

شناسایی مناطق فعال زمین‌ساختی با استفاده از آنالیز فرکتالی زمین‌لرزه‌ها، خطواره‌ها،

و آبراهه‌های استان البرز

ونوس تأثیری؛ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

محسن پور کرمانی*؛ دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

علی سربی؛ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران

محمود الماسیان؛ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

مهران آراین؛ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱

چکیده

تحلیل فرکتالی زمین‌لرزه‌ها و خطواره‌ها و آبراهه‌ها ابزاری کاربردی جهت ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی هستند. به کمک تحلیل فرکتالی می‌توان بلوغ ساختاری و پویایی زمین‌ساختی را ارزیابی کرد. در این پژوهش، با استفاده از تحلیل فرکتالی و بهره‌گیری از روش جعبه‌شمارو مطالعات صحرائی به بررسی و مقایسه ابعاد فرکتالی اندازه‌گیری شده برای شبکه طراحی شده استان البرز پرداخته شد. این شبکه‌بندی شامل ۶۵ مربع با طول ضلع ۱۲/۵ کیلومتر است که ابعاد فرکتالی زمین‌لرزه‌ها و خطواره‌ها و آبراهه‌های همه آن‌ها، جداگانه، محاسبه شد. نتایج تحلیل فرکتالی خطواره‌ها و شبکه آبراهه‌ها بیانگر فعالیت ساختاری بالاپیرامون گسل‌های الموت، مشا، شمال تهران، و طالقان در بخش شمالی و گسل‌های ایپک و اشتها در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه بود. علاوه بر آن، با توجه به گوناگونی سنگ‌شناسی در گستره مورد مطالعه، تحلیل فرکتالی زمین‌لرزه‌ها نیز انجام گرفت. پهنه‌های ۵۴، ۵۵، ۴۵، ۴۶ از فعالیت زمین‌ساختی بالایی برخوردارند که این نتایج تنها در تحلیل فرکتالی زمین‌لرزه‌ها خود را نمایان ساخت. به طور کلی به نظر می‌رسد فعالیت زمین‌ساختی در استان البرز به شدت متأثر از فعالیت‌های گسل‌های اصلی و البته حضور گسل‌های فرعی و پنهان (جنوب استان البرز) در منطقه است که در آنالیز ابعاد فرکتالی زمین‌لرزه‌ها محرز شد.

کلیدواژگان: تحلیل فرکتالی، جعبه‌شمار، زمین‌لرزه، بلوغ ساختاری، استان البرز.

مقدمه

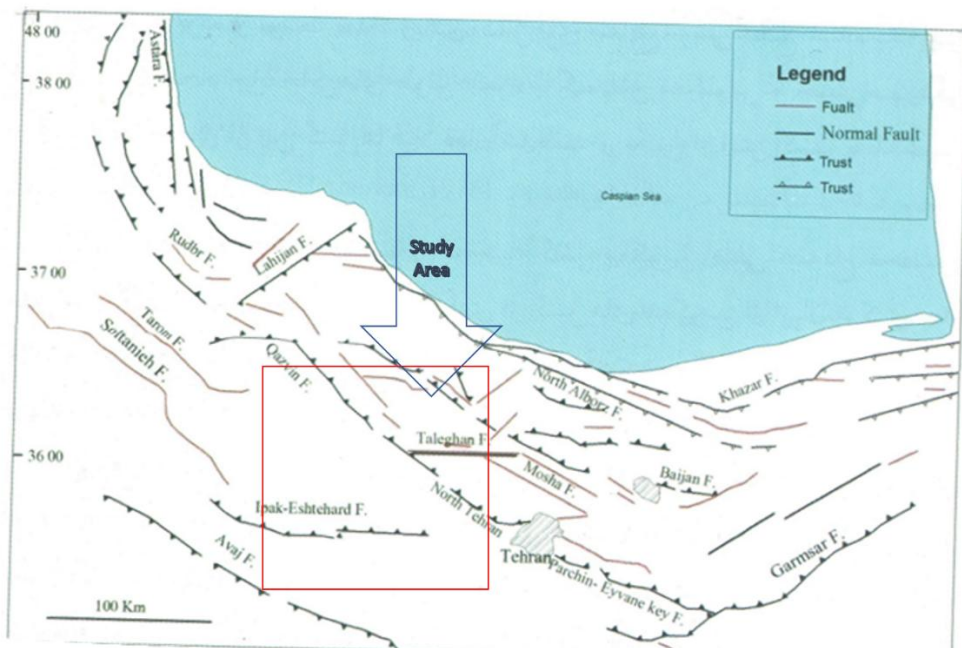
اشکال هندسی دارای شکل‌های تقریباً ساده با توصیف دقیق و البته طول شاخص هستند. این اشکال، به‌رغم پیچیدگی‌های ظاهری، این قابلیت و ویژگی را دارند که به اشکال دارای طول شاخص همانند ساده شوند. در مقابل، دسته دیگری از اشکال هستند که به‌سادگی با هندسه اقلیدسی متعارف قابل توصیف نیستند (فاقد طول شاخص‌اند؛ نظیر کوه‌ها). این اشکال، که برخلاف هندسه اقلیدسی، بسیار پیچیده‌اند و در مقیاس‌های مختلف وجود دارند، اشکال فرکتالی نامیده می‌شوند. واژه فرکتال را مندلبروت^۱ (۱۹۸۲) برای توصیف برخی اشیاء و رویدادهای پیچیده و

دارای ناهمواری استفاده کرد. به عبارت دیگر، بعد فرکتال تعیین کننده ناهمواری اسیا و رخدادهای پیچیده است. با توجه به اینکه ویژگی‌ها و پدیده‌های زمین‌شناسی دارای پیچیدگی‌های متعددی، به منظور ساده‌سازی این پدیده و شناسایی روابط میان آن‌ها، آنالیز فرکتالی به منزله یک ابزار کاربردی، می‌تواند ایفای نقش کند. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه شناخت روابط موجود میان فرایندهای زمین‌ساختی انجام گرفته است (میرعابدینی و آقانبای ۱۳۹۴). این مطالعات بیانگر آن است که رویدادهای زمین‌ساختی را می‌توان با استفاده از مفاهیم فرکتالی و محاسبه بعد فرکتال برای گسل‌ها و زمین‌لرزه‌ها و آبراهه‌ها تشریح و با یک‌دیگر مقایسه کرد (تورکات^۱ ۱۹۹۲). در واقع، هندسه فرکتال نمایش کمی الگوی پیچیده گسل‌ها و زمین‌لرزه‌ها و آبراهه‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد (مندلبروت ۱۹۸۲؛ سوکمونو^۲ و همکاران ۱۹۹۸؛ هوویوس^۳ ۱۹۹۶؛ تامکین^۴ و براون ۱۹۹۹؛ جکسون^۵ و لیدر ۱۹۹۴؛ تورکات ۱۹۹۸، ۱۹۹۷).

زون البرز با ساختاری کشیده و راستای خاوری-باختری بخشی از کمربند لرزه‌خیز آلپ-همالیا، در جنوب حوضه کاسپین، است که سبب پیوند رشته کوه‌های قفقاز و تالش در شمال باختر و کپه‌داغ و بینالود در شمال خاوری و خاور فلات ایران می‌شود. از نظر ساختاری و لرزه‌خیزی همه مناطق یادشده، جز کپه‌داغ، شباهت‌های زیادی با هم دارند (قربانی ۱۳۹۳) (شکل ۱).

بر اساس نقشه لرزه‌زمین‌ساخت ایران (بربریان^۶ ۱۹۷۷) در البرز زمین‌لرزه‌ها کم‌ژرف هستند. در مجموع، بخش خاوری البرز، که با منطقه برشی چپ‌گرد سمنان و گنبدکاووس (آرین و پورکرمانی ۱۳۸۳) از بخش مرکزی-باختری آن جدا می‌شود، طی قرن گذشته، لرزه‌خیزتر بوده است. مطالعات تاریخی زلزله‌های البرز نشان می‌دهد بسیاری از مناطق به دفعات ویران شده‌اند. همچنین، برخی از مناطق، به‌رغم وجود سابقه لرزه‌خیزی، واجد خطر بالای زمین‌لرزه تشخیص داده شده است (آرین و قرشی ۱۳۸۹). استان البرز، که منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در نظر گرفته شد، واقع در بخش میانی پهنه رسوبی-ساختاری البرز (اشتوکلین^۷ ۱۹۶۸) است که با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و نیز عدم دسترسی به شواهد مناسب تکتونیکی با محدودیت‌هایی (نظامی بودن مناطق) جهت مطالعات زمین‌ساختی روبه‌روست. از این رو، تحلیل فرکتالی زمین‌لرزه‌ها و شکستگی‌ها و آبراهه‌ها برای شناسایی فعالیت زمین‌ساختی منطقه می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد و ارزیابی پویایی زمین‌ساختی در گستره مورد مطالعه را میسر سازد. آنچه مطرح شد مهم‌ترین اهداف این پژوهش بود.

1. Turcotte
2. Sukmono
3. Hovius
4. Tomkin
5. Jackson
6. Berberian
7. Stöcklin

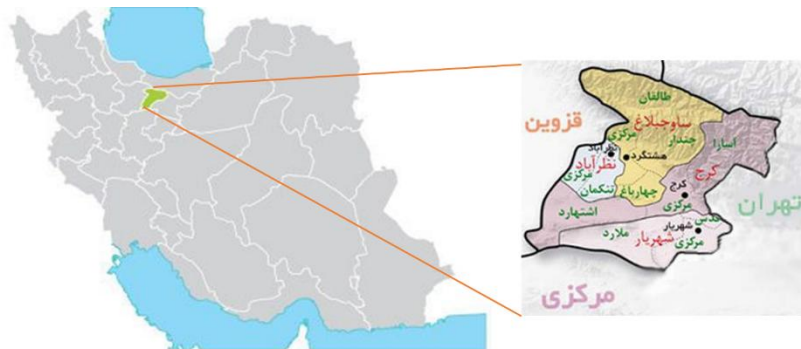


شکل ۱. منطقه مورد مطالعه همراه گسل‌های کواترنری البرز مرکزی (قربانی ۱۳۹۳)

جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

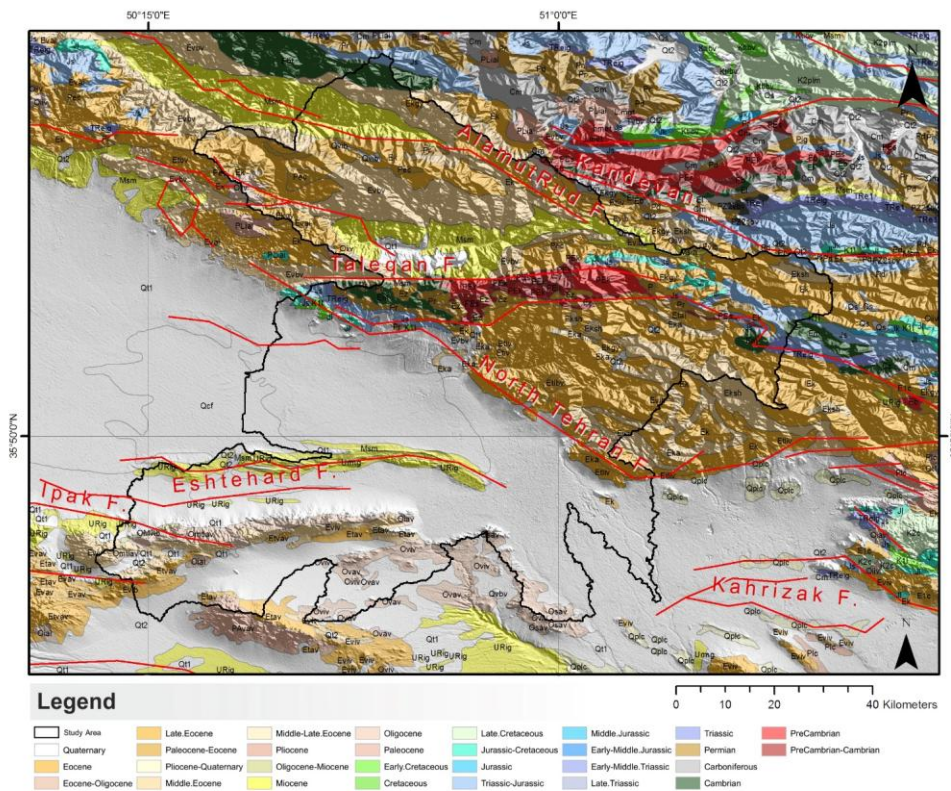
فرازیابی ساختارهای کهن و جنبش دوباره گسل‌های بنیادین کهن در قالب ساختارهای ترفشاری و تراکشسی در بخش داخلی البرز از نشانه‌های ساختاری تنش‌های وارد شده به این پهنه ساختاری در بر شمالی صفحه ایران است (نظری و شهیدی ۱۳۹۰). این ساختارهای کهن فرازیافته با جنبش‌های زمین‌ساختی (از پلیوسن تا امروز) در کناره‌های خود با ساختارهای بنیادین گسل‌های بیشتر خاوری-باختری، چون طالقان و مشا و فیروزکوه و شمال البرز و شمال قزوین، در لبه جنوبی البرز محدود می‌شود (شهیدی و نظری ۱۳۹۰). وجود گسل‌های فعال فراوان در کواترنری در البرز، به‌خصوص البرز مرکزی، و شکل و فراوانی زلزله‌ها در یکصد سال اخیر حکایت از فعال بودن این گسل‌ها دارد (قربانی ۱۳۹۳). از نظر درویش‌زاده (۱۳۸۲) تکتونیک و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه در البرز مرکزی واقع است.

استان البرز در شمال ایران واقع شده است (شکل ۲). این استان در قسمت جنوبی کوه‌های البرز، بخشی از جنبش و کوه‌زایی آلپ-همیالیا (جکسون و همکاران ۲۰۰۲)، و در تقسیم‌بندی ساختمانی-رسوبی ایران (اشتوکلین ۱۹۶۸) در البرز مرکزی و واحد ساختمانی البرز-آذربایجان (نبوی ۱۳۵۵) قرار دارد.



شکل ۲. موقعیت استان البرز در ایران

این منطقه یکی از پتانسیل‌های لرزه‌ای بالا با بسیاری از گسل‌های فعال خاص است (بربریان و همکاران ۱۹۸۳). از ساختارهای فعال در این منطقه می‌توان به گسل‌های شمال تهران (چالنگو و همکاران ۱۹۷۴)، مشا (دلنباخ ۱۹۶۴)، شمال کرج (بربریان و کینگ ۱۹۸۱)، و طالقان و ایپک (بربریان ۱۹۷۱) اشاره کرد. زلزله‌های تاریخی و اخیر متعددی در طول فعالیت این گسل‌ها رخ داده است. بنابراین، منطقه تحت تأثیر حرکات تکتونیکی قرار می‌گیرد (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه همراه گسل‌های اصلی منطقه

1. Dellenbach

روش تحقیق

پس از معرفی فرکتال توسط مندلبرو، در سال ۱۹۷۶، مفهوم فرکتال در علوم متعدد گسترش یافت و کاربردهای زیادی پیدا کرد. در علوم زمین، کوه‌ها و دره‌ها را می‌توان با بعد فرکتالی مشخص کرد. علاوه بر آن آبراهه‌ها و زمین‌لرزه‌ها و شکستگی‌ها خصوصیات فرکتالی زیادی دارند. شکستگی منطقه همراه آبراهه‌ها و زمین‌لرزه‌های رخ داده، از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹ (طبق داده‌های مؤسسه ژئوفیزیک)، در این مطالعه لایه‌های اطلاعاتی جهت آنالیز فرکتالی در نظر گرفته شدند. سنجش از راه دور در طول دهه‌های اخیر به طور گسترده‌ای پیشرفت کرده و در مطالعات متعدد مورد استفاده قرار می‌گیرد. استخراج عوارض خطی در مقیاس‌های بزرگ و کوچک از کاربردهای مهم سنجش از راه دور است (هانگ^۱ و همکاران ۲۰۰۵؛ کورگن^۲ و همکاران ۲۰۱۰؛ مسعود^۳ و کوکه ۲۰۰۶؛ مشکانی^۴ و همکاران ۲۰۱۳). استخراج خطواره‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به سه روش اتوماتیک و دستی و نیمه‌اتوماتیک انجام می‌شود. در این مطالعه، به منظور استخراج خطواره‌های منطقه، از روش نیمه‌اتوماتیک و نیز تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سال ۲۰۱۵) استفاده شد. برای به دست آوردن شبکه آبراهه‌های^۵ منطقه از تصاویر ماهواره‌ای و نیز مدل رقومی ارتفاعی^۶ منطقه، با دقت مکانی ۳۰ متر، بهره گرفته شد و شبکه آبراهه به کمک نرم‌افزار آرک جی.آی.اس برای منطقه استخراج شد (شکل ۴). در این روش، پس از حذف خطواره‌های تکراری، خطواره‌های مرتبط با پهنه‌های گسلی فعال منطقه مورد مطالعه استخراج شد. داده‌های مربوط به زمین‌لرزه‌های رخ داده در استان البرز از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران تهیه و به منظور تحلیل فرکتالی استفاده شد. از آنجا که روش مربع شمار متداول‌ترین روش تحلیل فرکتالی زمین‌لرزه‌ها و آبراهه‌ها و خطواره‌هاست، از این روش برای آنالیز فرکتالی استفاده شد (تورکات ۱۹۹۲: ۲). برای محاسبه ابعاد فرکتالی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی از رابطه ۱ استفاده شد.

$$N_n = C/r_n^D$$

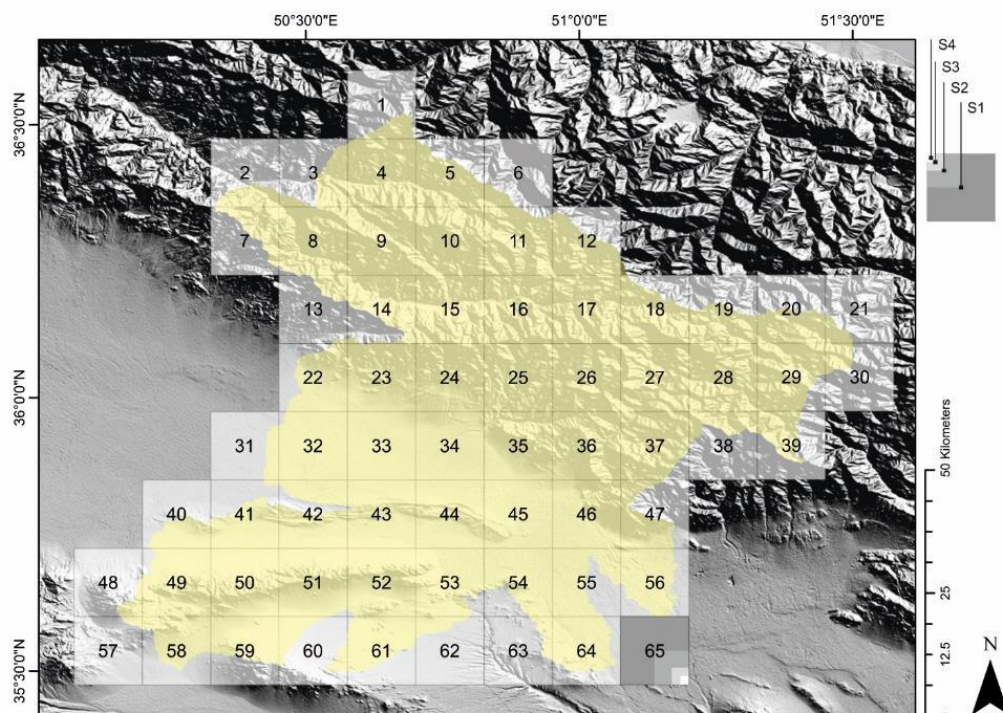
رابطه ۱

در رابطه ۱، N_n تعداد متغیرهای معلوم برای یک پدیده یا به عبارت بهتر تعداد مربع‌های دارای خطواره در شبکه فرکتالی طراحی شده، C ثابت، D بعد فرکتالی، و r_n طول مربع‌های ترسیم شده است که در این مطالعه چهار شبکه مربعی به طول ضلع‌های ۱۲/۵ کیلومتر (S1)، ۶/۲۵ کیلومتر (S2)، ۳/۱۲۵ کیلومتر (S3)، و ۱/۵۶ کیلومتر (S4) در نظر گرفته شد. همچنین، استان البرز به ۶۵ مربع به طول ضلع ۱۲/۵ کیلومتر تقسیم شد تا ابعاد فرکتالی (D) برای هر یک از آن‌ها محاسبه شود (شکل ۳). در نهایت تحلیل‌ها بر اساس نمودار Log/Log از تعداد مربع‌های دارای خطواره یا آبراهه یا زمین‌لرزه بر حسب طول شبکه‌های مربعی ایجاد شد (r_n) یا عکس آن صورت گرفت. نمودارهای ترسیم شده دارای یک معادله خط مطابق رابطه ۲ هستند که در آن D شیب خط و نشان‌دهنده بعد فرکتالی و مقدار آن عددی بین ۰ تا ۲ متغیر است (تورکات ۱۹۹۲).

$$\text{Log}(N_n) = D \text{Log}(1/r_n) + C$$

رابطه ۲

1. Hung
2. Corgne
3. Masoud
4. Meshkani
5. drainage
6. digital elevation model

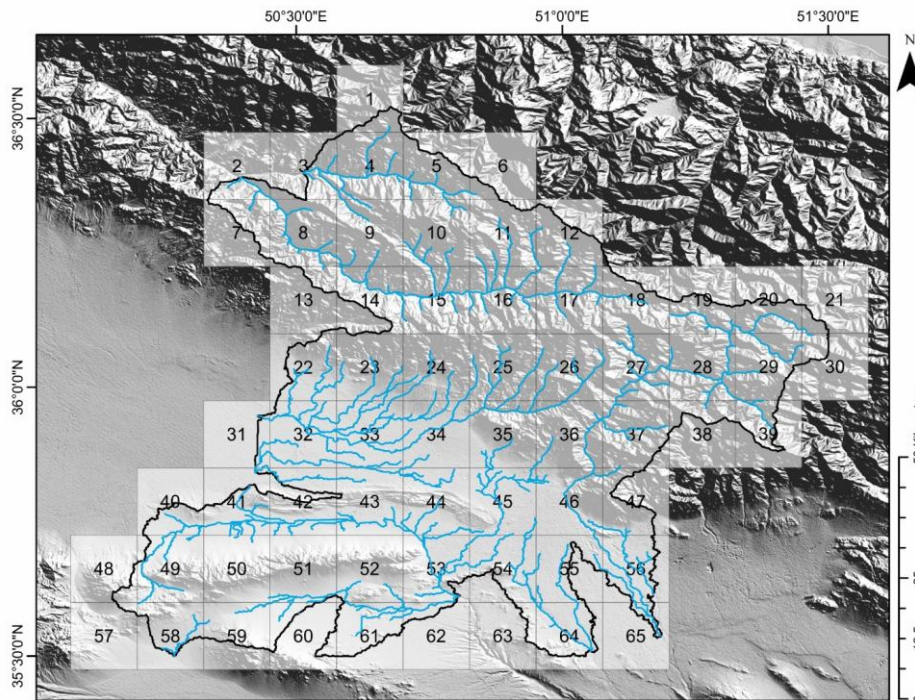


شکل ۴. شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه جهت آنالیز فرکتالی (محدوده استان البرز با رنگ زرد نمایش داده شده است).

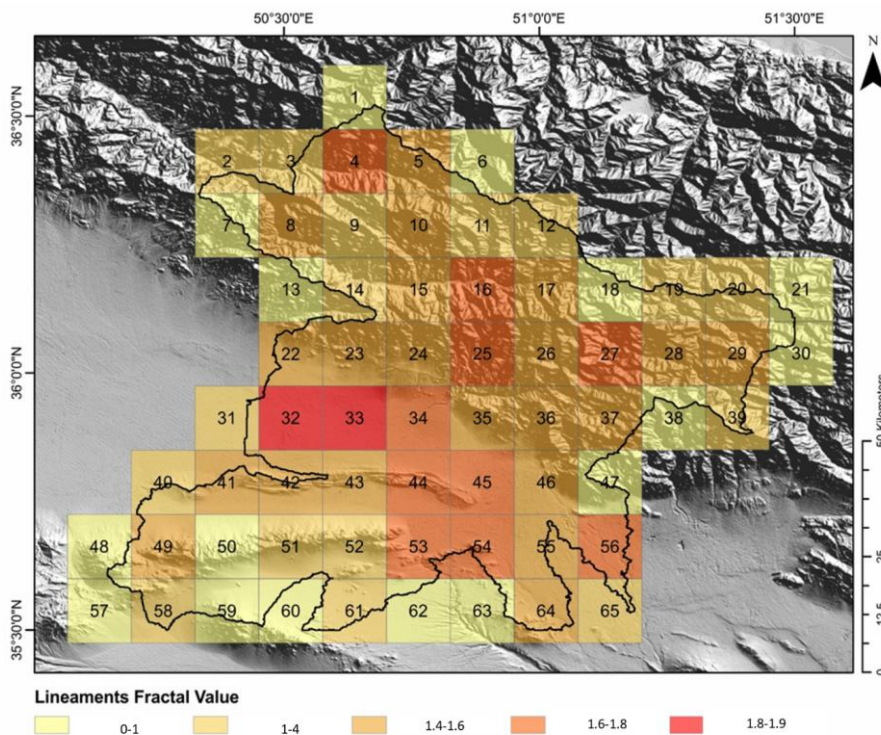
بحث و نتایج

ابعاد فرکتالی شبکه‌های آبراهه

در بررسی ابعاد فرکتالی شبکه آبراهه‌ها هر یک از ۶۵ شبکه به طور جداگانه ارزیابی و برای هر یک از آن‌ها ابعاد فرکتالی محاسبه شد (شکل ۵). با توجه به نتایج ابعاد فرکتالی محاسبه‌شده، ابعاد فرکتالی از ۰ تا $1/934$ متغیر است. مقدار بالای ابعاد فرکتالی نشان‌دهنده کاهش فعالیت زمین‌ساختی یا تغییر در توپوگرافی و البته سنگ‌شناسی است. به عبارتی، هر چه توپوگرافی مرتفع‌تر باشد طرح موازی و خطی را در آبراهه‌ها شاهدیم و این سبب کاهش بعد فرکتالی و نزدیک شدن آن‌ها به عدد ۱ می‌شود. درحالی‌که مقادیر بالا بیانگر آرامش پهنه و به دنبال آن کاهش فعالیت زمین‌ساختی است. در منطقه مورد مطالعه، پهنه‌های ۳۲ و ۳۳ دارای بیشینه مقدار فرکتالی و به ترتیب دارای ابعاد فرکتالی $1/8$ و $1/93$ است (شکل ۶). این پهنه‌ها همراه پهنه‌های ۳۴، ۴۴، ۴۵، ۵۳، ۵۴، ۵۶، ۲۷، ۲۵، ۱۶، ۴ به لحاظ فعالیت ساختاری مناطق با آرامش ساختاری در نظر گرفته می‌شوند و سایر مناطق به لحاظ ساختاری پویاترند. مقادیر پایین بعد فرکتالی در بخش‌های شمالی و جنوبی می‌توانند در نتیجه وجود ارتفاعات و برخاستگی این محدوده‌ها باشند که با حضور و فراوانی گسل‌ها در این منطقه منطبق است (شکل ۶). مقادیر پایین بعد فرکتالی در محدوده گسل‌های اشتهارد، ایپک، طالقان، و الموت بیانگر پویایی گسل‌های یادشده و به دنبال آن تغییر ویژگی‌های ساختاری و مورفولوژیکی منطقه است.



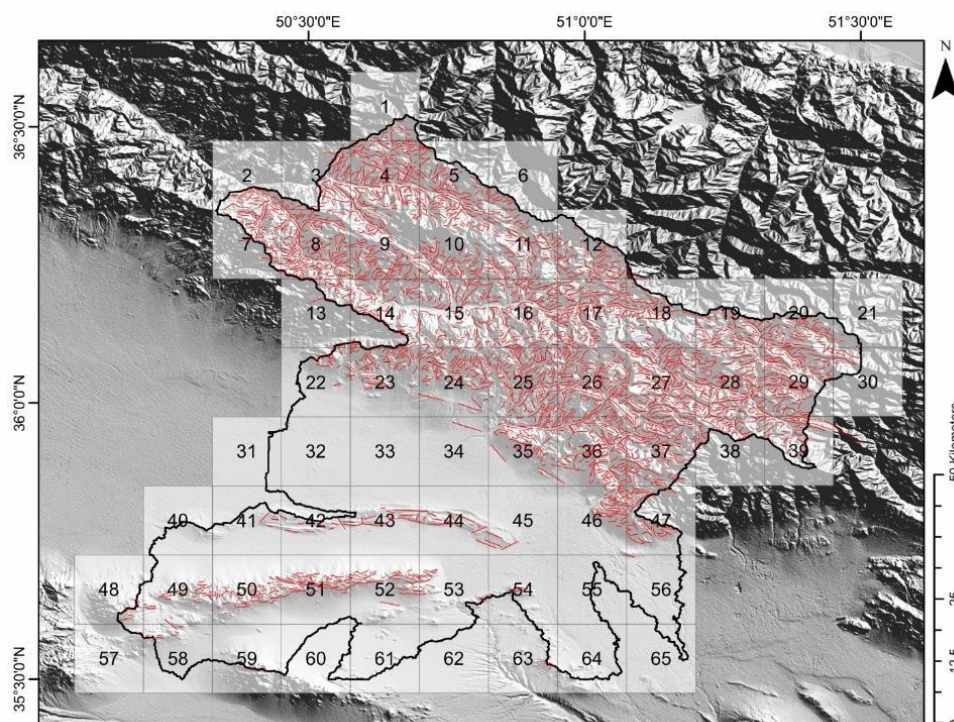
شکل ۵. نقشه شبکه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه که برای اعمال روش مربع‌شمار و محاسبه بعد فرکتال ترسیم شده است.



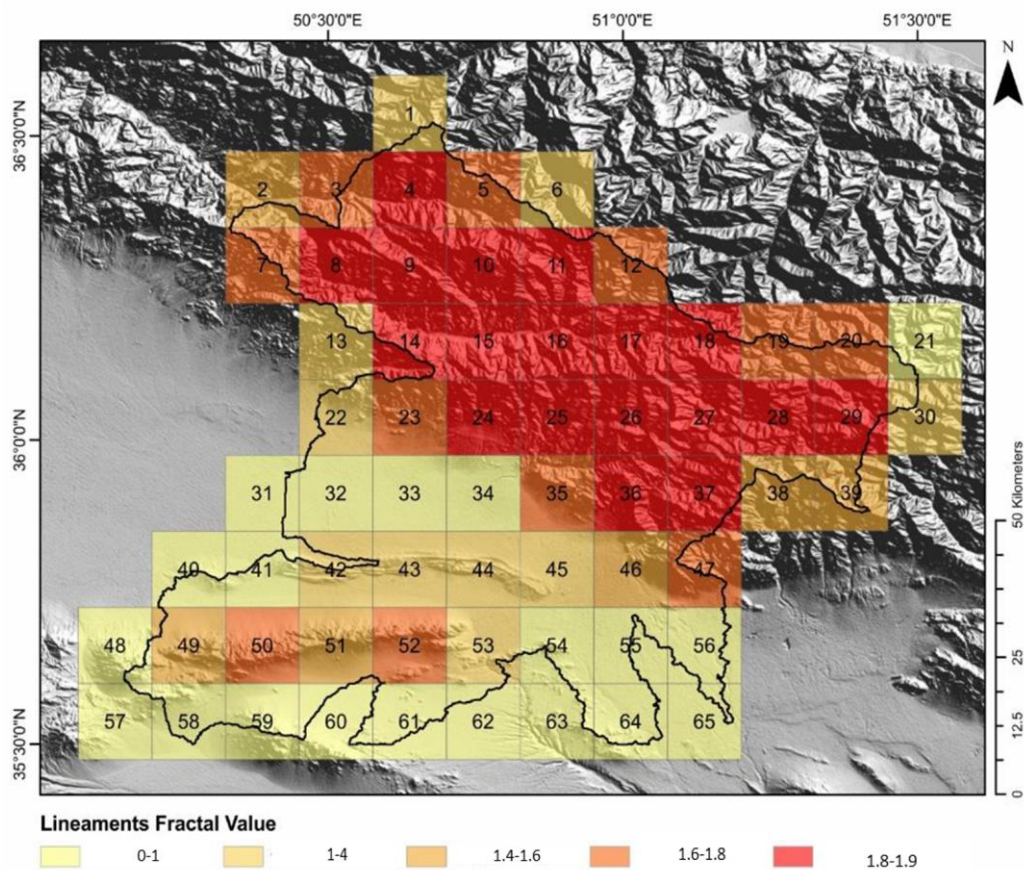
شکل ۶. نقشه تغییرات ابعاد فرکتالی محاسبه‌شده برای شبکه آبراهه منطقه مورد مطالعه (رنگ قرمز بیشترین مقادیر بعد فرکتال و رنگ زرد مقادیر پایین بعد فرکتال را نشان می‌دهد).

ابعاد فرکتالی خطواره‌ها

برای به دست آوردن ابعاد فرکتالی خطواره‌های منطقه مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، خطواره‌های ساختاری با روش نیمه‌اتوماتیک (پیش‌تر به طور کامل بیان شده است) استخراج شد. سپس، برای همه پهنه‌ها ابعاد فرکتالی جداگانه ارزیابی و برای هر یک بعد فرکتالی محاسبه شد (شکل ۷). با توجه به ابعاد فرکتالی محاسبه‌شده در منطقه مورد مطالعه پهنه‌های ۳ تا ۵، ۷ تا ۱۲، ۱۴ تا ۲۰، ۲۳ تا ۲۹، ۳۵ تا ۳۹، ۴۷، ۵۰، ۵۲ دارای بعد فرکتالی بالای ۱/۵ تا ۱/۹۹ هستند. مناطق با بعد بالای فرکتال عمدتاً در بخش‌هایی با ارتفاع و توپوگرافی زیاد مشاهده می‌شوند. در مقابل، پهنه‌های ۳۱ تا ۳۴، ۴۰، ۴۱، ۴۸، ۵۴ تا ۶۵ مقادیر فرکتالی پایینی دارند. مقادیر پایین بعد فرکتال بیانگر آن است که دگرشکلی در آن محدوده به حد نهایی خود رسیده و به لحاظ زمین‌ساختی پویایی کمتری دارد. این در حالی است که بخش‌های شمالی و جنوبی- که گسل‌های مهمی چون الموت، طالقان، شمال تهران، مشا، اشتهارد، و ایبک در آن واقع شده است- مقادیر بالای فرکتال را نشان می‌دهند که بیانگر پویایی زیاد و بلوغ زمین‌ساختی کم است. البته مقادیر کم ابعاد فرکتالی در محدوده مورد مطالعه می‌تواند در نتیجه تغییرات سنگ‌شناسی و عدم رخمون واحدهای سنگی نیز باشد. برای این منظور، تحلیل فرکتالی زمین‌لرزه‌ها نیز ارزیابی شد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. اگرچه با مقایسه ابعاد فرکتالی محاسبه‌شده برای شبکه آبراهه و خطواره‌ها همخوانی مناسبی مشاهده می‌شود و تطابق قابل قبولی دارند (شکل ۸).



شکل ۷. نقشه خطواره‌های منطقه مورد مطالعه که برای اعمال روش مربع‌شمار و محاسبه بعد فرکتال ترسیم شده است.



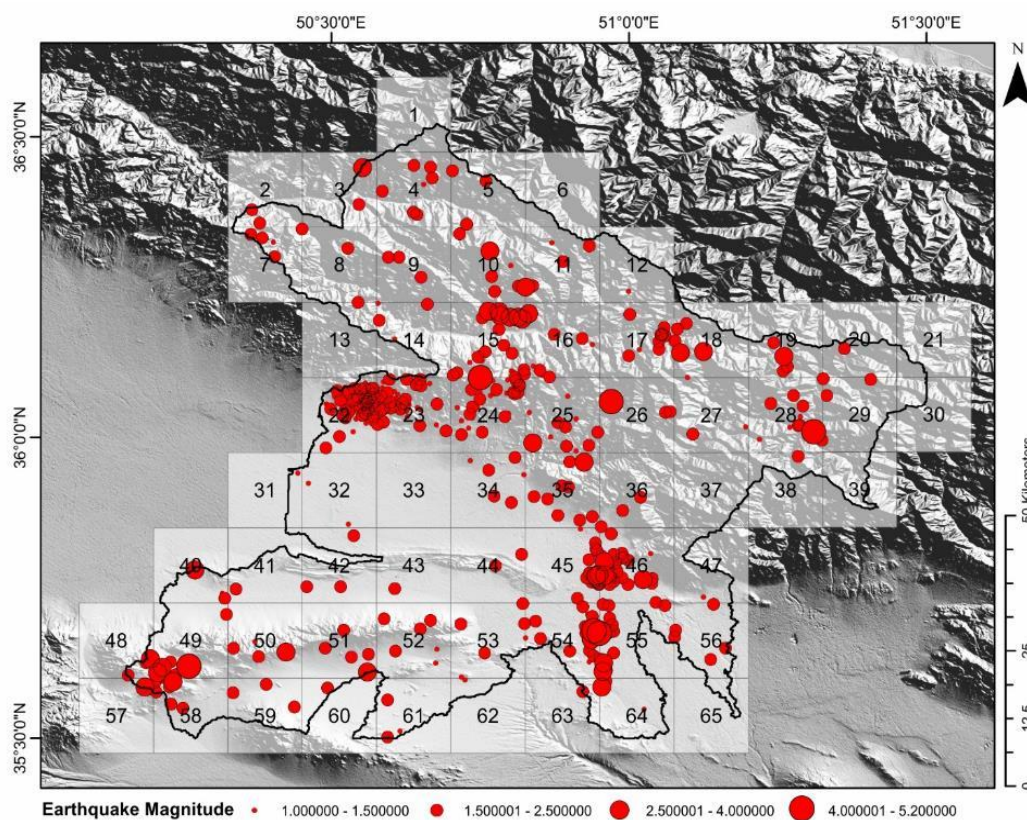
شکل ۸. نقشه تغییرات ابعاد فرکتالی محاسبه‌شده برای خطواره‌های منطقه مورد مطالعه (رنگ قرمز بیشترین مقادیر بعد فرکتالی و رنگ زرد مقادیر پایین بعد فرکتالی را نشان می‌دهد).

ابعاد فرکتالی زمین‌لرزه‌ها

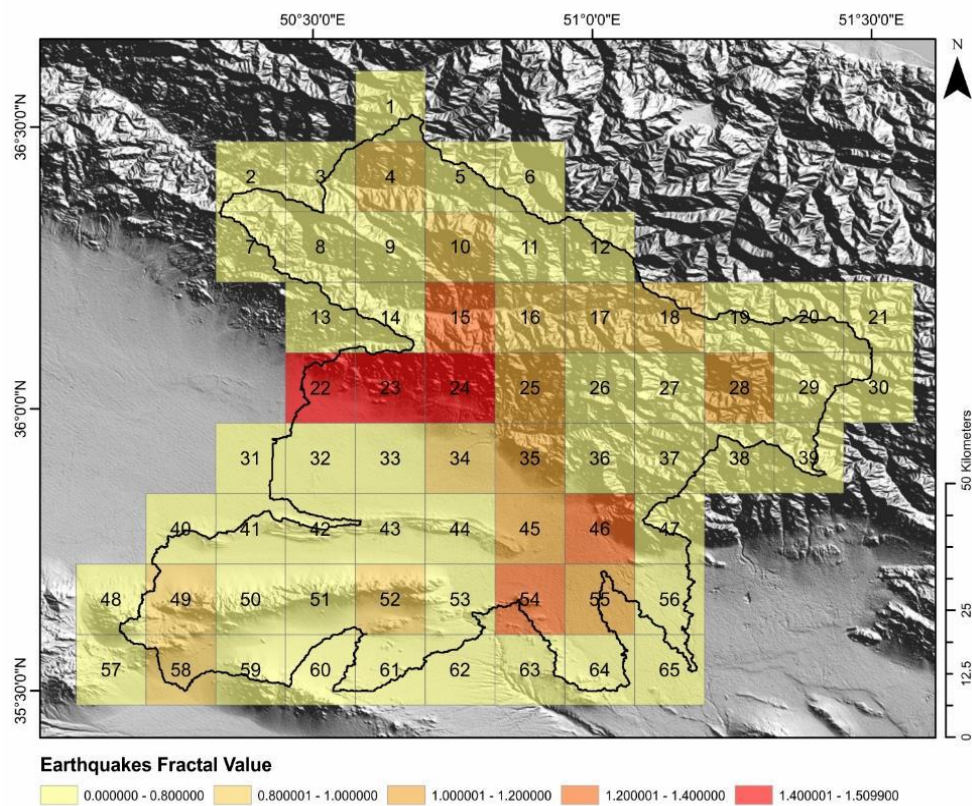
زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیشتر از $2/5$ در استان البرز کم است. از این رو، تحلیل فرکتالی زمین‌لرزه‌های رخ داده امکان‌پذیر نیست و می‌تواند با خطا مواجه شود. بنابراین، زمین‌لرزه‌های منطقه با بزرگای ۱ نیز در نظر گرفته شد (شکل ۹). این داده‌ها از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران تهیه و ابعاد فرکتالی زمین‌لرزه‌های گستره مورد مطالعه مطابق شبکه آبراهه‌ها و خطواره‌ها برای ۶۵ پهنه محاسبه شد. بعد فرکتالی به دست آمده برای زمین‌لرزه‌ها از ۰ تا $1/5$ متغیر است. بیشینه بعد فرکتالی مربوط به پهنه‌های ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۱۵، ۵۴، ۴۶ است که مقادیر $1/2$ تا $1/5.09$ را شامل می‌شود (شکل ۱۰). گفتنی است بر مبنای مطالعات انجام‌شده بعد فرکتالی زون لرزه‌ای دراز گودال امریکای مرکزی، واقع در مکزیک جنوبی، $1/64$ محاسبه شده است (ایزاک^۱ و تمپر^۲، ۱۹۹۶). همچنین برای سیستم گسلی در ژاپن این مقدار برای گسل‌های فعال نیز $1/6$ است (هیراتا^۲، ۱۹۸۹). بنابراین به نظر می‌رسد محدوده‌های با بعد فرکتالی بالا پتانسیل بالایی به لحاظ لرزه‌خیزی دارند.

1. Idziak
2. Hirata

همچنین، زمین‌لرزه رخ داده در ملارد در سال ۱۳۹۶ با بزرگای ۵/۲ نیز در پهنه ۵۴ قرار می‌گیرد که به لحاظ فرکتالی مقدار بالایی را نشان می‌دهد. به عبارت بهتر، مناطق با بعد فرکتالی بالای ۱/۲ در محدوده مورد مطالعه به لحاظ ساختاری فعال به شمار می‌روند. بر این اساس، مناطقی که در ارزیابی فرکتالی آبراهه‌ها و خطواره‌ها پویایی اندکی را نشان می‌دهند در ارزیابی زمین‌لرزه‌ها متفاوت‌اند. این موضوع می‌تواند در نتیجه عدم رخنمون واحدهای سنگی و البته تغییرات سنگ‌شناسی باشد.



شکل ۹. نقشه زمین‌لرزه‌های منطقه مورد مطالعه همراه بزرگا که برای اعمال روش مربع‌شمار و محاسبه ابعاد فرکتالی ترسیم شده است (زمین‌لرزه‌های دستگاهی از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹).



شکل ۱۰. نقشه تغییرات ابعاد فرکتالی محاسبه‌شده برای زمین‌لرزه‌های دستگاهی سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹ منطقه مورد مطالعه (رنگ قرمز بیشترین مقادیر بعد فرکتال و رنگ زرد مقادیر پایین بعد فرکتال را نشان می‌دهد).

مطالعات زمینی

با مطالعه و بررسی‌های انجام‌شده به کمک نرم‌افزار و همچنین مطالعات میدانی (شکل ۱۱) نیز می‌توان به صحت داده‌های فرکتالی پی برد.



الف



ب



د



ج

شکل ۱۱. الف) زون گسلی مربوط به گسل آتشفشان، دید به سمت شرق؛ ب) زون گسلی در مسیر اتوبان در حال احداث همت، دید به سمت شمال شرق؛ د) خردشدگی سنگ در کوهپایه به علت فرسایش زیاد در امتداد گسل چاقو، دید به سمت جنوب شرق؛ ج) وجود سیستم درزه‌های فراوان و اسکارپ در امتداد گسل چاقو، دید به سمت شرق

نتیجه

- بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشترین فعالیت ساختاری در منطقه مربوط به پیرامون گسل‌های الموت، مشا، شمال تهران، و طالقان در بخش شمالی و گسل‌های ایپک و اشتهارد در بخش جنوبی است. همچنین، پهنه‌های ۵۴، ۵۵، ۴۵، ۴۶ فعالیت بالایی دارند که این فعالیت در تحلیل فرکتالی زمین‌لرزه‌ها خود را نمایان ساخت.
- پهنه‌های ۵۴، ۵۵، ۴۵، ۴۶، ۳۵ که گسلی شناخته‌نشده به نظر می‌رسد فعالیت‌های پنهان دارند. از این رو، امکان

- حضور گسلی جدید یا شاخه‌هایی از گسل اشتهاورد وجود دارد که به لحاظ ساختاری پویاست.
- پهنه‌های ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۴۴ تا ۴۹ مناطقی با بلوغ زمین‌ساختی بالا و پویایی کم محسوب می‌شوند و به نظر می‌رسد این مناطق آرامش بیشتری نسبت به سایر پهنه‌ها دارند.
 - مغایرت در ابعاد فرکتالی شبکه آبراهه و خطواره‌ها با زمین‌لرزه‌ها می‌تواند در نتیجه گوناگونی سنگ‌شناسی و عدم رخنمون واحدهای سنگی در منطقه ارزیابی شود که البته محاسبه ابعاد فرکتالی پویایی برخی از این مناطق را مشخص کرد.
 - به طور کلی به نظر می‌رسد فعالیت زمین‌ساختی در استان البرز به شدت متأثر از فعالیت‌های گسل‌های اصلی منطقه (شمال تهران، مشا، طالقان، قزوین، ایپک) و البته حضور گسل‌های فرعی (جارو، چاقو) و پنهان (گسل جدید در منطقه ملارد) در منطقه است که در آنالیز ابعاد فرکتالی زمین‌لرزه‌ها محرز شد.

منابع

- پورکرمانی، م.؛ آرین، م. (۱۳۸۳). «تحلیل ساختاری گسل رباطکریم و توان لرزه‌زایی آن»، زمین، د ۶ ش ۲۱، صص ۲۷ - ۴۹.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۸۲). زمین‌شناسی ایران، تهران، امیرکبیر، صص ۲۴۳ - ۲۴۹.
- عابدینی و آقائاتی (۱۳۹۴). «تغییر فضایی پارامترهای فرکتالی در البرز مرکزی ایران»، یافته‌های نوین در زمین‌شناسی، ج ۱، ش ۱، صص ۵۷ - ۷۰.
- قربانی، م. (۱۳۹۳). زمین‌شناسی ساختاری و تکتونیک ایران، آرین زمین، صص ۱۷۸ - ۱۷۹.
- قرشی، م.؛ آرین، م. (۱۳۸۹). تکتونیک ایران، صص ۲۴۵ - ۲۵۱.
- مرکز لرزه‌نگاری مؤسسه دانشگاه تهران (داده‌های لرزه‌ای) (۱۳۹۶). <http://irsc.ut.ac.ir/index.php?lang=fa>.
- نظری، ح.؛ شهیدی، ع. ر. (۱۳۹۱). سازمان زمین‌شناسی کشور، شابک: ۳۷۰۱-۷۲۵۸-۹۶۴-۹۷۸.
- Berberian, M. & King, G. C. P. (1981). "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 18, pp. 210-265.
- Berberian, M. (1977). *Contribution to the Seismotectonics of Iran*, part III: Geological Survey of Iran, Tehran, No. 40, 300.
- (1983). "The southern Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust", *Canadian Journal of Earth sciences*, Vol. 20, pp. 163-183.
- (1974). "A brief geological description of North-central Iran", In materials for the study of seismotectonics of Iran: North- Central Iran, Geol. Surv. Iran, Rep. 29, pp. 127-138.
- Clark, G. C., Davies, R. G., Hamzhepour, B., & Jones, C. R. (1975). Explanatory text of the Bandar-e-Pahlavi quadrangle map, 1/250000, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- 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. 10.1016/j.rse.2010.03.004.
- Dellenbach, J. (1964). Contribution a' l'Etude geological de la region situee afV l'est de Teheran

- (Iran), pp. 48-53.
- Gansser, A. & Huber, H. (1962). "Geological observations in central Elburz Iran", *Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen*, 42 (4), pp. 583-630.
- Hirata, T. (1989). "Fractal Dimension of Fault Systems in Japan: Fractal Structure in Rock Fracture Geometry at Various Scales", *Pure appl. geophys*, 131, pp. 157-170.
- Hovius, N. (1996). "Regular spacing of drainage outlets from linear mountain belts", *Basin Research*, 8, pp. 29-44.
- Hung, L., Batelaan, O., & Smedt, F. (2005). Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery, Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. Proc SPIE. 5983. 10.1117/12.627699.
- Idziak, Ó. A. & Temper, L. (1996). "Fractal Dimension of Faults Network in the Upper Silesian Coal Basin (Poland): Preliminary Studies, Pure appl", *Geophys*, 147, pp. 239-247.
- Jackson, J. & Leeder, M. (1994). "Drainage systems and the development of normal fault: an example from pleasant Valley Nevada", *Journal of structural Geology*, 16, pp. 1041-1059.
- Mandelbrot, B. B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, New York.
- 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*, pp. 467-477. 10.1016/j.jafrearsci.2006.04.005.
- 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 Geol, Rev.* 55, pp. 48-63.
- Sukmono, S., Zen, M., Hendrajaya, L., Kadir, W., Santoso, D., & Dubois, J. (1998). "Fractal pattern of the Sumatra fault seismicity and its application to earthquake prediction", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87, pp. 1685-1690.
- Tchalenko, J. & Braud, J. (1974). Seismicity and structure of the Zagros (I fault between 33 and 35° N, Phil. Trans), Roy. Soc. London, 277, 1-25. Ipersdorf, A. Hatzfeld.
- Tomkin, J.H. & Braun, J. (1999). "Simple models of drainage reorganization on a tectonically active ridge system", *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, Vol. 42, pp. 1-10.
- Turcotte, D. L. (1988). "Fractals in Geology and Geophysics", *PAG*, Vol. 131, pp. 171-196.
- (1992). "Fractals, chaos, self organized criticality and tectonics", *Terra Nova*, 4 (1), pp. 4-12.
- (1997). *Fractals and chaos in geology and geophysics*, Cambridge university press.