دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مقایسه تراکم و بعد فراکتال شبکه‌های زهکشی در مقیاس و د قت‌های مختلف (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز استان ایلام)

مهتاب علیمرادی[۱]، محمدرضا اختصاصی[۲]، مهدی تازه[۳] و حاجی کریمی[۴]

۱- کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد
۲- استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد (نویسنده 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 ۷۳ تا ۸۴

چکیده

پدیده‌ها و عوارض موجود در طبیعت به‌رغم پیچیدگی‌های فراوان دارای نظم و قواعد خاصی است. رفتار و الگوی رودخانه‌ها نیز به‌عنوان 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 یافت، هندسه فراکتال می‌باشد. هدف از این پژوهش محاسبه و مقایسه بعد فراکتال شبکه‌های هیدروگرافی در حوزه‌های آبخیز استان ایلام که از DEM 50 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 سازبن، دویرج، هلیلان، نظرآباد، چم‌گز، کُلم، سیاگاو، جعفرآباد، چاویز، جزمان و ورگچ) انتخاب و پس از تعیین واحدهای ۲۵ کیلومتر مربع در محدوده هرکدام از حوزه‌ها و ترسیم و تکمیل الگوهای شبکه زهکشی در محدوده‌های مورد مطالعه، به کمک نرم‌افزار فراکتالیز بعد فراکتال آنها محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که محاسبه و مقایسه بعد فراکتال 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 گوگل‌ارث با دقت بیشتر از پنج متر نسبت به شبکه آبراهه‌ای متناظر با دقت DEM ۵۰ متر در پلات‌های ۵×۵ کیلومتر مربع (۲۵ کیلومتر مربع) از دقت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین کمترین مقدار بعد فراکتال قبل از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی مربوط به حوزه آبخیز اما (۱/۰۴۲) و بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه‌آبخیز تنگ سازبن (۱/۴۲۴) می‌باشد. در حالیکه پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی و محاسبه بعد فراکتال، کمترین مقدار به‌دست‌آمده بعد فراکتال مربوط به حوزه‌آبخیز چاویز (۱/۱۱) و بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه‌آبخیز نظرآباد (۱/۴۹) است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای کمّی، بُعد فراکتال، سازندهای زمین‌شناسی و شاخص‌های هیدرولوژی و رسوب

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 فرآیندهای 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). ازآنجاکه 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 فراکتال در برآورد آن‌ها استفاده شود. علوم زمین‌شناسی شامل مطالعات قابل توجهی (کانی‌شناسی، بافت و هوازدگی سنگ) می‌باشد که در آن از هندسه فراکتال 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 فراکتالی می‌توان آن‌ها را بررسی کرد. می‌توان با محاسبه بعد فراکتال هریک از خصوصیات حوزه آبخیز و بررسی آن‌ها با روش‌های پیشرفته آماری (تجزیه عاملی، خوشه‌بندی، رگرسیون‌های چندگانه و ...) در پی یافتن پارامترهای جدیدی برای حوزه‌های آبخیز باشیم که قادر به تبیین خصوصیات بیشتری از حوزه‌های آبخیز باشند. هندسه فراکتال ابزاری برای اندازه‌گیری اشکال نامنظم است. بر اساس روش مربع شمار که یکی از ابزارهای هندسه فراکتال است بین بعد فراکتال و بی‌نظمی اشکال، ارتباط مستقیمی وجود دارد به‌طوری که اجسام با بی‌نظمی بیشتر دارای بعد فراکتال بزرگتری هستند (۲۵). هندسه فراکتال یکی از مهمترین روش‌های ساختاری است که با تعیین بعد فراکتال 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 متریک یکدیگر می‌باشند (شاخص‌های هندسی برابر دارند) و بر اساس این تحقیقات تشابه زیادی بین مشخصات ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی آن‌ها وجود دارد (۱). فراکتال یک شکل یا الگوی هندسی تکرار شده از قسمت‌های یکسان

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]

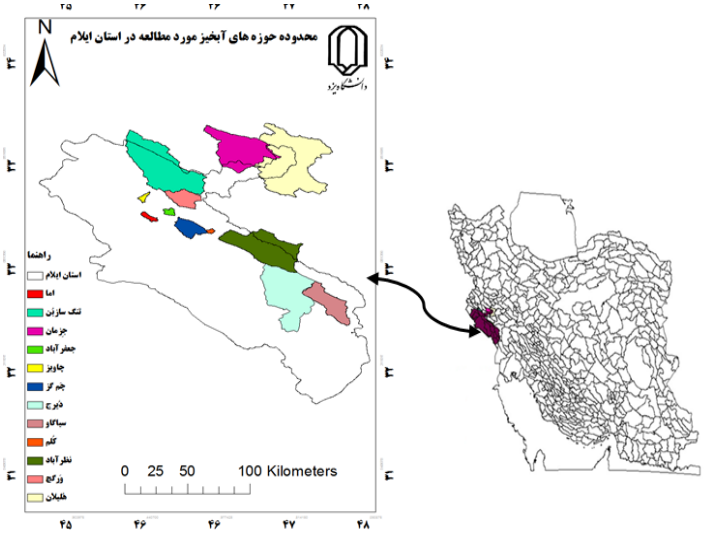
یک شئ است که قطعه‌ای از آن مشابه کل می‌باشد و مطالعه جزئی از آن نشان‌دهنده الگوی کلی است، به‌طور مثال گل‌کلم (۲۴،۶،۲۱). نخستین بررسی‌ها در جهت ایجاد مدل هندسی مناسب از شبکه رودخانه توسط هورتون در سال‌های ۱۹۳۲ و ۱۹۴۵ صورت پذیرفت (۵،۱۱،۱۲)، در سال‌های بعد توسط لا باربرا وروسو مفهوم بعد فراکتالی شاخه‌های رودخانه وارد فرمول‌بندی هورتون گردید (۱۶). بیشترین تجزیه و تحلیل فراکتالی و مدل خود سامان یافته از شبکه‌های رودخانه‌ای توسط (تالینگ، (۲۵) و ونزیانو و نومان، (۲۷) انجام گرفته است (۳). شواهد تجربی نشان می‌دهد که هندسه فراکتالی 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 به‌دست می‌دهد (۴،۱۳،۱۵). رضایی مقدم و همکاران (۲۲) در بررسی و مقایسه الگوهای پیچان‌رود با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال و شاخص‌های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی رودخانه قزل‌اوزن، توانایی هندسه فراکتال را در شناسایی تغییرات اتفاق افتاده در الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن نشان دادند. تحلیل فراکتالی قسمتی از مسیر رودخانه نشان داد که الگوی هندسی رودخانه‌ها خاصیت فراکتالی داشته و می‌تواند تغییرات الگوی هندسی رودخانه در سال‌های مختلف توسط هندسه فراکتال تحلیل گردد، نتایج تحلیل فراکتالی با نتایج شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در رودخانه کاملاً منطبق بود؛ بنابراین هندسه فراکتال توانسته به‌عنوان یک روش جدید و پویا در مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه به‌کار رود (۲۲). قدم‌پور و طالب بیدختی (۸) در محاسبه بعد فراکتالی در رودخانه‌های پیچانرودی با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای در رودخانه حله دریافتند با توجه به آنکه در هندسه فراکتالی، 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 فراکتالی می‌تواند شاخص مناسبی برای بیان تغییرات رودخانه‌های پیچانرودی در شکل بوده و به‌عنوان پارامتر هندسی جدید وارد مدل‌های ریخت‌شناسی رودخانه‌های پیچانرودی گردد (۸). نیکویی و همکاران (۱۸) ضمن بیان مفاهیم اساسی موردنیاز همانند بعد فراکتالی و طیف فراکتالی به‌بررسی نمونه‌های تحقیقات انجام‌گرفته با دو دیدگاه تک‌فراکتالی و چندفراکتالی پرداخته‌اند و در انتها با بررسی نقاط ضعف و قوت دو دیدگاه، بیان کردند که هندسه فراکتال می‌تواند به‌عنوان ابزار ریاضی مناسب جهت بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ها به‌کار گرفته شود. انشعابات یک رودخانه از مرتبه‌های گوناگون، همچنین سطح و طول انشعابات از رابطه توانی و فراکتالی پیروی می‌کنند. از این‌رو می‌توان جهت بررسی تغییرات انشعابات رودخانه‌ها و نیز حوزه‌ی آن‌ها درگذر زمان بهره جست. شکل هندسی رودخانه‌ها (منحنی رودخانه)، می‌تواند به‌عنوان یک خم چند فراکتال مدنظر قرار گیرد و از این‌رو منظر تئوری ریاضی چند فراکتال می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب، جهت پیش‌بینی شکل هندسی آتی رودخانه‌های پر پیچ‌وخم به خدمت گرفته شود (۱۹). فولر و راش (۲۲)، در تجزیه و تحلیل الگوها از طریق فراکتال، با هدف مقایسه روش‌های استاندارد و ارائه روش‌های جدید برای تخمین بعد فراکتال (فراکتال 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 فراکتال تغییرات خواص پوسته پوسته شدن را با دقت بیشتر تخمین می‌زند و برتری عمده‌ای نسبت به سایر روش‌های کمی‌سازی دارد (۲۲). همایون‌نژاد و شجاعی (۹) در بررسی کاربرد علم فراکتال در ارزیابی حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبریز دویرج) نشان دادند که با افزایش اندازه خطوط شبکه هیدروگرافی، بعد فراکتال آبراهه افزایش یافت اما بعد فراکتال حوزه تغییر نکرد و تقریبا ثابت بود. دلیل ثابت بودن بعد فراکتال حوزه را می‌توان ثابت بودن تغییرات در سطح آن دانست. با توجه به نتایج می‌توان بعد فراکتال را جهت جداسازی سازندهای مختلف استفاده نمود (۱۰). تحقیق حاضر سعی دارد به مقایسه بعد فراکتال در حوزه‌های آبخیز استان ایلام با دو دقت متفاوت DEM ۵۰ متر و DEM ۵ متر (تهیه شبکه هیدروگرافی با استفاده از گوگل ارث) و ایجاد ارتباط بین پاره‌ای از شاخص‌های فراکتال ازجمله فراکتال شبکه زهکشی با دیگر شاخص‌های ژئوفیزیکی نظیر نوع سازندها ارتباط معناداری را به‌دست 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: هُلیلان، دُیرج، تنگ سازبُن، کُلم، نظرآباد، جزمان، وَرگچ، چَم‌گز، چاویز، سیاگاو، جعفرآباد و اِما از حوزه‌های آبخیز استان ایلام می‌باشد که پراکندگی 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]



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 حساسیت‌پذیری سازندهای هر حوزه
۱	تنگ سازبن	۱۳۶۴/۸	۳۳-۳۴-۱۸	۴۶-۵۰-۲۷	بسیار حساس
۲	دویرج	۱۱۹۴/۴	۳۲-۳۵-۴۰	۴۷-۲۳-۰۰	بسیار حساس
۳	هلیلان	۹۷۵/۲۳	۳۳-۴۵-۰۰	۴۷-۱۵-۰۰	حساس
۴	نظرآباد	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	جعفرآباد	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

روش تحقیق

۱- تهیه محدوده حوزه‌های- مطالعاتی

به‌منظور 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 هرکدام از حوزه‌های آبخیز از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان ایلام تهیه و سپس به محیط نرم‌افزار گوگل‌ارث انتقال داده شد. پس‌ازآن نسبت به تهیه و ایجاد محدوده‌های مطالعاتی با توجه به حوزه‌ی بالادست هرکدام 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 ارتفاعی جداشده و با استفاده از نرم‌افزار Arc Hydro طی مراحلی شبکه‌های هیدروگرافی هرکدارم از حوزه‌های آبخیز تهیه شد. ذکر این نکته لازم است که این شبکه‌ها بر اساس مختصات DEM ۵۰ متری تهیه شده‌اند بنابراین در مواردی دقت کافی نداشته و پس از انتقال به محیط گوگل ارث به‌طور 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 فراکتال شبکه هیدروگرافی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]

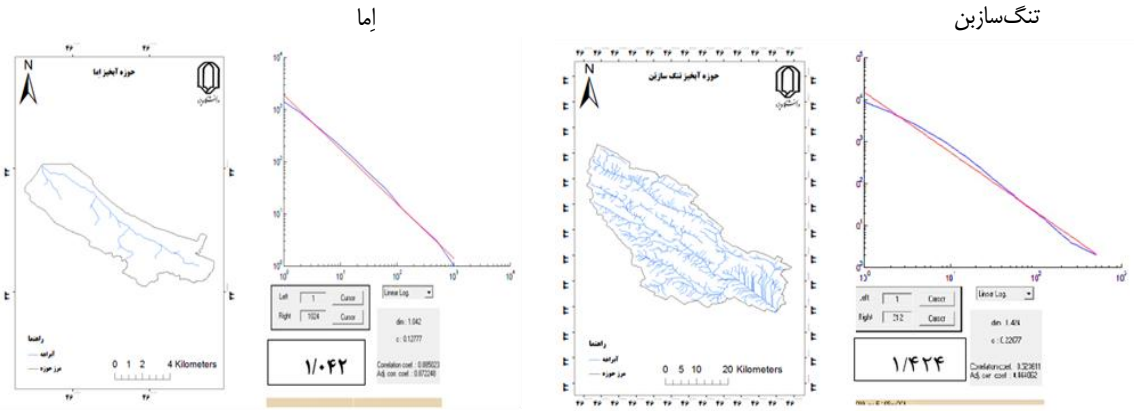
Fractalys انتقال داده شد و ابعاد فراکتالی آن‌ها به‌روش جعبه شمارش هندسی محاسبه شد.

٤- تصحیح شبکه‌های هیدروگرافی به کمک نرم‌افزار گوگل ارث

از آنجا که شبکه‌های هیدروگرافی به‌دست آمده در نرم‌افزار Arc Hydro از دقت مناسبی برخوردار نبود (به‌طور مثال در محیط گوگل‌ارث فقط آبراهه‌هایی با درجه ۳ مشخص‌شده بود و آبراهه‌هایی با درجه کمتر در اکثر نقاط پیدا نبود.) که منجر به نقص داده در روند کار می‌شد؛ شبکه‌های هیدروگرافی هرکدام 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 خطا در عدد فراکتالی به‌دست آمده می‌شود چرا که شبکه‌های هیدروگرافی حوزه‌های بزرگ‌تر در محدوده برگه A4 فشرده شده و عدد فراکتالی بیشتر را به دست می‌داد درصورتی‌که در مورد حوزه‌های کوچک‌تر مقدار فشردگی کمتر بوده و یا وجود نداشت بنابراین بعد فراکتالی به‌دست آمده کمتر می‌شد. این در حالی است که برخی حوزه‌های کوچک‌تر با سازندهای حساس‌تر و شبکه هیدروگرافی متراکم‌تر بوده، که انتظار عدد فراکتالی بالاتر می‌رفت. ازآنجاکه 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 در این واحدها به‌دست آمده و به محیط نرم‌افزار Fractalys آورده شد، سپس ابعاد فراکتالی مربوط به هر کدام از شبکه‌های هیدروگرافی به‌دست آمد. انتخاب واحدهایی به مساحت ۲۵ کیلومترمربع با توجه به وسعت حوزه‌های آبخیز و به نسبت مساحت آن‌ها صورت گرفت تا بتوان میانگین دقیق‌تری برای بعد فراکتال حوزه آبخیز به‌دست آورد و از طرف دیگر در مساحت‌های کمتر آبراهه‌هایی با رتبه‌های ۳ و ۴ کمتر مشاهده می‌شد و یا نبود بنابراین به‌منظور 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 فراکتال برای هرکدام 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 فراکتال در آن‌ها به‌دست آمده، سپس با برآورد میانگین ابعاد فراکتال واحدهای ۲۵ کیلومتری برای هر حوزه مقدار میانگین به‌دست آمده به‌عنوان بعد فراکتال حوزه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

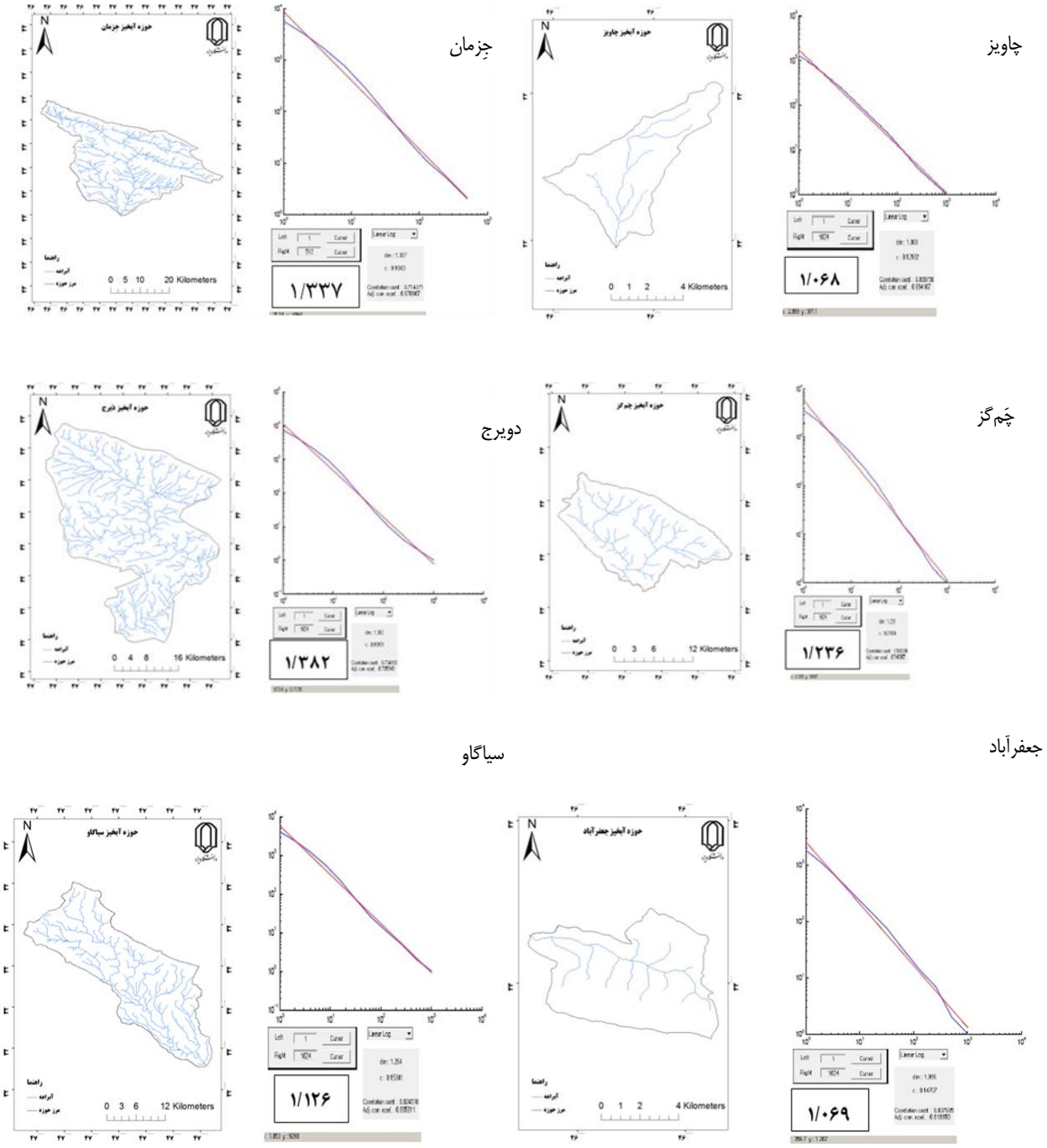
نتایج حاصل از روش تحقیق در زمینه تعیین بعد فراکتال حوزه‌های مطالعاتی در استان ایلام در شکل‌ها، جداول و نمودارهای زیر خلاصه شده است. در شکل‌های (۲) الی (۷) بعد فراکتال حوزه‌های مورد بررسی قبل از تصحیح شبکه‌های هیدروگرافی آورده شده است.



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

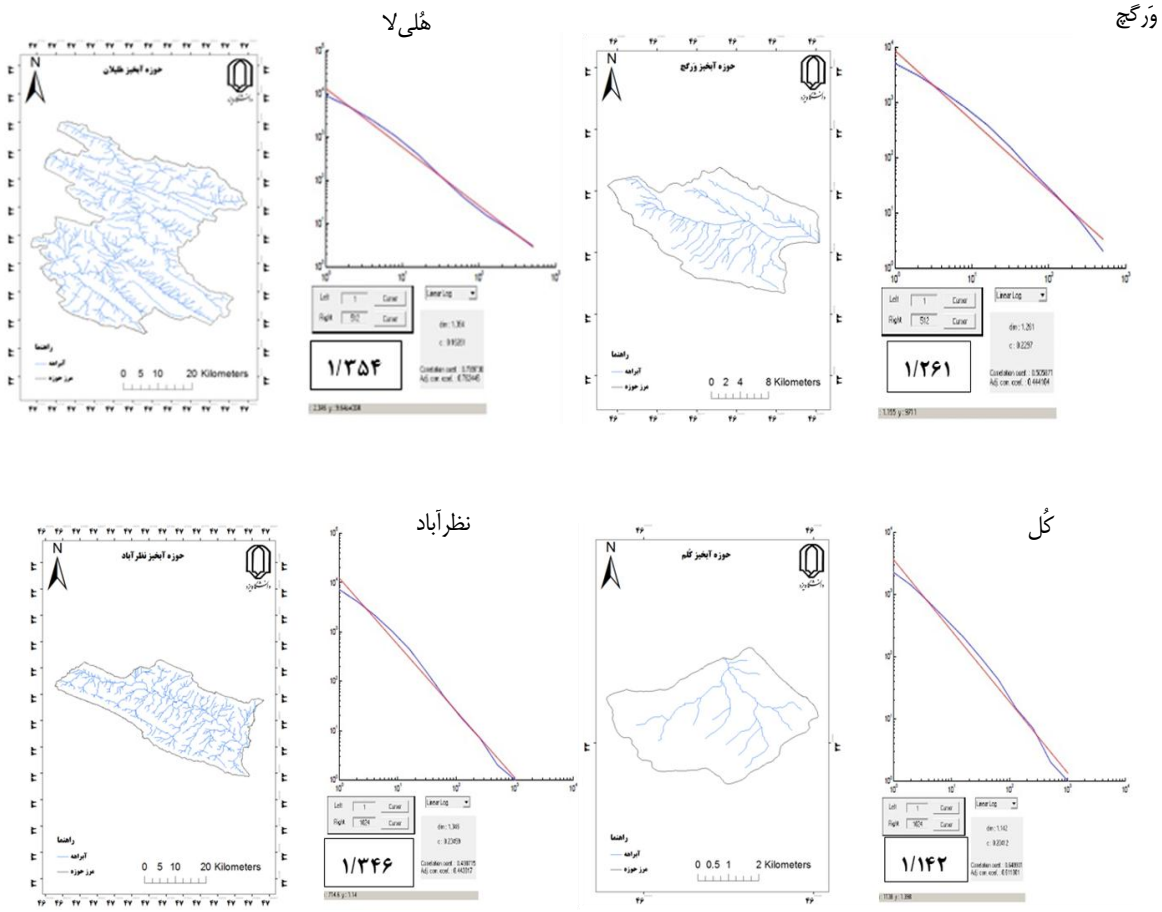
Figure 2. Hydrographic network and fractal dimension of watersheds before hydrographic network modification

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]



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

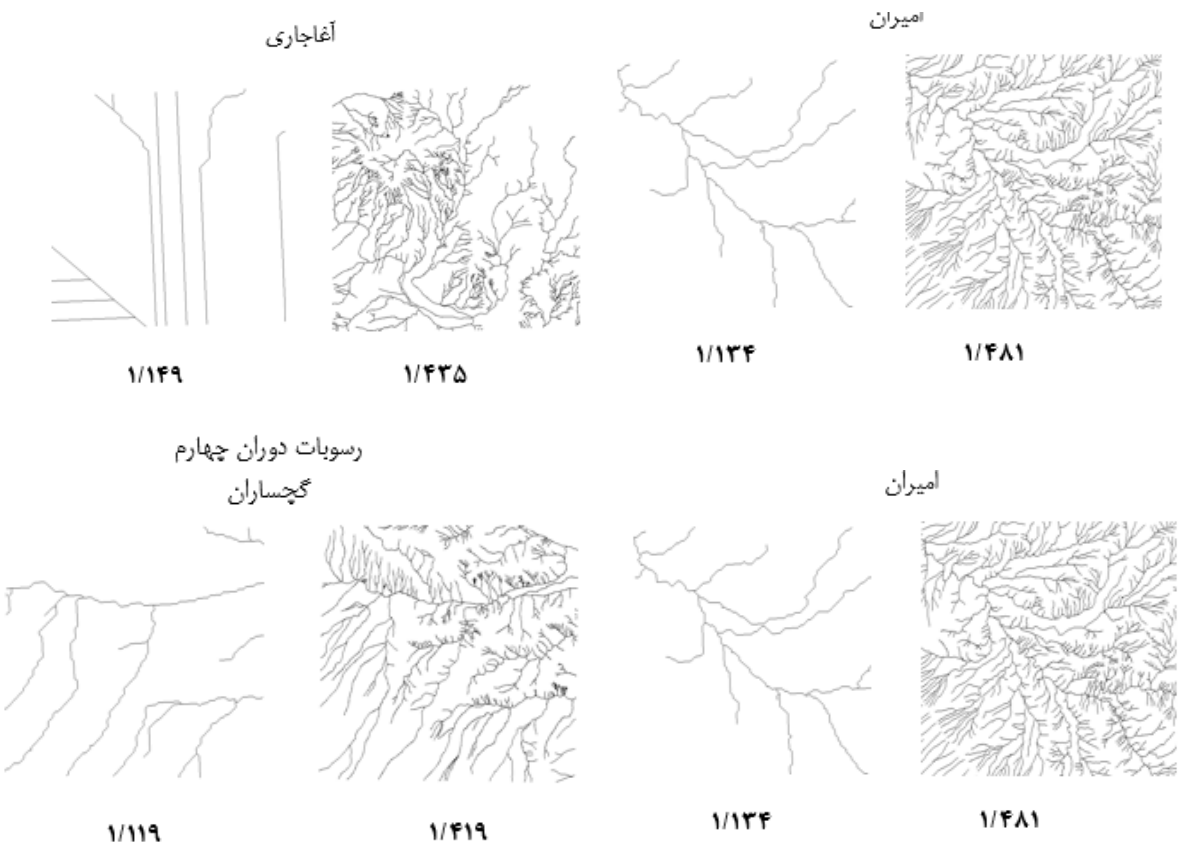
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]



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

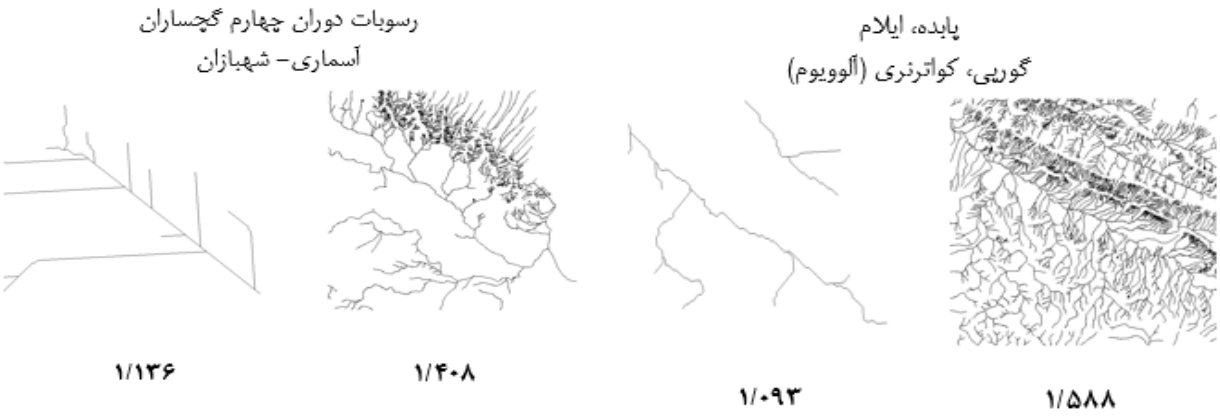
در اینجا ذکر این نکته ضروری می‌نماید که برای مقایسه‌ی بعد فراکتال یک پدیده در دو منطقه متفاوت باید مقیاس و اندازه مساحت تصاویر اسکن شده یکسان باشد، حتی قلم و فونت شکل‌ها می‌تواند در عدد فراکتال تغییر ایجاد کند. به‌همین دلیل برای جلوگیری از خطای حاصل از محاسبه بعد فراکتال در حوزه‌های مطالعاتی که از مساحت‌های مختلف و به تبع نقشه‌هایی با اندازه‌های مختلف برخوردار بودند و گرفتن خروجی از آن‌ها بر روی کاغذ A4 و یا کاغذهایی با اندازه یکسان می‌تواند خطا ایجاد کند در مطالعه حاضر برای تمام حوزه‌های مطالعاتی در سه بخش بالادست، میانی و پایین دست حوزه پلات‌هایی به ابعاد ۵×۵ 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 شده، محاسبه گردید و پس از آن به مقایسه ابعاد فراکتالی پرداخته شد. در شکل‌های زیر ابعاد فراکتالی محاسبه‌شده برای چند نمونه از واحدهای ۲۵ کیلومتر قبل و بعد از اصلاح شبکه‌ی هیدرو گرافی مشاهده می‌گردد. شکل‌های (۳) الی (۵) شکل های مقایسه‌ای شبکه آبراهه قبل و بعد از اصلاح نشان می‌دهد که شبکه آبراهه‌ای با دقت DEM ۵۰ متر در پلات‌های ۵×۵ کیلومتر مربع (۲۵ کیلومتر مربع) متناظر از دقت بسیار کمتر نسبت به شبکه زهکشی ترسیم شده از روی گوگل‌ارث با دقت بیشتر از پنج متر، برخوردار است. در شکل‌های (۴-۳) تصاویر گوگل‌ارث مربوط به تعدادی از نمونه‌هایی که شبکه هیدروگرافی آن اصلاح شده آورده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]



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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]



شکل ۴- بعد فراکتال 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

در جدول (۲) مقادیر بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز استان ایلام قبل و پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی (در واحدهای یکسان ۲۵ کیلومترمربعی و تصحیح بعد فراکتال حوزه آبخیز) آمده است. همانطور که دیده می‌شود، مقادیر بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز عددی بین ۱ تا ۲ است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]

جدول ۲- بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی

Table 2. Fractal dimension of watersheds before and after modification of hydrographic network

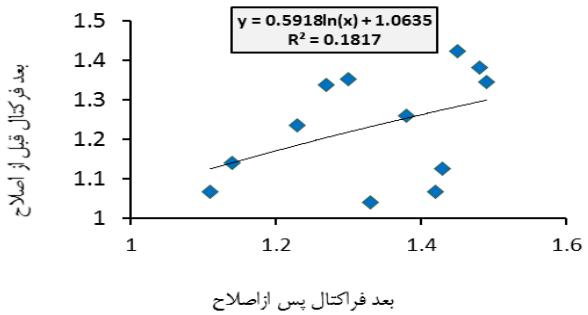
نام حوزه	عدد فراکتال قبل از اصلاح شبکه هیدروگرافی	عدد فراکتال پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی
اما	۱/۰۴۲	۱/۳۳
تنگ سازبن	۱/۴۲۴	۱/۴۵
جعفرآباد	۱/۰۶۹	۱/۴۲
جزمان	۱/۳۳۷	۱/۲۷
چاویز	۱/۰۶۸	۱/۱۱
چم گز	۱/۲۳۶	۱/۲۳
دیرج	۱/۳۸۲	۱/۴۸
سیاه گاو	۱/۱۲۶	۱/۴۳
کلم	۱/۱۴۲	۱/۱۴
نظرآباد	۱/۳۴۶	۱/۴۹
ورگچ	۱/۲۶۱	۱/۳۸
هلیلان	۱/۳۵۴	۱/۳

کمترین مقدار بعد فراکتال قبل از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی مربوط به حوزه آبخیز اما (۱/۰۴۲) و بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه‌آبخیز تنگ سازبن (۱/۴۲۴) می‌باشد. در حالی که پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی و محاسبه بعد فراکتال، کمترین مقدار به دست‌آمده بعد فراکتال مربوط به حوزه‌آبخیز چاویز (۱/۱۱) و بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه‌آبخیز نظرآباد (۱/۴۹) است. شکل (۶) نمودارهای بعد فراکتال حوزه‌ها قبل و پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی را نمایش می‌دهد. در نمودار آبی (عدد فراکتال قبل از اصلاح) و در نمودار قرمز (عدد فراکتال پس از اصلاح) دیده می‌شود. با توجه به نمودارها بعد فراکتال شبکه‌های هیدروگرافی عددی بین ۱ تا ۲ است. همچنین تغییرات قابل ملاحضه این نمودارها نسبت به هم، نشان می‌دهد بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز قبل و پس از اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی تغییر زیادی داشته است، مثلاً در محل جزمان و جعفرآباد، حوزه آبخیز جعفرآباد بسیار حساس و بعد فراکتال آن کمتر از حوزه آبخیز جزمان با حساسیت سنگ‌شناسی کمتر است و نیز بعد فراکتال 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 فراکتال و حساسیت سنگ‌شناسی و تراکم شبکه هیدرو گرافی، بعد فراکتال حوزه جعفرآباد می‌بایست از حوزه آبخیز جزمان و نیز سیاگاو از کلم بیشتر باشد. همان‌طور که می‌بینید در نمودار بعد فراکتال پس از اصلاح، این ترتیب اصلاح‌شده و بعد فراکتال حوزه آبخیز جزمان از جعفرآباد کمتر است. بعد فراکتال حوزه آبخیز سیاگاو هم از حوزه آبخیز کلم بیشتر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت بعد فراکتال شبکه آبراهه ها تابعی از ویژگی‌های سنگ شناسی و حساسیت به فرسایش سازندهای حوزه‌های آبخیز بوده، بنابراین بین تراکم شبکه هیدروگرافی و به تبع آن بعد فراکتال حوزه ارتباط معنی‌دار مشاهده می‌گردد که با نتایج نیکویی و همکاران (۱۹) در استفاده از هندسه فراکتال به عنوان ابزار مناسب بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای همخوانی دارد. با محاسبه بعد فراکتال می‌توان ویژگی‌های سازندهای مختلف منطقه را تا حدودی برآورد نمود. این مورد با نتایج عدل و همکاران (۱) به لحاظ اینکه بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز معرف تشابه ژئومورفولوژیکی در بین آنها است همخوانی دارد. همچنین با نتایج مهروند و همکاران (۱۷) از نظر ارتباط مستقیم بعد فراکتال با شبکه زهکشی تطابق دارد و نیز با نتایج پلتیر (۲۰) که منجر به تولید توپوگرافی فراکتالی و شبکه رودخانه‌ای فراکتالی شد؛ هم‌خوانی دارد. همچنین با نتایج رضایی مقدم و همکاران (۲۱) در استفاده از بعد فراکتال به عنوان روش ریاضی مناسب جهت بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ها مطابقت دارد. با توجه به رابطه مستقیم بین بعد فراکتال و حساسیت سازند و تراکم شبکه هیدروگرافی می‌توان گفت که شبکه آبراهه‌ای با دقت DEM ۵۰ متر در پلات‌های ۵×۵ کیلومتر مربع (۲۵ کیلومتر مربع) متناظر از دقت بسیار کمتر نسبت به شبکه زهکشی ترسیم شده از روی گوگل‌ارث با دقت بیشتر از پنج متر، برخوردار است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]

شکل۶- نمودارهای بعد فراکتال 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)

در شکل (۷) رگرسیون مقادیر بعد فراکتال حوزه‌های مطالعاتی قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی ارائه شده است که در آن مقدار R^2 معادل۰/۱۸۱۷ شده است. مقدار R^2 همیشه عددی بین صفر و یک است و هرچه مقدار آن به ۱ نزدیک تر باشد همبستگی داده‌ها بیشتر و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد مقدار همبستگی داده‌ها کمتر می‌باشد (۲) و (۷). بنابراین مقدار آن (۰/۱۸۱۷) در شکل نشان‌دهنده همبستگی بسیار کم داده‌های بعد فراکتال قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی و اختلاف زیاد آن‌ها است.



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

شکل‌های (۳) الی (۵) گویای آن است که پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی، تراکم شبکه هیدروگرافی و به‌تبع آن بعد فراکتال در واحدهای ۲۵ کیلومتری افزایش می‌یابد و اینکه در سازندهایی با حساسیت بیشتر نسبت به سازندهای مقاوم تغییرات تراکم شبکه هیدروگرافی بیشتر رخ داده، در نتیجه تغییر بعد فراکتال 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 بصری داده های گوگل ارث با استفاده از بعد فراکتال گردید. نتایج نشان می‌دهد شبکه زهکشی ترسیم شده از روی گوگل‌ارث با دقت بیشتر از پنج متر نسبت به شبکه آبراهه‌ای متناظر با دقت DEM ۵۰ متر در پلات‌های ۵×۵ کیلومتر مربع (۲۵ کیلومتر مربع) از دقت بسیار بالایی برخوردار است، همچنین محاسبه و مقایسه بعد فراکتال 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. بین تراکم شبکه هیدروگرافی و به تبع آن بعد فراکتال حوزه ارتباط معنی‌دار مشاهده می‌گردد. بیشترین مقدار بعد فراکتال را می‌توان در حوزه‌هایی که ازنظر سنگ‌شناسی بسیار حساس تا حساس هستند، ازجمله حوزه‌های نظرآباد معادل ۱/۴۸، دیرج معادل ۱/۴۹ و کمترین مقدار آن را می‌توان در حوزه‌هایی که از نظر سازندهای زمین‌شناسی مقاوم تا نیمه مقاوم هستند، ازجمله کلم معادل ۱/۱۴ و چم گز ۱/۱۱ مشاهده کرد. از طرفی میتوان چنین بیان نمود که بعد فراکتال شبکه آبراهه‌ها تابعی از ویژگی‌های سنگ شناسی 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 ۹۰٪ با داشتن بعد فراکتال نوع سازندهای منطقه را پیش‌بینی کرد. پیشنهاد می‌گردد، اقدامات مشابه مقاله با مقیاس‌های دقیق‌تر

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]

در حوزه‌های موردمطالعه و سایر حوزه‌های آبخیز کشور صورت گیرد و رابطه بعد فراکتال با سایر سازندهای زمین‌شناسی در اقلیم‌های مختلف بررسی شود. همچنین در مطالعات مربوط به تحلیل مورفولوژی رودخانه نیز می‌توان از بعد فراکتال استفاده کرد.

منابع

1. Adl, I. and S. Mehrvand. 2004. Fractal dimension and hydrological characteristics of catchments, Sharif University, Tehran, (In Persian).
2. Afshani, S.A. 2008. Practical training of SPSS in social and Behavioral Sciences, Yazd University, pp: 145-146.
3. Baas, A. 2002. Tchaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology:simulating dune landscapes in vegetated environmentso Geomorphology, 48: 309-328.
4. Del Afrooz, 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).
5. Dombrádi, E., G. Timár, G. Bada, S. Cloetingh and F. Horváth. 2007. Fractal dimension estimations of drainage network in the, Sciencedirect, Global and Planetary Change, 58: 197-213.
6. Ekhtesasi, M.R. 1994. An Introduction to the fractal,Quantitative geomorphology, Desert and Natural Resources College, Yazd University, (In Persian).
7. Esmaeili, H.A. and S. Kheyri. 2006. Introductory Workshop 11/5 SPSS software training," Mashhad University of Medical Sciences.
8. 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).
9. Gulbin, Y.L. ans E.B. Evangulova. 2003. Morphometry of quartz aggregates in granites:fractal image sreferring tonucleation and growth processes," Mathematical Geology, 35(7): 819-833.
10. 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.
11. Horton, R. 2013. Drainage Basin Characteristics. Transactions of the American Geophysical Union(AGU), 13: 350-370.
12. Horton, R. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach, 56: 275-370.
13. 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).
14. Kruhl, J.H. 2012. Fractal-geometry techniques in the quantification of complex rock structures, Geology, 46: 2-21.
15. Kruhl, J.H. and M. Nega.1996. The fractal shapeofsutured quartz grainboundaries, Geologische Rundschau, 85: 38-43.
16. La Barbera, P. and R. Rosso. 1989. On the fractal dimension of stream networks. Water Resources Research, 25(4): 735-741.
17. Mehr Kazemiyan, M. and I. Sajedifar. 2008. Geotourism Atlas Ilam Province Geological organistion and Mineral Exploration country., Earth Sciences Databases.
18. Navarre Sitchler, A. and S. Brandley. 2007. Basalt weathering across scales, Earth and Planetary Science Letters, 261(1-2): 321-334.
19. 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).
20. Peitgen, H.O., H. Jurgens and D. Saupe. 1992. Chaos and Fractals:," New Frontiers of Science, Vols. Springer, New York, 2(864): 62-63.
21. Pelletle r, Jon D. 1999. Self-organization and scaling relationships of evolving river networks Journal april10, Geophisical research, pp: 7359-7375.
22. 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).
23. 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.
24. Schuller, D.J., A.R. Rao and G.D. Jeong. 2001. Fractal characteristics of dense stream networks, Hydrology, 243: 1-16.
25. 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).
26. 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.
27. Turcotte, D.L. 1992. Fractal and Chaos in Geology and Geophysics, Geophysics Combridge university press.
28. 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]

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

Mahtab Alimoradi[1], Mohammad Reza Ekhtesasi[2] and Mehdi Tazeh[3] and Haji Karimi[4]

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 Fractalys 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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.6.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.73]