

## ارتباط بعد فراکتال با شاخص‌های دبی و رسوب در حوزه‌های آبخیز استان ایلام

مهتاب علیمرادى - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، ایلام  
محمد رضا اختصاصی\* - استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایلام  
مهدی تازه - استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، ایلام  
حاجی کریمی - دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲

### چکیده

تحقیقات انجام شده در جهان بیانگر رابطه نزدیکی بین رفتار پدیده‌های جهان طبیعی با الگوهای هندسی یا بعد فراکتال آن‌ها است. هدف از این پژوهش بررسی ارتباط ابعاد فراکتال با شاخص‌هایی نظیر دبی سیل و دبی رسوب و حساسیت واحدهای سنگ‌شناسی در محدوده‌های حوزه‌های آبخیز استان ایلام می‌باشد. جهت دستیابی به نتایج بهتر به منظور یکسان‌سازی شرایط محیطی و مقایسه آماری از مقادیر ویژه دبی آب و رسوب استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که بین بعد فراکتال سازندها و مقاومت آن‌ها به فرسایش ارتباط معنادار و معکوس برقرار می‌باشد و با افزایش مقاومت سازند تراکم آبراهه در واحد سطح و بعد فراکتال آن کاهش می‌یابد، بین بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه با دبی ویژه آب ارتباط معنی‌داری وجود ندارد؛ ولی بین عدد فراکتال و دبی رسوب ویژه ارتباط معنادار و مستقیم در سطح ۵ درصد وجود دارد، به نحوی که با افزایش تراکم آبراهه در واحد سطح دبی رسوب ویژه افزایش می‌یابد. بیشترین مقادیر بعد فراکتال مربوط به حوزه‌هایی است که از نظر سنگ‌شناسی بسیار حساس تا حساس هستند، (نظرآباد معادل ۱/۴۸، دوبرج معادل ۱/۴۹) و کمترین مقدار آن مربوط به حوزه‌هایی است که از نظر سازندهای زمین‌شناسی مقاوم تا نیمه مقاوم هستند، (کلم معادل ۱/۱۴ و چم گز ۱/۱۱). با توجه به نتایج به دست آمده و همبستگی آماری بیش از ۹۵٪ بین بعد فراکتال و دبی رسوب می‌توان در سایر حوزه‌های فاقد آمار با محاسبه بعد فراکتال، دبی ویژه رسوب را برآورد نمود ولی این پیش‌بینی برای دبی ویژه آب مقدور نمی‌باشد.

واژگان کلیدی: پارامترهای کمی، بعد فراکتال، شاخص‌های هیدرولوژی و رسوب، استان ایلام.

## مقدمه

در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور به دلیل عدم وجود دستگاه‌ها و ابزارهای مناسب جهت اندازه‌گیری سیل، اطلاعات دقیق و صحیح از فرسایش بسیار کم است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۶) و بین اندازه‌گیری‌های مستقیم و برآوردهای انجام‌شده نیز اختلاف‌های زیادی مشاهده می‌شود؛ بنابراین ضروری است تا از روش‌های غیرمستقیم مانند کاربرد هندسه فراکتال در برآورد آن‌ها استفاده شود. شناخت و وضعیت رسوب‌دهی و میزان رسوب خروجی یک حوزه، درک درستی از پدیده فرسایش و عواقب آن به دست می‌دهد (پیری و همکاران، ۱۳۸۴). میزان رسوب خروجی از حوزه‌ها تابع عوامل مختلفی است؛ محققین مختلف با به‌کارگیری این عوامل روابط گوناگونی برای مناطق مختلف ارائه کرده‌اند که در بسیاری از این روابط نقش عامل مساحت و شبکه هیدروگرافی حوزه بارز می‌باشد. دستیابی به عواملی که بتوانند تبیین خوبی از میزان رسوب خروجی از حوزه‌ها داشته باشند هنوز صورت نگرفته است و دلیل آن هم می‌تواند به تعداد زیاد پارامترهای مؤثر بر رسوب نسبت داده شود. دخالت عوامل زیاد در مطالعات مربوط به دبی و رسوب باعث پیچیده‌تر شدن معادلات شده و از کارایی آن‌ها کاسته می‌گردد. از طرفی به دست آوردن معادلاتی که دارای پارامترهای کمی باشد و قادر به تبیین میزان زیادی از واریانس تغییرات رسوب در حوزه‌های آبخیز باشد نیاز به بررسی‌های آماری دقیق و پیچیده‌ای دارد (ملکشاهی و همکاران، ۱۳۹۱). تا کنون روش‌های متعددی برای برآورد مقدار رسوب معلق ارائه شده است که نتایج حاصل از این روش‌ها در اغلب موارد اختلافات فاحشی با هم دارند. همچنین برای برآورد فرسایش و رسوب مدل‌های متعددی در کشورهای گوناگون ارائه شده است که هرکدام از آن مدل‌ها تعدادی از فاکتورها و عوامل مؤثر در این پدیده را در نظر می‌گیرند. بنابراین، نتایج حاصل از این روش‌ها در اغلب موارد اختلافات فاحشی با هم دارند، مهم‌ترین مشکل ارزیابی این روش‌ها را می‌توان فقدان آمار مشاهده‌ای قابل اعتماد در این حوزه‌ها دانست، از طرفی فاکتورها و ضرایب این روش‌ها متناسب با شرایط کشورهای ابداع‌کننده‌ی مدل‌ها می‌باشند و استفاده از آن‌ها در سایر کشورها باید با بررسی‌هایی همراه باشند، هندسه فراکتال برتری عمده‌ای نسبت به سایر شیوه‌های قبلی دارد که در آن‌ها کمی‌سازی و شبیه‌سازی الگوهای پیچیده طبیعی از طریق روش‌های توصیفی و مدل‌های عموماً انعطاف‌ناپذیر صورت گرفته است (راک و فولر، ۱۹۹۳؛ میرزایی و همکاران ۱۳۸۴). برخی از پارامترهای حوزه‌های آبخیز (شبکه آبراهه، شکل حوزه، خطوط تراز و ...) دارای شکل هندسی خاصی می‌باشند که با هندسه فراکتالی می‌توان آن‌ها را بررسی کرد. می‌توان با محاسبه بعد فراکتال هر یک 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 بود که قادر به تبیین خصوصیات بیشتری از حوزه‌های آبخیز باشند. هندسه فراکتال ابزاری برای اندازه‌گیری اشکال نامنظم است، بر اساس روش جعبه‌شمارش که یکی از ابزارهای هندسه فراکتال است (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۴). بین بعد فراکتال و بی‌نظمی اشکال، ارتباط مستقیمی وجود دارد به طوری که اجسام بی‌نظمی بیشتر دارای بعد فراکتال بزرگ‌تری هستند. فراکتال یک شکل جزئی با الگوی هندسی ثابت است که نشان‌دهنده الگوی کلی از یک پدیده است (اختصاصی، ۱۳۹۴). هر منطقه‌ای با توجه به شرایط خاص خود از سازندهای متنوع زمین‌شناسی تشکیل شده است که بر میزان نفوذپذیری آب، فرسایش، رسوب، الگوی هندسی رودخانه و ژئومورفولوژی حوضه‌های آبریز اثر می‌گذارد. (فاطمی عقدا و همکاران ۱۳۸۰). از دید ریاضی حوزه‌هایی دارای بعد فراکتال یکسان هستند، معادل متریک یکدیگر می‌باشند، بعد فراکتالی شبکه رودخانه‌ای در حوزه‌های آبخیز معرف میزان تشابه ژئومورفولوژیکی در بین آن‌ها است. (عدل و مهروند، ۱۳۸۳). هدف تحقیق حاضر این است که با بررسی ارتباط بین بعد فراکتال شبکه زهکشی با مقادیر اندازه‌گیری فرسایش و رسوب ارتباط معناداری را به دست آورده و نتایج حاصل را به مناطق یا حوزه‌های آبخیز فاقد آمار بسط دهد. در تحقیق حاضر این مسئله مطرح

است که آیا بین تولید رسوب حوزه‌های آبخیز دارای آمار کافی و سایر خصوصیات آن‌ها در یک منطقه نسبتاً همگن می‌توان روابطی برقرار نمود که از آن برای برآورد تولید رسوب حوزه‌های فاقد آمار واقع در آن منطقه استفاده کرد. این مسئله از این جنبه اهمیت دارد که در زمان کوتاهی می‌توان به میزان تولید رسوب حوزه‌های فاقد آمار دست‌یافت و از آن در استنباط میزان فرسایش حوزه‌ها استفاده کرد. ضرورت این تحقیق دست‌یافتن به روابطی است که بتواند بین تولید رواناب و رسوب حوزه‌های آبخیز با پارامترهای فیزیکی و ژئومورفولوژیکی حوزه و نیز بعد فراکتال در حوزه‌های آبخیز ارتباط معنی‌داری برقرار نموده و به‌عنوان مدلی برای سایر حوزه‌های فاقد آمار مورداستفاده قرار گیرد. بدین منظور تعدادی ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی با پراکنش مناسب و حوزه‌های آبخیز بالادست آن‌ها انتخاب گردید و روابط تغییرات بعد فراکتال و نوع سازندهای حوزه‌های آبخیز آن موردمطالعه قرار گرفت. در راستای دستیابی به اهداف تحقیق موارد زیر بررسی خواهد شد:

- مطالعه‌ی بعد فراکتال الگوهای ژئومورفولوژی سازندهای زمین‌شناسی در حوزه‌های موردمطالعه
- تعیین بعد فراکتال شبکه‌های هیدروگرافی
- بررسی و مقایسه‌ی کاربرد هندسه فراکتال و دیگر پارامترهای کمی در حوزه‌ها
- بررسی الگوهای هندسی فراکتالی در حوزه‌های مختلف در ارتباط با شاخص‌های هیدروولوژی و رسوب‌گذاری

### مبانی نظری

نخستین بررسی‌ها در جهت ایجاد مدل هندسی مناسب از شبکه رودخانه توسط هورتون<sup>۱</sup> در سال‌های ۱۹۳۲ و ۱۹۴۵ صورت پذیرفت در سال‌های بعد توسط لا‌باربرا و روسو<sup>۲</sup> (۱۹۸۹) مفهوم بعد فراکتالی شاخه‌های رودخانه وارد فرمول‌بندی هورتون گردید. عدل و مهروند (۱۳۸۳)، با بررسی بعد فراکتالی و مشخصات هیدروولوژیکی حوزه‌های آبخیز به نتیجه رسیدند که بعد فراکتالی بالا معرف تراکم زهکشی بیشتر و زمان کمتر برای رسیدن به جریان دائمی است و همچنین هرچه بعد فراکتالی بیشتر باشد دبی اوج هیدروگراف خروجی از حوزه نیز به همان نسبت بیشتر خواهد بود. برای توصیف لندفرم‌ها از دیدگاه‌های دیگر، پارامترهای فراکتالی مدل‌های فراکتالی برای توصیف مناظر واقعی استفاده شده‌اند، زیرا به نظر می‌رسد پارامترهای فراکتالی جوهره توپوگرافی سطح زمین را به گونه‌ای به تصویر می‌کشند که سایر ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی سنتی‌تر آن را نشان نمی‌دهند (بی و همکاران<sup>۳</sup> ۲۰۱۲؛ سونگ و چن<sup>۴</sup> ۲۰۰۴). ملکشاهی و همکاران (۱۳۹۱)، در بررسی روابط خطی و غیرخطی بین بعد فراکتال و دبی متوسط سالانه در رودخانه‌های استان لرستان دریافتند؛ با وارد کردن فراکتال (ضرب عدد فراکتال در مساحت حوزه) در محاسبات (روابط بین مساحت و دبی متوسط در دوره‌های بازگشت مختلف) دقت روابط خطی و غیرخطی افزایش می‌یابد که این مورد در افزایش نسبی مقدار  $R^2$  خود را نشان داده است. البته این افزایش مقدار در دوره‌های بالاتر مقدار کمتری می‌باشد. ولی به‌هرحال مقدار  $R^2$  نسبت به زمانی که بعد فراکتال دخالت داده نشده بود افزایش دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که علاوه بر پارامترهای فیزیکی حوزه باید به سایر پارامترهای دیگر از قبیل فراکتال که یکی از مشخصات هندسی حوزه آبخیز می‌باشد نیز اهمیت داد. جورن اچ کرول<sup>۵</sup> (۲۰۱۳)، تکنیک‌های هندسه فراکتال را در تعیین ساختارهای پیچیده‌ی سنگ موردمطالعه قرارداد، وی دریافت که تکنیک‌های هندسه فراکتال ابزار مناسبی برای مطالعه‌ی ساختارهای پیچیده سنگ است چراکه نمادی برای تعیین کمیت ژئومتری و الگوهای این ساختارها فراهم می‌کند که به‌طور ضعیف تعریف شده‌اند. از مزیت‌های تکنیک‌های هندسه

1. Horton  
 2. La Barbera and Rosso  
 3. Bi et al  
 4. Sung and Chen  
 5. Jörn H. Kruhl

فراکتال درون‌یابی در جهت الگوهای کامل که تنها بر روی تعداد کمی داده پایه‌گذاری شده‌اند و نیز برون‌یابی از یک مقیاس به دیگری است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۵)، ارتباط بین فرکانس (فراوانی) سیل و پیچیدگی مورفولوژیکی شبکه رودخانه‌ها در شهرستان هانگزو<sup>۲</sup> چین را که دچار سیل‌های شدید با فراوانی بالا می‌شد، مورد مطالعه قرار دادند. برای ارزیابی این همبستگی و تأثیرات مورفولوژی شبکه‌های زهکشی در جاری شدن سیل محلی از بعد فراکتال استفاده کردند. آنان بعد فراکتال را بر اساس روش جعبه شمارش برای ارزیابی کمی مورفولوژی شبکه رودخانه‌ها محاسبه کردند. مدل آن‌ها بر اساس ارتباط فراوانی جاری شدن سیل و بعد فراکتال بود. نتایج نشان داد که فرکانس سیل با کاهش بعد فراکتال شبکه رودخانه افزایش می‌یابد، بنابراین آن‌ها دریافتند که پیچیدگی ژئومورفولوژی شبکه رودخانه‌ها دارای اثر قابل‌ملاحظه‌ای در جاری شدن سیل محلی است. علیمردادی و همکاران (۱۳۹۷)، بعد فراکتال سازندهای زمین‌شناسی را ارزیابی کردند و ارتباط آن با حساسیت سازندها را مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج آن‌ها نشان داد، بین عدد فراکتال و حساسیت سازندهای حوضه‌ها، که بیانگر میزان فرسایش و ناهمواری در حوضه است، ارتباط معناداری در سطح ۵ درصد و افزایش وجود دارد؛ به نحوی که با افزایش حساسیت سنگ‌شناسی و، به تبع آن، تراکم زهکشی، عدد فراکتال افزایش می‌یابد. فتاحی و کامیاب (۱۳۹۷)، پس از ارزیابی انطباق سنجی خواص ژئومورفولوژیک حوضه آبریز و ویژگی‌های چند فراکتال شکل آبراهه در حوضه آبریز وال نات گولچ دریافتند، روابط معنی‌داری بین شاخص‌های ژئومورفولوژیک زیرحوضه‌ها و تحلیل‌های چندفراکتالی وجود دارد. ایلدرمی و سپهری (۱۳۹۷)، فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی را با استفاده از تحلیل بعد فراکتال شبکه زهکشی بررسی کردند؛ نتایج آنان نشان داد، با افزایش بعد فراکتال، همراه با پارامتر شبکه زهکشی، فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی نیز افزایش می‌یابد. محمدی و همکاران (۱۳۹۸) کاربرد بعد فراکتال را در تحلیل حساسیت‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی مناطق خشک در حوزه آبخیز دشت یزد- اردکان مورد مطالعه قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد؛ روابط معنی‌داری بین ابعاد فراکتال شبکه زهکشی و شاخص‌های مورفومتری (تراکم زهکشی، تعداد رتبه، متوسط طول رتبه و فراوانی رتبه) وجود دارد، همچنین بیشترین ضریب همبستگی متعلق به روابط رگرسیونی بین تراکم شبکه زهکشی و بعد فراکتال است. علیمردادی و همکاران (۱۳۹۸)، تراکم و بعد فراکتال شبکه‌های زهکشی را در حوزه‌های آبخیز استان ایلام در مقیاس و دقت‌های مختلف بررسی نمودند، نتایج آن‌ها 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 گوگل ارث با دقت بیشتر از پنج متر نسبت به شبکه آبراه‌های متناظر با دقت DEM ۵۰ متر از دقت بسیار بالایی برخوردار است.

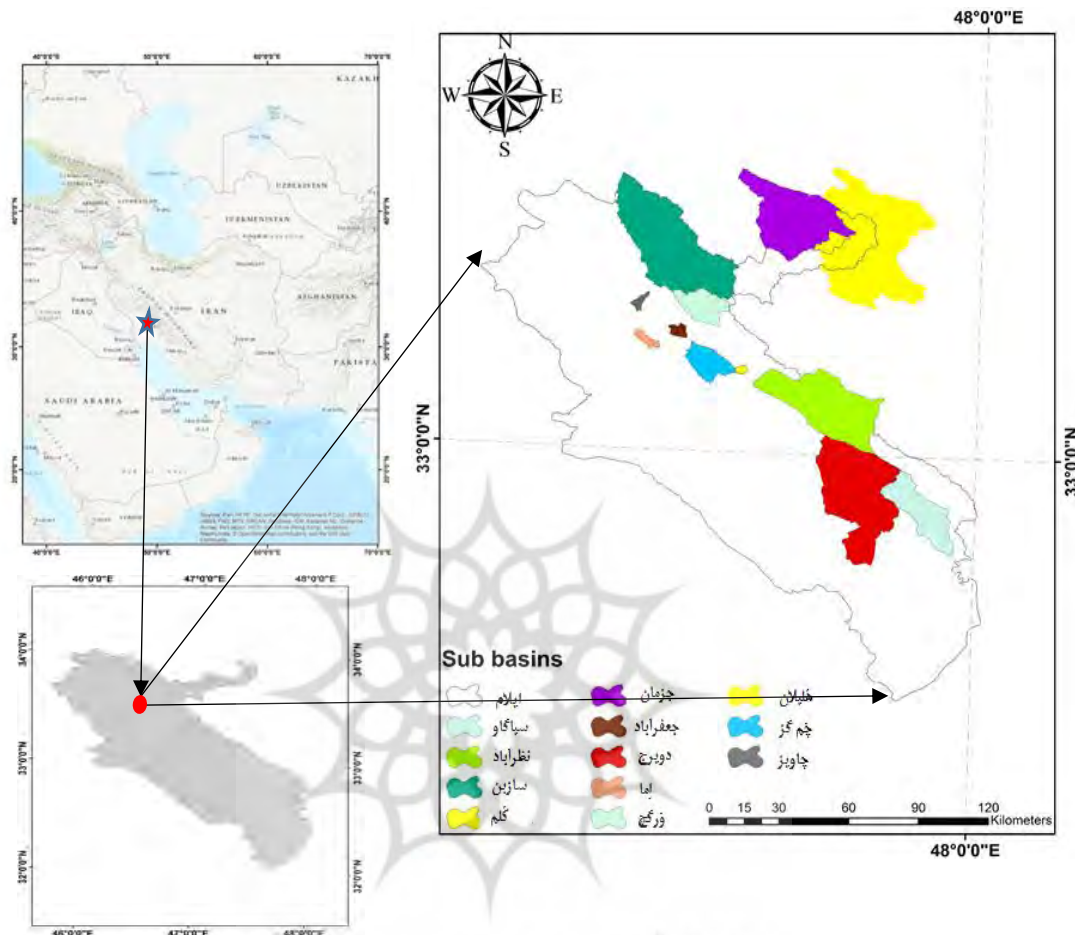
## روش تحقیق

### معرفی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی

محدوده مورد مطالعه متشکل از ۱۲ حوزه شامل: هلیلان، دُبرج، تنگ سازبن، کُلم، نظرآباد، جِزمان، ورگچ، چم‌گز، چاویز، سیاگاو، جعفرآباد و اما از حوزه‌های آبخیز استان ایلام می‌باشد که پراکندگی مناسبی در دامنه‌های غربی رشته‌کوه زاگرس دارند. شکل (۱) محدوده‌های مورد مطالعه و زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و حوزه‌های آبخیز مربوطه آمده است.

<sup>1</sup> Zhang et al

<sup>2</sup> Hangzhou



شکل ۱. موقعیت حوزه‌های مطالعاتی در کشور و در استان ایلام (علیمرادی و همکاران، ۱۳۹۸)  
جدول ۱. مشخصات حوزه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری آن‌ها

ردیف	نام حوزه	مساحت ( $km^2$ )	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	تنگ سازین	۱۳۶۴/۸	۳۳-۳۴-۱۸	۴۶-۵۰-۲۷
۲	دوبرج	۱۱۹۴/۴	۳۲-۳۵-۴۰	۴۷-۲۳-۰۰
۳	هلیان	۹۷۵/۲۳	۳۳-۴۵-۰۰	۴۷-۱۵-۰۰
۴	نظرآباد	۹۷۵/۲	۳۳-۱۱-۰۰	۴۷-۲۶-۰۰
۵	جزمان	۹۱۹/۶	۳۳-۴۶-۰۰	۴۷-۰۶-۰۰
۶	ورگج	۲۳۴/۵	۳۳-۳۳-۰۰	۴۶-۵۰-۰۰
۷	چم گز	۲۰۲/۲۸	۳۳-۱۷-۰۰	۴۶-۴۴-۰۰
۸	کلم	۱۶/۶	۳۳-۲۱-۰۰	۴۶-۵۵-۰۰
۹	سیاگاو	۴۴۶/۶	۳۲-۳۷-۲۸	۴۷-۵۴-۰۳
۱۰	جعفرآباد	۳۵	۳۳-۲۹-۰۰	۴۶-۳۴-۰۰
۱۱	چاويز	۲۶	۳۳-۳۲-۰۰	۴۶-۲۵-۰۰
۱۲	اما	۳۷/۷۵	۳۳-۲۸-۰۰	۴۶-۲۵-۰۰

### تهیه محدوده حوزه‌های مطالعاتی

به منظور تهیه محدوده حوزه‌های مطالعاتی علاوه بر مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۵۰ متری (سازمان جغرافیایی ارتش) موجود از روش تفسیر و ترسیم مستقیم شبکه‌های هیدروگرافی از روی تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث با دقت حدود ۵ متر 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 گوگل‌ارث 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.

۳,۳. 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 جدا شده و با استفاده از نرم‌افزار Arc Hydro طی مراحل شبکه‌های هیدروگرافی هر کدام از حوزه‌های آبخیز تهیه شد.

### تعیین بعد فراکتال شبکه هیدروگرافی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

#### بعد فراکتال

یک فرکتال، شکل هندسی است که می‌تواند به بخش‌هایی تقسیم شود که هر کدام از آن‌ها یک کپی تعدیل‌یافته از لحاظ اندازه از کل است. (محمدی و اختصاصی، ۱۳۹۸). مندلیبروت (۱۹۶۷) نشان داد که طول کل (L) (به عنوان مثال، طول خط ساحلی) با کاهش طول یک بخش کوچک (r) به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. برای خطوط ساحلی، رودخانه‌های جداگانه یا هر ویژگی دوبعدی دیگر، از معادله  $L = Nr$  برای تقریب طول کل (L) منحنی استفاده می‌شود، جایی که N تعداد بخش‌های کوچک رودخانه یا خط ساحلی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

اگر  $\varepsilon$  به عنوان مقیاسی که شیء فراکتالی در آن بررسی شده است در نظر گرفته شود (مثلاً طول منحنی مورد نظر یا خط‌کشی که اندازه واحد اندازه‌گیری آن  $\varepsilon$  می‌باشد، اندازه گرفته شده باشد و  $N(\varepsilon)$ ، طول اندازه‌گیری شده باشد، آنگاه بعد فراکتالی منحنی مورد نظر، D، از رابطه (۱)، به دست می‌آید (نیکویی و همکاران، ۱۳۸۷):

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log[N(\varepsilon)]}{\log\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

همان گونه که از این مثال پیداست، بعد فراکتالی عموماً نا صحیح می‌باشد، یعنی از آنجایی که به عنوان مثال منحنی کنج با وجود یک بعدی بودن توانایی پر نمودن صفحه را داراست و یک‌خیم فرا پرکن است، لذا بعد فراکتالی آن عددی بین بعد ۱ (بعد خط راست) و ۲ (بعد صفحه) خواهد گردید.

۲,۴,۳. تعیین بعد فراکتال با استفاده از روش جعبه شمارش

بعد از تهیه شبکه هیدروگرافی، بعد فراکتال این شبکه‌ها در محیط نرم‌افزار Fractalys به سه روش جعبه شمارش<sup>۱</sup>، بزرگنمایی<sup>۲</sup> و شعاعی<sup>۳</sup> محاسبه شد. پس از محاسبه بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز به سه روش ذکر شده مشخص شد؛ در روش شعاعی بعد فراکتال برخی حوزه‌ها بزرگتر از یک و در برخی موارد بعد فراکتال قابل محاسبه نبود. بنابراین در تحقیق حاضر از این روش صرف نظر گردید. برای بررسی دو روش دیگر نیز از مقادیر ضریب همبستگی روش محاسبه بعد فراکتال و مقادیر R2 بین دبی ویژه و رسوب ویژه با مقدار بعد فراکتال استفاده شد.

در اینجا ذکر این نکته لازم است که این شبکه‌ها بر اساس مختصات DEM ۵۰ متری تهیه شده‌اند در بسیاری از موارد دقت کافی نداشته و تعدادی از آبراهه‌ها نمایش داده نشده‌اند لذا پس از انتقال به محیط گوگل‌ارث به طور کامل با

<sup>1</sup>. Box counting

<sup>2</sup>. Dilation

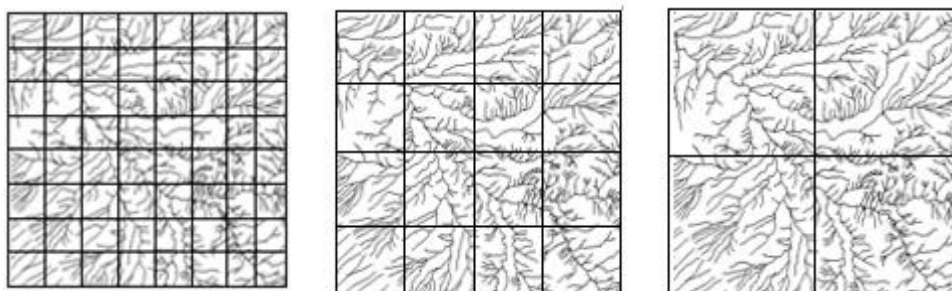
<sup>3</sup>. Radial

آبراهه‌های طبیعی تطبیق و با دقت ۵ متر نقشه‌های هیدروگرافی ترسیم و تکمیل گردید تا بیانگر جزئیات کامل از شبکه باشد.

### روش جعبه شمارش

روش‌های مختلفی جهت تعیین بعد فراکتالی می‌توانند به کار گرفته شوند، یکی از پرکاربردترین روش‌ها، روش جعبه شمارش می‌باشد. روش جعبه شمارش از یک الگوریتم جدید برای تعیین ابعاد فراکتال توسط شمارش جعبه برای دستگاه‌هایی با عملکرد پویا و تکرار شونده استفاده می‌کند؛ از این روش می‌توان برای محاسبه‌ی بعد فراکتالی تمامی عناصر، ابعاد و اشکال مختلف استفاده کرد. (لیبویچ و تاس ۱۹۸۹؛ محمدی و اختصاصی، ۱۳۹۸). روش شمارش جعبه‌ای با موفقیت در مطالعات در مورد رودخانه‌ها، خطوط ساحلی و دیگر پدیده‌های خطی استفاده شده است (توروخ ۱۹۹۲). در صورتی که برای مثال تعیین بعد فراکتالی شبکه هیدروگرافی یک حوزه مدنظر باشد، شبکه‌ای از خانه‌های مربع شکل بر تصویر موردنظر قرار داده می‌شود؛ این کار برای مربع‌هایی با اندازه مختلف تکرار می‌شود. لازم به ذکر است که در این روش  $\varepsilon$ ، اندازه واحد شبکه خواهد بود که معیاری از مقیاس است و  $N(\varepsilon)$  حداقل تعداد خانه‌هایی از شبکه است که به‌طور کامل شبکه هیدروگرافی حوزه آبخیز را پوشش می‌دهند. (ملکشاهی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲ و ۳). روش کار به این صورت است که در تکرار اول تصویر به قسمت‌هایی تقسیم می‌شود، جعبه‌های پر شده آن محاسبه می‌گردد. سپس در تکرار دوم با شمارش تعداد جعبه‌های پر شده، تصویر دوباره تقسیم شده و شمارش تعداد جعبه‌های پر شده صورت می‌گیرد؛ ابعاد فراکتالی با استفاده از معادله (۱) محاسبه می‌شود. به‌طور کلی مقادیر به‌دست آمده برای جعبه‌های پر و خالی که در هر تکرار با شبکه تشکیل شده ظاهر می‌شود، در محاسبه بعد فراکتال استفاده می‌شود؛ بنابراین مقدار بعد فراکتال در پایان هر چرخه با استفاده از روش جعبه شمارش محاسبه می‌شود. حد نهایی این فرآیند زمانی است که  $\varepsilon$  به سمت صفر میل می‌کند. برای محاسبه بعد فراکتال از روش جعبه شمارش از معادله (۱) استفاده شده است. در این معادله در تکرارهای قبلی و کنونی هم به تعداد جعبه‌های پر شده و هم به تعداد جعبه‌های خالی نیاز است. (محمدی و اختصاصی، ۲۰۱۹؛ آلیک ۳ ۲۰۱۵؛ ادیز ۴، ۲۰۰۳؛ ایلهان ۵، ۲۰۱۹) شکل شماره ۱، نمای کلی این روش را به تصویر می‌کشد. در روش شمارش جعبه، هنگامی که مقدار  $\log(N)$  در محور Y در برابر مقدار  $\log(\varepsilon)$  در محور X رسم می‌شود، بعد فراکتال (d) شیب منحنی تجربی است. از معادله مشابه برای تعریف بعد فرکتال، d استفاده می‌شود. این بار، N تعداد جعبه‌ها است که تصویر شبکه رودخانه را پوشش می‌دهد و  $\varepsilon$  اندازه شبکه است. برای این نوع تحلیل، محدوده ابعاد فراکتال بین ۱ و ۲ است. مقدار ۱ به خط مستقیم مربوط می‌شود و با افزایش پیچیدگی خط، بعد فراکتال به ۲ متمایل می‌شود. شیب تندتر به این معنی است که شی بیشتر "فرکتال" است، به این معنی که با کاهش اندازه جعبه پیچیدگی بیشتری پیدا می‌کند (ژانگ، ۲۰۱۵).

1. Liebovitch. and Toth
2. Turcotte
3. Alik
4. Ediz
5. İlhan



شکل ۲. نحوه محاسبه بعد فراکتال واحدهای ۲۵ کیلومترمربع یا هر شکل طبیعی دیگر (به طریق شمارش جعبه‌ای)

مرحله بعد، ترسیم مقادیر  $\log(N\varepsilon)$  در مقابل  $\log(1/\varepsilon)$  است. شیب خط مستقیم که اطلاعات را به بهترین وجه به نمایش می‌گذارد؛ تقریباً برابر بعد فراکتال است، بنابراین لازم است نمودار غیرخطی آن ترسیم شود. در این نمودار، محور Xها اندازه شبکه و محور Yها بیانگر نقاط موجود در هر مربع است. سپس این نمودار با منحنی نظریه‌ی فراکتال برازش داده می‌شود تا همبستگی میان دو نمودار حاصل شود. طی این کار، همبستگی بین تعداد و اندازه شبکه نشان داده می‌شود.

$$N = \varepsilon D + c$$

در این رابطه،  $D$  بعد فراکتال یا همان همبستگی بعد و  $C$  ضریب ثابت است. نرم‌افزار Fractalyse از جمله نرم‌افزارهایی است که با آن می‌توان بعد فراکتال را به روش شمارش جعبه‌ای و سایر روش‌ها محاسبه کرد.

۴،۴،۳. نحوه آماده‌سازی و تصحیح شبکه‌های هیدروگرافی به کمک نرم‌افزار گوگل ارث و تعیین بعد فراکتال آن‌ها از آنجاکه شبکه‌های هیدروگرافی به دست آمده در نرم‌افزار Arc Hydro از دقت مناسبی برخوردار نبود (به‌طور 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 مراحل اصلاح و تصحیح آن‌ها با استفاده از DEM پنج‌متر انجام شد. همان‌طور که اشاره شد در محیط Arc GIS از شبکه‌های هیدروگرافی خروجی‌هایی با فرمت bmp که ورودی نرم‌افزار Fractalys را تشکیل می‌دهد، گرفته شد. در فرمت bmp شبکه‌های هیدروگرافی در قالب یک برگه A4 تهیه می‌گردد که این خود موجب بروز خطا در عدد فراکتالی به دست آمده می‌شود چراکه شبکه‌های هیدروگرافی حوزه‌های بزرگ‌تر فشرده‌شده و عدد فراکتالی بیشتر را به دست می‌داد در صورتی که در مورد حوزه‌های کوچک‌تر مقدار فشرده‌گی کمتر بوده و یا وجود نداشت بنابراین بعد فراکتالی به دست آمده کمتر می‌شد این در حالی است که برخی حوزه‌های کوچک‌تر با سازندهای حساس‌تر و تراکم بیشتر شبکه هیدروگرافی که انتظار عدد فراکتالی بالاتر می‌رفت؛ و 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 کیلومتری تهیه و شبکه‌های هیدروگرافی در این واحدها به دست آمده و به محیط نرم‌افزار Fraktalys آورده شد و سپس ابعاد فراکتالی مربوط به هر کدام از شبکه‌های هیدروگرافی به دست آمد.

انتخاب واحدهایی به مساحت ۲۵ کیلومترمربع (۵\*۵ کیلومتر) از یک طرف با توجه به وسعت حوزه‌های آبخیز صورت گرفت تا بتوان میانگین دقیق‌تری برای بعد فراکتال حوزه آبخیز به دست 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 کیلومترمربع 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 هر کدام از حوزه‌های آبخیز (با توجه به مساحت) به تعداد سه (ارتفاعات، مرکز ثقل و اراضی پایین‌دست) یا بیشتر نمونه واحدهای ۲۵



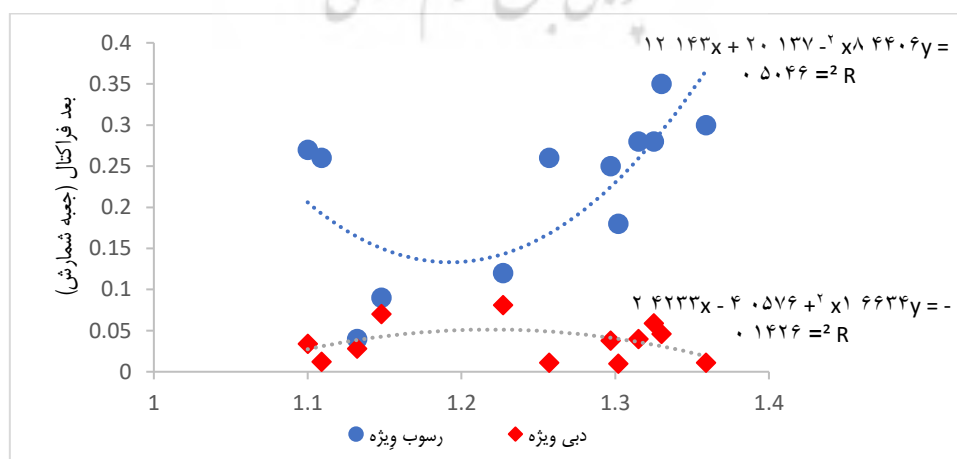
کیلومتری (حوزه‌های کوچک دو نمونه) تهیه و بعد فراکتال در آن‌ها به دست آمده، سپس با برآورد میانگین ابعاد فراکتال واحدهای ۲۵ کیلومتری برای هر حوزه مقدار میانگین به دست آمده به عنوان بعد فراکتال حوزه در نظر گرفته شد. ذکر این نکته ضروری می‌نماید که میزان حساسیت حوزه‌ها بر اساس مساحت و نوع سازندهای موجود در محدوده هر حوزه آبخیز و بر اساس منابع مورد مطالعه تعیین شده است (احمدی و فیض‌نیا، ۱۳۷۸؛ احمدی و فیض‌نیا، ۱۳۸۵؛ جدول ستون چینه‌شناسی ایران).

### بحث و یافته‌ها

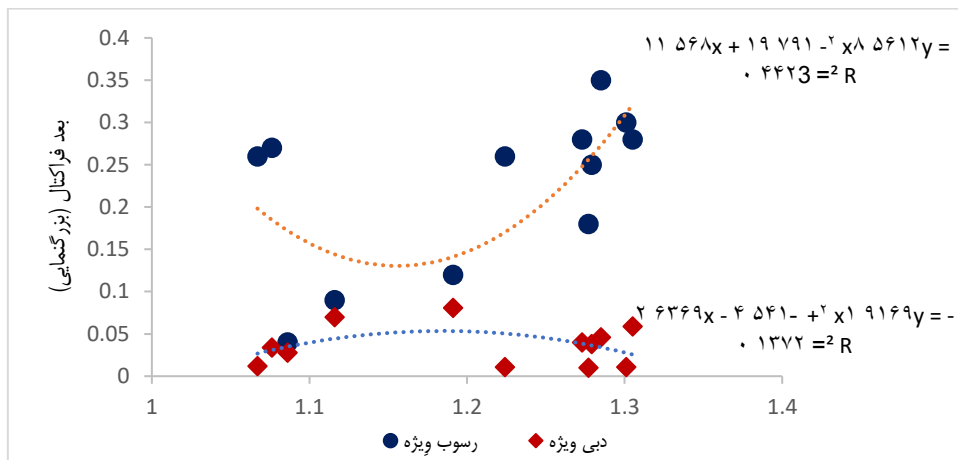
نتایج حاصل از روش تحقیق در زمینه تعیین بعد فراکتال حوزه‌های مطالعاتی در استان ایلام و بررسی شاخص‌های هیدرولوژیکی و رسوب منطقه در شکل‌ها، جداول و نمودارهای زیر خلاصه شده است.

جدول ۲. ابعاد فراکتالی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه به سه روش جعبه شمارش، بزرگنمایی و شعاعی

شعاعی	بزرگنمایی	جعبه شمارش	بعد فراکتال حوزه
x	۱,۰۶۷	۱,۱۰۹	اما
۱,۴۸۳	۱,۳۰۵	۱,۳۲۵	تنگ سازین
۲,۱۸۷	۱,۰۷۶	۱,۱	جعفرآباد
۱,۵۹۶	۱,۲۷۷	۱,۳۰۲	جزمان
۱,۶۸۵	۱,۰۶۸	۱,۱۳۲	چاوین
۱,۷۵۰	۱,۱۹۱	۱,۲۲۷	چمگز
۱,۸۷۲	۱,۳۰۱	۱,۳۵۹	دویرج
۲,۲۵۲	۱,۲۷۳	۱,۳۱۵	سیاگاو
x	۱,۱۱۶	۱,۱۴۸	کلم
۲,۲۱۳	۱,۲۸۵	۱,۳۳	نظر آباد
۲,۶۴۹	۱,۲۲۴	۱,۲۵۷	ورگج
۱,۸۶۶	۱,۲۷۹	۱,۲۹۷	هلیلان

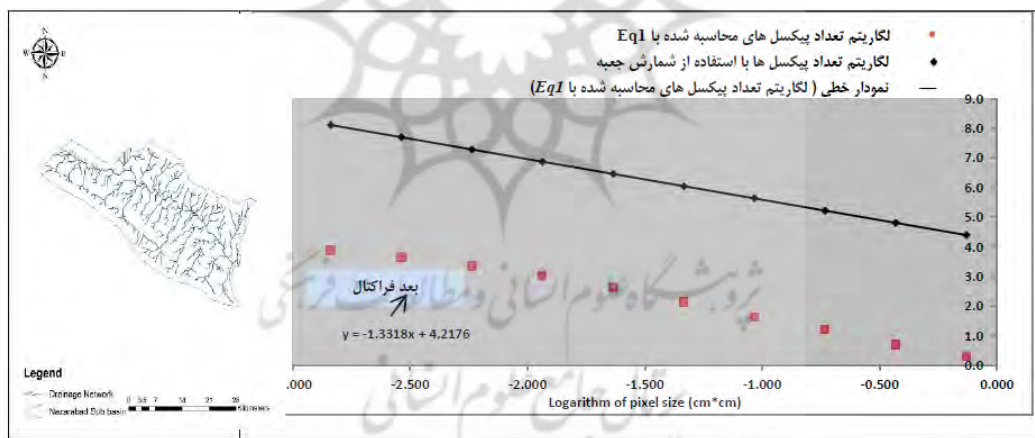


شکل ۳. مقادیر R2 بین بعد فراکتال (جعبه شمارش) و دبی ویژه و رسوب ویژه

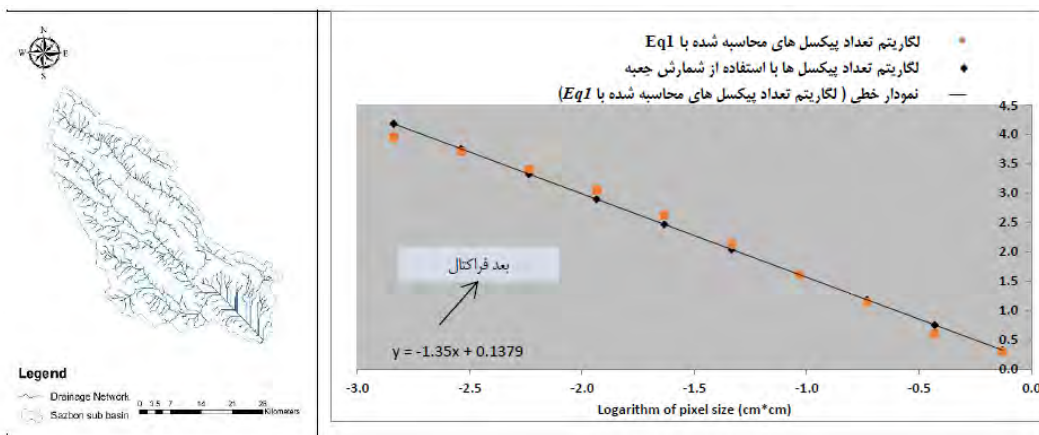


شکل ۴. مقادیر R2 بین بعد فراکتال (جعبه شمارش) و دبی ویژه و رسوب ویژه

همانطور که در شکل‌های ۳ و ۴ دیده می‌شود مقدار R2 بین بعد فراکتال و دبی ویژه و رسوب ویژه در روش جعبه شمارش بیشتر است؛ به همین دلیل و نیز اینکه روش جعبه شمارش معروفترین روش محاسبه بعد فراکتال است؛ علاوه بر این الگوریتم آن از قابلیت استخراج نتایجی با اطمینان بالاتر برخوردار است (علمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳)، در ادامه تحقیق برای بررسی بعد فراکتال از روش جعبه شمارش استفاده شد. در شکل‌های (۵) و (۶) تصویر مربوط به محاسبه بعد فراکتال چند نمونه از حوزه‌ها قبل از تصحیح شبکه‌های هیدروگرافی در محیط نرم‌افزار فرکتالیز آورده شده است.

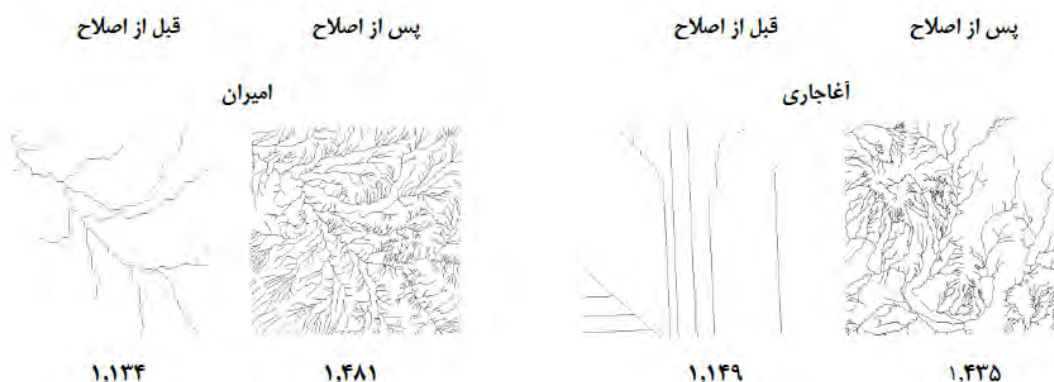


شکل ۵. شبکه هیدروگرافی و بعد فراکتال حوزه آبخیز نظرآباد قبل از اصلاح شبکه هیدروگرافی



شکل ۶. شبکه هیدروگرافی و بعد فراکتال حوزه آبخیز تنگ سازبن قبل از اصلاح شبکه هیدروگرافی

در شکل‌های زیر ابعاد فراکتالی محاسبه شده برای چند نمونه از واحدهای ۲۵ کیلومتری قبل و بعد از اصلاح شبکه‌ی هیدروگرافی مشاهده می‌گردد.



شکل ۷. بعد فراکتال نمونه‌ای از شبکه هیدروگرافی سازند آغاجاری و امیران قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی (علیمرادی و همکاران، ۱۳۹۸)



شکل ۸. بعد فراکتال نمونه‌ای از شبکه هیدروگرافی سازند آسماری-شهبازان قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی (علیمرادی و همکاران، ۱۳۹۸؛ علیمرادی و همکاران، ۱۳۹۵)

در شکل‌های زیر تصاویر گوگل ارث تعدادی از نمونه‌هایی که شبکه هیدروگرافی آن اصلاح شده آورده شده است.



شکل ۹. اصلاح شبکه هیدروگرافی در واحد ۲۵ کیلومتری در گوگل ارث (علیمرادی و همکاران، ۱۳۹۷)

شکل‌های (۷) الی (۹) شکل‌های مقایسه‌ای شبکه آبراهه قبل و بعد از اصلاح نشان می‌دهد که شبکه آبراهه‌ای با دقت DEM ۵۰ متر در پلات‌های ۵×۵ کیلومترمربع (۲۵ کیلومترمربع) متناظر از دقت بسیار کمتر نسبت به شبکه زهکشی ترسیم شده از روی گوگل ارث با دقت کمتر از پنج‌متر، برخوردار می‌باشد و اینکه در سازندهایی با حساسیت بیشتر نسبت به سازندهای مقاوم تغییرات بیشتری در تراکم شبکه هیدروگرافی رخ داده، در نتیجه تغییر بعد فراکتال آن‌ها نیز بیشتر

مشاهده می‌گردد. در جدول (۳) نوع سازندهای موجود در حوزه‌های مطالعاتی و شاخص عددی مقاومت به فرسایش آن‌ها به همراه عدد فراکتال سازند پس از اصلاح آمده است. با افزایش مقدار شاخص عددی مقاومت به فرسایش، مقاومت سازند به فرسایش افزایش می‌یابد و اعداد کوچک‌تر نشان‌دهنده‌ی مقاومت کمتر سازند به فرسایش است. این طبقه‌بندی بر اساس ستون چینه‌شناسی ایران (دکتر اختصاصی به اقتباس از فیض نیا) انجام گرفته است.

جدول ۳. مشخصات عدد مقاومت و بعد فراکتال سازندهای زمین‌شناسی حوزه‌های مورد بررسی

ردیف	نام سازند	شاخص عددی مقاومت به فرسایش سازند	عدد فراکتال سازند
۱	کواترنری ریزدانه	۱	۱/۶۵
۲	گچساران	۳	۱/۵۲
۳	کواترنری درشت دانه	۵	۱/۴۸
۴	آغاچاری	۶	۱/۴۲
۵	امیران	۷	۱/۳۷
۶	ایلام	۷	۱/۳
۷	پابده- گورپی	۷	۱/۳۵
۸	آهک امام حسن	۸	۱/۲
۹	آسماری- شهبازان	۹	۱/۱
۱۰	تله زنگ	۹	۱/۱۵
۱۱	سروک	۹	۱/۰۶
۱۲	کشکان	۹	۱/۱۴

پس از بررسی نرمالیده داده‌ها با آزمون کلوموگروف - اسمیرنوف و با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون پیرسون جهت بررسی همبستگی داده‌ها استفاده شد.

جدول ۳. آزمون همبستگی داده‌های درجه مقاومت سازندها (از ۲۰) (Sf) و عدد فراکتال (Fr) سازندها پس از اصلاح واحدهای ۲۵ کیلومتری در آن‌ها

#### Correlations

		Sf	Fr
Sf	Pearson Correlation	1	-.965**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	12	12
Fr	Pearson Correlation	-.965**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	12	12

مقدار همبستگی عدد مقاومت سازند و عدد فراکتال آن

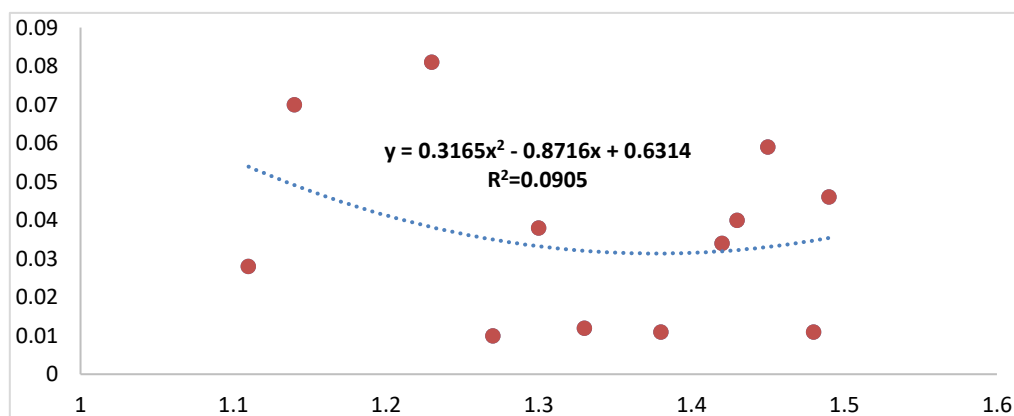
\*\* .Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

جدول (۳) نتایج آزمون پیرسون و مقدار همبستگی (۰.۹۶۵-) داده‌ها را نشان می‌دهد. مقدار آن همیشه عددی بین -۱ و +۱ خواهد بود. هرچه قدر مطلق این عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد مقدار همبستگی بیشتر و هرچه مقدار آن به صفر نزدیک باشد،

همبستگی داده‌ها کمتر است. (اسماعیلی و خیری ۱۳۸۵) در نتیجه بین مقاومت سازند و بعد فراکتال آن ارتباط معنی‌دار وجود دارد. علامت منفی نشان دهنده ارتباط معکوس داده‌هاست (افشانی ۱۳۸۷). بنابراین بین بعد فراکتال سازندها و مقاومت آن‌ها به فرسایش ارتباط معنادار و معکوس برقرار می‌باشد. یعنی با افزایش مقاومت سازند به فرسایش بعد فراکتال آن کاهش می‌یابد و بنابراین تراکم شبکه هیدروگرافی هم پایین تر است. همانطور که در بخش ۳،۴،۳ ذکر شد؛ شبکه‌های هیدروگرافی به دست آمده در نرم‌افزار Arc Hydro از دقت مناسبی برخوردار نبود بنابراین با انتخاب واحدهایی به مساحت ۲۵ کیلومترمربع با تعداد مختلف، سپس اصلاح شبکه‌های هیدروگرافی و تعیین بعد فرکتال آن و در نهایت برآورد میانگین ابعاد فراکتال واحدهای ۲۵ کیلومتری برای هر حوزه مقدار میانگین به دست آمده به عنوان بعد فراکتال حوزه در نظر گرفته شد. در جدول (۲) بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی آمده است. پس از بررسی ارتباط بعد فراکتال و مقاومت سازندهای، رابطه بعد فراکتال با مقادیر ویژه دبی و رسوب در حوزه‌های مطالعاتی بررسی و نتایج آن در ادامه آمده است.

جدول ۴. بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز قبل و پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی (جعبه شمارش)

نام حوزه	عدد فراکتال قبل از اصلاح شبکه هیدروگرافی	عدد فراکتال پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی	میزان حساسیت حوزه
اما	۱،۱۰۹	۱،۳۳	حساس
تنگ سازین	۱،۳۲۵	۱،۴۵	بسیار حساس
جعفرآباد	۱،۱	۱،۴۲	بسیار حساس
جزمان	۱،۳۰۲	۱،۲۷	حساس
چاویز	۱،۱۳۲	۱،۱۱	مقاوم
چم‌گز	۱،۲۲۷	۱،۲۳	نیمه مقاوم
دویرج	۱،۳۵۹	۱،۴۸	بسیار حساس
سیاگاو	۱،۳۱۵	۱،۴۳	بسیار حساس
کلم	۱،۱۴۸	۱،۱۴	مقاوم
نظرآباد	۱،۳۳	۱،۴۹	بسیار حساس
ورگج	۱،۲۵۷	۱،۳۸	حساس
هلیلان	۱،۲۹۷	۱،۳	حساس



شکل ۱۰. بررسی ارتباط آماری (همبستگی) بعد فراکتال با شاخص‌های هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز ایلام

شکل (۱۰) نمودار بررسی ارتباط همبستگی بعد فراکتال با دبی ویژه سیلاب حوزه‌های آبخیز است. می‌توان گفت که بین عدد فراکتال و دبی ویژه سیلاب ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. چراکه میزان  $R^2$  که بیان‌کننده مقدار همبستگی است (اسماعیلی و خیری، ۱۳۸۵)، برابر با ۰/۰۹۰۵ است؛ بنابراین چنین نتیجه می‌شود که بین دبی ویژه سیلاب حوزه آبخیز و عدد فراکتال آن ارتباط معناداری وجود ندارد. به همین منظور برای دستیابی به نتایج قابل قبول‌تر، داده‌ها در نرم‌افزار SPSS برای محاسبه رگرسیون خطی آن‌ها و نیز انجام محاسبات همبستگی قرار داده شد، همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود نتایج آزمون همبستگی نیز با نتایج بالا (شکل ۴) هم‌خوانی دارد. جداول زیر نتایج حاصل از محاسبات انجام‌شده در نرم‌افزار SPSS را نشان می‌دهد.

جدول ۵. آزمون همبستگی داده‌های دبی ویژه سیلاب (Qw) برحسب (m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>) و عدد فراکتال (Fr) حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای ۲۵ کیلومتری در آن‌ها

#### Correlations

		Fr	Qw
Fr	Pearson Correlation	1	-.240
	Sig. (2-tailed)		.453
	N	12	12
Qw	Pearson Correlation	-.240	1
	Sig. (2-tailed)	.453	
	N	12	12

مقدار همبستگی دبی ویژه سیلاب و عدد فراکتال

جدول ۶. رگرسیون مقادیر داده‌های دبی ویژه سیلاب (Qw) برحسب (m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>) و عدد فراکتال (Fr) حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای ۲۵ کیلومتری در آن‌ها

#### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.240a	.057	-.037	.13087

در جدول (۶) نیز R نشان‌دهنده همبستگی ساده بین دو متغیر است و R Square نشان می‌دهد که چه مقدار از متغیر وابسته Qw می‌تواند توسط متغیر مستقل Fr تعیین شود. هرچه مقدار R به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده همبستگی بالای بین دو متغیر است (افشانی، ۱۳۸۷)؛ بنابراین مقدار عددی ۰/۲۴۰ گویای همبستگی پایین دو متغیر دبی ویژه سیلاب و عدد فراکتال است.

جدول ۷. آزمون همبستگی داده‌های دبی ویژه سیلاب (Qw) برحسب (m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>) و عدد فراکتال (Fr) حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای ۲۵ کیلومتری در آن‌ها به روش ANOVA

#### ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.010	1	.010	.609	.453a
	Residual	.171	10	.017		
	Total	.182	11			

a. Predictors: (Constant), Qw

b. Dependent Variable: Fr

در جدول ۷ نیز مقدار  $F$  برابر با  $0/609$  با سطح معنی‌داری  $0/435$  شده است که چون سطح معنی‌داری از  $0/05$  بیشتر شده است مدل معنی‌دار نمی‌باشد.

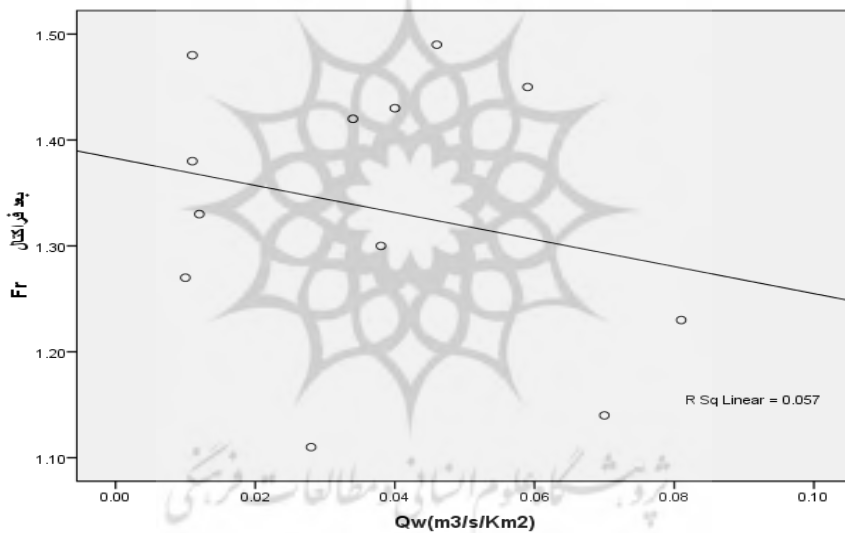
جدول ۸. ضریب همبستگی داده‌های دبی ویژه سیلاب ( $Q_w$ ) برحسب ( $m^3/s/Km^2$ ) و عدد فراکتال ( $Fr$ ) حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای  $25$  کیلومتری در آن‌ها

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.383	.071		19.499	.000
	$Q_w$	-1.277	1.637	-.240	-.780	.453

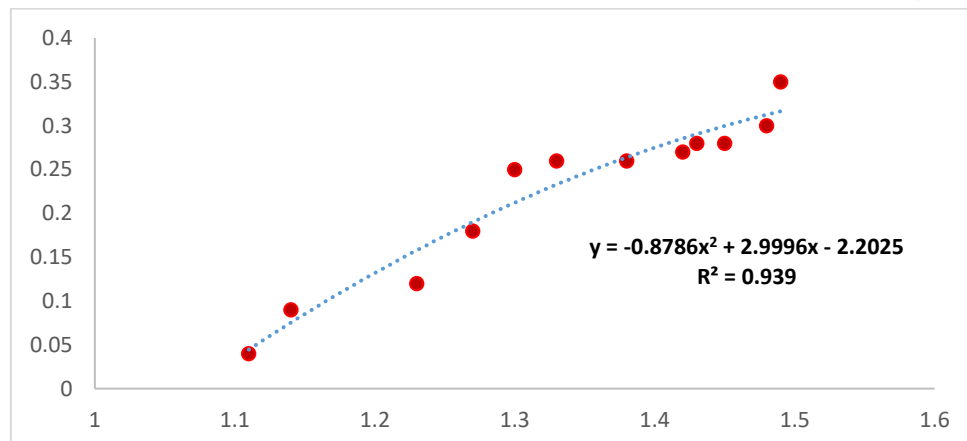
a. Dependent Variable: Fr

از جدول (۸) نیز عدم معنی‌داری مدل و نیز پایین بودن مقدار همبستگی ( $B = -.240$ ) دبی ویژه سیلاب و بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز نتیجه می‌شود. در نتیجه تأثیر بعد فراکتال بر دبی ویژه سیلاب پایین است.

نمودار پراکنش و خط همبستگی داده‌های دبی ویژه سیلاب و بعد فراکتال



شکل ۱۱. نمودار خط همبستگی داده‌های دبی ویژه سیلاب و عدد فراکتال حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای  $25$  کیلومتری در آن‌ها شکل (۱۱) خط رگرسیون و نمودار پراکنش داده‌ها را در اطراف آن نشان می‌دهد. پراکندگی داده‌ها در شکل بیانگر همبستگی کمتر در داده‌هاست.



شکل ۱۲: بررسی ارتباط آماری (همبستگی) بعد فراکتال با شاخص رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز ایلام

در شکل (۱۲) ارتباط همبستگی بعد فراکتال با دبی ویژه رسوب حوزه‌های آبخیز بررسی شده است. در نمودار (۱۲) با کمی دقت دیده می‌شود که افزایش بعد فراکتال میزان دبی رسوب ویژه نیز افزایش می‌یابد و کاهش بعد فراکتال هم‌زمان با کاهش دبی رسوب ویژه رخ داده است. مقدار  $R^2$  که برابر  $0/939$  است نیز تأییدی بر این نتیجه می‌باشد که بین داده‌های دبی رسوب ویژه و بعد فراکتال حوزه آبخیز ارتباط معنادار و مستقیم وجود دارد.

در اینجا نیز برای تأیید صحت نتایج فوق همانند دبی ویژه سیلاب از آزمون‌های همبستگی و رگرسیون در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

جدول زیر نتایج حاصل از محاسبات انجام شده در نرم‌افزار SPSS را نشان می‌دهد.

جدول ۹. آزمون همبستگی داده‌های دبی ویژه رسوب (Qs) و عدد فراکتال (Fr) حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای ۲۵ کیلومتری در آنها

#### Correlations

	Fr	Qs
Fr	1	.960**
Pearson Correlation		
Sig. (2-tailed)		.000
N	12	12
Qs	.960**	1
Pearson Correlation		
Sig. (2-tailed)	.000	
N	12	12

مقدار همبستگی دبی ویژه رسوب و عدد فراکتال

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

نتایج عملیات SPSS که در جدول (۹) آمده است بیانگر وجود همبستگی بالا میان داده‌های دبی ویژه رسوب و عدد فراکتال است، زیرا همان‌طور که در جدول (۹) مشخص شده عدد  $0/939$  معادل مقدار همبستگی دو متغیر دبی رسوب ویژه و بعد فراکتال حوزه‌ها است. با توجه به آنچه در قبل گفته شده نزدیک بودن مقدار این عدد ( $0/939$ ) به ۱ نشان از همبستگی بالای داده‌ها دارد.

جدول ۱۰. رگرسیون مقادیر داده‌های دبی ویژه رسوب (Qs) و عدد فراکتال (Fr) حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای ۲۵ کیلومتری در آنها

#### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted Square	R Std. Error of the Estimate
1	.960a	.922	.915	.03756

a. Predictors: (Constant), Qs

در جدول بالا مقادیر R و Rsquare آمده است. (در جدول (۴) پارامترها معرفی شد.) هرچه مقدار R به ۱ نزدیک‌تر باشد مقدار همبستگی بیشتر است. بنابراین در اینجا عدد  $0/939$  گویای همبستگی بالای دو متغیر دبی ویژه رسوب و عدد فراکتال حوزه‌های مطالعاتی است.



جدول ۱۱. آزمون همبستگی داده‌های دبی ویژه رسوب (Qs) و عدد فراکتال (Fr) حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای ۲۵ کیلومتری در آن‌ها به روش ANOVA

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.168	1	.168	118.806	.000a
	Residual	.014	10	.001		
	Total	.182	11			

a. Predictors: (Constant), Qs

زمانی که Sig کمتر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین مدل به کاررفته پیش‌بینی کننده خوبی برای مدل وابسته است. بنابراین مقدار Sig (۰/۰۰۰) معناداری مدل را نتیجه می‌دهد.

جدول ۱۲. ضریب همبستگی داده‌های دبی ویژه رسوب (Qs) و عدد فراکتال (Fr) حوزه‌ها پس از اصلاح واحدهای ۲۵ کیلومتری در آن‌ها

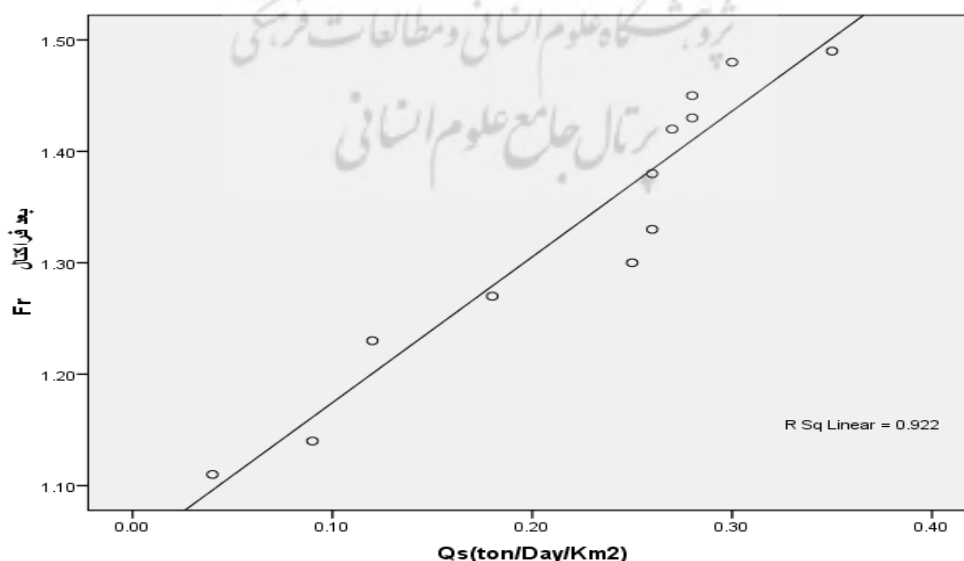
Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.044	.029		36.083	.000
	Qs	1.309	.120	.960	10.900	.000

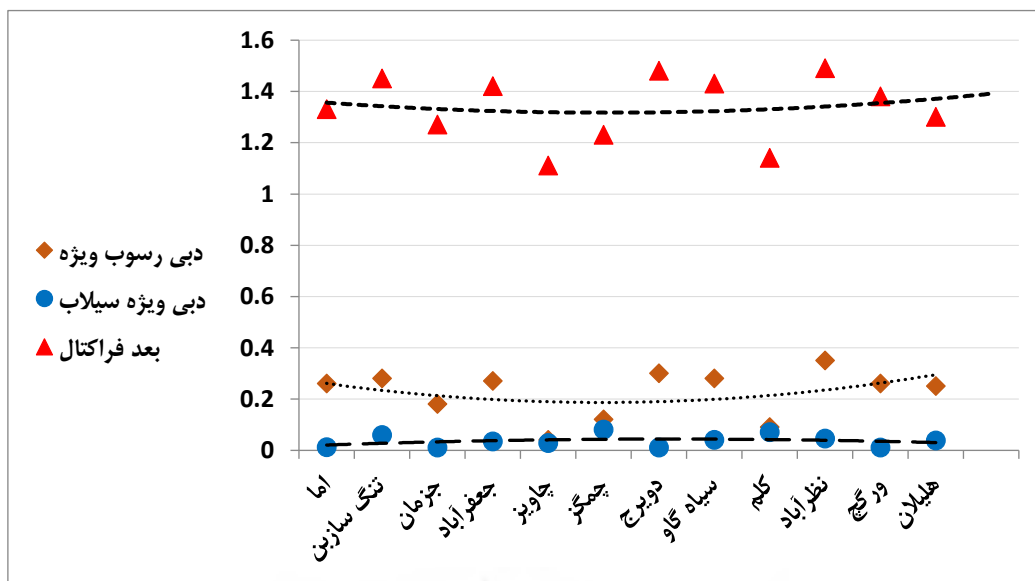
a. Dependent Variable: Fr

مقدار Sig (۰/۰۰۰) معنی‌داری مدل به کاررفته را نشان می‌دهد و میزان تأثیر در سطح ۰/۰۰۰ معادل ۰/۹۶۰ (Beta) می‌باشد و نشان از تأثیر شدید بعد فراکتال بر دبی رسوب ویژه دارد.

نمودار پراکنش و خط همبستگی داده‌های دبی ویژه رسوب و عدد فراکتال



شکل ۱۳. نمودار خط همبستگی داده‌های دبی ویژه رسوب و عدد فراکتال حوزه پس از اصلاح واحدهای یکسان ۲۵ کیلومتری شکل (۱۳) خط رگرسیون و نمودار پراکنش داده‌ها را در اطراف آن نشان می‌دهد. پراکندگی داده‌ها در شکل بیانگری همبستگی بالا در داده‌هاست. چراکه داده‌ها پراکنده نیستند.



شکل ۱۴. تلفیق نمودارهای (۴-۵) و (۴-۹) بررسی ارتباط دبی ویژه سیلاب، دبی ویژه رسوب و بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز

در شکل (۱۴) نمودارهای بعد فراکتال حوزه‌ی آبخیز پس از اصلاح شبکه هیدروگرافی به همراه نمودارهای دبی ویژه سیلاب و دبی رسوب ویژه آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد نمودارهای دبی رسوب ویژه و بعد فراکتال از روند تقریباً یکسان تبعیت می‌کنند که این مورد در مورد نمودارهای دبی ویژه سیلاب و و بعد فراکتال صادق نیست و بنابراین تاییدی بر نتایج قبلی و وجود ارتباط بین دبی رسوب ویژه و بعد فراکتال و عدم ارتباط دبی سیلاب ویژه و بعد فراکتال است.

##### ۵. نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق انجام شده نشان می‌دهد:

در تحقیق حاضر تعیین بعد فراکتال به روش جعبه شمارش نسبت به دو روش بزرگ‌نمایی و شعاعی نتایج دقیق‌تری به دست می‌دهد. بین بعد فراکتال سازندها و مقاومت آن‌ها به فرسایش ارتباط معنادار و معکوس برقرار می‌باشد و با افزایش مقاومت سازند بعد فراکتال آن کاهش می‌یابد و بنابراین تراکم شبکه هیدروگرافی هم پایین تر است. با نتایج ایلدرمی و سپهری (۱۳۹۷) مبنی بر افزایش فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی با افزایش بعد فراکتال و پارامترهای شبکه زهکشی تطابق دارد. بین تراکم شبکه هیدروگرافی و به تبع آن بعد فراکتال حوزه با دبی ویژه سیلاب حوزه‌های آبخیز روند منظمی وجود نداشته و بین این شاخص و بعد فراکتال حوزه ارتباط معنی‌دار مشاهده نمی‌گردد.

بین عدد فراکتال و دبی رسوب ویژه که بیانگر میزان فرسایش و ناهمواری در حوزه است ارتباط معنادار و مستقیم در سطح ۵ درصد وجود دارد، به نحوی که با افزایش تراکم آبراهه (پستی‌وبلندی) در واحد سطح عدد فراکتال افزایش می‌یابد که با نتایج علیمردادی و همکاران (۱۳۹۷) از نظر وجود ارتباط معنادار بین تراکم شبکه هیدروگرافی و بعد فراکتال و همچنین نتایج نیکویی و همکاران (۱۳۸۷) در استفاده از هندسه فراکتال به عنوان ابزار مناسب بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای و نیز با نتایج Pelletier (۱۹۹۹) که منجر به تولید توپوگرافی فراکتالی و شبکه رودخانه‌ای فراکتالی شد؛ هم‌خوانی دارد

بیشترین مقدار بعد فراکتال را می‌توان در حوزه‌هایی که از نظر سنگ‌شناسی بسیار حساس تا حساس هستند، از جمله حوزه‌های نظرآباد معادل ۱/۴۸، دوبرج معادل ۱/۴۹ و کمترین مقدار آن را می‌توان در حوزه‌هایی که از نظر سازندهای زمین‌شناسی مقاوم تا نیمه مقاوم هستند، از جمله کلم معادل ۱/۱۴ و چم گز ۱/۱۱ مشاهده کرد، که با نتایج علیمردادی و

همکاران (۱۳۹۸)، به لحاظ تبعیت بعد فراکتال از ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوزه‌های آبخیز مطابقت دارد. همچنین با نتایج عدل و مهروند (۱۳۸۳) و عدل و مهروند (۱۳۷۸)، از نظر از نظر ارتباط مستقیم بعد فراکتال با شبکه زهکشی و اینکه بعد فراکتال حوزه‌های آبخیز معرف تشابه ژئومورفولوژیکی در بین آن‌ها است تطابق دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و همبستگی آماری می‌توان در محدوده استان ایلام با دقت بیش از ۹۵٪ با داشتن بعد فراکتال زیر حوزه‌ها مقادیر دبی رسوب را پیش‌بینی نمود. ولی این پیش‌بینی برای دبی آب مقدور نمی‌باشد.

## منابع

- احمدی. ح و فیض‌نیا. س (۱۳۷۸). سازندهای دوره کوتاه‌تر (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)، انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول.
- احمدی. ح و فیض‌نیا. س (۱۳۸۵). سازندهای دوره کوتاه‌تر (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)، انتشارات دانشگاه تهران.
- اختصاصی، م.ر. (۱۳۹۴)، مقدمه‌ای بر فراکتال، ژئومورفولوژی کمی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.
- محمدی خوشئی. م و اختصاصی. م.ر (۱۳۹۸)، مقایسه‌ی بعد فراکتال و ویژگی‌های ژئومورفولوژیک در مدیریت حوزه آبخیز عقدا، پژوهش‌های فرسایش محیطی، بهار ۱۳۹۸، صص ۶۲-۸۴.
- فتاحی. م.ه و کامیاب. س. (۱۳۹۷)، انطباق سنجی خواص ژئومورفولوژیک حوضه آبریز و ویژگی‌های چند فراکتال شکل آبراهه، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال چهاردهم شماره ۵ (پیاپی ۴۷، زمستان ۱۳۹۷).
- محمدی. م، اختصاصی. م.ر، طالبی. ع و حسینی. ز.ا، (۱۳۹۸) کاربرد بعد فراکتال در تحلیل حساسیت پذیری سازندهای زمین شناسی مناطق خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دشت یزد- اردکان)، نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان، پیاپی ۲۴ (پاییز ۱۳۹۸).
- اسماعیلی. ح.ا و خیری. س (۱۳۸۵). کارگاه مقدماتی آموزش نرم‌افزار SPSS ۱۱/۵، دانشگاه علوم پزشکی مشهد.
- افشانی. ع.ر (۱۳۸۷). آموزش کاربردی SPSS، در علوم اجتماعی و رفتاری، دانشگاه یزد، چاپ چهارم، صص ۱۴۶-۱۴۵.
- پیری. ع.ا، حبیب نژاد. م، احمدی. م.ض.، سلیمانی. ک، مساعدی. ا. (۱۳۸۴). «بهینه‌سازی رابطه دبی آب و رسوب در حوضه معرف امامه»، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، سال سوم، شماره سوم.
- ایلدرمی. ع.ر و سپهری. م. (۱۳۹۷)، فرسایش پذیری سازندهای زمین شناسی با استفاده از تحلیل بعد فرکتال شبکه زهکشی (مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی همدان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی سال ششم بهار ۱۳۹۷ شماره ۴ (پیاپی ۲۴)
- جدول ستون چینه‌شناسی ایران (اختصاصی اقتباس از فیض‌نیا).
- سازمان جغرافیایی ارتش.
- طهماسبی. ز.، زال. ف و ا. احمدی خلجی. (۱۳۹۴)، ریخت‌شناسی تورمالین در گرانیتهای مشهد (g2) با استفاده از آنالیز فراکتال و تئوری اجتماع با انتشار محدود (DLA)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست و سوم، شماره ۳.
- عدل. ا و مهروند. ص (۱۳۸۳). « بعد فرکتالی و مشخصات هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز»، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، NCCEI383، دانشگاه صنعتی شریف.

- عدل.ا و مهرنوند.ص (۱۳۷۸)، فرکتال‌ها در حوزه‌های آبخیز مجموعه مقالات پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف، معاونت پژوهشی ۱۳۷۸.
- علمی‌زاده.ه، ماه‌پیکر.ا و سعادت‌مند.م، (۱۳۹۳)، بررسی نظریه‌ی فرکتال در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای: مطالعه‌ی موردی زرینه رود، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، پاییز ۱۳۹۳، شماره ۲ (پیاپی ۱۰).
- علیم‌رادی.م، اختصاصی.م.ر، تازه.م و کریمی.ح (۱۳۹۷)، محاسبه‌ی بعد فراکتال سازندهای زمین‌شناسی و بررسی ارتباط آن با حساسیت سازندها، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، پیاپی ۱۰۴ (تابستان ۱۳۹۷).
- علیم‌رادی.م، اختصاصی.م.ر، تازه.م و کریمی.ح (۱۳۹۷)، مقایسه تراکم و بعد فراکتال شبکه‌های زهکشی در مقیاس و دقت‌های مختلف (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز استان ایلام)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، پیاپی ۱۹ (بهار و تابستان ۱۳۹۸).
- علیم‌رادی.م، اختصاصی.م.ر، تازه.م و کریمی.ح (۱۳۹۵)، بررسی ارتباط پارامترهای کمی و بعد فراکتال الگوهای ژئومورفولوژی و سازندهای زمین‌شناسی در ارتباط با شاخص‌های هیدرولوژی و رسوب (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز استان ایلام)، محمد رضا اختصاصی، مهندسی منابع طبیعی - آبخیزداری، دانشگاه یزد.
- محمدی استادکلایه، ا، مساعدی.ا و حشمت پور.ع (۱۳۸۶). «تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در، ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانه گرگان رود». مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ج ۴.
- ملک‌شاهی.م (۱۳۹۱). «بررسی رابطه بین میزان رواناب و رسوب با پارامترهای فیزیکی و بعد فراکتال در حوزه‌های آبخیز»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی منابع طبیعی، آبخیزداری، دانشگاه یزد.
- ملک‌شاهی.م، طالبی.ع. و ثبوتی.س (۱۳۹۱). «بررسی روابط خطی و غیرخطی بین بعد فراکتال و دبی متوسط سالانه؛ مطالعه موردی رودخانه‌های استان لرستان»، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، انجمن مهندسی آبیاری و آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۲۰ و ۲۱ شهریورماه ۱۳۹۱.
- میرزایی.م.ر، عرب خدری.م، فیض نیا.س، احمدی.ح، (۱۳۸۴)، مقایسه روش‌های آماری برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها، منابع طبیعی ایران، تابستان ۱۳۸۴، دوره ۵۸، شماره ۲، از صفحه ۳۰۱ تا صفحه ۳۱۳.
- نیکویی.ا و حیدری.م و طالب بیدختی.ن و حکمت‌زاده.ع.ا، (۱۳۷۸)، هندسه فراکتالی در مهندسی رودخانه: ایده‌ها، مفاهیم اساسی و دستاوردها، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران
- Horton, R. E., 1945, *Erosional Developments of Streams and Their Drainage Basin; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology: Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 56, p. 275-370.
- Bi, L., H. He, Z. Wei, and F. Shi. 2012. "Fractal Properties of Landforms in the Ordos Block and Surrounding Areas, China." *Geomorphology* 175-176: 151-162. doi: 10.1016/j.geomorph.2012.07.006.
- Jörn H. Kruhl. (2013). *Fractal-geometry techniques in the quantification of complex rock structures: A special view on scaling regimes, inhomogeneity and anisotropy. Journal of Structural Geology*, 46(2013) 2-21.
- La Barbera, P. and Rosso, R. (1989) *On the fractal dimension of stream network. Water Resources Research*, 25 (4), 735-741.
- Mandelbrot, B.B (1967) *How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. Science* 156: 636-638.
- Pelletier, J. D. (1999). "Self-organization and scaling relationships of evolving river networks" *Journal of Geophysical Research*, pages 7359-7375.

- Turcotte D.L (1994) *Fractal theory and the estimation of extreme floods*. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 99: 377–389.
- Turcotte D.L and Greene L (1993) *A scale-invariant approach to flood-frequency analysis*. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*. 7: 33–40.
- Zhang S, Guo Y, Wang Z (2015) *Correlation between flood frequency and geomorphologic complexity of rivers network – A case study of Hangzhou China*. *Journal of Hydrology*. 527 (2015): 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.060>.
- B.Alik, " *A Study On Designing Methods And Fractal Coded Designs In Architecture*," Master Thesis, Kocaeli University, 2015.
- Ö. Ediz, " *A Generative Approach In Architectural Design Based On Fractals*," PhD, Natural of Science Institute, ITU, 2003.
- C. İlhan, " *Fractal Geometry Analysis of Urban Tissue Morphological Change: The Case Study of Bursa*, vol. 4, *Architecture and Life*, no. 1, pp. 117-140, 2019.
- Liebovitch.L.S and Toth.T, 1989, *A fast algorithm to determine fractal dimensions by box counting*, Volume 141, Issues 8–9, 20 November 1989, Pages 386-390.
- Sung, Q. C., and Y. C. Chen. 2004. "Self-Affinity Dimensions of Topography and Its Implications in Morphotectonics: An Example from Taiwan." *Geomorphology* 62 (3–4): 181–198. doi:10.1016/j.geomorph.2004.02.012.
- Turcotte, D. L., (1992), "Fractals and chaos in geology and geophysics", Cambridge Univ, Press, Cambridge, 275 pp.