



Identification of Small and Large Fluctuations of the Daily Rainfall Time Series of Poldokhtar

Hamid Mirhashemi*

Assistant Professor in Climatology, Geography Sciences Department, Lorestan University

Received: 11 July 2024/ **Revised:** 15 September 2024/ **Accepted:** 18 September 2024

<https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2035302.1018>

Abstract

Precipitation is considered as the most important factor in shaping the state of climate and the change of water on the surface of the earth, the surface of the soil and the atmosphere. fluctuating and multiscale signal appears, which has strong local fluctuations. In this study, in order to detect extreme large and small fluctuations in the daily precipitation time series of Poldokhtar synoptic station, two approaches of multifractal analysis of detrended fluctuations (MF-DFA) and discrete wavelet analysis with maximum overlap (MODWT) were used. The results of the analysis of annual fluctuations, two, four, eight and 12 years indicate the existence of three fluctuation periods in the precipitation signal for the annual scale. So that the fluctuations in the first period have a relatively regular behavior with a constant trend, in the second period they have a decreasing trend and finally in the third period they have an increasing and highly fluctuating trend. Extreme large fluctuations have a maximum in 2018-2019 and extreme small fluctuations have a maximum in 2011. Also, the results of the analysis of fluctuations in the time scales of one to 12 years show a decrease in extreme small fluctuations and an increase in extreme large fluctuations, and in the periods when there was an increase in precipitation, there was an intense increase in large fluctuations and the periods that were parallel to an intense decrease in precipitation, extreme small fluctuations also show an intense increase.

Keywords: Fluctuation, Frequency, Poldokhtar, Precipitation, Wavelet.



شناسایی نوسان‌های کوچک و بزرگ سری زمانی بارش روزانه پلدختر

حمید میرهاشمی*

استادیار آب و هواشناسی گروه جغرافیا دانشگاه لرستان

دریافت: ۲۱ تیر ماه ۱۴۰۳ / اصلاحات: ۲۵ شهریور ماه ۱۴۰۳ / پذیرش: ۲۸ شهریور ماه ۱۴۰۳

<https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2035302.1018>

چکیده

بارش به عنوان مهمترین عامل در شکل‌دهی حالت آب و هوا و تغییر آب در سطح زمین، سطح خاک و جو قلمداد می‌شود که هم به سبب تأثیرپذیری از بسیاری از فرایندهای جوی و هم به سبب تأثیر گرمایش جهانی، سری زمانی آن معمولاً به صورت یک سیگنال نوسانی و چندمقیاسی نمایان می‌شود که از نوسان‌های محلی شدیدی برخوردار است. در این مطالعه نیر به منظور آشکارسازی نوسان‌های حدی کوچک و بزرگ در سری زمانی بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک پلدختر از دو رویکرد تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده (MF-DFA) و تحلیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل نوسان‌های سالانه، دو، چهار، هشت و ۱۲ ساله حاکی از وجود سه دوره نوسانی در سیگنال بارش برای مقیاس سالانه هستند. به طوری که نوسان‌ها در دوره اول از رفتاری نسبتاً منظم با روند ثابت، در دوره دوم از روند کاهشی و سرانجام در دوره سوم از روند افزایشی و بسیار نوسانی برخوردارند. نوسان‌های حدی بزرگ دارای بیشینه‌ای در سال‌های ۹۷-۹۸ و نوسان‌های حدی کوچک دارای بیشینه‌ای در سال ۱۳۹۰ هستند. همچنین نتایج حاصل از تحلیل نوسان‌ها در مقیاس‌های زمانی یک تا ۱۲ ساله نشان از کاهش نوسان‌های حدی کوچک و افزایش نوسان‌های حدی بزرگ دارد و در دوره‌های که بارش افزایش داشته، نوسان‌های بزرگ نیز افزایش شدیدی پیدا کرده‌اند و دوره‌هایی که مقارن با کاهش شدید بارش بوده‌اند، نوسان‌های حدی کوچک نیز افزایش شدیدی را نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی: بارش، پلدختر، فرکانس، موجک، نوسان.

مقدمه

بارش از جمله نوسانی‌ترین پدیده‌های جوی، آب و هواشناسی و هیدرو - اقلیمی است که از زوایایی مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. مقدار و نوع این پدیده در هر مکان متأثر از مکانیزم‌ها و عناصر گوناگونی است که هر کدام از آنها در مقیاس‌های زمانی - مکانی متفاوتی عمل می‌کنند. بارش تنها به صورت یک سو به این عناصر تأثیر نمی‌پذیرد بلکه اثر متناوبی نیز بر این عناصر می‌گذارد. این مهمترین ماهیت دستگاه آب و هوا بوده که متشکل از عناصر و پدیده‌های است که در اندرکنش مداوم باهمدیگر قرار دارند. بنابراین بارش ضمن اینکه به عنوان یک پدیده هواشناسی و آب و هواشناسی محسوب می‌شود به عنوان مهمترین پدیده جوی چرخه آب نیز به شمار می‌رود. چنانکه بارش به عنوان مهمترین عامل در شکل‌دهی به حالت آب و هوا و تغییر آب در سطح زمین، سطح خاک و جو قلمداد می‌شود (Zhang et al., 2019). بدین ترتیب بارش ضمن اینکه برآیند بسیاری از فرایندهای پیچیده جوی است که همواره درک آنها ساده نیست (García-Marín et al., 2008)، خود به‌عنوان عامل محرک بسیاری از فرایندهای دیگر نیز محسوب می‌شود (De Lima and De Lima., 2009). بنابراین هم به سبب تأثیرپذیری بارش از بسیاری از فرایندهای جوی و هم به سبب تأثیر گرمایش جهانی بر آن، سری زمانی بارش معمولاً به صورت یک سیگنال نوسانی و چندمقیاسی نمایان می‌شود که از نوسان‌های محلی شدیدی برخوردار بوده (Mirhashemi and Yarahmadi., 2022) و غالباً به صورت یک فرایند کاملاً غیرخطی و نامنظم جلوه می‌کند (Valencia et al., 2010). چنانکه مشخص است سری زمانی بارش، تغییرپذیری شدیدی را در زمان و مکان نشان می‌دهد، به طوری که در این دو بُعد از رفتار مقیاسی برخوردار است (Pierini and Telesca., 2010). در نتیجه، با توجه به وجود نوسان‌های کوتاه‌مدت، فصلی و بلندمدت در سری زمانی بارش (Zhou, 2014) لازم است تغییرپذیری بارش در آن دامنه‌ای از مقیاس‌ها که جدا از مقیاسی هستند که می‌تواند به صورت مستقیم از مشاهدات بدست آیند، مشخص شود (Walther., 2002). از سویی کشف و شناسایی چنین نوسان‌هایی مستلزم کاربرد ابزارهای قدرتمندی همچون تبدیل موجک و تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده (MF-DFA) است که قادراند چنین تغییراتی را در سیگنال‌های نایستا و نوسانی همانند سیگنال بارش، کشف کنند. بنابراین از یک سو با توجه به نقش مهمی که بارش در محیط ایفا می‌کند و از سوی دیگر با احتساب به ماهیت پیچیده و نوسانی آن به ویژه در مناطق کوهستانی هدف از انجام این مطالعه شناسایی و استخراج نوسان‌های حدی کوچک و بزرگ سری زمانی بارش روزانه ایستگاه سینوتیک پلدختر در مقیاس‌های زمانی مختلف است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

شهرستان پلدختر به‌عنوان یکی از شهرستان‌های استان لرستان محسوب می‌شود که در جنوب این استان بین طول جغرافیایی 47° تا 48° شرقی و عرض جغرافیایی 32° تا 33° شمالی قرار گرفته است. از نظر تقسیمات سیاسی، ۲ بخش، ۷ دهستان، ۲ نقطه شهری و ۲۶۹ نقطه روستایی دارد. شهرستان پلدختر از شمال و شرق به شهرستان خرم‌آباد، از غرب به رومشکان، از شمال و شمال غرب به شهرستان کوه‌دشت، از جنوب و جنوب غرب به استان خوزستان و ایلام محدود می‌شود (شکل ۱). این شهرستان دارای آب و هوای معتدل در زمستان و گرم در تابستان است و به دلیل تنوع جاذبه‌های گردشگری، از قطب‌های گردشگری استان لرستان به شمار می‌رود. روزگاری جاده سراسری تهران به استان خوزستان از این منطقه می‌گذشت، اما اکنون این جاده از خرم‌آباد به وسیله آزادراه خرم‌زال به استان خوزستان وصل می‌شود. رودخانه دائمی کشکان نیز از دره‌های این منطقه عبور می‌کند که منظره زیبایی به این منطقه بخشیده است. شهرستان پلدختر با قرارگیری در میان سلسله جبال زاگرس در حدود ۸۷/۵ درصد آن را کوهستان شامل می‌شود. با پیشروی جنوب‌سو از کوهستانی‌بودن منطقه کاسته و همواری‌ها بیشتر شده‌اند. با توجه به کوهستانی‌بودن منطقه و تنوع عوارض زمین‌ساختی آن، از نظر مورفولوژیکی دارای منظره‌ای یکنواخت نبوده، بلکه از کوه‌های مرتفع، دشت‌های باریک و کم‌عرض و دره‌های آبرفتی تشکیل شده است.

ارزیابی مقادیر بارش و دمای ایستگاه پلدختر نشان می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد بارش سالانه آن از اکتبر تا انتهای مارس اتفاق می‌افتد. بنابراین برای تعیین گروه اصلی اقلیمی ایستگاه پلدختر در سیستم کوپن - گایگر، آستانه بارش به مقدار ۴۶۱ میلی‌متر محاسبه شد. با توجه اینکه میانگین بارش سالانه پلدختر به مقدار ۳۰۷ میلی‌متر کمتر از آستانه بارشی یاد شده است، بنابراین اقلیم پلدختر در گروه اصلی B یعنی اقلیم خشک (بیابانی و استپی) قرار دارد.

$$P_{\text{threshold}} = (2 * T) \rightarrow 2 * 23.1 = 46.1 \rightarrow B = 10 * P_{\text{threshold}} \Rightarrow 461 \quad (1)$$

طبقه اقلیمی B به دو زیر گروه بیابانی (W) یا اقلیم خشک ($W = P < 5 * P_{\text{threshold}}$) و زیر گروه استپی (S) یا اقلیم نیمه خشک ($S = P \geq 5 * P_{\text{threshold}}$) تقسیم می‌شود. همچنین از لحاظ حرارتی به دو زیر گروه گرم ($h = T \geq 18$) و زیر گروه سرد ($k = T < 18$) نیز تقسیم شده است. در این راستا با توجه به اینکه کمتر از ۳۰ درصد از بارش سالانه پل دختر در محدوده زمانی آوریل تا پایان سپتامبر اتفاق می‌افتد و با توجه به اینکه مقدار بارش سالانه پل دختر از آستانه $5 * P_{\text{threshold}} \rightarrow 230.5$ بیشتر است، در نتیجه شهرستان پل دختر دارای تابستان خشک بوده و در زیر گروه S یعنی نیمه خشک (استپی) قرار می‌گیرد. از سویی با استناد به میانگین دمای سالانه پل دختر به مقدار ۲۳ درجه سلسیوس، اقلیم آن در زیر گروه h نیز قرار می‌گیرد. براین مبنا، طبقه اقلیمی پل دختر به عنوان BSh که به معنی اقلیم گرم نیمه خشک است مشخص شد. براساس تشریح‌های کوپن در مورد مناطق BSh، میزان تبخیر - تعرق بیش از میزان بارندگی است و بارندگی مؤثر در این مناطق ارتباط بسیار نزدیکی با تلفات آب حاصل از تبخیر دارد. زیرا میزان تبخیر در ارتباط با افزایش درجه حرارت فزونی پیدا می‌کند.

به منظور انجام این پژوهش از سری زمانی داده‌های بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک پل دختر (۱۴۰۱-۱۳۷۸) استفاده شد. همچنین برای استخراج نوسان‌های حدی کوچک و بزرگ سری زمانی بارش برای مقیاس‌های زمانی، سالانه، دوسال، چهار، هشت و ۱۲ ساله از دو روش تحلیل نوسان‌های چندفرکتالی روندزدایی شده (MF-DFA) و تحلیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) به شرح زیر استفاده شد.

تحلیل نوسان‌های چندفرکتالی روندزدایی شده^۱ (MF-DFA)

با در نظرگیری داده‌های سری زمانی بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک پل دختر به صورت $x(k)$ که (N: طول سری زمانی بارش) از رویکرد MF-DFA جهت آشکارسازی نوسان‌های کوچک و بزرگ به ترتیب زیر استفاده شد. در گام اول: انحراف تجمعی این سری زمانی با کاربرد رابطه ۱ به صورت نیمرخ $Y(i)$ که $\langle x \rangle$ میانگین سری زمانی X_k است، حساب شد.

$$Y(i) = \sum_{k=1}^i (x_k - \langle x \rangle), \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

در گام دوم، نیمرخ $Y(i)$ برای چهار مقیاس زمانی $S_i = [1, 2, 4, 8, 12]$ به تعداد $N_s = \text{int}(N / S_i)$ زیرسیگنال ناهمپوشان برای هر مقیاس زمانی S_i تقسیم شد. در گام سوم، روند محلی هر کدام از زیرسیگنال‌های N_s هر مقیاس زمانی، از طریق برازش حداقل مربعات y_v (خط برازش در بخش v است) به سری‌های زمانی و آنگاه با کسر داده‌ها از این روندهای محلی، نیمرخ $Y(i)$ روندزدایی شد. در ادامه، نوسان محلی $F^2(s, v)$ هر بخش $v = 1, \dots, N_s$ با استفاده از رابطه ۲ تعیین شد.

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

با توجه به اینکه تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده از طریق بسط q مرتبه تابع نوسان کلی بدست می‌آید. به طوری که کمیت q را می‌توان با هر مقداری به غیر از صفر مقاردهی کرد (Movahed et al., 2006). به ترتیبی که تابع نوسان محلی q مرتبه نوسان، بخش‌هایی با نوسان کوچک را از بخش‌هایی با نوسان بزرگ تمییز می‌دهد. بنابراین در گام چهارم، تابع نوسان برای $q = 4$ و $q = -4$ نیز مشخص شد (رابطه ۳).

$$F_q(s) = \left\{ \frac{1}{N_s} \sum_{v=1}^{N_s} [F^2(s, v)]^{q/2} \right\}^{1/q} \quad (4)$$

شایان توجه است که مقادیر مثبت و منفی q به ترتیب بخش‌های با نوسان‌های بزرگ و کوچک را مشخص می‌کنند (Kantelhardt., 2001 and Movahed et al., 2006).

تبدیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی^۱ (MODWT)

تبدیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) نسخه اصلاح‌شده تبدیلات موجک گسسته (DWT) که در این مطالعه جهت شناسایی مقیاس زمانی نوسان‌ها از آن استفاده شده است. زیرا از محدودیت‌های تبدیل موجک گسسته آن است که تعداد مشاهدات باید مضربی از ۲ باشد. همچنین، تابع تبدیل موجک گسسته نسبت به نقطه شروع سری زمانی حساس است (Lark and Webster., 2001). از سویی، تبدیل موجک با بیشینه همپوشانی، نسخه اصلاح‌شده تبدیل موجک گسسته است که می‌تواند در مورد سری‌های زمانی با هر تعداد مشاهده بکار می‌رود. برخلاف تبدیل موجک گسسته که پس از هر مرحله از انجام الگوریتم، سری زمانی اصلی به دو سری با طول نصف سری مرحله قبل تقسیم می‌شود، در این تبدیل در هر مرحله اندازه سری جزئیات و سری کلیات برابر با سری اصلی است. این رویکرد اجازه می‌دهد تا داده‌های تجزیه‌شده در مقیاس‌های مختلف اعم از روند و جزئیات سری زمانی با همدیگر و سری زمانی اصلی به صورت هم‌تراز استخراج شوند. همچنین MODWT نسبت به جابجایی در زمان به صورت دوار سری زمانی حساس نیست و تخمین‌گر واریانس در این موجک کارتر از DWT است (Percival and Walden., 2000). چنانکه بکارگیری این ابزار، امکان برقراری رابطه بین متغیرهای را به صورت دینامیک و پیگیری تغییرات آنها را در طی زمان از منظر شدت و جهت تغییرات و تحلیل‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت و تحلیل زمان - فرکانس را مهیا می‌کند. بنابراین در این مطالعه جهت تحلیل نوسان‌ها و واریانس موجکی سری زمانی بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک پلدختر از رویکرد موجک گسسته با بیشینه همپوشانی بر پایه تابع موجک مادر سیملت ۲ (sym2) استفاده شد. بدین ترتیب سری زمانی بارش با استفاده از MODWT به ۱۲ سطح مقیاسی تجزیه شدند. شایان ذکر است که از تجزیه سیگنال توسط MODWT، دو گونه ضریب شامل ضرایب موجکی (جزئیات (D)) و ضرایب مقیاسی (کلیات (S)) حاصل می‌شود. ضرایب مقیاسی نشان‌دهنده ضرایب تبدیل موجک با تفکیک بالا (فرکانس پایین) هستند که روند کلی و هموار را در سری زمانی بارش مشخص می‌کنند. در مقابل، ضرایب موجکی (فرکانس بالا) اطلاعات جزئی روندها و تناوب‌های معینی از سری‌های زمانی هیدرولوژیکی را ارائه می‌دهند. هر مولفه D یک دوره زمانی معین یا مقیاس زمانی مشخصی را نشان می‌دهد (Mirhashemi., 2021).

تحلیل چندنمایشی موجکی^۲ (MRA)

این نوع از تجزیه موجکی، یک تجزیه جمع‌پذیر است که در ادبیات موجکی به عنوان تحلیل چندنمایشی شناخته می‌شود. این تجزیه بیان می‌کند که می‌توان x (سری زمانی) را بصورت مجموعه‌ای از $J_n + 1$ سری زمانی جدید مبتنی بر مقیاس زمانی مشخصی تجزیه کرد.

$$D_j = w_j^T w_j \quad , \quad S_{J_0} = v_{J_0}^T v_{J_0} \quad (5)$$

در رابطه فوق w_j و v_{J_0} به ترتیب ضرایب موجکی و ضرایب مقیاس؛ D_j و S_{J_0} به ترتیب بردارهای N بُعدی زامین سطح جزئیات و J_n زامین سطح کلیات است. اکنون رابطه ۵ بدست می‌آید.

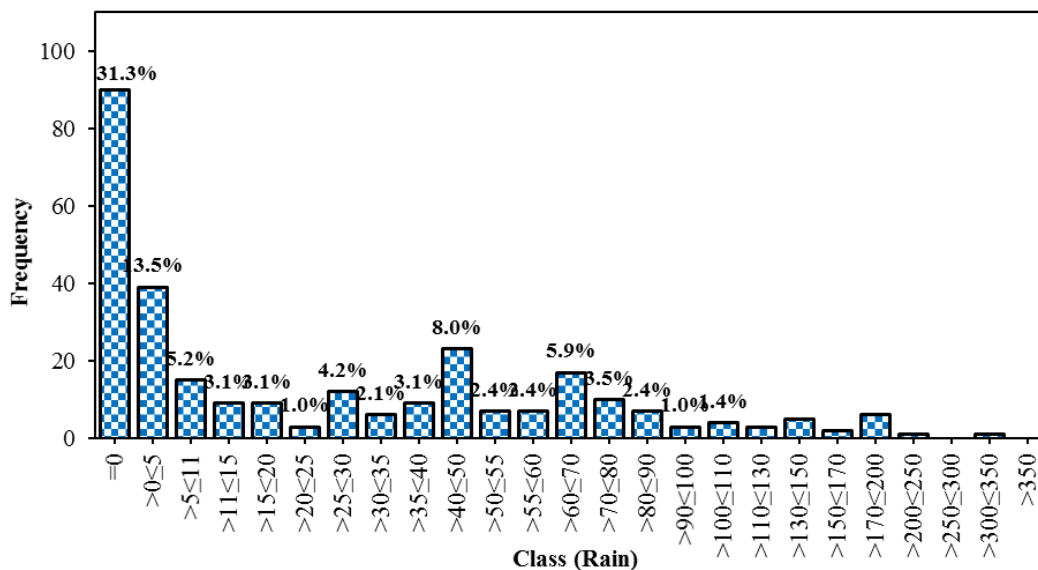
$$x = \sum_{j=1}^{J_0} D_j + S_{J_0} \quad (6)$$

که D_j یک سری زمانی است که نوسان‌ها را در مقیاس زامین سطح تجزیه موجکی منعکس می‌کند در صورتی که S_{J_0} سری زمانی است که میانگین مقیاس J_n زامین سطح تجزیه موجکی را منعکس می‌کند (Percival and Walden., 2000).

نتایج و بحث

میانگین سالانه بارش پلدختر برابر با ۳۹۱ میلی‌متر با ضریب تغییرات ۴۱ درصد است. این مقدار ضریب تغییرات نشان از رژیم بارشی با بی‌نظمی خفیف دارد. بیشترین حجم بارش فصلی آن در فصل‌های زمستان و پاییز به ترتیب با میانگین مجموع ماهانه ۵۰ و ۴۶ میلی‌متر اتفاق می‌افتد. بهار با میانگین مجموع بارش ۳۴ میلی‌متر در رتبه سوم قرار دارد. تابستان به عنوان فصل خشک و بدون بارش این ایستگاه به شمار می‌رود. از منظر بارش ماهانه، آذرماه با میانگین مجموع بارش ۸۹ میلی‌متر و فروردین با میانگین مجموع بارش ۷۵ میلی‌متر به عنوان پر بارش‌ترین ماه‌های سال قلمداد می‌شوند. همچنین بیشینه بارش ماهانه در فروردین‌ماه ۱۳۹۸ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۳۴۲ و ۲۳۷ میلی‌متر بوده که برابر با میانگین بلندمدت مجموع بارش سالانه است. در صورتی که مجموع بارش در فروردین‌ماه ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب یک و ۰/۸ میلی‌متر بوده است. چنین خصوصیتی نشان از تغییرات شدید و نوسانی بودن بارش در پلدختر دارد. به ترتیبی که بررسی تغییرات بارش‌های ماهانه حاکی از بی‌نظمی رژیم بارش دارد. در این خصوص اسفندماه و آذرماه نسبت به سایر ماه‌های سال از بی‌نظمی کمتری برخوردارند.

طبقه‌بندی مجموع بارش ماهانه حاکی از این است که ۳۱/۳ درصد از ماه‌های تحت بررسی، بدون بارش بوده‌اند. به این ترتیب به طور میانگین در هر سال حدود ۴ ماه خشک و بدون بارش وجود دارد. طبقه دوم شامل بارش‌های کمتر از ۱۱ میلی‌متر با فراوانی ۱۸/۸ درصد است. بنابراین با احتساب این دو طبقه که در مجموع شامل ۵۰ درصد از ماه‌های سال هستند، مشخص می‌شود که به طور میانگین ۶ ماه از سال یا بدون بارش بوده‌اند یا بارشی کمتر از ۱۱ میلی‌متر داشته‌اند. از سویی در حدود ۳۱/۳ درصد از ماه‌های بارشی، بارشی کمتر از میانگین بارش ماهانه (۳۲/۶ میلی‌متر) داشته‌اند. همچنین در مجموع بارش ماهانه ۴ ماه از سال، بیش از ۵۰ میلی‌متر بوده است. به واقع میانگین مجموع بارش ماهانه ۵۰ میلی‌متر حاصل میانگین ماه‌های پر بارش سال از آبان تا اردیبهشت است (شکل ۱).

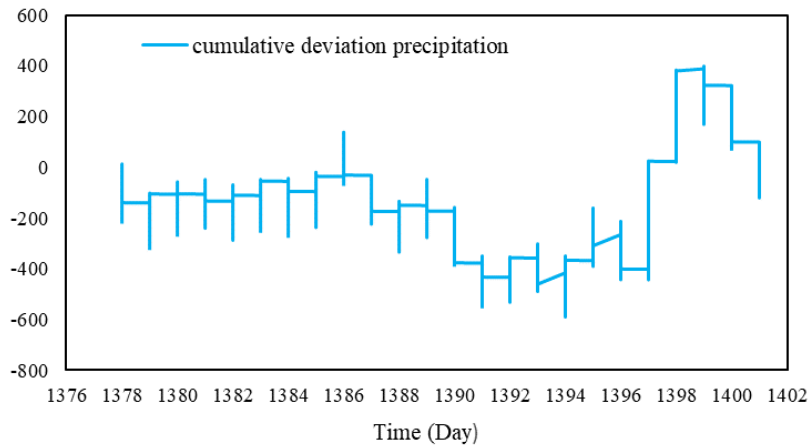


شکل ۱. نمودار طبقات بارشی ایستگاه سینوتیک پلدختر (۱۳۷۸-۱۴۰۱)

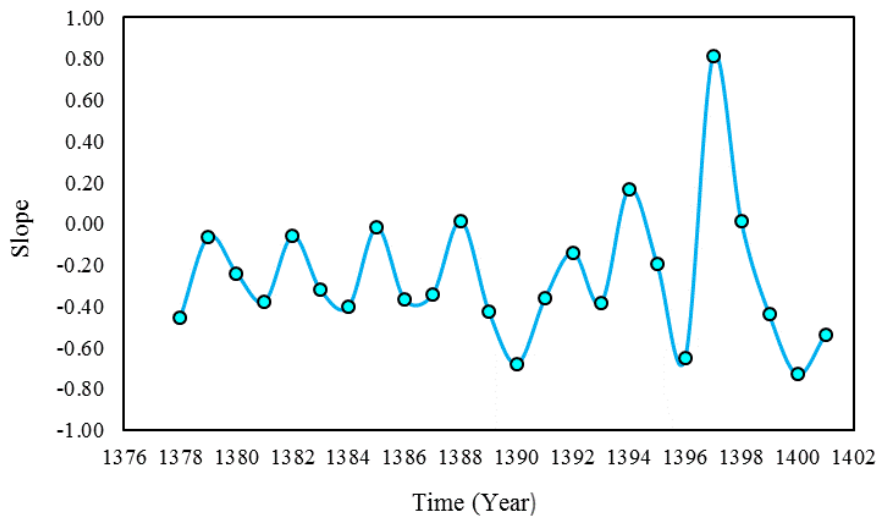
Fig. 1. The diagram of precipitation classes of Poldokhtar Synoptic station (1999-2022)

با اتکاء به نمودار تجمعی انحراف از میانگین بلندمدت بارش روزانه، چندین دوره نوسانی در بارش روزانه وجود دارد که اکسترم‌های محلی به صورت بیشینه‌ای از نوسان‌های بزرگ و کوچک آنها را از هم جدا کرده‌اند. دوره اول به صورت یک دوره منظم با الگوی سینوسی و روند کلی نسبتاً ثابت رخنمون پیدا می‌کند. در دوره دوم، نوسان‌های بارش کاهش شدیدی پیدا می‌کنند چنانکه بیشینه نوسان‌های کوچک در این دوره اتفاق می‌افتد. دوره سوم به صورت دوره نوسانی بسیار شدید با چندین بیشینه از نوسان‌های محلی بزرگ جلوه می‌کند (شکل ۲). ترسیم شیب‌های سالانه این نوسان‌ها، چگونگی گرایش نوسان‌ها در سه دوره زمانی یادشده را نشان می‌دهد. در این خصوص چندین شیب با بیشینه محلی وجود دارد که نشان‌دهنده بیشینه‌های محلی نوسان‌های حدی کوچک و بزرگ هستند (شکل ۳). به منظور نمایش سه دوره نوسانی یادشده، با استفاده از تحلیل موجک با بیشینه همپوشانی (MODWT)، سیگنال روزانه بارش از ۱ تا ۱۲ سطح فرکانسی تجزیه شد. نمایش این سیگنال‌های فرکانسی نشان می‌دهد که سه دوره نوسانی یادشده در ۸ امین سطح موجکی قابل تشخیص

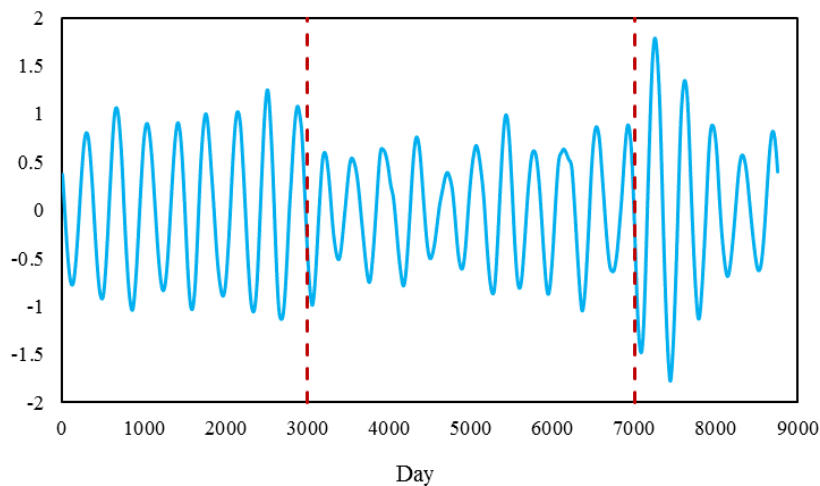
هستند (شکل ۴). این فرکانس مقارن با مقیاس زمانی سالانه است. در ادامه جهت آشکارسازی دوره‌هایی با نوسان‌های کوچک و بزرگ بارش، تابع نوسان برای مقیاس‌های زمانی یک ساله، دو، چهار، هشت و ۱۲ سال نیز انجام شد.



شکل ۲. نمودار انحراف تجمعی بارش روزانه از میانگین بلندمدت بارش
Fig. 2. Cumulative deviation diagram of daily precipitation from the long-term mean of precipitation

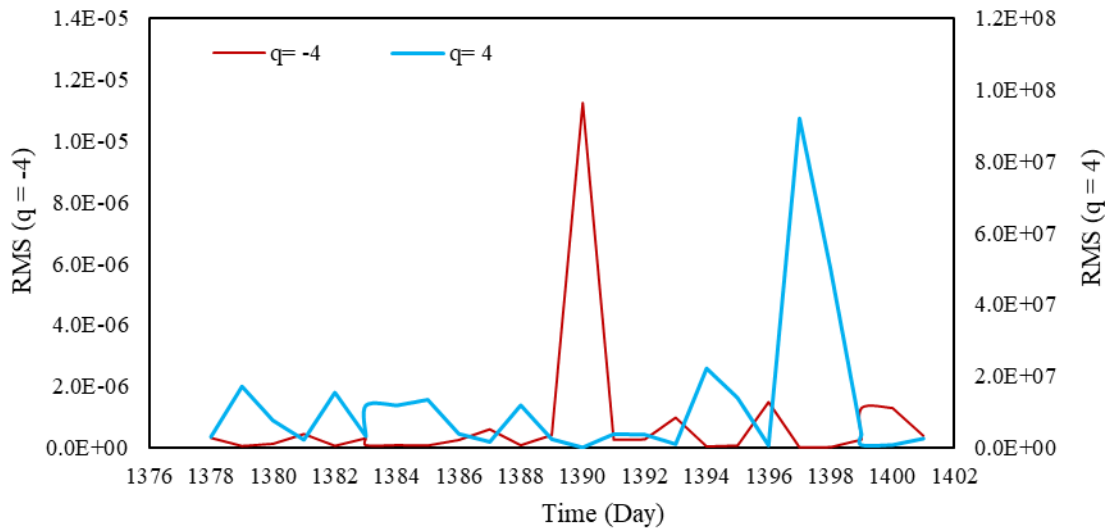


شکل ۳. نمودار مقادیر شیب سالانه خط برازش بارش‌های روزانه
Fig. 3. Graph of the annual slope values of the fitted line of daily rainfall



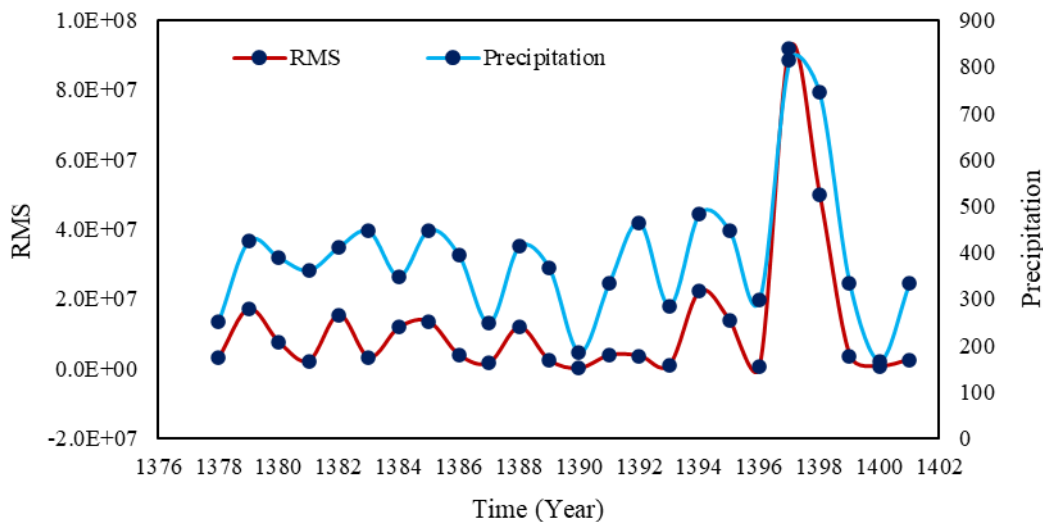
شکل ۴. سیگنال فرکانس بالا سطح ۸ تجزیه موجکی
Fig. 4. High frequency signal of wavelet decomposition level 8

نوسان‌های سالانه بارش دارای یک بیشینه نوسان محلی کوچک در سال ۱۳۹۰ و دو بیشینه محلی بزرگ در سال‌های ۹۷ و ۹۸ هستند. بنابراین در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ بارش از نوسان‌های شدید و بزرگی برخوردار بوده در صورتی که سال ۱۳۹۰، مقارن با نوسان‌های حدی کوچک بارش بوده است (شکل ۵). برازش سری زمانی نوسان‌های بزرگ سالانه و مجموع بارش سالانه نشان از یکنواختی روند این دو سری زمانی دارد (شکل ۶). به عبارتی در طی سال‌هایی که مجموع بارش سالانه افزایش داشته، نوسان‌های بارش نیز مقادیر بزرگی را نشان می‌دهند. چنین فرایندی از نایکنواختی توزیع زمانی بارش متاثر شده است. به عبارتی تمرکز حجم بسیار زیاد بارش در تعداد محدودی از روزهای سال موجب رخداد چنین نوسان‌های بزرگی شده است.



شکل ۵. سیگنال سری زمانی مقیاس سالانه بخش‌هایی با نوسان‌های حدی کوچک و بزرگ

Fig. 5. Time scale signal of annual scale segments with extreme large and small fluctuations



شکل ۶. نمودار برازش سری زمانی نوسان‌های بزرگ سالانه و مجموع بارش سالانه

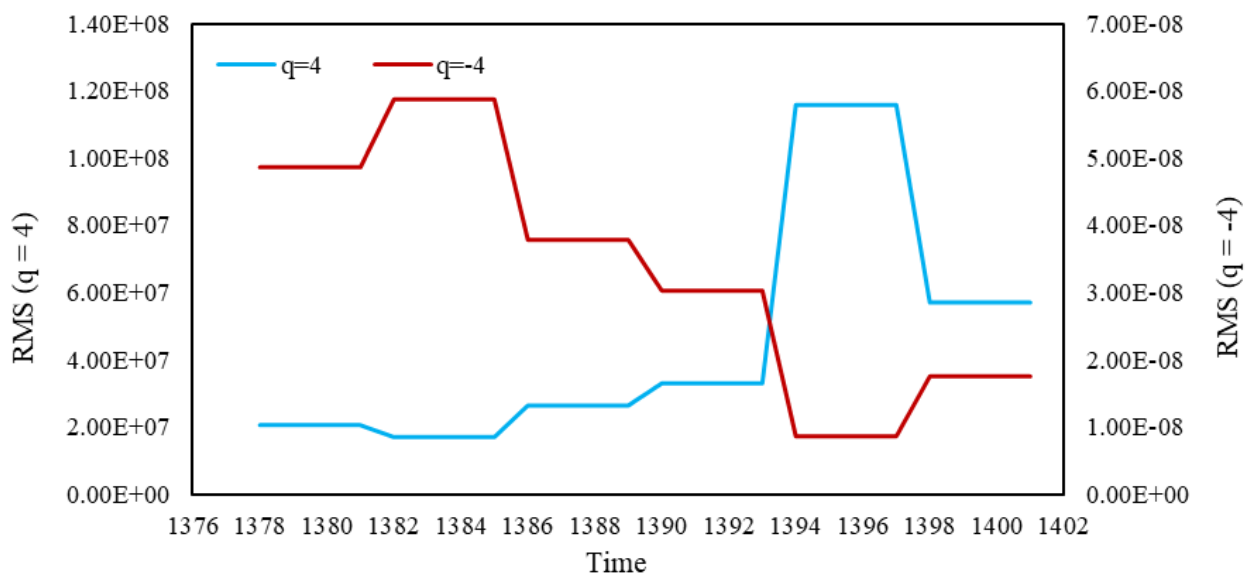
Fig. 6. Time series fitting diagram of large annual fluctuations and total annual precipitation

با تقسیم نوسان‌های کوچک به دو دوره شامل سال‌های قبل از ۱۳۹۰ و سال‌های بعد از آن و مقایسه دامنه تغییرات آنها، روشن می‌شود که اختلاف سالانه نوسان‌ها در دوره قبل از سال ۱۳۹۰ کمتر از اختلاف نوسان‌ها در دوره بعد از آن است. به عبارتی نوسان‌های کوچک بعد از سال ۱۳۹۰، افت و خیزهای شدیدتری را نشان می‌دهند. هرچند که نوسان‌های بزرگ قبل از سال ۱۳۹۰ نیز افت و خیزهای منظم و شدیدتری را نسبت به نوسان‌های کوچک نشان می‌دهند ولی شدت این افت و خیزها نسبت به نوسان‌های بزرگ بعد از

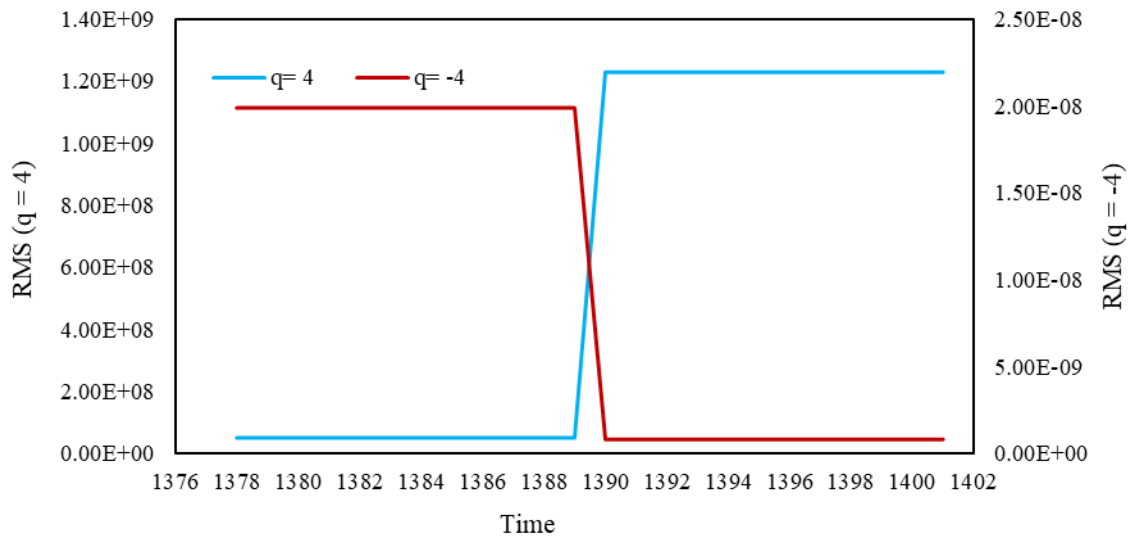
سال ۱۳۹۰، از شدت کمتری برخوردارند. بنابراین بعد از سال ۱۳۹۰، سال‌های خشک و بسیار بارانی به تناوب افزایش پیدا کرده‌اند. وجود نوسان‌های حدی بزرگ و کوچک در سری زمانی بارش نشان از ساختار چندفرکتالی آن دارد (Mirhashemi and Yarahmadi., 2022). بنابراین توزیع این سری‌ها دارای دُم‌های بلند چپ و راست است.

در مقیاس‌های زمانی چهارساله یک نقطه بیشینه برای نوسان‌های بزرگ و کوچک وجود دارد و روند کلی نوسان‌های بزرگ افزایشی است. مقادیر نوسان‌های کوچک در دوره‌های چهارساله بسیار متمایز و از روند کاهشی برخوردارند. در صورتی که نوسان‌های بزرگ از تمایز چندانی همانند نوسان‌های کوچک برخوردار نیستند. نکته حائز اهمیت، کاهش پلکانی نوسان‌های کوچک و افزایش پلکانی نوسان‌های بزرگ است. هرچند که در سال‌های اخیر، عکس این فرایند برای نوسان‌های بزرگ و کوچک اتفاق افتاده است. فرکانس چهارساله بارش نیز نشان می‌دهد که در دوره ۸ سال ابتدایی نوسان چندانی قابل مشاهده نیست و بیشینه نوسان‌های حدی بزرگ در این سیگنال بازنمود شده است. در این راستا فرکانس باش‌های ۸ ساله نیز نشان از نقش بارش‌های سال ۹۷ و ۹۸ در ساختار سری زمانی بارش دارد در نوسان‌های ۴ ساله نوسان‌های کوچک ۸ ساله دارای سه دوره مشخص هستند که از ابتدای دوره آماری مقادیر نوسان‌ها به تدریج به صورت پلکانی کاهش پیدا می‌کند. در صورتی که نوسان‌های بزرگ دارای دو دوره مشخص شامل یک دور ۱۶ ساله از نوسان‌های بزرگ با مقادیر کم و یک دوره ۸ ساله از نوسان‌های بزرگ با مقادیر زیاد هستند. به طور کلی با میانگین‌گیری‌های ۸ ساله نوسان‌ها مشخص می‌شود که دوره ۱۶ ساله ابتدایی مقارن با غلبه نوسان‌های کوچک بوده در صورتی که دوره ۸ ساله اخیر مقارن با غلبه نوسانی حدی بزرگ بوده است تحلیل فرکانس مقیاس موجک برای دوره‌های ۸ ساله نیز این مورد را به روشنی نشان می‌دهد به طوری که ضرایب موجک یک قله نوسانی که همان دوره اخیر است را نشان می‌دهند.

نوسان‌های دوره ۱۲ ساله به دو دوره تقسیم می‌شوند. دوره اول که از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰ و دوره دوم از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ است. مقایسه این دو دوره نشان می‌دهد که نوسان‌های بزرگ از سال ۱۳۹۰ مقادیر بسیار بزرگی را نشان می‌دهند و نوسان‌های حدی کوچک وجود دارند (شکل ۸)

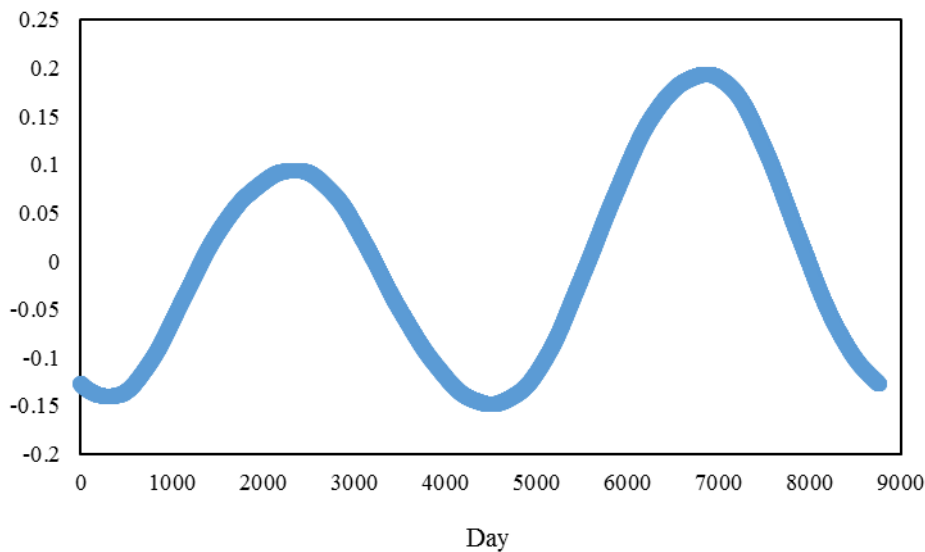


شکل ۷. سیگنال سری زمانی مقیاس ۱۲ ساله بخش‌هایی با نوسان‌های حدی کوچک و بزرگ
 Fig. 7. Time scale signal of 8-year segments with extreme large and small fluctuations



شکل ۸. سیگنال سری زمانی مقیاس ۱۲ ساله بخش‌هایی با نوسان‌های حدی کوچک و بزرگ
 Fig. 8. Time scale signal of 12-year segments with extreme large and small fluctuations

تحلیل موجک برای دوره ۱۲ ساله نیز نشان می‌دهد که ضرایب موجکی از چرخه‌های سینوسی برخوردارند. به طوری که سه دوره نوسانی متمایز برای سیگنال بارش قابل مشاهده است (شکل ۹).



شکل ۹. سیگنال فرکانس بالا سطح ۱۲ تجزیه موجکی
 Fig. 9. High frequency signal of wavelet decomposition level 12

نتیجه‌گیری

سیگنال سری زمانی بارش به ویژه در مناطق کوهستانی حاوی نوسان‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدتی است که این نوسان‌ها منعکس‌کننده مکانیزم‌های موثر در رخداد بارش است. چنانکه استخراج این نوسانها نقش مهمی در شناسایی رفتار و زوایای پنهان سیگنال بارش دارد. در این مطالعه، نوسان‌های کوچک و بزرگ سیگنال بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک پلدختر با کاربرد تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده (MF-DFA) و تحلیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) شناسایی شدند. نتایج بدست آمده از این دو رویکرد روشن کرد که سه دوره نوسانی متفاوت در سیگنال بارش روزانه برای مقیاس‌های زمانی سالانه وجود دارد. به عبارتی با روندزایی بارش و تجزیه سیگنال در دامنه مقیاس - فرکانس، سه دوره نوسانی در سری زمانی بارش نمایان شد که از

ساختار متفاوتی برخوردارند. افزون بر این، نوسان‌های کوچک و بزرگ برای مقیاس‌های زمانی دو، چهار، هشت و ۱۲ ساله نیز شناسایی شدند. در این خصوص سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ به عنوان نقطه مرکزی دوره ای با بیشینه نوسانهای بزرگ مشخص شد و سال ۱۳۹۰ به عنوان نقطه مرکزی دوره‌ای با بیشینه نوسان‌های کوچک تعیین شد. ضرایب موجکی برای مقیاس زمانی ۱۱ ساله نیز الگوی‌های سینوسی که نشان‌دهنده سه دوره نوسانی مبتنی بر سه اکستریم محلی هستند را نشان می‌دهد. دوره ابتدایی و انتهایی سیگنال بارش مبتنی بر رخداد نوسان‌های حدی بزرگ بوده و دوره میانی متناظر با رخداد نوسان‌های حدی کوچک است.

منابع

- De Lima, M. I. P., & De Lima, J. L. M. P. (2009). Investigating the multifractality of point precipitation in the Madeira archipelago. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 16(2), 299-311.
- García-Marín, A. P., Jiménez-Hornero, F. J., & Ayuso, J. L. (2008). Applying multifractality and the self-organized criticality theory to describe the temporal rainfall regimes in Andalusia (southern Spain). *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(2), 295-308.
- Kantelhardt, J. W., Koscielny-Bunde, E., Rego, H. H., Havlin, S., & Bunde, A. (2001). Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 295(3-4), 441-454.
- Lark, R. M., & Webster, R. (2001). Changes in variance and correlation of soil properties with scale and location: analysis using an adapted maximal overlap discrete wavelet transform. *European journal of soil science*, 52(4), 547-562.
- Mirhashemi, H. (2021). Identification of structural breaks and change points of rainfall time series in mountainous areas (Case study: Khorramabad Synoptic Station). *Journal of the Geographical Studies of Mountainous Areas*, 1(4), 1-16. (In Persian)
- Mirhashemi, H., & Yarahmadi, D. (2021). Multifractal analysis of daily precipitation of selected stations in the west - southwest of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 47(3), 485-499. (In Persian).
- Movahed, M. S., Jafari, G. R., Ghasemi, F., Rahvar, S., & Tabar, M. R. R. (2006). Multifractal detrended fluctuation analysis of sunspot time series. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2006(02), P02003.
- Percival, D. B., & Walden, A. T. (2000). *Wavelet methods for time series analysis* (Vol. 4). Cambridge university press.
- Pierini, J. O., & Telesca, L. (2010). Fluctuation analysis of monthly rainfall time series. *Fluctuation and Noise Letters*, 9(02), 219-228.
- Valencia, J. L., Requejo, A. S., Gascó, J. M., & Tarquis, A. M. (2010). A universal multifractal description applied to precipitation patterns of the Ebro River Basin, Spain. *Climate Research*, 44(1), 17-25.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., ... & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389-395.
- Zhang, X., Zhang, G., Qiu, L., Zhang, B., Sun, Y., Gui, Z., & Zhang, Q. (2019). A modified multifractal detrended fluctuation analysis (MFDFA) approach for multifractal analysis of precipitation in dongting lake basin, China. *Water*, 11(5), 891.
- Zhao, G. Hörmann, G. Fohrer, N. Zhang, Z. & Zhai, J. (2010). Streamflow Trends and Climate Variability Impacts in Poyang Lake Basin, China. *Water Resources Management*. 24(4): 689-706.