Archive of SID

بررسی رابطه بین بعد فراکتال و ویژگی‌های مورفومتریک شبکه‌زهکشی (مطالعه موردی: حوزه‌آبخیز دشت یزد- اردکان)

۱- مژده محمدی، دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۲- محمدرضا اختصاصی، استاد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
mr_ekhtesasi@yazd.ac.ir
۳- علی طالبی، استاد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۴- سید زین‌العابدین حسینی، استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۳
پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸

چکیده

الگوی شبکه‌های زهکشی جزء شاخص‌ترین چشم‌اندازهای سطح زمین محسوب می‌شوند که اساس بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی است. با توجه به خصوصیات ژئومورفولوژیکی منطقه، هر کدام از شبکه‌های زهکشی ویژگی‌های فراکتالی از خود نشان می‌دهند که به صورت کد یا عدد بدون بعد نشان داده می‌شود. در واقع، هندسه فراکتال زبان ریاضی است که به صورت، ابزاری کمی برای بررسی ژئومورفولوژی شبکه‌های زهکشی و مدل‌سازی بسیاری از پدیده‌های پیچیده طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابعاد فراکتالی شبکه‌زهکشی در حوزه‌های آبخیز، معرف میزان تشابه ژئومورفولوژیکی در بین آن‌ها است. در تحقیق حاضر، ابعاد فراکتالی شبکه‌زهکشی حوزه‌آبخیز دشت یزد- اردکان با استفاده از تعدادی از شاخص‌های مورفومتریک مورد بررسی قرار گرفت. همبستگی بین شاخص‌های مورفومتری و بعد فراکتال شبکه‌زهکشی محاسبه گردید. مقادیر عددی بعد فراکتال برای سه سازند زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به‌دست آمد که میانگین بعد فراکتال ۱/۱۴۹ نشان‌دهنده‌ی سازند آهک تفت، میانگین بعد فراکتال ۱/۱۶۱، بیان گر سازند گرانیت و مقدار ۱/۲۰۷نشان‌دهنده سازند کهر است. بیشترین مقدار عددی بعد فراکتال در سازند کهر(۱/۲۷۹) و کمترین آن در سازند تفت (۱/۰۴۶) محاسبه شد. نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد بین میانگین بعد فراکتال سه سازند زمین‌شناسی با اطمینان ۰/۹۹ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج روابط معنی‌داری بین ابعاد فراکتال شبکه‌زهکشی و شاخص‌های مورفومتریک نشان می‌دهد. بالاترین ضریب همبستگی متعلق به روابط رگرسیونی بین تراکم شبکه‌زهکشی و بعد فراکتال است (در سطح ۰/۹۹). در پایان می‌توان نتیجه‌گیری نمود که بعد فراکتال، شاخص نسبتاً دقیق در ارائه خصوصیات مورفومتریک و ژئومورفولوژیک شبکه‌های زهکشی است که جزئیات شکل و پیچیدگی‌های موجود در شبکه‌زهکشی را به صورت یک شاخص بدون بعد نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: بعد فراکتال؛ شبکه‌زهکشی؛ شاخص مورفومتریک؛ مناطق خشک.

مقدمه

در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ تحول بزرگی در شیوه‌ی درک و تبیین پدیده‌ها رخ داد. چرا که با مشاهده اشکال موجود در طبیعت مشخص شد که هندسه اقلیدسی قادر به تبیین و تشریح این اشکال نیست. تصور رایج در گذشته بر این اصل استوار بود که پدیده‌های موجود در طبیعت مجموعه‌ای از سیستم‌هایی هستند که مطابق با قوانین جبری و اقلیدسی به صورتی مشخص و قابل پیش‌بینی در حرکتند و به این دلیل با استفاده از سامانه‌های خطی قابل سنجش و اندازه‌گیری هستند. این در حالی است که مندلبرت[1] (۱۹۶۷) با صحبت از هندسه فراکتال نشان داد که هندسه اقلیدسی برای تشریح و تبیین اشکال پیچیده و به ظاهر بی نظم طبیعی، ناکارآمد است.

هندسه فراکتالی بیانگر یک الگوی تکرار شونده در اشیا و تصاویر است، یعنی اگر هر تصویر یا شکل دارای این خاصیت به قسمت‌های کوچکتر تقسیم شود، هر کدام از این قسمت‌های کوچکتر خود یک نسخه کوچک

1- Mandelbrot

www.SID.ir

Archive of SID

شده از شکل اولیه است. از این خاصیت به خود متشابهی[1] نیز تعبیر می‌شود. از نظر ریاضی، فراکتال‌ها مبتنی بر جایگذاری‌های مکرر در یک فرمول ریاضی بازگشتی هستند که با دفعات متعدد تکرار، هندسه و الگویی فراکتالی را تولید می‌کنند. یک فراکتال به عنوان یه شکل هندسی، بایستی دارای چند ویژگی زیر باشد: ۱) دارای خاصیت خود همانندی باشد؛ ۲) در مقیاس خرد بسیار پیچیده باشد؛ و ۳) بعد آن یک عدد صحیح نباشد زیرا الگوهای فراکتالی تحت دامنه محدودی از مقیاس‌ها گسترش می‌یابند [۵].

با استفاده از هندسه فراکتال با این نظریه که خیلی از پدیده‌های جهان طبیعت در عین بی نظمی دارای نظم هستند، می‌توان آن‌ها را به صورت یک عدد کمی هندسه فراکتال در آورد. در واقع هندسه فراکتال بیشتر برای مدل‌سازی استفاده می‌شود چرا که استفاده از محاسبات عددی برای پدیده‌های طبیعی کار دشواری است و حجم نمونه‌برداری و صحرایی زیادی را می‌طلبد. فراکتال یعنی جز جز شدن که شکل فراکتالی هر جز ثابت بوده و تکرار می‌شود، اگر معادله حاکم بر جز را به دست آوریم قابل تعمیم به کل خواهد بود. با استفاده از هندسه فراکتال می‌توانیم به ضرائبی دست یابیم که قابل تعمیم به سایر نقاط باشد و برای اندازه‌گیری متغیرهایی استفاده شود که اندازه‌گیری آن‌ها دشوار است [۲ و ۱۹].

نخستین بررسی‌ها در برای ایجاد مدل هندسی مناسب از شبکه رودخانه توسط هورتون[2] در سال‌های ۱۹۳۲ و ۱۹۴۵ صورت پذیرفت که مفهوم بعد فراکتالی شاخه‌های رودخانه وارد رابطه هورتون گردید[۱۵]. در دهه‌های اخیر، استفاده از هندسه فراکتال برای توصیف کمی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی افزایش یافته است [۹،۱۱،۲۳،۷،۸،۱،۱۶].

با توجه به خصوصیات ژئومورفولوژیکی منطقه، شبکه‌زهکشی ویژگی‌های فراکتالی از خود نشان می‌دهند که به صورت کد در آن‌ها ذخیره شده است [۲۰]. در حقیقت پدیده‌های ژئوفیزیکی مانند شبکه‌های زهکشی، پدیده‌هایی فراکتالی هستند که الگوی فراکتالی در رفتارهای آن‌ها قابل بررسی است.

گسترش تحقیقات ژئومورفولوژی در زمینه فراکتال باعث کشف و شناسایی ابعاد جدیدی از توانایی هندسه فراکتال در مدل‌سازی اشکال ژئومورفولوژیکی خواهد شد. در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای بررسی کاملی از دیدگاه هندسه‌ی فراکتالی برای مدل‌سازی شبکه رودخانه‌ای صورت گرفته است. این تحلیل‌ها بر اساس قوانین هورتون که با استفاده از نسبت انشعاب و نسبت طول رودخانه، و نیز قوانین طول و مساحت حوضه که فراکتال خودمتشابه را در الگوی رودخانه‌ها نشان می‌دهند، صورت پذیرفته است [۸].

در گذشته عمده‌ی تحقیقاتی که برای تعیین خواص فراکتال، برای کمی کردن پیچان‌رود شدن آبراهه‌ها و ضریب دو شاخه شدن شبکه‌های زهکشی صورت می‌گرفت بر روی شبکه‌های پراکنده انجام می‌شد. به همین منظور در سایر مطالعات علاوه بر شبکه‌های پراکنده، بعد فراکتال حوضه‌ها در شبکه‌های متراکم جریان محاسبه گردید و با مقایسه مقادیر فراکتال به دست آمده از حوضه‌های مختلف، میزان تنوع بعد فراکتال و تشخیص ماهیت فراکتالی حوضه‌های مورد مطالعه (خود متشابه یا خود وابسته) بررسی گردید. نتایج بررسی نشان داد که به‌طور گسترده‌ای ابعاد فراکتال متفاوت بوده و حوضه‌های مورد مطالعه بیشتر خود وابسته هستند [۲۵]. هم‌چنین با استفاده از بعد فراکتالی می‌توان رنگ رسوبات منبع رسوب را در یک حوضه کوچک تعیین کرد [۱۲]. در مطالعه‌ای با بررسی ساختار فراکتالی سیستم هیدروگرافی کاشوبیان در شمال لهستان، بعد فراکتال به دو روش فراکتال زمین‌ریختی و شمارش جعبه‌ای در هفت حوضه از ۳۰ زیر حوضه هیدروگرافی منطقه مورد مطالعه، به دست آمد. نتایج نشان داد که شبکه هیدروگرافی کاشوبیان هنوز در مرحله سازماندهی قرار داشته و بیشترین مرحله بلوغ شبکه هیدروگرافی در دامنه‌های جنوبی با ابعاد فراکتال ۱/۷۹ -۱/۹۷ قابل مشاهده است [۴].

1- Self-similarity
2- Horton

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی رابطه بین ابعاد فراکتال شبکه‌زهکشی و برخی از ویژگی‌های ژئومورفولوژی شبکه‌زهکشی نشان داد که بین بعد فراکتال و عواملی مانند شکل، مساحت، نسبت انشعاب و نسبت طول در حوضه‌ها رابطه معنی‌داری وجود دارد [۱۱]. علاوه بر این با افزایش بعد فراکتالی یک الگوی آبراهه‌ای از مرتبه X+1، تعداد و یا طول آبراهه‌ها از مرتبه X+1 افزایش می‌یابد [۱۴]؛ و این‌که بعد فراکتالی بالا معرف تراکم‌زهکشی بیشتر و زمان کمتر برای رسیدن به جریان دائمی است. همچنین هر چه بعد فراکتالی بیشتر باشد دبی اوج هیدروگراف خروجی نیز به همان نسبت بیشتر خواهد بود [۶].

هندسه فراکتالی می‌تواند به عنوان ابزار ریاضی مناسب برای بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ها به کار گرفته شود. تعداد انشعابات یک رودخانه از مرتبه‌های گوناگون، همچنین سطح و طول این انشعابات از رابطه توانی و فراکتالی پیروی می‌کنند. از این روابط می‌توان برای بررسی تغییرات انشعابات رودخانه‌ها و نیز بررسی شرایط حوضه، در گذر زمان بهره برد [۱۸].

در واقع، هندسه فراکتال یا همان زبان ریاضی طبیعت، ابزاری کمی برای بررسی ژئومورفولوژی شبکه‌های زهکشی و مدل‌سازی بسیاری از پدیده‌های پیچیده طبیعی است. در این مقاله، ابعاد فراکتالی شبکه‌زهکشی حوضه دشت یزد-اردکان با اندازه‌گیری تعدادی از شاخص‌های مورفومتریک مورد بررسی قرار گرفت و به منظور قوی‌تر شدن پایه‌ی بررسی کمی الگوی شبکه‌زهکشی بر روی سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، همبستگی بین این شاخص‌های مورفومتریک منتخب و بعد فراکتال شبکه‌زهکشی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

تحقیق حاضر از سه بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول، جمع‌آوری نقشه و داده‌های مورد نیاز است. در این بخش، نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰) حوضه مورد مطالعه تهیه و از میان سازندهای زمین‌شناسی حوزه‌آبخیز دشت یزد-اردکان، سه سازند زمین‌شناسی، کهر، گرانیت شیرکوه و آهک تفت انتخاب شد. انتخاب این سه سازند، به دلیل گستردگی مکانی و عدم پراکندگی آن‌ها است که این امر، امکان نمونه‌برداری تصادفی را در سطحی وسیع و همگن مقدور می‌سازد.

نمونه‌برداری در هر سازند با استفاده از پلات‌های ۱×۱ کیلومترمربعی انجام گرفت، انتخاب اندازه پلات ۱×۱ کیلومترمربعی به این دلیل در نظر گرفته شد تا بتوان با توجه به وسعت سازندهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه، میانگین دقیق‌تری از بعد فراکتال شبکه‌زهکشی ارائه داد. چرا که در اندازه‌های بیشتر، امکان حذف سازند زمین‌شناسی از روند مطالعاتی و عدم بررسی دقیق شبکه‌زهکشی وجود داشت. همچنین، در اندازه پلات‌های کمتر از ۱×۱ کیلومترمربعی، امکان بررسی تمامی رتبه‌های آبراهه‌ها وجود نداشت و شکل کاملی از یک شبکه آبراهه حاصل نمی‌شد. به همین منظور اندازه پلات ۱×۱ کیلومترمربعی انتخاب گردید و در هر سه سازند، به صورت تصادفی، تعداد ۳۳ پلات برای محاسبه بعد فراکتال شبکه‌زهکشی در نظر گرفته شد.

لازم به ذکر است که شبکه‌زهکشی برآوردی در سازندهای زمین‌شناسی مورد بررسی، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شده است. به همین منظور از داده‌ها و نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور به تعداد ۹ شیت، واقع در ۴ بلوک نائین (بلوک ۶۹)، اردکان (بلوک ۷۰)، آباده (بلوک ۷۹) و یزد (بلوک ۸۰) استفاده گردید.

بخش دوم، برآورد بعد فراکتال در ۳۳ پلات ۱×۱ کیلومترمربعی، سه سازند زمین‌شناسی، کهر، گرانیت شیرکوه و آهک تفت است. در هر سازند زمین‌شناسی بعد فراکتال به روش شمارش جعبه‌ای[1] با استفاده از نرم‌افزار فراکتالیز[2] محاسبه شد.

با استفاده از روش ترسیمی، تعداد پلات مورد نیاز در هر سازند، مشخص شد. به این ترتیب که ابتدا مقدار

1- Box Counting
2- Fractalyse

www.SID.ir

Archive of SID

میانگین بعد فراکتال دو پلات محاسبه می‌شود و این روند میانگین ۲ تایی‌های ادامه می‌یابد تا جایی که میانگین بعد فراکتال تغییری نداشته باشد و ثابت گردد. با رسم نمودار جایی که تغییر شیب (نقطه عطف نمودار) کاملاً مشخص و بعد از آن نقطه نمودار به مقدار ثابتی رسیده و فاقد نوسان است. به عنوان تعداد پلات مورد نیاز در نظر گرفته می‌شود.

سپس با مشخص شدن تعداد پلات مورد نیاز در هر سازند، میانگین بعد فراکتال در هر سازند به دست آمد. در ادامه، در تعداد پلات انتخابی هر سازند، شاخص‌های مورفومتریک که در ادامه جزئیات آن آورده شده است، محاسبه شد، و در بخش پایانی، به منظور قوی‌تر شدن پایه‌ی بررسی کمی الگوی شبکه‌زهکشی در سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، همبستگی بین شاخص‌های مورفومتریک منتخب و بعد فراکتال شبکه-زهکشی ارزیابی گردید.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه‌آبخیز دشت یزد-اردکان در مختصات جغرافیایی ´۴۸ °۳۱ تا ´۱۳ °۳۲ عرض شمالی و طول شرقی´۵۷ °۵۲ تا ´۵۹ °۵۴ فلات مرکزی ایران گسترده شده است (شکل ۱).

این حوضه یکی از مهم‌ترین حوضه‌های استان یزد از دیدگاه منابع طبیعی به شمار می‌رود و به‌وسیله رشته کوه‌های شیرکوه در جنوب، کوه هنگران و مرغ زرد در غرب، کوه‌های هفت آدمین و خونزا در شرق و کوه چک چک در شمال محصور گردیده است. این حوضه با شیب عمومی جنوب شرقی- شمال غربی در چاله سیاه کوه (حوزه‌آبریز) تخلیه می‌شود. تراکم پوشش گیاهی از صفر تا ۲۰ درصد متغیر بوده و بیش از ۴۰ درصد مساحت دشت را اراضی لخت و بدون پوشش گیاهی با تراکم کمتر از ۲ درصد در بر می‌گیرد. این منطقه به دلیل واقع بودن در زیر مرکز فشار زیاد جنب گرمسیری دارای بارندگی کم و نوسانات درجه حرارت زیاد است. جهت غالب وزش باد شمال غربی است و میزان بارش منطقه کمتر از ۶۵ میلی‌متر در حوالی کویر سیاه‌کوه تا بیش از ۲۵۰ میلی متر در ارتفاعات شیرکوه متفاوت است [۲۶ و ۲۷].

در حوضه مورد مطالعه آثار قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی مربوط به پرکامبرین تا جدیدترین آن یعنی پادگانه‌های آبرفتی و نهشته‌های ماسه‌بادی به چشم می‌خورد. قدیمی‌ترین سازند موجود در منطقه به صورت سنگ‌های دگرگونی متشکل از فیلیت، شیل و شیست سبز و سیاه سازند کهر مربوط به پرکامبرین است که غالبا در جنوب غرب یزد، در ارتفاعات خضرآباد (قوام‌آباد تا پناه‌کوه) قابل مشاهده است.

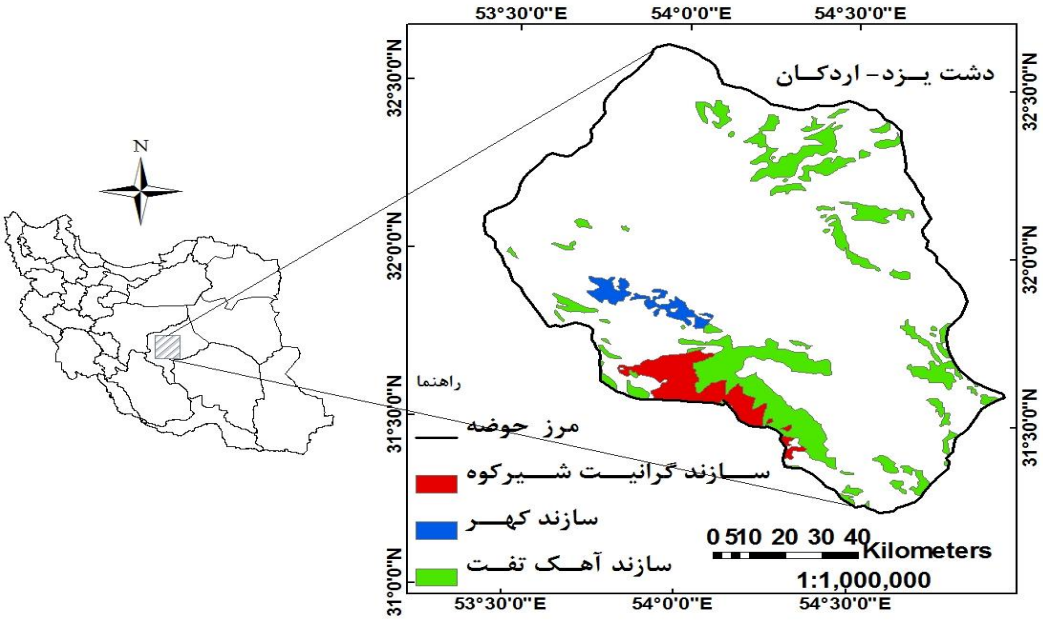
دوره ژوراسیک با رخساره‌های متنوع شامل شیل و ماسه‌سنگ و سنگ آهک از سازند نایبند و شمشک، سنگ آهک تیره ازسازند اسفندیار و نهایتاً گرانیت تا گرانودیوریت شیرکوه بخش وسیعی از مناطق کوهستانی حوضه را در برگرفته است. از بین رخنمون‌های سنگی فوق‌الذکر رخساره‌های گرانیت وگرانودیوریت هوازده شیرکوه به صورت توده‌سنگی تا برونزدسنگی بخش وسیعی ازمناطق کوهستانی جنوب و جنوب شرق یزد از ارتفاع ۱۸۰۰ متر تا ۴۰۵۰ متر قله شیرکوه را در برگرفته است.

دوره کرتاسه با رخساره آهکی مربوط به سازند غیر رسمی تفت نیز محدوده وسیعی از دامنه‌های شمالی جبال شیرکوه غالباً ارتفاعات ۱۶۰۰ تا ۴۰۰۰ متری را در بر می‌گیرد. این دوره به صورت سنگ آهک با لایه‌بندی منظم و دیواره مانند، کوهپایه‌های اسلامیه، فخرآباد و طزرجان و ده بالا در جنوب یزد، نرکوه وکوه میمون و چلتاش درجنوب شرق یزد وکوه‌های دربید، چک چک و هریش درشمال شرق اردکان را شامل می‌شود. این رخساره بعد ازگرانیت شیرکوه بخش وسیعی ازمناطق کوهستانی جنوب و جنوب شرق حوضه را در بر گرفته و به صورت واریزه‌های آواری و یا انحلال، درتشکیل نهشته‌های تخریبی و تبخیری دشت یزد-اردکان نقش مهمی را ایفا نموده است.

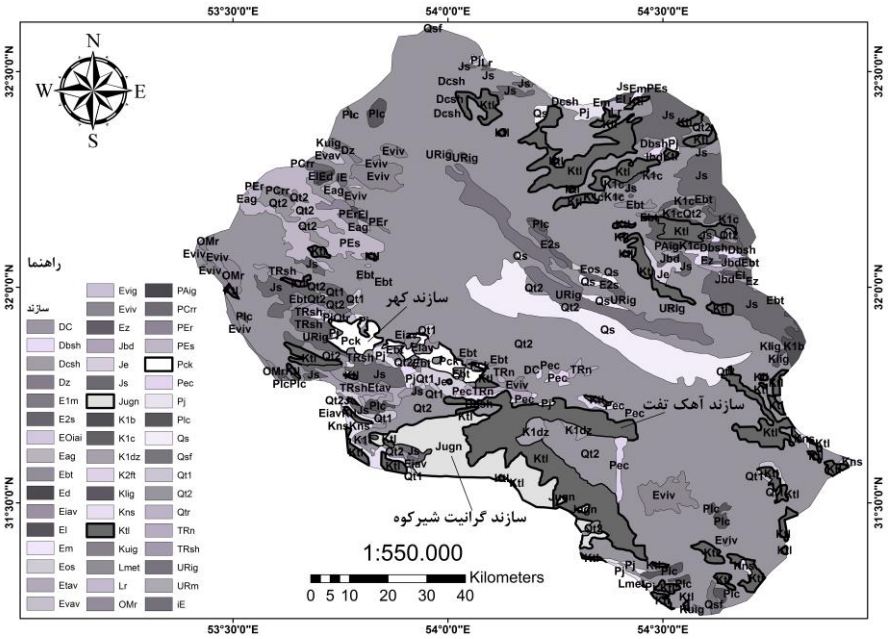
رخساره‌های ماسه‌سنگ وکنگلومرای سازند سنگستان دوره کرتاسه نیز به صورت محدود و پراکنده در دامنه‌های پناهکوه و معین آباد در جنوب غرب ندوشن دیده می‌شود (شکل ۲).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه‌آبخیز دشت یزد- اردکان در کشور و استان یزد



شکل ۲- پراکنش سازندهای زمین‌شناسی حوزه‌آبخیز دشت یزد- اردکان

هندسه فراکتال

هندسه فراکتال، که عنوان زبان ریاضی طبیعت بـر آن نهاده شده است، اهمیت زیادی در پیش‌بینـی و شـناخت رفتار پدیده‌های طبیعی دارد. مهم‌ترین ویژگـی فراکتـالی که در مورد این پدیده‌ها تحلیـل مـی‌شـود، بعـد فراکتـال است. اسـتفاده از مـدل‌هـای فراکتـالی و در نظـر گـرفتن ویژگی‌های نااقلیدسی در بررسـی و توصـیف پدیـده‌هـای ژئومورفولوژیکی طی ۲۰ سال اخیر بـه طـور چشـمگیری افزایش یافته است [۶]. واژه فراکتال توسـط منـدلبرت در سال ۱۹۶۷ برای توصیف اشیاء هندسی پیچیده که درجه بالایی از خود تشابهی دارند، ابداع شد. یک فراکتال، شکل هندسی است که می‌تواند به بخش‌هایی تقسیم شـود کـه هر کدام از آن‌ها یک رونوشت تعدیل یافته از لحاظ اندازه، از کل باشد. وقتی این اشیا را بزرگ‌نمایی شـوند بـه نظـر می‌رسد که بین اجزای آن‌ها تشابه دقیقی برقـرار اسـت و این شباهت جز به جز تا بی نهایت ادامه می‌یابد. هر کدام از فراکتال‌ها درجات مختلفی از خود تشابهی را پشـتیبانی می‌نمایند. در واقع هندسه فراکتال به مطالعه اجسامی که

www.SID.ir

Archive of SID

دارای الگوی تکرار شونده با مقیاس یکسان، خود متشابه و یا الگوی تکرار شونده با مقیاس‌های متفاوت، خود وابسته یا خود الحاقی[۶] در جهات مختلف می‌پردازد.

دیدگاه فراکتال سعی دارد با به‌کارگیری قواعد ساده تغییرات مقیاس به شبیه‌سازی رفتار پیچیده سیستم‌ها بپردازد. فراکتال یا رفتار فراکتالی در واقع رفتاری است که در طبیعت و هر چیزی وجود دارد که متمایل به داشتن حالت تعادلی است. طبیعت اگر چه به ذات خود هوشمند نیست، اما تغییرات خارجی که بر طبیعت اعمال می‌شود آن را به سمتی سوق می‌دهد که تغییر خارجی مذکور را خنثی کند. به همین دلیل یکی از معانی که برای رفتار فراکتالی قائل می‌شوند، تغییر رفتار برای رسیدن به تعادل کلی است. در این میان سیستم‌های ژئومورفیکی سیستم‌های بازی است دارای فرآیندها یا متغیرهای درونی و بیرونی که از طریق پراکنش انرژی در حالت موازنه و تعادل قرار می‌گیرد. از آن جایی که رخساره های ژئومورفولوژیکی دارای اشکال، اندازه و ابعاد خاصی است، نحوه آرایش فضایی این اشکال نسبت به یکدیگر تعیین کننده بسیاری از متغیرهای موثر و یکسان در شکل‌گیری آن‌هاست که با دقت در آن‌ها شاید بتوان فاکتورهای موثر را شناسایی کرد [۱۲]. از هندسه فراکتال در تعیین خصوصیات کمی و ویژگی‌های شبکه‌های زهکشی استفاده می‌شود. این در حالی است که محققان دیدگاه‌های متفاوتی از شکل شبکه‌زهکشی در مطالعات خود دارند. به طوری‌که بر پایه‌ی قانون هورتون، شبکه‌زهکشی و دره بعنوان فراکتال خود متشابه توصیف می‌شود [۱۶] و گروهی شکل شبکه‌زهکشی را خودالحاقی بیان می‌کنند [۱۴]. با بررسی فراکتال شبکه دره در کوهستان‌های اتیوپی، فراکتال شبکه‌زهکشی به ۲ گروه کلی تقسیم می‌شود [۱۳]:

۱) اشکالی که به وسیله ارتباط بین دره اصلی و دره‌های فرعی تعریف می‌شوند مثل شبکه‌های شاخه‌درختی، داربستی و راست گوشه قائم که شرایط اشکال خود متشابه را برآورده می‌کنند.

۲) اشکالی که بر پایه رابطه متقابل چند دره اصلی شکل می‌گیرند، مثل دره‌های موازی، شعاعی و حلقوی که در بردارنده شرایط اشکال خودالحاقی هستند.

از طرفی تعیین بعد فراکتال بر پایه‌ی تقسیم نسبت انشعاب بر نسبت طول- رتبه، دقت لازم را ندارد [۲۲]. این رابطه بر اساس قانون اول و دوم هورتون بنا شده است [۲۸ و ۲۹]. قانون هورتون شبکه‌زهکشی را خود متشابه می‌داند و در این قانون تمام مقادیر نسبت انشعاب و طول- رتبه برای تمامی رتبه‌ها یکسان برآورد می‌شود، در حالی‌که در واقعیت این گونه نیست [۳]. بنابراین، قوانین هورتون بیشتر مبنای ریاضی دارد تا کاربرد در دنیای واقعی [۲۲]، با این حال روش تعیین بعد فراکتال بر پایه‌ی تقسیم نسبت انشعاب بر نسبت طول- رتبه به‌عنوان روشی جهانی در تعیین بعد فراکتال مطالعات ژئومورفولوژیکی به کار گرفته می‌شود [۲۸ و ۲۹]. در بین روش‌های مختلفی که برای محاسبه بعد فراکتال ارائه شده، در صورتی‌که شبکه‌زهکشی به عنوان یک جسم خود متشابه در نظر گرفته شود، بهترین روش برای محاسبه بعد ، محاسبه بعد فراکتال به روش مرسوم است. اگر شبکه‌زهکشی را خودالحاقی یا خود وابسته در نظر گرفته شود، بهترین روش، محاسبه بعد فراکتال به شیوه شمارش جعبه‌ای است [۱۴].

روش شمارش جعبه‌ای

معروف‌ترین روش محاسبه بعد فراکتال، روش شمارش جعبه‌ای است. از این روش می‌توان برای محاسبه بعد فراکتالی تمامی عناصر، ابعاد و اشکال مختلف استفاده کرد و سرعت انجام محاسبات آن بیشتر از سایر روش‌ها است. علاوه بر این، الگوریتم آن قابلیت استخراج نتایجی با اطمینان بالا را فراهم می‌آورد [۵]. در این روش شبکه‌ای از خانه‌های مربع شکل روی تصویر مورد نظر قرار داده می‌شود. اندازه شبکه با (ε) مشخص می‌شود که معیاری از مقیاس است. تعداد مربعاتی که هر قسمت از منحنی مورد نظر را پوشش می‌دهد، محاسبه می‌شود. این کار برای مربعات با اضلاع مختلف تکرار می‌شود. حد نهایی این قسمت زمانی است که ε به صفر میل می‌کند.

1-Self-affined

www.SID.ir

Archive of SID

شمارش و حاصل این شمارش $N\varepsilon$ تعداد مربعات خواهد بود.

$$D = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\log(N\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)} \quad (1)$$

مرحله بعد ترسیم مقادیر $\log(N\varepsilon)$ در مقابل $\log(1/\varepsilon)$ است. شیب خط مستقیم که به بهترین وجه اطلاعات را به نمایش می‌گذارد تقریباً برابر بعد فراکتال است. بنابراین برای محاسبه بعد فراکتال، لازم است نمودار غیرخطی بعد فراکتال رسم شود. در این نمودار محور x ها اندازه شبکه و محور y ها نشان‌دهنده‌ی نقاط موجود در هر مربع است. سپس این نمودار با منحنی نظریه فراکتال برازش داده می‌شود تا همبستگی میان دو نمودار به دست آید. نرم افزار فراکتالیز از جمله نرم‌افزارهایی است که با آن می‌توان بعد فراکتال را به روش شمارش جعبه‌ای و سایر روش‌ها محاسبه نمود (شکل ۳).

شاخص‌های مورفومتریک شبکه‌زهکشی

مورفومتری و مورفولوژی به عنوان سنجش و توصیف کمی شکل‌ها و چشم‌اندازهای زمین تعریف شده‌اند. در ساده‌ترین شکل، شکل‌های تشکیل دهنده زمین با اندازه، ارتفاع (حداقل و حداکثر) و شیب مشخص می‌شوند. اندازه‌گیری‌های عددی به ژئومورفولوژیست‌ها اجازه می‌دهد، تا به طور عینی و ملموس شکل‌های مختلف را مقایسه و ارزیابی کرده، با محاسبه الگوها و شاخص‌های ژئومورفیک به تشخیص توصیفی خاص از ناحیه اقدام کنند. برخی از شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان ابزارهای اساسی برای ارزیابی شبکه‌زهکشی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در جدول ۱ آورده شده است.

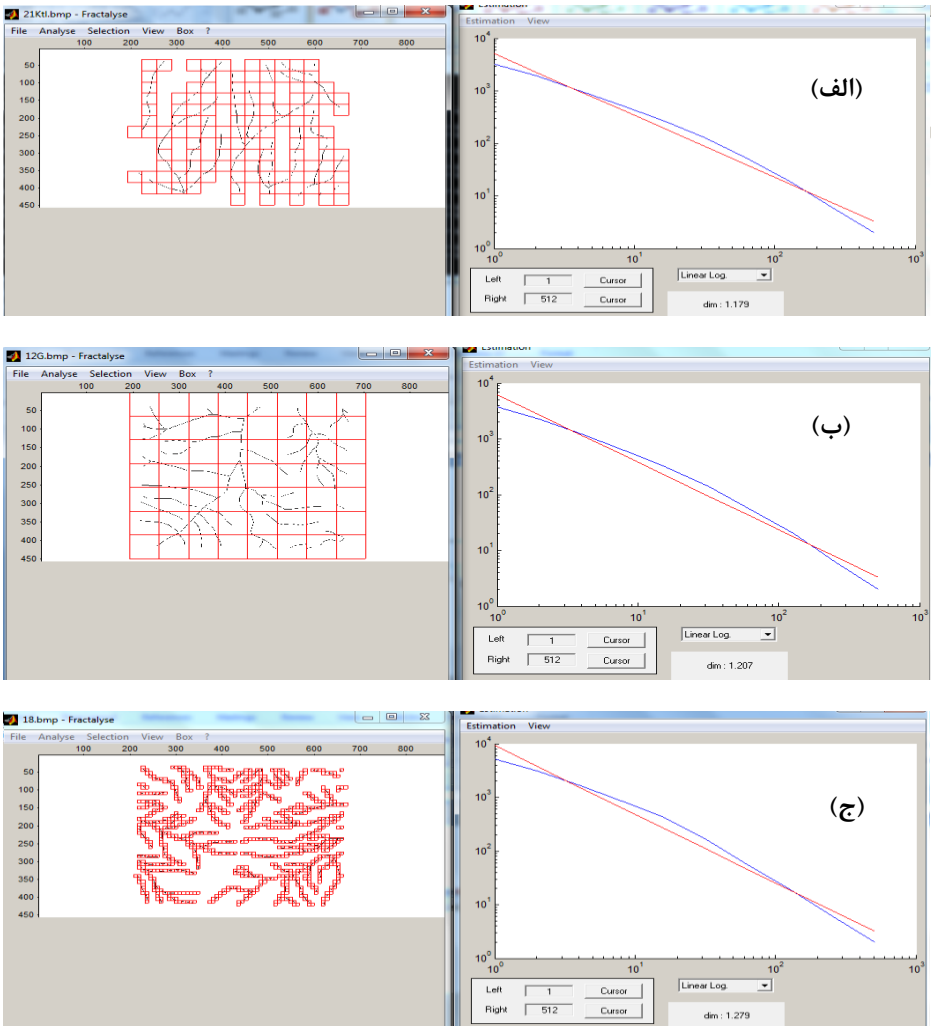
جدول ۱- شاخص‌های مورفومتریک شبکه‌زهکشی و دره [۱۴]

شاخص	نحوه محاسبه	تعریف
nx	-	تعداد رتبه‌های شبکه
Dd	$Dd = \sum Li / A$	Li طول آبراهه‌ها، A مساحت حوضه (تراکم زهکشی)
Fs	$Fs = \sum N / A$	Nتعداد کل آبراهه‌های هر بخش مشتمل بر همه رتبه‌ها و Aمساحت حوضه (فراوانی آبراهه)
Lx	Lx=tx/nx	متوسط طول رتبه x در شبکه‌زهکشی
HI	$HI = (h - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$	HI شاخص انتگرال هیپسومتریک[1]، H_{max} حداکثر ارتفاع، H_{min} حداقل ارتفاع و h میانگین ارتفاع حوضه
یکنواختی رتبه‌های آبراهه H or V	Lmax<3Lmin	آبراهه و دره‌هایی بر اساس این شاخص یکنواخت همگن محسوب می‌شوند که طول بلندترین آبراهه رتبه x دره از سه برابر طول کوتاهترین آبراهه با همان رتبه تجاوز نکند، در غیر این صورت آن رتبه آبراهه، متغیر در نظر گرفته می‌شود.

1-Hipsometric Integral (HI)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- محاسبه بعد فراکتال در نرم‌افزار فراکتالیز

الف) سازند آهک تفت، پلات ۲۱؛ ب) سازند گرانیت شیرکوه، پلات ۱۲؛ ج) سازند کهر، پلات۱۸.

نتایج و بحث

هندسه فراکتال با چارچوبی متمایز از هندسه اقلیدسی و با مدلی بر گرفته از طبیعت با استفاده از توابع تکرار پذیر و دور پذیر برای توجیه روندهای طبیعی از جمله شبکه‌های زهکشی به کار گرفته می‌شود.

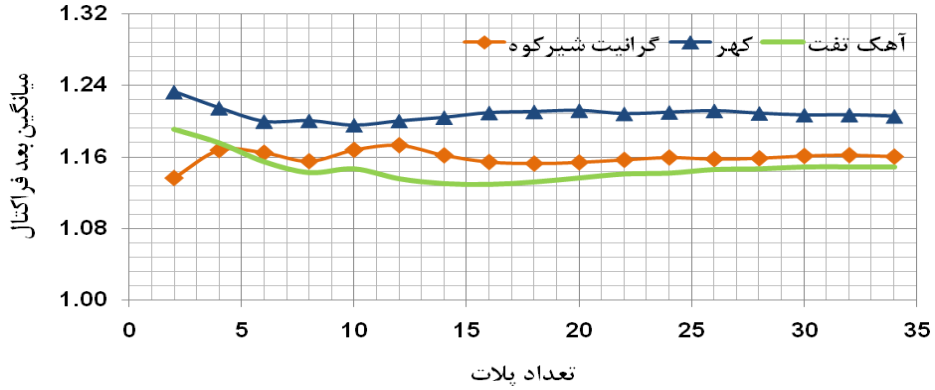
با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و توپوگرافی منطقه، آبراهه‌ها خواص فراکتالی از خود نشان می‌دهند که این خواص در خصوصیات و شکل ظاهری آبراهه‌ها کدگذاری شده است.

با در نظر گرفتن تعداد ۳۳ پلات ۱×۱ کیلومترمربعی در سه سازند، کهر، گرانیت شیرکوه و آهک تفت، میانگین‌بعد فراکتال و تعداد پلات مورد نیاز در هر سازند، برای انجام سایر محاسبات به دست آمد (شکل ۴). با توجه به نتایج، تعداد پلات لازم برای سه سازند زمین‌شناسی کهر، گرانیت شیرکوه و آهک تفت، به ترتیب، ۱۶، ۲۲ و ۲۶ عدد محاسبه شد (جدول ۲).

بیشترین بعد فراکتال در سازند کهر و کم‌ترین بعد فراکتال در سازند تفت به دست آمد. سازند کهر تناوبی از شیل و ماسه‌سنگ است که فاصله این دو لایه از هم بسیار کم است، به همین دلیل الگوی شبکه‌ی شاخه درختی در این سازند ایجاد شده است. در صورتی‌که فاصله‌ی لایه‌های شیل و مارن زیاد بود، امکان ایجاد شبکه‌زهکشی داربستی نیز وجود داشت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- نمودار تغییرات بعد فراکتال با تعداد پلات منتخب از هر سازند

لازم به ذکر است با توجه به لیتولوژی سازندها، الگوی شبکه‌زهکشی مشاهده شده بروی هر سه سازند زمین‌شناسی، الگوی شاخه‌درختی است. سازند کهر از نظر فرسایش‌پذیری، فرسایش‌پذیرترین سازند از میان این سه سازند محسوب می‌شود و متوسط بعد فراکتال آن، ۱/۲۰۷ است که بیشترین میزان بعد فراکتال است. دلیل بالابودن میزان بعد فراکتال این سازند، فرسایش‌پذیری و سن بالای آن (هر چه سن سازند بیشتر باشد به علت تحمل تنش‌های بیشتر و توزیع متفاوت محلی آن، تراکم آبراهه بیشتری دارد) است که منجر به تشکیل شبکه‌آبراهه متراکم با شاخه‌های متعدد شده است. مقدار پایین بعد فراکتال در سازند آهک تفت را می‌توان به دلیل همگنی که در این سازند وجود دارد و مقاوت بالای این سازند به فرسایش اشاره کرد. سازند گرانیت نسبت به سازند آهک تفت از مقاومت کمتری دارد و با توجه به وضعیت اقلیمی منطقه و قرارگیری آن در شرایط خشک و سرد، این سازند مستعد هوازدگی است و هوازدگی شدید، بصورت پدیده دانه‌دانه شدن و تولید مواد رسوبی ریزدانه عمل می‌کند. نکته‌ی حائز اهمیت دیگر، همخوانی و مطابقت تعداد پلات مورد نیاز و دامنه تغییرات بعد فراکتالی در این سه سازند است. به‌طوری‌که با افزایش دامنه تغییرات، تعداد پلات نیز آهنگ افزایشی دارد. کمترین دامنه تغییرات مربوط به سازند کهر است که کمترین تعداد پلات (۱۶ پلات) را برای محاسبه‌ی شاخص‌های مورفومتریک لازم دارد. اما بیشترین دامنه تغییرات متعلق به سازند آهک تفت است که بیشترین تعداد پلات (۲۶ پلات) را برای محاسبه میانگین بعد فراکتالبه خود اختصاص داده است. رفتار کارستیک سازند آهک تفت و تأثیر انحلال و فرسایش در دوره‌های گذشته، منجر به تشکیل آبراهه‌هایی با ابعاد و زوایای متنوع نسبت به دو سازند کهر و گرانیت شده که متأثر از فعالیت‌های فرسایشی هستند و به همین خاطر دامنه تغییرات در سازند آهک تفت بیشتر است. به منظور مقایسه تفاوت موجود بین میانگین بعد فراکتال سه سازند زمین‌شناسی و تعیین سطح معنی‌داری نتایج به دست آمده، از آزمون تجریه واریانس یک‌طرفه با استفاده از SPSS، استفاده گردید. چون سطح معنی‌داری از ۰/۰۱ کوچک‌تر است با اطمینان ۰/۹۹، بین میانگین بعد فراکتال سه سازند آهک تفت، گرانیت شیرکوه و سازند کهر اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۲- مقادیر آماری بعد فراکتال در سه سازند زمین‌شناسی

سازند	میانگین	حداقل	حداکثر	دامنه تغییرات	تعداد پلات
کهر	۱/۲۰۷	۱/۲	۱/۳	۰/۱۴	۱۶
گرانیت شیرکوه	۱/۱۶۱	۱/۰۷۳	۱/۲۲	۰/۱۵	۲۲
آهک تفت	۱/۱۴۹	۱/۰۴۶	۱/۲۰۷	۱/۱۶۱	۲۶

www.SID.ir

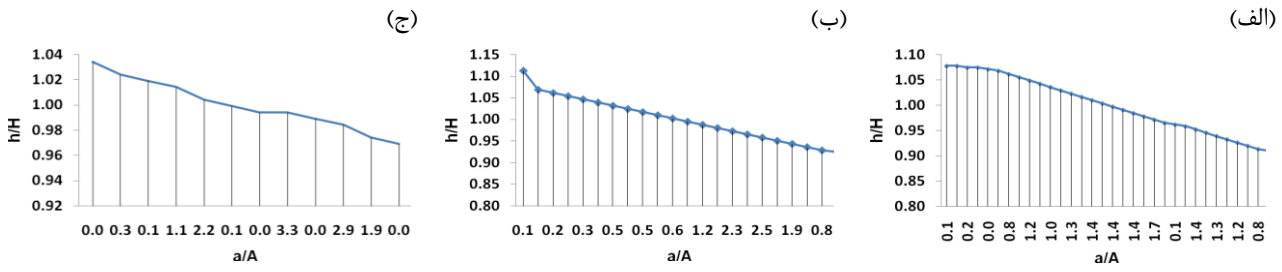
Archive of SID

در ادامه به منظور بررسی توزیع ارتفاعی پلات‌ها، ابتدا نقشه توپوگرافی هر کدام از پلات‌ها در نرم افزار ArcGIS رقومی و نقشه شیب استخراج گردید. بررسی‌ها نشان داد که شیب‌های بالای ۴۰ درصد، در حدود ۶۰ درصد مساحتی سازند تفت را به خود اختصاص داده است، سازند گرانیت شیرکوه در حدود ۵۰ درصد و در سازند کهر، در کلیه‌ی پلات‌ها مقدار شیب کمتر از ۴۰ درصد برآورد شد. این مسئله اثر پذیری بعد فراکتال را از شیب منطقه نشان می‌دهد به گونه‌ای که در سازند مقاوم آهک تفت به طرف سازند بسیار حساس کهر، میزان شیب کاهش یافته، اما میزان بعد فراکتال افزایش داشته است. بنابراین، مقدار شیب رابطه‌ای مستقیم با درجه مقاومت لیتولوژی دارد. شیب‌های زیاد در لیتولوژی مقاوم فرصت نفوذ و تراکم آبراهه را از منطقه می‌گیرند، و از این رو تراکم آبراهه در آن‌ها کم‌تر و بعد فراکتال پایین‌تر است (جدول ۳).

شاخص مورفومتریک بعدی، انتگرال هیپسومتری HI است که مقادیر آن، توزیع منطقه‌ای ارتفاع ناهمواری و مراحل تحول حوضه‌زهکشی را در چرخه فرسایشی بیان می‌کند [۲۱]. به‌طوری که مقدار انتگرال بزرگتر از ۰/۵ با منحنی محدب به توپوگرافی جوان چشم‌انداز (به صورت زمین‌های مرتفع با دره‌های عمیق) اشاره دارد. مقدار انتگرال ۰/۵-۰/۴ و شکل سیگموئید و پیچ و خم‌دار منحنی، مرحله بلوغ ناهمواری‌ها را نشان می‌دهد و در نهایت مقدار کم این شاخص (کوچکتر از ۰/۴) با منحنی مقعر مرحله پیری حوضه‌زهکشی را نمایش می‌دهد. نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص انتگرال هیپسومتریک در منطقه مورد مطالعه نشان داد که تمامی پلات‌ها در هر سه سازند زمین‌شناسی مقداری بین ۰/۴ تا ۰/۵ را به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهنده توپوگرافی بالغ و منحنی مقعر- محدب در منطقه مورد مطالعه است. البته در تعدادی از پلات‌ها که شامل هر سه سازند نیز می‌شود، شاخص HI، مقدار ۰/۵۵ را نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از کنده‌شدن تازه یک سطح با سن متوسط نهشته‌گذاری باشد (شکل ۵). در ادامه، رتبه‌بندی شبکه‌های زهکشی استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی، به روش استراهلر انجام شد و شاخص‌های مورفومتری شبکه‌زهکشی شامل: تعداد و طول رتبه‌ها، تراکم‌زهکشی، فراوانی رتبه‌ها، متوسط طول رتبه‌ها و یکنواختی رتبه‌های آبراهه به دست آمد، و همبستگی بین بعد فراکتال (متغیر وابسته) و شاخص‌ها (متغیر مستقل) بررسی شد.

جدول ۳- مقادیر آماری بعد فراکتال و شیب در سه سازند زمین‌شناسی

سازند	میانگین بعد فراکتال	شیب	
		<٪۴۰	>٪۴۰
کهر	۱/۲۰۷	۱۰۰	-
گرانیت شیرکوه	۱/۱۶۱	۵۲	۴۸
آهک تفت	۱/۱۴۹	۴۰	۶۰

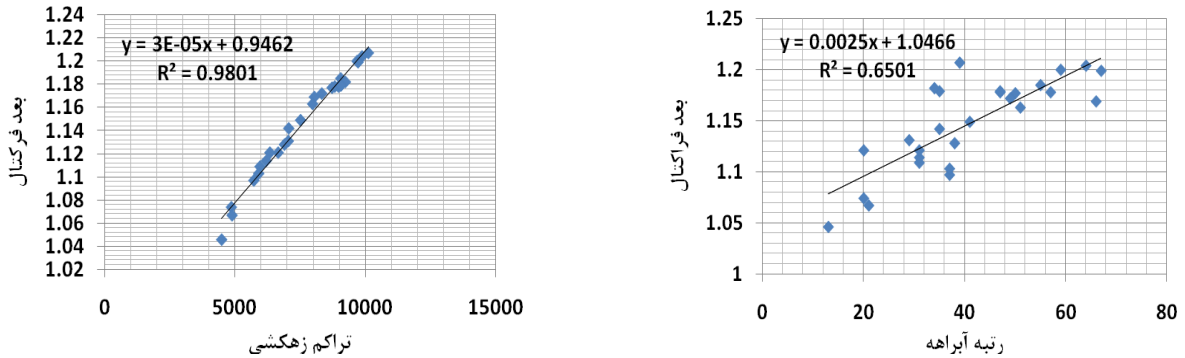


شکل ۵- شاخص انتگرال هیپسومتری HI الف) سازند آهک تفت ب) سازند گرانیت ج) سازند کهر

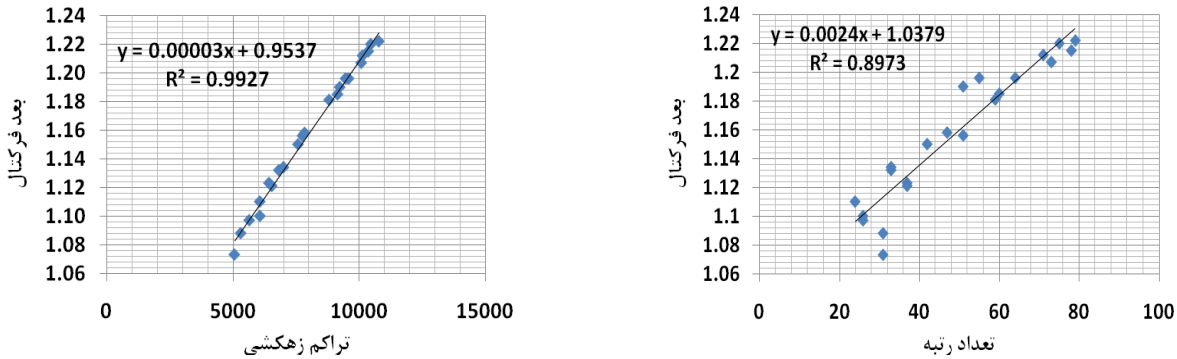
www.SID.ir

Archive of SID

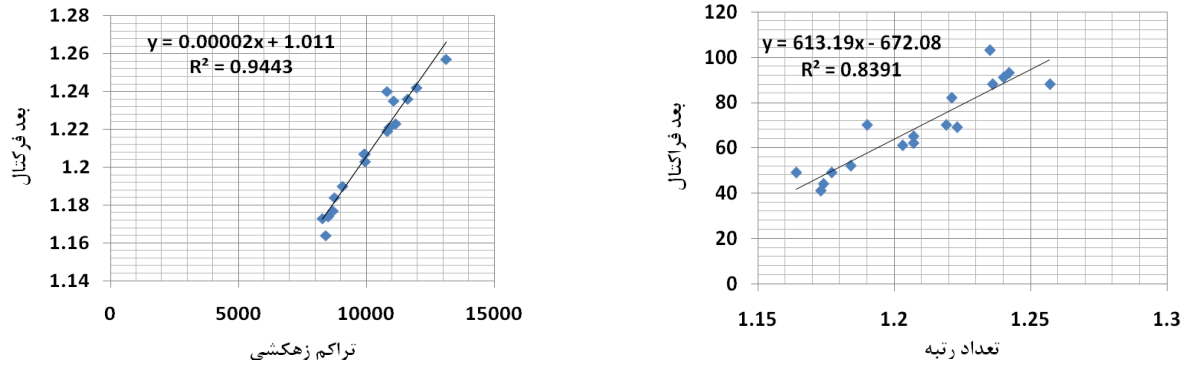
شکل‌های ۶ تا ۸ رگرسیون خطی بین بعد فراکتال و دو شاخص مورفومتریک تراکم‌زهکشی (مجموع طول کل آبراهه‌ها) و تعداد رتبه شبکه‌زهکشی بر روی سه سازند آهک تفت، گرانیت شیرکوه و سازند کهر را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که سطح پلات در مطالعه مورد نظر ۱×۱ در نظر گرفته شده است، به همین خاطر مقدار مجموع طول کل آبراهه‌ها همان تراکم‌زهکشی است. مجموع طول کل آبراهه‌ها در هر سه سازند بالای ۰/۹ معنی‌دار هستند، به طوری‌که با بیشتر شدن طول آبراهه، میزان بعد فراکتال نیز افزایش می‌یابد. بیشترین طول آبراهه متعلق به سازند کهر است که بیشترین مقدار بعد فراکتال را نیز دارا است. این در حالی است که مجموع طول کل آبراهه‌ها در سازند آهک تفت به جز در رتبه ۲ تفاوت زیادی با سازند گرانیت و کهر ندارد. طول بلند آبراهه‌ها از ویژگی‌های سازندهای آهکی به شمار می‌رود [۵]. اما با وجود این ویژگی، مقدار بعد فراکتال در سازند آهک تفت کمتر از دو سازند دیگر است، که این امر ناشی از کمی تعداد آبراهه‌ی رتبه‌ی ۱ و عدد رتبه آبراهه است و این خود نشان‌دهنده اهمیت حضور و تراکم آبراهه‌های رتبه ۱ در مقدار عددی بعد فراکتال شبکه است (جدول ۴).



شکل ۶- رگرسیون خطی بین بعد فراکتال و دو شاخص تراکم‌زهکشی و رتبه آبراهه (سازند تفت)



شکل ۷- رگرسیون خطی بین بعد فراکتال و دو شاخص تراکم‌زهکشی و رتبه آبراهه (سازند گرانیت شیرکوه)



شکل ۸- رگرسیون خطی بین بعد فراکتال و دو شاخص تراکم‌زهکشی و رتبه آبراهه (سازند کهر)

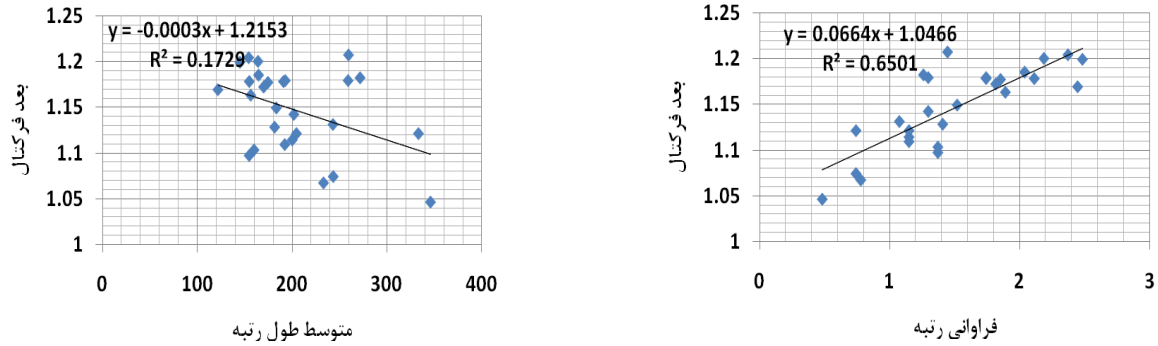
www.SID.ir

Archive of SID

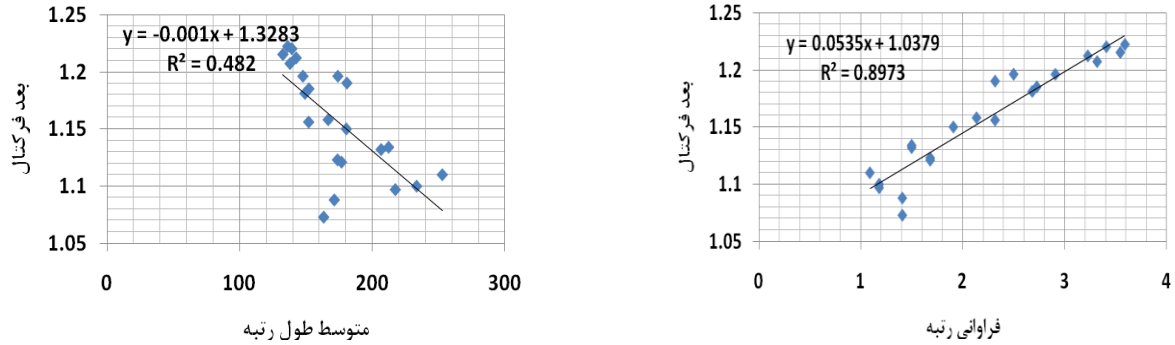
جدول ۴- رتبه و طول شبکه‌زهکشی بر روی سه سازند زمین‌شناسی

سازند	رتبه آبراهه						مجموع	طول رتبه آبراهه (متر)						مجموع
	۱	۲	۳	۴	۵	۶		۱	۲	۳	۴	۵	۶	
آهک تفت	۲۲	۱۰	۷	۵	-	-	۴۱	۴۸۰۶	۱۶۹۲	۹۰۷	۶۴۲	-	-	۷۶۴۷
گرانیت شیرکوه	۲۷	۱۱	۸	۸	۳	-	۴۹	۵۳۶۰	۱۴۵۱	۹۰۲	۹۳۳	۵۵۶	-	۸۰۰۳
کهر	۳۵	۱۵	۱۱	۷	۴	۳	۶۹	۶۱۲۴	۱۶۰۳	۱۲۸۲	۹۴۵	۶۲۷	۵۴۵	۱۰۱۷۱

عدد رتبه آبراهه در سازند کهر به رتبه ۶ می‌رسد اما در سازند گرانیت و تفت، شبکه‌ی آبراهه به‌ترتیب تا رتبه ۴ و ۵ گسترش یافته است. چرا که در سازندهای سست به دلیل فرسایش‌پذیری بالای آن، تراکم شکستگی‌ها بیشتر و شبکه آبراهه‌ای متراکم شکل می‌گیرد (جدول ۴). نتایج بررسی رابطه رگرسیون تعداد آبراهه با بعد فراکتال نشان داد که در دو سازند، کهر و گرانیت نزدیک به ۰/۹ معنی‌دار است اما در سازند تفت این مقدار حدود ۰/۷ است. این کاهش را می‌توان ناشی از همان رفتار کارستیک و انحلالی سازند آهک تفت دانست. معنی‌داری روابط رگرسیون خطی بین بعد فراکتال و فراوانی رتبه‌ها کاهش نشان داده که در دو سازند، کهر و گرانیت نزدیک به ۰/۸ معنی‌دار است و در سازند تفت این مقدار حدود ۰/۷ است. میزان فراوانی رتبه‌ها از آبراهه رتبه ۱ به سمت رتبه‌های بالاتر روند کاهشی دارد، و بیشترین میزان فراوانی رتبه‌ها، در رتبه ۱ و سازند کهر دیده می‌شود (شکل‌های ۹ تا ۱۱).



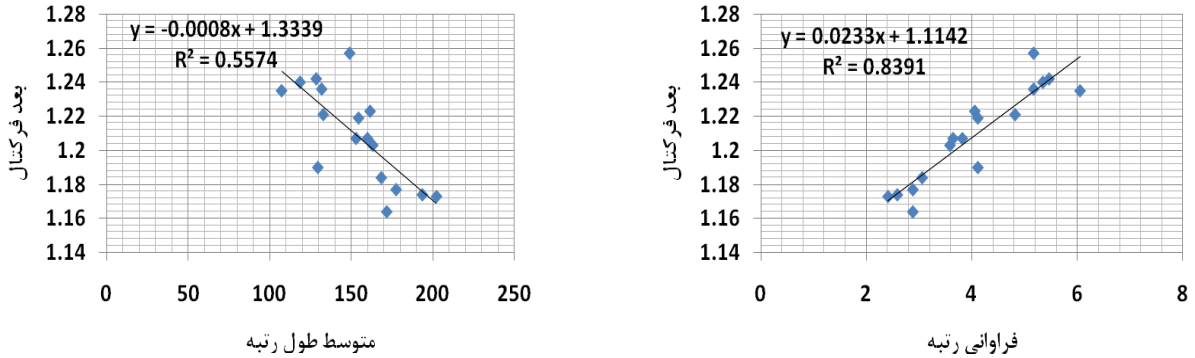
شکل ۹- رگرسیون خطی بین بعد فراکتال و دو شاخص فراوانی رتبه و متوسط طول رتبه (سازند تفت)



شکل ۱۰- رگرسیون خطی بین بعد فراکتال و دو شاخص فراوانی رتبه و متوسط طول رتبه (سازند گرانیت شیرکوه)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱- رگرسیون خطی بین بعد فراکتال و دو شاخص فراوانی رتبه و متوسط طول رتبه (سازند کهر)

بین بعد فراکتال و متوسط طول رتبه، رابطه‌ای معکوس وجود دارد، یعنی هر چه میزان متوسط طول رتبه بیشتر شود بعد فراکتال کاهش می‌یابد. در سازند کهر و گرانیت این رابطه در حدود ۰/۵ و در سازند آهک تفت حدود ۰/۲ معنی‌دار است.آخرین شاخص مورفومتریک که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. شاخص یکنواختی رتبه‌ی آبراهه‌ها است. آبراهه‌هایی بر اساس این شاخص یکنواخت[1] محسوب می‌شوند که طول بلندترین آبراهه رتبه x از سه برابر طول کوتاهترین آبراهه با همان رتبه تجاوز نکند، در غیر اینصورت آن رتبه آبراهه، متغیر[2] در نظر گرفته می‌شود. تمام رتبه‌های آبراهه‌ها یکنواخت بودند. این شاخص گویای این واقعیت است که شبکه‌زهکشی موجود در پلات‌های مورد بررسی تحت عنوان شبکه‌زهکشی خود وابسته یا الحاقی است که بهترین روش محاسبه بعد فراکتال برای آن، روش شمارش جعبه‌ای است[۱۴ و ۲۲].

نتیجه‌گیری

الگوی شبکه‌های زهکشی جزء شاخص‌ترین چشم‌اندازهای سطح زمین محسوب می‌شوند که اساس بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی می‌باشند. با توجه به خصوصیات ژئومورفولوژیکی منطقه، هر کدام از شبکه‌های زهکشی ویژگی‌های فراکتالی از خود نشان می‌دهند که به صورت کد یا عدد بدون بعد نشان داده می‌شود. از آن‌جا که متغیرهای زمین‌شناسی تأثیر گسترده‌ای بر ماهیت و فعالیت سیستم‌های شبکه‌زهکشی دارند، در این پژوهش، نقش لیتولوژی در کمی‌سازی شبکه‌زهکشی بررسی شده است. مقادیر عددی بعد فراکتال برای سه سازند زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به‌دست آمد که میانگین بعد فراکتال ۱/۱۴۹ نشان‌دهنده‌ی سازند آهک تفت، میانگین بعد فراکتال ۱/۱۶۱، بیانگر سازند گرانیت و مقدار ۱/۲۰۷ نشان‌دهنده سازند کهر است که بیشترین مقدار عددی بعد فراکتال در سازند کهر(۱/۲۷۹) و کمترین آن در سازند تفت (۱/۰۴۶) محاسبه شد. شاخص انتگرال هیپسومتریک توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را بالغ با پروفیل مقعر-محدب ارزیابی کرد که نشان از غلبه فعالیت‌های فرسایشی در منطقه مورد مطالعه است. پیامد این مسئله افزایش شکستگی‌ها و بالا رفتن تراکم‌زهکشی و به دنبال آن، افزایش بعد فراکتال است. در بررسی ویژگی‌های مورفومتری شبکه‌زهکشی بالاترین روابط معنی‌دار بین بعد فراکتال و مجموع طول کل آبراهه‌ها به دست آمد.

تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مورفومتری شبکه‌زهکشی به منظور شناخت و مدیریت حوزه‌آبخیز از اهمیت زیادی برخوردار است. در واقع تحلیل ابعاد فراکتال بررسی سریع و با دقتی را از ویژگی‌های مورفومتری شبکه‌زهکشی امکان‌پذیر می‌نماید. به‌طوری‌که با محاسبه بعد فراکتال در دیگر نقاط حوضه مورد مطالعه، بدون اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتری شبکه‌زهکشی می‌توان، ویژگی‌های زمین ساختی و ژئومورفولوژیک آن را تحلیل نمود و راهکارهای لازم را برای مدیریت منطقه انجام داد. نتایج به دست آمده از این مطالعه با نتایج سایر محققان همخوانی داشته و بیانگر کارایی بعد فراکتال بعنوان ابزاری کمی، برای بررسی ژئومورفولوژی شبکه‌های

1- Homogenity
2- Variable

www.SID.ir

Archive of SID

زهکشی است [۶،۱۰،۵،۱۴،۲۲]. در تمام نتایج و روابط به دست آمده از شاخص‌های مورفومتریک و بعد فراکتال، یک طبقه‌بندی و تفکیک مشخص بین سه سازند کهر، گرانیت شیرکوه و آهک تفت حاصل می‌شود که می‌توان از این مشخصه برای رسیدن به یک شاخص هندسی جدید و دقیق در ارزیابی کمی شبکه‌زهکشی بهره برد.

References

[1]. Ben-Zion, Y., & Sammis, C. G. (2003). Characterization of fault zones. *Pure and Applied Geophysics*, 160(4), 677-715.

[2]. Burrough, P. (1981). Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. *Nature*, 294(5838), 240-242.

[3]. De Cola, L., & Lam, N. S. N. (1993). Introduction to fractals in geography. *Fractals in Geography* (*Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ) pp*, 3-22.

[4]. Fac-Beneda, J. (2013). Fractal structure of the Kashubian hydrographic system. *Hydrology*, 488, 48-54.

[5]. Fattahi, M. H., & Talebzadeh, Z. (2017). The relationship between watershed compactness coefficient and the fractal characteristics. *Iran Water Resources Research*, 13(1), 191-203. (in Farsi)

[6]. Elmi Zade, H., Mah Peikar, O., & Sadatmand, M. (2013). Investigate the theory of fractals in fluvial geomorphology: A Case Study Zarrinehroud. *Research of quantitative geomorphology*, 3(2), 130-141. (in Farsi)

[7]. Gloaguen, R., Marpu, P., & Niemeyer, I. (2007). Automatic extraction of faults and fractal analysis from remote sensing data. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 14(2), 131-138.

[8]. Gloaguen, R., Kabner ,A., Wobbe, F., Shahzad, F., & Mahmood, A. (2008). Remote sensing analysis of crustal deformation using river networks. Paper presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2008. IEEE International.

[9]. Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370.

[10]. Ibanez, D. M., de Miranda, F. P., & Riccomini, C. (2014). Geomorphometric pattern recognition of SRTM data applied to the tectonic interpretation of the Amazonian landscape. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87, 192-204.

[11]. Karam, A., Saberi, M., (2015). Calculating fractal dimension in drainage basins and its relationship with the characteristics of the basin (Case study: North of Tehran watershed). *Research of Quantitative Geomorphology*, 4(3), 153-167. (in Farsi)

[12]. Khanbabaei, Z., Karam, A., & Rostamizad, G. (2013). Studying Relationships between the Fractal Dimension of the Drainage Basins and Some of Their Geomorphological Characteristics. *Geosciences*, 4, 636.

[13]. Krein, A., Petticrew, E., & Udelhoven, T. (2003). The use of finesediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed. *Catena*, 53(2), 165-179.

[14]. Kusбk, M. (2013). Morphometric characteristics of valley nets in the Blue Nile basin in the Ethiopian highlands. Praha, 97 p. the diploma thesis (Mgr.).

www.SID.ir

Archive of SID

Ph.D. Department of Physical Geography and Geoecology, Faculty of Science, Charles University in Prague.

[15]. Kusбk, M. (2014). Review article: Methods of fractal geometry used in the study of complex geomorphic networks. *AUC Geographica*, 49(2), 99-110.

[16]. La Barbera, P., & Rosso, R. (1989). On the fractal dimension of stream networks. *Water Resources Research*, 25(4), 735-741.

[17]. Mandelbrot, B. B. (1983). The fractal geometry of nature/Revised and enlarged edition **:**WH Freeman New York, 495 p**.**

[18]. Mandelbrot, B. B. (1967). How long is the coast of Britain. *Science*, 156(3775), 636-638.

[19]. Nikooyi, E., Heydari, M., Talebbeydokhti, N. Hekmatzadeh, A. A. (2008) Fractal geometry in river engineering: ideas, concepts and achievements. National Congress on Civil Engineering, 14-15 May, University of Tehran. (in Farsi)

[20]. Palmer, M. W. (1988). Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities. *Vegetatio*, 75(1-2), 91-102**.**

[21]. Pelletier, J. D. (1999). Self-organization and scaling relationships of evolving river networks. *Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B4), 7359-7375.

[22]. Perez-Pena, J. V., Azor, A., Azanon, J. M., & Keller, E. A. (2010). Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, 119(1), 74-87.

[23]. Phillips, J. (1993). Interpreting the fractal dimension of river networks. *Fractals in geography*, 7, 142-157.

[24]. Shahzad, F., Mahmood, S., & Gloaguen, R. (2010). Nonlinear analysisof drainage systems to examine surface deformation: an example from Potwar Plateau (Northern Pakistan). *Nonlinear Processes in Geophysics*, 17(2), 137-147**.**

[25]. Shayan, S., Maghsoudi, M., Gol Alizade, M., Sharifi Kiya, M., & Norbakhsh, S. F. (2016). Spatial analysis of aeolian landforms by fractal theory (Case study: Ardestan Rig). *Physical Geography Research Quarterly*, 48(2), 231-245. (in Farsi)

[26]. Schuller, D., Rao, A., & Jeong, G. (2001). Fractal characteristics of dense stream networks. *Hydrology*, 243(1), 1-16**.**

[27]. Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2014). Digital Soil Mapping Using Geo-morphometric Parameters in the Yazd-Ardakan Plain. *Arid Biom*, 4(2), 39-53. (in Farsi)

[28]. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Sarmadian, F., Omid, M,. Toomanian, N., Rusta., M. J., & Rahimian, M. H. (2013). Incorporating soil taxonomic distance and decision tree for spatial prediction of soil classes in Ardakan, Yazd. *Arid Biome*, 6(1), 27-39. (in Farsi)

[29]. Turcotte, D. L. (1997). Fractals and chaos in geology and geophysics: Cambridge university press.

[30]. Turcotte, D. L. (2007). Self-organized complexity in geomorphology: Observations and models. *Geomorphology*, 91(3), 302-310.

www.SID.ir

Archive of SID

Investigating of the relationship between fractal dimensions of the drainage networks and their morphometric properties (Case study, Yazd-Ardakan basin)

1- M. Mohammadi, Ph.D of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
2- M. R. Ekhtesasi, Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
mr_ekhtesasi@yazd.ac.ir
3- A. Talebi, Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
4- S. Z. Hosseini, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

Received: 05 Oct 2018
Accepted: 08 May 2019

Abstract

The drainage networks as the most prominent landscapes on earth are basis of many hydrological and geomorphological models**.** Due to the geomorphological properties of the region, the drainage network shows its own fractal properties that are saved as code in it. In fact, drainage networks are fractal phenomena with fractal behavior. Fractal dimension is a parameter used to indicate the complexity of data. The analysis of fractal dimensions of drainage networks and their morphometric properties facilitate the perdition of their behavior in the future. This paper focuses on the relationship between fractal dimensions of drainage networks and their morphometric properties of drainage networks in Yazd- Ardakan basin. Therefore, through an analysis of fractal dimension of drainage networks and its comparison with morphometric properties, the fractal behavior of these drainage networks are investigated. Results showed Pck and Ktl formations indicate highest and lowest fractal dimension respectively. The results indicated a significant relationship between fractal dimensions of drainage networks and morphometric properties. In this research, a positive relationship was observed between morphometric parameters and fractal dimension, so that the greatest correlation coefficient was found between the fractal dimension and the drainage density (0.99).

Keyword: Fractal Dimension; Drainag network; Morphometric properties; Yazd-Ardakan Basin.

www.SID.ir