



شناسایی گسستگی‌های ساختاری و نقاط تغییر سری زمانی بارش در مناطق کوهستانی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد)

حمید میرهاشمی^{*}، استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۲

چکیده

شناسایی روندها و گسستگی‌های ساختاری در سری زمانی بارش به عنوان یکی از مهمترین چالش‌ها در مطالعه‌ی تغییر اقلیم محسوب می‌شود، چرا که کشف چنین گسستگی‌های می‌تواند به ارزیابی مطلوب سناریوهای آینده و پدیده‌های حدی همچون سیل و خشکسالی منجر گردد. در این مطالعه به منظور شناسایی گسستگی‌های ساختاری در سری زمانی بارش روزانه و ماهانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد از دو رویکرد تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده (MF-DFA) و تحلیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) استفاده شد. نتایج حاصل از کاربرد MF-DFA بر روی سری زمانی بارش روزانه (۱۹۶۱-۲۰۱۸) نشان داد که سه نقطه گسستگی در این سری زمانی وجود دارد که روند بارش در پیرامون این نقاط به طور مشخصی تغییر پیدا کرده است. از سویی، نتایج این رویکرد مشخص کرد که دوره ۲۰۰۲-۱۹۸۵، به عنوان نوسانی‌ترین دوره بارش و دوره‌های ۱۹۶۹-۱۹۶۱ و ۲۰۱۸-۲۰۱۰ به عنوان دوره‌هایی با کمترین نوسان‌ها در بارش جلوه می‌کنند. محاسبه تابع نوسان در مقیاس‌های زمانی ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله نشان داد که در دوره ۲۰۱۸-۲۰۰۰، نوسان‌های ۲ تا ۲۰ ساله بارش کاهش یافته‌اند. همچنین نتایج حاصل از تابع نوسان با q اُمین مرتبه نیز روشن کرد که دوره‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۵ و ۱۹۹۴-۱۹۸۹، همراه با نوسان‌های حدی بزرگ بارش بوده‌اند. در صورتی که دو بازه زمانی ۲۰۰۴-۱۹۹۹ و ۲۰۱۳-۲۰۰۸ به دوره‌هایی با نوسان‌های حدی کوچک بارش اشاره دارند. همچنین نتایج بدست آمده از کاربرد MODWT بر روی سری زمانی بارش ماهانه نشان داد که ضرایب موجک در سال ۲۰۰۷ دستخوش تغییر شده‌اند. در این راستا با تقسیم سیگنال‌های فرکانس بالای موجکی به دو دوره شامل ۱۹۶۱-۲۰۰۷ و ۲۰۱۸-۲۰۰۸، مشخص شد که اختلاف بین نوسان‌های بارش در خلال مقیاس‌های ۸ تا ۱۶ ماه از بیشترین تغییرپذیری در سری زمانی بارش برخوردارند.

واژگان کلیدی: نوسان، گسستگی، چند فرکتالی، موجک، خرم‌آباد.

^{*} نویسنده مسئول Email: mirhashemi.h@lu.ac.ir

نحوه استناددهی به مقاله:

میرهاشمی، حمید (۱۳۹۹). شناسایی گسستگی‌های ساختاری و نقاط تغییر سری زمانی بارش در مناطق کوهستانی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال اول، شماره ۴ (۴). صص ۱۶-۱. Doi:10.29252/gasma.1.4.1

۱. مقدمه

ایده غالب معتقدین به تغییر آب و هوا بر این موضوع استوار است که افزایش در گازهای گلخانه‌ای باعث گرم شدن جو و تأثیر در سایر پارامترهای مرتبط با سیستم زمین - جو می‌شود. به عبارتی، می‌توان مهمترین تأثیر مستقیم افزایش گازهای گلخانه‌ای را در افزایش درجه حرارت توأم با خشکسالی‌ها و رخداد ناهنجاری‌های هیدرولوژیکی، تغییر شکل نزولات جوی، تغییر زمانی - مکانی رخداد بارش، شدت و مقدار بارش‌ها و وقوع سیلاب‌ها و خشکسالی‌های ناشی از آن دانست (خوشیدوست و همکاران، ۱۳۹۲). بسیاری از مطالعه‌ها نشان داده‌اند که گرمایش جهانی به عنوان عامل اصلی تشدید چرخه هیدرولوژی به شمار می‌رود (مینو^۱ و همکاران، ۲۰۱۳، پاندی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). در این خصوص بارش به عنوان یکی از مهمترین مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژی و دستگاه زمین - جو، تأثیر زیادی از گرمایش جو می‌پذیرد. چنانکه افزایش گرمای جو موجب افزایش ظرفیت نگه داشت آب در جو شده (ترنبرث^۳ ۲۰۱۱) و به عبارتی افزایش حرارت جو با احتساب بر معادله کلاسیوس - کلاپرن، منجر به افزایش فشار بخار آب شباع جو می‌شود (لیپرت و پریودی^۴، ۲۰۰۹) که به این ترتیب، شدت و فرکانس رخداد بارش (مین^۵ و همکاران ۲۰۱۱ و آلفری^۶ و همکاران ۲۰۱۵) و به طور کلی، الگوی بارش دستخوش تغییر می‌شود (باندی و همکاران، ۲۰۱۷، تیبالدی^۷ و همکاران، ۲۰۰۶، جوس^۸ و همکاران، ۲۰۰۱، ستی^۹ و همکاران، ۲۰۱۵، هلمن^{۱۰}، ۲۰۰۶، برخورداریان و

همکاران، ۲۰۱۲). از سویی، هر تغییری در توزیع معمول بارش، به طوری مؤثری بر امنیت غذا و مدیریت و برنامه‌ریزی آب در یک کشور تأثیر جدی می‌گذارد (زواری^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین یکی از مهمترین چالش‌ها در مطالعه‌های تغییر اقلیم باید مبتنی بر شناسایی روندها و نقاط گسستگی در سری زمانی بارش باشد (نما^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۸). اگرچه از یک سو به سبب کوتاه‌بودن ثبت مشاهدات بارش، سری زمانی آن اغلب به صورت یک فرایند کاملاً غیرخطی و نامنظم جلوه می‌کند (والنسیا^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۰) و از سویی دیگر به سبب تأثیر گرمایش جهانی و تأثیرپذیری بارش از بسیاری از فرایندهای جوی، اصولاً بارش به صورت یک سیگنال نوسانی و چندمقیاسی نمایان می‌شود. ولی ابزارهای قدرتمندی همچون تبدیل موجک و تحلیل چندفرکانسالی نوسان‌های روندزدایی شده (MF-DFA) وجود دارند که قادراند چنین تغییراتی را در سیگنال‌های ناپایستا و نوسانی همانند سیگنال بارش، کشف کنند. چراکه معمولاً سری‌های زمانی از نوسان‌های فصلی، کوتاه‌مدت و بلندمدت برخوردارند (ژو^{۱۴} و همکاران ۲۰۱۴). بنابراین یک مفهوم مهم در تحلیل سری‌های زمانی، چندمقیاسی بودن سری زمانی است که نشان‌دهنده پدیده‌های است که هرکدام در افق‌های زمانی متفاوتی اتفاق می‌افتند (فان^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۳). در این راستا، تبدیل موجک، براساس زمان و فرکانس، یک سری زمانی را به تعداد کوچکی از سری‌های زمانی‌های تجزیه می‌کند که هرکدام از این سری‌های زمانی مبتنی بر افق زمانی یا مقیاسی متفاوت‌اند که بدین ترتیب بسیاری از خصوصیات سری

- 1 Meenu
- 2 Pandey
- 3 Trenberth
- 4 Liepert and Previdi
- 5 Min
- 6 Alfieri
- 7 Tebaldi
- 8 Joos
- 9 Sethi

- 10 Holman
- 11 Zaveri
- 12 Nema
- 13 Valencia
- 14 Zhou
- 15-Fan



روندزدایی شده و آنالیز موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) استفاده شد.

تحلیل چند فرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده (MF-DFA)

نظر به اینکه گسستگی ساختاری، زمانی پدید می‌آید که یک تغییر ناگهانی یا تغییر در واریانس، میانگین یا روند سری زمانی اتفاق بیفتد (گالگر و لاند^۱، ۲۰۱۳؛ پائول و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۹)، بنابراین شناسایی نوسان‌های موجود در سری زمانی می‌تواند گامی مهم در کشف نقاط گسستگی منوط به تغییر در نوسان‌های بارش محسوب شود. تبیینی معمول از نوسان‌های موجود در سری زمانی می‌تواند مبتنی بر محاسبه میانگین نوسان به صورت ریشه میانگین مربعات نوسان یک سری زمانی (RMS) باشد. در ادامه، به منظور شناسایی نوسان‌های سری زمانی بارش و نقاط گسستگی مرتبط با آن و در نظرگیری سری زمانی بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد به صورت $x(k)$ که $k = 1, 2, \dots, N$ (طول سری زمانی بارش) از رویکرد MF-DFA به ترتیب زیر برای شناسایی نقاط گسستگی استفاده شد.

در گام اول: انحراف تجمعی سری زمانی بارش با استفاده از رابطه ۱ به صورت نیمرخ $Y(i)$ که $\langle x \rangle$ میانگین سری زمانی X_k است، حساب شد.

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

در گام دوم، نیمرخ $Y(i)$ به تعداد $N_s = \text{int}(N/s)$ زیرسیگنال ناهمپوشان که دارای مقیاسی به اندازه $S = 3000$ هستند تقسیم شد. در گام سوم، روند محلی هر کدام از زیرسیگنال‌های N_s ، از طریق برازش حداقل مربعات Y_v (خط برازش در بخش v است)

زمانی مانند روند، دوره‌ها و گسستگی و نقاط تغییر، معین می‌شوند (لیت^۱، ۲۰۰۵، سانگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۹، جوشی^۳ و همکاران، ۲۰۱۶ و پاندی و همکاران، ۲۰۱۷). از سویی، MF-DFA تکنیکی است که برای تحلیل نوسان‌های محلی با مقیاس‌های زمانی متفاوت توسط کنتل‌هاردت (۲۰۰۲) معرفی شد که در واقع این تکنیک، نسخه تعمیم‌یافته تحلیل نوسان‌های روندزدایی شده است که توسط پنگ^۴ و همکاران (۱۹۹۴) ارائه شده بود. چنانکه در بسیاری از مطالعه‌ها به منظور کشف خصوصیات فرکتالی، کشف حافظه و روندها و نقاطی گسستگی در سری‌های زمانی نایستا بکار رفته است (ماتساکوس^۵ و همکاران، ۲۰۰۰، کوسیلینی^۶ و همکاران، ۲۰۰۶، کنتل‌هاردت^۷ و همکاران، ۲۰۰۶، آگبازو^۸ و همکاران، ۲۰۱۹) این رویکرد با شناسایی نوسان‌های کند و سریع، قادر است که نقاط گسستگی را در سری‌های زمانی شناسایی کند (پریا دارشی^۹ و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین هدف از مطالعه حاضر کشف و شناسایی نقاط گسستگی و نقاط تغییر سری زمانی بارش روزانه و ماهانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد است.

۲. روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، عبارت از سری زمانی بارش روزانه و ماهانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد با پوشش زمانی ۱۹۶۱-۲۰۱۸ هستند. به منظور رهیافت به هدف مطالعه یعنی کشف گسستگی ساختاری و نقاط تغییر در سری زمانی بارش ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد از دو رویکرد شامل تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های

- 1 Labat
- 2 Sang
- 3 Joshi
- 4 Peng
- 5 Matsoukas
- 6 Koscielny-Bunde
- 7 Kentelhardt
- 8 Agbazo
- 9 Priyadarshi

به سری‌های زمانی و آنگاه با کسر داده‌ها از این روندهای محلی، نیمرخ $Y(i)$ روندزدایی شد و در ادامه نوسان محلی $F^2(s, v)$ هر بخش $v=1, \dots, N_s$ با استفاده از رابطه ۲ تعیین شد.

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

در گام چهارم: رابطه قانون توانی بین نوسان کلی و مقیاس‌های زمانی s از طریق تحلیل تک‌فرکتالی نوسان‌های روندزدایی‌شده تعریف شد که نمایه هرست H نامیده می‌شود. ازسویی، تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های روندزدایی‌شده از طریق بسط q امین مرتبه تابع نوسان کلی بدست می‌آید. به ترتیبی که تابع نوسان محلی q امین مرتبه نوسان، بخش‌هایی با نوسان کوچک را از بخش‌هایی با نوسان بزرگ تمیز می‌دهد. بنابراین رابطه قانون توانی بین نوسان محلی q امین مرتبه، به‌عنوان نمایه هرست تعمیم‌یافته $h(q)$ تعریف می‌شود. در گام چهارم: بامیانگین‌گیری تابع نوسان بر روی همه بخش‌ها، تابع نوسان مرتبه q ام بدست آمد (رابطه ۳).

$$F_q(s) = \left\{ \frac{1}{N_s} \sum_{v=1}^{N_s} [F^2(s, v)]^{q/2} \right\}^{1/q} \quad (3)$$

از سویی، کمیت q را می‌توان با هر مقداری به غیر از صفر مقداردهی کرد (موحد و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین در این مطالعه، q با مقادیر ۳ تا ۳- با گام افزایشی ۱ مقداردهی شد. شایان ذکر است که $q=2$ همان نمایه تحلیل تک‌فرکتالی نوسان‌های روندزدایی‌شده است. برای تعیین رابطه بین میانگین نوسان و اندازه سری زمانی، گام‌های ۲ تا ۳ برای تمامی مقیاس‌های زمانی تکرار می‌شوند. معمولاً تابع توان با افزایش مقیاس افزایش می‌یابد. رابطه خطی بین این دو، حضور مقیاس قانون توانی و فرکتال را نشان می‌دهد

(لیت و همکاران^۱، ۲۰۱۱). برای مشخص کردن رابطه بین $F_q(s)$ با s ، رابطه ۳ برای تمامی مقیاس‌های زمانی s محاسبه شد. در گام ۵: با ترسیم نمودار لگاریتمی $F_q(s)$ در مقابل مقیاس s ، برای هر رتبه از q ، رفتار مقیاسی توابع نوسان تعیین شد. در این خصوص، اگر سری‌های زمانی x_i به‌صورت قانون توانی همبسته باشند آنگاه $F_q(s)$ به پیروی از قانون توانی با افزایش s افزایش پیدا می‌کند.

اگر مقادیر مثبت q بررسی شوند، بخش‌های v با نوسان بزرگ، مقدار میانگین $F_q(s)$ را تعیین خواهند کرد. به این ترتیب، نمایه $h(q)$ مقادیر مثبت q ، رفتار مقیاسی بخش‌های با نوسان‌های بزرگ را تبیین می‌کند. برای مقادیر منفی q ، بخش‌های با نوسان کوچک، مقدار میانگین $F_q(s)$ را مشخص می‌کنند. بنابراین نمایه $F_q(s)$ مقادیر منفی q ، رفتار مقیاسی بخش‌های با نوسان کوچک را تبیین می‌کند (کتل‌هاردت، ۲۰۰۱ و موحد و همکاران، ۲۰۰۶). اگر نمودار لگاریتمی در مقابل s برازش داده شود، شیب خط حاصله، نمایه هرست تعمیم‌یافته نام دارد. در صورتی که این نمایه مقیاسی به مرتبه نوسان وابسته به باشد، سری زمانی موردنظر از ماهیت چندفرکتالی برخوردار بوده و در غیر این صورت دلالت به ماهیت تک‌فرکتالی سری زمانی مربوطه دارد.

$$F_q(s) \propto s^{h(q)} \quad (4)$$

آنالیز موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT)

موجک‌ها توابع ریاضی هستند که داده‌ها را به مؤلفه‌های فرکانسی، تجزیه کرده و هر مؤلفه را با قدرت متناسب با مقیاس آن مؤلفه ارزیابی می‌کنند. موجک‌ها، نمونه‌های انتقال‌یافته و مقیاس‌شده یک تابع (موجک مادر) با طول متناهی و نوسانی شدیداً میرا هستند. به واقع تبدیل



موجک یک تابع پایه جدید بنام مادر را بکار می‌برد که با کشیده شدن و انتقال بر روی محور زمان امکان شناسایی ویژگی‌ها و خصوصیات محلی را در حوزه‌های زمان - فرکانس فراهم می‌کند. طول تابع پایه تبدیل موجک در حوزه زمان بلند است، زمانی که پدیده‌هایی با فرکانس پایین را تشخیص می‌دهد و بدین ترتیب از قدرت تفکیک فرکانسی بهینه‌ای برای این پدیده‌ها برخوردار است. در صورتی که طول تابع پایه تبدیل موجک در حوزه زمان کوتاه باشد، پدیده‌هایی با فرکانس بالا را تشخیص می‌دهد است و بنابراین دارای قدرت تفکیک زمانی مناسبی برای این پدیده‌ها است. به طور کلی، با ترکیبی از کشیدگی‌ها و جابه جایی‌های زمانی مختلف تابع پایه مادر در تبدیل موجک امکان تشخیص و گرفتن کلیه اطلاعات موجود در یک سری زمانی و مرتبط کردن آنها با افق‌های زمانی مشخص و مکان زمانی آنها وجود دارد.

مزیت اصلی تبدیل موجک نسبت به تبدیل فوریه توان بالای تحلیل آن در شرایطی است که سری‌های زمانی از گسستگی و جهش‌های سریع برخوردار باشند. تحلیل موجک قادر است بسیاری از منظرهای پنهان داده‌هایی که دیگر روش‌های تحلیل سیگنال در شناسایی آن‌ها ناتوان هستند را شناسایی کند. به عبارتی تبدیلات موجک قادراند تا اطلاعات مفیدی را که به سادگی از سیگنال اصلی قابل بازیابی نیستند را به دست آورند (دابچیز^۱، ۱۹۹۲). در تئوری موجک اگر پنجره مورد بررسی بزرگ باشد ویژگی‌های کلی سری زمانی قابل مشاهده‌اند و اگر پنجره تحت بررسی کوچک باشد جزئیات مورد توجه بیشتری واقع خواهند شد. در این تبدیل با استفاده از موجک پایه و با مقیاس کردن و انتقال زمانی آن، داده‌ها تجزیه و تحلیل می‌شوند. هرچه مقیاس مورد استفاده بزرگتر باشد موجک پایه بیشتر کشیده

شده و تجزیه و تحلیل بر روی مؤلفه‌های فرکانس پایین اطلاعات انجام خواهد شد. هرچه مقیاس مورد استفاده کوچک‌تر باشد موجک پایه فشرده‌تر شده و تجزیه و تحلیل بر روی مؤلفه‌های فرکانس بالا انجام می‌شود. مؤلفه‌های فرکانس پایین (مقیاس بزرگ) نشان‌دهنده روند یک سری زمانی و مؤلفه‌های فرکانس بالا (مقیاس کوچک) بیانگر تغییرات فصلی، دوره‌ای و نامنظم یک سری زمانی هستند. تجزیه و تحلیل موجک‌ها را می‌توان در دو حالت کلی پیوسته (CWT)^۲ و گسسته (DWT)^۳ انجام داد. تبدیل موجک پیوسته، تابعی از زمان است که با استفاده از دو پارامتر مقیاس و مکان می‌تواند حاوی میزان بالایی از اطلاعات در هنگام تجزیه و تحلیل داده‌ها باشد. به خصوص، اطلاعات کافی برای تشخیص و یافتن جهش‌ها و از هم گسستگی‌های موجود در نمونه را به آسانی در اختیار می‌گذارد. بنابراین، موجک امکان تمرکز بر روی جهش‌ها، برجستگی‌ها و نقاط تکین را فراهم می‌کند (عباسی نژاد و محمدی، ۱۳۸۴، راعی و همکاران، ۱۳۹۴). اطلاعات کافی برای شناسایی چنین ویژگی‌هایی از سری زمانی حتی با قسمتی از تبدیل موجک پیوسته نیز در اختیار خواهد بود. بنابراین می‌توان عمل تجزیه را از یک تبدیل پیوسته با پارامترهای مکان و زمان به یک تبدیل با تعداد محدودتری از مقیاس‌های زمانی همراه با تعداد متفاوت از ضرایب موجک در هر مقیاس تعدیل کرد. به واقع این همان تبدیل گسسته موجک است (فرزین‌وش و همکاران، ۱۳۹۲). تبدیل موجک پیوسته معمولاً حاوی حجم بالایی از اطلاعات است که نیازی به همه آنها در بازسازی تابع و مشاهده و تحلیل پیوستگی‌ها نیست و حتی می‌توان با نمونه برداری، ضرایب موجک را به نحوی به دست آورد که تابع اصلی را از آنها بازسازی کرد (راعی و همکاران، ۱۳۹۴). تبدیل گسسته

2- Continuous Wavelet Transform
3- Discrete Wavelet Transform

1 - Daubechies

دارد؛ بنابراین از این رویکرد برای شناسایی نقطه تغییر سری زمانی بارش ماهانه ایستگاه سینوتیک خرم‌آباد استفاده شد.

۳. یافته‌های تحقیق

در این مطالعه نقاط تغییر و گسستگی‌های ساختاری سری زمانی بارش روزانه و ماهانه ایستگاه سینوتیک خرم‌آباد با استفاده از تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده (MF-DFA) و تحلیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) بررسی شد. پیش از پرداختن به نتایج مبتنی بر موضوع یادشده، خصوصیات آماری سری زمانی بارش روزانه و ماهانه ارائه می‌شود تا براین اساس زوایایی سیگنال بارش ایستگاه سینوتیک خرم‌آباد روشن‌تر شود.

ویژگی‌های سری زمانی بارش روزانه و ماهانه

نمایش سری زمانی بارش روزانه ایستگاه سینوتیک خرم‌آباد، نشان از وجود نوسان‌های نسبتاً شدید بارش روزانه این ایستگاه دارد (شکل ۱). در این خصوص محاسبه ضریب پراکندگی بارش این ایستگاه به مقدار ۱۳۰ درصد، به بی‌نظمی مقدار بارش روزانه این ایستگاه در گستره زمان اشاره می‌کند. همچنین ضریب چولگی سری زمانی بارش به مقدار ۲/۴، نشان‌دهنده فراوانی بیشتر تعداد روزهای بارشی کمتر از میانگین نسبت به تعداد روزهای بارشی بیشتر از میانگین است. به عبارتی تعداد روزهای بارش ۰/۱ تا ۷ میلی‌متر، دو برابر تعداد روزهایی با بارش بیشتر از ۷ میلی‌متر هستند.

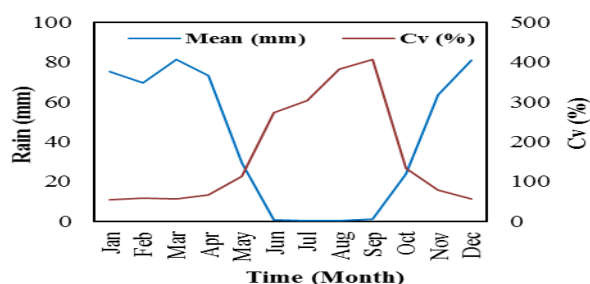
از سویی، میانگین بلندمدت بارش سالانه خرم‌آباد به مقدار ۵۰۰ میلی‌متر با ضریب پراکندگی ۲۶ درصد محاسبه شد. این مقدار پراکنش نشان از نظم نسبی بارش سالانه خرم‌آباد دارد. در مقیاس زمانی ماهانه، ماه‌های دسامبر و مارس با میانگین بارش ۸۱ میلی‌متر به عنوان پربارش‌ترین ماه‌های سال و سه ماه ژوئن، جولای و آگوست با میانگین

موجکی جهت پیش‌پردازش و تحلیل سری‌های زمانی مناسب‌تر از تبدیل پیوسته موجکی هست، بدین ترتیب که داده‌های تبدیل یافته با DWT اجزای اضافی نداشته و بنابراین تبدیل معکوس را می‌توان برای هر دسته از داده‌های زمان - فرکانس به کار برد (طوفانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). از سویی، یکی 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 (راعی و همکاران، ۱۳۹۴). تبدیل موجک با بیشینه همپوشانی، نسخه اصلاح‌شده تبدیل موجک گسسته است. تبدیل موجک با بیشینه همپوشانی می‌تواند در مورد سری‌های زمانی با هر تعداد مشاهده بکار رود. 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 (فرزین‌وش و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین تخمین‌گر واریانس در این موجک کاراتر از DWT است (شمس و همکاران، ۱۳۸۴). 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. نظر به هدف پژوهش که مبتنی بر تخمین واریانس یا تغییرات افتاده در سری زمانی بارش است و همچنین با توجه به توانایی که MODWT در تخمین واریانس و کشف نوسان‌ها برعهده

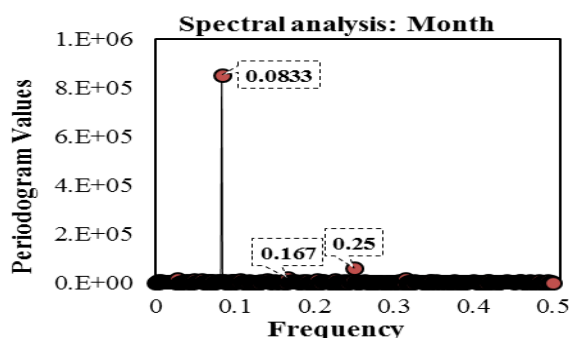
بودن ۴ درصد از سری زمانی، در ایستگاه خرم‌آباد وجود دارد. به طور کلی طبقه‌های بارشی بیش از ۵۰ میلی‌متر به ترتیب ۳۸ درصد از سری زمانی ایستگاه خرم‌آباد را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۳).

در ادامه، با کاربرد تحلیل طیفی، فرکانس‌ها و چرخه‌های بارش ماهانه ایستگاه خرم‌آباد استخراج شد. چنانکه از پریودوگرام این اجزاء مشخص است، فرکانس‌های ۰/۰۸۳۳، ۰/۲۵ و ۰/۱۶۷ برای سری زمانی بارش ماهانه خرم‌آباد قابل مشاهده‌اند (شکل ۴). فرکانس ۰/۰۸۳۳ معرف چرخه ۱۲ ماهه یعنی چرخه یک ساله و فرکانس‌های ۰/۲۵ و ۰/۱۶۷ به ترتیب دلالت بر چرخه‌های ۴ و ۶ ماهه دارند. این چرخه ۴ ماهه بارش ایستگاه خرم‌آباد بیانگر دو نقطه ثقل بارش قوی یعنی دسامبر و مارس است که در بخش پیشین تشریح شد. این یافته، به وجود دو هسته بارش ماهانه قوی در سری زمانی بارش ایستگاه خرم‌آباد اشاره می‌کند.

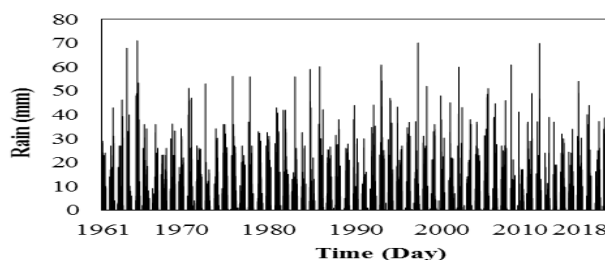
بارش کمتر از یک میلی‌متر و سپتامبر با کمتر از ۲ میلی‌متر به عنوان خشک‌ترین ماه‌های سال شناسایی شدند. در این خصوص بیشترین پراکندگی زمانی بارش مربوط به سپتامبر با ۴۰۷ درصد و کمترین پراکندگی بارش به ژانویه با ۵۵ درصد اختصاص دارد. به طور کلی پراکندگی بارش در ۶ ماه سال یعنی از نوامبر تا آوریل نسبت به شش ماه دیگر سال در سطحی بسیار پایین‌تری قرار دارد و رژیم بارش در ۶ ماه یادشده از نظم بیشتری برخوردار است (شکل ۲). در این خصوص، طبقه‌بندی مقادیر بارش ماهانه نشان می‌دهد که حدود ۲۸ درصد از ماه‌های تحت بررسی در ایستگاه خرم‌آباد، فاقد بارش بوده‌اند. فراوانی روزهای با بارش کمتر از ۵ میلی‌متر در بین سایر طبقه‌های بارشی در رتبه دوم قرار دارد، چنانکه در حدود ۱۰ درصد از سری زمانی بارش به این طبقه بارشی اختصاص می‌یابد. نکته قابل تأمل در مورد طبقه‌های بارشی خرم‌آباد، وجود یک برآمدگی در فاصله طبقه‌های ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر با نقطه ثقل ۶۰-۷۰ میلی‌متر است. از سویی، یک طبقه وزین ۱۰۰ تا ۱۱۰ میلی‌متر با دارا



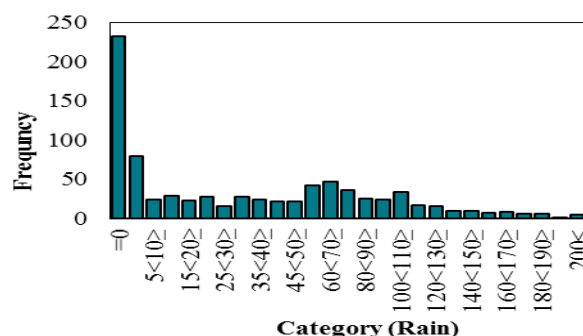
شکل ۲. تغییر ماهانه میانگین و ضریب تغییرات بارش خرم‌آباد، منبع: نگارنده، ۱۳۹۹



شکل ۴. پریودوگرام سری زمانی بارش ماهانه (۱۹۶۱-۲۰۱۸)



شکل ۱. سری زمانی بارش روزانه (۱۹۶۱-۲۰۱۸)

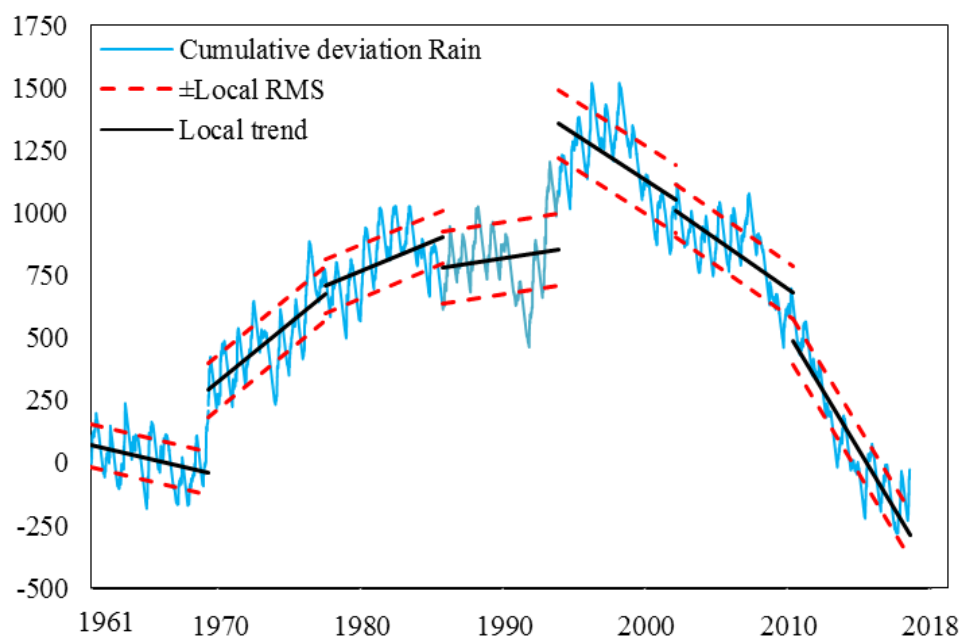


شکل ۳. نمودار طبقه‌بندی مقادیر بارش ماهانه (۱۹۶۱-۲۰۱۸)

نقاط گسستگی زمانی

به منظور شناسایی روندهای محلی و کشف نوسان‌های بزرگ و کوچک در داخل مقیاس‌های زمانی چندساله،

نیمرخ تجمعی انحراف بارش روزانه از مقدار میانگین بلندمدت (رابطه ۱) به همراه ۷ تابع روند محلی مبتنی بر ۷ زیرسری ناهمپوشان محاسبه شد (شکل ۵).



۵- نمودار انحرافی تجمعی بارش روزانه از میانگین بلندمدت و روندهای محلی سری زمانی بارش، منبع: نگارنده، ۱۳۹۹

چنانکه از شکل ۵ پیداست سه نقطه گسستگی در سری زمانی بارش وجود دارد. این نقاط گسستگی، نشان از تغییر روند بارش روزانه دارند. به طوری که سه روند کلی در بارش‌های روزانه شامل روند کاهشی، افزایشی و کاهشی قابل مشاهده‌اند. شایان توجه است که در دوره ۳۰ ساله اخیر نسبت به دوره ۳۰ ساله پیش از آن، روندهای بارش کاهشی بوده‌اند. از سویی، آهنگ تغییر روندهای محلی در هر کدام از زیرسری‌های زمانی بارش از نوسان‌ها و شدت‌های محلی متفاوتی برخوردارند. چنانکه میانگین نوسان بارش در هر کدام از این دوره‌های بارشی متفاوت بوده است. در این خصوص، نوسانی‌ترین دوره بارشی، شامل دو دوره ۸ ساله متوالی ۱۹۸۵-۱۹۹۳ با میانگین نوسان کلی ۱۴۳ و دوره ۱۹۹۴-۲۰۰۲ با میانگین نوسان کلی ۱۳۶ شناسایی شدند. به عبارتی، سری زمانی بارش روزانه ایستگاه خرم‌آباد در دوره ۱۶ ساله ۱۹۸۵-۲۰۰۲، بسیار نوسانی بوده است. همچنین

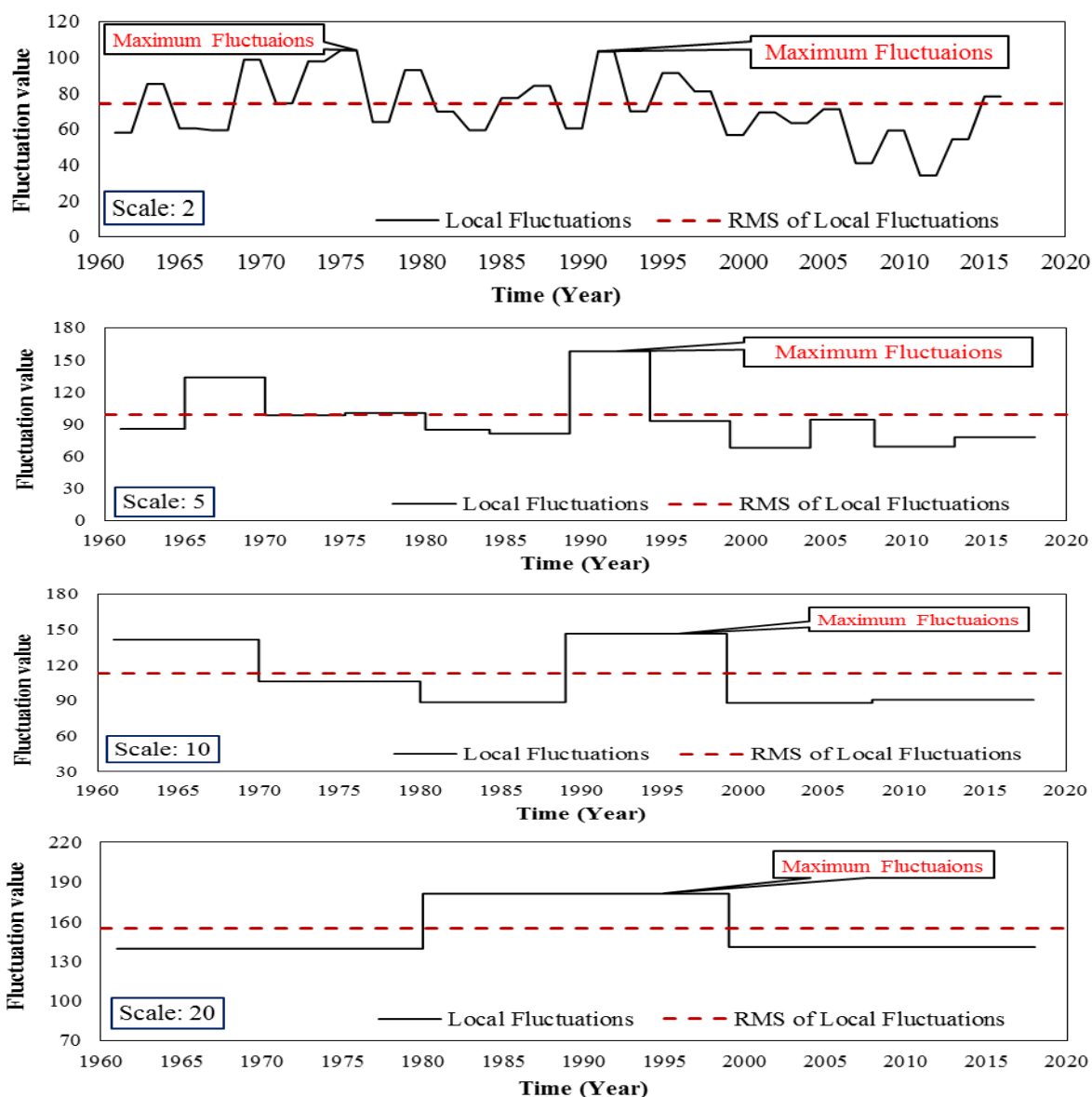
کمترین نوسان بارش در دوره ۱۹۶۱-۱۹۶۹ و دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۸ اتفاق افتاده است. افزون بر این، شدت آهنگ تغییرات این دوره‌های زمانی نیز متفاوت بوده و از لحاظ دینامیکی، پایداری و ناپایداری متفاوتی را نشان می‌دهند. همچنین افت و خیزهای محلی بسیار شدیدی نیز در سری زمانی مشاهده می‌شود که انعکاس آنها در تابع روند، تحت تأثیر نوسان‌های بزرگ قرار گرفته است. به عبارتی، نوسان‌های کوچکی در داخل نوسان‌های بزرگ وجود دارند که این نوسان‌های کوچک به سبب برخورداری از سرعت تغییر بسیار زیاد، عملاً در مقیاس‌های زمانی بزرگ به طور مناسبی بازنمود نمی‌شوند.

چنانکه مشخص است سری زمانی بارش خرم‌آباد از نوسان‌های سریع و گندی برخوردار بوده که نوسان‌های سریع، تابع نوسان را در مقیاس‌های زمانی کوچک و نوسان‌های گند، تابع نوسان را در مقیاس‌های زمانی بزرگ



چند گانه شامل مقیاس زمانی ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله محاسبه شد که نتیجه این فرایند در شکل شماره ۶ قابل مشاهده است.

تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین برای برجسته‌سازی نقشی که نوسان‌های کند و سریع در دینامیک ساختار سری زمانی بارش ایفا می‌کنند، تابع نوسان برای مقیاس‌های زمانی



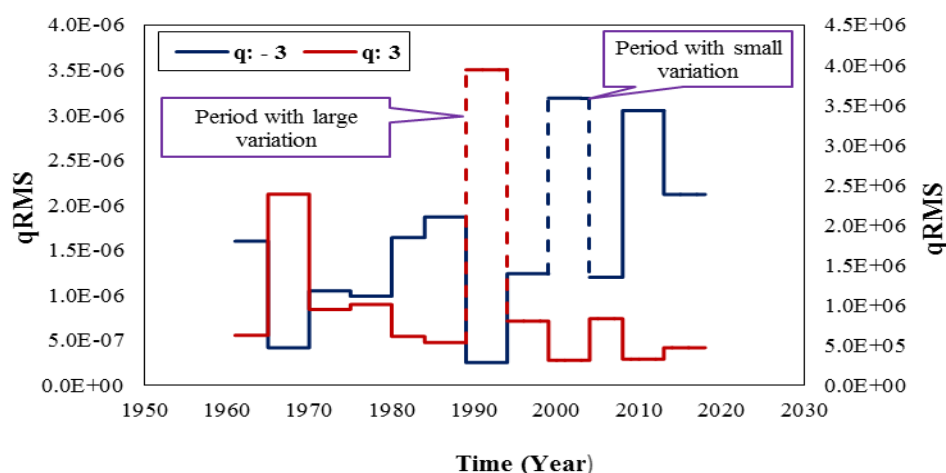
شکل ۶. نمودار نوسان‌های محلی برای بخش‌های چند گانه مقیاس‌های زمانی ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله. خط چین قرمز: میانگین مربعات نوسان‌های محلی، خط ممتد سیاه: نوسان‌های محلی برای هر بخش از مقیاس زمانی، منبع: نگارنده، ۱۳۹۹

مشخص می‌شود که دوره نوسان‌های شدید در بارش شامل دو دوره در ابتدای سری زمانی و دهه ۱۹۹۰ بوده‌اند. به طور کلی برحسب نتایج بدست آمده از تابع نوسان در مقیاس‌های چند گانه مشخص می‌شود که در دوره ۲۰ ساله اخیر، نوسان‌های ۲ تا ۲۰ ساله بارش کاهش یافته‌اند در صورتی که در دوره میانی سری زمانی، نوسان کلی بارش افزایش پیدا

تابع نوسان در مقیاس‌های زمانی ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸، نوسان‌های چندمقیاسی بارش روزانه کاهش پیدا کرده‌اند. همچنین در مقیاس زمانی ۲۰ ساله، نوسان‌های بارش در دوره ۱۹۸۰-۲۰۰۰، افزایش یافته‌اند. در صورتی که در مقیاس‌های زمانی ۱۰ و ۵ ساله به سبب دخالت نوسان‌های سریع در تابع مقیاس

کرده است. از سویی، سری زمانی بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد از نوسان‌های محلی با مقادیر حدی بزرگ و کوچک نیز برخوردار بوده که حضور این نوسان‌های به نوعی از طریق ضریب چولگی و ضریب پراکندگی که در بخش‌های پیشین ارائه شد نمایان شدند. این ضرایب به عبارتی بیانگر عدم پیروی سری زمانی بارش از توزیع نرمال هستند هرچند که نمی‌توان بیان داشت که چولگی سری زمانی و نرمال‌بودن توزیع داده‌ها از رابطه مستقیمی برخوردارند. زیرا تحت شرایطی ممکن است چولگی سری زمانی بارش صفر باشد ولی توزیع سری زمانی از توزیع نرمال تبعیت نکند. بنابراین برای دستیابی به خصوصیات مقیاسی نوسان‌های حدی بزرگ و کوچک که در سری زمانی بارش وجود دارند و به عبارتی، شناسایی

بخش‌های با نوسان‌های حدی بزرگ و کوچک، تابع نوسان با q آمین مرتبه شامل ۳- تا ۳+ محاسبه شد. $q = -3$ و $q = 3$ به ترتیب، معرف بخش‌های با نوسان‌های حدی بزرگ و کوچک هستند. بنابراین برای مقیاس ۵ ساله، دوره‌ای مبتنی بر $q = 3$ در شکل ۷ مشخص می‌کند که دوره‌های ۱۹۶۵-۱۹۷۰ و ۱۹۸۹-۱۹۹۴، دوره‌های با نوسان‌های حدی بزرگ بوده‌اند. بنابراین، این دو دوره زمانی به دوره‌های در سری زمانی بارش اشاره دارند که نقطه گسستگی بارش در پیرامون آنها اتفاق افتاده است. همچنین دوره‌های بانوسان‌های حدی کوچک که در شکل ۷ مبتنی بر $q = -3$ هستند در مقیاس‌های زمانی ۵ ساله در دو بازه زمانی ۱۹۹۹-۲۰۰۴ و ۲۰۰۸-۲۰۱۳ اتفاق افتاده‌اند.



شکل ۷- نوسان‌های محلی q آمین مرتبه مقیاس ۵ ساله سری زمانی بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد. منبع: نگارنده، ۱۳۹۹

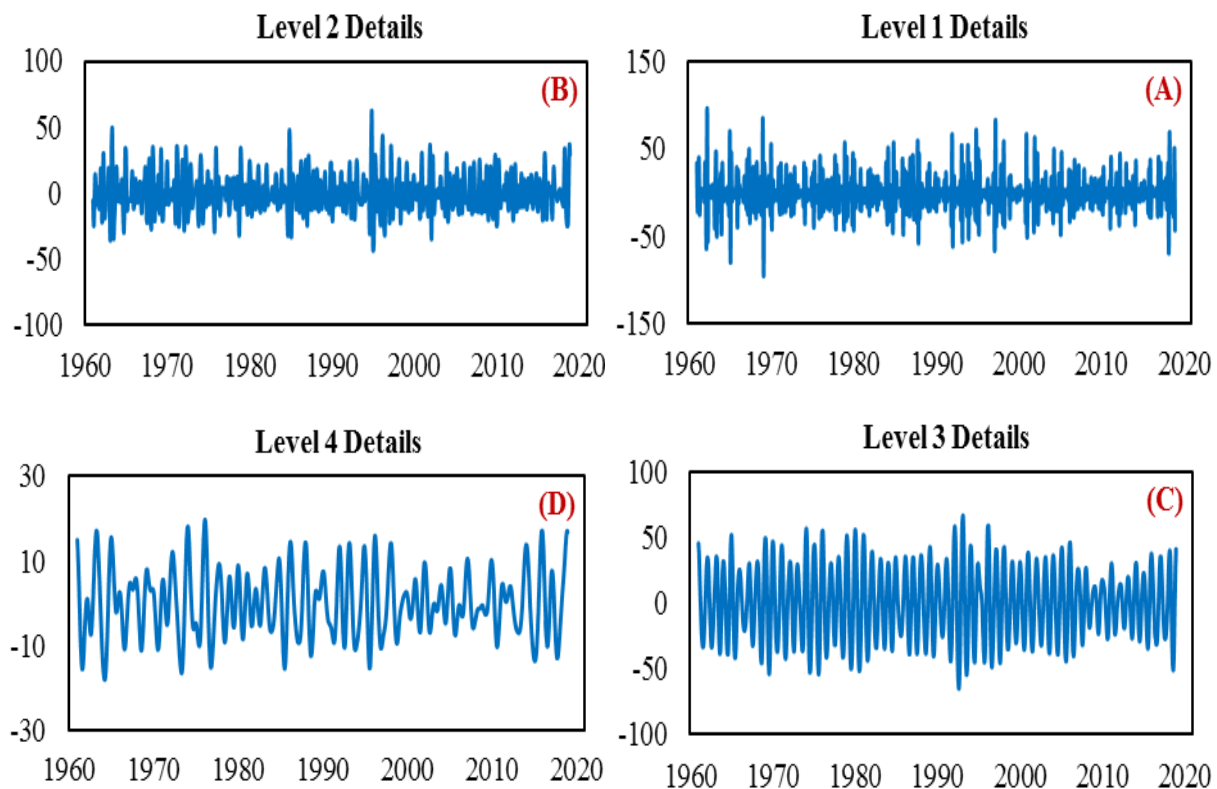
نقاط تغییر در سری زمانی ماهانه بارش

در ادامه برای پیگیری نقاط تغییر در سری زمانی بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد از تحلیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی استفاده شد. به طوری که یک تحلیل چندتفکیکی با کاربرد موجک مادر سیملت ۲ برای سیگنال بارش ماهانه بدست آمد. بدین ترتیب که سری زمانی بارش ماهانه تا ۴ سطح شامل ۴ زیر سیگنال فرکانس بالا (شکل ۸)

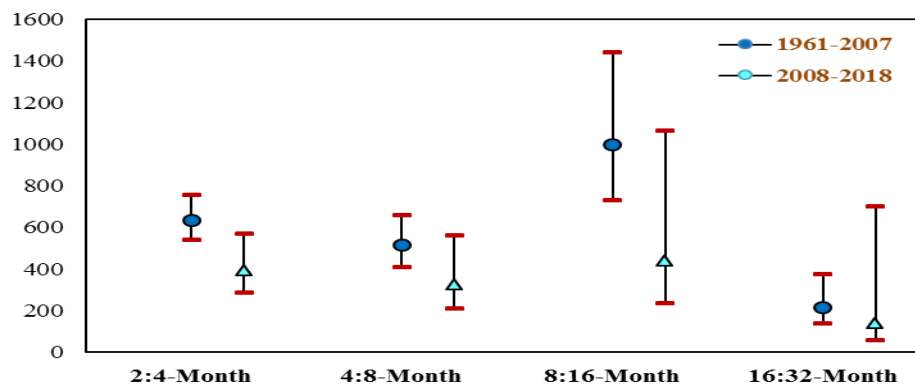
و یک زیر سیگنال فرکانس پایین تجزیه شد. نتیجه این فرایند، بدست آمدن سیگنال‌های بارش با مقیاس‌های زمانی ۲ تا ۳۲ ماه است. چنین مقیاس‌های زمانی که از تجزیه موجکی سیگنال اولیه بارش حاصل شده‌اند حاوی اطلاعاتی هستند که از سیگنال اصلی قابل بازیابی نیستند و جزء اطلاعات پنهان سیگنال به شمار می‌روند. به هر حال، پیگیری نقطه تغییر بر روی واریانس ضرایب موجکی سیگنال‌های

یا واریانس این دو دوره در مقیاس‌های ماهانه ۸ تا ۱۶ ماه اتفاق افتاده است (شکل ۹). به عبارتی، تفاوت معناداری بین واریانس سری زمانی بارش خرم‌آباد بر روی مقیاس‌های ۸ تا ۱۶ ماه وجود دارد. چنانکه نوسان‌های بارش ماهانه در خلال مقیاس‌های ۸ تا ۱۶ ماه از بیشترین تغییرپذیری در سری زمانی برخوردارند.

فرکانس بالا انجام گرفت که در این صورت مشخص شد ضرایب موجک در سال ۲۰۰۷ متحمل تغییر شده‌اند. در ادامه به منظور ارزیابی پراکندگی بارش در قبل و بعد از سال ۲۰۰۷، سیگنال‌های فرکانس بالای موجکی به دو دوره شامل ۱۹۶۱-۲۰۰۷ و ۲۰۰۸-۲۰۱۸ تقسیم شدند. مقایسه واریانس‌های موجکی این دو دور برای مقیاس‌های زمانی مختلف مشخص کرد که اختلاف بین پراکندگی



شکل ۸. سیگنال‌های فرکانس بالای بارش در سطح‌های A: سطح یک، B: سطح دو، C: سطح سه و D: سطح چهار. منبع: نگارنده، ۱۳۹۹



شکل ۹. نمودار واریانس موجک برای سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۰۷ و ۲۰۰۸-۲۰۱۸ بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد، منبع: نگارنده، ۱۳۹۹

۴. بحث و نتیجه‌گیری

سیگنال بارش در مناطق کوهستانی به سبب هم‌نهشت قوی مکانیزم‌های میان‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس، بسیار پیچیده و نوسانی است. چنین خصوصیتی از بارش در گذر زمان نیز متحمل تغییر می‌شود. به طوری که در برهه‌های از دوره‌های زمانی، شدت نوسان‌های بارش کاهش و در برهه‌های دیگر افزایش می‌یابد. بنابراین، شناخت نقاط گسستگی و کشف مقیاس‌های زمانی که نوسان‌های حدی بزرگ و کوچک بارش در بستر آن مقیاس زمانی متحمل تغییرات معناداری شده‌اند موضوعی اجتناب‌ناپذیر در قلمرو پیش‌بینی، مدل‌سازی هوا و سناریوهای مبتنی بر برنامه‌ریزی‌های آبی است. این مطالعه، گامی در جهت شناخت ماهیت گسستگی‌های ساختاری و کشف نقاط تغییر سری زمانی بارش ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد است که در قلمرو کوهستان زاگرس قرار دارد. در این راستا از ابزار تحلیل چندفرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده (MF-DFA) و آنالیز موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) برای نیل به هدف طرح‌شده استفاده شد. نتایج حاصل از کاربرد MF-DFA بر روی سری زمانی بارش روزانه ایستگاه خرم‌آباد نشان داد ضمن اینکه روند تغییرات بارش

در پیرامون سه نقطه گسستگی تغییر پیدا کرده‌اند، شدت نوسان‌های بارش نیز در گذر مقیاس‌های زمانی مختلف، متحمل تغییر شده‌اند. آنچه از نتایج این رویکرد بدست آمد حاوی این نکته کلی بود که نوسان‌های بارش در مقیاس‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله، دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۸ کاهش یافته‌اند به این عنوان که نوسان‌های حدی کوچک افزایش پیدا کرده‌اند. بنابراین از این دوره می‌توان به عنوان دوره‌ایی با بارش اندک و نسبتاً خشک، یاد کرد. از سویی، تجزیه سیگنال بارش با استفاده از MODWT و پیگیری نقطه تغییر بر روی واریانس ضرایب موجکی سیگنال‌های فرکانس بالای بارش، نشان داد که ضرایب موجک در سال ۲۰۰۷ تغییر پیدا کرده‌اند. چنانکه با تقسیم سیگنال‌های فرکانس بالای موجکی به دو دوره شامل ۱۹۶۱-۲۰۰۷ و ۲۰۰۸-۲۰۱۸ معین شد که مشخص شد که اختلاف شدید بین و نوسان‌های بارش این دو دوره در خلال مقیاس‌های ۸ تا ۱۶ ماه اتفاق افتاده است. چنین دستاوردی ضمن تأیید نتایج حاصل از MF-DFA که بیانگر اختلاف بین نوسان‌های بارش در دوره ۲۰ ساله اخیر سری زمانی تحت مطالعه با دوره ۲۰ ساله قبل، روشن کرد که این اختلاف‌های نوسانی در کدام مقیاس زمانی اتفاق افتاده‌اند.

فهرست منابع

- حسن‌زاده یوسف؛ لطف‌اللهی یقین محمد علی؛ شاهوردی، سجاد؛ فرزین، سعید و فرزین، نیما. ۱۳۹۱. "نویززدایی و پیش‌بینی سری زمانی بر پایه الگوریتم موجک ونظریه آشوب (مطالعه موردی: شاخص پایش خشکسالی SPI شهر تبریز)". **نشریه تحقیقات منابع آب**، شماره ۳، صص ۱-۱۳.
- خورشیددوست، علی محمد؛ رضایی بنفشه، مجید؛ میرهاشمی، حمید و کاکولوند، یوسف ۱۳۹۳. "بررسی روند تغییرات بارش - دبی زیر حوضه‌های رودخانه کرخه با استفاده از روش‌های ناپارامتریک مطالعه موردی: حوضه آبریز کشکان". **نشریه علوم و مهندسی آبیاری**، دوره ۳۸، شماره ۴ (۴)، صص ۱۷۷-۱۸۸.
- راعی، رضا؛ محمدی، شاپور و فندرسکی، حنظل ۱۳۹۴. "پیش‌بینی شاخص بورس سهام با استفاده از شبکه عصبی و تبدیل موجک". **فصلنامه مدیریت دارایی و تامین مالی**، سال سوم، شماره ۱، صص ۵۵-۷۴.
- شمس، شهاب‌الدین. ۱۳۸۷. "بررسی زمان مقیاس مدل قیمت‌گذاری دارایی سرمایه‌ها از طریق تبدیل موجک". پایان‌نامه دکتري، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.



- طوفانی، پریوش؛ مساعدی، ابوالفضل؛ فاخری فرد، احمد؛ دهقانی، امیراحمد و موسوی حسام. ۱۳۸۹. "پیش‌بینی بارش‌های ماهانه با استفاده از تئوری موجک و سری‌های زمانی". **اولین همایش توسعه منابع آب**. دانشگاه آزاد اسلام و احد اهواز.
- عباسی‌نژاد، حسین و محمدی، شاپور. ۱۳۸۴. "تحلیل سیکل‌های تجاری ایران با استفاده از نظریه موجک‌ها". **مجله تحقیقات اقتصادی**. شماره ۷۵. صص ۲۰-۱.
- فرزین‌وش، اسدالله؛ فرمان‌آراء، امید و محمدی، شاپور. ۱۳۹۲. "برآورد نسبت بهینه و شش ریسک در زمان - مقیاس‌های مختلف: رویکرد تجزیه و تحلیل موجک". **فصلنامه راهبرد اقتصادی**. سال دوم، شماره ۶. صص ۷-۴۰.
- Agbazo, M. N., Koto N'gobi, G., Alamou, E., Kounouhewa, B., & Afouda, A. 2019. "Fractal analysis of the long-term memory in precipitation over Bénin (West Africa)", *Advances in Meteorology*. No. 2, 1-12.
- Alfieri, L., Burek, P., Feyen, L., & Forzieri, G. 2015. "Global warming increases the frequency of river floods in Europe". *Hydrol. Earth Syst. Sci.* No. 19, PP. 2247–2260.
- Barkhordarian, A., Bhend, J., & von Storch, H. 2012. "Consistency of observed near surface temperature trends with climate change projections over the Mediterranean region". *Climate Dynamics*, No. 9–10, PP. 1695–1702.
- Daubechies, I. 1992. *Ten lectures on wavelets*. Society for Industrial Mathematics.
- Fan, Q., Yanxin, W., & Li, Z. 2013. "Complexity analysis of spatial-temporal precipitation system by PCA and SDLE". *Applied Mathematical Modelling*. No. 6, PP. 4059–4066.
- Gallagher, C., & Lund, R. 2013. "Changepoint detection in climate time series with long-term trends". *Journal of Climate*. No. 26, 4994–5006.
- Holman, I.P. 2005. "Climate change impacts on groundwater recharge- uncertainty, shortcomings, and the way forward?" *Hydrogeology Journal*, No. 5, PP. 637–647.
- Joos, F., Prentice, C., Sitch, S., Meyer, R., Hooss, G., Platter, G.K., Gerber, S., & Hasselmann, K. 2001. "Global warming feedbacks on terrestrial carbon uptake under the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) emission scenarios". *Global Biogeochemical Cycles*, No.4, PP. 891–907.
- Joshi, N., Gupta, D., Suryavanshi, S., Adamowski, J., & Madramootoo, C.A. 2016. "Analysis of trends and dominant periodicities in drought variables in India: A wavelet transforms based approach". *Atmospheric Research*. No. 182, PP. 200–220.
- Kantelhardt, J. W., Koscielny- Bunde, E., Rybski, D., Braun, P., Bunde, A. & Havlin, S. 2006. "Long- term persistence and multifractality of precipitation and river runoff records". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. No. D1, PP. 1-13.
- Kantelhardt, J.W., Zschiegner, S.A., Koscielny-Bunde, E., Havlin, S., Bunde, A. & Stanley, H.E. 2002. "Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. No.1-4, PP. 87-114.
- Koscielny-Bunde, E., Kantelhardt J.W., Braun P., Bunde, A., & Havlin, S. 2006. "Long-term persistence and multifractality of river runoff records: Detrended fluctuation studies". *Journal of Hydrology*. No.1-4, PP. 120-137.

- Labat, D. 2005. "Recent advances in wavelet analyses: part 1. A review of concepts". *Journal of Hydrology*, No.1-4, PP. 275-288.
- Liepert, B.G., & Previdi, M. 2009. "Do Models and Observations Disagree on the Rainfall Response to Global Warming?" *Journal of Climate*. No.11, PP. 3156-3166.
- Matsoukas, C., Islam, S., & Rodriguez- Iturbe, I. 2000. "Detrended fluctuation analysis of rainfall and streamflow time series". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. No. 105, PP. 29165-29172.
- Meenu, R., Rehana, S., & Mujumdar, P. 2013. "Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga-Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM". *Hydrological Processes*. No.11, PP. 1572-1589.
- Min, S.-K., X. Zhang, F. W. Zwiers, and G. C. Hegerl. 2011. "Human contribution to more-intense precipitation extremes". *Nature*. NO. 470, PP. 378-381.
- Nema, M., Khare, D., Adamowski, J.F., & Chandniha, D.K. 2018. "Spatio-temporal analysis of rainfall trends in Chhattisgarh State, Central India over the last 115 years". *Journal of Water and Land Development*. No.1, PP. 117-128.
- Pandey, B.K., Gosain, A.K., Paul, G., & Khare, D. 2017. "Climate change impact assessment on hydrology of a small watershed using semi-distributed model". *Applied Water Science*. No.4, PP. 2029-2041.
- Paul, R. K., Mitra, D., Paul, A. K., & Bhar, L. M. 2019. Long Memory and Structural Break in Seasonal Rainfall in India, *Special Proceeding of the 21st Annual Conference of SSCA held at SV Agricultural College (ANGRAU)*, Tirupati, during January 29-31, PP. 83-92.
- Peng, C.K., Havlin, S., Stanley, H.E., & Goldberger, A.L. 1995. "Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. Chaos: an interdisciplinary". *Journal of nonlinear science*. No.1, PP. 82-87.
- Priyadarshi, N., Soumya Bandyopadhyay, V. M. Chowdary, K. Chandrasekar, Jeganathan Chockalingam, Uday Raj & Chandra Shekhar Jha. 2020. "Segmentation-based approach for trend analysis and structural breaks in rainfall time series (1851-2006) over India". *Hydrological Sciences Journal*, No.9, PP. 1583-1595.
- Sang, Y. F., Wang, D., Wu, J.C., Zhu, Q.P., & Wang, L. 2009. "Entropy-based wavelet de-noising method for time series analysis". *Entropy*. No. 4, PP. 1123-1147.
- Sethi, R., Pandey, B.K., Krishan, R., Khare, D., & Nayak, P.C. 2015. "Performance evaluation and hydrological trend detection of a reservoir under climate change condition". *Modeling Earth Systems and Environment*, No. 4, PP. 1-10.
- Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J.M., & Meehl. G.A. 2006. "Going to the extremes: An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events". *Climatic Change*, No. 79, PP. 185-211.
- Trenberth, K. E. 2011. "Changes in precipitation with climate change". *Climate Res*. No. 47, PP. 123-138.



- Valencia, J.L., Requejo, A.S., Gasco, J.M., & Tarquis, A.M. 2010. "A universal multifractal description applied to precipitation patterns of the Ebro river basin". Spain. *Clim Res.* PP. 17-44.
- Zaveri, E., Grogan, D.S., Vanden, K.F., Frolking, S., Lammers, R.B., Wrenn, D.H., Prusevich, A., & Nicholas, R.E. 2016. "Invisible water, visible impact: groundwater use and Indian agriculture under climate change". *Environmental Research Letters*, No. 8, 084005.
- Zhou, Z.Q., S.-P. Xie, X.-T. Zheng, Q. Liu, and H. Wang. 2014. "Global warming-induced changes in El Niño teleconnections over the North Pacific and North America". *Journal of Climate*. No. 27, PP. 9050–9064.



Identification of structural breaks and change points of rainfall time series in mountainous areas (Case study: Khorramabad Synoptic Station)

Hamid Mirhashemi^{*1}, Assistant Professor of Geography Department, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Received: 1 January 2021

Accepted: 3 February 2021

Abstract

Identifying trends and structural breaks in the rainfall time series is one of the most important challenges in climate change studies. As the discovery of such structural breaks can help assess future scenarios and atmospheric phenomena such as floods and droughts. In this study, in order to identify structural breaks in the daily and monthly precipitation time series of Khorramabad synoptic station, two approaches of multifractal detrended fluctuation analysis (MF-DFA) and Maximal overlap discrete wavelet transform (MODWT) were used. The results of applying MF-DFA on the daily rainfall time series (1961-2018) showed that there are three structural breaks in this time series that the rainfall trend around these points has changed significantly. On the other hand, the results of this approach showed that the period 1985-2002 is the most fluctuating period of precipitation and the periods 1961-1969 and 2010-2018 are the periods with the lowest fluctuations in precipitation. Calculation of the fluctuation function at time scales of 2, 5, 10 and 20 years showed that in the period 2000-2018, fluctuations of 2 to 20 years have decreased. The results of the fluctuation function with q order also showed that the periods 1965-1970 and 1989-1994 were associated with large fluctuations in precipitation. If the two periods of 1999-2004 and 2008-2013 refer to periods with small fluctuations in precipitation. Also, the results obtained from the application of MODWT on the monthly rainfall time series showed that the wavelet coefficients changed in 2007. In this regard, by dividing the high frequency signals of the wave into two periods including 1961-2007 and 2008-2018, it was found that the differences between precipitation fluctuations during the scales of 8 to 16 months have the most variability in the precipitation time series.

Keywords: Fluctuation, Break, Multifractal, Wavelet, Khorramabad.

^{*1} Corresponding Author: email: mirhashemi.h@lu.ac.ir

To cite this article:

Mirhashemi, H (2021). Identification of structural breaks and change point of rainfall time series in mountainous areas (Case study: Khorramabad Synoptic Station), Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, 1(4), 1-16. Doi:10.29252/gsma.1.4.1