

شناسایی و بررسی تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایران طی دهه‌های اخیر

سید ابوالفضل مسعودیان (استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان)

Porcista@yahoo.ie

محمد دارند (استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه کردستان، نویسنده مسؤول)

Darand_mohammad@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش به کمک داده‌های روزانه بارش ۱۴۳۷ بیمونگاه اقلیمی، همدید و باران‌سنجی در بازه زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱، نمایه‌های فرین بارش ایران بررسی شد. داده‌های روزانه بارش به کمک روش درونیابی کریگینگ برای یاخته‌های ۱۵*۱۵ کیلومتر درونیابی شدند و در نهایت یک ماتریس با ابعاد ۷۱۸۷*۱۵۷۰۶ حاصل شد. برای شناسایی نمایه‌های بارش فرین از ۱۱ شاخص پیشنهاد شده توسط گروه کارشناسی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل روند بر روی نمایه‌های بارش فرین نشان داد که در مناطق جنوب‌غرب و غرب کشور روند مثبت و بر روی نوار باریکی در شمال ایران روند منفی است. نمایه‌ها در نیمه شرقی کشور روندی از خود نشان نمی‌دهند. نه تنها فراوانی رخداد بارش‌های فرین در مناطق جنوب غرب و غرب روبه افزایش است، بلکه شدت و میزان بارش ناشی از آن‌ها نیز بیشتر شده است. به بیانی دیگر زمان رخداد بارش در این مناطق در سال‌های اخیر متمرکز شده و سهم بسیار زیادی از بارش سالانه در چند روز از سال به صورت بارش‌های سنگین و ابرسنگین رخ می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: نمایه‌های بارش فرین، تحلیل روند، ایران.

۱- مقدمه

باور اینکه طی قرن بیست و یکم، رخداد فرین‌های اقلیمی بیشتر و گسترده‌تر شده و بر شدت آن افزوده شده، افزایش یافته است (IPCC, 2007). امروزه هیچ روزنامه‌ای وجود ندارد که در آن مطالبی در ارتباط با تغییر اقلیم نوشته نشده باشد. همچنین هیچ مجله تخصصی اقلیم‌شناسی را نمی‌توان یافت

که نشان ندهد بهترین دانشمندان علمی جهان بر روی شناسایی تغییر اقلیم و پراکنش مکانی آن کار می‌کنند (IPCC, 2001). نمایه‌های تغییر اقلیم به کمک مراکز تحقیقاتی زیادی که در سراسر جهان وجود دارند، بسط و گسترش یافته‌اند. هدف این نمایه‌ها به تصویر کشیدن پراکنش زمانی و مکانی تغییر اقلیم است. کمیته بین دول تغییر اقلیم نشان داد که اثر فعالیت‌های بشری بر تغییر اقلیم انکارناپذیر است و منجر به افزایش میانگین دمای کره زمین تا ۰/۷ درجه سانتی‌گراد از نیمه دوم قرن نوزدهم به بعد شده است (IPCC, 1995). به دنبال نشست سازمان هواشناسی جهانی کمیسیون اقلیم-شناسی^۱ و تغییر اقلیم^۲ تیم کارشناسی شناسایی تغییر اقلیم در سپتامبر ۱۹۹۸، تعداد دیگری از نشست-ها در اروپا (ارزیابی اقلیم اروپا^۳ در وین، کمیته بین دول تغییر اقلیم در پاریس، کمیسیون مشورتی گروه در ردینگ و سازمان هواشناسی جهانی کمیسیون اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم در ژنو)، در استرالیا (شبکه استرالیا-اقیانوس آرام^۴ در ملبورن) و در ایالات متحده آمریکا (کمیته بین دول تغییر اقلیم در آشیولی) برگزار شد. در یک نشست دیگر در نوامبر ۱۹۹۹ سازمان هواشناسی جهانی کمیسیون اقلیم-شناسی و تغییر اقلیم، گروه‌های کارشناسی شناسایی تغییر اقلیم را در ژنو دور هم جمع کرد و فهرست ۱۰ نمایه ساده تغییر اقلیم را به آن‌ها معرفی کرد. همچنین تأکید شد که نمایه‌های جدید باید به گونه‌ای باشند که با هم بسیار هم‌بسته نباشند و هر کدام اطلاعات مستقلی را از وضعیت تغییر اقلیم بیان کنند. نمایه‌ها علاوه بر اینکه قابلیت مقایسه نقاط مختلف جهان با هم را داشته باشند، بر پایه شرایط منطقه‌ای بوده و امکان مقایسه مناطق مختلف را داشته باشند.

علاوه بر موارد ذکر شده، نمایه‌های جدید باید قابلیت سنجش تغییر اقلیم را در مقیاس زمانی و مکانی داشته باشند (Frich et al., 2002: 193). به منظور دستیابی به یک دید واحد از فرین‌های اقلیمی و هواشناسی، گروه کارشناسی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها^۵ فهرستی از نمایه‌های فرین اقلیمی را معرفی کرد. این فهرست شامل ۲۷ نمایه فرین برای دو سنجه اقلیمی دما و بارش است که خصوصیات ویژه فرین‌های اقلیمی، از جمله بسامد، بزرگی (شدت) و دوام آن‌ها را بیان می‌کنند. از ۲۷

1. Commission for Climatology
2. Climate Variability
3. European Climate Assessment
4. AustraliaPacific Network
5. Expert Team on Climate Change Detection and Indices

نمایه، ۱۶ نمایه آن مربوط به محاسبه دما و ۱۱ نمایه دیگر مربوط به بارش فرین است. طی دهه اخیر پژوهشگران بسیار زیادی از این نمایه‌ها برای شناسایی تغییر اقلیم در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی استفاده کرده‌اند. کلاین تانک و کونین روند شاخص‌های فرین بارش و دمای روزانه را در اروپا طی دوره ۱۹۴۶ تا ۱۹۹۹ مطالعه کردند. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که در دوره مورد مطالعه اگرچه روند شاخص‌های فرین مرطوب هم‌بستگی مکانی خاصی را نشان نمی‌دهند، اما به‌طور میانگین بر روی اروپا این شاخص‌ها رو به افزایش است (Klein Tank & Konnen, 2002: 4665). ژانگ^۱ و همکاران روند شاخص‌های فرین اقلیمی را در خاورمیانه طی بازه زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۳ بررسی کردند. آن‌ها به کمک ۵۲ ایستگاه هواشناسی از ۱۵ کشور در منطقه خاورمیانه این مطالعه را انجام دادند. یافته‌ها بیانگر آن است که به‌طور کلی تعداد روزهای همراه با بارش، میانگین شدت بارش و بیش‌ترین مقدار بارش یک روزه، روند ضعیفی از خود نشان می‌دهند و ارتباط مکانی خاصی نشان نمی‌دهد (۲۰۰۵: ۱۶۴۱). هیوندیچا و باردوسی^۲ روند فرین‌های بارش و دما را بر روی منطقه غرب آلمان در نیمه دوم قرن بیستم مطالعه کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که شدت و بسامد بارش‌های سنگین روزانه در همه فصول به جز تابستان روند افزایشی را نشان می‌دهند. در فصل تابستان شرایط برعکس است (۲۰۰۵: ۱۱۸۹). بارثولی و پونگراسز^۳ شاخص‌های بارش و دمای فرین حوضه کارپاسیان در مجارستان را طی دوره ۱۹۴۶ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند. یافته‌ها بیانگر آن است که شدت و بسامد بارش فرین در منطقه مورد مطالعه، بین سال‌های ۱۹۷۶ و ۲۰۰۱ افزایش یافته است، درحالی‌که بارش کل روند کاهشی نشان می‌دهد (۲۰۰۶: ۳۵). الکساندر^۴ و همکاران تغییرات فرین‌های اقلیمی روزانه دما و بارش را بر کل کره زمین مطالعه کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که تغییرات بارش نتیجه منطقی را نشان نمی‌دهد، ولی بارش سالانه روی برخی ایستگاه‌ها به‌طور پراکنده افزایش معناداری را نشان می‌دهد (۲۰۰۶: ۱). کیوتسیوکیس و زرفاس^۵ تغییرات فرین‌های اقلیمی را در یونان طی بازه زمانی ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۲ با نگاه آماری ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان داد که مقدار کل بارش دریافتی کاهش

-
1. Zhang
 2. Hundexha & Bardossy
 3. Bartholy & Pongracz
 4. Alexander
 5. Kioutsioukis & Zerefos

یافته و اقلیم یونان به سمت اقلیم خشک‌تر میل می‌کند، ولی رخدادهای فرین بارش بدون اینکه الگوی مکانی خاصی داشته باشند، روبه افزایش است (۲۰۰۹: ۱۷۲۳). پال و تابا^۱ روند فرین‌های بارش فصلی را به عنوان شاخصی از تغییر اقلیم در کیرالای هندوستان بررسی کردند. ایشان بارش‌های سه فصل زمستان، بهار و پاییز را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارش‌های فرین پاییزه و زمستانه در برخی مناطق به لحاظ آماری روند معناداری را نشان می‌دهد و منجر به افزایش رخداد سیل در این فصول از سال می‌شود. درحالی‌که بارش‌های فصل بهار کاهش یافته و روزهای خشک افزایش یافته‌اند (۲۰۰۹: ۶۲). اکسو^۲ و همکاران تغییرات فرین‌های دما و بارش در حوضه آبریز یانگ تسه چین، طی قرن ۲۱ را بررسی کردند. واکاوی‌ها نشان داد که بسامد و شدت رخدادهای بارش یک روزه و ۵ روزه بر حوضه افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که سهم بسیار زیادی از کل بارش سالانه طی رخدادهای بارش‌های سنگین (بارش‌های بیش از صدک ۹۵م) اتفاق می‌افتد (۲۰۰۹: ۴۴). چوی^۳ و همکاران تغییرات میانگین و فرین‌های رخداد دما و بارش را در منطقه آسپایی اقیانوس آرام مطالعه کردند. آن‌ها برای انجام این پژوهش ۱۴۳ ایستگاه هواشناسی را در منطقه مورد مطالعه برگزیدند. نتایج آن‌ها نشان داد که کل بارش طی دوره مورد مطالعه (۱۹۵۵-۲۰۰۷) روندی از خود نشان نمی‌دهد رفتار بسامد و دوام رخدادهای فرین‌های بارش نیز بدون روند است. تنها در حدود ۳۰ درصد ایستگاه‌ها روند رخداد بارش‌های فرین معنادار است که از الگوی پراکنش خاصی پیروی نمی‌کند (۲۰۰۹: ۱۹۰۶). سانتوس^۴ و همکاران روند شاخص‌های فرین دما و بارش روزانه را در ایالت یوتای امریکا مطالعه کردند. ایشان ۲۰ نمایه فرین دما و بارش را در مقیاس سالانه طی دوره‌ی ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۶ ارزیابی کردند. از بسته‌ی نرم‌افزاری **RCLindex1** برای محاسبه‌ی نمایه‌ها استفاده کردند. نتایج آن‌ها بیانگر افزایش دما و تغییرات زیاد بارش طی قرن اخیر است، ولی تغییرات بارش به لحاظ آماری معنادار نیست (۲۰۱۰: ۱۸۱۳). زونگ‌زینگ^۵ و همکاران تغییرات فرین‌های اقلیمی روزانه را در جنوب‌شرق کشور چین طی دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات

1. Pal & Tabba
2. Xu
3. Choi
4. Santos
5. Zongxing

فرین‌های بارش نسبت به فرین‌های دما کوچک‌تر است و تنها در مقیاس منطقه‌ای روند روزهای متوالی مرطوب، بارش روزهای بسیار مرطوب و بیشترین بارش یک روزه معنادار است. به طور کلی توزیع مکانی تغییرات زمانی نمایه‌های فرین اقلیمی در جنوب‌شرق چین پیچیدگی اقلیم و نقش توپوگرافی را نشان می‌دهد (۲۰۰۵: ۲۵۵). کوستا^۱ و همکاران سناریوهای تغییر اقلیم فرین‌های بارش در پرتغال را تجزیه و تحلیل کردند. یافته‌های این پژوهشگران نشان داد که سهم میزان بارش رخدادهای فرین نسبت به کل بارش، به‌ویژه در زمستان و بهار در شمال شرق پرتغال، رو به افزایش است. همچنین افزایش طول دوره خشک در دو فصل پاییز و بهار قابل توجه است و دلیل آن را تغییر الگوهای گردش جوی بر روی اروپا و اقیانوس اطلس می‌دانند (۲۰۱۲: ۲۱۷).

در ایران، محمدی و تقوی نشان دادند که در ایستگاه تهران شاخص‌های حادی بارش روند کاهش با شیب بسیار کمی را نشان می‌دهد (۱۳۸۴: ۱۵۱). در پژوهشی دیگر تقوی و محمدی روی ۱۶ ایستگاه همدید بر کشور نشان دادند که دوره بازگشت شاخص‌های حادی، گرم و بارش کوتاه‌تر شده و بسامد رخداد آن‌ها افزایش یافته است (تقوی و محمدی، ۱۳۸۶: ۱۱). همچنین رحیم زاده و همکاران (۲۰۰۹)، عسکری و همکاران (۱۳۸۶)، رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) و معروفی و همکاران (۲۰۱۱) به کمک نمایه‌های یاد شده بارش و دماهای فرین ایران را در سطح ملی و محلی مورد مطالعه قرار داده‌اند. یافته‌های این پژوهشگران نشان می‌دهد که نمایه‌های فرین بارش بیانگر هر سه حالت ایستا، مثبت و منفی نمایه‌های بارش فرین در سطح کشور است.

با مروری بر پژوهش‌هایی که در ایران انجام شده است، می‌توان دریافت که این مطالعات بر پایه داده‌های نقطه‌ای (ایستگاهی) بوده‌اند. ایستگاه‌ها در پهنه ایران به‌طور منظم، پراکنده نشده‌اند و شناسایی مرز نواحی به کمک داده‌های نقطه‌ای امکان‌پذیر نیست. برای داوری و اظهار نظر در مورد پهنه ایران، لازم است که داده‌های نقطه‌ای به داده‌های شبکه‌ای (یاخته‌ای) تبدیل شوند.

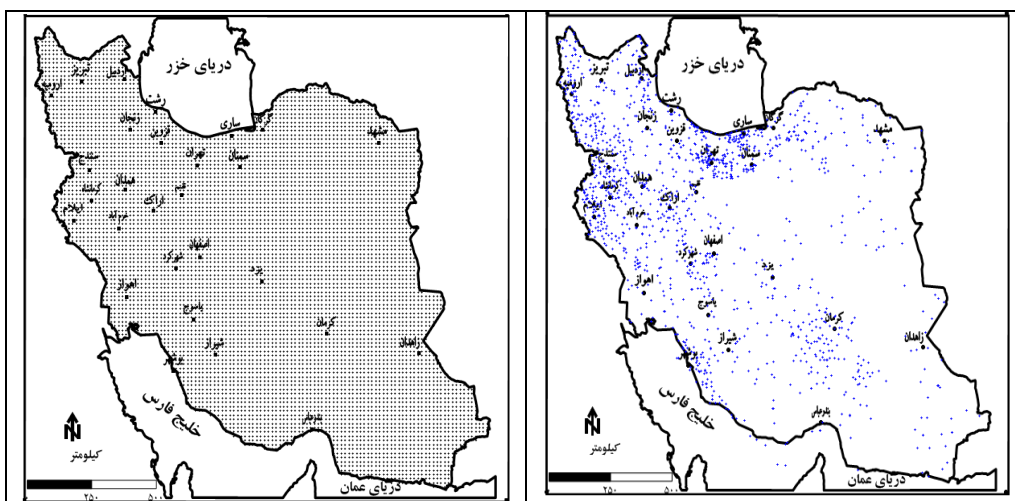
هدف از انجام این پژوهش، شناسایی نمایه‌های بارش فرین و بررسی تغییرات آن طی دهه‌های اخیر به کمک داده‌های شبکه‌ای بارش است.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش از داده‌های روزانه بارش ۱۴۳۷ پیمونگاه^۱ همدید، اقلیمی و باران‌سنجی ایران طی بازه زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ استفاده شده است. اقلیم، پدیده‌ای سه وجهی است که شامل مکان، زمان و سنج‌های اقلیمی است. مقادیر سنج‌های اقلیمی با زمان و مکان تغییر می‌کنند. به بیانی دیگر از نقطه‌ای به نقطه دیگر و از زمانی به زمانی دیگر در حال تغییر هستند. از سوی دیگر امکان دیده‌بانی آن‌ها نقطه به نقطه و لحظه به لحظه امکان‌پذیر نیست. بنابراین نیازمند میان‌یابی سنج‌های اقلیمی به کمک داده‌های پیمونگاه‌ها خواهیم شد تا بتوانیم مقادیر را بر شبکه منظمی از یاخته‌ها در اختیار داشته باشیم (مسعودیان، ۱۳۹۰).

در این پژوهش به کمک روش درون‌یابی زمین آماری کریگینگ داده‌ها برای یاخته‌های ۱۵*۱۵ کیلومتر میان‌یابی شدند. در نهایت ماتریسی با ابعاد ۷۱۸۷*۱۵۷۰۶ حاصل شد که بر روی ستون‌ها یاخته‌ها و بر روی ردیف‌ها روزها قرار گرفت^(۱). این ماتریس مبنای دآوری ما جهت شناسایی روزهای بارش فرین شد.

شکل ۱: موقعیت پیمونگاه‌های همدید، اقلیمی و باران‌سنجی (راست) و یاخته‌های میان‌یابی شده (چپ)



مأخذ: نگارندگان

برای شناسایی روزهای همراه با بارش فرین از نمایه‌های پیشنهاد شده گروه کارشناسی تغییر اقلیم و نمایه‌ها استفاده شد. به‌طور کلی این نمایه‌ها را می‌توان در پنج گروه دسته‌بندی کرد (Alexander et al., 2009).

- نمایه‌های صدکی: نمایه‌های بارش در این گروه، میزان کاهش بارش صدک‌های بالای ۹۵ درصد (R95p) و صدک ۹۹م (R99p) و رخداد‌های بارش فرین در یک سال را نیز به ما نشان می‌دهند.

- نمایه‌های مطلق: بیشترین مقدار بارش یک روزه (RX1day) و بیش‌ترین مقدار بارش ۵ روزه (RX5day) جزو این دسته هستند.

۱- نمایه‌های آستانه‌ای: نمایه‌هایی هستند که تعداد روزهایی که میزان بارش از یک آستانه کمتر یا بیشتر باشد را اندازه‌گیری می‌کنند. در بین ۱۱ نمایه فرین بارش، تعداد روزهای بارشی سنگین بیش از ۱۰ میلی متر (R10) و تعداد روزهای بارشی ابرسنگین بیش از ۲۰ میلی متر (R20) و تعداد روزهای با بارش بیشتر از ۲۵ میلی متر (R25) جزو این دسته به حساب می‌آیند.

۲- نمایه‌های دوره‌ای: این نمایه‌ها دوره‌های مرطوب و خشکی زیاد از حد در طول فصل رشد یا دوره‌های عادی را می‌سنجند و شامل نمایه‌های روزهای متوالی خشک (CDD) و روزهای متوالی مرطوب (CWD) است که نمایه‌های بارش در گروه اخیر هستند.

۳- نمایه‌های دیگر که در هیچ یک از گروه‌های بالا نمی‌گنجند. کل بارش سالانه (PRCPTOT) و نمایه ساده شدت بارش روزانه (SDII) جزو این دسته از نمایه‌ها هستند.

برای محاسبه آستانه باید به نکات زیر توجه کرد:

۱- انتخاب دوره پایه: برای اینکه شاخص محاسبه شده در دوره‌های آتی نیز قابل استناد باشد، دوره‌های پایه را معمولاً سازمان هواشناسی جهانی انتخاب می‌کند (برای مثال ۱۹۶۱-۱۹۹۰ یا ۱۹۷۱-۲۰۰۰). دسترسی به پایگاه داده یکی از معیارهای اساسی در انتخاب دوره پایه است. در گذشته دوره‌های پایه را ۱۹۶۱-۱۹۹۰ در نظر می‌گرفتند، اما امروزه به دلیل دسترسی بودن داده‌های ۱۹۹۰ به بعد دوره پایه را ۱۹۷۱-۲۰۰۰ در نظر می‌گیرند.

۲- نمونه‌ای که در دوره پایه برای محاسبه آستانه انتخاب می‌شود. روش‌های متفاوتی برای انتخاب نمونه در دوره پایه وجود دارد. روش‌های پنج روز متوالی (5CD)، پنج روز فاصله (5SD) و بیست و پنج

1. Consecutive Day
2. Days Spaced by 5 Days

روز متوالی (25CD¹)، از جمله روش‌های انتخاب نمونه در دوره پایه هستند. نتایج این روش‌ها در برآورد آستانه تفاوت بسیار زیادی با همدیگر ندارند، ولی به نظر ژانگ و همکاران (۲۰۰۵) روش پنج روز متوالی (5CD) به دلیل سادگی و بهتر همگن کردن داده‌ها مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

۳- انتخاب روش برآورد آستانه در دوره پایه: طبق نظر ژانگ و همکاران (۲۰۰۵) روش تجربی محاسبه صدک فریچ و همکاران (۲۰۰۲) و روش فولاند و همکاران (۱۹۹۹) در برآورد صدک برای یک سال به‌خصوص، بدون توجه به اینکه سال مورد نظر در دوره مبنا قرار دارد یا خیر، انجام می‌شود و این امر منجر به عدم پیوستگی در برآورد آستانه در دوره مبنا و خارج از آن می‌شود. در نتیجه تحلیل روند سری زمانی برآورده شده منجر به نتایج گمراه‌کننده می‌شود، چراکه دوره یکسانی برای برآورد آستانه در نظر گرفته می‌شود. برای حل این مشکل ژانگ و همکاران در سال ۲۰۰۵ روش خودراه‌انداز را معرفی کردند. روش خودراه‌انداز در ۵ مرحله به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- دوره پایه ۳۰ ساله به دو دوره ۱ ساله و ۲۹ ساله تفکیک می‌شود. داده‌های دوره ۱ ساله بیرون نگه داشته می‌شود.

۲- دوره ۳۰ ساله با تکرار یکی از سال‌های دوره ۲۹ ساله باقیمانده ایجاد می‌شود. دوره ۳۰ ساله ایجاد شده مبنای برآورد صدک قرار می‌گیرد.

۳- داده‌های سالی که کنار گذاشته شده بود با صدک برآورد شده، مقایسه می‌شود و تفاوت آن برای سالی که کنار گذاشته شده بود، محاسبه می‌شود.

۴- مراحل ۲ و ۳، ۲۸ بار تکرار می‌شود. هر بار یکی از سال‌های باقیمانده تکرار می‌شود تا دوره ۳۰ ساله ایجاد شود.

۵- نمایه نهایی برای سالی که در مرحله اول کنار گذاشته شد، با میانگین‌گیری ۲۹ برآورد از مراحل ۲، ۳ و ۴ به دست می‌آید.

در این پژوهش به دلیل دسترسی به داده‌ها، از داده‌های دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ برای برآورد آستانه استفاده شده است. انتخاب نمونه در دوره پایه براساس روش پنج روز متوالی (5CD) انجام شد. همچنین برای برآورد آستانه در دوره پایه از روش خودراه‌انداز ژانگ و همکاران (۲۰۰۵) استفاده شده است. نمایه‌هایی که در

1. Consecutive Day

جدول ۱ با ستاره(*) نشان داده شده‌اند، نمایه‌های دوره‌ای هستند که برای محاسبه آن‌ها دوره ممکن است ادامه یافته و وارد سال بعد شود. سالی که در آن دوره تمام می‌شود، نمایه برای آن سال محاسبه می‌شود. برای نمونه ممکن است که بارش از ۲۵م ماه دسامبر سال ۲۰۰۰ شروع شده باشد، ولی در ۵م ماه ژانویه سال ۲۰۰۱ خاتمه یافته باشد، در این گونه موارد نمایه روزهای متوالی مرطوب برای سال ۲۰۰۱ محاسبه می‌شود.

شناسایی روند

برای هر کدام از ۷۱۸۷ یاخته، نمایه‌ها محاسبه شد و برای شناسایی روند از آزمون ناپارامتری من-کندال و آزمون پارامتریک رگرسیون خطی به روش حداقل مربعات استفاده شد. از آزمون من-کندال جهت شناسایی و تعیین روند و از آزمون رگرسیون خطی برای برآورد میزان شیب روند بهره بردیم. روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون شد.

۳- یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از تحلیل روند نمایه‌ها طی بازه زمانی ۲۰۰۴-۱۹۶۲ در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. مناطقی که دارای روند معنی‌دار مثبت هستند با رنگ آبی و مناطقی که روند معنی‌دار منفی را نشان می‌دهند با رنگ قرمز و مناطق بدون روند با رنگ سفید نشان داده شده است. مقادیر شیب روند بر حسب دهه آورده شده است.

جدول ۱: نمایه‌های بارش فرین، برگرفته از وب سایت گروه کارشناسی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها^۱

ردیف	نمایه	تعریف	یکا
۱	RX1day	بیشترین مقدار بارش یک روزه: بیشترین بارش یک روزه در ماه	میلی‌متر
۲	RX5day	بیشترین مقدار بارش پنج روزه: بیشترین بارش پنج روز متوالی در ماه	میلی‌متر
۳	SDII	نمایه ساده شدت بارش روزانه: از تقسیم مقدار کل بارش سالانه بر تعداد روزهای بارشی (دست کم یک میلی‌متر) سالانه به دست می‌آید. فرض کنید که RR_{wj} مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (دست کم یک میلی‌متر) در دوره J ام است. اگر W بیانگر تعداد روزهای مرطوب در دوره J ام باشد، بنابراین نمایه ساده شدت بارش روزانه از رابطه زیر به دست می‌آید:	میلی‌متر در روز

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

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

روز	تعداد روزهای همراه با بارش سنگین: تعداد روزهایی از سال که بارش دست کم ۱۰ میلی‌متر باشد.	R10	۴
روز	تعداد روزهای همراه با بارش ابر سنگین: تعداد روزهایی از سال که بارش دست کم ۲۰ میلی‌متر باشد.	R20	۵
روز	تعداد روزهای با بارش بیشتر از ۲۵ میلی‌متر: تعداد روزهایی از سال که بارش دست کم ۲۵ میلی‌متر باشد.	R25	۶
روز	روزهای متوالی خشک: بیش‌ترین تعداد روزهای متوالی که بارش کمتر از یک میلی‌متر باشد.	CDD*	۷
روز	روزهای متوالی مرطوب: بیش‌ترین تعداد روزهای متوالی که بارش بیشتر از یک میلی‌متر باشد.	CWD*	۸
میلی‌متر	روزهای خیلی مرطوب: مجموع مقدار بارش روزهایی از سال که مقدار بارش بیش از صدک ۹۵ دوره مینا (۱۹۷۱-۲۰۰۰) باشد. فرض کنید که RR_{wj} مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (دست کم بارش یک میلی‌متر) در دوره j ام است و RR_{wn95} صدک ۹۵ بارش روزهای مرطوب در دوره مینا ۱۹۷۱-۲۰۰۰ است. اگر W بیانگر تعداد روزهای مرطوب در دوره مینا باشد، بنابراین مقدار بارش روزهای خیلی مرطوب از رابطه زیر به دست می‌آید.	R95p	۹
	$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$		
میلی‌متر	روزهای بسیار مرطوب: مجموع مقدار بارش روزهایی از سال که مقدار بارش بیش از صدک ۹۹ دوره مینا (۱۹۷۱-۲۰۰۰) باشد. فرض کنید که RR_{wj} مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (دست کم بارش یک میلی‌متر) در دوره j ام است و RR_{wn99} صدک ۹۹ بارش روزهای مرطوب در دوره مینا ۱۹۷۱-۲۰۰۰ است. اگر W بیانگر تعداد روزهای مرطوب در دوره مینا باشد، بنابراین مقدار بارش روزهای بسیار مرطوب از رابطه زیر به دست می‌آید.	R99p	۱۰
	$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99}$		
میلی‌متر	مقدار کل بارش روزهای مرطوب سالانه: مقدار کل بارش روزهای مرطوب (مقدار بارش دست کم از یک میلی‌متر بیشتر باشد)	FRCFTOT	۱۱

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

۱- بیش‌ترین مقدار بارش یک روزه (**RX1day**): این نمایه به نوعی بیانگر شدت بارش روزانه است. روند این نمایه در (شکل ۲) آمده است. مقدار بارش یک روزه در مناطق جنوب غرب و غرب ایران طی بازه زمانی مورد مطالعه افزایش یافته است. در حالی که مناطق شرقی، شمال شرقی و جنوب شرق ایران بدون روند است. بیش‌ترین افزایش مقدار بارش یک روزه مربوط به مناطق

غربی شهرکرد با ۲۰-۲۴ میلی‌متر در دهه ویاسوج با ۱۶-۲۰ میلی‌متر در دهه است. در سمنان و زنجان میزان بارش یک روزه روند منفی از خود نشان می‌دهد.

۲- بیشترین مقدار بارش ۵ روزه (**RX5day**): این نمایه بیانگر شدت بارش در موج بارش‌هایی است که ۵ روز دوام دارند. مناطق دارای روند از لحاظ پراکنش مکانی تقریباً همانند نمایه بیشترین مقدار بارش یک روزه است. میزان بارش ۵ روزه در یاسوج و بخش‌های غربی شهرکرد طی دهه‌های اخیر افزایش یافته است. نرخ افزایش آن ۳۶-۴۵ میلی‌متر به ازای هر دهه است.

۳- نمایه ساده شدت بارش روزانه (**SDII**): این نمایه همان‌طور که از اسم آن پیداست شدت بارش روزانه را نشان می‌دهد و سهم بارش روزانه را از کل بارش سال بیان می‌کند. نقشه مربوط به روند این نمایه نشان می‌دهد که در جنوب غرب و غرب ایران شدت بارش روزانه روبه افزایش است. در مناطق غربی شهرکرد و یاسوج نرخ افزایش حدود ۳ تا ۴ میلی‌متر در روز به ازای هر دهه است. نرخ کاهش شدت بارش روزانه در نیمه شمالی ایران به صورت پراکنده و ضعیف (۱ میلی‌متر در روز به ازای هر دهه) روبه کاهش است.

۴- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین (**R10**): روند تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در حدود ۱۳ درصد از پهنه ایران مثبت و در ۴,۵ درصد از پهنه ایران منفی است. نرخ افزایش تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در مناطق غربی شهرکرد ۶ الی ۹ روز در هر دهه است. بین شهر ساری و سمنان نرخ کاهش تعداد روزهای همراه با بارش سنگین به ۶ الی ۹ روز در هر دهه می‌رسد.

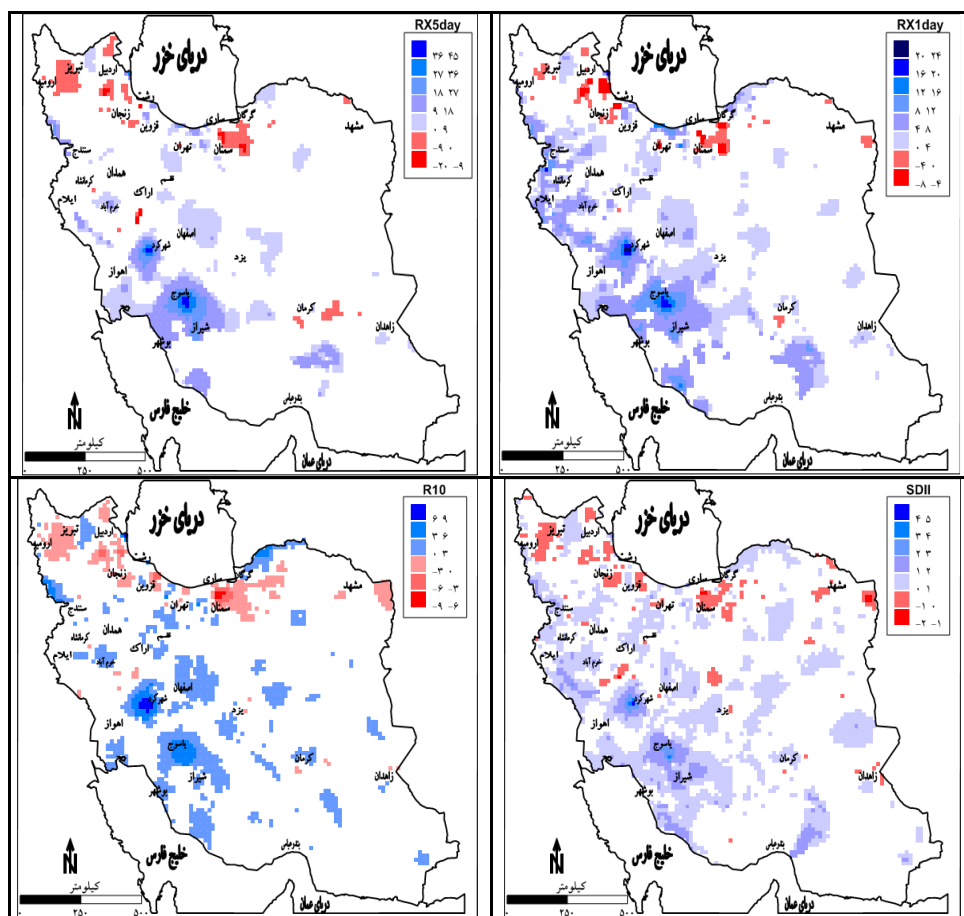
۵- تعداد روزهای همراه با بارش ابر سنگین (**R20**): تحلیل روند تعداد روزهای همراه با بارش ابر سنگین نشان می‌دهد که در ۱۳ درصد از گستره ایران روند مثبت و در ۱,۷ درصد از گستره ایران روند منفی است. بیشترین شیب روند افزایشی مربوط به جنوب غرب ایران (غرب شهرکرد و یاسوج) است. در نیمه شرقی کشور تعداد روزهای همراه با بارش سنگین طی دوره مورد مطالعه بدون روند است.

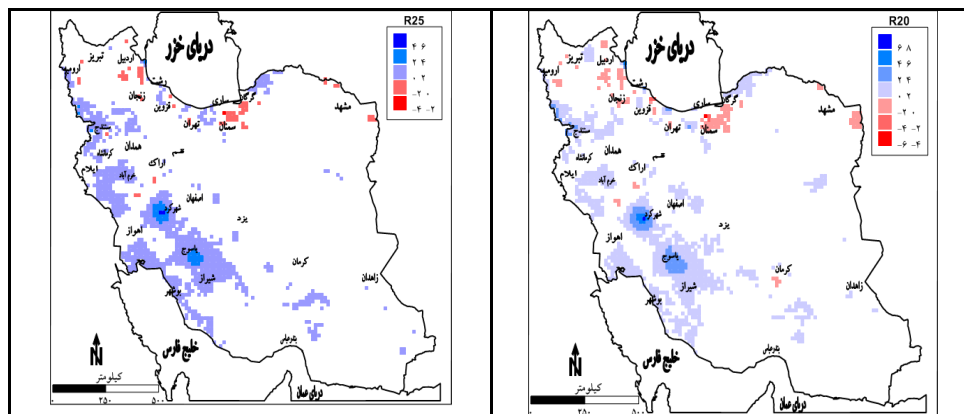
۶- تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر (**R25**): از لحاظ پراکنش مکانی روند تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر همانند تعداد روزهای همراه با بارش ابر سنگین است. در ۱۲,۴ درصد از گستره ایران روند مثبت و در حدود ۱ درصد از گستره ایران روند منفی

است. شدت افزایش این نمایه در بخش‌های غربی شهرکرد و یاسوج به ۲ تا ۴ روز در دهه می‌رسد.

شکل ۲: روند نمایه‌ی بیشترین مقدار بارش یک روزه ($RX1day$) بر حسب میلی‌متر در دهه، بیشترین مقدار بارش ۵ روزه ($RX5day$) بر حسب میلی‌متر در دهه، نمایه ساده شدت بارش روزانه ($SDII$) بر حسب میلی‌متر در روز در دهه، تعداد روزهای همراه با بارش سنگین ($R10$) بر حسب روز در دهه، تعداد روزهای همراه با بارش ابر سنگین ($R20$) بر حسب روز در دهه، تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر ($R25$) بر حسب روز

در دهه





مأخذ: نگارندگان

۷- روزهای متوالی خشک (CDD): روند روزهای متوالی خشک در (شکل ۳) آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود روند این نمایه از الگوی مکانی خاصی پیروی نمی‌کند و به صورت بسیار پراکنده در مناطق مختلف روندهای متفاوت از خود نشان می‌دهد. در غرب کرمان، شمال شرق سمنان و مناطق بین زنجان و اردبیل روزهای متوالی خشک روبه افزایش است.

۸- روزهای متوالی مرطوب (CWD): روند روزهای متوالی مرطوب در حدود ۱۴ درصد از گستره ایران منفی است. نسبت به نمایه روزهای متوالی خشک نسبتاً از الگوی مکانی منظم‌تری برخوردار است. روند این نمایه در شمال غرب کشور روبه کاهش است. شدت کاهش تعداد روزهای متوالی مرطوب بسیار اندک است. در مناطق بین سمنان و گرگان و زنجان روند کاهشی تعداد روزهای مرطوب برابر با ۱ الی ۲ روز به ازای هر دهه است.

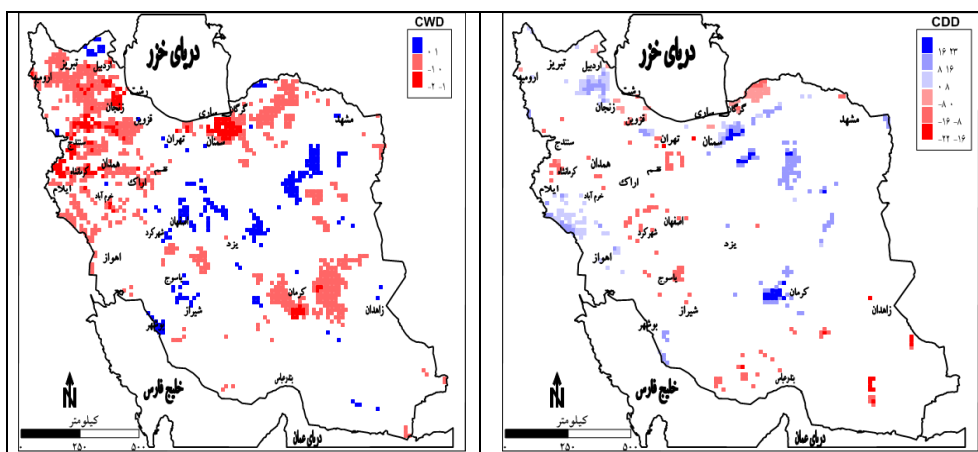
۹- روزهای خیلی مرطوب (R95p): طبق تعریف این نمایه بیانگر مجموع مقدار بارش روزهایی از سال است که مقدار بارش بیش از صدک ۹۵م دوره مینا (۱۹۷۱-۲۰۰۰) باشد. تحلیل روند بر روی این نمایه بر روی ایران نشان داد که در جنوب غرب و غرب کشور میزان بارش ناشی از روزهای خیلی مرطوب روبه افزایش است. بیش‌ترین شیب روند افزایشی این نمایه بر مناطق غربی شهرکرد مشاهده شد، که برابر با ۱۲۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر به ازای دهه است. به بیانی دیگر هر سال حدود ۱۲ الی ۱۵ میلی‌متر بارش ناشی از روزهای خیلی مرطوب روبه افزایش است. بر روی نوار باریکی از شمال کشور در مناطق شمالی سمنان، مناطق بین زنجان و اردبیل و تبریز روند این نمایه رو به کاهش است.

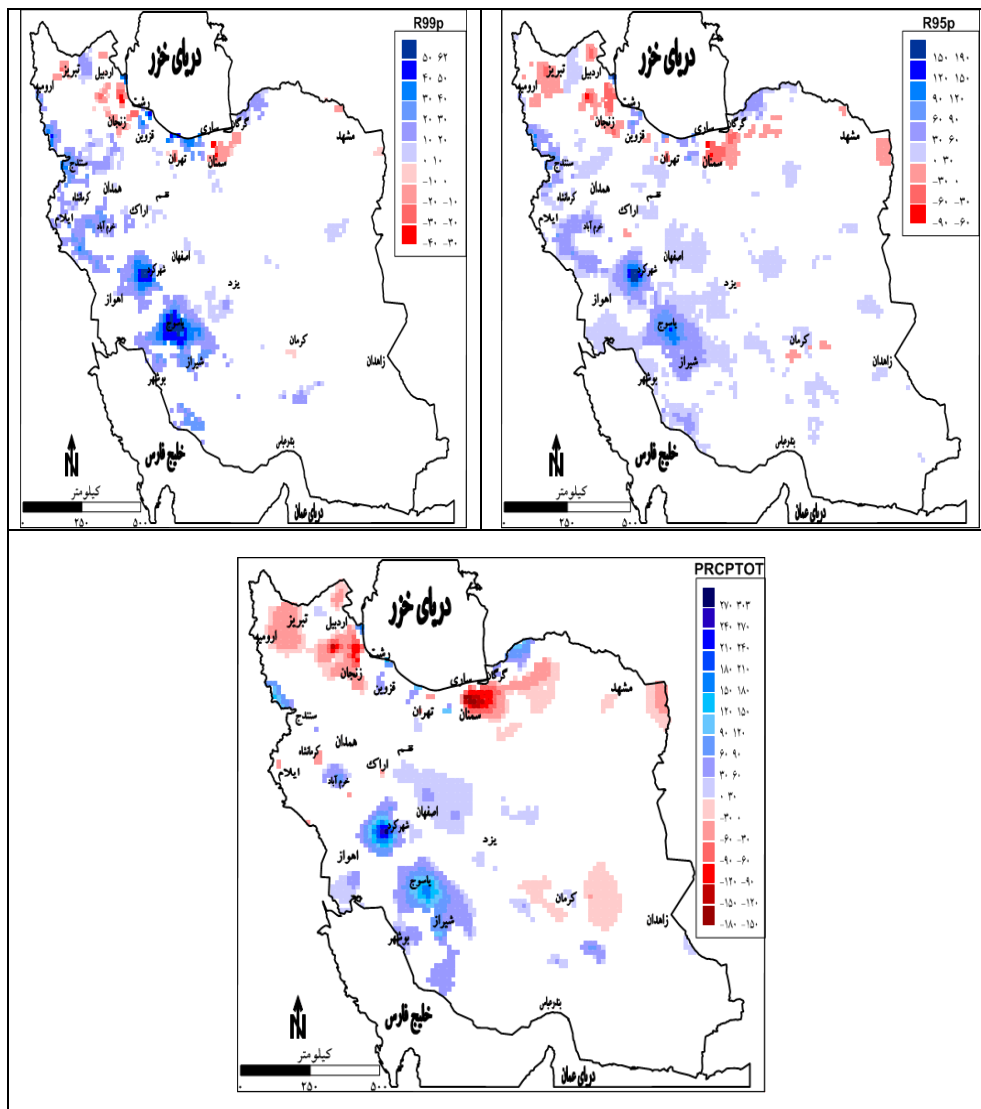
۱۰- روزهای بسیار مرطوب (**R99p**): از لحاظ مکانی پراکنش مناطق دارای روند در این نمایه همانند نمایه قبلی یعنی روزهای خیلی مرطوب است. روند روزهای بسیار مرطوب در حدود ۱۱ درصد از گستره ایران مثبت است، که بیشتر بر روی مناطق جنوب غرب و غرب کشور قرار دارد. شدت شیب روند در این نمایه کمتر از نمایه قبلی است. بر روی یاسوج و مناطق غربی شهرکرد شیب افزایش میزان بارش روزهای بسیار مرطوب ۵۰ تا ۶۲ میلی متر در دهه است.

۱۱- مقدار کل بارش روزهای مرطوب سالانه (**PRCPTOT**): روند میزان بارش سالانه در حدود ۱۱ درصد از گستره ایران مثبت و در ۸ درصد آن منفی است. در جنوب غرب ایران بر روی قسمت های غربی شهرکرد و یاسوج روبه افزایش است. بر روی یاسوج شیب افزایشی این نمایه به ۲۴۰ تا ۲۷۰ میلی متر در هر دهه رسیده است. در شمال ایران بر روی مناطق بین سمنان و گرگان، مناطق بین اردبیل و زنجان و تبریز روند میزان بارش سالانه روبه کاهش است. شدت کاهش این نمایه بر روی مناطق بین سمنان و گرگان به ۱۵۰ تا ۱۸۰ میلی متر در هر دهه می رسد.

شکل ۳: روند نمایه روزهای متوالی خشک (**CDD**) بر حسب روز در دهه، روزهای متوالی

مرطوب (**CWD**) بر حسب روز در دهه، روزهای خیلی مرطوب (**R95p**) بر حسب روز در دهه، روزهای خیلی مرطوب (**R99p**) بر حسب روز در دهه، مقدار کل بارش روزهای مرطوب سالانه (**PRCPTOT**) بر حسب میلی متر در دهه.





مأخذ: نگارندگان

برای تفسیر بهتر نقشه‌های مربوط به شاخص‌های بارش فرین، گستره‌ای از ایران که به لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند معنی داری از خود نشان دادند را در (جدول ۲) برحسب درصد آورده‌ایم.

جدول ۲: درصد گستره‌ای از ایران که در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار بوده‌اند

ردیف	نمایه	روند مثبت	بدون روند	روند منفی
۱	RX1day	۲۲,۹	۷۵,۵	۱,۶
۲	RX5day	۱۳,۴	۸۴,۲	۲,۴
۳	SDII	۲۷,۲	۶۹,۱	۳,۶
۴	R10	۱۲,۸	۸۲,۷	۴,۵
۵	R20	۱۳,۱	۸۵,۳	۱,۷
۶	R25	۱۲,۴	۸۶,۷	۰,۹
۷	CDD*	۳,۸	۹۳,۹	۲,۳
۸	CWD*	۳	۸۳,۳	۱۳,۷
۹	R95p	۱۸,۳	۷۸,۵	۳,۱
۱۰	R99p	۱۱,۲	۸۷,۶	۱,۲
۱۱	PRCPTOT	۱۰,۷	۸۱	۸,۲

۴- نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش شناسایی و تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایران طی دهه‌های اخیر بود. بر روی هر کدام از یاخته‌ها نمایه‌ها محاسبه شد. برای شناسایی روند از آزمون ناپارامتری من-کندال و آزمون پارامتریک رگرسیون خطی به روش حداقل مربعات استفاده شد. از آزمون من-کندال جهت شناسایی و تعیین روند و از آزمون رگرسیون خطی برای برآورد میزان شیب روند بهره بردیم. روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مناطق مختلف ایران رفتار یکسانی را به لحاظ روند نمایه‌های بارش فرین از خود نشان نمی‌دهند. در جنوب‌غرب و غرب کشور روند بسامد و شدت رخداد بارش‌های فرین طی دهه‌های اخیر افزایش یافته است. بیش‌ترین شیب روند افزایشی نمایه‌های بارش فرین مربوط به جنوب‌غرب کشور، بخش‌های غربی شهرکرد و یاسوج است. نتایج این پژوهش به نوعی تأییدی بر یافته‌های عساکره (۱۳۸۶) در مورد تغییرات بارش در نیمه غربی کشور و تغییرات بیشتر نواحی با بارندگی بیشتر است. در نیمه شرقی کشور نمایه‌ها

بدون روند بوده و ایستا هستند. به بیانی دیگر طی دوره مورد پژوهش تغییرات معناداری به لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد از خود نشان نمی‌دهند. درحالی‌که بر روی نوار باریکی در مناطق شمالی کشور روند نمایه‌های بارش منفی است، بر روی باریکه شمالی نه تنها از شدت بارش‌های فرین کاسته شده، بلکه میزان دریافتی کل بارش سالانه نیز روند نزولی و معناداری از خود نشان می‌دهد. ایران به لحاظ میزان دریافت بارش سالانه کشوری خشک به شمار می‌رود. دور شدن از حالت نرمال و متمرکز شدن رخداد بارش در چند روز از سال منجر به رخداد پدیده‌های بسیار ناگواری خواهد شد که جبران آنها هزینه‌های مالی و اقتصادی بسیار زیادی برای کشور و جامعه در پی خواهد داشت. به نظر می‌رسد که تغییرات رفتار سامانه‌های همدیدی مؤثر بر بارش ایران، دلیل ناهنجاری‌های مقدار و شدت بارش به‌ویژه در مناطق جنوب‌غربی کشور و باریکه شمالی، باشد که نیاز به انجام پژوهشی جداگانه‌ای دارد.

یادداشت‌ها

۱- داده‌های درون‌یابی شده بارش از پایگاه داده اسفزاری که توسط سیدابوالفضل مسعودیان تهیه شده، استخراج شده است.

کتابنامه

۱. تقوی، فرحناز؛ محمدی، حسین. (۱۳۸۶). «بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیم به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی». *مجله علمی و پژوهشی محیط شناسی*. شماره ۴۳. صص ۱۱-۲۰.
۲. رحیم‌زاده، فاطمه؛ عسکری، احمد؛ فتاحی، ابراهیم؛ محمدیان، نوشین؛ تقی‌پور، افسانه. (۱۳۸۹). «روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۳». *تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۲. پیاپی ۹۷. صص ۱۱۹-۱۴۴.
۳. عساکره، حسین. (۱۳۸۶). «تغییرات زمانی- مکانی بارش ایران زمین طی دهه‌های اخیر». *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره ۱۰. صص ۱۴۵-۱۶۴.
۴. عسکری، احمد؛ رحیم‌زاده، فاطمه؛ محمدیان، نوشین؛ فتاحی، ابراهیم. (۱۳۸۶). «تحلیل روند نمایه‌های بارش های حدی در ایران». *تحقیقات منابع آب ایران*. شماره ۳. صص ۴۲-۵۵.

۵. محمدی، حسین؛ تقوی، فرحناز. (۱۳۸۴). «روند شاخص‌های حادی دما و بارش در تهران». پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۱۵۱-۱۷۲.

۶. مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۰). تارنمای انجمن ایرانی اقلیم‌شناسی. فن آوری های نوین در اقلیم‌شناسی. بحث آزاد صنفی آموزشی.

7. Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Rupa Kumar 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.
8. 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.
9. 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.
10. Coasta A.C, Santos J.A and Pinto J.G, (2012). "Climate change scenarios for precipitation extremes in Portugal". *Theoretical and applied climatology*, 108. pp 217-234.
11. Folland CK, Horton EB, Scholefield P (eds), (1999). "Report of WMO Working Group on Climate Change". Detection Task Group on Climate Change Indices; Bracknell, 1 September 1998, WMO TD 930.
12. Frich P, Alexander L.V, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank A.M.G and Peterson T, (2002). "Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century". *Climate Research*, 19. 193-212.
13. Hundexha Y and Bardossy A, (2005). "Trend in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century". *International journal of climatology*, 25. 1189-1202.
14. IPCC. (1995). Climate change 1995 - the science of climate change; Cambridge University Press, Cambridge.
15. IPCC. (2001). Climate change 2001 - the Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press, Cambridge.

16. 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.
17. Kioutsioukis I, Melas D and Zerefos C, (2009). “ Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955–2002)”. *International journal of climatology*, 30.1723-1737.
18. Klein Tank A.M.G and Konnen G.P (2002).” Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99”. *Journal of climate*, Vol.15. 3665-3680.
19. Marofi S, Sohrabi M. M., Mohammadi K and Sabziparvar A.A. (2011).” Investigation of meteorological extreme events over coastal regions of Iran”. *Theoretical and applied climatology*, Vol.103. 401-412.
20. 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.
21. Rahimzadeh F, Askhari A and Fattahi E. (2009).” Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades”. *International journal of climatology*, 29. 329-343.
22. Santos C.A.C, Neale C.M.U, Rao T.V.R and Silva B.B, (2010).” Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA”. *International journal of climatology*, Vol. 31. 1813-1822.
23. Xu Y, Changhai X, Xuejie G and Yong L (2009).” Projected changes in temperature and precipitation extremes over the Yangtze River Basin of China in the 21st century”. *Quaternary International*, Vol. 208. 44–52.
24. Zhang X, Hegerl G, Zwiers F and Kenyon J. (2005b).”Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes”. *Journal of Climate*, Vol.18. 1641-1651.
25. Zongxing L, Yuanqing H, Wang P, Wilfred H. Theakstone , Wenling A, Wang X, Aigang Lu, Zhang W and Cao W. (2012). “Changes of daily climate extremes in southwestern China during 1961–2008”. *Global and Planetary Change*, 80.255–272.