

## ارزیابی پویایی زمین‌ساختی تاقدیس سپیدار با استفاده از ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها، خطواره‌ها و کانون سطحی زلزله‌ها، زاگرس چین‌خورده ساده، فارس

شبنم زارع‌بردجی<sup>۱</sup>، سعیده کشاورز<sup>۲\*</sup>، مجید شاه‌پسندزاده<sup>۳</sup> و رضا حسن‌زاده<sup>۴</sup>

۱، ۲- گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

۴- گروه اکولوژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

نویسنده مسئول: s.keshavarz@kgut.ac.ir \*

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۹۹/۴/۲

دریافت: ۹۸/۱۰/۲

### چکیده

تحلیل فرکتالی روشی مناسب جهت تشخیص میزان تاثیر فعالیتهای زمین‌ساختی و بلوغ ساختاری به صورت کمی می‌باشد. در این نوشتار از روش مربع شمار برای اندازه‌گیری بعد فرکتالی آبراهه‌ها، خطواره‌ها و زلزله‌های تاقدیس سپیدار در کمربند زاگرس چین‌خورده ساده (زاگرس میانی) استفاده شده است. محاسبه بعد فرکتال آبراهه‌ها نشان‌دهنده تغییرات عدد فرکتالی در راستای شمال‌باختر- جنوب خاور می‌باشد؛ بطوری‌که عدد فرکتالی به سمت شمال باختر کاهش می‌یابد. عدد فرکتال حاصل از واکاوی خطواره‌های مستخرج از تصاویر سنتینل و زلزله‌ها روندی افزایشی به سمت شمال باختر تاقدیس نشان می‌دهند. با توجه به این تغییرات، پویایی تاقدیس در بخش شمال باختری آن بیش‌تر است. این امر از عواملی مانند تغییر توپوگرافی، جنس و سن سنگ‌ها تاثیر می‌پذیرد. محل تغییرات عدد فرکتالی در بخش میانی تاقدیس با ساختار زین‌اسبی ناشی از تغییرات توپوگرافی تقریباً تطابق دارد. در این محل، چین‌برخاستگی کمتری نسبت به بخش‌های مجاور خود دارد. وجود آبراهه‌های چنگالی، دره‌های خشک و ساختار زین‌اسبی نشان می‌دهد که تاقدیس سپیدار در گذشته یک چین واحد نبوده است، بلکه نتیجه گسترش جانبی چین‌هایی است که رشد کرده و به یکدیگر پیوسته‌اند. با توجه به مدل‌های رشد چین‌ها، بنظر می‌رسد تاقدیس سپیدار از مدل پیوند خطی که حاصل آن به شکل یک چین نیمه استوانه‌ای همراه با ساختار زین‌اسبی در محل ادغام چین‌هاست تبعیت می‌کند. تغییرات عدد فرکتالی در طول تاقدیس با تغییرات ناشی از محل ادغام چین‌ها تطابق خوبی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده تاثیر زمین‌ساخت فعال چین بر شکل‌گیری و توزیع الگوی عناصر زمین‌ریخت‌شناسی در تاقدیس است.

واژه‌های کلیدی: فرکتال، الگوی آبراهه، خطواره، زلزله، گسترش جانبی چین

### ۱- پیشگفتار

ساختارهای خطی مانند گسل‌ها و آبراهه‌ها می‌توان بسیاری از ویژگی‌های آن‌ها را شناسایی کرد و نتایج حاصل را برای تعیین پویایی یک منطقه بکار گرفت (چرچی و همکاران، ۱۳۹۰).

فلات ایران به سبب قرارگیری در بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا به لحاظ جایگاه ساختاری یکی از مناطق پویای زمین‌ساختی جهان است که رخداد زلزله‌هایی با بزرگی کم و زیاد خود شاهدهی بر این مدعاست (آلن و همکاران، ۲۰۰۴ و بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). تحلیل‌های فرکتالی متعددی برای ارزیابی فرآیندهای زمین‌شناختی در مناطق مختلف ایران انجام شده است. در این مطالعات رفتار گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها با تکیه بر ویژگی‌های آماری، هندسی و فرکتالی خطواره‌ها، آبراهه‌ها، زلزله‌ها و شواهد

هندسه فرکتالی (برخالی) از واژه لاتین فراکتوس به معنای سنگ گرفته شده است که به شکل نامنظم شکسته و خرد شده اشاره می‌کند (مندلبرت، ۱۹۶۷). داشتن مقیاس پایا و خودبسته از ویژگی‌های بسیاری از پدیده‌های زمین‌شناختی مانند توپوگرافی سطح زمین و بستر دریا، شبکه آبراهه‌ها، فرسایش، اندازه و فرکانس زلزله‌ها، خطواره‌ها، توزیع و فراوانی کانسارهای اقتصادی، اندازه و ارقام آماری میداین نفتی و... است (ویلسون و گالنت، ۲۰۰۰). از آنجا که مقیاس پایایی و خودهمسانی نقش اساسی در انتظام هندسه فرکتالی دارند، بنابراین این پدیده‌ها و ساختارها نیز جزء اشکال فرکتالی محسوب شده و از قوانین آن تبعیت می‌کنند (تورکات، ۱۹۹۷). با محاسبه بعد فرکتالی و چگونگی توزیع و تراکم

دو زیرپهنه کمر بند رانده یا زاگرس مرتفع در بخش داخلی و کمر بند زاگرس چین‌خورده ساده در بخش خارجی است (محل و فرگوسن، ۲۰۱۴، شکل الف). تاقدیس سپیدار در زاگرس چین‌خورده ساده در بین طول‌های جغرافیای  $35^{\circ} 00'$  تا  $53^{\circ} 22' 15''$  و عرض‌های جغرافیایی  $28^{\circ} 49' 00''$  تا  $29^{\circ} 10' 30''$  و در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کوشک، کوار و فیروزآباد قرار دارد. این تاقدیس با ۷۷ کیلومتر طول و پهنای ۸ تا ۱۰ کیلومتر با امتداد  $N50^{\circ}W$  در راستای شمال‌باختر- جنوب‌خاور کشیده شده است. گسل‌هایی مانند گسل خفر، گسل ناودانان و گسل سپیدار در اطراف تاقدیس سپیدار وجود دارند (شکل ب). یال شمالی تاقدیس دارای شیب کمتری نسبت به یال جنوبی می‌باشد. وجود سطوح مثلثی، انحراف آبراهه‌ها و الگوی زهکشی نشان‌دهنده زمین‌ساخت فعال در این منطقه است. رخنمون سطحی این تاقدیس در اغلب قسمت‌ها به ویژه در ارتفاعات از سازندهای آهکی و سخت آسماری و جهرم تشکیل گردیده است. البته در بعضی نقاط فرآیند فرسایش و گسل‌های پی سنگی باعث رخنمون سازندهای زیرین قدیمی‌تر پابده، گورپی، ایلام و سروک گردیده است. هم‌چنین، می‌توان به وجود رخنمون سازندهایی مانند آغاچاری، گوری، لهری، میشان، رازک، ساچون و گچساران در این تاقدیس اشاره کرد (حمزوی و فرضی پورصایین، ۱۳۹۳). رسوبات آبرفتی موجود در دشت و دامنه ارتفاعات با قابلیت نفوذ مناسب از شن و ماسه و رس تشکیل یافته است. این رسوبات اغلب از جنس ارتفاعات حاشیه دشت بوده و از فرسایش آن‌ها حاصل شده‌اند (شکل ب).

### ۳- روش مطالعه

آنچه در فرکتال مورد بررسی قرار می‌گیرد، محاسبه ابعاد فرکتالی برای عناصر هندسی است. در مفاهیم هندسی اقلیدسی ابعاد عناصر هندسی مانند نقطه، خط، صفحه و حجم اعداد صحیح ۰، ۱، ۲ و ۳ هستند، که نشان‌دهنده عناصر هندسی نامحدود می‌باشند. بنابراین  $D=1$  یک منحنی اقلیدسی را بیان می‌کند (نه لزوماً یک خط راست)،  $D=2$  بیانگر یک سطح اقلیدسی صاف و هموار (ضرورتاً نه یک صفحه)  $D=3$  بیانگر یک حجم اقلیدسی (لزوماً نه یک مکعب) می‌باشد (مندلبرت، ۱۹۷۷). در

ریخت‌زمین‌ساختی مورد بررسی قرار گرفته است (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶؛ خلیفه سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ علمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ مهرپویان و همکاران، ۱۳۹۲؛ چیت‌سازان، ۱۳۹۰؛ حاجی و رحیمی، ۱۳۸۹؛ زارعی و همکاران، ۱۳۸۹؛ کلانتری و خطیب، ۱۳۸۹؛ قجرلو، ۱۳۹۴). الگوی آبراهه‌ها، تراکم خطواره‌های بدست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و توزیع کانون سطحی زمین‌لرزه‌ها در تاقدیس سپیدار تغییرات محسوسی را نشان می‌دهند. آنچه در این پژوهش مورد کاوش قرار می‌گیرد بررسی توابع فرکتالی این تغییرات است که برای نخستین بار در این منطقه انجام می‌شود. با ارزیابی ابعاد فرکتالی بدست آمده میزان پویایی زمین‌ساختی در بخش‌های مختلف تاقدیس سپیدار مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ در ادامه به بحث و بررسی چرایی وجود تغییرات در ابعاد فرکتالی در طول تاقدیس با استفاده از شواهد و دلایل ریخت‌زمین‌ساختی پرداخته می‌شود.

### ۲- جایگاه زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه

کوهزاد زاگرس در جنوب و جنوب باختری ایران به عنوان بخش مرکزی کمر بند کوهزایی آلپ- هیمالیا به شمار می‌آید. این کمر بند چین‌خورده-رانده روی حاشیه شمال خاوری صفحه عربی و پی‌سنگ پرکامبرین واقع شده است. کوهزاد زاگرس با راستای NW-SE و طول ۲۰۰۰ کیلومتر از خاور گسل آناطولی شروع شده و در جنوب خاور توسط گسل میناب محدود می‌شود (فالكون، ۱۹۷۴ و علوی، ۱۹۹۴). این کمر بند در نتیجه فرورانش اقیانوس نئوتتیس و برخورد صفحات آفروربی- ایران مرکزی در کرتاسه پسین تا میوسن شکل گرفته است؛ این همگرایی بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی با نرخ  $2 \pm 22 \text{ mm/yr}$  در حاضر نیز ادامه دارد و منجر به رخداد کوتاه‌شدگی، دگرشکلی‌ها و دیگر فعالیت‌های ساختاری آن می‌شود (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴ و بربریان و کینگ، ۱۹۸۱).

تقسیم‌بندی‌های مختلفی بر اساس ویژگی‌های ساختاری، چین‌شناسی و... برای کوهزاد زاگرس انجام شده است. این کوهزاد از شمال خاور به جنوب‌باختر از سه کمر بند با امتداد ساختاری موازی تشکیل شده است: ۱- پهنه ماگمایی ارومیه- دختر، ۲- پهنه زمین‌درز زاگرس (شامل راندگی اصلی زاگرس، پهنه سندرچ- سیرجان و کمر بند افیولیتی)، ۳- کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس که شامل

$N$  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 تعیین کرد: (تورکات، ۱۹۹۷) (شکل ۴، الف). 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 در گام‌های بعدی خود به واحدهای کوچک-تری تقسیم می‌شود. در مطالعه تاقدیس سپیدار با استفاده از روش مربع شمار اندازه‌گیری ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها، خطواره‌ها و کانون سطحی زلزله‌ها بر پایه مربع اولیه به طول ۱۰ متر انجام گردید. در مراحل بعدی مربع‌هایی که معادل یک دوم، یک چهارم و یک هشتم طول مربع اولیه هستند به عنوان پنجره هدف برای شمارش پدیده‌ها در نظر گرفته شدند. این مربع‌بندی را می‌توان تا  $n$  مرتبه تکرار کرد، در این پژوهش تا چهار مرحله شمارش (با در نظر گرفتن ۱۶۰۰ پنجره هدف) انجام شده است.

طبیعت مادی همه عناصر محدود هستند، بنابراین ابعاد هندسی اقلیدسی نمی‌توانند به خوبی پدیده‌ها را معرفی کند و به مقایسه آن‌ها با یکدیگر بپردازد، اما ابعاد فرکتالی می‌تواند اعدادی اعشاری باشد، بدین ترتیب محدودیتی در اندازه‌گیری هیچ‌کدام از پدیده‌های طبیعی با این روش وجود نخواهد داشت زیرا که ماهیت پدیده‌های طبیعی زمین‌ساختی با عناصر اقلیدسی در تضاد هستند (چرچی و همکاران، ۱۳۹۰).

مجموعه فرکتال را به صورت زیر تعریف می‌شود:

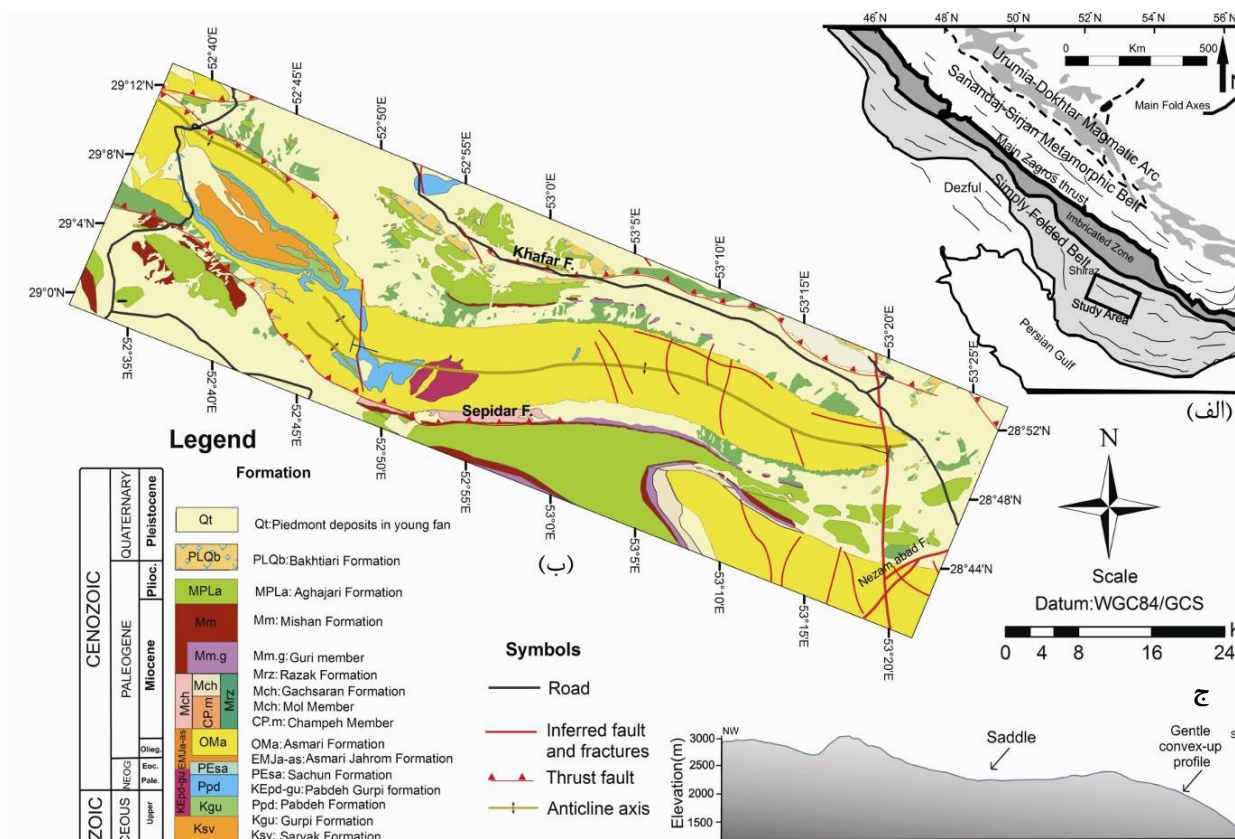
$$Ni = C/r_i^D \quad (1)$$

که در این رابطه  $r_i, Ni, C$  به ترتیب تعداد پدیده‌ها، بعد خطی ویژه، و ثابت رابطه و  $D$  بعد فرکتال است. این رابطه را می‌توان به صورت دیگر نیز بیان کرد: (تورکات، ۱۹۹۷)

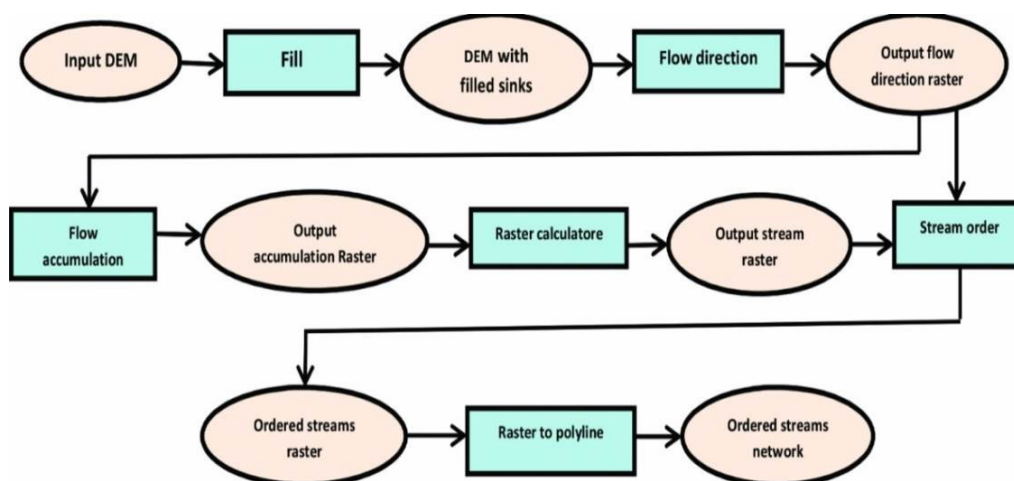
$$D = \frac{\log\left(\frac{N_{i+1}}{N_i}\right)}{\log\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)} \quad (2)$$

که در این معادله  $D$  بعد فرکتال،  $N$  تعداد پدیده‌ها،  $r$  طول مربع در هر مرتبه و  $i$  مرتبه است. شکل ساده تر از رابطه ۲ به صورت زیر است:

$$\log(Ns) = a + K \log(1/s) \quad (3)$$



شکل ۱. الف) نقشه واحدهای ساختاری کوهزاد زاگرس، ب) نقشه زمین‌شناسی تاقدیس سپیدار با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰ کوشک، فیروزآباد و کوار و ج) نیمرخ طولی توپوگرافی چین در امتداد شمال باختر-جنوب خاور.



شکل ۲. الگوریتم استخراج آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی

این ترتیب بهترین خط رگرسیون با معادله  $(1/s)$   $Log(Ns)=a+K log$  بدست می‌آید. در این رابطه  $K$  همان بعد فرکتالی است. اندازه‌گیری بعد فرکتالی آبراهه در این پژوهش بر پایه روش مربع شمار می‌باشد (شکل ۴ الف). تغییرات شاخص‌های  $N$  در ۲۵ شبکه اندازه‌گیری شده است (جدول ۱)، بدین منظور ۲۵ مربع به طول ۱۰ کیلومتر که دارای پراکندگی آبراهه در محدوده تاقدیس بودند، 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. در مراحل بعد به مربع‌هایی به طول ۵ کیلومتر،  $2/5$  کیلومتر و  $1/25$  کیلومتر تقسیم شده است (شکل ۴ ب). میزان شاخص  $N$  برای هر بخش شمارش شد اعداد بدست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است.

در این پژوهش پس از ۴ سری شبکه‌بندی، نمودار لگاریتمی- لگاریتمی ( $N$ ) بر پایه  $1/r$  برای هر یک از بخش‌ها رسم و ضریب  $X$  این نمودار به عنوان بعد فرکتالی آبراهه‌ها معرفی شد (شکل ۶).

### ۳-۳- بارزسازی و استخراج خطواره‌ها

پیشرفت‌هایی که در روش‌های سنجش از دور صورت گرفته فرصتی را فراهم آورده است تا در مطالعات زمین‌شناسی ساختاری بیش‌تر از گذشته مورد استفاده قرار گیرند. قابلیت پردازش تصاویر سنجش از دور و به طور خاص روش‌های شناسایی الگوهای نقطه‌ای، خطی و سطحی به طور گسترده‌ای، در مطالعات علوم‌زمین برای

۳-۱- استخراج آبراهه در محدوده تاقدیس سپیدار برای استخراج آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه به کمک نرم‌افزار ArcGIS از مدل رقومی ارتفاعی<sup>۱</sup> با توان تفکیک ۳۰ متر استفاده شد. الگوی آبراهه‌های استخراج شده در شکل ۲ قابل مشاهده است. در پهلوی شمالی تاقدیس الگوی چنگالی نامتقارن<sup>۲</sup> مربوط به آبراهه‌های نسل اول مشاهده می‌شود، به‌طوریکه شاخه‌های آبراهه نسبت به شیب توپوگرافی مایل هستند؛ در این الگوی آبراهه، نوک چنگال از شاخه‌های فرعی تشکیل شده که از سوی هسته اولیه تاقدیس منشأ می‌گیرند و با زاویه کمتر از ۹۰ درجه به شاخه اصلی که دسته چنگال را می‌سازد، متصل می‌شوند. آبراهه‌های نسل دوم که آبراهه‌هایی عمود بر شاخه اصلی و مستقیم هستند. آبراهه‌های خمیده موازی با محور چین در پهلوی شمالی و جنوبی دیده می‌شود؛ این آبراهه‌ها روزی در محل پلانژ چین قرار داشته‌اند. همچنین، یک آبراهه سینوسی نسبتاً عمیق را در پهلوی جنوبی به صورت مایل نسبت به شیب توپوگرافی اطراف قرار دارد (شکل ۳، ب و ج).

### ۳-۲- فرکتال آبراهه‌ها

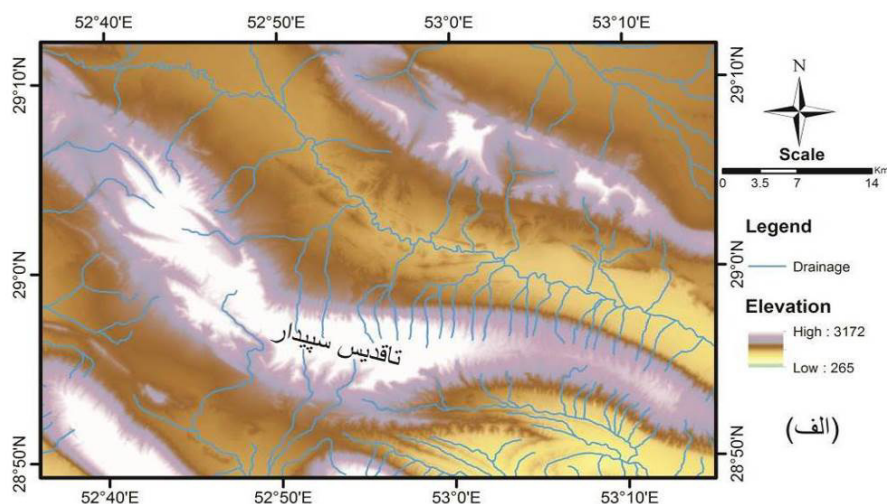
در این روش نقشه آبراهه‌ها را به شبکه‌های مختلف تقسیم کرده و تعداد مربع‌های حاوی ساختار آبراهه ( $N$ ) و اندازه طول مربع‌ها ( $r$ ) اندازه‌گیری می‌شوند. برای هر مربع نمودار  $Log(N)$  را برابر  $Log(1/r)$  رسم می‌شود و به

<sup>1</sup>Digital Elevation Model(DEM)

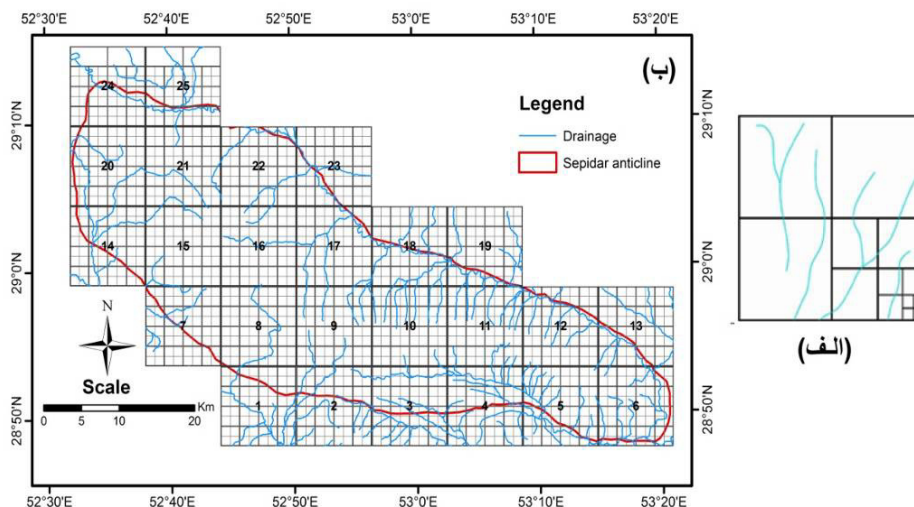
<sup>2</sup>Asymmetric forked pattern

مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ کوشک، فیروزآباد و کوار شد. سپس موزائیک کردن نیز روی این نقشه‌ها اعمال گردید و بعد از این مراحل رسم خطوطاره‌ها در نرم‌افزار Arc GIS آغاز گردید. نمودار جریانی از مراحل بارزسازی خطوطاره‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. پس از مقایسه با نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، خطوطاره‌های غیرساختاری، آبراهه‌ها و مرزهای لایه‌بندی حذف گردیده و نقشه خطوطاره‌های ساختاری تهیه گردیده است (شکل ۷).

استخراج عوارض خطی استفاده می‌شود (آرلگوئی و سوریانه، ۱۹۹۸؛ دژاردینز و همکاران، ۲۰۰۰؛ کورن و همکاران، ۲۰۱۰). در این پژوهش از تصاویر سنتینل 2A استفاده شده است. سپس به منظور واضح‌سازی تصویر و مشخص نمودن بهتر پدیده‌های مورد نظر فیلترگذاری با فیلترهای ۴۵، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ درجه صورت پذیرفت، که فیلتر ۱۸۰ درجه بهترین نمایش از عوارض را نشان داد. بعد از انجام فیلترگذاری تصاویر سنتینل، اقدام به جمع‌آوری نقشه‌های زمین‌شناسی با



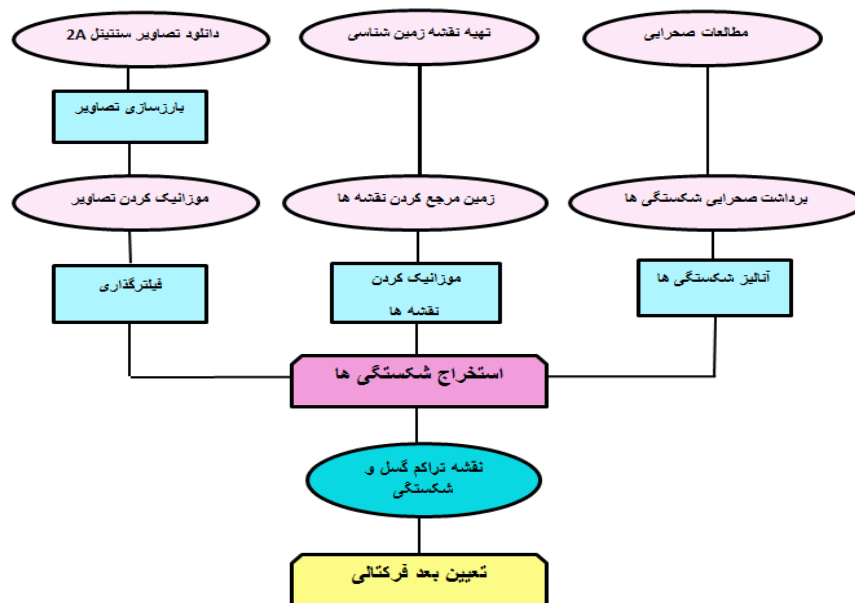
شکل ۳. الف) آبراهه‌های استخراج شده در منطقه مورد مطالعه بر روی مدل رقومی ارتفاعی، الگوی آبراهه‌های مشاهده شده از تصویر ماهواره ای Google Earth، ب) پهلو شمالی تاقدیس و ج) پهلو جنوبی تاقدیس.



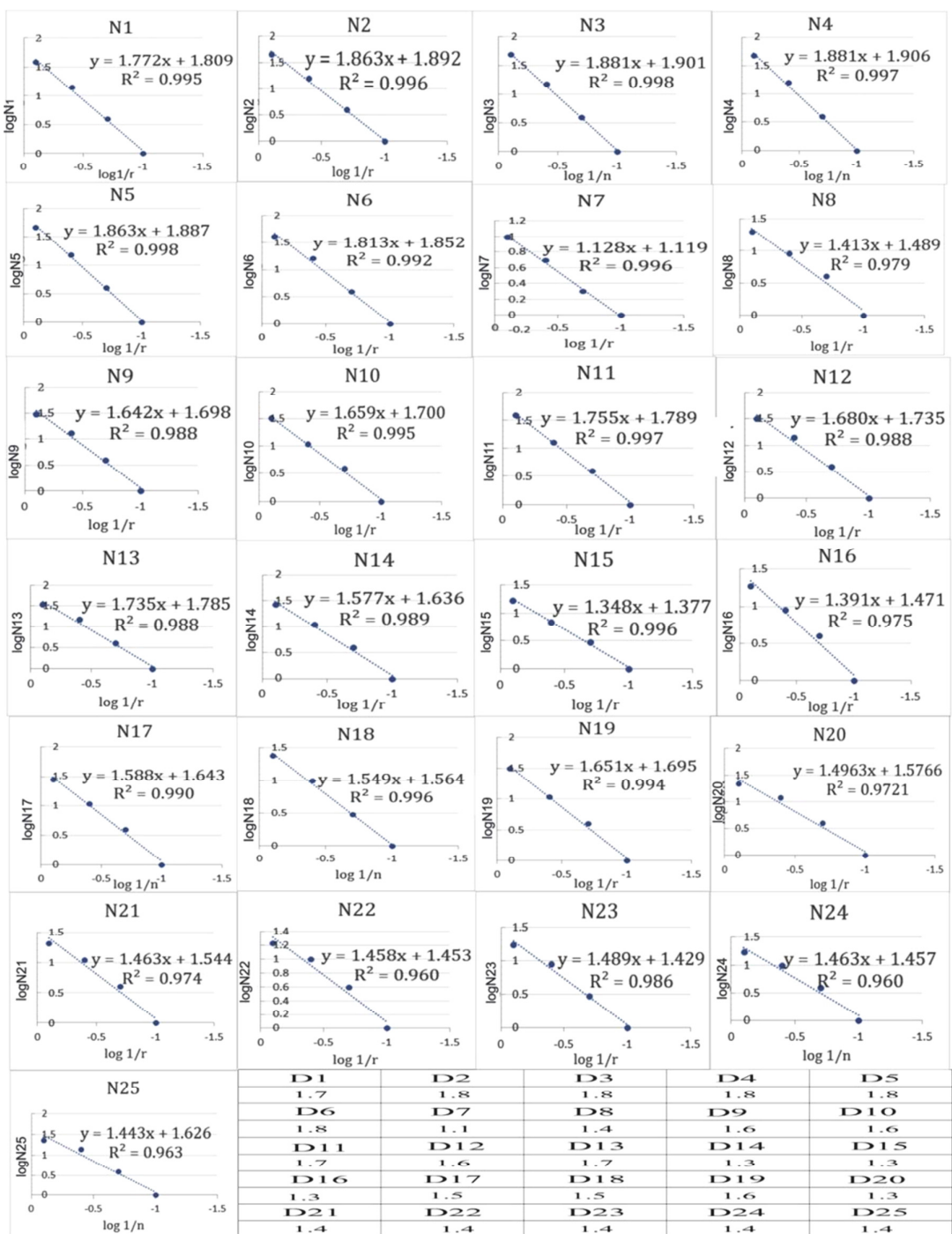
شکل ۴. الف) تصویر شماتیک از شبکه‌بندی آبراهه‌ها و ب) نقشه پراکندگی آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه جهت روش مربع شمار برای محاسبه بعد فرکتالی.

جدول ۱. محاسبه فراسنج‌های واکوی فرکتالی آبراهه ناقدیس سپیدار: ابعاد مربع‌ها ( $r$ ) و تعداد مربع‌های دارای آبراهه ( $N_i$ )

$r(Km)$	$1/r$	$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$N5$	$N6$	$N7$	$N8$	$N9$	$N10$	$N11$	$N12$	$N13$
۱۰	۰/۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۵	۰/۲	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۲	۴	۴	۴	۴	۴	۴
۲/۵	۰/۴	۱۴	۱۶	۱۵	۱۶	۱۵	۱۶	۵	۹	۱۳	۱۱	۱۳	۱۴	۱۵
۱/۲۵	۰/۸	۳۹	۴۶	۴۹	۴۸	۴۷	۴۱	۱۰	۲۰	۳۰	۳۳	۳۲	۳۹	۳۵
$r(Km)$	$1/r$	$N14$	$N15$	$N16$	$N17$	$N18$	$N19$	$N20$	$N21$	$N22$	$N23$	$N24$	$N25$	
۱۰	۰/۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	
۵	۰/۲	۳	۳	۴	۴	۳	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۴	
۲/۵	۰/۴	۷	۷	۹	۱۱	۱۰	۱۱	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۱۰	۱۴	
۱/۲۵	۰/۸	۱۶	۱۷	۱۹	۲۸	۲۴	۳۲	۲۲	۲۱	۱۷	۱۷	۱۷	۲۳	



شکل ۵. نمودار جریان‌ی بارزسازی و استخراج خطواره‌ها

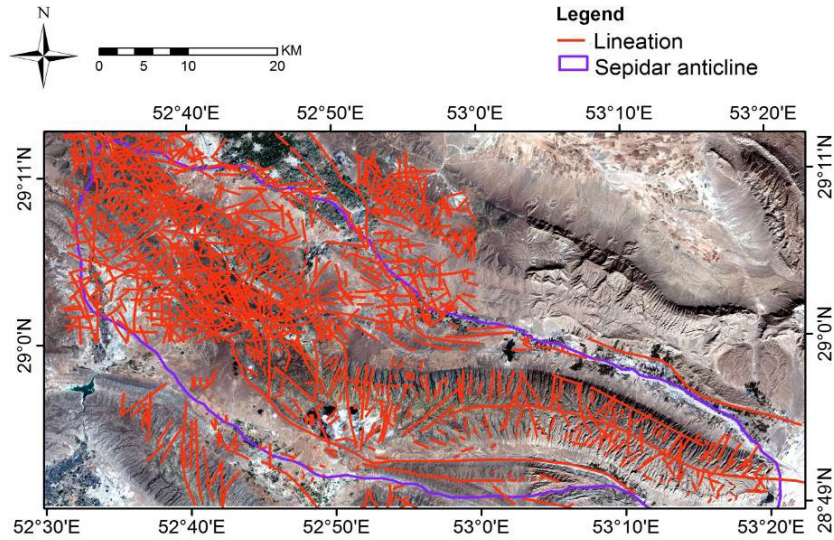


شکل ۶. نمودار لگاریتمی-عکس طول ضلع مربع‌های شمارش شده به تعداد مربع‌های دارای آبراهه، در جدول اعداد فرکتالی محاسبه شده آبراهه‌ها مشخص شده است.

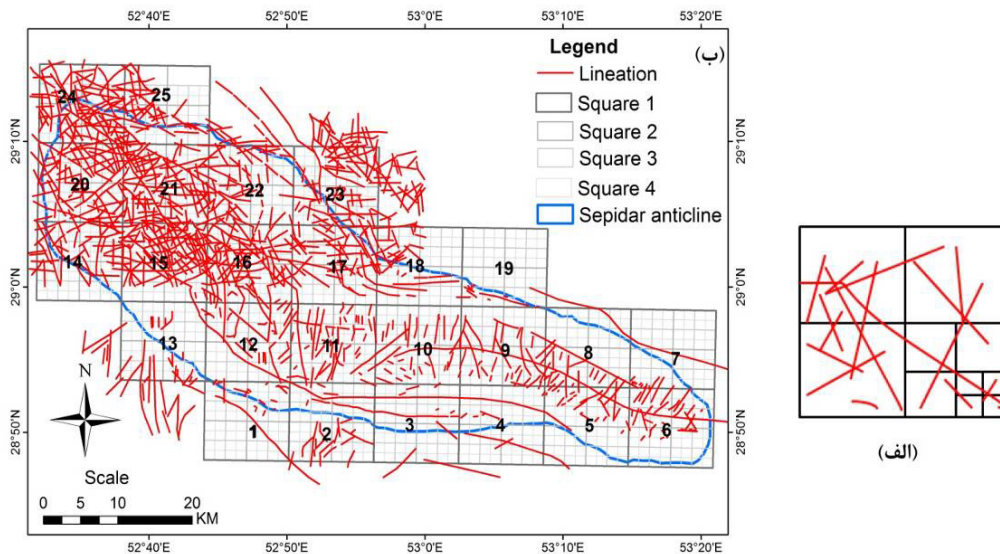
### ۳-۴- مطالعه فرکتال خطواره

توزیع فرکتالی خطواره‌ها و یا ابعاد فرکتال یک گسل بیانگر نحوه فعالیت گسل‌ها و خطواره‌ها و گسترش آن‌ها می‌باشد. روش محاسبه فرکتال خطواره‌ها، از همان روش محاسبه فرکتال آبراهه‌ها پیروی می‌کند. طرح شماتیکی

از نحوه شبکه‌بندی خطواره‌ها در شکل ۸ الف آمده است؛ هم‌چنین، نقشه شبکه‌بندی و فرانسج‌های تحلیل فرکتال حاصل از بررسی سامانه گسلی و خطواره‌های منطقه محاسبه (جدول ۲) و با رسم نمودارهای مربوط به هر پهنه یک بعد فرکتالی حاصل شد (شکل ۹).



شکل ۷. خطواره‌های استخراج شده از تصاویر موزاییک شده سنتینل 2A

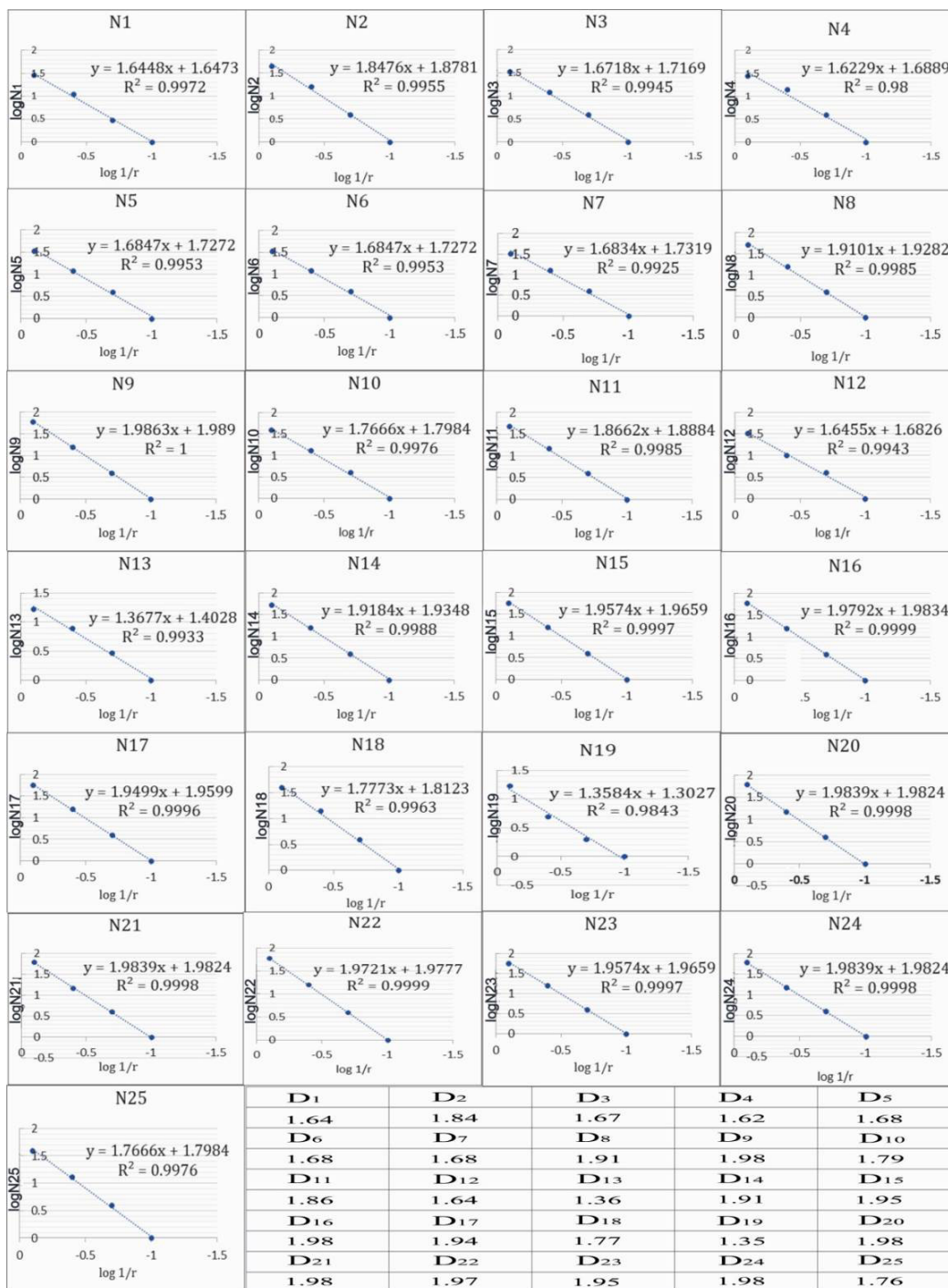


شکل ۸. الف) تصویر شماتیک از شبکه‌بندی خطواره‌ها و ب) نقشه خطواره‌های منطقه مورد مطالعه و شبکه‌بندی که در روش مربع شمار جهت به دست آوردن بعد فرکتالی رسم شده است.

جدول ۲. محاسبه فراسنج‌های تحلیل فرکتالی خطواره‌های تاق‌دیس سپیدار: ابعاد مربع‌ها ( $r$ ) و تعداد مربع‌های دارای خطواره ( $N_i$ ).

$r(Km)$	$1/r$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$N_8$	$N_9$	$N_{10}$	$N_{11}$	$N_{12}$	$N_{13}$
۱۰	۰/۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۵	۰/۲	۳	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳
۲/۵	۰/۴	۱۱	۱۶	۱۲	۱۴	۱۲	۱۲	۱۳	۱۶	۱۶	۱۴	۱۵	۱۰	۸
۱/۲۵	۰/۸	۲۹	۴۵	۳۳	۲۸	۳۴	۳۴	۳۳	۵۲	۶۲	۴۰	۴۸	۳۳	۱۷
$r(Km)$	$1/r$	$N_{14}$	$N_{15}$	$N_{16}$	$N_{17}$	$N_{18}$	$N_{19}$	$N_{20}$	$N_{21}$	$N_{22}$	$N_{23}$	$N_{24}$	$N_{25}$	
۱۰	۰/۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	
۵	۰/۲	۴	۴	۴	۴	۴	۲	۴	۴	۴	۴	۴	۴	
۲/۵	۰/۴	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۴	۵	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۵	۱۳	
۱/۲۵	۰/۸	۵۳	۵۸	۶۱	۵۷	۴۰	۱۷	۶۳	۶۳	۶۰	۵۸	۶۳	۴۰	





شکل ۹. نمودار لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌های شمارش شده به تعداد مربع‌های دارای خطواره، در جدول اعداد فرکتالی محاسبه شده خطواره‌ها مشخص شده است.

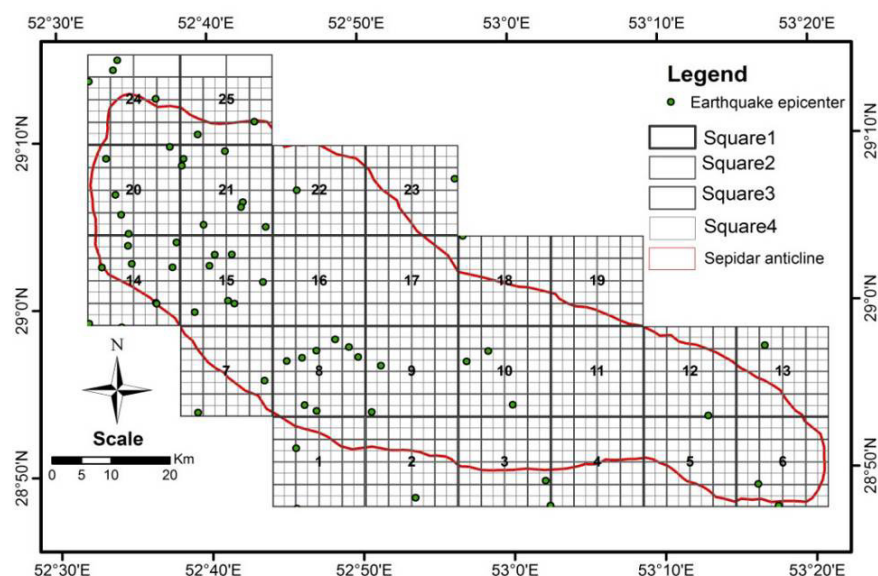
### ۳-۵- فرکتال زلزله‌ها

رخ نمی‌دهند بلکه روی گسل‌های متعدد و مرتبط نزدیک هم که شاخص‌ترین نوع خطواره‌ها بوده و ساختار فرکتالی دارند، به وقوع می‌پیوندند (کیگان، ۱۹۹۳). بر این اساس زلزله را می‌توان توسط یک ساختار ریاضی خود متشابه معرفی نمود. پارامتر فرکتالی که در چنین ساختار

در دانش لرزه‌زمین‌ساخت، فرکتال به عنوان روشی برای بررسی الگوی لرزه‌خیزی و ارزیابی فرآیندهای زمین‌ساختی که به طور عمومی دارای خواص فرکتالی‌اند بکار گرفته می‌شود. زلزله‌ها روی یک سطح یکپارچه واحد

بیش‌ترین رخداد زلزله در قسمت شمال باختر منطقه و کمترین زلزله‌ها در قسمت جنوب خاوری منطقه به ثبت رسیده است (شکل ۱۰). در محاسبه بعد فرکتال زلزله‌ها نیز مانند روش محاسبه بعد فرکتال آبراهه‌ها و خطواره‌ها عمل می‌شود (جدول ۳، شکل ۱۱).

ریاضیاتی خود متشابهی تعریف می‌شود، بعد فرکتالی زلزله نام دارد (حسن‌زاده، ۱۳۹۲). رخداد زلزله خرداد ۱۳۷۳ زنجیران با بزرگی موج حجمی ۹/۵ باعث شد که منطقه مورد مطالعه از نظر لرزه‌خیزی مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش داده‌های زلزله‌های بزرگ‌تر از ۳، از تاریخ ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۹ از سایت زلزله‌نگاری کشور استخراج گردید و مورد واکاوی فرکتالی قرار گرفت.



شکل ۱۰. نقشه پراکنندگی کانون سطحی زلزله‌های منطقه مورد مطالعه جهت روش مربع شمار برای محاسبه بعد فرکتالی.

جدول ۳. محاسبه فراسنج‌های تحلیل فرکتالی زلزله‌های تاقدیس سپیدار: ابعاد مربع‌ها ( $r$ ) و تعداد مربع‌های دارای زلزله ( $N_i$ ).

$r(Km)$	$1/r$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$N_8$	$N_9$	$N_{10}$	$N_{11}$	$N_{12}$	$N_{13}$
۱۰	۰/۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱
۵	۰/۲	۳	۱	۱	۱	۰	۱	۲	۳	۲	۲	۰	۱	۱
۲/۵	۰/۴	۳	۱	۲	۱	۰	۲	۳	۶	۲	۳	۰	۱	۱
۱/۲۵	۰/۸	۳	۱	۲	۱	۰	۲	۳	۸	۲	۳	۰	۱	۱
$r(Km)$	$1/r$	$N_{14}$	$N_{15}$	$N_{16}$	$N_{17}$	$N_{18}$	$N_{19}$	$N_{20}$	$N_{21}$	$N_{22}$	$N_{23}$	$N_{24}$	$N_{25}$	
۱۰	۰/۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	
۵	۰/۲	۴	۴	۰	۰	۱	۰	۳	۳	۱	۱	۲	۲	
۲/۵	۰/۴	۹	۷	۰	۰	۱	۰	۴	۵	۱	۱	۳	۲	
۱/۲۵	۰/۸	۹	۸	۰	۰	۱	۰	۵	۵	۱	۱	۴	۲	

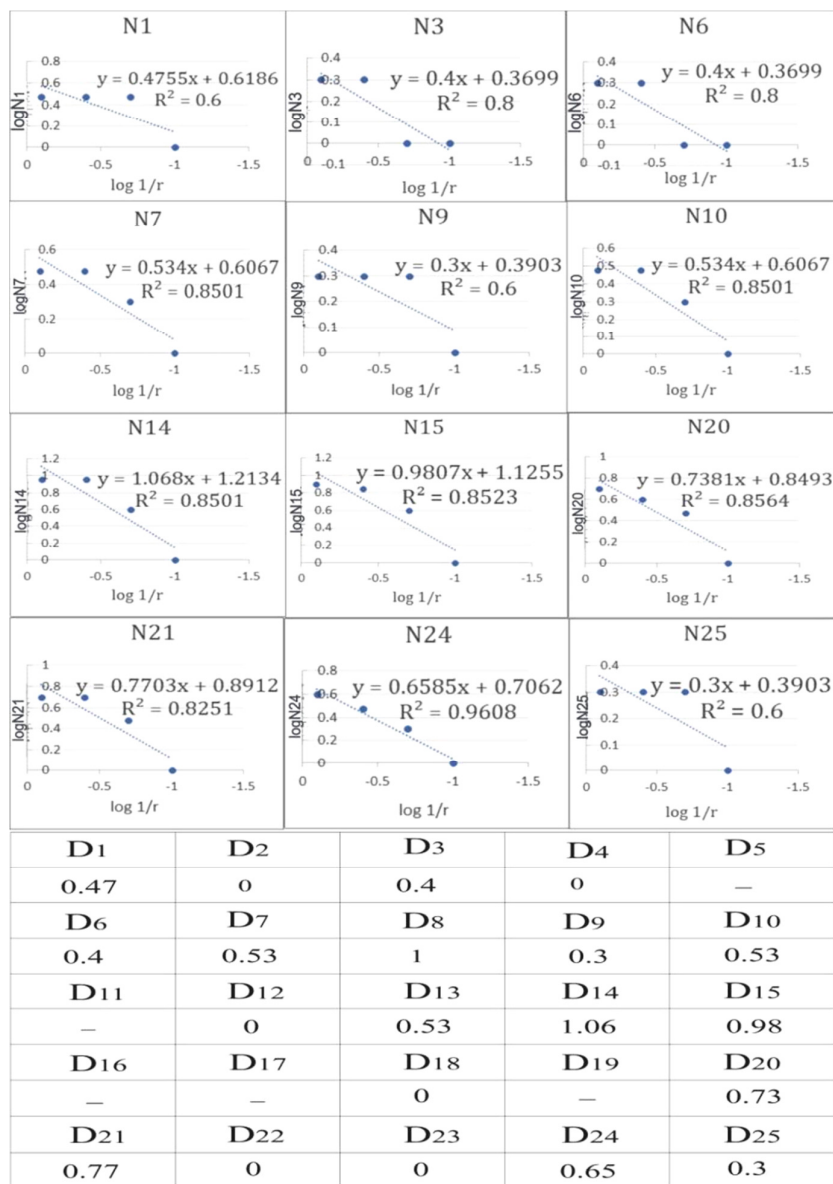
جزئیات این تغییرات مشخص می‌شود که روند تغییرات عدد فرکتالی توزیع آبراهه‌ها به سمت جنوب‌خاور افزایش می‌یابد. ابعاد فرکتالی آبراهه‌ها متأثر از عواملی مانند تغییرات توپوگرافی می‌باشد. هر چه توپوگرافی مرتفع‌تر باشد، الگوی آبراهه‌ها به سمت موازی و خطی بودن تمایل پیدا می‌کند، در این صورت بعد فرکتالی، کاهش

#### ۴- بحث

بررسی توزیع فرکتالی خطواره‌ها، کانون سطحی زلزله‌ها و آبراهه‌ها نشان می‌دهد که در بخش‌های مختلف تاقدیس سپیدار اعداد فرکتالی یکسان نیست و تغییراتی در افزایش و کاهش عدد فرکتالی در راستای جنوب‌خاور-شمال‌باختر مشاهده می‌شود (شکل ۱۲). در نگاهی به

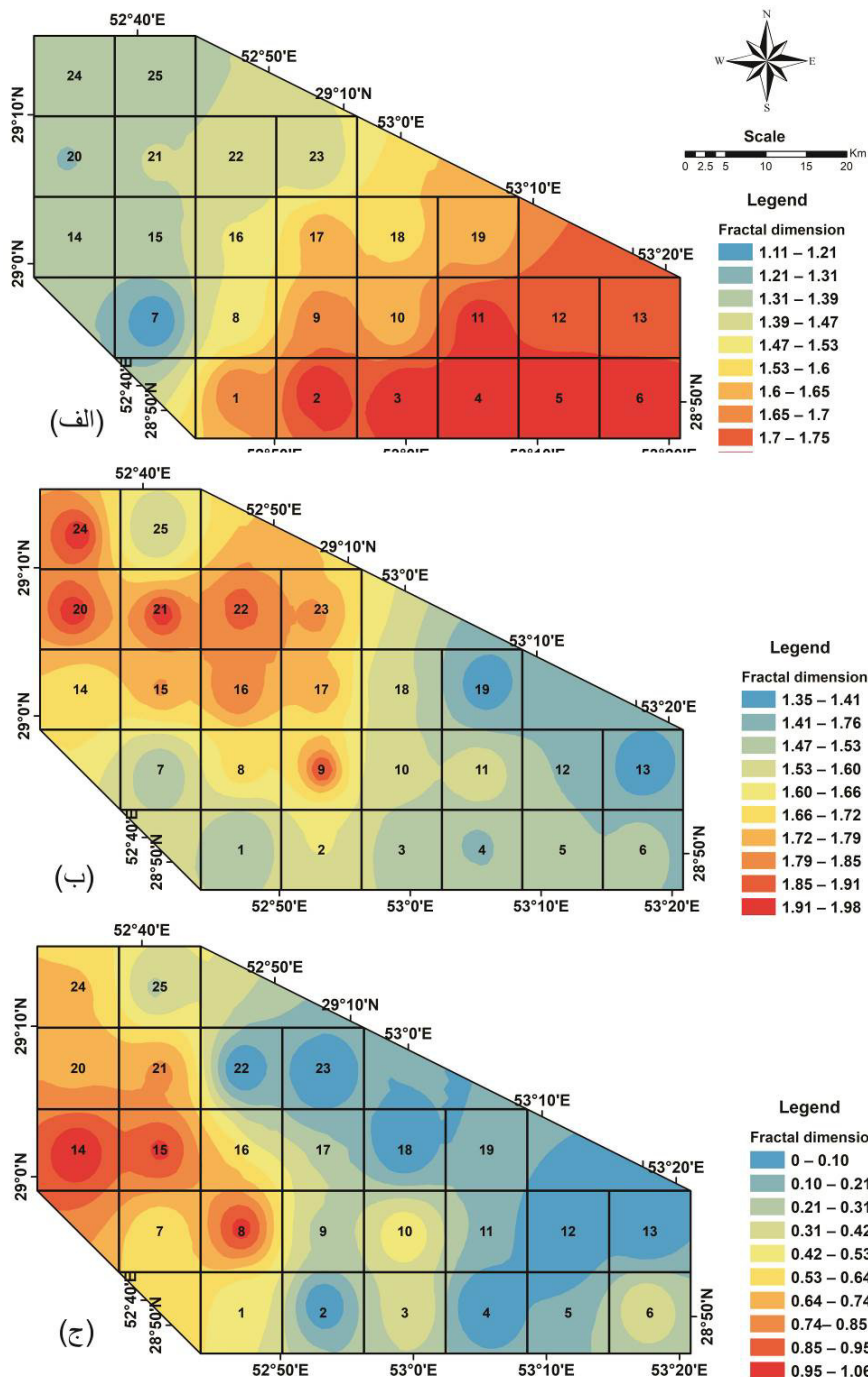
آبراهه‌ها الگوی تقریباً شعاعی دارند که نشان‌دهنده کاهش شیب آبراهه‌ها در هر قطعه می‌باشد. شکل و تراکم آبراهه‌ها و دره‌ها نتیجه‌ای از تغییرات زمین‌ریخت‌شناسی است که نشان‌دهنده اثرات سنگ‌شناسی، زمین‌ساخت و فرسایش موثر در شکل‌گیری زمین‌دیس‌ها است (استودارت، ۱۹۹۷؛ سانگ و چن، ۲۰۰۴؛ سانگ و همکاران، ۱۹۹۸ و بارو، ۱۹۸۱).

یافته و به عدد یک نزدیک‌تر می‌شود (شکل ۱۲ الف). بنابراین انتظار می‌رود که ارتفاع کوه‌ها در قسمت شمال باختری نسبت به بخش‌های جنوب‌خاوری بیشتر باشد که با آنچه در نقشه‌های توپوگرافی مشاهده می‌شود مطابقت دارد (کیساک، ۲۰۱۴، ۹۹-۱۱۰). کوچک‌تر بودن عدد فرکتالی آبراهه در شمال‌باختری تاقدیس حاکی از بالا بودن نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی در این بخش است. در بخش مرکزی چین، حالت زمین‌ساختی<sup>۱</sup> مشخصی را در طول قله چین می‌بینیم، در مکانی که



شکل ۱۱. نمودار لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌های شمارش شده به تعداد مربع‌های دارای کانون سطحی زلزله، در جدول اعداد فرکتالی محاسبه شده آبراهه‌ها مشخص شده است.

<sup>۱</sup> Saddle



شکل ۱۲. نقشه وزن معکوس فاصله از تغییرات عدد فرکتالی در تاق‌دیس سپیدار، الف) تغییرات عدد فرکتالی آبراهه، ب) تغییرات عدد فرکتالی خطواره و ج) تغییرات عدد فرکتالی کانون سطحی زلزله.

جنس سنگ‌ها می‌باشد، به طوری که هرچه سنگ‌ها شکننده‌تر باشند، بعد فرکتالی بزرگ‌تری را به ثبت می‌رسانند. هم‌چنین، به دلیل تحمل تنش‌های ناحیه‌ای بیش‌تر توسط سنگ‌های قدیمی‌تر، افزایش سن سنگ‌ها نسبت مستقیمی با افزایش بعد فرکتالی خطواره‌ها دارد

برخلاف توزیع آبراهه‌ها، عدد فرکتال خطواره‌ها و زلزله‌ها به سمت شمال‌باختر افزایش می‌یابد. هرچه بعد فرکتالی خطواره‌ها بیش‌تر باشد نشان‌دهنده افزایش تراکم خطواره و پویایی بیش‌تر محدوده مورد بررسی است. افزایش خطواره‌ها هم‌چنین تحت تاثیر پارامترهایی مانند سن و

جدیدی در منطقه تازه رشد یافته تشکیل می‌شود که آبراهه‌های نسل دوم نامیده می‌شوند. مراحل متوالی رشد جانبی سبب می‌شود که در هر مرحله بخشی از آبراهه‌ها از مسیر پیشین خود منحرف شده، به یکدیگر پیوندند و الگوی آبراهه‌های نامتقارن چنگالی را بوجود آورند (شکل ۱۳ب)، در این الگو هیچ‌گونه شاخه فرعی در سوی عکس رشد چین جریان ندارد و یا این که گسترش بسیار کمی دارند؛ در واقع، نوک چنگال‌ها محل تاقدیس جنینی و جهت رشد را نشان می‌دهند (لیدر و جکسون، ۱۹۹۳؛ رمزی و همکاران، ۲۰۰۸).

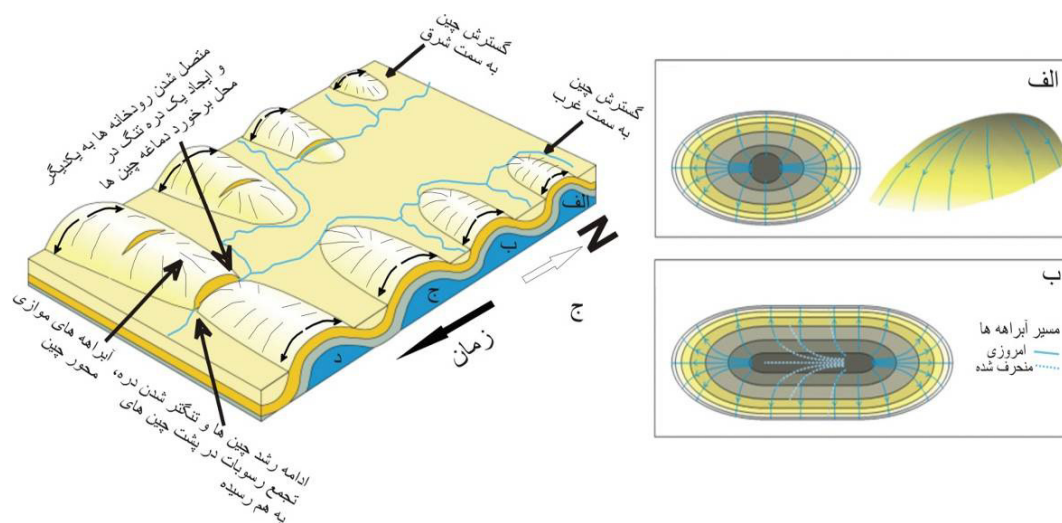
وجود ساختار زین‌اسبی در بخش مرکزی تاقدیس سپیدار در سنگ‌آهک‌های سخت آسماری نشان‌دهنده این است که این منطقه بالآمدگی کمتری نسبت به مناطق اطراف دارد (محاسبات بعد فرکتالی هم این موضوع را تایید می‌کند). هر چند در تاقدیس سپیدار رسوبات نرم میوسن- پلیوسن که شواهد زمین‌ریخت‌شناسی را در خود حفظ کرده باشند بر اثر فرسایش از بین رفته‌اند، اما رمزی و همکاران (۱۹۸۳) معتقدند که ساختار زین‌اسبی در محل پیوستن دو قطعه از چین بوجود می‌آید که به طور جانبی رشد کرده و بهم متصل شده‌اند (شکل ۱۳ج). اگرچه مهاجرت نمک‌های زیرین و خالی شدن این بخش می‌تواند منجر به شکل‌گیری حالت زین‌اسبی در سطح چین باشد، اما با این وجود نمی‌توان پیشنهاد گسترش جانبی در قطعه‌ها و سپس اتصال آن‌ها را از نظر دور داشت. هم‌چنین، وجود آبراهه سینوسی در پهلوی جنوبی تاقدیس می‌تواند بخشی از یک آبراهه قدیمی باشد که در آنجا جریان داشته و با اتصال دو قطعه به دام افتاده و از بین رفته است. با توجه به شواهد موجود نظیر تطابق تغییرات الگوی فرکتالی، آبراهه‌ها و توپوگرافی می‌توان استنباط کرد که تاقدیس سپیدار حاصل پیوند خطی ناشی از گسترش جانبی چین‌های اولیه است که منتج به شکل‌گیری یک چین نیمه‌استوانه‌ای به همراه ساختار زین‌اسبی در محل پیوند چین‌ها شده است (گریزمن و اشمالهولز، ۲۰۱۲)؛ چگونگی تغییرات عدد فرکتالی متأثر از الگوی ادغام چین‌های اولیه تاقدیس سپیدار است.

(سیلو و مالامود، ۲۰۰۶). هر چند بخش عظیمی از تاقدیس سپیدار و بخش‌های مورد بررسی توسط سازند سخت و آهکی آسماری (اولیگوسن- میوسن) پوشیده شده است، اما در بر اثر فرسایش در شمال‌باختری و در هسته تاقدیس بخش‌هایی از سازنده‌های پابده و گورپی (کرتاسه بالایی- ائوسن) و سروک (کرتاسه میانی) دیده می‌شود. وجود رخنمون این سازنده‌های قدیمی‌تر در سطح، همراه با گسل‌های عرضی و تاثیر گسل سپیدار می‌تواند دلیلی بر افزایش خطواره‌ها در بخش‌های شمال باختری باشد.

با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی به روش وزن‌دهی عکس فاصله<sup>۱</sup> تغییرات اعداد فرکتالی بدست آمده از توزیع آبراهه‌ها، خطواره‌ها و کانون سطحی زلزله‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱۲)؛ نقطه عطف تغییرات عدد فرکتالی در بخش مرکزی تاقدیس است و چرایی این موضوع باعث شد به تغییرات الگوی آبراهه‌ها و توپوگرافی به عنوان یک ابزار مناسب در مطالعه فعالیت‌های زمین‌ساختی توجه بیش‌تری داشته باشیم (کلر و پینتر، ۱۹۹۶؛ جکسون و همکاران، ۱۹۹۸؛ دلکایلا و همکاران، ۲۰۰۶؛ رمزی و همکاران، ۲۰۰۸). الگوی آبراهه‌ها در تاقدیس سپیدار از نوع چنگالی، آبراهه‌های موازی با خط‌الراس چین و آبراهه‌های جوان عمود بر دامنه‌هاست. آبراهه‌ها همواره در جهت حداکثر شیب توپوگرافی، عمود بر منحنی‌های میزان جریان می‌یابند. در تاقدیس‌ها آبراهه‌های قسمت‌های مرکزی چین معمولاً عمود بر محور چین یا خط لولا (پهنه لولایی؟) قرار می‌گیرند و با نزدیک شدن به دماغه تاقدیس به موازات محور و در جهت شیب دماغه جریان می‌یابند (شکل ۱۳ الف)، انتشار جانبی تاقدیس سبب می‌شود شیب توپوگرافی برای آبراهه‌هایی که در ناحیه دماغه پیشین تاقدیس قرار داشته‌اند کاهش یابد، بنابراین آبراهه‌ها برای هماهنگ شدن با شیب جدید از مسیر قبلی منحرف شده و عمود بر محور چین جریان می‌یابند. در واقع آبراهه‌های موازی با محور چین آبراهه‌های قدیمی هستند که روزی در پلانژ چین بوده‌اند، اما امروزه با رشد چین در بخش‌های داخلی قرار گرفته‌اند و وجود آن‌ها در کنار دره‌های خشک<sup>۲</sup> می‌تواند شاخصی قوی برای رشد چین‌ها باشد. با رشد چین، آبراهه‌های

<sup>1</sup> Inverse Distance Weighting

<sup>2</sup> Dry Valley



شکل ۱۳. الف) الگوی آبراهه‌ها برای چین بیضوی با دامنه‌های برجسته، ب) الگوی آبراهه‌ها بعد از گسترش جانبی چین و شکل‌گیری الگوی آبراهه‌های چنگالی و ج) شکل شماتیک از گسترش جانبی دو چین و ادغام آن‌ها با یکدیگر (برگرفته از رمزی و همکاران، ۲۰۰۸).

فعال بر توزیع و الگوی عناصر زمین‌ریخت‌شناسی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

#### ۶- سپاسگزاری

نظرات سازنده داوران محترم مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی باعث بهتر شدن این نوشتار گردید که از ایشان قدردانی می‌گردد.

#### منابع

- اسدی قجریلو، م.، خطیب، م.، موسوی، سید م. و یزدان‌پناه، ح (۱۳۹۴) بررسی فعالیت زمین‌ساختی قطعات گسلی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی و فرکتال آبراهه‌ها، گسل فعال اسماعیل‌آباد (خاور ایران). فصلنامه زمین‌ساخت، شماره ۱، سال چهارم، ص ۱-۸.
- چرچی، ع.، خطیب، م.، مظفرخواه، م. و برجسته، آ (۱۳۹۰) استفاده از تحلیل فرکتالی برای پویایی تکتونیک شمال منطقه لالی در شمال خاور خوزستان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱، ص ۳۷-۴۷.
- چیت‌سازان، م.، ترک قشقائی‌نژاد، س.، و اسدی، ن (۱۳۹۰) تحلیل فراکتالی آبراهه‌های تاقدیس بیرگ و مقایسه آن با روش پهنه‌بندی تراکمی GIS. دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ص ۱-۱۰.
- حاجی علی‌بیگی، ح.، ندایی، م.، سامانی، ب. و آرامشیان، و (۱۳۹۷) تحلیل ساختاری و ژئودینامیکی سیستم گسلی نفت، بر اساس هندسه و چگالی فرکتالی سیستم گسلی آن، باختر و جنوب باختر یزد. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲۷، ص ۹۵-۱۰۵.

#### ۵- نتیجه‌گیری

تاقدیس سپیدار در جنوب‌غرب زاگرس، در ناحیه فعال تکتونیک زاگرس چین‌خورده ساده قرار گرفته است. واکاوی کمی عدد فرکتالی با استفاده از روش مربع‌شمار برای اندازه‌گیری بعد فرکتالی آبراهه‌ها، شکستگی‌ها و زلزله‌های تاقدیس سپیدار انجام شده است. تغییرات ابعاد فرکتالی محاسبه شده در راستای شمال‌باختر- جنوب خاور نشان می‌دهد که پویایی تاقدیس سپیدار در بخش شمال باختری آن نسبت به بخش جنوب خاوری بیش‌تر است. عواملی مانند تغییر توپوگرافی، جنس و سن سنگ‌ها بر تراکم آبراهه‌ها و خطواره‌ها موثر است. بررسی تغییرات ارتفاع در امتداد محور چین وجود ساختار زین‌اسبی را در بخش میانی تاقدیس نشان می‌دهد که در این محل نسبت به مناطق مجاور بر خاستگی کمتری انجام شده است. محل تغییرات عدد فرکتالی در بخش میانی تاقدیس با ساختار زین‌اسبی ناشی از تغییرات توپوگرافی تقریباً تطابق دارد. با توجه به شواهد زمین‌ریخت‌شناسی مانند وجود آبراهه‌های چنگالی، دره‌های خشک و ساختار زین‌اسبی، مدل گسترش جانبی و پیوند خطی چین‌ها در تکامل تاقدیس سپیدار موثر بوده است که حاصل آن شکل‌گیری یک چین نیمه استوانه‌ای همراه با ساختار زین‌اسبی در محل ادغام چین‌هاست. نتایج بررسی روند تغییرات عدد فرکتالی در طول تاقدیس سپیدار تطابق خوبی را با محل ادغام چین‌های اولیه نشان می‌دهد که موید تاثیر زمین‌ساخت

- زاگرس با استفاده از داده‌های دورسنجی و تحلیل پویایی. نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۱، شماره ۲۱، ص ۱۲۵-۱۳۸.
- کلانتری، م.، و خطیب، م. م (۱۳۸۹) تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها و شکستگی‌ها در منطقه سفیدابه با استفاده از GIS. همایش ملی ژئوماتیک، ۱-۱۱.
- مهرپویان، م.، خطیب، م. م.، جامی، م.، ارجمندی، م. و میرزینلی‌یزدی، ح (۱۳۹۲) هندسه فرکتالی گسل‌ها و لرزه‌خیزی آذربایجان (شمال غرب ایران). نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۳، ۴۲-۵۱.
- Alavi, M (1994) *Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations. Tectonophysics*, 299: 211-238.
- Allen, M., Jackson, J., and Walker, R (2004) *Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. Tectonics*, 23, TC2008.
- Arlegui, L. E., and Soriano, M. A (1998) *Characterizing lineaments from satellite images and field studies in the central Ebro basin, NE Spain. International Journal of Remote Sensing*, 19: 3169-3185.
- Berberian, M., and King, G, C, P (1981) *Toward apaleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210-265.
- Burrough, P, A (1981) *Fractal dimensions of landscape and other environment data. Nature*, 294: 240-242.
- Cello, G., and Malamud, B, D (2006) *Review of: Fractal Analysis for Natural Hazards, Geological Society, Special Publication 261p.*
- 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.
- Delcaillau, B., Carozza, J.M., Laville, E (2006) *Recent fold growth and drainage development: the Janauri and Chandigarh Anticlines in the Siwalik Foothills, Northwest India. Geomorphology*, 76: 241-256.
- Desjardins, R., Iris, S., Roy, D. W., Lemieux, G. H. and Toutin, T (2000) *Éfficacité des données de RADARSAT-1 dans la reconnaissance des linéaments: un bilan. Canadian Journal of Remote Sensing*, 26: 537-548.
- Falcon, N. L (1974) *Southern Iran, Zagros Mountains, In: Spencer, A. M. (Ed.), Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts, Data for Orogenic Studies. Geological Society of London, Special Publication*, 4: 199-211.
- حاجی، ع.، و رحیمی، ب (۱۳۸۹) مطالعه الگوهای آماری و فراکتالی سیستم‌های شکستگی منطقه تکنار، ایران مرکزی بر روی نقشه رسم شده از روش‌های دورسنجی. مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۲۶، سال دوم، ص ۱۲۹-۱۳۶.
- حسن‌زاده، ب (۱۳۹۲) بررسی و تحلیل پارامترهای لرزه‌خیزی  $a$ ،  $b$  و بعد فرکتالی در کپه‌داغ مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، ۷۵ ص.
- حمزوی برمشوری، ز. و فرضی‌پور صابین، ع (۱۳۹۳) مطالعه شکستگی‌های سازند آسماری در تاق‌دیس سپیدار با تاکید ویژه بر روش‌های سنجش از دور. هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۴۵۹-۱۴۵۲.
- خلیفه سلطانی، ا.، علوی، ا. و قاسمی، م. ر (۱۳۹۵) بررسی نقش ساختارهای زمین‌شناسی در ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها آبراهه‌ها در جنوب‌باختری لنجان- اصفهان. مجله علوم زمین، شماره ۱۰۱، سال بیست و ششم، ص ۴۵-۵۶.
- زارعی، س.، مریدی فریمانی، ع.، خطیب، م. م.، اویسی، ب. و محمدخانی، س (۱۳۸۹) بررسی تغییرات نرخ برخاستگی در تاق‌دیس دالان به کمک تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها. کنفرانس ملی بررسی دستاوردهای علوم زمین، ص ۱-۱۱.
- سلطانی، ش.، قهرودی تالی، م.، و صدوق، س. ح (۱۳۹۸) کاربرد سنجش از دور و مدل ریاضی فراکتالی در بررسی رفتار و تغییرات لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی رودخانه ارس. پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، شماره ۴، سال هفتم، ص ۷۳-۹۲.
- صدر، ا. م.، علی‌پور، ر و قمریان، س (۱۳۹۷) بررسی نقش ساختارهای فعال زمین‌ساختی در ابعاد فرکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌های پهنه گسل حسن‌آباد، جنوب باختر قزوین. فصلنامه زمین‌ساخت، شماره ۵، سال دوم، ص ۳-۱۵.
- علمی‌زاده، ه.، ماه‌پیکر، ا.، و سعادت‌مند، م (۱۳۹۳) بررسی نظریه‌ی فرکتال در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای زربینه‌رود. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، سال سوم، ص ۱۴۱-۱۳۰.
- علی‌پور، ر.، صدر، ا. ح.، نظری‌دبیر، ح.، قمریان، س (۱۳۹۷) ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی کوه‌های کرین با استفاده از شاخص‌های مورفومتری و تحلیل الگوی فرکتالی، نیاوند، باختر ایران. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، سال هفتم، ص ۳۱-۵۶.
- علی‌پور، ر.، صدر، ا. و امینی، پ (۱۳۹۶) تحلیل پویایی تکتونیکی گسل مروارید در پهنه گسل جوان اصلی

- Kinematics in the Middle East Constrained by GPS Measurements in Iran and Northern Oman. Geophysical Journal International*, 157: 381-398.
- Wilson, J. P., and Gallant, J. C (2000.) *Terrain analysis: Principles and applications*, 512p.
- Wilson, T., and Dominic, J (1998) *Fractal interrelationships between topography and structure. Earth surface process and landforms*, 23: 509-525.
- Grasemann, B., and Schmalholz, S (2014) *Lateral fold growth and fold. linkage. geology*, 40: 1039-1042.
- Jackson, J., Van Dissen, R., Berryman, K (1998) *Tilting of active folds and faults in the Manawatu region, New Zealand: evidence from surface drainage patterns, New Zealand. Journal of Geology and Geophysics*, 41: 377-385.
- Kagan, Y, Y (2007) *Earth quake spatial distribution: the correlation dimension. Geophysical Journal International*, 168: 1175-1194.
- Keller, E. A., and Pinter, N (1996) *Active tectonic*, Prentice Hall: Saddle River, New Jersey, 339p.
- Kusak, M (2014) *Methods of fractal geometry used in the study of complex geomorphic networks. AUC Geographica*, 49: 99-110.
- Leeder, M, R., and Jackson, J, A (1993) *The interaction between normal faulting and drainage in active extensional basins: with examples from the western United States and central Greece. Basin Research*, 5: 79-102.
- Mandelbrot, B, B (1967) *How long is the coast of Britain: Science*, 156: 636-638.
- Mandelbrot, B, B (1977) *Fractals Form Chance and Dimension*, San Francisco: WH Freeman and Co. *Tectonophysics*, 299: 211-238.
- Mohajjel, M., and Fergusson, C, L (2014) *Jurassic to Cenozoic tectonics of the zagros orogen in northwestern Iran. International Geology Review*, 56: 263-287.
- Naimi- Ghassabian, N (2017) *Report of Earthquake  $M_w = 6.1$ . SefidSang Mashhad. DOI: 10.13140/RG.2.2.10927.94888*.
- Ramsey, L, A., Walker, R, T., Jackson, J (2008) *Fold evolution and drainage development in the Zagros Mountains of Fars Province, SE Iran. Basin Research*, 20: 23-48.
- Stoddart, D., R (1997) *Process and form in geomorphology*, Routledge, London, 395p.
- Sung, Q, C., and Chen, Y, C (2004) *Self-affinity dimension of topography and its implications in morphotectonics: an example from Taiwan. Geomorphology*, 62: 181-198.
- Sung, Q, C., Chen, Y, C., and Chao, P, C (1998) *Spatial Variation of Fractal Parameters and Its Geological Implications, TAO*, 9: 655-672.
- Turcott, D, L (1989) *Fractal in geology and geophysics: Pure Appl. Geophys*, 131: 171-196.
- Turcotte, D, L (1992) *Fractals and chaos in geology and geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge, 221p.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., and Chery, J (2004) *Present-Day Crustal Deformation and Plate*



***Evaluation of tectonic activity effect in the Sepidar anticline: insight from fractal analysis of drainage pattern, fractures and earthquakes epicenter, Zagros simply folded belt, Fars***

***Sh. Zare Bardeji<sup>1</sup>, S. Keshavarz<sup>2\*</sup>, M. Shahpasandzadeh<sup>3</sup> and R. Hasanzadeh<sup>4</sup>***

*1, 2, 3- Dept., of Earth Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman*

*4- Dept., of Ecology, Graduate University of Advanced Technology, Kerman*

*\* s.keshavarz@kgut.ac.ir*

***Recieved: 2019/12/23 Accepted: 2020/6/22***

***Abstract***

*Sepidar anticline in southwest of the Zagros, located in a tectonically active area, is delineated by the Sepidar, Sabzpoushan, Khafr and other active faults. This anticline has lost its cover of soft Miocene and Pliocene sediment and is now developed solely in the Asmari resistant limestone. Fractal dimensions of drainage pattern, fractures and earthquake in the Sepidar anticline show different values which varied in the NW-SE direction. Based on these variations, the northwestern parts of the fold have more tectonic activity than the southeastern parts. The transition between these parts correlated with saddle in the fold crest, which has undergone less uplift than the surroundings parts of the fold. Asymmetric forked drainage pattern, sinuosity drainage, and dry valley in the Sepidar flanks are geomorphological evidences of lateral propagation of folds. These geomorphological evidences and Inverse Distance Weighting (IDW) maps of fractal variations demonstrate the Sepidar anticline as a sub-cylindrical fold resulted from linear linkage with a saddle at the location where the two initial folds linked.*

***Keywords:*** *Fractal analyses, drainage pattern, earthquake, fractures, lateral fold propagation*