نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره پیاپی ۳، پاییز ۱۳۹۳
صفحات ۱۰۳-۸۵

# بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند نمایه‌های حدی بارش ایران زمین

ام السلمه بابایی فینی، استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه پیام نور
الهه قاسمی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی
ابراهیم فتاحی، دانشیار اقلیم‌شناسی، پژوهشکده هواشناسی[۱]

دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۲۰ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۳/۲۷

**چکیده**

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، که در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است، هر ساله شاهد رویدادهای حدی بارش کم (خشکسالی) و رویدادهای حدی بارش زیاد (رخداد سیل) هستیم. از این رو، ضرورت بررسی مقادیر حدی بارش و حرکت و فراوانی رخداد این کمیت طی دوره‌های گذشته و، همچنین، تأثیر گرمایش جهانی بر حرکت مقادیر حدی بارش طی دوره‌های آتی کاملاً احساس می‌شود. بنابراین، در این مطالعه نمایه‌های حدی بارش طی دوره‌های گذشته (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) در دو سناریوِ A۲ و A۱B بر اساس مدل HadCM۳ بررسی و مقایسه شده است. این بررسی در سناریوِ A۲ روند افزایشی رویدادهای حداکثر بارش یک‌روزه در مناطق شمال غربی (جز استان آذربایجان غربی)، مرکزی و جنوب غربی و شمال شرقی و سواحل غربی دریای خزر را پیش‌بینی کرده است. همچنین، افزایش روند تعداد روزهای خشک متوالی در مناطق شمال شرقی، مرکزی و جنوبی کشور مشاهده می‌گردد. نتایج حاصل از سناریوِ A۱B نشان داده است مقدار بارش ۲۴ ساعته در دوره‌ی آتی در مناطق شرقی و شمال شرقی و مرکزی همچنین نوار باریکی از بخش‌های غربی، جنوب غربی و شمال غربی کشور با کاهش همراه است. نتایج حاصل از پیش‌آگاهی برون‌داد مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B در خصوص رویدادهای حداکثر بارش پنج‌روزه روند بسیار مشابه‌ای با الگوی حاصل از سناریوِ A۲ داشته است. نمایه‌ی SDII در بخش شمالی و غربی کشور افزایش نشان می‌دهد و در سایر مناطق کشور روند منفی خواهد داشت. روند مثبت در تعداد روزهای با بارش سنگین به بخش‌های از استان اصفهان، مرکزی، کهکیلویه و بویراحمد، لرستان، ایلام، چهارمحال بختیاری و خوزستان در غرب و جنوب غرب کشور محدود شده و در سایر بخش‌ها با کاهش این نمایه روبه‌رو خواهیم بود. افزایش روند خطی نمایه‌ی حداکثر تعداد روزهای متوالی‌تر (CWD) در مناطق غربی، جنوب غربی و شمال شرقی کشور و افزایش تعداد روزهای متوالی خشک در مناطق شمال شرقی، مرکزی و بخش‌هایی از جنوب کشور و، همچنین، جمع بارش سالانه و روزهای تر در نواحی غربی و جنوب غربی، جنوبی، شمال غربی و بخش‌هایی از شرق کشور افزایش نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، نمایه‌های حدی، بارش، روند، ایران.

[۱]- نویسنده‌ی مسئول
Email: ebfat۲۰۰۲@yahoo.com



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

## مقدمه

یکی از پیامدهای افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در دهه‌های اخیر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، خصوصاً $CO_2$، در جو کره‌ی زمین است که باعث تغییراتی در اقلیم کره‌ی زمین شده است (IPCC-۲۰۰۷) و، به تبع آن، وقایع حدی آب و هوایی را متأثر ساخته است. شایع‌ترین رویدادهای حدی مواردی چون موج‌های سرمایی، باران‌های سیل‌آسا، گردبادها و توفان‌های شدید است (تقوی و همکاران، ۱۳۹۰). از مطالعاتی که در زمینه‌ی بررسی روند وقایع حدی در سطح جهان صورت گرفته می‌توان به مطالعه‌ی وقایع حدی دما فریچ و همکاران (Frich, ۲۰۰۲) در مقیاس جهانی اشاره کرد که نتایج آن حاکی از کاهش تعداد روزهای یخبندان در عرض‌های بالا و میانی نیم‌کره‌ی شمالی و افزایش دوره‌ی رویش در مقیاس جهانی به‌طور متوسط به مدت یک هفته در طول قرن بیستم بوده است. زنگ و همکاران (Zhang, et.al., ۲۰۰۵) وقایع حدی دما و بارش را در منطقه‌ی خاورمیانه در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۵۰-۲۰۰۳ بررسی کردند.

رحیم‌زاده و همکاران (Rahimzadeh,et.al., ۲۰۰۸) با بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران در دوره‌ی ۱۹۵۱-۲۰۰۳ نتیجه گرفتند که نمایه‌های حدی همچون روزهای یخبندان، روزهای یخی، روزهای سرد، شب‌های سرد و دامنه‌ی تغییرات شبانه‌روزی دما دارای روند کاهشی و نمایه‌هایی چون روزهای تابستانی، روزهای گرم و شب‌های گرم دارای روند افزایشی بودند. عسگری و همکاران (۱۳۸۶) نمایه‌های حدی بارش را در دوره‌ی ۲۰۰۳-۱۹۵۱ محاسبه و سه حالت ایستا، روند مثبت و منفی را در نمایه‌های فوق مشاهده کردند. بابائیان و نجفی‌نیک (۱۳۸۹) تغییرات اقلیمی استان خراسان رضوی را در افق ۱۴۰۰ با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G در دوره‌ی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که، در مجموع، بارش سالانه در دوره‌ی مورد نظر از دوره‌ی پایه (۱۹۸۸-۲۰۰۴) ده درصد کاهش و، به رغم این کاهش، آستانه‌ی بارش‌های سنگین و خیلی سنگین افزایش خواهد یافت و دما نیز به میزان ۸/۱ درجه افزایش خواهد داشت. خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱) با کمک مدل Lars-WG تعداد روزهای داغ و یخبندان، تعداد روزهای بارانی و فراوانی روزهای تر و خشک را در منطقه‌ی سنندج مطالعه کردند که، با توجه به طول دوره‌ی بیشتر روزهای خشک از روزهای تر، این منطقه را مستعد بروز خشکسالی ارزیابی کردند. اسدی و مسعودیان (۱۳۹۳) روند زمانی- مکانی گرماهای فرین کشور را با استفاده از روش کریجینگ در بازه‌ی زمانی ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ مطالعه کردند و برای شناسایی روزهای فرین گرم از نمایه‌ی انحراف به‌هنجار شده‌ی دما (NTD) بهره بردند.

مطالعه‌ی مقادیر حدی بارش و رویدادهای حدی ناشی از آن اهمیت ویژه‌ای در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های بخش‌هایی مانند کشاورزی، مدیریت آب، شهرسازی، ساختمان و راه و ترابری دارد. همان‌گونه که برشمردیم تاکنون در مطالعات متعددی تغییرات بارش و دما در دهه‌های آتیِ مناطق گوناگون کشور بررسی شده‌اند، اما به چگونگی تغییرات روند نمایه‌های حدی وابسته‌ی آن‌ها در دهه‌های آینده کمتر توجه شده است. از این رو، در این مطالعه، با پیش‌آگاهی از تغییرات بارش در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ با استفاده برون‌داد سناریوی اقلیمی HadCM۳ و الگوی ریزمقیاس نمایی LARSE-WG، تغییرات بارش در سطح کشور (۲۷ ایستگاه منتخب) در دوره‌ی مورد نظر و دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) پایش و نمایه‌های حدی وابسته به آن با بسته نرم‌افزار RclimDex ارزیابی شدند. گفتنی است بررسی نمایه‌های وابسته به بارش در دوره‌ی پایه به جهت مقایسه‌ی تغییرات نمایه‌های مورد نظر در دوره‌ی آتی صورت گرفته است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر می‌تواند در زمینه‌ی مدیریت منابع آب و کشاورزی به‌کار گرفته شود.

## داده‌ها و روش‌کار

### الف) داده ها



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

مقیاس زمانی متغییرهای مطالعه در این تحقیق داده‌های روزانه است. برای توصیف دقیق ویژگی‌های مکانی و زمانی روزانه و حدی بارش، سری‌های زمانی با دوره‌ی تناوب طولانی و مقادیر همگن داده‌های روزانه (فاقد تغییر مکانی و محیطی جدی) مورد نیاز است (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴). برای این منظور، پس از بررسی شناسه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، به استناد مطالعات عسگری و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی نمایه‌های حدی بارش در سطح کشور در دوره‌ی پایه و، همچنین، مطالعات رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران، ایستگاه‌هایی انتخاب گردیدند که ناهمگنی داده‌های آن‌ها از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۳ طبیعی تشخیص داده شدند و دوره‌ی آماری آن‌ها دوره‌ی آماری نرمال استاندارد ۱۹۶۱- ۱۹۹۰ را (۲۷ ایستگاه). پوشش می‌دادند. جدول شماره‌ی ۱ نام و مشخصات ایستگاه‌هایی را نشان می‌دهد که مشخصات مذکور را در سطح کشور دارا هستند.

**جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های منتخب**

| ایستگاه | طول | | عرض | | ارتفاع | ایستگاه | طول | | عرض | | ارتفاع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دقیقه | درجه | دقیقه | درجه | | | دقیقه | درجه | دقیقه | درجه | |
| آبادان | ۱۵ | ۴۸ | ۲۲ | ۳۰ | ۶ | رامسر | ۴۰ | ۵۰ | ۵۴ | ۳۶ | -۲۰ |
| اراک | ۴۶ | ۴۹ | ۶ | ۳۴ | ۱۷۰۸ | رشت | ۳۹ | ۴۹ | ۱۲ | ۳۷ | ۳۸ |
| ارومیه | ۵ | ۴۵ | ۳۲ | ۳۷ | ۱۳۱۲ | زاهدان | ۵۳ | ۶۰ | ۲۸ | ۲۹ | ۱۳۷۰ |
| اصفهان | ۵۲ | ۵۱ | ۴۰ | ۳۲ | ۱۶۰۰ | زنجان | ۴۱ | ۴۸ | ۴۱ | ۳۶ | ۱۶۶۳ |
| بم | ۲۱ | ۵۸ | ۹ | ۲۶ | ۱۰۶۷ | سقز | ۱۶ | ۴۶ | ۱۵ | ۳۶ | ۱۵۲۳ |
| بندر انزلی | ۲۸ | ۴۹ | ۲۸ | ۳۸ | -۲۶ | سنندج | ۰ | ۴۷ | ۲۰ | ۳۵ | ۱۳۷۳ |
| بندرعباس | ۲۳ | ۵۶ | ۱۳ | ۲۷ | ۱۰ | شاهرود | ۵۷ | ۵۴ | ۲۵ | ۳۶ | ۱۳۴۵ |
| بوشهر | ۵۰ | ۵۰ | ۵۹ | ۲۸ | ۱۹.۶ | شهرکرد | ۵۱ | ۵۰ | ۲۰ | ۳۲ | ۲۰۶۱ |
| بیرجند | ۱۲ | ۵۹ | ۵۲ | ۳۲ | ۱۴۹۱ | شیراز | ۳۶ | ۵۲ | ۳۳ | ۲۹ | ۱۴۸۸ |
| تبریز | ۱۷ | ۴۶ | ۵ | ۳۸ | ۱۳۶۱ | قزوین | ۰ | ۵۰ | ۱۵ | ۳۶ | ۱۲۷۸ |
| تربیت حیدریه | ۱۳ | ۵۹ | ۱۶ | ۳۵ | ۱۴۵۱ | کرمانشاه | ۷ | ۴۷ | ۱۹ | ۳۴ | ۱۳۲۲ |
| تهران | ۱۹ | ۵۱ | ۴۱ | ۳۵ | ۱۱۹۱ | مشهد | ۳۸ | ۵۹ | ۱۶ | ۳۶ | ۹۹۰ |
| خرم‌آباد | ۱۷ | ۴۸ | ۲۶ | ۳۳ | ۱۱۴۸ | یزد | ۲۴ | ۵۴ | ۵۴ | ۳۱ | ۱۲۳۰ |
| خوی | ۵۸ | ۴۴ | ۳۳ | ۳۸ | ۱۱۰۳ | | | | | | |

**ب) سناریوِهای اقلیمی و سناریوِهای انتشار**

معتبرترین ابزار برای تهیه‌ی سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM است (IPCC, ۲۰۰۷) که از معروف‌ترین آن‌ها مدل HadCM۳ را می‌توان نام برد. مطالعات انجام شده گواهی می‌دهد که این مدل عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی دما و بارش در



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

سطح کشور دارد (مساح و مرید، ۱۳۸۴؛ کمال و مساح، ۱۳۸۹؛ گل محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). از این رو، در این تحقیق، خروجی مدل HadCM۳ از مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی Hadley انگلستان استفاده شد که قادر است داده‌های اقلیمی را در مقیاس ۲/۵ درجه (عرض جغرافیایی) × ۳/۷۵ درجه (طول جغرافیایی) برای سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۹۹ شبیه‌سازی کند (Laurens, ۲۰۰۴). جدول شماره‌ی ۲ مشخصات این مدل را نشان می‌دهد.

**جدول ۲. مشخصات مدل‌های HADCM۳ موجود در DDC مربوط به پایگاه اطلاع‌رسانی** (IPCC-TGCIA, ۱۹۹۹)

| نام مدل | گروه مؤسس | سناریوی شبیه‌سازی | قدرت تفکیک | |
|---|---|---|---|---|
| | | | اتمسفری | اقیانوسی |
| HadCM۳ | HCCPR (UK) | A۲, A۲b, A۲c, B۲ | ۳/۷۵ × ۲/۵ | ۳/۷۵ × ۲/۵ |

مدل‌های AOGCM قادرند سیستم‌های اقلیمی را تحت سناریوهای گوناگون شبیه‌سازی کنند. مهم‌ترین این سناریوها را IPCC در سال ۲۰۰۰ و تحت عنوان مجموعه‌ی سناریوهای انتشار SRES[۲] ارائه کرد که به شش دسته ( A۱FI، A۱T، A۱B، A۲، B۱ و B۲) تقسیم می‌شوند. این سناریوها بر اساس پیشرفت‌های اجتماعی ـ اقتصادی و تجمع گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق تعریف می‌شوند(WMO, ۲۰۰۷). در این تحقیق، از بین سناریوهای مذکور، سناریوِ انتشار A۲ و A۱B انتخاب شده است که شرایط بدبیانه و بسیار بدبینانه را در آینده متصورند. در سناریوِ A۲ بر رشد متوسط اقتصاد، تکنولوژی و درصد رشد سریع جمعیت و در سناریوِ A۱B بر رشد اقتصادی بسیار سریع جهان آینده و توسعه‌ی چشمگیر تکنولوژی و، همچنین، استفاده افراطی از سوخت‌های فسیلی تأکید شده است.

**ج) معرفی مدل LARS-WG**

با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن مدل‌های گردش عمومی جو، یکی از راهکارهای فائق آمدن بر نقیصه‌ی تفکیک فضایی کم این مدل‌ها استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری است. از جمله‌ی این مدل‌ها مدل LARS-WG است که برای ریزمقیاس نمایی از روش‌های آماری استفاده می‌کند. این مدل یکی از معروف‌ترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه‌ی حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه برای اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود.

اولین نسخه‌ی LARS-WG در سال ۱۹۹۰ به صورت ابزاری برای ریزمقیاس نمایی آماری در بوداپستِ مجارستان ابداع شد. مدلLARS-WG متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را برای مدل‌سازی به‌کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش توزیع نیمه‌تجربی است (Harmel, et al., ۲۰۰۲).

شبیه‌سازی بارندگی بر اساس روزهای تر و خشک مدل‌سازی می‌شود. این در حالی است که روزهای تر به روزی اطلاق می‌شود که بارندگی بیشتر از ۰ میلی‌متر باشد. طول هر سری اتفاقی در هر ماه انتخاب می‌شوند. برای تعیین توزیع‌ها، داده‌های مشاهده شده در دوره‌ی گذشته نیز در همان ماه جای می‌گیرند. برای محاسبه‌ی روزهای خشک، میزان بارندگی از توزیع نیمه‌تجربی بارندگی برای ماه خاصی ایجاد می‌شود که به سری‌های تر یا به میزان بارندگی در روز قبل بستگی ندارد( Mikhail, et al, ۲۰۰۲). سری‌های فوریه درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه مدل‌سازی می‌شوند که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد

[۲] Special Report on Emissions Scenarios



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

نظر هستند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی با توزیع نرمال به کار می‌روند. سری‌های فوریه شبیه‌سازی شده برای میانگین‌های مقادیر مشاهده شده متناسب هستند. پیش از متناسب کردن مقادیر سری‌های فوریه، انحراف معیار مقادیر دیدبانی برای هر ماه به منظور تخمین میانگین انحراف معیار روزانه تنظیم شده‌اند. توضیح ساده این‌که، هر دوِ این‌ها برای مقادیر تر و خشک در طول یک سال ثابت در نظر گرفته شده‌اند. مقادیر باقی مانده در تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های کمینه و بیشینه استفاده می‌شوند که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیدبانی شده به دست می‌آیند. تحلیل میزان تابش روزانه در هر مکان نشان می‌دهد که توزیع نرمال تابش روزانه در اقلیمی مشخص نامناسب است. میزان تابش روزانه در روزهای تر و خشک معنادار متفاوت است. بنابراین، جدا کردن توزیع نیمه‌تجربی برای توزیع تابش در روزهای تر و خشک به کار برده می‌شود. تابش به طور مجزا از دما مدل‌سازی می‌شود. بنابراین، ورودی‌های این مدل آمار روزانه‌ی اقلیمی شامل میزان بارندگی، دما و تابش است و خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دمای ماهانه و سالانه، مقادیر بارش و تابش هستند(حق‌طلب و همکاران، ۱۳۹۲).

با توجه به این‌که در مدل LARS-WG برای تعیین طول دوره‌ی روزهای تر و خشک بارش روزانه و تابش از توزیع نیمه‌تجربی استفاده می‌شود، ابتدا همبستگی آماری بین خروجی مدل در گذشته با داده‌های دوره‌ی آماری ایستگاه هواشناسی به‌دست می‌آید. در صورتی که نتایج به‌دست آمده از مقایسه‌ی داده‌های تولیدیِ مدل با داده‌های دوره‌ی آماری مقبول باشد (نبود اختلاف معنی‌دار)، می‌توان آن‌ها را در سناریوهای اقلیمی آینده استفاده کرد. به این منظور، مدل از روش‌های آماری متعددی مانند آزمون کای دو، آزمون t و آزمون F برای صحت‌سنجی نتایج استفاده می‌کند (Dubrovsky, ۱۹۹۶). از آن جایی که در تمامی سال‌ها انحراف معیار متوسط سالانه‌ی تمامی متغیرها از انحراف معیار دوره‌ی آماری کمتر است و انتظار بر این است که مقادیر حدی اقلیمی در آینده افزایش یابد، در نتیجه، برای رفع این نقیصه با استفاده‌ی از رابطه‌های ۱ و ۲، ضمن حفظ میانگین‌ها، انحراف معیار این متغیرها به نسبت انحراف معیار داده‌های مشاهده شده به داده‌های شبیه‌سازی شده با مدل برای دوره‌ی گذشته در دوره‌ی پایه افزایش داده می‌شود.

$$F_{\mathrm{fur}} = F_{\mathrm{obs}} + (F_{GCM}^{fur} - F_{GCM}^{base}) \qquad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه fur آینده و obs گذشته است. سپس، با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها را مطابق رابطه‌ی ۲ تغییر می‌دهند (بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴).

$$STD_{\mathrm{fur}} = \frac{STD_{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fur}^{GCM} \qquad \text{رابطه ۲}$$

نمایه‌های حدی عبارت است از پدیده‌ی نادری که از دیدگاه آماری در ناحیه‌های بالا و پایین توزیع آماری قرار می‌گیرد و، از این رو، احتمال وقوع آن رویداد را بسیار کم می‌کنند. نمایه‌های حدی ساده و شفاف مبتنی بر داده‌های بلندمدت و همگن وضعیت رویدادهای حدی را بیان می‌کنند و باید جنبه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم و تأثیرات آن را نمایش دهند (Frich, et al., ۲۰۰۲).

**د)محاسبه‌ی روند**

یکی از روش‌های آماری برای مشخص کردن روند تغییرات در داده‌های اقلیمی استفاده از شاخص کندال تائو است. این شاخص در صورت مثبت و معنی‌دار بودن، بیانگر هماهنگی هم‌جهت جفت‌ها و در صورت منفی و معنی‌دار بودن بیانگر هماهنگی معکوس جفت‌ها است و در صورت معنی‌دار نبودن بیانگر هیچ رابطه‌ای نیست. بسته‌ی نرم‌افزاری Rclimdex از این شاخص برای محاسبه‌ی روند تغییرات نمایه‌های حدی استفاده می‌کند که می‌توان میزان آن را بر دهه و یا متوسط سالانه بررسی کرد. در این مطالعه، با استفاده از مدل LARS-WG مقادیر دمای بیشینه و کمینه برای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب بر اساس



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

مدل HadCM۳ و سناریوهای A۲ و A۱B برای دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره‌ی پیش‌بینی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) در مقیاس روزانه کوچک‌مقیاس شدند و داده‌های مقادیر مجموع بارش روزانه، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه برای ایستگاه‌های منتخب تهیه گردیدند. سپس، نمایه‌های حدی بارش مورد نظر از بین یازده نمایه‌ی استاندارد توصیه شده‌ی گروه کاری ETCCDMI[۳] با توجه به نیازهای محلی و ماهیت اقلیمی انتخاب شد. برای محاسبه‌ی این نمایه‌ها از نرم‌افزار Rclimdex استفاده گردید.

## شرح و تفسیر نتایج

در این مطالعه، نمایه‌های حدی بارش طی دوره‌های گذشته (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) بررسی شده است که نتایج هر یک از نمایه‌ها به شرح زیر می باشد.

### الف) حداکثر بارش یک‌روزه (Rx۱day)

این نمایه بیانگر حداکثر بارش ۲۴ ساعته است. بررسی روند این نمایه طی دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ کاهشی بین ۰/۰۱ تا ۵ میلی‌متر را در دهه‌ی مربوط به مناطق جنوب غربی، غربی، شمال غربی کشور و بخش‌های شمالی استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد. شدیدترین روند کاهشی حداکثر بارش ۲۴ ساعته طی دوره‌ی پایه در ایستگاه انزلی مشاهده شده و بیشترین روند افزایشی این نمایه مربوط به ایستگاه بندرعباس و رشت با شیب بیش از ۵ میلی‌متر است و سایر مناطق کشور با شیب مثبت بین ۰/۰۱ تا ۵ میلی‌متر بر دهه بیانگر افزایش مقدار بارش یک‌روزه در این مناطق است. به منظور پیش‌آگاهی از وضعیت نمایه‌ی حداکثر بارش یک‌روزه و سایر نمایه‌های حدی بارش از مدل HadCM۳ و دو سناریو ِ A۱B و A۲ استفاده شد. الگوهای حاصل از این مدل طی دوره‌های آینده بر اساس برون‌داد مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ تمامی مناطق شرقی و جنوب شرقی، جنوب غربی و، همچنین، استان‌های مازندران، تهران، قم، قزوین و آذربایجان غربی را شامل می‌شود و طی دهه‌های آتی مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته‌ی آن‌ها بین ۰/۰۱تا ۵ میلی‌متر بر دهه کاسته می‌شود. الگوی حاصل از مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B بیانگر کاهش مقدار بارش ۲۴ ساعته‌ی مناطق شرقی و شمال شرقی و مرکزی و، همچنین، نوار باریکی از بخش‌های غربی، جنوب غربی و شمال غربی کشور بین ۰ تا ۵ میلی‌متر بر دهه در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ است. افزایش روند نمایه‌ی حداکثر بارش ۲۴ ساعته می‌تواند بر عناصر هیدرولوژی مانند رواناب رودخانه‌ها و شدت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز کشور اثر بگذارد. این آثار می‌تواند عواقب زیان‌باری را در پی داشته باشد (شکل شماره ۱- A، ۱- B و ۱- C).

### ب)حداکثر بارش پنج‌روزه (Rx۵day)

این نمایه بیانگر تداوم فعالیت سامانه‌های باران‌زا و یا ناپایداری در دوره‌های چند روزه است. مطابق با الگوی بارش پنج‌روزه کشور در دوره‌ی مشاهداتی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ بیشترین و شدیدترین روند افزایشی این نمایه مربوط به استان گیلان و هرمزگان است و شدیدترین شیب منفی این نمایه مربوط به بخش‌هایی از استان‌های مرکزی، لرستان، اصفهان، شمال استان‌های چهارمحال و بختیاری، خوزستان و استان سیستان و بلوچستان است که با روند منفی بیشتر از ۵ میلی‌متر بر دهه در این مناطق به وقوع پیوسته است. بر اساس خروجی مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ طی دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ (شکل شماره ۲-B) بیشترین روند افزایشی نمایه‌ی حداکثر بارش پنج‌روزه مربوط به استان گیلان و جنوب شرق استان اردبیل است، به طوری که با بیش از ۵ میلی‌متر بر دهه مقادیر این افزایش را نشان می‌دهد. استان‌های غربی، جنوب غربی، جنوبی، مرکزی و شمال شرق

[۳]. Expert Team on Climate change Detection, Monitoring and Indices



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

استان خراسان رضوی نیز روند افزایشی بین ۰/۰۱ تا ۵ میلی‌متر را بر دهه شامل می‌شوند. سایر استان‌های کشور جزء مناطقی هستند که مقادیر حداکثر بارش پنج‌روزه آن‌ها دارای روند منفی است و از مقدار این بارش‌ها در سال‌های آتی کاسته می‌شود. شدیدترین روند کاهشی نمایه‌ی حداکثر بارش پنج‌روزه مربوط به شرق استان سیستان و بلوچستان با شیب منفی کمتر از ۵ میلی‌متر بر دهه پیش‌بینی شده است. مطابق با الگوی شکل شماره‌ی C-۲ ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از پیش‌آگاهی برون‌داد مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B انطباق بسیار فراوانی با الگوی حاصل از مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ دارد، به طوری که تمامی استان‌های واقع در شمال شرق، شرق، جنوب شرق و استان‌های آذربایجان غربی، بوشهر و بخش‌های شمال غربی استان فارس ازجمله مناطقی از کشورند که مقادیر حداکثر بارش پنج‌روزه آن‌ها منفی پیش‌بینی شده است. بالاترین میزان افزایش این نمایه نیز مربوط به استان گیلان، جنوب استان اردبیل و بخشی از غرب مازندران و بخش‌های جنوبی استان هرمزگان است.

**ج)شدت روزانه (SDII)**

روند مثبت این نمایه می‌تواند در جهت پیامدهای گرمایش جهانی تفسیر شود که با افزایش مقدار بارش سالانه یا با کاهش تعداد روزهای بارش حاصل می‌شود. طی دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۶۱-۱۹۹۰، این نمایه در مناطق غربی و جنوب غربی کشور و، همچنین، شمال و شرق استان سیستان و بلوچستان دارای روند منفی ضعیفی است. در سایر نقاط کشور این نمایه روند مثبت ضعیف بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ را بر دهه نشان می‌دهد. بالاترین شدت تغییرات این نمایه مربوط به ایستگاه‌های بندرعباس و رامسر با روند بیش از ۰/۵ میلی‌متر بر دهه طی دوره‌ی مشاهداتی است (شکل A-۳).

بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ و با توجه به شکل B-۳ ملاحظه می‌شود مناطق شرقی، جنوب غربی و بخش‌هایی از مناطق مرکزی جزء مناطقی از کشورند که طی دهه‌های آتی شاهد روند کاهشی به میزان ۰/۰۱ تا ۰/۵ میلی‌متر را بر دهه نشان می‌دهند. بالاترین روند مثبت این نمایه مربوط به ایستگاه بندرعباس با شیب مثبت بیش از ۰/۵ میلی‌متر را بر دهه نشان می‌دهد. سایر نقاط کشور هم دارای روند مثبت ضعیف بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ در دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ هستند.

شکل C-۳ الگوی تغییرات مربوط به نمایه‌ی ساده‌ی شدت روزانه SDII طی دهه‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ را بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B نشان می‌دهد. مطابق با الگوی فوق، تمامی مناطق شمالی و غربی جزء مناطقی از کشورند که در دهه‌های آینده با افزایش بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ روز بر دهه نمایه‌ی ساده‌ی شدت روزانه آن‌ها افزایش خواهد یافت. بالاترین میزان افزایش این نمایه مربوط به استان هرمزگان است که با شیب مثبت بیشتر از ۰/۵ روز بر دهه خواهد داشت. کمترین میزان مربوط به بخش‌های شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان با شیب منفی و کمتر از ۰/۵است. سایر مناطق کشور با روند منفی و شیب کم ۰/۰۱ تا ۰/۵ روز را بر دهه طی دهه‌های آتی نشان می‌دهد.

**د)روزهای با بارش سنگین (R۱۰mm)**

الگوی شکل A-۴، مربوط به تعداد روزهای با بارش سنگین طی دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۶۱-۱۹۹۰، حاکی از کاهش چشمگیر بارش های سنگین در مناطق غربی کشور است که با روند کاهشی چهار روز در دهه بالاترین روند کاهشی در سطح کشور را خواهد داشت. نواحی مرکزی، شمال شرقی و جنوبی کشور جزء نواحی هستند که با فراوانی بارش‌های سنگین طی دوره‌ی پایه مواجه بوده‌اند و در حدود یک روز بر دهه روند روزها را با بارش سنگین نشان می‌دهند.

بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ در گستره‌ی وسیعی از شرق کشور تا نواحی مرکزی، به‌جز استان هرمزگان، تعداد روزهای با بارش سنگین کمتر از ۰/۱ روز بر دهه کاهش و در نیمه‌ی غربی کشور، به‌جز بخش‌های شمال غرب کشور و



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

استان‌هایی نظیر آذربایجان غربی و کردستان، روند افزایشی خواهد داشت (شکل ۴-B). مطابقِ الگوی HadCM۳ و سناریوِ A۱B، روند تغییرات این نمایه با مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ از الگوی مشابهی تبعیت می‌کند، با این تفاوت که شکل‌گیری روند مثبت در تعداد روزهای با بارش سنگین به بخش‌های از استان اصفهان، مرکزی، کهکیلویه و بویراحمد، لرستان، ایلام، چهارمحال بختیاری و خوزستان در غرب و جنوب غرب کشور محدود می‌شود (شکل ۴-C).

**ه)روزهای با بارش خیلی سنگین (R۲۰mm)**

این نمایه فراوانی روزهای با بارش خیلی سنگین را نشان می‌دهد و افزایش آن می‌تواند از پیامدهای افزایش گازهای گلخانه‌ای باشد. بالاترین روند تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین در سطح کشور طی دوره‌ی پایه مربوط به بخش‌هایی از استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی، یزد، فارس، هرمزگان، بوشهر و شمال و شمال غرب استان کرمان است.

طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ مناطق شمال شرقی، نواحی ساحلی دریای مازندران و استان‌های سمنان، تهران، قزوین، زنجان، اردبیل، آذربایجان شرقی، قم، مرکزی، همدان، کرمانشاه، ایلام، لرستان و بخش‌هایی از استان‌های یزد و اصفهان ازجمله مناطقی هستند که بالاترین مقدار تغییرات نمایه‌ی تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین را در دهه‌های آتی نشان می‌دهند. این نمایه در سایر نقاط کشور روند منفی بین ۰/۱ تا ۱ را نشان می‌دهد. بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B غرب کشور و محدوده‌ی حوضه‌های سرچشمه‌های رودخانه‌های کارون و دز با افزایش ۰/۱ تا یک روز بر دهه بالاترین مقدار در رخداد بارش‌های خیلی سنگین را به خود اختصاص داده‌اند و سایر نقاط کشور با روند منفی بین ۰/۰۱ تا یک روز بر دهه شاهد کاهش در تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین در دهه‌های آتی هستند (شکل ۵- A، ۵- B و ۵- C).

**و)روزهای با بارش مساوی یا بیشتر از ۲۵ میلی‌متر (R۲۵mm)**

تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین یا به عبارتی بیش از ۲۵ میلی‌متر در بین ایستگاه‌های مطالعاتی با دوره‌ی پایه مقایسه شد. مطابق با الگوی فوق و مقایسه آن با الگوی بارش‌های سنگین R۲۰mm انطباق بسیار خوبی بین تغییرات این دو نمایه دیده می‌شود، به طوری که استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی، یزد، فارس، هرمزگان، بوشهر و شمال و شمال غرب استان کرمان جزء مناطقی از کشورند که با افزایش بین ۰/۰۱ تا یک روز بر دهه بیشترین سهم را در افزایش تعداد بارش‌های سنگین در دوره‌ی مشاهداتی داشتند. سایر نقاط کشور با کاهش بین ۰/۰۱ تا یک روز بر دهه دارای روند منفی بودند و از تعداد بارش‌های سنگین آن‌ها کاسته شده بود (شکل ۶- A).

بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ بخش‌های شمال شرقی، شمالی، شمال غربی (به‌جز استان آذربایجان غربی) مناطق غربی، جنوبی و مرکزی کشور از جمله مناطقی هستند که دارای روند افزایشی مثبت بین ۰/۰۱ تا یک روز بر دهه هستند و تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین آن‌ها طی دوره‌های آتی افزایش دارد. بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی کشور شامل استان های خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، کرمان، فارس، بوشهر، جنوب استان خوزستان و بخش اعظمی از استان هرمزگان جزء مناطقی از کشور هستند که با روند منفی بین ۰/۰۱ تا یک روز بر دهه از تعداد روزهای با بارش سنگین R۲۵mm آن‌ها طی دوره‌های آتی کاسته خواهد شد (شکل ۶-A). بر اساس نتایج حاصل از مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B، بخشی از نواحی غربی کشور، که سرچشمه‌ی رودخانه‌های کارون و دز را شامل می‌شود، مطابق با نمایه‌ی تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین R۲۰mm دارای روند افزایشی خواهد بود که بالا رفتن این نمایه می‌تواند سبب افزایشِ تناوب و شدت سیل‌خیزی در حوضه‌های آبریز این منطقه شود (شکل ۶-C).



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

**ز)حداکثر تعداد روزهای متوالی خشک (CDD)**

روند خطی نمایه‌ی حداکثر تعداد روزهای متوالی خشک در دوره‌ی پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ نشان می‌دهد مناطق شرقی، شمال غربی، جنوب غربی و استان‌های گلستان، شرق استان‌های سمنان و اصفهان و بخش‌های مرکزی استان یزد و بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی کشور روند کاهشی را در دوره‌ی مشاهداتی داشتند. در حالی که مناطق شمال شرقی، کرانه‌های دریای خزر، استان‌های غربی، جنوب غربی و جنوب شرقی کشور روند مثبت را نشان می‌دهند (شکل ۷-A).

مطابق روند خطی نمایه‌ی CDD در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ شدیدترین روند مثبت این نمایه مربوط به استان‌های گلستان، خراسان شمالی، شمال خراسان رضوی و شمال شرقی استان سمنان است، به طوری که این نواحی با روند افزایشی بین ۵ تا ۱۰ روز را بر دهه به خود اختصاص داده‌اند. افزایش روند خطی حداکثر تعداد روزهای متوالی خشک در این منطقه می‌تواند بر فعالیت‌های بخش کشاورزی و منابع آب تأثیر عمده‌ای داشته باشد. این نمایه در مناطق غربی و شمال غربی و جنوبی کشور دارای روند کاهشی است، به طوری که با روند منفی بین ۰/۰۱ تا ۵ روز بر دهه از تعداد روزهای متوالی خشک مناطق مذکور کاسته می‌شود (شکل۷-B). روند خطی نمایه‌ی حداکثر تعداد روزهای متوالی خشک در دوره‌ی آتی بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B نشان می‌دهد مناطق شمال شرقی، مرکزی و بخش‌هایی از جنوب کشور با شیب مثبت بین ۵ تا بیش از ۱۰ روز بر دهه بالاترین مقدار تداوم دوره‌های خشک را به خود اختصاص داده‌اند. نواحی جنوب غربی و شمال غربی کشور هم با روند منفی بین ۰/۰۱ تا ۵ روز بر دهه کاهش تعداد روزهای خشک متوالی را نشان می‌دهند. به عبارتی، در مناطق جنوب غربی و شمال غربی کشور از میزان حداکثر تعداد روزهای خشک متوالی خشک کاسته خواهد شد (شکل ۷-C).

**ح)حداکثر تعداد روزهای متوالی‌تر (CWD)**

بررسی این نمایه نشان می‌دهد در دوره‌ی پایه ایستگاه‌های واقع در سواحل دریای خزر از سایر ایستگاه‌های کشور بیشترین توالی روزهای تر را داشته‌اند، به طوری که بیشترین تعداد روزهای متوالی‌تر در ایستگاه رشت و ایستگاه انزلی به ثبت رسیده است، در حالی که در ایستگاه‌های واقع در مناطق خشک کشور (نظیر یزد، زاهدان و زابل)، در برخی از سال‌ها، فقط یک روز این نمایه به میزان بالاتر از صفر رسیده است.

شکل ۸-A الگوی تغییرات تعداد روزهای متوالی‌تر (CWD) را طی دوره‌ی پایه‌ی ۹۰-۱۹۶۰ در سطح کشور به تصویر کشیده است. با توجه به الگوی فوق ملاحظه می‌شود که بیشترین روند منفی این نمایه مربوط به مناطق شمال غربی کشور است که با روند کمتر از ۰/۵-روز را بر دهه داشته‌اند. شدیدترین روند مثبت این نمایه هم متعلق به مناطق شمال شرقی کشور، مناطق جنوبی و بخش‌هایی از استان گیلان و خوزستان است که با روند مثبت بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ روز بر دهه تعداد روزهای متوالی‌تر آن‌ها افزایش یافته است. سایر نقاط کشور نیز با روند منفی بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ روز بر دهه را طی دوره‌ی مشاهداتی نشان می‌دهند.

شکل ۸-B بیانگر روند خطی نمایه‌ی حداکثر تعداد روزهای متوالی‌تر (CWD) برحسب میزان آن بر دهه در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ است. با توجه به الگوی فوق مناطق جنوبی غربی، شمال شرقی و بخش‌هایی از استان‌های کردستان و گیلان با روند مثبت بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ روز بر دهه بیشترین روند افزایشی را طی دهه‌های آتی تجربه خواهند کرد. سایر مناطق کشور هم با روند منفی بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ روز بر دهه شاهد کاهش در تعداد روزهای متوالی‌تر طی دوره‌های آتی خواهند بود. شکل ۸-C روند خطی نمایه‌ی حداکثر تعداد روزهای متوالی‌تر (CWD) در دوره‌ی آتی (۲۰۱۱-



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

۲۰۴۰) را بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B نشان می‌دهد. با توجه به الگوی نقشه‌ی فوق، مناطق غربی، جنوب غربی و شمال شرقی کشور با روند مثبت بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ روز بر دهه شاهد افزایشِ حداکثر تعداد روزهای تر در دوره‌های آتی هستند. سایر نقاط کشور روند منفی بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ را نشان می‌دهند.

**ط)جمع بارش سالانه‌ی روزهای تر (PRCPTOT)**

این نمایه در واقع برابر است با مجموع بارش در روزهای با بارش مساوی و یا بیشتر از ۱ میلی‌متر و اختلاف آن با جمع بارش سالانه فراوان نیست. چنانچه تعداد روزهای همراه بارش را n و تعداد روزهای همراه با بارش مساوی یا بیشتر از ۱ میلی‌متر را ni در نظر بگیریم، حداکثر تفاوت مجموع بارش در روزهای با بارش مساوی و یا بیشتر از ۱ میلی‌متر خواهد شد (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶). شکل ۹-A روند نمایه‌ی مذکور را در دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ نشان می‌دهد. مطابق با الگوی فوق شدیدترین روند کاهشی این نمایه مربوط به بخش‌های شمالی و مرکزی آذربایجان شرقی است که با مقدار کاهشی کمتر از ۲۵ میلی‌متر را بر دهه داشته‌اند. همچنین، مناطق شمال غربی و غربی کشور و بخش‌های شمالی و مرکزی استان سیستان و بلوچستان و شرق استان کرمان از جمله مناطقی هستند که با روند کاهشی بین ۰/۰۱ تا ۲۵ میلی‌متر از جمع سالانه روزهای تر آن‌ها کاسته شده است. بی‌تردید، روند کاهشی تداوم دوره‌های خشک و خشکسالی‌های شدید و فراگیر را برای این مناطق در پی داشته است.

بالاترین روند افزایشی نمایه‌ی مذکور مربوط به بخش‌های جنوبی استان هرمزگان و بخش‌هایی مرکزی استان گیلان است، که با روند مثبت و مقدار افزایشی بیشتر از ۲۵ میلی‌متر را بر دهه در دوره‌ی مشاهداتی داشته‌اند. سایر نقاط کشور دارای روند مثبت با نوسانات فراوان بین ۰/۰۱ تا ۲۵ میلی‌متر را در دوره پایه نشان می‌دهد.

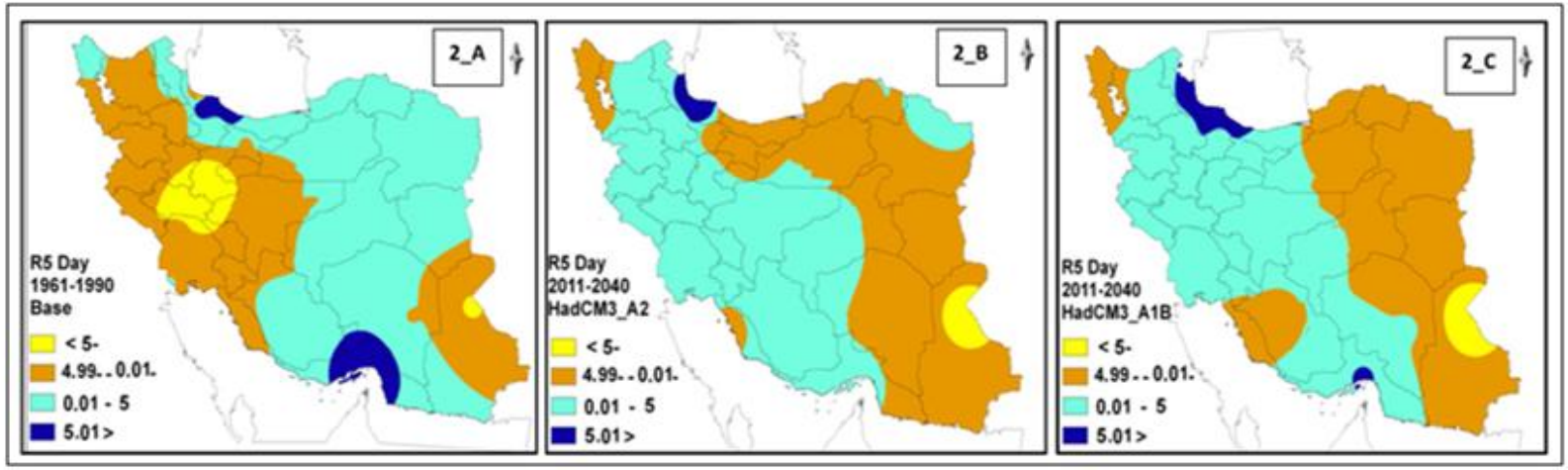
شکل۹-B الگوی تغییرات روند نمایه‌ی جمع سالانه بارش روزهای تر طی دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ را به تصویر کشیده است. بررسی تغییرات این نمایه، در دوره‌های آینده، نشان می‌دهد مناطق مرکزی، شرقی و شمالی کشور این نمایه منفی است و مقدار کاهشی آن بین ۰/۰۱ تا ۲۵ میلی‌متر بر دهه پیش‌بینی شده است. از آنجایی که بخش عمده‌ای از مناطق مذکور (مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی کشور) جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شوند، بنابراین تداوم روند کاهشی این نمایه می‌تواند رخداد دوره‌های خشک طولانی مدت و افزایش خشکسالی‌های شدید و فراگیر را در پی داشته باشد.

شکل۹-C روند نمایه‌ی PRCPTOT طی دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ را بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B نشان می‌دهد. نتایج حاصل از الگوی فوق بیانگر روند افزایشی همراه با نوسانات فراوان در نواحی غربی و جنوب غربی، جنوبی، شمال غربی و بخش‌هایی از شرق کشور است، به طوری که مقدار افزایشی این نمایه در مناطق مرکزی بین ۰/۰۱ تا ۲۵ میلی‌متر بر دهه طی دهه‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نوسان دارد. سایر مناطق کشور (که شامل مناطق شمالی، شمال شرقی، جنوب شرقی و بخش‌هایی از شمال غرب کشور و، همچنین، استان بوشهر و شرق و مرکز استان فارس) جزء مناطقی از هستند که روند کاهشی را در مجموع بارش روزهای تر نشان می‌دهند.



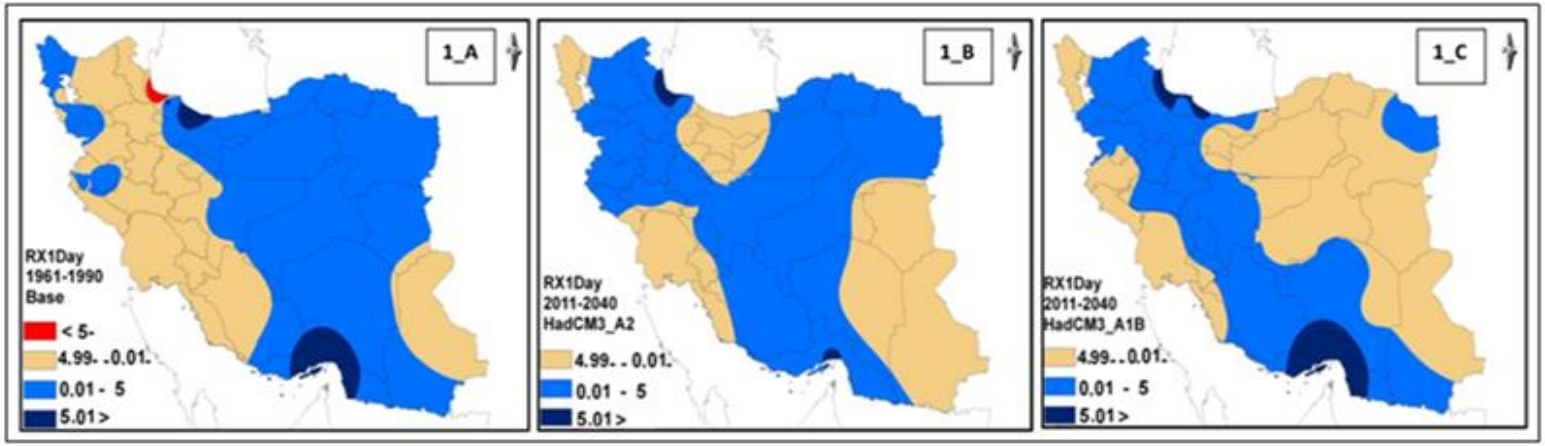
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]



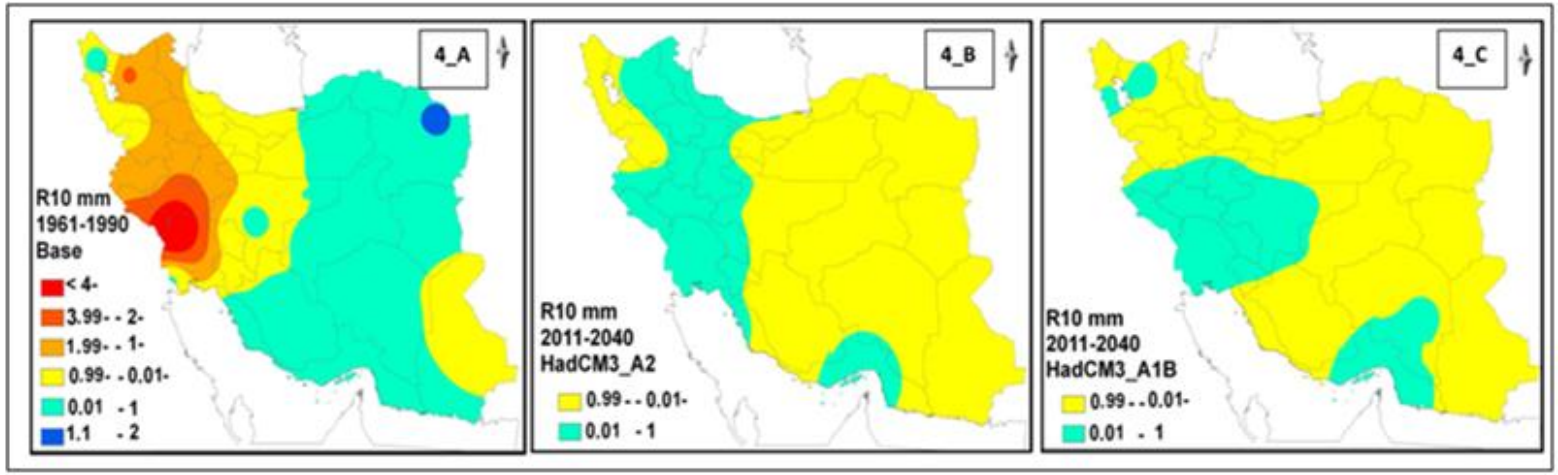

**شکل ۲: روند خطی نمایه‌ی حداکثر بارش پنج‌روزه برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی(۲۰۱۱-۲۰۴۰).**





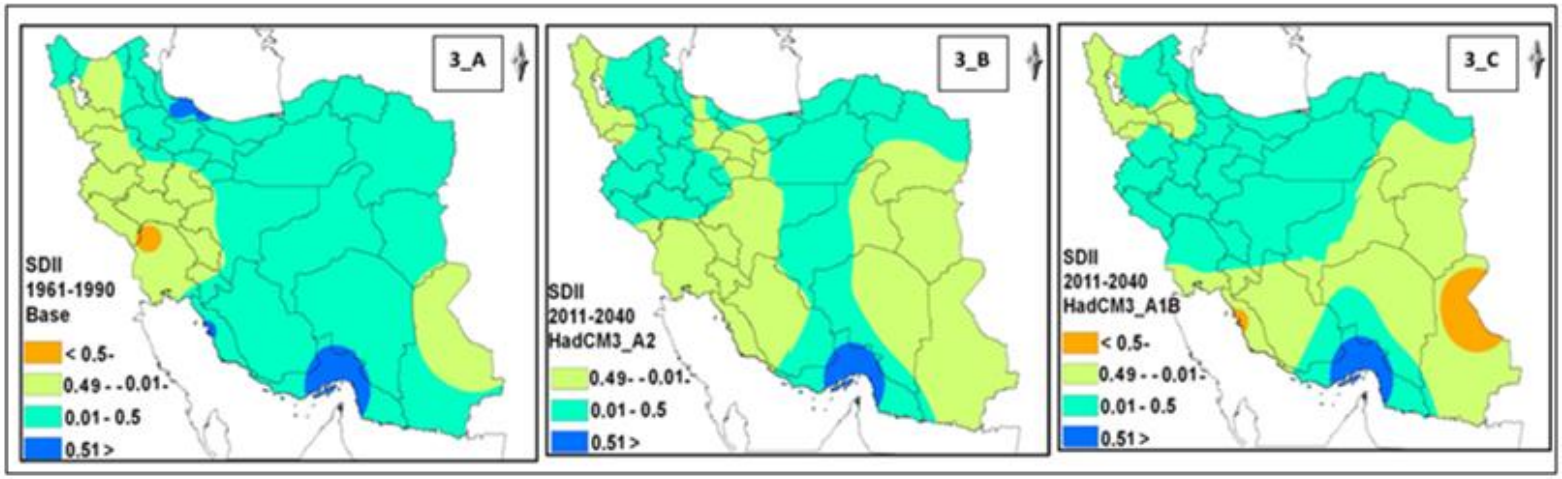

**شکل ۱: روند خطی نمایه‌ی حداکثر بارش یک‌روزه برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی(۲۰۱۱-۲۰۴۰).**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]



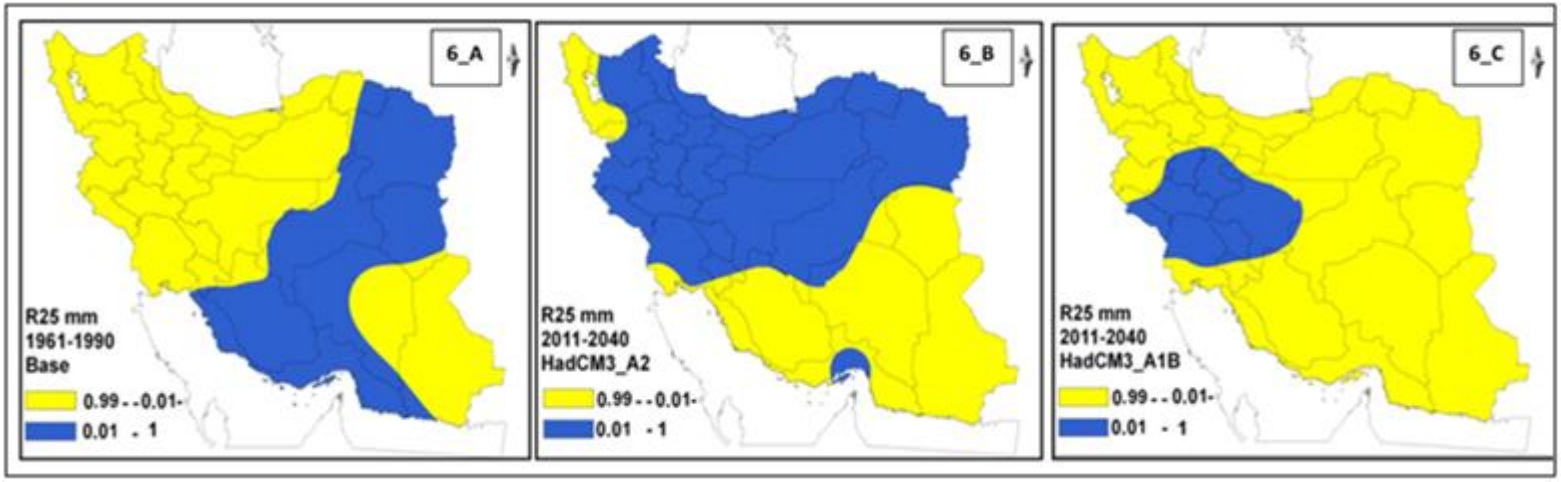

.شکل ۴. روند خطی نمایه‌ی روزهای با بارش سنگین برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰).





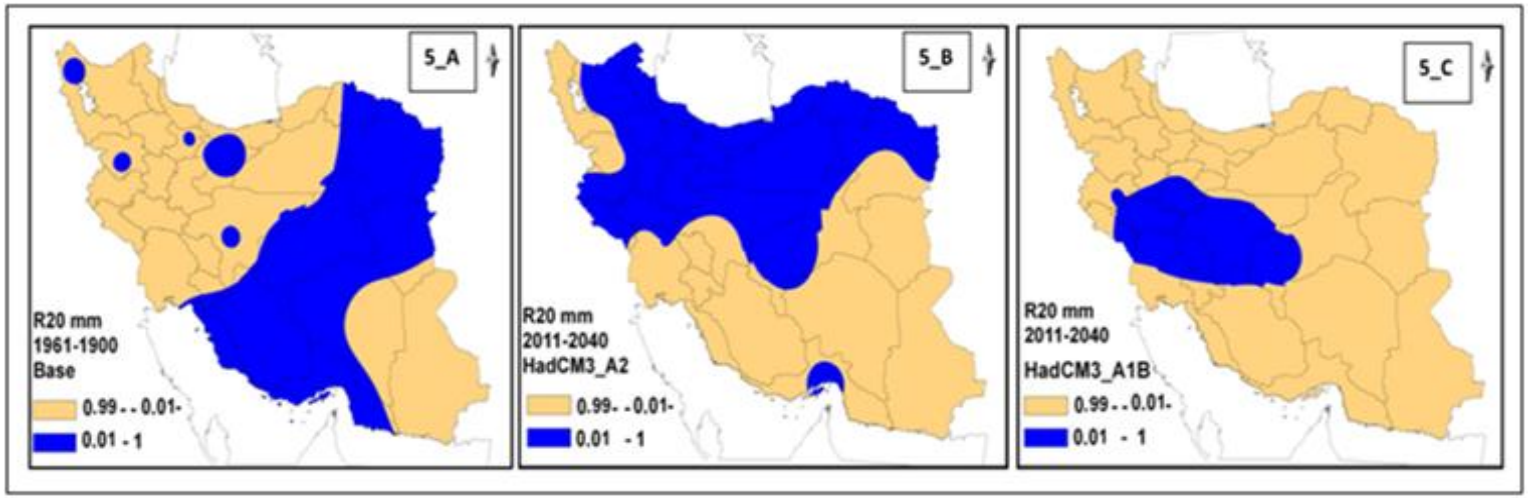

شکل ۳. روند خطی نمایه‌ی ساده‌ی شدت روزانه برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰).

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]



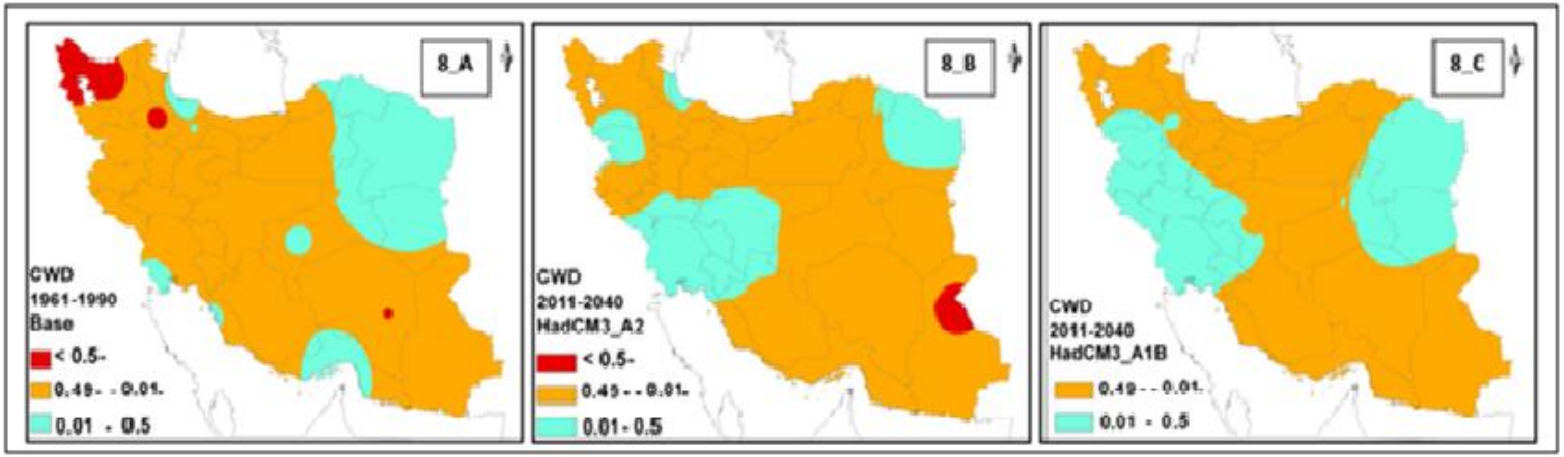

**شکل ۶. روند خطی نمایه‌ی روزهای با بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱–۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱–۲۰۴۰).**





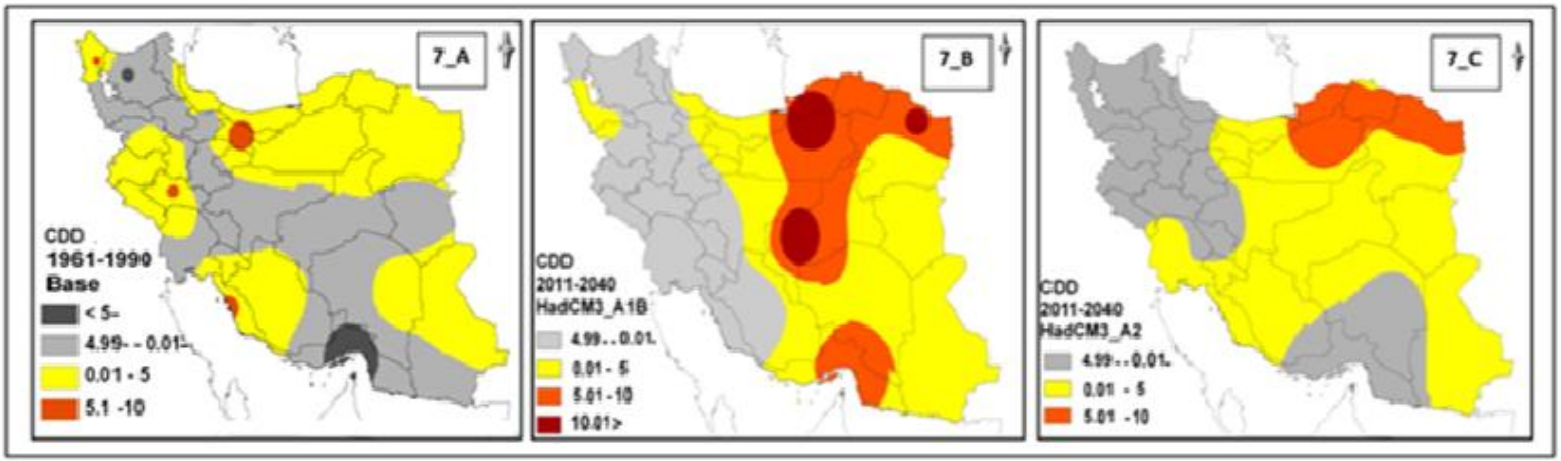

**شکل ۵. روند خطی نمایه‌ی با بارش خیلی سنگین برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱–۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱–۲۰۴۰).**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

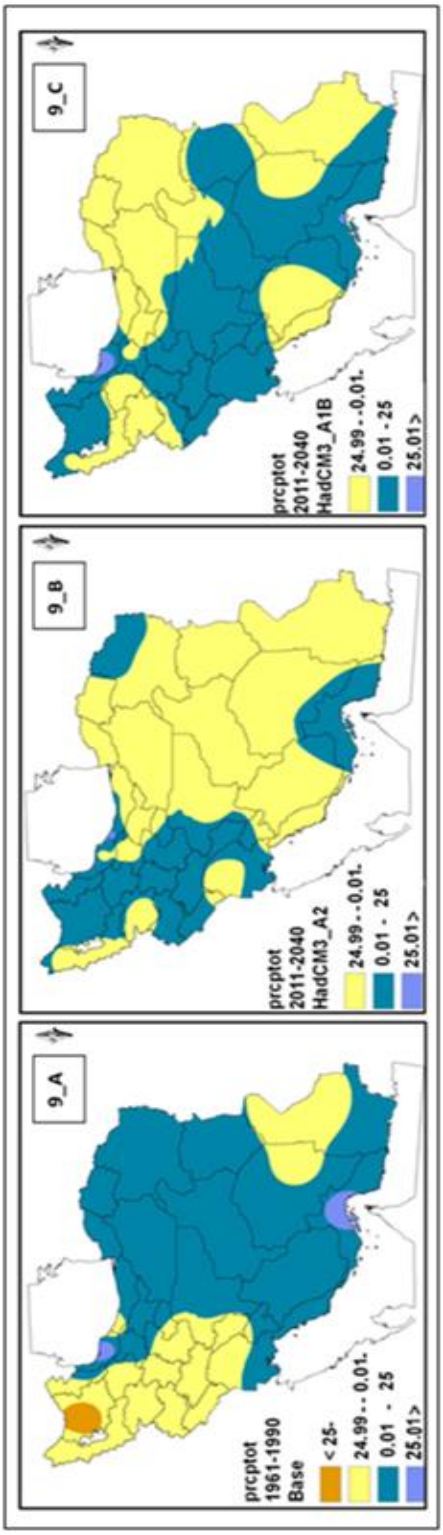



شکل ۸. روند خطی نمایه‌ی روزهای متوالی‌تر برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱–۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱–۲۰۴۰).






شکل ۷. روند خطی نمایه‌ی روزهای متوالی خشک برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱–۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱–۲۰۴۰).




**شکل ۹. روند خطی نمایه‌ی مقدار بارش سنگین برحسب میزان آن بر دهه طی دوره‌ی پایه (۱۹۶۱–۱۹۹۰) و دوره‌ی آتی (۲۰۱۱–۲۰۴۰).**

## نتیجه‌گیری:

رویدادهای آب و هوایی حدی پدیده‌هایی هستند که از نظر فراوانی کمیاب و درجه‌ی شدت بالا دارند و در هنگام وقوع آن‌ها زیست‌کره و ساکنان منطقه به دشواری می‌توانند خود را با تغییرات ایجاد شده تطبیق دهند. از آنجا که بستر رخداد رویدادهای آب و هوایی حدی شرایط دمایی و بارش‌های حدی است، بنابراین بررسی داده‌های اقلیمی حدی در این مورد



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

ضروری به نظر می‌رسد (تقوی و همکاران، ۱۳۹۰). از اشکال بارز وقایع حدی در بخش آب و کشاورزی (که اثرگذاری مستقیم بر شرایط موجود در هر منطقه دارد) می‌توان رخداد خشکسالی و وقوع سیلاب را بر شمرد که به تغییرات میزان، شدت و فراوانی بارش در منطقه وابسته است. بدین منظور برای پیش‌آگاهی از تغییرات نمایه‌های حدی بارش ایران در دهه‌های آینده و مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه‌های آبریز کشور و به تبع آن، چگونگی تأمین منابع آب شرب و کشاورزی و تولید محصولات کشاورزی، با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM۳ تحت دو سناریوِ A۲ و A۱Bنمایه‌های حدی بارش کشور برای دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بررسی شد و چگونگی تغییرات آن از دوره‌ی پایه تحلیل شده است.

بررسی روند نمایه‌های حدی بارش در سطح کشور طی دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ نشان می‌دهد نمایه‌ی حداکثر بارش روزانه شدیدترین روند کاهشی را در ایستگاه انزلی دارا بوده است و الگوی بارش پنج‌روزه کشور در دوره‌ی مشاهداتی بیشترین و شدیدترین روند افزایشی را در استان گیلان و هرمزگان داشته است. نمایه‌ی ساده‌ی شدت روزانه‌ی بارش در مناطق غربی و جنوب غربی کشور و، همچنین، شمال و شرق استان سیستان و بلوچستان دارای روند منفی ضعیفی است که در مطالعات عسگری و همکاران (۱۳۸۶) نیز مشهود است. بررسی تعداد روزهای با بارش سنگین طی دوره‌ی پایه نشان می‌دهد این نمایه با کاهش چشمگیری در مناطق غربی کشور همراه بوده است، همچنان که مطالعه‌ی خلیلی اقدم (۱۳۹۱) بر روی اقلیم نوار غربی کشور در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۳ نشان داده است سنندج کمترین درجه‌ی توزیع بارندگی و، در عین حال، شدیدترین خشکسالی را از سایر استان‌های هم‌جوار (به خصوص آذربایجان غربی) دارد. تعداد روزهای با بارش سنگین طی دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ حاکی از کاهش چشمگیر بارش‌های سنگین در مناطق غربی کشور است که با کاهشی چهار روز در دهه بالاترین روند کاهشی در سطح کشور است. بر روزهای با بارش خیلی سنگین R۲۰mm و R۲۵mm با مقدار حداکثر یک بر دهه در بخش‌هایی از مناطق مرکزی، شمالی، شمال شرقی و جنوبی کشور افزوده شده است. نتایج حاصله از نمایه‌های حدی روزهای خشک متوالی CDD و روزهای تر متوالی CWD در این دوره بیانگر روند افزایشی در تعداد CDD مناطق غربی، جنوب غربی، شمالی، شمال شرقی و جنوب شرق کشور است. همچنین، کاهش در تعداد CWD بخش اعظمی از مناطق شمال غربی، غربی و کرانه‌های دریای خزر طی دوره‌ی مشاهداتی گواه بر افزایش دوره‌های خشک این مناطق است، به طوری که روند تغییرات دو نمایه‌ی مذکور نتیجه‌ی مستقیمی بر فراوانی دوره‌های خشک و خشکسالی‌های شدید و فراگیر در دهه‌های اخیر در پی داشته است.

بررسی روند نمایه‌های حدی بارش در سطح کشور طی دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) بر اساس مدل HadCM۳ سناریوی A۲ نشان می‌دهد روند افزایشی رویدادهای حداکثر بارش یک‌روزه در مناطق شمال غربی (جز استان آذربایجان غربی)، مرکزی و جنوب غربی و شمال شرقی و سواحل غربی دریای خزر پیش‌بینی شده است. نمایه R۱۰mm در مناطق غربی، جنوب غربی، مرکزی و در مناطق شمال غربی (به‌جز استان آذربایجان غربی) دارای روند افزایشی است. افزایش R۱۰mm در مناطق غربی، جنوب غربی، سواحل غربی دریای خزر و استان‌های هرمزگان، اردبیل، آذربایجان شرقی، زنجان و قزوین وجود دارد. همچنین، افزایش در روزهای با بارش سنگین و خیلی سنگین R۲۰mm و R۲۵mm در مناطق شمال شرقی، کرانه‌های دریای خزر، استان‌های غربی و مرکزی پیش‌بینی می‌شود. علاوه بر این، افزایش روند تعداد روزهای خشک متوالی در مناطق شمال شرقی، مرکزی و جنوبی کشور مشاهده می‌گردد. نتایج حاصل از سناریوی A۱B نشان می‌دهد در مقدار بارش ۲۴ ساعته در مناطق شرقی و شمال شرقی و مرکزی و، همچنین، نوار باریکی از بخش‌های غربی، جنوب غربی و شمال غربی کشور روند کاهش پیش‌بینی شده است. نتایج حاصل از پیش‌آگاهی برون‌داد مدل HadCM۳ و سناریوِ A۱B



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

در خصوص رویدادهای حداکثر بارش پنج‌روزه روند بسیار مشابه‌ای با الگوی حاصل از مدل HadCM۳ و سناریوِ A۲ داشته است. نمایه‌ی SDII در بخش شمالی و غربی کشور افزایش نشان می‌دهد و در سایر مناطق کشور روند منفی خواهد داشت. روند مثبت در تعداد روزهای با بارش سنگین R۱۰mm به بخش‌های از استان اصفهان، مرکزی، کهکیلویه و بویراحمد، لرستان، ایلام، چهارمحال بختیاری و خوزستان در غرب و جنوب غرب کشور محدود می‌شود و در استان هرمزگان، بخشی از جنوب کرمان و محدوده‌ی کوچکی از شمال غرب کشور مشاهده می‌گردد و در سایر بخش‌ها با کاهش این نمایه روبه‌رو خواهیم بود. افزایش روزهای با بارش خیلی سنگین R۲۰mm و R۲۵mm در استان‌های غربی، لرستان، چهارمحال بختیاری، مرکزی، کهکیلویه و بویراحمد، خوزستان و بخشی از استان اصفهان و یزد پیش‌بینی می‌شود. افزایش روند خطی نمایه‌ی حداکثر تعداد روزهای متوالی‌تر CWD در مناطق غربی، جنوب غربی و شمال شرقی کشور و افزایش تعداد روزهای متوالی خشک در مناطق شمال شرقی، مرکزی و بخش‌هایی از جنوب کشور و، همچنین، جمع بارش سالانه و روزهای تر در نواحی غربی و جنوب غربی، جنوبی، شمال غربی و بخش‌هایی از شرق کشور افزایش نشان می‌دهد. حق‌طلب و همکاران (۱۳۹۲) نیز در مدل‌سازی اقلیم آینده استان‌های مازندران و تهران اذعان کرده‌اند که در کل بارش‌های سیل‌آسا در دهه‌ی ۲۰۲۰ افزایش می‌یابد و بارش‌های خیلی سنگین نیز مانند بارش‌های سنگین روند افزایشی خواهد داشت. بنابراین، احتمال می‌رود در استان مازندران در دهه‌ی ۲۰۲۰ بارش‌های رگباری و سیل‌آسا نسبت به گذشته افزایش چشمگیری نشان دهد و سرانجام، با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی کویرزایی در هر دو استان در آینده سرعت بیشتری به خود بگیرد. گفتنی است به‌رغم این‌که هریک از مطالعات صورت گرفته در سطح جهانی و کشور نتایج مقبولی به همراه داشته‌اند، لازم است قطعیت نداشتن در کاربرد سناریوهای اقلیمی، سناریوهای انتشار و الگوهای ریزمقیاس نمایی مدنظر قرار گیرد و با در نظر داشتن وزن هر یک از مؤلفه‌ها در تحلیل اقلیم آینده نتایج دقیق‌تری حاصل گردد.

## منابع


اسدی، اشرف و سید ابوالفضل مسعودیان. ۱۳۹۳. بررسی پراکنش زمانی-مکانی دماهای فرین گرم در ایران. *پژوهش‌های محیط‌زیست*، **۹**: ۵۹ - ۷۲.

بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک. ۱۳۸۹. ارزیابی تغییر اقلیم خراسان رضوی در دوره‌ی ۲۰۱۰- ۲۰۳۹ میلادی. مجله‌ی *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، **۱۵**: ۱- ۲۰.

تقوی، فرحناز؛ محسن ناصری؛ بردیا بیات؛ سید ساجد متولیان و داود آزادی فرد.۱۳۹۰. تعیین الگوهای رفتار اقلیم در مناطق مختلف ایران بر اساس تحلیل طیفی و خوشه‌بندی مقادیر حدی بارش و دما. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۷۷**: ۱۰۹ - ۱۲۴.

حق‌طلب، نفیسه؛ محسن گودرزی؛ مجید حبیبی نوخندان؛ احمدرضا یاوری و حمیدرضا جعفری.۱۳۹۲. مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مـدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی. فصلنامه‌ی *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*،**۱۵(۱)**: ۳۷-۴۹.

خلیل اقدم، نبی؛ ابوالفضل مساعدی؛ افشین سلطانی و بهنام کامکار.۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج. مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک،**۱۹** ( ۴): ۸۵-۱۱۱.

عسگری، احمد؛ فاطمه رحیم زاده؛ نوشین محمودیان و ابراهیم فتاحی. ۱۳۸۶. تحلیل روند نمایه‌های بارش حدی در ایران. *تحقیقات منابع آب*، **۳**: ۴۲ - ۵۵.

کمال، علیرضا و علیرضا مساح بوانی. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی. مجله‌ی *آب و خاک*، **(۲۴) ۵**: ۹۲۰ - ۹۳۱.




[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

گل محمدی، مریم و علیرضا مساح بوانی.۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم. مجله‌ی *آب و خاک*،**۲۵( ۲)**: ۳۱۵ - ۳۲۶.

مساح بوانی، علیرضا و سعید مرید. ۱۳۸۴. تأثیر تغییرات اقلیم بر روی منابع آب و محصولات کشاورزی. مجله‌ی *تحقیقات منابع آب ایران*،**۱**: ۴۰ - ۴۷.

محمدی، حسین و فرحناز تقوی. ۱۳۸۴. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. *پژوهش‌های جغرافیایی*، **۵۳**: ۱۵۱-۱۷۲.

Dubrovsky, M. ۱۹۹۶. The stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. *Meteorological Bulletin*, **۴۹**: ۹۷-۱۰۵.

Frich, P.; Alexander, L.V.; Della- Marta, P; Gleason, B.; Haylock, M.; Klein Tank, AM. G. and Peterson, T.۲۰۰۲. Global changes in climatic extremes during the secend half of the ۲۰th century. *Climate Research*, **۱۹:**۱۹۳-۲۱۲.

Folland, C.K.; Karl, T.R.; Christy, J.R.; Clarke, R.A.; Gruza, G.V.; Jouzel, J.; Mann, M.E.; Oerlemans, J; Salinger, M.J. and Wang, S.W. ۲۰۰۱. Observed climate variability and change. In: Climate Change ۲۰۰۱: The Scientific Basis. *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge*, UK, and New York, USA, ۲۰۰۱, ۸۸۱ p.

Harmel, R. D.; Richardson, C. W.; Hansonb, C. L. and G. L. Johnson. ۲۰۰۲. Evaluating the Adequecy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temprature with the Normal Distributian. *Canadian Society for engineering, Canada*. ۲۶pp.

Manton, M.J.; Della-marta, P.M.; Haylock, M.R.; Hennessy, K.J.; Nicholls, N.; Chambers ,L.E.;Collins, D.A.; Daw, G.; Finet, A.; Gunawan, D.; Inape, K.; Isobe, H.; Kestin, T.S.; Lefale, P.; Leyu, C.H.; Lwin, T.; Maitrepierre, L.; Ouprasitwong, N.; Page, C.M.; Pahalad, J.; Plummer, N.; Salinger, M.J.; Suppiah, R.; Tran, V.J.; Trewin, B.; Tibig, I. and Yee, D. ۲۰۰۱. Trend in Extreme Daily Rainfall and Temperature in Southeast Asia and South Pacific: ۱۹۶۱-۱۹۹۸. *International Journal of Climatology*, **۲۱:** ۲۶۹-۲۸۴.

Moberg, A., Jones, P. D. ۲۰۰۵, Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe, ۱۹۰۱–۹۹. *International Journal of Climatology*, **۲۵**: ۱۱۴۹-۱۱۷۱.

IPCC. ۲۰۰۷. *Climate Change*. Cambridge University Press, London.

Rahimzadeh, F.; Asgari, A. and Fattahi, E. ۲۰۰۸. Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology*, **۲۹**: ۳۲۹–۳۴۳.

Toreti, A., Desiato, F. ۲۰۰۸. Changes in temperature extremes over Italy in the last ۴۴ years. *International Journal of Climatology*, **۲۸**: ۷۳۳-۷۴۵.

Semenov, M. A. and Barrow, E. M. ۲۰۰۲. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual. Canada.

Semenov, M..A.; Brooks, R.J.; Barrow, E.M.; and Richardson, C.W. ۱۹۹۸. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates. *Climate Research*, **۱۰**: ۹۵-۱۰۷.

Semenov, M.A. and Stratonovitch, P. ۲۰۱۰. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, **۴۱:**۱-۱۴.



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

TORETI, A., DESIATO, F. Changes in temperature extremes over Italy in the last ۴۴ years. *International Journal of Climatology*, **۲۸**: ۷۳۳-۷۴۵, ۲۰۰۸.

WMO. ۲۰۰۷. *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers.* Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report.

WMO. ۲۰۰۹. *Climate Data and Monitoring, WCDMP-No.* ۷۲, *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate insupport of informed decisions for adaptation.* World Meteorological Organization, ۲۰۰۹.

Zhang, X.; Aguilar, E.; Sensoy, S.; Melkonyan, H. and Wallis, T. ۲۰۰۵. Trends in Middle East climate extreme indices from ۱۹۵۰ to ۲۰۰۳. *Journal of Geophysical Research*, **۱۱۰:** D۲۲۱۰۴.۱-۱۲**.** doi: ۱۰.۱۰۲۹/۲۰۰۵JD۰۰۶۱۸۱.

Zhang, X. ۲۰۰۷. *ETCCDI/CRD climate change indices software*. Climate Research Division of Environment Canada. cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml.



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]