

Evaluation of Variations in Extreme Precipitation Indices in Iran

Amir Hossein Halabian^{1*}, Mohammad Sadegh Keikhosravi Kiany²

1- Associate Professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Ph.D. in Climatology, Isfahan University, Isfahan, Iran

Abstract

Statement of the Problem: Precipitation is one of the most important climate variables in the world, and its changes can have different environmental, economic, and social consequences.

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the changes in rainfall indices in Iran.

Method: For this goal, the latest version of the daily data of the Global Precipitation Climatology Center (GPCC) for the period from 1982 to 2016 was selected in 1×1 degree spatial resolution of latitude and longitude. By programming in the MATLAB software package, a matrix was constructed on the Iranian framework at 12784 × 750, the rows of which represented the days from 1.1.1982 to 31.12.2016, and columns represented the pixels in the region. The indices used in this study were selected from the list of standard indices recommended by the Climate World Committee of the World Meteorological Organization and the Climate Change Variation and Research Program, which made it possible to compare all stations in different countries.

Results: The calculation of the indices changes with the help of the slope of the regression line on each of the pixels shows that in many parts in Iran, the intensity of daily precipitation is increasing. Also, in many parts of Iran, especially in western parts, the index of wet succession is decreasing, that is, the persistence of rainy days in many areas of the country is declining.

Keywords: Precipitation, Extreme Indices, Iran, Trend

فصلنامه علمی برنامه‌ریزی فضایی (مقاله پژوهشی)
سال دهم، شماره چهارم، (پیاپی ۳۹)، زمستان ۱۳۹۹
تاریخ وصول: ۹۸/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۲
صص: ۴۶-۲۳

ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران

امیرحسین حلبیان^{۱*}، محمدصادق کیخسروی کیانی^۲

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

۲- دانش آموخته دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

طرح مسئله: بارش از جمله متغیرهای بسیار مهم اقلیمی است که تغییرات آن پیامدهای مختلفی از نظر محیطی، اقتصادی و اجتماعی به دنبال دارد.

هدف: هدف پژوهش حاضر، ارزیابی تغییرات شاخص‌های حدی بارش در ایران است.

روش: برای این منظور، آخرین نسخه داده‌های روزانه مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان (GPCP) برای بازه زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۶ در تفکیک مکانی ۱×۱ درجه طول و عرض جغرافیایی انتخاب شد. با انجام عملیات‌های برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب، ماتریسی در ابعاد ۱۲۷۸۴×۷۵۰ روی چهارچوب ایران ساخته شد. سطرهای این ماتریس نشان‌دهنده روزها از ۱۹۸۲/۱/۱ تا ۲۰۱۶/۱۲/۳۱ و ستون‌های این ماتریس نشان‌دهنده یاخته‌ها در منطقه بود. نمایه‌های به کار گرفته شده در این پژوهش از لیست نمایه‌های استاندارد کمیته اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی جهانی و برنامه تحقیقاتی تغییرپذیری و پیش‌بینی اقلیم انتخاب شد که امکان مقایسه همه ایستگاهها را در کشورهای مختلف به وجود می‌آورد.

نتایج: محاسبه تغییرات نمایه‌ها به کمک شیب خط رگرسیون روی هریک از یاخته‌ها نشان می‌دهد در بسیاری از بخش‌های ایران، شدت بارش روزانه (SDII) روندی افزایشی دارد؛ همچنین در بسیاری از گستره‌های ایران به‌ویژه در بخش‌های غربی، نمایه روزهای متوالی مرطوب (CWD) در حال کاهش است؛ به بیان دیگر تداوم روزهای بارانی در بسیاری از نواحی، رفتاری کاهش را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بارش، نمایه‌های فرین، ایران، روند.

مقدمه

واکاوی رخداد‌های فرین بارش، یکی از موضوعات مهم در اقلیم‌شناسی است (Obasi, 1994: 1657; Bruce, 1994: 1853). باور این مسئله قوت گرفته که گستره و شدت رخداد‌های فرین در سده بیست‌ویکم رو به فزونی گذاشته است (Solomon, 2007: 341). کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم نشان داده اثر فعالیت‌های بشری بر تغییر اقلیم انکارناپذیر است. افزایش دمای سیاره و تأثیر آن بر خشکی‌ها و اقیانوس‌ها قطعی و سه دهه گذشته در مقایسه با دهه‌های پیشین گرم‌تر بوده است (Hartman et al., 2013: 12). کمیته اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی جهانی و برنامه تحقیقاتی تغییرپذیری و پیش‌بینی اقلیم فهرستی از نمایه‌ها را به منظور داشتن دیدی واحد درباره فرین‌های اقلیمی و هواشناسی ارائه کرده است. این فهرست شامل ۲۷ نمایه برای فراسنج‌های دما و بارش است. از میان این ۲۷ نمایه، ۱۶ نمایه به دما و ۱۱ نمایه دیگر به بارش مربوط است.

طی سال‌های گذشته پژوهشگران بسیاری از این نمایه‌ها برای آشکارسازی روند تغییرات فرین‌های اقلیمی بهره برده‌اند. در ادامه به تعدادی از پژوهش‌ها درباره فرین‌های اقلیمی اشاره می‌شود.

هیدالگو و همکاران^۲ (۲۰۰۳) روند روزانه بارش را در والنسیای اسپانیا طی نیمه دوم قرن بیستم بررسی کردند. یافته‌ها این فرض را تأیید کرد که تغییرات بارش سالیانه فقط به تغییرات پیداشده در چند رویداد بارشی بستگی داشته است.

هیوندیچا و باردوسی^۳ (۲۰۰۵) روند تغییرات فرین‌های دما و بارش را در منطقه غرب آلمان در نیمه دوم قرن بیستم بررسی کردند. نتایج نشان داد شدت و فراوانی بارش‌های فرین در این منطقه در همه فصول جز فصل تابستان روند افزایشی دارد.

وانگ و زو^۴ (۲۰۰۵) در پژوهشی روند رخداد‌های حدی بارش را در چین بررسی و داده‌های بارشی ایستگاه‌های این کشور را برای بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ واکاوی کردند. آنها دریافتند افزایش بارش‌های حدی فقط در فصل تابستان روی داده است.

پال و تابا^۵ (۲۰۰۹) روند فرین‌های بارش فصلی را به مثابه شاخصی از تغییر اقلیم در کیرالای هندوستان بررسی کردند. نتایج نشان داد بارش‌های پاییزه و زمستانه در بعضی مناطق روند معناداری دارد، اما بارش‌های بهاره روند کاهشی دارد.

چوی و همکاران^۶ (۲۰۰۹) تغییرات میانگین و فرین‌های بارش را در منطقه آسیایی اقیانوس آرام واکاوی کردند. برای انجام این پژوهش، ۱۴۳ ایستگاه هواشناسی انتخاب شد. یافته‌ها نشان داد بارش طی دوره مطالعه شده (۱۹۵۵-۲۰۰۷) روندی از خود نشان نمی‌دهد؛ اما رخداد‌های فرین بارش در ۳۰ درصد از ایستگاه‌ها روندی افزایشی دارد.

¹ IPCC, 1994

² Hidalgo et al.

³ Hundexha and Bardossy

⁴ Wang and Zhou

⁵ Pal and Tabba

⁶ Choi

یافته‌های کوستا و همکاران^۱ (۲۰۱۲) تأیید کرد سهم بارش‌های فرین در شمال شرق پرتغال در فصل زمستان و بهار نسبت به کل بارش‌ها رو به افزایش است.

وانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۳) روند فرین‌های بارش را در شمال شرق چین به کمک ۷۱ ایستگاه هواشناسی برای دوره زمانی ۱۹۶۰-۲۰۱۱ واکاوی کردند. برمبنای یافته‌ها نمایه روزهای متوالی خشک روندی افزایشی را نشان می‌دهد؛ اما نمایه‌های بارش‌های سنگین ۱۰ میلی‌متر (R10)، ۲۰ میلی‌متر (R20) و ۲۵ میلی‌متر (R25)، روندی کاهشی دارد.

سانتوس و فراگوسو^۳ (۲۰۱۳) روند نمایه‌های فرین را در شمال پرتغال برای دوره ۱۹۵۰-۲۰۰۰ بررسی کردند. براساس یافته‌های پژوهش، نمایه‌های R95p نشان‌دهنده روزهای خیلی مرطوب، R30 نشان‌دهنده روزهای همراه با بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر و Rx5 نشان‌دهنده حداکثر بارش پنج‌روزه، روندی افزایشی دارند.

زیلی و همکاران^۴ (۲۰۱۷) تغییرات رخدادهای فرین بارش را در جنوب برزیل برای دوره مرطوب سال (ماه‌های اکتبر تا مارس) بررسی کردند. برای این منظور نمایه‌های بارش کل (TotPR)، میانگین روزانه بارش (DayPR)، درصد روزهای همراه با بارش (%PRDay)، تعداد روزهای همراه با بارش سبک (NumbLightPR)، روزهای با بارش صدک ۹۵ام (95%)، فراوانی رخدادهای فرین (NumbEx) و شدت رخدادهای فرین (IntEx) به کمک داده‌های ایستگاهی و شبکه‌ای واکاوی شد. یافته‌ها نشان می‌دهد در ایالت سائوپائولو فراوانی روزهای همراه با بارش افزایش یافته است؛ این در حالی است که در ایالت‌های ریوجنیرو^۵ و اسپیریتو بارش در تعداد دفعات کمتری رخ می‌دهد یا به بیان روشن‌تر بارش متمرکزتر شده است.

در پژوهشی پینکسوار و همکاران^۶ (۲۰۱۹) تغییرات نمایه‌های فرین بارش را در لهستان به کمک داده‌های ایستگاهی ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد نمایه مربوط به روزهای متوالی خشک در نیمه تابستانی سال در بسیاری از ایستگاهها و نمایه روزهای همراه با بارش‌های سنگین در ایستگاههای واقع در شمال غرب کشور روندی افزایشی داشته است.

گوپتا و همکاران^۷ (۲۰۲۰) روند تغییرات نمایه‌های فرین بارش را در حوضه رودخانه سبرمتی در غرب هند به کمک داده‌های شبکه‌ای پایگاه ملی این کشور ارزیابی کردند. نمایه‌های فرین بارشی همچون شمار روزهای بارانی، نمایه ساده شدت بارش، روزهای متوالی همراه با بارش، روزهای متوالی خشک و بارش سالیانه بررسی شد. یافته‌های آنها نشان می‌دهد در سطح اطمینان ۹۵٪ بسیاری از نمایه‌های مطالعه‌شده روند دارند.

¹ Coasta et al.

² Wang et al.

³ Santos & Fragoso

⁴ Zilli et al.

⁵ Sao Paulo

⁶ Rio de Janeiro

⁷ Espirito

⁸ Pińskwar et al.

⁹ Gupta et al.

¹ Sabarmati

در مطالعه‌ای دیگر، آویلا و همکاران^۱ (۲۰۱۹) روند تغییرات هشت نمایه فرین بارش را روی حوضه آبریز کوکا در جنوب غرب کلمبیا برای دوره زمانی ۱۹۷۰-۲۰۱۳ بررسی کردند. برمبنای یافته‌های این پژوهش، نمایه روزهای متوالی خشک در بسیاری از ایستگاهها طی ماههای سپتامبر تا اکتبر و همچنین نمایه‌های حداکثر بارش یک‌روزه و پنج‌روزه روندی افزایشی داشته است.

اقلیم‌شناسان ایرانی نیز پژوهش‌های بسیاری درباره روند تغییرات نمایه‌های فرین بارش در کشور انجام داده‌اند. در بعضی پژوهش‌ها، تغییرات نمایه‌های حدی بارش روی یک ناحیه کوچک شامل شهر یا استان واکاوی شده است؛ برای نمونه دارند و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات نمایه‌های دما و بارش را در کرمانشاه برای دوره زمانی ۱۹۶۱/۱/۱ تا ۲۰۱۱/۱۲/۳۱ بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد نمایه‌های فرین بارش روزهای همراه با بارش دست‌کم ۵ و ۱۰ میلی‌متر، دوره‌های متوالی مرطوب و مجموع بارش روزهای مرطوب سالیانه روند کاهشی داشته است.

در مطالعه‌ای دیگر، برنا و جهان (۱۳۹۴) تغییرات نمایه‌های فرین بارش را روی استان بوشهر به کمک ۶ ایستگاه همدید برای دوره زمانی ۱۳۷۱-۱۳۹۱ بررسی کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد نمایه حداکثر تعداد روزهای متوالی خشک در سال‌های اخیر هماهنگ با کاهش بارش افزایش یافته است؛ این در حالی است که نمایه روزهای متوالی مرطوب به شدت کاهش یافته است. نمایه شدت بارش نیز در استان روندی کاهشی داشته است.

پژوهش محمدی و همکاران (۱۳۹۶) از جدیدترین پژوهش‌ها روی گستره ایران است. آنها به کمک داده‌های بارش ۴۷ ایستگاه همدید طی دوره زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۲، روند بارش‌های حدی را در ایران بررسی کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد همه شاخص‌های فرین بارش در ایران تغییر و روند دارند؛ برای نمونه نمایه حداکثر تعداد روزهای متوالی خشک در بسیاری از ایستگاههای کشور در حال افزایش است؛ برعکس در بعضی بخش‌های مرکزی و غربی ایران روند کاهشی در این نمایه دیده می‌شود. همچنین برمبنای یافته‌ها از نظر بارش‌های سنگین و نیمه‌سنگین و روزهای مرطوب و فوق‌العاده مرطوب، سهم تغییرات در ایستگاههای واقع در سواحل شمال و جنوب بیشتر است. رحیم‌زاده و همکاران^۲ (۲۰۰۹)، عسکری و همکاران (۱۳۸۶)، رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۹)، محمدی و تقوی (۱۳۸۴)، تقوی و محمدی (۱۳۸۶)، دارند (۱۳۹۳؛ ۱۳۹۴) و احمدی و همکاران (۱۳۹۴) نیز به کمک نمایه‌های یادشده، بارش و دمای ایران را در مقیاس محلی یا ملی بررسی کرده‌اند. در مجموع یافته‌های پژوهشگران علوم جوئی حاکی از تغییرات شدید رفتار فراسنج‌های اقلیمی به‌ویژه در قرون ۲۰ و ۲۱ به‌مثابه نشانه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم است.

افزون بر تغییرات در مقادیر میانگین، مقادیر فرین نیز دستخوش تغییرات شده‌اند؛ در عین حال میزان تغییرات در مقادیر فرین شدیدتر و آشکارتر است. براساس گزارش سال ۲۰۰۱ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، مناطق آسیایی از تغییر اقلیم بیشتر آسیب می‌بینند؛ بدین ترتیب هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران است. پژوهش‌های پیشین درباره این موضوع به سال‌های گذشته مربوط است و با استفاده از داده‌های نقطه‌ای (ایستگاهی)

^۱ Ávila et al.

^۲ Rahimzadeh et al.

بوده است. پژوهش حاضر دو امتیاز دارد؛ اول اینکه با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌ای روزانه مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان انجام می‌شود که به کمک شمار انبوهی از ایستگاههای همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی ایجاد شده است؛ دوم اینکه دوره زمانی این پژوهش تا پایان سال ۲۰۱۶ را دربرمی‌گیرد.

روش‌شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات شاخص‌های حدی بارش در ایران از داده‌های روزانه مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان (GPCC) استفاده شده که تفکیک مکانی 1×1 درجه طول و عرض جغرافیایی و طول دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۱۶ دارد. تفکیک مکانی این پایگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. با انجام عملیات‌های کدنویسی در نرم‌افزار مت‌لب، داده‌های این پایگاه که به صورت فایل‌های nc است، روی چهارچوب ایران به‌طور روزانه طی بازه زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۶ پردازش و یک ماتریس نهایی در ابعاد 12784×740 ساخته شد. سطرهای این ماتریس نشان‌دهنده روزها و ستون‌های آن نشان‌دهنده یاخته‌های مکانی بودند؛ بنابراین همه محاسبات روی این ماتریس انجام شد. داده‌های این پایگاه روی چهارچوب ایران استخراج شد تا نقاط مرزی نیز به کمک یاخته‌های بیرون از مرز ایران میان‌یابی شوند.

پیش از محاسبه نمایه‌های فرین بارش در گام نخست تلاش شد صحت داده‌های پایگاه بارش مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان (GPCC) روی ایران شناسایی شود. برای این منظور داده‌های پایگاه بارشی اسفزاری به کار رفت که نسخه سوم آن به‌تازگی به‌روزرسانی شده است. محاسبات برای دوره مشترک دو پایگاه داده (۱۹۸۲-۲۰۱۵) انجام شد. در همین زمینه بعضی آماره‌ها همچون خطای نسبی^۱، ضریب همبستگی^۲ و ضریب احتمال شناسایی^۳ روی دو پایگاه داده (اسفزاری و GPCC) به منظور شناسایی خطا انجام شد. در جدول ۱، لیست سه آماره یادشده آورده شده است. در آماره‌های مربوط به خطای نسبی و ضریب همبستگی، (S_i) ، نماینده داده‌های بارش (GPCC) و (O_i) ، نماینده داده‌های بارش پایگاه اسفزاری است؛ اما ضریب احتمال شناسایی، شانس شناسایی بارش را توسط داده‌های پایگاه (GPCC) در مقایسه با داده‌های اسفزاری می‌سنجد؛ برای این منظور آستانه بارش ۱ میلی‌متر و بیشتر به کار گرفته شد. در آماره ضریب احتمال شناسایی، (HIT) ، حالتی است که در روز-یاخته بررسی شده، دو پایگاه بارش را ثبت کرده‌اند؛ اما $(MISS)$ ، حالتی است که در روز-یاخته مدنظر پایگاه (GPCC) بارشی ثبت نکرده، اما پایگاه اسفزاری بارش ثبت کرده است. به کمک عملیات‌های برنامه‌نویسی روی هریک از روزهای بررسی شده (۱۹۸۲/۱/۱ تا ۲۰۱۶/۱۲/۳۱) و هریک از یاخته‌های دو پایگاه محاسبات انجام شد.

¹ GPCC

² Relative Error

³ Correlation Coefficient

⁴ Probability of detection

جدول- ۱: آماره‌های به کار رفته به منظور ارزیابی داده‌های مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان (GPCC)

واحد	روابط	آماره
میلی‌متر	$\frac{S_i}{O_i} 100$	خطای نسبی (Relative Error)
بدون واحد (با دامنه ۰ تا +۱)	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$	ضریب همبستگی (Correlation Coefficient)
بدون واحد (با دامنه ۰ تا +۱)	$\frac{HIT}{HIT + MISS}$	ضریب احتمال شناسایی Probability of detection (POD)

نمایه‌های استفاده‌شده در این پژوهش از لیست کمیته اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی جهانی و برنامه تحقیقاتی تغییرپذیری و پیش‌بینی اقلیم برگزیده شد که امکان مقایسه همه ایستگاهها در قلمروهای مختلف را به وجود می‌آورد (جدول ۲). برای محاسبه فراوانی سالیانه هریک از نمایه‌ها روی تک‌تک یاخته‌ها، برنامه‌ای جداگانه در محیط نرم‌افزار متلب نوشته شد؛ همچنین برای بررسی روند تغییرات زمانی نمایه‌ها در بعد مکان، معادله رگرسیونی روی هریک از یاخته‌ها به کمک عملیات‌های کدنویسی در نرم‌افزار متلب انجام شد؛ سپس با محاسبه بازه اطمینان بالا و پایین روی شیب خط مشخص شد شیب کدامیک از یاخته‌ها در دو حد بالا و پایین هم‌علامت است. در این مرحله شیب‌هایی که هم‌علامت نبودند، کنار گذاشته و شیب‌های هم‌علامت نیز به کمک نرم‌افزار متلب به نمایش گذاشته شدند؛ در ادامه روندهای محاسباتی در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزموده شد. در روابط زیر، حرف b نشان‌دهنده شیب خط و حرف a ، نشان‌دهنده عرض از مبدأ است.

$$y = a + bx$$

$$b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n}$$

در پژوهش کنونی نمایه‌های استفاده‌شده را از لیست نمایه‌های پیشنهادی گروه شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها برگزیدیم. به‌طور کلی نمایه‌های فرین در ۵ گروه مختلف طبقه‌بندی می‌شود (Alexander et al., 2009: 5):

۱. نمایه‌های صدکی: نمایه‌هایی که در این طبقه هستند، تغییرات بارش صدک‌های بیش از ۹۵ درصد (R95p) و صدک ۹۹ درصد (R99p) را طی یک سال آشکار می‌سازند.

۲. نمایه‌های آستانه‌ای: نمایه‌هایی هستند که تعداد روزهای بالاتر یا پایین‌تر از یک آستانه را مشخص می‌کنند. در این میان تعداد روزها همراه با بارش بیش از ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر جزو این گروه به حساب می‌آیند.

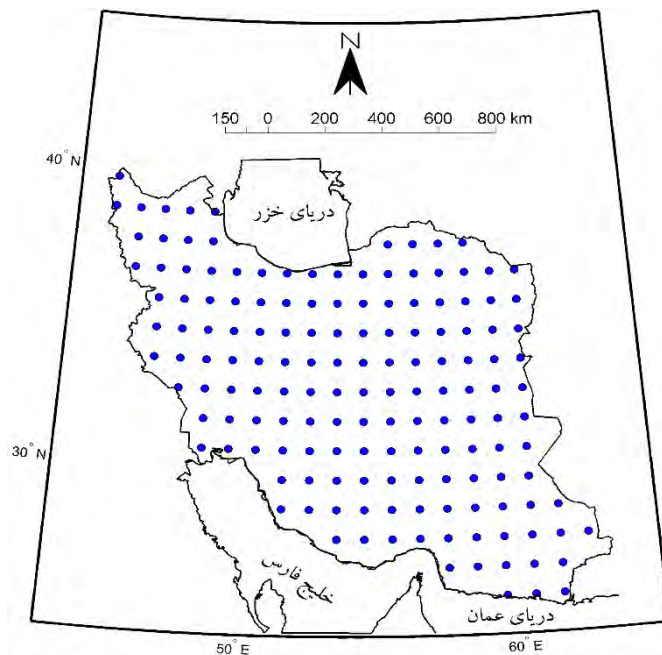
۳. نمایه‌های دوره‌ای: این نمایه‌ها، دوره‌های خشک و تر را شناسایی می‌کنند و شامل نمایه‌های روزهای متوالی خشک (CDD) و روزهای متوالی مرطوب (CWD) است.
۴. نمایه‌های مطلق: این نمایه‌ها با مقادیر مطلق بارشی سروکار دارند؛ برای نمونه بیشینه بارش مطلق یک‌روزه RX1 در ماه، جزو این دسته به شمار می‌آید.
۵. نمایه‌هایی که در هیچ گروهی جای ندارند؛ مانند نمایه ساده شدت بارش روزانه (SDII).

جدول-۲: نمایه‌های بارش فرین برگرفته از وب‌سایت گروه شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها^۱

ردیف	نمایه	تعریف	یکا
۱	RX1	بیشترین مقدار بارش یک‌روزه: بیشترین مقدار بارش یک‌روزه در ماه	میلی‌متر
۲	SDII	نمایه ساده شدت بارش روزانه: این نمایه نسبت مقدار کل بارش سالیانه به تعداد روزهای بارشی (بارش بیشتر یا مساوی با یک میلی‌متر) است. فرض کنید RRwj مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (دست‌کم یک میلی‌متر) در دوره ژام است. اگر W بیان‌کننده تعداد روزهای مرطوب در دوره ژام باشد، نمایه ساده شدت بارش روزانه از رابطه زیر حاصل می‌شود: $SDII_j = \frac{RR_{wj}}{W}$	میلی‌متر
۳	PRCPTOT	مقدار کل بارش روزهای مرطوب سال	میلی‌متر
۴	R10	تعداد روزهای سال که دست‌کم بارشی بیش از ۱۰ میلی‌متر دارند.	روز
۵	R20	تعداد روزهای سال که دست‌کم بارشی بیش از ۲۰ میلی‌متر دارند.	روز
۶	R25	تعداد روزهای سال که دست‌کم بارشی بیش از ۲۵ میلی‌متر دارند.	روز
۷	CDD	روزهای متوالی خشک: بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی‌متر دارند.	روز
۸	CWD	روزهای متوالی مرطوب: بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش بیش از ۱ میلی‌متر دارند.	روز
۹	R95p	روزهای بسیار مرطوب: مجموع مقدار بارش روزهایی از سال که مقدار بارش فراتر از صدک ۹۵ دوره پایه باشد. فرض کنید RRwj مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (دست‌کم یک میلی‌متر) در دوره ژام است و RRwn95 صدک ۹۵ بارش روزهای مرطوب در دوره پایه باشد. اگر W بیان‌کننده تعداد روزهای مرطوب در دوره پایه باشد، روزهای خیلی مرطوب از رابطه زیر حاصل می‌شود: $R95p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} \geq RR_{wn} 95$	روز
۱۰	R99p	روزهای بسیار مرطوب: مجموع مقدار بارش روزهایی از سال که مقدار بارش فراتر از صدک ۹۹ دوره پایه باشد. فرض کنید RRwj مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (دست‌کم یک میلی‌متر) در دوره ژام است و RRwn99 صدک ۹۹ بارش روزهای مرطوب در دوره پایه باشد. اگر W بیان‌کننده تعداد روزهای مرطوب در دوره پایه باشد، روزهای بسیار مرطوب از رابطه زیر حاصل می‌شود: $R99p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} \geq RR_{wn} 99$	روز

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

¹ Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)



شکل - ۱: تفکیک یاخته‌های 1×1 درجه طول و عرض جغرافیایی پایگاه GPCCC روی ایران

یافته‌های پژوهش

فرایند صحت‌سنجی داده‌های شبکه‌ای مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان (GPCC)

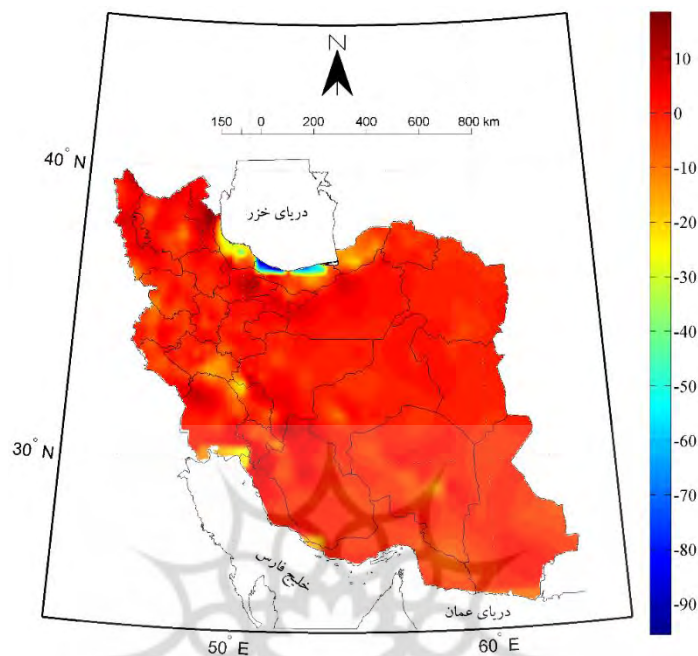
در ادامه محاسبات مربوط به ارزیابی داده‌های مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان (GPCC) آورده شده است. همان‌گونه که در بخش داده‌ها و روش‌شناسی گفته شد، سه آماره خطای نسبی، ضریب همبستگی و ضریب احتمال شناسایی در همین زمینه به کار رفت.

پراکنش مکانی آماره خطای نسبی روی ایران نشان می‌دهد در گستره‌های وسیعی از کشور به‌طور میانگین میزان خطای نسبی پایگاه (GPCC) در قیاس با داده‌های اسفزاری بین 10% تا 10% میلی‌متر در ماه است. در بخش‌های مرکزی کرانه‌های دریای خزر میزان خطای نسبی تا حدود 80% میلی‌متر هم می‌رسد (شکل ۲).

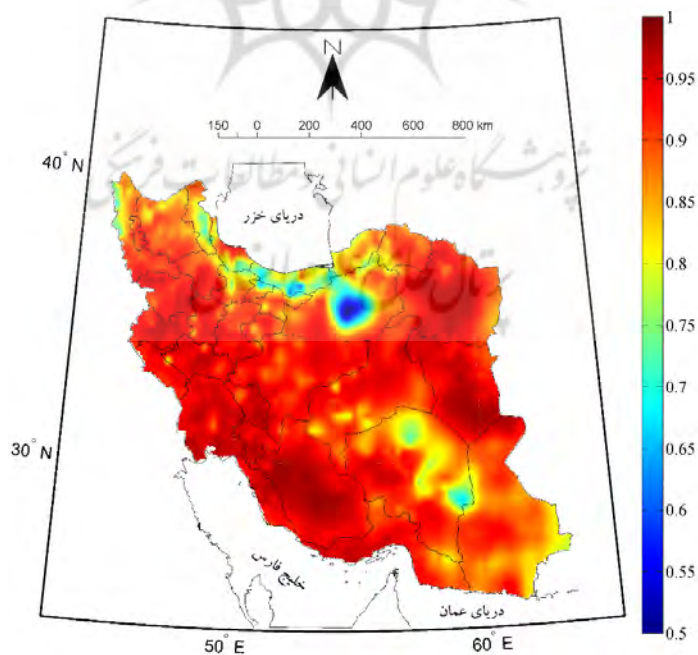
محاسبات مربوط به ضریب همبستگی نشان می‌دهد میزان پراکنش این ضریب در کشور از $0/5$ تا حدود 1 متغیر است. بیشترین همبستگی در بخش‌های شرقی، غربی و جنوبی دیده می‌شود که اساساً میزان آن در بسیاری از این نواحی بیش از $0/85$ است. کمترین مقدار همبستگی روی بخش‌های میانی کویر در استان سمنان و پس از آن روی بلندی‌های البرز و ارتفاعات استان کرمان دیده می‌شود (شکل ۳)؛ اما پراکنش مکانی ضریب احتمال شناسایی نشان می‌دهد میزان شناسایی بارش با آستانه 1 میلی‌متر به بالا در بخش‌های شرقی و غربی در قیاس با سایر نواحی در کشور بیشینه بوده و مقدار آن بیش از $0/7$ است (شکل ۴). کمترین میزان شناسایی به بخش‌های جنوب شرقی کشور مربوط است.

از آنجا که پایگاه مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان (GPCC) با استفاده از شمار انبوهی ایستگاه باران‌سنجی، اقلیم‌شناسی و همدید ساخته شده است، دقت مناسبی روی کشور دارد؛ اما نباید یک نکته را فراموش کرد و آن

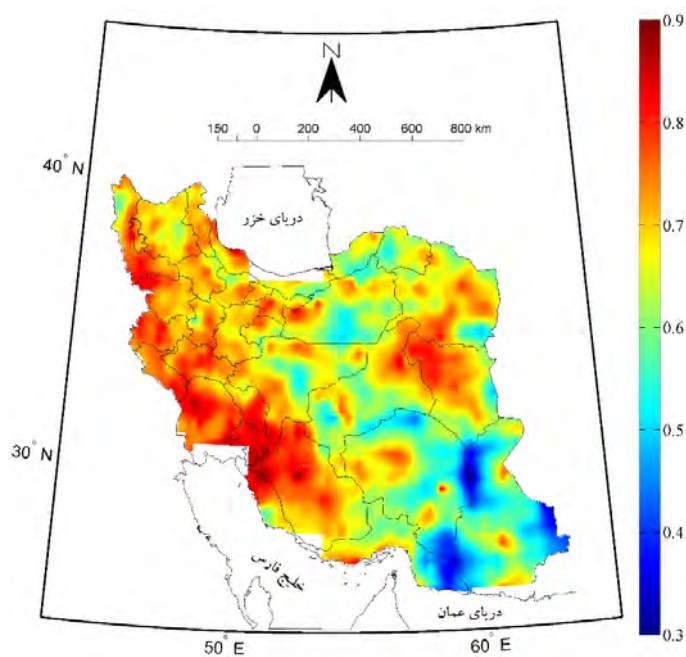
اینکه اختلافاتی که این پایگاه با داده‌های پایگاه ملی اسفزاری دارد، به سبب تفاوت در روش‌های میان‌یابی به کار رفته در دو پایگاه است؛ زیرا به‌کارگیری روش‌های مختلف میان‌یابی حتی روی تعداد محدودی ایستگاه در یک گستره کوچک جغرافیایی به ایجاد مقادیر با ارزش‌های مختلف منجر می‌شود.



شکل - ۲: پراکنش مکانی خطای نسبی پایگاه (GPCC) در قیاس با داده‌های اسفزاری



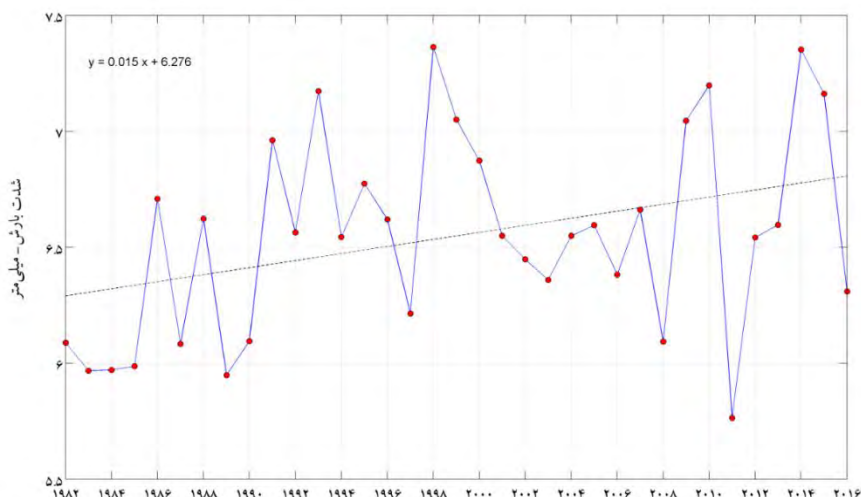
شکل - ۳: پراکنش مکانی ضریب همبستگی پایگاه (GPCC) با داده‌های اسفزاری



شکل - ۴: پراکنش مکانی احتمال‌شناسی بارش پایگاه (GPCP)

نمایه ساده شدت بارش روزانه (SDII)

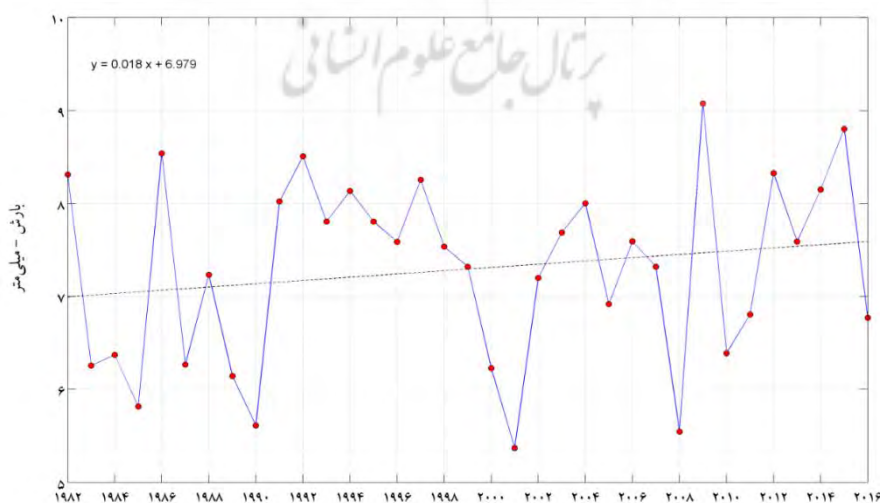
این نمایه شدت بارش روزانه و سهم بارش روزانه را از کل بارش سال نشان می‌دهد. در بررسی این نمایه مشخص شد در مجموع میانگین شدت بارش روزانه در ایران رو به افزایش است (شکل ۵). بررسی مکانی این نمایه در کشور نیز گویای آن است که در بسیاری از بخش‌های کشور، در مناطق شمال غرب، غرب، جنوب غرب، بخش‌هایی از جنوب و شمال شرق کشور، این نمایه روندی افزایشی دارد؛ به بیان دیگر، به‌طور میانگین، شدت بارش‌های روزانه در مناطق یادشده در حال افزایش است. در این زمینه نباید از نقش توده‌های کوهستانی البرز، زاگرس، بارز، سهند و سبلان، وجود توده‌های آبی خزر، دریای عمان و خلیج فارس و مهیب‌بودن منابع رطوبتی به‌سادگی گذشت. روند افزایشی و مثبت این نمایه با افزایش مقادیر بارش سالیانه یا با کاهش تعداد روزهای بارش حاصل می‌شود. بیشترین میزان افزایش شدت بارش در سواحل دریای عمان دیده می‌شود؛ به گونه‌ای که در پاره‌ای از این نواحی شدت بارش روزانه با میزانی حدود ۳ میلی‌متر در دهه رو به افزایش است؛ اما در بخش‌هایی از شمال، مرکز و شرق کشور هم، روند کاهشی این نمایه به میزان ۱- میلی‌متر در روز در دهه دیده می‌شود؛ به بیان ساده‌تر شدت بارش‌های روزانه در این مناطق رو به کاهش است (شکل ۱۰). در این پهنه‌ها توپوگرافی ملایم و فاصله از منابع رطوبتی نقش‌آفرین بوده است. این نمایه در حدود ۲۳ درصد از گستره کشور روند افزایشی معنادار دارد؛ به بیان دیگر، شدت بارش روزانه در این مناطق رو به افزایش است و از نظر آماری نیز روندی معنادار دارد (جدول ۳).



شکل - ۵: سری زمانی تغییرات میانگین نمایه ساده شدت بارش روزانه (SDII)

نمایه (Rx1day)

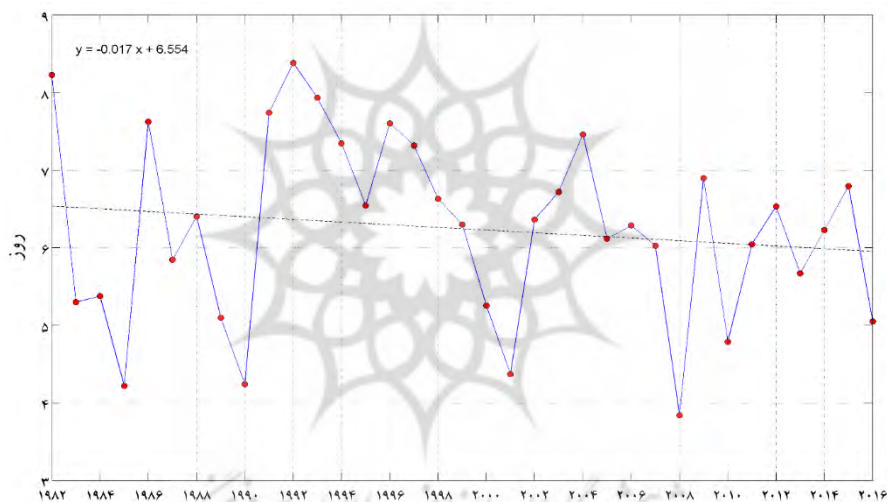
این نمایه نشان‌دهنده بیشترین مقدار بارش روزانه در سال است. بررسی‌ها نشان می‌دهد این نمایه آهنگی افزایشی دارد؛ به بیان دیگر، میانگین بیشترین مقدار بارش روز در سال در ایران رو به افزایش است (شکل ۶). واکاوی مکانی این نمایه نشان می‌دهد این نمایه در بخش‌های غرب، شمال غرب، شمال شرق و جنوب شرق ایران روند افزایشی معناداری دارد و الگوی تغییرات در این نمایه به‌روشنی از آرایش ناهموازی‌ها پیروی می‌کند. در بعضی نواحی جنوب شرقی کشور و همچنین روی ارتفاعات میانی البرز، میزان روند افزایشی در این نمایه نسبت به دیگر بخش‌ها بیشتر است؛ به گونه‌ای که در بعضی از این نواحی میزان افزایشی به ۸ میلی‌متر در دهه می‌رسد. کمترین میزان روند به‌صورت محدود در شرق و غرب اصفهان با میزان تقریبی ۴- میلی‌متر کاهش در دهه است (شکل ۱۰). در ۷/۱ درصد از گستره ایران روند افزایشی معنادار و فقط در ۱/۹ درصد روند کاهش معنادار در این نمایه دیده می‌شود (جدول ۳).



شکل - ۶: سری زمانی تغییرات میانگین نمایه بیشترین مقدار بارش روزانه (Rx1day)

تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر (R10)

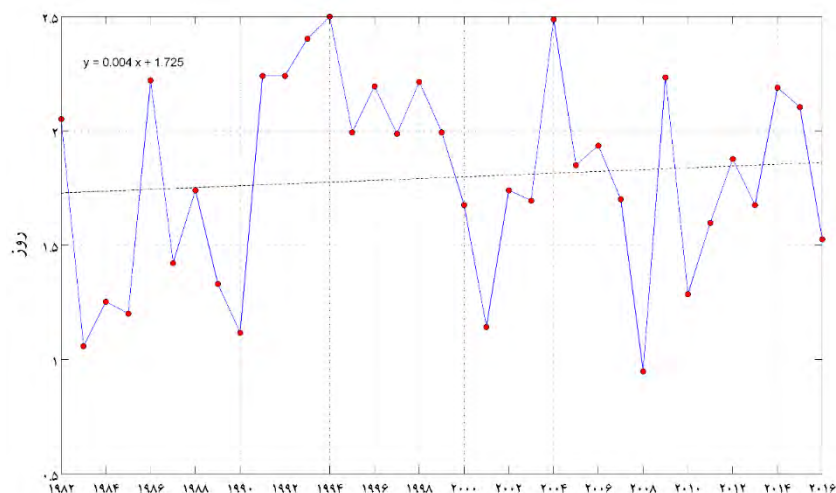
بررسی نمایه روزهای همراه با بارش ۱۰ میلی‌متر و بیشتر گویای آن است که این نمایه با آهنگ کندی در حال کاهش است؛ یعنی تعداد روزهایی که بارش ۱۰ میلی‌متر و بیشتر بوده، رو به کاهش است (شکل ۷). در یک نگاه کلی در یک‌چهارم شمالی کشور آهنگ این نمایه افزایشی، اما در سه‌چهارم جنوبی کاهش‌ی است. بیشترین میزان تغییرات افزایشی این نمایه در نواحی میانی البرز دیده می‌شود؛ به طوری که در این نواحی میزان روند افزایشی به ۴ روز در دهه نیز می‌رسد؛ به بیان روشن‌تر، انتظار می‌رود به‌ازای هر دهه، تعداد روزهای همراه با بارش فراتر از ۱۰ میلی‌متر در این نواحی ۴ روز افزایش داشته باشد؛ در عین حال میزان افزایش این نمایه در بخش‌های شرقی پهنه آبی خزر و در مناطق محدودی از شمال غربی و غرب کشور بین یک تا دو روز در دهه برآورد می‌شود. در قسمت‌هایی از مناطق شرقی و جنوب شرقی ایران این نمایه با آهنگ یک روز و بیشتر به‌ازای هر دهه روندی کاهش‌ی دارد (شکل ۱۰). در ۷/۱ درصد از گستره کشور این نمایه روند کاهش‌ی معناداری دارد؛ اما در ۶/۵ درصد از مساحت کشور این نمایه روند معنادار افزایشی دارد (جدول ۳).



شکل ۷: سری زمانی تغییرات میانگین نمایه روزهای همراه با بارش سنگین (R10)

تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۲۰ میلی‌متر (R20)

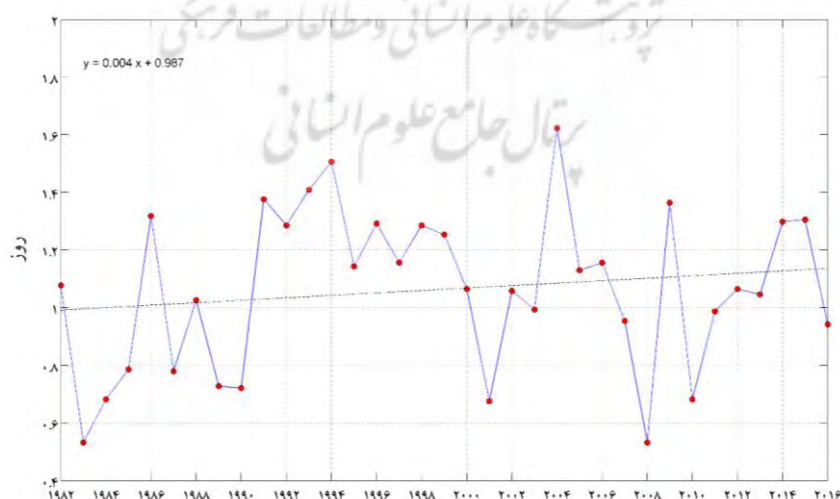
واکاوی روند تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۲۰ میلی‌متر نشان می‌دهد این نمایه با آهنگ بسیار کندی در حال افزایش است (شکل ۸)؛ اما بررسی رفتار مکانی این نمایه در کشور گویای آن است که به‌طور کلی تغییرات در این نمایه از الگوی آرایش ناهمواری‌ها پیروی می‌کند؛ در عین حال متأثر از ورود سامانه‌های هم‌دید مهاجر از جانب غرب، شمال غرب و جنوب شرق به کشور است. بیشترین میزان روند افزایشی در این نمایه روی سواحل جنوب غربی دریای خزر دیده می‌شود. در مقایسه با نمایه پیشین یعنی نمایه (R10)، میزان تغییرات این نمایه کمتر است (شکل ۱۰). در ۲/۶ درصد از گستره کشور این نمایه روند کاهش‌ی معنادار و در ۵/۸ درصد از مساحت کشور روند افزایشی معناداری دارد (جدول ۳).



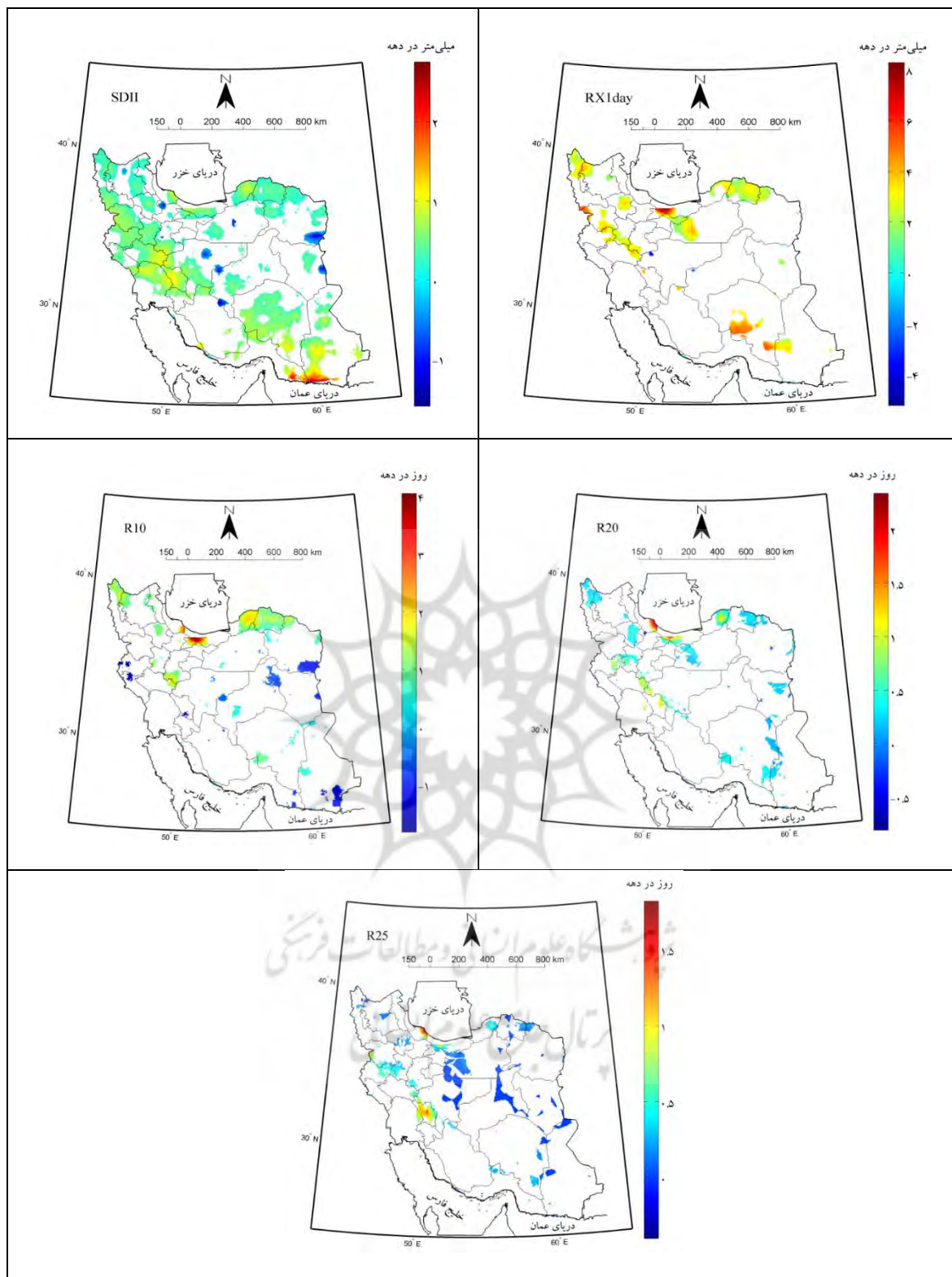
شکل - ۸: سری زمانی تغییرات میانگین نمایه روزهای همراه با بارش بیش از ۲۰ میلی‌متر (R20)

تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر (R25)

بر مبنای بررسی‌ها در مجموع تغییرات افزایشی کندی در این نمایه دیده می‌شود (شکل ۹). روی بخش‌های کوهستانی غرب، شمال غرب و ارتفاعات البرز، این نمایه آهنگ افزایشی دارد. بیشترین میزان روند افزایشی در این نمایه، روی بخش‌های زاگرس میانی در استان چهارمحال و بختیاری و همچنین در بخش‌های کوچکی در نواحی جنوب غربی دریای خزر با دامنه تقریبی حدود ۰/۵ تا ۱/۵ روز در دهه دیده می‌شود؛ این در حالی است که روی بخش‌های مرکزی و شرقی کشور، روند کاهشی با میزان حدود ۰/۵- روز در دهه مشاهده می‌شود (شکل ۱۰). همان‌گونه که جدول ۲ نیز نشان می‌دهد، در ۹۴/۸ درصد از گستره ایران روندی در این نمایه دیده نمی‌شود؛ در ۴/۵ درصد از مناطق ایران، روند افزایشی در این نمایه دیده می‌شود و فقط در ۰/۶ درصد از گستره ایران، روند کاهشی در این نمایه رخ داده است (جدول ۳).



شکل - ۹: سری زمانی تغییرات میانگین نمایه روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر (R25)

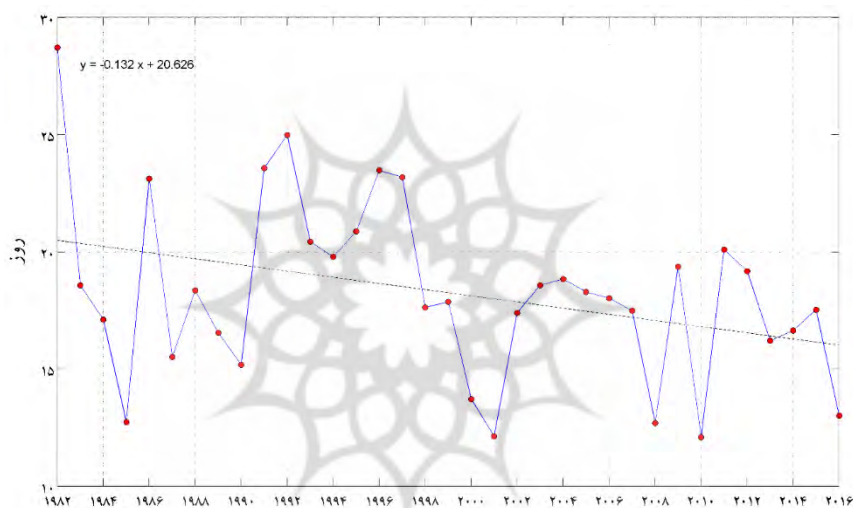


شکل - ۱۰: نقشه‌های روند نمایه بیشترین بارش روزانه در ماه (Rx1day)، روند نمایه ساده شدت بارش روزانه (SDII)، روند نمایه روزهای همراه با بارش سنگین (R10)، روند نمایه روزهای همراه با بارش بسیار سنگین (R20) و روند نمایه روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر (R25)

روزهای خیلی مرطوب (R95p)

بررسی روند تغییرات نمایه روزهای خیلی مرطوب نشان می‌دهد این نمایه نیز آهنگی کاهشی دارد؛ به بیان دیگر، میانگین سالیانه این نمایه رفتاری کاهشی را نشان می‌دهد؛ در واقع تعداد روزهایی که بارش از صدک ۹۵م بیشتر می‌شود، آهنگی کاهشی در ایران دارد (شکل ۱۱).

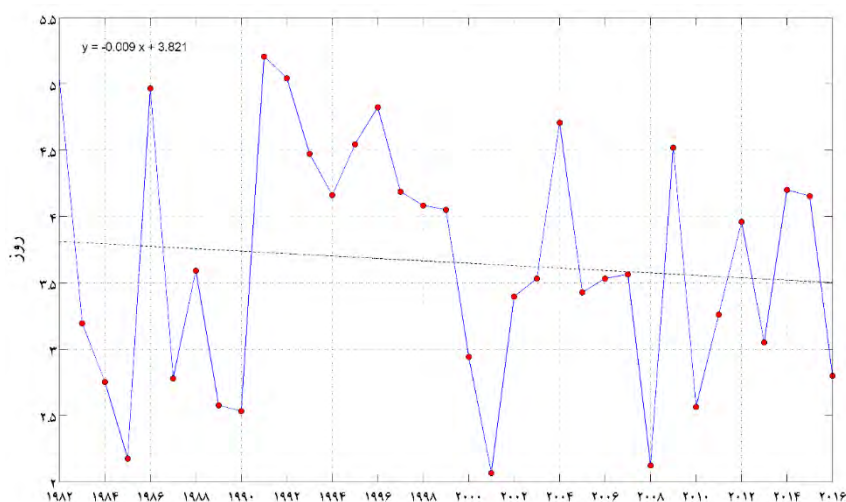
بررسی پراکنش مکانی تغییرات این نمایه حاکی است به‌طور گسترده و یکپارچه در بخش‌های شرق، جنوب شرق و جنوب کشور، این نمایه روند کاهشی معناداری دارد که در بعضی نواحی در سواحل دریای عمان، میزان کاهش به ۶ روز و بیشتر به‌ازای هر دهه می‌رسد؛ اما در بخش‌هایی از مرکز و شمال کشور، این نمایه روندی افزایشی دارد که در پاره‌ای از این مناطق میزان تغییرات به ۴ روز و بیشتر به‌ازای هر دهه می‌رسد (شکل ۱۴). در ۲۴ درصد از گستره کشور، این نمایه روند کاهشی معناداری دارد و فقط در ۲/۶ درصد از مساحت ایران روند افزایشی معناداری را نشان می‌دهد (جدول ۳).



شکل - ۱۱: سری زمانی تغییرات نمایه روزهای همراه با بارش بیش از صدک ۹۵ درصد (R95p)

روزهای بسیار مرطوب (R99p)

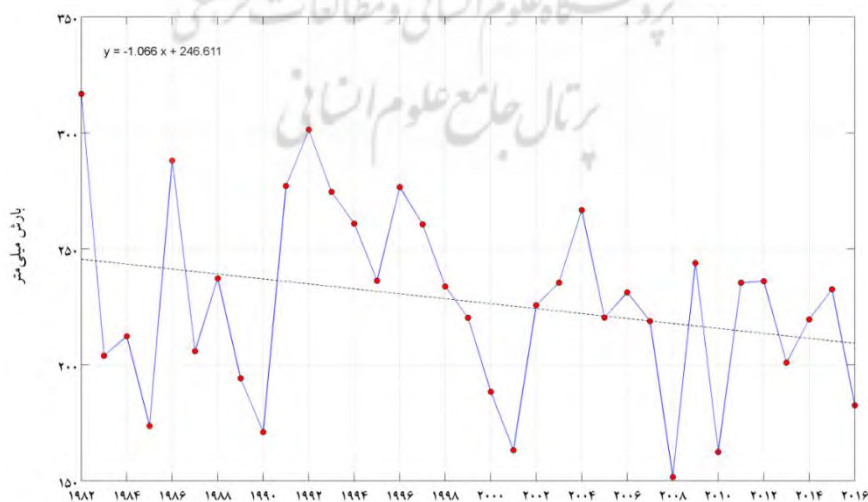
واکاوی این نمایه بارشی گویای آهنگ کاهشی آن است؛ اما شیب تغییرات کاهشی این نمایه کمتر از شیب تغییرات کاهشی نمایه (R95p) است (شکل ۱۲). واکاوی الگوی فضایی این نمایه نشان می‌دهد در بخش‌های غرب، جنوب غرب و شرق کشور، آهنگ این نمایه کاهشی است؛ اما در بخش‌های کوچکی از شمال کشور تغییرات افزایشی در این نمایه دیده می‌شود. بیشترین میزان کاهشی این نمایه در مناطق شرقی و جنوب شرقی کشور با آهنگ ۱/۵ روز در دهه دیده می‌شود. در قسمت‌هایی از مناطق واقع در شرق دریای خزر، البرز میانی و بخش‌های کوچکی از نواحی شمال غربی کشور، میزان افزایش به حدود ۲ روز در دهه می‌رسد (شکل ۱۴). در ۷/۱ درصد از گستره ایران، این نمایه روند کاهشی معناداری دارد و در ۷/۱ درصد نیز روند افزایشی معناداری در این نمایه دیده می‌شود (جدول ۳).



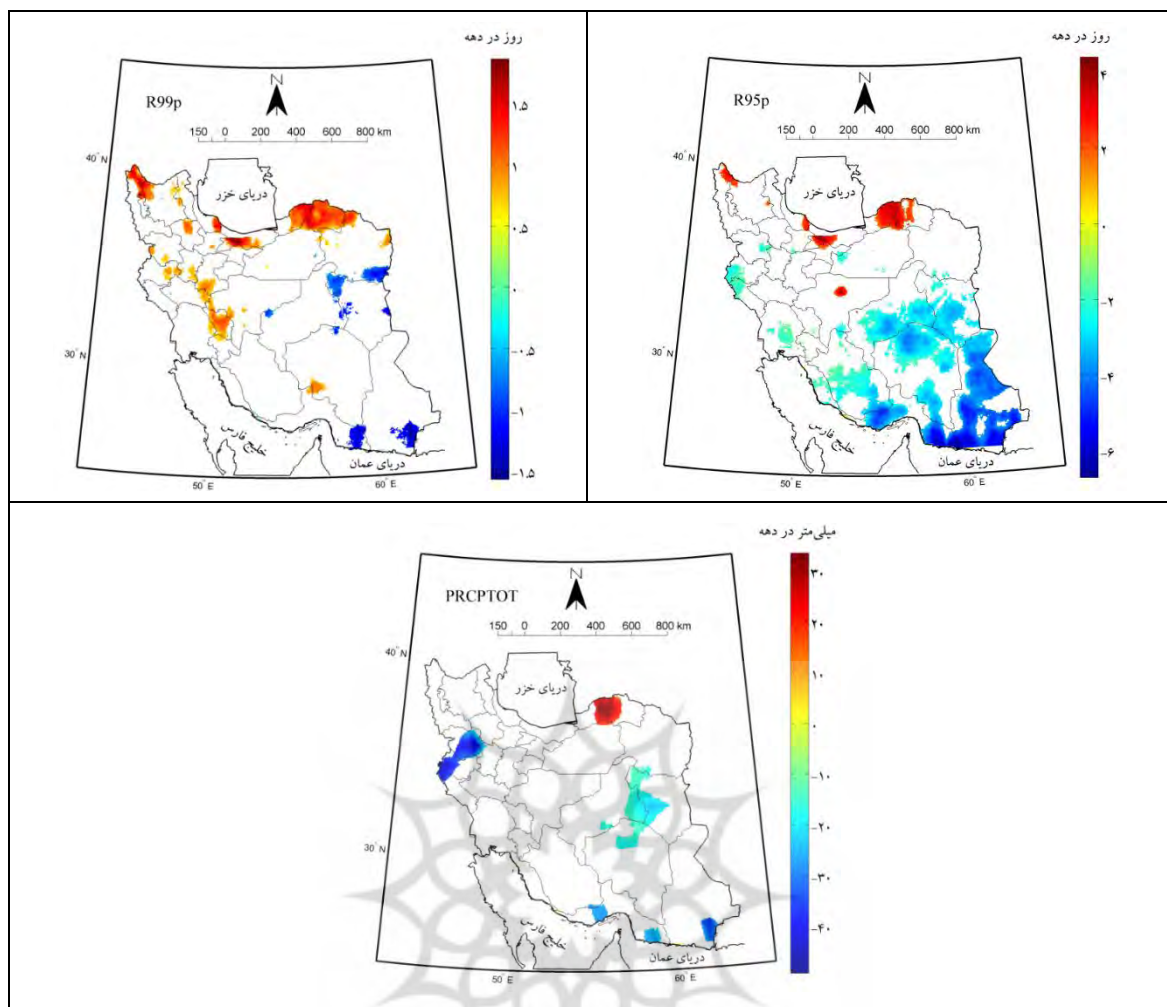
شکل - ۱۲: سری زمانی تغییرات نمایه روزهای همراه با بارش بیش از صدک ۹۹ درصد (R99p)

مقدار بارش روزهای مرطوب سال (PRCPTOT)

بررسی این نمایه نشان می‌دهد در مجموع بارش سالیانه حاصل از روزهای مرطوب طی دوره بررسی شده، آهنگی کاهشی دارد (شکل ۱۳). بر مبنای واکاوی توزیع مکانی تغییرات این نمایه در بخش‌های شرقی پهنه آبی خزر در شمال کشور، سهم مجموع بارش سالیانه حاصل از روزهای مرطوب با آهنگی در حدود ۳۰ میلی‌متر به‌ازای هر دهه افزایش دارد. در بخش‌هایی از غرب، جنوب شرق و شرق کشور، آهنگ این نمایه کاهشی است؛ به بیان دیگر، مجموع بارش سالیانه حاصل از روزهای مرطوب در حال کاهش است. در بخش‌هایی از غرب کشور، میزان این کاهش به ۵۰ میلی‌متر به‌ازای هر دهه نیز می‌رسد (شکل ۱۴). در ۹۱ درصد از گستره کشور تغییرات این نمایه کاهشی است، اما فقط در ۱۳ درصد از مساحت کشور، روند افزایشی معناداری در این نمایه دیده می‌شود. در ۸۹/۶ درصد از گستره ایران نیز، روند معناداری دیده نمی‌شود (جدول ۳).



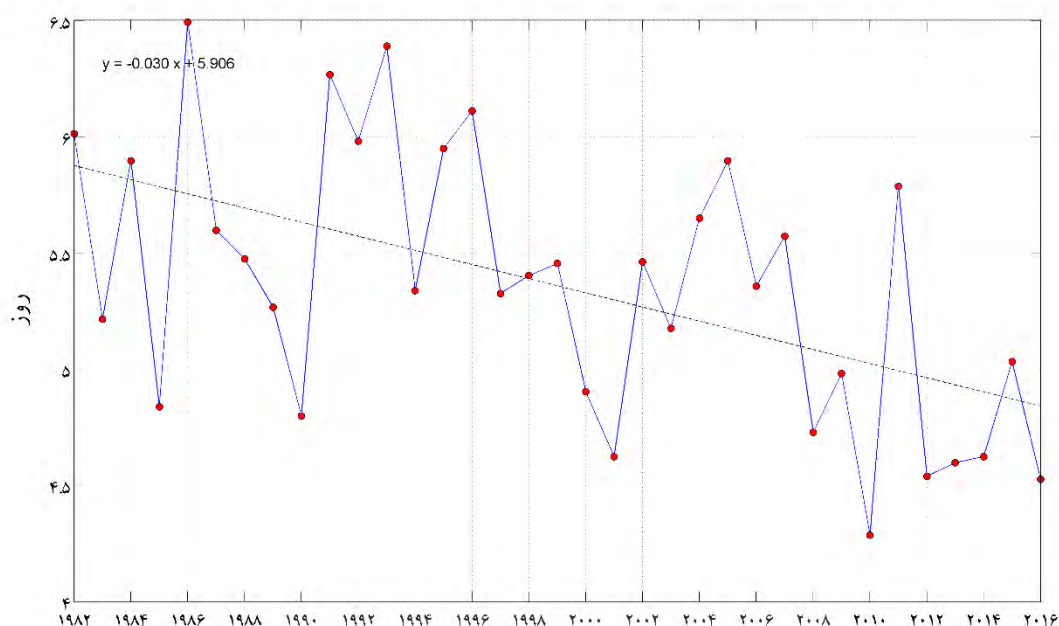
شکل - ۱۳: سری زمانی تغییرات نمایه مقدار بارش روزهای مرطوب سال (PRCPTOT)



شکل - ۱۴: روند نمایه روزهای خیلی مرطوب (R95p)، روند نمایه روزهای بسیار مرطوب (R99p)، مقدار کل بارش روزهای مرطوب سال (PRCPTOT)

نمایه روزهای متوالی مرطوب (CWD)

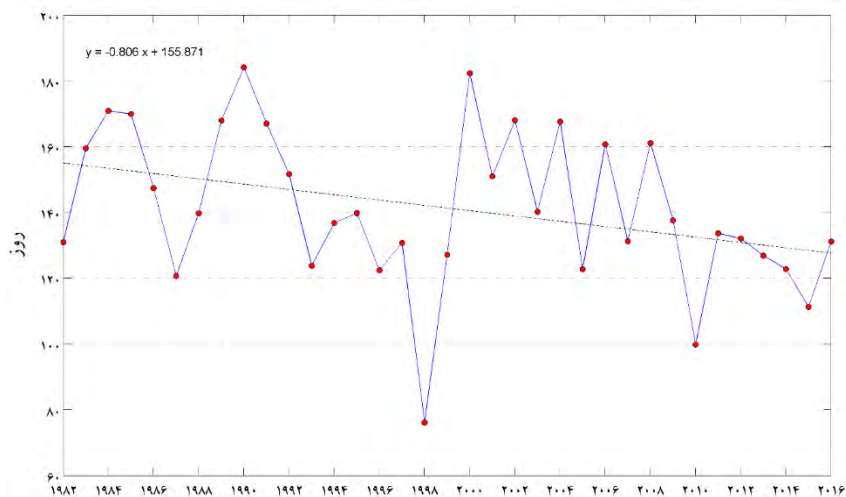
واکای نمایه روزهای متوالی مرطوب حاکی از آهنگ کاهشی میانگین سالیانه این نمایه در ایران است؛ به بیان روشن‌تر، تعداد توالی روزهای مرطوب در ایران در حال کاهش است و تداوم روزهای بارشی در ایران رفتاری کاهشی دارد (شکل ۱۵). بررسی مکانی تغییرات این نمایه نیز نشان می‌دهد در بخش‌های محدودی از مرکز کشور تعداد روزهای متوالی مرطوب به میزان ۰/۵ روز در دهه در حال افزایش است؛ این در حالی است که در بسیاری از بخش‌های غربی، شرقی و جنوبی کشور، روزهای متوالی مرطوب روندی کاهشی با دامنه تقریبی ۰/۵- تا ۲- روز در دهه دارد (شکل ۱۷). ۲۴ درصد از گستره کشور روند کاهشی معنادار را در این نمایه نشان می‌دهد؛ این در حالی است که فقط ۱/۹ درصد از پهنه کشور در این نمایه روند افزایشی دارد (جدول ۳).



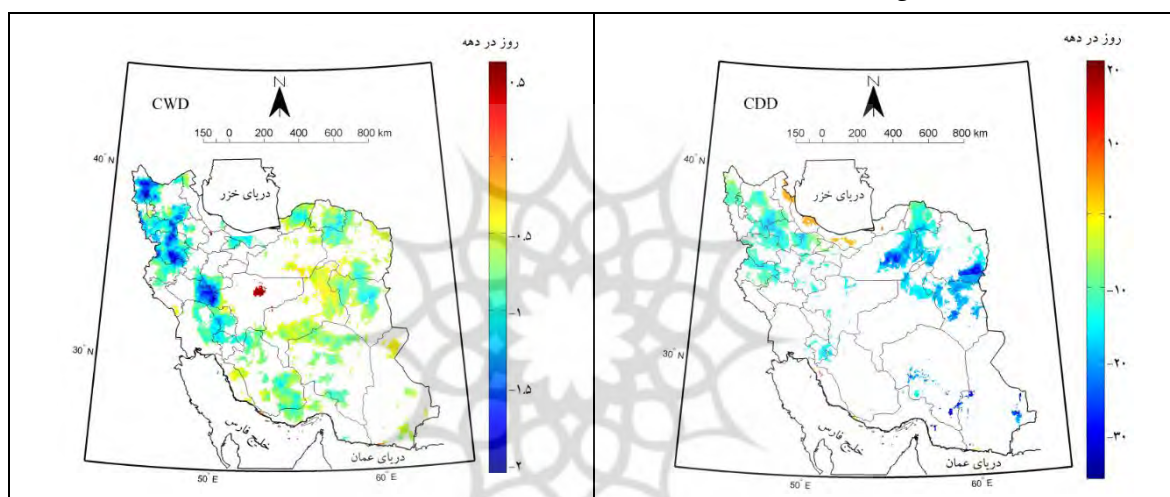
شکل - ۱۵: سری زمانی تغییرات نمایه روزهای متوالی مرطوب (CWD)

نمایه روزهای متوالی خشک (CDD)

واکاوی تغییرات نمایه روزهای متوالی خشک در کشور، آهنگ کاهشی این نمایه را نشان می‌دهد (شکل ۱۶). جز در بخش‌های کوچکی در سواحل جنوبی دریای خزر که نمایه روزهای متوالی خشک با دامنه تقریبی ۰ تا ۵ روز در دهه در حال افزایش است، در سایر نواحی ایران به‌ویژه بخش‌های شرقی و غربی، روند کاهشی در این نمایه دیده می‌شود؛ به بیان دیگر، تعداد روزهای همراه با خشکی و بی‌بارشی روندی کاهشی دارد. بیشترین میزان کاهشی در روزهای متوالی خشک در مناطق شرقی بوده است که به ۳۰ روز و بیشتر به‌ازای هر دهه می‌رسد. این میزان کاهشی در پهنه شمال غربی کشور، دامنه‌ای بین ۱۰- تا ۲۰- روز در دهه دارد (شکل ۱۷). این نمایه در ۱۳ درصد از مساحت ایران روند کاهشی معنادار و فقط در ۱/۳ درصد از گستره کشور، روند افزایشی دارد (جدول ۳). هماهنگ با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، یافته‌های محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، گویای روند کاهشی این نمایه در بخش‌های مرکزی و غربی است؛ به بیان دیگر، بیشترین تعداد روزهای متوالی خشک که در واقع بیشترین فاصله زمانی بین دو رخداد بارش است، در بخش‌های غربی و مرکزی کشور در حال کاهش است.



شکل - ۱۶: سری زمانی تغییرات نمایه روزهای متوالی خشک (CDD)



شکل - ۱۷: روند نمایه روزهای متوالی مرطوب (CWD)، روند روزهای متوالی خشک (CDD)

جدول - ۳: درصد گستره کشور همراه با تغییرات معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

نام نمایه	درصد پهنه روند کاهشی	درصد پهنه بدون روند	درصد پهنه روند افزایشی
SDII	۶/۵	۷۰/۱	۲۳/۴
Rx1day	۱/۹	۹۰/۹	۷/۱
R10	۷/۱	۸۶/۴	۶/۵
R20	۲/۶	۹۱/۶	۵/۸
R25	۰/۶	۹۴/۸	۴/۵
PRCPTOT	۹/۱	۸۹/۶	۱/۳
95th	۲۴/۰	۷۳/۴	۲/۶
99th	۷/۱	۸۵/۷	۷/۱
CDD	۱۳/۰	۸۵/۷	۱/۳
CWD	۲۴/۰	۷۴/۰	۱/۹

نتیجه‌گیری

تغییر الگوها و پراکنش زمانی و مکانی بارش‌ها، از جمله پیامدهای مهم تغییر اقلیم است. با توجه به نقش برجسته رخدادهای فرین و حدی بارش در بروز بلایای مرتبط با اقلیم، بررسی رفتار این شاخص‌ها و نمایه‌های بارش‌های فرین در بستر تغییرات اقلیمی اهمیت بسیاری دارد؛ از آنجا که یکی از ابعاد تغییر اقلیم، تغییر در الگوی بارش و مقادیر حدی آن است، در این پژوهش شناسایی و واکاوی روند نمایه‌های فرین بارش در ایران طی دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۶ با استفاده از داده‌های مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان (GPCP) مدنظر قرار گرفت.

یافته‌های این پژوهش نشان داد بیشترین گستره تغییرات کاهشی در نمایه روزهای متوالی مرطوب (CWD) دیده می‌شود؛ بدین معنا که توالی روزهای همراه با بارش در حال کاهش است و بارش‌ها به تمرکز زمانی بیشتری تمایل دارد. همچنین نمایه (SDII) که بسیار مهم است و شدت بارش‌های روزانه را نشان می‌دهد، روند معناداری دارد؛ به گونه‌ای که به‌طور تقریبی در ۲۳ درصد از مساحت کشور، روند افزایشی در این نمایه دیده می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های مسعودیان و دارند (۱۳۹۲) هماهنگ است. این پژوهشگران نیز نشان دادند در ایران نمایه (SDII) بیشترین درصد افزایش را طی بازه زمانی ۱۹۶۲-۲۰۰۴ داشته است. در مجموع مشخص شد در ایران الگوی بارش‌ها به حالت ناهنجاری و نظام توزیع بارش به حالت متمرکز گرایش یافته است. یافته‌های پژوهش دارند (۱۳۹۲) روی تغییرات شدت سامانه‌های هم‌دید مؤثر بر اقلیم ایران گویای آن است که شدت سامانه‌های سودانی، مدیترانه‌ای و دریای سیاه برای فصل سرد و مرطوب سال کاهش یافته است. با کاهش شدت این سامانه‌ها، بارش در ایران در فصل مرطوب کمتر خواهد بود.

همچنین پژوهش رسولی و همکاران (۱۳۹۱) درباره تحلیل سری‌های زمانی فشار الگوی مراکز هم‌دید مؤثر بر بارش ایران نشان می‌دهد مقادیر فشار روی محدوده مرکزی سامانه‌های مدیترانه‌ای و سودانی افزایش یافته است که در مجموع به کاهش بارش در کشور منجر خواهد شد؛ بنابراین به نظر می‌رسد تغییرات زمانی و مکانی و در عین حال تضعیف سامانه‌های هم‌دید مهاجر و پدیدآورنده بارش در ایران، وجود روندهای متنوع نمایه‌های فرین را روی کشور توجیه کند؛ زیرا بارش هر بخش از کشور سازوکار مربوط به الگوها و مراکز فشار مربوط به خود را دارد؛ در هر حال محدود شدن بارش به چند رویداد فرین با پیامدهای بد زیست‌محیطی همراه است؛ بنابراین در مناطقی که بارش روندی از خود نشان نداده، اما نمایه‌های فرین روندی مثبت به خود گرفته‌اند، این مسئله پیامدهایی زیست‌محیطی مانند فرسایش خاک و برهم خوردن نظام پراکندگی بارش داشته است؛ بنابراین نیازمند برنامه‌ها و تدابیر لازم برای مقابله است.

منابع

- ۱- احمدی، محمود، لشکری، حسن، آزادی، مجید، کیخسروی، قاسم، (۱۳۹۴)، آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ، مجله پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۶، شماره ۲۳، تهران، ۳۴-۵۲.
- ۲- برنا، رضا، جهان، آیین، (۱۳۹۴)، مطالعه روند تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران؛ مطالعه موردی: استان بوشهر، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۸، شماره ۸۲، فارس، ۴۳-۶۳.
- ۳- تقوی، فرحناز، محمدی، حسین، (۱۳۸۶)، بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به‌منظور شناخت پیامدهای زیست‌محیطی، مجله محیط‌شناسی، دوره ۳۳، شماره ۴۳، تهران، ۱۱-۲۰.
- ۴- دارند، محمد، (۱۳۹۲)، شناسایی تغییرات شدت سامانه‌های همدیدی مؤثر بر اقلیم ایران، نخستین کنفرانس ملی آب‌وهواشناسی، کرمان.
- ۵- دارند، محمد، (۱۳۹۳)، واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به‌عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۱، شماره ۲، تهران، ۱-۲۹.
- ۶- دارند، محمد، دولت‌یاری، زهرا، اصلانی، فریبا، عزیزی، یسری، (۱۳۹۳)، بررسی رفتار فرین‌های بارش و دمای کرمانشاه به کمک آزمون‌های آماری، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، دوره ۱۴، شماره ۴۶، اهر، ۲۱۳-۲۳۳.
- ۷- دارند، محمد، (۱۳۹۴)، ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم در ایران زمین طی دهه‌های اخیر، مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، دوره ۹، شماره ۳۰، تهران، ۱-۱۴.
- ۸- رسولی، علی‌اکبر، باباییان، ایمان، قائمی، هوشنگ، زوارضا، پیمان، (۱۳۹۱)، تحلیل سری‌های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی مؤثر بر بارش‌های فصلی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۱۰، شماره ۲۷، زاهدان، ۷۷-۸۸.
- ۹- رحیم‌زاده، فاطمه، عسکری، احمد، فتاحی، ابراهیم، محمدیان، نوشین، تقی‌پور، افسانه، (۱۳۸۹)، روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۳، مجله تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۴، شماره ۲، اصفهان، ۱۱۹-۱۴۴.
- ۱۰- عسکری، احمد، رحیم‌زاده، فاطمه، محمدیان، نوشین، فتاحی، ابراهیم، (۱۳۸۶)، تحلیل روند نمایه‌های حدی بارش در ایران، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۳، شماره ۳، تهران، ۴۲-۵۵.
- ۱۱- محمدی، حسین، تقوی، فرحناز، (۱۳۸۴)، روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۳، تهران، ۱۵۱-۱۷۲.

- ۱۲- محمدی، حسین، عزیزی، قاسم، خوش‌اخلاق، فرامرز، رنجبر، فیروز، (۱۳۹۶)، تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۱، تهران، ۲۱-۳۷.
- ۱۳- مسعودیان، ابوالفضل، دارند، محمد، (۱۳۹۲)، شناسایی و بررسی بارش‌های فرین ایران طی دهه‌های اخیر، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دوره ۱۱، شماره ۲۰، مشهد، ۲۳۹-۲۵۷.
- 14- Alexander, L., Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Rahimzadeh, F., (2006). **Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 111 (D5).
- 15- Ávila, Á., Guerrero, F.C., Escobar, Y.C., Justino, F., (2019). **Recent precipitation trends and floods in the Colombian Andes**, Water, Vol 2, No 11, 379 p.
- 16- Bruce, J.P., (1994). **Natural disaster reduction and global change**, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol 10, No 75, Pp 1831-1836.
- 17- Choi, G., Collins, D., Ren, G., Trewin, B., Baldi, M., Fukuda, Y., Huong, P.T.T., (2009). **Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia Pacific Network region, 1955–2007**, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 13, No 29, Pp 1906-1925.
- 18- Costa, A.C., Santos, J.A., Pinto, J.G., (2012). **Climate change scenarios for precipitation extremes in Portugal**, Theoretical and Applied Climatology, Vol 1-2, No 108, Pp 217-234.
- 19- Gupta, S., Gupta, A., Himanshu, S.K., Singh, R., (2020). **Analysis of the Extreme Rainfall Events Over Upper Catchment of Sabarmati River Basin in Western India Using Extreme Precipitation Indices**, In Advances in Water Resources Engineering and Management (pp 103-111): Springer.
- 20- Hartmann, D.L., Tank, A.M.K., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y.A.R., ... Kaplan, A., (2013). **Observations: atmosphere and surface**, In Climate change 2013 the physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (pp 159-254): Cambridge University Press.
- 21- Hidalgo, J.G., De Luis, M., Raventós, J., Sánchez, J., (2003). **Daily rainfall trend in the Valencia Region of Spain**. Theoretical and Applied Climatology, Vol 1-2, No 75, Pp 117-130.
- 22- Hundecha, Y., Bárdossy, A., (2005). **Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century**, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 9, No 25, Pp 1189-1202.
- 23- Obasi, G., (1994). **WMO's role in the international decade for natural disaster reduction**, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol 9, No 75, Pp 1655-1662.
- 24- Pal, I., Al-Tabbaa, A., (2009). **Trends in seasonal precipitation extremes—An indicator of 'climate change' in Kerala, India**, Journal of Hydrology, Vol 1-2, No 367, Pp 62-69.
- 25- Pińskwar, I., Choryński, A., Graczyk, D., Kundzewicz, Z.W., (2019). **"Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991–2015 versus 1961–1990"**, Theoretical and Applied Climatology (135), Pp 773-787.
- 26- Rahimzadeh, F., Asgari, A., Fattahi, E., (2009). **"Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades"**, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 3, No 29, Pp 329-343.
- 27- Santos, M., Fragoso, M., (2013). **Precipitation variability in Northern Portugal: data homogeneity assessment and trends in extreme precipitation indices**, Atmospheric Research, Vol 131, Pp 34-45.

- 28- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Miller, H.L., (2007). **Climate change 2007: the physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, In: Cambridge University Press, Cambridge New York.
- 29- Vivekanandan, N., (2007). **Analysis of Trend in Rainfall Using Non Parametric Statistical Methods**, Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- 30- Wang, B., Zhang, M., Wei, J., Wang, S., Li, X., Li, S., Fan, J., (2013). **Changes in extreme precipitation over Northeast China, 1960–2011**, Quaternary International, Vol 298, Pp 177-186.
- 31- 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, Vol 9, No 32.
- 32- Zhang, X., Hegerl, G., Zwiers, F.W., Kenyon, J., (2005). **Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes**, Journal of Climate, Vol 11, No 18, Pp 1641-1651.
- 33- Zilli, M.T., Carvalho, L.M., Liebmann, B., Silva Dias, M.A., (2017). **A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil**, International Journal of Climatology, Vol 5, No 37, Pp 2269-2279.

