



تأثیر برهمکنش گسل ها بر توسعه و رشد شکستگی ها (مطالعه موردی: کمربند چین - رانده شتری)

راضیه عباس پور (نویسنده مسئول)^۱، سید مرتضی موسوی^۱، محمدمهدی خطیب^۳، احمد رشیدی^۴
^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران Raz_abbaspour@birjand.ac.ir
^۲ دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران mmoussavi@birjand.ac.ir
^۳ استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران mkhatib@birjand.ac.ir
^۴ پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، گروه لرزه زمین ساخت، تهران، ایران rashidi@iiees.ac.ir

چکیده

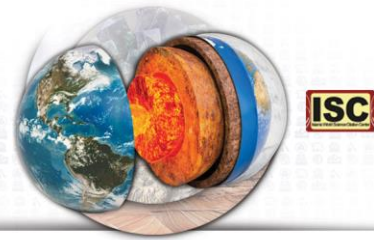
کمربند چین- رانده شتری با طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر، در بخش شمال خاوری بلوک طبس، خاور شهرستان طبس و در پایانه‌ی شمالی گسل نایبند قرار دارد. در این پژوهش، بعد فرکتالی شکستگی ها و زمین لرزه ها برای نقاط تعیین شده در راستای کمربند چین- رانده شتری به روش مربع شمار انجام و برای هر نقطه یک بعد فرکتالی محاسبه شد. بعد فرکتالی شکستگی ها مقدار حداقل را برای بخش جنوبی، و بعد فرکتالی مربوط به زمین لرزه ها مقدار حداقل را برای بخش شمالی و مقدار حداکثر را برای بخش جنوبی نشان می‌دهد. کاهش در بعد فرکتال سیستم گسلی در این گستره ارتباط مستقیمی با افزایش ابعاد فرکتالی زمین لرزه‌های در این بخش دارد. از این رو احتمال گسیختگی و حرکت در شکستگی ها و گسل ها افزایش پیدا کرده و در نتیجه احتمال وقوع زلزله و توان لرزه‌زایی در آن بالا می‌رود. و ما شاهد فراوانی رومرکز زمین لرزه‌ها در این پهنه خواهیم بود. این تفاوت در ابعاد فرکتالی ممکن است نمایش دهنده تفاوت در فعالیت تکتونیکی قطعات مختلف در بخش‌های کمربند چین- رانده شتری بوده و امکان تفکیک قطعات مختلف از روی تفاوت ابعاد فرکتالی فراهم باشد.

واژه‌های کلیدی

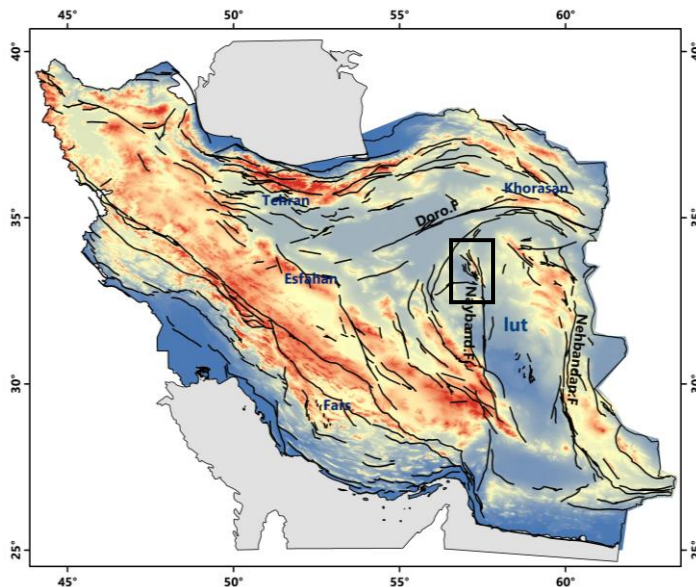
کمربند چین- رانده، فرکتال شکستگی ها، فرکتال زمین لرزه ها، رشد و توسعه‌ی شکستگی ها

۱. مقدمه

براساس بررسی و تحقیقات (Beberian., 1981)، فعالیت‌های لرزه‌ای در ایران ارتباط نزدیک و معناداری با تجدید فعالیت گسل‌های فعال و پویا دارد. حرکات زمین‌ساختی نئوژن- کواترنری پیشین و همچنین مکانیسم گسل‌های فعال نشان می‌دهد که فلات ایران، یک پهنه در حال تغییر شکل فشاری است. حرکات و جنبش‌های فشاری حاصل از همگرایی دو بلوک عربی و اوراسیا منجر به کوتاه شدگی پوسته‌ی ایران در راستای گسل‌های معکوس و چین‌خوردگی‌ها با روند شمال باختری- جنوب خاوری شده است. این تغییر شکل به حاشیه صفحات و یا در راستای گسل‌های امتدادلغز محدود نشده است. در حال حاضر این تغییر شکل غالباً در راستای گسل‌های معکوس در مرزهای کوه- دشت و کمتر در گسل‌ها امتدادلغز رخ می‌دهد (قرشی و آرین، ۱۳۸۹). نحوه برهمکنش گسل‌ها هندسه گسل، جابجایی‌ها و مقادیر کرنش را کنترل می‌کند. غالباً گسل‌ها به صورت پهنه‌ای رخ می‌دهند، که می‌توان در آن طیف وسیعی از گسل‌ها را با طول‌ها، اندازه‌ها و جهت‌های مختلف مشاهده کرد. انواع مختلفی از برهمکنش‌ها را می‌توان در یک پهنه‌ی گسلی دید، زیرا گسل‌ها با یکدیگر روابط هندسی و جنبشی را تشکیل می‌دهند (Duffy et al., 2015; Fossen et al., 2005; Frankowicz & McClay, 2010; Nixon et al., 2014). برهمکنش



گسلی، مناطقی از تجمع محلی و آشفته‌گی تنش را ایجاد می‌کند که بر هندسه و کینماتیک گسل‌ها تأثیرگذار است (Bourne & Willemsse, 2001; Kattenhorn et al., 2000; Maerten, 2000). با این وجود، برای تفسیر برهمکنش گسل‌ها و تمایز بین انواع مختلف برهمکنش گسل‌ها باید هندسه، کینماتیک و روابط سنی برهمکنش‌های مختلف را باید مورد بررسی قرار داد. این منطقه در شرق ایران و شمال باختری پهنه‌ی ساختاری لوت (Stocklin, 1968) و شهرستان لرزه زمین‌ساختی طیس قرار دارد (شکل ۱). تحقیقات قبلی در این منطقه عمدتاً بر روی زمین ساخت فعال، نرخ تغییر شکل و خطرات لرزه‌ای متمرکز بوده است. با این حال، تحقیقات نسبتاً محدودی در مورد تأثیر متقابل بین گسل‌های فعال در کمربند چین-رانده شتری بر توسعه و رشد شکستگی‌ها در محل برهمکنش گسل‌ها انجام شده است که هدف اصلی این پژوهش را تشکیل می‌دهد. هدف ما بررسی تأثیر رابطه بین گسل امتداد لغز نای بند و گسل‌های راندگی مانند شتری، اسفندیار و سایر گسل‌های راندگی در کمربند چین-رانده شتری بر توسعه و تکامل شکستگی‌هاست.



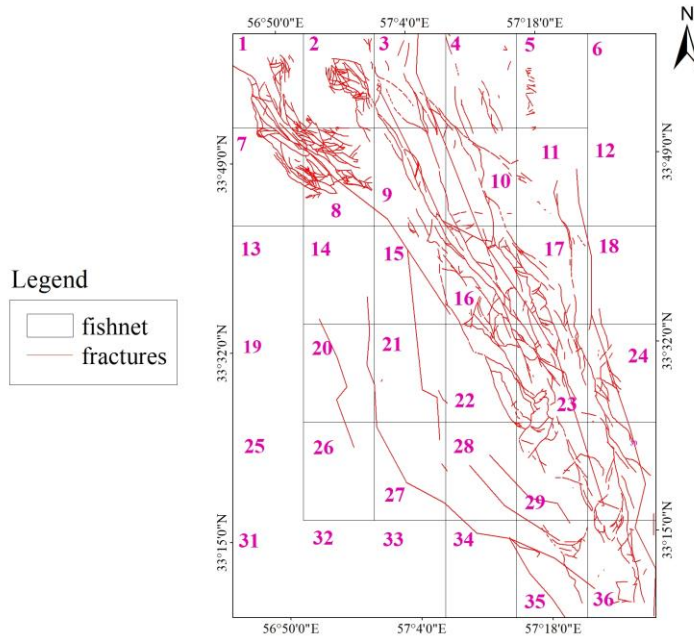
شکل ۱. نقشه‌ی DEM ایران، کادر سیاه رنگ موقعیت گستره‌ی مورد پژوهش را نشان می‌دهد.

۲. مواد و روش

به منظور بررسی رشد و توسعه شکستگی‌ها در محل گسل‌های برهمکنش‌کننده‌ی گستره‌ی مورد پژوهش کمربند چین-رانده شتری به محاسبه بعد فرکتالی شکستگی‌ها به روش تکنیک مربع شمار (box-counting) پرداخته شده است، بدین منظور لازم است در وهله‌ی اول نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی مربوط در مقیاس‌های مناسب به همراه بررسی‌های صحرایی مورد مطالعه قرار گیرد و شکستگی‌های ساختاری کمربند چین-رانده شتری به دقت برداشت شود. سپس به منظور تهیه نقشه شکستگی‌های منطقه اقدام به استخراج خطواره‌های گستره‌ی مورد پژوهش کردیم، و در نهایت کمربند چین-رانده شتری توسط شبکه‌های مربعی با طول ضلع مربع (S) پوشش داده و تعداد مربع‌های حاوی خط ساختاری گسل (Ns) شمارش شد (شکل ۲). با تغییر مقیاس شبکه بندی که در پی آن میزان (S) نیز تغییر خواهد کرد، (Ns)‌های متفاوتی بدست خواهد آمد. به منظور محاسبه بعد فرکتالی لازم است حداقل در پنج شبکه با طول‌های متفاوت مقدار (Ns) شمارش شود. در مرحله بعد، نمودارهای لگاریتمی-لگاریتمی به قسمی که (Ns) بر محور عرض‌ها، $1/S$ بر محور طول‌ها قرار داده شوند ترسیم می‌شوند. برای هر کدام منحنی‌های فرکتالی رابطه‌ی زیر برقرار خواهد بود.



$$\text{Log}(Ns) = a + DL \log(1/S) \quad (1)$$



شکل ۲. شبکه بندی کمر بند چین- رانده شتری

در این رابطه شیب خط نمایانگر بعد فرکتالی آن بخش از زون گسلش می باشد (شهریاری و خطیب، ۱۳۷۶، Hiraia, 1989). وجود اختلاف بعد فرکتالی در بخش های مختلف از کمر بند چین- رانده شتری نشان دهنده ی تفاوت هندسه بخش های مختلف آن پهنه می باشد (شهریاری و خطیب، ۱۳۷۶). مقدار کم بعد فرکتالی نشان دهنده ی این خواهد بود گسترش سطحی سیستم گسل بوده و دگرشکلی در آن به حد نهایی رسیده است. اما بر عکس مقدار زیاد بعد فرکتالی نشان دهنده ی گسترش سطحی زیاد سیستم گسلی و بلوغ کمتر سیستم گسل می باشد (شهریاری و خطیب، ۱۳۷۶). در نهایت، بعد از محاسبه بعد فرکتالی برای هر بخش از کمر بند چین- رانده شتری نقشه ی پهنه بندی ابعاد فرکتالی بدست آمده از بخش تهیه شد.

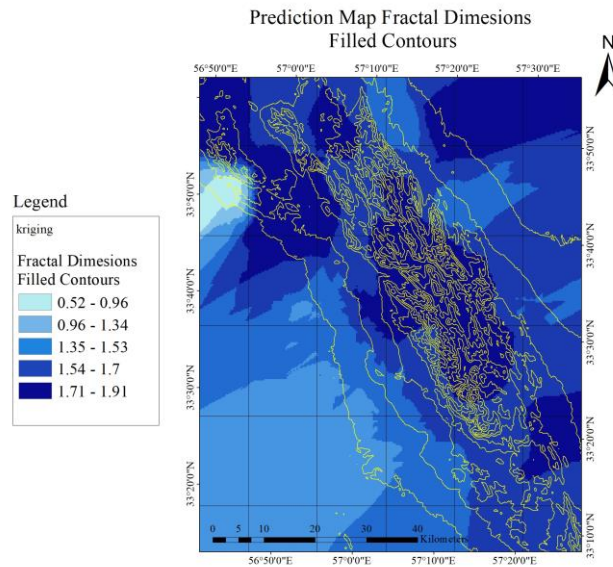
۳. بحث

۳.۱. بررسی فرکتال سیستم گسلی در گستره مورد مطالعه

جهت تحلیل فرکتالی شکستگی ها در گستره ی مورد پژوهش براساس روش مربع شمار از نقشه های ۱:۰۰۰۰۰ (زمین شناسی شهر بشرویه و طیس استفاده شده است. ساختارهای خطی همچون شکستگی های گستره ی مورد پژوهش به کمک نقشه های زمین شناسی و تصاویر ماهواره ای شناسایی شده و به طور دقیق به کمک نرم افزار Arc Gis ترسیم گردید. سپس منطقه ی مورد پژوهش در این نرم افزار به کمک ابزار Fishnet شبکه بندی گردید. سپس مجدداً هر کدام از این چهار گوش های مربعی اصلی در ۵ مرحله با طول متفاوت (S) مورد شبکه بندی فرعی قرار گرفت و تعداد چهار گوش های مربعات فرعی که آثار خطی پهنه گسلش وارد آنها می باشد (Ns) شمارش گردید و بعد از آن نمودارهای لگاریتمی ترسیم و معادله رگرسیون هر کدام از این نمودارها و مقدار عددی بعد فرکتالی و مقدار شیب همبستگی (r) برای هر کدام از نقاط تعیین شده در شکل ۲ محاسبه



گردید. و در نهایت جهت درک بهتر نتایج بدست آمده نقشه‌ی پهنه بندی ابعاد فرکتالی برای نقاط تعیین شده و نمایش داده شده در شکل ۲ تهیه شد (شکل ۳).

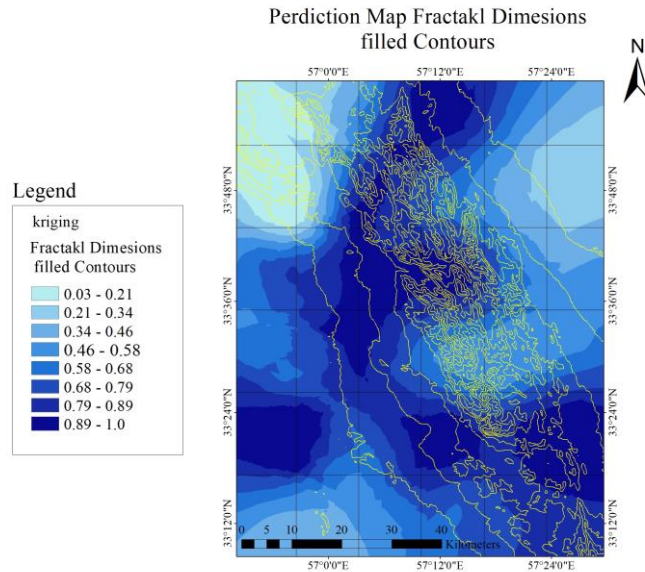


شکل ۳. نقشه‌ی پهنه بندی ابعاد فرکتالی بدست آمده در نقاط تعیین شده در راستای کمر بند چین-رانده شتری

بر اساس نقشه پهنه بندی ابعاد فرکتالی، مقدار D در بخش‌های مختلف متفاوت است. وجود تفاوت در بعد فرکتالی سیستم گسلی این منطقه در راستای کمر بند چین-رانده شتری، نشان دهنده‌ی بخش‌های مختلف با میزان فعالیت متفاوت می‌باشد. بعد فرکتالی در پهنه‌ی جنوبی از سایر پهنه‌ها کمتر می‌باشد. این مقادیر کم بعد فرکتالی، نمایانگر این است که گستره سطحی سیستم گسلی در این محدوده گسترش کمی داشته و نشان از افزایش کرنش و بلوغ بیش تر سیستم گسلی در این پهنه می‌باشد.

۳.۲. تحلیل فرکتالی زمین لرزه‌های گستره مورد مطالعه

به منظور بررسی ارتباط بین گسل‌های گستره‌ی مورد پژوهش با زمین لرزه‌های رخ داده در گستره‌ی مطالعاتی، بعد از محاسبه بعد فرکتالی برای سیستم‌های گسلی در منطقه‌ی مورد پژوهش، بعد فرکتالی زمین لرزه‌ها نیز در کمر بند چین-رانده شتری محاسبه شد. تحلیل فرکتالی در این بخش با استفاده از روش مربع شمار انجام شد. بر این اساس در محیط برنامه Arc Gis، شبکه بندی با طول ضلع - های مشخص انجام و تعداد مربع‌های حاوی کانون سطحی زمین لرزه‌ها در هر مرحله شمارش شده و در نهایت نمودارهای لگاریتمی در برنامه اکسل تهیه و بعد فرکتالی زمین لرزه‌ها محاسبه گردید (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه‌ی پهنه بندی ابعاد فرکتالی زمین لرزه‌ها در نقاط تعیین شده در راستای کمربند چین-رانده شتری

همانطور که از ابعاد فرکتالی بدست آمده در شکل ۴ پیداست، بیشترین بعد فرکتالی برای زمین لرزه‌ها، مربوط به بخش جنوبی است که نمایانگر فراوانی بالای رومرکز زمین لرزه‌ها در این بخش از گستره‌ی مورد پژوهش است. و احتمال وقوع زمین لرزه در آینده در این بخش از کمربند چین-رانده شتری دور از انتظار نیست. از اینرو، می توان نتیجه گرفت در محل برهمکنش گسل امتدادلغز نای بند با راندگی هایی همچون شتری، اسفندیار و سایر راندگی‌های مرتبط با آن ما شاهد تفاوت بعد فرکتال سیستم گسلی هستیم، که این تفاوت بعد فرکتالی الگوی لرزه خیزی متفاوتی را در پی خواهد داشت و بخش جنوبی نسبت به سایر بخش ها با بعد فرکتالی بالا در سیستم گسلی، احتمال گسیختگی بیشتر و در نتیجه توان لرزه خیزی بیشتری دارند و تمرکز بیشتر رو مرکز زمین لرزه‌ها و محاسبه بعد فرکتالی زمین لرزه‌ها می تواند مطلب فوق را تأیید کنند.

۴. نتیجه گیری

ابعاد فرکتالی بدست آمده برای سیستم های گسلی در بخش‌های مختلف کمربند چین-رانده شتری متفاوت می باشد. که وجود تفاوت در بعد فرکتالی سیستم گسلی این منطقه، تداعی کننده‌ی سیستم های گسلی با میزان متفاوت در هر کدام از بخش هاست. کاهش ابعاد فرکتال در بخش جنوبی در اثر افزایش دگرشکلی بدنبال تراکم شکستگی روندهای شمال باختر و جنوب خاور و روندهای شمال خاور و جنوب باختر بوده و محدود شدن سیستم های گسلی، در زیر توسط گسل ناپبند می باشد. تفاوت در ابعاد فرکتال سیستم های گسلی، الگوی لرزه خیزی متفاوتی را در گستره‌ی مورد پژوهش ایجاد کرده است به نحوی که مناطق با بعد فرکتالی سیستم گسلی پائین دارای بعد فرکتالی زمین لرزه‌ای بالایی دارند. یعنی فراوانی رومرکز زمین لرزه‌ها در مناطق با بعد فرکتالی پایین بیشتر می باشد. کاهش بعد فرکتالی بدلیل تراکم شکستگی روندهای شمال خاور جنوب باختر و شمال باختر- جنوب خاور سبب شده که در این پهنه دگرشکلی به حد نهایی رسیده و موجب بالا رفتن توان لرزه‌ای در این پهنه شده است. و احتمال وقوع زمین لرزه در آینده در این پهنه دور از انتظار نیست.

براساس محاسبه ابعاد فرکتالی و نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت که در بخش جنوبی کمربند چین-رانده شتری بدلیل برهمکنش روندهای گسلی متفاوت من جمله گسل امتدادلغز نای بند با راندگی های شتری، اسفندیار و سایر مرتبط با آن ما شاهد کاهش



بعد فرکتالی در نتیجه افزایش دگرشکلی، تراکم بالایی شکستگی و زمین لرزه ها هستیم. و ما در بخش جنوبی نسبت به سایر بخش های کمربند چین-رانده با بعد فرکتالی بالا در سیستم گسلی، احتمال گسیختگی بیشتر و در نتیجه توان لرزه خیزی بیشتری دارند. با مشخص شدن بخشی با فعالیت بسیار بالا در راستای کمربند چین-رانده شتری، پهنه‌ی جنوبی با احتمال فعالیت لرزه‌ای بیش تر در آینده معرفی شده است. بنابراین باید جمعیت ساکن در حاشیه ی این قطعه را از وقوع احتمال زمین لرزه آگاه کرد و هرگونه کار ساختمانی و توسعه شهر و روستا، راه سازی، استخراج معادن و حفر چاه آب در حاشیه گسل با توجه به میزان فعالیت آن در نظر گرفته شود تا در آینده از خسارت های مالی و تلفات جانی تا حد امکان جلوگیری گردد.

منابع

- [1] سهراب شهریاری، محمدمهدی خطیب، ۱۳۷۶. تحلیل فرکتالی سیستم گسلی نهندان. فصلنامه علوم زمین، شماره ۲۳-۲۴.
- [2] منوچهر قرشی، مهران آرین، ۱۳۸۹. تکتونیک ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۳۰ صفحه.
- [4] Berberian, M., and King, G. 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth sciences*. V.18, p.210-265.
- [5] Bourne, S. J., & Willemse, E. J. 2001. Elastic stress control on the pattern of tensile fracturing around a small fault network at Nash Point, UK. *Journal of Structural Geology*, 23(11), 1753-1770 .
- [6] Duffy, O. B., Bell, R. E., Jackson, C. A.-L., Gawthorpe, R. L., & Whipp, P. S. 2015. Fault growth and interactions in a multiphase rift fault network: Horda Platform, Norwegian North Sea. *Journal of Structural Geology*, 80, 99-119 .
- [7] Fossen, H., Johansen, T. E. S., Hesthammer, J., & Rotevatn, A. 2005. Fault interaction in porous sandstone and implications for reservoir management; examples from southern Utah. *AAPG bulletin*, 89(12), 1593-1606 .
- [8] Frankowicz, E., & McClay, K. 2010. Extensional fault segmentation and linkages, Bonaparte Basin, outer North west shelf, Australia. *AAPG bulletin*, 94(7), 977-1010.
- [9] Hiraia. T. 1989. "Fractal Dimantion of fault system in Hapan: Fractal structure in Roke fracture Geomtry at various scales", *Pageoph*, Vol. 131, No. 1, PP. 157-170.
- [10] Kattenhorn, S. A., Aydin, A., & Pollard, D. D. 2000. Joints at high angles to normal fault strike: an explanation using 3-D numerical models of fault-perturbed stress fields. *Journal of Structural Geology*, 22(1), 1-23 .
- [11] Maerten, L. 2000. Variation in slip on intersecting normal faults: Implications for paleostress inversion. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B11), 25553-25565 .