پژوهش های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

رفتارسنجی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بُعد فراکتال آبخیز بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب

علی طالبی[۱*]، محمد ملکشاهی[۲]، حسین خورشیدی[۳]، مهین کله‌هوئی[۴]، سید هادی ابطحی[۵]

۱ – استاد، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه یزد
۲ – دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه یزد
۳ – استادیار، دانشکده‌ی ریاضی دانشگاه یزد
۴ – دانش‌آموخته‌ی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت‌مدرس
۵ – دکترای مهندسی آب از دانشگاه ارومیه

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف
شناخت نقش و عامل‌های مؤثر بر فرسایش خاک زمینه‌ی مناسبی را برای مدیریت خوب و شناسایی مناطق فرسایش‌پذیر فراهم می‌کند. مدیریت آبخیز، یکی از حساس‌ترین و پیچیده‌ترین انواع مدیریت منابع و تولید است. بُعد فراکتالی، ابزار بررسی اندازه‌ی پیچیدگی میان داده‌ها و ساده‌سازی پدیده‌های پیچیده‌ی طبیعت است. با این ابزار می توان رفتارسنجی و توان ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز را با ایجاد الگوهای فراکتالی بررسی کرد. از این رو، در این پژوهش ارتباط و تعامل میان ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز و بُعد فراکتال در تولید رواناب و رسوب بررسی شد.

مواد و روش‌ها
در این پژوهش داده‌های لازم از آمار کشور در ایستگاه‌های آب‌سنجی و همدید آبخیز، دریافت شد. ویژگی‌های آبخیز، بر اساس نقشه‌های پایه تهیه شد. ویژگی‌های فراکتالی مطالعه‌شده با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای در نرم‌افزار Fractalyse 2.4 محاسبه شد. با روش تحلیل عاملی ۸۵ ویژگی مرتبط با آبخیز شناسایی شد. در این پژوهش برای انجام تحلیل‌های بیش‌تر، اندازه‌ی رواناب و رسوب سالانه با دوره‌های بازگشت گوناگون بررسی شد؛ بنابراین، پنج سناریوی مختلف بر اساس همگن بودن آبخیز، ویژگی‌های اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌شناسی آبخیز، ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی به‌شکل هم‌زمان و ویژگی‌های فراکتالی آبخیز در نظر گرفته شد. هم‌بستگی میان اندازه اندازه‌ی آب‌دهی و رسوب برآوردشده (با دوره‌های بازگشت گوناگون) و ویژگی‌های مختلف ریخت‌شناسی نیز انجام شد.

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** talebisf@yazd.ac.ir
استناد: طالبی،ع.، ملکشاهی،م.، خورشیدی،ح.، کله‌هوئی،م.، ابطحی،س.ه. ۱۴۰۳. رفتارسنجی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بُعد فراکتال آبخیز بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۱۳۲-۱۱۰.
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2023.362706.1546
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۵/۰۳، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۱۱۰ تا ۱۳۲.
ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس
© نویسندگان
CC BY

نتایج و بحث
نتایج روش تحلیل عاملی نشان داد که از میان ۸۵ ویژگی آبخیز، ۱۸ ویژگی مؤثر شامل مساحت، مساحت شیب ۱۲-۸ و ۲۰-۱۲٪، مساحت جهت شیب شرق در نُه‌جهته، طول خطوط تراز ۱۰۰ متری، طول کل آبراهه، زمان تمرکز با روش کرپیچ، اختلاف بلندی، فراکتال خطوط تراز ۲۰۰ متری، انحراف از معیار رطوبت، اختلاف دما، میانگین شیب، شیب خالص آبراهه‌ی اصلی، میانگین دما، میانگین رطوبت، میانگین بارش، ضریب کشیدگی و فراکتال محیط آبخیز بودند. همچنین، ویژگی بُعد فراکتالی خطوط تراز ۲۰۰ متری و بُعد فراکتالی محیط آبخیز، توانستند به‌شکل قابل‌توجهی اندازه‌ی تغییرات کلی آب‌دهی و رسوب را تبیین کنند. این یافته نقش ویژگی‌های فراکتالی در روابط آب‌دهی و رسوب را به‌خوبی بیان کرد.
نتیجه‌گیری و پیشنهادها
بر پایه‌ی نتایج این پژوهش مشخص شد تقریباً تمام عامل‌های مؤثر در برآورد آب‌دهی و رسوب در آبخیزهای بزرگ، در مساحت و فراکتال محیط آبخیز خلاصه‌شده است و این دو ویژگی بیش‌ترین تغییرات آب‌دهی و رسوب را توجیه می‌کنند. از این رو، با کاهش مساحت آبخیزها نقش دیگر عامل‌ها از جمله جهت شیب، شیب خالص آبراهه و غیره در تبیین تغییرات بیشتر مشهود است و می‌توان گفت برای مهار کردن فرسایش و رواناب آبخیزها، تقسیم آبخیزهای بزرگ به آبخیزهای کوچک‌تر، بهترین اقدام است. گام بعدی انجام اقدام‌های آبخیزداری در این زیرآبخیزهای کوچک است. کاهش مساحت آبخیزها در بیشتر روابط به‌تنهایی توانست تا ۷۰٪ تغییرات رسوب را توجیه کند. پیشنهاد می‌شود که بهره‌وران و سودبران از یافته‌های این پژوهش در اجرای برنامه‌های توسعه و مدیریت آبخیزها استفاده کنند.

واژگان کلیدی: آبخیزهای همگن، بُعد فراکتال، خود تشابهی، فرسایش

مقدمه

فرسایش خاک[1] فرآیندی طبیعی و پیوسته است، که شدت آن با دخالت‌های غیراصولی از حد طبیعی فراتر می‌رود. در شرایط طبیعی اندازه‌ی هدررفت خاک در بوم‌سازگان دست‌نخورده، با اندازه‌ی تولید آن برابر است؛ اما شوربختانه امروزه به دلیل دخالت‌های بشر و فقدان مدیریت فعالیت های انسانی و بهره‌برداری بی‌رویه، این نظم به‌هم‌خورده است (صادقی ۲۰۱۰). بحث‌های فرسایش خاک به‌عنوان یکی از بحث‌های مهم در مدیریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست، منابع آب و طبعاً مدیریت جامع آبخیزها به شمار می‌رود (محمودزاده ۲۰۰۴) و در سال‌های اخیر، به یکی از نگرانی‌های کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، تبدیل‌شده است. از آنجایی که اهمیت آب و بحران کمیت و کیفیت آن از زمان گذشته وجود داشته است، حفظ و حراست از منابع آبی موجود یک ضرورت انکارناپذیر است (سولار و همکاران ۲۰۰۷؛ کارابلو و همکاران ۲۰۱۶؛ ریچاردز و همکاران ۲۰۲۱)، که این خود جزء یکی از عامل‌های مهم توسعه‌ی پایدار بوم‌سازگان است. کمی‌کردن فرسایش خاک، یکی از بزرگ‌ترین بحث های اساسی در مدیریت و حفاظت خاک و طبعاً پژوهش‌های منابع طبیعی و طرح‌های محیط‌زیست است (صادقی ۲۰۰۸؛ سردا و همکاران ۲۰۲۱). کمی‌کردن فرسایش خاک در تمام بخش‌های گوناگون طرح‌های آبی، آبشناختی و به‌ویژه طرح‌های مدیریت جامع منابع آب‌وخاک و توسعه‌ی آبخیز، ضروری به نظر می‌رسد (ضیائی ۲۰۰۱). ویژگی‌های آبخیز را می‌توان در چهار گروه خصوصیت‌های اقلیم و رواناب، زمین‌شناسی و خاکشناسی، پستی‌بلندی (ژئومتری) و پوشش گیاهی و کاربری زمین طبقه‌بندی کرد. تولید رسوب انعکاسی از اهمیت و اندازه‌ی فرآیندهای فرسایشی و منابع رسوب در بخش‌های بالادست آبخیز است و چگونگی انتقال و ذخیره‌ی رسوب از لحظه حرکت مواد فرسایشی از نقطه‌ی جدایی تا خروجی آبخیز را نشان می‌دهد (هدلی و همکاران ۱۹۸۵). تحلیل پژوهش‌های ریخت‌شناسی، توصیف کمی ویژگی‌های هندسی آبخیز را به منظور درک بهتر شرایط ریخت‌شناسی فراهم می‌کند. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های ریخت‌شناسی ازجمله شکل آبخیز، مساحت و محیط آبخیز، طول آبراهه اصلی، شیب و بلندی آبخیز تفسیر جامعی درزمینه‌ی پاسخ‌های آبشناختی مانند تولید رواناب، ظرفیت نفوذ، ظرفیت آب زیرزمینی و مؤلفه‌های فرسایش خاک ارائه می‌دهد (لینگ و وانگ ۲۰۰۶؛ نصرتی و همکاران ۲۰۱۷؛ سینگ و همکاران ۲۰۲۱). افزون بر

1 - Soil erosion

این، اطلاعات به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ریخت‌شناسی می‌تواند به‌عنوان ابزار تعیین‌کننده‌ای در مدیریت منابع آب، حفاظت از فرسایش خاک، پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، ارزیابی ظرفیت آب زیرزمینی و اولویت‌بندی آبخیزها، تجزیه و تحلیل فراوانی سیلاب و سرانجام مهار فرسایش به کار گرفته شود (توکورا و همکاران ۲۰۲۱؛ سالوی و همکاران ۲۰۱۷). روش‌های سنتی تعیین ویژگی‌های ریخت‌شناسی زمان‌بر، پرهزینه و نیازمند نیروی کار زیادی است. هم‌چنین متغیرهای فراوانی در رخداد پدیده و فرآیندهای موجود در آبخیز نقش دارند که برقراری تعامل میان آن‌ها با استفاده از روش‌های معمول ریاضی به‌سادگی میسر نیست. درک این مطلب که بسیاری از پدیده‌های موجود در عین بی‌نظمی، منظم هستند، می‌تواند هر جزء از بوم‌سازگان را به‌شکل یک عدد کمی هندسه‌ی فراکتال[2] متصور کند (محمودی‌خشوئی و اختصاصی ۲۰۱۹). یکی از ویژگی‌های اساسی فراکتال‌ها، که پایه و اساس تجزیه و تحلیل‌های فراکتالی است، خود تشابهی آماری[3] است که بیان‌کننده‌ی تشابه ظاهری در یک یا تمام جهت‌ها و مقیاس‌ها است (مندل بورت ۱۹۸۲). به‌عبارت‌دیگر، خود تشابهی آماری بیان‌کننده‌ی حالتی است که الگوی تغییرات مدنظر در یک مقیاس معین در دیگر مقیاس‌ها نیز تکرار می‌شود (بروگ ۱۹۸۳). میان بُعد فراکتال و بی‌نظمی شکل‌ها، ارتباط مستقیمی وجود دارد، به‌گونه‌ای که هر چه این بی‌نظمی بیش‌تر باشد، بُعد فراکتال آن بزرگ‌تر خواهد شد (طهماسبی و همکاران ۲۰۱۵). اخیراً اهمیت کاربرد هندسه‌ی فراکتال، سبب‌شده تا پژوهشگران با استفاده از شاخص‌هایی، تعامل و تبیین ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز را تحلیل و بررسی کنند (مندلبروت ۱۹۸۳؛ چین و همکاران ۲۰۲۳). روش شمارش جعبه‌ای[4] یکی از مهم‌ترین روش‌های محاسبه‌ی بُعد فراکتال است که می‌تواند بُعد فراکتالی تمام عنصرها، ابعاد و شکل‌های گوناگون را محاسبه کند و در مقایسه با دیگر روش‌ها سرعت بیش‌تری دارد. در زمینه‌ی کاربرد بُعد فراکتال در شناسایی ارتباط میان پدیده‌ها، پژوهش‌های پرشماری انجام‌شده است (شهزاد و همکاران ۲۰۱۰؛ خان‌بابایی و همکاران ۲۰۱۳؛ ایبانز و همکاران ۲۰۱۴؛ ژانگ و همکاران ۲۰۱۵؛ دیاکونو و همکاران ۲۰۱۷؛ هو و همکاران ۲۰۲۰؛ ریل و همکاران ۲۰۲۱؛ کابوبه و همکاران ۲۰۲۱). بُعد فراکتال در زمینه‌ی تحلیل فراکتالی در تولید رواناب (اسلام و سیواکومار ۲۰۰۲؛ گارسیا سرانا و همکاران ۲۰۱۸)، بارش ماهانه (مین و همکاران ۲۰۰۴)، آب‌دهی جریان رود (موحد و هرمنیس ۲۰۰۸)، منشاءیابی رسوب (شانگ و کامای ۲۰۰۵؛ کائو و ژانگ ۲۰۲۳)، تغییر کاربری زمین (دیاکونو ۲۰۱۶) و مهندسی رودها و الگوی زهکش (دیمری و همکاران ۲۰۰۹) نیز اهمیت زیادی دارد. خسروی و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی نشان دادند که در آبخیزهای دامنه‌ی شمال بینالود، میان بُعد فراکتال نسبت انشعاب با مساحت آبخیزهای مطالعه‌شده، رابطه‌ی معکوس و منفی داشت. همچنین، میان بُعد فراکتال انشعاب رود و شکل آبخیز نیز بیش‌ترین ضریب همبستگی وجود داشت. در استان ایلام، علمیرادی و همکاران (۲۰۱۸)، دریافتند که رابطه‌ی میان بُعد فراکتال و حساسیت سازندها معنی‌دار است، به‌شکلی که با افزایش حساسیت سنگ‌شناسی و به دنبال آن تراکم زهکشی، بر اندازه‌ی عدد فراکتال افزوده شد. در استان یزد در آبخیز تفت، برزگری‌دهج و همکاران (۲۰۲۰)، کارایی روش تراکم شبکه زهکش را با روش بُعد فراکتال شبکه‌ی زهکش مقایسه کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که ارزیابی کارایی روش تراکم شبکه‌ی زهکش در شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی بررسی‌شده بسیار خوب بود.

سرانجام، آبخیز به‌عنوان یک واحد مدیریتی، پدیده‌ای فراکتالی است که بررسی الگوهای موجود آن برای دست‌یابی به مدیریت جامع ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، این پژوهش با اهداف بررسی ارتباط میان خصوصیات فیزیکی آبخیزها و اندازه‌ی رواناب و رسوب تولیدی آن‌ها انجام شد. هم‌چنین، ارتباط میان بُعد فراکتال آبخیز با اندازه‌ی تولید رواناب، فرسایش و رسوب نیز بررسی شد. با آگاهی از رفتارهای آب‌شناختی گوناگون آبخیزهای مختلف بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی، شناسایی آبخیزهای بحرانی گامی ضروری در برنامه‌های آبخیزداری به شمار می آید. ازاین‌رو، شناسایی این عامل‌ها برای تصمیم‌گیرندگان و مدیران آبخیز امری ضروری است و باید از ویژگی‌ها و فرآیندهای رخداده آگاه باشند.

مواد و روش‌ها

معرفی ایستگاه‌های آب‌سنجی بررسی‌شده

در این پژوهش، نخست آمار آب‌دهی روزانه‌ی طولانی‌مدت و رسوب ۱۱۳ ایستگاه‌های آب‌سنجی انتخاب شد. سپس بررسی‌های اولیه در مورد تعداد سال آماری و مشکلات جانمایی ایستگاه انجام شد. سرانجام، ۹۳ ایستگاه آب‌سنجی در هفت استان تهران،

2 - Fractal
3 - Statistical Self-Similarity
4 -Box- counting Method

خراسان رضوی، گرگان، مازندران، کردستان، لرستان و چهارمحال بختیاری انتخاب نهایی شد. با استفاده از نرم‌افزار HEC-DSSVue [5] داده‌های روزانه آب‌دهی به داده‌های توالی زمانی تبدیل شد. همگنی و بهنجار بودن داده‌های میانگین آب‌دهی و بیشینه‌ی سالانه بررسی شد. هم‌چنین آمار بارندگی، میانگین دما و میانگین رطوبت سالانه ۱۸۰ ایستگاه همدید کشور استفاده شد.

با استفاده از مدل SWAT (الحاقی تحت ArcGIS۹,۳) آبخیزهای زهکشی در ایستگاه‌های آب‌سنجی تهیه شد. سپس، با استفاده از قابلیت مدل نویسی در نرم‌افزار ArcGIS مدلی که توانایی انجام محاسبات ریخت‌شناسی آبخیز به‌شکل خودکار و با دقت زیاد را داشته باشد، تهیه شد. نام و اختصار ۴۸ ویژگی به‌دست‌آمده از این مدل در جدول ۱ نشان‌داده شده است. روش‌های تجربی پرشماری برای محاسبه‌ی زمان تمرکز پیشنهادشده است که هرکدام به‌نوبه‌ی خود قابل‌اعتماد و کاربردی است. ولی با توجه به اینکه رابطه‌های تجربی معمولاً در شرایط خاصی به‌دست‌آمده‌اند، انتخاب روش مناسب برای هر آبخیز با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی، ریخت‌شناسی، پوشش گیاهی، وضعیت آبراهه‌ها، و تفسیر و تحلیل کارشناس مجرب امکان‌پذیر است. در این پژوهش، از چند روش برای محاسبه‌ی زمان تمرکز استفاده شد (جدول ۲). ویژگی‌های شبکه‌ی جریان آبخیز در جدول ۳ نشان‌داده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز.

Table 1- Parameters related to the morphology of the watershed.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
Km^2	S0-2	The slope area is 0-2%	25	Km^2	A	Area	1
Km^2	S2-5	The slope area is 2-5%	26	km	P	Perimeter	2
Km^2	S5-8	The slope area is 5-8%	27	km	Le	Basin length	3
Km^2	S8-12	The slope area is 8-12%	28	-	FF	Horton coefficient	4
Km^2	S12-20	The slope area is 12-20%	29	-	Cg	Gravel's coefficient	5
Km^2	S20-30	The slope area is 20-30%	30	-	Rc	Miller's roundness coefficient	6
Km^2	S30-60	The slope area is 30-60%	31	-	Re	Slenderness ratio	7
Km^2	S>60	The slope area is more than 60%	32	km	Rw	The width of the equivalent rectangle	8
Km^2	As5p	The area of the flat slope direction	33	km	Rl	The length of the equivalent rectangle	9
Km^2	As5n	The area of the north slope in 5 directions	34	km	D	The diameter of a coplanar circle	10
Km^2	As5e	The area of the east slope in 5 directions	35	Km^2	A3d	Basin surface area	11
Km^2	As5s	The area of the south slope in 5 directions	36	Km^3	V	The volume of the basin	12
Km^2	As5w	The area of the west slope in 5 directions	37	m	Hmin	Minimum elevation	13
Km^2	As9n	The area of the north slope in 9 directions	38	m	Hmax	Maximum elevation	14
Km^2	As9ne	The area of the northeast slope in 9 directions	39	m	Hmea	Mean elevation	15
Km^2	As9e	The area of the east slope in 9 directions	40	m	Hsd	Deviation from the elevation	16
Km^2	As9se	The area of the south-east slope in 9 directions	41	m	Hmed	Middle elevation	17
Km^2	As9s	The area of the south slope in 9 directions	42	m	Hran	Elevation difference	18
Km^2	As9sw	The area of the south-west slope in 9 directions	43	m	Hstr	Straight elevation	19
Km^2	As9w	The area of the west slope in 9 directions	44	%	Smin	Minimum slope	21
Km^2	As9nw	The area of the north-west slope in 9 directions	45	%	Smax	Maximum slope	21
km	C50	The length of the alignment lines is 50 m in the basin	46	%	Smea	Mean slope	22
km	C100	The length of the alignment lines is 100 m in the basin	47	%	Ssd	Deviation from the slope	23
km	C200	The length of the alignment lines is 200 m in the basin	48	%	Sran	Slope difference	24

5 - Hydrologic Engineering Center Data Storage System Visual Utility Engine

جدول ۲- روش‌های تجربی محاسبه‌ی زمان تمرکز.

Table 2- Experimental methods for estimation time of concentration.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
hr	Tj	Johnston-Cross	5	hr	Tke	Kerpich method	1
hr	Tkar	Carter	6	hr	Tw	Williams method	2
hr	Te	Spy	7	hr	Tc	Chow method	3
hr	Tsc	SCS empirical relation	8	hr	Tkal	California	4

جدول ۳- ویژگی‌های شبکه‌ی جریان آبخیز.

Table 3- Parameters related to the watershed flow network.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
m	Shmim	The starting elevation of the main stream	5	-	So	Main stream category	1
m	Shmax	The elevation of the end of the main stream	6	km	Sls	Total length of stream	2
%	Shnet	The elevation of the end of the main stream	7	$km.km^2$	Sd	Stream density	3
%	Shgro	The gross slope of the main stream	8	km	Slm	The length of the main stream	4

ویژگی‌های اقلیمی

ازجملـــه پژوهش‌هـــای مهم در طرح‌هـــای آبخیزداری و به‌طورکلی پژوهش‌هـــای آب‌وخاک، بررســـی‌های هوا و اقلیم‌شناســـی اســـت و تجزیه و تحلیـــل ویژگی‌های آن اهمیـــت زیـــادی دارد. ویژگی‌هـــای میانگین ســـالانه‌ی بارش، میانگین سالانه‌ی دما و میانگین سالانه‌ی رطوبت به‌منظور تجزیه و تحلیل های منطقه‌ای آب‌دهی و رسوب برای هر آبخیز از ایســـتگاه‌های همدید و هواشناسی تهیه شد (جدول ۴).

جدول ۴- ویژگی‌های اقلیمی بررسی‌شده به همراه اختصار آن‌ها.

Table 4- Climatic parameters studied with their codes.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
%	Humea	Mean moisture	9	mm	Rmin	The least rainfall	1
%	Husd	Deviation from the moisture standard	10	mm	Rmax	The most rainfall	2
C	Tmin	The lowest mean temperature	11	mm	Rrang	Rainfall difference	3
C	Tmax	Maximum mean temperature	12	mm	Rmean	Rainfall mean	4
C	Trang	Temperature difference	13	mm	Rsd	Rainfall deviation	5
C	Tmean	Mean temperature	14	%	Humin	The lowest moisture	6
C	Tsd	deviation from the temperature standard	15	%	Humax	Maximum moisture	7
				%	Hurang	Moisture difference	8

روش‌های محاسبه‌ی بُعد فراکتالی

تعیین بُعد فراکتالی با روش‌های گوناگونی انجام می‌شود و روش شـــمارش جعبه‌ای، یکی از پرکاربردترین روش‌ها اســـت (لیم و همکاران ۲۰۲۳). برای تعیین بُعد فراکتالی یک شبکه‌ی آبراهه، شبکه‌هایی با اندازه‌ی واحد شبکه‌ی متغیر روی شـــبکه‌ی آبراهه قرار می‌گیرند و با استفاده از رابطه‌ی ۱، بُعد فراکتالی شبکه‌ی زهکشی به‌دست می‌آید.

(۱)

$$D=\lim_{\ni\to.}\frac{log[N(\ni)]}{\log(\frac{1}{\epsilon})}$$

E: اندازه‌ی واحد شبکه و N(ε): حداقل تعداد خانه‌هایی از شبکه است که به‌طور کامل منحنی را پوشش می‌دهند. از آنجایی که در مرحله‌ی i از ساخت منحنی کُخ، طول هر قطعه از منحنی کُخ L.(1.3)i و منحنی در هر مرحله از i ۴ قطعه با این طول تشکیل شده است (پاون و همکاران ۲۰۲۳)، بنابراین، بُعد فراکتالی منحنی کُخ با اســـتفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود.

(۲)

$$D=\lim_{\varepsilon\to 0}\frac{\log[4^n]}{\log(\frac{1}{3})^n}=\frac{\log 4}{\log 3}=1.2618595$$

بر پایه‌ی این مثال، بُعد فراکتالی عموماً ناصحیح اســـت، یعنی منحنی کُخ باوجود یک‌بُعدی بودن توانایی پر کردن صفحـــه را دارد و یک‌خم فضاپرکن اســـت؛ بنابراین، بُعد فراکتالی آن عددی میان بُعد ۱ (بُعد خط راست) و بُعد ۲ (بُعد صفحه) است.

ویژگی‌های فراکتالی

برای محاسبه‌ی ویژگی‌های شکل (مساحت، محیط آبخیز،

خطـــوط تراز ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری) و شـــبکه‌ی آبراهه از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شـــد. سپس با استفاده از نرم‌افـــزار Fractalyse 2.4، محاســـبات روش جعبه‌ی شـــماره‌ای روی هر کدام از شکل‌ها انجام شد و سرانجام بُعد فراکتال محاسبه شد (جدول ۵).

جدول ۵- ویژگی‌های فراکتالی آبخیز.

Table 5- Fractal parameters of the watershed.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
-	FC100	Fractal lines of 100 m	4	-	Fa	Fractal basin area	1
-	FC200	Fractal lines of 200 m	5	-	Fp	Fractal of the basin perimeter	2
-	Fst	Fractal stream network	6	-	FC50	Fractal lines of 50 m	3

ویژگی‌های رواناب و رسوب

میانگین ســـالانه‌ی رواناب و میانگین سالانه‌ی بیشینه‌ی رواناب ایســـتگاه‌های آب‌ســـنجی با دوره‌های بازگشـــت گوناگون، محاســـبه شـــد (جدول ۶). با استفاده از روابط متقابـــل آب‌دهی و رســـوب آبخیزها و قـــرار دادن عدد میانگین ســـالانه‌ی آب‌دهی و میانگین سالانه‌ی بیشینه و میانگین ســـالانه‌ی رســـوب خروجی، بـــرای هر آبخیز میانگین آب‌دهی و میانگین ســـالانه‌ی بیشینه‌ی آب‌دهی با دوره‌های بازگشت گوناگون برآورد شد. برای ویژگی‌های رواناب و رســـوب کدی در نظر گرفته شـــد که به ترتیب در روابط تحلیل منطقه‌ای رواناب و رســـوب استفاده شد (جدول ۷).

جدول ۶- ویژگی‌های رواناب آبخیز.

Table 6- Parameters related to watershed runoff.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
$m^3.s$	P2Mean	Maximum discharge of 2 years	6	$m^3.s$	P2MAX	Maximum discharge of 2 years	1
$m^3.s$	P10Mean	Maximum discharge of 10 years	7	$m^3.s$	P10MAX	Maximum discharge of 10 years	2
$m^3.s$	P25Mean	Maximum discharge of 25 years	8	$m^3.s$	P25MAX	Maximum discharge of 25 years	3
$m^3.s$	P50Mean	Maximum discharge of 25 years	9	$m^3.s$	P50MAX	Maximum discharge of 25 years	4
$m^3.s$	P100Mean	Maximum discharge of 100 years	10	$m^3.s$	P100MAX	Maximum discharge of 100 years	5

جدول ۷- ویژگی‌های رسوب آبخیز.

Table 7- Parameters related to sedimentation of watersheds.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
ton.day	S2Mean	Maximum sediment of 2 years	6	ton.day	S2MAX	Maximum sediment of 2 years	1
ton.day	S10Mean	Maximum sediment of 10 years	7	ton.day	S10MAX	Maximum sediment of 10 years	2
ton.day	S25Mean	Maximum sediment of 25 years	8	ton.day	S25MAX	Maximum sediment of 25 years	3
ton.day	S50Mean	Maximum sediment of 50 years	9	ton.day	S50MAX	Maximum sediment of 50 years	4
ton.day	S100Mean	Maximum sediment of 100 years	10	ton.day	S100MAX	Maximum sediment of 100 years	5

روابط هم‌بستگی

در ایـــن پژوهش، ضریب هم‌بســـتگی بـــرای تعیین اندازه‌ی تغییرات یک متغیر در نتیجه‌ی تغییر متغیر دیگر، اســـتفاده شـــد. هم‌چنین، در ایســـتگاه‌های آب‌ســـنجی، برای تعیین بهتریـــن رابطه‌ی میان آب‌دهی و رســـوب معلـــق از روابط هم‌بستگی استفاده شـــد. ضریب r اندازه‌ی هم‌بستگی میان آب‌دهی و رسوب را نشان می‌دهد که اندازه‌ی آن میان ۱+ و ۱- متغیر اســـت. چنانچه اندازه‌ها به سمت مثبت میل کنند، نشان‌دهنده‌ی هم‌بســـتگی مثبت و اگر به سمت منفی میل کنند، نشان‌دهنده‌ی هم‌بستگی منفی است. اندازه‌ی r شدت رابطه‌ی خطی میان آب‌دهی و رســـوب را نشـــان می‌دهد و علامت آن بیانگر جهت این رابطه است.

در بســـیاری از بررسی‌های آب‌شـــناختی، بیش از دو ویژگی می‌تواند بـــرای یک ناحیـــه اندازه‌گیری شـــود. چنانچه در بررسی هم‌بســـتگی متغیرها، طبیعت روابط میان متغیرهای مستقل و وابســـته به‌دقت شناخته‌نشده باشند، مشکلاتی را پدید می‌آوردند. وجود ضریب هم‌بســـتگی معنی‌دار میان دو متغیـــر، دلیل بر وجود رابطه‌ی ژنتیکی میان آن‌ها نیســـت. در زمینه‌ی تأثیر متقابل متغیرهای مستقل-وابســـته، ضریب هم‌بســـتگی احتمالاً دلیل بر وجود پیوســـتگی ژنتیکی میان آن‌ها اســـت، یا این‌که هر دو متغیر با روش مشابه، به متغیر مستقل ناشناخته‌ی سومی وابسته می‌باشند. در شرایطی که

تأثیر بیش از یک متغیر مستقل بر متغیرهای وابسته‌ای مشخص شود، تعیین تأثیر یک متغیر با کمک مهار تأثیر دیگر متغیرها، سودمند خواهد بود. این روش مهار کردن را می‌توان با روش همبستگی جزئی انجام داد. برای بررسی مجموعه‌ی بزرگی از داده‌ها، روش مؤثرتر و پیچیده‌ای تحت عنوان تحلیل عاملی وجود دارد که با کمک این روش می‌توان حجم زیادی از اطلاعات عددی را کاهش داد و به‌شکل معنی‌داری آن‌ها را مرتب کرد.

تجزیه و تحلیل‌های عاملی

در تجزیه و تحلیل وایازی چندگانه، رابطه‌ی عددی بیش از دو متغیر در یک‌زمان، بررسی می‌شود. تحلیل عاملی معمولاً در چهار مرحله: تولید ماتریسی از ضریب‌های همبستگی، استخراج عامل‌های اصلی از ماتریس ضریب‌ها، ایجاد ارتباط میان متغیرها و بعضی از عامل‌ها انجام می‌شود و سرانجام هر یک از عامل‌ها امتیازبندی می‌شود. برای تحلیل عاملی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

تعیین همگنی آب‌شناختی آبخیزها

برای انجام تحلیل‌های بیش‌تر در آبخیز و به‌دست آوردن مدلی برای محاسبه‌ی اندازه‌ی رواناب و رسوب سالانه با دوره‌های بازگشت گوناگون، پنج سناریوی مختلف را بر اساس همگن بودن آبخیز، ویژگی‌های اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌شناسی آبخیز، ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی به شکل هم‌زمان و ویژگی‌های فراکتالی آبخیز در نظر گرفته شد. ویژگی‌های اقلیمی (Humea، TMean، Trang، Husd و RMean)، ویژگی‌های ریخت‌شناسی (S12-20، S8-12، A-Sh-net و Re)، ویژگی‌های ریخت‌شناسی و اقلیمی (Hran، Sls، C100، As9e، S12-20، S8-12، A-Smea، Shnet، Husd، Trang، TMean، Hu-mea، RMean و Re) و ویژگی‌های بُعد فراکتال (FC200 و Fp) در تحلیل عاملی بررسی شدند و وارد نرم‌افزار SPSS شدند. آزمون بهنجار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کلموگروف – اسمیرنوف انجام شد. با استفاده از تابع تشخیص اعتباریابی انجام شد و گروه‌ها ارزیابی شدند.

نتایج و بحث

نتایج ضریب همبستگی ویژگی‌های گوناگون

نتایج بررسی ضریب همبستگی در این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین همبستگی میان ویژگی‌های یکسان و برخی ویژگی‌های جفتی بود. همچنین، بیشترین هم‌بستگی مثبت میان ویژگی‌های مساحت با قطر دایره‌ی هم‌سطح، محیط با طول مستطیل معادل، ضریب هورتن با ضریب کشیدگی، طول خطوط تراز ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری با یکدیگر، بود و فقط در ضریب گراولیوس و ضریب گردی میلر بیشترین ضریب هم‌بستگی منفی مشاهده شد. نتایج داده‌های میانگین حسابی، انحراف از معیار، چولگی و کشیدگی تجزیه و تحلیل‌های ریخت‌شناسی، اقلیمی و آب‌شناسی آبخیزها در جدول ۸ ارائه‌شده است. ضریب هم‌بستگی پیرسون برای تعیین ارتباط میان دو متغیر با اندازه‌ی متفاوت است. این ضریب در میان ویژگی‌های فیزیکی به‌شکل ماتریسی در جدول ۹ نشان‌داده شده است. هم‌بستگی‌های کم‌تر از ۰/۶ و متغیرهایی که در هیچ جا همبستگی معنی-داری نداشتند در جدول مزبور آورده نشده است.

جدول ۸- چکیده‌ی آماری ویژگی‌های آبخیزهای بررسی‌شده.

Table 8- Statistical summary of the parameters of the studied watersheds.

Skewness	Kurtosis	Deviation from the standard	Max	Min	Average	Parameters	Skewness	Kurtosis	Deviation from the standard	Max	Min	Average	Parameters
5.12	28.04	525.3	3353.8	0	170.6	S0-2	3.64	16.76	2545.6	16771.4	16.9	1407.3	A
4.79	27.99	515.7	3730	0	214.9	S2-5	1.79	3.67	203.2	1065.2	23.6	213.8	P
4.47	27.27	299.9	2230	0	148.9	S5-8	2.08	5.86	46.5	273.2	7	50.3	Le
4.16	23.02	279.2	1990	0.1	145.7	S8-12	0.06	-0.21	0.1	0.61	0.12	0.35	FF
3.47	13.97	381.5	2290	0.5	209.5	S12-20	0.86	0.81	0.29	2.94	1.47	1.98	Cg
3.09	10.28	327.4	1740	1.4	188.7	S20-30	0.15	-0.5	0.07	0.46	0.11	0.27	Rc
2.73	7.34	457.2	2180	2.3	275.3	S30-60	-0.39	0.06	0.1	0.88	0.39	0.66	Re
3.8	16.75	110.5	710.5	0	53.6	S>60	1.7	3.28	6.77	33.89	1.58	8.53	Rw
4.77	26.8	1305.9	9151.4	0.3	535.3	As5p	1.82	3.79	94.71	494.96	10.02	97.62	Rl
2.97	9.33	395.1	2000	0.1	231.6	As5n	3.64	16.76	1621.4	10682.4	10.8	896.3	D
3.5	15.33	324.7	2100	6.1	192.2	As5e	4	20.93	2440.5	17043.7	18.4	1347.3	A3d
2.85	8.79	404.1	2180	4.1	244.8	As5s	3.74	16.38	2450.1	15666.7	11.1	1152.8	V
2.83	8.62	337	1740	3	203.3	As5w	-0.92	-0.02	523.4	2245	31	1336.3	Hmin
2.89	8.69	197.8	987	0	116.2	As9n	0.3	0.96	638.2	5594	1914	3286.8	Hmax
3.26	11.62	228.2	1220	0.2	129.2	As9ne	-0.39	-0.07	493.8	3267.2	755.3	2063.1	Hmea
3.85	19.32	155.5	1071.6	2.9	90.6	As9e	0.2	0.3	133.6	739	81	364	Hsd
2.92	10.02	141.8	829.9	2.2	88.7	As9se	-0.42	0.04	512.2	3278	648	2026.6	Hmed
2.75	7.98	200.9	1060	1.6	123.2	As9s	1.2	4.36	709.6	5230	527	1950.4	Hran
3.18	11.58	246.3	1440	0.4	139.7	As9sw	-0.59	-0.14	463.4	3295.5	1135	2311.6	Hstr
2.82	8.72	157.9	850.7	0.7	96	As9w	4.21	22.16	0.8	5.7	0	0.4	Smin
3.05	10.44	150.3	834.4	0.2	88.9	As9nw	1.86	6.12	53.2	381.7	51.8	131.5	Smax
2.72	7.4	9524.8	45490.8	175.9	5827.3	C50	0.3	-1.11	12.9	52.7	7.5	27.6	Smea
2.72	7.37	4763.6	22752.2	86.1	2916.8	C100	-0.2	0.09	3.5	24.3	7.7	15.8	Ssd
2.72	7.41	2382.6	11389.5	42.7	1463.6	C200	9.27	86	439547.9	4076331	51.6	47528.8	Sran

جدول ۹- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی.

Table 9- Pearson correlation coefficient between physical parameters.

Log Hstr	Log Hran	Log Hmed	Hsd	Log Hmea	Log Hmax	Hmin	Log V	Log A3d	Log D	Log Rl	Log Rw	Log Re	Log Rc	Log Cg	Log FF	Log Le	Log P	Log A	parameters
							0.95	0.98	1	0.98	0.98					0.98	0.99	1	Log A
							0.94	0.97	0.99	1	0.94		-0.66	0.66		0.99	1	0.99	Log P
							0.93	0.96	0.98	0.99	0.93		-0.68	0.68		1	0.99	0.98	Log Le
												1	0.68	-0.68	1				Log FF
										0.67		-0.68	-1	1	-0.68	0.68	0.66		Log Cg
										-0.67		0.68	1	-1	0.68	-0.68	-0.66		Log Rc
												1	0.68	-0.68	1				Log Re
							0.93	0.97	0.98	0.94	1					0.93	0.94	0.98	Log Rw
							0.93	0.97	0.98	1	0.94		-0.67	0.67		0.99	1	0.98	Log Rl
							0.95	0.98	1	0.98	0.98					0.98	0.99	1	Log D
							0.94	1	0.98	0.97	0.97					0.96	0.978	0.98	Log A3d
							1	0.94	0.95	0.93	0.93					0.93	0.942	0.95	Log V
0.73		0.74		0.76		1													Hmin
0.83	0.684	0.65		0.68	1														Log Hmax
0.92		0.99		1	0.68	0.76													Log Hmea
	0.85		1																Hsd
0.89		1		0.99	0.65	0.74													Log Hmed
	1		0.85		0.68														Log Hran
1		0.89		0.92	0.83	0.73													Log Hstr
								-0.7	-0.71	-0.69	-0.65					-0.72	-0.7	-0.71	Log Smin
	0.7						0.66												Log Smax
			0.61					-0.6	-0.6								-0.6	-0.6	Log Smea
	0.64		0.68																Log Ssd
	-0.72						-0.64												Sran
							0.78	0.9	0.91	0.91	0.88					0.9	0.91	0.91	Log S0-2
							0.79	0.91	0.92	0.92	0.89					0.91	0.92	0.92	Log S2-5
							0.81	0.91	0.93	0.93	0.9					0.92	0.93	0.93	Log S5-8
							0.84	0.92	0.94	0.94	0.91					0.93	0.94	0.94	Log S8-12
							0.88	0.94	0.95	0.95	0.92					0.94	0.95	0.95	Log S12-20
							0.93	0.94	0.95	0.95	0.92					0.94	0.95	0.95	Log S20-30
	0.71						0.94	0.85	0.86	0.86	0.84					0.85	0.86	0.86	Log S30-60
	0.84		0.6				0.67												Log S>60
							0.81	0.92	0.93	0.93	0.91					0.92	0.93	0.93	Log As5p
							0.92	0.92	0.93	0.92	0.91					0.92	0.93	0.93	Log As5n
							0.95	0.95	0.96	0.95	0.93					0.95	0.96	0.96	Log As5e
							0.95	0.94	0.95	0.94	0.93					0.93	0.95	0.95	Log As5s
							0.94	0.95	0.96	0.96	0.94					0.94	0.96	0.96	Log As5w
							0.88	0.88	0.89	0.89	0.87					0.88	0.89	0.89	Log As9n
							0.93	0.93	0.94	0.93	0.92					0.93	0.94	0.94	Log As9ne
							0.94	0.94	0.95	0.95	0.93					0.95	0.95	0.95	Log As9e
							0.96	0.94	0.95	0.95	0.93					0.94	0.95	0.95	Log As9se
							0.94	0.93	0.95	0.93	0.93					0.92	0.94	0.95	Log As9s
							0.89	0.91	0.92	0.91	0.91					0.89	0.91	0.92	Log As9sw
							0.92	0.94	0.95	0.94	0.93					0.93	0.95	0.95	Log As9w
							0.93	0.93	0.94	0.94	0.91					0.93	0.94	0.94	Log As9nw
							0.98	0.95	0.96	0.95	0.94					0.94	0.95	0.96	Log C50
							0.98	0.95	0.96	0.95	0.94					0.94	0.95	0.96	Log C100
							0.98	0.95	0.96	0.95	0.94					0.94	0.95	0.96	Log C200

ادامه جدول ۹- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی.

Table 9- Pearson correlation coefficient between physical parameters

Log As5w	Log As5s	Log As5e	Log As5n	Log As5p	Log S>60	Log S30-60	Log S20-30	Log S12-20	Log S8-12	Log S5-8	Log S2-5	Log S0-2	Sran	Log Ssd	Log Smea	Log Smax	Log Smin	parameters
96	95	96	93	93		86	95	95	94	93	92	91			-0.60		-0.71	Log A
96	95	96	93	93		86	95	95	94	93	92	91			-0.60		-0.71	Log P
94	93	95	92	92		85	94	94	93	92	91	90					-0.72	Log Le
94	93	93	91	91		84	92	92	91	90	89	89					-0.65	Log Rw
96	94	95	92	93		86	95	95	94	93	92	91					-0.69	Log Rl
96	95	96	93	93		86	95	95	94	93	92	91			-0.60		-0.71	Log D
95	94	95	92	92		85	94	94	92	91	91	90			-0.60		-0.70	Log A3d
94	95	95	92	81	67	94	93	8	84	81	79	78	-0.64			66		Log V
					60									68	61			Hsd
					84	71							-0.72	64		70		Log Hmed Log Hran
		-0.68	-0.74	-0.83			0.72	0.83	0.84	0.85	0.79	0.83			60		1	Log Smin
61	0.65				84	76							-0.92	64		1		Log Smax
				-0.82				0.67	0.76	0.81	0.82	0.80		67	1		60	Log Smea
					0.65								-0.62	1	0.67	0.64		Log Ssd
	-0.62				-0.83	0.73							1	-0.62		-0.92		Sran
0.83	0.81	0.83	0.81	0.98		0.65	0.86	0.92	0.95	0.97	0.98	1			-0.8		-0.83	Log S0-2
0.84	0.82	0.85	0.83	0.99		0.64	0.87	0.94	0.97	0.99	1	0.98			-0.82		-0.79	Log S2-5
0.85	0.84	0.87	0.86	0.99		0.67	0.9	0.96	0.99	1	0.99	0.97			-0.81		-0.85	Log S5-8
0.88	0.87	0.89	0.88	0.97		0.71	0.93	0.98	1	0.99	0.97	0.95			-0.76		-0.84	Log S8-12
0.92	0.91	0.93	0.92	0.94		0.78	0.97	1	0.98	0.96	0.94	0.92			-0.67		-0.83	Log S12-20
0.95	0.94	0.95	0.92	0.88		0.87	1	0.97	0.93	0.9	0.87	0.86					-0.72	Log S20-30
0.89	0.91	0.89	0.88	0.67	0.82	1	0.87	0.78	0.71	0.67	0.64	0.65	-0.73			0.76		Log S30-60
0.61	0.65				1	0.82							-0.83	0.65		0.84		Log S>60
0.86	0.84	0.86	0.84	1		0.67	0.88	0.94	0.97	0.99	0.99	0.98			-0.82		-0.83	Log As5p
0.9	0.89	0.93	1	0.84		0.88	0.92	0.92	0.88	0.86	0.83	0.81					-0.74	Log As5n
0.94	0.93	1	0.93	0.86		0.89	0.95	0.93	0.89	0.87	0.85	0.83					-0.68	Log As5e
0.96	1	0.93	0.89	0.84	0.65	0.91	0.94	0.91	0.87	0.84	0.82	0.81	-0.62			0.651		Log As5s
1	0.96	0.94	0.9	0.86	0.61	0.89	0.95	0.92	0.88	0.85	0.84	0.83				0.616		Log As5w
0.85	0.85	0.88	0.98	0.81		0.84	0.9	0.9	0.87	0.84	0.83	0.81					-0.75	Log As9n
0.9	0.9	0.96	0.95	0.85		0.87	0.93	0.91	0.88	0.86	0.84	0.83					-0.67	Log As9ne
0.93	0.92	0.99	0.91	0.85		0.88	0.94	0.92	0.88	0.86	0.84	0.83					-0.67	Log As9e
0.94	0.96	0.97	0.91	0.84		0.9	0.95	0.92	0.88	0.85	0.83	0.81					-0.61	Log As9se
0.94	0.99	0.92	0.89	0.83	0.66	0.91	0.93	0.9	0.85	0.83	0.81	0.8	-0.63			0.65		Log As9s
0.95	0.97	0.87	0.83	0.82	0.62	0.85	0.91	0.88	0.84	0.82	0.81	0.8	-0.62			0.64		Log As9sw
0.99	0.94	0.92	0.88	0.84		0.87	0.93	0.9	0.86	0.84	0.83	0.82				0.6		Log As9w
0.94	0.9	0.93	0.96	0.84		0.89	0.93	0.92	0.87	0.85	0.82	0.81					-0.66	LogAs9nw
0.96	0.97	0.96	0.92	0.81	0.71	0.96	0.94	0.88	0.83	0.81	0.79	0.79	-0.68			0.7		Log C50
0.96	0.97	0.96	0.92	0.81	0.71	0.96	0.94	0.88	0.83	0.81	0.79	0.79	-0.68			0.7		Log C100
0.96	0.97	0.96	0.92	0.81	0.71	0.96	0.94	0.89	0.84	0.81	0.79	0.79	-0.67			0.7		Log C200

ادامه‌ی جدول ۹- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی.

Table 9- Pearson correlation coefficient between physical parameters.

Log C200	Log C100	Log C50	Log As9nw	Log As9w	Log As9sw	Log As9s	Log As9se	Log As9e	Log As9ne	Log As9n	parameters
0.96	0.96	0.96	0.94	0.95	0.92	0.95	0.95	0.95	0.94	0.89	Log A
0.95	0.95	0.95	0.94	0.95	0.91	0.94	0.95	0.95	0.94	0.89	Log P
0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.89	0.92	0.94	0.95	0.93	0.88	Log Le
0.94	0.94	0.94	0.91	0.93	0.91	0.93	0.93	0.93	0.92	0.87	Log Rw
0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.91	0.93	0.95	0.95	0.93	0.89	Log Rl
0.96	0.96	0.96	0.94	0.95	0.92	0.95	0.95	0.95	0.94	0.89	Log D
0.95	0.95	0.95	0.93	0.94	0.91	0.93	0.94	0.94	0.93	0.88	Log A3d
0.98	0.98	0.98	0.93	0.92	0.89	0.94	0.96	0.94	0.93	0.88	Log V
			-0.66				-0.61	-0.67	-0.67	-0.75	Log Smin
0.7	0.7	0.7		0.6	0.64	0.65					Log Smax
-0.67	-0.68	-0.68			-0.62	-0.63					Sran
0.79	0.79	0.79	0.81	0.82	0.8	0.8	0.81	0.83	0.83	0.81	Log S0-2
0.79	0.79	0.79	0.82	0.83	0.81	0.81	0.83	0.84	0.84	0.83	Log S2-5
0.81	0.81	0.81	0.85	0.84	0.82	0.83	0.85	0.86	0.86	0.84	Log S5-8
0.84	0.83	0.83	0.87	0.86	0.84	0.85	0.88	0.88	0.88	0.87	Log S8-12
0.89	0.88	0.88	0.92	0.9	0.88	0.9	0.92	0.92	0.91	0.9	Log S12-20
0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.91	0.93	0.95	0.94	0.93	0.9	Log S20-30
0.96	0.96	0.96	0.89	0.87	0.85	0.91	0.9	0.88	0.87	0.84	Log S30-60
0.71	0.71	0.71			0.62	0.66					Log S>60
0.81	0.81	0.81	0.84	0.84	0.82	0.83	0.84	0.85	0.85	0.81	Log As5p
0.92	0.92	0.92	0.96	0.88	0.83	0.89	0.91	0.91	0.95	0.98	Log As5n
0.96	0.96	0.96	0.93	0.92	0.87	0.92	0.97	0.99	0.96	0.88	Log As5e
0.97	0.97	0.97	0.9	0.94	0.97	0.99	0.96	0.92	0.9	0.85	Log As5s
0.96	0.96	0.96	0.94	0.99	0.95	0.94	0.94	0.93	0.9	0.85	Log As5w
0.88	0.88	0.88	0.93	0.83	0.79	0.85	0.87	0.87	0.92	1	Log As9n
0.93	0.93	0.93	0.91	0.88	0.85	0.9	0.91	0.95	1	0.9	Log As9ne
0.95	0.95	0.95	0.93	0.92	0.85	0.91	0.97	1	0.95	0.87	Log As9e
0.96	0.96	0.96	0.93	0.93	0.9	0.95	1	0.97	0.91	0.87	Log As9se
0.96	0.96	0.96	0.89	0.93	0.96	1	0.95	0.91	0.9	0.85	Log As9s
0.92	0.92	0.92	0.84	0.94	1	0.96	0.9	0.85	0.85	0.79	Log As9sw
0.95	0.95	0.95	0.93	1	0.94	0.93	0.93	0.92	0.88	0.83	Log As9w
0.94	0.94	0.94	1	0.93	0.84	0.89	0.93	0.93	0.91	0.93	Log As9nw
1	1	1	0.94	0.95	0.92	0.96	0.96	0.95	0.93	0.88	Log C50
1	1	1	0.94	0.95	0.92	0.96	0.96	0.95	0.93	0.88	Log C100
1	1	1	0.94	0.95	0.92	0.96	0.96	0.95	0.93	0.88	Log C200

نتایج ضریب همبستگی میان ویژگی‌های فیزیکی و شبکه‌ی جریان به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۰ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۰ مشخص شد که بیشترین هم‌بستگی مثبت میان مساحت و طول کل آبراهه‌ها، قطر دایره‌ی هم‌سطح و طول کل آبراهه‌ها بود. همچنین، بیشترین هم‌بستگی مثبت میان کمترین بلندی و بلندی شروع آبراهه اصلی بود.

جدول ۱۰- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی و شبکه‌ی جریان.

Table 10- Pearson correlation coefficient between physical parameters and flow network.

Log Shgro	Log Shnet	Log Shmax	Log Shmim	Log Slm	Log Sd	Log Sls	So	parameters
-0.9	-0.8			0.98		1	0.96	Log A
-0.91	-0.8			0.99		0.99	0.95	Log P
-0.91	-0.79			0.99		0.98	0.93	Log Le
-0.62				0.66				Log Cg
0.62				-0.66				Log Rc
-0.86	-0.78			0.93		0.98	0.95	Log Rw
-0.91	-0.8			0.99		0.99	0.94	Log Rl
-0.9	-0.8			0.98		1	0.96	Log D
-0.88	-0.79			0.96		0.99	0.95	Log A3d
-0.78	-0.63			0.95		0.94	0.91	Log V
			1					Hmin
		0.83						Log Hmax
		0.76	0.76					Log Hmea
		0.72	0.75					Log Hmed
		0.8	0.73					Log Hstr
0.74	0.72			-0.66		-0.75	-0.65	Log Smin
0.78	0.88	0.64			-0.81	-0.65	-0.6	Log Smea
-0.93	-0.92			0.89	0.69	0.93	0.89	Log S0-2
-0.95	-0.92			0.9	0.69	0.94	0.89	Log S2-5
-0.95	-0.9			0.91	0.68	0.94	0.9	Log S5-8
-0.94	-0.88			0.92	0.64	0.95	0.91	Log S8-12
-0.93	-0.84			0.95		0.96	0.93	Log S12-20
-0.87	-0.74			0.96		0.95	0.92	Log S20-30
-0.65				0.87		0.85	0.82	Log S30-60
-0.95	-0.92			0.91	0.7	0.95	0.91	Log As5p
-0.83	-0.71			0.93		0.92	0.9	Log As5n
-0.85	-0.71			0.96		0.95	0.91	Log As5e
-0.82	-0.68			0.94		0.95	0.91	Log As5s
-0.84	-0.7			0.95		0.96	0.94	Log As5w
-0.8	-0.7			0.89		0.89	0.86	Log As9n
-0.85	-0.71			0.93		0.93	0.9	Log As9ne
-0.85	-0.7			0.95		0.95	0.91	Log As9e
-0.83	-0.69			0.96		0.95	0.9	Log As9se
-0.81	-0.67			0.93		0.94	0.9	Log As9s
-0.81	-0.68			0.9		0.92	0.89	Log As9sw
-0.83	-0.69			0.93		0.94	0.93	Log As9w
-0.82	-0.7			0.94		0.93	0.91	Log As9nw
-0.79	-0.63			0.95		0.95	0.91	Log C50
-0.79	-0.63			0.95		0.95	0.91	Log C100
-0.79	-0.64			0.95		0.95	0.91	Log C200

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های هم‌بستگی میان متغیرهای فیزیکی، شبکه‌ی جریان و زمان تمرکز آبخیزهای بررسی‌شده به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۱ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۱ همبستگی میان متغیرهای مزبور متفاوت بود.

جدول ۱۱- ضریب همبستگی پیرسون میان ویژگی‌ها (فیزیکی و شبکه‌ی جریان) و زمان تمرکز.

Table 11- Pearson correlation coefficient between parameters (physical and flow network) and time of concentration.

Log Tsc	Log Te	Log Tkar	Log Tj	Log Tkal	Log Tc	Log Tw	Log Tke	Log Fst	parameters
0.97	0.97	0.97	0.95	0.97	0.97	0.8	0.97	0.94	Log A
0.98	0.98	0.98	0.96	0.98	0.98	0.82	0.98	0.92	Log P
0.98	0.98	0.98	0.95	0.98	0.98	0.82	0.98	0.91	Log Le
0.66	0.64	0.64	0.62	0.66	0.66	0.61	0.66		Log Cg
-0.66	-0.64	-0.64	-0.62	-0.66	-0.66	-0.61	-0.66		Log Rc
0.92	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.75	0.92	0.94	Log Rw
0.98	0.98	0.98	0.96	0.98	0.98	0.83	0.98	0.92	Log Rl
0.97	0.97	0.97	0.95	0.97	0.97	0.8	0.97	0.94	Log D
0.95	0.96	0.96	0.94	0.95	0.95	0.79	0.95	0.93	Log A3d
0.91	0.9	0.9	0.86	0.91	0.91	0.66	0.91	0.87	Log V
-0.74	-0.74	-0.74	-0.77	-0.74	-0.74	-0.65	-0.74	-0.66	Log Smin
-0.65	-0.68	-0.68	-0.74	-0.65	-0.65	-0.82	-0.65	-0.65	Log Smea
0.92	0.94	0.94	0.96	0.92	0.92	0.9	0.92	0.89	Log S0-2
0.93	0.95	0.95	0.96	0.93	0.93	0.9	0.93	0.9	Log S2-5
0.94	0.95	0.95	0.96	0.94	0.94	0.9	0.94	0.9	Log S5-8
0.95	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.88	0.95	0.91	Log S8-12
0.96	0.96	0.96	0.95	0.96	0.96	0.85	0.96	0.91	Log S12-20
0.95	0.94	0.94	0.92	0.95	0.95	0.77	0.95	0.9	Log S20-30
0.81	0.8	0.8	0.74	0.81	0.81		0.81	0.77	Log S30-60
0.94	0.96	0.96	0.97	0.94	0.94	0.9	0.94	0.91	Log As5p
0.91	0.91	0.91	0.88	0.91	0.91	0.73	0.91	0.84	Log As5n
0.94	0.93	0.93	0.9	0.94	0.94	0.74	0.94	0.89	Log As5e
0.92	0.91	0.91	0.88	0.92	0.92	0.7	0.92	0.89	Log As5s
0.93	0.92	0.92	0.89	0.93	0.93	0.72	0.93	0.91	Log As5w
0.88	0.87	0.87	0.85	0.88	0.88	0.72	0.88	0.8	Log As9n
0.92	0.92	0.92	0.89	0.92	0.92	0.73	0.92	0.86	Log As9ne
0.94	0.93	0.93	0.9	0.94	0.94	0.74	0.94	0.89	Log As9e
0.93	0.93	0.93	0.89	0.93	0.93	0.73	0.93	0.88	Log As9se
0.91	0.9	0.9	0.87	0.91	0.91	0.69	0.91	0.88	Log As9s
0.89	0.88	0.88	0.85	0.89	0.89	0.68	0.89	0.89	Log As9sw
0.92	0.91	0.91	0.88	0.92	0.92	0.7	0.92	0.91	Log As9w
0.92	0.92	0.92	0.89	0.92	0.92	0.73	0.92	0.86	Log As9nw
0.92	0.9	0.9	0.86	0.91	0.91	0.66	0.91	0.88	Log C50
0.91	0.9	0.9	0.86	0.91	0.91	0.66	0.91	0.88	Log C100
0.92	0.91	0.91	0.86	0.92	0.92	0.66	0.92	0.88	Log C200
0.92	0.92	0.92	0.91	0.92	0.92	0.76	0.92	0.92	So
0.97	0.97	0.98	0.96	0.97	0.97	0.82	0.97	0.95	Log Sls
			0.62			0.66			Log Sd
0.99	0.98	0.98	0.96	0.99	0.99	0.83	0.99	0.9	Log Slm
						-0.63			Log Shmax
-0.84	-0.87	-0.88	-0.92	-0.84	-0.84	-0.96	-0.84	-0.79	Log Shnet
-0.96	-0.96	-0.96	-0.97	-0.96	-0.96	-0.94	-0.96	-0.87	Log Shgro

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های هم‌بستگی میان متغیرهای فیزیکی، شبکه‌ی جریان، زمان تمرکز و اقلیم آبخیزهای بررسی‌شده به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۲ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۲ همبستگی میان ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز و اقلیم متفاوت بود.

جدول ۱۲- پیرسون میان ویژگی‌ها (فیزیکی، شبکه‌ی جریان و زمان تمرکز) و اقلیم.

Table 12- Pearson between parameters (physical, flow network and time of concentration) and climate.

Log Tsd	Log Trang	Log Husd	Log Hurang	Log Rsd	Log Rrang	parameters	Log Tsd	Log Trang	Log Husd	Log Hurang	Log Rsd	Log Rrang	parameters
	0.61			0.64	0.67	Log As9ne	0.63	0.65	0.63	0.66	0.64	0.67	Log A
0.61	0.62		0.61	0.63	0.66	Log As9e	0.63	0.64	0.61	0.64	0.66	0.68	Log P
0.64	0.65	0.65	0.68	0.64	0.66	Log As9se	0.62	0.63		0.62	0.63	0.66	Log Le
0.71	0.72	0.70	0.73	0.70	0.72	Log As9s	0.61	0.63	0.64	0.67	0.61	0.64	Log Rw
0.72	0.74	0.69	0.71	0.69	0.71	Log As9sw	0.63	0.64	0.60	0.63	0.66	0.68	Log Rl
0.66	0.68	0.63	0.66	0.68	0.70	Log As9w	0.63	0.65	0.63	0.66	0.64	0.67	Log D
			0.61	0.62	0.64	Log As9nw	0.62	0.64	0.63	0.65	0.64	0.67	Log A3d
0.70	0.72	0.67	0.70	0.70	0.72	Log C50	0.65	0.67	0.67	0.70	0.65	0.67	Log V
0.70	0.72	0.67	0.70	0.70	0.72	Log C100	0.65	0.65			0.61	0.62	Log Smax
0.71	0.72	0.67	0.70	0.70	0.72	Log C200	0.60	-0.62					Sran
0.60	0.62	0.60	0.63	0.60	0.63	So						0.62	Log S12-20
0.61	0.63	0.62	0.65	0.63	0.65	Log Sls	0.61	0.62	0.62	0.65	0.65	0.67	Log S20-30
0.62	0.63	0.61	0.64	0.63	0.65	Log Slm	0.70	0.70	0.62	0.65	0.68	0.70	Log S30-60
			0.60	0.61	0.63	Log Tke	0.62	0.62					Log S>60
			0.60	0.61	0.63	Log Tc					0.61	0.63	Log As5n
			0.60	0.61	0.63	Log Tkal	0.63	0.64	0.60	0.63	0.65	0.67	Log As5e
			0.60		0.61	Log Tkar	0.71	0.72	0.70	0.72	0.70	0.72	Log As5s
			0.60		0.61	Log Te	0.67	0.69	0.64	0.67	0.68	0.71	Log As5w
			0.61	0.61	0.63	Log Tsc							

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های هم‌بستگی میان متغیرهای ریخت‌شناسی، اقلیم و بُعد فراکتال آبخیزهای بررسی‌شده به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۳ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۳ همبستگی میان ویژگی‌های مزبور متفاوت بود.

جدول ۱۳- ضریب همبستگی پیرسون میان ویژگی‌ها (فیزیکی، شبکه‌ی جریان، زمان تمرکز، اقلیم) و بُعد فراکتال.

Table 13- Pearson correlation coefficient between parameters (physical, flow network, time of concentration, climate) and fractal dimension.

Log Fst	Log FC200	Log FC100	Log FC50	parameters	Log Fst	Log FC200	Log FC100	Log FC50	parameters
0.89	0.79	0.78	0.68	Log As9e	0.94	0.77	0.75	0.65	Log A
0.88	0.82	0.81	0.73	Log As9se	0.92	0.76	0.73	0.63	Log P
0.88	0.84	0.83	0.76	Log As9s	0.91	0.75	0.71	0.6	Log Le
0.89	0.78	0.79	0.71	Log As9sw	0.94	0.77	0.75	0.67	Log Rw
0.91	0.8	0.8	0.7	Log As9w	0.92	0.76	0.72	0.62	Log Rl
0.86	0.8	0.77	0.69	Log As9nw	0.94	0.77	0.75	0.65	Log D
0.88	0.89	0.89	0.8	Log C50	0.93	0.76	0.74	0.65	Log A3d
0.88	0.89	0.89	0.8	Log C100	0.87	0.86	0.85	0.78	Log V
0.88	0.89	0.88	0.8	Log C200		0.75	0.78	0.78	Log Hran
0.92	0.72	0.71	0.62	So	-0.66				Log Smin
0.95	0.74	0.71	0.61	Log Sls		0.73	0.8	0.74	Log Smax
0.9	0.76	0.74	0.64	Log Slm	-0.65				Log Smea
-0.79				Log Shnet					Log Ssd
-0.87				Log Shgro		-0.71	-0.79	-0.74	Sran
0.91	0.69	0.66		Log Tke	0.89				Log S0-2
0.77				Log Tw	0.9				Log S2-5
0.91	0.69	0.66		Log Tc	0.9				Log S5-8
0.91	0.7	0.66		Log Tkal	0.91				Log S8-12
0.91	0.62			Log Tj	0.91	0.67	0.64		Log S12-20
0.91	0.68	0.64		Log Tkar	0.9	0.78	0.77	0.67	Log S20-30
0.91	0.68	0.64		Log Te	0.77	0.91	0.93	0.86	Log S30-60
0.91	0.7	0.66		Log Tsc		0.82	0.86	0.83	Log S>60
	0.74	0.67	0.64	Log Rrang	0.91				Log As5p
	0.73	0.66	0.63	Log Rsd	0.84	0.78	0.76	0.69	Log As5n
	0.72	0.66	0.66	Log Hurang	0.89	0.8	0.79	0.69	Log As5e
	0.7	0.63	0.64	Log Husd	0.89	0.83	0.83	0.76	Log As5s
	0.74	0.71	0.67	Log Trang	0.91	0.82	0.81	0.71	Log As5w
	0.73	0.71	0.67	Log Tsd	0.8	0.73	0.72	0.65	Log As9n
					0.86	0.78	0.77	0.69	Log As9ne

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های هم‌بستگی میان متغیرهای بررسی‌شده و دو اندازه‌ی میانگین سالانه‌ی بیشترین آب‌دهی و میانگین سالانه‌ی آب دهی آبخیزهای بررسی‌شده به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۴ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۴ همبستگی میان متغیرهای مزبور متفاوت بود.

جدول ۱۴- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌ها و آب‌دهی جریان با دوره‌های بازگشت گوناگون.

Table 14- Pearson correlation coefficient between parameters and discharge with different return periods.

Log P100 Mean	Log P50 Mean	Log P25 Mean	Log P10 Mean	Log P2 Mean	Log P100 MAX	Log P50 MAX	Log P25 MAX	Log P10 MAX	Log P2 MAX	parameters
0.73	0.71	0.69	0.66		0.78	0.8	0.81	0.81	0.75	Log A
0.73	0.71	0.69	0.66		0.78	0.8	0.81	0.81	0.75	Log P
0.71	0.69	0.67	0.65		0.78	0.79	0.8	0.8	0.74	Log Le
0.71	0.69	0.67	0.64		0.76	0.78	0.79	0.79	0.73	Log Rw
0.72	0.71	0.69	0.66		0.78	0.8	0.81	0.8	0.75	Log Rl
0.73	0.71	0.69	0.66		0.78	0.8	0.81	0.81	0.75	Log D
0.72	0.7	0.68	0.65		0.77	0.79	0.8	0.79	0.73	Log A3d
0.77	0.75	0.74	0.71	0.65	0.77	0.8	0.81	0.81	0.77	Log V
0.61	0.61	0.61	0.61	0.62						Log Hran
0.74	0.74	0.73	0.73	0.72		0.6	0.63	0.67	0.72	Log Smax
-0.71	-0.71	-0.7	-0.69	-0.67		-0.6	-0.63	-0.65	-0.67	Sran
					0.69	0.7	0.7	0.68	0.6	Log S0-2
					0.69	0.69	0.69	0.68	0.6	Log S2-5
					0.71	0.72	0.72	0.7	0.61	Log S5-8
					0.73	0.74	0.74	0.72	0.63	Log S8-12
					0.76	0.78	0.78	0.77	0.69	Log S12-20
0.64	0.63	0.61	0.66	0.61	0.79	0.81	0.82	0.82	0.76	Log S20-30
0.72	0.71	0.69	0.78	0.75	0.74	0.77	0.79	0.81	0.8	Log S30-60
0.82	0.81	0.8	0.67	0.67					0.63	Log S>60
0.68	0.68	0.67			0.7	0.71	0.71	0.69	0.61	Log As5p
0.73	0.72	0.7	0.68	0.62	0.76	0.78	0.78	0.78	0.73	Log As5n
0.73	0.72	0.7	0.68	0.62	0.75	0.77	0.79	0.79	0.75	Log As5e
0.78	0.76	0.74	0.72	0.66	0.79	0.82	0.83	0.84	0.8	Log As5s
0.76	0.74	0.72	0.7	0.64	0.79	0.81	0.83	0.83	0.79	Log As5w
0.7	0.69	0.67	0.65		0.72	0.74	0.75	0.74	0.68	Log As9n
0.75	0.74	0.72	0.7	0.64	0.75	0.78	0.79	0.8	0.76	Log As9ne
0.72	0.7	0.68	0.66	0.6	0.73	0.76	0.77	0.78	0.74	Log As9e
0.73	0.72	0.7	0.67	0.62	0.76	0.78	0.79	0.79	0.74	Log As9se
0.78	0.76	0.74	0.72	0.66	0.79	0.81	0.82	0.83	0.79	Log As9s
0.75	0.74	0.72	0.69	0.63	0.79	0.81	0.83	0.83	0.79	Log As9sw
0.75	0.73	0.71	0.68	0.62	0.77	0.8	0.81	0.82	0.78	Log As9w
0.71	0.7	0.68	0.66	0.6	0.75	0.77	0.78	0.77	0.72	Log As9nw
0.81	0.8	0.78	0.76	0.71	0.78	0.81	0.83	0.84	0.82	Log C50
0.81	0.8	0.78	0.76	0.71	0.78	0.81	0.83	0.84	0.82	Log C100
0.81	0.8	0.78	0.76	0.71	0.79	0.81	0.83	0.84	0.82	Log C200
0.67	0.65	0.63	0.6		0.74	0.76	0.77	0.77	0.71	So
0.7	0.68	0.66	0.63		0.77	0.79	0.8	0.8	0.73	Log Sls
0.71	0.69	0.67	0.65		0.79	0.8	0.81	0.8	0.74	Log Slm
					-0.69	-0.7	-0.7	-0.69	-0.61	Log Shgro
0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.64	0.66	0.68	0.7	0.72	Log FC50
0.79	0.79	0.78	0.77	0.76	0.67	0.7	0.73	0.75	0.77	Log FC100
0.82	0.81	0.81	0.8	0.78	0.73	0.76	0.79	0.81	0.81	Log FC200
0.62	0.6				0.7	0.72	0.72	0.72	0.67	Log Fst
0.67	0.65	0.63	0.6		0.77	0.78	0.79	0.78	0.71	Log Tke
0.67	0.65	0.63	0.6		0.77	0.78	0.79	0.78	0.71	Log Tc
0.67	0.65	0.63	0.6		0.77	0.78	0.79	0.78	0.71	Log Tkal
					0.72	0.73	0.73	0.71	0.62	Log Tj
0.64	0.62				0.75	0.76	0.77	0.75	0.67	Log Tkar
0.64	0.62				0.75	0.76	0.77	0.75	0.67	Log Te
0.67	0.65	0.63	0.6		0.77	0.78	0.79	0.78	0.71	Log Tsc
Log P100 Mean	Log P50 Mean	Log P25 Mean	Log P10 Mean	Log P2 Mean	Log P100 MAX	Log P50 MAX	Log P25 MAX	Log P10 MAX	Log P2 MAX	parameters
0.75	0.76	0.76	0.78	0.79				0.61	0.71	Log Rmax
0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.68	0.72	0.74	0.77	0.8	Log Rrang
0.6	0.61	0.62	0.64	0.67						Log RMean
0.83	0.83	0.83	0.82	0.81	0.67	0.7	0.73	0.76	0.79	Log Rsd
0.61	0.6				0.62	0.63	0.64	0.64	0.62	Log Hurang
						0.61	0.61	0.61	0.6	Log Husd
0.76	0.76	0.76	0.76	0.74		0.64	0.67	0.71	0.78	Log Trang
0.76	0.76	0.76	0.76	0.74		0.63	0.67	0.71	0.77	Log Tsd

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های هم‌بستگی میان متغیرهای بررسی‌شده و میانگین سالانه‌ی بیشترین رسوب و میانگین سالانه‌ی رسوب آبخیزهای بررسی‌شده به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۵ نشان‌داده شده است.

جدول ۱۵- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌ها و آب‌دهی جریان با دوره‌های بازگشت گوناگون.

Table 15- Pearson correlation coefficient between parameters and discharge with different return periods.

Log S100 Mean	Log S50 Mean	Log S25 Mean	Log S10 Mean	Log S2 Mean	Log S100 MAX	Log S50 MAX	Log S25 MAX	Log S10 MAX	Log S2 MAX	parameters
0.84	0.84	0.83	0.81	0.74	0.61	0.66	0.69	0.74	0.8	Log A
0.84	0.83	0.82	0.8	0.73	0.61	0.65	0.69	0.73	0.79	Log P
0.83	0.83	0.82	0.8	0.73	0.61	0.65	0.69	0.73	0.79	Log Le
0.83	0.83	0.82	0.8	0.72	0.61	0.65	0.68	0.73	0.78	Log Rw
0.83	0.83	0.82	0.8	0.73	0.61	0.65	0.68	0.72	0.79	Log Rl
0.84	0.84	0.83	0.81	0.74	0.61	0.66	0.69	0.74	0.8	Log D
0.84	0.84	0.83	0.8	0.72	0.61	0.65	0.69	0.73	0.78	Log A3d
0.86	0.86	0.86	0.85	0.78	0.63	0.67	0.7	0.75	0.81	Log V
							-0.62	-0.65	-0.67	Hmin
	0.61	0.62	0.64	0.63						Log Smax
			-0.61							Sran
0.67	0.66	0.65	0.62					0.61	0.64	Log S0-2
0.69	0.68	0.67	0.64					0.62	0.65	Log S2-5
0.73	0.72	0.71	0.68				0.62	0.66	0.69	Log S5-8
0.76	0.76	0.74	0.72	0.64		0.62	0.65	0.69	0.72	Log S8-12
0.81	0.81	0.8	0.78	0.71		0.64	0.68	0.72	0.77	Log S12-20
0.86	0.86	0.85	0.84	0.78	0.6	0.65	0.69	0.74	0.82	Log S20-30
0.84	0.85	0.86	0.85	0.82		0.63	0.67	0.72	0.8	Log S30-60
0.71	0.71	0.69	0.66				0.61	0.64	0.68	Log As5p
0.83	0.84	0.83	0.82	0.77	0.62	0.66	0.69	0.73	0.78	Log As5n
0.85	0.85	0.85	0.83	0.77		0.64	0.68	0.73	0.8	Log As5e
0.84	0.84	0.83	0.82	0.76		0.63	0.67	0.72	0.8	Log As5s
0.86	0.86	0.85	0.84	0.79		0.63	0.68	0.73	0.81	Log As5w
0.8	0.8	0.8	0.79	0.73	0.6	0.64	0.67	0.7	0.74	Log As9n
0.82	0.83	0.82	0.81	0.75		0.64	0.68	0.72	0.79	Log As9ne
0.84	0.84	0.84	0.82	0.77		0.63	0.67	0.72	0.79	Log As9e
0.85	0.85	0.84	0.83	0.78		0.63	0.67	0.72	0.79	Log As9se
0.82	0.83	0.82	0.81	0.75		0.62	0.66	0.7	0.78	Log As9s
0.81	0.81	0.8	0.79	0.73		0.61	0.65	0.7	0.78	Log As9sw
0.84	0.84	0.84	0.83	0.77		0.61	0.66	0.71	0.8	Log As9w
0.85	0.85	0.85	0.84	0.78		0.63	0.67	0.71	0.78	Log As9nw
0.86	0.87	0.87	0.86	0.8	0.6	0.64	0.69	0.73	0.82	Log C50
0.86	0.87	0.87	0.86	0.8	0.6	0.64	0.69	0.73	0.82	Log C100
0.86	0.87	0.87	0.86	0.8	0.6	0.64	0.69	0.73	0.82	Log C200
0.82	0.82	0.82	0.8	0.73		0.62	0.66	0.71	0.78	So
0.83	0.83	0.82	0.79	0.71	0.61	0.65	0.69	0.73	0.78	Log Sls
0.83	0.83	0.82	0.8	0.74	0.63	0.66	0.7	0.74	0.8	Log Slm
							-0.61	-0.64	-0.67	Log Shmim
-0.68	-0.68	-0.66	-0.64					-0.62	-0.66	Log Shgro
0.66	0.67	0.69	0.71	0.72					0.64	Log FC50
0.75	0.76	0.77	0.79	0.78				0.61	0.71	Log FC100
0.73	0.74	0.75	0.77	0.76				0.63	0.71	Log FC200

Log S100 Mean	Log S50 Mean	Log S25 Mean	Log S10 Mean	Log S2 Mean	Log S100 MAX	Log S50 MAX	Log S25 MAX	Log S10 MAX	Log S2 MAX	parameters
0.77	0.77	0.76	0.73	0.65			0.63	0.67	0.74	Log Fst
0.8	0.8	0.78	0.76	0.69	0.6	0.64	0.67	0.71	0.77	Log Tke
0.8	0.79	0.78	0.76	0.69	0.6	0.64	0.67	0.71	0.77	Log Tc
0.8	0.8	0.78	0.76	0.69	0.6	0.64	0.67	0.71	0.77	Log Tkal
0.75	0.75	0.73	0.71	0.62		0.62	0.65	0.68	0.72	Log Tj
0.79	0.79	0.77	0.75	0.67	0.6	0.64	0.68	0.71	0.76	Log Tkar
0.79	0.79	0.77	0.75	0.67	0.6	0.64	0.68	0.71	0.76	Log Te
0.8	0.8	0.78	0.76	0.69	0.6	0.64	0.68	0.71	0.77	Log Tsc
		0.61	0.64	0.68						Log Rrang
		0.6	0.63	0.67						Log Rsd
			0.61	0.6						Log Hurang
	0.61	0.63	0.66	0.66						Log Trang
	0.6	0.63	0.66	0.66						Log Tsd

نتایج تحلیل عامل و آبخیزهای همگن

با استفاده از روش تحلیل عاملی از میان ۸۵ ویژگی آبخیز، ۱۸ ویژگی مؤثر شامل مساحت (A)، مساحت شیب ۱۲-۸٪ (S۸-۱۲)، مساحت شیب ۲۰-۱۲٪ (S۱۲-۲۰)، مساحت جهت شیب شرق در نُه جهته (As۹e)، طول خطوط تراز ۱۰۰ متری (C۱۰۰)، طول کل آبراهه (Sls)، زمان تمرکز با روش کرپیچ (Tke)، اختلاف بلندی (Hran)، فراکتال خطوط تراز ۲۰۰ متری (FC۲۰۰)، انحراف از معیار رطوبت (Husd)، اختلاف دما (Trang)، میانگین شیب (Smea)، شیب خالص آبراهه‌ی اصلی (Shnet)، میانگین دما (TMean)، میانگین رطوبت (Humea)، میانگین بارش (RMean)، ضریب کشیدگی (Re) و فراکتال محیط آبخیز (Fp) انتخاب شدند. بر پایه‌ی نتایج تحلیل ویژگی‌های اقلیمی، آبخیزها به چهار گروه همگن تقسیم شدند. بر پایه‌ی نتایج تجزیه و تحلیل، ۹۷/۷٪ گروه‌های همگن به‌درستی تفکیک شدند، و کم‌ترین دقت مربوط به گروه سه با ۹۰/۹٪ دقت بود که این اندازه دقت هم قابل قبول بود. تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌شناسی آبخیزها نشان داد که نتایج شامل سه گروه همگن بود. همچنین، ۹۷/۷٪ گروه‌های همگن به‌درستی تفکیک شدند، و کم‌ترین دقت مربوط به گروه دو با ۹۴/۴٪ دقت بود که این اندازه دقت هم قابل قبول بود. تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی آبخیزها نشان داد که نتایج شامل سه گروه همگن بود. بر پایه‌ی این نتایج ۹۸/۸٪ گروه‌های همگن به‌درستی تفکیک شدند، و کم‌ترین دقت مربوط به گروه سه با ۸۸/۲٪ دقت بود که این اندازه دقت هم قابل قبول بود. سرانجام، بر اساس نتایج تحلیل بُعد فراکتال، آبخیزها به سه گروه همگن تقسیم شدند. بر پایه‌ی نتایج این تحلیل ۹۶/۵٪ گروه‌های همگن به‌درستی تفکیک شدند، و کم‌ترین دقت مربوط به گروه یک با ۹۴/۵٪ دقت بود که این اندازه دقت هم قابل قبول بود. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که تقریباً تمام عامل‌های مؤثر در برآورد آب‌دهی و رسوب در آبخیزهای بزرگ، در مساحت و فراکتال محیط آبخیز خلاصه‌شده و این دو ویژگی بیش‌ترین تغییرات آب‌دهی و رسوب را توجیه می‌کنند.

از این رو، با کاهش مساحت آبخیزها، نقش دیگر عامل‌ها از جمله جهت شیب، شیب خالص آبراهه و غیره در تبیین تغییرات بیشتر مشهود است و می‌توان گفت برای مهار فرسایش و رواناب آبخیزها، تقسیم آبخیزهای بزرگ به آبخیزهای کوچک‌تر، بهترین اقدام است. گام بعدی انجام اقدام‌های آبخیزداری در این زیرآبخیزهای کوچک است. کاهش مساحت آبخیزها در اکثر روابط به‌تنهایی توانست تا ۷۰٪ تغییرات رسوب را توجیه کند. نتایج این پژوهش در زمینه‌ی نقش مساحت در تولید رسوب با یافته‌های پژوهش‌های هیرپا و همکاران (۲۰۱۰)، ایزدبخش و همکاران (۲۰۰۱)، معتمدی و همکاران (۲۰۱۸) و سعیدیان و همکاران (۲۰۲۱) هم‌راستا است.

نقش بُعد فراکتال خطوط تراز ۲۰۰ متری در روابط میانگین سالانه‌ی بیشترین آب‌دهی به همراه ویژگی میانگین سالانه‌ی دمای سالانه، به‌خوبی مشهود بود. این دو ویژگی روی‌هم توانستند بیش از ۷۰٪ تغییرات آب‌دهی را نشان دهند (موخوپادهای و همکاران ۲۰۱۹؛ محمودی‌نیا و همکاران ۲۰۲۱).

اختلاف بلندی در آبخیز در اکثر روابط میانگین سالانه‌ی آب‌دهی و در تمام روابط رسوب نقش بارزی داشت. نقش جهت شیب شرقی در روابط میانگین سالانه‌ی بیشترین رسوب به همراه ویژگی اختلاف بلندی در آبخیز قابل‌توجه بود و بیش از ۷۰٪تغییرات پراکندگی رسوب را تبیین کرد. در روابط میانگین سالانه‌ی بیشترین رسوب، دو ویژگی اختلاف بلندی در آبخیز و بُعد فراکتال محیط آبخیز، توانستند بیش از ۴۷٪ تغییرات رسوب را توجیه کنند. همچنین، در این روابط عامل میانگین شیب آبخیز بیش از ۷۵٪ تغییرات رسوب را توجیه کرد. ضریب منفی عامل میانگین شیب آبخیز نشان‌دهنده‌ی این است که با افزایش میانگین شیب آبخیزها، میانگین رسوب کم‌تر خواهد شد.

بر اساس نتایج این پژوهش، چهار ویژگی مساحت، اختلاف بلندی، شیب ۲۰-۱۲٪، مجموع طول آبراهه‌ها و میانگین سالانه‌ی بارندگی از عامل های مؤثر بر میانگین سالانه‌ی آب‌دهی شناخته شدند که توانستند بیش از ۹۰٪ تغییرات آب‌دهی را توجیه کنند (کاسکو و همکاران(۲۰۲۰)، دای و همکاران (۲۰۲۱). در حالی که روابط آب‌دهی ویژگی بُعد فراکتال خطوط تراز ۲۰۰ متری در بیشتر شرایط حضور فعالی داشت و به‌خوبی نمایانگر رابطه‌ی ویژگی‌های هندسی آبخیزهای بررسی‌شده با اندازه‌ی آب‌دهی با دوره‌های بازگشت گوناگون در آبخیزها بود. در آبخیز دشت یزد-اردکان محمدی و همکاران (۲۰۲۰)، نشان دادند که رابطه‌ی میان ابعاد فراکتال شبکه‌ی زهکشی و شاخص‌های ریخت‌شناسی معنی‌دار بود.

در این پژوهش نتایج همبستگی پیرسون میان ویژگی‌های گوناگون نشان داد که رابطه‌ی میان ویژگی‌های فیزیکی و اندازه‌ی تولید رواناب و رسوب در آبخیزها معنی‌دار بود. افزون بر این، رابطه میان بُعد فراکتال آبخیز با اندازه‌ی تولید رواناب و فرسایش و رسوب نیز معنی دار بود که با یافته‌های علیمرادی و همکاران (۲۰۲۱)، وانگ و همکاران (۲۰۲۲) هم‌راستا است. هم‌چنین با استفاده از روش تحلیل عاملی وجود دو ویژگی مرتبط با بُعد فراکتال در آبخیزها، یعنی Fp (بُعد فراکتالی محیط آبخیز) و FC200 (بُعد

فراکتالی خطوط تراز ۲۰۰ متری) در میان ۱۸ ویژگی مؤثر انتخاب‌شـــده محرز شـــد که ایـــن موضوع دلیل محکمـــی بر وجود ارتباط میان بُعـــد فراکتال آبخیز با اندازه‌ی تولید رواناب، فرسایش و رسوب است.

در برخی شـــرایط نیز دو ویژگی بُعد فراکتالی خطوط تراز ۲۰۰ متری و بُعد فراکتالی محیط آبخیز توانستند به‌شـــکل قابل‌توجهی اندازه‌ی تغییرات کلی آب‌دهی و رسوب را تبیین کنند. بنابراین می‌توان با استفاده از بُعد فراکتال، اندازه‌ی تولید رواناب و رسوب را در آبخیزهای فاقد آمـــار با دقت زیاد، برآورد کرد. بر اســـاس اهداف این پژوهش و جدول‌های همبستگی پیرسون تشکیل و مشخص شد که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی بررسی شده در ســـطح پنج درصد معنی‌دار بودند و این یافته نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ی معنی‌دار میان ویژگی‌های فیزیکـــی و اندازه‌ی رواناب و رســـوب در آبخیزها بود. مدیریـــت آبخیز، یکی از حســـاس‌ترین و پیچیده‌ترین انواع مدیریت منابع و تولید اســـت. فهم مدیریت آبخیز می‌تواند راهکاری مناســـب برای مهار یا کاهش جریان سطحی و تولید رواناب باشد.

فهرست منابع

Alimoradi M, Ekhtesasi M, Tazeh M, Karimi H. 2021. The relation of fractal dimension with discharge and sediment indices in Ilam Watershed.Quantitative Geomorphological Research,10(3):19-39. (In Persion). doi.org/10.22059/JPHGR.2018.234333.1007060.

Alimoradi M, Ekhtesasi MR, Tazeh M. Karimi H. 2018. Calculation of fractal dimension of the geological formations and their relationship to the formation sensibility. Physical Geography Research Quarterly, 50(2):241- 253. (In Persion).

Barzegari V, Zare M, Ekhtasasi M. 2020. Comparison of dimensionless drainage network density and fractal dimensions in separating of lithological units (Case study: Taft Watershed, Yazd). Quantitative Geomorphological Research, 8(3):80-96. (In Persion).

Burrough PA. 1983. Multiscale sources of spatial variation in soil I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. Journal of Soil Science, 34(3):577-597. (In Persion).

Cao M, Zhang H. 2023. Fractal characteristics of particle groups and mechanochemical effects of Yellow River sediment after mechanical grinding. Journal of Sustainable Cement-Based Materials, pp. 1-12. doi.org /10.1080/21650373.2023.2218841.

Caraballo MA, Macías F, Nieto JM, Ayora C. 2016. Long term fluctuations of groundwater mine pollution in a sulfide mining district with dry Mediterranean climate: implications for water resources management and remediation.Science of the Total Environment,539:427-435. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.156.

Cerdà A, Novara A, Moradi E. 2021. Long-term non-sustainable soil erosion rates and soil compaction in drip-irrigated citrus plantation in Eastern Iberian Peninsula. Science of the Total Environment, 787:147549. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147549.

Chen C, Zhao G, Zhang Y, Bai Y, Tian P, Mu X, Tian X. 2023. Linkages between soil erosion and long-term changes of landscape pattern in a small watershed on the Chinese Loess Plateau. Catena, 220:106659. doi.org/10.1016/j.catena.2022.106659.

Cosco C, Gómez M, Russo B, Tellez-Alvarez J, Macchione F, Costabile P, Costanzo C. 2020. Discharge coefficients for specific grated inlets. Influence of the Froude number.Urban Water Journal,17(7):656-668. doi.org/10.1080/1573062X.2020.1811881.

Dai J, Zhang J, Zhang Z, Jia L, Xu H, Wang Y. 2021. Effects of water discharge rate and slope gradient on runoff and sediment yield related to tillage erosion.Archives of Agronomy and Soil Science,67(6):849-861. doi.org/10.1080/03650340.2020.1766676.

Diaconu D, Drăghici CC, Pintilii RD, Peptenatu D, Grecu A. 2016. Management of the protection forest areas in region affected by aridity in Oltenia Southwestern development region (Romania), 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, Vienna, Austria, pp. 477-483.

Diaconu DC, Andronache I, Ahammer H, Ciobotaru AM, Zelenakova M, Dinescu R, VasilieviciPozdnyakov A, Chupikova S. A. 2017. Fractal drainage modele a new approach to determinate the complexity of watershed.Acta Montanistica Slovaca,22(1):12-21.

Dimri VP, Ravi Prakash M, Chamoli A. 2009. Seismicity of doon valley, north west Himalaya, India: A Fractal Approach. EGU General Assembly Conference Abstracts. 11p.

García-Serrana M, Gulliver JS, Nieber JL. 2018. Description of soil micro-topography and fractional wetted area under runoff using fractal dimensions. Earth Surface Processes and Landforms, 43(13):2685-2697. doi.org/10.1002/esp.4424.

Hadley RF, Lal R, Onstad CA, Walling DE, Yair A. 1985. Recent developments in erosion and sediment yield studies, UNESCO, Paris, 127 p.

Hirpa FA, Gebremichael M, Over TM. 2010. River flow fluctuation analysis: Effect of watershed area.Water Resources Research,46(12): 1-15. doi.org/10.1029/2009WR009000.

Ibanez DM, de Miranda FP, Riccomini C. 2014. Geomorphometric pattern recognition of SRTM data applied to the tectonic interpretation of the Amazonian landscape.ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,87:192-204. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.10.014.

Islam MN, Sivakumar B. 2002. Characterization and prediction of runoff dynamics: A nonlinear dynamical view.-Advances in Water Resources,25(2):179-190. doi.org/10.1016/S0309-1708(01)00053-7.

Izadbakhsh M, Eslamian S, Mosavi S. 2001. Maximum-daily mean-discharge predicting models using physiographic characteristics of catchments in some western Iran watersheds. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 5(2):1-13. (In Persion).

Kabo-Bah KJ, Guoan T, Yang X. Na, J, Xiong L. 2021. Erosion potential mapping using analytical hierarchy process (AHP) and fractal dimension.Heliyon,7(6):e07125. doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07125.

Khanbabaei Z, Karam A, Rostamizad G. 2013. Studying relationships between the fractal dimension of the drainage basins and some of their geomorphological characteristics. International Journal of Geosciences, 4(3):1-18. (In Persion). doi:10.4236/ijg.2013.43058

Khosravi A, Sepehr A, Abdollahzadeh Z. 2017. Fractal behavior and its relationship with hydromorphometric characteristics over catchments of Binaloud northern hills lopes.Hydrogeomorphology,3(9):1-20. (In Persion).

Lim M, Kartiwa A, Napitupulu H. 2023. Estimation of citarum watershed boundary's length based on Fractal's power law by the modified Box-Counting dimension algorithm. Mathematics, 11(2):384-395. doi.org/10.3390/math11020384.

Lin GF, Wang ChM. 2006. Performing cluster analysis and discrimination analysis of hydrological factors in one step. Advances in Water Resources, 29(11):1573-1585. doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.11.008.

Mahmoudinia I, Soleimanimehr H, Maghsoudpour A, Etemadi Haghighi S. 2021. Fractal-based analysis of the influence of current intensity on surface hardness and surface roughness of Steel workpiece in Electrical Discharge process.Iranian Journal of Manufacturing Engineering,7(11):21-33.

Mahmoudzadeh A. 2004. Research methods in soil erosion, Urmia University Press. (In Persion).

Mandelbrot B. B. 1982. The Fractal geometry of nature. W. H. Freeman, San Francisco. USA. 1:25-74.

Mandelbrot BB. 1983. The fractal geometry of nature. Revised and enlarged edition, New York, WH Free.Co,495, 1.

Men B, Xiejing Z, Liang C. 2004. Chaotic analysis on monthly precipitation on hills region in middle Sichuan of China.Nature and Science,2(2):45-51.

Mohammadi Khoshoui M, Ekhtesasi MR. 2019. Comparison of fractal dimension and geomorphologic characteristics in the management of Aqda Basin.Environmental Erosion Research Journal,9(1):62-84. (In Persion). doi.org/20.1001.1.22517812.1398.9.1.6.0.

Mohammadi M, Ekhtesasi MR, Talebi A, Hosseini Z. 2020. Investigation of the relationship between fractal dimensions of the drainage networks and their morphometric properties (Case study, Yazd-Ardakan Basin).Journal of Arid Biome,9(2):1-16. (In Persion). doi.org/20.1001.1.2008790.1398.9.2.1.7

Motamedi R, Azari M. 2018. The relationship between geomorphic characteristics and watershed sediment yield: A case of selected subwatersheds of Khorasan Razavi.Environmental Erosion Research Journal,7(4):82-101. (In Persion). doi.org/20.1001.1.22517812.1396.7.4.5.1

Movahed MS, Hermanis E. 2008. Fractal analysis of river flow fluctuations.Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,387(4):915-932. (In Persion).

Mukhopadhyay A, Barman TK, Sahoo P, Davim JP. 2019. Modeling and optimization of fractal dimension in wire electrical discharge machining of EN 31 steel using the ANN-GA approach.Materials,12(3):454. doi.org/10.3390/ma12030454.

Nosrati K, Hoseinzadeh MM, Imeni S. 2017. Application of principal component analysis in determination of effective factors on runoff generating. Geographical Planning of Space, 7(24):61-71. (In Persion).

Paun MA, Nichita MV, Paun VA, Paun VP. 2023. Fifth-generation fractal antenna design based on the Koch S nowflake geometry. A fractal theory application. Expert Systems, e13242. doi.org/10.1111/exsy.13242.

Real LSC, Crestana S, Ferreira RRM, Sígolo JB, Rodrigues VGS. 2020. Proposition for a new classification of gully erosion using multifractal and lacunarity analysis: A complex of gullies in the Palmital stream watershed, Minas Gerais (Brazil).Catena,186, 104377. doi.org/10.1016/j.catena.2019.104377.

Richards S, Rao L, Connelly S, Raj A, Raveendran L, Shirin S, Jamwal P, Helliwell R. 2021. Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment.Journal of Environmental Management,286:112223.

Sadeghi SHR, Yathribi B. 2008. Soil and water protection in forest watersheds, Rah-e Sobhan Publications commissioned by the Iranian Watershed Management Association, National Commission for UNESCO in Iran, first edition, 107 p. (In Persion).

Sadeghi SHR. 2010. Study and measurement of water erosion, Tarbiat Modares University Press, first edition, 200 p. (In Persion).

Saeediyan H, Moradi HR, Feiznia S, Bahramifar N. 2021. The role of slope aspect in runoff and sediment production of Ghachsaran and Aghajari formations.Physical Geography Research Quarterly,53(2). (In Persion). doi.org/10.22059/JPHGR.2021.313859.1007576.

Salvi SS, Mukhopadhyay SD, Ranade AR, Rajagopalan A. 2017. Morphometric analysis of river drainage basin.watershed using GIS and RS: a review.International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology,5:503-508.

Shahzad F, Mahmood SA, Gloaguen R. 2010. Nonlinear analysis of drainage systems to examine surface deformation: an example from Potwar Plateau (Northern Pakistan).Nonlinear Processes in Geophysics,17(2): 137-147. (In Persion).

Shang P, Kamae S. 2005. Fractal nature of time series in the sediment transport phenomenon.Chaos, Solitons and Fractals,26(3): 997-1007.

Singh WR, Barman S, Tirkey G. 2021. Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai Watershed.Applied Water Science,11(9):1-12.

Soler M, Latron J, Gallart F. 2007. Relationships between suspended sediment concentrations and discharge in two small research basins in a mountainous, Mediterranean area (Vallcebre, Eastern Pyrenees). Geomorphology-02336: 10 p.

Tahmasebi Z, Zal F, Ahmani-khalajiA. 2015. Morphology of tourmaline in the Mashhad granites (g2) with using fractal analysis and Diffusion-Limited Aggregation.Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy,3:417-428.

Tukura NG, Akalu MM, Hussein M, Befekadu A. 2021. Morphometric analysis and subwatershed prioritization of Welmal watershed, Ganale-Dawa River Basin, Ethiopia: Implications for sediment erosion.Journal of Sedimentary Environments,6(1):121-130.

Wang Y, He Y, Zhan J, Li Z. 2022. Identification of soil particle size distribution in different sedimentary environments at river basin scale by fractal dimension.Scientific Reports,12(1):10960-10973.

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,527:113-118. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.060.

Ziaee HA. 2001. Principles of watershed management engineering, Imam Reza University, First Edition, 542 p. (In Persion).

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Behavior Measurement of Morphological and Fractal Parameters of Watershed on Runoff and Sediment Components

Ali Talebi[*1], Mohammad Malehshahi[2], Hossien Khorshidy[3], Mahin Kalehhouie[4], Sayyed Hadi Abtahi[5]

1- Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

2- Graduated in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

3- Assisstant Prof., Faculty of Mathematic, Yazd University, Yazd, Iran

4- Former Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University

5- Ph.D. in Water Sciences and Engineering, Urmia University

Extended Abstract

Introduction and Goal

Understanding the role and influencing factors of soil erosion is crucial for effective management and recognition of erodible land areas. Watershed management is one of the most sensitive and complex types of resource and production management. The fractal dimension can be used to examine the complexity of data and simplify complex natural phenomena. This tool enables generating fractal patterns to assess the morphological behavior and power of watersheds. This research focused on the connection and interplay between the morphological characteristics of the watershed and the fractal dimension in the creation of runoff and sediment.

Materials and Methods

In this research, the necessary data were obtained from the statistics of the country in the water measuring and observation stations of the watershed. The base maps were utilized to determine the watershed characteristics. The calculation of the fractal characteristics was done in Fractalyse 2.4 software by utilizing the box counting method. The factor analysis method was used to identify 85

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** talebisf@yazd.ac.ir

Citation: Talebi, A., Malehshahi, M., Khorshidy, H., Kalehhouie, M., Abtahi, S.H. 2024. Behavior Measurement of Morphological and Fractal Parameters of Watershed on Runoff and Sediment Components. Watershed Management Research. 37(2): 110-132.

DOI: 10.22092/wmrj.2023.362706.1546

Received: 02 July 2023, **Received in revised form:** 25 July 2023, Accepted: 21 september 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp. 110-132.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)

features related to watershed. In this research, for further analysis, the size of annual runoff and sediment was investigated using different return periods. Therefore, 5 different scenarios were considered based on the homogeneity of the watershed, climatic characteristics, physical and morphological characteristics of the watershed, physical and climatic characteristics simultaneously, and fractal characteristics of the watershed. The correlation between estimated irrigation and sediment size (with different return periods) and different morphological features was also carried out.

Results and Discussion

The results of the factor analysis technique showed that among the 85 parameters related to the watershed, 18 are the effective parameters of the area, the slope area is 8-12 and 12-20%, the area of the east slope in 9 directions, the length of the 100-m level lines in the watershed, the total length of the stream , the concentration time base Kirpich method, elevation difference, fractal of 200-m level lines, deviation from the moisture standard, temperature difference, average slope, net slope of the main stream, average temperature, average moisture, average precipitation, elongation coefficient and fractal of the basin environment. Also, the fractal dimension of the 200-m horizontal lines and the fractal dimension of the watershed environment were able to significantly explain the overall changes in discharge and sedimentation. This finding explained well the role of fractal characteristics in the relationship between irrigation and sedimentation.

Conclusions and Suggestion

Based on the results of this research, it was found that almost all the effective factors in estimating discharge and sedimentation in large watersheds are summarized in the area and fractal of the watershed environment, and these two features justify the most changes in discharge and sedimentation. Therefore, with the reduction of the area of watersheds, the role of other factors such as the direction of the slope, the net slope of the waterway, etc., is more evident in explaining the changes, and it can be said that dividing large watersheds into smaller watersheds is the best measure to control the erosion and runoff of watersheds. Implementing watershed management measures in these small sub-watersheds is the next step. The reduction of watershed area in most relationships is sufficient to justify up to 70% of sediment changes. This research findings should be utilized by users and beneficiaries to implement watershed development and management programs.

Keywords: Erosion, fractal dimension, homogenous watersheds, runoff, self-similarity