

بررسی نقش ساختارهای فعال زمین ساختی در ابعاد فرکتالی شکستگی ها و آبراهه‌های پهنه گسل حسن آباد (جنوب باختر قزوین)

امیر حسین صدر¹، رضا علی پور¹، سحر قمریان²

1. استادیار گروه تکنونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

2. کارشناسی ارشد تکنونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

تاریخ دریافت: 1396/09/25

تاریخ پذیرش: 1397/01/29

چکیده

هدف از این پژوهش، تعیین تراکم شکستگی‌های ساختاری (گسل و خطواره‌ها) و آبراهه‌ها در پهنه گسل حسن آباد در جنوب باختر قزوین با بررسی الگوی فرکتالی حاکم بر منطقه مورد مطالعه می‌باشد. جهت شناسایی خطواره‌ها و گسل‌های فعال در این پهنه و تحلیل فعالیت‌های زمین ساختی از روش‌های دورسنجی و پردازش داده‌ها در محیط نرم افزار ArcGIS، استفاده شده است. نقشه خطواره‌ها از داده‌های مکانی، تصاویر ماهواره‌ای لندست 8 و مدل سایه ارتفاعی و با استفاده از الگوریتم STA تهیه گردید. ابعاد فرکتالی شکستگی‌های ساختاری و آبراهه‌ها به روش مربع شمار و با استفاده از نمودارهای Log - Log، برای 14 پهنه در منطقه مورد مطالعه، محاسبه شده است. براساس ابعاد فرکتالی بدست آمده از خطواره‌ها ($D_j=1/91$) و گسل‌ها ($D_j=1/82$)، پهنه J دارای بیشترین بعد فرکتالی است. بر اساس ابعاد فرکتالی شبکه زهکشی پهنه g ($D_g=1/91$) بیشترین و پهنه z ($D_z=1/39$) دارای کمترین بعد فرکتالی است که مقادیر پایین بعد فرکتالی آبراهه‌ها نشان دهنده بر خاستگی در منطقه می‌باشد. نتایج بررسی ابعاد فرکتالی و مشاهدات صحرائی در پهنه گسل حسن آباد نشان دهنده فعالیت نسبی بیشتر بخش جنوبی و خاوری است. بخش جنوبی مرز بین دو گسل حسن آباد و خررود و بخش خاوری مرز برخورد پهنه گسل حسن آباد با پهنه فعال گسل ایپک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فرکتال، تراکم شکستگی‌ها، پهنه گسل حسن آباد، تراکم آبراهه‌ها، قزوین.

* نویسنده مسئول، Sadr_struct@yahoo.com

مقدمه

هندسه فرکتال شاخه‌ای از علم ریاضیات است که در اوایل قرن 19 میلادی مورد توجه ریاضی دانان قرار گرفت. فرکتال‌ها الگوهای هندسی مانند مربع و دایره هستند که در اندازه‌های کوچک و بزرگ بر روی یک صفحه و یا فضا قرار دارند و مرتباً تکرار می‌شوند. شکل‌های موجود در هندسه کلاسیک یا همان هندسه اقلیدسی می‌توانند بدون بعد باشند مانند نقطه، یک بعدی مانند خط، دو بعدی مانند مربع، و سه بعدی مانند مکعب باشند. اما در طبیعت، شکل‌ها و رفتارهایی را می‌توان یافت که قابل توصیف توسط هندسه کلاسیک نیستند (مانند گسل‌ها و فرآیند زمین‌لرزه‌ای) (فاتحی و همکاران، 1390). این رفتارها و شکل‌ها، توسط هندسه فرکتال قابل توجیه و توصیف هستند. یک توزیع فرکتالی می‌تواند بیانگر نحوه توزیع متغیرها و اندازه متغیرها نسبت به کل فضای اشغال شده باشد. به عنوان مثال رابطه بین توپوگرافی ایجاد شده در اثر فرآیندهای زمین ساختی مانند گسل‌ها، چین‌ها و خمش‌ها با میزان فرسایش پذیری و رسوب گذاری را می‌توان با استفاده از تحلیل فرکتالی مورد بررسی قرار داد.

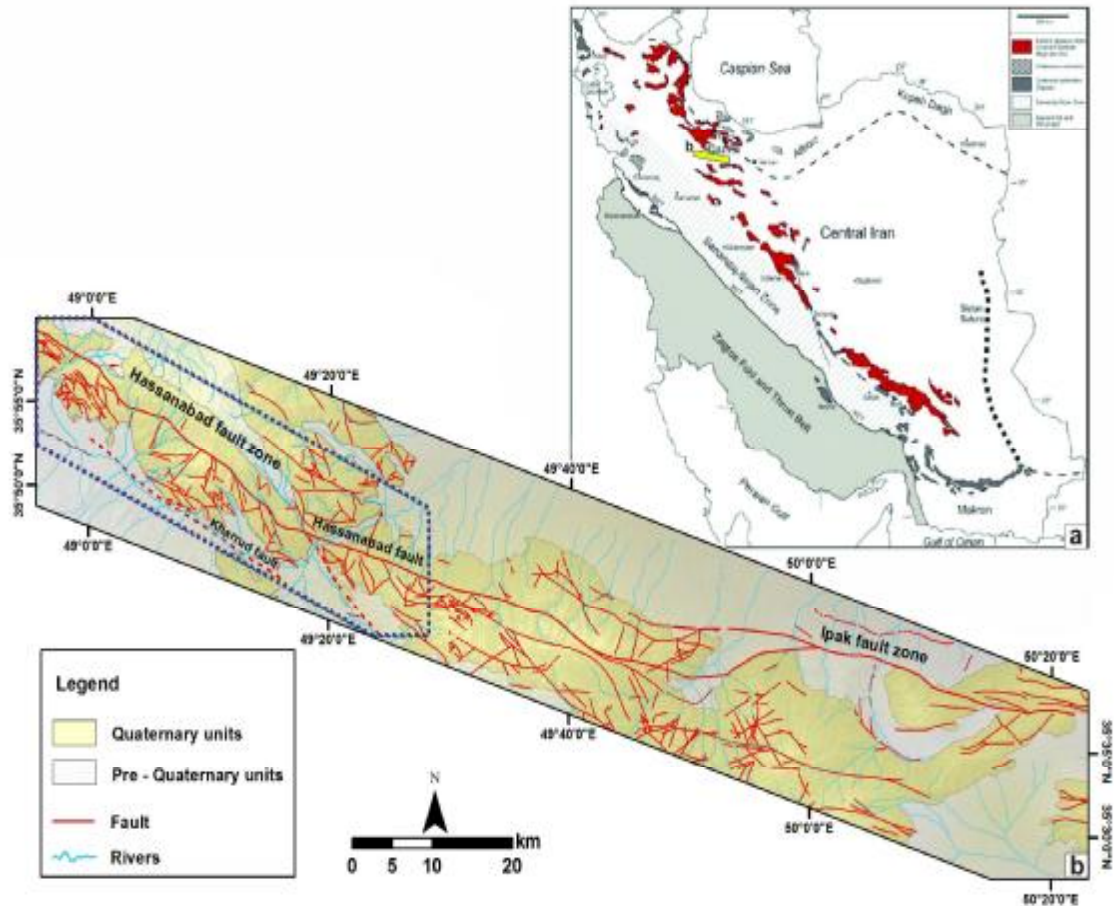
بسیاری از پدیده‌های زمین‌شناسی دارای متغیرهای فراوانی هستند که برقراری رابطه بین آن‌ها با استفاده از روش‌های معمولی ریاضی بسیار مشکل است. به عنوان مثال فراوانی و اندازه ذرات تشکیل دهنده سنگ‌ها، گسل‌ها، زمین‌لرزه‌ها، آتشفشان‌ها، ذخایر معدنی و میدان‌های نفتی از جمله آن پدیده‌ها می‌باشند. مدل‌های فرکتالی زیادی برای توزیع گسل‌ها در سطح پوسته زمین در یک منطقه توسط تورکات (Turcotte, 1992) ارائه شده است. از تحلیل‌های فرکتالی برای بررسی سیستم گسل‌ها (خطیب و شهریار، 1376؛ آقاشاهی اردستانی، 1385؛ حاجی و رحیمی، 1389؛ چرچی و همکاران، 1390؛ علی‌پور و همکاران، 1395؛ ماندلبروت (Mandelbrot, 1983)، تورکات

(Turcotte, 1992)، پیرپاولو (Pierpaolo, 2002) و دارسل و همکاران (Darcel et al., 2003)) استفاده شده است. این پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فرایندهای زمین ساختی را می‌توان با مفاهیم فرکتالی تشریح نمود (Turcott, 1992). با محاسبه 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 (Turcott, 1992).

فلات ایران به سبب قرارگیری در بخش میانی کمربند کوهرزایی آلپ - هیمالیا به لحاظ جایگاه ساختاری یکی از مناطق فعال جهان است که رخداد زمین‌لرزه‌هایی با شدت کم و زیاد خود شاهدهی بر این مدعا است (Berberian and King, 1981; Allen et al., 2004). با توجه به ویژگی‌های ساختاری فلات ایران، تقسیم‌بندی‌های متفاوتی در زمینه پهنه‌های ساختاری انجام شده است که هر پهنه ویژگی‌های زمین‌شناسی و ساختاری مربوط به خود را دارد. پهنه رسوبی - ساختاری ایران مرکزی (شکل 1a)، را می‌توان از مناطق فعال ساختاری به شمار آورد که زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در این پهنه‌ها، مثال زمین‌لرزه 22 ژوئن 2002 چنگوره - آوج ($M_w = 6.3$) (Walker et al., 2005; Mahdavi et al., 2006; سپتامبر 1962 بوئین‌زهرآ ($M_s = 7.3$) (Ambraseys, 1963; Priestley et al., 1994) در استان قزوین، این موضوع را تأیید می‌نماید. عامل این رخدادهای لرزه‌ای را به ترتیب می‌توان، فعالیت گسل آبدره با روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری (Walker et al., 2005) و تجدید فعالیت گسل ایپک با روند خاوری - باختری بیان نمود (Ambraseys, 1963). با توجه به موقعیت ساختاری پهنه گسل حسن آباد قرارگیری در حاشیه شمال‌باختری ایران مرکزی (شکل 1b)، توجه به لرزه‌خیزی و شناسایی ساختارهای مهم و بزرگ منطقه

خطواره‌های ساختاری مؤثر در فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه، بسیار کارآمد و هدف این پژوهش است.

امری مهم و ضروری می‌باشد. با توجه به وسعت منطقه مطالعاتی، استفاده از روش‌های دورسنجی جهت بررسی و شناسایی ساختارهای مذکور و دیگر شکستگی‌ها و



شکل 1. a. نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (Mohajjel and Fergusson, 2014). b. نقشه زمین‌شناسی ساده شده بخشی از شمال‌باختر ایران که موقعیت محدوده مورد مطالعه با کادر آبی رنگ نشان داده شده است.

پوشش گیاهی و ارتفاع آن و 6- تغییرات سریع توپوگرافی. محققان علوم زمین با استفاده از اطلاعات سنجنش از دور که شامل تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، مدل زمین رقومی¹، مدل ارتفاع رقومی² و مدل سایه ارتفاعی می‌باشند، به استخراج و تعیین هندسه خطواره‌ها و شکستگی‌ها می‌پردازند. نتایج بدست آمده از روش‌های دورسنجی به عنوان مطالعات اولیه برای تحلیل ساختاری به کار می‌روند که اطلاعات حاصل از

در مطالعات ساختاری شناسایی خطواره‌های گسلی بسیار مهم می‌باشد و در واقع خطواره‌های گسلی تأثیرات سطحی گسل‌های پنهان و یا عمیق هستند، به همین خاطر تحلیل خاستگاه این خطواره‌های گسلی و ارتباط آن با گسل‌های پنهان و عمیق امری ضروری است (عباسی و یساقی، 1390). در یک تعریف جامع‌تر، هونگ و همکاران (Hung et al., 2005)، بیان کردند که خطواره از طریق موارد زیر شناخته می‌شود: 1- دره‌ها و رودها، 2- سطح هم‌تراز، 3- تغییرات در تن رنگ خاک، 4- مناطق دارای پوشش گیاهی، 5- تغییر در نوع

1 Digital Terrain Model
2 Digital Elevation Model

جنوب‌خاوری، تعداد زیادی گسل‌های عرضی در روندهای مختلف در این زیرپهنه موجب به هم‌ریختگی سازندهای پیش از ترشیری و ایجاد سیمای موزاییکی در این گستره شده است.

روش کار

روش‌های سنجش از دور در طول چند دهه اخیر به طور فزاینده‌ای رشد کرده‌اند و به طور گسترده‌ای در زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌ساختی مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه قابلیت‌های پردازش تصاویر سنجش از دور و به طور خاص روش‌های شناسایی الگو (اعم از الگوهای نقطه‌ای، خطی و سطحی) به طور گسترده‌ای، در دانش‌های مربوط به زمین برای استخراج عوارض خطی بزرگ و حتی کوچک مقیاس استفاده می‌شود (Hung et al., 2005; Corgne et al., 2010; Masoud and Koike, 2006; Meshkani et al., 2013; Farrokhnia et al., 2015). در استخراج خطوطها در سنجش از دور، از روش‌های متفاوتی مثل پردازش و فیلتر کردن تصاویر و استخراج نیمه‌اتوماتیک استفاده می‌شود. کوپکه و همکاران (Koike et al., 1995) برای تعیین خطوطها از تصاویر ماهواره‌ای، روشی جدید ارائه کرده و آن را الگوریتم STA^3 نامیدند. در روش استخراج نیمه‌اتوماتیک خطوطها با استفاده از الگوریتم‌هایی مانند STA توسط نرم‌افزارهای سنجش از دور مثل PCI Geomatica به دست می‌آیند (Koike et al., 1995, 1998, Masoud and Koike, 2006). برای تهیه نقشه کلی خطوطهای منطقه مورد مطالعه، از هفت باند تصاویر ماهواره لندست 8، شامل 6 باند طیفی با قدرت تفکیک 30 متر و باند پانکروماتیک⁴ با قدرت تفکیک 15 متر و هشت مدل سایه ارتفاعی با زاویه تابش 30 درجه از سطح افق و با آزمایشات‌های به فواصل 45 درجه استفاده شده است. پس از استخراج خطوطها،

این مطالعات برای تحلیل دقیق و کامل باید به وسیله اطلاعات حاصل از برداشت‌های صحرائی تکمیل گردد (علی‌پور و همکاران، 1389). برای رسم نقشه پایه پراکندگی شکستگی‌های ساختاری از روش‌های فراوانی جهت آشکارسازی آنها به کمک پردازش داده‌های ماهواره‌ای (سنجش از دور) استفاده می‌گردد (e.g., Kudo et al., 2004; Milbury et al., 2007; Austin and Blenkinsop, 2008). در این پژوهش نقشه خطوطهای منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش‌های سنجش از دور تهیه و سپس به ترسیم نمودارها، محاسبه و مقایسه ابعاد فرکتالی شکستگی‌های ساختاری (خطواره و گسل‌ها) و آبراهه‌ها در پهنه گسل حسن‌آباد خواهیم پرداخت تا به وسیله آن بتوان نقش ساختارهای فعال زمین‌ساختی را در الگوی فرکتالی حاکم بر منطقه مورد مطالعه مشخص نمود.

جایگاه ساختاری و زمین‌شناسی

از دیدگاه زمین‌شناسی و ساختاری پهنه گسل حسن‌آباد در بخش شمال‌باختری پهنه ساختاری - رسوبی ایران مرکزی واقع شده است. پهنه ایران مرکزی از بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی ایران، که به شکل مثلث در مرکز ایران قرار گرفته است (Ghasemi and Talbot, 2006; Walker, 2006)، حد جنوبی این پهنه به راندگی زاگرس و حد شمالی به صفحه‌ی اوراسیا محدود می‌شود. در این منطقه توالی نسبتاً کاملی از پرکامبرین (سازند کهر) تا نهشته‌های عهد حاضر رخنمون دارد که با چندین دگرشیبی شناخته شده و نبود رسوب‌گذاری همراه می‌باشد که نشان از حضور چندین حوضه رسوبی در این ناحیه است (Yazdi et al., 2013). علاوه بر گسل‌های اصلی حسن‌آباد و خررود با روند شمال‌باختری -

3 Segment Tracing Algorithm

4 Panchromatic

تغییرات ابعاد فرکتالی را نشان می‌دهند. که مطابق رابطه $\log(N_n) = D \log(1/r_n) + C$ شیب خط و نشان‌دهنده بعد فرکتالی می‌باشد. که دامنه تغییرات این ضریب در روش مربع شمار و در یک سامانه دو بعدی می‌تواند عددی در بازه صفر تا 2 باشد (Turcott, 1992). توزیع فرکتالی شکستگی‌ها و یا ابعاد فرکتال یک پهنه گسلی بیانگر نحوه فعالیت گسل و گسترش آن می‌باشد. در این بخش لایه‌های شکستگی‌های ساختاری (گسل‌ها و خطوط‌ها) و شبکه زهکشی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و با به کارگیری روش مربع شمار⁵ بعد فرکتالی برای منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید (شکل 4، 8 و 10).

بحث

ابعاد فرکتالی سامانه گسلی

توزیع فرکتال شکستگی‌ها یا ابعاد فرکتال یک پهنه گسلی بیانگر نحوه فعالیت گسل و گسترش آن می‌باشد (چرچی و همکاران، 1390). برای محاسبه ابعاد فرکتالی سیستم گسلی فعال در منطقه، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای نقشه سامانه گسلی منطقه تهیه و با توجه به وضعیت ژئومورفولوژی منطقه، برای اعمال روش مربع شمار، منطقه مورد مطالعه به 14 پهنه تقسیم شد. هر کدام از پهنه‌ها، جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و برای هر یک بعد فرکتالی محاسبه شده است.

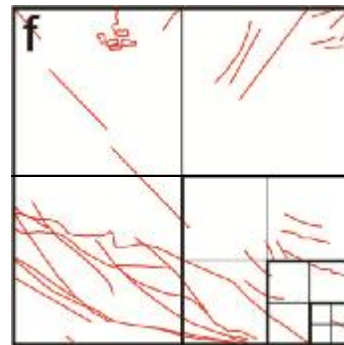
در شکل 3، نقشه شبکه‌بندی و فراسنج‌های تحلیل فرکتال حاصل از بررسی سامانه گسلی منطقه نشان داده شده است (جدول 1). با رسم نمودارهای مربوط به هر پهنه یک بعد فرکتالی بدست آمد (شکل 4). مقدار کم بعد فرکتالی نشانگر این خواهد بود گستره سطحی سیستم گسل محدود بوده و دگرشکلی در آن به حد نهایی رسیده است و هر چه بعد فرکتالی شکستگی‌های

دو نقشه تهیه شد که این نقشه‌ها در محیط ArcMap با هم ترکیب شدند و با حذف خطوط‌های تکراری نقشه خطوط‌های مرتبط با پهنه‌های گسلی فعال در منطقه مورد مطالعه حاصل گردید (شکل 7). ابعاد هندسی اقلیدسی به خوبی نمی‌توانند بیانگر ویژگی پدیده‌ها با هم و یا مقایسه آن‌ها با یکدیگر باشند، ولی ابعاد فرکتالی می‌توانند به صورت اعداد اعشاری بیان گردند، بدین ترتیب محدودیتی در اندازه‌گیری هیچ یک از پدیده‌ها با این روش وجود ندارد.

برای محاسبه بعد فرکتالی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$N_n = C/r_n^D$$

N_n تعداد متغیرهای معلوم برای یک پدیده (تعداد مربع‌های که دارای ساختار است)، C ثابت، r_n بعد خطی مربع‌ها و D بعد فرکتال است. روش مربع شمار، متداول‌ترین روش در تحلیل فرکتالی شکستگی‌های ساختاری اعم از گسل‌ها است (Turcotte, 1992) و توسط بسیاری از محققین به کار گرفته شده است. به منظور استفاده از این روش ایجاد شبکه‌بندی مناسب در محدوده مورد مطالعه امری ضروری می‌باشد (شکل 2).



شکل 2. طرح شماتیک نحوه شبکه‌بندی

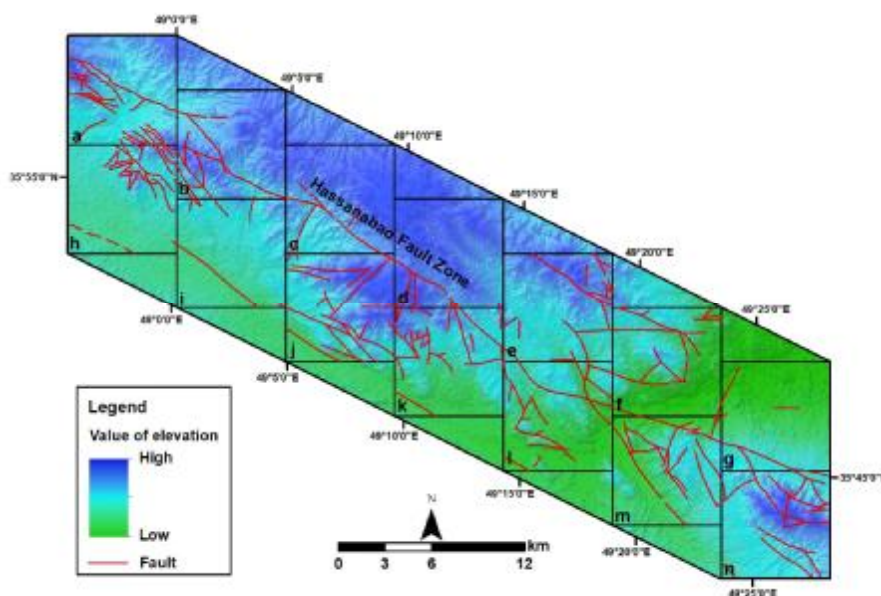
تحلیل‌ها براساس نمودار \log/\log از تعداد مربع‌های دارای شکستگی N_n بر حسب طول شبکه‌های ایجاد شده (r_n) یا عکس آن ($1/r_n$) صورت گرفته است. نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های (4، 8 و 10)

نیز ما شاهد تراکم بالای شکستگی‌ها هستیم، که این امر را می‌توان به برخورد این پهنه با پهنه گسل فعال ایپیک (عامل رخداد زلزله بوئین‌الزهره (Ambraseys, 1963; Priestley et al., 1994)) در بخش جنوب‌خاوری تا خاور منطقه نسبت داد. شواهدی از گسلش در این پهنه گسلی در شکل‌های 5 و 6 نشان داده شده است.

شکل 5، موقعیت صفحه گسل N60E با شیب 70 تا 75 درجه در واحدهای کرتاسه در بخش مرکزی پهنه گسل حسن‌آباد و شکل 6، چندین شواهد از گسلش نرمال را نشان می‌دهد.

روند بدست آمده از صفحات گسل‌ها با روند شکستگی‌های ساختاری (خطواره‌ها و گسل‌ها)، همخوانی دارد، این تطابق در داده‌های بدست آمده از روش‌های دورسنجی و نرم‌افزاری با برداشت‌های صحرایی و نتایج ابعاد فرکتالی، صحت روش‌های استفاده شده در این پژوهش را تایید می‌نماید.

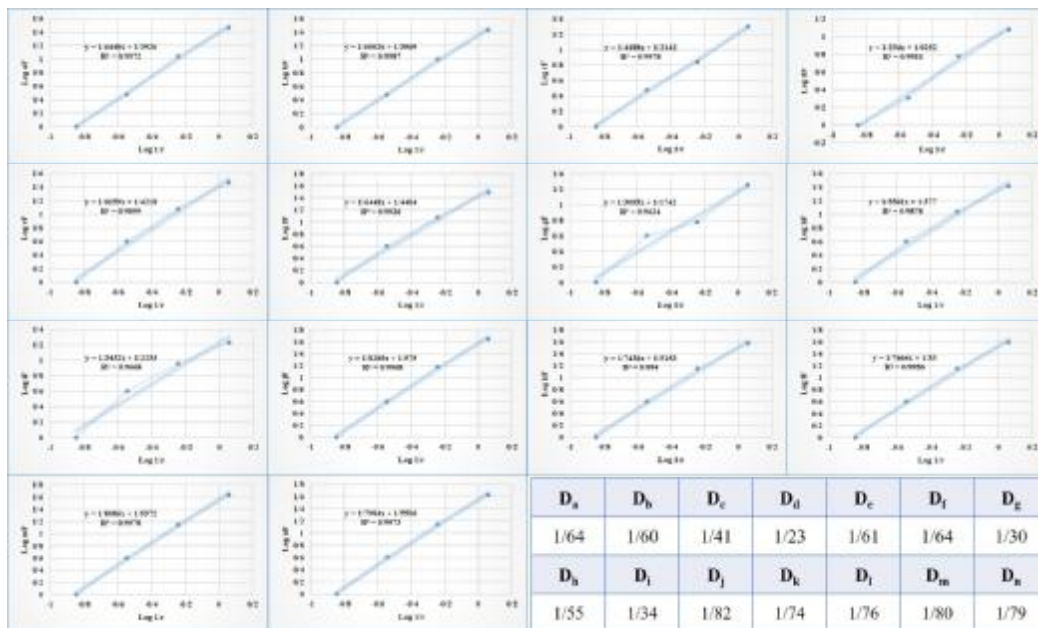
ساختاری عدد بزرگتری باشد، نشان‌دهنده میزان تراکم بالای شکستگی‌ها و بلوغ کمتر سامانه گسلی در آن پهنه می‌باشد (خطیب و شهریاری، 1376). با توجه به ابعاد فرکتالی بدست آمده برای هر یک از 14 پهنه مورد مطالعه، ابعاد فرکتالی در بخش‌های مختلف منطقه یکسان نمی‌باشد. وجود اختلاف بعد فرکتالی در بخش‌های متفاوت پهنه گسلش نشانگر تفاوت هندسه سیستم گسلش آن بخش‌ها با یکدیگر است (خطیب و شهریاری، 1376). در منطقه مورد مطالعه پهنه ز دارای بیشترین بعد فرکتالی ($D_f = 1/82$) و پهنه d ($D_d = 1/23$) کمترین بعد فرکتالی را دارا می‌باشد (شکل 4). در پهنه z، به علت همپوشانی دو گسل فعال حسن‌آباد و خررود در این پهنه در قیاس با دیگر پهنه‌های مورد مطالعه، میزان تراکم شکستگی‌های ساختاری (گسل‌ها) بالا می‌باشد. بنابراین بعد فرکتال محاسبه شده نیز عدد بالایی نشان می‌دهد. در بخش جنوب‌خاوری پهنه گسل حسن‌آباد



شکل 3. نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه و شبکه‌بندی که برای اعمال روش مربع‌شمار در بدست آوردن بعد فرکتال ترسیم گردیده است.

جدول 1. محاسبه فرانسج‌های تحلیل فرکتالی شکستگی‌های ساختاری پهنه گسل حسن آباد.

| r (km) | 1/r | NaF | NbF | NcF | NdF | NeF | NfF | NgF | NhF | NiF | NjF | NkF | NlF | NmF | NnF |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 7 | 0/1428 | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| 3/5 | 0/2857 | ۳ | ۳ | ۳ | ۲ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ |
| 1/75 | 0/5714 | ۱۱ | ۱۰ | ۷ | ۶ | ۱۲ | ۱۲ | ۶ | ۱۱ | ۹ | ۱۵ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ |
| 0/875 | 1/1428 | ۲۹ | ۲۷ | ۲۰ | ۱۲ | ۲۹ | ۳۱ | ۱۸ | ۲۶ | ۱۷ | ۴۴ | ۳۷ | ۳۹ | ۴۳ | ۴۲ |



شکل 4. نمودارهای لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌ها به تعداد مربع‌هایی که حاوی شکستگی‌های ساختاری (گسل) می‌باشند.



شکل 5. صفحه گسلی، در واحدهای کرتاسه در بخش مرکزی پهنه گسل حسن آباد. (a) موقعیت صفحه گسل N60E با شیب 70 تا 75 درجه به سمت جنوب خاور، (b) آینه گسل مذکور و درزه‌های موجود در این واحد سنگی و (c) استریوپلات رسم شده موقعیت محورهای صفحه گسل را نشان می‌دهد.



شکل 6. شواهد گسلش نرمال در پهنه گسل حسن آباد. (a) گسلش نرمال با شیب همسو. (b) گسل نرمال با شیب مخالف.

- ابعاد فرکتالی خطواره‌های ساختاری

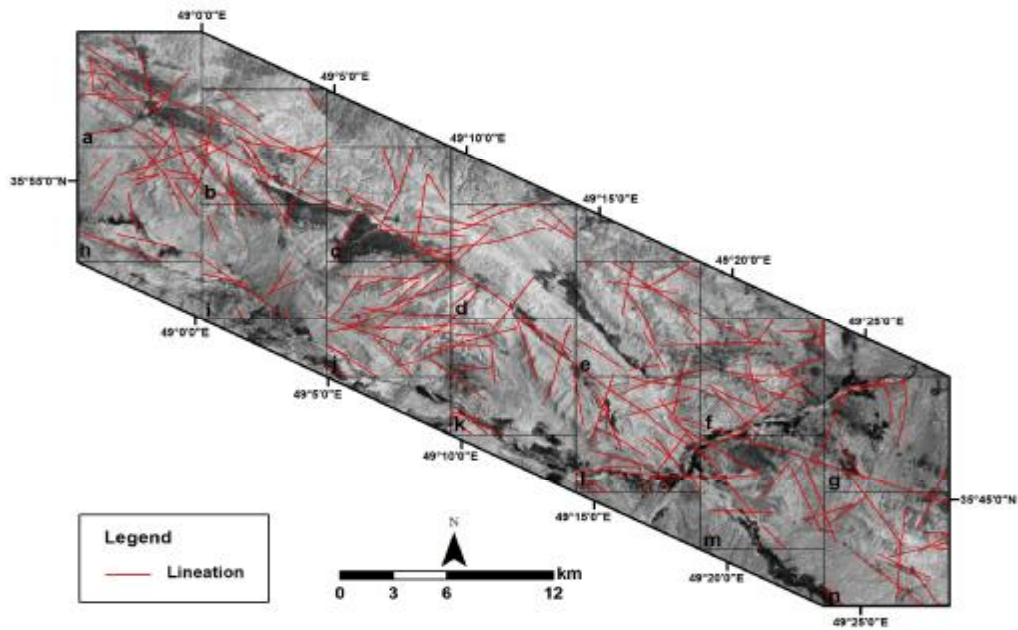
برای بدست آوردن ابعاد فرکتالی خطواره‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر هوایی و تکنیک‌های سنجش از دور خطواره‌های ساختاری استخراج و نقشه خطواره‌های ساختاری تهیه شده در شکل (7)، برای اعمال روش مربع شمار، منطقه مورد مطالعه به 14 پهنه تقسیم گردید. در بررسی فرکتال خطواره‌های ساختاری منطقه هر کدام از پهنه‌ها، جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت و برای هر یک بعد فرکتالی محاسبه شد. در جدول 2، پارامترهای تحلیل فرکتال بدست آمده از بررسی خطواره‌های ساختاری منطقه نشان داده شده است. با رسم نمودارهای مربوط به هر پهنه یک بعد فرکتالی بدست آمد (شکل 8).

تفاوت در تراکم شکستگی‌ها به دو عامل وابسته است یافت (چرچی و همکاران، 1390): 1- سن، هر چه سن سنگ‌های منطقه بیشتر (قدیمی‌تر) باشد به علت تحمل تنش‌های بیشتر و توزیع متفاوت محلی آن‌ها، دارای شکستگی‌های بیشتر و بعد فرکتالی بزرگتر می‌باشد (شکل 5).

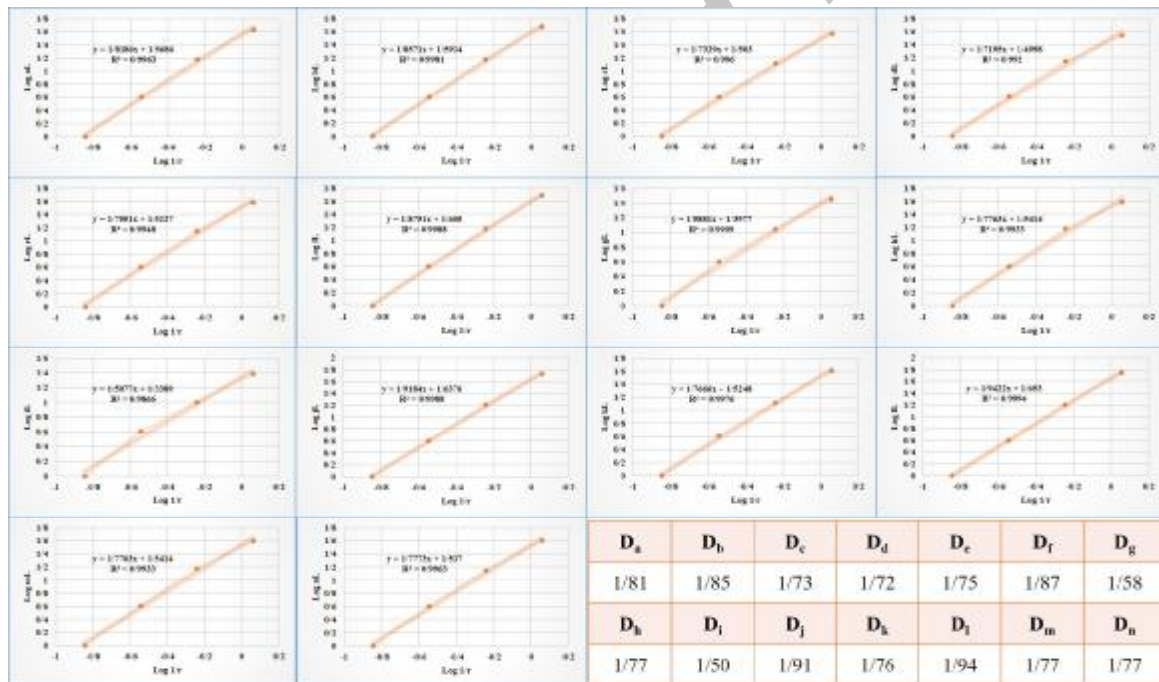
2- جنس، هر چه جنس سنگ‌های منطقه شکننده‌تر باشد، شواهد عملکرد نیروهای زمین‌ساختی و تراکم شکستگی‌ها بیشتر در نتیجه عدد بعد فرکتال به 2 نزدیکتر است (شکل 6). البته نکته دیگری حائز اهمیت است، رخنمون واحدها که هر چه واحدهای قدیمی‌تر نسبت به واحدهای جوان‌تر در منطقه، رخنمون بیشتری داشته باشند تراکم شکستگی و بعد فرکتالی افزایش خواهد یافت (چرچی و همکاران، 1390).

جدول 2. محاسبه پارامترهای تحلیل فرکتالی خطواره‌های ساختاری پهنه گسل حسن آباد.

| r (km) | 1/r | NaL | NbL | NcL | NdL | NeL | NfL | NgL | NhL | NiL | NjL | NkL | NlL | NmL | NnL |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 7 | 0/1428 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3/5 | 0/2857 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1/75 | 0/5714 | 15 | 15 | 13 | 14 | 14 | 15 | 11 | 15 | 10 | 16 | 13 | 16 | 15 | 14 |
| 0/875 | 1/1428 | 43 | 47 | 37 | 35 | 38 | 49 | 28 | 39 | 24 | 53 | 40 | 56 | 39 | 40 |



شکل 7. نقشه خطواره‌های منطقه مورد مطالعه و شبکه‌بندی که برای اعمال روش مربع شمار در بدست آوردن بعد فرکتالی ترسیم گردیده است.



شکل 8. نمودارهای لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌ها به تعداد مربع‌هایی که حاوی خطواره‌های ساختاری می‌باشند.

دو گسل فعال حسن آباد و خررود در پهنه ز_۱ در قیاس با دیگر پهنه‌های مورد مطالعه، میزان تراکم خطواره‌ها بالا می‌باشد. بنابراین ابعاد فرکتالی در این پهنه‌ها میزان بالایی نسبت به دیگر پهنه‌ها نشان می‌دهد.

با توجه به ابعاد فرکتالی محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه، پهنه‌های 1 ($D_1 = 1/94$) و 2 ($D_2 = 1/91$) دارای بیشترین بعد فرکتالی خطواره‌ها در منطقه مورد مطالعه است. در این پهنه‌ها به سبب تراکم بالای شکستگی به سبب تغییر روند گسل حسن آباد در پهنه 1 و همپوشانی

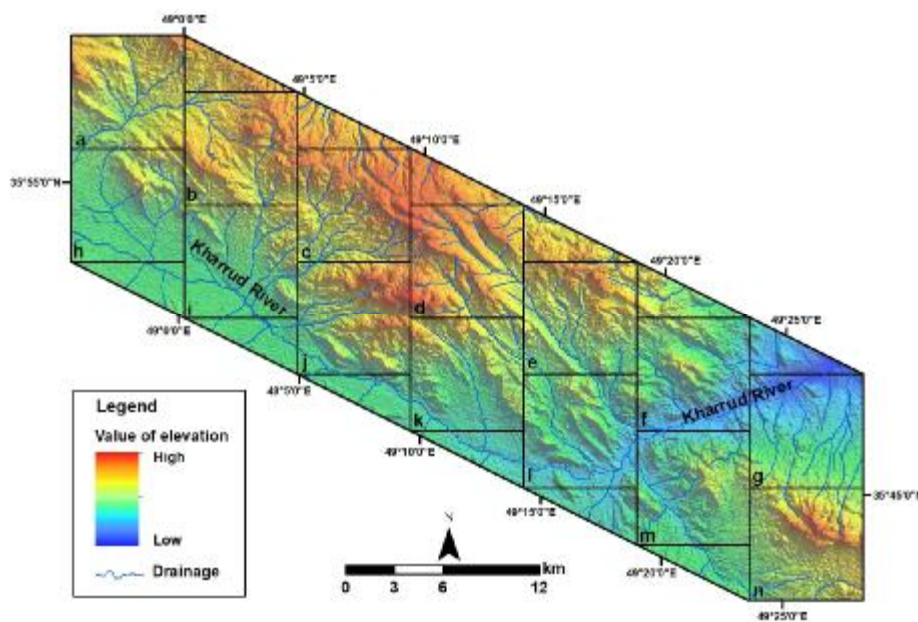
ابعاد فرکتالی شبکه زهکشی

برای محاسبه ابعاد فرکتالی شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار ArcMap، لایه شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه تهیه شده و بر روی این نقشه، جهت محاسبه پارامترها در روش مربع‌شمار، شبکه‌بندی مطابق شکل 9، منظور گردید. این پهنه‌بندی مشابه با شبکه‌بندی فرکتال شکستگی‌ها و خطوطاره‌های ساختاری است. در بررسی ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها هر کدام از شبکه‌ها، جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول 3) و برای هر یک، بعد فرکتالی محاسبه شده است (شکل 10). با توجه به نتایج ابعاد فرکتالی محاسبه شد، مشاهده می‌شود که این اعداد دارای تفاوت‌های

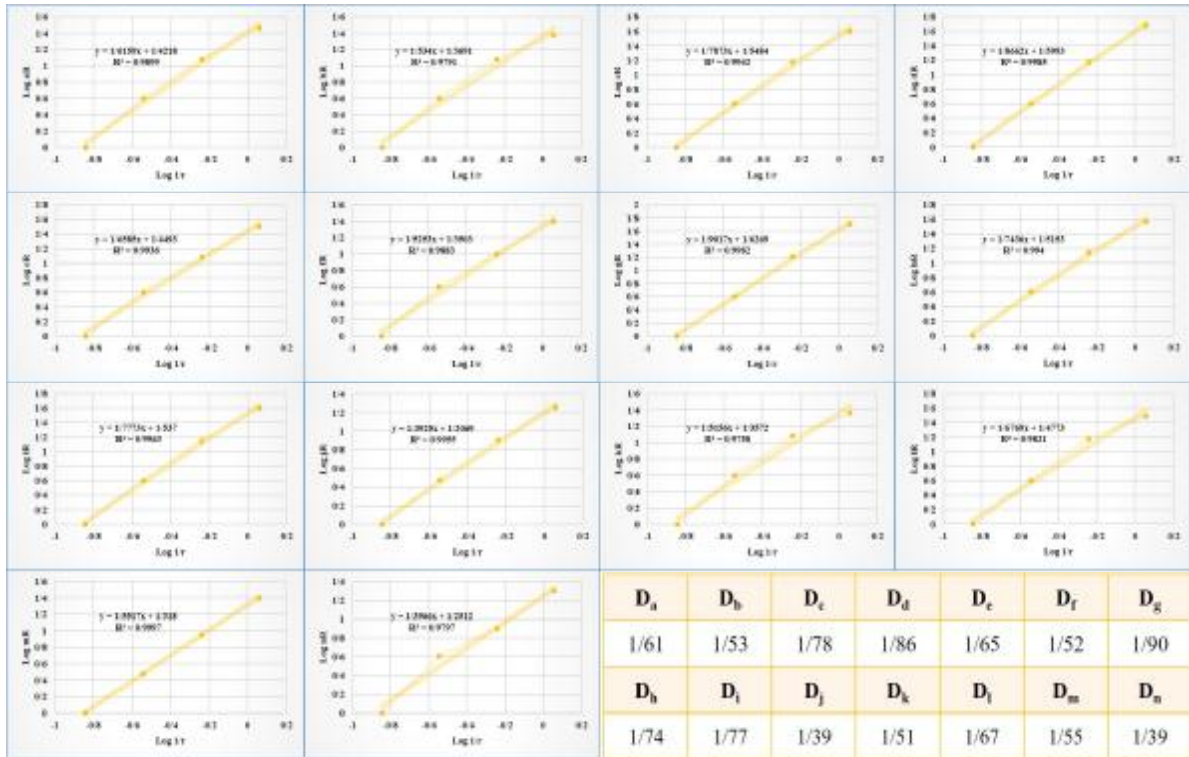
می‌باشد. تفاوت در ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها، با تغییرات توپوگرافی قابل توجه است. هر چه توپوگرافی بلندتر باشد، آبراهه‌ها به طرح موازی و خطی بودن تمایل پیدا می‌کنند و این سبب کاهش بعد می‌شود. ولی مقادیر بالای بعد فرکتال، نشان‌دهنده کاهش فعالیت زمین‌ساختی یا گوناگونی سنگ‌شناسی است. پهنه z دارای کمترین میزان بعد فرکتال ($D_z=1/39$) و پهنه g و d ($D_g=1/90 - D_d=1/86$) دارای بیشترین بعد فرکتال در منطقه مورد مطالعه است. میزان پایین بعد فرکتالی آبراهه‌ها در پهنه z به سبب وجود ارتفاعات و برخاستگی این محدود در نتیجه همپوشانی دو گسل فعال حسن آباد و خررود است.

جدول 3. محاسبه پارامترهای تحلیل فرکتالی شبکه زهکشی پهنه گسل حسن آباد.

| r (km) | 1/r | NaR | NbR | NcR | NdR | NeR | NfR | NgR | NhR | NiR | NjR | NkR | NlR | NmR | NnR |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 7 | 0/1428 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3/5 | 0/2857 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| 1/75 | 0/5714 | 12 | 12 | 15 | 15 | 12 | 10 | 16 | 14 | 14 | 8 | 12 | 15 | 9 | 8 |
| 0/875 | 1/1428 | 29 | 24 | 40 | 48 | 32 | 25 | 51 | 37 | 40 | 18 | 23 | 31 | 25 | 20 |



شکل 9. نقشه شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه و شبکه‌بندی که برای اعمال روش مربع‌شمار در بدست آوردن بعد فرکتالی ترسیم گردیده است.



شکل 10. نمودارهای لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌ها به تعداد مربع‌هایی که حاوی آبراهه می‌باشند.

نتیجه‌گیری

با توجه به ابعاد فرکتالی بدست آمده برای 14 پهنه تعریف شده در منطقه مورد مطالعه، میزان بعد فرکتالی شکستگی‌ها در پهنه زبیش از دیگر بخش‌های در نظر گرفته شده در منطقه مورد مطالعه است. با توجه به آن که افزایش بعد فرکتالی شکستگی‌های ساختاری نشان از بلوغ زمین‌ساختی کمتر و پویا بودن منطقه دارد. برخلاف بعد فرکتالی شکستگی‌ها که مقادیر بالای آن گواه زمین‌ساخت پویا است، مقادیر پایین بعد فرکتالی آبراهه‌ها (شبکه زهکشی) نشان دهنده وجود ارتفاعات و برخاستگی فعال در منطقه می‌باشد. در محاسبات بعد فرکتالی آبراهه‌ها کمترین مقدار در پهنه زدر منطقه همپوشانی پهنه گسلی حسن‌آباد و گسل خرورد حاصل گردید. تفاوت کم مشاهده شده در نتایج بعد فرکتالی گسل‌ها در قیاس با بعد فرکتالی آبراهه‌ها می‌تواند به علت گوناگونی سنگ‌شناسی در پهنه‌های مختلف در نظر گرفته شده، جهت محاسبه بعد فرکتالی در منطقه مورد مطالعه است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از داوران محترم، سردبیر و هیات تحریریه فصلنامه زمین‌ساخت دانشگاه بیرجند کمال تشکر و قدر دانی را دارند.

منابع

آقاشاهی اردستانی، س.، 1385. لرزه‌زمین‌ساخت و توان لرزه‌یابی گسل زاهدان و اثر آن بر گستره شهر زاهدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
چرچی، ع.، خطیب، م. م.، مظفرخواه، م.، برجسته، الف.، 1390. استفاده از تحلیل فرکتالی برای تعیین پویایی تکتونیک شمال منطقه لالی در شمال‌خاور خوزستان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دانشگاه شهید چمران اهواز، جلد 1، شماره 1، ص 47-37.
حاجی، ع.، رحیمی، ب.، 1389. مطالعه الگوهای آماری و فرکتالی سیستم‌های شکستگی منطقه تکنار، ایران مرکزی بر روی نقشه رسم شده از روش‌های

برداشت‌های صحرایی، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی (JSIAU)، جلد 20، شماره 77، صص 173-184.

علی‌پور، ر.، صدر، الف. ح.، امینی، پ.، قمریان، س.، ایزدی، م.، 1395، تحلیل پویایی تکتونیکی گسل مروارید در پهنه گسلی جوان زاگرس با استفاده از داده‌های دورسنجی و تحلیل فرکتالی، بیستمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، صص 814-823.

فاتحی، م.، محجل، م.، خطیب، م. م.، 1390. تحلیل فرکتالی گسل‌ها و ارتباط آن‌ها با زمین لرزه‌ها در پهنه برشی پانه‌ای شکل گسل دهشیر، باختر استان یزد، پژوهش‌های دانش زمین، سال دوم، شماره 8، صص 3-45.

References

Allen, M.B., Jackson, J., Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and comparison of the short-term and long-term deformation rates. *Tectonics*, 23. doi: 10.1029/2003TC001530.

Ambraseys, N.N., 1963. The Buyin-Zara (Iran) earthquake of September 1962: a field report. *B. Seismol. Soc. Am.* 53, 705-740.

Austin, J.R., Blenkinsop, T.G., 2008. The Cloncurry Lineament: Geophysical and geological evidence for a deep crustal structure in the Eastern Succession of the Mount Isa Inlier. *Precambrian Research*. 163, 50-68.

Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canad. J. Earth Sci.* 18, pp.210-265.

Corgne, S., Magagi, R., Yergeau, M., Sylla, D., 2010. An integrated approach to hydrogeological lineament mapping of a semi-arid region of West Africa using Radarsat-1 and GIS. *Remote Sensing of Environment*, 114, 1863-1875.

Darcel, C., Bour, O., and Davy, P., 2003. Stereological analysis of fractal fracture networks, *Jornal geophysical Research*, 108, 13-1 - 13-14.

Farrokhnia, A., Sorbi, A., 2015. Evaluation of the Lineaments and Faults in the Alborz Province by Remote Sensing. *Journal of Engineering Geology*, 9, 2751-2764.

Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj - Sirjan Zone

دورسنجی، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد 36، شماره 1، صص 129-136.

خطیب، م. م.، شهریاری، س.، 1376. تحلیل فرکتالی سیستم گسلی نهبندان، فصلنامه علوم زمین، سال ششم، شماره 23-24، صص 32-39.

عباسی، ث.، یساقی، ع.، 1390. استفاده از تصاویر لندست و داده‌های زمین مغناطیسی در شناسایی خطواره‌های گسلی و تحلیل خاستگاه آنها در ناحیه لرستان، زاگرس چین خورده، مجله سنجش از دور و GIS ایران، دانشگاه شهید بهشتی، شماره 1، صص 19-34.

علی‌پور، ر.، پورکرمانی، م.، زارع، م. و اسپندار، ر.، 1389. استخراج اتوماتیک خطواره‌های مرتبط با زون گسلی جوان اصلی زاگرس در جنوب لرستان و مقایسه آن با

(Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*. 26, 683-693.

Hung, L.Q., Batelaan, O., De Smedt, F., 2005. Lineament extraction and analysis, comparison of Landsat ETM and Aster imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology*, 5983.

Koike, K., Nagano, S., Kawaba, K., 1998. *Computer Geo. Sci.* 24, 573p.

Koike, K., Nagano, S., Ohmi, M., 1995. *Computer Geo. Sci.* 21, 1091p.

Kudo, T., Yamamoto, A., Nohara, T., Kinoshita, H., Shichi, R., 2004. Variations of gravity anomaly roughness in Chugoku district, Japan: relationship with distributions of topographic lineaments. *Earth Planets Space*. 56, e5-e8.

Mahdavifar, M.H., Solaymani, Sh., Jafari, M.K., 2006. Landslides triggered by the Avaj, Iran earthquake of June 22, 2002. *Engineering Geology*, 86, 166-182.

Mandelbrot, B.B., 1983. *The Fractal Geometry of Nature (Updated and Augmented Edition)*, Freeman, New York. 495 p.

Masoud, A., Koike, K., 2006. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 45, 467 - 477.

Meshkani, S.A., Mehrabi, B., Yaghubpur, A., Sadeghi, M., 2013. Recognition of the regional lineaments of Iran: Using geospatial

- data and their implications for exploration of metallic ore deposits, *ore Geology Reviews*, 55, 48-63.
- Milbury, A.E.C., Smrekar, S.E., Raymond, C.A., Schubert, G., 2007. Lithospheric structure in the east region of Mars' dichotomy boundary. *Planetary and Space Science*, 55, 280-288.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., 2014. Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros orogeny in northwestern Iran. *International Geology Review*, 56(3), 263-287.
- Pierpaolo, G., 2002. Regional strain derived from fractal analysis applied to strike-slip fault systems in NW Sicily. *Chaos, Solitons and Fractals, International Journal of Clothing Technology*, 14, 71-76.
- Priestley, K., Baker, C., Jackson, J., 1994. Implications of earthquake focal mechanism data for the active tectonics of the south Caspian basin and surrounding regions. *Geophys. J. Int.* 118, 111-141.
- Turcotte, D.L., 1992. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*, Cambridge University Press, 398 p.
- Walker, R., 2006. A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman Province, S.E. Iran, *J. Struc. Geol.* 28, 654 - 668.
- Walker, R.T., Bergman, E., Jackson, J., Ghorashi, M., Talebian, M., 2005. The 2002 June 22 Changureh (Avaj) earthquake in Qazvin province, northwest Iran: epicentral relocation, source parameters, surface deformation and geomorphology. *Geophys*, 160, 707-720.
- Yazdi, M., Taheri, M., Navi, P., Sadati, N., 2013. Landsat ETM+ imaging for mineral potential mapping: application to Avaj area, Qazvin, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 34, 5578-5795.

Archive of SID



Analysis (Investigating) the role of active structures of tectonic in fractal dimension of fractures and drainages of the Hassanabad fault zone (SW Qazvin)

Amir Hossain Sadr^{1*}, Reza Alipoor¹, Sahar Ghamarian²

1. Assistant. Professor, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2. Masters of tectonic, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Abstract:

The aim of this research is determination of structural fractures density (faults and lineaments) and drainages and their fractal pattern of the Hassanabad fault zone in SW of the Qazvin. Remote sensing analysis and data processing techniques in the ArcGIS software have been used to identify the lineaments and active faults in this zone and analyze of the tectonic activities. Lineaments maps was extracted using the appropriate algorithm of spatial data, Landsat 8 satellite images and shaded relief models. The fractal pattern of structural fractures and drainages networks was calculated by square method and using log-log charts for the 14 zones in the study area. The J zone have the maximum fractal value based on fractal dimension of the lineaments ($D_j=1/91$) and faults ($D_j=1/82$). The g and J zones have the maximum and minimum fractal values respectively, based on fractal dimension drainage basin, that less values of the fractal dimension indicate uplift of the region. The dimension fractal obtained and field studies of the Hassanabad fault zone indicate more relative activity of the southern and eastern parts of the study area. The southern part is the boundary between the Hassanabad and Kharrood faults and the eastern part is boundary between the Hassanabad fault and the active Ipak fault zone.

Keyword: Fractal, Fractures density, Hassanabad fault zone, Drainage density, Qazvin.