

بررسی ارتباط ویژگی‌های برخال شبکه‌ی رودخانه و سری‌های زمانی جریان رودخانه

محمدهادی فتاحی^۱، حسن جهانگیری^۲

دریافت ۱۳۹۱/۱/۱۲ پذیرش ۱۳۹۲/۱۲/۱۷

چکیده

همه‌ی پدیده‌های ژئوفیزیکی، شامل شبکه‌های رودخانه و سری‌های زمانی جریان، اصولاً پدیده‌هایی برخال هستند و الگوهای برخال می‌توانند، در رفتارهای آنها بررسی گردد. یک سامانه‌ی غیرخطی، مثل یک حوضه‌ی آبخیز می‌تواند به خوبی به وسیله‌ی یک سنجش غیرخطی، مثل یک تحلیل برخال، بررسی گردد. یک تحقیق دوجانبه بر روی خواص برخال شبکه‌ی رودخانه و سری زمانی جریان در رودخانه انجام شده است. جهت مشاهده‌ی خواص برخال آنها، از روش پنجره‌ی متحرک استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که، هر دو این پدیده‌ها، از خط مشی یکسانی در رابطه با خواص برخالشان پیروی می‌کنند، بطوری که بعد برخال برای هر دو پدیده، به سمت مقادیری ثابت متمایل می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: سری‌های زمانی جریان رودخانه، برخال، شبکه‌ی رودخانه

^۱ - استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
^۲ - کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
* - نویسنده مسئول مقاله: Fattahi_mh@yahoo.com

مقدمه

یک مسأله‌ی قدیمی در علم آبشناسی، پیش‌بینی ویژگی‌های جریان رودخانه با توجه به اطلاعات داده شده از ویژگی‌های بارش و حوضه‌ی آبخیز است. با اینکه تلاش‌های زیادی برای پیش‌بینی جریان انجام گرفته، پیشرفت‌های مهم اخیر، با استفاده از روش تغییرناپذیری مقیاس صورت گرفته است. اکنون به خوبی درک شده است، شبکه‌ی آبراهه‌ها که سازوکار اصلی جابجایی آب در سطح حوضه‌های بزرگ را نشان می‌دهند، و بارش هر دو شکل‌های معینی از تغییرناپذیری مقیاس را نشان می‌دهند (رودریگوئز ایترب و رینالدو، ۱۹۹۷) و (رینالدو و همکاران، ۱۹۹۴). با فرض اینکه بارش و شبکه، هر دو از قوانین مقیاس‌گذاری معینی پیروی می‌کنند، یک موضوع مهم پیش رو برای تحقیق درک این مطلب است که، این نکته چه نوع ساختاری را بر جریان شکل گرفته، در هر دو مقیاس زمانی و مکانی، القا می‌کند.

یک شبکه‌ی رودخانه برخال مثالی برجسته از وخامت خودسازمان یافته^۱ است. فیزیک تشکیل شبکه‌ی رودخانه، از اثر متقابل نمای ساخت یافته زمین است که جریان آب را هدایت می‌کند و اثر فرساینده‌ی آب که باعث جغاری بیشتر در نمای زمین می‌شود. مطالعات گسترده‌ای بر روی خواص برخال شبکه‌های رودخانه واقعی انجام گرفته است (رینالدو و همکاران، ۱۹۹۴، مانا و سابرامانیا، ۱۹۹۶، رودریگوئز ایترب و رینالدو، ۱۹۹۷، ترومن و کارلینگر، ۱۹۹۸)، هک (۱۹۵۷) رابطه‌ی بین طول رودخانه ۱ و مساحت حوضه‌ی آبخیز S را مطالعه کرده است. S مقیاسی از مساحت کل زمین پوشیده شده با آبراهه‌ی اصلی و انشعابات فرعی آن است که به شبکه می‌ریزند. اندازه‌گیری‌های هک نشان می‌دهد که، برای مساحت‌های حوضه‌ها، S که بین حدود ۵ دهه متغیر (تا حداکثر ۳۷۵ مایل مربع) است و $1^\phi \sim S$ با توان $1/\phi \sim 0.57$. بقیه‌ی اندازه‌گیری‌های توزیع مساحت‌های حوضه‌ها، یک مقیاس‌گذاری توانی به صورت $P(s) \sim s^{-\tau}$ با $\tau = 1.45 \pm 0.03$ را بیان می‌کند (رینالدو و همکاران، ۱۹۹۳).

هندسه‌ی برخال، ریشه در مطالعات ریاضیدان‌های اواخر قرن نوزدهم، و اوایل قرن بیستم دارد که علاقه‌مند به ایجاد ساختارهای پیچیده‌ی هندسی، بر اساس اشکال ساده‌ای همچون خط، مثلث، مربع و یا مکعب بودند. چنین اشکال ساده‌ای که در اصطلاح "آغازگر"^۱ نامیده می‌شوند، تحت اثر قوانین ساده‌ی تبدیل که "مولد"^۲ نامیده می‌شوند، با تعداد تکرارهای زیاد می‌توانند اشکال برخال تولید کنند. ساختارهای پیچیده‌ای که در اثر این فرایند مولد تکراری تولید می‌گردد، در مقیاس‌های مختلف کاملاً معادل به نظر می‌رسند، و هنگامی که قطعاتی کوچک از این ساختارهای پیچیده با قطعات بزرگتر مقایسه گردند، مشابهت‌های آشکاری پدیدار خواهد شد (اکه و همکاران، ۲۰۰۲). مفهوم بعد برخال برای اولین بار، جهت تشریح ساختارهایی که در همه‌ی مقیاس‌های طولی یکسان به نظر می‌رسیدند، به‌وسیله‌ی مندلبرات (۱۹۸۲) ارائه شد. هر چند اگر بخواهیم دقیق باشیم، این یک مفهوم ریاضی محض است، اما مثالهای زیادی در طبیعت وجود دارند که تقریبی از یک جسم برخال، هر چند در محدوده‌ی مقیاس معین، هستند. چنین اجسامی را معمولاً خودمتشابه می‌نامند، که نشان دهنده‌ی استقلال آنها از مقیاس است. به عبارت ساده، ویژگی مشترک این اجسام برخال این است که، طول آنها (اگر جسم منحنی باشد، در غیر اینصورت می‌توان سطح یا حجم را در نظر گرفت) بستگی به مقیاس به کار رفته برای اندازه‌گیری آن دارد، و بعد برخال طبیعت دقیق این وابستگی را بیان می‌کند (بایینک و همکاران، ۲۰۰۵). یک شبکه‌ی رودخانه، تشکیل شده از آبراهه‌ی اصلی، به همراه سلسله مراتبی از آبراهه‌های فرعی با طول و میزان جریان کمتر است. با صرف نظر کردن از تراوایی و تبخیر، این شبکه، همه‌ی حجم آب بارانی را که به‌طور یکنواخت در حوضه‌ی رودخانه نازل شده زهکشی می‌کند و لذا، الزاماً کل سطح زهکشی را پوشش می‌دهد (مانا و سابرامانیا، ۱۹۹۶).

¹ Initiator
² Generator

³ Self-organized criticality

روش‌های محاسبه‌ی بعد برخال

بعد جعبه شماری

مفهوم بعد گنجایش، به منظور تخمین بعد خودمتشابهی (D_{ss}) برای برخالهای آماری غیر دقیق حقیقی ایجاد شد. D_{cap} تعمیمی از D_{ss} است و به صورت ذیل محاسبه می‌شود. این روش از توپهایی استفاده می‌کند که بعد آنها برابر E فضایی است که جسم به آن متعلق است. برای $E=1$ این توپ یک پاره خط به طول $2r$ است، برای $E=2$ این توپ یک دایره با شعاع r است و برای $E=3$ یک کره به شعاع r است. جسم بایستی با این توپها پوشانده شود، بطوری که همه‌ی تمام نقاط آن، دست کم با یک توپ پوشانده شود. لازم به ذکر است که، همپوشانی توپها مجاز است. کمینه‌ی تعداد توپها با سایز r که برای پوشاندن جسم مورد نیاز است، $N(r)$ ، به دست می‌آید و سپس اندازه‌ی r کاهش داده شده و $N(r)$ دوباره محاسبه می‌گردد. D_{cap} بیان می‌کند که، چگونه با تغییر اندازه‌ی توپها، به چه صورت تعداد توپ مورد نیاز برای پوشاندن جسم تغییر می‌کند (بیسینگویت، ۱۹۹۴).

$$N = R^{D_{cap}} \quad (1)$$

جاییکه $R = 1/r$ ، و شعاع مورد نیاز برای پوشاندن کل جسم ۱ است. معادله‌ی (۱)، یک تعریف دقیق ریاضی از D_{cap} را می‌دهد، اما اجازه‌ی یک محاسبه‌ی موثر از آن را نمی‌دهد. D_{box} یک روش عملی از محاسبه‌ی D_{cap} است. این روش به جای توپهای همپوشان، از یک شبکه‌ی همپوشان از جعبه‌ها استفاده می‌کند، که روند محاسبه را بسیار آسان‌تر می‌کند، و محاسبه‌ی D را برای اجسام دو بعدی و سه بعدی امکان‌پذیر می‌نماید.

اساس این روش این است که، ساختار یا تصویر را با این شبکه از جعبه‌های همپوشان با طول‌های لبه‌ی مختلف $L=1/R$ بیوشانیم و تعداد جعبه‌های پوشش دهنده‌ی هر قسمت از جسم N را تعیین کنیم. برای جعبه‌هایی با اندازه‌ی کوچکتر نیز به همین ترتیب محاسبه می‌شود. D_{box} به صورت شیب وایزای خطی برازش داده شده، به جفت داده‌های N به عنوان تابعی از R در یک محور مختصات دو لگاریتمی تعیین می‌گردد.

$$N = R^{D_{box}} \quad (2)$$

که نتیجه می‌دهد:

$$D_{box} = \log N / \log R \quad (3)$$

و طول لبه‌ی جعبه‌ای که کل جسم را پوشش می‌دهد ۱ است. بعد برخال یک پاره خط، مربع و مکعب با ابعاد اقلیدسی و توپولوژیک آنها برابر و به ترتیب معادل ۱، ۲ و ۳ هستند. برای برخالهای دوبعدی و سه بعدی، D مقداری بین این اعداد شاخص را به خود می‌گیرد. و مشخصه‌ی خوبی از خواص فضاپرکن بودن ساختار را به دست می‌دهد. هر چه D از DT متفاوت‌تر بوده و به DE نزدیک‌تر باشد، ساختار فضای اقلیدسی را بیشتر اشغال می‌کند. در ابتدا مندلبرات مقدار برخال D را مورد توجه قرار داد. او همچنین اشاره کرد که برخالها با ابعاد صحیح هم می‌توانند یافت شوند، مانند منحنی پتانو که دارای $D=2$ است (اکه و همکاران، ۲۰۰۲).

روش تحلیل چکالی طیفی توان (PSD)

یک سری زمانی می‌تواند به صورت مجموعه‌ای از اجزاء موج کسینوسی با بسامدهای متفاوت نشان داده شود،

$$x_i = \sum_{n=0}^{N/2} A_n \cos[\omega_n t_i + \varphi_n] = \sum_{n=0}^{N/2} A_n \cos\left[\frac{2\pi n}{N} + \varphi_n\right] \quad (4)$$

که در آن A_n بزرگی و φ_n فاز جزء کسینوسی با بسامد زاویه‌ای (یعنی $f_n = \omega_n / 2\pi$ متناوب) است. توابع $A_n(f_n)$ ، $\varphi_n(f_n)$ و $A_n^2(f_n)$ به عنوان بزرگی (شدت) نامیده شده‌اند. این طیفها می‌توانند با یک روش عددی (محاسباتی) مؤثر، تبدیل فوریه سریع (FFT) تعیین گردند. طیف توانی (یا چکالی طیفی توان، PSD) یک فرایند برخال یک رابطه توانی است.

$$A_n^2 = p \omega_n^{-\beta} \quad (5)$$

که نتیجه می‌دهد:

$$\log A_n^2 = \log p - \beta \log f_n \quad (6)$$

که در آن β نمایه طیفی نامیده می‌شود. سیگنال‌هایی با چنین فرمی از طیف توان نویز $1/f$ نامیده می‌شوند. رابطه‌ی قانون توان این نظریه را بیان می‌کند که، وقتی یکی از بسامدها دو برابر شود، توان با نسبت مشابهی، بدون توجه به بسامد انتخابی، تغییر می‌کند

$$(R/S)_n - pn^H \quad (۸)$$

که نتیجه می‌دهد:

$$\log(R/S)_n = \log p + H \log n \quad (۸)$$

که در آن p یک پیش عامل است. این روش به عنوان تحلیل تغییر مقیاس دامنه‌ی هرست (R/S) شناخته شده است. کارهای او منجر به این شد که مندلبرات و والیس (۱۹۶۹) وقوع گسترده‌ی نوسانهای خودمتمشابه را در پدیده‌های طبیعی کشف کنند (اکه و همکاران، ۲۰۰۲).

نتایج و بحث

حوضه‌ی قره آغاج

جهت انجام پژوهش حاضر، از اطلاعات حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی قره آغاج با طول دوره‌ی آماری ۳۶ سال و مساحتی بالغ بر ۳۰۰۰ کیلومتر مربع استفاده شده است. این رودخانه از (ارتفاعات بن رود) دامنه‌ی کوه تابسک از روستای زنگنه (حدود ۳۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان کازرون) در دهستان دشمن زیاری سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از میان دره‌ای در ناحیه‌ی شمال غربی شیراز، در حوالی چهل چشمه از منطقه‌ی ممسنی، خارج می‌شود. رودخانه‌ی آغاج در مسیر خود همراه چند رود و چشمه، پس از عبور از اراضی زراعی خفر، کوار، جهرم، قیر و کارزین، از طریق استان بوشهر به نام رود مند وارد خلیج فارس می‌شود. آب این رودخانه دائمی است و عرض آن در نواحی کوهستانی ۲۰ متر و در جلگه به ۴۰۰ متر می‌رسد.

رودخانه قره آغاج یکی از مهمترین رودخانه‌های استان فارس می‌باشد که از آب آن هم اکنون جهت مصارف شرب و کشاورزی استفاده می‌شود. احداث سد سلمان فارسی در شهرستان قیر و کارزین و مطالعات جهت احداث سد کوار بر روی این رودخانه، نشانه‌ی اهمیت این رودخانه در استان فارس می‌باشد.

بده متوسط سالیانه‌ی این رودخانه ۱۸ متر مکعب در ثانیه در ایستگاه تنگ کارزین می‌باشد. کمینه‌ی بده در این ایستگاه ۳.۵ متر مکعب در ثانیه و بیشینه ۴۳ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. در حالت سیلابی، آمار ثبت شده نشان دهنده‌ی بده ۶۰۰۰ متر مکعب در ثانیه نیز می‌باشد.

$(2^{-\beta})$ ، یعنی این نسبت با زمانی که در مقیاس بسامد قرار داریم متفاوت است. این سیگنال پیش از استفاده از FFT باید پیش پردازش شود، که به معنی استخراج میانگین، ضرب کردن در یک پنجره‌ی سهموی (پنجره گیری) و تطبیق انتها^۱ است. پس از محاسبه‌ی طیف توانی با استفاده از FFT، بایستی بخش دارای بسامد بالای طیف، پیش از برازش خط وایازی حذف گردد. مقدار β می‌تواند به وسیله‌ی روابط زیر با ضریب هرست مرتبط شود (اکه و همکاران، ۲۰۰۲).

$$H = \frac{\beta + 1}{2} \quad -1 < \beta < +1$$

$$H = \frac{\beta - 1}{2} \quad 1 < \beta < 3 \quad (۷)$$

روش تحلیل تغییر مقیاس دامنه (R/S)

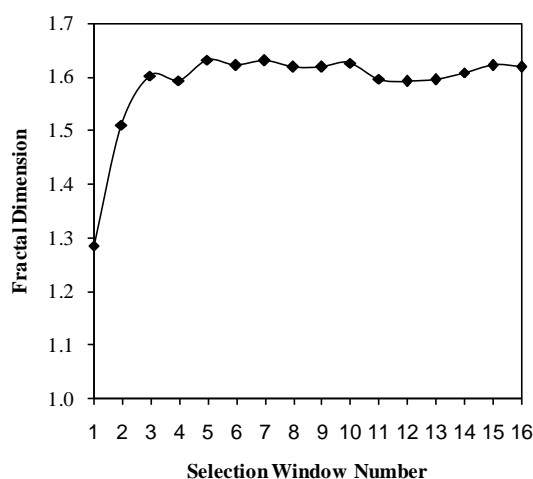
روش تحلیل تغییر مقیاس دامنه که به اختصار R/S نامیده می‌شود، در واقع اولین روش ارائه شده برای محاسبه‌ی H بود. این روش در سال ۱۹۵۱ به وسیله‌ی هرست (۱۹۶۵) ارائه شد. وی به دنبال پاسخ دادن به این سؤال بود که سد اسوان را به چه بلندی باید ساخت، تا بیشترین ظرفیت را با توجه به نوسانهای سطح رودخانه نیل، در بازه‌های مشاهداتی موجود Π داشته باشد. منطقی که او از آن پیروی می‌کرد با سه معیار یک مخزن ایده‌آل مهار می‌شد: ۱- جریان خروجی یکنواخت است. ۲- سطح آب در ابتدا و انتهای پنجره مشاهده یکسان است. ۳- مخزن هیچگاه سرریز نمی‌کند (بیسینگویت و همکاران، ۱۹۹۴). او داده‌های سطح آب ثبت شده در گذشته، X_i را که متناسب با سرعت آب ورودی به مخزن است، مورد بررسی قرار داد. هرست یک مقدار ثابت را برای خروجی در نظر گرفت، که می‌تواند به عنوان متوسط تغییرات ورودی محاسبه گردد. سری‌های زمانی افزایش حجم آب در مخزن، از طریق جمع اختلاف ورودی و خروجی به دست می‌آید $y_i = \sum_{n=1}^i (x_i - \bar{x}_i) \Delta t$. بازه $R = y_{\min} - y_{\max}$ مشخص می‌کند که سد باید با چه ارتفاعی ساخته شود. به علاوه، هرست این بازه را بر انحراف معیار نوسانات ورودی، s ، تقسیم نمود و نشان داد که R/S_n یک رابطه‌ی توانی با طول مشاهدات، n ، نشان می‌دهد.

¹ - bridge detrending

جدول ۱- خلاصه نتایج محاسبه بعد برخال شبکه‌ی آبراهه‌های حوضه‌ی قره‌آغاچ به روش جعبه‌شماره‌ی

شماره‌ی پنجره	بعد برخال	C
۱	۱.۲۰۲	۰.۱۳۱۵
۲	۱.۴۶۶	۰.۲۱۲۵
۳	۱.۵۲۹	۰.۲۰۶۱
۴	۱.۵۸۴	۰.۲۳۶۴
۵	۱.۶۴۱	۰.۲۶۷۸
۶	۱.۵۹۳	۰.۲۲۶۰
۷	۱.۶۱۰	۰.۲۴۵۱
۸	۱.۶۰۶	۰.۲۵۰۶
۹	۱.۶۵۶	۰.۱۸۲۸
۱۰	۱.۶۵۸	۰.۱۸۴۲
۱۱	۱.۶۶۵	۰.۱۸۸۴
۱۲	۱.۶۷۲	۰.۱۸۹۹
۱۳	۱.۶۷۳	۰.۱۹۱۳
۱۴	۱.۶۷۵	۰.۱۹۳۶
۱۵	۱.۶۷۰	۰.۱۸۹۸
۱۶	۱.۶۷۰	۰.۱۹۰۵

همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش ابعاد پنجره‌ی انتخابی، بعد برخال محاسبه شده افزایش یافته و در نهایت به سمت مقداری ثابت در حدود $1/67$ میل می‌کند.



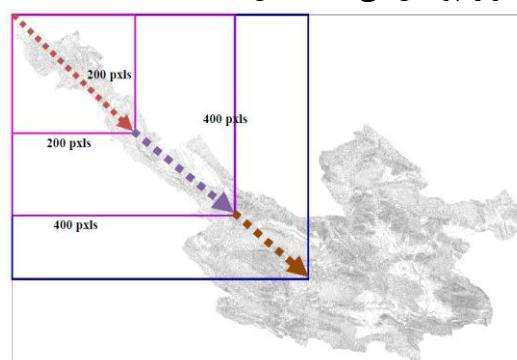
شکل ۳- نتایج به دست آمده از محاسبه‌ی بعد برخال شبکه‌ی آبراهه‌های حوضه، به روش جعبه‌شماره‌ی آزاد.



شکل ۱- موقعیت حوضه‌ی قره‌آغاچ.

ابعاد شبکه‌ی رودخانه

بعد برخال شبکه‌ی آبراهه‌ها در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه به دو صورت اندازه‌گیری شدند. ابتدا با در نظر گرفتن زیر حوضه‌های مختلف منتهی به ایستگاه‌های بده سنجی موجود، بعد برخال هر زیرحوضه محاسبه گردید. سپس با در نظر گرفتن پنجره‌هایی با ابعاد مختلف، بعد برخال آبراهه‌های محدود در هر پنجره با روش جعبه‌شماره‌ی محاسبه گردید. پنجره‌های در نظر گرفته شده با ابعادی با روند افزایشی از بالادست حوضه‌ی آبخیز به سمت خروجی در نظر گرفته شده‌اند، به گونه‌ای که آخرین پنجره‌ی انتخابی کل محدوده‌ی حوضه‌ی آبخیز را پوشش می‌دهد (شکل ۲).

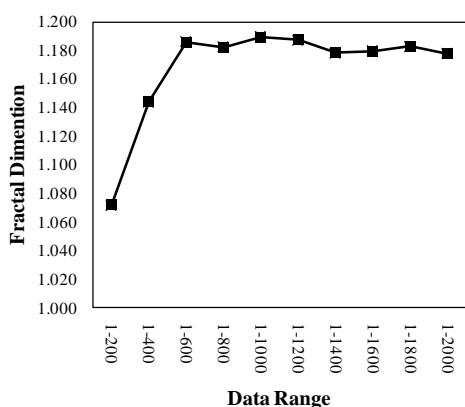


شکل ۲- نحوه‌ی انتخاب پنجره‌های مختلف در محاسبه‌ی بعد برخال.

جدول ۱ نتایج محاسبه‌ی بعد برخال را برای شبکه‌ی رودخانه قره‌آغاچ نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج به دست آمده از محاسبات بعد برخال سری هفتگی جریان به روش PSD

ردیف	بازه‌ی داده‌ها	ضریب H	بعد برخال به روش تغییرات
۱	۱-۲۰۰۰	۰/۹۲۸	۱/۰۷۱
۲	۱-۴۰۰۰	۰/۸۵۶	۱/۱۴۴
۳	۱-۶۰۰۰	۰/۸۱۴	۱/۱۸۶
۴	۱-۸۰۰۰	۰/۸۱۷	۱/۱۸۲
۵	۱-۱۰۰۰۰	۰/۸۱۰	۱/۱۸۹
۶	۱-۱۲۰۰۰	۰/۸۱۳	۱/۱۸۷
۷	۱-۱۴۰۰۰	۰/۸۲۲	۱/۱۷۸
۸	۱-۱۶۰۰۰	۰/۸۲۰	۱/۱۷۹
۹	۱-۱۸۰۰۰	۰/۸۱۷	۱/۱۸۲
۱۰	۱-۲۰۰۰۰	۰/۸۲۲	۱/۱۷۷



شکل ۵- منحنی نتایج حاصل از محاسبه‌ی بعد برخال سری هفتگی جریان رودخانه به روش PSD در بازه‌های مختلف.

نتایج محاسبه‌ی بعد برخال سری‌های زمانی جریان

به روش R/S

همانگونه که در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است، بعد برخال سری‌های زمانی هفتگی و ماهانه، با استفاده از روش R/S محاسبه شده است. نتایج به وضوح نشان می‌دهند که، با افزایش اندازه‌ی پنجره‌ی داده‌های انتخابی روند تغییرات بعد برخال به سمت مقدار ثابتی حدود ۱/۴۲ میل می‌کند.

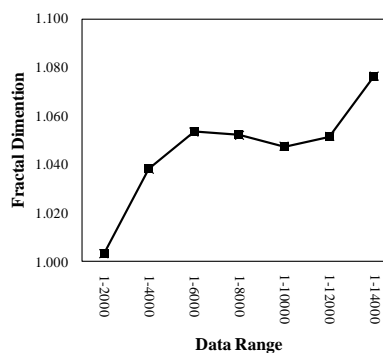
محاسبه‌ی بعد برخال سری‌های زمانی جریان با روش تحلیل چگالی طیفی توان (PSD)

برای محاسبه‌ی بعد برخال سری‌های زمانی جریان رودخانه نیز از روند مشابهی بهره گرفته شد. از داده‌های موجود با استفاده از پنجره‌هایی با شروع از آخرین داده‌های ثبت شده نمونه‌برداری شد. بازه‌هایی از داده‌های روزانه، هفتگی و ماهانه به گونه‌ای انتخاب گردید که بازه‌ی انتخابی به تدریج بزرگتر شده، تا اینکه در نهایت کل داده‌های موجود را شامل شود. در هر بازه‌ی انتخاب شده، بعد برخال سری‌های زمانی، با استفاده از یک برنامه‌ی رایانه‌ای از پیش تعریف شده، محاسبه گردید. جدولهای ۲ و ۳، نتایج محاسبه‌ی بعد برخال سری‌های زمانی جریان رودخانه‌ی قره‌آغاج را به روش PSD به ترتیب در بازه‌های روزانه و هفتگی نشان می‌دهند.

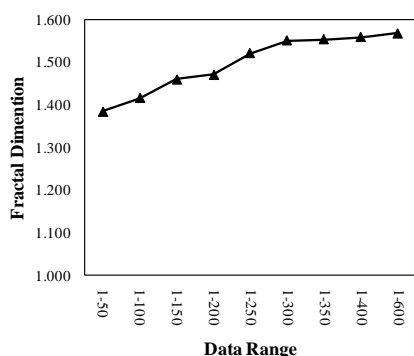
جدول ۲- نتایج به دست آمده از محاسبات بعد برخال سری روزانه‌ی جریان به روش PSD

ردیف	بازه داده‌ها	ضریب H	بعد برخال به روش تغییرات
۱	۱-۲۰۰۰	۰/۹۹۶	۱
۲	۱-۴۰۰۰	۰/۹۶۱	۱/۰۳۸
۳	۱-۶۰۰۰	۰/۹۴۶	۱/۰۵۳
۴	۱-۸۰۰۰	۰/۹۴۸	۱/۰۵۲
۵	۱-۱۰۰۰۰	۰/۹۵۲	۱/۰۴۷
۶	۱-۱۲۰۰۰	۰/۹۴۹	۱/۰۵۱

شکل ۴، نتایج روش پنجره‌گیری را برای مشاهده‌ی بعد برخال سری‌های زمانی جریان با استفاده از روش PSD نشان می‌دهد. واضح است که بعد برخال پس از ۴۰۰۰ هفته به سمت ۱/۱۸ میل کرده، و همین روند را تا ۲۰۰۰۰ هفته ادامه داده است.



شکل ۴- منحنی نتایج حاصل از محاسبه بعد برخال سری روزانه جریان رودخانه به روش PSD در بازه‌های مختلف.



شکل ۷- منحنی نتایج محاسبه بعد برخال سری ماهانه‌ی جریان به روش R/S.

نتایج محاسبه‌ی بعد برخال سریهای زمانی جریان، با استفاده از روش تغییرات

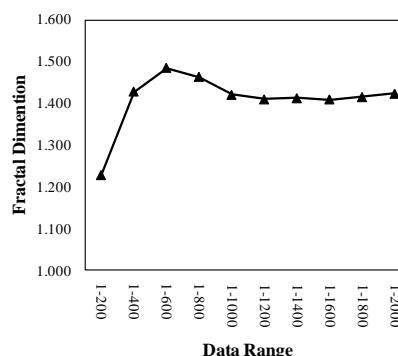
جداول ۶ و ۷، بعد برخال سریهای زمانی جریان رودخانه قره‌آغاج را در مقیاسهای هفتگی و ماهانه با استفاده از روش تغییرات نشان می‌دهند. روند بحث شده در قسمت‌های پیشین در اینجا نیز به وضوح قابل تشخیص است و می‌تواند به سادگی در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده شود. به طوری که بعد نهایی برای داده‌های هفتگی به سمت ۱/۴۲ میل کرده که کاملاً مشابه روش R/S است و برای داده‌های ماهانه این عدد ۱/۶ می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده در تحقیقات پیشین به نظر می‌رسد که، دسته‌بندی سریهای زمانی (fBm/fGn) و طول داده‌ها، عوامل مهمی در کار با روشهای تحلیل برخال هستند. روشهای تغییرات و PSD، بهترین نتایج را برای همه‌ی مقیاسهای زمانی ارائه دادند، و روش R/S برای داده‌های هفتگی و ماهانه مناسب بود اما ظاهراً بعد برخال سریهای زمانی روزانه را نادرست محاسبه می‌نماید، چرا که سریهای زمانی روزانه fGn بوده و روش R/S ذاتاً یک روش تحلیل fBm است (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ۴- نتایج به دست آمده از محاسبات بعد برخال سری هفتگی جریان به روش R/S.

ردیف	بازه‌ی داده‌ها	ضریب H	بعد برخال به روش R/S
۱	۱-۲۰۰	۰/۷۷۱	۱/۲۲۹
۲	۱-۴۰۰	۰/۵۷۲	۱/۴۲۸
۳	۱-۶۰۰	۰/۵۱۵	۱/۴۸۵
۴	۱-۸۰۰	۰/۵۳۷	۱/۴۶۳
۵	۱-۱۰۰۰	۰/۵۷۹	۱/۴۲۱
۶	۱-۱۲۰۰	۰/۵۹۰	۱/۴۱۰
۷	۱-۱۴۰۰	۰/۵۸۸	۱/۴۱۲
۸	۱-۱۶۰۰	۰/۵۹۲	۱/۴۰۸
۹	۱-۱۸۰۰	۰/۵۸۵	۱/۴۱۵
۱۰	۱-۲۰۰۰	۰/۵۷۷	۱/۴۲۳

شکل‌های ۶ و ۷، نحوه‌ی تغییرات خواص برخال را با افزایش ابعاد پنجره در مقیاسهای هفتگی و ماهانه نشان می‌دهند.

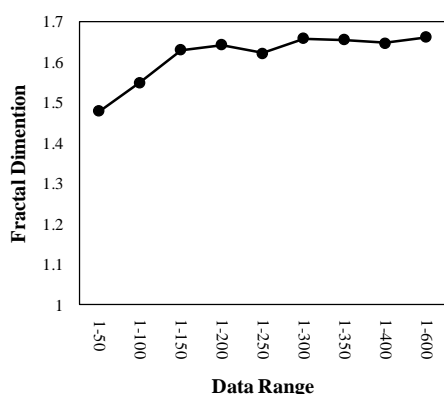
در داده‌های روزانه، رفتاری غیر یکنواخت مشاهده شد. این مسأله عمدتاً ناشی از ناسازگاری روش تحلیل برخال انتخابی، با توجه به طول و کلاس سریهای زمانی روزانه است (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۶- منحنی نتایج محاسبه بعد برخال سری هفتگی جریان به روش R/S.

جدول ۵- نتایج به دست آمده از محاسبات بعد برخال سری ماهانه جریان به روش R/S.

ردیف	بازه‌ی داده‌ها	ضریب H	بعد برخال به روش R/S
۱	۱-۵۰	۰/۶۱۴	۱/۳۸۶
۲	۱-۱۰۰	۰/۵۸۴	۱/۴۱۶
۳	۱-۱۵۰	۰/۵۳۹	۱/۴۶۱
۴	۱-۲۰۰	۰/۵۲۸	۱/۴۷۱
۵	۱-۲۵۰	۰/۴۷۸	۱/۵۲۲
۶	۱-۳۰۰	۰/۴۴۸	۱/۵۵۱
۷	۱-۳۵۰	۰/۴۴۶	۱/۵۵۴
۸	۱-۴۰۰	۰/۴۴۰	۱/۵۵۹
۹	۱-۴۵۰	۰/۴۳۰	۱/۵۶۹



شکل ۹- روند تغییرات بعد برخال سری ماهانه‌ی جریان به روش تغییرات.

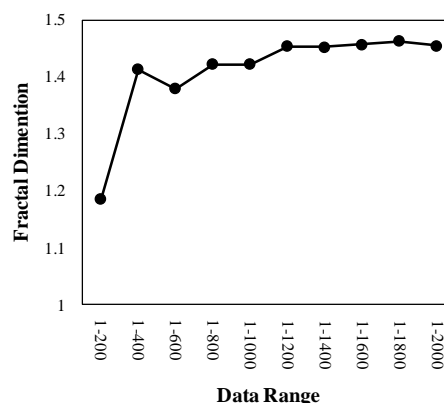
نتیجه‌گیری

سامانه‌های غیر خطی پیچیده بوده و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارند. الگوهای برخال یک سامانه‌ی غیرخطی، نتیجه‌ی اتفاقات مختلف تأثیرگذاری است که به طور همزمان بر یک پدیده عمل می‌کنند. ایده‌ی اصلی این تحقیق، بررسی این مسأله بود که آیا سامانه‌های غیرخطی مرتبط به هم، از قوانین مشابهی با توجه به الگوهای برخال آنها پیروی می‌کنند یا خیر. همانگونه که در بخش نتایج مورد بحث قرار گرفت، الگوی تغییرات بعد برخال در شبکه‌ی رودخانه، به عنوان اولین سامانه‌ی ژئوفیزیکی غیرخطی، و سری‌های زمانی جریان رودخانه در مقیاس‌های زمانی مختلف، به عنوان دومین پدیده‌ی ژئوفیزیکی غیرخطی از روند یکسانی پیروی می‌کنند. مشاهده شد که بعد برخال در هر دو پدیده، که از طریق یک روش پنجره‌گیری مورد بررسی قرار گرفت، به سمت یک مقدار ثابت میل می‌کند.

همانگونه از نتایج محاسبه‌ی بعد برخال در شبکه‌ی آبراهه‌های حوضه‌ی آبخیز برمی‌آید، مقدار بعد برخال شبکه‌ی آبراهه‌ها از بالادست حوضه به سمت خروجی به طور کلی روندی افزایشی داشته و در نهایت بعد محاسبه شده در هر پنجره با نزدیک شدن به خروجی، به سمت مقداری ثابت میل می‌کند.

جدول ۶- نتایج به دست آمده از محاسبات بعد برخال سری هفتگی جریان به روش تغییرات.

ردیف	بازه‌ی داده‌ها	بعد برخال به روش تغییرات
۱	۱-۲۰۰	۱/۱۸۵
۲	۱-۴۰۰	۱/۴۱۳
۳	۱-۶۰۰	۱/۳۷۹
۴	۱-۸۰۰	۱/۴۲۲
۵	۱-۱۰۰۰	۱/۴۲۲
۶	۱-۱۲۰۰	۱/۴۵۳
۷	۱-۱۴۰۰	۱/۴۵۲
۸	۱-۱۶۰۰	۱/۴۵۷
۹	۱-۱۸۰۰	۱/۴۶۲
۱۰	۱-۲۰۰۰	۱/۴۵۴



شکل ۸- روند تغییرات بعد برخال سری هفتگی جریان به روش تغییرات.

جدول ۷- نتایج به دست آمده از محاسبات بعد برخال سری ماهانه جریان به روش تغییرات.

ردیف	بازه‌ی داده‌ها	بعد برخال به روش تغییرات
۱	۱-۵۰	۱/۴۸۰
۲	۱-۱۰۰	۱/۵۵۰
۳	۱-۱۵۰	۱/۶۳۱
۴	۱-۲۰۰	۱/۶۴۳
۵	۱-۲۵۰	۱/۶۲۳
۶	۱-۳۰۰	۱/۶۵۹
۷	۱-۳۵۰	۱/۶۵۷
۸	۱-۴۰۰	۱/۶۴۹
۹	۱-۴۵۰	۱/۶۶۲

13. Fattahi, M.H., N. Talebydokhti, G.R. Rakhshandehroo, A. Shamsai, and E. Nikooee. 2010. Fractal assessment of wavelet based techniques for improving the artificial neural network models. *J. Food Agric. Environ.* 10:132-137.
14. Fattahi, M.H., N. Talebydokhti, G.R. Rakhshandehroo, A. Shamsai, and E. Nikooee. 2011. Fractal assessment of wavelet based preprocessing of river flow time series. *Water Resour. Eng.* 10:1-10.

منابع

1. Eke, A., P. Hermann, L. Kocsis, and L.R. Kozak. 2002. Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals. *Physiol. Meas.* 23: 1-38.
2. Mandelbrot, B.B. 1982. *The fractal geometry of nature*, W.H. Freeman publication, New York.
3. Babinec, P., M. Kučera, and M. Babincová. 2005. Global characterization of time series using fractal dimension of corresponding recurrence Plots: From dynamical systems to heart physiology; Harmonic and fractal image analysis (HarFA). P.p. 87 - 93.
4. Manna, S.S., and B. Subramanian. 1996. A quasi-random spanning tree model for the early river network. *Phys. Rev. Lett.* 76: 3460-3463.
5. Rodriguez-Iturbe, I., and A. Rinaldo. 1997. *Fractal river basins, chance and Self-Organization*, Cambridge: Cambridge University Press.
6. Rinaldo, A., R. Rigon, and I. Rodriguez-Iturbe. 1994. Geomorphological width functions and random cascade. *Geophys. Res. Lett.* 21: 2123-2126.
7. Troutman, B., and M. Karlinger. 1998. Spatial channel network models in hydrology, *In: Advanced series in statistical sciences and applied probability*, Vol. 7: Statistical methods in hydrology: Rainfall, landforms and floods, Ed.
8. Hack, J.T. 1957. U.S. Geological Survey, Professional Paper 294-B.
9. Rinaldo, A., I. Rodreguez-Iturbe, R. Rigon, R. Bras, E. Ijjasz-Vasquez, and A. Marani. 1993. Minimum energy and fractal structures of drainage networks. *Water Resour. Res.* 28: 2183-2195.
10. Hurst, H.E., R.P. Black, and Y.M. Simaika. 1965. *Long-term storage: An experimental study*. Constable, London.
11. Bassingwaighe, J., L. Liebovitch, and B. West. 1994. *Fractal physiology*. Oxford University press. New York.
12. Fattahi, M.H., N. Talebydokhti, G.R. Rakhshandehroo, A. Shamsai, and E. Nikooee. 2010. The robust fractal analysis of time series. *Fractals.* 18: 1-21.