

## چکیده

با استفاده از پارامترهای قطعه‌بندی، درازای گسیختگی (در طی هر زمین‌لرزه)، میزان جابه‌جایی بر روی گسل‌ها و الگوی تکرار رویداد زمین‌لرزه‌ها؛ رسیدگی ساختاری گسل‌های باختر و جنوب بلوک لوت مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این مطالعه طیف پاسخ جنبش زمین‌لرزه‌های بزرگ روی داده در منطقه، تحلیل شدند. بر اساس نتایج حاصله، گسل کوهبنان: نارس؛ بم: میانه تا نارس؛ گوک، لاله‌زار، کهورک: رسیده می‌باشند.

در بحث تحلیل فرکتالی و رشد و بلوغ پهنه‌های گسلی منطقه، از روش مربع شمار استفاده شد. بر اساس محاسبات انجام شده، بُعد فرکتالی گسل‌های کوهبنان و شاخه‌های جنوبی آن، گسل‌های بم، کهورک، فاریاب، چاه مزرعه (اسفندقه) و گوک نسبت به بقیه گسل‌ها کمتر است. در امتداد این گسل‌ها، رومرکز زمین‌لرزه‌ها تمرکز بیشتری دارند. بُعد فرکتالی با نزدیک شدن به حاشیه داخلی بلوک لوت افزایش پیدا می‌کند. این افزایش نشان از بالا بودن پراکندگی میدان تنش در این منطقه است. بُعد فرکتالی سامانه گسلی نایبند (۱/۷۲۱-۱/۵۶) و گسل سیزواران باختری (۱/۶۸-۱/۵۲) از شمال به جنوب کاهش و گسل گوک (۱/۶۸-۱/۵۲) از شمال به جنوب افزایش پیدا می‌کند. بر این اساس قطعات جنوبی سامانه گسل نایبند و سیزواران باختری و قطعات شمالی سامانه گسلی گوک نارس تر می‌باشند و توان ایجاد خطر لرزه‌ای جدی‌تری را دارند. بر اساس نتایج حاصله از مبحث رسیدگی ساختاری و بررسی ابعاد فرکتالی، لرزه‌خیزترین گسل‌های منطقه گسل‌های کوهبنان، بم، کهورک، گوک، لاله‌زار، فاریاب و چاه مزرعه (اسفندقه) می‌باشند.

**واژگان کلیدی:** رسیدگی ساختاری، رفتار لرزه‌ای، گسیختگی سطحی، تحلیل فرکتالی، لرزه‌زمین‌ساخت، طیف پاسخ، بلوک لوت، ایران.

## ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی گسل‌های باختر و جنوب بلوک لوت با تأکید بر رسیدگی ساختاری و تحلیل فرکتالی آنها

احمد رشیدی (نویسنده مسئول)

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، [rashidi@iiees.ac.ir](mailto:rashidi@iiees.ac.ir)

### نیره صبور

کارشناس ارشد گروه لرزه‌زمین‌ساخت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

## ۱- مقدمه

فرگشت فعالیت لرزه‌خیزی در آن را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بررسی پارامتر رسیدگی ساختاری گسل‌ها می‌تواند به شناخت بهتر توان جنبشی گسل‌های منطقه کمک کند به طوری که گنجاندن آن در روابط کاهندگی می‌تواند باعث افزایش سطح دقت در ارزیابی خطر زمین‌لرزه شود.

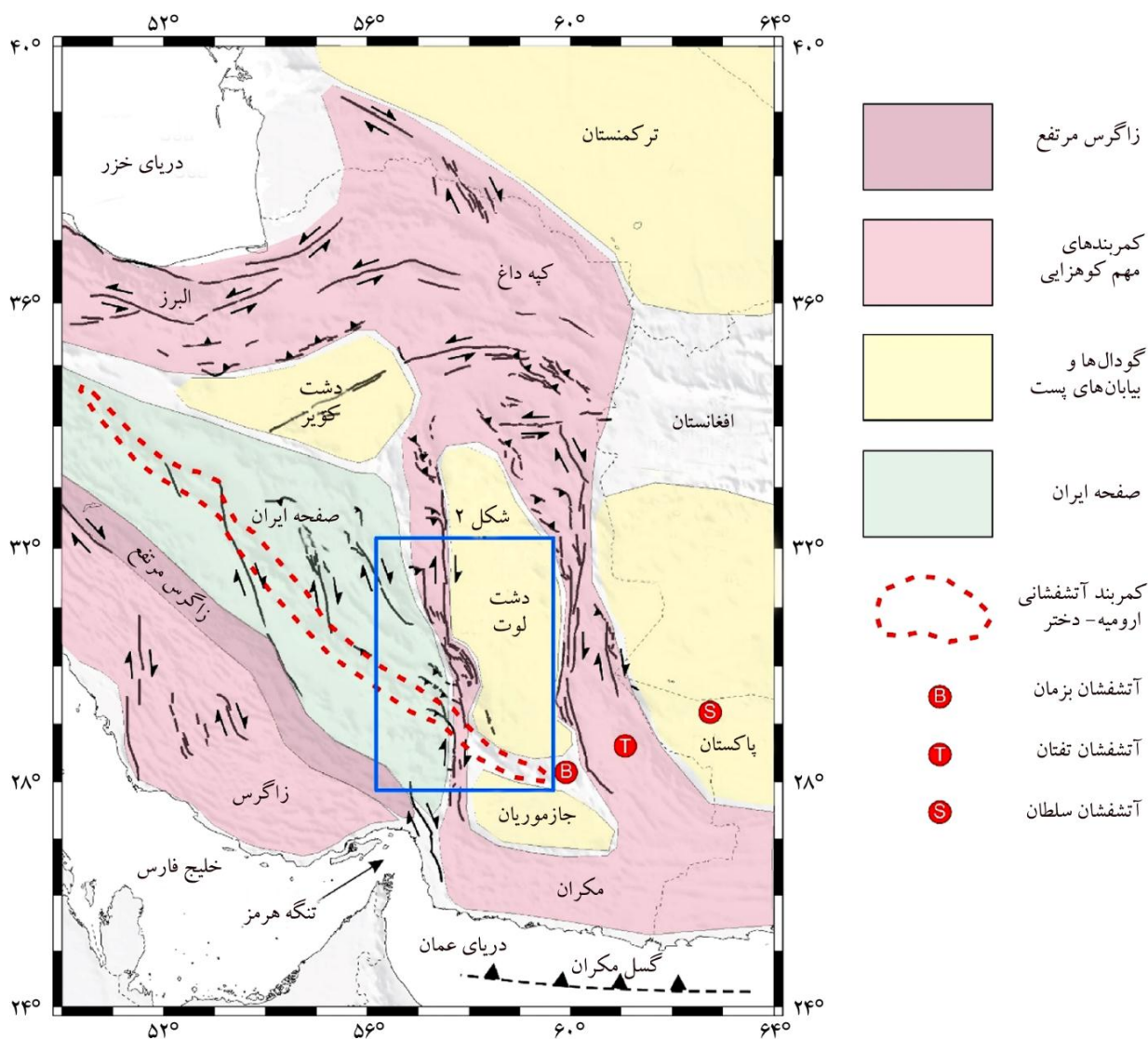
تحلیل فرکتالی گسل‌های یک منطقه می‌تواند ابزاری دیگر در شناخت توان جنبشی گسل‌ها باشد. مدل‌های فرکتالی متعددی برای تحلیل ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی پوسته زمین ارائه شده است [۴-۶]. در این میان گویاترین روش برای محاسبه توزیع

پارامتر رسیدگی ساختاری گسل‌ها توسط منیگی و همکاران [۱] مطرح شده است. آنها با توجه به ویژگی‌های هندسه سطحی گسیختگی‌ها که به دنبال زمین‌لرزه ایجاد می‌شود این پارامتر را تعیین کردند. بعدها ریدینگ و همکاران [۲] جنبش حاصل از زمین‌لرزه‌ها را به ویژگی‌های هندسه سطحی گسیختگی‌ها، برای تعیین رسیدگی ساختاری افزودند. از مطالعاتی که پیرامون پارامتر رسیدگی ساختاری گسل‌ها در ایران انجام گرفته است می‌توان به مطالعه صبور و همکاران [۳] اشاره کرد. آنها رسیدگی ساختاری گسل‌های مسبب زمین‌لرزه در منطقه خاور ایران و الگوی

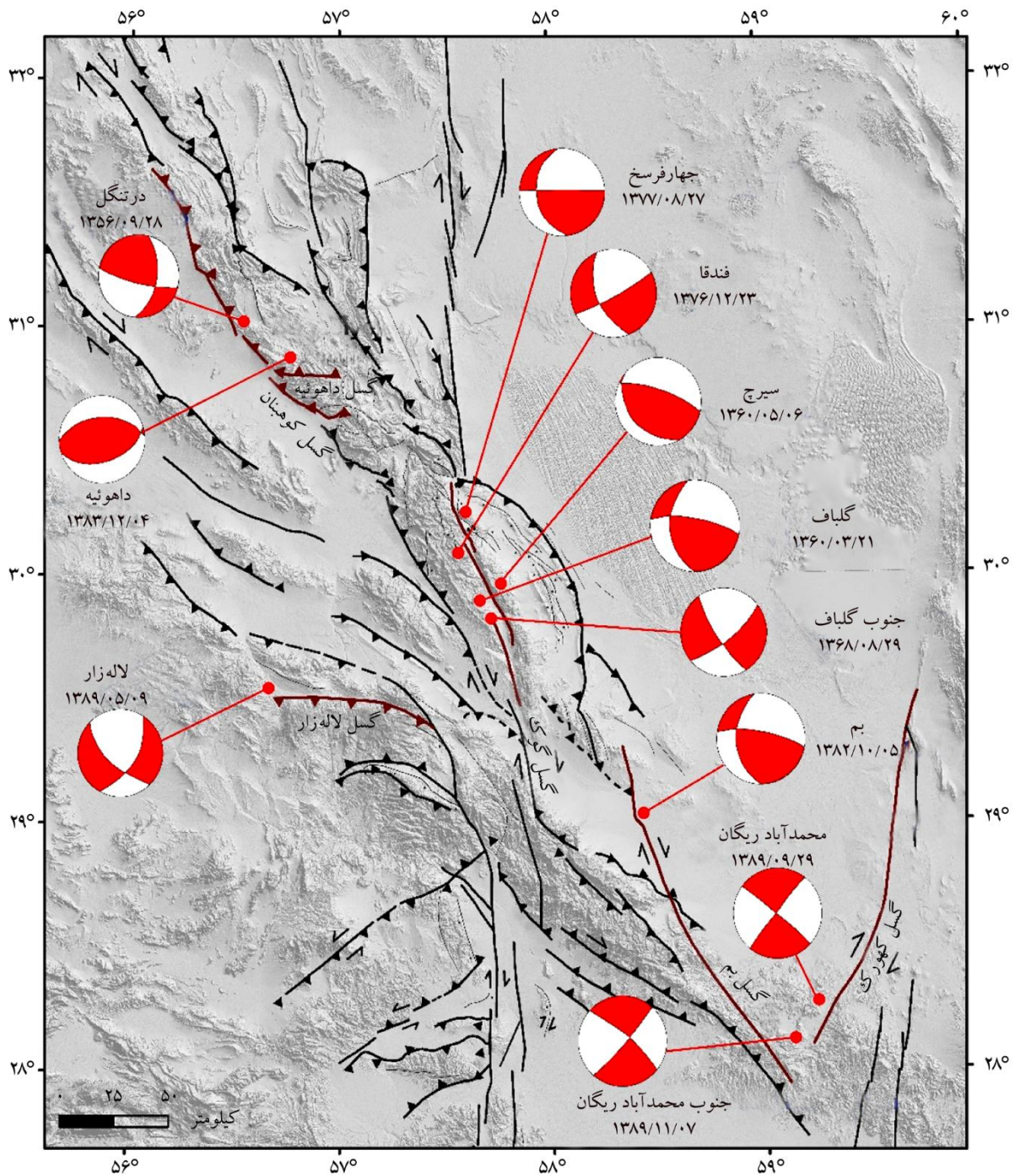
[۹]:  $1.8 \pm 0.7$ ، گوک (نرخ لغزش [۱۰]:  $3.8 \pm 0.7$  mm/yr) در میانه و سبزواران (نرخ لغزش [۱۱]:  $5.7 \pm$  mm/yr) در جنوب تشکیل شده است (شکل ۲). نرخ لغزش در طی کوتاه‌ترین پسین (پلایستوسن پسین و هولوسن) در لبه باختری بلوک لوت از شمال به جنوب زیاد می‌شود. این شرایط جنبشی نرخ لغزش ناهمسان را نشان می‌دهد. نرخ‌های لغزش بر روی شاخه‌های فرعی این سه سامانه گسلی توزیع می‌شود [۱۲]. از آنجا که لرزه‌خیزی یک گسل ارتباط مستقیمی با میزان نرخ لغزش دارد، از این‌رو تفاوت نرخ لغزش سامانه‌های گسلی، قسمت‌های مختلف این منطقه را به مناطق با جنبش‌های مختلف لرزه‌ای تبدیل کرده است؛

فرکتالی گسل‌ها، ضریب D است. تورکت [۷] معتقد است که توزیع فرکتالی گسل‌ها بیانگر نحوه فعالیت گسل‌ها و گسترش آن می‌باشد. بر مبنای پژوهش‌های انجام شده توسط سوکمونو و همکاران [۸] توزیع مکانی و زمانی زمین‌لرزه‌ها در ارتباط با توزیع هندسه فرکتالی گسلش می‌باشد.

منطقه مورد بررسی در پژوهش حاضر در عرض جغرافیایی  $28^{\circ}$  تا  $32^{\circ}$  ۳۰' درجه شمالی و  $56^{\circ}$  تا  $60^{\circ}$  درجه خاوری در جنوب باختر دشت لوت قرار دارد (شکل ۱). سامانه گسل امتدادلغز در باختر دشت لوت و در طول جغرافیایی حدود  $57^{\circ} 45'$  خاوری از سه سامانه گسلی نایبند در شمال (نرخ لغزش



شکل (۱): تصویری شماتیک از پهنه‌های ساختاری مرکز و خاور ایران.



شکل (۲): سازوکار کانونی ۱۱ زمین‌لرزه مخرب و دارای گسلش سطحی در طی سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵ میلادی (برگرفته از وبسایت‌های IIEES & USGS) به همراه گسل‌های مسبب این زمین‌لرزه‌ها (برگرفته از رشیدی و همکاران [۱۳]).

رخداد ۱۱ زمین‌لرزه ۱۹۳/۵ کیلومتر گسیختگی سطحی ایجاد شده است (جدول ۱)، حدود ۴۴۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند، ۳۶۶۴۰ نفر مجروح و بیش از ۱۰۰۰۰۰ نفر بی‌خانمان شده‌اند. با توجه به لرزه‌خیز بودن قسمت‌های مختلف این منطقه

به‌طوری‌که گسل‌های موجود، مسبب زمین‌لرزه‌های مخرب بوده‌اند و گاه‌وبیگاه لرزش‌هایی با شدت‌های گوناگون ایجاد کرده‌اند. وجود ۱۱ زمین‌لرزه همراه با گسیختگی سطحی در این مناطق طی ۴۰ سال اخیر دلیلی بر این مدعاست (شکل ۲). بر پایه

جدول (۱): مجموعه اطلاعات جمع‌آوری شده از زمین‌لرزه‌های همراه با گسلش سطحی (از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۶) در منطقه مورد بررسی. سازوکار زمین‌لرزه‌ها با حروف T (راندگی)، N (نرمال)، R (امتدادلغز راست‌بر) و L (امتدادلغز چپ‌بر) نشان داده شده است.

نام زمین‌لرزه	نام گسل مسبب	تاریخ رویداد (میلادی)	Mw	ژرفا (Km)	سازوکار	درزای گسیختگی (Km)	بیشینه جابه‌جایی راست‌گرد و راندگی (m)	تعداد قطعات	نرخ لغزش گسل (mm.yr)	منابع
در تنگل	کوهبنان	۱۹۷۷/۱۲/۱۹	۵/۹	۷	R-T	۱۹/۵	۰/۲-۰/۷	۶	۳/۳	[۱۴]
گلباف	گوک	۱۹۸۱/۰۶/۱۱	۶/۶	۲۰	T-R	۱۵	۰/۵-۰/۳	۱	۳/۸±۰/۷	[۱۵ و ۱۴]
سیرج	گوک	۱۹۸۱/۰۷/۲۸	۷/۱	۱۸	T-R	۶۵	۰/۱۵-۰/۵	۳	۳/۸±۰/۷	[۱۵ و ۱۴]
جنوب گلباف	گوک	۱۹۸۹/۱۱/۲۰	۵/۸	۱۵	T-R	۱۹	۰/۰۴-۰/۱	۲	۳/۸±۰/۷	[۱۶]
فندقا	گوک	۱۹۹۸/۰۳/۱۴	۶/۶	۵	R-N	۲۳/۵	۳-۰	۱	۳/۸±۰/۷	[۱۸ و ۱۷ و ۱۴]
چهارفرسخ	گوک	۱۹۹۸/۱۱/۱۸	۵/۳	۱۵	R-T	۴	۰/۲-۰	۱	۳/۸±۰/۷	[۱۷ و ۱۴]
بم	بم	۲۰۰۳/۱۲/۲۶	۶/۵	۵	R-T	۲۱	۱-۰	۷	۲	[۲۱ و ۲۰ و ۱۹]
داهوئیه	داهوئیه	۲۰۰۵/۰۲/۲۲	۶/۴	۷	T	۷-۱۳	۰-۱/۰۵	۲		[۲۳ و ۲۲]
لاله‌زار	لاله‌زار	۲۰۱۰/۰۷/۳۱	۵/۷	۱۴	L-N	۱۰	۳/۲-۰/۳	۱	۰/۴	[۲۴]
محمدآباد ریگان	کهورک	۲۰۱۰/۱۲/۲۰	۶/۷	۵	R-T	۲	۱/۳-۰	۲	۱/۷	[۲۵]
جنوب محمدآباد ریگان		۲۰۱۱/۰۱/۲۷	۶/۲	۹	T-L	۷/۵	۰/۶-۰	۱		[۲۵]

راستای پهنه‌های امتدادلغز راست‌گرد شمالی - جنوبی و پهنه‌های فشاری - برشی شمال باختری - جنوب خاوری است [۱۳].

### ۳- روش انجام کار

در منطقه باختر و جنوب بلوک لوت، هر ساله به دلیل عملکرد گسل‌های فعال شاهد زمین‌لرزه‌های کوچک و بزرگ بوده‌ایم. از این رو بر آن شدیم به بررسی ویژگی‌های زمین‌ساختی منطقه پردازیم. در این مطالعه یکی از مباحث به کار برده شده جهت بررسی ویژگی‌های زمین‌ساختی، محاسبه رسیدگی ساختاری گسل‌های مسبب زمین‌لرزه همراه با گسیختگی سطحی بود. در بحث رسیدگی ساختاری گسل‌ها از سه روش استفاده شد: (۱) ویژگی‌های هندسه سطحی گسیختگی‌های هم‌زمان با زمین‌لرزه، (۲) ویژگی‌های تاریخچه لرزه‌خیزی گسل و نحوه تکرار فعالیت بر روی آن (خوشه‌ای و یا در بازه‌های زمانی متناوب)، (۳) استفاده از اطلاعات شتاب‌نگاری ثبت شده برای هر زمین‌لرزه. مبحث دیگر جهت بررسی ویژگی‌های زمین‌ساختی منطقه، تحلیل فرکتالی گسل‌ها بود. جهت بررسی تحلیل فرکتالی و رشد و بلوغ پهنه‌های گسلی منطقه، از روش مربع شمار استفاده شد. با استفاده از این روش، ابعاد فرکتالی شبکه‌های

پی بردن به میزان فعالیت سامانه‌های گسلی، رشد و بلوغ آنها رفتار گسل‌های لرزه‌زای منطقه در تکرار فعالیت لرزه‌ای خود، سهم عملکرد فعالیت‌های زمین‌ساختی قطعات مختلف گسلی، الگو برای فرگشت فعالیت لرزه‌خیزی و پی بردن به مناطق پرخطر زمین‌لرزه لازم و ضروری است. در این تحقیق از دو دیدگاه اهداف تعیین شده مورد بررسی قرار گرفت: (۱) پارامتر رسیدگی ساختاری گسل‌های مسبب زمین‌لرزه‌های دارای گسیختگی سطحی و (۲) بررسی ابعاد فرکتالی گسل‌ها.

### ۲- موقعیت زمین‌شناسی و ساختاری منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب خاور ایران شامل انباشته‌های ضخیمی از سنگ‌ها و نهشته‌های رسوبی، رسوبی - آتشفشانی و سنگ‌های آذرین است که در تقسیم‌بندی آقنابتی [۲۶] در ریز پهنه‌های لوت، بلوک طبس، بلوک کلمرد، بلوک پشت بادام، کمان آتشفشانی نوتیس و کمان آتشفشانی مکران قرار می‌گیرد. عملکرد گسل‌های امتدادلغز در باختر و جنوب بلوک لوت، باعث شکل‌گیری عناصر ساختاری مرتبط با فعالیت آنها شده است. مطالعات حاصل از تحلیل ساختاری این منطقه حاکی از ایجاد دگرشکلی پیش‌رونده در

طولانی بدون فعالیت، فعال می‌شوند و یک زمین لرزه به نسبت بزرگ ایجاد می‌کنند (رفتار غیرخوشه‌ای). در بررسی رسیدگی ساختاری گسل‌های لرزه‌زای همراه با گسیختگی سطحی به کمک روش دوم باید گفت که گسل‌های رسیده رفتار خوشه‌ای و گسل‌های نارس رفتار غیرخوشه‌ای تری دارند [۲۷].

در روش سوم، برای تعیین رسیدگی ساختاری گسل‌ها از روش کمی و از اطلاعات شتاب‌نگاری ثبت شده برای هر زمین لرزه استفاده شد [۲]. در این روش، زمین لرزه‌ها با سازوکار گوناگون و با بزرگای  $5.3 < M_w < 7.1$  که همراه با گسیختگی سطحی در منطقه بودند، انتخاب شدند. در این پژوهش، داده‌های شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران که از سال ۱۹۷۵ میلادی به بعد در دسترس می‌باشند، مورد استفاده قرار گرفت. جنبش‌های زمین لرزه‌های دریافت شده همگی در حوضه نزدیک (نگاشت ایستگاه‌هایی که در فاصله کمتر از ۵۰ کیلومتر از رومرکز زمین لرزه قرار داشته‌اند) ثبت شده‌اند. در این روش، طیف پاسخ‌های به‌دست آمده را با طیف‌های استخراج شده از رابطه تجربی بور و همکاران [۲۸] به‌عنوان مبنا، مقایسه نمودیم. نتایج حاصله اهمیت نقش رسیدگی گسل در تعیین مقدار جنبش در حین زمین لرزه را نشان می‌دهد. در صورت قرارگیری منحنی میانگین جنبش ایستگاه‌های ثبت کننده هر زمین لرزه (دارای گسیختگی) در زیر خط مبنای بور، گسل مسبب زمین لرزه از نظر ساختاری جزو گسل‌های رسیده خواهد بود و در صورتی که در بالای خط مبنای بور قرار گیرد گسل نارس و در صورتی که در بعضی از بازه‌های زمانی بالای خط، روی خط و زیر خط بور قرار گیرد گسل از نظر رسیدگی ساختاری، گسلی میانه خواهد بود [۲].

#### ۴-۱- زمین لرزه‌های دارای گسیختگی سطحی

در طی ۴۰ سال اخیر، در منطقه مورد مطالعه ۱۱ زمین لرزه همراه با گسلش سطحی روی داده است [۱۳]. در شکل (۲) سازوکار کانونی این زمین لرزه‌ها و گسل‌های مسبب آنها به همراه ویژگی‌های این زمین لرزه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. در پژوهش‌های پیشین [۳] رسیدگی ساختاری گسل‌های گوک و بم مورد بررسی

مریعی محاسبه و پهنه‌بندی گردید. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته توزیع میدان‌های تنش، توان لرزه‌زایی گسل‌ها و ارتباط گسل‌ها با رومرکز زمین لرزه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۴- رسیدگی ساختاری

گسل‌های فعال در سه دسته گسل‌های نارس<sup>۲</sup>، گسل‌های میانه<sup>۳</sup> و گسل‌های رسیده<sup>۴</sup> جای داده می‌شوند [۱-۲]. گسل‌هایی که از دیدگاه ساختاری نارس هستند، به هنگام فعالیت خود بیشینه جنبش را ایجاد می‌کنند و با افزایش سطح رسیدگی گسل‌ها، از میزان جنبش به ترتیب در گسل‌های میانه و رسیده کاسته می‌شود [۱-۲]. در این پژوهش، با توجه به وجود داده‌های مناسب در مورد گسل‌ها و زمین لرزه‌های منطقه باختر و جنوب بلوک لوت، برای تعیین رسیدگی ساختاری گسل‌های لرزه‌زا، از سه روش استفاده شد. در اولین روش که بر اساس ویژگی‌های هندسه سطحی گسیختگی‌های هم‌زمان با زمین لرزه است؛ درازای گسیختگی، میزان جابه‌جایی بر روی گسیختگی و قطعه‌بندی حائز اهمیت می‌باشد. گسل‌های لرزه‌زا بسته به رسیدگی خود ممکن است در یک زمین لرزه، بر روی یک قطعه یا در قطعه‌های چندگانه گسیخته شوند. گسل‌های رسیده در گسیختگی‌های طویل با دامنه لغزش کم (کمتر از ۴ تا ۷ متر) می‌شکنند. در مقابل، گسل‌های نارس تر به صورت گسیختگی‌های کوتاه‌تر اما پراثرتری می‌شکنند به طوری که ممکن است لغزش‌هایی با دامنه حدود ۱۵ متر ایجاد کنند [۱].

در دومین روش، ویژگی‌های تاریخچه لرزه‌خیزی گسل و نحوه تکرار فعالیت بر روی آن (خوشه‌ای و یا در بازه‌های زمانی متناوب) به کار گرفته شد. گسل‌ها در تاریخ دراز مدت فعالیت خود، رفتارهای گوناگونی دارند [۲۷]. برخی از گسل‌ها (در تکرار فعالیت خود) به صورت خوشه‌ای<sup>۵</sup> رفتار می‌کنند، بدین معنی که گسل پس از گذر از یک دوره بدون فعالیت، چندین زمین لرزه با فاصله‌های زمانی کم ایجاد می‌کند و تا شروع دوره فعالیت بعدی مدتی را در آرامش بلند مدت به سر می‌برد. درحالی که این پدیده را در برخی از گسل‌ها نمی‌توان دید و گسل‌ها بعد از یک دوره



شکل (۳): گسیختگی در اثر رخداد زمین لرزه در تنگل (۱۹/۱۲/۱۹۷۷). عکس برگرفته از بوبیان [۱۴] است.

در تاریخ ۲۰۰۵/۰۲/۲۲، زمین لرزه داهوئیه زرنند بر روی یکی از شاخه‌های پایانه‌ای پهنه گسلی کوهبنان یعنی بر روی گسل داهوئیه روی داده است [۱۴]. این زمین لرزه، آخرین زمین لرزه مخربی بوده که تا کنون بر روی گسل کوهبنان و شاخه‌های فرعی آن اتفاق افتاده است (شکل ۴). در این زمین لرزه ۶۱۲ نفر کشته، ۱۴۱۱ نفر مجروح و حدود ۸۰۰۰ خانه در ۴۰ روستا در طی این زمین لرزه تخریب شدند. گسلش سطحی به طول ۱۳ کیلومتر در راستای خاوری-باختری بر روی گسل داهوئیه ایجاد شد. این گسیختگی شامل دو قطعه بود که شیل، ماسه‌سنگ و سنگ آهک‌های به سن تریاس-ژوراسیک پی سنگ را بریده‌اند. پیشینه جابه‌جایی مشاهده شده در این گسلش سطحی ۱۰۵ سانتی‌متر و از نوع رانندگی بوده است که از ویژگی‌های یک گسل نارس می‌تواند به شمار آید. پیش از این زمین لرزه، بر روی گسل داهوئیه در تاریخچه فعالیت لرزه‌خیزی خود چه دستگاهی و چه در دوره تاریخی زمین لرزه بزرگی مشاهده نشده بود.

علاوه بر دو زمین لرزه‌ای که در بالا شرح داده شد (زمین لرزه در تنگل و داهوئیه)، هشت زمین لرزه دیگر (طی سال‌های ۱۸۵۴ تا ۱۹۶۴) با بزرگای  $M_s \geq 4.5$  نیز بر روی گسل کوهبنان و شاخه‌های فرعی آنها به ثبت رسیده است به طوری که تا سال ۱۹۷۷ تقریباً در هر دهه و حداقل در هر دو دهه یک زمین لرزه با بزرگای  $M_s \geq 4.5$  اتفاق افتاده است.

قرار گرفته است که نتایج آنها در جدول (۲) به شکل خلاصه ارائه شده است. در پژوهش حاضر، رسیدگی ساختاری سایر گسل‌های منطقه مانند گسل لاله‌زار، کوهبنان و کهورک که مسبب زمین لرزه‌هایی با گسیختگی سطحی بوده‌اند، مورد بررسی قرار گرفت.

جدول (۲): نتایج به‌دست آمده از پارامتر رسیدگی ساختاری گسل‌های مسبب زمین لرزه.

گسل مسبب زمین لرزه	پارامتر رسیدگی ساختاری	منبع مطالعه شده
کوهبنان	نارس	مطالعه حاضر
لاله‌زار	رسیده	مطالعه حاضر
کهورک	رسیده	مطالعه حاضر
گوک	رسیده	صبور و همکاران [۳]
بم	میانه تا نارس	صبور و همکاران [۳]

#### ۴-۱-۱- گسل لرزه‌زای کوهبنان

گسل کوهبنان با طولی حدود ۲۷۰ کیلومتر با موقعیت کلی N30W, 50NE از چند قطعه گسلی تشکیل شده است. سازوکار کلی گسل، امتداد لغز راست گرد همراه با مؤلفه معکوس است. این سامانه گسلی به‌عنوان یکی از لرزه‌خیزترین روندهای ساختاری در گستره استان کرمان می‌باشد به طوری که در طی دوره‌های مختلف زمین‌شناسی مسبب زمین لرزه‌های مختلف بوده است. در طی ۴۰ سال اخیر دو زمین لرزه بنام‌های در تنگل یا گیسک (۱۹/۱۲/۱۹۷۷) و داهوئیه زرنند (۲۰۰۵/۰۲/۲۲) که همراه با گسیختگی سطحی بوده‌اند در اثر فعالیت گسل کوهبنان و شاخه‌های فرعی آن روی داده‌اند.

در اثر زمین لرزه در تنگل ۶۶۵ نفر کشته و ۲۶۰ نفر مجروح و روستاهای در تنگل، گیسک و سرباغ کاملاً ویران شدند. در این زمین لرزه ( $M_w=5.9$ ) گسیختگی سطحی به میزان ۱۹/۵ کیلومتر در ۶ قطعه اصلی ایجاد شده است [۱۴]. میانگین جابه‌جایی افقی و قائم ناشی از این زمین لرزه به ترتیب ۲۰ و ۷ سانتی‌متر می‌باشد [۱۴]. مؤلفه جنبشی این زمین لرزه از نوع راست گرد است به طوری که ترک‌های کششی زیادی با آرایش نردبانی در سطح زمین ایجاد شده است [۱۴]. این ویژگی‌ها نشانه‌هایی از نارس بودن گسل کوهبنان است. در شکل (۳) یک گسیختگی حاصل از این زمین لرزه نشان داده شده است.

جدول (۳): زمین‌لرزه‌های روی‌داده در اثر عملکرد گسل کوهبنان و شاخه‌های فرعی آن در بازه زمانی ۱۵۱ سال گذشته.

زمن رویداد زمین‌لرزه (میلادی)	بهنه مهلزهای	بزرگا (Ms)	برگرفته از
۱۸۵۴	هوریجان	۵/۸	IIIES
۱۸۶۴	چترود	۶	IIIES
۱۸۷۱	چترود	۶	IIIES
۱۸۷۵	کوهبنان	۶	IIIES
۱۸۹۷	چترود	۵/۷	IIIES
۱۹۱۳	چترود	۵/۲	IRSC
۱۹۲۹	ده زوئیه	۴/۵	IRSC
۱۹۳۷	درتنگل	۴/۷	IRSC
۱۹۶۴	چترود	۶	IRSC
۱۹۷۷	درتنگل	۵/۷	IRSC
۲۰۰۵	داهوئی زرنند	۶/۵	IRSC



(الف) جابه‌جایی از نوع راندگی و با اندازه ۱۰۵ سانتی‌متری حاصل از گسیختگی زمین‌لرزه.

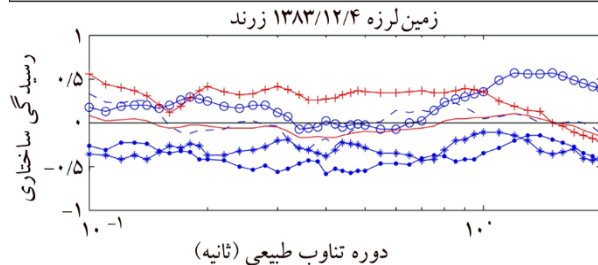


(ب) هندسه گسیختگی‌ها در اثر رویداد این زمین‌لرزه (عکس‌ها برگرفته از سازمان زمین‌شناسی، گروه لرزه‌زمین‌ساخت).

در پژوهش حاضر، بر اساس مطالعه شتاب‌نگاشت‌ها، منحنی جنبش ایستگاه‌های ثبت‌کننده زمین‌لرزه داهوئی زرنند ترسیم گردید (شکل ۵). منحنی جنبش میانگین محاسبه شده از نگاشت‌های ایستگاه‌های لرزه‌نگار برای زمین‌لرزه داهوئی زرنند، در برخی بازه‌های زمانی در نزدیکی خط میانگین بور، برخی بالای آن و در برخی از بازه‌های زمانی در پایین آن قرار گرفته است (شکل ۵)؛ بنابراین از دیدگاه شتاب‌نگاری، گسل داهوئی را باید در دسته گسل‌های میانه از دیدگاه رسیدگی ساختاری قرار دهیم.

شکل (۴): گسیختگی حاصل از زمین‌لرزه ۲۰۰۵/۰۲/۲۲ داهوئی زرنند.

چترود + دشت خاک - سد شیرین رود - خط مبنای بر زرنند - سد قدررونی - خط میانگین



شکل (۵): دامنه طیف پاسخ زمین‌لرزه روی‌داده در امتداد افشانه پایانه‌ای گسل کوهبنان (گسل داهوئی) که برای ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مربوطه میانگین‌گیری شده و نسبت به معادله بور و همکاران [۲۸] سنجیده شده است. خط صفر مبنای مقایسه است. میانگین ایستگاه‌ها و نام هر یک از ایستگاه‌های ثبت‌کننده در راهنما آمده است.

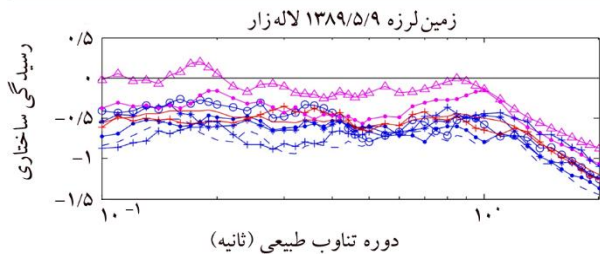
این الگوی زمانی از رویداد زمین‌لرزه‌ها، بیانگر رفتار غیرخوشه‌ای گسل کوهبنان و در نتیجه نارس بودن آن می‌تواند باشد. از نظر ویژگی‌های هندسه سطحی گسیختگی‌های زمین‌لرزه‌ای نیز گسل کوهبنان در زمره گسل‌های نارس قابل دسته‌بندی است (جدول ۳). تنها یک ایستگاه شتاب‌نگاشت، شتاب ناشی از زمین‌لرزه درتنگل (گیسک) که در سال ۱۹۷۷ اتفاق افتاده است را ثبت کرده است، از این رو برای پی‌بردن به رسیدگی ساختاری چندان مناسب نیست. برای پی‌بردن به رسیدگی ساختاری هر چه تعداد ایستگاه‌های دریافت‌کننده شتاب زمین‌لرزه بیشتر باشد، بهتر می‌توان در مورد رسیدگی ساختاری گسل‌ها اظهار نظر کرد [۲-۳].

#### ۴-۱-۲- گسل لرزه‌زای لاله‌زار

جدول (۴): زمین‌لرزه‌های مخرب گزارش شده در اثر عملکرد گسل لاله‌زار.

زمان رویداد زمین‌لرزه (میلادی)	بزرگای (Ms)	برگرفته از
۱۹۲۳	۶/۹	IIIES
۱۹۴۳	۶/۹	IIIES
۲۰۱۰	۵/۷	IRSC

ریگان — چاه مالک — فهرج — زه کلوت — خط میانگین  
 قطب‌آباد — ده رضا — سرزه — دلگان — خط منبای بر



دوره تناوب طبیعی (ثانیه)

شکل (۶): دامنه طیف پاسخ زمین لرزه ۲۰۱۰/۰۷/۳۱ روی داده در امتداد گسل لاله‌زار که برای ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مربوطه میانگین‌گیری شده و نسبت به معادله بور و همکاران [۲۸] سنجیده شده است. خط صفر منبای مقایسه است. میانگین ایستگاه‌ها و نام هر یک از ایستگاه‌های ثبت‌کننده در راهنما آمده است.

کشته شدند و خساراتی نیز به روستاهای منطقه وارد گردید [۲۵]. در اثر رویداد این واقعه، دو قطعه به طول ۲ کیلومتر هم‌زمان با زمین‌لرزه در سطح زمین گسیخته شدند [۲۵]. این دو قطعه همپوشان پله به چپ با بیشینه لغزش راست بر ۱۳۰ سانتی‌متری همراه بوده‌اند (شکل ۷). با توجه به تعداد کم قطعات و جابه‌جایی ۱/۳ متر که بر روی قطعات گزارش شده است، گسل کهورک از نظر ویژگی‌های هندسه سطحی گسیختگی، جزو گسل‌های رسیده قرار می‌گیرد. زمین‌لرزه ۲۰۱۱/۰۱/۲۷ نیز که دارای گسیختگی سطحی بوده است مرتبط با شاخه فرعی گسل کهورک با روند NW-SE می‌باشد. این زمین‌لرزه باعث ایجاد یک قطعه گسیختگی به طول ۷/۵ کیلومتر با دامنه لغزش ۰/۶ متر شده است (شکل ۸). این ویژگی‌های سطحی گسیختگی نیز بیانگر رسیده بودن گسل مسبب زمین‌لرزه‌ها می‌باشد. از دیدگاه رفتار لرزه‌ای، اطلاعات لرزه‌ای تاریخی در مورد گسل کهورک موجود نیست اما از سال ۱۹۲۳ تا ۲۰۱۱ چهار زمین‌لرزه با دوره‌های زمانی متفاوت بر روی این گسل رخ داده است (جدول ۵). بر این اساس رفتار گسل کهورک در دوره مورد اشاره از نظر رفتار لرزه‌ای از نوع خوشه‌ای می‌باشد. این ویژگی نیز گسل کهورک را در زمره گسل‌های رسیده قرار می‌دهد.

این گسل یکی از افشانه‌های شمالی گسل سبزواران باختری است که با طولی در حدود ۸۵ کیلومتر در مرز رسوبات کواترنری و نوژن (در شمال) و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (در جنوب) واقع شده است [۱۳]. تعدادی از محققین گسل رفسنجان که در شمال باختر آبادی لاله‌زار واقع شده است را شاخه شمال باختری گسل لاله‌زار برمی‌شمارند [۲۴]. در اثر فعالیت این گسل در تاریخ ۲۰۱۰/۰۷/۳۱ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۵/۷ اتفاق افتاد. این زمین‌لرزه خوشبختانه کشته‌ای به همراه نداشت اما خسارات مالی فراوانی را بر جای گذاشت. از جمله خسارات مالی آن می‌توان به تخریب ۲۰۷۷ واحد مسکونی اشاره کرد.

گسل لاله‌زار علاوه بر زمین‌لرزه ۲۰۱۰/۰۷/۳۱ (لاله‌زار-نگار، شیرینک) مسبب رخداد زمین‌لرزه‌های سال ۱۹۲۳ و ۱۹۶۳ نیز بوده است (جدول ۴). در زمین‌لرزه ۱۹۲۳ لاله‌زار، در یک ناحیه وسیع تمامی خانه‌ها فرو ریختند. بر اساس رویداد زمین‌لرزه‌ها، رفتار لرزه‌ای گسل لاله‌زار به صورت خوشه‌ای می‌باشد. بر اساس ویژگی هندسه سطحی گسیختگی‌های زمین‌لرزه ۲۰۱۰ لاله‌زار و رفتار خوشه‌ای آن گسل لاله‌زار از نظر رسیدگی ساختاری، گسلی رسیده است.

بر اساس بررسی شتاب‌نگاشت‌ها منحنی جنبش ایستگاه‌های ثبت‌کننده زمین‌لرزه لاله‌زار ترسیم گردید (شکل ۶). قرارگیری منحنی میانگین جنبش ایستگاه‌های ثبت‌کننده این زمین‌لرزه در پایین خط منبای بور نیز می‌تواند گویای رسیده بودن گسل مسبب این زمین‌لرزه (گسل لاله‌زار) باشد.

#### ۴-۱-۳- گسل لرزه‌زای کهورک

گسل کهورک یکی از شاخه‌های اصلی در بخش جنوبی سامانه گسلی نه است که از ۷۰ کیلومتری جنوب نه آغاز و در جنوب بلوک لوت پایان می‌یابد. آثار گسل کهورک در جنوب بلوک لوت به خوبی قابل مشاهده است. این آثار خطی نشان‌دهنده‌ی برش خوردگی در اثر حرکت امتداد لغز راست گرد گسل است [۲۹]. در اثر فعالیت راست گرد، واحدهای سنگی چین خورده و متحمل جابه‌جایی قابل ملاحظه‌ای شده‌اند [۱۲ و ۲۹]. این گسل مسبب رخداد زمین‌لرزه ۲۰۱۰/۱۲/۲۰ معروف به زمین‌لرزه ریگان (محمدآباد ریگان، کنارک و یا فهرج) می‌باشد. این زمین‌لرزه در مناطق کم جمعیت رخ داد و در پی آن چهار نفر

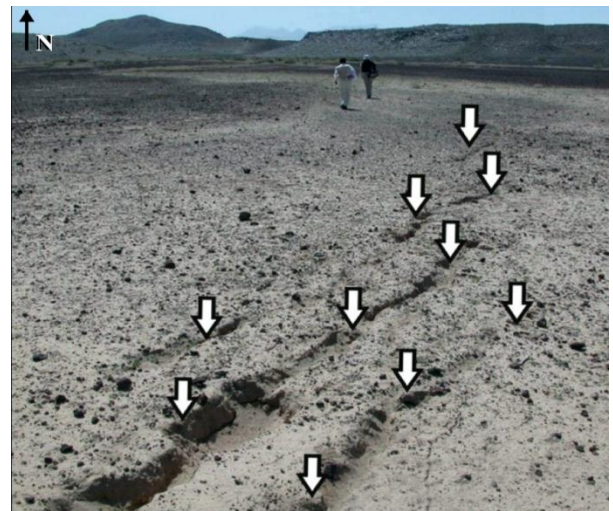


جدول (۵): خلاصه‌ای از زمان رویداد و بزرگای زمین‌لرزه‌های رخ داده بر روی گسل کهورک.

زمان رویداد زمین‌لرزه (میلادی)	مرکز سطحی	بزرگای (Ms)	برگرفته از
۱۹۲۳/۰۹/۱۴	۲۸/۹۷	۵/۶	IIES
۱۹۹۰/۰۶/۲۶	۲۸/۴۵	۴/۹	IIES
۲۰۱۰/۱۲/۲۰	۲۸/۳۲	۶/۷	IRSC
۲۰۱۱/۰۱/۲۷	۲۸/۱۶	۶/۲	IRSC



(الف)



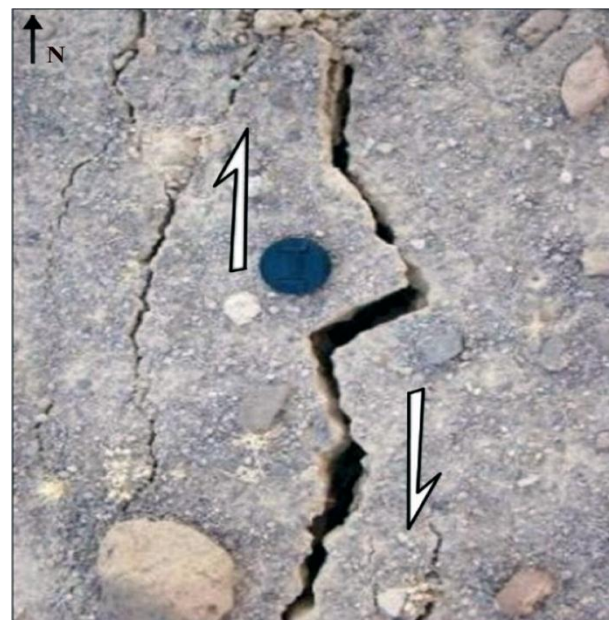
(الف)



(ب)

شکل (۸): (الف) گسیختگی سطحی در امتداد یک شاخه فرعی گسل کهورک در طی زمین‌لرزه ۲۰۱۱/۰۱/۲۷ (عکس از واکر [۲۵])، (ب) گسیختگی از نمای نزدیک‌تر در زمین‌لرزه ۲۰۱۱/۰۱/۲۷.

بر اساس مطالعه شتاب‌نگاشت‌ها، منحنی جنبش ایستگاه‌های ثبت‌کننده زمین‌لرزه‌های ریگان ترسیم گردید. قرارگیری منحنی میانگین جنبش ایستگاه‌های ثبت‌کننده این زمین‌لرزه‌های دارای گسیختگی سطحی در زیر خط مبنای بور می‌تواند حاکی از رسیده بودن گسل مسبب آنها باشد (شکل ۹).



(ب)

شکل (۷): (الف) گسیختگی سطحی در امتداد گسل کهورک در طی زمین‌لرزه ریگان ۲۰۱۰/۱۲/۲۰ (عکس از واکر [۲۵])، (ب) بازشدگی ناشی از حرکت راست‌گود گسیختگی در زمین‌لرزه ریگان (عکس برگرفته از گروه لرزه‌زمین‌ساخت سازمان زمین‌شناسی است).

مورد بررسی از روش مربع شمار<sup>۶</sup> کمک گرفته شد.

مبنای روش مطالعه در فرکتال، محاسبه ابعاد فرکتالی برای عناصر هندسی است. بر اساس مفاهیم هندسه اقلیدسی ابعاد عناصر هندسی اعداد صحیح ۰، ۱، ۲، ۳ برای نقطه، خط، صفحه و حجم هستند که هر کدام از اینها بیانگر عناصر هندسی نامحدود می‌باشند. در طبیعت مادی همه عناصر محدود بوده و عملاً پاره‌خط، پاره‌صفحه و پاره‌حجم هستند؛ بنابراین، ابعاد هندسه اقلیدسی به خوبی نمی‌توانند بیانگر ویژگی پدیده‌ها و مقایسه آنها با یکدیگر باشند ولی ابعاد هندسه فرکتالی می‌تواند اعداد اعشاری بوده، بدین ترتیب محدودیتی در اندازه‌گیری هیچ کدام از فرآیندهای طبیعی با این روش وجود نخواهد داشت [۷]. رابطه (۱)، رابطه کلی برای محاسبه ابعاد فرکتالی است [۷]:

$$N_n = C / r_n^D \quad (1)$$

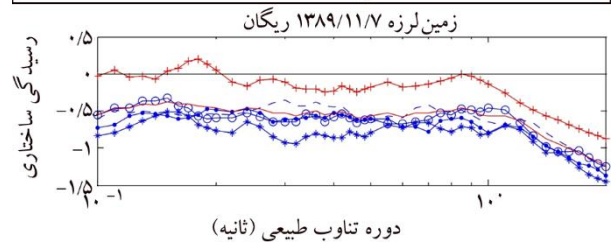
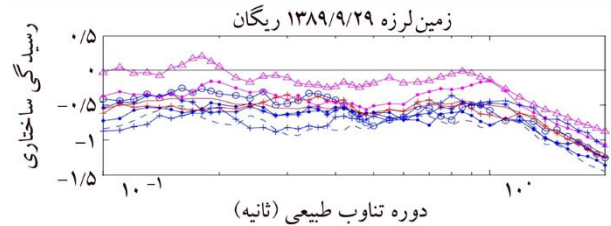
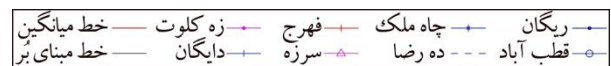
در این فرمول،  $N_n$  تعداد متغیرهای معلوم برای یک پدیده،  $r_n$  بعد خطی ویژه،  $C$  ثابت و  $D$  بعد فرکتالی است.

تورکت [۷] معتقد است که توزیع فرکتالی گسل‌ها و یا ابعاد فرکتالی یک گسل بیانگر نحوه فعالیت گسل و گسترش آن می‌باشد. مدل‌های فرکتالی زیادی برای توزیع گسل‌ها در سطح پوسته زمین ارائه شده است. در این میان، گویاترین روش برای توزیع فرکتالی گسل، معرفی ضریب  $D$  است (به‌عنوان نمونه [۴-۶]).

در پژوهش حاضر، برای تحلیل ابعاد فرکتالی پهنه‌های گسلی از روش مربع شمار استفاده گردید. در این روش، لازم است آثار سطحی هر پهنه گسلش به‌دقت برداشت شود. سپس منطقه، توسط شبکه‌های مربعی با طول ضلع مربع ( $S$ ) پوشش داده‌شود و تعداد مربع‌های حاوی آثار سطحی گسل ( $N_s$ ) شمارش گردند. نکته ضروری آن است که با تغییر مقیاس شبکه‌بندی که در نتیجه آن میزان ( $S$ ) نیز تغییر خواهد کرد، ( $N_s$ )‌های دیگری به دست خواهد آمد.

در مرحله بعد، نمودارهای لگاریتمی  $N_s$  و  $1/S$  ترسیم می‌شوند. برای هر کدام از منحنی‌های فرکتالی رابطه‌ی (۲) برقرار خواهد بود [۷].

$$\text{Log}(N_s) = a + D \text{Log}(1/S) \quad (2)$$



شکل (۹): دامنه طیف پاسخ زمین‌لرزه‌های روی داده در امتداد گسل کهورک در جنوب بلوک لوت (۲۰۱۰/۱۲/۲۰ و ۲۰۱۱/۰۱/۲۷) که برای ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مربوطه میانگین شده و نسبت به معادله بور و همکاران [۲۸] سنجیده شده است. خط صفر مبنای مقایسه است. میانگین ایستگاه‌ها و نام هر یک از ایستگاه‌های ثبت کننده در راهنما آمده است.

در جدول (۲) نتایج حاصل از این مطالعه و مطالعه صبور و همکاران [۳] در مورد گسل‌های مسبب زمین‌لرزه‌های مخرب در منطقه آورده شده است. بر اساس نتایج حاصله، گسل کوهبنان و گسل بم می‌توانند خطر جدی‌تری را برای منطقه ایجاد نمایند.

## ۵- تحلیل فرکتالی

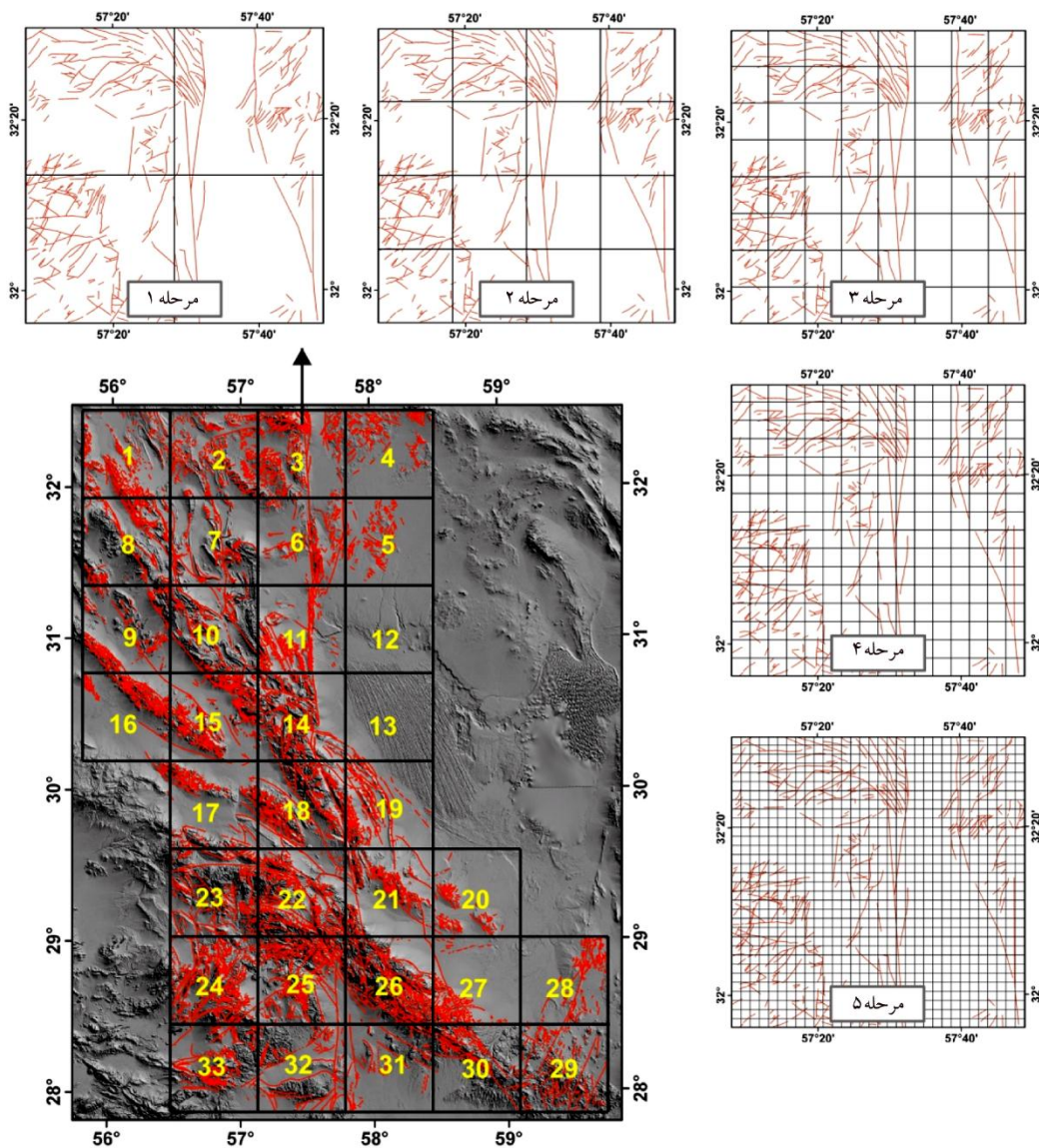
بررسی هندسه فرکتالی، توصیف کمی الگوی گسلش را میسر می‌سازد [۸ و ۳۰]. در پهنه‌های گسلش، بعد فرکتالی با پارامترهایی مانند وضعیت تنش، تراکم گسلش و توزیع انرژی شکستگی رابطه دارد [۸]. تفاوت در ابعاد فرکتالی قطعات یک پهنه گسلی می‌تواند نشانگر تفاوت در تکنیک آن قطعات باشد. بر این اساس، امکان تفکیک قطعات مختلف از روی تفاوت ابعاد فرکتالی وجود خواهد داشت. در این تحقیق، مطالعه فرکتالی گسل‌های منطقه بر اساس هندسه جدید فرکتالی [۳۰] صورت پذیرفته است. از این رو، در پژوهش حاضر برای تحلیل ابعاد فرکتالی پهنه‌های گسلی گستره

گسلی، منطقه مورد مطالعه به مربع‌های  $64 \times 64$  کیلومتری شبکه‌بندی گردید. سپس، مجدداً هر کدام از این چهار گوش‌های مربعی در پنج مرحله با طول‌های متفاوت (S) مورد شبکه‌بندی قرار گرفت و تعداد چهار گوش‌های مربعی فرعی که آثار خطی پهنه گسلش را شامل می‌شد (Ns) شمارش شد. در ادامه، نمودارهای لگاریتمی ترسیم و معادله برازش هر کدام از این نمودارها و مقدار عددی بُعد فرکتالی (شیب خط برازش) و مقدار شیب همبستگی (r) برای ۳۳ چهار گوش پوشش‌دهنده محاسبه گردید. در نهایت بر اساس نتایج به‌دست آمده، پهنه‌بندی فرکتالی منطقه مورد مطالعه انجام گردید. در شکل (۱۰) مراحل شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

در این رابطه، D شیب خط و نشان‌دهنده بُعد فرکتالی می‌باشد. وجود اختلاف بُعد فرکتالی در بخش‌های متفاوت پهنه گسلش نشانگر تفاوت هندسه سامانه گسلش آن بخش‌ها با یکدیگر می‌باشد. در پژوهش حاضر، بُعد فرکتالی حجمی که از افزودن عدد ۱ به بُعد فرکتالی سطحی به دست می‌آید مورد استفاده قرار گرفت [۷].

#### ۱-۵- بررسی ابعاد فرکتالی سامانه‌های گسلی منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، پهنه‌های گسلش به کمک نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی شناسایی و در محیط نرم‌افزار ArcGis ترسیم گردیدند. بعد از ترسیم پهنه‌های

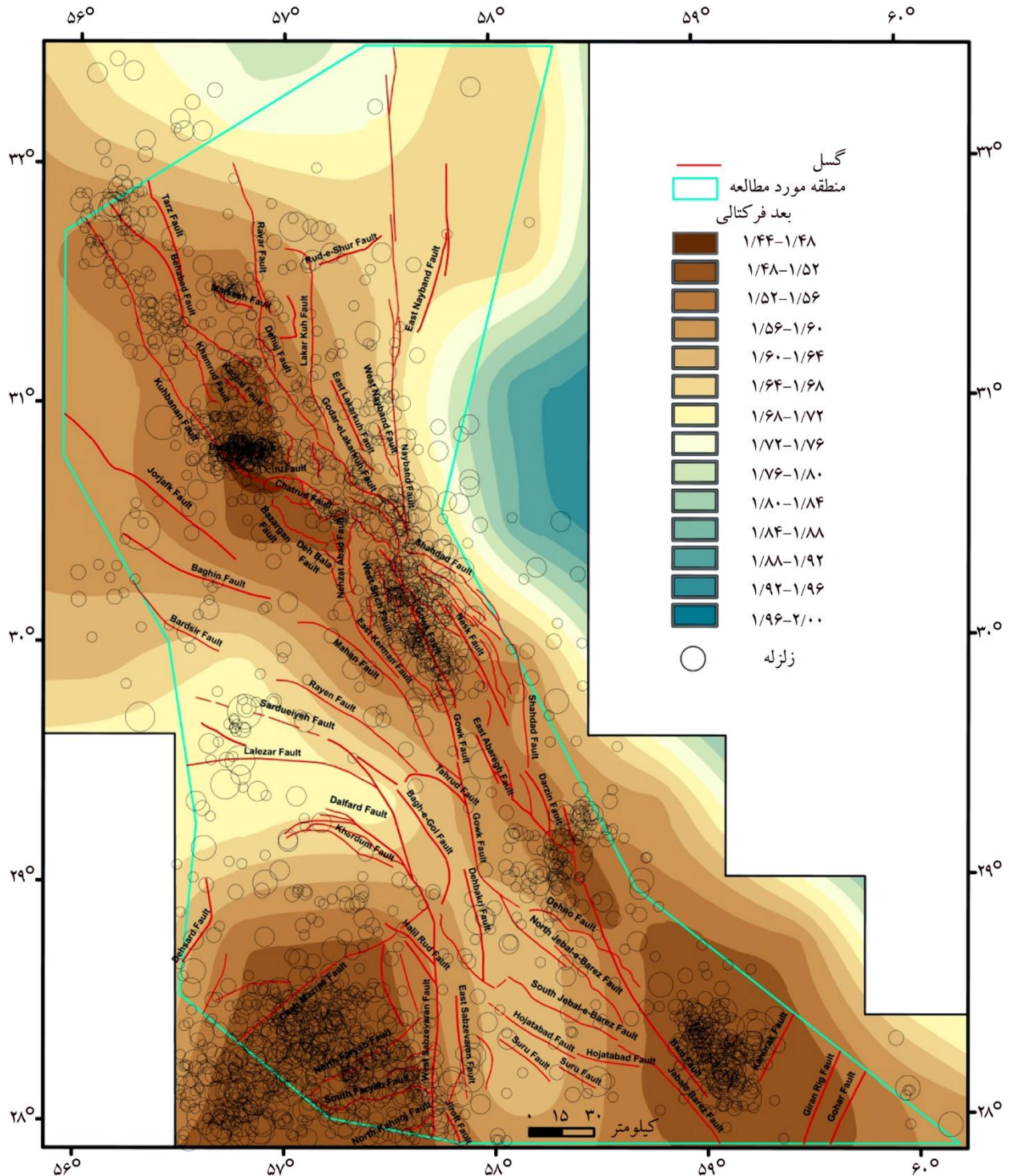


شکل (۱۰): مراحل به دست آوردن بُعد فرکتالی در منطقه. برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه کنید.

سامانه‌های گسلی منطقه از نظر رسیدگی ساختاری، میزان دگرشکلی، توزیع میدان‌های تنش، میزان تراکم شکستگی و توان لرزه‌زایی گسل‌ها با همدیگر مقایسه شدند.

## ۵-۲- پهنه‌بندی فرکتالی منطقه مورد مطالعه

بر اساس نتایج فرکتالی حاصل از شبکه‌بندی انجام شده، برای منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی فرکتالی انجام گردید (شکل ۱۱) و



شکل (۱۱): پهنه‌بندی فرکتالی منطقه مورد مطالعه به همراه رومرکز زمین‌لرزه‌های ( $3 \leq M_w \leq 7.1$ ) رخ داده (برگرفته از وبسایت IRSC & IIEES) و گسل‌های منطقه (برگرفته از رشیدی و همکاران [۱۴، ۱۹]).

افزایش بُعد فرکتالی نشان‌دهنده‌ی افزایش فضای گسلیده در پوسته شکننده زمین است که نتیجه آن توزیع میدان تنش به صورت پراکنده می‌باشد. افزایش فاصله مسیرهای تنش در سطح، موجب افت مقدار تنش به صورت نقطه‌ای و خطی می‌شود و این پدیده شرایط را برای کاهش مؤلفه‌های تنش چنانکه نتوانند بر مقاومت پوسته چیره شوند فراهم می‌آورد [۳۱].

در منطقه مورد مطالعه بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته، ابعاد فرکتالی گسل‌های موجود در منطقه به دست آمدند (جدول ۶). بُعد فرکتالی گسل‌های کوه‌بنان و شاخه‌های جنوبی آن، گسل‌های بم، کهورک، فاریاب، چاه مزرعه (اسفندقه) و گوک نسبت به بقیه گسل‌ها کمتر است. در امتداد این گسل‌ها، رومرکز زمین‌لرزه‌ها تمرکز بیشتری دارد (شکل ۱۱) و از این رو احتمال گسیختگی و لرزه‌خیزی می‌تواند بیشتر باشد.

در مناطقی که بُعد فرکتالی کم است گستره سطحی سامانه گسلی محدود و گسل نارس تر است. در این مناطق دگرشکلی به حد نهایی رسیده است؛ اما مقدار زیاد بُعد فرکتالی در قسمت‌های مختلف منطقه می‌تواند نشانگر گستره سطحی زیاد سامانه گسلی و رسیده بودن گسل (رشد و بلوغ کمتر سامانه گسلی) باشد [۸، ۳۰].

با کاهش ابعاد فرکتالی در امتداد سامانه‌های گسلی، کرنش در سطح محدودتری تمرکز پیدا می‌کند و میزان تراکم شدت شکستگی در آن محدوده افزایش می‌یابد. از این رو احتمال گسیختگی و حرکت در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها (از قبل موجود) افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه احتمال وقوع زمین‌لرزه و توان لرزه‌زایی در آن مناطق بالا می‌رود؛ بنابراین می‌توانیم شاهد فراوانی رو کانون زمین‌لرزه‌ها در این مناطق باشیم (شکل ۱۱).

جدول (۶): ابعاد فرکتالی گسل‌های مهم موجود در منطقه مورد مطالعه.

Fractal Dimension	Name	ID	Fractal Dimension	Name	ID
1.48 - 1.56	Khamrud Fault	31	1.60 - 1.68	Bagh-e-Gol Fault	1
1.52 - 1.56	Khatunabad Fault	32	1.56 - 1.60	Baghin Fault	2
1.60 - 1.68	Khordum Fault	33	1.48 - 1.56	Bam Fault	3
1.44 - 1.56	Kuhbanan Fault	34	1.60 - 1.68	Bardsir Fault	4
1.48 - 1.52	Kuhbanan Fault (Bazargan Segment)	35	1.48 - 1.60	Behabad Fault	5
1.52 - 1.56	Kuhbanan Fault (Deh Bala Segment)	36	1.52 - 1.56	Bolboluyeh Fault	6
1.52 - 1.60	Kuh-e-Malakh Khordeh Fault	37	1.48 - 1.60	Chah Mazrae Fault (Esfandeghe Fault)	7
1.56 - 1.60	Lakar Kuh Fault	38	1.48 - 1.52	Chatrud Fault	8
1.68 - 1.72	Lalezar Fault	39	1.48 - 1.52	Dahuiyeh Fault	9
1.52 - 1.60	Mahan Fault or Jupar Fault	40	1.60 - 1.72	Dalfard fault	10
1.52 - 1.56	Markesh Fault	41	1.52 - 1.56	Darzin Fault	11
1.52 - 1.60	Nask Fault	42	1.60 - 1.64	Dehbakri Fault	12
1.56 - 1.72	Nayband Fault	43	1.52 - 1.64	Dehno Fault	13
1.52 - 1.56	Nehzat Abad Fault	44	1.44 - 1.56	Dehuj Fault	14
1.48 - 1.52	North Faryab Fault	45	1.52 - 1.60	East Abaregh Fault	15
1.52 - 1.64	North Jebal-e-Barez Fault	46	1.52 - 1.56	East Kerman Fault	16
1.48 - 1.56	North Kahnoj Fault	47	1.56 - 1.60	East Lakarkuh Fault	17
1.52 - 1.68	Ravar Fault	48	1.64 - 1.68	East Nayband Fault	18
1.60 - 1.68	Rayen Fault	49	1.56 - 1.60	East Sabzevaran Fault	19
1.60 - 1.68	Rud-e-Shur Fault	50	1.48 - 1.56	Giran Rig Fault	20
1.64 - 1.72	Sarduiyeh or Sarbizan Fault	51	1.52 - 1.60	Godar-e-Lakarkuh Fault	21
1.56 - 1.68	Shahdad Fault	52	1.48 - 1.56	Gohar Fault	22
1.48 - 1.52	South Faryab Fault	53	1.52 - 1.68	Gowk Fault	23
1.48 - 1.64	South Jebal-e-Barez Fault	54	1.52 - 1.56	Halil Rud Fault	24
1.56 - 1.64	Suru Fault	55	1.48 - 1.56	Heydarabad Fault	25
1.56 - 1.64	Tahrud Fault	56	1.52 - 1.64	Hojatabad Fault	26
1.60 - 1.64	West Nayband Fault	57	1.52 - 1.56	Jiroft Fault	27
1.52 - 1.68	West Sabzevaran Fault	58	1.52 - 1.60	Jorjafk Fault	28
1.52 - 1.56	West Sirch Fault	59	1.48 - 1.52	Kachal Fault	29
			1.48 - 1.52	Kahurak Fault	30

داخلی بلوک لوت نزدیک تر می شویم بُعد فرکتالی افزایش پیدا می کند. این افزایش می تواند نشان از بالا بودن پراکندگی میدان تنش در این منطقه باشد. از این رو، پراکندگی میدان تنش موجب کاهش مقدار تنش و کاهش توان لرزه زایی در آن منطقه شده است.

۳- بُعد فرکتالی سامانه گسلی نایبند (۱/۷۲-۱/۵۶) و گسل سبزواران باختری (۱/۶۴-۱/۵۲) از شمال به جنوب کاهش و گسل گوک (۱/۶۴-۱/۵۲) از شمال به جنوب افزایش پیدا می کند. بر این اساس، قطعات جنوبی سامانه گسل نایبند و سبزواران باختری و قطعات شمالی سامانه گسلی گوک نارس تر می باشند و از این رو توان ایجاد خطر جدی تری را خواهند داشت.

۴- در پژوهش حاضر، بر اساس نتایج حاصله از روش رسیدگی ساختاری گسل ها و نتایج حاصل از بررسی ابعاد فرکتالی، پرخطرترین گسل های منطقه ی جنوب و باختر بلوک لوت گسل های کوهبنان، بم، کهورک، گوک، لاله زار، فاریاب و چاه مزرعه (اسفندقه) معرفی می شوند.

### مراجع

1. Manighetti, I., Campill, M., Bouley, S. and Cotton, F. (2007) Earthquake scaling, fault segmentation, and structural maturity. *Earth and Planetary Science Letters*, **253**, 429-438.
2. Radiguet, M., Cotton, F., Manighetti, M., Campillo, M. and Douglas, J. (2009) Dependency of Near-Field Ground Motions on the structural maturity of the ruptured faults. *Bulletin of Seismological Society of America*. **99**(4), 2572-2581.
3. Saboor, N., Ghassemi. M.R., Eskandari, M., Nazari, A., Ghorashi. M. and Seenaiian. F. (2015) Structural maturity of active faults and evolutionary pattern of seismic activity in eastern Iran. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*. **24**(95), 57-66 (in Persian).
4. Turcotte, D.L. (1986) A fractal approach to the relationship between ore grade and tonnage. *Eam. Gal.*, **81**, 1528-1530.

بر طبق پهنه بندی به دست آمده، هر چه به سمت حاشیه داخلی بلوک لوت نزدیک تر می شویم بُعد فرکتالی افزایش می یابد. این افزایش می تواند نشانگر بالا بودن پراکندگی میدان تنش در این منطقه باشد. پراکندگی میدان تنش در این گستره موجب کاهش مقدار تنش و از این رو می تواند مسبب کاهش توان لرزه زایی در آن منطقه شده باشد.

در لبه باختری بلوک لوت سه سامانه گسلی نایبند، گوک و سبزواران قرار گرفته اند. بُعد فرکتالی سامانه گسلی نایبند (۱/۷۲-۱/۵۶) و گسل سبزواران باختری (۱/۶۴-۱/۵۲) از شمال به جنوب کاهش و گسل گوک (۱/۶۴-۱/۵۲) از شمال به جنوب افزایش پیدا می کند. بر این اساس، رسیدگی ساختاری در امتداد سامانه گسل نایبند و سبزواران باختری از شمال به جنوب کاهش (قطعات نارس تر) و گسل گوک از شمال به جنوب افزایش پیدا می کند (قطعات رسیده) (شکل ۱۱).

با توجه به پهنه بندی صورت گرفته، اکثر گسل ها با روند NNW-SSE در قسمت های جنوب خاوری خود ابعاد فرکتالی کمتری دارند، بنابراین نارس تر و لرزه خیزتر می باشند و عمده گسل ها با روند NE-SW در قسمت های جنوب باختری خود دارای ابعاد فرکتالی کمتر و نارس تر هستند.

### ۵- نتیجه گیری

۱- بر اساس نتایج مبحث رسیدگی ساختاری گسل ها در گستره باختر و جنوب بلوک لوت، گسل کوهبنان: نارس (رشد و بلوغ آن بیشتر)؛ بم: میانه تا نارس؛ گوک، لاله زار، کهورک: رسیده می باشند. از این رو، گسل کوهبنان و گسل بم می توانند خطر جدی تری را برای مناطق پیرامون خود ایجاد کنند.

۲- بر اساس محاسبه ابعاد فرکتالی، بُعد فرکتالی گسل های کوهبنان و شاخه های جنوبی آن و گسل های بم، کهورک، فاریاب، چاه مزرعه (اسفندقه) و گوک نسبت به بقیه گسل ها کمتر می باشد. به طوری که در امتداد این گسل ها، رومرکز زمین لرزه ها تمرکز بیشتری دارند و احتمال گسیختگی و لرزه خیزی آنها می تواند بیشتر باشد. هر چه به سمت حاشیه

- Earth Sciences*, **139**, 440-462,  
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.027>.
14. Berberian, M. (2014) Earthquakes and Coseismic Surface Faulting on the Iranian Plateau. Available Online: <https://www.worldcat.org/isbn/9780444632920/> [20 June 2014].
  15. Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M. and Kadjar, M.H. (1984) Field and teleseismic observations of the 1981 Golbaf-Sirch earthquakes in SE Iran. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, **77**, 809-838.
  16. Berberian, M. and Qorashi, M. (1994) Coseismic fault-related folding during South Golbaf earthquake of November 20, 1989, in southeast Iran. *Journal of Geology*, **22**, 531-534.
  17. Berberian, M., Jackson, J.A., Fielding, E., Parsons, B.E., Priestley, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T.J. and Baker, C. (2001) The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw 6.6) in Kerman province, southeast Iran: re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault zone. *Journal of Geophysical*, **146**, 371-398.
  18. Ashkpour, M.S. and Mostafazadeh, M. (2008) Source parameters of the Mw 5.8 fin (South of Iran) earthquake of March 25, 2006. *World Appl. Sci. J.*, **4**(1), 104-115.
  19. Fielding, E.J., Talebian, M., Rosen, P.A., Nazari, H., Jackson, J.A., Ghorashi, M. and Walker, R. (2005) Surface ruptures and building damage of the 2003 Bam, Iran, earthquake mapped by satellite synthetic aperture radar interferometric correlation. *Journal of Geophysical Research*, **110**, B03302, doi:10.1029/2004JB003299.
  20. Fu, B., Lei, X., Hessami, K., Ninomiya, Y., Azuma, T. and Kondo, H. (2007) A new fault rupture scenario for the 2003 Mw 6.6 Bam earthquake, SE Iran: Insights from the high-resolution QuickBird imagery and field observations. *Journal of Geodynamics*, **44**, 160-172.
  21. Jackson, J., Bouchon, M., Fielding, E., Funning, G., Ghorashi, M., Hatzfeld, D., Nazari, H., Parsons, B., Priestley, K., Talebian, M., Tatar, M., Walker, R. and Wright, T. (2006) Seismotectonic, rupture process,
  5. King, G. and Yielding, G. (1984) initiation propagation and termination in the 1980 EL Asnam (Algeria) earthquake. *G.J.R.A S.*, **77**(3), 915-933.
  6. King, G. (1986) Speculation on the geometry of the initiation and termination process of earthquake rupture and its relation to morphology and geological structure. *Pure Appl. Geoph.*, **124**, 567-585.
  7. Turcotte, D.L. (1992) Fractals, chaos, self-organized criticality and tectonics. *Terra Neva*, **4**, 4-12.
  8. Sukmono, M.T.Z., Hendrajaya, L., Kadir, W.G.A., Santoso, D. and Dubois, J. (1997) Fractal pattern of the Sumatra fault seismicity and its possible Application to Earthquake Prediction. *Bulletin of the Seismological Society of America*. **87**(6), 1685-1690.
  9. Foroutan, M., Meyer, B., Sébrier, M., Nazari, H., Murray, A.S., Le Dortz, K., Shokri, M.A., Arnold, M., Aumaître, G., Bourlès, D., Keddadouche, K., Solaymani Azad, S. and Bolourchi, M.J. (2014) Late Pleistocene-Holocene right slip rate and paleoseismology of the Nayband fault, western margin of the Lut block, Iran. *J. Geophys. Res. [Solid Earth]*, **119**(4), 3517-3560.
  10. Walker, R.T., Talebian, M., Sloan, R.A., Rasheedi, A., Fattahi, M. and Bryant, C. (2010) Holocene slip-rate on the Gowk strike-slip fault and implications for the distribution of tectonic strain in eastern Iran. *Geophys. J. Int.*, **181**(1), 221-228.
  11. Regard, V., Bellier, O., Braucher, R., Gasse, F., Bourles, D., Mercier, J., Thomas, J.-C., Abbassi, M.R., Shabanian, E. and Soleymani, S. (2006) 10 Be dating of alluvial deposits from Southeastern Iran (the Hormoz Strait area). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **242**(1), 36-53.
  12. Rashidi, A., Khatib, M.M., Mousavi, S.M. and Jamour, Y. (1996) Estimation of the active faults Based on: Seismic, Geologic and Geodetic Moment Rates. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, **26**(104), 211-222 (in Persian).
  13. Rashidi Boshrabadi, A., Khatib, M.M., Raeesi, M., Mousavi, S.M. and Djamour, Y. (2018) Geometric-kinematic characteristics of the main faults in the W-SW of the Lut Block (SE Iran). *Journal of African*

<https://dx.doi.org/10.22071/gsj.2017.50265>.

30. Mandelbrot, B.B. and Freeman, W.H. (1982) *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco, California.
31. Khatib, M.M. (1377) *Geometry of End Branches in Strike Slip Faults*. Thesis for the Degree of Doctor of Geology in Tectonics. University of Shahid Beheshti (in Persian).

#### واژه‌نامه

Evolution	۱- فرگشت
Immature Faults	۲- گسل‌های نارس
Intermediate Faults	۳- گسل‌های میانه
Mature Faults	۴- گسل‌های رسیده
Clustering	۵- خوشه‌ای
Box-counting	۶- مربع شمار

and earthquake-hazard aspects of the 2003 December 26 Bam, Iran, earthquake. *Geophys. J. Int.*, **166**(3), 1270-1292.

22. Talebian, M., Biggs, J., Bolourchi, M., Copley, A., Gassemi, A., Ghorashi, M., Hollingsworth, J., Jackson, J., Nissen, E., Oveisi, B., Parsons, B., Priestley, K. and Saiidi, A. (2006) The Dahuiyeh (Zarand) earthquake of 2005 February 22 in central Iran: reactivation of an intramountain reverse fault. *Geophysical Journal International*, **164**, 137-148.
23. Rouhollahi, R., Ghayamghamian, M.R., Yamini-fard, F., Suhadolc, P. and Tatar, M. (2012) Source process and slip model of 2005 Dahuiyeh-Zarand earthquake (Iran) using inversion of near-field strong motion data. *Geophysical Journal International*, **189**(1), 669-680.
24. Fattahi, M., Walker, R.T., Talebian, M., Sloan, R.A. and Rasheedi, A. (2011) The structure and late Quaternary slip rate of the Rafsanjan strike-slip fault, SE Iran. *Geosphere*, **7**, 1159-1174.
25. Walker, R.T., Bergman, E.A., Elliott, J.R., Fielding, E.J., Ghods, A.R., Ghoraiishi, M., Jackson, J., Nazari, H., Nemati, M., Oveisi, B., Talebian, M. and Walters, R.J. (2013) The 2010–2011 South Rigan (Baluchestan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran. *Geophy.*, **193**(1), 349-374.
26. Aghanabati, A. (1385) *Geology of Iran*. Geological survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
27. Liu-Zeng, J., Heaton, T. and DiCaprio, Ch. (2005) The effect of slip variability on earthquake slip-length scaling. *Geophys. J. Int.*, **162**, 841-849.
28. Boore, D.M., Joyner, W.B. and Fumal, T.E. (1997) Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: a summary of recent work. *Seismological Research Letters*, **68**(1), 128-153.
29. Rashidi, A., Khatib, M.M., Mosavi, S.M. and Jamor, Y. (2017) Estimation of the active faults, based on Seismic, geologic and geodetic moment rates in the South and West of Lut block. *Journal of Geoscience*, **26**, 211-222,