

مقاله علمی- پژوهشی

پیش‌نگری شاخص‌های حدی بارشی و دمایی در دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۶ بر اساس پرونداد مدل‌های
CMIP6 (مطالعه موردی: مشهد)

ساناز چمانه‌فر^۱، محمد موسوی بایگی^{۲*}، ایمان بابائیان^۳، فرشته مدرسی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۶

چکیده:

در این مقاله از بین ۲۶ شاخص حدی مشخص شده توسط ETCCDI، تعداد ۱۱ شاخص که کاربرد بیشتری در حوزه هواشناسی کشاورزی دارند، مورد مطالعه قرار گرفت و رفتار آن‌ها در دوره دیدبانی، تطابق آن‌ها با شاخص‌های مستخرج از داده‌های تاریخی مدل‌های منتخب CMIP6 و پیش‌نگری آنها بررسی شد. دوره پایه ۱۹۸۹-۲۰۱۴ و دوره‌های آینده ۲۰۲۶-۲۰۵۰ (آینده نزدیک)، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ (آینده میانه) و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ (آینده دور) در نظر گرفته شدند. سه مدل ESM شامل ACCESS-CM2، MIROC6 و MRI-ESM2-0 برای انجام این تحقیق انتخاب شدند. از نرم افزارهای CMHyd و Rclimdex به ترتیب برای مقیاس‌گامی داده‌های مدل‌های یاد شده و استخراج شاخص‌های حدی استفاده شد. نتایج نشان دادند از سه مدل یاد شده، مدل ACCESS-CM2 توانمندی بهتری در مقایسه با سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دوره تاریخی دارد و لذا به‌عنوان مناسب‌ترین مدل جهت پیش‌نگری انتخاب شد. نتایج نشان دادند که بر اساس مدل منتخب نهایی، در سه سناریو و در سه دوره آینده نزدیک، میانه و دور در سطح اطمینان ۹۵ درصد، شاخص شب‌های سرد روند کاهشی معنادار و درصد شب‌های گرم روند افزایشی معنادار دارند و در سطح اطمینان ۹۰ درصد تعداد روزهای تابستانی نیز در سناریو خوش‌بینانه در آینده نزدیک، میانه و دور روند افزایشی معنی‌دار دارد و در سناریو میانه (آینده نزدیک و میانه) و در سناریو بدبینانه (تنها در آینده نزدیک) روند افزایشی دارد. علیرغم وجود تغییرات مثبت و منفی در بقیه ۸ شاخص حدی دمایی و بارشی در دوره‌های آینده، در هیچ یک از آنها در دو سطح ۹۰ و ۹۵ درصد تغییرات معنادار تشخیص داده نشد. آگاهی از چشم‌انداز آینده رخدادهای حدی بارشی و دمایی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریت آب، خاک و هواشناسی کشاورزی، به ویژه در برنامه در حال تدوین هفتم توسعه اقتصادی- اجتماعی کشور، مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: رخدادهای حدی، مشهد، CMIP6، CMHyd و Rclimdex

مقدمه

به دلیل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای (ناشی از فعالیت‌های

انسانی)، کره‌زمین با گرمایش جهانی مواجه شده است که در نتیجه، این گرمایش، سبب تغییر اقلیم در سرتاسر جهان گشته است (Hagemann et al., 2009). تاکنون پژوهش‌های مختلفی به منظور بررسی تغییر اقلیم و تغییر مقادیر حدی انجام شده است به عنوان مثال زای و همکاران در سال ۲۰۰۰ و پلومر و کواتورز در سال ۲۰۰۲ نشان دادند که در چین و استرالیا و نیوزلند تعداد روزهای با حدهای دمایی پایین روند کاهشی داشته اند، بدون آنکه تعداد روزهای با حدهای دمایی بالا روند افزایشی داشته باشند (Zhai et al., 2000; Plummer & Couathors., 2002). در مطالعه‌ای دیگر در جنوب و مرکز کانادا مشخص شد که تعداد روزهای یخبندان کاهش و شدت بارش‌های سنگین به ویژه در اواخر قرن بیست افزایش یافته است (Chad et al., 2012). در مطالعه‌ای بر روی حوضه آبریز

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
 - ۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
 - ۳- استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد، ایران
 - ۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
- *- نویسنده مسئول:
(Email: mousavib@um.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.5.7.2

نتایج تحقیقی با استفاده از یک مدل گردش کلی و سناریوهای A1B و A2 و B1 و روش‌های مقیاس‌کاهی مختلف، حاکی از افزایش در دمای متوسط و بیشینه و کمینه در تمام فصل‌ها و افزایش در بارش در فصل‌های بهار و پاییز و زمستان بود (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰). در اصفهان در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۴ با استفاده از روش ناپارامتریک من‌کندل تعداد روزهای یخبندان بررسی شد که نتایج حاصل از این بررسی حاکی از آن بود که اگرچه تعداد روزهای یخبندان کاهش نیافته اما وقوع یخبندان‌های شدید رو به کاهش بوده است و فراوانی دماهای صفر درجه سانتی‌گراد روند افزایشی داشته است (منتظری، ۱۳۸۹). در استان هرمزگان با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک، میانگین‌های فصلی و سالانه بارش و دما به همراه مقادیر حدی آنها مورد بررسی قرار گرفت، نتایج حاکی از تشدید گرما و کاهش در بارش و افزایش در نوسان‌های بارش و مقادیر حدی دما می‌باشد (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۹۰). در مطالعه‌ای که با استفاده از داده‌های مقیاس‌کاهی مدل گردش کلی جو ECHO-G انجام شد، نتایج حاکی از آن بود که به میزان متوسطی یخبندان‌های سنگین هفت روز و یخبندان‌های دیررس سبک سیزده روز زودتر از میانگین در درازمدت پایان خواهند یافت همینطور نتایج نشان داد که در سه ایستگاه تربت حیدریه و سبزوار و مشهد فراوانی در تعداد و شدت یخبندان‌های دیررس نسبت به دوره‌های قبل کاهش خواهد داشت (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). در بندرانزلی عملکرد مدل‌های گردش کلی GCM برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج حاکی از آن بود که به علت اختلافات چشم‌گیر میان داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی و شبیه‌سازی شده بر اساس شاخص‌های آماری این مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه کارایی لازم را نخواهند داشت اما با این حال این مدل‌ها میانگین دمای سالانه را برای ایستگاه انزلی به گونه خوبی شبیه‌سازی کردند (قربانی و همکاران، ۱۳۸۷). در مطالعه‌ای که در تبریز بر اساس مدل ECHAM4 و با فرض دوبرابر شدن مقدار دی‌اکسیدکربن انجام گرفت نتایج نشان دهنده افزایش دما در تبریز در تمام دوره‌های سالانه و فصلی و ماهانه و افزایش بارش در فصل‌های تابستان و پاییز و کاهش بارش در فصل‌های بهار و زمستان می‌باشد (خورشید دوست و قویدل رحمتی، ۱۳۸۷). در تحقیقی دیگر میران آبدهی سالانه رودخانه گرگانرود تحت تاثیر تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های گردش کلی بررسی شد که برای انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت پیش‌نگری اقلیم در دوره‌های آتی در این حوضه خروجی‌های دمای حداکثر و حداقل و بارش تمام مدل‌ها با هم مقایسه شدند که نتایج حاکی از آن بود که سناریو B2 در مدل HadCM3 در محدوده مورد مطالعه مناسب‌ترین سناریو و مدل می‌باشد (مدرسی و همکاران، ۱۳۹۰). صبوری و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات پهنه‌های اقلیمی را در ایران بر اثر پدیده تغییر اقلیم به کمک مدل‌های اقلیمی و با استفاده از روش

رودخانه نیل با استفاده از داده‌های دما و بارش پنج مدل اقلیمی مشخص شد که احتمال وقوع بارش‌های سنگین به ویژه تا سال ۲۰۵۰ در منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد (Yates & Strzepek, 2002). در تحقیقی با استفاده از چهار مدل گردش کلی افزایش میانگین دبی و احتمال رخداد سیل در بنگلادش تا سال ۲۰۳۰ تایید شد (Mirza, 2002). در آفریقا با استفاده از یک مدل گردش کلی مشخص شد که فراوانی در امواج گرم و دوره خشک تا سال ۲۰۵۰ در منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد (Paeth et al., 2008). همچنین در منطقه فلات تبت به بررسی شاخص‌های حدی بارش و دما تا سال ۲۰۹۹ پرداخته شد نتایج حاکی از کاهش در تعداد روزهای یخبندان و افزایش در تعداد شب‌های گرم می‌باشد، همینطور نتایج نشان دهنده افزایش فراوانی و شدت بارش‌های سنگین بوده است (Yang et al., 2012). در مطالعه‌ای که در ۹ حوضه ایرلند بر اساس مدل ECHAM5 و سناریو A1B و با مقیاس‌کاهی توسط مدل اقلیمی RCA3 انجام گرفت نتایج حاکی از کاهش بارش در تابستان و افزایش آن در زمستان و افزایش دما در کل ایرلند بود (Steele-Dunne et al., 2008).

در مطالعاتی که در ایران انجام شده است نیز به بررسی آثار تغییر اقلیم بر میانگین‌های اقلیمی و رخداد‌های حدی پرداخته شده است، مانند بررسی روند مقادیر حدی بارش در ۴۷ ایستگاه سینوپتیک در ایران که نتایج نشان دهنده افزایش روزهای خشک و کاهش بارش سالانه در بیشتر ایستگاه‌ها بوده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین در پژوهشی با استفاده از مدل‌های CMIP5 و سه سناریو RCP2.6 و RCP4.5 و RCP8.5 دما و بارش در آینده در حوضه آبریز کرخه پیش‌بینی و شاخص‌های حدی محاسبه گردید (اشرف و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیقی که به بررسی منطقه‌ای تغییر اقلیم در حوضه آبریز گرگانرود-قره‌سو با استفاده از آزمون‌های آماری انجام گرفت، نتایج حاکی از روند صعودی در دمای حداقل و نیز حداکثر در فصل‌های تابستان و زمستان و نمایانگر تاثیرات تغییر اقلیم در بیشتر نواحی این حوضه بود (مدرسی و همکاران، ۱۳۸۹). در استان خراسان رضوی روند رخداد‌های حدی بارش با بررسی ۱۲ شاخص حدی بارش مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج حاکی از کاهش چشم‌گیر در روند این شاخص‌های حدی در مرکز استان بود و در شمال استان در بعضی از شاخص‌ها روند افزایشی و برخی دیگر روند کاهشی مشاهده شد (قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعه‌ای که با استفاده از یک مدل گردش کلی و سناریو A1 در ۴۳ ایستگاه سینوپتیک ایران انجام گرفت تغییر اقلیم در دوره‌های آتی برای سه دهه مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج بیانگر افزایش بارش‌های سنگین (۱۳٪) و فوق سنگین (۳۹٪) و همچنین افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰.۵ درجه سانتیگراد در سال‌های آینده بود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

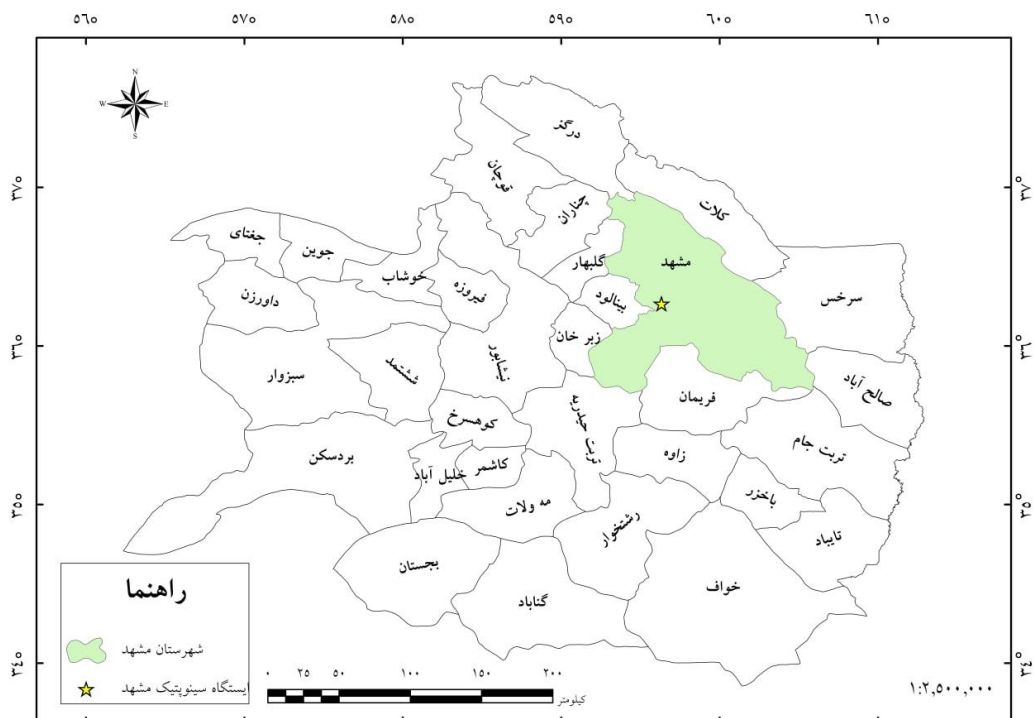
دمایی موثر بر کشاورزی با استفاده از سه مدل ES-MIP6 سری CMIP6 تحت سه سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، میانه (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) در ایستگاه هواشناسی همدیدی مشهد مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر ایستگاه همدیدی شهرستان مشهد است، این شهرستان در طول جغرافیایی ۵۹/۰۱ تا ۶۰/۳۱ شرقی و عرض ۳۵/۴۰ تا ۳۷/۰۶ شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط این شهرستان ۱۸۱۲ متر (حداکثر ۳۱۰۰ متر و حداقل ۸۰۰ متر) از سطح دریا در جهت شمال شرقی استان خراسان رضوی واقع شده است. ارتفاع ایستگاه هواشناسی همدیدی مشهد از سطح متوسط دریا ۹۹۹ متر است. این شهرستان از غرب با شهرستان‌های گلپهار و بینالود و از جنوب با شهرستان‌های تربت‌حیدریه، فریمان و تربت‌جام، از شرق با شهرستان سرخس و از شمال با شهرستان‌های چناران، کلات و درگز همسایه است (شکل ۱).

مقیاس‌های مطالعه کردند که در این تحقیق مقیاس‌های توسط LARS-WG5.5 انجام شد و بعد از مقایسه ۱۸ مدل گردش کلی از گزارش چهارم IPCC در نهایت سه مدل MPECH5 و HADCM3 و NCCCSM به منظور برآزش بارش و دما در ایران استفاده شد. در پژوهشی که توسط خروجی مدل‌های فاز ششم CMIP6 درمورد چشم‌انداز بلندمدت دمای آینده در کشور انجام گرفت از داده‌های دمای ۴۳ ایستگاه ایران و سه مدل از مدل‌های CMIP6 برای سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۹ و ۲۰۲۰-۲۱۰۰ استفاده شد، نتایج نمایشگر افزایش دما در کشور تا اواخر قرن بیست و یک برای تمامی ماه‌های سال بود (زرین و داداشی رودباری، ۱۳۹۹).

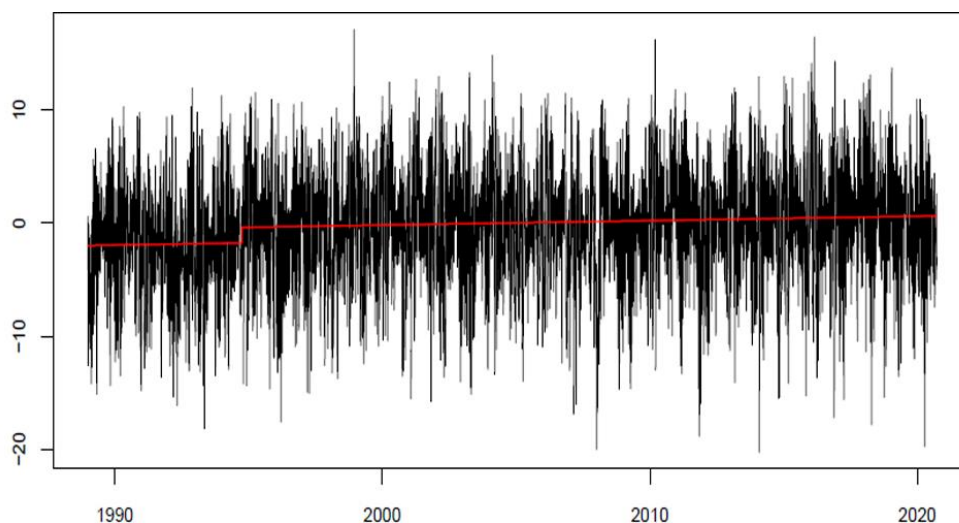
در مجموعه مدل‌های CMIP6 دو سری مدل‌های کره‌ای اقلیمی وجود دارند که عبارتند از: GCM (General Circulation Model) و ESM (Earth System Model). مدل‌های ESM به دلیل استفاده بیشتر از مولفه‌های سامانه زمین در شبیه‌سازی اقلیم دوره تاریخی و آینده دارای توانمندی بیشتری نسبت به مدل‌های GCM می‌باشند، لذا در این مطالعه نوع مدل اقلیمی ESM در نظر گرفته شد. در نتیجه با توجه به تاثیر رخدادهای حدی در عملکرد محصولات کشاورزی، در پژوهش حاضر چشم‌انداز شاخص‌های حدی بارشی و



شکل ۱- موقعیت ایستگاه سینوپتیک مشهد در استان خراسان رضوی

می‌گردند. بعد از اعمال تابع ذکر شده با باز کردن فایل نوشتاری mcs لیست نقاط شکست با تاریخ آن‌ها نمایش داده می‌شود. در صورتی که در این لیست پیام *0 changepoints in Series* مشاهده گردد به این معناست که سری همگن می‌باشد و فاقد نقطه شکست می‌باشد. که در مورد ایستگاه مشهد سری زمانی همگن بود. جهت بررسی همگنی و همگن‌سازی داده‌های دما از بسته نرم‌افزاری *RHtestsV4* در محیط نرم‌افزار R استفاده شد (Wang & Feng, 2013) که برای ایستگاه مشهد یک نقطه شکست در دمای ماکزیمم وجود داشت که اصلاح شد. (شکل ۲).

پیش از تحلیل روند و معناداری آن در شاخص‌های حدی میبایست همگنی و یکنواختی داده‌های بلندمدت بارش بررسی شود (قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). بررسی این همگنی و همگن‌سازی به وسیله بسته نرم‌افزاری *RHtests-dlyPrpc* انجام گرفت. بسته ذکر شده که به‌طور ویژه جهت همگن ساختن سری‌های زمانی بارش مورد استفاده می‌باشد، در سال ۲۰۱۳ به صورت آنلاین در دسترس عموم قرار گرفت. بسته نرم‌افزار *RHtests-dlyPrpc* دارای سه تابع جهت تشخیص و همچنین رفع نقطه‌های شکست غیرواقعی در سری بارش روزانه می‌باشد بدون آنکه از سری مرجعی استفاده نماید (Wang & Feng., 2013). ابتدا داده‌های ایستگاه توسط تابع *FindU* بررسی



شکل ۲- نقطه شکست در نمودار سری زمانی دمای ماکزیمم ایستگاه مشهد

با آدرس <https://cds.climate.copernicus.eu> برای سه دوره‌ی آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، آینده میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و آینده دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) و همچنین دوره تاریخی (۱۹۸۹-۲۰۱۴) بر روی نزدیک‌ترین یاخته به ایستگاه هواشناسی همدیدی مشهد دریافت شدند. طرح مدل‌های سری *CMIP6* در سال ۲۰۱۳ میلادی در هفدهمین نشست کارگروه تحقیقات آب و هوای جهانی (WCRP) تأیید شد (O'Neill et al, 2016). پیش‌نگری توسط این مدل‌ها ترکیبی از مجموعه‌ای نوین از یک سری سناریوهای انتشار و کاربری اراضی حاصل شده توسط مدل‌های *IAMs* (Integrated Assessment Models) بر اساس خطوط سیر مشترک اقتصادی-اجتماعی (SSP) در آینده (که مواردی نظیر سن، رشد اقتصادی، شهرنشینی، تحصیلات، جمعیت و ... را شامل می‌شود) و در ارتباط با سناریوهای غلظت گازهای گلخانه‌ای یا *RCPs* است (Eyring et al., 2016).

جهت انجام این پژوهش از دو سری داده‌های دیدبانی و برون‌داد مدل‌های منتخب سری *CMIP6* استفاده شد. داده‌های دیدبانی به صورت روزانه و شامل دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش در دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۹ از ایستگاه هواشناسی همدیدی در نظر گرفته شدند. مدل‌های *ESM* نسل جدیدی از مدل‌های اقلیمی می‌باشند که به تدریج جایگزین مدل‌های *GCM* می‌شوند. بنابراین در مرحله اول سه مدل *ESM* شامل *MIROC6*، *ACCESS-CM2* و *MRI-ESM2-0* انتخاب شدند که علاوه بر غربالگری آنها بر اساس نوع مدل اقلیمی (*GCM* یا *ESM*)، عامل دسترسی به داده‌های روزانه، داده‌های دوره تاریخی و آینده و وجود داده‌های سه سناریوی *SSP1-2.6*، *SSP2-4.5* و *SSP5-8.5* برای دو متغیر بارش و دمای روزانه در زمان انجام تحقیق نیز در نظر گرفته شدند. مشخصات مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است (Priestley et al., 2020). داده‌های مدل‌های یادشده از طریق پایگاه کوپرنیک

جدول ۱- مشخصات مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق

No	Model name	Horizontal resolution	Institution
1	ACCESS-CM2	192 * 144 250 km	CSIRO-ARCCSS; Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science
2	MIROC6	256 * 128 250 km	MIROC Consortium (JAMSTEC, AORI, NIES, R-CCS), Japan
3	MRI-ESM2-0	320 * 160 100 km	MRI, Meteorological Research Institute, Japan

مدل CMHyd

دوره داده‌های مدل اقلیمی برای آینده بایستی برابر طول دوره مطالعاتی باشد. چنین الزامی برای داده‌های مدل در دوره تاریخی وجود ندارد. فرآیند مقیاس‌گامی یا تصحیح اریبی در پنج مرحله انجام می‌شود (مقیاس‌گامی نوعی تصحیح اریبی است که همراه با افزایش وضوح متغیر اقلیمی مورد مطالعه است). این مراحل به ترتیب عبارتند از: ورود متغیرهای دیدبانی (به صورت متنی)، انتخاب روش حذف اریبی از میان ۸ روش پیش فرض موجود، ورود داده‌های مدل در دوره تاریخی و سناریو (به دو صورت متنی یا netcdf)، پردازش (شامل چک کردن داده‌های ورودی و اجرای فرآیند مقیاس‌گامی) و مرحله آخر ترسیم خروجی‌های مدل (بابائیان و همکاران، ۱۴۰۰).

شاخص‌های حدی

کارگروه ETCCDI سازمان جهانی هواشناسی ۲۷ شاخص را در گروه شاخص‌های حدی قرار داده است. این تحقیق بر روی ۱۱ شاخص حدی که دارای بیشترین کاربرد در بخش کشاورزی است، متمرکز است (کوزه‌گران و همکاران، ۱۳۹۶). در جدول ۲، رخدادهای حدی مورد مطالعه در این پژوهش آورده شده است.

برونداد مدل‌های گردش کلی به دلیل وضوح کم آن‌ها قابل استفاده برای مطالعات کاربردی در مقیاس منطقه‌ای و ایستگاهی نیستند، لذا آن‌ها نیازمند مقیاس‌گامی تا سطح ایستگاه می‌باشند. در این مطالعه از نرم‌افزار CMHyd به علت برخورداری از هشت روش مختلف مقیاس‌گامی، اجرای سریع و هزینه‌ی کم محاسباتی جهت مقیاس‌گامی برونداد مدل‌های منتخب CMIP6 استفاده شد. برای مقیاس‌گامی داده‌ها، این نرم‌افزار نیازمند سه نوع داده، شامل داده دیدبانی، داده دوره گذشته مدل اقلیمی (هستوری‌کال) و داده سناریوی (آینده) مدل‌های اقلیمی می‌باشد. در این بخش به اختصار مدل CMHyd معرفی می‌شود:

در مسیر داده‌های دیدبانی (observation) دو نوع فایل مشخصات ایستگاه‌ها و داده‌های روزانه متغیرهای بارش و دما به صورت متنی (ASCII) معرفی می‌شوند. در صورت وجود خلاءهای آماری از کدهای ۹۹/۹- یا ۹۹- استفاده می‌شود. در بخش مربوط به داده‌های مدل اقلیمی، داده‌ها را می‌توان به دو فرمت (NetCDF) و متنی (ASCII) به مدل معرفی کرد. طول

جدول ۲- رخدادهای حدی مورد مطالعه در این تحقیق (Peterson et al., 2001)

ردیف	نام شاخص	نماد	تعریف	واحد
۱	روزهای تابستانی	SU	تعداد روزهای با دمای حداکثر بزرگتر از ۲۵ درجه	روز
۲	حداکثر دمای حداکثر	T	بالاترین دمای حداکثر در ماه	درجه سانتی‌گراد
۳	حداقل دمای حداقل	T	کمترین دمای حداقل در ماه	درجه سانتی‌گراد
۴	شب‌های سرد	TN10p	درصد روزهای با دمای حداقل کمتر از صدک دهم دوره‌ی پایه استاندارد	درصد
۵	شب‌های گرم	TN90p	درصد روزهای با دمای حداقل بزرگتر از صدک نودم دوره‌ی پایه استاندارد	درصد
۶	حداکثر بارش پنج روزه	RX5day	حداکثر بارش پنج روزه در ماه	میلیمتر
۷	شاخص شدت بارش	SDII	بارش سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب (روز مرطوب = روز با بارش بیشتر یا مساوی ۱ میلیمتر)	میلیمتر در روز
۸	تعداد روز خشک متوالی	CDD	حداکثر طول دوره بدون بارش (بارش کمتر از ۱ میلیمتر)	روز
۹	روز خیلی مرطوب	R95p	مجموع بارش روزهایی با میزان بارش بیش از صدک ۹۵ ام	میلیمتر
۱۰	روزهای فوق العاده مرطوب	R99p	مجموع بارش روزهایی با میزان بارش بیش از صدک ۹۹ ام	میلیمتر
۱۱	مجموع بارش سالانه	PRCPTOT	مجموع بارش سالانه (با بارش بزرگتر یا مساوی ۱ میلیمتر)	میلیمتر

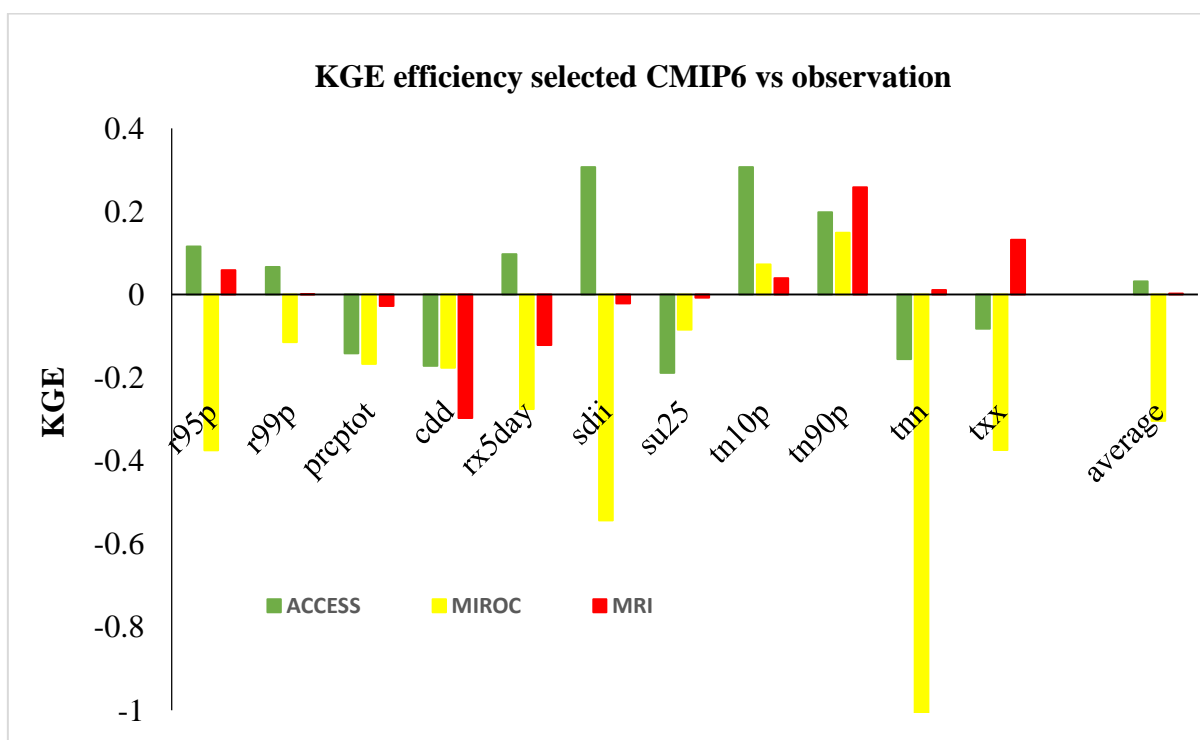
کارگروه ویژه تعیین تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI) بعد از توافق بین المللی، جهت هموارسازی، محاسبه دقیق و آسان شاخص‌های حدی و همچنین فراهم شدن روشی یکسان برای محاسبه شاخص‌ها با هدف برقراری امکان مقایسه آن‌ها در نقاط مختلف جهان، نرم‌افزاری تحت عنوان Rclimindex معرفی و ارائه نمود، بدین ترتیب، شاخص‌های حدی چه بر اساس داده‌های مشاهداتی و چه بر اساس پرونداد مدل‌های تغییر اقلیم هم در سطح منطقه‌ای و هم جهانی قابل محاسبه می‌باشند و در صورتی که تجزیه و تحلیل روند تغییر شاخص‌ها بعد از تعیین مقدار و فراوانی آن‌ها انجام گردد، آگاهی تقریباً مطلوبی از شرایط پدیده‌های حدی در منطقه‌های تحت مطالعه، فراهم می‌کنند (اشرف و همکاران، ۱۳۹۶). در نتیجه جهت محاسبه شاخص‌های حدی فوق در دو دوره دیدبانی و آینده از نرم افزار Rclimindex استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های حدی مندرج در جدول ۲ برای ایستگاه هواشناسی همدیدی مشهد برای سه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) محاسبه شدند. شاخص‌های حدی دوره آینده با بکارگیری داده‌های مقیاس کاهی شده سه مدل اقلیمی مورد مطالعه محاسبه شد. در ادامه انتخاب مناسب‌ترین مدل و روند رخدادهای حدی و تحلیل آن‌ها برای دوره آینده آورده می‌شود.

ارزیابی مدل اقلیمی

همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد، در مجموعه مدل‌های CMIP6 سه مدل ACCESS-CM2 و MIROC6 و MRI-ESM2 از نوع مدل‌های ESM می‌باشند که مؤلفه‌های بیشتری از سیستم زمین را در مدل‌سازی آب و هوا در نظر می‌گیرد و توانمندی به نسبت بهتری در مقایسه با مدل‌های GCM دارا می‌باشند. مبنای انتخاب آن‌ها بر اساس دسترسی به داده‌های روزانه، داده‌های دو دوره تاریخی و آینده و وجود داده‌های سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای دو متغیر بارش و دمای روزانه در دوره مطالعه بوده است. در این مرحله شاخص کلینگ-گوپتا برای هر یک از مدل‌ها و متغیرهای مورد بررسی محاسبه شد. کلینگ-گوپتا تلفیقی از سه شاخص میانگین، (ضریب همبستگی) COREL و انحراف استاندارد است که هر چه به عدد ۱ نزدیکتر باشد نشان دهنده توانمندی بیشتر شبیه‌سازی است. شاخص فوق پس از محاسبه برای هر یک از سه مدل مذکور در شبیه‌سازی ۱۱ شاخص‌های حدی دوره تاریخی ترسیم گردید و بر مبنای نمودار یادشده مدل ACCESS-CM2 با کارایی بیشتر به عنوان مدل نهایی برای پیش‌نگری شاخص‌های حدی انتخاب شد. در شکل ۳ نمودار شاخص کلینگ-گوپتا نشان داده شده است.



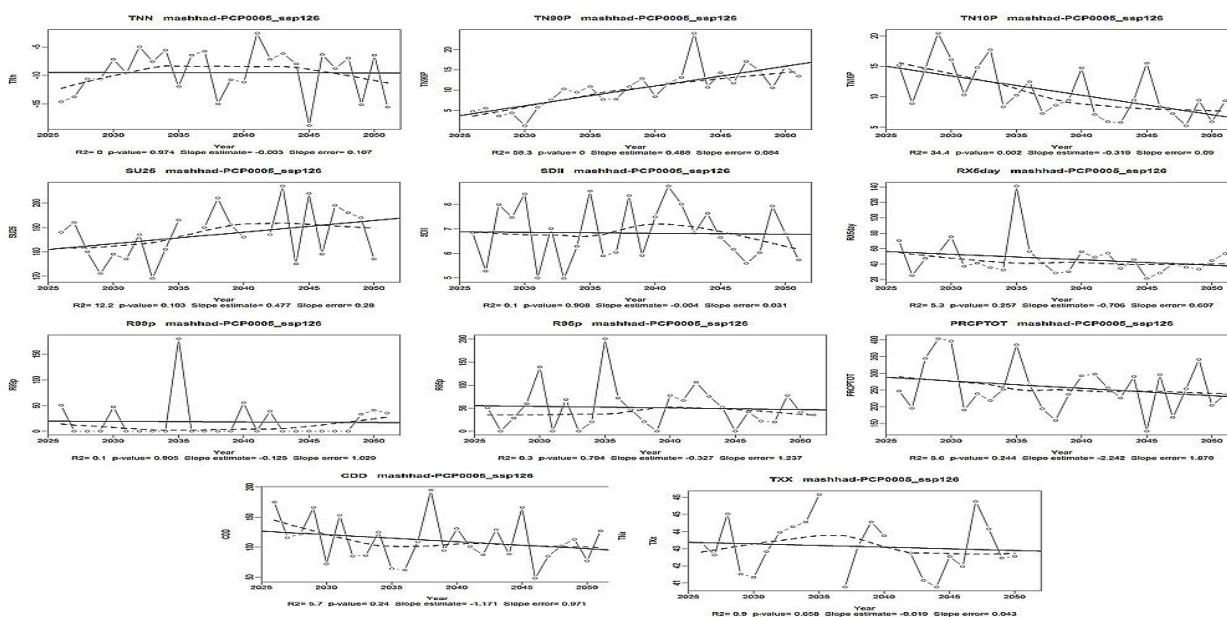
شکل ۳- نمودار شاخص کلینگ-گوپتا برای هر یک از شاخص‌های حدی و میانگین بر اساس داده‌های هیستوریکال سه مدل

حدی موردنظر و محور افقی دوره آینده نزدیک، میانه یا دور است، همچنین در هر تصویر، به ترتیب از بالا سمت چپ نمودار مربوط به شاخص‌های Tn ، $Tn90p$ ، $Tn10p$ ، $Su25$ ، $SDII$ ، $Rx5day$ ، $R95p$ ، $R99p$ ، $Preptot$ ، CDD و Txx می‌باشد. مطابق شکل‌های یادشده معنی‌دار بودن هر یک از شاخص‌های حدی پیش‌نگری شده برای سه دوره آینده نزدیک، میانه و دور تحت سناریوی خوشبینانه (ssp126) بر اساس آزمون t-student مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج در سطح اطمینان ۹۵ درصد در تمامی دوره‌های آینده نزدیک، میانه و دور روندها در دو شاخص $tn10p$ و $tn90p$ معنادار است و در باقی شاخص‌ها روند معنادار نمی‌باشد. ولی در سطح اطمینان ۹۰ درصد علاوه بر دو شاخص ذکر شده روند در شاخص $su25$ نیز معنادار می‌باشد. در ادامه یک نمونه از نتایج آزمون معنی‌داری بر اساس t-student برای دوره آینده نزدیک آورده شده است (جدول ۳).

بعد از انتخاب مناسب‌ترین مدل تمامی شاخص‌های حدی با استفاده از خروجی مقیاس‌گاهی شده مقادیر بارش و دمای روزانه مدل CMhyd برای سه سناریو خوش‌بینانه، میانه و بدبینانه برای هر سه آینده نزدیک و میانه و دور محاسبه شد و شکل‌های هر شاخص در هر دوره زمانی ترسیم گردید که در ادامه به تحلیل این شکل‌ها و انجام معناداری آن‌ها توسط آزمون t-student پرداخته می‌شود.

پیش‌نگری شاخص‌های حدی

پیش‌نگری شاخص‌های حدی برای سه سناریو خوش‌بینانه، میانه و بدبینانه به تفکیک سه دوره آینده نزدیک و میانه و دور و روند معناداری آن‌ها در مقایسه با دوره پایه توسط شاخص t-student ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل‌های ۴ تا ۶ پیش‌نگری ۱۱ شاخص حدی مورد مطالعه آورده شده است که در این نمودارها محور عمودی مقدار شاخص

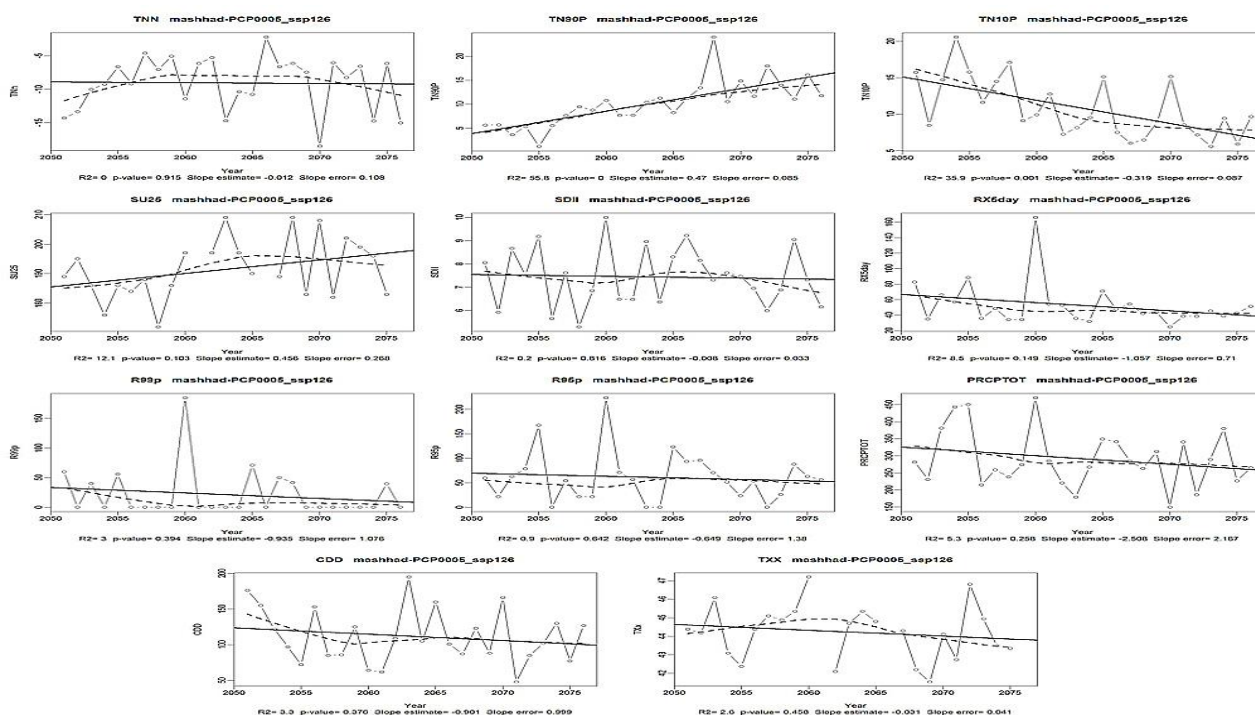


شکل ۴- پیش‌نگری یازده شاخص حدی منتخب آینده نزدیک نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) تحت سناریوی خوش‌بینانه (SP1-2.6)

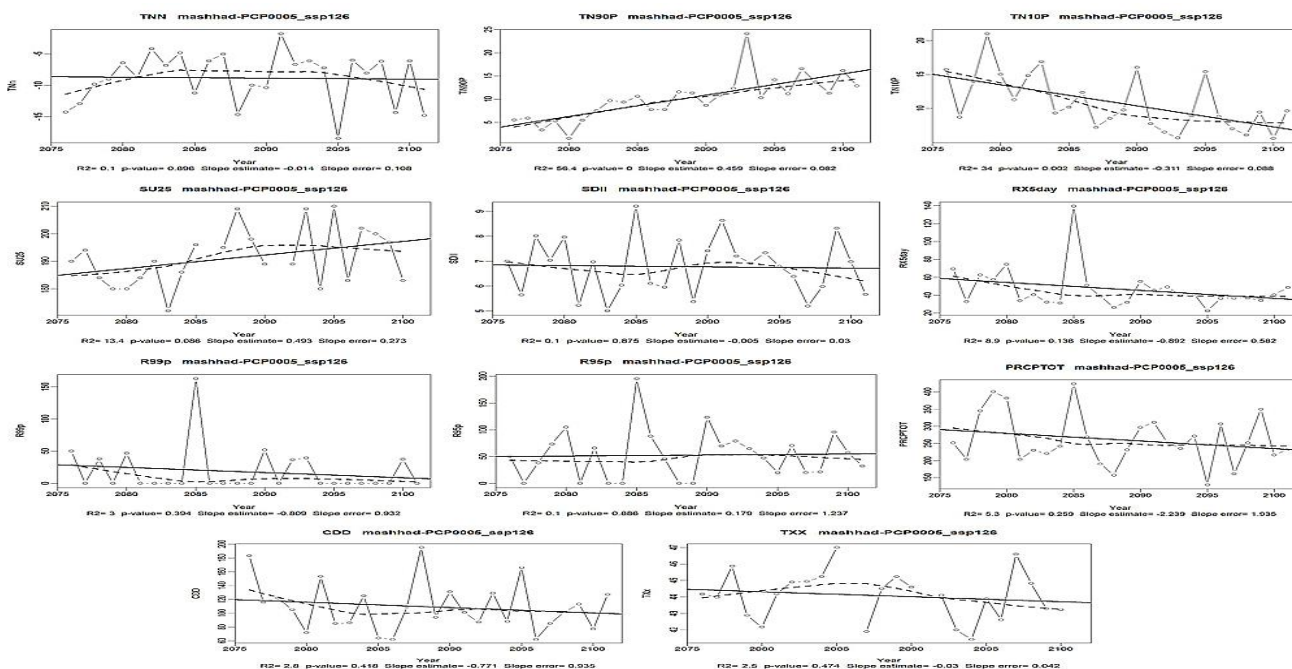
روند تنها در دو شاخص $tn10p$ و $tn90p$ معنادار است و در باقی شاخص‌ها معنادار نمی‌باشد ولی در سطح اطمینان ۹۰ درصد علاوه بر دو شاخص ذکر شده شاخص $su25$ نیز دارای روند معناداری می‌باشد. در شکل‌های ۷ تا ۹ روند ۱۱ شاخص حدی برای سه دوره آینده نزدیک، میانه و دور آورده شده است دو شاخص $su25$ و $tn90p$ در هر سه آینده نزدیک و میانه و دور دارای روند افزایشی و باقی ۹ شاخص دارای روند کاهشی می‌باشند که با استفاده از آزمون تی‌استیودنت مشاهده گردید که در سطح اطمینان ۹۵ درصد تنها در دو شاخص $tn10p$ و $tn90p$ روند معنادار می‌باشد و در ۹ شاخص

پیش‌نگری ۱۱ شاخص حدی با لحاظ سناریوی میانه SSP2-4.5 نیز ترسیم شد که به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله، تنها به درج نمودارهای مربوط به دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانه اکتفا شد. بر این اساس در سناریوی میانه، در آینده نزدیک و دور تنها سه شاخص $su25$ و $tn90p$ و TNn دارای روند افزایشی و باقی ۸ شاخص دارای روند کاهشی می‌باشد ولی در آینده میانه تنها دو شاخص $su25$ و $tn90p$ دارای روند افزایشی و باقی شاخص‌ها دارای روند کاهشی می‌باشند که در این میان با توجه به آزمون تی‌استیودنت در سطح اطمینان ۹۵ درصد در همه‌ی دوره‌های آینده در این سناریو

باقی مانده روند معنادار نمی‌باشد اما در سطح اطمینان ۹۰ درصد فقط در آینده نزدیک شاخص SU_{25} نیز علاوه بر دو شاخص ذکر شده معنادار است.



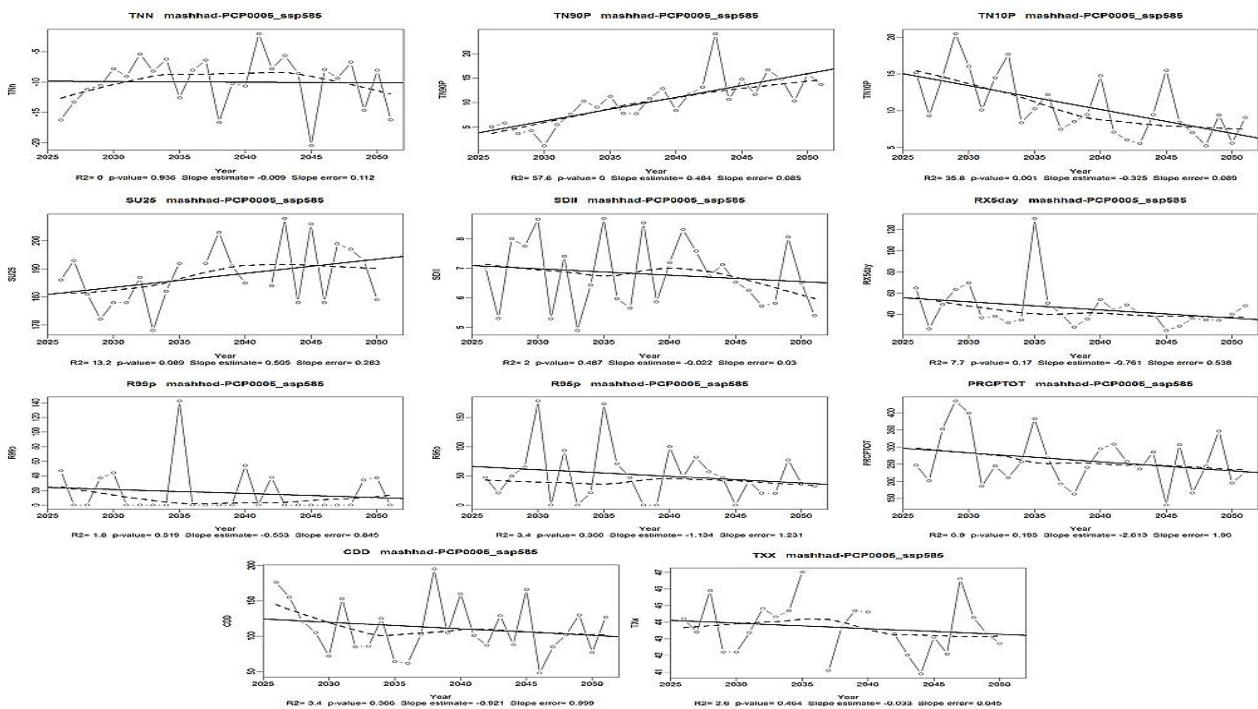
شکل ۵- پیش‌نگری یازده شاخص حدی منتخب برای دوره آینده میانه (۲۰۷۵-۲۰۵۱) تحت سناریوی خوش بینانه (SSP1-2.6)



شکل ۶- پیش‌نگری یازده شاخص حدی منتخب برای دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) تحت سناریوی خوش بینانه (SSP1-2.6)

جدول ۳- بررسی معناداری روند یازده شاخص حدی منتخب آینده نزدیک ssp126

Extreme Index	R2	R	t	t 95%	Significant trend 95%	t 90%	Significant trend 90%
r95	0/002897176	0/053825424	0/264072457	2/0639	FALSE	1/7109	FALSE
r99	0/000609899	0/024696133	0/121022763	2/0639	FALSE	1/7109	FALSE
preptot	0/056032279	0/236711383	1/193565321	2/0639	FALSE	1/7109	FALSE
cdd	0/057093346	0/238942139	1/205491126	2/0639	FALSE	1/7109	FALSE
rx5day	0/053252019	0/230763991	1/161867137	2/0639	FALSE	1/7109	FALSE
sdii	0/001243786	0/035267349	0/172881568	2/0639	FALSE	1/7109	FALSE
su25	0/121470404	0/348526045	1/821640449	2/0639	FALSE	1/7109	TRUE
tn10p	0/344103543	0/586603395	3/548399838	2/0639	TRUE	1/7109	TRUE
tn90p	0/583192771	0/76367059	5/794874904	2/0639	TRUE	1/7109	TRUE
tnn	4/4046 E -05	0/006636713	0/032513838	2/0639	FALSE	1/7109	FALSE
txx	0/009508529	0/097511687	0/479995229	2/0639	FALSE	1/7109	FALSE



شکل ۷- پیش‌نگری یازده شاخص حدی منتخب آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) در شرایط سناریوی SSP5-8.5

حوزه‌های یادشده ضروری است. تاکنون محققان بسیاری در داخل و خارج از کشور به این موضوع پرداخته اند؛ اما با انتشار گزارش ششم تغییر اقلیم از سوی هیات بین دولتی تغییر اقلیم و دسترسی به داده‌های مورد استفاده در گزارش مذکور (CMIP6)، این امکان برای به‌روزرسانی مطالعات در حوزه رخدادهای حدی فراهم شده است تا با لحاظ شرایط جدید گرمایش جهانی، سناریوهای اقتصادی-اجتماعی پیش رو در سطح جهانی و منطقه‌ای، تغییرات محتمل در روند آینده رخدادهای حدی مورد مطالعه قرار گیرد. در این مطالعه ابتدا شاخص‌های حدی دوره دیدبانی ایستگاه هواشناسی همدیدی مشهد- به عنوان مهم‌ترین ایستگاه در دشت مشهد- مورد مطالعه قرار گرفت. سپس پس از مقیاس‌کاهی برنوداد سه مدل اقلیمی ACCESS-CM2، MIROC6 و MRI-ESM2 پیش‌نگری شاخص‌های فوق

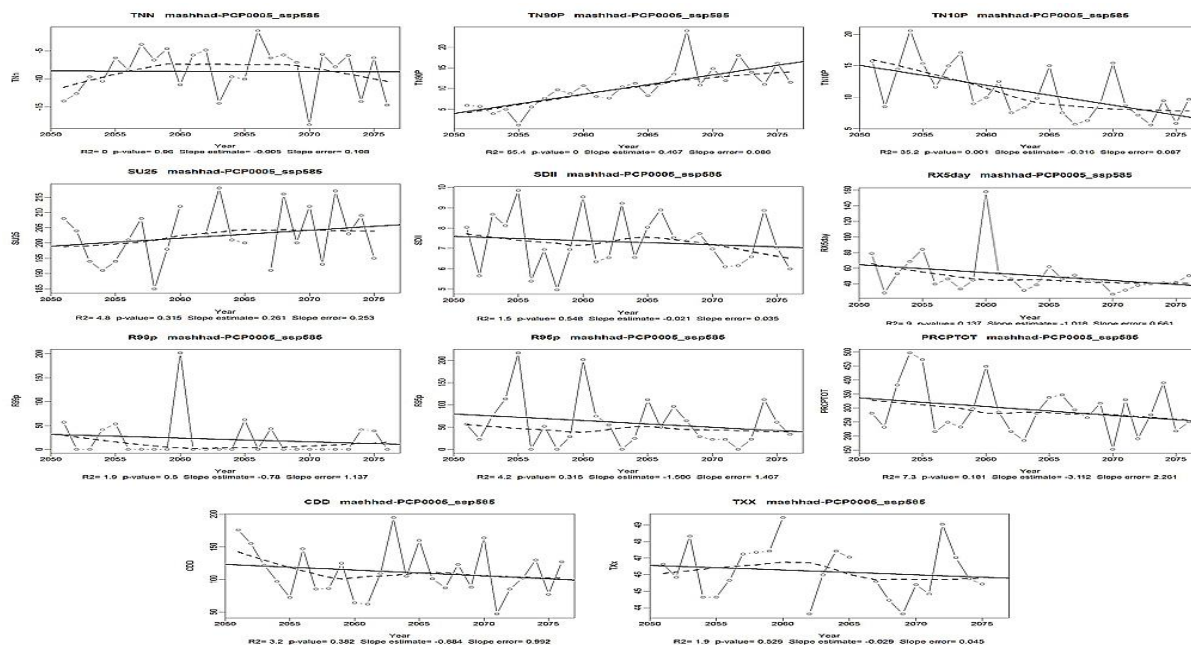
در جدول ۴ خلاصه روند تغییرات معنی‌دار در ۱۱ شاخص حدی در شرایط سناریوهای خوشبینانه، میانه و بدبینانه برای سه دوره آینده آورده شده است. در جدول شاخص‌هایی که تغییرات آن‌ها در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار هستند با یک ستاره و شاخص‌هایی که تغییرات آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار هستند با علامت دو ستاره مشخص شده اند.

نتیجه‌گیری

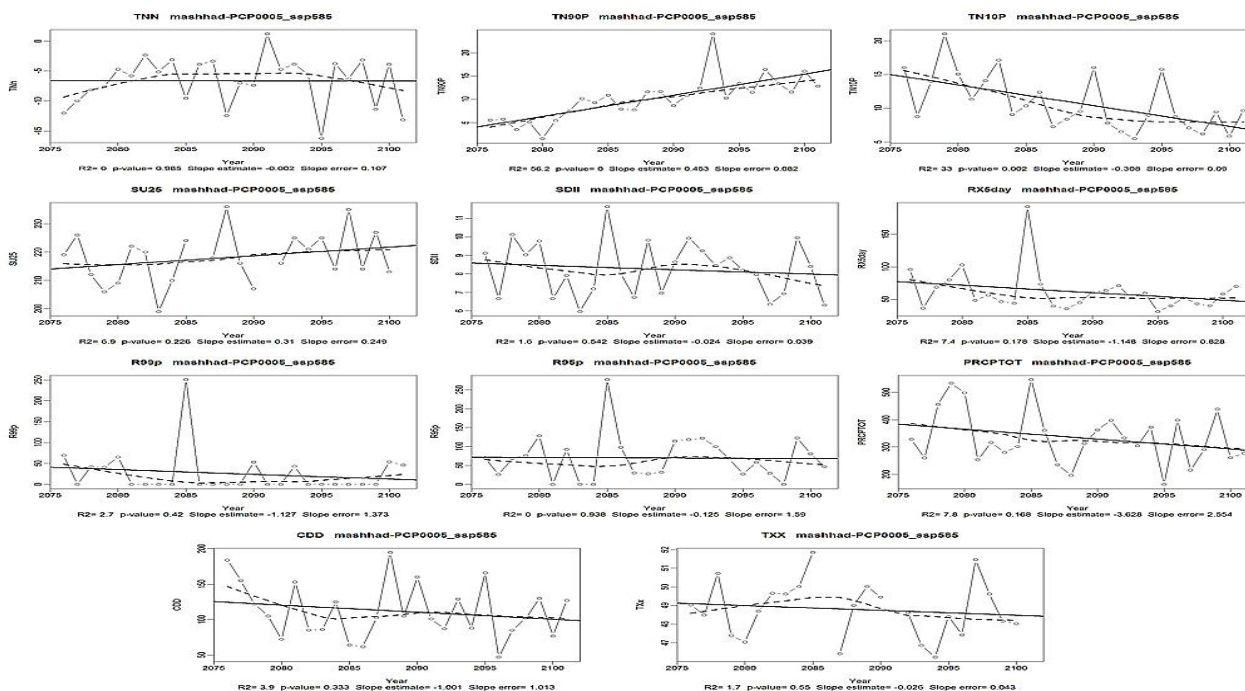
از آنجا که وقوع رخدادهای حدی هواشناسی همواره یکی از چالش‌های اصلی در حوزه کشاورزی، منابع آب و مخاطرات طبیعی بوده است، لذا مطالعه آن برای برنامه‌ریزی بلندمدت کشورمان در

افزایشی و درصد شب‌های سرد روند کاهشی دارد همچنین در سطح اطمینان ۹۰ درصد تعداد روزهای تابستانی نیز در سناریو خوش‌بینانه در آینده نزدیک، میانه و دور روند افزایشی معنی‌دار و در سناریو میانه در آینده نزدیک و میانه، و در سناریو بدبینانه در آینده نزدیک روند افزایشی دارد.

تحت سه سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، میانه (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) برای سه دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، میانه (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) انجام شد. نتایج نشان دادند که بر اساس سناریوهای مختلف در ایستگاه مشهد در سطح اطمینان ۹۵ درصد در آینده نزدیک و میانه و دور درصد شب‌های گرم روند



شکل ۸- پیش‌نگری یازده شاخص حدی منتخب آینده میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۶) در شرایط سناریوی SSP5-8.5



شکل ۹- پیش‌نگری یازده شاخص حدی منتخب آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) در شرایط سناریوی SSP5-8.5

جدول ۴- پیش‌نگری روندهای معنی‌دار ۱۱ شاخص حدی در دوره‌ها و سناریوهای مختلف

شاخص	آینده نزدیک			آینده میانه			آینده دور		
	SSP5	SSP2	SSP1	SSP5	SSP2	SSP1	SSP5	SSP2	SSP1
sdi	-	-	-	-	-	-	-	-	-
r95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
r99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
preptot	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cdd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
rx5day	-	-	-	-	-	-	-	-	-
txx	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tnn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
su25	-	-	p*	-	p*	p*	p*	p*	p*
tn10p	n**	n**	n**	n**	n**	n**	n**	n**	n**
tn90p	P**	P**	P**	P**	P**	P**	P**	P**	P**

اثرات تغییر اقلیم در دوره‌های آتی (مطالعه موردی: گندم و جو دیم در حوضه آبریز کرخه). پایان‌نامه دکترا، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

بابائیان ا، مدیریان ر، خزانه داری ل، کوهی م، کوزه گران س، فلامرزی ی، کریمیان م. و ملیوسی ش. ۱۴۰۰. چشم‌انداز بارش و دمایی کشور در قرن ۲۱ با استفاده از سناریوهای اقتصادی اجتماعی - SSP، پروژه داخلی پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد.

بابائیان ا، نجفی نیک ز، عباسی ف، حبیبی نوخندان م، ادب ح و ملیوسی ش. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. مجله جغرافیا و توسعه. ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲.

خورشید دوست ع. و قویدل رحیمی ی. ۱۳۸۷. ارزیابی تغییر اقلیم تبریز در شرایط دوبرابر شدن دی‌اکسید کربن جو با استفاده از مدل گردش عمومی پیوندی ECHAMA4. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.

رحیم زاده ف، هدایت دزفولی ا. و پور اصغریان ا. ۱۳۹۰. ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش در استان هرمزگان. مجله جغرافیا و توسعه. ۹(۲): ۹۷-۱۱۶.

زرین آ و داداشی. و رودباری ع. ۱۳۹۹. پیش‌نگری چشم‌انداز بلندمدت دمای آینده ایران مبتنی بر برون‌داد پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز ششم (cmip6) مجله فیزیک زمین و فضا. ۴۶(۳): ۵۸۳-۶۰۲.

صبوری غ، موسوی بایگی م، بابائیان ا. و هاشمی نیا م. ۱۳۹۳.

نتایج این تحقیق می‌تواند در تدوین برنامه توسعه هفتم کشور در بخش استان خراسان که در سال ۱۴۰۱ تدوین خواهد شد، مورد استفاده قرار گیرد. برای پژوهش‌های بعدی در این حوزه پیشنهاد می‌شود با هدف پوشش عدم قطعیت پیش‌نگری‌ها از مدل - سناریوهای مختلف، روش‌های مقیاس‌کاهی دینامیکی استفاده شده و وریانت‌های مختلف مدل‌های اقلیمی و نیز مطالعه بر روی تعداد بیشتری از ایستگاه‌های استان و کشور انجام شود. آگاهی از چشم‌انداز آینده رخدادهای حدی بارشی و دمایی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریت آب، خاک و هواشناسی کشاورزی، به ویژه در برنامه در حال تدوین هفتم توسعه اقتصادی-اجتماعی کشور، مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

اسماعیلی ر، عطایی ه و فلاح قالهری غ. ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته دار بادام وزردآلو (مطالعه موردی: خراسان رضوی). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۱(۱): ۱۶۲-۱۴۵.

اشرف ب، موسوی بایگی م، کمالی غ و داوری ک. ۱۳۹۰. پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آب و خاک. ۲۵(۴): ۹۵۷-۹۴۶.

اشرف ب، عزیززاده ا، موسوی بایگی م، جباری نوقابی م، بنیان م. و دهقانی سانچ ح. ۱۳۹۶. مدل‌سازی تأثیر شاخص‌های حدی اقلیمی بر عملکرد محصول و بهره‌وری آب به منظور سازگاری با

- processes reflected in projected hydrological changes over large European catchments. *Climate Dynamics*. 32(6): 767- 781
- Mirza M. 2002. Global warming and changes in the probability of occurrence of floods in Bangladesh and implications. *Journal of Global Environment Changes*. 12: 137-138.
- Paeth H, Born K, Girmes R, Podzun R and Jacob D 2008. Regional Climate Change in Tropicaland Northern Africa due to Greenhouse Forcing and Land Use Changes, *Journal of Climate*. 22: 114-132.
- Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A. and Plummer, N. 2001. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998-2001. World Meteorological organization, Technical Document, No. 1071, World Meteorological organization, Geneva.
- Plummer N. and Couathors M. 2002. Changes in climate extremes over the Australiaan regionand New Zealand during the twentieth century, *Climatic Change*, 42: 183-202.
- Priestley, M. D., Ackerley, D., Catto, J. L., Hodges, K. I., McDonald, R. E. and Lee, R. W. 2020. An overview of the extratropical storm tracks in CMIP6 historical simulations. *Journal of Climate*. 33(15): 6315-6343.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Vuuren, D. P. V., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Meehl, G. A. 2016. The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*. (9): 3461-3482.
- Steele-Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wangs, S. and Hanafin, J. 2008. The impacts of Climate Change on Hydrology in Ireland, *Journal of Hydrology*. 356: 28-45.
- Wang, X. L. and Y. Feng. 2013. RHtests_dlyPrpc User Manual. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 17 pp.
- Yang, T., Hao, X., Shao, Q., Xu, C., Zhao, C., Chen, X. and Wang, W. 2012. Multi model ensemble projection in temperature and precipitation extremes of the Tibetan Plateau in the 21st century. *Global and Planetary Change*, 80-81: 1-13.
- Yates D. N. and K. M. Strzepek. 2002. Modeling the Nile basin under climate change. *Journal of Hydrologic Engineering*. 3(2): 98-108
- Zhai P.A., Sun F., Ren X., Lin B. and Zhang Q. 2000. Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*, 42, 203-218.
- Zhang, X. and Yang, F. 2004. RCLimDex (1.0) User Manual, Climate Research Branch Environment
- مطالعات تغییرات پهنه های اقلیمی ایران در دوره ۲۰۱۰-۲۰۹۹ تحت پدیده گرمایش جهانی با استفاده از ریزمقیاس نمایی مدل های گردش عمومی جو. دانشگاه فردوسی مشهد.
- قربانی واقعی ح، مساح بوانی ع و بهرامی ح. ۱۳۸۷. ارزیابی عملکرد مدل‌های AOGCM در شبیه سازی داده های اقلیمی بندرانزلی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
- قلی پور ج، موسوی بایگی م. جباری نوقابی م. ۱۳۹۷. تأثیر تغییر اقلیم بر روند وقایع فرین بارشی ایستگاه‌های منتخب استان خراسان رضوی (دوره مطالعاتی ۲۰۱۳-۱۹۷۵)، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۲۷: ۱۰۴-۸۹.
- قلی پور ج، موسوی بایگی م، زرین آ. و جباری نوقابی م. ۱۳۹۷. بررسی روند رخدادهای حدی بارشی در استان خراسان رضوی (۱۹۸۷-۲۰۱۷). دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، ۱۹ اردیبهشت، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کوزه‌گران س، موسوی بایگی م، خاشعی سیوکی ع. و بابائیان ا، ۱۳۹۶، مدل سازی عملکرد زعفران با توجه به شاخص های حدی اقلیمی (مطالعه موردی: بیرجند)، نشریه پژوهش‌های زعفران. (۲)۵، ۲۲۹-۲۱۷.
- مدرسی ف، عراقی نژاد ش، ابراهیمی ک. و خلقی م. ۱۳۸۹. بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون های آماری مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود-قره سو. نشریه آب و خاک. (۳)۲۴: ۴۷۶-۴۸۹.
- مدرسی ف، عراقی نژاد ش، ابراهیمی ک و خلقی م. ۱۳۹۰. بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدی سالانه رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). (۶)۲۵: ۱۳۶۵-۱۳۷۷.
- منتظری م. ۱۳۸۹. تحلیل آماری یخبندان‌های کشاورزی در شهرستان نجف آباد. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی. (۴)۲: ۳۸ تا ۲۷.
- Chad sh, Heather A, Oian L. and Guilong L. 2012. Possible impacts of climate change on extremeweather events at local scale in south-central Canada. *Climatic change*, 112: 963-979.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J. and Taylor, K. E. 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development* (Online), 9 (LLNL-JRNL-736881).
- Hagemann, S., Götzel, H., Jacob, D., Lorenz, P. and Roeckner, E., 2009, Improved regional scale

Hamoud, S., Sagir, R., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., Lisa, A., Peterson, T. C. and Wallis, T. 2005. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, Journal of Geophysical Research, Vol. 110.

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., Zafari, T., Al Dean Khelet, I.,

Future Projection for Extreme Indices of Precipitation and Temperature over the Period 2026-2100 Based on the Output of CMIP6 Models (Case study: Mashhad)

S. Chamanehfar¹, M. Mousavi Baygi^{2*}, I. Babaeian³, F. Modaresi⁴

Received: Aug.07, 2022

Accepted: May.31, 2022

Abstract:

In this research, 11 extreme climatic indicators out of 27 indices defined by the ETCCDI task team have been studied. The capability of the CMIP6 model in the simulation of selected historical climatic extreme indices has been evaluated. The observation and future periods are considered to be 1989-2014 and the three 25-year periods of 2026-2050, 2051-2075, and 2076-2100, respectively. Three Earth System Models (ESM) including ACCESS-CM2, MIROC6, and MRI-ESM2-0 were evaluated for this study. CMHyd and Rclimindex software are used for downscaling and estimating the daily mean and extremes of precipitation and temperature under three SSP scenarios of SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5. The results showed that among the three ESM models, the ACCESS-CM2 model has a better capability when compared to other models in simulating historical extremes of precipitation and temperature, so, it was selected as the appropriate model for future projection. The results showed that, in all SSP scenarios and over three near, mid, and far futures periods, the cold night index (TN10p) has decreasing trend and the warm nights (TN90p) percentage has a significant increasing trend at 95% confidence level. The number of summer days (SU25) has an increasing trend in all SSP scenarios in the near future at a 90% confidence level. It has also increasing trend in mid future under SSP2-4.5 and SSP5-8.5 and far future in SSP1-2.6. Awareness of the future perspective of extreme rainfall indices due to their impact on soil erosion can be used in soil management planning and also Information on rainfall and temperature extreme events can be used in water resources management planning.

Keywords: CMIP6, CMhyd, Extreme events, Mashhad, Rclimindex

1- MSc Student of Agricultural Meteorology, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2 -Professor Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3 -Assistant Professor of Climatology, Climate Change Division, Climatological Research Institute (National Center for Climatology), Mashhad, Iran

4- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: mousavib@um.ac.ir)