یادداشت تحلیلی

تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین ایران با بکارگیری مدل همادی CMIP۶

آذر زرین[۱*]، عباسعلی داداشی رودباری[۲]

۱- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- پژوهشگر پسادکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(ایمیل نویسنده مسئول: zarrin@um.ac.ir)

تغییرات در شدت و فراوانی بارش، از جمله رخدادهای فرین، بیشترین تأثیر را بر مدیریت منابع آب و مدیریت ریسک سیلاب دارد. از آنجایی که ایران در یک منطقه خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته است، اطلاعات بیشتری در مورد تغییرات گذشته و احتمالی آینده در خصوص بارش‌های فرین مورد نیاز است. این تحقیق با هدف بررسی روزهای همراه با بارش سنگین در ایران از سری مدل‌های سامانه زمین EC-Earth3 با تفکیک افقی ۰/۷ درجه قوسی با پیکربندی‌های مختلف که در پروژه CMIP٦ مشارکت یافته‌اند، انجام شده است. یک مدل همادی از سه مدل EC-Earth3، EC-Earth3-Veg و EC-Earth3-CC با روش میانگین وزنی با رویکرد مستقل (IWM) تولید شد. جهت بررسی روزهای همراه با بارش سنگین از شاخص R۱۰mm توصیه شده توسط کارگروه تخصصی در زمینه تغییر اقلیم و شاخص‌های فرین (ETCCDI) استفاده شد. شاخص R۱۰mm با سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، حد واسط (SSP2-4.5)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) در دوره تاریخی (۲۰۱٤-۱۹۹۰) و سه دوره ۲۵ ساله شامل دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲٦)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷٦) محاسبه شد. شاخص R۱۰mm در شش حوضه آبخیز درجه یک بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشینه این شاخص با ۱٤/۳٦ روز در حوضه دریای خزر و کمینه آن با ۱/٤۵ روز در حوضه مرزی شرق ایران دیده می‌شود و بارش سنگین در ایران تحت شرایط تغییر اقلیم آینده افزایش خواهد داشت. بیشینه افزایش روزهای همراه با بارش سنگین تحت سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به‌ترتیب در سه حوضه دریای خزر، دریاچه ارومیه و قره‌قوم دیده شد. همچنین این شاخص در متوسط پهنه ای کشورحداقل افزایش ۲/۹۷ درصدی و حداکثر ۱۸/۲۲ درصدی را نشان داد. افزایش رخداد بارش سنگین در آینده ممکن است منجر به افزایش خطر سیل شده و دسترسی به منابع آب را نیز در ایران با مشکلاتی مواجه نماید.

واژه‌های کلیدی: فرین‌های اقلیمی، بارش سنگین، CMIP6، سناریوهای SSP، ایران.

مقدمه

فعالیت‌های انسانی از آغاز انقلاب صنعتی در قرن نوزدهم غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) در جو را تا حدود ۵۰ درصد افزایش داده است. افزایش میانگین دمای جهانی آشکارترین پیامد افزایش CO_2 در سطح جهانی است (IPCC، ۲۰۱۳). با این حال، افزایش دما پیامدهایی برای الگوی بارش به همراه دارد. دمای گرم‌تر نقطه اشباع بخار آب و ظرفیت نگهداری آب را در جو افزایش داده است (Dannenberg و همکاران، ۲۰۱۹). در چنین شرایطی رخدادهای بارش فرین تشدید شده و بر فراوانی و شدت آن‌ها افزوده می‌شود. تعاریف مختلفی برای رخدادهای فرین ارائه شده است. از دیدگاه اقلیمی یک رخداد فرین عبارتست از آستانه آماری معینی برای یک مقیاس زمانی معین (مثلاً صدک پنجم یا نود و پنجم توزیع آماری). فرین‌های اقلیمی از اهمیت بسیار زیادی نسبت به میانگین‌های اقلیمی برخوردار هستند. در بسیاری از مناطق میانگین‌های دما و بارش و یا دیگر متغیرهای اقلیمی تغییرات زیادی نداشته است، اما فرین‌های اقلیمی همانند خشکسالی‌ها، روزهای همراه با بارش سنگین و خیلی سنگین، دوره‌های خشک و مرطوب متوالی و بسیاری دیگر از این متغیرها تغییرات زیادی را در سال‌های اخیر داشته‌اند. بررسی وردایی فرین‌های اقلیمی طی دوره‌های تاریخی و پیش‌بینی/نگری آن می‌تواند نقش بسیار مهمی را در برنامه‌های توسعه آتی هر کشور بخصوص کشور ایران که یک کشور خشک و نیمه خشک است، داشته باشد.

هیات بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) در ششمین گزارش ارزیابی خود (AR۶) افزایش میانگین دمای جهانی مشاهده شده را ۱/۰۹ درجه‌سلسیوس در سال ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نسبت به آغاز انقلاب صنعتی (۱۸۵۰-۱۹۰۰) را برآورد کرده است (IPCC، ۲۰۲۱). برآورد می‌شود که گرمایش جهانی انسان‌زا عواقب بلندمدتی بر تمام اجزای سامانه اقلیمی، از جمله تغییراتی در توزیع بارش روزانه داشته باشد. برای به تصویر کشیدن تغییرات فرین‌های اقلیمی و بخصوص فرین‌های بارشی مدل‌های گردش کلی جو (GCMs) یک ابزار علمی دقیق و در دسترس در سطح جهانی هستند. مدل‌های گردش کلی جو نمایش جامع و فزاینده‌ای از سامانه اقلیم ارائه می‌کنند و به عنوان ابزار اصلی برای درک و پیش‌بینی/نگری تغییرات در میانگین، وردایی و فرین‌های اقلیمی استفاده می‌شوند. آخرین نسخه این مدل‌ها هم‌اکنون تحت عنوان پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP۶) با طیف گوناگونی در دسترس هستند.

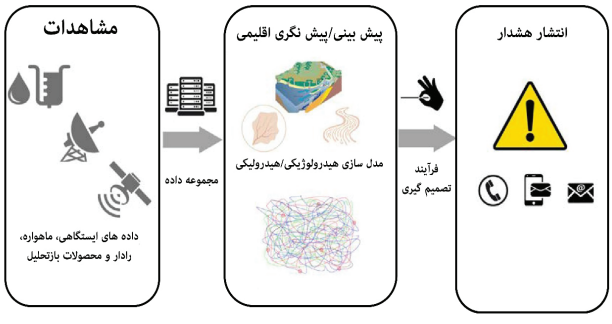
سیل یکی از پرهزینه‌ترین و رایج‌ترین بلایای طبیعی در ایران و سراسر جهان است. سیل جان انسان‌ها را می‌گیرد، زیرساخت‌ها و امنیت عمومی را به خطر می‌اندازد، خسارات مالی به افراد و جوامع وارد می‌کند و سازمان‌های دولتی که پاسخگویی و امدادرسانی به سیل را ارائه می‌دهند، تحت فشار قرار می‌دهد. به طور متوسط، خسارات ناشی از سیل یک سوم از خسارات اقتصادی سالانه ناشی از بلایای طبیعی در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. خسارات ناشی از سیل به طور اجتناب‌ناپذیری همراه با فراوانی رخداد سیل در روند فعلی افزایش دمای جهانی افزایش می‌یابد. بر اساس یکی از گزارش‌های هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)، افزایش میانگین دمای جهانی احتمالاً منجر به

تغییراتی در بارش و رطوبت جوی می‌شود، از این‌رو باید انتظار بارش‌های فرین بیشتری را در سال‌های آتی داشت. سیل هم در سطح جهانی و هم در سراسر کشور در حال افزایش است. در سال ۲۰۱۸، سیل بیش از هر نوع فاجعه دیگری در سراسر جهان بر مردم تأثیر گذاشته است (مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایای طبیعی (CRED)، ۲۰۱۹).

براساس یک آمار دولتی منتشر شده در کشور از سوی بخش زلزله و خطرپذیری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سیل نزدیک به ۳۰ درصد از کل خسارات مخاطرات طبیعی را در ایران بر می‌گیرد. شواهد بسیاری نیز از سیل‌خیزی در ایران وجود دارد بطوریکه در یک دهه گذشته ایران شاهد سیل‌های بسیار گسترده و فراگیری بوده است که می‌توان به سیل سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۵ و سیل‌های سال ۱۳۹۸ که در ۲۴ استان کشور به خصوص در استان‌های مازندران، گلستان، فارس، لرستان و خوزستان اتفاق افتاد اشاره کرد. هر چند که رخداد سیل به عوامل بسیاری وابسته است اما به‌طور مشخص سیل سال ۱۳۹۸ در ایران در نتیجه رخداد بارش‌های سنگین و بسیار سنگین پیوسته بوده که در نتیجه آن سیلاب‌های گسترده‌ای در کشور رقم خورد.

همانطور که بالاتر نیز گفته شد یکی از شواهد اصلی تغییر اقلیم بروز تغییرات جدی در بارش‌ها و بخصوص بارش‌های سنگین است. لذا توسعه سامانه‌های هشدار سیل (FWS) تحت شرایط تغییر اقلیم باید در اولویت برنامه‌های کشور قرار گیرد. شایان ذکر است که سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو هر یک به توسعه سامانه‌های FWS پرداخته‌اند، اما باید توجه داشت که این سامانه‌ها در برگیرنده پیش‌بینی‌های کوتاه مدت هواشناسی است و لازم است تا سامانه‌های احتمالاتی ریسک سیلاب برای پیش‌بینی‌های فصلی-زیرفصلی (S2S)، پیش‌بینی‌های دهه‌ای (DCPP) و پیش‌نگری‌های بلند مدت اقلیمی نیز ارائه شود.

یک FWS موفق دارای سه جزء کلیدی است که Parker (۲۰۱۷) آن را معرفی کرده است: ۱) داده‌های ورودی اقلیمی، رودخانه و حوضه، ۲) فرآیندهای مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، و ۳) انتشار هشدار (شکل ۱). مزیت اساسی برنامه هشدار سیل تحت شرایط تغییر اقلیم این است که زمان بیشتری را برای واکنش و هشدارها در مکان‌های در معرض خطر سیل فراهم می‌کند. پیش نگری رخدادهای بارش فرین اگر چه با عدم قطعیت بیشتری همراه است، اما این فرصت را در اختیار قرار می‌دهد تا چشم‌اندازی از رخداد بارش‌های فرین برای دهه‌های آینده را ارائه نموده و برنامه‌های مدیریتی موثرتر و بهنگام‌تری را در بلندمدت جهت کاهش پیامدهای آن‌ها مدنظر قرار دهد. ارائه اخطارهای به موقع به سازمان‌ها و افراد سبب می‌شود تا افراد از خود و دارایی‌هایشان در برابر سیلاب‌های احتمالی محافظت کنند.



شکل ۱- مدل مفهومی سامانه هشدار سیل تحت شرایط تغییر اقلیم (FWS)

روش تحقیق

سری مدل‌های سامانه زمین EC-Earth۳ با پیکربندی‌های مختلف که در CMIP۶ مشارکت یافته است در این تحقیق استفاده شده‌اند. مدل‌های EC-Earth۳ به دلیل تنوع پیکربندی‌ها و مدل‌های فرعی مختلفی که ارائه داده است و همچنین تفکیک افقی بالاتر نسبت به سایر مدل‌های در دسترس، دارای ارزش مطالعاتی زیادی در مطالعات تغییر اقلیم است. مزیت کلیدی EC-Earth۳ نسبت به سایر مدل‌های CMIP عبارتند از: شبیه‌سازی بهتر فرایندهای فیزیکی سامانه اقلیم و کاهش چشمگیر اریبی متغیرهای مهم اقلیمی همچون دما و بارش. این مدل‌ها با بهبود مشخصه‌های فیزیکی و دینامیکی و اجزای ESM جدید تا حد زیادی در مقایسه با مدل‌های مشارکت یافته در CMIP۵ بهبود یافته‌اند (Döscher و همکاران، ۲۰۲۱). مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش به همراه پیکربندی هر یک در جدول (۱) ارائه شده است. تفکیک افقی مدل‌های EC-Earth مورد بررسی ۰/۷۰ درجه قوسی است. دوره آماری مورد بررسی شامل دوره تاریخی از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ و دوره پیش‌نگری نیز در برگیرنده سه دوره ۲۵ ساله شامل دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) تحت سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، حد واسط (SSP2-4.5)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) است. در این پژوهش با بکارگیری روش میانگین وزنی با رویکرد مستقل (IWM[1]) (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰)، یک مدل همادی از پیکربندی‌های مختلف سری مدل‌های EC-Earth۳ مشارکت یافته در CMIP۶ تولید شد.

روزهای همراه بارش سنگین با شاخص R۱۰mm از شاخص‌های کارگروه تخصصی در زمینه تغییر اقلیم و شاخص‌های فرین (ETCCDI) بررسی شد. این شاخص روزهایی با بارش ۱۰ میلی‌متر و بیش‌تر از آن را برای یک دوره مشخص آماری (پیش فرض شاخص یک سال است) بررسی می‌کند. در این پژوهش نیز تعداد روزهای همراه با بارش سنگین (R۱۰mm) در مقیاس سالانه مبتنی بر برونداد مدل همادی تولید شده EC-Earth بررسی شد.

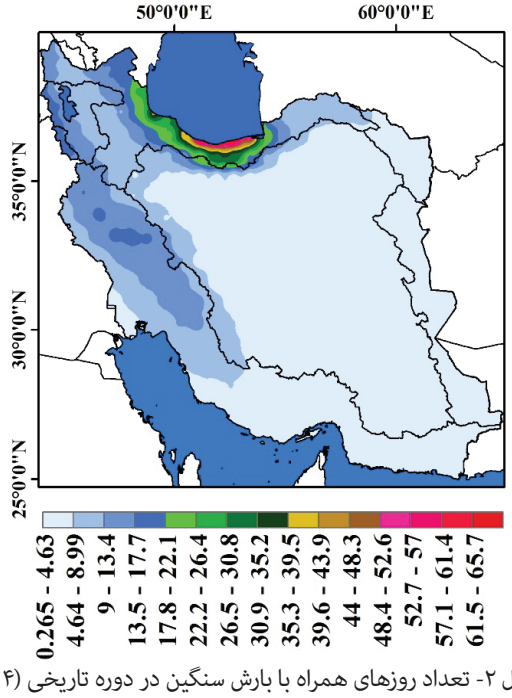
جدول ۱- مدل‌های مورد استفاده EC-Earth به همراه پیکربندی آن‌ها

پیکربندی	جو + سطح زمین	اقیانوس + یخ دریا	دینامیک پوشش گیاهی	ترکیبات جوی
	IFS 36r4 + HTESSEL	NEMO3.6 + LIM3	LPJ-GUESS	TM5
EC-Earth۳	×	×		
Veg-EC-Earth۳	×	×	×	
CC-EC-Earth۳	×	×	×	× (فقط CO۲)

نتایج و بحث

•پایش و پیش‌نگری تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در ایران

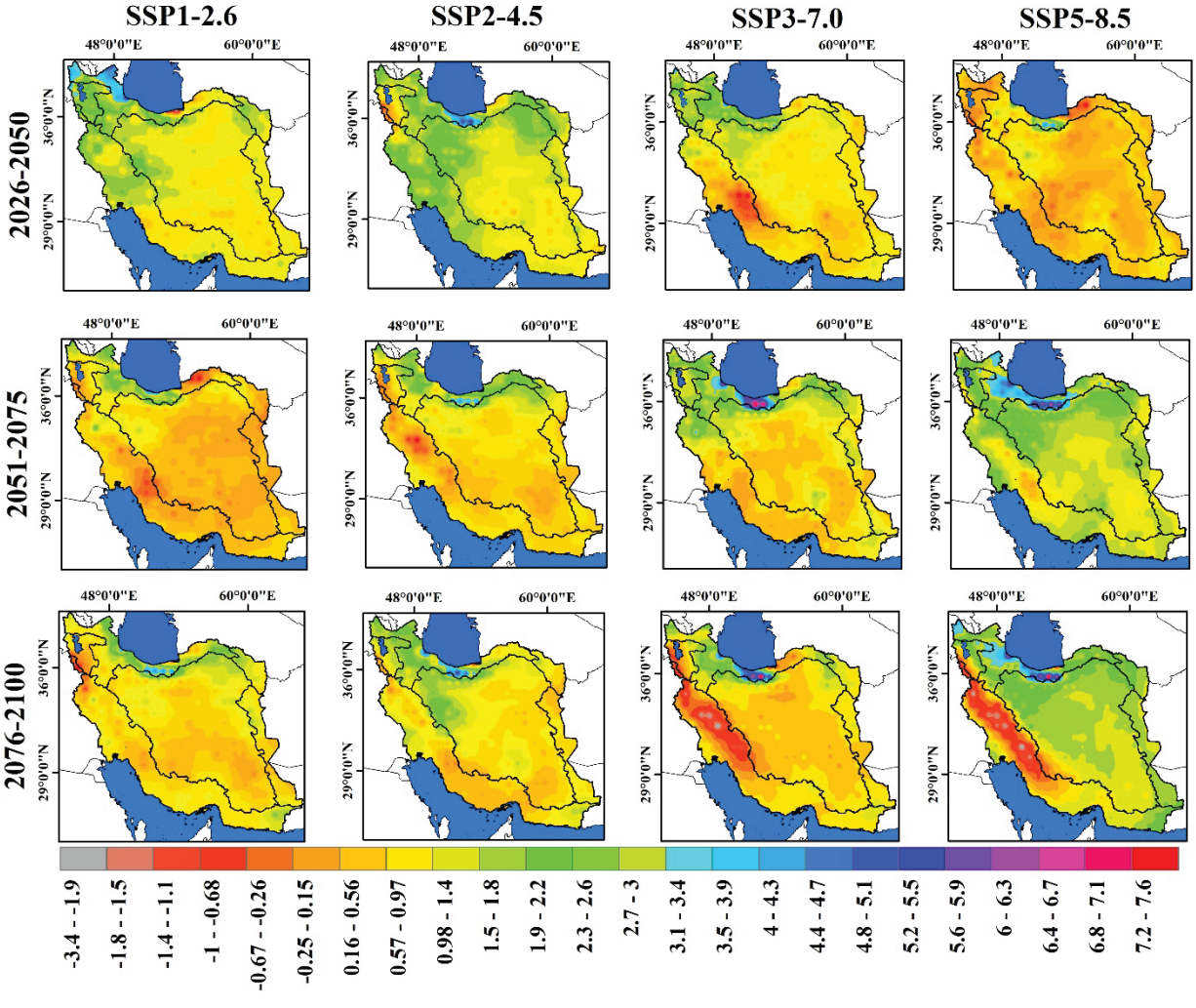
روزهای همراه با بارش سنگین در ایران از کمتر از یک روز در کویر مرکزی و مناطق شرقی و جنوب شرقی ایران تا حداکثر ۶۵/۷ روز در سواحل جنوبی دریای خزر در نوسان است. کانون اصلی بارش‌های سنگین ایران سواحل خزری است، بطوریکه در هیچ یک از مناطق سواحل جنوبی دریای خزر روزهای همراه با بارش سنگین کمتر از ۱۷ روز در سال نمی‌باشد. پس از سواحل خزری، ارتفاعات زاگرس بیشینه روزهای همراه بارش سنگین را تجربه می‌کند. بیشینه روزهای همراه بارش سنگین در مناطق مرتفع زاگرس ۱۷ روز در سال به‌دست آمده است (شکل ۲). برای متوسط حوضه‌های آبخیز درجه یک ایران نیز روزهای همراه با بارش سنگین بین ۱/۴۵ روز در حوضه مرزی شرق تا ۱۴/۳۶ روز در حوضه دریای خزر در تغییر است. پس از حوضه دریای خزر، حوضه دریاچه ارومیه با ۹/۶۰ روز بارش سنگین، دومین حوضه‌ای است که بیشینه روزهای همراه با بارش سنگین ایران را دارا است (جدول ۲).



شکل ۲- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) با استفاده از مدل همادی EC-Earth

پیش‌نگری روزهای همراه با بارش سنگین در ایران در شکل (۳) ارائه شده است. بررسی مدل همادی تولیدشده از سری مدل‌های Ec-Earth نشان داد روزهای همراه با بارش سنگین در بیشتر مناطق ایران بی‌هنجاری افزایشی را در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) تحت سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، حد واسط (SSP2-4.5)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) خواهد داشت. بیشینه بی‌هنجاری مثبت روزهای همراه با بارش سنگین در ایران در حوضه دریای خزر اتفاق افتاده است. بطوریکه در آینده دور تحت سناریو SSP5-8.5 روزهای همراه بارش خیلی سنگین در سواحل جنوبی دریای خزر نسبت به دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) ۷/۶ روز افزایش خواهد یافت. در مقابل روزهای همراه با بارش سنگین تحت سناریوهای بدبینانه و خیلی بدبینانه در زاگرس مرتفع بی‌هنجاری منفی را نشان داده است. بیشینه کاهش روزهای همراه با بارش سنگین نیز ۳/۴ روز به‌دست آمده است.

بررسی متوسط روزهای همراه با بارش سنگین در حوضه‌ها نشان می‌دهد که روزهای همراه بارش سنگین در تمامی حوضه‌ها و دوره‌ها و سناریوهای مورد بررسی به غیر از آینده میانی سناریو SSP3-7.0 و آینده دور سناریو SSP5-8.5 که این شاخص بی‌هنجاری منفی را نشان داده است، دارای بی‌هنجاری مثبت است. بیشینه افزایش روزهای همراه با بارش سنگین به‌ترتیب در سه حوضه دریای خزر، دریاچه ارومیه و قره قوم دیده می‌شود. این روند افزایشی برای روزهای همراه بارش سنگین یک تهدید جدی برای رخداد سیل در این مناطق است. بارش‌های سنگین در شرایط اقلیمی گرم‌تر در ایران افزایش پیدا می‌کنند و این نتیجه در تأیید یافته‌های قبلی است (Collins و همکاران، ۲۰۱۳). این تغییرات با ظرفیت نگهداری بیشتر رطوبت در هوای گرم که به همگرایی بیشتر رطوبت کمک می‌کند در ارتباط است (Tebaldi و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین بر اساس رابطه کلاوسیوس-کلاپیرون (Clausius - Clapeyron) بین افزایش دما و شدت بارش ارتباط وجود دارد و در ارتباط با رخدادهای بارش سنگین، تخلیه ستون رطوبتی جو اتفاق می افتد. در حقیقت، کاملاً مشهود است که افزایش محتوای بخار آب جوی عموماً با افزایش بارش‌های فرین در اقلیم گرم‌تر همراه است (Pall و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۲- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) تحت سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، حد واسط (SSP2-4.5)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) با استفاده از مدل همادی EC-Earth

بررسی‌های انجام شده از تغییرات تعداد روزهای همراه با بارش سنگین با استفاده از مدل همادی تولید شده EC-Earth برای متوسط کل کشور نشان می‌دهد که تعداد روزهای همراه با بارش سنگین براساس برونداد سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) در آینده نزدیک ۶/۳۰ درصد، آینده میانی ۶/۶۲ و آینده دور ۱۴/۳۵ درصد نسبت به دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) افزایش خواهند داشت. به همین ترتیب نتایج مربوط به سناریوی حد واسط (SSP2-4.5) نشان می‌دهد که روزهای همراه با بارش سنگین در آینده نزدیک ۱۰/۳۶ درصد، آینده میانی ۷/۲۵ درصد و آینده دور ۱۱/۲۸ درصد روند افزایشی خواهند داشت. نتایج سناریوی بدبینانه (SSP3-7.0) نیز نشان می‌دهد که روزهای همراه با بارش سنگین در آینده نزدیک ۲/۹۷ درصد، در آینده میانی ۱۸/۲۲ درصد و در آینده دور ۱۱/۹۳ درصد افزایش خواهد داشت. در نهایت نتایج مربوط به سناریو خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) نیز حاکی از آن است که تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در متوسط پهنه‌ای ایران به‌ترتیب در آینده نزدیک، میانی و دور ۸/۸۴، ۱۶/۹۷ و ۱۳/۲۴ درصد نسبت به دوره تاریخی مورد بررسی افزایش خواهند داشت.

جدول ۲- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در حوضه‌های آبخیز درجه یک ایران به همراه بی‌هنجاری آن در دوره‌های آتی

سناریو	دوره	دریای خزر	خلیج فارس دریای عمان	دریاچه ارومیه	فلات مرکزی	مرزی شرق	قره قوم
تاریخی	۲۰۱۴-۱۹۹۰	۱۴/۳۶	۵/۸۵	۹/۶۰	۲/۳۵	۱/۴۵	۳/۴۵
SSP1-2.6	آینده نزدیک	۰/۹۷	۰/۲۵	۱/۲۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۳۸
	آینده میانی	۱/۰۲	۰/۲۱	۰/۴۵	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۲۶
	آینده دور	۱/۳۳	۰/۵۸	۰/۳۰	۰/۵۹	۰/۶۵	۱/۰۵
SSP2-4.5	آینده نزدیک	۰/۹۷	۰/۵۲	۰/۰۶	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۵۹
	آینده میانی	۱/۱۸	۰/۰۶	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۶۷
	آینده دور	۱/۵۴	۰/۲۱	۰/۸۸	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۳۳
SSP3-7.0	آینده نزدیک	۰/۹۱	-۰/۱۷	۰/۷۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۲
	آینده میانی	۲/۲۲	۰/۵۷	۱/۳۰	۰/۶۶	۰/۷۲	۱/۲۵
	آینده دور	۱/۷۷	۰/۱۱	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۷۰	۱/۰۵
SSP5-8.5	آینده نزدیک	۰/۶۱	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۴۹	۰/۴۹
	آینده میانی	۲/۲۱	۰/۴۳	۱/۲۶	۰/۶۷	۰/۴۶	۰/۷۳
	آینده دور	۱/۳۶	-۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۴۹

آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶)

نتیجه‌گیری

این پژوهش با تولید یک مدل همادی از سری مدل‌های EC-Earth و کاربست چهار سناریوی خوش‌بینانه، حد واسط، بدبینانه و خیلی بدبینانه انجام شد و نتایج نشان از افزایش روزهای همراه با بارش سنگین در تمامی حوضه‌های آبخیز ایران دارد. از شش حوضه آبخیز درجه یک در ایران، سه حوضه دریای خزر، دریاچه ارومیه و قره قوم به ترتیب بیشینه بی‌هنجاری مثبت روزهای همراه با بارش سنگین را در ایران طی سال‌های آتی تجربه خواهند کرد. برای متوسط پهنه‌ای کل کشور روزهای همراه بارش سنگین در آینده بسته به دوره و سناریوی مورد بررسی حداقل یک افزایش ۲/۹۷ درصدی و حداکثر ۱۸/۲۲ درصدی را نشان می‌دهد. از ۱۲ دوره/سناریو مورد بررسی برای آینده در هفت دوره/سناریو تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در ایران افزایش بیش از ۱۰ درصدی را نسبت به دوره تاریخی نشان می‌دهد. به عبارتی در غیاب برنامه‌ریزی صحیح و آمادگی کافی، در سال‌های آتی باید شاهد سیل‌های بیش‌تری، همانند آنچه که در سال ۱۳۹۸ در شیراز، آق‌قلا و پل‌دختر واقع شد، باشیم. در همین راستا تحقیقات گذشته نیز نشان دادند که ملاحظات ترمودینامیکی ممکن است به افزایش احتمالی شدت بارش در آینده کمک کند (Ban و همکاران، ۲۰۱۵). به طور خاص، فشار بخار آب اشباع در جو تابعی از دمای هوا است و با توجه به رابطه کلاوسیوس - کلاپیرون (Clausius - Clapeyron) نرخ بارش ۶ تا ۷ درصد با هر درجه گرم شدن افزایش می‌یابد. حتی برخی از مطالعات همانند O'Gorman و Schneider (۲۰۰۸) نشان دادند که رخدادهای فرین بارشی همانند بارش‌های سنگین و خیلی سنگین ممکن است با این سرعت و یا حتی بیش‌تر افزایش یابند.

تغییر اقلیم بدون شک احتمال رخدادهای فرین مانند سیل و خشکسالی که به نوعی دو روی سکه از شرایط اقلیمی ایران هستند را تغییر داده است. مطالعه این دو مخاطره اقلیمی نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در مدیریت صحیح منابع و بخصوص مدیریت منابع آب خواهد داشت. به طور مشخص سیل می‌تواند یک دلیل دقیق هواشناسی داشته باشد و معمولاً بارش‌های سنگین و خیلی سنگین (مستقیم یا غیرمستقیم) مسئول اصلی سیل است (Breugem و همکاران، ۲۰۲۰). در نتیجه، برای درک سیل به عنوان یک پدیده مخرب لازم است در گام نخست تغییرات بارش‌های سنگین را طی دوران مشاهداتی و آینده بررسی کرده و سپس علل هواشناسی آن را درک کنیم. پیش از بکارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی لازم است تا اطلاع دقیقی از تغییرات بارش و شاخص‌های مهمی همچون بارش سنگین در هر منطقه داشت. همانطور که در بخش ابتدایی این نوشتار نیز مورد بحث قرار گرفت، GCMها به عنوان یک ابزار علمی، قابلیت پیش‌نگری اقلیم را طی سال‌های آتی دارند. در این راستا پیش‌نگری روزهای همراه با بارش سنگین با کمترین عدم قطعیت، می‌تواند به صورت بالقوه خطر رخداد سیل را به صورت کمی ارزیابی کند. در واقع پیش‌نگری بارش

و شاخص‌های مرتبط با آن، به پیش‌نگری بهتر وقایعی همچون سیل منتهی خواهد شد و این کار ارزش بالایی در بخش‌های مرتبط با سیاست‌های کلان برنامه‌ریزی، منابع آب و کنترل خطر سیل دارد. زیرا می‌توان هشدارهای مخصوص را به جهت زمانی و از بعد مکانی ارزیابی نمود و اقدامات حفاظت از سیل را به شکل جهت‌دارتر انجام داد. به این ترتیب مقامات و ساکنان می‌توانند به موقع خود را آماده کنند که از طریق آن می‌توان پیامدهای مخرب سیل را کاهش داد.

پی‌نوشت

1-Independence Weighted Mean (IWM)

منابع

زرین، آ. و داداشی رودباری، ع. ۱۴۰۰. پیش‌نگری دوره‌های خشک و مرطوب متوالی در ایران مبتنی‌بر برونداد همادی مدل‌های تصحیح شده اریبی CMIP۶. فیزیک زمین و فضا، ۴۷(۳): ۵۶۱-۵۷۸.

Ban N., Schmidli J., and Schär C. 2015. Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster?. Geophysical Research Letters, 42(4): 1165-1172.

Breugem A. J., Wesseling J. G., Oostindie K. and Ritsema C. J. 2020. Meteorological aspects of heavy precipitation in relation to floods–An overview. Earth-Science Reviews, 103171.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). 2019. Natural Disasters Report 2018. https:// reliefweb.int/report/world/flooding-affected-more-people-2018-any-other-disaster-type-report-shows.

Collins M., Knutti R., Arblaster J., Dufresne J.L., Fichefet T., Friedlingstein P., Gao X., Gutowski W.J., Johns T., Krinner G. and Shongwe M. 2013. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. In Climate Change 2013-The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1029-1136). Cambridge University Press.

Dannenberg M. P., Wise E. K., and Smith W. K. 2019. Reduced tree growth in the semiarid United States due to asymmetric responses to intensifying precipitation extremes. Science advances, 5(10): eaaw0667.

Döscher R., Acosta M., Alessandri A., Anthoni P., Arneth A., Arsouze T., ... and Zhang Q. 2021. The EC-earth3 Earth system model for the climate model intercomparison project 6. Geoscientific Model Development Discussions, 1-90.

IPCC. 2021. Summary for policymakers Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press (2021).

IPCC. 2013. Working Group, I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC.

O'Gorman P. A., and Schneider T. 2008. The hydrological cycle over a wide range of climates simulated with an idealized GCM. Journal of Climate, 21(15): 3815-3832.

Pall P., Allen M. R., and Stone D. A. 2007. Testing the Clausius–Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO 2 warming. Climate Dynamics, 28(4): 351-363.

Parker D. J. 2017. Flood warning systems and their performance. In Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science.

Tebaldi C., and Knutti R. 2007. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. Philosophical transactions of the royal society A: mathematical, physical and engineering sciences, 365(1857): 2053-2075.