



مقایسه تراکم و بعد فرآکتال شبکه‌های زهکشی در مقیاس و دقت‌های مختلف (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز استان ایلام)

مهمتاب علیمرادی^۱, محمد رضا اختصاصی^۲, مهدی تازه^۳ و حاجی کریمی^۴

۱- کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه پزد

۲- استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه پزد (تویسندۀ مسوول: (mr_ekhtesasi@yazd.ac.ir)

۳- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

۴- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۸

صفحه ۸۴ تا ۷۳

چکیده

پدیده‌ها و عوارض موجود در طبیعت به رغم پیچیدگی‌های فراوان دارای نظم و قواعد خاصی است. رفتار و الگوی رودخانه‌ها نیز به عنوان یکی از پدیده‌های پیچیده طبیعی، از این امر مستثنی نیست. بسته به شرایط ژئومورفولوژیکی، اقلیمی، توپوگرافی و فرسایشی، آبراهه‌ها رفتار و الگوی متفاوتی از خود نشان می‌دهند. یکی از پارامترهایی که می‌توان با استفاده از آن به پیچیدگی الگوی شکل عوارض و پدیده‌ها دست یافته، هندسه فرآکتال می‌باشد. هدف از این پژوهش محاسبه و مقایسه بعد فرآکتال شبکه‌های هیدروگرافی در حوزه‌های آبخیز استان ایلام که از ۵۰ DEM متر و داده‌های SRTM استخراج شدند، که شبکه‌های هیدروگرافی به دست آمده از داده‌های SRTM با دقت بیش از ۵ متر با استفاده از تصاویر گوگل ارث ترسیم شده‌اند. بدین منظور، ابتدا ۱۲ حوزه آبخیز در استان ایلام (اما، تنگ سازین، دویرج، هلیلان، نظرآباد، چم‌گر، کل، سیاگاو، چغрабا، چاویز، جزمان و ورچ) انتخاب و پس از تعیین واحدهای ۲۵ کیلومتر مربع در محدوده هر کدام از حوزه‌ها و ترسیم و تکمیل الگوهای شبکه زهکشی در محدوده‌های مورد مطالعه، به کمک نرم‌افزار فرآکتالیز بعد فرآکتال آنها محاسبه شد. نتایج بدست آمده نشان داد که محاسبه و مقایسه بعد فرآکتال به روشهای تصویری در صورتی صحت دارد که عرصه‌های مورد مقایسه از مساحت یکسانی برخوردار بوده و همچنین، دقت و مقیاس ترسیم شبکه‌های هیدروگرافی نیز یکسان باشد. از سوی دیگر شبکه زهکشی ترسیم شده از روی گوگل ارث با دقت بیشتر از پنج متر نسبت به شبکه آبراهه‌ای متناظر با دقت ۵۰ متر در پلاتهای ۵×۵ کیلومتر مربع (۲۵ کیلومتر مربع) از دقت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین کمترین مقدار بعد فرآکتال قبل از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی مربوط به حوزه آبخیز اما (۱/۰۴۲) و بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه آبخیز تنگ سازین (۱/۰۴۲۴) می‌باشد. در حالیکه پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی و محاسبه بعد فرآکتال، کمترین مقدار بعد فرآکتال مربوط به حوزه آبخیز چاویز (۱/۱۱) و بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه آبخیز نظرآباد (۱/۰۴۹) است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای کمی، بعد فرآکتال، سازندهای زمین‌شناسی و شاخص‌های هیدرولوژی و رسوب

کرد. می‌توان با محاسبه بعد فرآکتال هریک از خصوصیات حوزه آبخیز و بررسی آن‌ها با روشهای پیشرفته آماری (تجزیه عاملی، خوشبندی، رگرسیون‌های چندگانه و ...) در پی یافتن پارامترهای جدیدی برای حوزه‌های آبخیز باشیم که قادر به تبیین خصوصیات بیشتری از حوزه‌های آبخیز باشند. هندسه فرآکتال ابزاری برای اندازه‌گیری اشکال نامنظم است. بر اساس روش مربع شمار که یکی از ابزارهای هندسه فرآکتال است بین بعد فرآکتال و بین‌نفعی اشکال، ارتباط مستقیم وجود دارد بهطوری که اجسام با بین‌نفعی بیشتر دارای بعد فرآکتال بزرگتر هستند (۲۵). هندسه فرآکتال یکی از مهمترین روشهای ساختاری است که با تعیین بعد فرآکتال ساختارهای خطی مثل گسل‌ها، آبراهه‌ها و مسیرهای پر پیچ و خم رودخانه‌ها می‌توان بسیاری از خصوصیات آن‌ها (میزان جابه‌جایی، شناسایی میزان تغییرات و...) را تخمین زد (۲۶). از دید ریاضی حوزه‌هایی که بعد فرکتالی آن‌ها یکسان است معادل متريک يكديگر می‌باشد (شاخص‌های هندسی برابر دارند) و بر اساس اين تحقیقات تشابه زیادی بين مشخصات ژئومورفولوژيکی و هیدرولوژيکی آن‌ها وجود دارد (۱). فرآکتال يك شكل يا الگوي هندسي تکرار شده از قسمت‌های یکسان

مقدمه
یکی از چالش‌های پیش روی هیدرولوژیست‌ها یافتن یک روش مناسب برای طبقه‌بندی هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز است. یک روش طبقه‌بندی مناسب می‌تواند در بسیاری از شاخه‌های علم هیدرولوژی مانند مدل‌سازی مؤثر واقع گردد. با توجه به پیچیدگی و غیرخطی بودن شناسایی هیدرولوژیکی، استفاده از نظریه آشوب که قادر به شناسایی رفتار سیستم‌های پیچیده می‌باشد، در طبقه‌بندی حوزه‌های آبخیز از سوی برخی محققین مطرح شده است (۴). از آنجاکه در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور دستگاه‌ها و ابزارهای مناسب جهت اندازه‌گیری سیل، فرسایش و رسوب وجود ندارد بنابراین ضروری است تا از روشهای غیرمستقیم مانند کاربرد هندسه فرآکتال در برآورد آن‌ها استفاده شود. علوم زمین‌شناسی شامل مطالعات قابل توجهی (کانی‌شناسی، بافت و هوازدگی سنگ) می‌باشد که در آن از هندسه فرآکتال به عنوان ابزاری مناسب برای اهداف مختلف استفاده شده است (۹، ۱۴، ۱۸). برخی از پارامترهای حوزه‌های آبخیز (شبکه آبراهه، شکل حوزه، خطوط تراز و ...) که دارای شکل هندسی خاصی می‌باشند با هندسه فرآکتالی می‌توان آن‌ها را بررسی

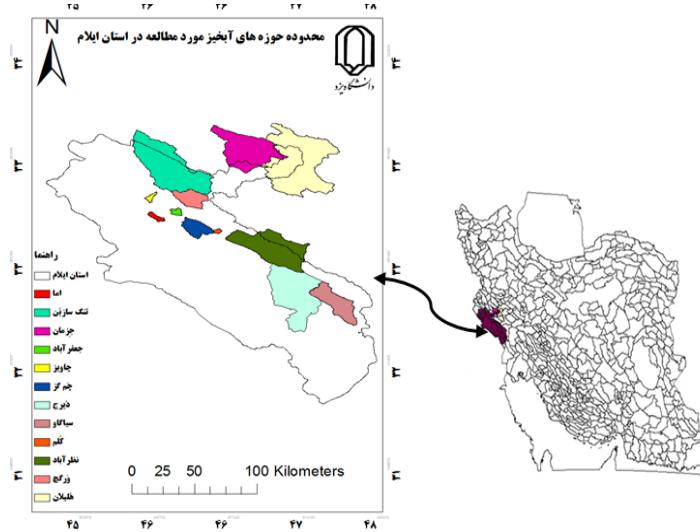
انشعابات یک رودخانه از مرتبه‌های گوناگون، همچنین سطح و طول انشعابات از رابطه توانی و فرآکتالی پیروی می‌کنند. از این‌رو می‌توان جهت بررسی تغییرات انشعابات رودخانه‌ها و نیز حوزه‌ی آن‌ها درگذر زمان بهره جست. شکل هندسی رودخانه‌ها (منحنی رودخانه)، می‌تواند به عنوان یک خم چند فرآکتال مدنظر قرار گیرد و از این‌رو منظر تئوری ریاضی چند فرآکتال می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب، جهت پیش‌بینی شکل هندسی آتی رودخانه‌های پر پیچ و خم به خدمت گرفته شود (۱۹). فولر و راش (۲۲)، در تجزیه و تحلیل الگوها از طریق فرآکتال، با هدف مقایسه روش‌های استاندارد و ارائه روش‌های جدید برای تخمین بعد فرآکتال (فرآکتال تصادفی یا طبیعی) دریافتند که روش‌های کمی‌سازی که در آن‌ها کمی‌سازی و شبیه‌سازی الگوهای پیچیده‌ی طبیعی از طریق روش‌های توصیفی و مدل‌های عموماً انعطاف‌پذیر صورت گرفته است دارای محدودیت‌هایی نسبی است و هندسه فرآکتال تغییرات خواص پوسته شدن را با دقت بیشتر تخمین می‌زند و برتری عده‌های نسبت به سایر روش‌های کمی‌سازی دارد (۲۳). همایون‌نژاد و شجاعی (۹) در بررسی کاربرد علم فرآکتال در ارزیابی حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبریز دویرج) نشان دادند که با افزایش اندازه خطوط شبکه هیدرولوژیکی، بعد فرآکتال آبراهه افزایش یافت اما بعد فرآکتال حوزه تغییر نکرد و تقریباً ثابت بود. دلیل ثابت بودن بعد فرآکتال حوزه را می‌توان ثابت بودن تغییرات در سطح آن دانست. با توجه به نتایج می‌توان بعد فرآکتال را جهت جداسازی سازندۀ‌های مختلف استفاده نمود (۱۰). تحقیق حاضر سعی دارد به مقایسه بعد فرآکتال در حوزه‌های آبخیز استان ایلام با دو دقت متفاوت DEM ۵۰ متر و ۵ متر (تهیه شبکه هیدرولوگرافی با استفاده از گوگل ارث) و ایجاد ارتباط بین پاره‌های از شاخص‌های فرآکتال ازجمله فرآکتال شبکه زهکشی با دیگر شاخص‌های ژئوفیزیکی نظیر نوع سازندۀ ارتباط معناداری را به دست آورده و نتایج حاصل را به مناطق یا حوزه‌های آبخیز فاقد آمار تعمیم دهد.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه متشکل از ۱۲ حوزه شامل: هلیلان، دُیرج، تنگ سازُن، کلم، نظرآباد، چزمان، وَرگَج، چم‌گز، چاویز، سیاگاو، جعفرآباد و اما از حوزه‌های آبخیز استان ایلام می‌باشد که پراکنده‌ی مناسبی در دامنه‌های غربی رشته‌کوه زاگرس دارند. شکل (۱) محدوده‌های مورد مطالعه و زیرحوزه‌ها را نشان می‌دهد. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و حوزه‌های آبخیز مربوطه آمده است.

یک شیء است که قطعه‌ای از آن مشابه کل می‌باشد و مطالعه جزئی از آن نشان دهنده الگوی کلی است، به طور مثال گل کلم (۲۱، ۲۴، ۲۶). نخستین برسی‌ها در جهت ایجاد مدل هندسی مناسب از شبکه رودخانه توسط هورتون در سال‌های ۱۹۳۲ و ۱۹۴۵ صورت پذیرفت (۱۲، ۱۱، ۵)، در سال‌های بعد توسط لا باربرا و روسو مفهوم بعد فرآکتال شاخه‌های رودخانه وارد فرمول‌بندی هورتون گردید (۱۶). بیشترین تجزیه و تحلیل فرآکتالی و مدل خود سامان یافته از شبکه‌های رودخانه‌ای توسط (تالینگ)، (۲۵) و وزنیانو و نومان، (۲۷) انجام گرفته است (۳). شواهد تجربی نشان می‌دهد که هندسه فرآکتالی روش کمی‌سازی مناسبی برای الگوهای پیچیده طبیعی و فرآیندهای هیدرولوژیکی (غیرخطی و پیچیده) است که بر خلاف هندسه اقلیدسی روش بهتری برای توضیح و شبیه‌سازی پدیده‌ها و ساختارهای پیچیده به دست می‌دهد (۱۵، ۱۳، ۴). رضایی مقدم و همکاران (۲۲) در بررسی و مقایسه الگوهای پیچان‌رود با استفاده از تحلیل هندسه فرآکتال و شاخص‌های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی رودخانه قزل‌اوزن، توانایی هندسه فرآکتال را در شناسایی تغییرات اتفاق افتاده در الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن نشان دادند. تحلیل فرآکتالی قسمتی از مسیر رودخانه نشان داد که الگوی هندسی رودخانه‌ها خاصیت فرآکتالی داشته و می‌تواند تغییرات الگوی هندسی رودخانه در سال‌های مختلف توسط هندسه فرآکتال تحلیل گردد، نتایج تحلیل فرآکتالی با نتایج شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در رودخانه کاملاً منطبق بود؛ بنابراین هندسه فرآکتال توائیت به عنوان یک روش جدید و پویا در مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه به کار رود (۲۲). قدمپور و طالب بیدختی (۸) در محاسبه بعد فرآکتالی در رودخانه‌های پیچان‌رودی با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای در رودخانه حله دریافتند با توجه به آنکه در هندسه فرآکتالی، منحنی‌های موجود در صفحه دارای بعدی بین ۱ تا ۲ بوده و تغییرات منحنی باعث تغییر در بعد آن در صفحه (بین خط مستقیم با بعد ۱ و صفحه کامل با بعد ۲) می‌گردد، لذا بهنظر می‌رسد بعد فرآکتالی می‌تواند شاخص مناسبی برای بیان تغییرات رودخانه‌های پیچان‌رودی در شکل بوده و به عنوان پارامتر هندسی جدید وارد مدل‌های ریخت‌شناسی رودخانه‌های پیچان‌رودی گردد (۸). نیکوبی و همکاران (۱۸) ضمن بیان مقاهیم اساسی موردنیاز همانند بعد فرآکتالی و طیف فرآکتالی به بررسی نمونه‌های تحقیقات انجام گرفته با دو دیدگاه تک‌فرآکتالی و چند‌فرآکتالی پرداخته‌اند و در انتها با بررسی نقاط ضعف و قوت دو دیدگاه، بیان کردند که هندسه فرآکتال می‌تواند به عنوان ابزار ریاضی مناسب جهت بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ها به کار گرفته شود.



شکل ۱ - موقعیت حوزه‌های مورد مطالعه
Figure 1. Location of study watersheds

جدول ۱ - مشخصات زیر حوزه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده - استان ایلام

Table 1. Specifications sub-watersheds and the hydrometric stations used-Ilam province

ردیف	نام حوزه	مساحت (km ²)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	میزان حساسیت پذیری سازندگان‌های در حوزه
۱	تنگ سازان	۱۳۶۴/۸	۳۳-۳۴-۱۸	۴۶-۵۰-۲۷	بسیار حساس
۲	دوبیرج	۱۱۹۴/۴	۳۲-۳۵-۴۰	۴۷-۲۳-۰۰	بسیار حساس
۳	هلیلان	۹۷۵/۲۳	۳۳-۴۵-۰۰	۴۷-۱۵-۰۰	حساس
۴	نظراباد	۹۷۵/۲	۳۳-۱۱-۰۰	۴۷-۲۶-۰۰	بسیار حساس
۵	جزمان	۹۱۹/۶	۳۳-۴۶-۰۰	۴۷-۰۶-۰۰	حساس
۶	ورگچ	۲۳۴/۵	۳۳-۳۳-۰۰	۴۶-۵۰-۰۰	حساس
۷	چم گز	۲۰۲/۲۸	۳۳-۱۷-۰۰	۴۶-۴۴-۰۰	بسیار حساس
۸	کلم	۱۶/۶	۳۳-۲۱-۰۰	۴۶-۵۵-۰۰	مقاوم
۹	سیاگاو	۴۴۶/۶	۳۲-۳۷-۲۸	۴۷-۵۴-۰۳	بسیار حساس
۱۰	جفرا آباد	۳۵	۳۳-۲۹-۰۰	۴۶-۳۴-۰۰	مقاوم
۱۱	چاویز	۲۶	۳۳-۳۲-۰۰	۴۶-۲۵-۰۰	نیمه مقاوم
۱۲	اما	۳۷/۷۵	۳۳-۲۸-۰۰	۴۶-۲۵-۰۰	حساس

ارتفاعی جداشده و با استفاده از نرم‌افزار Arc Hydro طی مرافقی شبکه‌های هیدروگرافی هر کدام از حوزه‌های آبخیز تهیه شد. ذکر این نکته لازم است که این شبکه‌ها بر اساس مختصات DEM ۵۰ متری تهیه شده‌اند بنابراین در مواردی دقیق کافی نداشته و پس از انتقال به محیط گوگل ارث به طور کامل با آبراهه‌ها تطابق ندارند و باید اصلاح شوند. آبراهه‌های مورد نظر ابتدا با استفاده از DEM با قدرت تفکیک ۵۰ متر استخراج شده؛ سپس به کمک تصاویر ماهواره‌ی (SRTM) با قدرت تفکیک ۵ متر که در گوگل ارث استفاده می‌شود، اصلاح گردید (در بخش ۳-۴ به آن پرداخته شده است).

۳- تعیین بعد فرآکتال شبکه هیدروگرافی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

بعد از تهیه شبکه هیدروگرافی، بعد فرآکتال این شبکه‌ها محاسبه گردید. به این ترتیب که از شبکه‌های هیدروگرافی عکس‌هایی با فرمت bmp و در قالب A4 به محیط نرم‌افزار

روش تحقیق

۱- تهیه محدوده حوزه‌های - مطالعاتی

به منظور تهیه محدوده حوزه‌های مطالعاتی و شبکه هیدروگرافی از مختصات ایستگاه‌های هیدرومتری و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۵۰ متری تهیه شده از سازمان ناسا استفاده شد. به این ترتیب ابتدا مختصات ایستگاه‌های هیدرومتری هر کدام از حوزه‌های آبخیز از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان ایلام تهیه و سپس به محیط نرم‌افزار گوگل ارث انتقال داده شد. پس از آن نسبت به تهیه و ایجاد محدوده‌های مطالعاتی با توجه به حوزه‌ی بالادست هر کدام از ایستگاه‌های هیدرومتری اقدام گردید.

۲- تهیه شبکه هیدروگرافی در محیط نرم‌افزار Arc GIS

پس از تعیین محدوده حوزه‌های آبخیز، حوزه‌های مطالعاتی به محیط نرم‌افزار Arc GIS آورده شد. در محیط نرم‌افزار Arc GIS محدوده‌های مطالعاتی بر روی مدل رقومی

در این واحدها بهدست آمد و به محیط نرم‌افزار Fractalys آورده شد، سپس بعد فراكتالی مربوط به هر کدام از شبکه‌های هیدروگرافی بهدست آمد. انتخاب واحدهایی به مساحت ۲۵ کیلومتر مربع با توجه به وسعت حوزه‌های آبخیز و به نسبت مساحت آن‌ها صورت گرفت تا بتوان میانگین دقیق‌تری برای بعد فراكتال حوزه آبخیز بهدست آورد و از طرف دیگر در مساحت‌های کمتر آبراهه‌هایی با رتبه‌های ۳ و ۴ کمتر مشاهده می‌شد و یا نبود بنابراین به منظور دخالت دادن این آبراهه‌ها از مساحت ۲۵ کیلومتر مربع استفاده شد. مثلاً در مساحت‌های ۱ کیلومتری در بیشتر موارد تنها آبراهه‌هایی با درجه ۱ وجود داشت و بنابراین شبکه آبراهه‌ای کاملی به دست نمی‌داد. جهت دستیابی به نتایج دقیق‌تر از بعد فراكتال برای هر کدام از حوزه‌های آبخیز (با توجه به مساحت) به تعداد سه (ارتفاعات، مرکز ثقل و اراضی پایین‌دست) یا بیشتر نمونه واحدهای ۲۵ کیلومتری (حوزه‌های کوچک دو نمونه) تهیه و بعد فراكتال در آن‌ها بهدست آمد، سپس با برآورده میانگین ابعاد فراكتال واحدهای ۲۵ کیلومتری برای هر حوزه مقدار میانگین بهدست آمد و به عنوان بعد فراكتال حوزه در نظر گرفته شد.

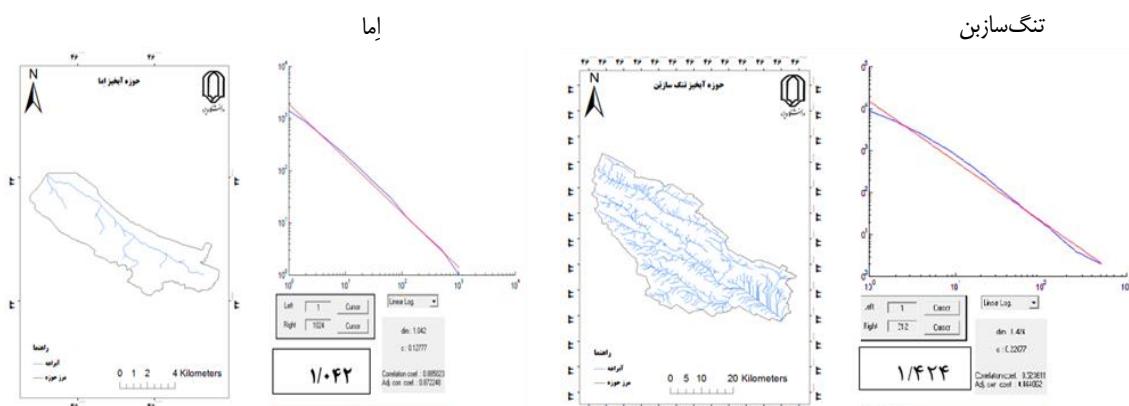
نتایج و بحث

نتایج حاصل از روش تحقیق در زمینه تعیین بعد فراكتال حوزه‌های مطالعاتی در استان ایلام در شکل‌ها، جداول و نمودارهای زیر خلاصه شده است. در شکل‌های (۲) (۱) (۷) بعد فراكتال حوزه‌های مورد بررسی قبل از تصحیح شبکه‌های هیدروگرافی آورده شده است.

Fractalys انتقال داده شد و ابعاد فراكتالی آن‌ها به روش جعبه شمارش هندسی محاسبه شد.

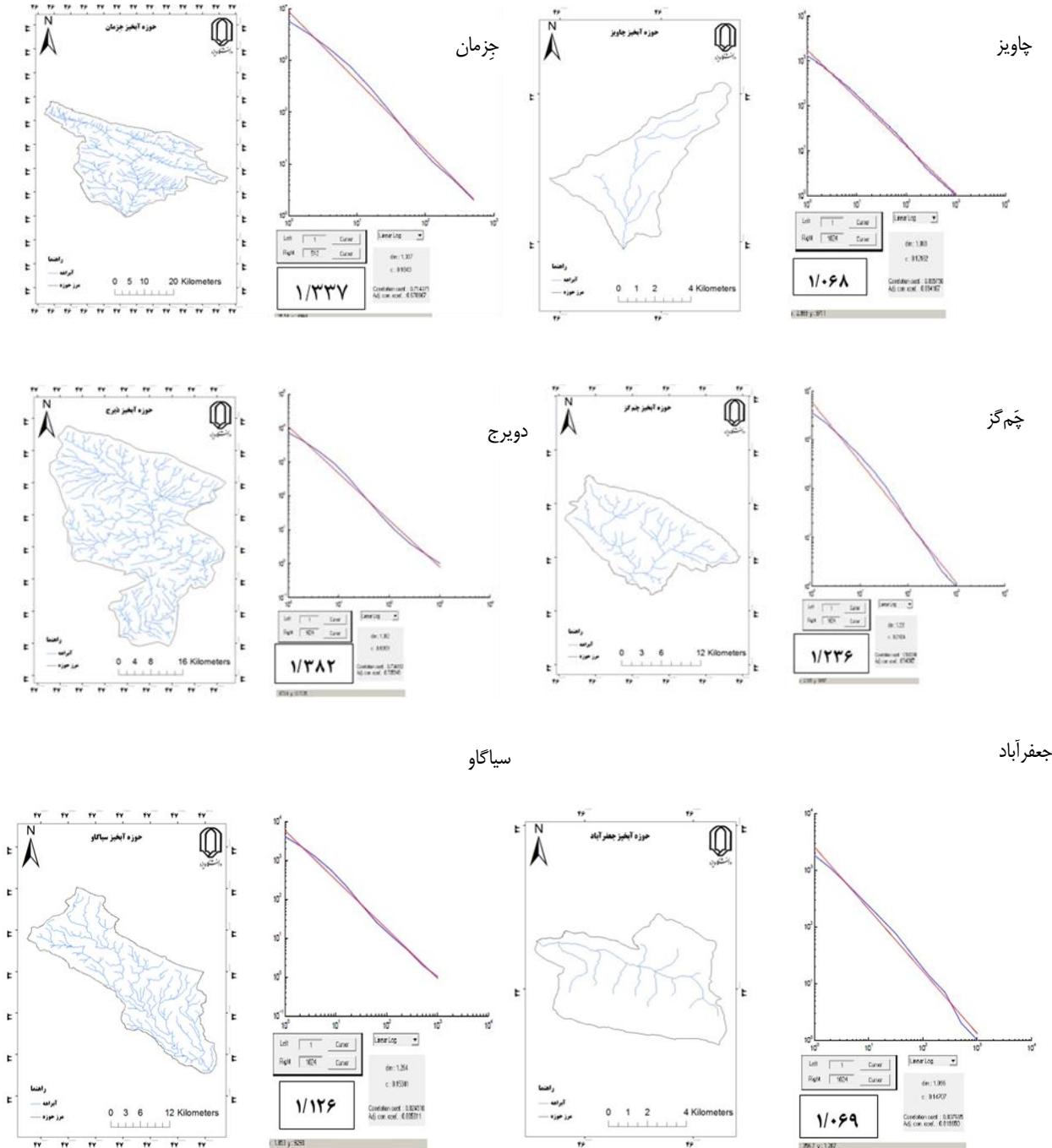
۴- تصحیح شبکه‌های هیدروگرافی به کمک نرم‌افزار گوگل ارث

از آنجا که شبکه‌های هیدروگرافی بهدست آمد در نرم‌افزار Arc Hydro از دقت مناسبی برخوردار نبود (به طور مثال در محیط گوگل ارث فقط آبراهه‌هایی با درجه ۳ مشخص شده بود و آبراهه‌هایی با درجه کمتر در اکثر نقاط پیدا نبود). که منجر به نقص داده در روند کار می‌شد؛ شبکه‌های هیدروگرافی هر کدام از حوزه‌ها دوباره به محیط گوگل ارث آورده شده و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۵ متر که از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث استخراج شده بود، مراحل تصحیح و اصلاح آنها انجام شد. همانطور که اشاره شد در محیط Arc GIS از شبکه‌های هیدروگرافی خروجی‌هایی با فرمت bmp (فرمت ورودی نرم‌افزار Fractalys) تهیه شد. در فرمت bmp شبکه‌های هیدروگرافی بر روی یک برگه A4 ترسیم می‌گردد، که این خود موجب بروز خطأ در عدد فراكتالی بهدست آمد می‌شود چرا که شبکه‌های هیدروگرافی حوزه‌های بزرگ‌تر در محدوده برگه A4 فشرده شده و عدد فراكتالی بیشتر را به دست می‌داد درصورتی که در مورد حوزه‌های کوچک‌تر مقدار فشرده‌گی کمتر بوده و یا وجود نداشت بنابراین بعد فراكتالی بهدست آمد کمتر می‌شد. این در حالی است که برخی حوزه‌های کوچک‌تر با سازندهای حساس‌تر و شبکه هیدروگرافی متراکم‌تر بوده، که انتظار عدد فراكتالی بالاتر می‌رفت. از آنجاکه در نرم‌افزار Fractalys نمی‌توان نقشه‌ها را هم مقیاس کرد. برای رفع این مشکل با برنامه Fish Net (در نرم‌افزار Arc GIS) برای نقشه‌ها، واحدهایی ۲۵ کیلومتر مربعی تهیه و شبکه‌های هیدروگرافی

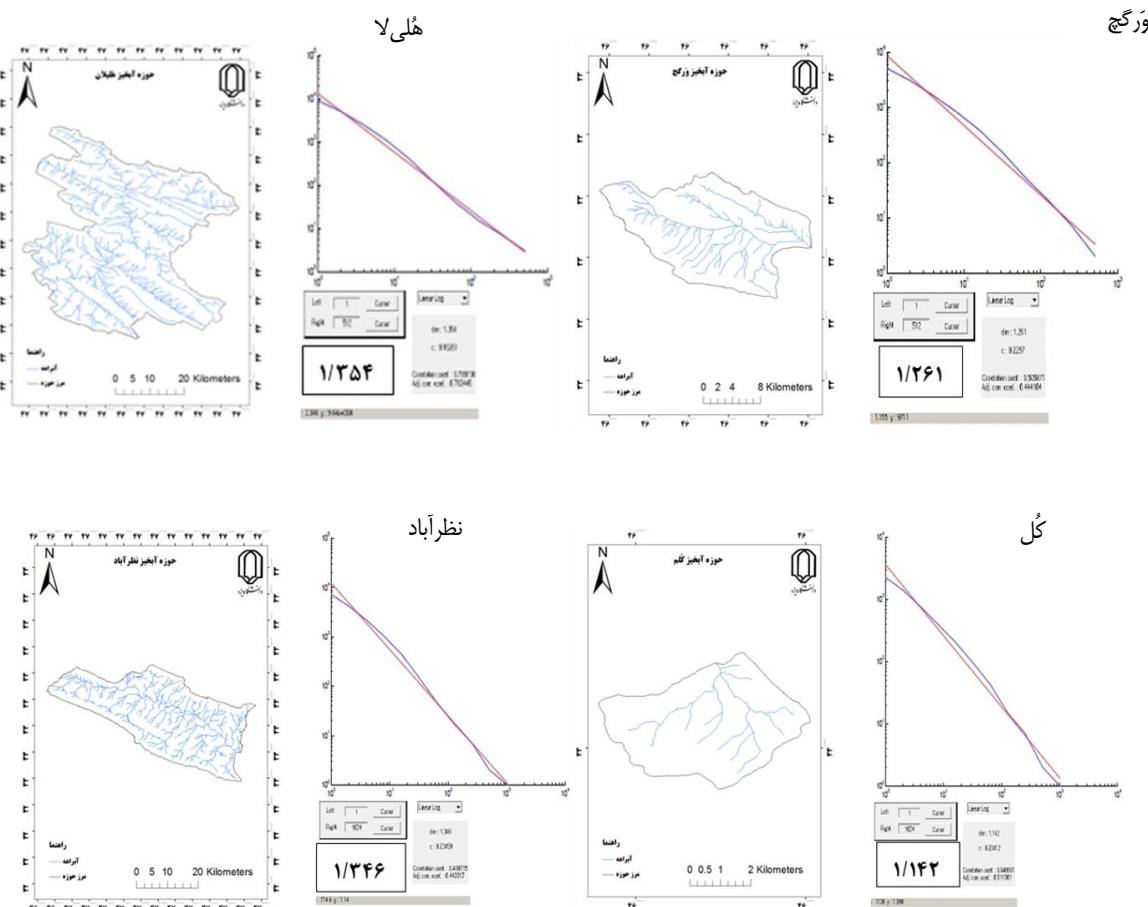


شکل ۲- شبکه هیدروگرافی و بعد فراكتال حوزه‌های آبخیز قبل از اصلاح شبکه هیدروگرافی

Figure 2. Hydrographic network and fractal dimension of watersheds before hydrographic network modification



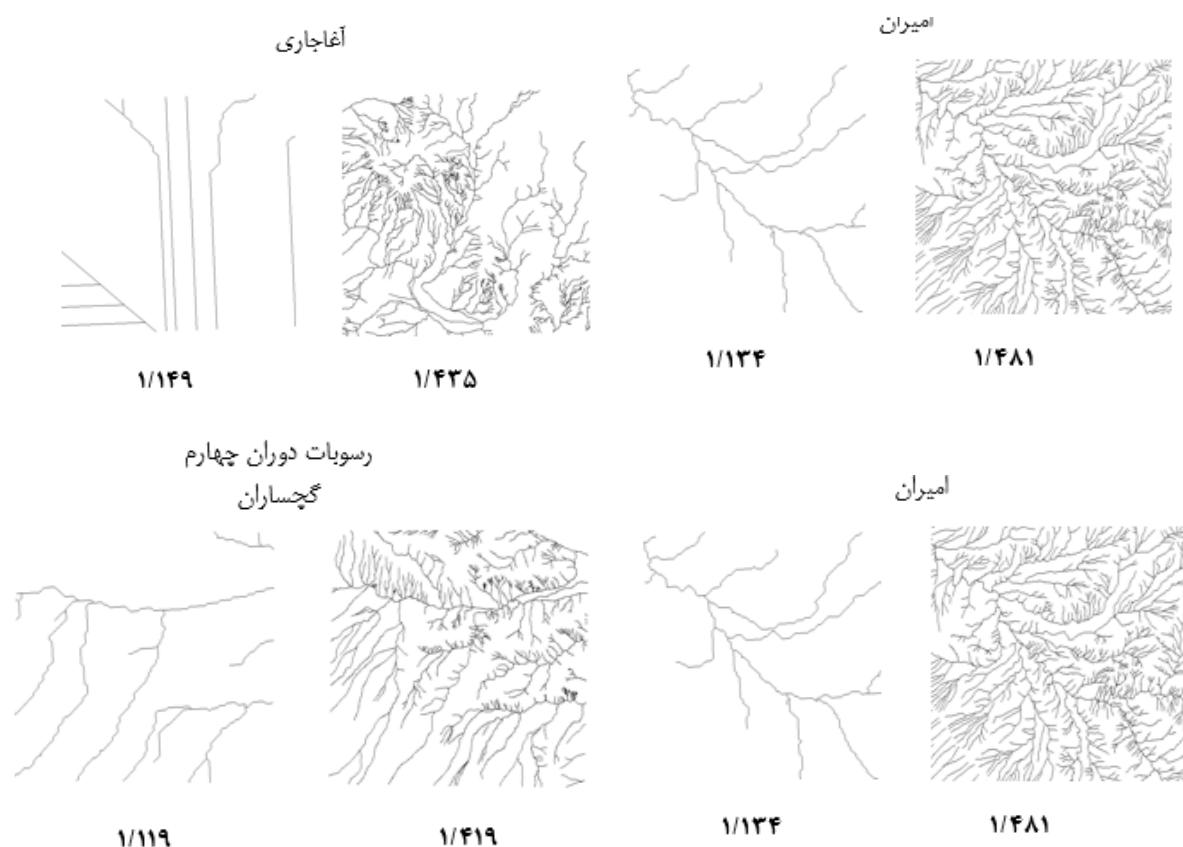
ادامه شکل ۲- شبکه هیدرولوگی و بعد فرآکتال حوزه‌های آبخیز قبل از اصلاح شبکه هیدرولوگی
Continued Figure 2. Hydrographic network and fractal dimension of watersheds before hydrographic network modification



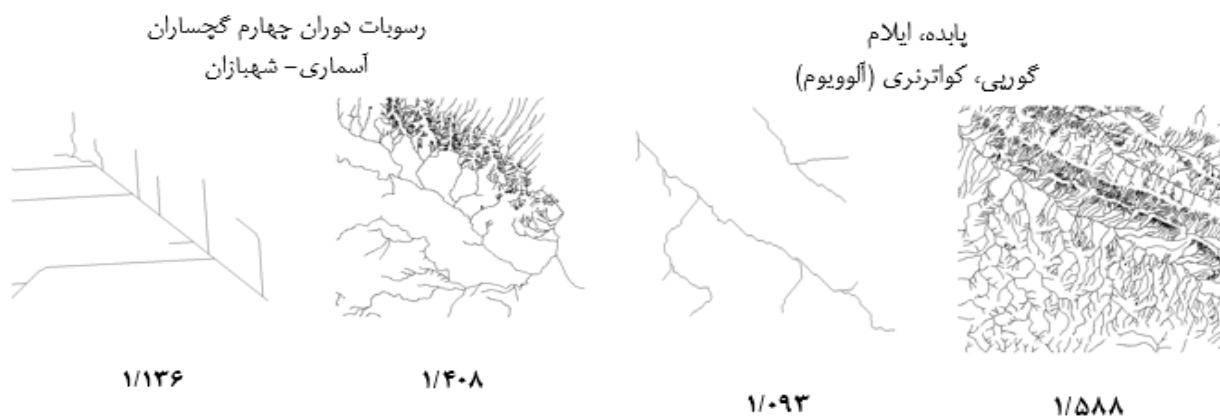
ادامه شکل ۲- شبکه هیدرولوگی و بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز قبل از اصلاح شبکه هیدرولوگی
Continued Figure 2. Hydrographic network and fractal dimension of watersheds before hydrographic network modification

شده، محاسبه گردید و پس از آن به مقایسه ابعاد فراکتالی پرداخته شد. در شکل‌های زیر ابعاد فراکتالی محاسبه شده برای چند نمونه از واحدهای ۲۵ کیلومتر مربع قبل و بعد از اصلاح شبکه‌ی هیدرولوگی مشاهده می‌گردد. شکل‌های (۳) الی (۵) شکل‌های مقایسه‌ای شبکه آبراهه قبلاً و بعد از اصلاح نشان می‌دهد که شبکه آبراهه‌ای با دقت ۵۰ متر در پلات‌های 5×5 کیلومتر مربع (۲۵ کیلومتر مربع) متانظر از دقت بسیار کمتر نسبت به شبکه زهکشی ترسیم شده از روی گوگل ارث با دقت بیشتر از پنج متر، برخوردار است. در شکل‌های (۳-۴) تصاویر گوگل ارث مربوط به تعدادی از نمونه‌هایی که شبکه هیدرولوگی اصلاح شده آورده شده است.

در اینجا ذکر این نکته ضروری می‌نماید که برای مقایسه بعد فراکتال یک پدیده در دو منطقه متفاوت باید مقیاس و اندازه مساحت تصاویر اسکن شده یکسان باشد، حتی قلم و فونت شکل‌ها می‌تواند در عدد فراکتال تغییر ایجاد کند. بهمین دلیل برای جلوگیری از خطای حاصل از محاسبه بعد فراکتال در حوزه‌های مطالعاتی که از مساحت‌های مختلف و به تبع نقشه‌هایی با اندازه‌های مختلف برخوردار بودند و گرفتن خروجی از آن‌ها بر روی کاغذ A4 یا کاغذهایی با اندازه یکسان می‌تواند خطای ایجاد کند در مطالعه حاضر برای تمام حوزه‌های مطالعاتی در سه بخش بالادست، میانی و پایین دست حوزه پلات‌هایی به ابعاد 5×5 کیلومتر انتخاب و عدد فراکتال حاصل از آن‌ها با دو دقت متفاوت: (الف) DEM ۵۰ متر، (ب) DEM کمتر از ۵ متر که از روی گوگل ارث تهیه



شکل ۳- بعد فراكتال نمونه‌ای از شبکه هیدروگرافی سازند آغجاری و امیران قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی
Figure 3. Fractal dimension Example of hydrographic network of Aghjari and Amiran Formations before and after modification of hydrographic network



شکل ۴- بعد فراكتال نمونه‌ای از شبکه هیدروگرافی با چند سازند مختلف قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی
Figure 4. Fractal dimension Example of hydrographic network with several different formations before and after modification of hydrographic network



شکل ۵- اصلاح شبکه هیدروگرافی در واحد ۲۵ کیلومترمربعی در گوگل ارث
Figure 5. Hydrographic network modification in a 25-square-kilometer unit in Google Earth

حوزه آبخیز) آمده است. همانظور که دیده می‌شود، مقادیر بعد فراكتال حوزه‌های آبخیز عددی بین ۱ تا ۲ است.

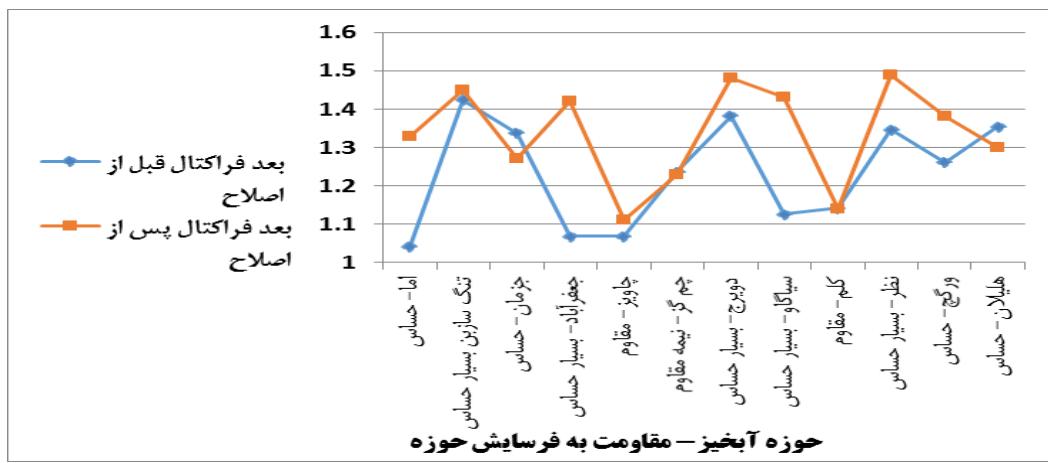
در جدول (۲) مقادیر بعد فراكتال حوزه‌های آبخیز استان ایلام قبل و پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی (در واحدهای یکسان ۲۵ کیلومترمربعی و تصحیح بعد فراكتال

جدول ۲- بعد فراكتال حوزه‌های آبخیز قبیل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی
Table 2. Fractal dimension of watersheds before and after modification of hydrographic network

نام حوزه	عدد فراكتال پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی	عدد فراكتال قبیل از اصلاح شبکه هیدروگرافی	عدد فراكتال پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی
اما	۱/۰۴۲	۱/۰۴۳	
تنگ سازین	۱/۴۲۴	۱/۴۵	
جعفرآباد	۱/۰۶۹	۱/۴۲	
جزمان	۱/۳۳۷	۱/۷۲	
چاویز	۱/۰۶۸	۱/۱۱	
چم گز	۱/۲۳۶	۱/۲۳	
دیرج	۱/۳۸۲	۱/۴۸	
سیاه گاو	۱/۱۲۶	۱/۴۳	
کلم	۱/۱۴۲	۱/۱۴	
نظرآباد	۱/۳۴۶	۱/۴۹	
ورگج	۱/۲۶۱	۱/۳۸	
هلیلان	۱/۳۵۴	۱/۳	

فراكتال حوزه آبخیز سیاگاو هم از حوزه آبخیز کلم بیشتر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت بعد فراكتال شبکه آبراهه‌ها تابعی از ویژگی‌های سنگ‌شناسی و حساسیت به فرسایش سازنده‌های حوزه‌های آبخیز بوده، بنابراین بین تراکم شبکه هیدروگرافی و به تبع آن بعد فراكتال حوزه ارتباط معنی‌دار مشاهده می‌گردد که با نتایج نیکویی و همکاران (۱۹) در استفاده از هندسه فراكتال به عنوان ابزار مناسب بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای همخوانی دارد. با محاسبه بعد فراكتال می‌توان ویژگی‌های سازنده‌های مختلف منطقه را تا حدودی برآورد نمود. این مورد با نتایج عدل و همکاران (۱) به لحاظ اینکه بعد فراكتال حوزه‌های آبخیز معرف تشابه نتایج مهروند و همکاران (۱۷) از نظر ارتباط مستقیم بعد فراكتال با شبکه زهکشی تطابق دارد و نیز با نتایج پلتیر (۲۰) که منجر به تولید توپوگرافی فراكتالی و شبکه رودخانه‌ای فراكتالی شد؛ همخوائی دارد. همچنین با نتایج رضایی مقدم و همکاران (۲۱) در استفاده از بعد فراكتال به عنوان روش ریاضی مناسب جهت بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ها مطابقت دارد. با توجه به رابطه مستقیم بین بعد فراكتال و حساسیت سازند و تراکم شبکه هیدروگرافی می‌توان گفت که شبکه آبراهه‌ای با دقت DEM ۵۰ متر در پلات‌های 5×5 کیلومتر مربع (۲۵ کیلومتر مربع) متضایر از دقت سیار کمتر نسبت به شبکه زهکشی ترسیم شده از روی گوگل ارث با دقت بیشتر از پنج متر، برخوردار است.

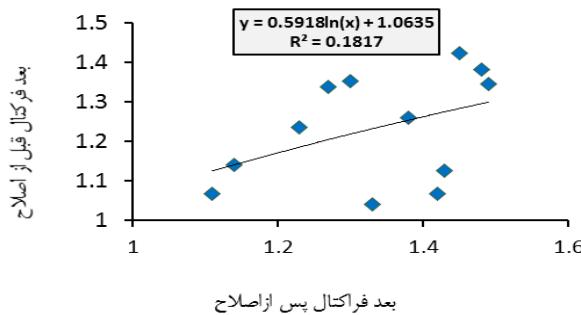
کمترین مقدار بعد فراكتال قبل از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی مربوط به حوزه آبخیز اما (۱/۰۴۲) و بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه آبخیز تنگ سازین (۱/۴۲۴) می‌باشد. در حالی که پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی و محاسبه بعد فراكتال، کمترین مقدار به دست آمده بعد فراكتال مربوط به حوزه آبخیز چاویز (۱/۱۱) و بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه آبخیز نظرآباد (۱/۴۹) است. شکل (۶) نمودارهای بعد فراكتال حوزه‌ها قبل و پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی را نمایش می‌دهد. در نمودار آبی (عدد فراكتال قبل از اصلاح) و در نمودار قرمز (عدد فراكتال پس از اصلاح) دیده می‌شود. با توجه به نمودارها بعد فراكتال شبکه‌های هیدروگرافی عددی بین ۱ تا ۲ است. همچنین تغییرات قابل ملاحظه این نمودارها نسبت به هم، نشان می‌دهد بعد فراكتال حوزه‌های آبخیز قبل و پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی تغییر زیادی داشته است، مثلاً در محل جزمان و جعفرآباد، حوزه آبخیز جعفرآباد سیار حساس و بعد فراكتال آن کمتر از حوزه آبخیز جزمان با حساسیت سنگ‌شناسی کمتر است و نیز بعد فراكتال حوزه کلم با رده مقاوم به فرسایش بیشتر از حوزه آبخیز سیاگاو با مقاومت سنگ‌شناسی پایین می‌باشد، این در حالی است که با توجه به آنچه گفته شد و ارتباط بعد فراكتال و حساسیت سنگ‌شناسی و تراکم شبکه هیدروگرافی، بعد فراكتال حوزه جعفرآباد می‌باشد از حوزه آبخیز جزمان و نیز سیاگاو از کلم بیشتر باشد. همان‌طور که می‌بینید در نمودار بعد فراكتال پس از اصلاح، این ترتیب اصلاح شده و بعد فراكتال حوزه آبخیز جزمان از جعفرآباد کمتر است. بعد



شکل ۶- نمودارهای بعد فراكتال حوزه‌ها قبل (حوزه آبخیز) و پس از اصلاح شبکه هیدرو گرافی (واحدهای ۲۵ کیلومترمربعی)
Figure 6. The Fractal dimension graphs of the domains before (watershed) and after modification of the hydrographic network (25-square-kilometer units)

باشد مقدار همبستگی داده‌ها کمتر می‌باشد (۲) و (۷). بنابراین مقدار آن (0.1817) در شکل نشان‌دهنده همبستگی بسیار کم داده‌های بعد فراكتال قبل و پس از اصلاح شبکه هیدرو گرافی و اختلاف زیاد آن‌ها است.

در شکل (۷) رگرسیون مقادیر بعد فراكتال حوزه‌های مطالعاتی قبل و پس از اصلاح شبکه هیدرو گرافی ارائه شده است که در آن مقدار $R^2 = 0.1817$ معادل 0.1817 شده است. مقدار R^2 همیشه عددی بین صفر و یک است و هرچه مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر باشد همبستگی داده‌ها بیشتر و هرچه به صفر نزدیک‌تر



شکل ۷- رگرسیون مقادیر ابعاد فراكتال حوزه‌های آبخیز قبل و پس از اصلاح شبکه‌های هیدرو گرافی
Figure 7. Regression of fractal dimensions of watersheds before and after modification of hydrographic networks

از مساحت یکسانی برخوردار بوده و همچنین، دقت و مقیاس ترسیم شبکه‌های هیدرو گرافی نیز یکسان باشد. بین تراکم شبکه هیدرو گرافی و به تبع آن بعد فراكتال حوزه ارتباط معنی‌دار مشاهده می‌گردد. بیشترین مقدار بعد فراكتال را می‌توان در حوزه‌هایی که از نظر سنگ‌شناسی بسیار حساس تا حساس هستند، از جمله حوزه‌های نظر آباد معادل $1/48$ ، دیرج معادل $1/49$ و کمترین مقدار آن را می‌توان در حوزه‌هایی که از نظر سازندهای زمین‌شناسی مقاوم تا نیمه مقاوم هستند، از جمله کلم معادل $1/14$ و چم گز $1/11$ مشاهده کرد. از طرفی می‌توان چنین بیان نمود که بعد فراكتال شبکه آبراهه‌ها تابعی از ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوزه‌های آبخیز بوده و با محاسبه آن می‌توان ویژگی‌های سازندهای مختلف منطقه را در زمینه فرسایش و رسوب تا حدودی برآورد نمود. از سوی دیگر با استناد به نتایج تحقیق می‌توان با دقت بیش از 90% با داشتن بعد فراكتال نوع سازندهای منطقه را پیش‌بینی کرد. پیشنهاد می‌گردد، اقدامات مشابه مقاله با مقیاس‌های دقیق‌تر

شکل‌های (۳) الی (۵) گویای آن است که پس از اصلاح شبکه هیدرو گرافی، تراکم شبکه هیدرو گرافی و به تبع آن بعد فراكتال در واحدهای ۲۵ کیلومتری افزایش می‌یابد و اینکه در سازندهایی با حساسیت بیشتر نسبت به سازندهای مقاوم تغییرات تراکم شبکه هیدرو گرافی بیشتر رخ داده، در نتیجه تعییر بعد فراكتال آن‌ها نیز بیشتر مشاهده می‌گردد. در این تحقیق اقدام به بررسی رابطه بین ویژگی‌های هندسی شبکه آبراهه‌های مستخرج از مدل رقومی ارتفاع (DEM 50 m) و شبکه آبراهه‌های بدست آمده از تفسیر بصیری داده‌های گوگل ارث با استفاده از بعد فراكتال گردید. نتایج نشان می‌دهد شبکه زهکشی ترسیم شده از روی گوگل ارث با دقت بیشتر از پنج متر نسبت به شبکه آبراهه‌ای متناظر با دقت DEM ۵۰ متر در پلاتهای 5×5 کیلومتر مربع (۲۵ کیلومتر مربع) از دقت بسیار بالایی برخوردار است، همچنین محاسبه و مقایسه بعد فراكتال به روش‌های تصویری در صورتی صحت دارد که عرصه‌های مورد مقایسه

مطالعات مربوط به تحلیل مورفولوژی رودخانه نیز می‌توان از بعد فرآکتال استفاده کرد.

در حوزه‌های موردمطالعه و سایر حوزه‌های آبخیز کشور صورت گیرد و رابطه بعد فرآکتال با سایر سازندگان زمین‌شناسی در اقلیمهای مختلف بررسی شود. همچنین در

منابع

- Adl, I. and S. Mehrvand. 2004. Fractal dimension and hydrological characteristics of catchments, Sharif University, Tehran, (In Persian).
- Afshani, S.A. 2008. Practical training of SPSS in social and Behavioral Sciences, Yazd University, pp: 145-146.
- Baas, A. 2002. Tchaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology:simulating dune landscapes in vegetated environments Geomorphology, 48: 309-328.
- Del Afroz, H., A. Ghaheri, M.A. Ghorbani and M.H. Fazeli fard. 2016. Use an index nonlinear dynamical systems for the classification of hydrological watershed, Journal of Watershed Management, 7(13): 42-49 (In Persian).
- Dombrádi, E., G. Timár, G. Bada, S. Cloetingh and F. Horváth. 2007. Fractal dimension estimations of drainage network in the, Sciedencedirect, Global and Planetary Change, 58: 197-213.
- Ekhtesasi, M.R. 1994. An Introduction to the fractal,Quantitative geomorphology, Desert and Natural Resources College, Yazd University, (In Persian).
- Esmaeili, H.A. and S. Kheyri. 2006. Introductory Workshop 11/5 SPSS software training," Mashhad University of Medical Sciences.
- Ghadam poor, Z. and N. Taleb Bidokhti. 2011. Calculating the fractal dimension meander in the river using a box counting, Sixth National Congress on Civil Engineering, Semnan University. (In Persian).
- Gulbin, Y.L. ans E.B. Evangulova. 2003. Morphometry of quartz aggregates in granites:fractal image referring tonucleation and growth processes," Mathematical Geology, 35(7): 819-833.
- Homauoon NeJad, I. and S. SHojaei. 2016. Application of fractal watershed assessment (Case study: watershed Doiyraj, Ecological congresses and exhibitions and future crises (centered on water scarcity and urban and industrial pollution). No 3:7 pp.
- Horton, R. 2013. Drainage Basin Characteristics. Transactions of the American Geophysical Union(AGU), 13: 350-370.
- Horton, R. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach, 56: 275-370.
- Karam, A. and M. Saberi. 2015. Calculating the fractal dimension in drainage basins and its relationship with the characteristics of the basin Geomorphological (Case study: watershed north of Tehran), quantitative geomorphology, 4(3): 153-167 (In Persian).
- Kruhl, J.H. 2012. Fractal-geometry techniques in the quantification of complex rock structures, Geology, 46: 2-21.
- Kruhl, J.H. and M. Nega.1996. The fractal shapeofsutured quartz grainboundaries, Geologische Rundschau, 85: 38-43.
- La Barbera, P. and R. Rosso. 1989. On the fractal dimension of stream networks. Water Resources Research, 25(4): 735-741.
- Mehr Kazemian, M. and I. Sajedifar. 2008. Geotourism Atlas Ilam Province Geological organisation and Mineral Exploration country., Earth Sciences Databases.
- Navarre Sitchler, A. and S. Brandley. 2007. Basalt weathering across scales, Earth and Planetary Science Letters, 261(1-2): 321-334.
- Nikooie, E., M. Hidari, N. Taleb Bidokhti and A.A. Hekmatzadeh. 2008. Fractal geometry in river engineering, ideas, concepts and achievements در "Congress of Civil Engineering, Tehran, (In Persian).
- Peitgen, H.O., H. Jurgens and D. Saupe. 1992. Chaos and Fractals:, " New Frontiers of Science, Vols. Springer, New York, 2(864): 62-63.
- Pelletier, Jon D. 1999. Self-organization and scaling relationships of evolving river networks Journal april10, Geophysic research, pp: 7359-7375.
- Rezaei Moghaddam, M.H. M.R. Servati and S. Asghari Sereskanrood. 2011. A comparative study of fractal geometry analysis and pattern meanders using indexes central angle and curvature coefficient (Case Study: River Qzlavzn), Journal of watershed management, Vol. 2, No. 3 (In Persian).
- Roach, D. and A. Fowler. 1993. Dimensionality analysis of patterns: fractal measurements, AA(Ottawa Carleton Geoscience Centre and Department of Geology, 19(6): 849-869.
- Schuller, D.J., A.R. Rao and G.D. Jeong. 2001. Fractal characteristics of dense stream networks, Hydrology, 243: 1-16.
- Tahmasebi, Z., F. Zal and A. Ahmadi Khalaji. 2015. Tourmaline granites morphology in Mashhad (g2) using fractal analysis and social theory with a limited release (DLA), Crystallography and Mineralogy of Iran, Vol. 23, No. 3, (In Persian).
- Talling, P. and M.J. Sowter. 1999. Drainage density on progressively tilted surfaces with different gradients, Wheeler Ridge, California. Earth Surface Processes and Landforms, 24: 809-824.
- Turcotte, D.L. 1992. Fractal and Chaos in Geology and Geophysics, Geophysics Cambridge university press.
- Veneziano, D. and J.D. Niemann. 2000. Self-similarity and multifractality of fluvial erosion topography: 1. Mathematical conditions and physical origin. Water Resources Research, 36: 1923-1936.

Comparison Density and Fractal Dimension of Drainage Networks in Different Scales and Precision Different (Case Study: Ilam Watersheds)

Mahtab Alimoradi¹, Mohammad Reza Ekhtesasi² and Mehdi Tazeh³ and Haji Karimi⁴

1- M.Sc., Natural Resources Engineering-watershed, Yazd University, Iran

2- Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Desert and Natural Resources College, Yazd University, Iran (Corresponding author: mr_ekhtesasi@yazd.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department Natural Resources, Ardakan University, Iran

4- Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Agriculture College, Ilam University

Received: April 8, 2017

Accepted: May 29, 2018

Abstract

Every phenomena in the nature, despite the complexity of the subject, has certain rules and regulations. River pattern and behavior as one of the most complex natural phenomena to this is not an exception. Depending on geomorphologic, climatic, topographic and erosive conditions, the waterways exhibit different patterns and behaviors. One of the parameters which can be achieved using the complexity of the pattern of the form of phenomena is fractal geometry. The purpose of this study is to calculate and compare the fractal dimension of hydrographic networks in Ilam watersheds, which were extracted from 50 m DEM and SRTM satellite data. Hydrographic networks that were derived from SRTM data with a precision of more than 5 meters are mapped by using Google Earth images. For this purpose, 12 watersheds were first selected in Ilam province (Ema, Tang-e-Sazbon, Doiraj, Holylan, Nazarabad, Chamgahs, Kolm, Siagav, Jafarabad, Chaviz, Jezman and Vargach) and after determining the units of 25 square kilometers in each of the areas and drawing and completing the drainage network patterns in the studied areas, their fractal dimension were calculated using Fractalyse software. The results showed that the calculation and comparison of fractal dimension with visual methods is correct if the compared fields have the same area, and the accuracy and scale of the drawing of hydrographic networks is also the same. On the other hand, the drainage network drafted on Google Earth with a precision of more than five meters compared to the corresponding waterway network with a precision of 50m DEM in 5×5 square kilometers (25 square kilometers), has a very high accuracy. Also, the minimum fractal dimension before the modification of hydrographic networks is for Ema watershed (1/042) and the maximum amount is for Tang-e-Sazbon watershed (1,424). However, after the modification of hydrographic networks and calculating fractal dimension, the lowest fractal dimension is for Chaviz watershed (1.1) and the highest amount is for Nazarabad (1.49).

Keyword: Quantitative Parameters, Fractals Dimension, Formations Geology and Hydrology and Sediment Indicators