

## واکاوی روند نمایه‌های فرین بارش در حوضه کارون با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌ای APHRODITE

امیرحسین حلییان<sup>۱</sup>

دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۴

### چکیده

توجه به تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر به سبب پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیان‌های مالی مرتبط با رخداد‌های فرین جوی افزایش یافته است. در این ارتباط، واکاوی مقادیر حدی بارش و رویدادهای مرتبط با آن از اهمیت خاصی در مدیریت بخش‌های مختلف نظیر کشاورزی، منابع آب، شهرسازی و حمل و نقل برخوردار است. در این پژوهش به منظور واکاوی روند نمایه‌های فرین بارش در حوضه آبریز کارون از داده‌های پایگاه شبکه‌ای بارش افروادیت طی دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۵۱ در تفکیک مکانی  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  درجه‌ی قوسی بهره گرفته شد. نخست، آرایه داده‌های اولیه در ابعاد  $21000 \times 20819$  برای کل منطقه‌ی خاورمیانه در نرم‌افزار متلب تولید شد. سپس آرایه‌ای در ابعاد  $100 \times 20819$  از آرایه اولیه استخراج گردید که حوضه کارون را در بر می‌گرفت. سطرهای این آرایه نماینده‌ی روزها و ستون‌های آن نماینده‌ی یاخته‌های مکانی بود. در ادامه، نمایه‌های بیشینه بارش یک روزه (RX1)، نمایه ساده شدت بارش (SDII)، تعداد روزهای با بارش مساوی و یا بیشتر از ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر (R25, R20, R10)، تعداد روزهای متوالی خشک (CDD)، تعداد روزهای متوالی مرطوب (CWD)، مجموع سالانه بارش روزهای خیلی مرطوب (R95p) و مجموع سالانه روزهای با بارش بسیار مرطوب (R99p) از لیست نمایه‌های استاندارد توصیه شده توسط کمیته‌ی اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی جهانی و برنامه‌ی تحقیقاتی تغییرپذیری و پیش‌بینی اقلیم انتخاب شد و برای شناسایی و تحلیل روند از روش ناپارامتری من- کندال استفاده گردید. یافته‌ها نشان داد که در پهنه‌های شرقی، شمالی و مرکزی حوضه کارون، روند، غالباً مثبت و بر روی بخش اندکی از آن در غرب و جنوب منفی است. نمایه‌ها غالباً در غرب حوضه فاقد روند هستند. نه تنها بسامد رویداد بارش‌های فرین در مناطق شرقی، شمالی و مرکزی حوضه رو به فزونی است؛ بلکه شدت و مقادیر بارش حاصل از آنها نیز افزایش یافته است. به عبارت دیگر، هم زمان رخداد بارش در این پهنه‌ها در ده‌های اخیر متمرکز شده و هم بخش قابل توجهی از بارش سالانه در طی چند روز از سال به صورت بارش‌های سنگین و ابرسنگین اتفاق می‌افتد. بیشترین گستره‌ی روند افزایشی مربوط به نمایه‌های، نمایه‌ی ساده‌ی شدت بارش روزانه (SDII)، روزهای بسیار مرطوب (R99p)، روزهای همراه با بارش ابرسنگین (R25) و روزهای همراه با بارش بسیار سنگین (R20) می‌باشد. کمترین تغییرات روند افزایشی نیز مربوط به نمایه‌ی روزهای متوالی خشک (CDD) است.

**واژگان کلیدی:** بارش، نمایه‌های فرین، روند، کارون.

## مقدمه

امروزه چالش تغییر اقلیم به سبب اثرات نامطلوبی که بر ابعاد مختلف حیات بشری دارد؛ به عنوان یکی از شایع‌ترین مباحث علمی و حتی سیاسی - اجتماعی در سطح دنیا مطرح است. تغییر اقلیم یک پدیده پیچیده جوی - اقیانوسی در مقیاس جهانی و دراز مدت است. این پدیده متأثر از عواملی چون فعالیت‌های خورشیدی، آتشفشانها، جو، اقیانوس‌ها و درصد گازهای گلخانه‌ای در جو می‌باشد که اندرکنش متقابل دارند. این تغییر منجر به دگرگونی در وضع آب و هوا گردیده و روند جدیدی را در اقلیم جهانی سبب می‌شود. در سال‌های اخیر باور این مسئله که گستره و شدت رخدادهای فرین در سده‌ی بیست و یکم رو به فزونی گذاشته، تقویت شده است (IPCC, 2007). کمیته‌ی بین‌الدول تغییر اقلیم نیز آشکار کرده که اثر فعالیت‌های بشری بر تغییر اقلیم انکارناپذیر است (IPCC, 1995). بارش یکی از پیچیده‌ترین و اتفاقی‌ترین پدیده‌های طبیعی است. در واقع، تأثیر عوامل محسوس و یا غیرمحسوس آن چنان در ایجاد حادثه دخیل است که این روند را از یک نظام قانونمند روشن به‌سوی یک پدیده پیچیده و آشوبناک سوق داده است. بنابراین، واکاوی رخدادهای فرین بارش یکی از موضوعات مهم در اقلیم‌شناسی به شمار می‌رود (اوباسی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴ و بروس<sup>۲</sup>، ۱۹۹۴). به منظور شناسایی تغییر اقلیم و پراکنش مکانی آن نمایه‌های متعدد تغییر اقلیم با هدف آشکارسازی پراکنش زمانی و فضایی پدیده تغییر اقلیم توسط پژوهشگران مراکز پژوهشی مختلف در سطح جهان معرفی و گسترش یافته‌اند. در این ارتباط، کمیته‌ی اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی جهانی و برنامه‌ی تحقیقاتی تغییرپذیری و پیش‌بینی اقلیم فهرستی از این نمایه‌ها را به منظور نیل به یک بینش واحد نسبت به فرین‌های اقلیمی و هواشناسی معرفی کرده است. این فهرست مشتمل بر ۲۷ نمایه برای فراسنج‌های دما و بارش است که ویژگی‌هایی نظیر بسامد، شدت و تداوم فرین‌های اقلیمی در آن مورد توجه قرار گرفته است. از میان این نمایه‌های ۲۷ گانه ۱۶ نمایه در ارتباط با دما و ۱۱ نمایه‌ی دیگر مربوط به بارش می‌باشد. پژوهشگران بسیاری از این نمایه‌ها طی سال‌های اخیر برای آشکارسازی روند تغییرات فرین‌های اقلیمی بهره‌برده‌اند. از جمله: هیدالگو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) روند روزانه‌ی بارش در والنسیای اسپانیا را طی نیمه‌ی دوم قرن بیستم بررسی کردند. یافته‌های این پژوهش آشکار نمود که تغییرات بارش سالانه تنها به تغییرات پیدا شده در چند رویداد بارشی بستگی داشته است. همچنین با وجود روند منفی این رخدادهای، پراکنش آنها با بارش سالانه فزونی یافته است. کنکل<sup>۴</sup> (۲۰۰۳) ضمن واکاوی روند شاخص‌های بارشی فرین در ایالات متحده نشان داد که افزایش چشمگیری در فراوانی رویدادهای بارشی فرین در دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ وجود داشته است. وی بر این باور است که تغییرات اخیر در رویداد بارشی فرین ناشی از تغییرپذیری طبیعی اقلیم بوده است. در عین حال، فعالیت‌های انسانی که منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌شوند را نیز نباید از نظر دور داشت. هیوندیچا و باردوسی<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) با بررسی روند فرین‌های دما و بارش بر روی غرب آلمان در نیمه‌ی دوم قرن بیستم به این نتیجه رسیدند که در همه‌ی فصول، شدت و فراوانی بارش‌های فرین در این پهنه به جز فصل

<sup>۱</sup>-Obasi

<sup>۲</sup>- Bruce

<sup>۳</sup>-Hidalgo et al

<sup>۴</sup>-Kunkel

<sup>۵</sup>-Hundexha&Bardossy

تابستان روندی افزایشی دارد. این در حالی است که در تابستان عکس این حالت وجود دارد. وانگ و زو<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) در پژوهشی ضمن بررسی روند رخدادهای حدی بارش در با چین بهره‌گیری از داده‌های بارشی ایستگاه‌های این کشور در بازه‌ی زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ دریافتند که افزایش بارش‌های حدی تنها در فصل تابستان رخ داده است. پژوهش ژانگ<sup>۲</sup> و همکاران در خصوص روند شاخص‌های فرین اقلیمی در خاورمیانه در دوره زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۳ نشان از وجود روند ضعیف در شاخص‌های حدی بارش در این منطقه دارد. الکساندر<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶) با تحلیل تغییرات در شاخص‌های حدی دما و بارش کره زمین در طی بازه زمانی ۲۰۰۳-۱۹۵۱ روند افزایشی معنی‌دار در شاخص‌های مربوط به دماهای کمینه را نشان دادند. در عین حال، یافته‌های آنان حکایت از وجود روند مثبت در بارش‌های حدی روی برخی از ایستگاه‌ها داشت. بارثولی و پونگراسز<sup>۴</sup> (۲۰۰۶) ضمن واکاوی شاخص‌های بارش و دمای فرین حوضه کارپاسیان در مجارستان در بازه زمانی ۱۹۴۶ تا ۲۰۰۱ دریافتند که با وجود افزایش شدت و بسامد بارش‌های فرین بین سال‌های ۱۹۷۶ و ۲۰۰۱، بارش کل در این حوضه روندی نزولی داشته است. پال و تابا<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) با تحلیل روند فرین-های بارش فصلی در کیرالای هندوستان به این نتیجه رسیدند که بارش‌های پاییزه و زمستانه در پاره‌ای از مناطق روندی معنادار دارد؛ این در حالی است که بارش‌های بهاره روندی کاهشی را نشان می‌دهد. چوی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تغییرات میانگین و فرین‌های بارش در بخش آسیایی اقیانوس آرام در بازه زمانی (۲۰۰۷-۱۹۵۵) و با بهره‌گیری از ۱۴۳ ایستگاه هواشناسی نشان دادند که بارش در این بازه فاقد روند بوده است. تنها رخدادهای فرین بارش در ۳۰ درصد از ایستگاه‌ها روندی معنادار داشته که البته الگوی پراکنش خاصی را نشان نمی‌دهد. کوستا<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۲) ضمن واکاوی انگاره‌های تغییر اقلیم رخدادهای فرین بارش در پرتغال آشکار نمودند که سهم بارش‌های فرین در شمال‌شرق پرتغال در فصل زمستان و بهار نسبت به کل بارش‌ها افزایش یافته است. وانگ<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی روند رخدادهای فرین بارش در شمال‌شرق چین در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱-۱۹۶۰ با استفاده از ۷۱ ایستگاه هواشناسی دریافتند که نمایه‌ی روزهای متوالی خشک روند افزایشی دارد؛ در حالی که نمایه-های بارش‌های سنگین ۱۰ میلی‌متر (R10)، ۲۰ میلی‌متر (R20) و ۲۵ میلی‌متر (R25) روند کاهشی را نشان می‌دهد. سانتوس و فراگوسو<sup>۹</sup> (۲۰۱۳) ضمن واکاوی روند نمایه‌های فرین در شمال پرتغال در بازه زمانی ۲۰۰۰-۱۹۵۰ به این نتیجه رسیدند که نمایه‌های روزهای خیلی مرطوب (R95p)، روزهای همراه با بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر (R30) و حداکثر بارش پنج روزه (Rx5) روندی افزایشی دارد. در ایران نیز یافته‌های محمدی و تقوی (۱۳۸۴) نشان داد که شاخص‌های حدی بارش روند کاهشی با شیب ملایم در ایستگاه تهران دارد. تقوی و محمدی (۱۳۸۶) ضمن بررسی دوره‌ی بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی در ۱۶ ایستگاه همدید کشور به این نتیجه رسیدند که دوره‌ی بازگشت شاخص‌های حدی گرم و بارش ده ساله و دوره‌ی بازگشت شاخص‌های حدی سرد طولانی‌تر شده است و در نهایت

<sup>1</sup> - Wang & Zhou

<sup>2</sup> - Zhang

<sup>3</sup> - Alexander

<sup>4</sup> - Bartholy & Pongracz

<sup>5</sup> - Pal & Tabba

<sup>6</sup> - Choi

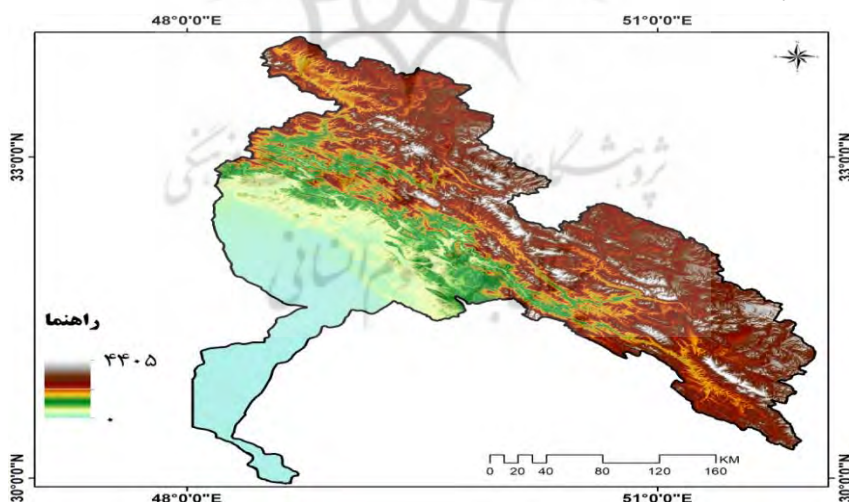
<sup>7</sup> - Coasta

<sup>8</sup> - Wang

<sup>9</sup> - Santos & Fragoso

فراوانی وقوع شاخص‌های حدی گرم و بارش بیشتر و شاخص‌های حدی سرد کمتر شده است. یافته‌های عسگری و همکاران (۱۳۸۶) در مورد روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ نشان از کاهش آشکار مقدار سالانه بارش در روزهای تر در دو سوم از ایران دارد. این در حالی است که نمایه بارش سنگین بیش از ۱۰ میلی‌متر افزایش یافته است. این پژوهش آشکار نمود که تعداد روزهای خشک در مناطق جنوبی کشور روند مثبت و تعداد روزهای تر در یک سوم بخش‌های جنوبی ایران روند منفی داشته است. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱ دریافتند که نمایه‌های حدی چون روزهای یخبندان (FD)، روزهای یخی (ID)، روزهای سرد (TX10P)، شب‌های سرد (TN10P)، دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) در اغلب نقاط کشور دارای روند منفی است. مسعودیان و دارند (۱۳۹۲) ضمن شناسایی تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایران طی دهه اخیر آشکار نمودند که در مناطق غرب و جنوب‌غرب کشور، روند مثبت و در بر روی نوار باریکی در شمال ایران روند منفی است. نمایه‌ها در نیمه شرقی کشور روندی از خود نشان نمی‌دهند. واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه توسط دارند (۱۳۹۳) نشان داد که تغییرات بیش‌تر نمایه‌های بارش فرین طی دوره مورد مطالعه روند نزولی معناداری دارد. همچنین طی چند سال اخیر از بسامد رخداد بارش‌های سنگین، ابرسنگین و میزان کل بارش سالانه ارومیه به شدت کاسته شده است.

از آن جایی که حوضه کارون به واسطه تأمین ۷۸ درصد انرژی برق‌آبی و ۱۳ درصد تولیدات کشاورزی کشور، نقش انکارناپذیری در تأمین غذا و انرژی کشور دارد (شکل ۱)؛ پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در حوضه کارون با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌ای پایگاه افروادیت صورت گرفت تا تغییرات بارش را در این حوضه گسترده به تصویر کشد.



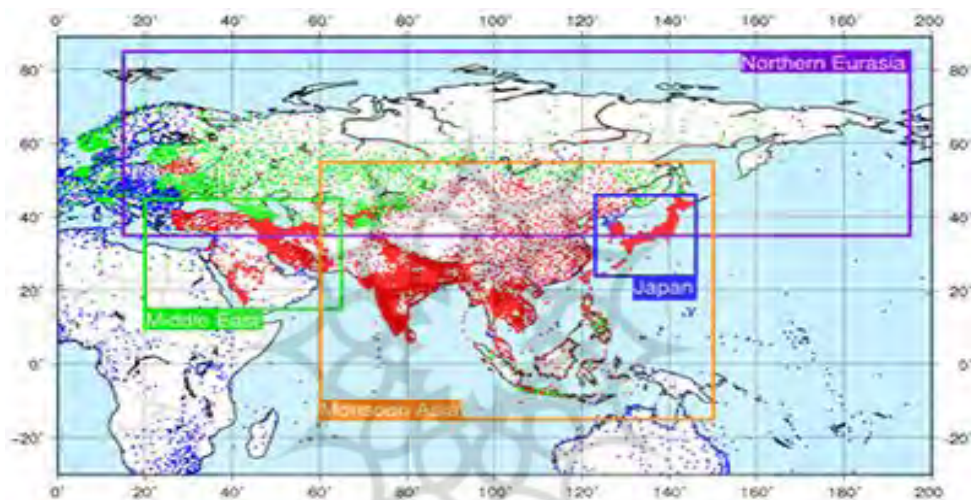
شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز کارون منبع: نگارندگان

## مواد و روش‌ها

پایگاه داده APHRODITE<sup>۱</sup> توسط مؤسسه تحقیقات آژانس هواشناسی ژاپن ایجاد شده است. داده‌های این پایگاه مشتمل بر داده‌های روزانه بارش شبکه‌ای در قلمرو آسیا است که از مشاهدات باران‌سنجی حاصل شده است. در این پایگاه،

<sup>۱</sup>. Asian Precipitation. Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources (APHRODITE's Water Resources)

داده‌های روزانه بارش در تفکیک مکانی  $0.25 \times 0.25$  و  $0.5 \times 0.5$  درجه طول و عرض جغرافیایی برای بازه زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ در دسترس است. داده‌های بارشی روزانه APHRODITE تنها فرآورده بلندمدت بارشی روزانه در مقیاس قاره‌ای بوده که در بردارنده شبکه‌ای انبوه از داده‌های روزانه بارشی پیمونگه‌ها<sup>۱</sup> برای قاره آسیا است و در بردارنده منطقه هیمالیا، جنوب و جنوب غرب آسیا و پهنه‌های کوهستانی خاورمیانه است. شمار ایستگاه‌های معتبر این پایگاه میان ۵۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ است. فرآورده‌های این پایگاه بارشی برای شناسایی تغییرات اقلیمی، ریزگردانی‌های آماری، بهبود پیش‌بینی‌های آب‌وهوایی، راستی‌آزمایی، همانندسازی‌های مدل‌های عددی و برآوردهای بارشی ماهواره‌ای سودمند است (کیخسروی کیانی، ۱۳۹۱). شکل ۲ نشان‌دهنده قلمرو فرآورده‌های این پایگاه داده در نسخه V1101 و V1005 است. با استفاده از این پایگاه، تغییرات بارشی در افغانستان توسط مسترشد (۱۳۹۲) و جمهوری آذربایجان توسط یونسی (۱۳۹۲) بررسی و تحلیل شده است.



شکل ۲- قلمرو فرآورده‌های پایگاه داده APHRODITE در نسخه V1101 و V1005 منبع: نگارندگان

در این پژوهش، جهت بررسی روند تغییرات بارش حوضه کارون از داده‌های بارش روزانه پایگاه داده افروادیت که دارای تفکیک مکانی  $0.25 \times 0.25$  درجه است، در یک دوره ۵۷ ساله (۱۹۵۱-۲۰۰۷) استفاده شد. داده‌های این پایگاه بارشی دارای فرمت nc بوده و بر روی تارنمای آن به نشانی ([www.chikyu.ac.jp/precip/](http://www.chikyu.ac.jp/precip/)) قابل دستیابی است. نخست، داده‌های این پایگاه بارشی با فرمت nc در محیط نرم افزار متلب<sup>۲</sup> فراخوان و خوانده شد. با کدنویسی در این نرم‌افزار آرایه‌ای به آرایش  $20819 \times 2100$  حاصل شد که بر روی سطرها روزها و بر روی ستون‌ها یاخته‌های مکانی بر روی قلمرو خاورمیانه قرار گرفت. با کدنویسی در محیط این نرم‌افزار و با استفاده از تابع اینپولیگون<sup>۳</sup> داده‌هایی که حوضه کارون را در بر می‌گرفت استخراج گردید. بدین ترتیب، آرایه‌ای به ابعاد  $20819 \times 100$  بدست آمد که پایه و اساس محاسبات در این پژوهش قرار گرفت. نمایه‌های مورد استفاده در این پژوهش از فهرست نمایه‌های پیشنهادی گروه کارشناسی تغییر اقلیم و نمایه‌ها انتخاب شد. این گروه شاخص‌های اصلی را با تاکید بر روی رخدادهای حدی اقلیمی ارائه نموده‌اند که از سری داده‌های روزانه ثبت شده قابل استخراج است. برای این که نمایه‌های محاسبه شده برای

۱. پیمونگه نقاطی است که متغیر مکانی در آن اندازه گیری شده و دارای ارزش معلوم است و از این‌رو، شرایط را برای میان‌یابی فراهم می‌کند (عساکره، ۱۳۸۷).

<sup>۲</sup> - Matlab

<sup>۳</sup> - Inpolygon

دوره‌های آینده نیز قابل استناد باشد، دوره‌های پایه را سازمان جهانی هواشناسی انتخاب می‌کند (برای مثال ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۰۰-۱۹۷۱). امروزه به دلیل دسترس بودن داده‌ها دوره‌ی پایه را ۲۰۰۰-۱۹۷۱ در نظر می‌گیرند. این نمایه‌ها در پنج گروه زیر طبقه‌بندی می‌شود (Alexander et al, 2006):

- ۱- نمایه‌های حدی نسبی (صدکی): این نمایه‌ها نشانگر این هستند که مقادیر حدی تا چه اندازه نسبت به دوره پایه تغییر می‌کنند. نمایه‌های بارش در این گروه میزان کاهش بارش صدک‌های بالای ۹۵ درصد (R95p) و صدک ۹۹ (R99p) را در یک سال به ما نشان می‌دهند. در حقیقت، واکاوی این نمایه‌ها در یک پهنه روند افزایش (کاهش) بارش را آشکار می‌کند.
- ۲- نمایه‌های آستانه‌ای: نمایه‌هایی هستند که تعداد روزهای بالا و یا پایین‌تر از یک آستانه را نشان می‌دهند. به بیان دیگر این نمایه‌ها نشانگر تعداد روزهایی است که فراسنج‌های اقلیمی مانند دما یا بارش از یک آستانه ثابت فراتر می‌روند. در این بین تعداد روزهای بارشی فرین بیش از ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر به ترتیب با (R10)، (R20) و (R25) نشان داده می‌شود.
- ۳- نمایه‌های حدی دوره‌ای: این نمایه‌ها دوره‌های خشک و تر زیاد از حد در طول فصل رشد را مشخص می‌کند. نمایه‌های روزهای متوالی خشک (CDD) و روزهای متوالی مرطوب (CWD) از این دسته نمایه‌ها هستند.
- ۴- نمایه‌های حدی مطلق: این نمایه‌ها مربوط به مقادیر مطلق بارش هستند. برای نمونه بیشینه مقدار بارش یک روزه RX1 در ماه در این گروه جای می‌گیرد.
- ۵- نمایه‌هایی که در هیچ یک از گروه‌های فوق جای نمی‌گیرد؛ نمایه‌ی ساده‌ی شدت بارش روزانه (SDII) در زمره این گروه محسوب می‌شود.

جدول ۱- نمایه‌های بارش فرین، اخذ شده از وب سایت گروه شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها<sup>۱</sup>

ردیف	نمایه	تعریف	یکا
۱	RX1	بیشینه مقدار بارش یک روزه: بیش‌ترین مقدار بارش یک روزه در ماه	میلی-متر
۲	SDII	نمایه‌ی ساده‌ی شدت بارش روزانه: این نمایه نسبت مقدار کل بارش سالانه به تعداد روزهای بارشی (بارش بیش‌تر یا مساوی با یک میلی‌متر) است. فرض کنید که $RR_{wj}$ مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (حداقل یک میلی‌متر) در دوره $j$ ام است. اگر $W$ بیانگر تعداد روزهای مرطوب در دوره $j$ ام باشد؛ نمایه ساده شدت بارش روزانه از رابطه زیر حاصل می‌شود:	میلی-متر
		$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{W}$	
۳	R10	روزهای همراه با بارش سنگین: تعداد روزهایی از سال که بارش بیش‌تر یا مساوی با ۱۰ میلی‌متر باشد.	روز
۴	R20	روزهای همراه با بارش بسیار سنگین: تعداد روزهایی از سال که بارش بیش‌تر یا مساوی ۲۰ میلی‌متر باشد.	روز
۵	R25	روزهای با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر: تعداد روزهایی از سال که بارش دست‌کم ۲۵ میلی‌متر باشد.	روز
۶	CDD	روزهای متوالی خشک: بیشینه تعداد روزهای متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی‌متر است.	روز
۷	CWD	روزهای متوالی مرطوب: بیشینه تعداد روزهای متوالی که بارش بیش از ۱ میلی‌متر است.	روز
۸	R95p	روزهای خیلی مرطوب: مجموع مقدار بارش روزهایی از سال که مقدار بارش فراتر از صدک ۹۵ دوره‌ی پایه باشد. فرض کنید که $RR_{wj}$ مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (حداقل بارش یک میلی‌متر) در دوره $j$ ام است و $RR_{wn95}$ صدک ۹۵ بارش روزهای مرطوب در دوره پایه باشد. اگر $W$ بیانگر تعداد روزهای مرطوب در دوره پایه باشد؛ روزهای خیلی مرطوب از رابطه زیر حاصل می‌شود:	میلی-متر
		$R95p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$	
۹	R99p	روزهای بسیار مرطوب: مجموع مقدار بارش روزهایی از سال که مقدار بارش فراتر از صدک ۹۹ دوره‌ی پایه باشد. فرض کنید که $RR_{wj}$ مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (حداقل بارش یک میلی‌متر) در دوره $j$ ام است و $RR_{wn99}$ صدک ۹۹ بارش روزهای مرطوب در دوره پایه باشد. اگر $W$ بیانگر تعداد روزهای مرطوب در دوره پایه باشد؛ روزهای بسیار مرطوب از رابطه زیر حاصل می‌شود:	میلی-متر
		$R99p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99}$	

<http://cccma.seos.ubic.ca/ETCCDI>

<sup>۱</sup>-Expert Team on Climate Change Detection and Indices(ETCCDI)

در ادامه، با انجام کدنویسی در محیط نرم‌افزار متلب فراوانی سالانه‌ی هر یک از نمایه‌ها بر روی تک تک یاخته‌ها محاسبه گردید. سپس برای آشکارسازی روندهای احتمالی در هر یک از یاخته‌ها از آزمون ناپارامتری من‌کندل در سطح اطمینان ۹۵ درصد بهره‌گرفته شد. در ادامه برای نمایش داده‌ها از نرم‌افزار ARCGIS استفاده گردید. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف- محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع علامت<sup>۱</sup> و استخراج پارامتر s به شرح زیر:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

که n تعداد جملات سری، و  $X_j$  و  $X_k$  به ترتیب داده‌های زام و k ام سری هستند. Sgn تابع علامت است که از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

ب- محاسبه پراش توسط یکی از روابط زیر:

$$\text{var}(s) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t-5)}{18} \dots \text{if } \dots n < 10$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \dots \text{if } \dots n < 10$$

که n تعداد داده‌ها و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

ج- استخراج آماره Z به کمک یکی از روابط زیر:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

د- در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد. فرض صفر بر نبود روند و تصادفی بودن آن دلالت دارد. به عبارت دیگر، Z از نظر آماری معنادار نیست و سری زمانی نمایه موردنظر از خود روندی نشان نمی‌دهد.

$$|Z| \leq Z \alpha / 2$$

<sup>۱</sup> sign function



که  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_\alpha$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\alpha/2$  استفاده شده است. در پژوهش حاضر، این آزمون برای سطح اطمینان ۹۵ درصد به‌کار گرفته شد. فرض مقابل یا یک بر وجود روند دلالت دارد و به این معنی است که  $Z$  از نظر آماری معنادار است. وقتی این فرض تأیید می‌شود که  $Z < -Z\alpha/2$  یا  $Z > Z\alpha/2$  باشد. مقادیر مثبت  $Z$  روند صعودی و مقادیر منفی روند نزولی را در داده‌ها نشان می‌دهد (ویوکاناندان<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷، ۱۰۴).

### یافته‌های پژوهش

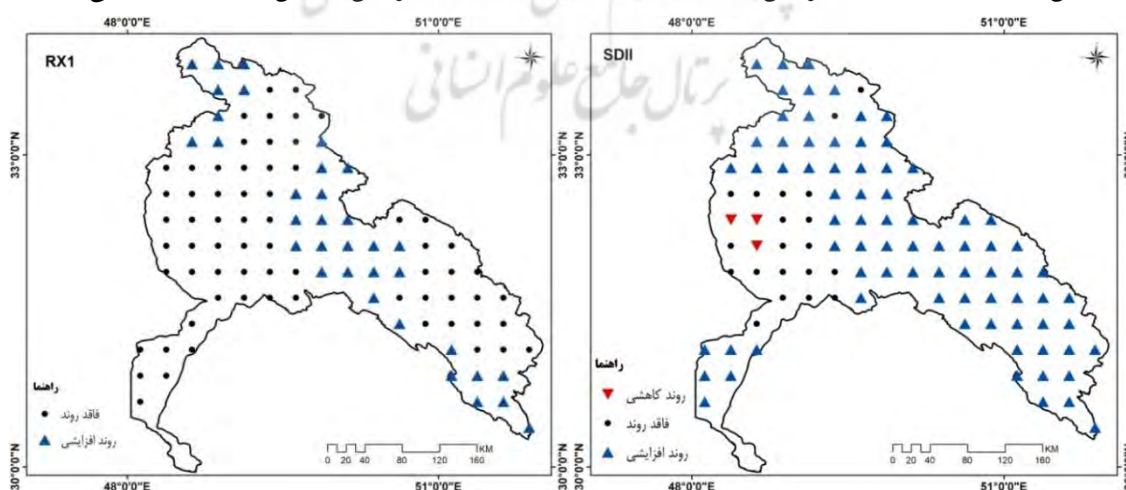
نتایج حاصل از واکاوی روند نمایه‌ها برای بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷-۱۹۵۱ در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در این اشکال پهنه‌هایی که نشان از روند معنادار مثبت هستند با رنگ آبی، مناطقی که حاکی از روند معنادار منفی می‌باشند با رنگ قرمز و پهنه‌های فاقد روند با رنگ مشکی نشان داده شده‌اند.

#### ۱- نمایه‌ی (RX1):

این نمایه بیانگر شدت بارش روزانه است و بیش‌ترین مقدار بارش روزانه در ماه را نشان می‌دهد. میزان بارش یک روزه در بخش‌های شمالی، نیمه شرقی و منتهی‌الیه جنوبی حوضه کارون در طی دوره زمانی مورد بررسی روند معنادار افزایشی دارد. به عبارت دیگر، بر اساس این نمایه ۳۴ درصد از حوضه مزبور از روند افزایشی بارش برخوردار بوده است. این در حالی است که ۶۶ درصد از پهنه مطالعاتی واقع در نیمه غربی و جنوب‌شرقی حوضه کارون فاقد روند معنادار بارش بوده است. بدین ترتیب، بر اساس این نمایه روند معنادار کاهش بارش در منطقه مشاهده نمی‌شود (شکل ۳).

#### ۲- نمایه‌ی ساده‌ی شدت بارش روزانه (SDII):

این نمایه که مبین شدت بارش روزانه است؛ سهم بارش روزانه را از مجموع بارش سالانه نشان می‌دهد. بررسی این نمایه نشان می‌دهد در بخش‌های وسیعی از منطقه روند افزایشی دیده می‌شود یا به عبارت دیگر به طور میانگین، شدت بارش‌های روزانه در حال افزایش است. ۷۷ درصد از منطقه روند افزایش در این نمایه را نشان می‌دهند.



شکل ۳) روند نمایه‌ی بیشینه مقدار بارش یک روزه (RX1) شکل ۴) روند نمایه‌ی روزهای همراه با بارش سنگین (SDII) منبع: نگارندگان

<sup>۱</sup>. Vivekanandan



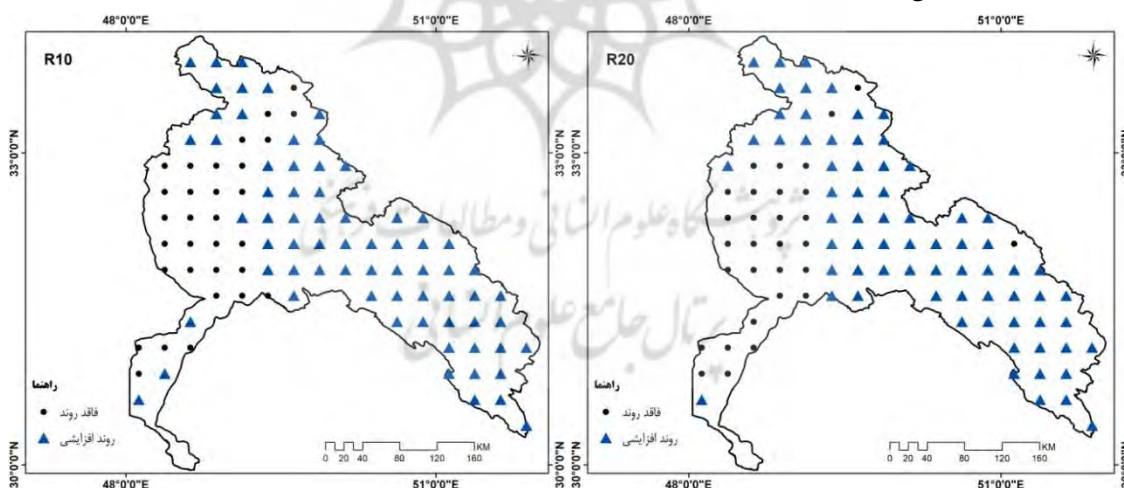
این پهنه‌ها عمدتاً منطبق بر نوار کوهستانی زاگرس است. از حیث این نمایه ۲۰ درصد از گستره مطالعاتی روند معناداری را نشان نمی‌دهند، تنها در ۳ درصد از منطقه روند کاهش در این نمایه دیده می‌شود (شکل ۴). روند کاهش در این نمایه نشان‌دهنده‌ی کاهش شدت بارش‌های روزانه است.

### ۳- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین (R10):

واکاوی این نمایه آشکار می‌سازد که در پهنه‌های وسیعی از حوضه کارون تعداد روزهایی از سال که بارش بیش‌تر یا مساوی با ۱۰ میلی‌متر است روند معنادار افزایشی دارد. به بیان دیگر، بر اساس این نمایه ۶۹ درصد از حوضه مزبور از روند افزایشی بارش برخوردار بوده است. این پهنه‌ها که عمدتاً منطبق بر توده کوهستانی زاگرس و پایکوه‌های آن است؛ نیمه شرقی حوضه و بخش‌هایی از شمال، مرکز و جنوب این گستره جغرافیایی را در بر می‌گیرد. از این در حالی است که بر اساس این نمایه، ۳۱ درصد از پهنه مطالعاتی واقع در غربی و بخش‌هایی از جنوب‌غربی حوضه کارون که منطبق بر بخش‌های مسطح آن می‌باشد فاقد روند معنادار بارش بوده است (شکل ۵).

### ۴- تعداد روزهای همراه با بارش بسیار سنگین (R20):

واکاوی روند تعداد روزهای همراه با بارش سنگین بیش‌تر یا مساوی ۲۰ میلی‌متر نشان می‌دهد که در ۷۰ درصد از حوضه مورد بررسی روند تعداد روزهای با بارش‌های دست کم ۲۰ میلی‌متر افزایشی و در ۳۰ درصد آن فاقد روند است. نکته‌ی در خور توجه این است که در هیچ بخشی از گستره حوضه همانند الگوی نمایه (R10) روند کاهش در این نمایه نیز مشاهده نمی‌شود (شکل ۶). به عبارت دیگر، الگوی پراکنش این نمایه در حوضه کارون همانند الگوی نمایه‌ی (R10) می‌باشد.



شکل ۵) روند نمایه‌ی روزهای همراه با بارش سنگین (R10) شکل ۶) روند نمایه‌ی روزهای همراه با بارش بسیار سنگین (R20) منبع: نگارندگان

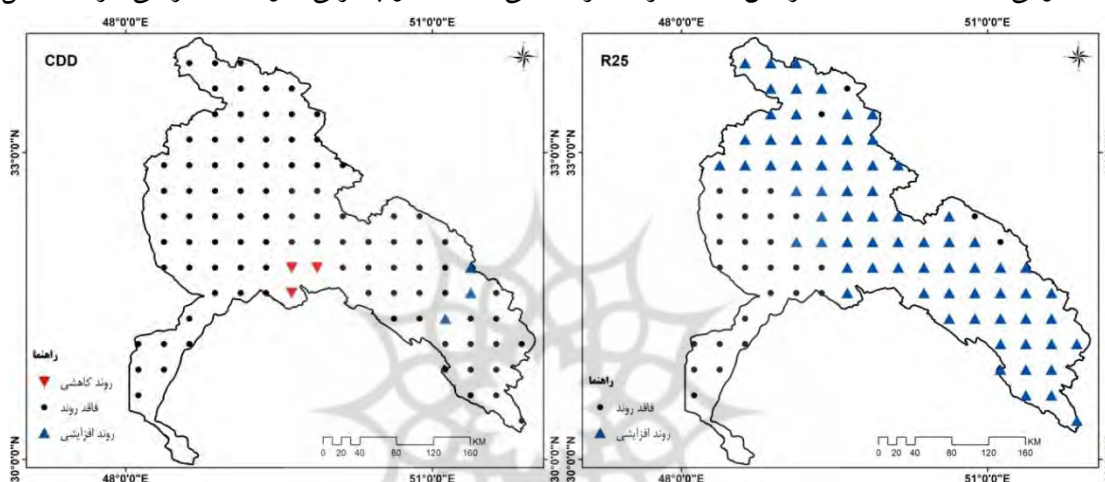
### ۵- تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر (R25):

واکاوی این نمایه گویای آن است که در ۷۱ درصد از حوضه مطالعاتی که عمدتاً ارتفاعات زاگرس و مناطق کوهپایه‌ای را شامل می‌شود؛ تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر دارای روند معنادار افزایشی و در ۲۹ درصد آن که از نظر توزیع ارتفاعی پهنه‌های مسطح را در بر می‌گیرد؛ بدون روند است. در این نمایه نیز همانند نمایه‌های (R10) و (R20)

روند منفی و کاهش در حوضه مورد بررسی مشاهده نمی‌شود. الگوی پراکنش این نمایه بیشتر بر روی نوار ارتفاعات زاگرس متمرکز شده است (شکل ۷).

#### ۶- نمایه‌ی روزهای متوالی خشک (CDD):

واکاوی این نمایه نشان می‌دهد که در گستره بسیار وسیعی که ۹۴ درصد از حوضه کارون را در برمی‌گیرد روزهای متوالی خشک روند معناداری ندارد. ۳ درصد از پهنه مورد بررسی روند کاهشی و ۳ درصد دیگر نیز روند افزایشی را نشان می‌دهند. بخش‌هایی که دارای روند کاهشی هستند یا به عبارت دیگر روزهای متوالی خشک آنها در حال کاهش است قلمرو بسیار کوچکی را در جنوب حوضه و قسمت‌هایی که دارای روند افزایشی هستند؛ به بیان دیگر روزهای متوالی خشک آنها رو به افزایش است نیز گستره اندکی را در جنوب‌غربی حوضه در بر می‌گیرد (شکل ۸).



شکل ۷) روند نمایه‌ی روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر (R25) (شکل ۸) روند روزهای متوالی خشک (CDD)

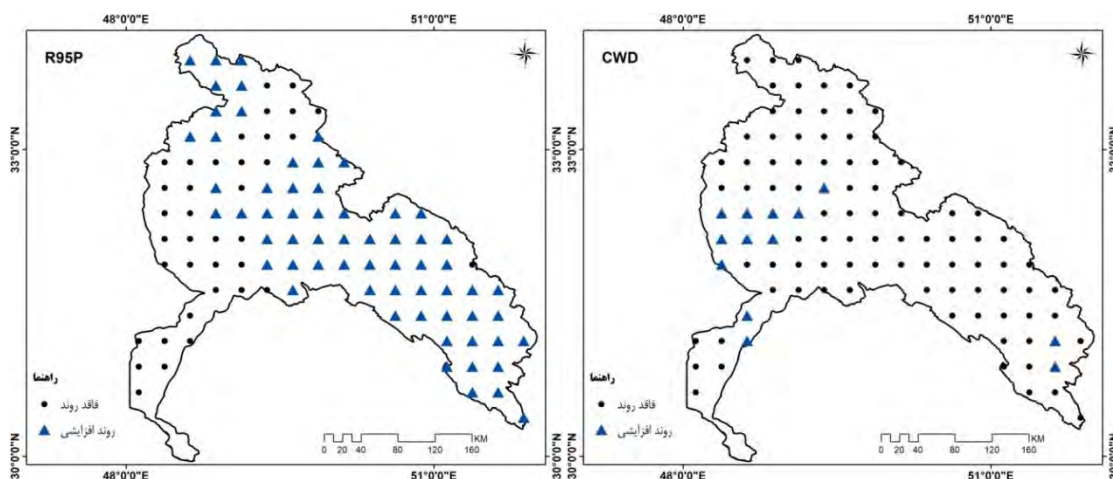
منبع: نگارندگان

#### ۷- نمایه‌ی روزهای متوالی مرطوب (CWD)

تحلیل روند نمایه‌ی روزهای متوالی مرطوب (CWD) نشان‌دهنده آن است که در گستره وسیعی از حوضه مورد بحث این نمایه فاقد روند است. به عبارت دیگر، این نمایه در ۸۷ درصد از پهنه مطالعاتی بدون روند و در ۱۳ درصد از آن روندی افزایشی دارد. بخش‌های شمالی، جنوبی، غربی و جنوب‌شرقی حوضه کارون فاقد روند و بخش‌های غربی و پهنه‌های اندکی در جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی آن دارای روند مثبت معنادار است (شکل ۹).

#### ۸- روزهای خیلی مرطوب (R95p):

طبق تعریف، این نمایه نشان‌دهنده‌ی مجموع مقدار بارش روزهایی از سال است که مقدار بارش بیش از صدک ۹۵ ام دوره‌ی پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) باشد. واکاوی روند این نمایه بر روی حوضه کارون نشان داد که میزان بارش حاصل از روزهای خیلی مرطوب در گستره وسیعی از این حوضه مشتمل بر پهنه‌های شمالی، مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی رو به افزایش است. به بیان دیگر، در ۶۳ درصد از مساحت پهنه مطالعاتی روند افزایشی در این نمایه کاملاً آشکار است. این در حالی است که این نمایه در ۳۷ درصد از حوضه که عمدتاً بخش‌های شمال‌شرقی، غربی و جنوب‌غربی حوضه را در بر می‌گیرد فاقد روند معنادار است (شکل ۱۰).

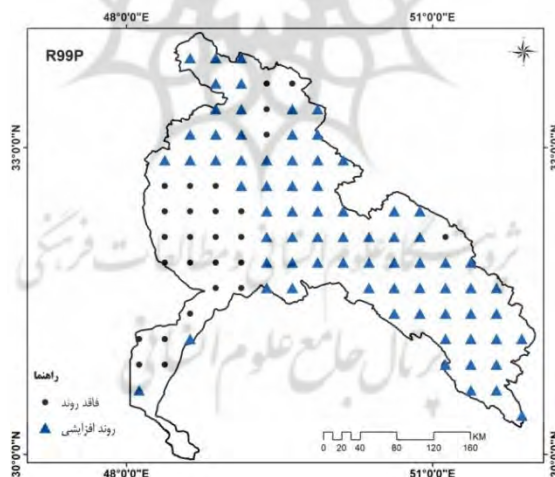


شکل ۹) روند نمایه‌ی روزهای متوالی مرطوب (CWD) شکل ۱۰) روند نمایه‌ی روزهای خیلی مرطوب (R95p)

منبع: نگارندگان

### ۹- روزهای بسیار مرطوب (R99p):

پراکنش فضایی این نمایه که همانند نمایه روزهای خیلی مرطوب است نشان می‌دهد که روند روزهای بسیار مرطوب در بخش‌های بسیار گسترده‌ای از حوضه که غالباً بخش‌های شمالی، نیمه شرقی و جنوب شرقی را در بر می‌گیرد مثبت و افزایشی است. این پهنه‌ها ۷۳ درصد از حوضه کارون را شامل می‌شود. نمایه مزبور تنها در ۲۷ درصد از مساحت حوضه که عمدتاً مشتمل بر بخش‌های غربی و جنوب غربی است روند معناداری را از خود نشان نمی‌دهد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱) روند نمایه‌ی روزهای خیلی مرطوب (R99p)

منبع: نگارندگان

همان‌گونه که جدول ۲) نشان می‌دهد بیشینه روند کاهش‌ی نمایه‌های مورد بررسی به نمایه‌های (SDII) و (CDD) اختصاص دارد که در آنها ۳ درصد از حوضه مورد بررسی روند کاهش‌ی را در این نمایه‌ها نشان می‌دهد. نمایه‌های (R10)، (R20) و (R25) در تمامی حوضه کارون فاقد روند کاهش‌ی است. این موضوع گویای این واقعیت است که تعداد روزهای رخداد بارش‌های سنگین و بسیار سنگین در حوضه مزبور روند منفی و کاهش‌ی نداشته است. بیشترین مساحت فاقد روند در بین نمایه‌ها مربوط به نمایه‌ی روزهای متوالی خشک (CDD) است که ۹۴ درصد از

حوضه مطالعاتی را در بر می‌گیرد. نمایه‌ی (SDII) بیشترین روند افزایش در حوضه را نشان می‌دهد که طی آن ۷۷ درصد از پهنه مورد بحث از حیث این نمایه روند مثبت را نشان می‌دهد.

جدول ۲- درصد پهنه‌های دارای روند معناداری نمایه‌های فرین بارش در حوضه کارون

نمایه	درصد پهنه دارای روند کاهشی	درصد پهنه فاقد روند	درصد پهنه دارای روند افزایشی
RX1	۰	۶۶	۳۴
SDII	۳	۲۰	۷۷
R10mm	۰	۳۱	۶۹
R20mm	۰	۳۰	۷۰
R25mm	۰	۲۹	۷۱
CDD	۳	۹۴	۳
CWD	۰	۸۷	۱۳
R95pTOT	۰	۳۷	۶۳
R99pTOT	۰	۲۷	۷۳

منبع: یافته‌های پژوهش

### نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش شناسایی و واکاوی روند نمایه‌های فرین بارش در حوضه کارون در بازه آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۷ بود. بدین منظور داده‌های شبکه‌ای بارش پایگاه داده افروادیت در دوره مورد بحث استفاده شد. برای شناسایی و واکاوی روند نمایه‌های فرین بارش بر روی تعداد ۱۰۰ یاخته در حوضه مطالعاتی آزمون من‌کنندال اعمال گردید و روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش آشکار ساخت که اغلب نمایه‌های فرین بارشی روندی مثبت و افزایشی را نشان می‌دهند. در این بین نمایه‌ی بسیار مهم (SDII) که مبین شدت بارش-های روزانه است دارای روند صعودی چشم‌گیری بوده است؛ به گونه‌ای که در ۷۷ درصد از مساحت حوضه کارون روند افزایشی این نمایه کاملاً آشکار است. در این حوضه نمایه‌های (R10)، (R20) و (R25) نیز که بیانگر تعداد روزهای همراه با بارش سنگین، بسیار سنگین و بیش از ۲۵ میلی‌متر است دارای روند مثبت قابل توجهی بوده است؛ به گونه‌ای که به ترتیب ۶۹، ۷۰ و ۷۱ درصد از مساحت پهنه مطالعاتی روند افزایشی را از حیث این نمایه‌ها تجربه کرده است. این نمایه‌ها عمدتاً در بخش‌های غربی و جنوب‌غربی حوضه فاقد روند و ایستا بوده و تغییرات معناداری به لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد از خود نشان نمی‌دهند. نمایه‌های (R95p) و (R99p) که به ترتیب بیانگر روزهای خیلی مرطوب و بسیار مرطوب است نیز در حوضه مطالعاتی روند افزایشی بالایی دارد؛ به طوری که این نمایه‌ها به ترتیب در ۶۳ و ۷۳ درصد از گستره مطالعاتی دارای روند افزایشی معنادار است. یافته‌های این پژوهش با نتایج مسعودیان و دارند (۱۵) که معتقدند نمایه‌ی (SDII) در ایران دارای بالاترین درصد افزایش بوده است انطباق و همخوانی دارد. از آن جایی که بارش از جمله نهاده‌های مهم اقلیمی است؛ گرایش و تمرکز زمانی نزولات جوی و همین‌طور رخداد مقادیر قابل توجهی از بارش حوضه کارون در طی چند روز از سال و در عین حال، محدود شدن بارش به چند رخداد فرین می‌تواند عوارض زیست‌محیطی سویی به همراه داشته باشد. از این رو، در پهنه‌هایی که بارش در حوضه مورد بحث فاقد روند است؛ اما نمایه‌های فرین روندی افزایشی را دنبال می‌کند؛ پیامدهای ناگوار زیست‌محیطی، فرسایش خاک و برهم خوردن نظام توزیع بارش، تدابیر و تمهیدات لازم برای مواجهه با این معضلات را می‌طلبد.

## منابع

- دارند، محمد (۱۳۹۳)، واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۲، صص ۱-۲۹.
- رحیم زاده، فاطمه؛ عسگری، احمد؛ فتاحی، ابراهیم؛ محمدیان، نوشین، تقی پور، افسانه؛ (۱۳۸۹)، روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره‌ی ۲۰۰۳-۱۹۵۱، مجله‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۲، صص ۱۱۹-۱۴۴.
- عساکره، حسین (۱۳۸۷)، کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش مطالعه‌ی موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران‌زمین، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، صص ۲۵-۴۲.
- عسگری، احمد، رحیم‌زاده، فاطمه، محمدیان، نوشین، فتاحی، ابراهیم (۱۳۸۶)، تحلیل روند نمایه‌های حدی بارش در ایران، تحقیقات منابع آب ایران، شماره‌ی ۳، صص ۴۲-۵۵.
- کیخسروی کیانی، محمدصادق (۱۳۹۱)، بررسی تطبیقی داده‌های شبکه‌ای بارش اسفزاری و GPCC و GPCP، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- محمدی، حسین، تقوی، فرحناز (۱۳۸۴)، روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۱۷۲-۱۵۱.
- تقوی، فرحناز، محمدی، حسین (۱۳۸۶): بررسی دوره‌ی بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی، مجله‌ی محیط‌شناسی، شماره‌ی ۴۳، صص ۱۱-۲۰.
- مسترشد، مهدی، (۱۳۹۲)، شناسایی ویژگی‌های بارشی و دمایی در سرزمین افغانستان، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- مسعودیان، ابوالفضل، دارند، محمد (۱۳۹۲)، شناسایی و بررسی بارش‌های فرین ایران طی دهه‌های اخیر، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره‌ی ۲۰، صص ۲۳۹-۲۵۷.
- یونسی، مرضیه (۱۳۹۲)، شناسایی ویژگی‌های بارشی و دمایی در سرزمین جمهوری آذربایجان، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein TankAMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, RupaKumar K, Revadekar J, Griffiths G, Vincent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez-Aguirre JL. (2006). "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation". *Journal of Geophysical Research*, 111.1-22.
- Bartholy J and Pongracz R, (2006). "Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001". *Global and planetary change*, 110. 35-48.
- Bruce, J. P., 1994: Natural disaster reduction and global change. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 75, 1831-1835.
- Choi, G., Collins D, Ren G, Trewin B, Baldi M, Fukuda Y, Afzaal M, Pianmana T, Gomboluudev P, Huong P.T.T, Lias N, Kwon E.T, Boo K.O, Cha Y.M, and Zhou Y (2009). "Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region. 1955-2007". *International journal of climatology*, 29.1906-1925.
- Coasta A.C, Santos J.A and Pinto J.G, (2012). "Climate change scenarios for precipitation extremes in Portugal". *Theoretical and applied climatology*, 108, 217-234
- Hidalgo, G. J. C., De Lui's, M., Ravento's, J., Sa'nchez, J. R., (2003), Daily rainfall trend in the Valencia Region of Spain, *Theor. Appl. Climatol.* 75, 117-130
- Hundexha Y and Bardossy A, (2005). "Trend in daily precipitation and temperature extremes across western germany in the second half of the 20<sup>th</sup> century". *International journal of climatology*, 25, 1189-1202.
- IPCC. (1995). *Climate change 1995 - the science of climate change*; Cambridge University Press, Cambridge

- IPCC. (2007). Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC; Cambridge University Press: Cambridge.
- Kunkel, K. E, (2003), North American Trends in Extreme Precipitation, Natural Hazards 29, 91–305.
- Obasi, G. O. P., 1994: WMO's role in the international decade for natural disaster reduction. Bull. Amer. Meteor. Soc., 75,1655–1661.
- Pal I and Al-Tabbaa A, (2009).” Trends in seasonal precipitation extremes –An indicator of ‘climate change’ in Kerala, India”. Journal of Hydrology, 367,:62–69.
- Santos, M.Fragoso, M (2013), Precipitation variability in Northern Portugal: Data homogeneity assessment and trends in extreme precipitation indices, Atmospheric Research 131, 34–45
- Vivekanandan, N. (2007), Analysis of Trend in Rainfall Using Non Parametric Statistical Methods, international symposium on rainfall rate and radio wave propagation, American institute of physics. 101-113.
- Wang, B. Zhang, M. Wei, J. Wang, S (2013), Changes in extreme precipitation over Northeast China, 1960-2011, Quaternary International 298,177-186
- Wang Y, Zhou L (2005), Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961–2001 and the associated changes in large-scale circulation, Geophysical Research Letters 32
- Zhang X, Hegerl G, Zwiers F and Kenyon J. (2005).”Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes”. Journal of Climate, 18,1641-1651.

