

بررسی پویایی زمین‌ساختی خوزستان به کمک تحلیل فرکتالی

مهشید فدعمی¹، شبیر اشکپور مطلق^{2*}، سعید زارعی³

¹دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران mahshid.fadami8292@gmail.com

^{2*}استادیار گروه ژئوفیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران shashkpoor@pgu.ac.ir

³استادیار گروه ژئوفیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران szarei@pgu.ac.ir

چکیده

تحلیل فرکتالی یکی از روش‌های مناسب جهت تعیین پویایی زمین‌ساختی، بلوغ ساختاری و ناهمگونی لرزه‌ای می‌باشد. با استفاده از هندسه فرکتالی می‌توان توزیع نامنظم عوارض زمین‌شناسی را به صورت کمی بررسی نمود. در این نوشتار از روش مربع‌شمار برای اندازه‌گیری بعد فرکتالی گسل‌های فعال، آبراهه‌ها و زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه طی سال‌های 1900-2019 استفاده شده است. برای این منظور کل منطقه به 16 زیرپهنه تقسیم شده و با استفاده از نمودار لگاریتم-لگاریتم میزان بعد فرکتال در هر پهنه محاسبه شده است. محاسبه بعد فرکتال گسل‌های فعال، آبراهه‌ها و زلزله‌های رخ داده در پهنه‌ی خوزستان، نشان‌دهنده کاهش پویایی زمین‌ساختی از خاور و شمال خاور به سمت مرکز و جنوب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل فرکتالی، پویایی زمین‌ساختی، گسل‌های فعال، زلزله.

Investigation of Khuzestan tectonic dynamics by fractal analysis

Abstract

Fractal analysis is one of the most appropriate methods for determining the quantitative level of tectonic activity, structural maturity and the degree of heterogeneity of seismicity. In this paper, the fractal dimension, obtained by the box-counting method as the most general approach for the calculation of active faults, streams and the epicentral earthquakes which occurred from 1900 to 2019. For this purpose, the whole area is divided into 16 zones by Log-Log graph and then the fractal dimension of each zone is calculated. Fractal dimension calculation of active faults, streams and earthquakes occurring in Khuzestan zone, indicates a decrease in tectonic activity from east to northeast towards the center and south.

Keywords: Fractal Analysis, Tectonic activity, Active faults, Earthquake

1 مقدمه

با محاسبه ی بعد فرکتال ساختارهای خطی همانند گسل‌ها و آبراهه‌ها، می‌توان بسیاری از ویژگی‌های آن‌ها را شناسایی و تراکم این ساختارهای خطی را تعیین و با یکدیگر مقایسه نمود (Turcotte, 1992). این روش به دلایل بسیاری از جمله، در نظر گرفتن توزیع فضایی داده‌ها، شکل هندسی ساختارها و همچنین استفاده از تمام داده‌ها بدون تعدیل آن‌ها دارای کاربرد فراوانی در مطالعات زمین‌شناسی می‌باشند. فلات ایران به سبب قرارگیری در بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا به لحاظ جایگاه ساختاری، یکی از مناطق فعال جهان است که رخداد زمین‌لرزه‌هایی با شدت کم و زیاد، خود شاهدی بر این ادعاست (Berberian and king; 1981; Allen et al., 2004). منطقه ی مورد مطالعه در جنوب

غرب ایران و زیرپهنه ی خوزستان از پهنه زمین ساختی زاگرس می باشد که چندین میدان نفت و گاز مهم ایران (مارون، آغاچاری، گچساران، آزادگان، آب تیمور، رگ سفید و اهواز) و حتی خاور میانه را در خود جای داده است. مهم ترین سازندهای موجود در منطقه عبارتند از بختیاری، آغاچاری، میشان، گچساران، آسماری، پابده و گورپی می باشد. در این پژوهش نقشه ی گسل ها و آبراهه های منطقه با استفاده از روش های سنجش از دور تهیه شده و همچنین رومرکز زلزله ها از سایت ISC استخراج و در نرم افزار ArcGIS 10.4 روی نقشه ی منطقه پلات شده اند. سپس با ترسیم نمودارها، محاسبه و مقایسه ی ابعاد فرکتالی ساختارهای گسلی، شبکه ی زهکشی و زلزله های رخ داده در پهنه ی خوزستان، پویایی زمین ساختی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. پهنه ی خوزستان قسمت کمی از زاگرس مرتفع، قسمتی از زاگرس چین خورده (در شمال شرق و شرق استان)، و بخش عمده، فروافتادگی دزفول و دشت آبادان می باشد. بیشتر زلزله های پهنه به دلیل وجود لایه های نمکی سری هرمز بدون گسلش سطحی می باشد. گفتنی ست به دلیل تداوم حرکت پوسته ی قاره ای عربستان چین خوردگی زاگرس ادامه دارد.

2. روش تحقیق

تورکات (1997) مجموعه فرکتال را به صورت زیر تعریف می کند:

$$(1N_i = C/r_i^D)$$

که در این رابطه N_i ، r_i ، C به ترتیب تعداد پدیده ها، بعد خطی ویژه، و ثابت رابطه و D بعد فرکتال است. این رابطه را می توان به صورت دیگر نیز بیان کرد (Turcott, 1977)

$$D = \frac{\text{Log}\left(\frac{N_{i+1}}{N_i}\right)}{\text{Log}\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)} \quad (2)$$

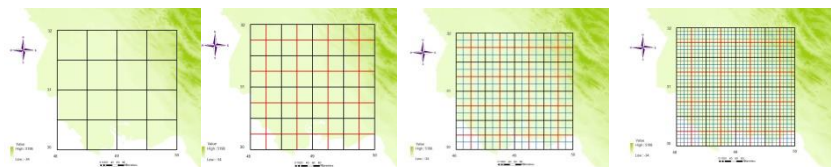
که در این معادله D بعد فرکتال، N تعداد پدیده ها، r طول مربع در هر مرتبه و i مرتبه است. شکل ساده تر از رابطه 2 به صورت زیر است: (Turcott, 1997)

$$\text{Log}(N) = C + K (1/s) \quad (3)$$

log

در این رابطه N تعداد پدیده ها، S اندازه شبکه به کار گرفته شده، a ثابت رابطه و k بعد فرکتالی است.

روش مربع شمار (box-counting) متداول ترین روش در تحلیل فرکتالی است (Turcotte, 1992) و توسط بسیاری از محققین به کار گرفته شده است. در این روش ابتدا در محدوده ی مورد مطالعه یک شبکه بندی مناسب ایجاد می شود. تحلیل ها بر اساس نمودار log-log از تعداد مربع های حاوی ساختار N_n بر حسب عکس طول شبکه های ایجاد شده ($1/r_n$) صورت می گیرد. طبق رابطه $\log(N_n) = D \cdot \log(1/r_n) + C$ ، شیب خط و نشان دهنده بعد فرکتالی می باشد که دامنه تغییرات این ضریب در روش مربع شمار و در یک سامانه دوبعدی می تواند عددی در بازه 0 تا 2 باشد. توزیع فرکتالی آبراهه ها و یا ابعاد فرکتال یک پهنه گسلی بیانگر نحوه فعالیت گسل و گسترش آن می باشد. در این روش یک مربع به طول واحد به عنوان شبکه والد یا ساختمان پایه فرکتال در نظر گرفته می شود. شبکه والد یک مربع مرتبه صفر است که در گام های بعدی خود به واحدهای کوچکتری تقسیم می شود.



شکل 1: نحوه شبکه بندی در روش مربع شمار از چپ به راست.

محاسبه بعد فرکتال

توزیع فرکتال شکستگی‌ها یا ابعاد فرکتال یک پهنه‌ی گسلی بیانگر نحوه فعالیت گسل و گسترش آن می‌باشد. برای محاسبه ابعاد فرکتالی سیستم گسلی فعال در منطقه، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه سامانه گسلی منطقه تهیه و با توجه به وضعیت ژئومورفولوژی منطقه، برای اعمال روش مربع شمار، منطقه مورد مطالعه به 16 زیرپهنه تقسیم شده و هر کدام جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و برای هر یک بعد فرکتالی محاسبه شده است. مقدار کم بعد فرکتال نشانگر این خواهد بود که گستره‌ی سطحی گسل محدود بوده و دگرشکلی در آن به حد نهایی نرسیده است. ناپایداری‌ها از شمال شرقی پهنه به سمت مرکز و انتهای آن کاسته می‌شود (شکل 2). وجود کانون زمین‌لرزه‌های سده‌ی اخیر که در بخش شمالی و مرکزی بیشتر است این موضوع را تایید می‌کند. همچنین در مناطق جنوبی بعد فرکتالی نسبت به بقیه مناطق کمتر است که می‌تواند علاوه بر نشان دادن پویایی کمتر زیر پهنه، ناشی از لیتولوژی خاص منطقه باشد که گسلش سطحی را در این مناطق کمتر نموده است. از دلایل این تغییرات می‌توان به گسل‌های آغاجاری، رامهرمز، شاه نشین، جره، لهری، MFF و فاروم نسبت داد که روند شمال غرب-جنوب شرق را دارند.



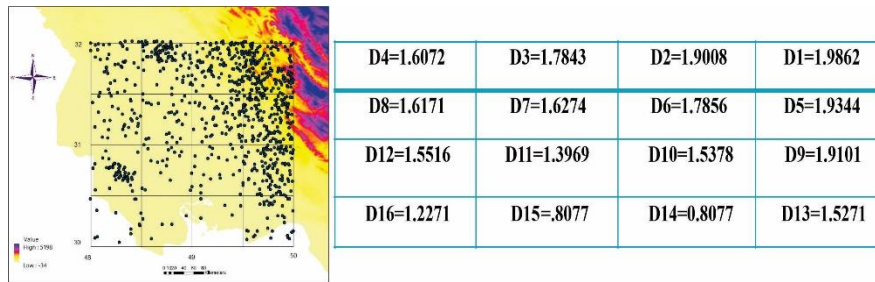
D4=1.0831	D3=0.3	D2=1.67	D1=1.8177
D8=0.3	D7=1.2101	D6=1.2644	D5=1.6563
-	-	-	D9=1.3222
-	-	-	D13=1.0007

شکل 2: گسل‌های فعال منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب ایران و برآورد بعد فرکتال محاسبه شده.

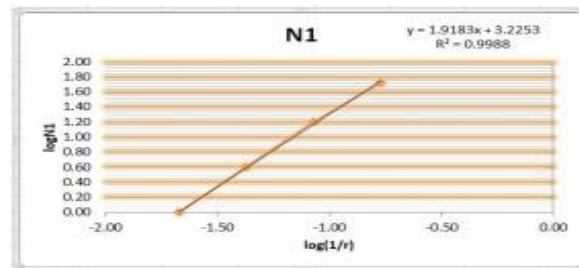
برای به دست آوردن بعد فرکتال زلزله‌ها، با استفاده از کاتالوگ زلزله‌های دریافت شده از ISC و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ابتدا توسط روش گاردنر و نوپوف (1974)، پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها حذف شده و در نهایت کاتالوگ شامل 2 زلزله‌ی تاریخی و 670 زلزله از سال 1990 تا 2019 شدند. سپس مرکز سطحی زلزله‌های رخ داده، بر اساس طول و عرض جغرافیایی آنها بر روی نقشه توپوگرافی پیاده گردید (شکل 3) و در هر مرحله با کاهش طول ضلع مربعات، شبکه‌های با طول ضلع کمتر (به ترتیب 23/535 و 11/7675 و 5/88375 کیلومتر) ایجاد شدند (جدول 1) برای نشان دادن بعد فرکتال، می‌توان نمودار لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌ها به تعداد مربع‌های حاوی زلزله را توسط نرم افزار excel به دست آورد، که شیب نمودار همان عدد فرکتال می‌باشد (شکل 4).

جدول 1: محاسبه فرانسج‌های تحلیل فرکتالی زمین لرزه‌های پهنه

r	1/r	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
47.07	.021244	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23.535	.042489	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4
11.7675	.084979	16	15	16	14	16	16	13	15	16	14	11	12	13	5	5	9
5.88375	.169959	62	52	38	27	55	39	29	27	52	23	18	25	23	6	6	13



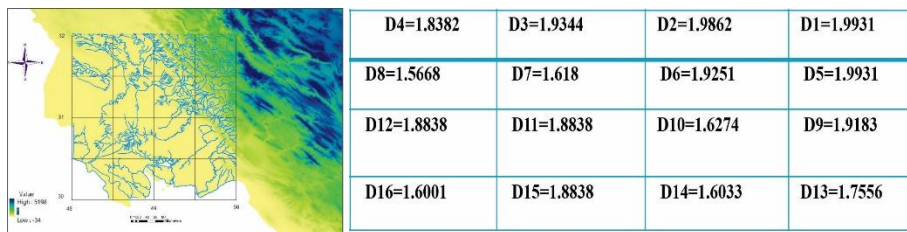
شکل 3: نقشه رومرکز زلزله‌های منطقه مورد مطالعه و محاسبه میزان بعد فرکتالی محاسبه شده



شکل 4: یک نمونه از نمودارهای لگاریتمی-لگاریتمی برای محاسبه بعد فرکتال

از لحاظ تغییرات بعد فرکتالی زلزله‌ها در منطقه، می‌توان 16 زیرپهنه را از نظر توزیع مرکز سطحی زمین‌لرزه‌ها با هم مقایسه کرد. از آنجا که هر چه بعد فرکتالی زلزله در منطقه بزرگ‌تر باشد نشان دهنده‌ی فراوانی زلزله‌های رخ داده است، قسمت‌های شمال خاوری و خاور شامل زیرپهنه‌های 1 و 5 و 9 و 2 دارای زلزله‌های فراوان‌تری نسبت به دیگر قسمت‌ها می‌باشند. این قسمت‌ها تقریباً در زیرپهنه زاگرس چین‌خورده-ساده قرار دارند که در اثر حرکت رو به شمال صفحه عربی و برخورد آن با صفحه ایران در راستای شمال خاور-جنوب باختر فشرده می‌شود و در نتیجه باعث لرزه‌خیزی کنونی زیرپهنه‌های این قسمت می‌شود. گفتنی است که بیشتر زمین‌لرزه‌های زاگرس بدون گسلش سطحی هستند که این امر می‌تواند به دلیل وجود لایه‌های نمکی سری هرمز و سایر لایه‌های جدایشی میانی باشد که ضمن تعدیل انرژی از رسیدن همه‌ی آن به سطح جلوگیری می‌کنند.

برای محاسبه ابعاد فرکتالی شبکه زهکشی نیز به طریق مشابه، بعد فرکتال محاسبه شده و با یکدیگر مقایسه شده است (شکل 6). در تحلیل بعد فرکتال آبراه‌ها هر جا که بعد فرکتالی بیشتر پویایی زمین ساختی کمتر می‌باشد و هر جا که بعد فرکتالی کمتر باشد نشان دهنده‌ی برخاستگی بیشتر و لذا پویایی زمین ساختی بیشتر می‌باشد. پهنه 6 و 8 دارای کمترین بعد فرکتال آبراه‌ها و پهنه 1 دارای بیشترین بعد فرکتال آبراه‌ها در منطقه می‌باشند.



شکل 5: مقایسه بعد فرکتالی شبکه آبراهه ها در محدوده مطالعاتی

2 نتیجه‌گیری

برای تعیین پویایی منطقه خوزستان بعد فرکتال سه پارامتر محاسبه شده است. پارامتر اول سیستم گسلش منطقه بوده است که مقایسه مقادیر فرکتال در 16 زیرپهنه نشان می‌دهد که از سمت شمال شرق و شرق منطقه به مرکز و جنوب غرب، بعد فرکتال رو به کاهش می‌باشد و در نتیجه می‌توان گفت پویایی منطقه از شمال شرق به سمت مرکز و از آنجا به سمت جنوب و جنوب غرب کاسته می‌شود. عارضه دوم محاسبه بعد فرکتال لرزه‌ای منطقه بوده است که نشان می‌دهد از شمال شرق به سمت مرکز و سپس به سمت جنوب غرب فعالیت لرزه‌ای کاهش می‌یابد. مهم‌ترین دلیل آن، حرکت صفحه عربی به سمت صفحه ایران مرکزی و راندگی‌های به وجود آمده می‌تواند باشد. عارضه سوم سیستم زهکشی منطقه بود که بر خلاف گسلش، تراکم آبراهه‌ها در بخش‌های شمال شرقی بیشتر نشان داده شده و به ظاهر بیانگر فعالیت کمتر شمال شرق حوزه بود ولی در واقع دلایل این تراکم را نه پویایی کمتر بلکه چین خوردگی‌ها و پیچ و خم فراوان بالادست، وجود سرچشمه‌های آبی، حرکت آب‌ها به سمت خلیج فارس و یکی شدن انشعابات در پایین دست قبل از ورود به دریا، می‌توان ذکر کرد. دیدگاه دیگر اینکه، دلیل این تناقض ممکن است مهاجرت انرژی از قسمت‌های شمال شرق به مرکز و بعد از آن به سمت جنوب و جنوب غرب باشد. بنابراین با این فرض می‌توان گفت در آینده مهاجرت پویایی و به دنبال آن افزایش زلزله‌ها را در قسمت‌های پایین دست حوزه شاهد خواهیم بود.

منابع

- نباتی، علی آقا، 1383، زمین شناسی ایران: پهنه‌ای اصلی رسوبی-ساختاری ایران.
- زارعی، س.، مریدی نریمانی، ع.، خطیب، م.، اویسی، بهنام.، محمدخانی، س.، بررسی تغییرات نرخ برخواستگی در تاق‌دیس دالان به کمک تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها، دانشگاه بیرجند.
- صدر، ا.، علی پور، ر.، قمریان، س.، بهار 1397، بررسی نقش ساختارهای فعال زمین ساختی در ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌های پهنه گسل حسن آباد (جنوب باختر قزوین)، دانشگاه بوعلی سینا همدان، فصلنامه زمین ساخت، دانشگاه بیرجند، سال دوم، شماره 5.
- مظفرخواه، م.، برجسته، آ.، 1390، استفاده از تحلیل فرکتالی برای تعیین پویایی تکتونیک شمال منطقه لالی در م.ع.، خطیب، - چرچی، شمال شرق خوزستان، دانشگاه شهید چمران اهواز، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته؛ دانشگاه شهید چمران اهواز، تابستان 1390، شماره 1، جلد 1.
- Allen, M.B., Jackson, J., Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of Arabia-Eurasia collision and comparison of the short-term and long-term deformation rates. *Tectonics*, 23. doi:10.1029/2003TC001530.
- Berberian, M., King, G.P., 1981, Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, NO:18, p: 210-265.
- Turcotte, D.L., 1997, *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*, Cambridge Univ. Press.
- Cello, G., Malamud, B.D., 2006, *Fractal Analysis for Natural Hazards*, Geological Society Special Publication, NO:261, P:171.
- Ambraseys, N.N., 1963, The Buyin-Zahra (Iran) earthquake of September 1962: a field report. *B. Seismol. Soc. Am.* 53, 705-740