

تحليل فرکتالی سیستم گسل نهبندان

نوشته: دکتر سهراب شهریارى* و محمد مهدى خطیب*

FRACTAL ANALYSIS OF NEHBANDAN FAULT SYSTEM

BY: Dr.S.SHAHRIARI* AND M.M.KHATIB*

Abstract

The Nehbandan dextral strike-slip fault system in east Iran, constitutes structural boundary province between Sistan and the Lut. The general trend of this fault-system is north-south, creating a complicated structural processes in the region. It's general picture is sigmoidal, having variable sheared zone, as well as a few tens of kilometre of displacement. The distinct manifestation of this fault-system are the effects of various movements during the Quaternary, as well as, terminal oblique movements. Fractal analysis, according to the method of counting-squares, and plotting logarithmic diagram i.e.- abundant logarithmic squares of the network, being based on the length of square of the picture on the general scheme of the above-mentioned fault, indicates that, in the central portion, the fractal dimension is 1.06, in Sahl Abad sector is 1.402, in Birjand sector is 1.450 and lastly for the whole faulted zone the fractal dimension is 1.645.

When the dimension of the squares of the network, along the shortest fault becomes less, within the scale of the maps, hence the fractal dimension increases accordingly in the unlined areas of distribution. Consequently, this is an indication of structural complexity of the sheared zone in this fault. Moreover increase in fractal dimension in each terminal oblique zone is indicative of a widespread stress-field, and a decrease in the curvature of terminal fault.

* Faculty of Geosciences Shahid Beheshti University

سیستم گسل راستالغز راستبر تهپندان بر خاور ایران مرز استان ساختاری سیستان با پهنه لوت می‌باشد. روند کلی این سیستم گسلی شمالی-جنوبی بوده و موجب فرآیندهای پیچیده زمین‌ساختی در این منطقه شده است. شکل کلی آن به صورت دو گانه هلال (sigmoidal) با عرض پهنه برشی متغیر و جابجا شدگی چند ده کیلومتری می‌باشد. داشتن جنبش‌های متعدد در کواترنری، اریب‌های چندگانه در پایانه از جمله ویژگی‌های آشکار آن می‌باشد. تحلیل فرکتالی به روش مربع شمار و ترسیم نمودار لگاریتمی-لگاریتمی فراوانی مربع‌های شبکه بر حسب عکس طول مربع بر روی طرح کلی این گسل نشان می‌دهد که در بخش مرکزی بعد فرکتالی ۱/۰۶، در اریب سهل‌آباد ۱/۴۰۲ در اریب بیرجند ۱/۴۵۰ و برای کل پهنه گسلی بعد فرکتالی ۱/۶۴۵ می‌باشد. وقتی که ابعاد مربع‌های شبکه بر طول کوتاه‌ترین گسل در مقیاس نقشه کمتر باشد توزیع نقاط غیر خطی شده بعد فرکتالی نیز افزایش می‌یابد که نشانه پیچیدگی ساختاری در پهنه برشی این گسل می‌باشد. افزایش بعد فرکتالی در هر کدام از اریب‌های پایانه‌ای نشانه گسترده بودن میدان تنش و کاهش کرنش در پایانه گسل است.

مقدمه

پوسته اقیانوسی، فلش‌ها، سنگهای آذر آواری، رخساره‌های کربناته، سنگهای تبخیری و مارنی نشوون و ملاس‌های نشوون و کوه‌های خاوری ایران یا زمین‌برز سیستان را تشکیل می‌دهند. گرفتار شدن این منطقه در یک پهنه فشاری-برشی موجب فرآیندهای پیچیده زمین‌ساختی گردیده است.

سیستم گسل راستالغز تهپندان در خاور ایران یکی از گسل‌های کهن (احتمالاً به سن کامبرین؟) در پوسته ایران محسوب می‌شود. این سیستم گسلی موجب فرآیندهای زمین‌ساختی کهن و جدید در منطقه پهنآوری از خاور کشور گردیده و یک گسل جنبی نیز محسوب می‌گردد. بریده شدن رسوب‌های کواترنری، چین خوردگی رسوب‌های نشوون در پهنه برشی این گسل، کانی‌زایی ترسیب در پهنه گسلی، جایگزین شدن قطعات آمیزه اقیولیتی در کناره آن، رخداد زمین‌لرزه‌های مختلف بر روی قطعات این گسل از جمله فرآیندهای مهم زمین‌ساختی این پهنه گسلی می‌باشند.

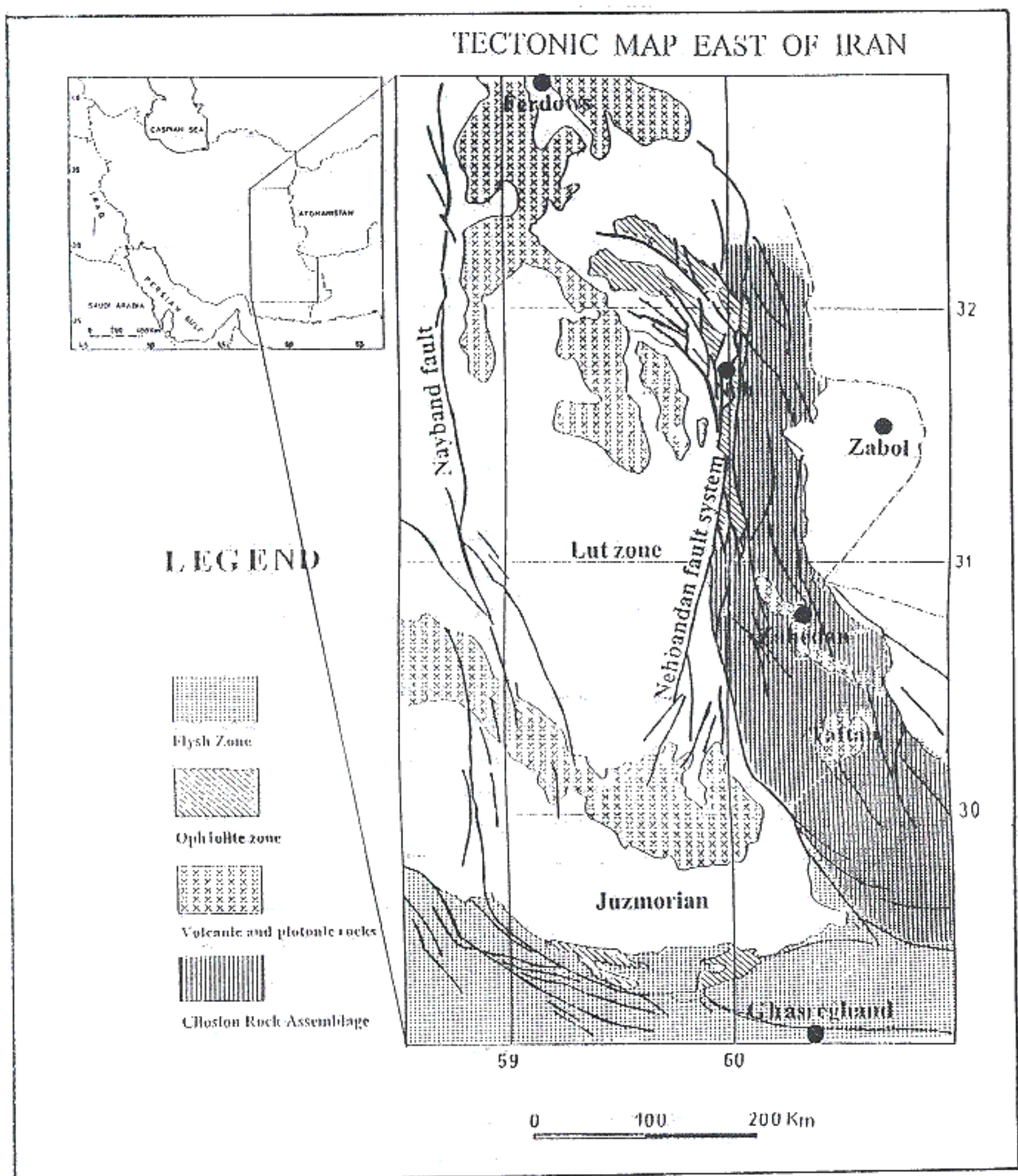
سیستم گسلی تهپندان Nehbandan Fault System

سیستم گسلی تهپندان با درازای حدود ۷۰۰ کیلومتر و پهنای ۸۰ تا ۱۰ کیلومتر از عرض جغرافیایی ۲۶'، ۴۵' تا حدود ۲۴'، ۰۰' و از طول جغرافیایی ۵۰'، ۵۸' تا حدود ۶۳'، ۰۰' را در بر می‌گیرد. این سیستم گسلی در واقع یک پهنه برشی (shear zone) است که در برخی مناطق تمامی ایالت ساختاری سیستان (زمین‌برز سیستان) را در بر می‌گیرد. ساز و کار اصلی این سیستم گسلی، راستالغز راستبر بوده و در برخی نقاط مؤلفه فشاری یا معکوس نیز به جنبش آن افزوده می‌شود. عناصر ساختاری که در این پهنه برشی بوجود آمده نشان دهنده ساز و کار برش ساده (simple shear) در پهنایش سیستم گسلی تهپندان می‌باشد. این سیستم گسلی از شمار زیادی برگه گسلی تشکیل شده که در پهنه برشی محدوده یاد شده دیده می‌شود. روند کلی این سیستم شمالی-جنوبی است ولی در نرون پهنه برشی، گسل‌های فرعی با راستای شمال خاوری-جنوب باختری، شمال باختری-جنوب خاوری و حتی خاوری-باختری نیز وجود دارند.

روند کلی این سیستم گسلی، شمالی-جنوبی است که در بخش شمالی به سمت باختر و در بخش جنوب به سمت خاور متمایل شده و بطور کلی این سیستم گسلی به صورت هلال دو گانه (sigmoidal) می‌باشد (شکل ۱).

Tirrul et al. (1983) سیستم گسل تهپندان را شاخص زمین‌برز بهین سیستان با لوت می‌داند. از دیدگاه او زمین‌برز سیستان و مجموعه سنگی زمین‌ساختی برخوردی ناشی از تصادم خرد قاره لوت و بلوک افغان است که در نتیجه آن پوسته اقیانوسی بین این دو خرد قاره در طی مزوزوئیک بر بین دو بلوک از پایان کرتاسه تا فرورانش بزرگ بلوک افغان شروع به بسته شدن می‌دهاید.

بربریان ۱۳۶۸ پیدایش کوه‌های خاور ایران را حاصل برخورد کهرگه لوت و افغان می‌داند. که در نتیجه آن پوسته اقیانوسی (مزوزوئیک) بین این دو برگه قاره‌ای با فرورانشی دو گانه، در خاور به زیر بلوک افغان و در باختر به زیر بلوک لوت رفته و با ناپدید شدن پوسته اقیانوسی و برخورد دو بلوک افغان و لوت مجموعه سنگی زمین‌ساختی شامل قطعات



شکل ۱- موقعیت سیستم گسل نهبندان که بر حد فاصل زمین‌برز سیستان و لوت قرار گرفته است.

پرتگاههای گسلی نئوژن و کواترنر در راستای این گسل از شواهد آشکار برای ارزیابی توان چندگسیسی سیستم گسل نهبندان می‌باشند.

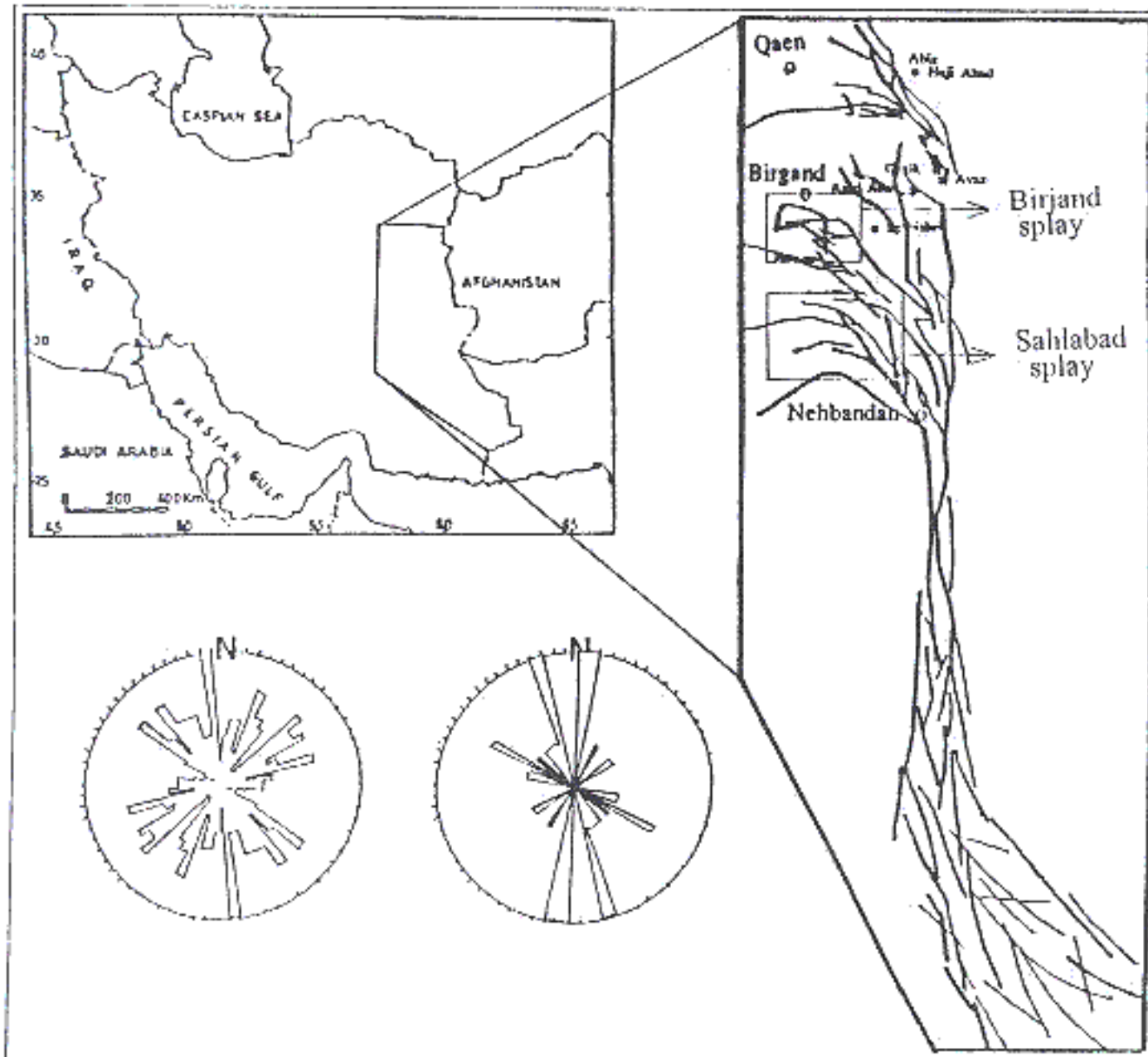
از ویژگی‌های آشکار این سیستم گسلی قطعه-قطعه بودن آن (segmented) به‌ویژه بر روی شاخه‌های پایانه‌ای می‌باشد. برآزای هر کدام از قطعات تابع شرایط زمین‌شناسی و هندسه سطح گسل بوده و بطور کلی متغیر است. عرض پهنه برشی سیستم گسل نهبندان در بخش مرکزی ۱۰-۲۵ کیلومتر است، در حالی که در دو انتها به حدود ۸۰ کیلومتر می‌رسد (شکل ۲). این ویژگی ناشی از تغییرات پایانه‌ای گسل در هر مرحله از فعالیت آن می‌باشد.

تحلیل فرکتالی Fractal analysis

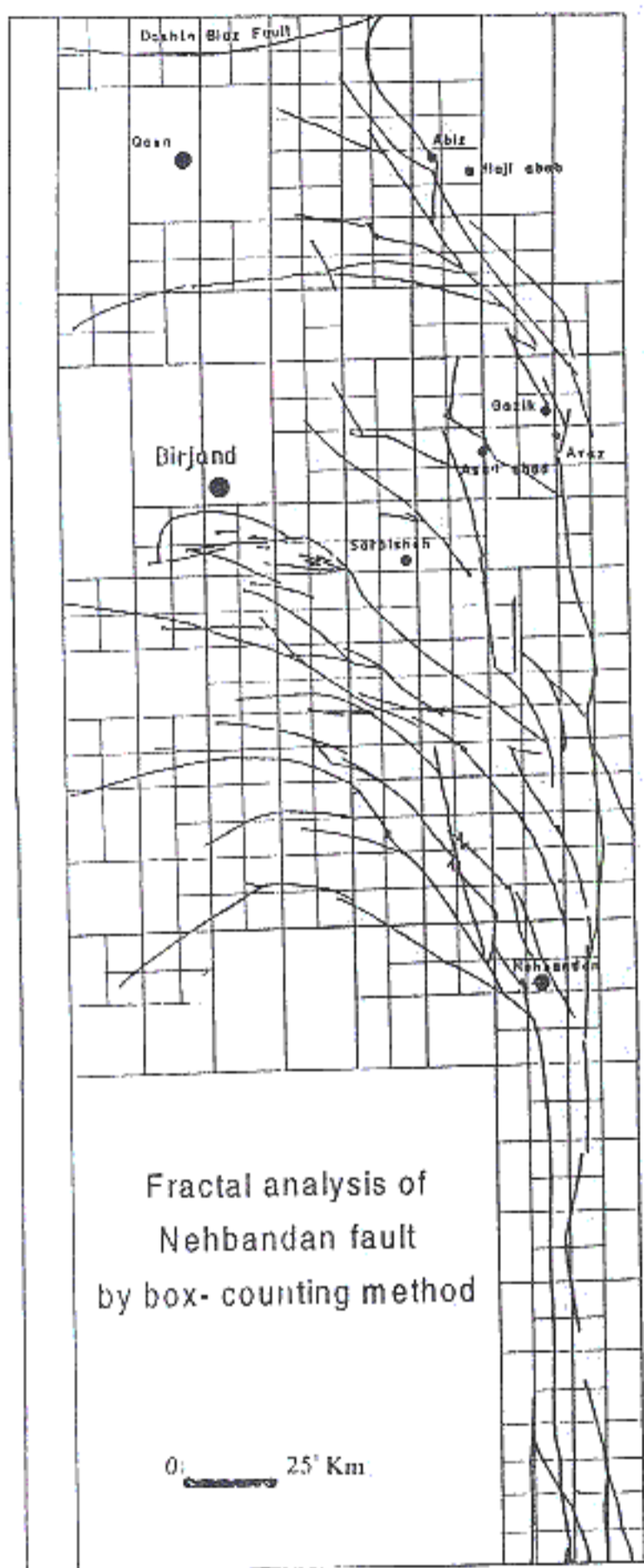
یکی از روش‌های بررسی توزیع ناحیه‌ای گسل‌ها تحلیل فرکتالی آنها می‌باشد. الگوهای زمین‌ساختی برای توزیع فرکتالی گسل‌ها توسط

شاخه‌های (Splay) چند گانه‌ای که در مراحل مختلف فعالیت گسل تشکیل شده‌اند موجب پایان یافتن گسل در ترون پهنه لوت می‌گردند. در بخش جنوبی نیز این سیستم گسلی به سمت خاور مایل شده و با شاخه‌های تقریباً خاوری-باختری در کشور پاکستان پایان می‌یابد. اما در پایانه بخش جنوبی، سیستم گسلی نهبندان توسط سیستم گسلی راستالغز بشاگرد با روند خاوری-باختری بریده می‌شود. طرح کلی سیستم گسل نهبندان شکل هلال بوگانه (sigmoidal) است (شکل ۲).

گسل نهبندان را نبوی (۱۳۵۵) به پرکامبرین نسبت می‌دهد و آنرا از شکستگی‌های بنیادی پوسته ایران زمین می‌داند لکن چین‌های نریانی (en echelon fold) در فلیش‌های پالتوسن، اتوسن و رسوب‌های نئوژن که در مراحل مختلف فعالیت پهنه برشی گسل نهبندان بوجود آمده‌اند، کانی‌سازی در فضاهای کششی پهنه برشی بیشترین آثار فعالیت این گسل را در زمان ترسیب نشان می‌دهد. بریده شدن رسوب‌های کواترنر توسط این گسل، قرار گرفتن کانون شماری زمین‌لرزه در سده اخیر بر روی آن،



شکل ۲- روند کلی سیستم گسلی نهبندان با طرح هلال بو گانه



شکل ۳- تحلیل فرکتالی سیستم گسل نهبندان به روش مربع شمار

(1992) Turcotte ارائه شده است. در این الگوها با استفاده از تکنیک مربع-شمار (box-counting)، ابعاد فرکتالی را در جهت توجیه توزیع صفحات شکستگی در مناطق گسلیده محاسبه می‌کنند. اصول این روش ترسیم نمودارهای لگاریتمی-لگاریتمی می‌باشد که در آن تعداد مربع‌های حاوی گسل N_g بر حسب طول شبکه اندازه‌گیری (S) یا عکس آن (1/S) رسم شده است. شیب منحنی‌های بدست آمده بین اعداد ۱ و ۲ خواهد بود (Mandelbort 1983). برای هر کدام از منحنی‌های فرکتالی رابطه زیر صادق است. $\log N_g = a + K \log (1/S)$ که در آن K شیب خط و نشان دهنده بعد فرکتالی از سیستم گسلی می‌باشد. در این نوشتار کوشش شده است تا پیدایش سیستم گسلی نهبندان با بررسی توزیع ابعاد فرکتالی بر بخش‌های مختلف آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

برای تحلیل ابعاد فرکتالی گسل نهبندان از عکس‌های ماهواره‌ای با مقیاس ۱:۱۰۰۰،۰۰۰ به کمک تصحیحات زمینی نقشه‌ای از سیستم گسلی تهیه و رقم شمار شد (شکل شماره ۲). در نخستین گام این مرحله، شمارش ساختار در مربع‌ها به صورت زیر انجام گردید.

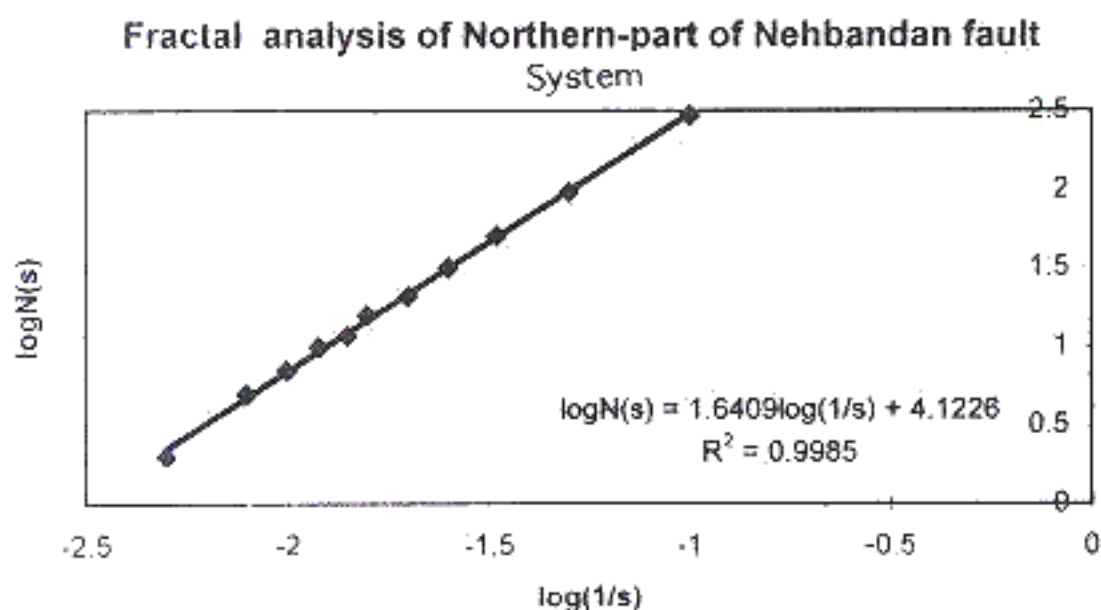
- ۱- دو مربع با ضلع ۲۰۰ کیلومتر
- ۲- چهار مربع با ضلع ۱۵۰ کیلومتر
- ۳- پنج مربع با ضلع ۱۲۰ کیلومتر
- ۴- هفت مربع با ضلع ۱۰۰ کیلومتر
- ۵- ده مربع با ضلع ۸۰ کیلومتر
- ۶- دوازده مربع با ضلع ۷۰ کیلومتر
- ۷- شانزده مربع با ضلع ۶۰ کیلومتر
- ۸- بیست و یک مربع با ضلع ۵۰ کیلومتر
- ۹- سی و یک مربع با ضلع ۴۰ کیلومتر
- ۱۰- پنجاه مربع با ضلع ۳۰ کیلومتر
- ۱۱- نود و شش مربع با ضلع ۲۰ کیلومتر
- ۱۲- نویست و نود و هشت مربع با ضلع ۱۰ کیلومتر

برای بخش شمالی گسل نهبندان نمودار خطی با رابطه زیر را می‌توان بدست آورد: $\log N_g = 4.12 + 1.640 \log (1/S)$ (شکل شماره ۴) بعد فرکتالی برابر ۱/۶۴۰ است. همین رابطه با منحنی توان (Power) بصورت $\log N_g = 1.643 \log (1/S) + 1338$ (شکل شماره ۵) در می‌آید. در اینجا نیز بعد فرکتالی برابر ۱/۶۴۳ با ضریب همبستگی بسیار بالا $r = 0.998$ بدست می‌آید. با کاهش اندازه مربع‌های شبکه تعداد مربع‌های ساختاری به صورت نمایی افزایش می‌یابد اما نکته جالب توجه این که این افزایش بیشتر بر بخش‌های انتهایی گسل، در پایانه‌های شمالی و جنوبی

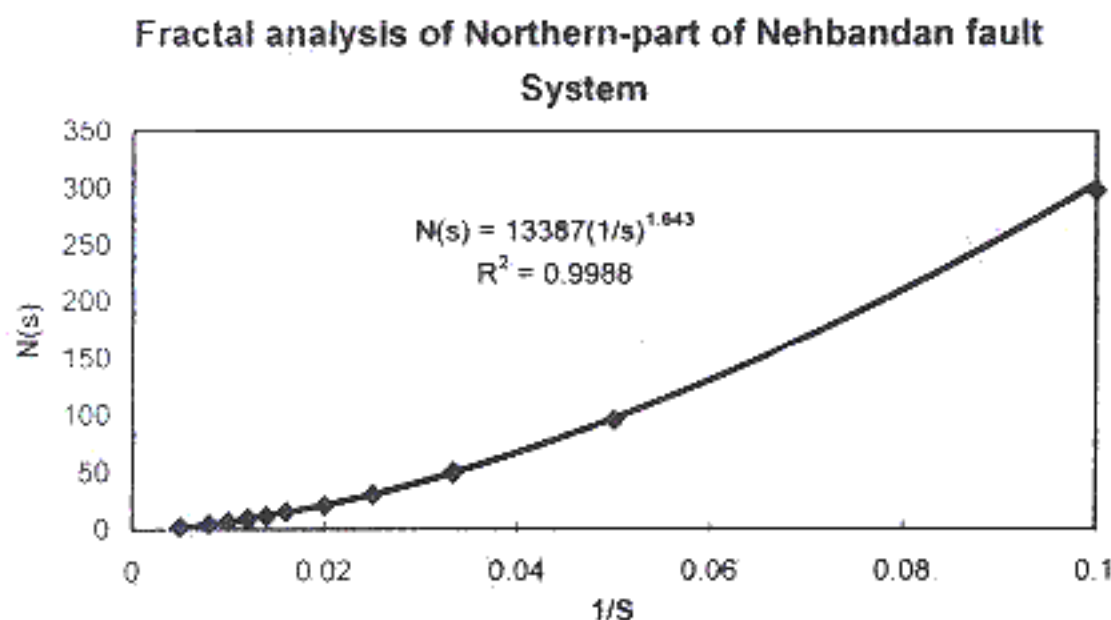
همه نقاط خصوصاً نقاط انتهایی نمی‌گذرد. این پدیده بدلیل کاهش ابعاد مربع‌های شبکه با مقیاسی کمتر از طول کوچکترین کسل‌ها قابل اندازه‌گیری در مقیاس نقشه رخ داده است (شکل ۶).

مقایسه منحنی‌های شمار ۴ و ۶ نشان می‌دهد که با کاهش ابعاد مربع‌های شبکه، بُعد فرکتالی در محدوده کسل نهپندان افزایش می‌یابد ولی همه نقاط بر روی خط قرار نمی‌گیرند بطوری که پراکندگی نقاط، افزایش و ضریب همبستگی، کاهش می‌یابد. این مسئله ناشی از پیچیدگی شکل ساختاری این پهنه کسلی است که هنگام رسیدن به پایانه بر روی شاخه‌های فرعی پخش شده و سطح وسیع‌تری را زیر تاثیر قرار می‌دهد. برای روشن‌تر شدن موضوع در سه نمودار جداگانه تحلیل فرکتالی بر روی شاخه‌های سهل‌آباد و بیرجند و همچنین بخش مرکزی از سیستم

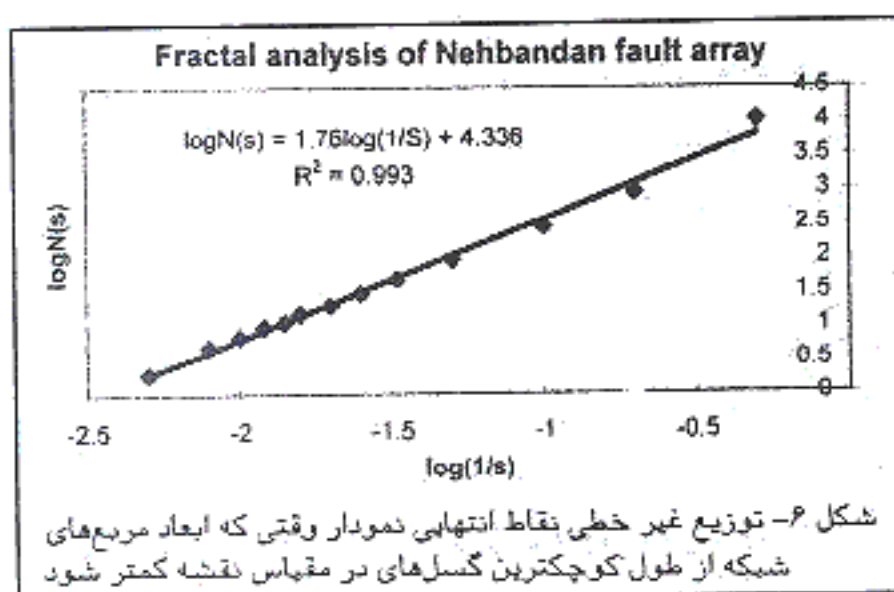
نیده می‌شود بر حالی که در بخش میانی افزایش تعداد مربع‌های محدوده ساختار به صورت خطی بوده و بطور محسنوسی نیز بعد فرکتالی آن بسمت یک میل می‌کند. از آنجا که در سیستم کسلی نهپندان درازای قطعات کسلی متغیر است و بزرگترین قطعه در حدود ۱۳۰ کیلومتر و کوچکترین آن در حدود ۱۰ کیلومتر (بر مقیاس ۱:۱۰۰۰،۰۰۰) برآزا دارد، با توجه به گزینش کوچکترین مربع‌های قابل کاربرد در شبکه می‌توان ابعاد فرکتالی را برای بخش شمالی کسل نهپندان مورد بررسی قرار داد. در تحلیل رایانه‌ای، دو نقطه دیگر به نمودار خطی اضافه می‌شود ولی بر کلیات آن تغییری حاصل نمی‌گردد. با تکرار این روش و اصلاح منحنی‌ها برای ۱۳ نقطه می‌توان آنرا در دو بخش جدا موزد بررسی قرار داد. در این حالت بعد فرکتالی برابر ۱/۷۶ با همان ضریب همبستگی ۰/۹۹ است اما منحنی از



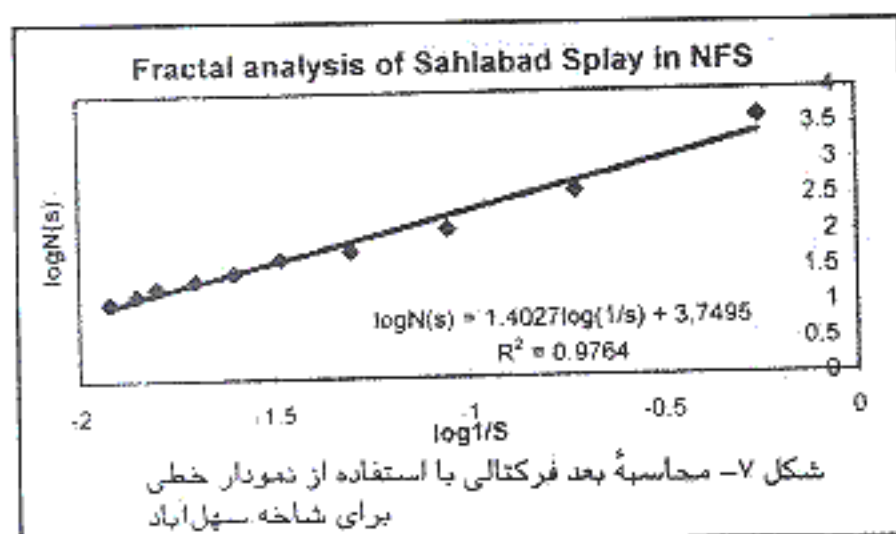
شکل ۴- محاسبه بُعد فرکتالی سیستم کسل نهپندان با استفاده از نمودار خطی



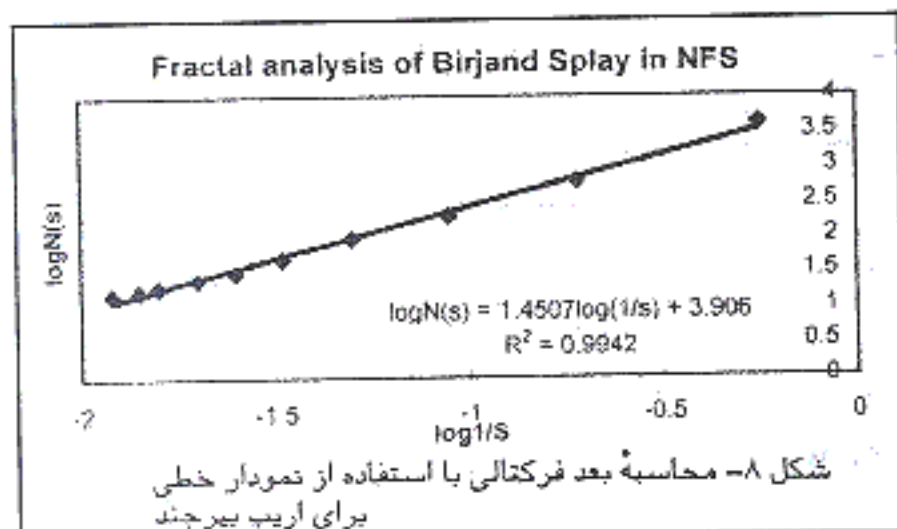
شکل ۵- محاسبه بُعد فرکتالی سیستم کسل نهپندان با استفاده از منحنی توان



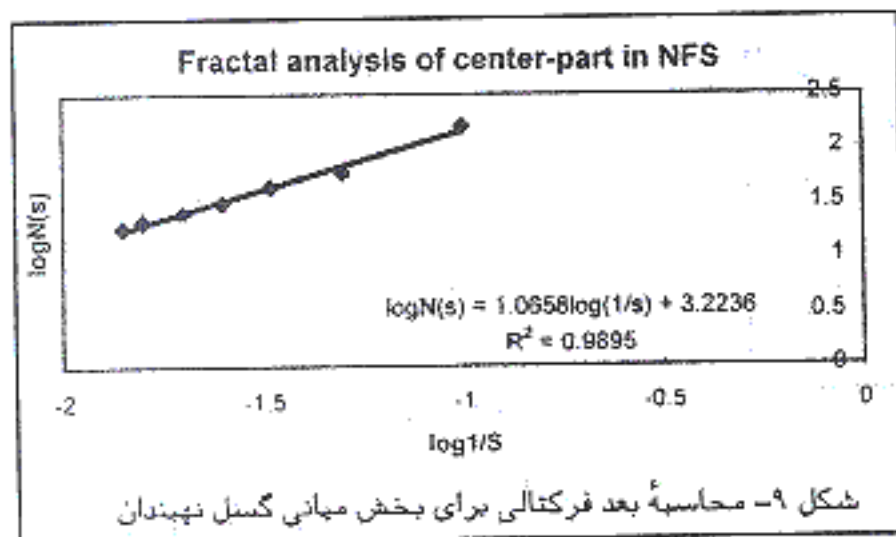
شکل ۶- توزیع غیر خطی نقاط انتهایی نمودار وقتی که ابعاد مربع‌های شبکه از طول کوچکترین گسل‌های در مقیاس نقشه کمتر شود



شکل ۷- محاسبه بعد فرکتالی با استفاده از نمودار خطی برای شاخه سهل‌آباد



شکل ۸- محاسبه بعد فرکتالی با استفاده از نمودار خطی برای اریب بیرجند



شکل ۹- محاسبه بعد فرکتالی برای بخش میانی گسل نه‌بندان

گسل نه‌بندان صورت گرفت (شکل ۹ و ۸). بر روی هر سه منطقه ابعاد مربع‌های شبکه یک در نظر گرفته شدند در حالی که ابعاد فرکتالی با هم متفاوت هستند. در بخش مرکزی بعد فرکتالی ۱/۶۵۸ در شاخه سهل‌آباد و ۱/۴۰۲۷ در شاخه بیرجند و ۱/۴۵۰۷ بدست آمده است. در بخش مرکزی سیستم گسل نه‌بندان فاصله جنوب سفیدابه تا نه‌بندان که عرض پهنه برشی به کمترین میزان خود می‌رسد بعد فرکتالی نیز به سمت یک میل کرده و توزیع اثر گسل به صورت خطی بر می‌آید، اما به طرف پایانه‌های گسل ابعاد فرکتالی نیز افزایش می‌یابد که نشان دهنده هندسه پیچیده پایانه گسل‌های راست‌الغز است. در هر کدام از پایانه‌های شمالی، بعد فرکتالی افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد پایانه‌های جوانتر، فضای سطحی بیشتری را اشغال می‌کنند. این پدیده در اثر افزایش شعاع خمش شاخه‌های پایانه‌ای رخ می‌دهد.

بحث و نتیجه گیری

تحلیل فرکتالی به روش مربع شمار از سیستم گسل نه‌بندان در خاور ایران به کمک رسم منحنی‌های لگاریتمی نشان می‌دهد که بعد فرکتالی برای تمامی پهنه این گسل یکسان نبوده و بیانگر تغییر در هندسه سیستم گسلی نه‌بندان می‌باشد. با توجه به شکل کلی پهنه گسلی نه‌بندان که به صورت طرح هلال دو گانه (sigmoidal) است انتظار می‌رود ابعاد فرکتالی در بخش‌های پایانه‌ای آن افزایش یابد. در یک سیستم گسلی، بعد فرکتالی متغیر است (Wojtal 1990) ولی وقتی که بخشی از پهنه گسلی بحد نهایی دگرشکلی رسد در آن کرنش نیز افزایش می‌یابد و سیستم گسلی به حد بلوغ خواهد رسید. در اینجا طرح گسترده سیستم گسلی محدود شده و بعد فرکتالی کاهش می‌یابد (Cowie 1996) اما بر عکس با کاهش نسبت کرنش (نزدیک پایانه گسل) گسترده سطحی طرح سیستم گسلی افزایش یافته و بعد فرکتالی نیز افزایش می‌یابد. در پهنه گسلی نه‌بندان نیز در بخش مرکزی بعد فرکتالی به سمت یک میل می‌کند و کاهش چشمگیری ندارد. در اینجا نیز عرض پهنه برشی این سیستم گسلی نیز حداقل است ولی بطرف پایانه‌ها (در پایانه‌های سهل‌آباد و بیرجند) بعد فرکتالی افزایش می‌یابد و در محل این پایانه‌ها عرض پهنه برشی نیز از افزایش چشمگیری برخوردار می‌باشد.

افزایش بعد فرکتالی به طرف شمال در پهنه گسلی نه‌بندان نشان می‌دهد که میدان اثر کرنش در سطح وسیع‌تری گسترش یافته و از تراکم سطوح شکستگی کاسته می‌شود. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که هر کدام از شاخه‌های پایانه‌ای سیستم گسل نه‌بندان که دارای بعد فرکتالی

شاید اگر بررسی ابعاد فرکتالی سیستم گسلی که در این پژوهش در دو بعد و به شکل صفحه‌ای صورت گرفت، در سه بُعد فرکتالی اجراء شود حقایق بهتری از رفتار پیچیده سیستم شکستگی‌های برشی و شیوه پیدایش آنها بدست آید. ولی بررسی در بعد سوم نیاز به کارهای دقیق ژئوفیزیکی و حفر ترانشه دارد که متأسفانه اکنون میسر نیست.

قدردانی و سپاس

از همکاران و مسئولان محترم بخش زمین‌شناسی دانشگاه بیرجند و دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی بخاطر فراهم آوردن امکانات مطالعه سپاسگزاری می‌نمایم. از جناب آقای مهندس احمد رضا قاسمی و آقای عرفانی که در تهیه نقشه‌ها و تایپ کردن متن کمک نمودند تشکر می‌شود.

بیشتر باشند جوانتر هستند.

همچنین افزایش بعد فرکتالی نشان دهنده افزایش فضای گسلیده بر پوسته شکننده زمین است که نتیجه آن توزیع میدان تنش بصورت پراکنده بر پایانه سیستم گسلی می‌باشد. افزایش فاصله مسیرهای تنش (stress Trajectories) بر 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.

از مفاهیم شایان بحث در این روش این است که با کاهش ابعاد مربع‌های شمارش شبکه تا کمتر از طول کوتاهترین گسل‌ها در مقیاس نقشه، توزیع خطی آنها مختل شده و تنها بر روی نمودار توان (Power) از همبستگی خوبی برخوردار می‌باشند. اما این پدیده در بخش مرکزی گسل نهبندان محسوس نیست زیرا بعد فرکتالی به سمت یک میل می‌کند ولی در بخش‌های پایانه‌ای گسل موجب پراکندگی نقاط بر روی نمودار می‌شود که باید به دلیل پیچیدگی ساختاری و تغییرات هندسی در پایانه باشد.

کتابنگاری

- بربریان، م.، ۱۳۶۸، فرگشت ژئوتکتونیک کوه‌های ایران، خلاصه مقالات گردهمایی سازمان زمین‌شناسی کشور: خطیب، م.، م.، ۱۳۶۸، تحلیل ساختاری کوه‌های جنوب بیرجند، دانشگاه تربیت مدرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، نبوی، م.، ج. ۱۲۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

- Cello, G., 1997- Fractal Analysis of a Quaternary array in the central Apennines- Italy., J. structural Geology, 19-(7)945-953.
- Cowie, P.X. et al. 1996- Scaling laws for fault and fracture populations analysis and applications. J. Structural Geology. 18
- Mandelbrot, B.B., 1983- The Fractal Geometry of Nature., W.H.Freeman New York.
- Tirrul et al. 1983- The Sistan Suture Zone of eastern Iran. Geol. Surv. Iran 94, 134-150.
- Turcotte, D.L., 1992- Fractals and chaos in Geology and Geophysics., Cambridge University Press, Cambridge.
- Wojtal, S. F., 1996- Changes in fault displacement populations correlated to linkage between faults., J. Structural Geology. 18, 265-279.