

تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران

حسین محمدی - استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
قاسم عزیزی - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
فرامرز خوش‌اخلاق - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
فیروز رنجبر* - پژوهشگر دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۹/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۴/۲۹

چکیده

یکی از اثرهای تغییر اقلیم بروز بی‌نظمی در چرخه هیدرواقلمی کره زمین است. این تغییرات در عدم موازنه تراز سطح آب در منابع آب زیرزمینی، سطحی، دریاچه‌ها و همچنین تغییر در توزیع مقدار و زمان بارش‌ها و جریان رودخانه نمود پیدا می‌کند. تحقیق حاضر به منظور شناخت روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش روزانه ایران انجام گرفته است. بدین منظور، از داده‌های بارش ۲۴ ساعته ۴۷ ایستگاه سینوپتیک طی دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ استفاده شده است. برای استخراج روندها از شاخص‌های تیم کارشناسی آشکارسازی و نمایش تغییر اقلیم و شاخص‌های ETCCDI با استفاده از نرم‌افزار RCLimDex تحت زبان برنامه‌نویسی R بهره‌گیری شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در دوره مورد مطالعه همه شاخص‌های حدی بارش در ایران دارای تغییر و روند است. در بیشتر ایستگاه‌ها، بارش سالانه کاهش (شامل حدود ۹۲ درصد از ایستگاه‌ها) و تعداد روزهای خشک (CDD) افزایش یافته است (شامل حدود ۷۲ درصد از ایستگاه‌ها) و فقط در برخی از ایستگاه‌ها در نواحی مرکزی و دامنه‌های زاگرس تعداد روزهای خشک روند کاهشی دارد. از نظر بارش‌های سنگین و نیمه‌سنگین و همچنین روزهای مرطوب و فوق‌العاده مرطوب، سهم تغییرات در ایستگاه‌های واقع در سواحل شمال و جنوب بیشتر است.

کلیدواژه‌ها: ایران، بارش، تغییر اقلیم، روند، شاخص‌های حدی.

مقدمه

تغییرات اقلیمی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی است که جهان در قرن بیست‌ویکم با آن مواجه شده است (پورتینگا و همکاران، ۲۰۱۱). مشاهدات نشان می‌دهد که دمای سطح زمین در حدود ۷۵/۱ درجه سانتی‌گراد در طی قرن بیست‌ویکم افزایش یافته و روند گرمایش در پنجاه سال گذشته شدید شده است (یان و زنگ، ۲۰۱۵).

در دوران اخیر گرمایش جهانی می‌تواند موجب بروز برخی تغییرات در شرایط اقلیمی و محیطی مناطق مختلف جهان شود. یکی از مهم‌ترین اثرهای آن برهم خوردن نظم و چرخه هیدرواقلمی در دنیاست. اثرهای تغییر اقلیم بر چرخه هیدرولوژی در شکل تغییرات سطح آب در منابع آب زیرزمینی، سفره‌ها، دریاچه‌ها، و همچنین تغییر در توزیع مقادیر و

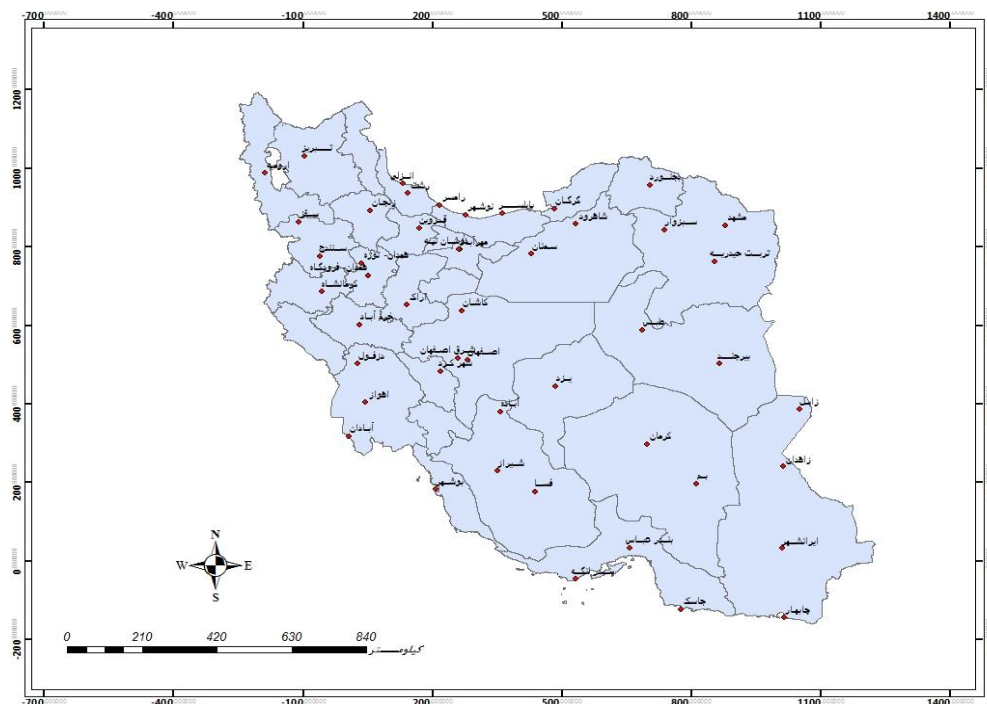
زمان بارش‌ها و جریان رودخانه است (رجبی و شعبانلو، ۲۰۱۳). همچنین، شدت و فراوانی رخدادهای فرین بارش در بخش‌های بزرگی از جهان تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد و ریسک افزایش سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها خودنمایی خواهد کرد (ضیا هاشمی و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به مطالب فوق، اثر تغییر اقلیم در ویژگی‌های مکانی و زمانی بارش مناطق و رخدادهای فرین مرتبط با آن دارای اثرهایی است که پیامد آن زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو، بررسی تغییرات و روند فرین‌های بارش می‌تواند احتمال رخداد هر یک از مخاطرات مرتبط با بارش را آشکار سازد. از طرف دیگر، چگونگی بروز تغییر اقلیم نیز آشکار می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد، با وجود پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، وضعیت بارش مناطق مختلف و در این میان فرین‌های بارش نیز دچار دگرگونی شده است. مانتون و همکاران (۲۰۰۱) روندهای بارش را در جنوب شرق آسیا و جنوب اقیانوس آرام طی دوره ۱۹۶۱ - ۱۹۹۸ بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از این است که تعداد روزهای همراه با بارش (با حداقل دو میلی‌متر) در جنوب شرق آسیا و اقیانوس آرام غربی و مرکزی با کاهش مواجه بود، اما در پلنزیای، فیجی، و برخی از ایستگاه‌های استرالیا با افزایش مواجه بود. کلین و کونن (۲۰۰۳)، با استفاده از داده‌های اقلیمی صد ایستگاه هواشناسی، به بررسی روند شاخص‌های حدی بارش در اروپا پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد رخدادهای حدی مرطوب در منطقه مورد مطالعه رو به افزایش است. نیو و همکاران (۲۰۰۶) شواهد روند در حدهای اقلیمی روزانه در جنوب و غرب آفریقا را با استفاده از داده‌های اقلیمی چهارده کشور از قاره آفریقا بررسی کردند. این تحقیق نشان داد، از نظر روند بارش، در میزان بارش‌ها کاهش وجود دارد، اما از نظر آماری درخور توجه نیست، اما در ریزش بارش‌های شدید و طول دوره خشک افزایش مشاهده می‌شود.

براون و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی تغییر در شاخص‌های حدی اقلیمی شمال شرق ایالات متحده را طی سال‌های ۱۸۷۰ - ۲۰۰۵ بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که در بارش منطقه مورد مطالعه تغییرات کمی مشاهده می‌شود. با وجود این، منطقه به سمت شرایط مرطوب‌تر تمایل دارد. گاجیک - کاپکا و سیندریک (۲۰۱۱) به بررسی روندهای زمانی شاخص‌های بارش حدی در فاصله زمانی ۱۹۰۱ - ۲۰۰۸ در کرواسی پرداختند. نتایج مطالعه آنان روند کاهشی را در مقادیر بارش‌های سالیانه از آغاز قرن بیستم در سرتاسر کشور کرواسی نشان داد؛ به طوری که با روند خشکی مشاهده شده در سرتاسر حوزه دریای مدیترانه انطباق کامل دارد. مقادیر بارش‌های حدی هم در مقیاس فصلی هم سالیانه تغییرپذیری بسیار زیادی نشان داد. چیه - کاوو و گانگولی (۲۰۱۱) شدت، تداوم، و فراوانی بارش‌های حدی را در ارتباط با سناریوهای گرمایش جهانی قرن بیستم مطالعه و بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که روندهای بارش‌های حدی در مقیاس جهانی به شدت در حال افزایش است؛ به طوری که این روند افزایشی اثرهای درخور توجهی در منحنی‌های شدت، تداوم، و فراوانی داشته است. وارنر و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی رخداد بارش‌های حدی زمستانه در امتداد سواحل شمال غرب آمریکا و سواحل شرقی اقیانوس آرام پرداختند. نتایج تحلیل‌های سینوپتیکی و نقشه‌های ترکیبی آنان نشان داد که آنومالی‌های منفی در فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح بالا در مرکز اقیانوس آرام، آنومالی‌های فشار در جنوب غرب آمریکا، آنومالی‌های مثبت درجه حرارت سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در امتداد ساحل و آب قابل بارش زیاد و شارش بخار آب روی جنوب غرب باعث ریزش بارش‌های حدی در منطقه مورد مطالعه می‌شود. هدایتی (۱۳۸۲) در بررسی تغییرات تاریخ شروع بارش و روند آن در تهران در دوره آماری ۱۹۵۱ - ۱۹۹۸ نشان داد که روند ماه‌های آخر پاییز و

زمستان به شکل کاهش و از بهار به بعد افزایش است؛ این نتیجه خود مبین آن است که طی دوره فوق بیشترین بارندگی در فصل زمستان بوده است و سایر فصول، به سبب نوسانات شدید بارش، افزایش یا کاهش درخور توجهی نداشته‌اند. عسگری و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی به تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که به طور کلی هر سه حالت ایستا، روند مثبت، و منفی از نمایه‌های فوق در سطح کشور به‌وقوع پیوسته است؛ در حالی که در برخی از مناطق مانند هرمزگان، اصفهان، و تهران روند بیشتر نمایه‌ها مثبت بوده و در انطباق با یافته‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) حاکی از احتمال تعداد رخدادهای بارش‌های حدی، به‌ویژه در مناطق حاره، بوده است. در برخی از مناطق، مانند آذربایجان و فارس، نیز روند بیشتر نمایه‌ها منفی و برخلاف آن تشخیص داده شده است. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های استان هرمزگان، تغییرات میانگین‌های فصلی و سالانه بارش و روندهای مقادیر حدی آن‌ها را بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که میزان بارش استان هرمزگان کاهش یافته است و ادامه آن تداوم خشک‌سالی در سال‌های آتی را در پی دارد. به‌علاوه، میزان بارش در تعداد روزهای کمتری به‌وقوع پیوسته و رخدادهای بارش نسبتاً سنگین افزایش یافته است. علاوه بر این، تحقیقات دیگری نیز درباره روند بارش و رخدادهای فرین بارش در ایران انجام شده است که همه آن‌ها بیانگر کاهش در مجموع بارش سالانه و رخداد یک ناهنجاری در بارش‌های فرین در بیشتر نواحی است؛ برخی از این مطالعات عبارت‌اند از: محمدی و تقوی (۱۳۸۴)؛ تقوی و محمدی (۱۳۸۶)؛ کتیرایی و همکاران (۱۳۸۶)، اسدی و حیدری (۱۳۹۰)، عساکره (۱۳۹۰). کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار دارد؛ این امر باعث شده است اقلیم آن نیز از تغییرات و نوسانات زیادی برخوردار باشد. بروز خشک‌سالی‌ها در سال‌های مختلف و همچنین شکل‌گیری سیلاب در برخی نواحی و خسارات ناشی از آن‌ها لزوم توجه به فرین‌های اقلیمی، به‌ویژه بارش، را آشکار می‌سازد. در تحقیق حاضر به بررسی روند رخدادهای فرین بارش در ایران پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی رخدادهای فرین بارش در ایران از داده‌های بارش روزانه مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، که دارای آمار بلندمدت و قابل اطمینان بودند، استفاده شد. دوره زمانی مورد مطالعه دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ (۱۱۳۲۳ روز متوالی) است. بر این اساس، از میان همه ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در کشور، ۴۷ ایستگاه دارای آمار کافی و بلندمدت بودند؛ شکل ۱ موقعیت آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. پراکنده‌گی و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

برای استخراج روند بارش روزانه از نرم‌افزار RCLimDex استفاده شده است. RCLimDex به وسیلهٔ زانگ و یانگ در شعبهٔ تحقیقات اقلیمی سرویس هواشناسی کانادا توسعه یافته است. توسعهٔ اولیهٔ آن در آژانس توسعهٔ ملی کانادا از طریق پروژهٔ همکاری تغییرات اقلیمی کانادا-چین انجام گرفته است. این نرم‌افزار برای محاسبهٔ روند شاخص‌های حدی دما و بارش توسعه یافته است (زانگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ زانگ و یانگ، ۲۰۰۴). تیم کارشناسی آشکارسازی و نمایش تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI)^۱ بر اساس مجموع استاندارد ۲۷ شاخص حدی در زبان برنامه‌نویسی R (R یک زبان، محیط محاسبه، و گرافیکی آماری است) (زانگ و یانگ، ۲۰۰۴) و بر اساس الگوریتم‌های بهبودیافته و کاهش خطای عددی طراحی کرده است. ETCCDI به صورت مشترک به وسیلهٔ کمیسیون اقلیم‌شناسی، سازمان جهانی هواشناسی و برنامهٔ جهانی دیدبانی داده‌ها، و تغییرپذیری و پیش‌بینی اقلیم (CLIVAR) حمایت می‌شود (سیلمن و روکتر، ۲۰۰۸). در این پژوهش از شاخص‌های حدی بارش، که در جدول ۱ مشخصات آن‌ها آورده شده، استفاده شده است. نرم‌افزار RCLimDex بر اساس آستانه‌های تعریف‌شده برای هر شاخص میزان شیب آن‌ها را در طی دورهٔ آماری محاسبه می‌کند.

1. expert team on climate change detection, monitoring and indices

جدول ۱. شاخص‌های حدی بارش

واحد	شاخص	ردیف
روز	تعداد روزهای با بارش سنگین (R10)	۱
روز	تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین (R20)	۲
میلی‌متر	روزهای خیلی مرطوب (R95p)، مجموع بارش روزهای متوالی با میزان بارش بیش از صدک ۹۵ دوره پایه (۱۹۸۲ - ۲۰۱۲)	۳
میلی‌متر	روزهای فوق‌العاده مرطوب (R99p)، مجموع بارش روزهای متوالی با میزان بارش بیش از صدک ۹۹ دوره پایه (۱۹۸۲ - ۲۰۱۲)	۴
روز	حداکثر طول دوره مرطوب (CWD)، طول حداکثر روزهای متوالی که بارش بیشتر از و مساوی با ۱ میلی‌متر است.	۵
روز	حداکثر طول دوره خشک (CDD)، طول حداکثر روزهای متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی‌متر است.	۶
میلی‌متر	حداکثر بارش ۲۴ ساعته (Rx1 day)	۷
میلی‌متر	حداکثر بارش پنج‌روزه (Rx5day)	۸
میلی‌متر	کل بارش سالانه در روزهای مرطوب (PRCPTOT)	۹

توصیف شاخص‌های فوق به صورت ذیل است:

۱. RX1day

RR_{ij} مقدار بارش روزانه در روز i و در دوره j . ارزش‌های حداکثر یک‌روزه در دوره j به صورت زیر است:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$$

۲. Rx5day

RR_{kj} مقدار بارش در مدت پنج روز در دوره j و پایان K . حداکثر ارزش‌های پنج‌روزه در دوره j به صورت زیر

است:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$$

۳. R10

RR_{ij} مقدار بارش روزانه در روز i و در دوره j . شمارش تعداد روزها به صورت زیر است:

$$RR_{ij} \geq 10mm$$

۴. R20

RR_{ij} مقدار بارش روزانه در روز i و در دوره j . شمارش تعداد روزها به صورت زیر است:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$

۵. CDD

RR_{ij} مقدار بارش روزانه در روز i و در دوره j . شمارش بیشترین روزهای متوالی از طریق زیر است:

$$RR_{ij} < 1mm$$

۶. CWD

RR_{ij} مقدار بارش روزانه در روز i و در دوره j . شمارش بیشترین روزهای متوالی از طریق زیر است:

$$RR_{ij} \geq 1mm$$

۷. R95pTOT

RR_{wj} مقدار بارش روزانه در یک روز مرطوب ($RR \geq 1.0mm$) در دوره j و RR_{wn95} صدک ۹۵ام

بارش در روزهای مرطوب است. بنابراین، اگر W نماینده تعداد روزهای مرطوب باشد، آن‌گاه:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$$

۸. R99p

RR_{wj} مقدار بارش روزانه در یک روز مرطوب ($RR \geq 1.0mm$) در دوره j و RR_{wn99} صدک ۹۹ام

بارش در روزهای مرطوب است. بنابراین، اگر W نماینده تعداد روزهای مرطوب باشد، آن‌گاه:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99}$$

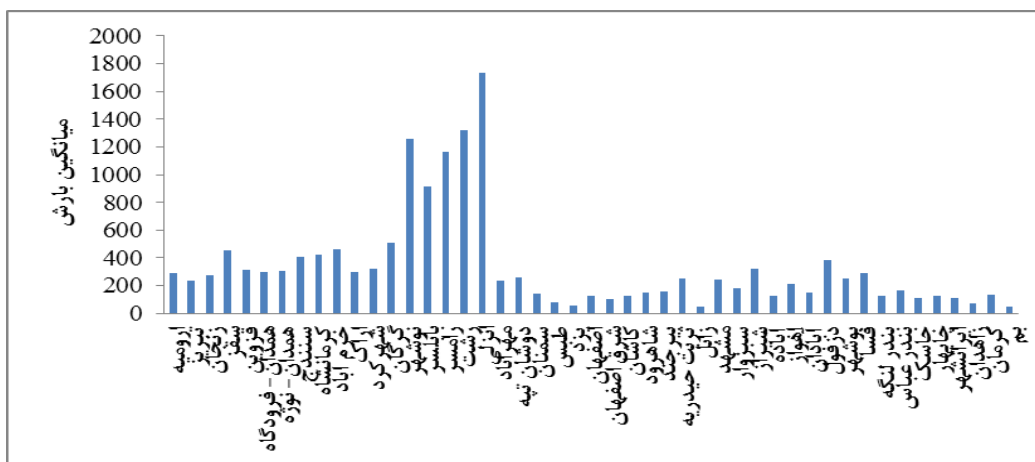
۹. PRCPTOT

RR_{ij} مقدار بارش روزانه در روز i و در دوره j . اگر I نماینده تعداد روزها در دوره j باشد، آن‌گاه:

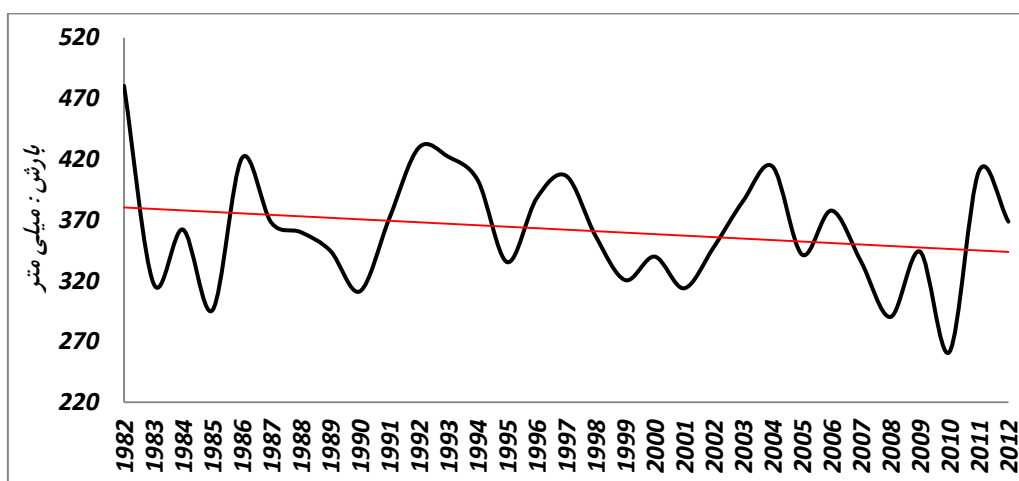
$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

یافته‌های پژوهش

با توجه به شرایط جغرافیایی و همچنین عملکرد و اثر سامانه‌های اقلیمی مختلف در ریزش‌های جوی ایران، مقدار بارش‌ها در مناطق گوناگون ایران تفاوت‌های زیادی دارد. به طور میانگین، در دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲، ایستگاه‌هایی مانند بم، زابل، یزد، طبس، جاسک، و زاهدان مقدار ریزش‌های جوی کمتر از ۸۰ میلی‌متر و ایستگاه‌های بندرانزلی، رشت، نوشهر، و رامسر مقدار بارش بالای ۱۰۰۰ میلی‌متر را تجربه کرده‌اند. ایستگاه انزلی، با حدود ۱۷۶۳ میلی‌متر بارش، در میان همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین بارش و ایستگاه زابل با حدود ۵۲ میلی‌متر کمترین بارش را در طی دوره مطالعاتی داشته است (شکل ۲).



شکل ۲. میانگین بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه (دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲)



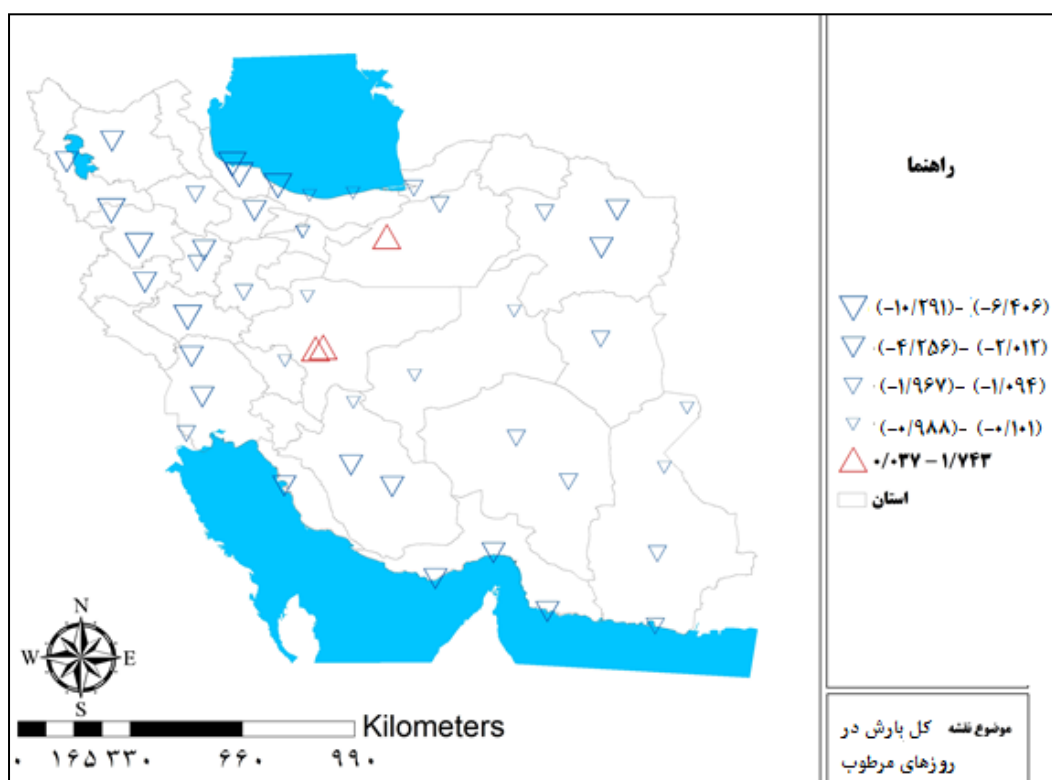
شکل ۳. تغییرات میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره مطالعاتی (۱۹۸۲ - ۲۰۱۲)

در کشور میزان بارش در سال‌های گوناگون دارای تغییرات زیادی است و از سالی به سال دیگر متفاوت است. به طور میانگین، بیشترین بارش همه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره زمانی ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ مربوط به سال ۱۹۸۲ به میزان حدود ۴۸۰ میلی‌متر و کمترین بارش نیز مربوط به سال ۲۰۱۰ به میزان حدود ۲۶۱ میلی‌متر است. البته، با توجه به دخیل نشدن بسیاری از ایستگاه‌های موجود، به خصوص نواحی داخلی و شرقی ایران، این مقدار بارش نمی‌تواند نماینده کل بارش ایران باشد (شکل ۳).

بر اساس یافته‌های پژوهش، روند شاخص‌های حدی بارش در دوره مطالعاتی ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ در ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت ذیل است:

شاخص PRCPTOT

بررسی شاخص کل بارش سالانه در روزهای مرطوب (PRCPTOT) در ایران نشان می‌دهد که در طی دوره مورد مطالعه شیب بارش در بیشتر ایستگاه‌ها کاهش یافته است. این شیب منفی در برخی مناطق شدیدتر و در برخی ملایم‌تر است. به طور میانگین، در کل ایران در دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ بارش کل سالانه حدود ۲/۵ میلی‌متر در سال با کاهش مواجه است. با توجه به روند داده‌های مشاهداتی، بیشترین شیب کاهش در شاخص PRCPTOT مربوط به ایستگاه رشت، سنندج، و سقز است. البته، علاوه بر این، ایستگاه‌های انزلی، رامسر، و خرم‌آباد نیز در دوره مطالعاتی شیب کاهش فراوانی دارند و تقریباً بالای ۶ میلی‌متر در سال با کاهش بارش مواجه است. به طور کلی، شیب بارش سالانه در ایران در ایستگاه‌های گوناگون تفاوت‌هایی دارد، اما آنچه از بررسی‌ها مشخص می‌شود این است که ایستگاه‌هایی که بارش بیشتری در سطح کشور دارند با شیب کاهش بیشتری نیز مواجه‌اند. علاوه بر این، از نظر جغرافیایی، ایستگاه‌های واقع در غرب کشور، ایستگاه‌های واقع در گستره کوه‌های زاگرس، ایستگاه‌های جنوبی کشور، و ایستگاه‌های واقع در شمال کشور روند کاهش شدیدتری، نسبت به سایر ایستگاه‌ها، دارند. همچنین، ایستگاه‌های اصفهان، شرق اصفهان، و سمنان نیز در دوره مطالعاتی با شیب افزایشی بارش مواجه بوده‌اند که بیشترین روند افزایشی نیز مربوط به ایستگاه اصفهان بوده است (شکل ۴).

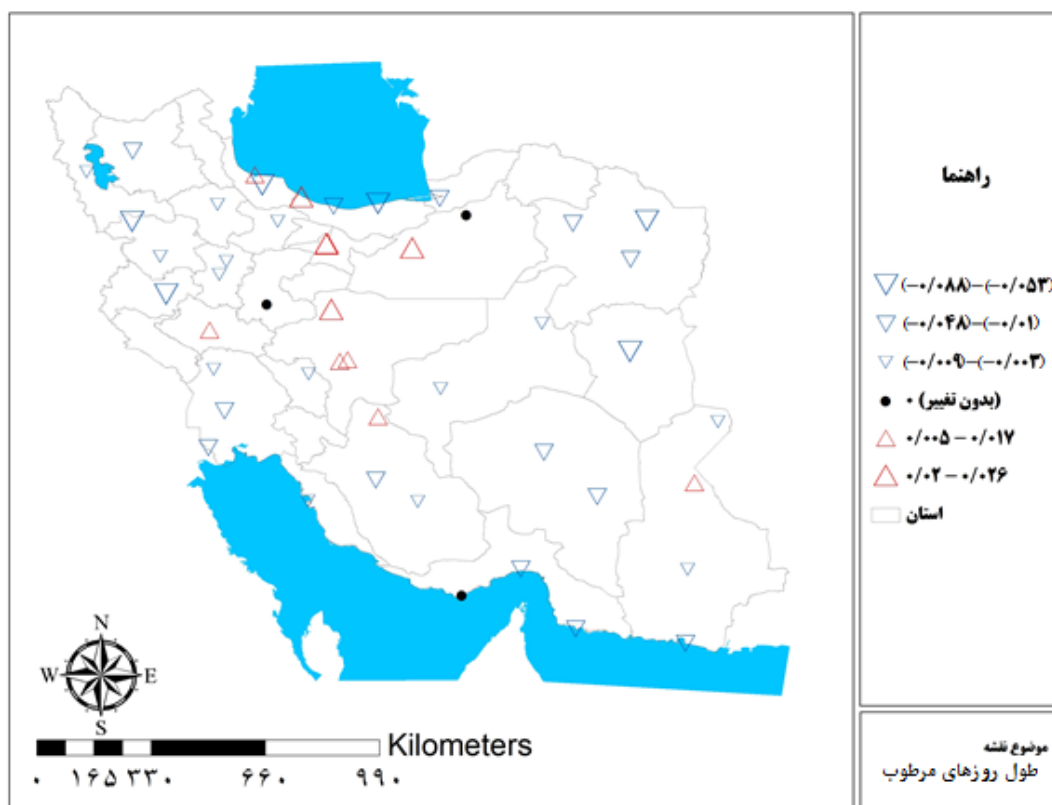


شکل ۴. شیب شاخص کل بارش سالانه در روزهای مرطوب (دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲)

طول روزهای مرطوب متوالی (CWD)

منظور از شاخص فوق حداکثر طول روزهای متوالی است که میزان بارش آن‌ها بیشتر و مساوی ۱ میلی‌متر است.

بررسی های انجام شده نشان می دهد در دوره مطالعاتی شاخص (CWD) در برخی مناطق دارای شیب کاهشی و در برخی مناطق دارای شیب افزایشی است و در برخی مناطق نیز هیچ روندی مشاهده نمی شود. از میان همه ایستگاهها حدود یازده ایستگاه از جمله کاشان، سمنان، رامسر، مهرآباد، دوشان تپه، زاهدان، خرم آباد، شرق اصفهان، اصفهان، انزلی، و آباده با روند افزایشی شاخص (CWD) مواجه اند. در ایستگاههای اراک، بندر لنگه، و شاهرود نیز هیچ روندی مشاهده نمی شود و در سایر ایستگاهها نیز روند کاهشی مشاهده می شود. در مورد روند شاخص (CWD) باید این نکته را یادآور شد که میزان روند این شاخص اندک و در برخی ایستگاهها نیز روندها قابل چشم پوشی است. بیشترین شیب افزایشی مربوط به ایستگاههای رامسر و کاشان و بیشترین شیب کاهشی نیز مربوط به ایستگاههای سقز و مشهد است (شکل ۵).

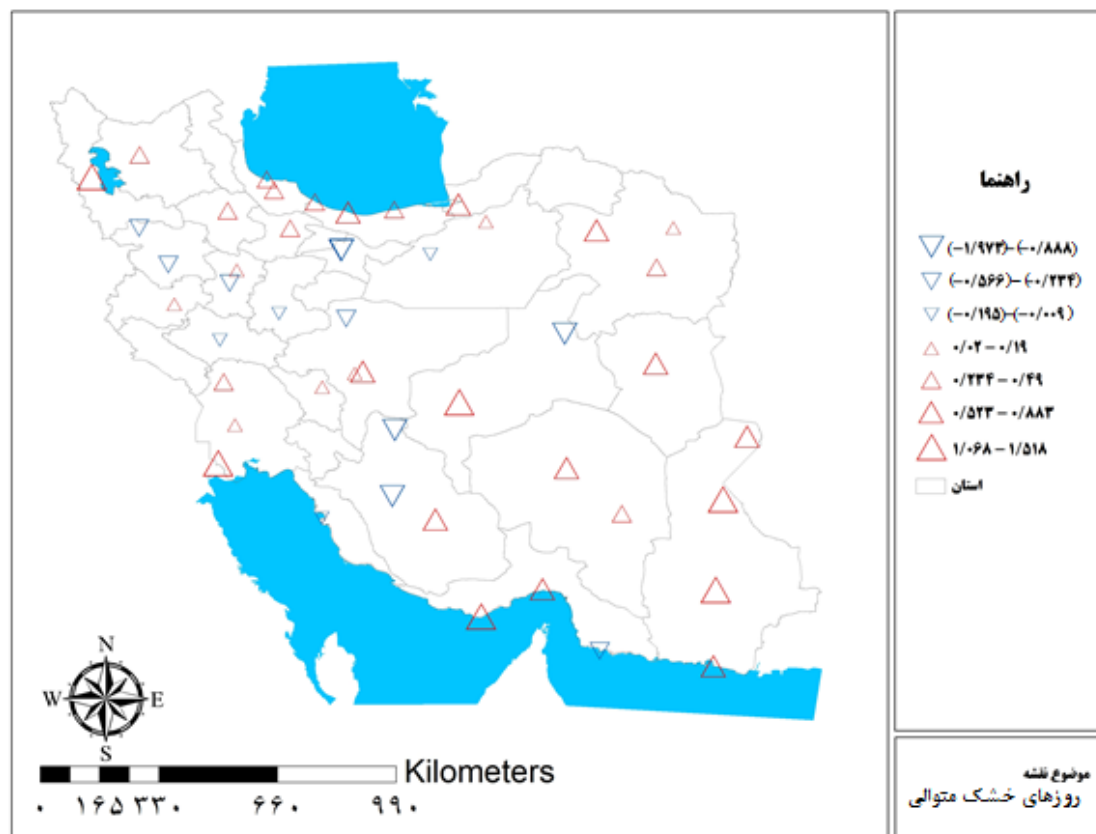


شکل ۵. شیب روزهای مرطوب متوالی (دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲)

طول روزهای خشک متوالی (CDD)

منظور از شاخص CDD حداکثر طول روزهای متوالی با بارندگی کمتر از ۱ میلی متر است. بررسی ها در دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ نشان می دهد در بیشتر ایستگاههای کشور شاخص CDD در حال افزایش است. تقریباً در ۷۲٫۵ درصد ایستگاهها این شاخص در حال افزایش و در ۲۷٫۵ درصد نیز با کاهش مواجه است. این امر نشان می دهد در سطح کشور تعداد روزهای بدون بارش در حال افزایش است. در مجموع، روند شاخص CDD نشان می دهد بیشتر ایستگاههای واقع در نواحی کم بارش جنوب و شرق کشور مانند زاهدان، کیش، آبادان، ایرانشهر، و بندر لنگه بیشترین شیب افزایشی را تجربه

کرده‌اند. همچنین، ایستگاه‌هایی مانند طبس، شیراز، دوشان تپه، آباده، کاشان، جاسک، سنج، همدان - فرودگاه، سقز، بوشهر، اراک، خرم‌آباد، و سمنان از نظر شاخص CDD با کاهش روبه‌رو می‌باشند. بیشترین شیب کاهش از این نظر مربوط به ایستگاه طبس است. در واقع، ایستگاه‌های واقع در دامنه‌های رشته‌کوه‌های زاگرس و برخی نواحی مرکزی کشور با کاهش روزهای خشک مواجه‌اند (شکل ۶).



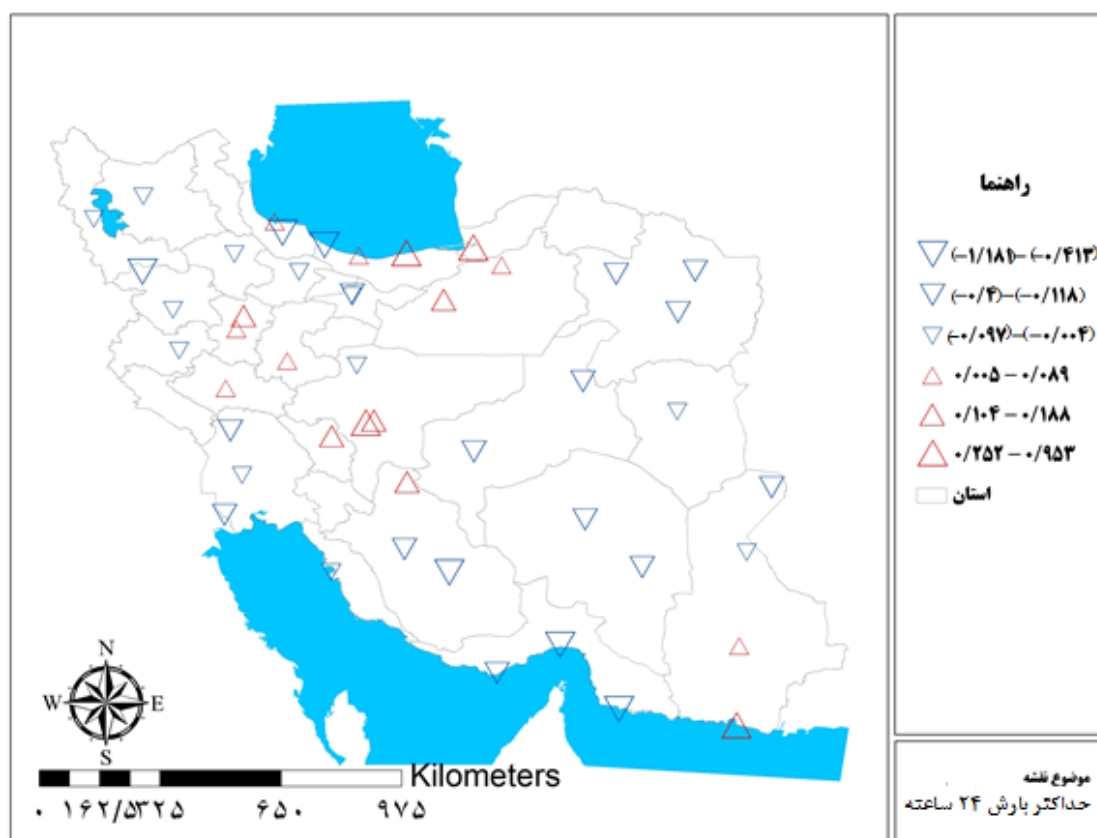
شکل ۶. شیب طول روزهای خشک متوالی

حداکثر بارش یک‌روزه (Rx1day)

در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین مقدار بارش ۲۴ ساعته مربوط به ایستگاه رامسر و بعد از آن ایستگاه نوشهر است. از نظر منطقه‌ای، بیشترین مقادیر بارش ۲۴ ساعته مربوط به ایستگاه‌های واقع در نوار ساحلی شمالی و بعد از آن ایستگاه‌های واقع در نوار جنوبی و جنوب غربی است. در واقع، یکی از عوامل مؤثر در میزان بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های مورد مطالعه دوری یا نزدیکی به منابع رطوبتی است. ایستگاه‌های واقع در مرکز و شرق ایران، نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه، از مقادیر کمتر بارش ۲۴ ساعته برخوردارند. از این نظر، ایستگاه‌های یزد، زابل، طبس، و بم کمترین مقادیر بارش ۲۴ ساعته را دارند.

بررسی بارش روزانه در سطح کشور حاکی است که حداکثر بارش یک‌روزه در دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ دارای روند و

تغییرات است؛ این روند در بین ایستگاه‌های گوناگون تفاوت‌هایی دارد و در همه نواحی کشور از یک روند یکسان برخوردار نیست. در مجموع، حدود ۳۵/۳ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه با افزایش شاخص حداکثر بارش یک‌روزه و حدود ۶۴/۷ درصد نیز با کاهش مواجه‌اند. البته، باید اشاره کرد مقدار شیب کاهشی شاخص، نسبت به مقدار شیب افزایشی در بین ایستگاه‌های گوناگون، بیشتر است. بیشترین مقدار شیب کاهشی حداکثر بارش یک‌روزه در دوره مطالعاتی مربوط به ایستگاه جاسک و بیشترین مقدار شیب افزایشی مربوط به ایستگاه چابهار است. از نظر مکانی، میزان روند در شاخص حداکثر بارش یک‌روزه در بین ایستگاه‌ها پراکنش منظم یا یکسانی ندارد و نمی‌توان در یک منطقه خاص روند کاهشی یا افزایشی مشاهده کرد. اما می‌توان گفت برخی ایستگاه‌های واقع در سواحل جنوب و شمال کشور مانند جاسک، رامسر، کیش، و بندرعباس دارای بیشترین روند کاهشی این شاخص در طول دوره آماری‌اند (شکل ۷).

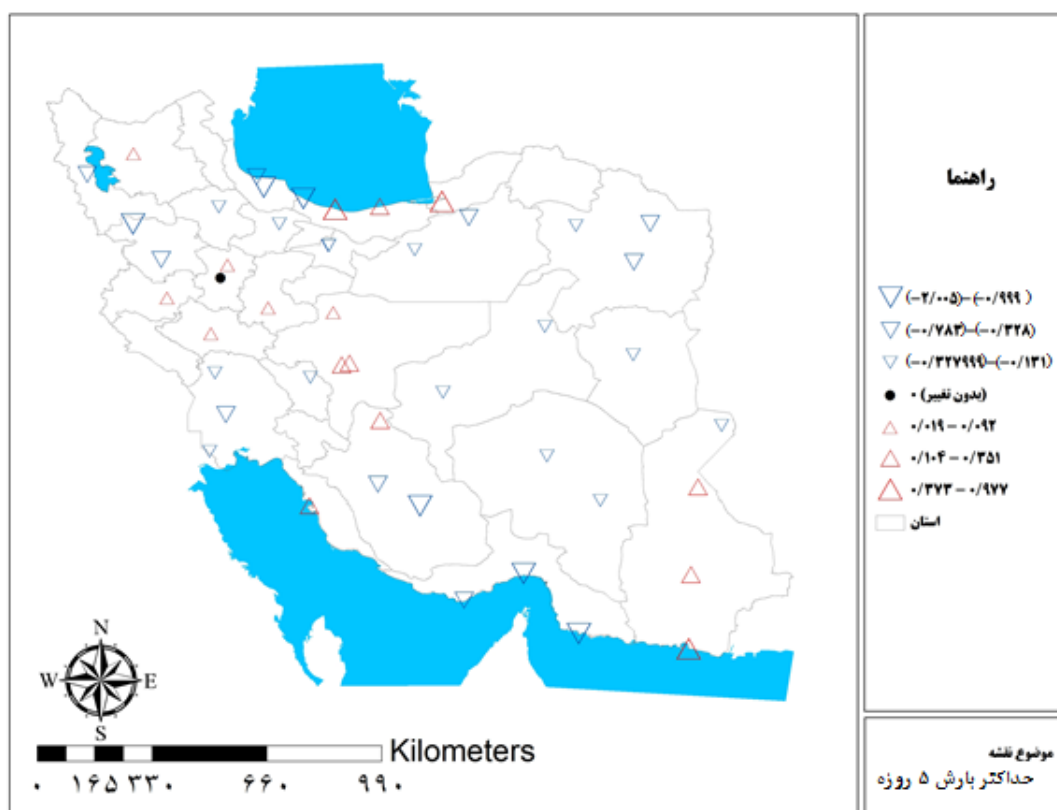


شکل ۷. شیب حداکثر بارش یک‌روزه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

حداکثر بارش پنج‌روزه (Rx5day)

منظور از شاخص فوق حداکثر بارش نازل شده در پنج روز متوالی است. روند شاخص Rx5day نشان می‌دهد حدود ۳۵/۳ درصد از ایستگاه‌ها روند افزایشی و حدود ۶۴/۷ درصد نیز روند کاهشی دارند. روند این شاخص از نظر منطقه‌ای به روند شاخص حداکثر بارش یک‌روزه (Rx1day) نزدیک است. بیشترین روند کاهشی در شاخص بارش پنج‌روزه مربوط به

ایستگاه رشت و بیشترین روند افزایشی نیز مربوط به ایستگاه نوشهر است. با توجه به بررسی‌ها، بیشترین روند کاهش‌ی و افزایشی حداکثر بارش پنج‌روزه در ایستگاه‌های واقع در سواحل دریای خزر و خلیج فارس رخ داده است. ایستگاه‌های رشت، رامسر، بندرعباس، و جاسک از جمله ایستگاه‌هایی هستند که در نواحی نزدیک به دریا با بیشترین روند کاهش‌ی حداکثر بارش پنج‌روزه مواجه‌اند. میزان کاهش در این ایستگاه‌ها بیشتر از ۱ میلی‌متر در سال است. از نظر افزایش حداکثر بارش پنج‌روزه نیز ایستگاه‌هایی همچون چابهار، نوشهر، گرگان، و اصفهان دارای بالاترین مقادیرند (شکل ۸).

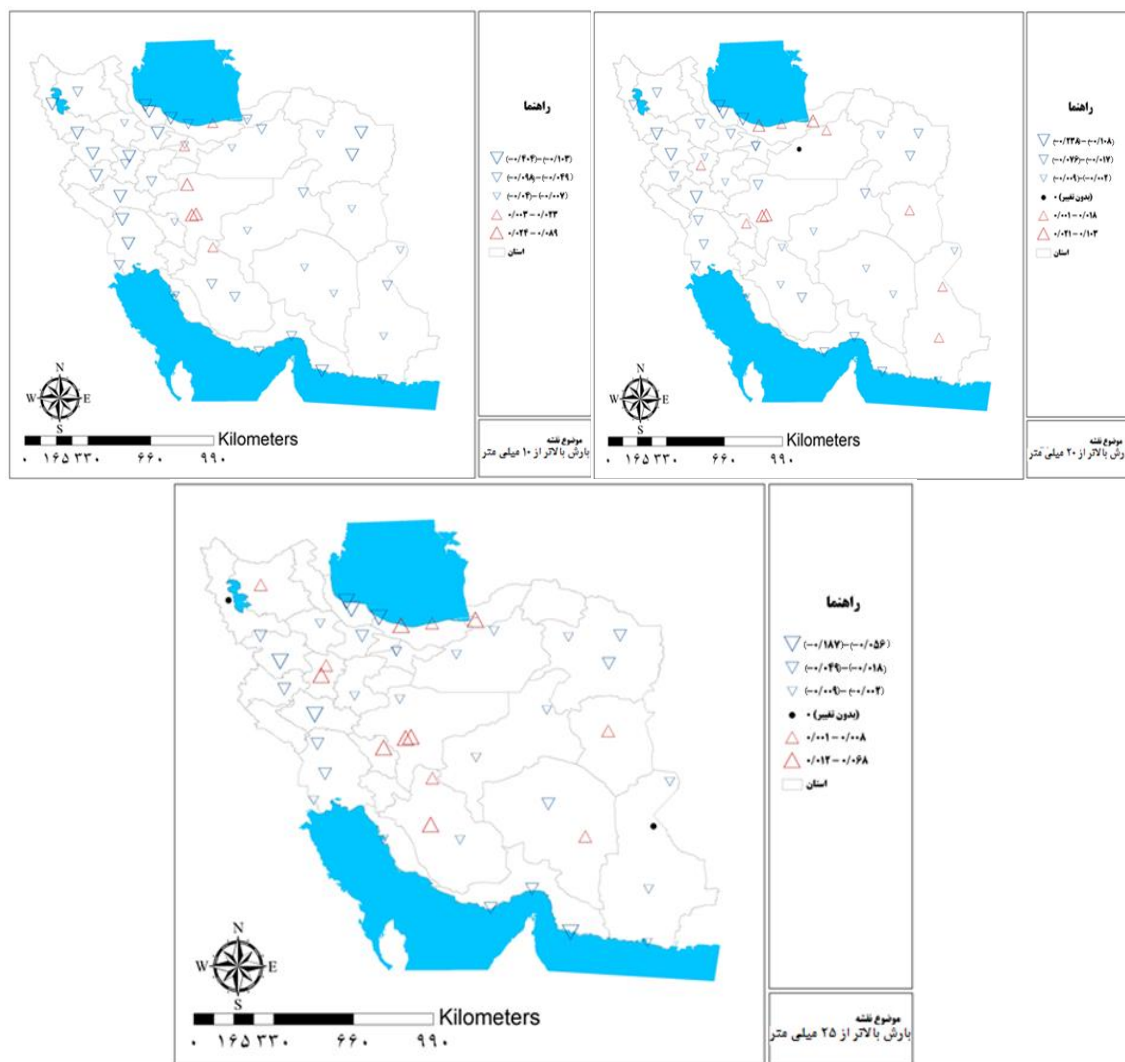


شکل ۸. شیب حداکثر بارش پنج‌روزه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

تعداد روزهای با بارش مساوی و بالاتر از ۱۰، ۲۰، و ۲۵ میلی‌متر (R 10 mm, R 20 mm, R 25 mm)

بررسی شاخص‌های فوق، که بیانگر تعداد روزهایی با بارش‌های سنگین و خیلی سنگین است، نشان‌دهنده تغییراتی در هر یک از آن‌هاست. میزان تغییرات و روند شدیدتر نیز بیشتر به سمت شیب کاهش‌ی متمایل است. از نظر شاخص R 10 mm، در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه حدود ۱۳/۳ درصد روند افزایشی دارند و حدود ۸۶/۳ درصد نیز روند کاهش‌ی دارند. بیشترین شیب افزایشی این شاخص مربوط به ایستگاه اصفهان است و در رتبه بعد ایستگاه‌های شرق اصفهان، کاشان، و آباد قرار دارند. از این نظر، ایستگاه سنندج بیشترین کاهش را در بین ایستگاه‌ها دارد و ایستگاه‌های خرم‌آباد، رشت، و سقز نیز در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در طی دوره مطالعاتی، حدود ۲۵/۵ درصد از ایستگاه‌ها از نظر شاخص R 20 mm روند افزایشی دارند و حدود ۷۴/۵ درصد نیز با شیب کاهش‌ی مواجه‌اند. ایستگاه‌های رشت، انزلی، سقز، سنندج، رامسر، و

خرم‌آباد به‌ترتیب بیشترین روند کاهشی را دارند و ایستگاه‌های نوشهر و اصفهان از بیشترین روند افزایشی برخوردارند و ایستگاه سمنان نیز در دوره مطالعاتی بدون هیچ گونه تغییری است. از نظر شاخص بارش مساوی و بالاتر از ۲۵ میلی‌متر R 25 mm، حدود ۲۹٫۴ درصد از ایستگاه‌ها دارای شیب افزایشی‌اند، ۶۶٫۶ درصد دارای شیب کاهشی، و حدود ۳٫۹ درصد نیز بدون تغییرند. از نظر شیب کاهشی، ایستگاه‌های واقع در سواحل خزر همچون رشت و انزلی بیشترین کاهش را تجربه کرده‌اند و ایستگاه‌های سنندج، خرم‌آباد، جاسک، رامسر، و بندرعباس نیز به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین، ایستگاه‌های نوشهر، گرگان، اصفهان، و شیراز به‌ترتیب با افزایش روزهای شاخص R 25 mm مواجه‌اند. با توجه به مطالب فوق، می‌توان به این مطلب اشاره کرد که در طی دوره مطالعاتی ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ شاخص‌های R 10 mm، R 20 mm، R 25 mm در بیشتر ایستگاه‌ها با کاهش مواجه است و شاخص R 10 mm روند کاهشی شدیدتری را داراست. در میان شاخص‌های سه‌گانه فوق شاخص R 25 mm روند ملایم‌تری در بین ایستگاه‌ها دارد (شکل ۹).

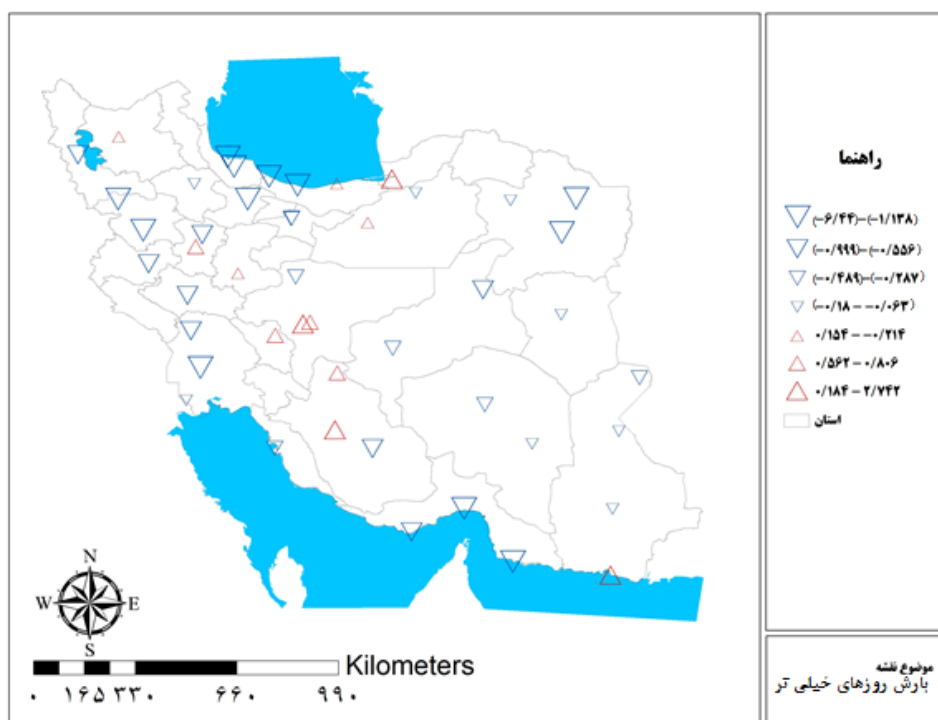


شکل ۹. شیب تعداد روزهای با بارش مساوی یا بالاتر از ۱۰، ۲۰، و ۲۵ میلی‌متر

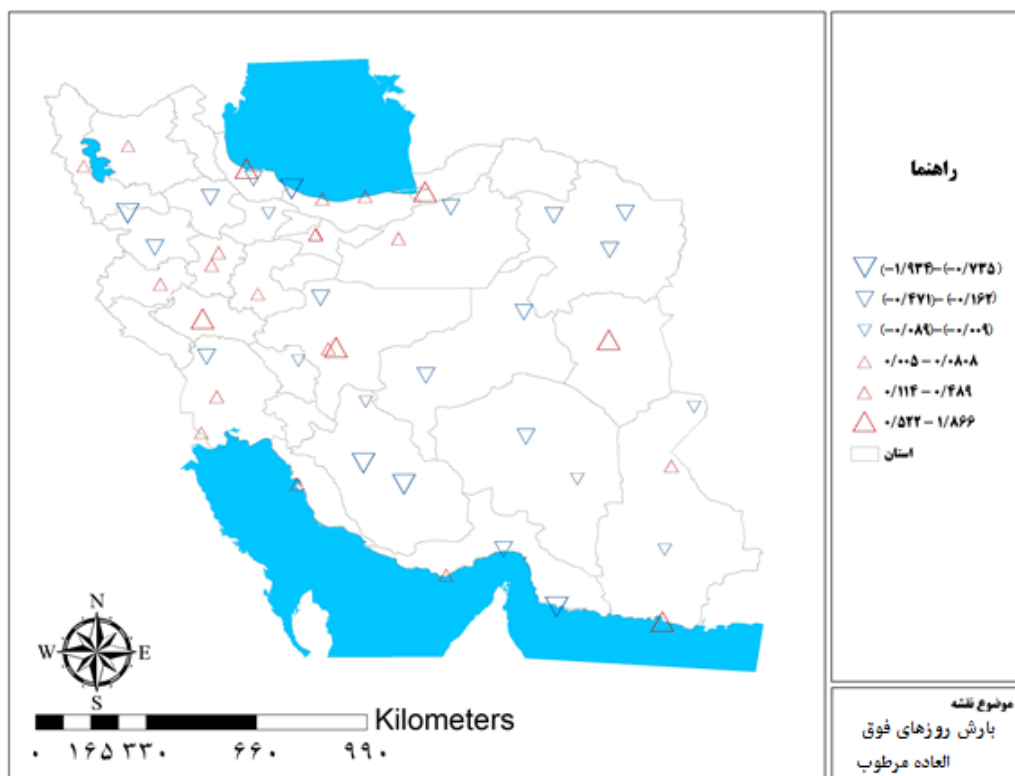
روزهای خیلی مرطوب (R95p) و روزهای فوق‌العاده مرطوب (R99p)

منظور از شاخص R95p، مجموع بارش روزهای متوالی با میزان بارش بیش از صدک ۹۵ دوره پایه و منظور از شاخص R99p مجموع بارش روزهای متوالی با میزان بارش بیش از صدک ۹۹ دوره پایه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در دوره مطالعاتی ایستگاه‌های کشور با تغییراتی از نظر شاخص‌های فوق‌مواجه است. از نظر شاخص R95p، روند کاهشی و افزایشی نسبت به سایر شاخص‌های مورد بررسی از شیب تندتری برخوردار است. در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه رامسر بیشترین شیب کاهشی شاخص R95p را تجربه کرده است. همچنین، از این نظر ایستگاه‌های سقز، رشت، سنندج، و بندرعباس نیز به ترتیب بعد از ایستگاه رامسر با بیشترین شیب کاهشی روزهای خیلی مرطوب مواجه بوده‌اند. ایستگاه گرگان بیشترین روند افزایشی شاخص مورد نظر را در بین ایستگاه‌ها داراست و ایستگاه‌های شیراز، بجنورد، اصفهان، و چابهار نیز به ترتیب در ردیف‌های بعدی قرار دارند (شکل ۱۰).

در دوره مشاهداتی ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲، مقادیر روند شاخص R99p با مقادیر روند شاخص R95p تفاوت‌هایی دارد؛ اولاً، روندهای شاخص R99p نسبت به شاخص R95p شیب ملایم‌تری دارد؛ ثانیاً، حدود ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها با شیب کاهشی و ۵۰ درصد نیز با شیب افزایشی روبه‌رو می‌باشند. از این نظر، ایستگاه‌های گرگان، چابهار، و انزلی به ترتیب بیشترین روند افزایشی شاخص R99p را دارند و از طرف دیگر ایستگاه رامسر بیشترین شیب کاهشی شاخص R99p را در بین همه ایستگاه‌های مورد مطالعه داراست. در مجموع، در خصوص شاخص روزهای فوق‌العاده مرطوب، ایستگاه‌های واقع در سواحل جنوب و شمال کشور تغییرات زیادی دارند؛ به طوری که در هر یک از روندهای افزایشی و کاهشی شدید ایستگاه‌های واقع در سواحل شمال و جنوب از سهم عمده‌ای برخوردارند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. شیب روزهای خیلی مرطوب و روزهای فوق‌العاده مرطوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۱۱. شیب روزهای فوق‌العاده مرطوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی در مناطق گوناگون جهان اثر می‌گذارد؛ این اثرها به گونه‌های مختلف نمود می‌یابد. یکی از اثرهای تغییر اقلیم دگرگونی شرایط هیدرواقلیمی است. تغییر الگوها و پراکنش زمانی - مکانی بارش‌ها از پیامدهای مهم تغییر اقلیم است. همچنین، تغییر رخدادها و شاخص‌های حدی بارش مانند حداکثر بارش ۲۴ ساعته، بارش‌های سنگین، و تعداد روزهای خشک از اثرهای تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود. از آنجا که رخدادهای فرین بارش نقش مهمی در بروز بلایای مرتبط با اقلیم دارد، مطالعه و بررسی رفتار این شاخص‌ها در بستر تغییرات اقلیمی اهمیت بسیاری دارد. تحقیق حاضر به منظور بررسی تغییرات و روند شاخص‌های حدی بارش در ایران انجام یافته است. نتایج این پژوهش، که برای دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ انجام گرفته، به طور خلاصه به صورت ذیل ارائه می‌شود:

به طور میانگین، در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۱۹۸۲ - ۲۰۱۲ شاخص بارش کل سالانه PRCPTOT حدود ۲/۵ میلی‌متر در سال با کاهش مواجه است. از این نظر، بیشتر ایستگاه‌های کشور با کاهش و ایستگاه‌های اصفهان، شرق اصفهان، سمنان، و بیرجند نیز در دوره مطالعاتی با کمی افزایش بارش مواجه بوده‌اند (شکل ۴). از نظر شاخص حداکثر طول روزهای مرطوب، در بیشتر ایستگاه‌ها روند کاهشی وجود دارد و فقط در یازده ایستگاه روند افزایشی مشاهده می‌شود (شکل ۵). حداکثر طول روزهای خشک در ۷۲/۵ درصد از ایستگاه‌ها در حال افزایش است و در ۲۷/۵ درصد نیز با کاهش مواجه است. بنابراین، در بیشتر ایستگاه‌های کشور طول دوره خشک و بدون بارش در حال افزایش است (شکل

۶. از نظر حداکثر بارش ۲۴ ساعته (Rx1day) و حداکثر بارش پنج‌روزه (Rx5day) و همچنین شاخص‌های روزهای خیلی مرطوب و روزهای فوق‌العاده مرطوب، بیشتر ایستگاه‌های کشور به‌خصوص ایستگاه‌های واقع در سواحل شمال کشور دارای شیب کاهشی است. بررسی‌ها نشان داد که شاخص‌های R 10 mm, R 20 mm, R 25 mm در بیشتر ایستگاه‌ها با کاهش مواجه است و شاخص R 10 mm روند کاهشی شدیدتری را داراست (شکل ۹). در مجموع، تغییرات و روند بارش در دوره مطالعاتی با نتایج سایر تحقیقات انجام‌شده در جهان (مانتون و همکاران، ۲۰۰۱؛ کلین و کونن، ۲۰۰۳؛ وارنر و همکاران، ۲۰۱۲) تطابق دارد؛ به طوری که در بیشتر تحقیقات روند در شاخص‌های حدی بارش مشاهده می‌شود، اما از نظر جهت روندها و تغییرات مکانی - زمانی تفاوت دارد. همچنین، نتیجه تحقیق حاضر با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه زانگ و همکاران (۲۰۰۵) در منطقه خاورمیانه و سایر مطالعات انجام‌شده در منطقه همخوانی نسبی دارد. در بیشتر این مطالعات، میزان کلی بارش‌های سالانه دارای شیب منفی است. بنابراین، با توجه به وضعیت منابع آب کشور و همچنین مدیریت ضعیف منابع آب در بخش‌های مختلف، بی‌نظمی بارش‌ها در کشور نیز یکی از عوامل هم‌افزا در ایجاد شرایط بحران آب در آینده خواهد بود. بروز ناهنجاری مکانی - زمانی در بارش‌های کشور و افزایش فراوانی و شدت خشک‌سالی‌ها موجب کاهش منابع آب در بخش‌های کشاورزی، شرب، و صنعت می‌شود. وابستگی بخش عمده جمعیت کشور به بخش کشاورزی لزوم توجه به روند و وضعیت بارش‌های کشور، آینده‌نگری درباره آن و همچنین اثرهای آن بر وضعیت کمی و کیفی منابع آب و مشخص کردن پهنه‌های آسیب‌پذیر کشور را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

منابع

- اسدی، ا. و حیدری، ع. (۱۳۹۰). تحلیل تغییرات سری‌های دما و بارش شیراز طی دوره ۲۰۰۵ - ۱۹۵۱، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۲(۴۱): ۱۳۷ - ۱۵۲.
- تقوی، ف. و محمدی، ح. (۱۳۸۶). بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست‌محیطی، *محیط‌شناسی*، ۳۳(۴۳): ۱۱ - ۲۰.
- رحیم‌زاده، ف.؛ دزفولی، ه. و پوراصغریان، آ. (۱۳۹۰). ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش استان هرمزگان، *مجله توسعه جغرافیایی*، ۲۱: ۹۷ - ۱۱۶.
- عساکره، ح. (۱۳۹۱). تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۳(۴۵): ۵۱ - ۶۶.
- عسگری، ا.؛ رحیم‌زاده، ف.؛ محمدیان، ن.؛ و فتاحی، ا. (۱۳۸۶). تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۳(۳): ۳ - ۱۱.
- کنیرایی، پ.س.؛ حجام، س. و ایران‌نژاد، پ. (۱۳۸۶). سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۳(۱): ۶۷ - ۸۳.
- محمدی، ح. و تقوی، ف. (۱۳۸۴). روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۵۳: ۱۵۱ - ۱۷۲.
- هدایتی، ا. (۱۳۸۲). تحلیلی بر تغییرات تاریخ شروع بارش و روند آن در تهران، *سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم*، اصفهان.
- Asadi, A. and Heydari, A. (2012). Analysis of change series of temperature and precipitation in Shiraz, during 2005-1951, *Geography and Environmental Planning Journal*, 22(41): 137-152.
- Asakereh, H. (2013). Changes in extreme frequency precipitation in Zanjan, *Geography and Environmental Planning*, 23(45): 51-66.

- Asgari, A.; Rahimzadeh, F.; Mohammadian, N. and Fatahi, A. (2007). Analysis of extreme precipitation indices trend in Iran, *Iran-Water Resources Research*, 3(3).
- Brown, P, Raymond .J., Bradley S., Keimig F. T. (2010). Changes in Extreme Climate Indices for the Northeastern United States, 1870–2005, *Journal of Climate*, 23: 6555-6572.
- Chieh-Kao S and Ganguly, A.R. (2011). Intensity, duration, and frequency of precipitation extremes under 21st-century warming scenarios, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116, D16119, doi:10.1029/2010JD015529, 2011.
- Gajic-Capka, M. and Cindric, K. (2011). Secular trends in indices of precipitation extremes in Croatia, 1901-2008, *Geofizika*, 28: 2011.
- Hedayati, A. (2004). Analysis of changes in precipitation Start date and trends in Tehran, *Third regional conference and first International Conference Climate Change*, Esfahan.
- Katirai, P.S.; Hejam, S. and Irannejad, P. (2007). Daly precipitation frequency and intensity changes in precipitation trend distribution over 1960-2001, *Journal of the Earth and Space Physics*, 33(1): 67-83.
- Klein tank, A.M.G. and Konnen, G.P. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99, *Journal of Climate*, 16: 3665-3680.
- Manton, M.J.; Della-Marta, P.M. ; Haylock, M.R.; hennessy, K.J.; Nicholls, N.; Chambers, L.E.; Colins, D.A.; Daw, G.; Finet, A.; Gunawan, D.; Inape, K.; Isobe, H.; Kestin, T.S.; Lefale, P.; Lyu, C.H.; Lwin, T.; Maitrepierre, L.; Ouprasitwong, N.; Page, C.M.; Pahalad, J.; Plummer, N.; Salinger, M.J.; Suppiah, R.; Tran, V.L.; Trewin, B.; Tibig, I. and Yee, D. (2001). Trends iv extreme Daly Rainfall and Temperature in Southeast Asia and south Pacific: 1961- 1998, *International Journal of Climatology*, 21: 269-284.
- New ,M.; Hewitson ,B.; Stephenson ,D. B.; Tsigas, A.; Kruger .A.;Manhique .A.; Gomez. B.; Coelho ,Caio A. S.; Dorcas ,N M.; Skansi. M de los M.; Manola ,B.; Javier .S.; Aguilar, E .; Groening ,J A A .; Bentancur ,O J .; Geier ,Y. R. C.; Amaya ,R. L. C .; Jácome ,H .; Ramos ,A. M .; Rojas, C. O , Pasten, A. M , Mitro ,S .S , Jiménez ,C. V .; Martínez, R .; Alexander, L. V , Jones ,P.D. (2013). Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America, *Global and planetary change*, 100: 295-307.
- Mohammadi, H. and Taghavi, F. (2005). Temperature and Precipitation extreme trend in Tehran, *Physical Geography Researches*, 53: 151-172.
- Poortinga, W; Spence, Alexa; Whitmarsh, Lorraine; Capstick, Stuart; Pidgeon, Nick F. (2011). Uncertain climate: An investigation into public scepticism about anthropogenic climate change, *Global Environmental Change*, 21: 1015-1024.
- Rajabi, Ahmad and Shabanlou, Saeid (2012). The Analysis of Uncertainty of Climate Change by Means of SDSM Model Case Study: Kermanshah, *World Applied Sciences Journal*, 23(10): 1392-1398.
- Sillmann, J. and Roeckner, E. (2008). Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change, *Climatic Change*, 86: 83-104.
- Taghvi, F. and Mohammadi, H. (2007). Study of return period of climate extreme events in order to identify environmental impacts, *Journal of Environmental Studies*, 133(43): 11-20.
- Warner, M.D.; Mass, C.F. and Salathe, E.P. (2012). Wintertime Extreme Precipitation Events along the Pacific Northwest Coast: Climatology and Synoptic Evolution, *Monthly Weather Review*, Vol. 140, July 2012, DOI: 10.1175/MWR-D-11-00197.1
- Yan, L. and Zheng, M. (2015). Influence of climate change on saline lakes of the Tibet Plateau, *Geomorphology*, 246: 67-78.
- Zhang, X. and Yang, F. (2004). RClimDex (1.0) User Manual, *Climate Research Branch Environment Canada Downsview*, Ontario Canada.
- Zhang, X.; Aguilar,E.; Sensoy,S.; Melkonyan,H.; Tagiyeva,U.; Ahmed N.; Kutaladze, N.; Rahimzadeh,F.; Taghipour,A.; Hantosh ,T. H.; Albert P.; Semawi ,M.; Karam Ali, M.; Al-Shabibi, M. H. S.; Al-Oulan, Z.; Zatar, T.; Al Dean Khelet, I.; Hamoud,S.; Sagir,R.; Demircan, M.; Eken ,M.; Adiguzel,M.; Lisa, A.; Peterson, T. C. ;Wallis ,T .(2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110.
- Zia Hashmi, M.;Shamseldin, A. Y.; Melville, B. W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed, *Stoch Environ Res Risk Assess*, 25: 475.