

## تحلیل ارتباط سائزمو تکتونیک در زون بخاردن-قوچان با بی‌نظمی‌های هندسی زلزله‌ها

جواد بیگلری<sup>۱\*</sup>، عباس کنگی<sup>۲</sup>، عبدالرضا جعفریان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری زمین شناسی تکتونیک، گروه زمین شناسی واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود، ایران.

۲- استاد گروه زمین شناسی واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود، ایران.

۳- استاد گروه زمین شناسی واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود، ایران

\*tectogeology@gmail.com

دریافت شهریور ۱۳۹۸، پذیرش بهمن ۱۳۹۸

### چکیده

بیشترین فعالیت‌های لرزه‌ای در شمال شرق ایران در اطراف سیستم‌های گسلی اصلی زون بخاردن-قوچان که متشکل از مجموع گسل‌های فعال امتداد لغز-راستگرد با راستای تقریباً NW-SE توزیع یافته‌اند، مشاهده می‌شوند. فعالیت نوزمین ساختی به واسطه خمیدگی انتهایی آنها و تغییر سازوکارشان به معکوس همراه با راندگی، افزایش استرس، کوتاه‌شدگی باعث افزایش لرزه‌خیزی و تراکم بالای زمین لرزه‌ها در پایانه انتهایی آنها می‌باشد. موتور محرکه اصلی گسل‌های این زون ارتباط ساختاری با زون انتقالی-راندگی مشکان در بینالود دارد، که آن را به طور مداوم تحت تاثیر تنش‌های نئوتکتونیک همگرایی صفحات عربی-اوراسیا از زمان آخرین فاز کوهزایی آلپی تا کنون قرار داده است. تحلیل‌های فرکتالی به روش مربع شمار در این زون انجام شده و مقادیر آن بین صفر تا ۲ تغییر می‌کند. اگر به صفر نزدیک باشد گسل‌ها و زمین لرزه‌ها در یک نقطه با تنش بالا متمرکز شده‌اند و اگر به ۲ نزدیک باشد نشان‌دهنده تنش کم و پراکندگی گسل‌ها و زمین لرزه‌ها در کل محدوده است. در این تحقیق مقادیر به دست آمده به ۲ نزدیک تر بوده و توزیع ابعاد فرکتالی حجمی و سطحی در شمالشرق ایران نشان دهنده فعالیت‌های لرزه‌ای بیشتری در بخش‌های مرکزی و غربی زون بخاردن-قوچان می‌باشد.

کلمات کلیدی: سائزمو تکتونیک، لرزه‌خیزی، چشمه‌های لرزه‌ای، بعد فرکتال، زون نئوتکتونیک بخاردن-قوچان

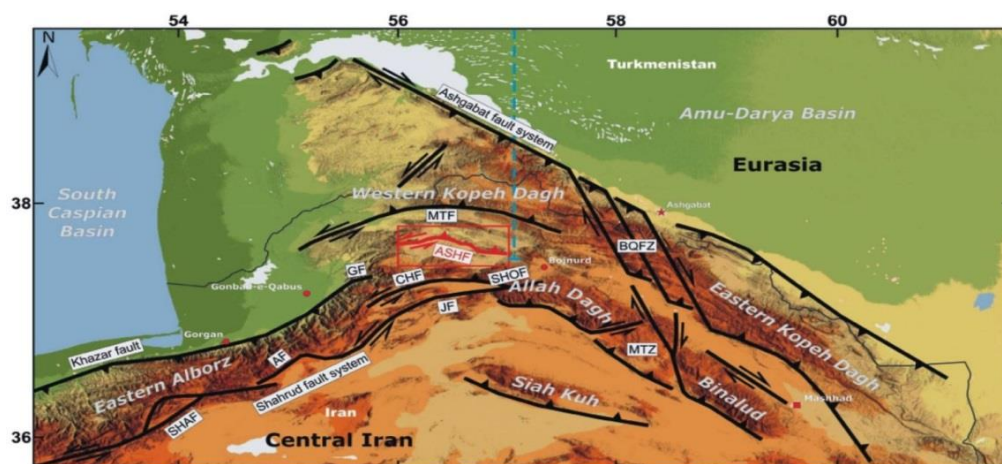
## ۱- مقدمه

سرزمین ایران بعنوان بخش میانی پهنه فعال زمین ساختی آلپ-همیالیا طرح پیچیده‌ای از مجموعه پوسته‌ها، قطعات زمین ساختی و پهنه‌های متفاوت زمین ساختی است که از نگاه نوزمین ساختی و لرزه زمین ساختی ویژگی‌های خاص دارد. ایران به صورت یک خرد صفحه ترد و شکننده در محل بین دو خط برخورد تکتونیکی صفحات بزرگتر عربستان، هند و اوراسیا واقع شده و تحت تاثیر فشارهای جانبی و تنش‌های حاشیه صفحات قرار گرفته و در امتداد خطوط مزبور موجب تمرکز حداکثر فعالیت لرزه‌ای در این نواحی شده و در نتیجه کمربند فعال زلزله خیز را در شمالشرق ایران بوجود آورده که رخدادهای زمین لرزه‌هایی با شدت کم و زیاد از دیرباز خود شاهدهی بر آن هستند [۱۲]، [۲۰]، [۱۱]. زون بخاردن - قوچان در قسمت مرکزی پهنه رسوبی- ساختاری کپه داغ در محدوده عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی به طول ۳۵۰ کیلومتر گستره تکتونیکی چین-رانده فعالی را در شمالشرق ایران تشکیل می‌دهد. بررسی کارتوگرافیکی زمین لرزه‌های ثبت شده اخیر نشان از حضور گسل‌های جنبای مهم و وقوع زلزله‌های متعدد در این زون است. گسل‌های مذکور عمدتاً در طی فاز کوهزایی کاتانگایی ایجاد شده‌اند و با فعالیت‌ها و حرکات قائم خود هورست و گرابنها و ناآرامی‌هایی را در امتداد خود موجب شده‌اند و برخی از آنها در عهد حاضر فعالیت مهمی به همراه گسل‌های بعد از کاتانگایی داشته‌اند که باعث رخداد زمین لرزه‌های مخرب نیز شده‌اند.

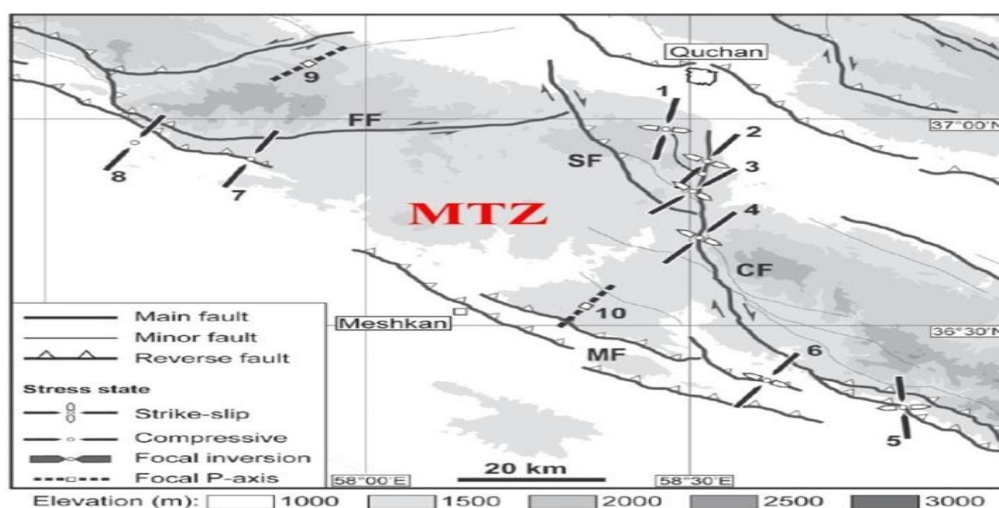
گسل‌های این زون دو دسته می‌باشند: ۱- گسل‌های پی‌سنگی با روند شرقی-غربی که در زمان رسوب‌گذاری فعال بوده‌اند. ۲- گسل‌های جنبای امتدادلغز-راستگرد با روند NW-SE که در فاز کوهزایی فعال شده‌اند. مهم ترین ویژگی بارز جنبای بودن این گسل‌ها خمیدگی پایانه انتهایی آنها می‌باشد که در اثر فشارش ناشی از همگرایی صفحات عربی-اوراسیا و ارتباط ساختاری آنها با گسل‌های رشته کوه بینالود از طریق زون مثلثی شکل انتقالی-رانده‌گی مشکان (MTZ) است که موتور محرکه اصلی فعالیت‌های نئوتکتونیکی گسل‌های این زون می‌باشد که باعث خمیدگی، کوتاه شدگی، فشردگی و ضخیم شدگی، افزایش استرس و گسل رانده‌گی در زون مذکور شده و به گسل‌های رانده کور (Blind fault) متصل شده‌اند. تغییر سازوکار این گسل‌ها از امتداد لغز به معکوس در پایانه انتهایی آنها محل مناسبی را برای افزایش رویدادهای زمین لرزه‌ای ایجاد کرده است. عمق کم موهو ۴۰ تا ۴۵ کیلومتر، توزیع عمق کانونی زمین لرزه‌ها بین ۶ تا ۲۵ کیلومتر و سازوکار کانونی زمین لرزه‌ها نشان از وجود گسل‌های جنبای امتدادلغز-راستگرد در این زون می‌باشد [۲۲] و [۲۶].

هندسه فرکتالی شاخه‌ای از علم ریاضیات است و فرکتال‌ها الگوهای هندسی مربعی و دایره‌ای هستند که در اندازه‌های کوچک و بزرگ بر روی صفحه و یا فضا قرار دارند و مرتباً تکرار می‌شوند که برای توجیه و تفسیر توزیع تنش در پوسته، سازوکار گسل‌ها و تغییرات سامانه گسلی در طول زمان و مکان احتمالی وقوع زمین لرزه‌های آینده در این زون استفاده می‌شود. در طبیعت شکل‌ها و رفتارهایی را می‌توان یافت که قابل توصیف توسط هندسه کلاسیک نیستند و فاقد بعد می‌باشند مانند گسل‌ها و فرایندهای زمین لرزه‌ای [۸]. این شکل‌ها و رفتارها توسط هندسه فرکتالی قابل توجیه و توصیف هستند زیرا یک توزیع فرکتالی می‌تواند بیانگر نحوه توزیع متغیرها و اندازه متغیرها نسبت به کل فضای اشغال شده باشد. بعنوان مثال رابطه بین توپوگرافی ایجاد شده در اثر فعالیت‌های زمین ساختی مانند گسل‌ها، چین‌ها و خمش‌ها با میزان فرسایش پذیری و رسوب گذاری یکی از این موارد است؛ پدیده‌های زمین شناسی دارای متغیرهای فراوانی هستند که برقراری رابطه بین آنها با روش‌های معمولی ریاضی مشکل است مانند فراوانی و اندازه ذرات تشکیل دهنده سنگ‌ها، گسل‌ها، زمین لرزه‌ها، آتشفشان‌ها، ذخایر معدنی و میدان‌های نفتی. مدل‌های فرکتالی زیادی برای توزیع گسل‌ها در سطح پوسته زمین در یک منطقه توسط تورکات [۲۹] ارائه شده است.

از تحلیل‌های فرکتالی می‌توان برای بررسی سیستم‌های گسلی و فرآیندهای زمین‌ساختی با محاسبه بعد فرکتالی ساختارهای خطی مانند گسل‌ها بسیاری از ویژگی‌های آنها را شناسایی و تراکم این ساختارهای خطی را تعیین و با یکدیگر مقایسه نمود [۵]، [۲]، [۱]، [۴]، [۳]، [۶]، [۲۳]، [۱۵]، [۱۶]. در نواحی فعال نئوتکتونیک بعد فرکتالی بین مقادیر صفر تا ۲ تغییر می‌کند. اگر این مقدار نزدیک به صفر باشد نشان‌دهنده متمرکز شدن گسل‌ها و زمین‌لرزه‌ها در یک نقطه تنشگاهی با میزان تنش بالا می‌باشد ولی اگر مقدار بعد فرکتالی نزدیک به ۲ باشد، نشان‌دهنده تنش کم و پراکندگی گسل‌ها و زمین‌لرزه‌ها در کل محدوده است. نقشه بعد فرکتالی تغییرات این مقدار را بین ۱/۵ تا ۱/۸ در بخش عمده‌ای از زون بخاردن-قوچان نشان می‌دهد که بیانگر توزیع گسل‌ها در سراسر این زون می‌باشد به گونه‌ای که می‌توان این سیستم گسلی را به سه بخش غربی، مرکزی (زون بخاردن-قوچان) و شرقی تقسیم کرد. الگوی فعالیت‌های لرزه‌ای این زون با الگوی زمین‌لرزه‌های درون قاره‌ای عمق کم بین صفر تا ۲۵ کیلومتر مطابق بوده که در ارتباط با چشمه‌های لرزه‌ای گسل‌های اصلی منطقه و شاخه‌های فرعی آنها می‌باشد و نشان‌دهنده فعالیت لرزه‌ای بالایی در این زون و بخش غربی آن می‌باشد [۳۰]، [۲۶] (شکل‌های ۱ و ۲).



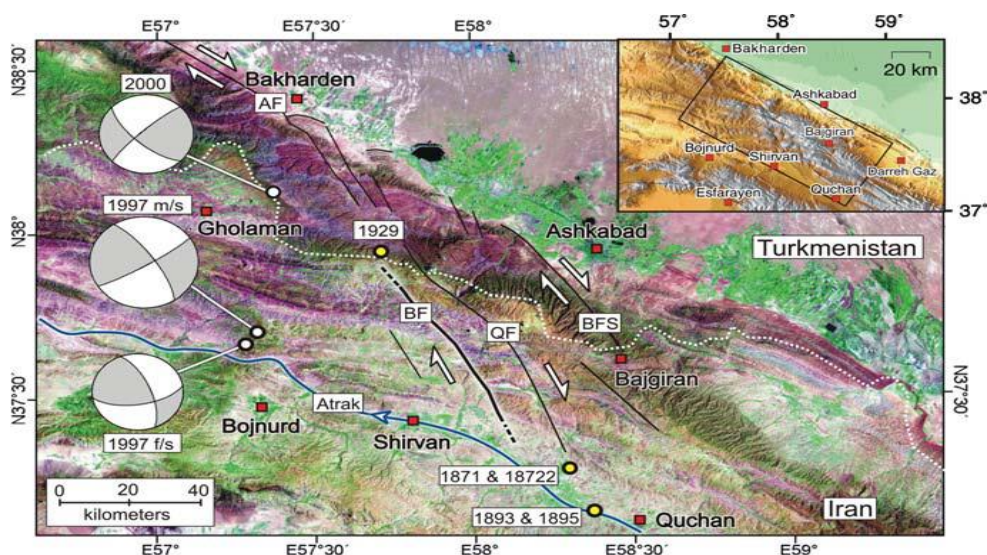
شکل ۱- نمایش نقشه ساده شده گسل‌های شمال‌شرق ایران. (BQFZ) زون گسلی بخاردن-قوچان، (MTZ) زون راندگی انتقالی مشکان [۱۳].



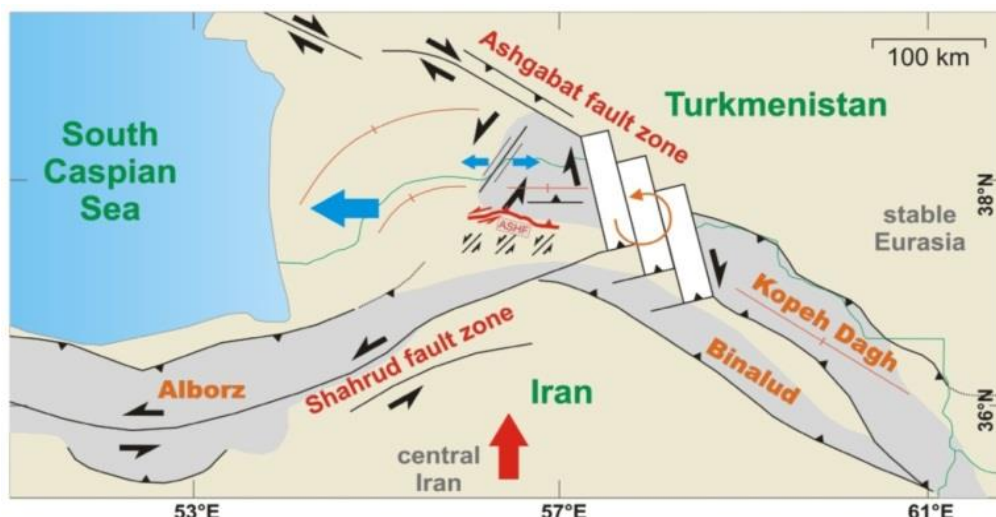
شکل ۲- ارتباط پهنه مثلثی شکل انتقالی راندگی مشکان (MTZ) با زون گسلی بخاردن-قوچان

## ۲- گسل‌های مهم تاریخی نئوتکتونیک و لرزه‌خیزی زون بخاردن-قوچان

تداوم همگرایی صفحات عربی و توران ناشی از تاثیر تنش‌های وارده از ریفت شدگی بستر دریای سرخ و همگرایی صفحات عربی-اوراسیا و ارتباط ساختاری گسل‌های این زون با گسل‌های بینالود از طریق زون مثلثی شکل انتقالی-رانندگی مشکان (MTZ) باعث شده گسل‌های امتداد لغز-راستگرد این زون نئوتکتونیک تحت آرایش ریدل (Riedel) شکل گرفته و به دلیل وجود سیستم فشارشی مایل دچار رانندگی شده و مدل نئوتکتونیک چرخش خلاف عقربه‌های ساعت بلوک‌ها حول محور عمودی‌شان در اثر حرکت راستگرد گسل عشق آباد و حرکت چپگرد گسل شاهرود را پدید آوردند و کشش شرقی-غربی را ایجاد کنند [۱۳]. زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی ثبت شده اطلاعات دقیق و ارزشمندی از فعالیت گسل‌های مهم این زون مانند عمق لایه‌ها، هندسه گسل‌ها و سازوکار گسل‌ها را فراهم می‌کنند. مهم‌ترین گسل‌های این زون نئوتکتونیک عبارتند از: گسل اصلی عشق آباد (AF)، گسل قوچان (QF)، گسل باغان-گرماب (BF)، گسل شیروان و گسل غلامان-سومبار می‌باشند. تجمع زمین لرزه‌های بزرگ و مخرب گذشته و حال در امتداد گسل‌های این زون دلیل خوبی بر فعالیت‌های بالای لرزه‌ای آنها و وجود تنشگاه‌ها به خصوص در اطراف گسل‌های قوچان و باغان-گرماب می‌باشند. اکثر زمین لرزه‌ها در عمق کانونی کمتر از ۱۰ کیلومتر رخ داده‌اند که نشان از حضور گسل‌های امتداد لغز راستگرد در این زون می‌باشد [۲۸]، [۱۳]، [۷]. در این زون تنشگاه‌ها به دو شکل می‌باشند: ۱- بخش‌های قفل شده گسل‌ها که محل و مرکز تجمع و انباشت استرس بوده و میزان واتنش وارده به صفحه گسل حداکثر بوده و کمترین دوره بازگشت زمین لرزه‌ها را دارند در نتیجه گسل‌ها مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند و در نهایت منجر به وقوع زلزله‌های بزرگ و مخرب خواهند شد. ۲- بخش‌های قفل نشده گسل‌ها (خزشی) که انباشت و تجمع تنش و میزان واتنش وارده به صفحه گسل حداقل بوده و انرژی به تدریج تخلیه می‌شود در نتیجه گسل‌ها مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهند و دارای بیشترین دوره بازگشت زمین لرزه‌ها بوده و منجر به وقوع زلزله‌های کوچکتر خواهند شد [۱۰]، [۹]، [۱۲]، [۱۸]. (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۳- تصویر زون گسلی بخاردن-قوچان در مرکز کپه داغ. (AF) سامانه گسل اصلی عشق آباد-کپه داغ. (BF) سامانه گسلی باغان. (QF) سامانه گسلی قوچان. (BFS) سامانه گسلی باجگیران. رو مرکز زلزله‌های ۱۵۰ سال گذشته. (f/s) پیش لرزه‌ها. (m/s) زلزله‌های اصلی [۱۸].



شکل ۴- مدل نئوتکتونیک گسلهای جنبای زون بخاردن-قوچان، گسلهای بینالود، شاهرود و جنوب شرق دریای خزر [۱۳].

### ۳-روش مطالعه

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Zmap از روش مربع شمار برای محاسبه بعد فرکتالی سطحی توزیع گسلها در زون بخاردن-قوچان استفاده نمودیم. از آنجایی که رفتار لرزه‌ای در یک گسل می‌تواند با بی‌نظمی‌های هندسی آن گسل مرتبط باشد، گسل‌های اصلی و یا قطعات گسلی همواره در طول مناطقی از خود که دارای هندسه بی‌قاعدگی هستند دچار گسیختگی می‌شوند [۲۵]، در نتیجه بدون در نظر گرفتن مقیاس، سیمای ناهموار سیستم‌های گسلی در گسل‌ها می‌تواند تابع هندسه فرکتالی بوده بنابراین بی‌نظمی هندسی می‌تواند به صورت بعد فرکتالی (D) بررسی شود که مقادیر بزرگتر D نشان دهنده بی‌نظمی‌های هندسی بیشتر می‌باشد [۲۷]. پدیده‌های طبیعی معمولاً از الگوها و فرم‌های هندسی یکسانی پیروی می‌کنند لذا می‌توان با شناسایی و پیدا کردن این الگوها در مقیاس‌های کوچکتر آنها را در مقیاس‌های بزرگتر نیز تعمیم داد. بعد فرکتالی روش ریاضی بی‌نظمی نیز نامیده می‌شود که برای توزیع خودتشابهی در بسیاری از پدیده‌های طبیعی با مقیاس‌های متفاوت و فرم هندسی قطعه‌شوندگی استفاده می‌شوند که نشان دهنده شباهت اجزا به کل می‌باشد. ابعاد فرکتالی می‌توانند اعداد اعشاری نیز باشند که با شیوه انتگرال همبستگی شمارش مربع‌ها قابل اندازه‌گیری هستند.

زلزله‌ها روی یک سطح یکپارچه واحد گسلی رخ نمی‌دهند و معمولاً روی سطوح گسل‌های متعدد مرتبط و نزدیک به هم که ساختار فرکتالی دارند، رخ می‌دهند پس می‌توان گسل‌ها زمین لرزه‌های منطقه را روی یک شبکه مربعی پیاده کرد و متعاقباً هر محدوده را بطور مجزا مورد بررسی قرار داد و آنها را منطبق بر نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰) تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور می‌باشند قرار دهیم و از اسامی ورقه‌های زمین‌شناسی در نامگذاری محدوده‌ها نیز استفاده کرد. درون مربع‌ها تعداد رویداد زمین لرزه‌ها ثبت می‌شوند و هر چه تراکم رویدادها بیشتر باشد، مربع‌ها کوچکتر شده ولی دقت بیشتر می‌شود. با محاسبه و ترسیم نقشه‌های بعد فرکتالی می‌توانیم الگوی بی‌نظمی‌های هندسی و شکل‌گیری دو سلول با بعد فرکتالی بالا در طول سیستم گسلی زون بخاردن-قوچان را شناسایی و نشان دهیم. در این زون مقدار بعد فرکتالی بین ۱/۵ تا ۱/۸ می‌باشد که نشان‌دهنده معنادار بودن آن در تعیین و تغییر نئوتکتونیک و لرزه‌خیزی منطقه می‌باشد [۲۴]، [۱۷]، [۲۷]، [۱۴]، [۳۲].

## ۴-بحث

## ۴-۱- ارزیابی بعد فرکتالی در زون بخاردن-قوچان

برای هر پدیده A که بر روی سطح دو بعدی ظاهر می شود احتمال هندسی آن توسط رابطه (۱) محاسبه می شود [۳۲].

$$P(A) = \text{Sum}(A) / \text{Sum}(\text{Total}) \quad (1)$$

درحالی که کل مربعاتی که توسط گسل ها قطع شده اند از رابطه (۲) محاسبه می شوند یعنی مربعاتی که با طول  $r_i$  سطح منطقه مطالعاتی را پوشانده اند.

$$\text{Sum}(A) = N(r_i) * r_i^2 \quad (2)$$

و تعداد کل مربعاتی که سطح منطقه را پوشانده اند از رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$\text{Sum}(\text{Total}) = N_i * r_i^2 \quad (3)$$

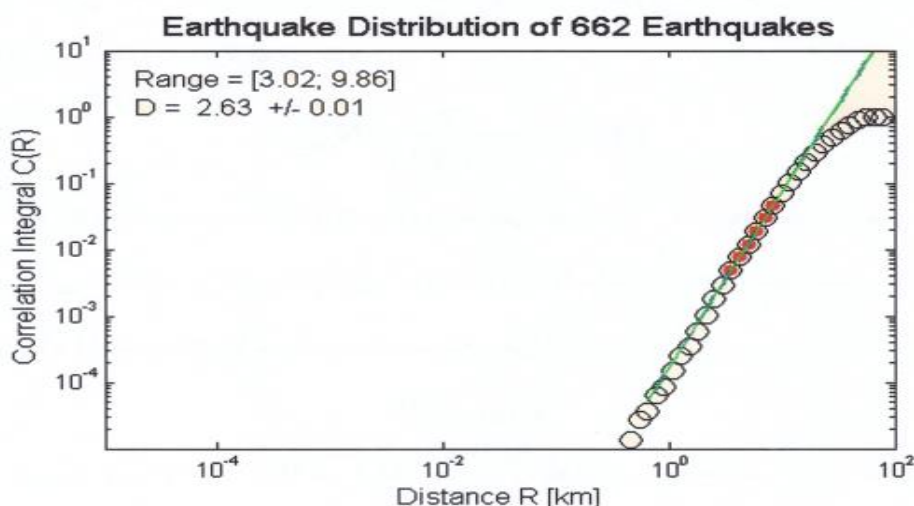
$N_i$  = تعداد مربع ها،  $N(r_i)$  = تعداد مربعاتی که حداقل توسط یک گسل قطع شده اند.

احتمال اینکه یک مربع با طول اضلاع  $r_i$  توسط یک گسل قطع شود از رابطه (۴) و در صورتی که احتمال هندسی دارای خودتشابهی باشد باید از توزیع فرکتالی تبعیت کند رابطه (۵)، [۲۹].

$$P(r_i) = N(r_i) / N_i \quad (4)$$

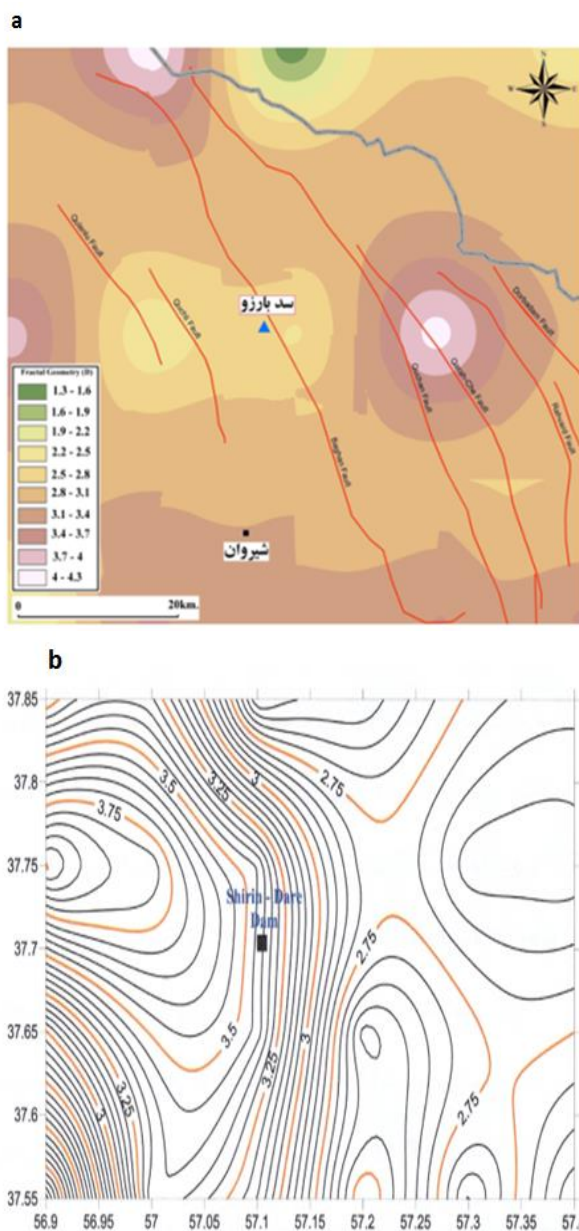
$$p(r_i) = (r_i / r_0)^{2-D_p} \quad (5)$$

به طوری که  $D_p$  بعد فرکتال توزیع احتمالی  $p(r_i)$  می باشد. مقدار  $D_p$  تابعی از توزیع گسل ها در منطقه بوده و عددی بین صفر تا ۲ می باشد. مقادیر نزدیک به صفر نشان دهنده این است که گسل ها به شدت در یک محدوده کوچک در منطقه مطالعاتی وجود دارند و دارای توزیع ناچیزی هستند در صورتی که مقادیر نزدیک به ۲ نشان دهنده توزیع بسیار زیاد گسل ها در سراسر منطقه مورد نظر می باشند. در تحلیل بعد فرکتالی زمین لرزه های پیرامون سد های شیرین دره و بارزو در محدوده گسل های قوچان و باغان در این تحقیق مقدار  $2/63$  برای بعد فرکتالی رومرکز زمین لرزه ها در شعاع ۳۰ کیلومتری بدست آمده است و نشان دهنده حد بالایی از بعد فرکتالی و توزیع بسیار زیاد گسل ها در سراسر منطقه می باشند (شکل ۵).



شکل ۵- تعیین بعد فرکتالی در شعاع ۳۰ کیلومتری سد شیرین دره به روش مربع شمار و انتگرال همبستگی با استفاده از نرم افزار zmap

در این تحقیق برای محاسبه بعد فرکتالی از حداقل ۴۲ نقطه رومرکز زمین لرزه‌ها استفاده شده است که منطقه را به شبکه‌هایی به ابعاد ۰/۲ درجه در ۰/۲ درجه با همپوشانی ۰/۲۵ درجه تقسیم نمودیم و بعد فرکتالی را برای شبکه‌هایی که تعداد رویدادهای آنها بیش از ۴۲ رویداد بوده، محاسبه شده است که در (شکل ۶).



شکل ۶- (a). شکل گیری دو سلول با بعد فرکتالی بالا در بخش مرکزی گسل قوچان و بخش شمالی گسل باغان-گرماب در زون بخاردن- قوچان (b). نقشه بعد فرکتالی همبستگی گستره‌ای به شعاع ۳۰ کیلومتری سد شیرین دره.

۲-۴- ارتباط بعد فرکتالی و پارامتر  $b$ -value

بعد فرکتالی رومرکز زمین لرزه‌ها، اندازه تغییر شکل پوسته و درجه تراکم زمین لرزه‌های سیستم گسلی فعال منطقه را در زمان و مکان نشان می‌دهد در حالی که پارامتر  $b$  بستگی به وضعیت رژیم تنش، استحکام شکستگی‌ها و ناهمگنی پوسته زمین در منطقه دارد و رابطه فراوانی بین مقدار زمین لرزه‌های با بزرگای مختلف را بیان می‌کند و توسط رابطه (۶) گوتمبرگ-ریشتر محاسبه می‌شود [۲۱].

$$N_r = a^{m-b} \quad (6)$$

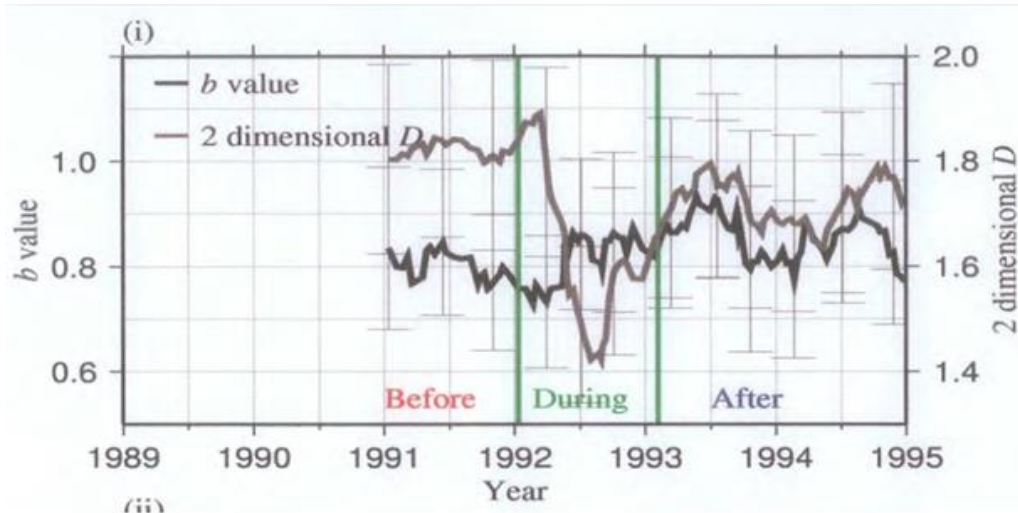
$m$  بزرگا،  $N_r$  مجموع تعداد زمین لرزه‌ها در منطقه که دارای بزرگای  $m$  و یا بیشتر هستند،  $a$  و  $b$  ضرایب رگرسیونی، پارامتر  $b$  عموماً دارای مقادیر نزدیک به ۱ بوده ولی معمولاً کمتر از ۰/۷ یا بالاتر از ۱/۳ نمی‌باشد. این پارامتر دارای اهمیت بالایی است زیرا با بکاربردن منطق خودتشابهی هندسی نشان داده شده است که پارامتر  $b$  در رابطه گوتمبرگ-ریشتر می‌تواند مستقیماً به بعد فرکتالی سیستم‌های گسلی فعال که در فعالیت‌های لرزه‌ای دخیل هستند ارتباط داشته باشد طبق رابطه (۷)، [۲۰].

$$D = 3b/c \quad (7)$$

$C$  مقدار ثابت و در صورتی که مقدار آن ۱/۵ در نظر گرفته شود رابطه (۷) به رابطه (۸) خلاصه می‌شود [۱۹].

$$D = 2b \quad (8)$$

با توجه به مقادیر  $D=2.63$  و  $b=0.92$  پیرامون گسل‌های زون بخاردن-قوچان در اطراف سدهای شیرین دره و بارزو رابطه منفی وجود دارد ولی می‌تواند به صورت موقت و محلی در مناطق یا زمان‌هایی مثبت یا منفی باشد [۲۰]. طبق شکل (۷) مطالعات انجام گرفته در این تحقیق نشان می‌دهد قبل از زمین لرزه نمودار بعد فرکتالی  $D$  بیشتر از  $b$  می‌باشد ولی در طی زمان وقوع زمین لرزه نمودار آنها عکس می‌شوند یعنی نمودار بعد فرکتالی  $D$  کاهش و  $b$  افزایش یافته است و سپس بعد از زمین لرزه هر دو نمودار  $D$  و  $b$  افزایش یافته و به همان صورت باقی می‌مانند [۳۱]، [۲۵].



شکل ۷- ارتباط پارامترهای لرزه خیزی بعد فرکتالی  $D$  و  $b$ -value در زون بخاردن - قوچان پیرامون سدهای شیرین دره و بارزو در قبل، طی زمان و بعد از رویداد زمین لرزه



## ۵- نتیجه گیری

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد بیشترین فعالیت‌های لرزه‌ای در زون بخاردن-قوچان مطابق با الگوی زمین لرزه‌های درون قاره‌ای با عمق کم بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر بوده و در اطراف سیستم‌های گسلی اصلی و شاخه‌های فرعی آنها توزیع یافته‌اند که اکثراً در راستای NW-SE قرار دارند و در محدوده این گسل‌ها توزیع ابعاد فرکتالی سطحی و حجمی نشان‌دهنده فعالیت لرزه‌ای بالاتر در بخش‌های مرکزی (زون بخاردن-قوچان) و غربی کپه داغ می‌باشند. در این زون تغییر سازوکار در پایانه انتهایی گسل‌ها از امتدادلغز به راندگی در اثر خمیدگی انتهایی آنها باعث افزایش تنش و کاهش پارامتر  $b$  و افزایش بعد فرکتالی  $D$  و بی‌نظمی‌های هندسی در بخش‌های انتهایی گسل‌ها شده است در نتیجه این گسل‌ها مسئول اغلب زمین لرزه‌های ویرانگر تاریخی و دستگاهی در این زون می‌باشند. آزاد شدن انرژی در گسل‌های این زون به گونه‌ای است که هنگامی گروهی از گسل‌ها به آستانه جنبش می‌رسند، مقدار  $b$  در آنها بالا رفته و گروهی دیگر از گسل‌ها که در حال انباشت انرژی هستند، مقدار  $b$  در آنها پایین می‌باشد.

## سپاس و قدردانی

نویسندگان از گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه آزاد شاهرود تشکر نموده و همچنین بر خود لازم می‌دانند از سردبیر و داوران محترم آقایان دکتر محمد مختاری و دکتر فرج فردوست که به غنای بیشتر مقاله کمک نمودند، سپاسگزاری نمایند.

## منابع

- [۱]. آقاشاهی اردستانی، س.، ۱۳۸۷، لرزه زمین ساخت و توان لرزه ای گسل زاهدان و اثر آن بر روی شهر زاهدان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران.
- [۲]. آقاناتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی ایران.
- [۳]. چرچی، ع.، خطیب، م.، مظفرخواه، م. و برجسته، ا.، ۱۳۹۰، کاربرد تحلیل فرکتالی برای تعیین پویایی زمین ساخت در شمال خوزستان. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۱، صفحه ۳۷-۴۷.
- [۴]. حاجی، ا. و رحیمی، ب.، ۱۳۸۸، مطالعه الگوی آماری و شکستگی سیستم های فرکتالی در ناحیه تکنار نقشه مرکز ایران بوسیله GIS. مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۶، صفحه ۱۲۹-۱۳۶.
- [۵]. خطیبی، م. و شهریاری، س.، ۱۳۷۶، تحلیل فرکتالی گسل نهبندان. مجله زمین، ۶، صفحه ۳۲-۳۹.
- [۶]. علیپور، ر.، صدر، ا. و امینی، پ.، ۱۳۹۴، تحلیل پویایی زمین ساخت گسل مروارید در پهنه زاگرس جوان بوسیله استفاده از GIS و تجزیه و تحلیل فرکتالی. بیستمین کنفرانس زمین شناسی، تهران، صفحه ۸۱۴-۸۲۳.
- [۷]. غضنفری بروجنی، ع.، محمدرضایی، ح. و انصاری، ح.، ۱۳۹۷، تلفیق شبکه های عصبی مصنوعی و الگوریتم ردیابی خودکار احتمال گسل نازک شده جهت شناسایی، تفسیر و استخراج گسل ها. زمین شناسی نفت، ۸(۱۵)، صفحه ۶۳-۸۱.
- [۸]. فاتحی، ز.، جمال آبادی، ج.، زنگنه، م. و رباط سرپوشی، م.، ۱۳۹۴، بررسی تأثیر زمین ساخت در جنبه های کمی زهکشی. تحقیقات کمی ژئومورفولوژی، ۴، صفحه ۸۷-۱۰۳.
- [۹]. فاتحی، ن.، نصرآبادی، ا.، موسوی، ح. و سپهوند، م.، ۱۳۹۶، پهنه بندی لرزه ای استان سیستان و بلوچستان به دو روش تعینی و احتمالاتی اصلاح شده. پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، ۳(۲)، صفحه ۲۵۵-۲۶۹.
- [۱۰]. قاسمی، م.، ۱۳۸۳، منابع لرزه ای گسل ها و انواع آن. سمینار آموزشی لرزه زمین ساخت و تحلیل ارتباط خطرات زلزله، تهران، ایران.

- [11]. ALLEN, M., JACKSON, J., and WALKER, R., 2004, Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates: *Tectonics*, **23(2)**, 1-17.
- [12]. BERBERIAN, M., 1981, Active faulting and tectonics of Iran. *Zagros Hindu Kush Himalaya: Geodynamic Evolution*, **3**, 33-69.
- [13]. BRETIS, B., GRASEMANN, B., & CONRADI, F., 2012, An Active Fault Zone in The Western Kopeh Dagh (Iran): *Austrian Journal of Earth Sciences*, **105(3)**, 95-107.
- [14]. BROWN, F. A., GUZMÁN, A. R., YÉPEZ, E., NAVARRO, A. R., and MILLER, C. P., 1998, Fractal geometry and seismicity in the Mexican subduction zone: *Geofísica Internacional*, **37(1)**, 1-9.
- [15]. DEWEY, J. F., HEMPTON, M. R., KIDD, W. S. F., SAROGLU, F. A. M. C., and ŞENGÖR, A. M. C., 1986, Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone: *Geological Society, London, Special Publications*, **19(1)**, 1-36.
- [16]. GUARNIERI, P., CARBONE, S., and DI STEFANO, A., 2002, The Sicilian orogenic belt: a critical tapered wedge?: *Bollettino-Societa Geologica Italiana*, **121(2)**, 221-230.
- [17]. HIRATA, T., 1989, A correlation between the b value and the fractal dimension of earthquakes: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **94**, 7507-7514.
- [18]. HOLLINGSWORTH, J., JACKSON, J., WALKER, R., REZA GHEITANCHI, M., and JAVAD BOLOURCHI, M., 2006, Strike-slip faulting, rotation, and along-strike elongation in the Kopeh Dagh mountains, NE Iran: *Geophysical Journal International*, **166**, 1161-1177.
- [19]. KANAMORI, H., and ANDERSON, D. L., 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology: *Bulletin of the seismological society of America*, **65(5)**, 1073-1095.
- [20]. KING, G., 1983, The accommodation of large strains in the upper lithosphere of the earth and other solids by self-similar fault systems: the geometrical origin of b-value: *Pure and Applied Geophysics*, **121**, 761-815.
- [21]. LOMNITZ, C., 2013, *Global tectonics and earthquake risk*, **5**, Elsevier.
- [22]. LYBERIS, N., and MANBY, G., 1999, Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the post-Miocene: *AAPG bulletin*, **83(7)**, 1135-1160.
- [23]. MANDELBROT, B. B., 1982, The fractal of Geometry. *Nature*, 394-397.
- [24]. OKUBO, P. G., and AKI, K., 1987, Fractal geometry in the San Andreas fault system. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **92(B1)**, 345-355.
- [25]. SCHWARTZ, D. P., & COPPERSMITH, K. J., 1984, Fault behavior and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **89**, 5681-5698.
- [26]. SHABANIAN, E., SIAME, L., BELLIER, O., BENEDETTI, L., and ABBASSI, M. R., 2009, Quaternary slip rates along the northeastern boundary of the Arabia-Eurasia collision zone (Kopeh Dagh Mountains, Northeast Iran). *Geophysical Journal International*, **178(2)**, 1055-1077.
- [27]. SUKMONO, S., ZEN, M. T., KADIR, W. G. A., HENDRAJAYA, L., SANTOSO, D., and DUBOIS, J., 1996, Fractal geometry of the Sumatra active fault system and its geodynamical implications: *Journal of Geodynamics*, **22(1-2)**, 1-9.
- [28]. TCHALENKO, J. S., 1975, *Seismicity and structure of the Kopet Dagh (Iran, USSR)*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, **278(1275)**, 1-28.
- [29]. TURCOTTE, D. L., 1992, Fractals and fragmentation: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **91**, 1921-1926.
- [30]. VERNANT, P., NILFOROUSHAN, F., CHERY, J., BAYER, R., DJAMOUR, Y., MASSON, F., & TAVAKOLI, F., 2004, Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data. *Earth and Planetary Science Letters*, **223**, 1-2.
- [31]. WIEMER, S., and WYSS, M., 2002, Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: *In Advances in geophysics*, **45**, 259-V
- [32]. WYSS, M., SAMMIS, C. G., NADEAU, R. M., and WIEMER, S., 2004, Fractal dimension and b-value on creeping and locked patches of the San Andreas fault near Parkfield, California: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **94(2)**, 410-421.

## Analysis Correlation of Seismo-Tectonic in Bakharden-Quchan Zone with Geometry Disorders of Earthquakes

J. Biglari, A. Kangi, A.R Jafarian  
[\\*tectogeology@gmail.com](mailto:tectogeology@gmail.com)

Received: September 2019, Accepted: December 2019

### Abstract

The most seismic activities have observed around and along major fault systems of this zone in NE Iran that involving of an array active right lateral-strike slip faults have distributed by trending NW-SE. Neotectonic activities and mechanism changing of faults to reverse thrusting faults have caused to increase stress, shortening and increasing seismicity with high density of earthquakes in their ends bending. Structural relation faults between this zone and Binaloud through Meshkan thrusting-transfer zone which is major motion engine of Bakharden-Quchan zone to put it constantly under neotectonic stresses convergence of Arabia-Eurasia plates since last phase Alpine orogeny. In this paper fractal analysis through box counting method has done and D values change between 0-2. If D closes to zero, faults and earthquakes are focusing in a point with high tension and if D closes to 2 is shown low tension, dispersal faults and earthquakes in whole of region. In this paper values are closed to 2 and both surface/volume fractal dimensions distribution show higher seismicity activities in Central and Western parts of Kopeh Dagh in NE Iran.

**Keywords:** Seismotectonic, Seismicity, Seismic Sources, Fractal dimension, Neotectonic Zone of Bakharden-Quchan.