

بررسی نقش ساختارهای زمین‌شناسی در ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها در جنوب باختری لنجان - اصفهان

انیس‌السادات خلیفه سلطانی^۱، سیداحمد علوی^۲ و محمدرضا قاسمی^۳

^۱ کارشناس ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۱

چکیده

تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها و شکستگی‌ها ابزار سودمندی در راستای تعیین بلوغ ساختاری یک گستره است. این پژوهش به کمک هندسه فرکتالی، به بررسی و مقایسه ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها در بخش جنوب باختری لنجان می‌پردازد و پس از تعیین پویاترین بخش این گستره، نقش ساختارهای زمین‌شناسی را در این امر مورد بررسی قرار می‌دهد. در تحلیل فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها از روش مربع شمار استفاده شده است، بدین منظور چهار بخش A، B، C و D در گستره با تراکم ساختاری بالا شناسایی شده، و ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها و شکستگی‌ها در این چهار بخش محاسبه و سپس با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج تحلیل فرکتالی شکستگی‌ها بخش B را به عنوان پویاترین بخش گستره معرفی می‌کند، در حالی که نتایج تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها فعالیت زمین‌ساختی را در بخش A بیشتر نشان می‌دهد، ولی با توجه به بیشتر بودن تعداد زمین‌لرزه‌ها و تراکم بالای شکستگی‌ها در بخش B، می‌توان این بخش را پویاترین بخش گستره مورد مطالعه دانست و پاسخ مغایرت نتایج ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها با نتایج ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها را در گوناگونی سنگ‌شناسی این بخش از گستره یافت. بررسی‌های ساختاری انجام شده در گستره نشان از وجود یک پهنه ترافشارشی راست‌بر در گستره مورد مطالعه دارد، که این پهنه ترافشارشی سبب برخاستگی زمین‌ساختی بخش B و ایجاد گل‌ساخت مثبت در این بخش از گستره شده است. بنابراین افزایش فعالیت زمین‌ساختی بخش B به دلیل شکل‌گیری گل‌ساخت مثبت و برخاستگی زمین‌ساختی حاصل از آن است.

کلیدواژه‌ها: بعد فرکتالی، بررسی ساختاری، پهنه ترافشارشی راست‌بر، گل‌ساخت مثبت، لنجان - اصفهان.

*نویسنده مسئول: انیس‌السادات خلیفه سلطانی

E-mail: aniskhs2@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

واژه فرکتال نخستین بار توسط ریاضیدان فرانسوی به نام بنوئیت مندلبرو وارد دنیای ریاضیات شد. مندلبرو هنگامی که روی پژوهشی پیرامون طول سواحل انگلیس مطالعه می‌کرد، به این نتیجه رسید که هرگاه این طول با مقیاس بزرگ اندازه گرفته شود کمتر از زمانی است که مقیاس کوچک‌تر باشد. مندلبرو اعلام کرد که ابرها به صورت کره، کوه‌ها همانند مخروط و سواحل دریا دایره‌شکل نیستند؛ پوست درخت صاف نیست و صاعقه به صورت خط مستقیم حرکت نمی‌کند. به عبارت دیگر پدیده‌های طبیعی بعد صحیح ندارند؛ در حالی که اجسام فیزیکی دارای بعد اقلیدسی یک، دو، سه و یا بدون بعد (بعد صفر) هستند. بنابراین هندسه اقلیدسی نمی‌تواند این پدیده‌ها را توصیف کند و هندسه فرکتال روش بهتری را برای توضیح و ایجاد پدیده‌هایی طبیعی ارائه می‌دهد (Mandelbrot, 1982, 1983 and 1985).

پس از ارائه هندسه فرکتال توسط Mandelbrot (1982)، کاربرد آن در دیگر علوم آغاز شد. برای نمونه Feder (1988) طرز رفتار فرکتال را به صورت جامع و از نقطه نظر برنامه‌های کاربردی مورد توجه قرارداد؛ (Vicsek (1992 نیز کاربرد گسترده‌ای از طرز رفتار فرکتال را با تأکید بر رشد پدیده‌ها مورد بررسی قرار داد و (Korvin (1992 فرکتال را در علوم زمین به کار برد. برخی از پژوهشگران تجزیه و تحلیل فرکتالی را برای تعیین نقش عوامل زمین‌شناسی در کنترل نوع رسوب‌گذاری مواد معدنی خاص الگوی رخداده آن مورد استفاده قرار دادند (Carlson, 1991; Cheng and Agter-berg, 1995; Cheng et al, 1996; Wei and Pengda, 2002; Raines, 2008; Carranza et al, 2008). در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی برای درک نظم موجود در فرایندهای زمین‌ساختی انجام شده است (میرعابدینی و آق‌آقاتابای، ۱۳۹۴). این پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فرایندهای زمین‌ساختی را می‌توان با مفاهیم فرکتالی (Fractal) تشریح کرد (Turcott, 1997). برای نمونه با محاسبه بعد فرکتال ساختارهای خطی همانند گسل‌ها و آبراهه‌ها می‌توان بسیاری از ویژگی‌های آنها را

شناسایی کرد؛ می‌توان تراکم شکستگی‌ها را در یک گستره تعیین و با یکدیگر مقایسه کرد (Turcott, 1997) و زمانی که شواهد زمین‌ساختی کافی در یک گستره وجود نداشته باشد، تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها و وضعیت تراکمی آنها کلیدی در راستای شناسایی پویایی آن گستره است (Hovius, 1996; Jackson and Leeder, 1994). بنابراین مطالعه الگوی آبراهه‌ها نیز می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب در مناطقی مورد استفاده قرار گیرد که حرکات زمین‌ساختی سبب بالاآمدگی و فرونشست نسبی شده است. توزیع آبراهه‌ها در این مناطق با بالاآمدگی یا فرونشست گستره همخوانی دارد (Han et al., 1998).

پژوهش پیش رو نیز به بررسی ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها در بخش جنوب-باختری شهرستان لنجان می‌پردازد. در این پژوهش ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها در چهار بخش این گستره اندازه‌گیری و سپس مقادیر آن با یکدیگر مقایسه می‌شود؛ اگر تفاوتی دیده شود، نقش عوامل زمین‌ساختی در این تفاوت‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- موقعیت و زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه در حاشیه جنوب باختری شهرستان لنجان، از توابع استان اصفهان و میان عرض‌های جغرافیایی ۰۷° ۳۲' تا ۳۳° ۲۳' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۰۲' ۵۱° تا ۵۱° ۲۲' خاوری جای گرفته است (شکل ۱). روند ارتفاعات این گستره همانند دیگر نقاط گستره اصفهان شمال باختری- جنوب خاوری است. گسل‌های گستره اصفهان بیشتر رانندگی‌های مورب راست‌بر و یا گسل‌های راست‌الغز راست‌بر هستند. از گسل‌های وارون و راست‌بر گستره اصفهان می‌توان گسل دهاقان و گسل دهق را نام برد. همچنین در این گستره پهنه‌های فراگام گرفتاری راست‌بر (نصف آباد و حسن-رباط) شناسایی شده است (Nadimi and Konon, 2012).

مرتب‌های بالاتر از خود است. یعنی برای ایجاد مربع‌های مرتبه اول، مربع مرتبه صفر به ۹ مربع به طول $1/3$ تقسیم می‌شود، و برای ساخت مربع‌های مرتبه دوم، هر یک از مربع‌های مرتبه اول باقیمانده به ۹ مربع کوچک‌تر به طول $1/9$ تقسیم می‌شوند و این روند ادامه می‌یابد و در هر مرحله تعداد مربع‌های باقیمانده تحت عنوان شاخص N شمارش می‌شود. در شکل ۳- الف تنها یک مربع باقی مانده است؛ بنابراین $N_1=N_2=\dots=N_n=1$ ، و بر پایه معادله ۲، $D=0$ می‌شود؛ که عدد صفر بعد اقلیدسی یک نقطه است و این هنگامی روی می‌دهد که n به سوی بی‌نهایت میل کند که در این صورت مربع‌ها به نقطه تبدیل خواهند شد. در شکل ۳- ب دو مربع باقی مانده است؛ در اولین مرتبه $r_1=1/3$ ، $N_1=2$ و در مرتبه دوم $r_2=1/9$ و $N_2=4$ است. نتایج مشابهی را می‌توان برای شکل ۳- ث پیش‌بینی کرد. در شکل ۳- پ ۳ مربع در اولین مرتبه باقی مانده است، بنابراین $r_1=1/3$ و $N_1=3$ و در دومین مرتبه $r_2=1/9$ و $N_2=9$ است و بنا بر معادله ۲، $D=1$ خواهد شد. بنابراین هنگامی که n به سوی بی‌نهایت میل کند، مربع‌ها به یک خط تبدیل می‌شوند و بعد اقلیدسی یک خط حاصل می‌شود. در شکل ۳- ت تنها مربع مرکزی حذف شده است؛ بنابراین در اولین مرتبه $r_1=1/3$ و $N_1=8$ است و در مرتبه دوم $r_2=1/9$ و $N_2=64$ است، بر پایه معادله ۲، مقدار $D=\log_8/\log_3=1/8 \times 2.7$ خواهد آمد. در شکل ۳- ث همه ۹ مربع باقی مانده است؛ بنابراین در اولین مرتبه $r_1=1/3$ و $N_1=9$ و در مرتبه دوم $r_2=1/9$ و $N_2=81$ است. بر پایه معادله ۲، $D=\log_8/\log_3=2$ خواهد شد؛ که این مقدار بعد اقلیدسی یک صفحه و این عدد مورد انتظار است؛ چرا که همه مربع‌ها در هر مرتبه‌بندی شرکت داده شده‌اند. بنابراین بعد فرکتال در این روش می‌تواند در بازه ۰ تا ۲ باشد (Turcott, 1997).

بعد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها در این پژوهش با استفاده از روش مربع شمار ارائه شده توسط تورکات به دست آمده است که پیش‌تر بیان شد. برای دست‌یابی به این هدف ابتدا شکستگی‌های گسترده، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM در نرم‌افزار ER Mapper رسم شد (شکل ۴)، سپس داده‌های به دست آمده از این نرم‌افزار، با تصاویر ماهواره‌ای Google earth، تصاویر DEM (شکل ۱)، مشاهدات میدانی و نقشه زمین‌شناسی گسترده همخوانی داده شد و برخی تغییرات در نقشه زمین‌شناسی پیشنهاد و اعمال گردید (شکل ۲)؛ حاصل این تغییرات به صورت یک نقشه از شکستگی‌ها در نرم‌افزار GIS تهیه و به همراه نقشه حوضه آبریز گسترده در راستای تعیین ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها استفاده شد (شکل ۵). نقشه حوضه آبریز گسترده نیز، بر پایه چهار نقشه توپوگرافی، با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ فرادانه (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۸)، مجتمع فولاد مبارکه (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۷)، چرمین (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۹)، زرین شهر (سازمان جغرافیایی کشور، ۱۳۵۳) تهیه شد. پس از رسم نقشه حوضه آبریز و شکستگی‌های گسترده، به منظور به دست آوردن بعد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌های گسترده، ۴ بخش با تراکم ساختاری بالا در گستره تشخیص داده شد؛ بخش‌های A، B، C و D نام گرفت و شاخص‌های N و S در این ۴ بخش از گستره به کمک روش مربع شمار تعیین شد. آنگاه نمودار لگاریتمی- لگاریتمی نسبت تغییرات شاخص‌های N به $1/s$ رسم شد، و ضریب x این نمودار به عنوان بعد فرکتالی آن بخش ارائه شد. پس از آن میزان این ابعاد فرکتالی در ۴ بخش گستره با یکدیگر مقایسه و در مرحله بعدی نقش عوامل ساختاری در این تغییرات بررسی شد. در بررسی‌های ساختاری انجام گرفته در گستره مورد مطالعه، سازوکار گسل‌ها بر پایه شواهد میدانی همچون ساختارهای S و C ، خش سطح گسل، پله‌های گسلی و شکستگی‌های R و R' تعیین و بر این اساس سازوکار حاکم بر گستره تعیین شد؛ دو برش ساختاری عمود بر روند ارتفاعات گستره تهیه و در پایان نیز علت برخی تفاوت‌های فرکتالی دیده شده با شواهد ساختاری توجیه شد.

در تاریخچه زمین‌شناسی ریزه- لنجان سنگ‌های اینفراکامبرین، اوایل پالئوزوئیک و ابتدای پرمین دیده نمی‌شود (شکل ۲). رسوبات پرمین میانی- بالایی به صورت دگرشیب روی پی‌سنگ دگرگونی پراکامبرین قرار گرفته‌اند. این ناحیه تحت تأثیر حرکات کیمبرین پیشین قرار گرفته است و بلافاصله رسوبات تریاس- ژوراسیک زیرین در آن گسترش می‌یابد. در اثر این فاز گستره تحت هجوم دریای تورنیز قرار می‌گیرد و توالی رسوبات آواری به همراه جریان گدازه در آن انباشته می‌شود. حرکات کیمبرین پسین سبب رسوب‌گذاری در ژوراسیک بالایی و پیش از بارمین- آپتین در بخش شمالی گستره می‌شود، ولی در بخش جنوبی فرونشست همچنان ادامه دارد. رسوبات بارمین- آپتین به صورت دگرشیب روی لایه‌های چین‌خورده تورنیز- ژوراسیک بالایی قرار می‌گیرند (Zahedi, 1976). سنگ‌های کرتاسه بالایی، پالئوسن و اتوسن زیرین در گستره شناسایی نشدند. عملکرد فاز لارامید در گستره شامل چین‌خوردگی و فرسایش است. گستره در زمان الیگوسن در اثر اولین فاز آلپی بالا می‌آید؛ برجستگی‌های جدید در آن ایجاد می‌شود؛ فرسایش نیرومند حاکم می‌شود؛ رسوبات سبتر و زبر سنگ جوش در فروافتادگی‌های میان کوهستانی انباشته می‌شوند و در پایان گسل‌های جدید ایجاد و گسل‌های قدیمی غیر فعال می‌شوند. فعالیت آتشفشانی گویای آن است که گستره به صورت محلی تحت تأثیر آخرین فاز کوهزایی بوده است. ساختار فراپوم- فروپوم (Horst- Graben) در بخش شمالی، گسل‌های رانده مورب، ساختارهای خطی با روند شمال باختری، چین‌خوردگی متوسط سنگ‌های مزوزوئیک و چین‌خوردگی ملایم همپوشان توالی سنوزوئیک، الگوی ساختاری گستره را کنترل می‌کند (Zahedi, 1976). گستره مورد مطالعه از دید سرگذشت زمین‌شناسی و وضعیت رسوب‌گذاری شبیه ایران مرکزی است. ولی با توجه به سه ویژگی (۱) روند ساختاری مشابه زاگرس، (۲) نبود سنگ‌های آتشفشانی مربوط به سنوزوئیک و (۳) رسوب‌گذاری کم در سنوزوئیک می‌توان این ناحیه را از ایران مرکزی جدا دانست و بخشی از پهنه سندج- سیرجان به شمار آورد (Momen-zadeh, 1976).

۳- مواد و روش‌ها

از زمان معرفی فرکتال توسط مندلبرو در سال ۱۹۷۶، مفهوم فرکتال کاربرد گستره‌ای پیدا کرده است. این مفهوم توانسته طیف گستره‌ای از مفاهیم ریاضیات محض را به همراه بسیاری از جنبه‌های تجربی مهندسی در زیر یک چتر واحد جمع کند. تعریف جامعی که بتواند همه این برنامه‌های کاربردی را شامل شود، تاکنون ارائه نشده است، ولی می‌توان یک مجموعه فرکتال را به صورت زیر تعریف کرد (Turcott, 1997):

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

که در این رابطه N_i تعداد پدیده‌ها، r_i بعد خطی ویژه، C ثابت رابطه و D بعد فرکتال است. این رابطه را می‌توان به صورت دیگر نیز بیان کرد (Turcott, 1997):

$$D = \frac{\log\left(\frac{N_i+1}{N_i}\right)}{\log\left(\frac{r_i}{r_i+1}\right)} \quad (2)$$

که در این معادله D بعد فرکتال، N تعداد پدیده‌ها، r طول مربع در هر مرتبه و i مرتبه است. ابعاد فرکتالی را می‌توان توسط معادله زیر نیز بیان کرد (Turcott, 1997):

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

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

در یک پژوهش فرکتالی می‌توان بعد فرکتال یک پدیده زمین‌ساختی را به کمک روش مربع شمار (box-counting) ارائه شده توسط Turcott (1997) تعیین کرد (شکل ۳). در این روش یک مربع به طول واحد به عنوان شبکه والد یا ساختمان پایه فرکتال در نظر گرفته می‌شود. شبکه والد یک مربع مرتبه صفر است که مولد

۴- تحلیل داده‌ها

در این بخش ابتدا ابعاد فرکتالی شکستگی‌های گسترده مورد مطالعه مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد، سپس ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها بررسی می‌شود، و در صورت مشاهده تغییرات در این ابعاد، نقش عوامل ساختاری در این فرایند مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱. تحلیل فرکتالی شکستگی‌ها

توزیع فرکتالی شکستگی‌ها و یا ابعاد فرکتالی یک گسل بیانگر چگونگی گسترش و فعالیت آن گسل است. مدل‌های فرکتالی زیادی برای توزیع گسل‌ها در سطح پوسته زمین در یک منطقه ارائه شده است. در این میان گویاترین روش برای توزیع فرکتالی گسل در معرفی ضریب k (معادله ۳) ارائه شده است (Turcott, 1997). مقدار k در این معادله همان بعد فرکتالی است که دامنه تغییرات این ضریب در روش مربع شمار و در یک سامانه دو بعدی می‌تواند عددی در بازه ۰ تا ۲ باشد (Turcott, 1997). در صورتی که $k=1$ باشد، بعد فرکتالی برابر هندسه اقلیدسی خواهد بود؛ به عبارت دیگر، گسلش پیوسته و خط مستقیم است. مقدار کم بعد فرکتالی نشانگر این خواهد بود که گستره سطحی سامانه گسلی محدود بوده و دگرشکلی در آن به حد نهایی رسیده است؛ مقدار زیاد بعد فرکتالی نیز نشانگر آن است که گستره سطحی سامانه گسلی، زیاد (نامحدود) و بلوغ آن کمتر است (شهریاری و خطیب، ۱۳۷۶).

اندازه‌گیری بعد فرکتالی شکستگی‌ها یا رخنمون اثر گسل در این پژوهش بر پایه روش مربع شمار ارائه شده توسط Turcott (1997) انجام شده است؛ بدین منظور یک مربع به طول $20/8$ کیلومتر در گستره به 9 مربع به طول $6/93$ کیلومتر تقسیم شده است و از این 9 مربع 4 مربع که دارای تراکم ساختاری بودند، بخش‌های A، B، C و D نام گرفتند و به عنوان مربع مرتبه صفر و پایه شبکه‌بندی در نظر گرفته شدند و میزان شاخص N در این مرحله برای هر بخش برابر با یک شد (شکل ۵). برای ایجاد مربع‌های مرتبه اول این مربع‌های مرتبه صفر به 9 مربع مرتبه یک به طول $2/31$ کیلومتر تقسیم و میزان شاخص N برای هر بخش شمارش شد (جدول ۱). در مرحله بعدی مربع‌های مرتبه دو با تقسیم کردن مربع‌های مرتبه یک باقیمانده به 9 مربع به طول $0/77$ کیلومتر به دست آمد و شاخص N برای هر بخش شمارش شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. این روند تا یک مرحله دیگر ادامه یافت. این مربع بندی را می‌توان تا n مرتبه تکرار کرد؛ ولی در این پژوهش پس از 4 سری، تقسیم‌بندی متوقف، نمودار لگاریتمی- لگاریتمی (N) بر پایه $(1/s)$ برای هر یک از این بخش‌ها رسم (شکل ۶) و ضریب x این نمودار به عنوان بعد فرکتالی شکستگی‌ها معرفی شد (جدول ۲). بر این اساس بخش B با بعد فرکتالی شکستگی $1/7108$ بیشترین مقدار و بخش C با بعد فرکتالی شکستگی $1/2823$ کمترین میزان بعد فرکتالی شکستگی را در این گستره به خود اختصاص دادند و از آنجا که مقادیر بالای بعد فرکتالی شکستگی، نشان از بلوغ زمین‌ساختی کمتر و پویایی بیشتر گستره دارد، بخش B به عنوان پویاترین بخش گستره و بخش C به عنوان غیرفعال‌ترین بخش گستره معرفی شد.

۴-۲. تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها

محاسبه بعد فرکتالی آبراهه‌ها در این پژوهش همانند شکستگی‌ها به روش مربع شمار صورت گرفته، تغییرات شاخص‌های N در 4 بخش گستره اندازه‌گیری شده (جدول ۳) و نمودارهای لگاریتمی- لگاریتمی (N) بر حسب $(1/s)$ رسم شده (شکل ۷) و ضریب x معادله این نمودار به عنوان بعد فرکتالی آبراهه‌ها معرفی شده است (جدول ۴).

بعد فرکتالی آبراهه‌ها برای بخش‌های C، B، A و D به ترتیب مقادیر $1/6928$ ، $1/7324$ ، $1/7663$ و $1/7663$ به دست آمده است. تفاوت در ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها، با تغییرات توپوگرافی قابل توجیه است. هر چه توپوگرافی بلندتر باشد، آبراهه‌ها به طرح موازی و خطی بودن تمایل پیدا می‌کنند و این سبب کاهش بعد فرکتالی و نزدیک شدن آنها به عدد یک می‌شود. ولی مقادیر بالای بعد فرکتالی، نشان‌دهنده

آرامش حوضه و کاهش فعالیت زمین‌ساختی است. بنابراین بعد فرکتالی آبراهه‌ها بخش A را پویاتر از بخش B نشان می‌دهد و این مغایرت می‌تواند بخاطر گوناگونی سنگ‌شناسی در بخش B باشد.

۴-۳. شواهد لرزه‌ای

به دلیل کم بودن شواهد لرزه‌ای (سایت مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران)، تحلیل فرکتالی زمین لرزه‌ها در این بخش از گستره امکان‌پذیر نیست و با توجه به اینکه نتایج تحلیل فرکتالی شکستگی‌ها بخش B را به عنوان پویاترین بخش گستره و نتایج تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها بخش A را به عنوان پویاترین بخش گستره معرفی می‌کند، وجود دو زمین‌لرزه با بزرگای گشتاوری بیش از ۲ در بخش B و یک زمین‌لرزه در بخش A (شکل ۵) می‌تواند معید این مطلب باشد که بخش B به علت تراکم ساختاری بالاتر و زمین‌لرزه بیشتر نسبت به بخش A پویاتر است و مغایرت دیده شده در ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها به علت گوناگونی سنگ‌شناسی در بخش B است که الگوی آبراهه‌های این بخش را متأثر کرده است. علت پویایی بخش B در بررسی‌های ساختاری پیش رو بررسی خواهد شد.

۴-۴. ساختارهای گستره مورد مطالعه

به منظور بررسی ساختاری گستره مورد مطالعه، همان‌گونه که پیش از این بیان شد، خطواره‌های گستره از تصاویر ماهواره‌ای منطقه استخراج و این داده‌ها به همراه شواهد میدانی در تعیین سازوکار گسل‌ها به کار گرفته شد؛ آنگاه بر پایه اطلاعات به دست آمده تغییراتی در نقشه زمین‌شناسی گستره صورت گرفت (شکل ۲). بر پایه سازوکار و روند گسل‌ها و شکستگی‌های گستره یک الگوی ساختاری برای گستره ارائه و پاسخ پویایی بخش B در الگوی ساختاری گستره یافت شد و برای روشن شدن این سخن دو برش ساختاری در بخش B رسم شد (شکل ۸). در شروع مبحث ساختاری، به شناسایی گسل‌های گستره پرداخته می‌شود. گسل‌های گستره مورد مطالعه را می‌توان بر پایه روندشان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

- گسل‌های شمال باختری- جنوب خاوری
- گسل‌های شمال خاوری- جنوب باختری
- گسل‌های شمالی- جنوبی

-گسل‌های شمال باختری- جنوب خاوری: مهم‌ترین گسل شمال باختری- جنوب خاوری گسل اصلی گستره مورد مطالعه است که (Nadimi and Konon 2012) آن را گسل دهاقان (F_1) نامیدند. در جاده اصفهان- شهرکرد، بالای گردنه رخ می‌توان رخنمون این گسل را دید (شکل ۹). در این رخنمون مشخصات سطح گسل NE 122/50 بوده و این گسل واحد کریناته کرتاسه K3 را روی واحد سنگ جوش ائوسن E_1 رانده است. همچنین در پهنه خردشدگی این گسل که حدود ۱۱۰ متر پهنا دارد، شکستگی‌های R و R' دیده شده است (شکل ۹- پ). بر پایه این شکستگی‌ها گسل دارای مؤلفه راستالغز راست‌بر است. بنابراین گسل اصلی گستره یک گسل وارون با مؤلفه راستالغز راست‌بر است.

از دیگر گسل‌های شمال باختری- جنوب خاوری گستره می‌توان گسل F_2 را نام برد، که به موازات گسل F_1 گسترش یافته و پس از آن بزرگ‌ترین گسل گستره مورد مطالعه است. مشخصات این گسل SW 140/72 و عرض پهنه خردشدگی آن حدود ۱۲۵ متر است که در این پهنه خردشدگی ساختارهای S و C دیده می‌شود. سوی برش گسل بر پایه این ساختارها راست‌بر تعیین شده است (شکل ۱۰) و با توجه به آنکه این گسل در مقاطع دیگر مشاهدات میدانی واحد کهن K_3 را روی واحد جوان E_1 رانده است، بنابراین سازوکار این گسل وارون با مؤلفه راستالغز راست‌بر تعیین شده است. بررسی‌های زمین‌ساختی نشان می‌دهد که الگوی ساختاری گستره مورد مطالعه تحت تأثیر عملکرد وارون این دو گسل موازی با سوی شیئی مخالف یکدیگر قرار دارد. در تصویر DEM گستره به روشنی تغییر مسیر گسل F_1 در بخش B دیده

دسته گسل فرعی با روند شمال باختری- جنوب خاوری تشخیص داد. این گسل‌ها همساز (synthetic) با گسل اصلی گستره مورد مطالعه هستند. دسته اول حدوداً با زاویه $\frac{90}{2}$ نسبت به ساختار اصلی منطقه گسترش یافته‌اند و آنها را می‌توان هم‌ارز با شکستگی‌های P در یک پهنه برشی راست‌الغز راست‌بر دانست. از آن جمله می‌توان گسل F_3 را نام برد. سازوکار این گسل‌ها وارون با مؤلفه راست‌الغز راست‌بر است. دسته دوم این گسل‌ها تقریباً با زاویه $\frac{90}{2}$ نسبت به گسل اصلی گسترش یافته‌اند و هم‌ارز شکستگی‌های ریدل یا R در یک پهنه برشی راست‌الغز راست‌بر هستند؛ همانند گسل F_4 این گسل‌ها نیز سازوکار راست‌الغز راست‌بر دارند. گسل‌های شمالی خاوری- جنوب باختری گستره مورد مطالعه با گسل اصلی گستره ناهمساز هستند و سازوکاری وارون با مؤلفه راست‌الغز چپ‌بر دارند. از این گسل‌ها می‌توان گسل‌های F_5 ، F_6 و F_7 را نام برد. این گسل‌ها هم‌ارز شکستگی‌های آنتی‌ریدل یا R⁻ در یک پهنه برشی راست‌الغز راست‌بر هستند و با زاویه‌ای حدود $\frac{90}{2}$ نسبت به ساختار اصلی گسترش یافته‌اند. گسل‌هایی که روند تقریبی شمالی- جنوبی دارند نیز هم‌ارز شکستگی‌های کششی در یک پهنه راست‌الغز راست‌بر هستند که با زاویه ۴۵ درجه نسبت به ساختار اصلی گستره مورد مطالعه گسترش یافته‌اند و از آن جمله می‌توان گسل‌های F_8 و F_9 را نام برد. این گسل‌ها سازوکاری عادی با مؤلفه راست‌الغز چپ‌بر نشان می‌دهند. بنابراین مشاهدات ساختاری انجام شده در گستره نشان از وجود یک سامانه برشی راست‌الغز راست‌بر در گستره مورد مطالعه دارد. افزون بر این تغییر مسیر گسل F_1 در بخش B و عملکرد دو گسل وارون F_1 و F_2 سبب ایجاد گل‌ساخت مثبت در این بخش از گستره مورد مطالعه شده است؛ همچنین در ضلع جنوبی بخش B (شکل ۱۳)، گل‌ساخت مثبت دیگری دیده شد؛ بنابراین همه مشاهدات نشان‌دهنده وجود یک پهنه ترافشارشی در گستره مورد مطالعه است.

۵- نتیجه‌گیری

بر پایه محاسبات انجام شده در گستره مورد مطالعه، میزان بعد فرکتالی شکستگی‌ها در بخش B بیشتر از بخش‌های دیگر گستره است و با توجه به آنکه افزایش بعد فرکتالی شکستگی‌ها نشان از بلوغ زمین‌ساختی کمتر و پویا بودن گستره دارد، نتایج حاصل از بعد فرکتالی شکستگی‌ها، بخش B را پویاتر از ۳ بخش دیگر گستره مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر خلاف بعد فرکتالی شکستگی‌ها که مقادیر بالای آن گواه زمین‌ساخت پویا و تراکم بالای شکستگی‌هاست، مقادیر پایین بعد فرکتالی آبراهه‌ها نشان‌دهنده وجود ارتفاعات و برخاستگی گستره است. ولی محاسبات بعد فرکتالی آبراهه‌ها کمترین مقادیر را در بخش A و پس از آن در بخش B نشان می‌دهد؛ بنابراین بر خلاف بعد فرکتالی شکستگی‌ها که بخش B را پویاترین بخش گستره معرفی می‌کند، نتایج بعد فرکتالی آبراهه‌ها بخش A را پویاتر از بخش B نشان می‌دهد، و علت این مغایرت می‌تواند به علت گوناگونی سنگ‌شناسی در بخش B باشد که الگوی آبراهه‌ها را در این بخش متأثر کرده است. ولی عامل سوم یعنی زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره مورد مطالعه پویایی بخش B را تأیید می‌کند. بنابراین بخش B به علت تراکم ساختاری بالاتر و زمین‌لرزه‌های بیشتر پویاترین بخش گستره مورد مطالعه است. همچنین در بررسی‌های ساختاری انجام شده، یک همخوانی در الگوی ساختاری گستره مورد مطالعه با الگوی ساختاری یک سامانه برشی راست‌الغز راست‌بر دیده می‌شود و حضور گل‌ساخت مثبت دلیلی بر وجود یک پهنه ترافشارشی راست‌بر در گستره مورد مطالعه است. در واقع تغییر روند گسل در بخش B سبب ایجاد گل‌ساخت مثبت، برخاستگی زمین‌ساختی و تراکم ساختاری در این بخش از گستره مورد مطالعه شده است؛ بنابراین علت پویایی بیشتر بخش B نسبت به دیگر بخش‌های گستره، ایجاد گل‌ساخت مثبت در این بخش است.

می‌شود (شکل ۱- پ). به منظور بررسی تأثیرات این تغییر مسیر در الگوی ساختاری گستره، ۲ برش ساختاری BB['] و B₁B₁['] در بخش B رسم شده است (شکل ۸) که برش ساختاری BB['] نیم‌رخ گستره را پیش از تغییر مسیر گسل F_1 نمایش می‌دهد؛ همان‌گونه که دیده می‌شود، سوی شیب مخالف این دو گسل وارون، سبب رانده شدن واحدهای کهن‌تر روی واحد جوان E_1 و فروافتادگی واحد E_1 در میان این دو گسل شده است؛ در حالی که در برش ساختاری B₁B₁['] که نیم‌رخ گستره در بخش B را پس از تغییر مسیر گسل F_1 نمایش می‌دهد، برخاستگی واحد K_1 روی واحدهای جوان E_1 و K_3 دیده می‌شود؛ در واقع تغییر مسیر گسل F_1 سبب ایجاد گل‌ساخت مثبت در این بخش از گستره می‌شود. افزون بر این شواهد دیگری در گستره دیده می‌شود که می‌تواند گویای وجود یک سامانه ترافشارشی در گستره مورد مطالعه باشد که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

از دیگر گسل‌های شمال باختری- جنوب خاوری گستره مورد مطالعه می‌توان گسل F_4 را نام برد. رخنمون این گسل در معدن کارخانه سیمان شهر کرد دیده شده است. مشخصات سطح گسل 150/85 NE و ریک آن 20 NW بوده و بر این اساس سازوکار این گسل راست‌الغز راست‌بر ارزیابی شده است (شکل ۱۲). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سازوکار حاکم بر گسل‌های شمال باختری- جنوب خاوری گستره مورد مطالعه، بیشتر وارون با مؤلفه راست‌الغز راست‌بر و یا راست‌الغز راست‌بر است.

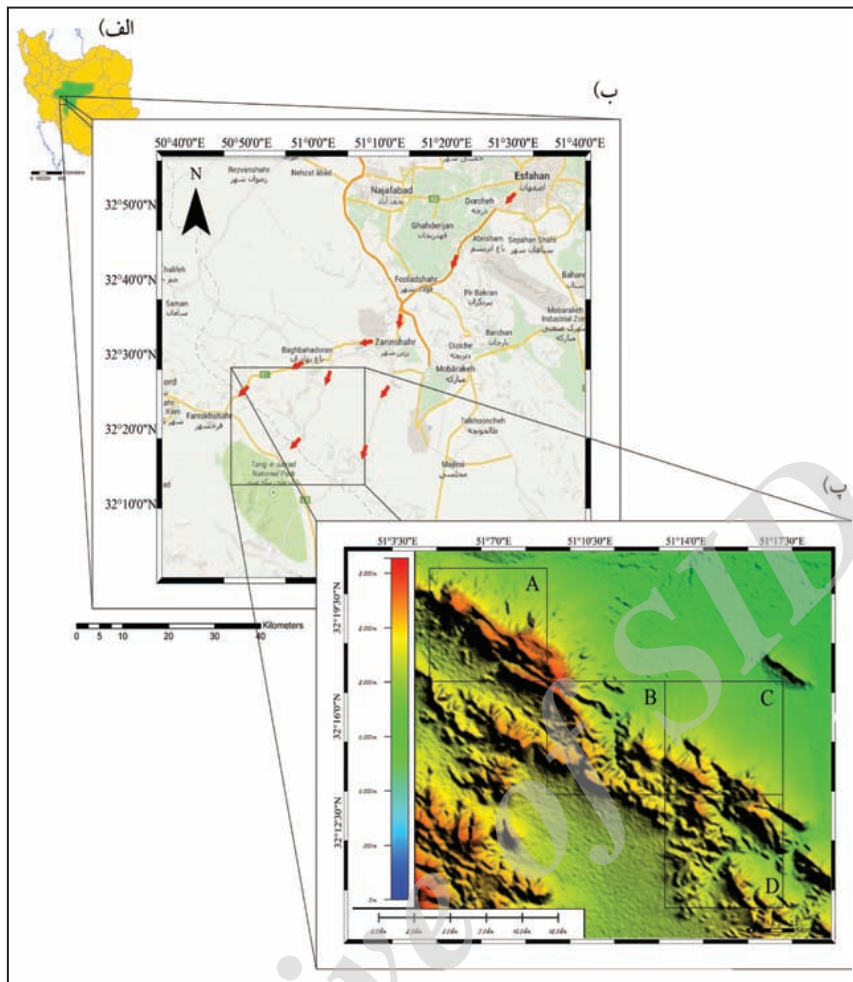
گسل‌های شمال خاوری- جنوب باختری: گسل‌های شمال خاوری- جنوب باختری از گسل‌های ناهمساز (antithetic) گستره مورد مطالعه هستند. افزون بر آنکه روندشان خلاف گسل اصلی و دیگر گسل‌های حاکم در گستره است، سازوکاری متفاوت و وارون با مؤلفه راست‌الغز چپ‌بر دارند. از گسل‌های ناهمساز گستره می‌توان گسل‌های F_5 و F_6 را نام برد. دو گسل وارون F_5 و F_6 به ترتیب با مشخصات 30/28 SE و 27/32 NW در بخش B گستره مورد مطالعه و در نزدیکی کارخانه سیمان شهر کرد رخنمون دارند. حرکت وارون و سوی شیب مخالف این دو گسل سبب شکل‌گیری گل‌ساخت مثبت (Positive Flower Structure) در این بخش از گستره مورد مطالعه شده است (شکل ۱۳). گسل F_7 از دیگر گسل‌های ناهمساز گستره مورد مطالعه است. رخنمون صفحه این گسل در معدن کارخانه سیمان شهر کرد دیده شد. مشخصات این گسل 40/55 SE و ریک خش آن 63 SW است که بر این اساس گسل F_7 ، یک گسل وارون با مؤلفه راست‌الغز چپ‌بر است (شکل ۱۴).

گسل‌های شمالی- جنوبی: بر پایه پژوهش‌های گذشته گسل‌های شمالی- جنوبی در بخش باختری اصفهان (چادگان) سازوکار عادی دارند (Babaahmadi et al., 2012). از گسل‌هایی که تقریباً روند شمالی- جنوبی دارند، می‌توان گسل F_8 را نام برد. این گسل به صورت یک سطح گسلی بزرگ در معدن کارخانه سیمان شهر کرد رخنمون دارد (شکل ۱۵). مشخصات سطح این گسل 10/75 SE و ریک آن 58 NE بوده و بنابراین سازوکار گسل F_8 عادی است.

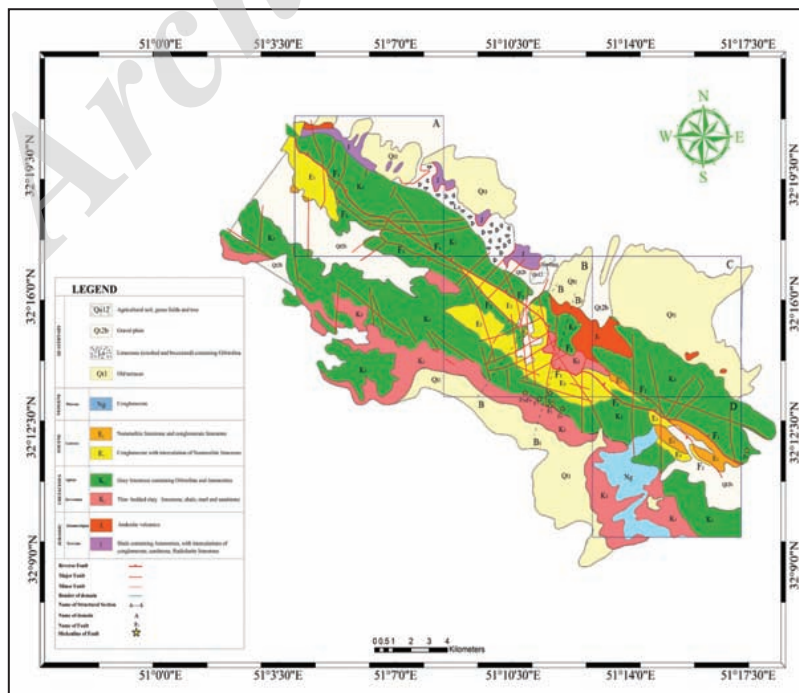
گسل F_9 یکی دیگر از گسل‌هایی است که روند تقریبی شمالی- جنوبی دارد. رخنمون سطح گسل F_9 نیز در معدن کارخانه سیمان شهر کرد دیده شده است. مشخصات سطح گسل 10/65 SE و ریک خش صفحه گسل 60 NE است و بنابر تصویر استریوگرام گسل F_9 ، سازوکاری عادی دارد (شکل ۱۶).

۴-۵. تحلیل سامانه گسلی گستره مورد مطالعه

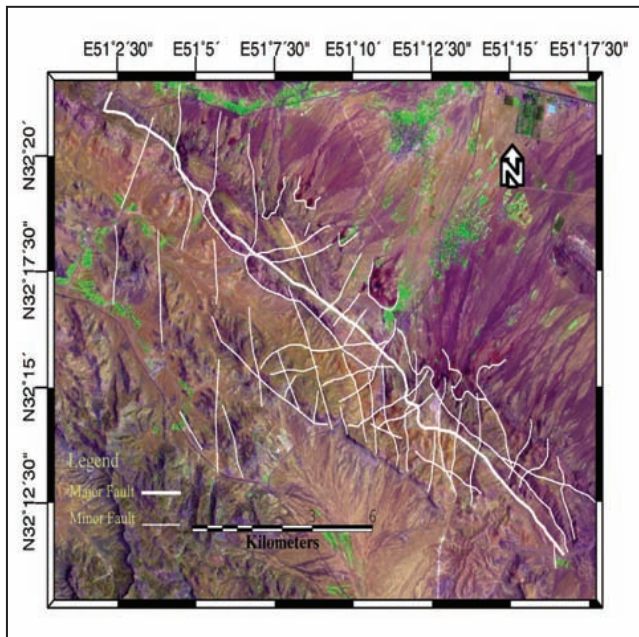
الگوی ساختاری این گستره همانندی بسیاری به یک سامانه راست‌الغز راست‌بر دارد. به طوری که با مقایسه نمودار فراوانی روند گسل‌های گستره مورد مطالعه با الگوی ساختارهای یک پهنه راست‌الغز راست‌بر که به میزان آزمون ساختار اصلی گستره در سوی حرکت عقربه‌های ساعت چرخانده شده است، به این شباهت پی برده خواهد شد (شکل ۱۷). در این گستره افزون بر گسل اصلی گستره می‌توان دو



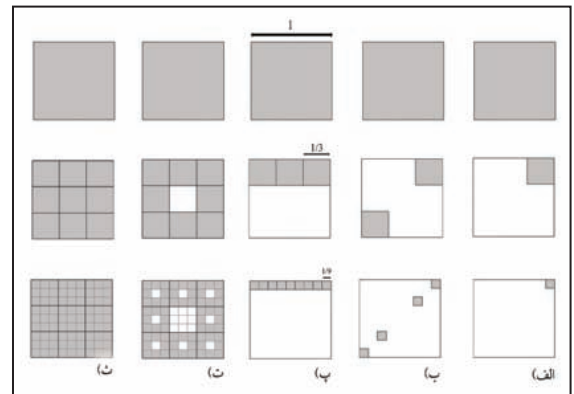
شکل ۱- الف) نمایش موقعیت منطقه در نقشه ایران؛ ب) راه‌های ارتباطی گستره مورد مطالعه؛ پ) تصویر DEM گستره مورد مطالعه، نمایش تقسیم‌بندی گستره مورد مطالعه به چهار بخش.



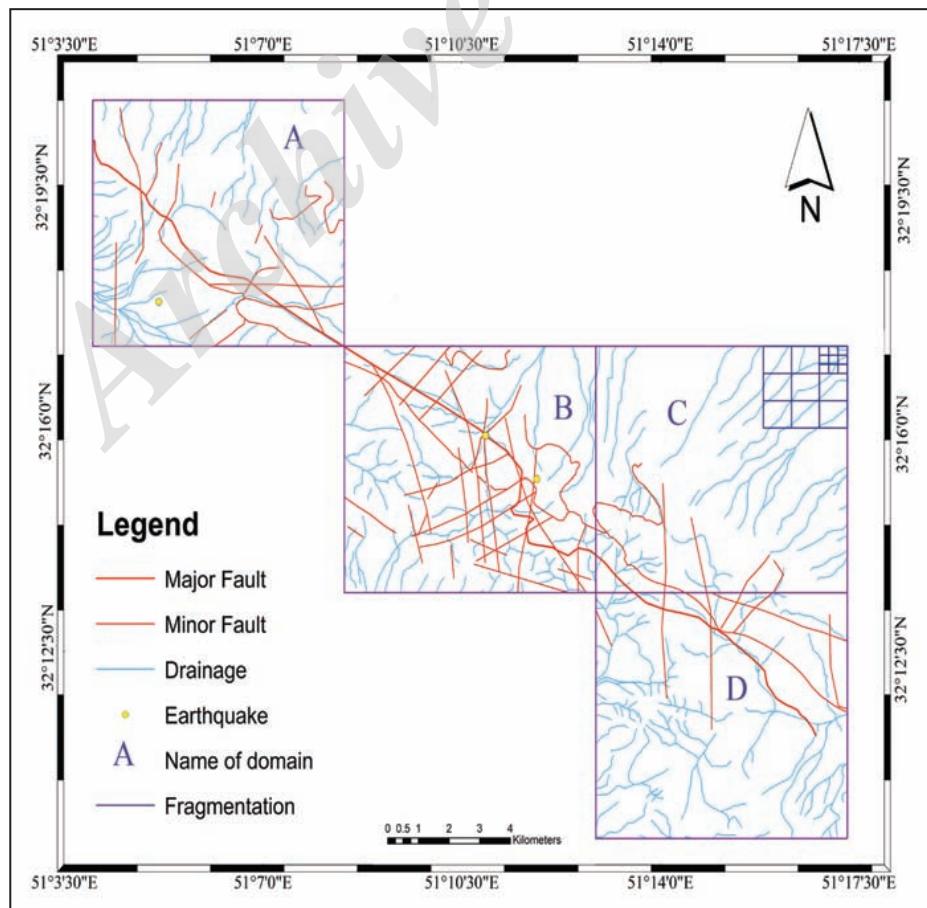
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه با برخی تغییرات برگرفته از زاهدی (۱۳۵۵). موقعیت شکستگی‌های گستره مورد مطالعه، برش‌های ساختاری و بخش‌های A، B، C و D مشخص شده است.



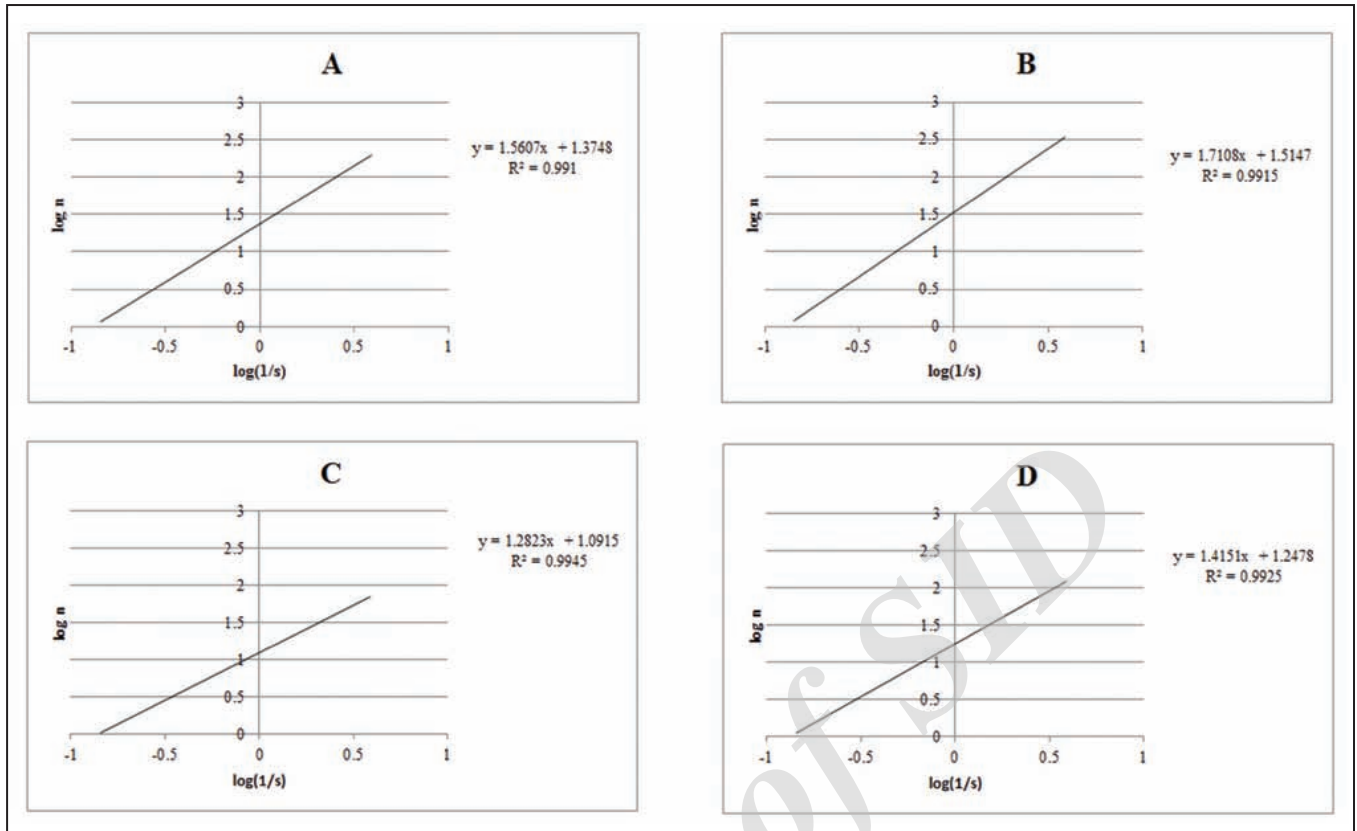
شکل ۴- نمایش خطوطاره‌ها در تصویر ETM گستره مورد مطالعه.



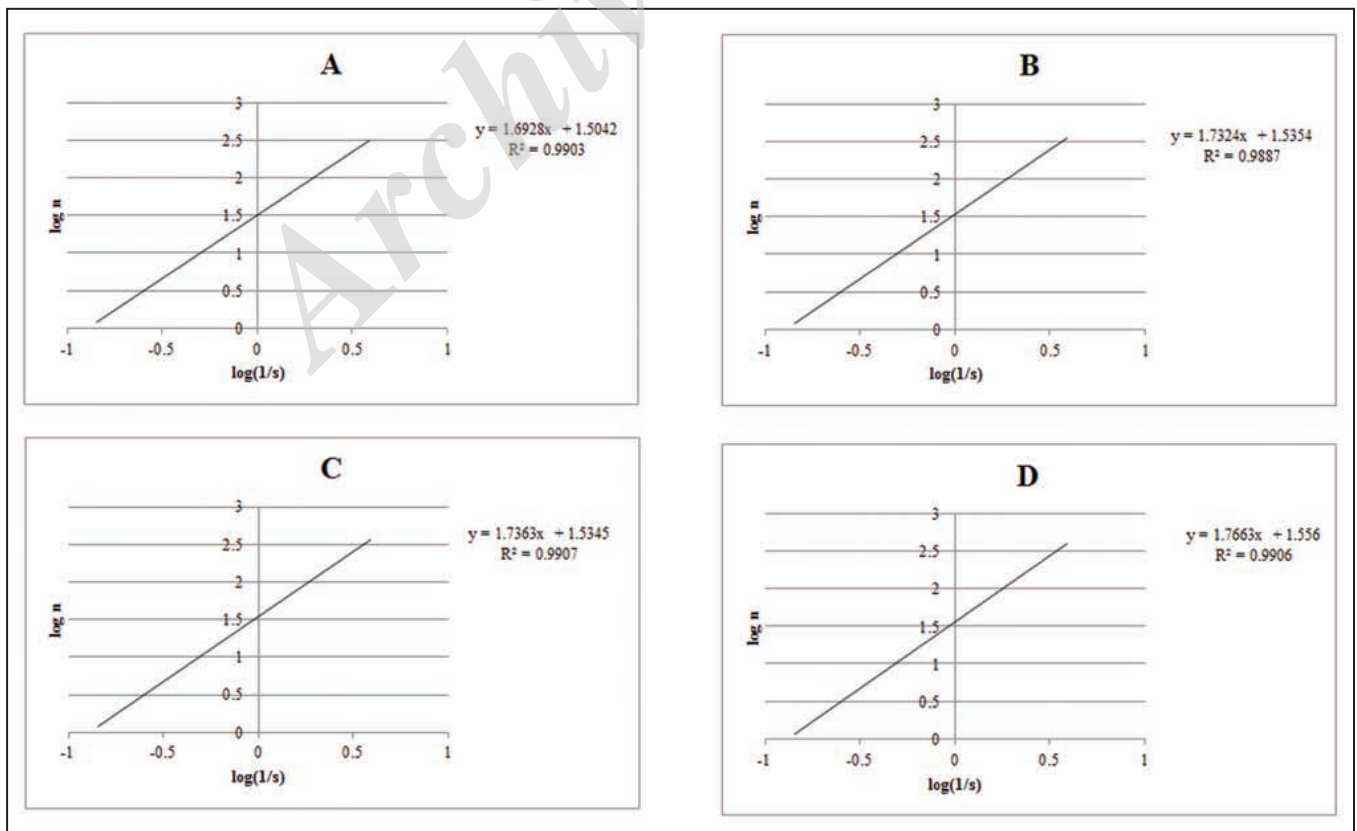
شکل ۳- نمایش پنج ساختمان فرکتالی دوبعدی؛ در مرتبه صفر یک مربع واحد ساخته شده است، در اولین مرتبه مربع‌ها به ۹ مربع هم‌اندازه به طول $I_1 = 1/3$ تقسیم شده‌اند و یک بخش از این مربع‌ها باقی مانده است. اولین مرتبه فرکتال به عنوان یک مولد برای تولید فرکتال‌های مرتبه بالاتر استفاده می‌شود. هر یک از مربع‌های باقیمانده مرتبه اول به عنوان یک مولد برای تولید فرکتال‌های مرتبه دوم استفاده می‌شود. دو مرتبه اول به طول‌های $I_1 = 1/3$ و $I_2 = 1/9$ نمایش داده شده است؛ ولی این ساختمان را می‌توان برای هر مرتبه موردنظر به کار برد. (الف) $N_1=1, N_2=1, D=\log 1/\log 3=0$ ؛ (ب) $N_1=2, N_2=4, D=\log 2/\log 3=0.6309$ ؛ (پ) $N_1=3, N_2=9, D=\log 3/\log 3=1$ ؛ (ث) $N_1=8, N_2=64, D=\log 8/\log 3=1.8928$ ؛ (ج) $N_1=9, N_2=81, D=\log 9/\log 3=2$ (Turcotte, 1997).



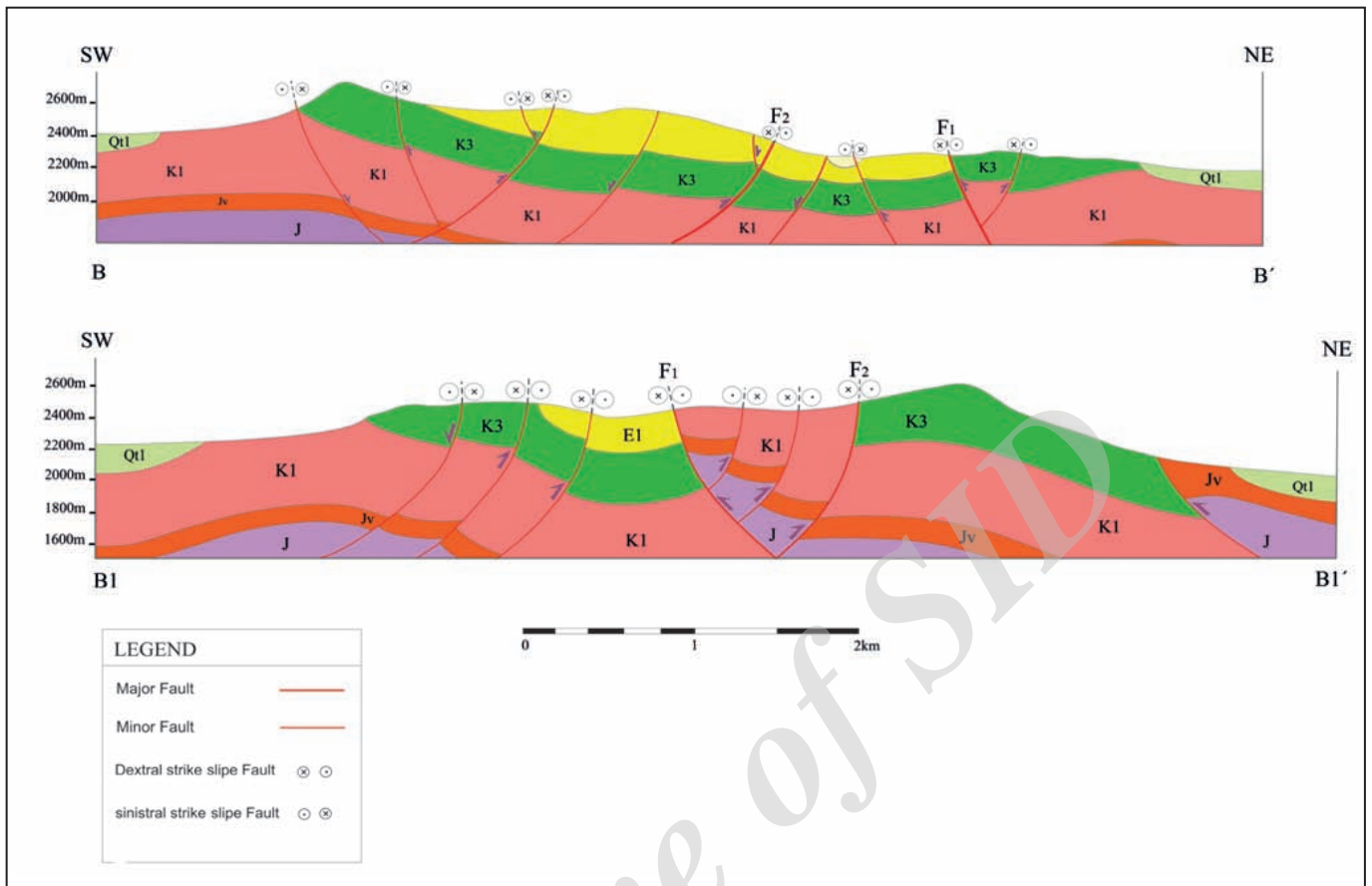
شکل ۵- تقسیم‌بندی گستره به بخش‌های A، B، C و D. و نمایش زمین‌لرزه‌ها روی نقشه شکستگی‌ها و آبراهه‌ها.



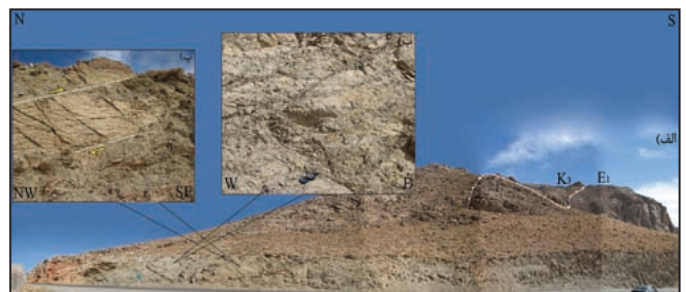
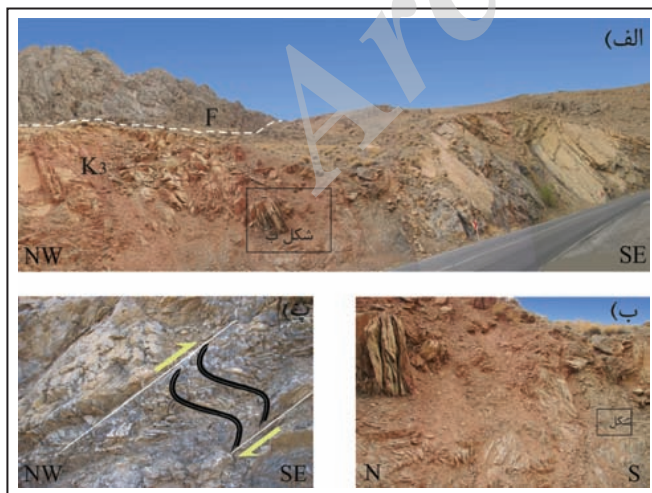
شکل ۶- نمودار لگاریتمی- لگاریتمی N بر حسب (1/s) در چهار بخش گستره مورد مطالعه.



شکل ۷- نمودار لگاریتمی- لگاریتمی N بر حسب (1/s) در بخش های گستره مورد مطالعه.

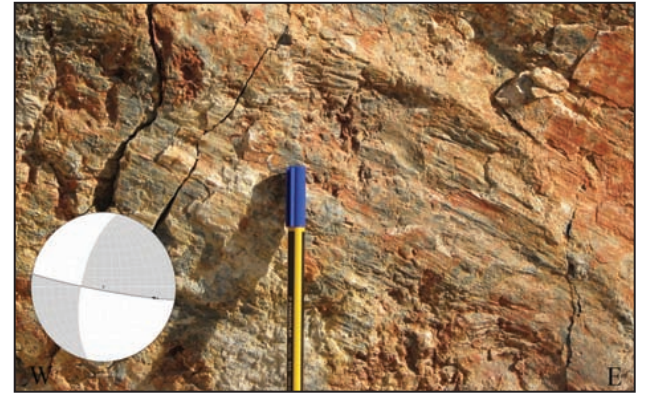
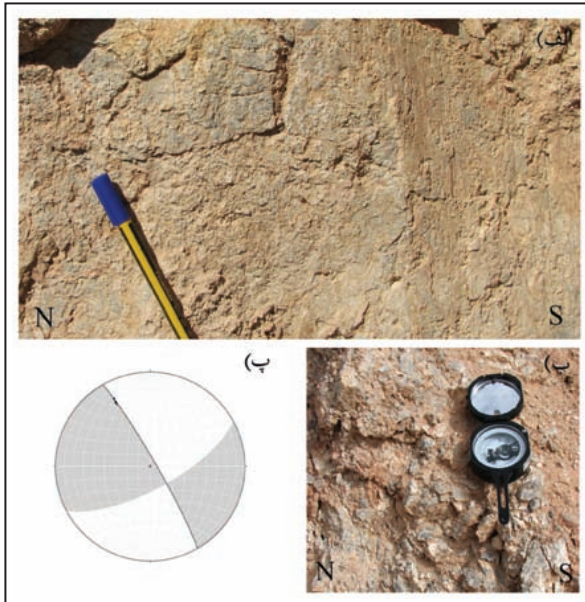


شکل ۸- برش‌های ساختاری BB' و B1B1' (برای نماد چینه‌نگاری، گسل‌ها و موقعیت برش‌های ساختاری به نقشه زمین‌شناسی در شکل ۲ مراجعه شود).



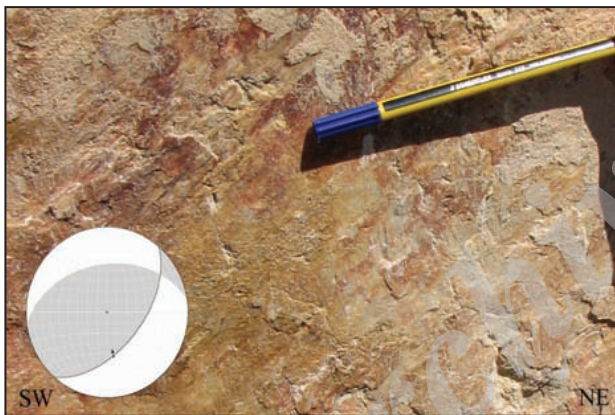
شکل ۱۰- رخنمون گسل F₂ در سمت چپ جاده هاردنگ- تونل فجر؛ الف) نمایش سطح گسل و پهنه خردشدگی؛ ب) خردشدگی شدید لایه‌های کربناته و ایجاد ساختار S و C؛ پ) تعیین سوی برش با استفاده از ساختار S و C (موقعیت این گسل در نقشه زمین‌شناسی در شکل ۲ مشخص شده است).

شکل ۹- رخنمون گسل اصلی گستره در بالای گردنه رخ، گسل واحد کربناته کرتاسه راروی واحد سنگ جوش انوسن رانده است؛ ب) خردشدگی شدید لایه‌ها در پهنه خردشدگی؛ پ) تعیین سوی برش به کمک شکستگی‌های R' و R (موقعیت این گسل در نقشه زمین‌شناسی در شکل ۲ مشخص شده است).



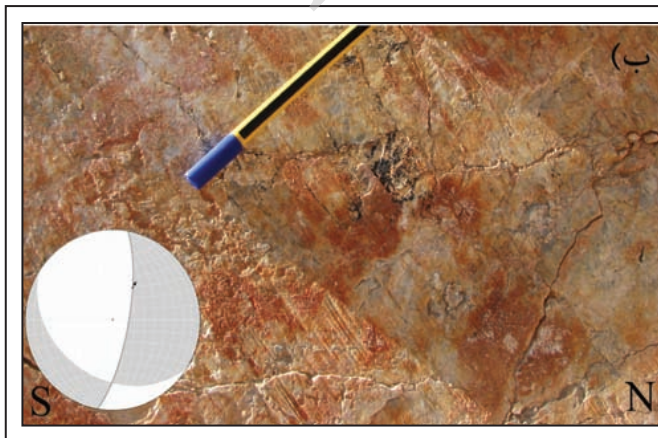
شکل ۱۱- پله‌های رشد کلسیت و سطوح خش گسل F_3 در معدن سنگ آهک سفیددشت. در واحد K_3 ، تصویر استریوگرام گویای گسل وارون با مؤلفه راستالغز راست‌بر است (موقعیت خش سطح این گسل در نقشه زمین‌شناسی گستره در شکل ۲ مشخص شده است).

شکل ۱۲- الف) رخنمون سطح گسل F_4 در معدن کارخانه سیمان شهرکرد در واحد K_3 ؛ ب) سنگارد گسلی؛ پ) تصویر استریوگرام گویای گسل راستالغز راست‌بر است (موقعیت برداشت در نقشه زمین‌شناسی گستره در شکل ۲ مشخص شده است).

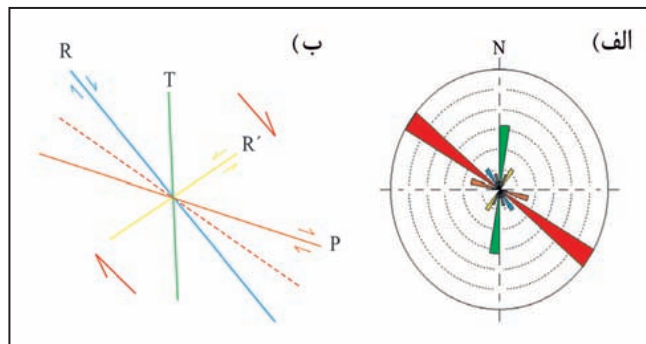


شکل ۱۳- گل‌ساخت مثبت در خاور معدن کارخانه سیمان شهرکرد در واحد K_3 . شکل ۱۴- پله‌ها و سطوح خش گسل F_7 در معدن کارخانه سیمان شهرکرد در واحد K_3 ؛ استریوگرام گویای گسل وارون با مؤلفه راستالغز چپ‌بر است (موقعیت برداشت در نقشه زمین‌شناسی گستره در شکل ۲ مشخص شده است).

شکل ۱۴- رخنمون صفحه گسله F_8 در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شهرکرد در واحد K_3 ؛ ب) سطوح خش سطح گسل F_8 ؛ استریوگرام گویای گسلش عادی است (موقعیت این برداشت در نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه در شکل ۲ مشخص شده است).



شکل ۱۵- الف) رخنمون صفحه گسله F_8 در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شهرکرد در واحد K_3 ؛ ب) سطوح خش سطح گسل F_8 ؛ استریوگرام گویای گسلش عادی است (موقعیت این برداشت در نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه در شکل ۲ مشخص شده است).



شکل ۱۷- الف) نمودار گل‌سرخ‌ی فراوانی روند گسل‌های گسترده مورد مطالعه؛ ب) مقطع افقی ساختارهای ایجاد شده در یک پهنه برشی راست‌الغز راست‌بر که به میزان 122° در جهت عقربه‌های ساعت چرخانده شده است. گسل‌های گسترده مورد مطالعه که با ساختارهای پهنه برشی همخوانی دارند در شکل‌های الف و ب با یک رنگ واحد مشخص شده‌اند.

شکل ۱۶- سطوح خش و شکستگی‌های هلالی گسل F_0 در معدن کارخانه سیمان شهرکرد در واحد K_3 ؛ استریوگرام سازوکار گسل را عادی نشان می‌دهد (موقعیت این برداشت در نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه در شکل ۲ مشخص شده است).

جدول ۱- مقادیر N اندازه‌گیری شده بر پایه شکستگی‌های گسترده مورد مطالعه.

r(km)		N_A	N_B	N_C	N_D
F_0	۶/۹۳	۱	۱	۱	۱
F_1	۲/۳۱	۸	۹	۴	۵
F_2	۰/۷۷	۴۶	۶۵	۲۱	۳۱
F_3	۰/۲۵	۱۶۲	۲۷۲	۶۳	۱۰۳

جدول ۲- مقادیر بعد فرکتال شکستگی در چهار بخش گستره مورد مطالعه.

بخش	A	B	C	D
بعد فرکتال	۱/۵۶۰۷	۱/۷۱۰۸	۱/۲۸۲۳	۱/۴۱۵۱

جدول ۳- مقادیر N اندازه گیری شده بر پایه آبراهه‌های گستره مورد مطالعه

r(km)		N _A	N _B	N _C	N _D
r ₁	۶/۹۳	۱	۱	۱	۱
r ₂	۲/۳۱	۹	۹	۹	۹
r ₃	۰/۷۷	۶۴	۷۴	۷۱	۷۷
r ₄	۰/۲۵	۲۵۶	۲۸۲	۲۹۰	۳۱۵

جدول ۴- مقادیر بعد فرکتال آبراهه‌ها در چهار بخش گستره مورد مطالعه.

بخش	A	B	C	D
بعد فرکتال	۱/۶۹۲۸	۱/۷۳۲۴	۱/۷۳۶۳	۱/۷۶۶۳

کتابنگاری

- زاهدی، م.، ۱۳۵۵- نقشه زمین‌شناسی ریزه- لنجان مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سازمان جغرافیایی کشور، ۱۳۵۳- نقشه توپوگرافی زمین شهر، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۷- نقشه توپوگرافی مجتمع فولاد مبارکه، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۸- نقشه توپوگرافی فاردنبه، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۹- نقشه توپوگرافی چرمین، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- شهریاری، س. و خطیب، م. م.، ۱۳۷۶- تحلیل فرکتالی سیستم گسلی نهندان، فصلنامه علوم زمین، سال ششم، شماره ۲۳-۲۴ (بهار و تابستان ۱۳۷۶)، صص. ۳۲ تا ۳۹.
- میرعابدینی، م. و آق‌آتابای، م.، ۱۳۹۴- تغییرات فضایی پارامترهای فرکتالی در البرز مرکزی ایران، نشریه یافته‌های نوین در زمین‌شناسی، جلد ۱، شماره ۱ (بهار و تابستان ۱۳۹۴)، صص. ۵۷ تا ۷۰.

References

- Babaahmadi, A., Mohajjel, M., Eftekhari, A. and Davoudian, A., 2012- An investigation into the fault patterns in the Chadegan region, west Iran: Evidence for dextral brittle transpressional tectonics in the Sanandaj-Sirjan Zone. *Journal of Asian Earth Sciences* 43: 77-88.
- Carlson, C. A., 1991- Spatial distribution of ore deposits. *Geology* 19: 111-114.
- Carranza, E. J. M., 2009- Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geol. Rev* 35: 383-400.
- Carranza, E. J. M., Wibowo, H., Barritt, S. D. and Sumintadireja, P., 2008- Spatial data analysis and integration for regional-scale geothermal potential mapping, West Java, Indonesia. *Geothermics* 33: 267-299.
- Cheng, Q. and Agterberg, F. P., 1995- Multifractal modeling and spatial point processes. *Math. Geol* 27: 831-845.
- Cheng, Q. and Agterberg, F. P., Bonham-Carter, G. F., 1996- Fractal pattern integration for mineral potential estimation. *Nonrenewable Resour* 5: 117-130.
- Feder, J., 1988- *Fractals*, Plenum Press, New York 283 pp.
- Han, Z., Zhang, P., Wu, L. and Hou, J., 1998- Characters about the modern movement of North Qilianshan block. In: *Dep. of Geology, Peking University, Collection of International Conference on Geological Science in Peking University*. Siesmological press, Beijing.
- Hovius, N., 1996- Regular specing of drainage outlets from linear mountain belts. *Basin Research* 8: 29-44.
- Jackson, J. and Leeder, M., 1994- Drainage systems and the development of normal fault: an example from pleasant Valley Nevada. *Journal of structural Geology* 16: 1041-1059.

- Korvin, G., 1992- Fractal Models in the Earth Sciences, Elsevier Amsterdam 381 pp.
- Mandelbrot, B. B., 1982- The Fractal Geometry of Nature. Freeman, New York 460 pp.
- Mandelbrot, B. B., 1983- The Fractal Geometry of Nature (Updated and Augmented Edition, Freeman, New York 495 pp.
- Mandelbrot, B. B., 1985- Self-affine fractals and fractal dimension. Phys. Scr 32: 257–260.
- Momenzadeh, M., 1976- Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayar-Isfahan district (west central Iran). Diss. Univ. Heidelberg 300 pp.
- Nadimi, A. and Konon, K., 2012- Strike-slip faulting in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros Orogen Iran. Journal of Structural Geology 40: 2-16.
- Raines, G. L., 2008- Are fractal dimensions of the spatial distribution of mineral deposits meaningful? Nat. Resour. Res 17: 87–97.
- Turcotte, D. L., 1997- Fractal and Chaos in Geology and Geophysics, Cambridge university press. Cambridge.
- Vicsek, T., 1992- Fractal Growth Phenomena, 2nd ed., World Scientific, Singapore 488 pp.
- Wei, S. and Pengda, Z., 2002- Theoretical study of statistical fractal model with applications to mineral resource prediction. Comput. Geosci 28: 369–376.
- Zahedi, M., 1976- Geological Map of Esfahan. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. Scale 1:250,000.

Archive of SID

The role of geological structures in fractal dimension of fractures and drainages in Southwestern Lenjan-Isfahan

A. S. Khalifeh Soltani^{1*}, S. A. Alavi² and M. R. Ghassemi³

¹M.Sc., Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³Associate Professor, Research Institute for Earth sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2015 November 10

Accepted: 2016 May 10

Abstract

Fractal analysis of drainages and fractures is a useful tool to determine the maturity structure of a region. With the help of fractal geometry, this study investigates the fractal dimension of drainages and fractures in the southwestern part of Lenjan, and examines the role of geological structures after determining the most active part of region. In order for fractal analysis of fractures and drainages, box-counting method has been used. To achieve this, four parts A, B, C and D of high structural density were first detected in the region, and the fractal dimensions of drainages and fractures were then calculated and compared. Results of fractal analysis of fractures suggest that sector B is the most active part of the region, while fractal analysis of drainages indicates greater tectonic activity in sector A. The larger number of earthquakes and higher density of fractures in sector B, however, could indicate it as the most active part of the study area. Therefore, contradicts in different results obtained from the fractal dimension analysis of fractures and drainages can be explained by the varieties in lithology. The structural studies indicate the existence of a dextral transpression zone in the study area. The dextral transpression zone resulted in uplift of sector B by development of positive flower structures in this part of the region. Therefore, increased tectonic activity in part B is due to formation of positive flower structures and consequent tectonic uplift.

Keywords: Fractal dimension, Structural analysis, Dextral transpression zone, Positive flower structure, Lenjan-Isfahan.

For Persian Version see pages 45 to 56

*Corresponding author: A. S. Khalifeh Soltani; E-mail: aniskhs21@gmail.com