

پیشنهاد معیاری ساده برای برآورد بارش سنگین در مناطق مختلف ایران

فرزانه برزو - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه

قاسم عزیزی* - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۰۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۷/۰۱

چکیده

هدف این پژوهش به دست دادن رابطه‌ای ساده و صحیح برای محاسبه بارش سنگین است که در همه مناطق ایران، حتی مکان‌های با فقر داده‌ای کاربرد داشته باشد. به دلیل دشواری دسترسی به آمارهای روزانه، این روش متکی بر شاخص‌های ماهانه است. برای تعیین بارش‌های سنگین از آمار روزانه بارش پنجاه سال اخیر (۱۹۶۱ تا ۲۰۱۱) چهل ایستگاه سینوپتیکی استفاده شد. مقدار بارش سنگین با استفاده از داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. از داده‌های سالانه برای تعیین شاخص بارش سنگین ایران و از بارشی که احتمال وقوع آن، میان بارش‌های ثبت شده پنج درصد بود، به مثابه معیار اولیه استفاده شد. با استفاده از روش خوشه‌بندی، مؤلفه‌های مؤثر بر بارش سنگین ایران شناسایی شد. در تحلیل عاملی از یازده مؤلفه بارشی، دو مؤلفه میانگین مجموع بارش سالانه و تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر، در مجموع ۸۶ درصد اثر را پوشش می‌دهد. رابطه نهایی از نسبت میانگین مجموع بارش سالانه به میانگین تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر و بیشتر همراه یک ضریب عددی تشکیل شد. برای تعیین ضریب عددی، ایران به هفت گروه تقسیم شد و برای هر گروه، ضریب جداگانه به دست آمد. بارش سنگین محاسبه شده با معیار اولیه همبستگی زیادی (۰/۹۹۷) نشان داد. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی ضریب عددی و بارش سنگین برای محاسبه مقدار بارش سنگین هر نقطه ایران با نرم‌افزار GIS رسم شد.

کلیدواژه‌ها: احتمال وقوع، ایران، بارش سنگین، شاخص.

مقدمه

در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در زمینه آشکارسازی رفتار و قانونمندی مؤلفه‌ها و عناصر اقلیمی در نواحی مختلف جهان انجام گرفته است. در بین عناصر اقلیمی، بارش از اهمیت زیادی برخوردار است. به نظر می‌رسد تغییر در شدت بارش و افزایش فراوانی رویدادهای حدی مرتبط با آن مانند سیل و خشکسالی، از جمله نتایج افزایش گرما در سطح جهانی باشد. براساس گزارش اخیر برنامه محیطی سازمان ملل متحد، فراوانی وقوع سیل و دیگر وقایع حدی اقلیمی، هر ساله دو برابر می‌شود و خسارت‌های ناشی از آن در سطح جهان نیز سالیانه ۱۵۰ میلیون دلار افزایش می‌یابد (پترسون و همکاران، ۲۰۰۱). در دهه‌های اخیر، بررسی نوسان‌های بارش و تأثیر آن بر سیاستگذاری بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب جایگاه ویژه‌ای یافته است. انتخاب شاخص‌های مربوط به بارش از نکته‌های بسیار مهمی است که پژوهشگران به آن

توجه ویژه‌ای دارند. لازم است این شاخص‌ها مشخص و شفاف باشد و از داده‌های بلندمدت و همگن به‌دست آید (فریچ و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۹۳-۲۱۲). در سال ۲۰۰۰، شبکه پستیانی اقلیم اروپا (ECSN)^۱، پشتیبان بزرگ‌ترین پروژه ارزیابی اقلیم اروپا بود که در حین آن، شاخص‌های زیادی معرفی شد. به‌تازگی ۲۷ شاخص را گروه شناسایی تغییرپذیری اقلیمی کمیسیون اقلیم تعریف کرده است و در مقاله‌های مختلف جهانی (الکساندر و همکاران، ۲۰۰۶) و منطقه‌ای (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۵) استفاده شده است. تعدادی از این شاخص‌ها نظیر RR (مجموع بارش) در سالنامه هواشناسی کشور وجود دارد. از این‌رو، در مقاله‌های متعددی که به بررسی بارش سنگین اختصاص دارد، از شاخص‌های متفاوتی استفاده شده است که در ادامه به اختصار معرفی می‌شود.

دسته اول شامل کارهایی می‌شود که تجاوز بارش روزانه از مقدار معینی را بارش سنگین نامیده‌اند. رحیم‌زاده (۱۳۸۴) در بررسی تغییرات مقادیر حدی بارش در ایران از روزهای با بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر ($R10_{mm}$) و شاخص شدت روزانه بارش (SDII) استفاده کرده است. $R10_{mm}$ به‌طور مستقیم تعداد روزهای بسیار مرطوب را اندازه‌گیری می‌کند و در اغلب اقلیم‌ها ارتباط زیادی با جمع بارش فصلی و سالیانه دارد. SDII شدت بارش را اندازه‌گیری می‌کند و از نسبت بارش سالیانه به تعداد روزهای بارانی (بارش روزانه بیش از یک میلی‌متر) به‌دست می‌آید. او از این شاخص‌ها در یک دوره آماری پنجاه‌ساله استفاده کرد. کامیگوچی و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی تغییر شاخص‌های حدی بارش در ارتباط با گرمایش جهانی، به مقایسه الگوهای مختلف برای پیش‌بینی مقادیر حدی بارش پرداختند. آنها برای بارش سنگین تعداد روزهای با بارش بیش از ده میلی‌متر را در نظر گرفتند. اشمیدلی و فرای (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های بارش یک‌روزه و چندروزه و شاخص مربوط به دوره‌های خشک و مرطوب، در ۱۴۰ ایستگاه باران‌سنجی، به بررسی بارش سنگین در سوئیس پرداختند. در مجموع، آنها شاخص‌های متعددی را به کار بردند از جمله NLNN (تعداد روزهایی که بارش ایستگاه و فصل مورد نظر از آستانه ۹۰ و ۹۵ درصد بارش طولانی‌مدت تجاوز کرده است)، $Q90$ بارشی که به‌طور متوسط در هر صد بارش، ده بارش برابر یا بیشتر از آن است و همین‌طور XND که به مقدار بیشینه بارش دریافت‌شده در ۱، ۳، ۵ و ۱۰ روز متوالی اشاره دارد. در برخی از بررسی‌ها، از درصدی از بارش روزانه به‌مثابه شاخص بارش سنگین استفاده شده است؛ مانند پژوهش استرلینگ و همکاران (۲۰۰۳) که از مقادیر بارش روزانه بیش از آستانه ۹۵ درصد به‌همراه نسبت سنگین‌ترین بارش پنج‌روزه به میانگین مجموع بارش سالانه به‌صورت درصد استفاده کردند. مسعودیان و محمدی (۱۳۸۹) نیز برای تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در زمان رخداد بارش‌های ابرسنگین ایران، ۱۲۵ روز از روزهایی که سنگین‌ترین و فراگیرترین بارش‌های ایران را با تمرکز بر بارش‌های بیش از آستانه ۹۹ درصد داشت، برای بررسی انتخاب کردند. محمدی و مسعودیان (۱۳۸۹) برای تحلیل فشار تراز دریا در زمان رخداد بارش‌های ابرسنگین و فراگیر ایران، معیاری برای انتخاب داده‌های بارش عنوان نکرده، تنها صد روز از روزهایی که فراگیرترین و سنگین‌ترین بارش‌ها در ایران را داشت، برای بررسی همدید در نظر گرفتند. محمدی (۱۳۹۲) در تحلیل روند سالانه آستانه بارش‌های سنگین ایران، تعداد روزهایی را که در هر سال دارای میانگینی بیش از ۰/۱ میلی‌متر بود، شمارش کرد و سپس با ضرب تعداد این روزها در ۵ درصد، آستانه بیش از ۹۵ درصد بارش‌های سنگین ایران در هر سال را به‌دست آورد. از میان تعداد

روزهایی که به‌مطابقت ۵ درصد بارش سنگین ایران در هر سال انتخاب شده بود، مقدار بارش آخرین روز به‌منزله حد بارش سنگین آن سال انتخاب شد.

در تعدادی از کارگاه‌های بین‌المللی، مجموعه‌ای از شاخص‌های استفاده‌شده برای رویدادهای حدی در سطح جهان را به‌گونه‌ای انتخاب و معرفی کرده‌اند که این شاخص‌ها اثر تغییرات اقلیمی را بر مقادیر حدی به‌خوبی نشان دهد (فولند و همکاران، ۱۹۹۹؛ نیکولز و موری، ۱۹۹۹؛ ماتن و همکاران، ۲۰۰۱). هیلوک و نیکولز (۲۰۰۰) برای بررسی بارش سنگین، سه شاخص انتخاب کردند که عبارت‌اند از: فراوانی روزهایی با بارش بیش از آستانه ۹۵ درصد، شدت بارش سنگین بیش از آستانه ۹۵ درصد و سهم بارش سنگین از بارش سالانه با توجه به اینکه روز بارش روزی است که دست‌کم یک میلی‌متر بارش داشته باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۰۱) برای بررسی ویژگی‌های زمانی و مکانی رخداد بارش‌های سنگین در کانادا، از مقادیر (نودمین صدک بارش روزانه، بیشینه بارش ۲۴ ساعته سالانه، مقادیر بارش با دوره بازگشت بیست‌ساله برای باران و برف) استفاده کردند؛ درنهایت، مقدار آستانه‌ای تعیین شد که میانگین سه رویداد حدی در هر سال از آن مقدار تجاوز می‌کند. آنها نتیجه گرفتند که اتکا به یک شاخص بارش سنگین برای سراسر کشور، ویژگی‌های بارش در طول یک سده را به‌درستی نشان نخواهد داد. سایبرت و همکاران (۲۰۰۵) برای بررسی الگوهای سینوپتیکی و ناحیه‌ای بارش‌های سنگین در اتریش از داده‌های پانزده‌ساله ۱۳۱ ایستگاه استفاده کردند. آنها از میانگین داده‌های روزهای بارشی که از ۹۸ درصد بارش بیشتر بود، به‌مطابقت بارش سنگین استفاده کردند. به این منظور، برای نواحی مختلف حوزه مورد بررسی، مقادیر متفاوتی برای استفاده به‌مطابقت بارش سنگین به‌دست آمد. هیلاک و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی، بارش‌های سنگین بریتانیا را با مقایسه روش‌های دینامیک و آماری بررسی کردند. هنزل و ماشولات (۲۰۰۹) برای بررسی روندهای ماهانه در بارش‌های سنگین آلمان، با استفاده از پژوهش‌هایی که در سطح جهانی انجام گرفته بود، ۲۲ معیار برای بارش سنگین انتخاب و آنها را در چهار گروه «A»، «I»، «F» و «M» جای دادند. A گروهی از شاخص‌ها همچون میانگین مجموع بارش سالانه و تعداد روزهای مرطوب را شامل می‌شود؛ I گروهی از شاخص‌ها را شامل می‌شود که براساس شدت بارش پایه‌گذاری شده‌اند، مانند SDII (شاخص ساده بارش روزانه) و بارش‌های با احتمال وقوع ۵ درصد و کمتر؛ گروه F آن دسته از شاخص‌ها را شامل می‌شود که براساس فراوانی رویدادهای بارش سنگین انتخاب شده‌اند؛ و گروه M شاخص‌های مربوط به بزرگی بارش‌های سنگین را شامل می‌شود. علیجانی (۱۳۹۰) برای تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران با اشاره به ماهیت خشک اقلیم ایران و فراوانی کم روزهای بارش بیش از آستانه ۹۵ درصد، فراوانی روزهای بارش بیش از آستانه ۹۰ درصد را استفاده کرد.

در برخی از پژوهش‌های انجام‌گرفته، مقدار عددی معینی، شاخص بارش سنگین در نظر گرفته شده است. مسعودیان (۱۳۷۸) برای تحلیل هم‌دید بارش‌های ابرسنگین ایران از ۳۵۱ ایستگاه با دست‌کم بیست سال آمار روزانه و ۶۴ بارش یک‌روزه با بزرگی دست‌کم صد میلی‌متر استفاده کرد. علیجانی (۱۳۸۱) در کتاب *آب‌وهوای ایران* بارش بیش از سی میلی‌متر در روز را بارش سنگین دانسته است. آزبورن و هالم (۲۰۰۲) نیز از بارش کل یک‌روزه بیش از پانزده میلی‌متر به‌مطابقت شاخص بارش سنگین استفاده کردند. وایدا و کولکارنی (۲۰۰۷) برای همانندسازی بارش سنگین با استفاده از الگوی متوسط مقیاس، بارش‌های ۹۴/۴ میلی‌متر در بمبی را برای کار خود در نظر گرفتند. پادوک و همکاران (۲۰۰۸) در تحلیل بارش سنگین محیط‌های مستعد بارش همرفتی، بارش برابر یا بیش از چهار اینچ را معیاری برای پژوهش خود قرار دادند. کیزلی و پیچک (۲۰۰۷) برای تخمین احتمال بارش سنگین در ناحیه سیل‌خیز اروپای مرکزی از

بیشینه سالانه مقادیر یک تا هفت‌روزه بارش به‌مثابه ملاک بارش‌های سنگین استفاده کردند. بوکاتیس و همکاران (۲۰۱۰) بیشینه بارش سه‌روزه برای یک دوره ده‌ساله و با دوره بازگشت صد سال را برای تحلیل بارش‌های سنگین لیتوانی به‌کار بردند. شمیدلی و همکاران (۲۰۰۲) با بهره‌گیری از ۱۱۳ ایستگاه باران‌سنجی در سوئیس برای یک دوره ۹۴ ساله به‌منظور تعیین تغییرات بارش متوسط مقیاس (mesoscale) در ناحیه آلپ از احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه استفاده کردند. آنها برای کار خود بارش‌های با دوره بازگشت ده روز را بارش ملایم تلقی کردند و بارش‌های با دوره بازگشت سی روز را بارش سنگین در نظر گرفتند و بارش‌هایی را که در سال یک‌بار رخ می‌دهند (دوره بازگشت ۳۶۵ روز) مقادیر حدی معرفی کردند. مکس و هاگ (۱۹۹۹) برای تجزیه و تحلیل بارش‌های روزانه کانادا، ابتدا آستانه دو اینچ (۵۰/۸ میلی‌متر) را بررسی کردند که برای بارش سنگین در آمریکا استفاده شده بود (کارل و همکاران، ۱۹۹۶)؛ ولی به این نتیجه رسیدند که این آستانه برای بارش‌های کانادا به‌ویژه زمانی که میانگین مقدار بارش سنگین در عرض جغرافیایی بیش از پنجاه درجه شمالی به‌سرعت کاهش می‌یابد، مناسب نیست و آستانه یکسان برای همه ایستگاه‌ها مناسب نیست و درنهایت، احتمال وقوع ده درصد بارش روزانه را معیار دانستند. سانچز و همکاران (۲۰۰۴) الگویی را در حوضه مدیترانه طراحی کردند که با استفاده از شبیه‌سازی از طریق آزمایش‌های عددی، شرایط حاد اقلیمی را تشخیص می‌دهد. آنها در کار خود از شاخص‌هایی استفاده کردند که به‌وسیله پروژه اروپایی STARDEX^۱ انتخاب شده بود. در این پروژه، برای رویدادهای بارش سنگین از احتمال وقوع ده درصد بارش روزانه (برای بارش‌های روزانه بیش از یک میلی‌متر) استفاده شده است.

براساس نتایج پژوهش‌های انجام‌گرفته در توزیع بارش، استفاده از شاخص‌های صدک نسبت به شاخص‌های آستانه‌ای کاربرد بیشتری دارد و در برخی از پژوهش‌ها نیز از هر دو روش برای تعیین شاخص بارش سنگین استفاده شده است.

به‌نظر می‌رسد اطلاق صفت سنگین به بارش تا اندازه زیادی تابع مکان و قلمرو جغرافیایی منطقه دریافت بارش است. بوم‌سازگان‌های طبیعی هر منطقه در طول زمان با بارش سالانه خود و آستانه زیاد و کم بارش انطباق یافته است. به‌همین دلیل، مقدار بارشی که در یک ایستگاه کم‌باران، بارش سنگین به‌حساب می‌آید، ممکن است در منطقه‌ای مرطوب و پر باران، طبیعی و در حد بارش‌های معمول آن منطقه به‌شمار آید. بنابراین، با توجه به اینکه در پژوهش‌های پیشین کمتر به این موضوع توجه شده است، در این مقاله تلاش شده روشی ساده برای تعیین بارش‌های سنگین هر ایستگاه عرضه شود. از سویی دیگر، به‌دلیل عدم سهولت دسترسی به آمارهای روزانه تلاش شد به‌دست دادن روش متکی بر شاخص‌های ماهانه‌ای باشد که بر پایه داده‌های روزانه تهیه شده است.

داده‌ها و روش‌ها

به‌منظور تعیین شاخص بارش‌های سنگین ایران از آمار روزانه بارش پنجاه سال اخیر (۱۹۶۱ تا ۲۰۱۱) چهل ایستگاه سینوپتیکی که به‌طور همگن در سراسر کشور پراکنده شده‌اند، استفاده شد. ابتدا با استفاده از رابطه ویبول احتمالات وقوع

(۱، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد) برای روزهای بارشی کل دوره آماری به دست آمد. جدول ۱ احتمالات مربوط به هر ایستگاه را به طور جداگانه نشان می‌دهد. با آزمودن یک درصد بارش روزانه، مقادیر بسیار زیادی به دست آمد. با توجه به بوم‌سازگان کشور ایران به مثابه منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک که ظرفیت و تحمل کمتر محیط در مقابل مقادیر زیاد بارش را دارد، بارش با احتمال وقوع پنج درصد ترجیح داده شد. برای مثال، ایستگاه کرمان با میانگین مجموع بارش سالانه $۱۵۲/۹$ میلی‌متر، یک درصد بارش روزانه‌ای برابر با ۲۶ میلی‌متر دارد که $\frac{۱}{۶}$ میانگین مجموع بارش سالانه است. تعداد روزهای همراه با چنین بارشی تنها هجده روز از بین ۱۷۱۴ روز بارشی بوده است؛ در حالی که بارش با احتمال پنج درصد در این ایستگاه، چهارده میلی‌متر است و فراوانی چنین بارشی در طول دوره آماری نه روز است که $\frac{۱}{۱۱}$ میانگین مجموع بارش سالانه را شامل می‌شود. در مقایسه احتمال وقوع بارشی با شدت $۹۷/۳$ میلی‌متر، احتمال یک درصد بارش روزانه در ایستگاه انزلی، یعنی ۶۶ روز در طول دوره آماری است. حال اگر نسبت این مقدار با میانگین مجموع بارش سالانه همین ایستگاه که برابر $۱۸۳۵/۵$ میلی‌متر است، مقایسه شود، ملاحظه خواهد شد که این نسبت حدود $\frac{۱}{۹}$ است؛ در حالی که بارش روزانه با احتمال وقوع پنج درصد در این ایستگاه برابر $۵۳/۲$ میلی‌متر خواهد بود؛ یعنی ۳۲۵ روز که نسبت آن معادل $\frac{۴}{۹}$ است. مقایسه دو ایستگاه خشک و مرطوب نشان می‌دهد که بارش با احتمال یک درصد نسبت بیشتری از میانگین مجموع بارش سالانه را در ایستگاه‌های خشک نشان می‌دهد و فراوانی چنین بارشی نیز بسیار کم است. به نظر می‌رسد بارش روزانه با احتمال یک درصد، بیشتر تمایل به سمت بارش‌های ابرسنگین دارد و برای بارش سنگین معیار مناسبی نباشد؛ بنابراین از احتمال وقوع پنج درصد به مثابه معیار بارش سنگین در این پژوهش استفاده شد. در ادامه به منظور دست یافتن به رابطه‌ای ساده و سهل‌الوصول برای تعیین مقدار بارش سنگین در هر ایستگاه، دیگر شاخص‌های مرتبط با بارش از جمله انحراف معیار، ضریب تغییرات، بارش‌های برابر با یک میلی‌متر و کمتر، بارش‌های پنج و ده میلی‌متر و کمتر، تعداد روزهای بارشی و بیشترین بارش ۲۴ ساعته برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد. برای این منظور، روابط و نسبت‌های متفاوت برای تعیین شاخص بارش سنگین آزموده شد.

جدول ۱. مقادیر بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب با احتمال وقوع متفاوت دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۱

نام ایستگاه	۱ درصد	۵ درصد	۱۰ درصد	۲۰ درصد	۵۰ درصد
آبادان	۳۷	۲۰	۱۳/۵	۷/۹	۲
اصفهان	۲۳/۲	۱۳/۱	۹/۸	۵/۵	۱/۹
اراک	۳۳	۱۸	۱۳	۷/۶	۲
اردبیل	۲۳	۱۲	۸/۹	۵	۱/۵
ارومیه	۳۰	۱۷/۹	۱۲	۷	۲
اهواز	۴۹/۴	۲۵	۱۸/۱	۱۰/۷	۲/۹
ایران‌شهر	۳۴	۲۲	۱۵	۸/۴	۲
بابل‌سر	۷۰/۶	۳۶	۲۵	۱۴/۷	۳/۹
بم	۲۶	۱۲	۸/۸	۴/۸	۱/۴

ادامه جدول ۱. مقادیر بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب با احتمال وقوع متفاوت دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۱

نام ایستگاه	۱ درصد	۵ درصد	۱۰ درصد	۲۰ درصد	۵۰ درصد
بندر انزلی	۹۷/۳	۵۳/۲	۳۶/۵	۲۱	۵
بندر چابهار	۶۴/۳	۳۳/۸	۲۴	۱۴/۷	۳/۲
بندر عباس	۶۰	۳۷/۸	۲۵	۱۴/۸	۳
بندر لنگه	۶۰	۳۳	۲۲/۸	۱۲/۲	۲/۹
بوشهر	۵۷	۳۳	۲۰/۸	۱۱	۱/۲
بیرجند	۲۴/۲	۱۴	۱۰/۱	۶/۸	۲
تبریز	۲۲/۱	۱۳	۹/۴	۵/۹	۱/۹
تربت حیدریه	۳۰	۱۸/۸	۱۳	۸	۲
تهران	۲۵	۱۴/۳	۱۰	۶/۲	۱/۹
خرم‌آباد	۴۳	۲۶	۱۹/۱	۱۱	۳/۶
خوی	۲۴/۱	۱۳/۴	۹/۲	۵/۹	۱/۹
دزفول	۶۹	۳۲	۲۴	۱۳/۸	۳/۹
رامسر	۱۰۴	۴۲	۲۵	۱۲/۶	۳
رشت	۷۳	۴۰	۲۷/۶	۱۶/۹	۴/۶
زابل	۲۶	۱۱/۹	۸	۴/۹	۱/۱
زاهدان	۲۵	۱۳/۸	۱۰	۵/۳	۱/۵
زنجان	۲۴/۸	۱۳/۸	۹/۸	۶	۱/۹
سبزوار	۲۵	۱۴/۸	۱۰/۸	۶/۸	۱/۹
سقز	۳۶	۲۱/۹	۱۵/۸	۹/۷	۳
سنندج	۳۵/۹	۲۱/۶	۱۵/۸	۹/۸	۳
شاهرود	۲۱	۱۳	۸/۹	۴/۹	۱
شهرکرد	۴۱	۲۳/۲	۱۶/۹	۱۰/۴	۳
شیراز	۵۱	۲۸	۲۱	۱۲/۵	۳/۱
طیس	۱۸	۱۰/۹	۷/۹	۴/۹	۱/۳
قزوین	۲۷/۴	۱۶/۲	۱۲	۷/۱	۱/۲
کرمان	۲۶	۱۴	۹/۷	۵/۸	۲
کرمانشاه	۳۶	۲۲	۱۶	۱۰	۳
گرگان	۴۰	۲۲/۸	۱۵/۸	۹	۲/۸
مشهد	۲۸	۱۵	۱۰/۸	۶/۷	۱/۹
همدان	۲۷	۱۶	۱۱	۷	۲
یزد	۱۸	۱۰/۶	۶/۹	۳/۹	۱

پس از بررسی و استخراج شاخص‌های لازم از داده‌های روزانه، ابتدا تلاش شد رابطه‌ای براساس داده‌های ماهانه برای تعیین شاخص بارش سنگین عرضه شود؛ اما مشاهده شد به‌علت اینکه در برخی از ایستگاه‌ها از جمله بوشهر و دزفول، در ماه‌های ژوئن تا اکتبر تقریباً بارشی ثبت نشده و تعداد ماه‌های خشک در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است، برای مثال اهواز چهار ماه خشک و بم پنج ماه بدون بارش داشت، تعیین شاخص با استفاده از داده‌های ماهانه با مشکل مواجه می‌شود. به‌همین دلیل، از میانگین‌های سالانه استفاده شد. در مرحله اول از رابطه ۱ استفاده شد که نسبت میانگین مجموع بارش سالانه به میانگین تعداد روزهای بارشی است:

$$\text{میزان بارش سنگین} = \left(\frac{\text{میانگین مجموع بارش سالانه}}{\text{میانگین تعداد روزهای بارشی}} \right) \quad (۱)$$

این نسبت پاسخ صحیح را به‌دست نمی‌دهد؛ زیرا برخی از ایستگاه‌ها، به‌ویژه ایستگاه‌های جنوبی کشور تعداد روزهای بارشی کمی دارد، ولی شدت بارش‌های روزانه آنها چشمگیر است. برای نمونه، می‌توان به ایستگاه ایرانشهر با میانگین ۲۳ روز بارشی اشاره کرد که بیشترین بارش روزانه آن ۵۷ میلی‌متر است یا ایستگاه آبادان به‌طور میانگین ۳۷ روز بارش دارد؛ اما بارش آن برابر با ۸۶ میلی‌متر در یک روز است.

سپس از تعداد روزهای دارای پنج و ده میلی‌متر بارش که روزهای مرطوب و بسیار مرطوب را نشان می‌دهد، در مخرج این نسبت استفاده شد. اما عدد حاصل برای ایستگاه‌های نواحی کم‌باران که مقدار این‌گونه بارش‌ها زیاد نیست، مانند ایستگاه بم، با میانگین ۱/۹ تعداد روزهای بارشی ده میلی‌متر و بیشتر، شاخص مناسبی را به‌دست نداد (رابطه ۲):

$$\text{میزان بارش سنگین} = \left(\frac{\text{میانگین مجموع بارش سالانه}}{\text{میانگین تعداد روزهای بارشی برابر با پنج میلی‌متر بیشتر}} \right) \quad (۲ \text{ الف})$$

$$\text{میزان بارش سنگین} = \left(\frac{\text{میانگین مجموع بارش سالانه}}{\text{میانگین تعداد روزهای بارشی برابر با ده میلی‌متر بیشتر}} \right) \quad (۲ \text{ ب})$$

در ادامه، نسبت میانگین مجموع بارش سالانه به بیشترین بارش ۲۴ ساعته بررسی شد. این بار نیز شاخص به‌دست‌آمده، برای ایستگاه‌های نوار ساحلی شمال و جنوب و نواحی که دارای رژیم‌های بارشی رگباری است، بسیار کوچک و برای دیگر نواحی عدد بزرگی بود (رابطه ۳):

$$\text{میزان بارش سنگین} = \left(\frac{\text{میانگین مجموع بارش سالانه}}{\text{بیشترین بارش 24 ساعته}} \right) \quad (۳)$$

در مرحله بعد، از انحراف معیار و ضریب تغییرات به‌صورت ترکیبی با نسبت‌های به‌دست‌آمده در رابطه‌های ۱ تا ۳ استفاده شد:

$$\text{میزان بارش سنگین} = \left(\frac{\text{میانگین مجموع بارش سالانه}}{\text{میانگین تعداد روزهای بارشی}} \right) + \sqrt{SD} \quad (۴)$$

$$\text{میزان بارش سنگین} = \left(\frac{\text{میانگین مجموع بارش سالانه}}{\text{بیشترین بارش 24 ساعته}} \right) + \sqrt{SD} \quad (۵)$$

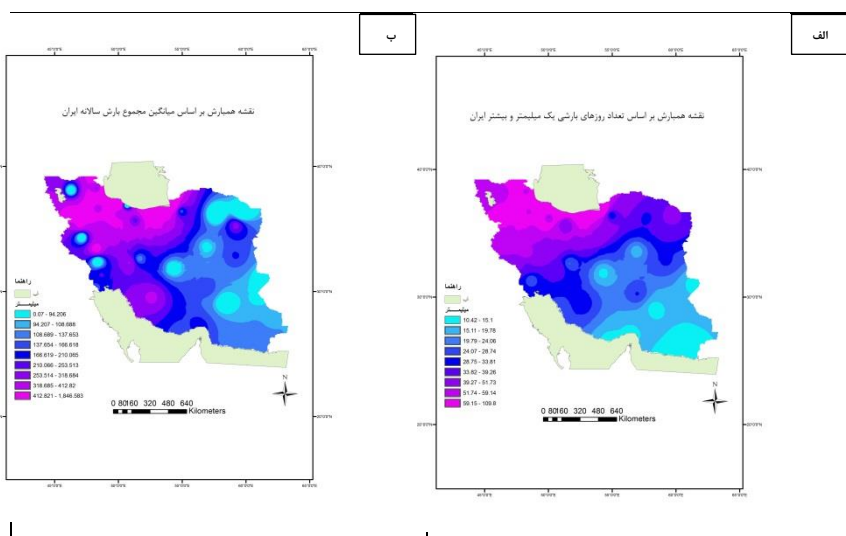
$$\text{میزان بارش سنگین} = \left[\left(\frac{\text{میانگین مجموع بارش سالانه}}{\text{میانگین تعداد روزهای بارشی}} \right) + SD \right] \times CV \quad (۶)$$

$$(۷) \quad \text{میزان بارش سنگین} = \left(\frac{\text{بیشترین بارش 24 ساعته}}{\text{میانگین تعداد روزهای بارشی}} \right) \times CV$$

این نسبت‌ها به دلیل ناهمگنی در نواحی بارشی کشور و وجود ایستگاه‌هایی با ماه‌های بدون بارش، عدد درستی را نشان نمی‌دهد. در نهایت، از بین نسبت‌های بررسی شده، نسبت میانگین بارش سالانه طی دوره آماری، به میانگین تعداد روزهای بارش برابر با یک میلی‌متر و بیشتر که نشان‌دهنده مرطوب و خشک بودن ایستگاه‌هاست، به همراه یک ضریب منطقه‌ای، برای محاسبه بارش سنگین انتخاب شد (رابطه ۸). خروجی به دست آمده بهترین حالت برای محاسبه بارش سنگین با توجه به داده‌های ماهانه است. به همین منظور، نقشه‌های هم‌بارش براساس داده‌های بارش دوره آماری (پنج‌سال) و با استفاده از چهل ایستگاه سینوپتیک رسم شد.

$$(۸) \quad \text{میزان بارش سنگین} = \left(\frac{\text{میانگین مجموع بارش سالانه}}{\text{میانگین تعداد روزهای بارشی برابر با یک میلی‌متر و بیشتر}} \right) \times (\text{ضریب عددی})$$

شکل ۱ نقشه هم‌بارش را براساس دو مؤلفه منتخب برای استخراج رابطه بارش سنگین، یعنی میانگین مجموع بارش سالانه و تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر و بیشتر نمایش می‌دهد. همان‌طور که این دو نقشه نشان می‌دهد، شدت بارش‌ها از غرب به شرق و از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. نحوه پراکنش هسته‌های بارشی در هر دو نقشه به‌طور تقریبی بر هم منطبق است.



شکل ۱. نقشه هم‌بارش براساس الف) تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر و بیشتر؛ ب) میانگین مجموع بارش سالانه در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۱

در مرحله بعد، برای اطمینان از اینکه برای دسته‌بندی داده‌ها این دو مؤلفه به درستی انتخاب شده‌اند، تحلیل عاملی نیز انجام گرفت. این تحلیل با استفاده از تمام داده‌های بارش، ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۵ و با تشکیل ماتریس ضرایب همبستگی انجام گرفت. با توجه به نتایج تحلیل عاملی، دو عامل اول و دوم که به ترتیب میانگین بارش سالانه و احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه است، به مثابه مؤلفه‌های اصلی انتخاب شد که در مجموع این دو عامل با استناد به درصد واریانس و مقادیر ویژه و نحوه ارتباط این عوامل با هم، ۸۶ درصد داده‌ها را شامل می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲. خروجی تحلیل عاملی

مؤلفه	مجموع کل	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
اول (میانگین مجموع بارش سالانه)	۶/۳۷۰	۶۳/۶۹۹	۶۳/۶۹۹
دوم (احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه)	۲/۲۹۸	۲۲/۹۸۲	۸۶/۶۸۱

سپس با استفاده از میانگین مجموع بارش سالانه با انتخاب ده خوشه به روش^۱ چندهسته‌ای، خوشه‌بندی انجام گرفت. در خروجی خوشه‌بندی، برخی از خوشه‌ها مانند بندر انزلی تک‌عضو بود و برخی تعداد اعضای زیادی داشت. به همین دلیل، ضریب واحدی برای همه مناطق و همه ایستگاه‌ها به دست نیامد. به منظور ساده‌سازی و با استفاده از میانگین مجموع بارش سالانه و همین‌طور لحاظ کردن اطلاعات حاصل از خوشه‌بندی، خوشه‌های تک‌عضو مانند بندر انزلی در خوشه‌های دیگر ادغام شد و به این روش، ایستگاه‌ها در هفت گروه قرار گرفتند. عدد ثابت (ضریب) استفاده‌شده در رابطه پیشنهادی با توجه به تفاوت شرایط اقلیمی و داشتن الگوهای بارشی متفاوت برای هر ایستگاه، با توجه به گروه‌بندی انجام‌گرفته، جداگانه به دست آمد.

یافته‌های تحقیق

ایستگاه‌های بررسی‌شده به علت پراکندگی در کل مساحت ایران، دارای ویژگی‌های جغرافیایی متفاوتی‌اند و الگوی بارشی یکسانی ندارند؛ بنابراین از میانگین مجموع بارش سالانه برای طبقه‌بندی گروه‌ها استفاده شد. بر این اساس، ایستگاه‌ها به هفت گروه تقسیم شدند که برخی از آنها همگن و برخی ناهمگن بودند.

ایستگاه‌هایی با میانگین مجموع بارش سالانه کمتر از صد میلی‌متر در گروه اول جای گرفت. این گروه، پنج ایستگاه را در برمی‌گرفت (جدول ۳). این ایستگاه‌ها ۱۲ تا ۱۷ روز بارشی برابر یا بیشتر از یک میلی‌متر داشتند. در این گروه، زابل با ۶۱ میلی‌متر کمترین میانگین مجموع بارش سالانه و طبس با ۸۳/۲ میلی‌متر بیشترین میانگین سالانه را داشت؛ به عبارت دیگر زابل با سیزده روز بارش برابر یا بیشتر از یک میلی‌متر، خشک‌ترین ایستگاه و طبس با ۱۷/۲ روز بارش برابر یا بیشتر از یک میلی‌متر، مرطوب‌ترین ایستگاه در این گروه بود. میانگین مجموع بارش سالانه در این گروه به‌طور متوسط ۴ تا ۵ برابر تعداد روزهای بارش برابر یا بیشتر از یک میلی‌متر بود. ضریب ثابت مناسب برای محاسبه بارش سنگین در این گروه ۲/۳۸ به دست آمد.

گروه دوم شامل ایستگاه‌هایی می‌شود که میانگین مجموع بارش سالانه آنها بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر است. این گروه بزرگ‌ترین گروه و شامل ده ایستگاه است (جدول ۴). این ایستگاه‌ها در دو منطقه ساحل و دشتهای داخلی تمرکز بیشتری دارند. بعد مکانی و تعداد زیادتر ایستگاه‌های این گروه سبب شده است برای دقت بیشتر، این گروه به دو زیرگروه تقسیم شود که هر کدام پنج ایستگاه را شامل می‌شود. زیرگروه اول شامل ایستگاه‌های ساحلی است. ایستگاه‌های این گروه بین ۱۰ تا ۱۴ روز بارشی برابر یا بیشتر از یک میلی‌متر دارند. تنها آبادان است که ۲۹ روز بارشی برابر یا بیشتر از

یک میلی‌متر دارد. در این زیرگروه، بندرعباس با ۱۸۲/۵ میلی‌متر بیشترین و چابهار با ۱۱۱ میلی‌متر کمترین میانگین مجموع بارش سالانه را دارد. تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر و بیشتر نیز در چابهار کمینه بوده، برابر با ۴/۱۰ است. در این گروه، نسبت میانگین مجموع بارش سالانه به تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر و بیشتر بین ۵ تا ۱۲ است. ضریب مناسب برای این زیرگروه ۲/۹۹ است. زیرگروه بعدی شامل ایستگاه‌های دشت‌های داخلی است. تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر و بیشتر در این زیرگروه به دلیل برخورداری از عرض جغرافیایی بیشتر افزایش یافته، عددی بین ۲۹ تا ۳۲ روز را نشان می‌دهد. اصفهان با ۲۳/۹ روز، کمترین و سبزواری با ۳۲/۹ روز، بیشترین بارش یک میلی‌متر یا بیشتر را دارد. از نظر الگوی میانگین مجموع بارش سالانه نیز ترتیب به همین گونه است؛ اما میانگین مجموع بارش سالانه در این زیرگروه، پنج برابر تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر و بیشتر است و از این نظر، این گروه بسیار همگن است. برای این زیرگروه عدد ۲/۵۵ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. ایستگاه‌های گروه اول

کمتر یا برابر ۱۰۰ میلی‌متر بارش				
۲/۳۸	احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه (mm)	میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر	میانگین مجموع بارش سالانه طی دوره آماری (mm)	ایستگاه
بارش سنگین محاسبه شده (mm)				
۱۰/۷۲	۱۰/۶	۱۳/۵	۶۰/۸	یزد
۱۰/۱۲	۱۱/۹	۱۲	۶۱	زابل
۱۳/۷۳	۱۳/۸	۱۵/۷	۹۰/۶	زاهدان
۱۱/۵۱	۱۰/۹	۱۷/۲	۸۳/۲	طیس
۱۱/۰۵	۱۲	۱۳/۲	۶۱/۳	بم

جدول ۴. ایستگاه‌های گروه دوم

۲۰۰-۱۰۰ میلی‌متر بارش				
۲/۵۸ عدد ثابت	احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه (mm)	میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر	میانگین مجموع بارش سالانه طی دوره آماری (mm)	ایستگاه
بارش سنگین محاسبه شده (mm)				
۳۸/۷۰	۳۷/۸	۱۴/۱	۱۸۲/۵	بندرعباس
۳۳/۰۰	۳۳	۱۳	۱۴۳	بندر لنگه
۳۲/۰۲	۳۳/۸	۱۰/۴	۱۱۱	بندر چابهار
۲۲/۴۵	۲۲	۱۴/۷	۱۱۰	ایرانشهر
۲۰/۳۵	۲۰	۲۹	۱۵۶	آبادان
۲/۵۵ عدد ثابت				
۱۴/۶۶	۱۴	۲۹/۷	۱۷۰/۸	بیرجند
۱۳/۱۰	۱۳/۱	۲۳/۹	۱۲۲/۸	اصفهان
۱۳/۴۴	۱۴	۲۹	۱۵۲/۹	کرمان
۱۴/۶۲	۱۴/۸	۳۲/۹	۱۸۸/۶	سبزواری
۱۳/۵۸	۱۳	۲۹	۱۵۴/۴	شاهرود

در گروه سوم، ایستگاه‌هایی قرار دارند که میانگین مجموع بارش سالانه آنها بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است (جدول ۵). در این گروه، هفت ایستگاه جای گرفته است. ایستگاه‌ها در دو منطقه متمرکز شده‌اند. دو ایستگاه اهواز و بوشهر در جلگه‌های جنوب غربی قرار گرفته‌اند که تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر آنها نسبت به دیگر ایستگاه‌ها کمتر و به ترتیب ۲۴ و ۲۳ روز است. نسبت میانگین مجموع بارش سالانه به تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر این گروه نیز ۸ و ۱۱ است که اختلاف زیادی با یکدیگر دارند. ضریب مناسب برای این زیرگروه ۲/۸۷ است. دیگر ایستگاه‌ها را که ارتفاعی بیش از هزار متر از سطح دریا دارند، نسبت به دو ایستگاه دیگر می‌توان کوهستانی نامید که ۳۸ تا ۵۶ روز بارش یک میلی‌متر و بیشتر دارند. تهران با میانگین مجموع بارش سالانه ۲۳۲/۸ میلی‌متر، کمترین میانگین بارش را دارد؛ اما تربت‌حیدریه با ۳۸/۸ روز کمترین تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر و بیشتر را به خود اختصاص داده است. ایستگاه خوی با داشتن ۲۹۲/۶ میلی‌متر بارش میانگین و ۵۶ روز بارش یک میلی‌متر و کمتر، مرطوب‌ترین ایستگاه این زیرگروه است. نسبت میانگین مجموع بارش سالانه به تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر ایستگاه‌های این زیرگروه ۵ تا ۷ است و از این نظر همگن‌اند. عدد ثابت برای محاسبه بارش سنگین برای این زیرگروه ۲/۵۷ است.

گروه چهارم ایستگاه‌هایی را شامل می‌شود که میانگین مجموع بارش سالانه آنها ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر است (جدول ۶). این گروه شامل هشت ایستگاه است. در این گروه، در دو ایستگاه شهرکرد و شیراز، بارش یک میلی‌متر و بیشتر کمتر از چهل روز است که از این نظر از دیگر ایستگاه‌ها کمتر است و خود یک زیرگروه را تشکیل می‌دهند. شیراز از نظر میانگین مجموع بارش سالانه با بارش ۳۴۶ میلی‌متر، مرطوب‌تر از شهرکرد است؛ اما شهرکرد با داشتن ۳۸/۷ روز بارش یک میلی‌متر و بیشتر، تعداد روزهای بارشی بیشتری دارد. نسبت میانگین مجموع بارش سالانه به روزهای بارشی یک میلی‌متر عددی بیش از ۸ و ۱۰ را نسبت به دیگر ایستگاه‌های گروه نشان می‌دهد. ضریب مناسب برای این دو ایستگاه ۲/۷۷ است. زیرگروه بعدی، شش ایستگاه دیگر این گروه‌اند که تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر و بیشتر آنها از چهل روز بیشتر است. ایستگاه‌های این زیرگروه بین ۴۸ تا ۵۷ روز بارش یک میلی‌متر و بیشتر دارند. نکته شایان توجه در این زیرگروه این است که اراک با ۳۴۱ میلی‌متر بیشترین میانگین مجموع بارش سالانه را دارد؛ اما از نظر تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر و بیشتر با ۴۸/۶ روز کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. اردبیل با ۵۷/۲ روز از نظر تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر، مرطوب‌ترین ایستگاه است؛ اما کمترین میانگین مجموع بارش سالانه را دارد. میانگین مجموع بارش سالانه در این زیرگروه ۵ تا ۷ برابر بارش روزهای یک میلی‌متر و بیشتر است. ضریب ۲/۵۸ برای این ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده است.

جدول ۵. ایستگاه‌های گروه سوم

۲۰۰-۳۰۰ میلی‌متر بارش		۲/۸۷ عدد ثابت		
ایستگاه	سالانه طی دوره آماری (mm)	میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر	احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه (mm)	بارش سنگین محاسبه شده (mm)
بوشهر	۲۷۹/۱	۲۳/۸	۳۳	۳۳/۶۶
اهواز	۲۱۳/۴	۲۴/۵	۲۵	۲۵/۰۰

ادامه جدول ۵. ایستگاه‌های گروه سوم

۲/۸۷ عدد ثابت		۲۰۰-۳۰۰ میلی‌متر بارش		
۲/۵۷ عدد ثابت				
۱۳/۳۵	۱۳	۵۵/۶	۲۸۸/۹	تبریز
۱۴/۹۴	۱۴/۳	۴۰/۲	۲۳۲/۸	تهران
۱۵/۵۷	۱۵	۴۲/۳	۲۵۵/۲	مشهد
۱۸/۲۷	۱۸/۸	۳۸/۸	۲۷۴/۸	تربت‌حیدریه
۱۳/۴۸	۱۳/۴	۵۶	۲۹۲/۶	خوی

جدول ۶. ایستگاه‌های گروه چهارم

۲/۵۸ عدد ثابت		۳۰۰-۴۰۰ میلی‌متر بارش		
بارش سنگین محاسبه‌شده (mm)	احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه (mm)	میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر	میانگین مجموع بارش سالانه طی دوره آماری (mm)	ایستگاه
۱۸/۲۸	۱۸	۴۸/۶	۳۴۱/۷	اراک
۱۶/۲۴	۱۶/۲	۵۰/۶	۳۱۶	قزوین
۱۵/۶۷	۱۶	۵۵/۳	۳۳۴/۷	همدان
۱۶/۶۳	۱۷/۹	۵۳/۳	۳۴۱	ارومیه
۱۴/۳۱	۱۳/۸	۵۶/۹	۳۱۳/۱	زنجان
۱۳/۸۱	۱۲	۵۷/۲	۳۰۳/۹	اردبیل
۲/۷۷ عدد ثابت				
۲۲/۳۷	۲۳/۲	۳۸/۷	۳۱۲/۵	شهرکرد
۲۸/۹۶	۲۸	۳۳/۱	۳۴۶	شیراز

پنجمین گروه دارای چهار ایستگاه است که میانگین مجموع بارش سالانه ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر دارد (جدول ۷). میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر در این گروه ۳۷ تا ۶۵ روز است. مرطوب‌ترین و خشک‌ترین ایستگاه‌های این گروه به ترتیب دزفول با میانگین مجموع بارش سالانه ۴۰۴/۶ میلی‌متر و ۳۷/۸ روز بارش یک میلی‌متر و بیشتر و سقز با ۴۹۹/۴ میلی‌متر میانگین مجموع بارش سالانه و ۶۵/۲ روز بارش یک میلی‌متر و بیشتر است. با وجود متغیر بودن میانگین تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر، نسبت میانگین مجموع بارش سالانه به میانگین این روزها همگن بوده، عدد هفت را نشان می‌دهد. این نسبت تنها برای ایستگاه دزفول، ده است. ضریب مناسب برای این گروه ۲/۸۶ است.

جدول ۷. ایستگاه‌های گروه پنجم

۲/۸۶ عدد ثابت		۴۰۰-۵۰۰ میلی‌متر بارش		
بارش سنگین محاسبه‌شده (mm)	احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه (mm)	میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر	میانگین مجموع بارش سالانه طی دوره آماری (mm)	ایستگاه
۳۰/۶۱	۳۲	۳۷/۸	۴۰۴/۶	دزفول
۲۲/۱۴	۲۲	۵۷/۵	۴۴۵/۱	کرمانشاه
۲۲/۵۶	۲۱/۶	۵۸/۱	۴۵۸/۴	سنندج
۲۱/۹۱	۲۱/۹	۶۵/۲	۴۹۹/۴	سقز

گروه ششم دارای سه ایستگاه است که میانگین مجموع بارش سالانه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر دارد (جدول ۸). ایستگاه‌های این گروه ۵۷ تا ۷۶ روز بارشی برابر با یک میلی‌متر یا بیشتر دارند. ایستگاه گرگان بیشترین تعداد روز بارش یک میلی‌متر و خرم‌آباد کمترین را در این گروه دارد. ایستگاه بابلسر به‌علت قرارگیری در موقعیت غربی‌تر ساحل دریای خزر از ۸۹۴/۴ میلی‌متر میانگین مجموع بارش سالانه برخوردار بوده، پرباران‌تر از ایستگاه گرگان است. میانگین مجموع بارش سالانه خرم‌آباد کمتر از هر دو ایستگاه دیگر گروه است. به این ترتیب با توجه به زیاد بودن میانگین مجموع بارش سالانه بابلسر، نسبت میانگین مجموع بارش سالانه آن به بارش‌های یک میلی‌متر و بیشتر نیز از دو ایستگاه دیگر افزون‌تر است. میانگین مجموع بارش سالانه در این گروه ۷ تا ۱۱ برابر میانگین تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر و بیشتر است. ضریب ۳ برای این گروه در نظر گرفته شده است.

جدول ۸. ایستگاه‌های گروه ششم

۳ عدد ثابت		۵۰۰-۱۰۰۰ میلی‌متر بارش		
بارش سنگین محاسبه‌شده (mm)	احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه (mm)	میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر	میانگین مجموع بارش سالانه طی دوره آماری (mm)	ایستگاه
۲۳/۵۷	۲۲/۸	۷۶/۵	۶۰۱	گرگان
۲۶/۷۴	۲۶	۵۷/۱	۵۰۹	خرم‌آباد
۳۵/۰۷	۳۶	۷۵/۶	۸۹۴/۴	بابلسر

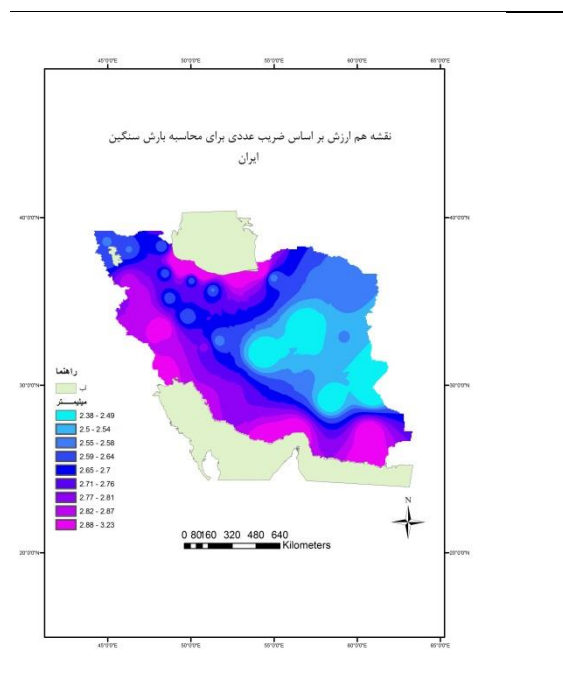
آخرین گروه شامل آن دسته از ایستگاه‌های نوار ساحلی خزر می‌شود که میانگین مجموع بارش سالانه آنها بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر است (جدول ۹). این گروه سه ایستگاه را شامل می‌شود که میانگین تعداد روزهای بارش یک میلی‌متر و بیشتر آنها ۹۵ تا ۱۰۹ روز است. از نظر میانگین مجموع بارش سالانه نیز براساس روند کاهش بارش از غرب به شرق سواحل خزر به ترتیب ایستگاه‌های انزلی، رشت و رامسر قرار دارد. در این منطقه، میانگین مجموع بارش سالانه ۱۲ تا ۱۶ برابر میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر است. عدد ۳/۲۳ مناسب‌ترین عدد برای محاسبه بارش سنگین برای این گروه است.

جدول ۹. ایستگاه‌های گروه هفتم

بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر بارش		۳/۲۳ عدد ثابت		
ایستگاه	میانگین مجموع بارش سالانه طی دوره آماری (mm)	میانگین تعداد روزهای همراه با بارش یک میلی‌متر و بیشتر	احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه (mm)	بارش سنگین محاسبه شده (mm)
بندر انزلی	۱۸۳۵/۵	۱۰۹/۹	۵۳/۲	۵۳/۹۵
رامسر	۱۲۱۷/۸	۹۵/۵	۴۲	۴۱/۱۹
رشت	۱۳۵۹	۱۰۸/۸	۴۰	۴۰/۳۵

بحث و نتایج

با در نظر گرفتن تمام جوانب و شرایط حاکم بر نواحی بارشی ایران و طبقه‌بندی که به این منظور انجام گرفت و با توجه به رابطه پیشنهادی بارش سنگین (رابطه ۸) می‌توان برای ضریب عددی مورد استفاده، پهنه‌بندی انجام داد (شکل ۲). با استفاده از این نقشه، ضریب عددی لازم برای محاسبه بارش سنگین را برای هر نقطه‌ای از کشور می‌توان به‌دست آورد. براساس ضریبی که برای هر ایستگاه به‌دست آمد، مقدار بارش سنگین برای هر ایستگاه، جداگانه محاسبه شد و به‌همراه احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه که معیاری برای تعیین این شاخص در نظر گرفته شده بود، در جدول ۱۱ ثبت شد. این جدول نشان می‌دهد که نمی‌توان مقدار ثابتی را برای بارش سنگین در سراسر ایران به‌کار برد. مقدار این بارش از ۵۳ میلی‌متر در انزلی تا ۱۰/۶ میلی‌متر در یزد متغیر است.



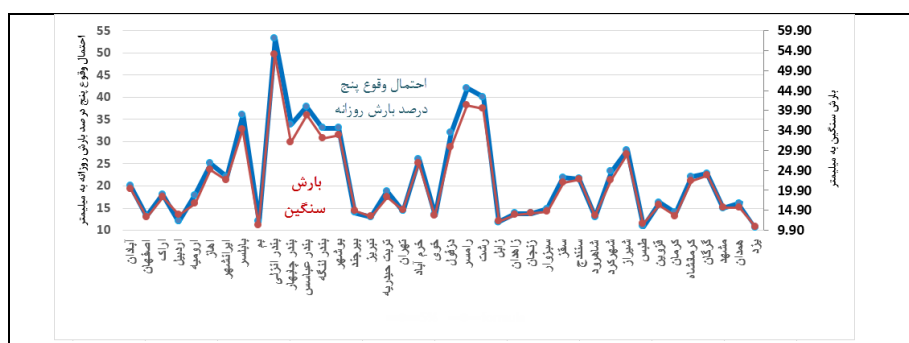
شکل ۲. پهنه‌بندی براساس ضریب عددی برای محاسبه بارش سنگین در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۱

جدول ۱۰. عدد به دست آمده از رابطه محاسبه بارش سنگین به همراه مقدار خطا

میزان خطا (mm)	بارش سنگین محاسبه شده (mm)	احتمال وقوع بارش روزانه (mm)	نام ایستگاه
۰/۲۸	۲۰/۲۸	۲۰	آبادان
۰/۰۰	۱۳/۱۰	۱۳/۱	اصفهان
۰/۱۴	۱۸/۱۴	۱۸	اراک
۱/۷۱	۱۳/۷۱	۱۲	اردبیل
-۱/۳۹	۱۶/۵۱	۱۷/۹	ارومیه
۰/۰۰	۲۵/۰۰	۲۵	اهواز
۰/۳۷	۲۲/۳۷	۲۲	ایرانشهر
-۰/۹۳	۳۵/۰۷	۳۶	بابلسر
-۰/۹۵	۱۱/۰۵	۱۲	بم
۰/۷۵	۵۳/۹۵	۵۳/۲	بندر انزلی
-۱/۸۹	۳۱/۹۱	۳۳/۸	بندر چابهار
۰/۹۰	۳۸/۷۰	۳۷/۸	بندر عباس
-۰/۱۱	۳۲/۸۹	۳۳	بندر لنگه
۰/۶۶	۳۳/۶۶	۳۳	بوشهر
۰/۶۶	۱۴/۶۶	۱۴	بیرجند
۰/۳۵	۱۳/۳۵	۱۳	تبریز
-۰/۵۳	۱۸/۲۷	۱۸/۸	تریت حیدریه
۰/۶۴	۱۴/۹۴	۱۴/۳	تهران
۰/۷۴	۲۶/۷۴	۲۶	خرم آباد
۰/۰۸	۱۳/۴۸	۱۳/۴	خوی
-۱/۲۸	۳۰/۷۲	۳۲	دزفول
-۰/۸۱	۴۱/۱۹	۴۲	رامسر
۰/۳۵	۴۰/۳۵	۴۰	رشت
۰/۲۰	۱۲/۱۰	۱۱/۹	زایل
-۰/۰۷	۱۳/۷۳	۱۳/۸	زاهدان
۰/۴۰	۱۴/۲۰	۱۳/۸	زنجان
-۰/۱۸	۱۴/۶۲	۱۴/۸	سبزوار
۰/۰۱	۲۱/۹۱	۲۱/۹	سقز
۰/۹۶	۲۲/۵۶	۲۱/۶	سنندج
۰/۵۸	۱۳/۵۸	۱۳	شاهرود
-۰/۸۳	۲۲/۳۷	۲۳/۲	شهرکرد
۰/۹۶	۲۸/۹۶	۲۸	شیراز
۰/۶۱	۱۱/۵۱	۱۰/۹	طیس
-۰/۰۹	۱۶/۱۱	۱۶/۲	قزوین
-۰/۵۶	۱۳/۴۴	۱۴	کرمان
۰/۱۴	۲۲/۱۴	۲۲	کرمانشاه
۰/۷۷	۲۳/۵۷	۲۲/۸	گرگان
۰/۵۷	۱۵/۵۷	۱۵	مشهد
-۰/۴۵	۱۵/۵۵	۱۶	همدان
۰/۱۲	۱۰/۷۲	۱۰/۶	یزد

با توجه به این جدول، میانگین خطا 0.07 است. در ایستگاه‌های اردبیل، ارومیه، دزفول و چابهار مقدار خطا بیش از یک میلی‌متر است و در ایستگاه‌های اهواز و اصفهان هیچ خطایی دیده نشده است و مقدار به‌دست‌آمده از رابطه با احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه برابر است. در دیگر ایستگاه‌ها مقدار خطا کمتر از یک میلی‌متر محاسبه شده است. نمودار مربوط به اطلاعات نشان می‌دهد (شکل ۳) که دو نمودار بارش سنگین محاسبه‌شده و احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه به‌طور کامل بر هم منطبق است و مقدار همبستگی دو نمودار 0.997 است که در سطح 0.01 معنادار است (جدول ۱۱). نقشه هم‌بارش بر اساس بارش سنگین محاسبه‌شده و احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه از یک الگو تبعیت می‌کنند (شکل ۴).

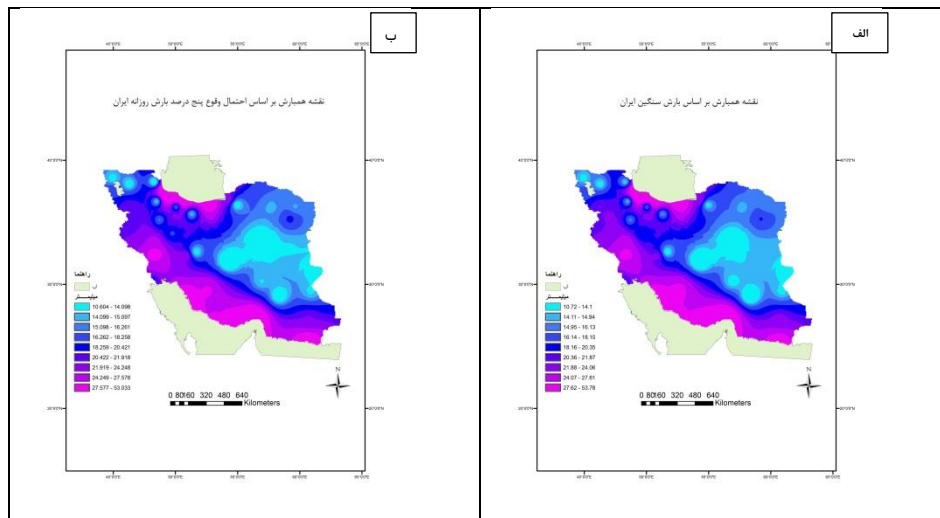
مقدار بارش سنگین نیز با تبعیت از الگوی کلی بارش‌ها از غرب به شرق و از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه ایستگاه‌هایی که در نوار ساحلی شمال و جنوب قرار دارند، تحت تأثیر نزدیکی به منبع رطوبتی و بارش‌های همرفتی‌اند، از این قاعده کلی مستثنا هستند. مقایسه این دو نقشه با شکل ۱ نشان می‌دهد که نحوه پراکندگی بارش سنگین به‌طور کلی با نحوه پراکندگی میانگین مجموع بارش سالانه و تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر و بیشتر در سراسر ایران همخوانی دارد.



شکل ۳. نمودار مقایسه بارش سنگین محاسبه‌شده و احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه برای ایستگاه‌های بررسی‌شده در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۱

جدول ۱۱. ماتریس همبستگی احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه و بارش سنگین

مؤلفه‌ها	پنج درصد بارش روزانه	بارش سنگین
پنج درصد بارش روزانه	۱	0.997^{**} ۱
بارش سنگین	0.997^{**}	۱



شکل ۴. نقشه هم‌بارش براساس (الف) بارش سنگین؛ (ب) احتمال وقوع پنج درصد بارش روزانه ایران در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۱

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد با استفاده از داده‌های میانگین سالانه و روابط آماری، رابطه ساده‌ای برای محاسبه بارش سنگین ایران پیشنهاد شود. همچنین کاربردی بودن استفاده از داده‌های سالانه برای مقایسه بارش سنگین مناطق مختلف کشور نیز سنجیده شد. به این منظور، از داده‌های بارشی چهل ایستگاه سینوپتیکی استفاده شد که پراکنش آنها در سراسر کشور بررسی شده بود. به دلیل اینکه بوم‌سازگان‌های طبیعی هر منطقه در طول زمان با بارش سالانه خود و آستانه‌های زیاد و کم بارش انطباق یافته‌اند، از داده‌های سالانه برای محاسبه بارش سنگین استفاده شد. نتایج نشان داد که نمی‌توان برای تمام نواحی کشور از یک شاخص برای نشان دادن بارش سنگین استفاده کرد؛ موضوعی که در پژوهش‌های پیشین به آن توجه نشده است. در بیشتر این پژوهش‌ها، برای بررسی بارش سنگین از یک معیار استفاده شده است؛ حتی اگر این معیار درصدی از بارش روزانه ایستگاه‌های منطقه باشد نیز به دلیل عدم سهولت دسترسی به داده‌های روزانه، کار پژوهشگران بعدی را بسیار دشوار می‌کند.

از آنجاکه کشور ما در ناحیه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و کشاورزی و منابع آب آن به تغییرات دما و بارش وابسته است، تعیین دقیق شاخص‌ها و آستانه‌ها به‌منظور برنامه‌ریزی‌های کاربردی در تمام جنبه‌ها برای کاهش خسارت ناشی از مخاطرات آب‌وهوایی ضرورت دارد.

منابع

- رحیم‌زاده، ف. (۱۳۸۴). «بررسی مقادیر حدی بارش در ایران». نیوار، ش ۵۸ و ۵۹، ص ۷-۲۰.
- علیجانی، ب. (۱۳۸۱). آب‌وهوای ایران. چ ۵. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور. ص ۱۱۸-۱۲۰.
- _____ (۱۳۹۰). «تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران». نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ج ۱۷، ش ۲۰، ص ۹-۳۰.
- محمدی، ب. (۱۳۹۲). «تحلیل روند سالانه آستانه بارش‌های سنگین ایران». تحقیقات جغرافیایی، ش ۲۸، ص ۱۰۸-۱۰۹، ص ۱۶۳-۱۷۶.

- محمدی، ب. و مسعودیان، ا. (۱۳۸۹). «تحلیل فشار تراز دریا در زمان رخداد بارش‌های فوق‌سنگین و فراگیر ایران». چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. تهران: مؤسسه ژئوفیزیک. فیزیک فضا. ص ۲۳۰-۲۳۳.
- مسعودیان، ا. و محمدی، ب. (۱۳۸۹). «تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در زمان رخداد بارش‌های ابرسنگین ایران». چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام. زاهدان.
- مسعودیان، ا. (۱۳۷۸). «شناسایی شرایط همدید همراه با بارش‌های ابرسنگین ایران». سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تبریز.
- منتظری، م. (۱۳۸۸). «تحلیل زمانی- مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران». جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. س ۲۰. ش ۲. پیاپی ۳۴. ص ۱۲۵-۱۴۰.
- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Ambenje, P., Rupa Kumar, K., Revadekar, J. and Griffiths, G., (2006). "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation". J. Geophys. Res. 111 (D05109). doi: 10.1029/2005JD006290.
- Alijani, B. (2002). *Iran's climate*. 5th Printing. Tehran: University of Payame Noor Publishing. (In Persian).
- _____ (2011). "Spatial analysis of the critical temperatures and daily precipitation in Iran". Journal of Geographical Sciences and Applied Research. Vol. 17. No. 20. Pp. 9-30. (In Persian).
- Montazeri, M. (2009). "Tempo-spatial analysis of extreme 24 hour precipitations in Iran". Journal of Geography and Environmental Planning. Y. 20. No. 34. No. 2. Pp.125-140. (In Persian).
- Banivaheb, A. (2007). "A Survey on Synoptic Patterns of Heavy Summer Rain happening in the northern areas of Khorasan". Geographical Journal of Territory. No. 13. Pp. 41-53.
- Bukantis, A., Rimkus, E. and Kažys, J. (2010). "Heavy Precipitation Events in Lithuania, EMS annual meeting". 10th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM). Vol. 7. P. 100.
- Campins, J., Jans`a, A. and Genov`es, A. (2006). "Heavy rain and strong wind events and cyclones in the Balearics". Advances in Geosciences. No. 7. Pp. 73-77.
- Easterling, D. R., Alexander, L.V., Mokssit, A. and Detemmermen, V. (2003). "CC1/CLIVAR Workshop to develop priority climate indices". American Meteorological Society. DOI: 10.1175/BAMS-84-10-1403.
- Folland, C.K., Horton, E.B. and 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.
- 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. No. 19. Pp. 193-212.
- Haylock, M. and Nicholls, N. (2000) "Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia 1910-1998". International Journal of Climatology. No. 20. Pp. 1533-1541.
- Hänsel, S. and Matschullat, J. (2009). "Monthly trends of daily heavy precipitation indicators from lowland to mountainous regions in Saxony, Germany, Poster, 7th Biomet Conf". Stará Lesná. Slovakia. October 5-8.
- Kamiguchi, K., Kitoh, A., Uchiyama, T., Mizuta, R., and Noda, A. (2006). "Changes in Precipitation-based Extremes Indices Due to Global Warming Projected by a Global 20-km-mesh Atmospheric Model". SOLA. No. 2. Pp. 64-67. doi:10.2151/sola.2006-017.
- Karl, T. R., Knight, R. W., Easterling, D. R. and Quayle, R.G. (1996). "Indices of climate change for the United States". Bull. Amer.Meteor. Soc. No. 77. Pp. 279-292.
- Kysely, J. and Picek, J. (2007). "Probability estimates of heavy precipitation events in a flood-prone central-European region with enhanced influence of Mediterranean cyclones". Advances in Geosciences. No. 12. Pp. 43-50.
- Manton, M.J., Della-Marta, P.M., Haylock, M.R., Hennessy, K.J. and 23 others. (2001). "Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the South Pacific: 1961 -1998". Int. J. Climatology. No. 21. Pp. 269-284.
- Masoodian, A. and Mohammadi, B. (2010). "The analysis of frontogenesis frequency effected on super heavy rainfall in Iran". Forth International Congress of the Islamic World Geographers. Zahedan. (In Persian).
- Masoodian, A. (1999). "Identification of synoptic conditions with heavy rainfalls Iran". Third Iranian Water

- Resources Management Conference. Tabriz. (In Persian).
- Mekis, E. and Hogg, W.D., (1999). "Rehabilitation and analysis of a Canadian daily precipitation time series". Atmos.–Ocean. No. 37. Pp. 53–85.
- Mohamadi, B. (2013). "The annual trend analysis of heavy precipitation thresholds Iran". Geographical research. year 28. No. 1 (108). Pp. 163-176. (In Persian).
- Mohamadi, B. and Masoodian, A. (2010). "Analysis of sea level pressure and widespread heavy rainfall event in Iran, Forth Geophysics Conference of Iran". Tehran. Institute of Geophysics. Journal of Earth Space. Pp. 230-233.
- Nicholls, N. and Murray, W. (1999). "Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Breakout Group B: Precipitation". Climatic Change. 42/1. Pp. 23-29.
- Osborn, T.J., and Hulme, M. (2002). "Evidence for trends in heavy rainfall events over the UK". The Royal Society. 10. 1098/rsta. 1002.
- Paddock, M., Graves, C.H.E. and Martinelli, J.T. (2008). "Examining preconnective heavy rainfall environments utilizing observational and model analysis proximity soundings". 23rd Conf. on Weather Analysis and Forecasting. Omaha. NE. Amer. Meteor. Soc. JP3. 10.
- Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Moskssit, A., and Plummer, N. (2001). "Report on The Activities of The Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs". World Meteorological Organization, Document. No. 1071. Geneva. Pp. 146.
- Rahimzadeh, F. (2005). "Study of Variation of Extreme Precipitations over Iran". Nivar. No. 58,59. Pp. 7-20. (In Persian).
- Sa´nchez, E., Gallardo, C., Gaertner, M.A., Arribas, A. and Castro, M. (2004). "Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach". Global and Planetary Change. No. 44. Pp. 163–180.
- Seibert, P., Frank, A. and Formayer, H. (2005). "Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria". Submitted to Theoretical and applied climatology. Vol. 87. No. 1. Pp. 139-153.
- Schmidli, J. and Frei, C. (2005). "trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century". Int. J. climatology. No. 25. Pp. 771-773.
- Schmidli, J., Schmutz, C., Frei, C., Wanner, H. and Schär, C. (2002). "Mesoscale precipitation variability in the region of the European Alps during the 20th century". Int. J. Climatology. No. 22. Pp. 1049–1074.
- Vaidya, S.S. and Kulkarni, J.R. (2007). "Simulation of heavy precipitation over Santa Cruz Mumbai on 26 July 2005 (using mesoscale)". Meteor. Atmos. Phys. DOI10.1007/s00703-006-4, WWW.Noaa.com.
- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kotaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T.H., Albert, P., Semawi, M., Kareem Ali, M., Halal Said Al-Shabibi, A., Al-Oulan, Z., Zafari, T., Al Dean Khelet, I., Hammond, S., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., Alexander, L., Peterson, T.C. and Wallis, T. (2005). "Trends in Middle East Climate Extremes Indices during 1930-2003". J. Geophys. Res. 110. D22104. doi: 10.1029/2005JD006181.
- Zhang, X., Hoggs, W.D. and Mekis, E. (2001). "Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Precipitation Events over Canada, American Meteorological Society". Journal of climate. Vol. 14. Pp. 1923-1936.