۱۹۸۴)، سازوکارهای راستالغز چپ‌بر را در بخش میانی سامانه گسل درونه نشان می‌دهد. البته باید توجه نمود که دو زمین لرزه



شکل ۱۳: جابه‌جایی قنات‌ها در امتداد سامانه گسل درونه. قنات‌های جابه‌جا شده خشک، پیر شده و قدیمی هستند. در این ناحیه نمونه‌های زیادی از سفالینه‌های قدیمی در نزدیکی منازل تخریب شده در شکل وجود دارد. جابه‌جایی ۲-۳ متری نشان داده شده ناشی از جابه‌جایی تجمعی طی زمین لرزه‌های اخیر و نیز عملکرد فرآیند خزش می‌باشد. با توجه به جنس رسوبات در دیواره‌های قنات نیز به روشنی دریافت می‌شود که قنات جنوبی در نهشته‌های کواترنری و قنات شمالی در رسوبات نئوژن یعنی در دو سوی گسل حفر شده‌اند.

شکل ۱۴: پهنه مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه ۱۹۲۳ کاج درخت. پهنه کوچکتر از آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲) و پهنه بزرگتر بازسازی شده بر پایه خرابیهای مشاهده شده در روستای زرمهر و شهرستان تربت حیدریه و نیز گسیختگی سطحی زمین‌لرزه یاد شده در خاور رودخانه شادمهر بازسازی شده است. دایره رومرکز زمین‌لرزه‌های دستگاهی، پیکانها محل گسیختگیهای سطحی و ستاره‌ها محل خرابیها را نشان می‌دهد.



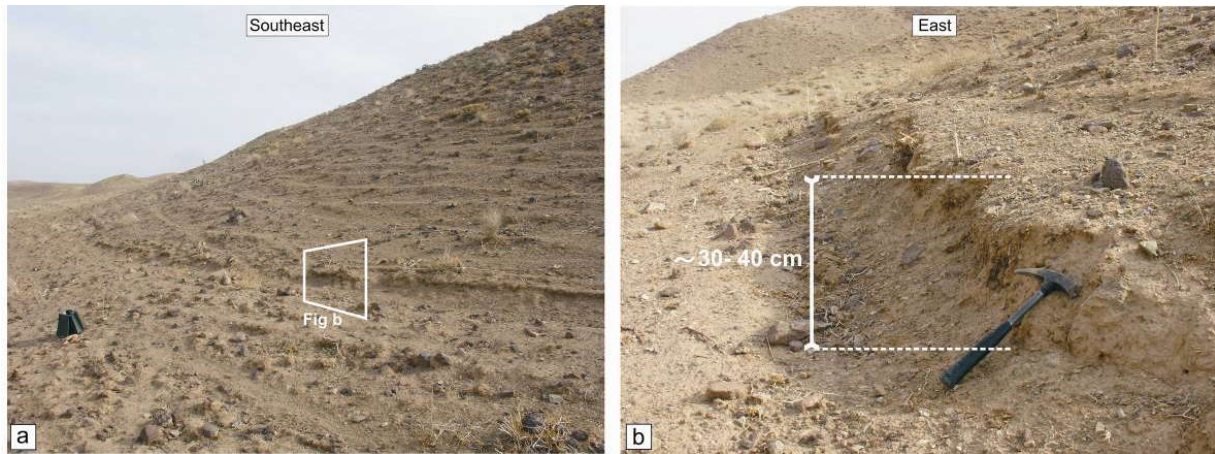
- سامانه گسل درونه به عنوان گسلی جنب‌خاستگاه زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی اندکی بوده است. تعداد رویدادها و نیز بزرگی آنها با توجه به طول گسل و جابه‌جایی افقی و عمودی نسبتاً زیادی که در زمان پلیوسن - پلیستوسن (جابه‌جایی سامانه آبراهه‌ها، پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها) و هولوسن (جابه‌جایی قنات‌ها و آثار گسیختگیهای سطحی) اعمال نموده، بسیار کم است. علت این امر یا به سبب وجود دوره بازگشت طولانی در ارتباط با سازوکار زمین‌لرزه‌های

- روکانون دستگاهی زمین‌لرزه ۱۹۹۴/۱۲/۱۴ و دو زمین‌لرزه ۱۹۹۶/۲/۲۵ (NEIC) در فواصل نسبتاً دوری نسبت به سامانه گسل درونه قرار دارند. ضمن این که زمین‌لرزه سال ۱۹۹۴ به احتمال به دنبال فعال شدن گسل کاشمر با سازوکار راست‌الغز چپ برهمراه با مؤلفه معکوس رخ داده است که در هر صورت سازوکار کانونی این زمین‌لرزه‌ها در نمایش وضعیت ساختارهای گسلی نزدیک با سامانه گسل درونه حایز اهمیت است (شکل ۶).

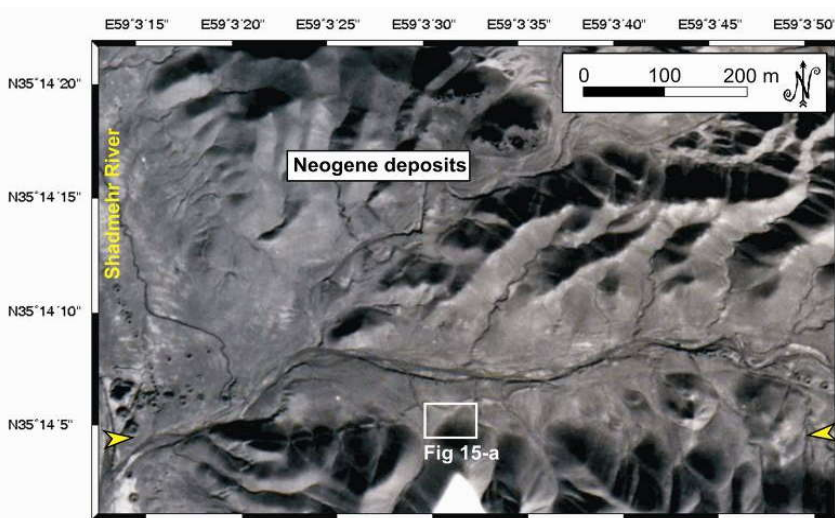


روی این سامانه گسلی روی داده است بزرگای اغلب روکانون زمین لرزه‌ها بر روی آن بین ۴ تا ۵ می‌باشد.

ناشی از این گسل و یا به سبب عملکرد خزش در امتداد آن است. به هر حال اگرچه چند زمین لرزه با بزرگای ۵ تا ۶ بر



شکل ۱۶: a- اثر باقی‌مانده از گسیختگی سطحی همراه با زمین‌لرزه ۱۹۲۳ کاج درخت. b- افزاز گسیختگی مذکور به ارتفاع ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر.



شکل ۱۵: عکس هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ از سامانه گسل درون در محل رودخانه شادمهر. پیکانها راستای گسل را در این بخش نشان می‌دهند.

است نشان می‌دهد.

- در بررسیهای صحرایی آثاری از جابه‌جاییهای قائم و افقی ناشی از گسیختگیهای سطحی همراه بار رویداد زمین لرزه‌های ۱۹۰۳ ترشیز و ۱۹۲۳ کاج درخت مشاهده می‌شود، به گونه‌ای که در حوضه جدایشی - کششی شش تراز، جابه‌جاییهای ۷۰ تا ۸۰ سانتی‌متری و در شمال بردسکن،

- به نظر می‌رسد که تعیین حدود پهنه‌های مه‌لرزه‌ای زمین لرزه‌های ۱۹۰۳ ترشیز و ۱۹۲۳ کاج درخت توسط آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، چندان دقیق به نظر نمی‌رسد چرا که در بررسیهای صحرایی وجود گسیختگیهای سطحی و آثار خرابیهای ناشی از این دو زمین لرزه در بخشهایی از طول گسل، گستردگی این پهنه‌ها را نسبت به آنچه پیشتر بیان شده

رشته کوههای کوه‌سرخ سرچشمه گرفته و به سمت روستاهایی که در بخشهای جنوبی تر (در بلوک جنوبی سامانه گسل درونه) قرار دارند، امتداد یافته‌اند. بیشتر این رشته قناتها با روند شمالی - جنوبی با راستای تقریباً عمود سامانه گسل درونه را قطع نموده‌اند. بر این اساس، نمونه دیگری از جوانترین نشانه‌های فعالیت سامانه گسل درونه را می‌توان در جابه‌جایی سامانه قناتهای حفر شده جستجو کرد. شاهد این امر را می‌توان در قطع ارتباط جریان آب در قناتهای دو سوی گسل دانست.

جابه‌جایی افقی ۴۰ تا ۵۰ سانتی متری دیده می‌شود که ارتباط آنها با رویداد زمین لرزه ۱۹۰۳ ترشیز محتمل است ضمن این که در حوالی رودخانه شادمهر، جابه‌جایی قائم ۳۰ تا ۴۰ سانتی متری ناشی از رویداد زمین لرزه ۱۹۲۳ کاج درخت نیز دیده می‌شود.

- جابه‌جایی قناتها و انحراف مسیر حفر آنها، شاهدی بر فعالیت نوین سامانه گسل درونه است. در فاصله مکانی میان شهرستان تربت حیدریه تا حوالی روستای درونه، به سبب وجود آبارهای به نسبت زیاد، قناتهای متعددی حفر شده‌اند. تمامی این قناتها از ارتفاعات شمالی سامانه گسل درونه نظیر

## منابع

- جوادی کاریزکی، ح.ر.، ۱۳۸۵. زمین ساخت جنب، لرزه زمین ساخت و تحلیل ساختاری سامانه گسلی درونه. پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۰۹ ص.
- زارع. م.، ۱۳۷۹. تحلیل لرزه زمین ساختی سیستم گسله درونه و بررسی زلزله‌های زمستان ۱۳۸۷ - بهار ۱۳۷۹ کاشمر. پژوهشنامه پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال سوم شماره ۱.
- Ambraseys, N.N., & Melville, C.P., 1977. The seismicity of Kuhistan, Iran. *The Geographical Journal*, 143:179-199.
- Ambraseys, N.N., & Melville, C.P., 1982. A history of Persian earthquakes. *Cambridge University Press*.
- Berberian, M., 1981. Active faulting and tectonics of Iran. In: Gupta, H.K., & Delany, F.M., (eds.), *Zagros-Hindu Kush-Himalaya Geodynamic evolution. Am. Geophys. Un. And Geol. Soc. Am., Geodynamics Series*, 3:33-69.
- Dehghani, G.A., & Markris, J., 1984. The gravity field and crustal structure of Iran. *N. Jb. Geol. Palaont. Agh.*, 168:215-229.
- Fattahi, M., Walker, R.T., Khatib, M.M., Dolati, A., & Bahroudi, A., 2007. Slip-rate estimate and past earthquakes on the Doruneh fault, eastern Iran. *Geophys. J. Int.*, 168:691-709.
- Giessner, K., Hagedorn, H., & Sarvati, M., 1984. Geomorphological studies in the Kashmar region (NE Iran). *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.*, 168:545-557.
- Jackson, J., & McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77:185-264.
- Jackson, J., Haines, J., & Holt, W., 1995. The accommodation of Arabia-Eurasia plate convergence in Iran. *Journal of Geophysical Research*, 100:205-219.
- Kurushin, R.A., Bayasgalan, A., Olziybat, M., Enhtuvshin, B., Molnar, P., Bayarsayan, CH., Hhunut, K.W., & Lin, L., 1997. The surface rupture of the 1957 Gobi-Altai, Mongolia, earthquake. *Geological Society of America*, Special Paper, 320.
- Lasserre, C., Morel, P.H., Gaudemer, Y., Tapponnier, P., Ryerson, F.J., King, G.C.P., Metivier, F., Kasser, M., Kashgarian, M., Baichi, L., Taiya, L., & Daoyang, Y., 1999. Postglacial left slip rate and past



- occurrence of  $M > 8$  earthquakes on the western Haiyuan fault, Gansu, China. *Journal of Geophysical Research*, 104:633-651.
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 30:109-185.
- Regard, V., Bellier, O., Thomas, J.C., Bourles, D., Bonnet, S., Abbassi, M.R., Braucher, R., Mercier, J., Shabanian, E., Soleymani, Sh., & Fegghi, Kh., 2005. Cumulative right-lateral fault slip across the Zagros-Makran transfer zone: role of the Minab-Zendan fault system in accommodating Arabia-Eurasia convergence in southeast Iran. *Geophys. J. Int.*, 162:177-203.
- Slemmons, D.B., & DePolo, C.M., 1986. Evaluation of active faulting and associated hazards, In Wallace, Robert, E., (ed.), Active tectonics: Washington, D.C., *National Academy Press*, pp.45-62.
- Tchalenko, J.S., Berberian, M., & Behzadi, H., 1973. Geomorphic and seismic evidence for recent activity of the Dorounh fault (Iran). *Tectonophysics*, 19:333-341.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., & Cherry, J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.*, 157:381-398.
- Walker, R., & Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*, 23, art. no. TC5010, doi: 10.1029/2003TC001529.

## Active deformation and seismicity of Dorouneh Fault System in north of Central Iran microplate emphasizing on 1903 Torshiz and 1923 Kaj-Derakht earthquakes

\*<sup>1</sup>Javadi, H.R., <sup>1</sup>Ghassemi, M.R., <sup>2</sup>Shahpasandzadeh, M., <sup>1</sup>Estrabi Ashtiani, M.,

1-Geological Survey of Iran.

2-International Center for Science and High Technology, Kerman.

\*E-mail: hr\_javadi@gsi.ir

### Abstract

Dorouneh Fault System, as an active fault in Iranian Plateau, plays an important role in deformation and geomorphology of the region. This fault has caused some earthquakes in the 20<sup>th</sup> century. Detail study of Dourouneh fault's seismic characteristics indicates that in spite of Dorouneh Fault's high movement in Recent time, number of earthquakes and their magnitude is low that may be resultant of low slip rate, long recurrence interval and occurrence of creep on the fault. On the other hand, there are some witnesses that are indication of earthquake occurrence along Dourouneh fault which are accompanied with surface rupture.

**Keywords:** Dorouneh Fault System, Seismicity, Morphotectonics