

صص ۱۲۸-۱۱۵

## تحلیل فرکتالی بارش‌های روزانه دو حوضه آبریز کرخه و دز

**زیبا حسونند**

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

**داریوش یاراحمدی\***

دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

**حسن لشکری**

دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

**حمید میر هاشمی**

استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۶

### چکیده

بارش یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی به شمار می‌رود که به‌طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد. ایران به دلیل کمبود نزولات جوی و توزیع نامناسب آن‌ها از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به حساب آمده که همواره با کمبود آب یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های منابع طبیعی دست به گریبان بوده است؛ بنابراین، پژوهش حاضر باهدف استخراج رفتار مقیاسی و شناسایی حافظه بارش (بلند مدت، کوتاه‌مدت) دو حوضه آبریز کرخه و دز انجام شد. بدین منظور داده‌های بارش ۱۴ ایستگاه سینوپتیکی و باران‌سنجی دو حوضه کرخه و دز در بازه زمانی ۶۰ ساله (۲۰۱۹ - ۱۹۵۹) استفاده شد. نتایج نشان داد ایستگاه‌های هر دو حوضه ۲ رژیم بارشی دارند. در بررسی رژیم‌های بارشی تمام ایستگاه‌ها دو حوضه مشخص شد، رژیم بارشی کوچک‌مقیاس دارای حافظه بلند مدت و سری زمانی آن پایدار است. ولی رژیم بارشی بزرگ‌مقیاس دارای حافظه کوتاه مدت و سری زمانی آن به‌جز برای دو ایستگاه دوآب و دره تخت بقیه ایستگاه‌ها ایستا است؛ بنابراین هر دو رژیم بارشی رفتار مقیاسی کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهند. همچنین رابطه بین رفتار مقیاسی بارش و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را با کاربرد آزمون همبستگی پیرسون محاسبه شد. نتایج نشان داد در حوضه کرخه برای هر دو مقیاس رژیم بارشی ارتباط معنادار وجود ندارد. از سویی در حوضه دز در رژیم بارشی اول (کوچک‌مقیاس) ارتباط معنادار است ولی در رژیم بارشی دوم (بزرگ‌مقیاس) ارتباط معناداری وجود ندارد. این امر می‌تواند در حوضه کرخه ناشی از وضعیت توپوگرافی متعارض و ناهمگون در بخش‌های مختلف منطقه باشد.

**واژگان کلیدی:** بارش، فرکتال، نمایه هرست، کرخه، دز

## مقدمه

بارش از عنصر و فرایندهای اقلیمی پیچیده در زمان و مکان است که تغییرات آن به‌طور مستقیم در بخش‌های مختلفی مانند رطوبت خاک، جریان‌های سطحی، تغییرات مخازن آب‌های زیرزمینی و... منعکس می‌شود (لشنی زند، ۱۳۸۰). در مناطق مختلف جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک تقاضا برای آب در همه بخش‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی در حال افزایش است و تأمین آب در این مناطق با مشکلات جدی روبه‌رو هستند (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۶). یکی از ویژگی‌های خاص این مناطق عدم وجود نظم و روندی مشخص در ریزش‌های جوی است. همین امر سبب به وجود آمدن اقلیمی خاص شده است. به نحوی که هر ساله شاهد سیلاب‌های عظیم و یا خشک‌سالی‌های شدید در این مناطق هستیم (محمودآبادی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۶). با توجه به اینکه پیش‌بینی و پیش‌آگاهی بارش در زندگی انسان و در برنامه‌های مدیریتی نقش اساسی و قابل‌توجهی دارد، مطالعه دقیق رفتار بارشی در نقاط مختلف ضروری است. روش‌های آماری یکی از روش‌های رایج مطالعاتی تغییرات و پیش‌بینی بارش به حساب می‌آید. در این میان تحلیل سری‌های زمانی از شاخه‌های آماری است که در رشته‌های مختلف علوم مانند ژئوفیزیک، اقتصاد، هواشناسی و اقلیم‌شناسی و غیره کاربرد زیادی داشته است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۲). یکی از مباحث و زمینه‌های پژوهش‌های جالب توجه محافل علمی طی چند دهه اخیر، بررسی وجود رفتار مقیاسی بارش در سطوح مختلف محلی، ناحیه‌ای، منطقه‌ای و جهانی است. همچنین بررسی مکانیزم‌های داخلی سری زمانی داده‌های بارش یک‌راه مناسب برای درک قانون تکامل و دینامیک بارش و رفتار مقیاسی آن به حساب می‌آید. تئوری فرکتال یک چارچوب مناسبی را برای درک هر چه بیش‌تر فرایندهای بارشی و رفتار مقیاسی آن فراهم می‌کند (میر هاشمی و یاراحمدی، ۱۴۰۰). مسئله اصلی این مطالعه، بررسی رفتار مقیاسی بارش است؛ زیرا رخداد بارش در یک منطقه ممکن است حاصل مکانیزم‌های متفاوتی باشد که هرکدام در مقیاس زمانی متفاوتی عمل می‌کنند (به‌طور نمونه بارش‌های حاصل از همرفت، فعالیت‌های چرخندی، الگوهای پیوند از دور و...، با دخالت گرمایش جهانی در ایجاد تغییرات این سامانه‌ها، رفتار بارش پیچیده‌تر شده است) بنابراین بارش از یک الگوی واحد پیروی نمی‌کند که در این صورت بتوان از یک مدل واحد، رفتار آن را مدل‌سازی و یا اینکه رفتار آن را برای آینده پیش‌بینی کرد؛ زیرا ممکن است بارش در مقیاس‌های زمانی متفاوت، رفتارهای متفاوتی را نشان دهد؛ بنابراین متناسب با نوع رفتار و ساختار دینامیکی بارش، ضرورت دارد از مدل‌های متناسب با نوع ساختار آن، استفاده کرد. چنانکه در این مطالعه نیز آشکار شد که بارش در کوچک‌مقیاس از رفتار متفاوتی نسبت به بزرگ‌مقیاس برخوردار است. به‌طوری که سیگنال بارش در کوچک‌مقیاس دارای حافظه بلندمدت است بنابراین حالت کنونی سیگنال بارش در کوچک‌مقیاس وابسته به حالت گذشته آن است. در صورتی که در بزرگ‌مقیاس از حافظه کوتاه مدت برخوردار بوده و حالت کنونی آن ضد حالت گذشته آن است. در نتیجه، باید از مدل‌های متفاوتی برای پیش‌بینی رفتار آن در کوچک‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس استفاده کرد. پژوهش‌های که در این زمینه در ایران صورت گرفته شد از جمله (نوری قیداری ۱۳۹۱: ۸۳) برای تعیین حداکثر شدت بارش از روش تلفیقی تئوری فرکتال و توزیع احتمالاتی مقادیر حدی تعمیم

یافته استفاده کرد. نتایج نشان داد که بارش در بازه زمانی ۱ تا ۸ روز از رفتار تک فرکتالی برخوردار است. (نوری قیداری ۱۳۹۱: ۱۴۵) در ارزیابی بارش رگباری با استفاده از تئوری چند فرکتالی ایستگاه سد گتوند به این نتیجه رسید که داده‌های بارش رگباری از مدل چند فرکتالی تبعیت می‌کنند. (اژدری مقدم و همکاران ۱۳۹۶: ۲۷۱) در بررسی ماهیت فرکتالی بارش ایستگاه باران سنجی چناران نشان داد بارش در بازه زمانی ۱ تا ۷ روز از فرضیه تک مقیاسی (تک فرکتالی) تبعیت می‌کند و تئوری فرکتالی با داده‌های بارش رگباری انطباق خوبی دارد. (مصطفی‌زاده و همکاران ۱۳۹۶: ۳۴) تغییرات زمانی و مکانی بارش ماهانه گلستان با استفاده از هندسه فرکتالی انجام دادند. نتایج محاسبه بعد فرکتالی بارش نشان داد که در منطقه مطالعاتی دوره‌های خشک دارای شدت وقوع کمتری نسبت به دوره‌های مرطوب است. با استفاده از مقادیر بارش خصوصیات رژیم بارشی ایستگاه‌ها تعیین شد. (بابا علی و همکاران ۱۳۹۷: ۱۰۹۷) به تخمین سیلاب حوضه رودخانه خرم‌آباد با استفاده از تئوری فرکتالی و مدل بارش - رواناب HEC - HMS پرداختند. نتایج پژوهش کار آبی بالای مدل فرکتال و نیز مدل هیدرولوژیکی HEC - HMS را در این حوضه نشان داد. (صفوی و همکاران ۱۳۹۸: ۲۱۷) با به‌کارگیری تئوری فرکتال بر روی منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی (IDF) به این نتیجه رسیدند تأثیر تغییر اقلیم بر شدت بارندگی‌های کوتاه مدت بیش‌تر است. (نارنگی فرد و همکاران ۱۳۹۹: ۳۶۸) مقادیر بارش روزانه ایستگاه همدید شیراز را در سه مقطع زمانی مختلف (سه دوره ۲۰ ساله) با رویکرد فرکتالی مورد واکاوی قرار دادند. نتایج نشان داد که در بازه زمانی اول و دوم از منطق فرکتالی پیروی نمی‌کند ولی در بازه زمانی سوم از منطق فرکتالی پیروی می‌کند. (بلوکی و همکاران، ۱۴۰۰: ۷۳۵) در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی (IDF) در ایستگاه همدید زاهدان به این نتایج رسیدند که بیشینه شدت بارش این ایستگاه از رفتار مونوفرکتالی پیروی می‌کند. (میر هاشمی و یاراحمدی، ۱۴۰۰: ۴۹۸) بارش‌های روزانه ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب را با روش فرکتالی تحلیل کردند. نتایج نشان داد بارش‌های تمامی ایستگاه‌ها از رفتار مقیاسی برخوردار بوده و سه رژیم بارشی با مقیاس‌های متفاوت برای بارش تعیین شد. در این خصوص نقش عوامل محلی در شدت بخشیدن به ناهمگنی توزیع بارش در کوچک‌مقیاس بسیار بیشتر از بزرگ‌مقیاس بود. برحسب مقادیر نمایه مقیاس، مشخص شد که مکانیزم‌های تولید کننده بارش در بزرگ‌مقیاس از اختلاف چندانی برخوردار نیستند و بارش‌های بزرگ‌مقیاس رفتار نسبتاً همگن را نشان می‌دهد. (کیلوا، ۱۹۹۹) در تجزیه و تحلیل چند فرکتالی سری زمانی بارش‌های ساعتی والتیا سواحل جنوب غربی ایرلند داده‌های بارشی را به دو دوره قبل (۱۹۷۳-۱۹۹۳) و دوره بعد (۱۹۷۵-۱۹۴۰) تقسیم کرد. نتایج نشان داد دوره دوم شدت بارش سالانه بیشتری نسبت به دوره اول دارد و تمرکز بارش بیشتر در ماه‌های مارس و اکتبر ثبت شد. (بارا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰) از خصوصیات مقیاس زمانی برای بارش‌های شدید کوتاه مدت در اسلوواکی استفاده کردند. رفتار داده‌ها با تئوری فرکتال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که داده‌های بارش روزانه در اسلوواکی از این تئوری پیروی می‌کند. (والنسیا<sup>۳</sup> و همکاران،

1- Kiely

1- Bara

2- Valencia

۲۰۱۰) با استفاده از تئوری چند فرکتالی الگوهای بارشی حوضه رودخانه ابرو<sup>۱</sup> (اسپانیا) را بررسی کرد. بدین منظور داده‌های بارش از سال ۲۰۰۲-۱۹۵۷ هر ایستگاه هواشناسی به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییر رژیم بارشی طی چند دهه اخیر در منطقه آغاز شده است. (آگبازو<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹) در بررسی فرکتالی بارش‌های بنین (آفریقای غربی) به این نتیجه رسید که بارش‌ها از حافظه بلند مدت و پایداری برخوردار است و داده‌های بارش روزانه این ایستگاه از تئوری چند فرکتالی تبعیت می‌کند.

گسترده‌گی حوضه آبریز کرخه و دز، تنوع توپوگرافی و شرایط اقلیمی آن باعث شده که حجم سیلاب‌های این رودخانه‌ها قابل توجه باشند. به همین خاطر سد کرخه و دز بر روی آن‌ها به منظور کنترل سیلاب و تولید برق‌آبی و تأمین آب کشاورزی و شرب منطقه ساخته شده است. برهم‌کنش سیستم‌های مختلف جوی در حوضه آبریز این رودخانه‌ها سیلاب‌های عظیمی را به وجود می‌آورند که با مطالعه و شناخت آن‌ها می‌توان زمینه را برای استفاده بهینه از منابع آبی فراوان آن فراهم ساخت. با توجه به خسارت‌های اقتصادی و همچنین در موارد متعدد تلفات جانی همراه با این مخاطره در مناطق این حوضه‌ها انگیزه لازم برای انجام این پژوهش ایجاد گردید؛ بنابراین لازم است تا دینامیک رفتاری و نوسان‌های داخلی سری زمانی بارش این مناطق در دو بعد مکانی و زمانی شناسایی کرد، زیرا با بررسی دقیق رفتار بارشی قلمروهای جغرافیایی برای دستیابی به برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و مدیریت بحران حوادث طبیعی (سیل، خشک‌سالی، یخبندان و غیره) و پیش‌بینی‌های جوی حائز اهمیت است.

## داده‌ها و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته‌کوه‌های زاگرس قرار دارد. این حوضه از شمال به حوضه رودخانه‌های سیروان، سفیدرود و قره‌چای، از غرب به حوضه‌های رودخانه‌های مرزی ایران و عراق، از مشرق به حوضه رودخانه دز و از جنوب به قسمتی از مرز غربی کشور محدود می‌شود. این حوضه آبریز از نظر مختصات جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۶ دقیقه تا ۴۹ درجه تا ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفت. مساحت این حوضه برابر ۵۱۶۴۳ کیلومترمربع است که حدود ۵۵/۵ درصد آن در مناطق کوهستانی و حدود ۴۴/۵ درصد آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهد. مناطق کوهستانی این حوضه در بخش‌های شرقی و میانی متمرکز هستند و دشت‌ها که عموماً در بخش‌های شمالی و جنوبی قرار دارند حدود ۴۷ درصد از وسعت کل حوضه را می‌پوشانند. از شهرهای مهم داخل این حوضه می‌توان ملایر، نهاوند، تویسرکان، کنگاور، کامیاران، کرمانشاه، خرم‌آباد و سوسنگرد را نام برد (سالنامه آماری آب کشور، ۱۳۹۱: ۱۳).

حوضه آبریز دز واقع در جنوب غربی کشور از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. رودخانه دز یکی از

3- Abro

4- Agbazo

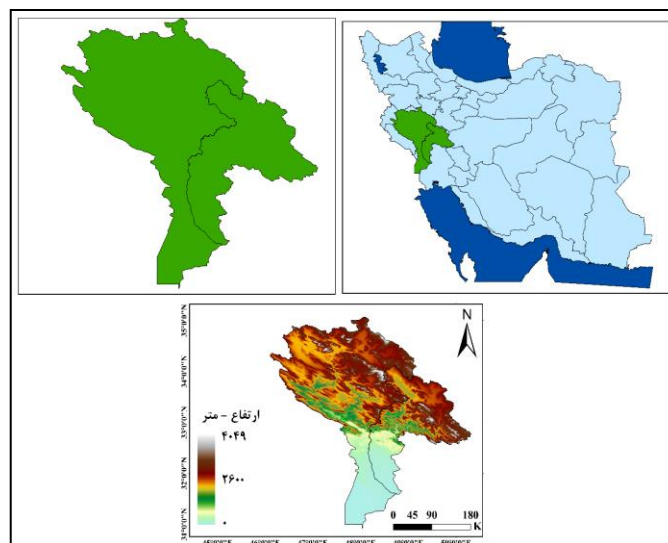
اصلی ترین شاخه های رودخانه کارون بزرگ است و آب های مناطقی از استان لرستان (شهرستان های الیگودرز، بروجرد، خرم آباد)، شهرستان فریدون شهر اصفهان و دزفول استان خوزستان را تا محل الحاق به رودخانه کارون در برمی گیرد. این رودخانه که از به هم پیوستن رودخانه های سزار و بختیاری در استان لرستان تشکیل می شود و پس از ورود به استان خوزستان به رود کارون می ریزد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه حوضه آبریز کرخه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی برحسب درجه	عرض جغرافیایی برحسب درجه	نام حوضه	ارتفاع (متر)
الشتر	۴۸/۲۵	۳۳/۸۲	کرخه	۱۵۶۷/۱
پل دختر	۷۲	۳۳/۱۵	کرخه	۷۱۳/۵
خرم آباد	۴۸/۲۸	۳۳/۴۴	کرخه	۱۱۴۷/۸
دو آب (الشتر)	۴۸/۱۲	۳۳/۴۶	کرخه	۱۵۳۰
کرمانشاه	۴۷/۱۵	۳۴/۳۵	کرخه	۱۳۱۸/۵
کنگاور	۴۷/۹۸	۳۴/۵	کرخه	۱۴۶۸
کوه دشت	۴۷/۶۵	۳۳/۵۲	کرخه	۱۱۹۷/۸
نهایند	۴۸/۴۱	۳۴/۱۴	کرخه	۱۶۷۷/۸
ملایر	۴۸/۸۶	۳۴/۲۵	کرخه	۱۷۷۶/۵

جدول ۲: مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه حوضه آبریز دز

نام ایستگاه	طول جغرافیایی برحسب درجه	عرض جغرافیایی برحسب درجه	نام حوضه	ارتفاع (متر)
الیگودرز	۴۹/۷	۳۳/۴۱	دز	۲۰۲۲/۱
بروجرد	۴۸/۷۶	۳۳/۹۹	دز	۱۶۲۹
دو رود	۴۹	۳۳/۵۲	دز	۱۵۲۲/۳
دره تخت	۴۹/۲۲	۳۳/۱۲	دز	۱۸۹۰
صفی آباد (دزفول)	۴۸/۴۳	۳۲/۲۵	دز	۸۲/۹



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

## روش پژوهش

با توجه به اینکه سری‌های زمانی اندازه‌گیری شده بارش عموماً تحت تأثیر نا ایستایی، روند و نویز مصنوعی هستند که باید از نوسان‌های ذاتی - طبیعی سری زمانی تفکیک شوند. در بعضی موارد، این نوسان‌ها به صورت نا ایستا عمل می‌کنند که این امر در روش‌های معمول تحلیل داده‌ها، نتایج کم اعتباری را نشان می‌دهند. تحلیل فرکتالی یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در این زمینه است. روش فرکتال<sup>۱</sup> (DFA) برای اولین بار توسط (پنگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۴) معرفی شده است. این تکنیک به میزان وسیعی برای تعیین همبستگی دراز مدت در سری‌های زمانی نا ایستا استفاده می‌شود. از مزایای آن ایجاد ساختار مناسب برای مدل‌سازی بی‌نظمی‌ها و تغییرات دوره‌ای است. از این روش در تحلیل داده‌های علوم مختلف از جمله هواشناسی، اقتصاد، زیست و پزشکی به کار می‌رود. بدین منظور برای شناسایی رفتار مقیاسی و دینامیک ساختاری سری زمانی با در نظرگیری سری زمانی بارش روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت:  $X(K)$  که  $K = 1, 2, \dots, N$  (طول سری زمانی بارش) در سه مرحله به ترتیب زیر اجرا شد. مرحله اول: تعیین انحراف تجمعی سری زمانی بارش با به کارگیری فرمول (۱) به طور  $Y(i)$  که  $(X)$  میانگین سری زمانی  $X_k$  است.

$$Y(i) \equiv \sum_{k=1}^i [X_k - (X)] \quad i=1, \dots, N \quad (1)$$

مرحله دوم: تقسیم نیمرخ  $Y(i)$  به تعداد  $N_s = \text{int}(N/S)$  زیر سیگنال نا همپوشان که هر کدام مقیاسی به اندازه  $S$  دارند.  $S$ : مقیاس سری زمانی که با استفاده از فرمول (۲) بررسی شد. بدین منظور سیگنال بارش هر ایستگاه به  $3^0$  زیر سیگنال با مقیاس‌های مختلف تقسیم می‌شود.

$$S_j = [S_1^i, S_2^{i+0.229}, \dots, S_{N_s-1}^{i+0.229}] \quad i=1, \dots, N_s \quad (2)$$

در فرمول (۲)، متغیرهای  $S$  اندازه سری زمانی نا همپوشان است که اندیس پایین (عدد) مشخص کننده شماره مقیاس زمانی و اندیس بالا تعیین کننده اندازه توان است. برای محاسبه سری‌های زمانی به این صورت انجام شد که اندازه پایه، همیشه برابر عدد ۲ بوده ولی اندازه توان که به صورت  $i$  تعیین شده به تدریج روبه افزایش است که به نوعی تعیین کننده افزایش تدریجی مقدار سری زمانی است؛ بنابراین اندازه اولین مقیاس از سری زمانی برابر با  $10S_1^i = 2^{3.322}$  مقدار توان دومین ( $i^1$ )، سومین ( $i^2$ )، چهارمین ( $i^3$ ) و ... به صورت  $i^3 = i^2 + 0.229$ ،  $i^2 = i^1 + 0.229$ ،  $i^1 = i^0 + 0.229$ ،  $i^0 = 1$  → اسبه شده است. در نهایت مقیاس‌های زمانی که به این صورت و با چنین فاصله توانی به وجود آمده است، آرایشی به صورت لگاریتم بر پایه ۲ نمایان شده که مناسب برای روش فرکتالی است (میر هاشمی و یاراحمدی، ۱۴۰۰).

مرحله سوم: محاسبه روند محلی هر کدام از زیر سیگنال‌های  $N_s$ ، از طریق برازش حداقل مربعات  $Yv$  (خط برازش در بخش ۷ است) به سری زمانی و بعد با کسر داده‌ها از این روندهای محلی، نیمرخ  $Y(i)$  روند زدایی اجرا شد و در ادامه نوسان محلی  $F2(s,v)$  هر بخش  $v = 1, \dots, N_s$  با استفاده از فرمول ۳ مشخص گردید.

$$F^2(s, v) = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \{Y[(v-1)S+i] - y_v(i)\}^2 \quad (3)$$

منظور از حد ۶۷ روز، همانطور که در متن توضیح داده شده است نمایه فرکتالی با استفاده از رابطه (۳) برای همه مقیاس‌های زمانی که از طریق رابطه (۲) به دست آمده‌اند حساب شد. سپس در نقطه‌ای که شیب این برازش دچار تغییر شده به‌عنوان نقطه شکست مشخص شده است. در اغلب موارد در مقیاس زمانی ۶۷ روز، پراکندگی نمایه‌ها در مقابل مقیاس زمانی دچار شکست شده به ترتیبی که خط برازش قبل و بعد از این نقطه، از شیب بسیار متفاوتی برخوردار شده است. از سویی، مقدار این شیب نشان‌دهنده نوع حافظه، نوع رفتار و ساختار سیگنال است)

### بحث و یافته‌ها

به‌منظور بررسی ماهیت فرکتالی و رفتار مقیاسی سیگنال بارش روزانه ایستگاه‌های دو حوضه آبریز کرخه و دز، از داده‌های ۶۰ سال (۲۰۱۹ - ۱۹۵۹) بارش بهره گرفته شد. با مشخص شدن رفتار فرکتالی داده‌های بارش از طریق برنامه‌ای که در محیط Matlab نوشته شد، رژیم‌های بارشی هر دو حوضه استخراج و حافظه آن‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد تمامی ایستگاه‌های حوضه‌های مورد بررسی دو رژیم بارشی را تجربه کردند. رژیم بارشی اول (کوچک‌مقیاس) حافظه بلند مدت و رژیم بارشی دوم (بزرگ‌مقیاس) حافظه کوتاه مدت را دارند.

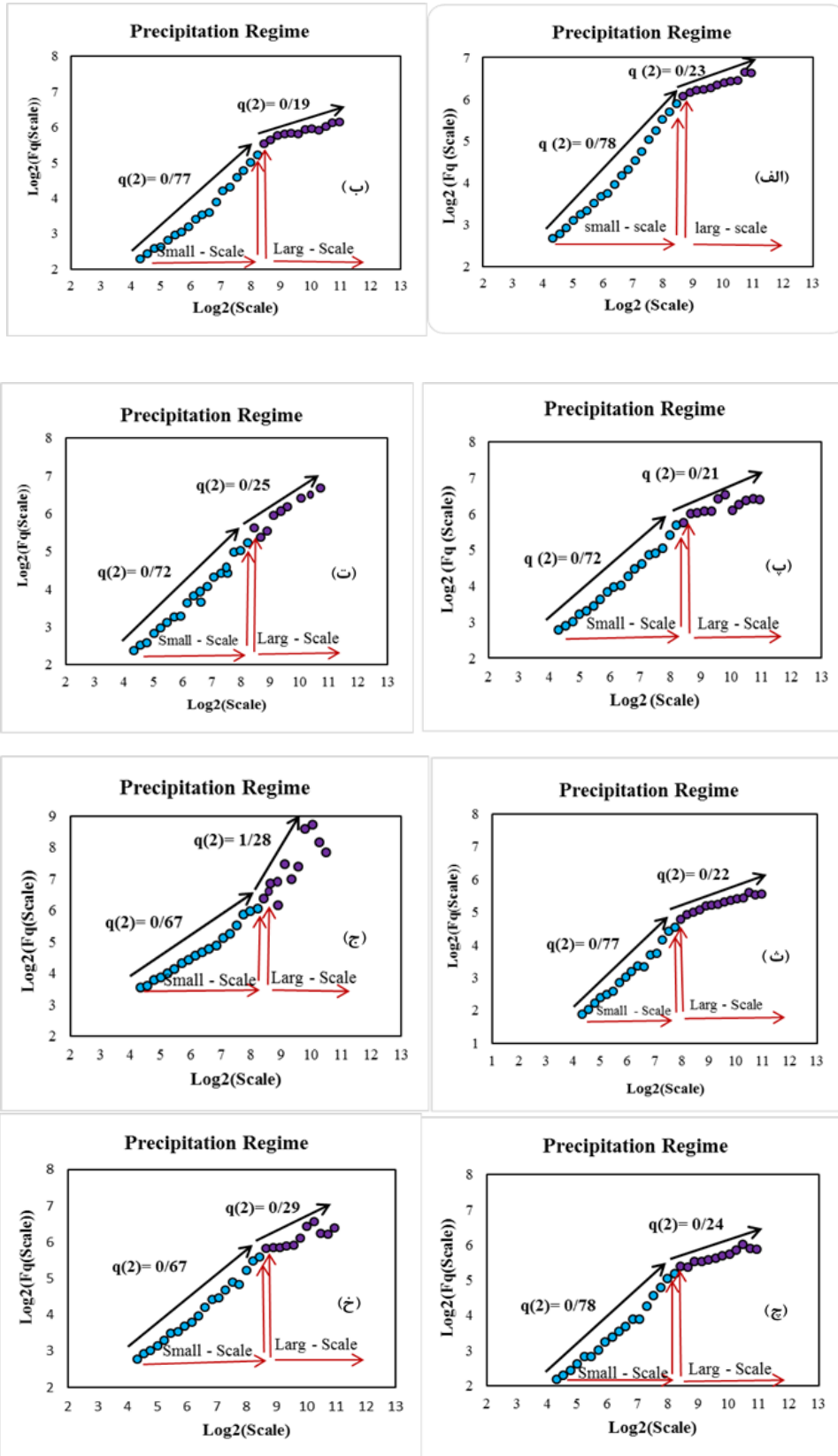
### الف) تحلیل ماهیت فرکتالی بارش حوضه آبریز کرخه

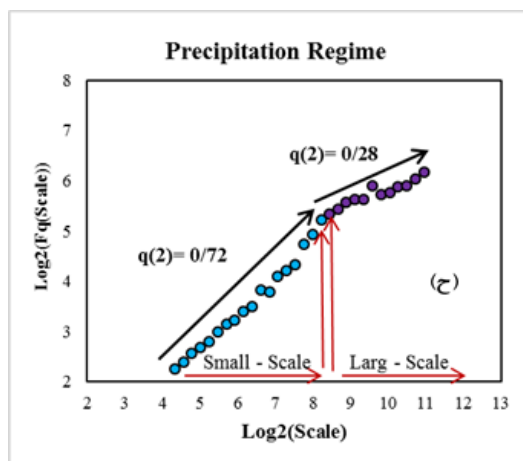
کاربرد (DFA2) بر روی سری زمانی بارش روزانه ایستگاه خرم‌آباد نشان داد، این ایستگاه دارای یک نقطه تقاطع و بدین ترتیب دو رژیم بارشی است. داده‌های سری زمانی در مقیاس‌های ۶۷ - ۱۶ و ۱۲۱ - ۶۷ روز مقادیر نمایه مقیاسی (نمایه هرست) به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۲۳ است؛ بنابراین این ایستگاه در رژیم بارشی اول (کوچک‌مقیاس) سری زمانی دارای حافظه بلند مدت و پایدار است. در رژیم بارشی دوم (بزرگ‌مقیاس) مقادیر به ۰/۵ نزدیک هستند در این صورت سری زمانی قابل پیش‌بینی است. مقدار نمایه هرست کلی این ایستگاه نیز ۰/۶۶ است جدول (۳). بر اساس نمایه هرست کلی، داده‌های سری زمانی دارای حافظه بلند مدت و سری‌های زمانی آن ایستا و قابل پیش‌بینی هستند شکل (۲- الف). نتایج حاصل از ارزیابی سری‌ها زمانی بارش ایستگاه کرمانشاه حاکی از آن است، این ایستگاه یک نقطه تقاطع و دو رژیم بارشی دارد. مقدار نمایه هرست کلی آن ۰/۶۵ و مقادیر نمایه هرست رژیم‌های بارشی آن به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۱۹ است جدول (۳). نتایج وجود حافظه کوتاه مدت ضعیف‌تری برای رژیم بارشی نخست و حافظه بلند مدت برای رژیم بارشی دوم را نشان می‌دهد. همچنین بر اساس نمایه مقیاس کلی، این ایستگاه دارای حافظه بلند مدت و داده‌های سری زمانی آن ایستا و پایدار است شکل (۲- ب). آنچه از محاسبه ایستگاه‌الشر به دست آمده نشان می‌دهد که این ایستگاه دارای دو رژیم بارشی است. همچنین در مقیاس‌های ۶۷-۱۶ و ۱۰۲ - ۶۷ روز دارای شکست و مقادیر نمایه هرست رژیم‌های

بارشی به ترتیب ۰/۷۲ (حافظه بلند مدت) و ۰/۲۳ (حافظه کوتاه مدت) به دست آمده است. بر اساس نمایه هرست کلی با کمیت ۰/۶۷، این ایستگاه دارای حافظه بلند مدت و داده‌های سری زمانی آن ایستا و قابل پیش‌بینی هستند شکل (۲-ب). نتایج حاصل از بررسی ایستگاه نهایند نشان داد این ایستگاه دارای یک نقطه تقاطع و دو رژیم بارشی است شکل (۲-ت). کمیت نمایه هرست رژیم‌های بارشی آن به ترتیب ۰/۷۲ (حافظه بلند مدت) و ۰/۲۵ (حافظه کوتاه مدت) است؛ بنابراین این ایستگاه بر اساس نمایه هرست کلی آن که معادل ۰/۶۲، دارای حافظه بلند مدت است جدول (۳). در بررسی سری زمانی داده‌های بارشی ایستگاه ملایر مشخص شد این ایستگاه دارای دو رژیم بارشی است شکل (۲-ث). نتایج نشان داد این ایستگاه در مقیاس زمانی ۶۷ - ۱۶ و ۱۰۰ - ۶۷ روز به ترتیب دارای مقادیر نمایه هرست ۰/۷۷ و ۰/۲۲ است؛ بنابراین در رژیم بارشی نخست (کوچک‌مقیاس) دارای حافظه بلند مدت و در رژیم بارشی دوم (بزرگ‌مقیاس) دارای حافظه کوتاه مدت است. نمایه هرست کلی این ایستگاه ۰/۶۰ است. بر اساس محاسبه نمایه هرست کلی، حافظه آن بلند مدت و سری زمانی آن ایستا و قابل پیش‌بینی است جدول (۳). آنچه از محاسبات انجام شده داده‌های بارشی سری زمانی ایستگاه دواب به دست آمده این ایستگاه دارای یک نقطه شکست و دو رژیم بارشی است شکل (۲-ج). در مقیاس زمانی ۶۷ - ۱۶ و ۱۰۰ - ۶۷ روز دارای مقادیر نمایه هرست به ترتیب ۰/۶۷ و ۱/۲۸، پس هر دو رژیم بارشی دارای حافظه بلند مدت است. نمایه مقیاس کلی آن ۰/۸۷ محاسبه شد جدول (۳)؛ بنابراین دارای سری زمانی با حافظه بلند مدت و نا ایستا است. در ارزیابی صورت گرفته ایستگاه کنگاور روشن شد این ایستگاه نیز دو رژیم بارشی دارد شکل (۲-چ). نمایه هرست هر دو رژیم بارشی به ترتیب ۰/۷۸ (حافظه بلند مدت) و ۰/۲۴ (حافظه کوتاه مدت) است. نمایه هرست کلی آن ۰/۶۲، مشخص شد این ایستگاه دارای حافظه بلند مدت و پایدار و سری زمانی آن ایستا است جدول (۳).

آنچه از محاسبات ایستگاه پلدختر به دست آمده حاکی از آن است این ایستگاه دارای یک نقطه شکست و دو رژیم بارشی است شکل (۲-خ). نمایه هرست دو رژیم بارشی آن به ترتیب ۰/۶۷ (حافظه بلند مدت) و ۰/۲۹ (حافظه کوتاه مدت) است. مقدار نمایه مقیاس کلی این ایستگاه ۰/۵۹، بر این اساس سری زمانی ایستگاه پلدختر حافظه ندارند و سری زمانی آن تصادفی است جدول (۳). در بررسی ایستگاه کوه دشت مشاهده می‌شود این ایستگاه نیز دو رژیم بارشی دارد. شکل (۲-ح). بر اساس مقادیر به دست آمده از نمایه هرست رژیم بارشی اول و دوم به ترتیب دارای حافظه بلند مدت و کوتاه مدت است شکل (۲-ح). نمایه هرست کلی آن نشان می‌دهد ایستگاه دارای حافظه بلند مدت و قابل پیش‌بینی است جدول (۳).







**شکل ۲:** نمودار لگاریتمی نوسان کلی در مقابل مقیاس زمانی بارش ایستگاه‌های حوضه آبریز کرخه (الف) ایستگاه خرم‌آباد (ب) ایستگاه کرمانشاه (پ) ایستگاه الشتر (ت) ایستگاه نهاوند (ث) ایستگاه ملایر (ج) ایستگاه دو آب (چ) ایستگاه کنگاور (خ) ایستگاه پل دختر (ح) ایستگاه کوه دشت

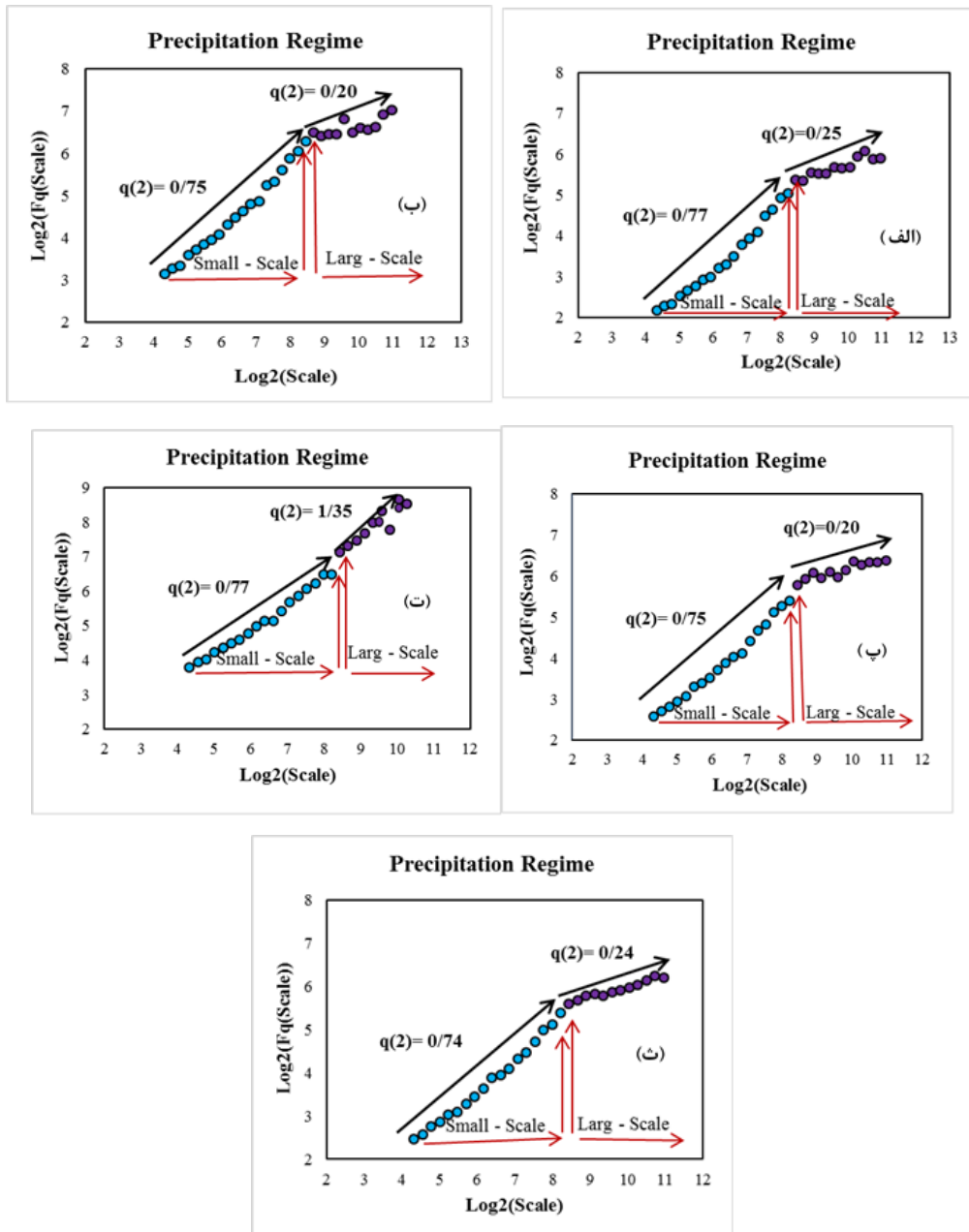
**جدول ۳:** مقادیر کلی نمایه هرست ایستگاه‌های حوضه آبریز کرخه

نام ایستگاه	حافظه سری زمانی	نمایه هرست (H)
نهاوند	بلند مدت	۰/۶۲۴۷
ملایر	بلند مدت	۰/۶۰۳۳
کوه دشت	بلند مدت	۰/۶۳۰۲
کنگاور	بلند مدت	۰/۶۲۷
کرمانشاه	بلند مدت	۰/۶۵۳۹
دو آب	بلند مدت	۰/۸۷۶۱
الشتر	بلند مدت	۰/۶۱۴۸
خرم‌آباد	بلند مدت	۰/۶۶۳۴
پل دختر	بلند مدت	۰/۵۹۸۳

### ب) تحلیل ماهیت فرکتالی بارش حوضه آبریز دز

نتایج بررسی ترسیم تابع زمان حاصل از (DFA2) در مقابل مقیاس‌های زمانی مختلف ایستگاه‌های حوضه دز نشان داد تمام ایستگاه‌ها دارای یک نقطه تقاطع است. بدین ترتیب دو رژیم بارشی دارند. تمام ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی ۶۷ – ۱۶ و ۶۷-۱۰۲ روز دارای شکست است. مقادیر نمایه مقیاسی (نمایه هرست) رژیم بارشی اول (کوچک مقیاس) برای ایستگاه‌های دزفول، دورود، بروجرد، دره تخت و الیگودرز به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۷۴، ۰/۷۵، ۰/۷۵، ۰/۷۷ محاسبه شده است. مقادیر نمایه هرست رژیم بارشی دوم (بزرگ مقیاس) برای ایستگاه‌های دزفول، دورود، بروجرد، دره تخت و الیگودرز به ترتیب ۰/۲۴ و ۱/۳۵، ۰/۲۰، ۰/۲۰، ۰/۲۵ به دست آمده است (شکل ۳). میانگین نمایه هرست رژیم بارشی اول (کوچک مقیاس) ایستگاه‌ها مورد بررسی برابر ۰/۷۵ است؛ بنابراین دارای حافظه بلند مدت و پایدار و سری زمانی آن ایستا و قابل پیش‌بینی است. میانگین نمایه هرست رژیم دوم (بزرگ مقیاس) نیز ۰/۴۴ است. در نتیجه حافظه آن کوتاه مدت و

سری زمانی آن نا ایستا و غیرقابل پیش‌بینی است که نشان از رفتار تصادفی سیگنال‌های بارشی دارند. میانگین نمایه مقیاسی کلی ایستگاه‌ها  $0/68$ ، نتایج نشان می‌دهد ایستگاه‌های این حوضه دارای حافظه بلند مدت و پایدار است و سری زمانی آن نیز ایستا و قابل پیش‌بینی است جدول (۴).



شکل ۳: نمودار لگاریتمی نوسان کلی در مقابل مقیاس زمانی بارش ایستگاه‌های حوضه آبریز دز (الف) ایستگاه دزفول (ب) ایستگاه دورود (پ) ایستگاه بروجرد (ث) ایستگاه الیگودرز

جدول ۴: مقادیر کلی نمایه هرست ایستگاه‌های حوضه آبریز دز

نام ایستگاه	حافظه سری زمانی	نمایه هرست (H)
الیگودرز	بلند مدت	۰/۶۲۱۳
بروجرد	بلند مدت	۰/۶۴۵۲
دره تخت	بلند مدت	۰/۶۳۲۵
دزفول	بلند مدت	۰/۶۴۹۳
دورود	بلند مدت	۰/۶۱۹۹

## ج) آزمون همبستگی پیرسون

بر اساس محاسبه صورت گرفته رابطه بین رفتار مقیاسی و توپوگرافی در حوضه آبریز کرخه نشان داد رژیم‌های بارشی اول (کوچک مقیاس) و رژیم بارشی دوم (بزرگ مقیاس) به ترتیب با مقادیر ۰/۲۸ و ۰/۱۲ ارتباط معناداری بین دو پارامتر مورد بررسی مشاهده نمی‌شود جدول (۵). در بررسی حوضه دز در رژیم بارش اول (کوچک مقیاس) با ضریب همبستگی ۰/۹۵۸- ارتباط معناداری وجود دارد. ولی در رژیم بارشی دوم (بزرگ مقیاس) با ضریب همبستگی ۰/۳۰ ارتباط معنادار وجود ندارد جدول (۶).

جدول ۵: محاسبه ضریب همبستگی ایستگاه‌های حوضه آبریز کرخه

نام ایستگاه	ارتفاع (y)	شیب کلی (x)	رژیم اول (x)	رژیم دوم (x)
نهادند	۱۶۷۷/۸	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۲۳
ملایر	۱۷۷۶/۵	۰/۶۰	۰/۷۷	۰/۲۲
کوه دشت	۱۱۹۷/۸	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۲۸
کنگاور	۱۴۶۸	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۲۴
کرمانشاه	۱۳۱۸/۵	۰/۶۵	۰/۷۷	۰/۱۹
دو آب	۱۵۳۰	۰/۸۷	۰/۶۷	۱/۲
الشتیر	۱۵۶۷/۱	۰/۶۱	۰/۷۲	۰/۲۱
خرم‌آباد	۱۱۴۷/۸	۰/۶۶	۰/۷۸	۰/۲۳
پل دختر	۷۱۳/۵	۰/۶۰	۰/۶۷	۰/۲۹
ضریب همبستگی	-	۰/۱۳۸۳	۰/۲۸۸۳	۰/۱۲۷۸

جدول ۶: محاسبه ضریب همبستگی ایستگاه‌های حوضه آبریز دز

نام ایستگاه	ارتفاع (y)	شیب کلی (x)	رژیم اول (x)	رژیم دوم (x)
الیگودرز	۲۰۲۲/۱	۰/۶۲	۰/۷۴	۰/۲۴
بروجرد	۱۶۲۹	۰/۶۴	۰/۷۵	۰/۲۰
دره تخت	۱۸۹۰	۰/۹۳	۰/۷۴	۱/۳
دزفول	۸۲/۹	۰/۶۴	۰/۷۷	۰/۲۵
دورود	۱۵۲۲/۳	۰/۶۱	۰/۷۵	۰/۲۰
ضریب همبستگی	-	۰/۲۹۹۶	-۰/۹۵۸۰	۰/۳۰۹۴

## نتیجه گیری

بارش از سرکش ترین عناصر اقلیمی به حساب می آید که شناخت رفتار نوسانی آن (رفتار آشکار و نهان) از ضروریات برنامه ریزی های محیطی است. در میان رویدادهای اقلیمی، بارش از اهمیت ویژه ای برخوردار است. چنانکه کمبود دراز مدت آن می تواند خشک سالی و ریزش شدید آن می تواند سیل را به همراه داشته باشد. بررسی رفتار بارش در مناطق مختلف از پیچیدگی چشمگیری برخوردار است؛ بنابراین دو حوضه آبریز کرخه و دز به علت کوهستانی بودن و نقش ناهمواری ها زاگرس در توزیع نایک نواخت بارش سبب ظهور رفتار ناهنجار و بی قاعده بارشی در این مناطق شده است. نوسان های بارشی شدید این مناطق موجب رفتار مقیاسی سیگنال های بارشی شده است. در این مطالعه با استفاده از تحلیل تک فرکتالی (DFA) سیگنال های بارش روزانه ایستگاه های دو حوضه آبریز کرخه و دز مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج نشان داد که بارش ایستگاه های هر دو حوضه از رفتار مقیاسی خاصی تبعیت می کنند. این دو حوضه با وجود قرار داشتن در منطقه زاگرس و به صورت مشخص تر زاگرس شکسته تفاوت های جزئی از نظر رژیم بارشی دارند. چنانکه برای تمام ایستگاه های هر دو حوضه دو رژیم بارشی استخراج شد. یک رژیم بارشی با مقیاس زمانی کمتر از ۶۷ روز و رژیم دیگر با مقیاس زمانی بیش از ۶۷ روز مشخص شد. بر اساس مقادیر نمایه هرست مقیاس رژیم بارش کمتر از ۶۷ روز (کوچک مقیاس) دارای حافظه بلند مدت و سری زمانی آن پایدار و قابل پیش بینی است. همچنین رژیم بارشی بیش از ۶۷ روز (بزرگ مقیاس) دارای حافظه کوتاه مدت و سری زمانی آن ناپایدار و غیر ایستا است. نتایج نشان داد رفتار بارشی در هر دو رژیم بارشی کاملاً متفاوت است زیرا رژیم بارشی کوچک مقیاس دارای بارش ها همگن و قابل پیش بینی است در حالی که رژیم بارشی بزرگ مقیاس دارای توزیع بارشی نایک نواخت و غیر قابل پیش بینی است. این امر می تواند به علت وضعیت توپوگرافی ناهمگن و نقشی که ناهمواری ها در توزیع نایک نواخت بارش ایفا می کند جستجو کرد. نقش توپوگرافی در شدت بخشیدن به ناهمگنی توزیع بارش در بزرگ مقیاس بیش تر از کوچک مقیاس بود. برحسب مقادیر نمایه مقیاس، مشخص شد که مکانیزم تولید کننده بارش در کوچک مقیاس از پیچیدگی کمتری نسبت به بزرگ مقیاس برخوردار است. همچنین در بررسی ضریب همبستگی رابطه بین رفتار مقیاسی بارش و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه نشان داد در حوضه آبریز کرخه در هر دو رژیم بارشی ارتباط معناداری را نشان نمی دهد، در حالی که حوضه آبریز دز رژیم بارشی ریزمقیاس ارتباط معنی دار وجود دارد. ولی در رژیم بارشی بزرگ مقیاس ارتباط معنی دار وجود ندارد؛ که این امر می تواند در حوضه آبریز کرخه ناشی از وضعیت توپوگرافی متعارض و ناهمگون در بخش های مختلف منطقه باشد.

## منابع

- ۱- اژدری مقدم، مهدی، هروی، زهرا (۱۳۹۶): ارزیابی روش های استخراج منحنی IDF با رابطه مبتنی بر ماهیت فرکتالی بارش، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، شماره ششم، صص ۲۸۲ - ۲۷۱.

- ۲- باباعلی، حمیدرضا، راک، زهره، سپهوند، رضا (۱۳۹۷): برآورد سیلاب طرح حوضه آبخیز با به‌کارگیری تئوری فرکتال و مدل بارش - رواناب HEC - HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه خرم‌آباد)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ششم، صص ۱۱۰۷ - ۱۰۹۷.
- ۳- هدا، بلوکی، فاضلی، مهدی، شریف‌زاده، مهدی (۱۴۰۰): بررسی تأثیر اقلیم تحت سناریوهای انتشار بر منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارش در ایستگاه همدید زاهدان با استفاده از تئوری فرکتال، نشریه آکو هیدرولوژی، شماره دوم، صص ۷۴۷-۷۳۵.
- ۴- حجازی زاده، زهرا، فتاحی، ابراهیم، سلیقه، محمد، ارسلانی، فاطمه (۱۳۹۲): بررسی تأثیر سیگنال‌های اقلیمی بر بارش ناحیه مرکزی ایران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره بیست و نهم، صص ۸۹-۷۵.
- ۵- صفوی، حمیدرضا، دادجو، شهاب‌الدین، نعیمی، گلنار (۱۳۹۸): استخراج منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی (IDF) در شرایط تغییر اقلیم، مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک اصفهان، تحقیقات منابع آب ایران، شماره دو، صص ۲۲۷ - ۲۱۷.
- ۶- عساکره، حسین، یوسفی زاده، رحیم (۱۳۹۴): بررسی روند و رفتار بارشی شهر شاهرود با استفاده از مدل‌های آماری و تحلیل طیفی، فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، شماره سوم، صص ۶۶-۵۱.
- ۷- لشنی زند، مهران (۱۳۸۰): پهنه‌بندی خشک‌سالی‌های اقلیمی در استان لرستان با به‌کارگیری شاخص‌های آماری، مجموعه مقالات کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
- ۸- محمودآبادی، مهدی، امیدوار، کمال، مظفری، غلامعلی، مزیدی، احمد (۱۳۹۸): تحلیل اثرگذاری سیگنال‌های اقلیمی پیوند از دور سیل (مطالعه موردی استان سیستان)، فصلنامه جغرافیایی، شماره چهل و پنجم، صص ۱۵-۲۴.
- ۹- مصطفی‌زاده، رئوف، ذبیحی، محسن، ادهمی، مریم (۱۳۹۶): تحلیل زمانی و مکانی بارش ماهانه در استان گلستان به کمک بعد فرکتالی، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره یک، صص ۴۵-۳۴.
- ۱۰- میر هاشمی، حمید، یاراحمدی، داریوش (۱۴۰۰): تحلیل چند فرکتالی بارش‌های روزانه ایستگاه‌های منتخب غرب و جنوب غرب، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره سوم، صص ۴۹۹-۴۸۵.
- ۱۱- مؤلف: دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو (۱۳۹۴): سالنامه آماری آب کشور ۱۳۹۱-۱۳۹۰، ص ۱۳.
- ۱۲- نارنگی فرد، مهدی، فاطمی، مهران، کمانه، عبدالعلی، طالبی، محمدصادق (۱۳۹۹): واکاوی و آشکارسازی ساختار روزانه بارش در ایستگاه همدید شیراز با رویکرد فراکتالی، نشریه علمی و جغرافیایی و برنامه‌ریزی، شماره هفتادو دو، صص ۳۸۸-۳۶۷.
- ۱۳- نوری قیداری، محمدحسین (۱۳۹۱): تعیین حداکثر شدت بارش طراحی با استفاده از روش تلفیقی تئوری فرکتال و توزیع احتمالاتی مقادیر حدی تعمیم یافته، علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، شماره دوم، صص ۹۰ - ۸۳.
- ۱۴- نوری قیداری، محمدحسین (۱۳۹۱): برآورد رگبار با استفاده از تئوری مالتی فرکتال در ایستگاه سد گتوند، نشریه دانش آب و خاک، شماره یکم، صص ۱۵۴ - ۱۴۵.

- 15- Agbazo, M. Gobi, G. Alamou, E. Kounouhewa, B. And Afouda, A (2019): Fractal Analysis Of The Long-Time Memory In Precipitation Over Benin (West Africa). Journal Advance In Meteorolgy, 12 Pages.
- 16- Bara, M. Gaal, L. Kohnova, S. Szolgyay, J. Hlavcova, K (2010): On The Use Of The Simple Scaling Of Heavy Rain Fall In A Regional Estimation Of Idf Curves In Slovakia. Journal J. Hydrol. Hydromech, Vol. 58, Pp. 49 - 63.
- 17- Valencia, J. L. Saa Requejo, A. Gasco, J. M, Tarquis, A. M. (2010): Auniversal Multifractal Description Applied To Precipitation Patterns Of The Ebro River Basin, Spain. Journal Climate Research Clim Res, Vol. 44, Pp. 17 - 25.
- 18- Kiely, G. Ivanova, K. (1999). Multifractal Analysis Of Hourly Precipitation. Journal Phys. Chem. Earth (B), Vol. 24, Pp. 781 - 786.