

واژه‌های کلیدی: ایستگاه سینوپتیک مشهد، بارش و دما، سناریوهای RCP، مدل‌سازی، مدل‌های ریزمقیاس نمایی.

مقدمه

در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی روی آستانه‌ها و مقادیر حدی آب و هوایی و همچنین در مقیاس جهانی روی کشورها تأثیرگذار بوده است [۳۳ و ۱۴]. تغییر اقلیم باعث تغییر در الگوهای زمانی و مقادیر بارش و دما می‌شود [۱۷]. گازهای گلخانه‌ای منجر به شدت پدیده تغییر اقلیم می‌شود شدت تابش خورشید و فعالیت‌های انسانی منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌شود [۱۱]. افزایش گازهای گلخانه‌ای شدت تغییر اقلیم را افزایش می‌دهد [۱۹]. بارندگی و دما مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی مؤثر بر روی تغییر اقلیم است. دما و بارش به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روی تغییرات آینده شرایط هیدرولوژیکی مناطق تأثیرگذار است [۲]. به واسطه گرمایش جهانی که در حال وقوع است شاید از دیدگاه عموم مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار روی تغییر اقلیم متغیر دما باشد [۱۲]. گرم شدن جهانی هوای کره زمین به دلیل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای احتمالاً تأثیر قابل توجهی بر بارش، رواناب و منابع آب دارد [۳، ۷، ۲۸ و ۳۵]. مطالعات قبلی نشان داده است که اثرات شبیه‌سازی تغییر اقلیم بسته به مدل تغییر اقلیم و سناریوهای انتشار مورد استفاده متفاوت است [۲۰، ۴، ۵، ۲۹، ۲ و ۳۰]. بهر حال اغلب این مدل‌ها روی تغییرات جریان هیدرولوژی اثر می‌گذارند [۱، ۲۱ و ۴]. همچنین بر میانگین درازمدت و میزان آب قابل دسترس نیز تأثیر می‌گذارند [۶ و ۲۲]. در همین راستا در بعضی از مطالعات اثر تغییرات اقلیمی بر تغییرات جریان هیدرولوژیکی و مدل‌های هیدرولوژیکی به کار برده شده و فرایند واسنجی آن‌ها بررسی شده است [۸، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶]. مهم‌ترین و مناسب‌ترین ابزار برای ایجاد ارتباط بین مقیاس محلی/ منطقه‌ای و مقیاس مدل گردش عمومی جو ریزمقیاس نمایی هست. به‌طور کلی دو روش آماری و دینامیکی برای این منظور ارائه شده است. در روش دینامیکی، یک مدل عددی با تفکیک مکانی بالا، یا مدل اقلیمی منطقه‌ای با تفکیک مکانی در حدود ۵ تا ۵۰ کیلومتر با مدل گردش عمومی جو جفت می‌شود. در روش آماری ریزمقیاس نمایی، ارتباط تجربی/ آماری بین متغیرهای بزرگ مقیاس و محلی برقرار می‌شود. این روش‌ها سریع‌تر و به‌شدت محاسباتی هستند. از بین روش‌های آماری ریزمقیاس نمایی، SDSM تاکنون به‌طور گسترده‌ای جهت ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی، در سرتاسر

پیش‌بینی بارش و درجه حرارت تحت سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل CanESM2 (مطالعه موردی ایستگاه مشهد)

فرشاد سلیمانی ساردو^۱، طیبه مصباح زاده^۲ و منصوره کوهی^۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۸/۱۴

DOI: 10.22034/WMI.2023.710719

چکیده

گرم شدن جو، کاهش بارش، خشک‌سالی‌ها و سیلاب‌ها در طولانی مدت منجر به ایجاد پدیده‌ای تغییر اقلیم در اکوسیستم‌ها طبیعی و غیرطبیعی می‌شوند. همچنین افزایش گازهای گلخانه‌ای که باعث افزایش درجه حرارت شده نیز این پدیده را تشدید می‌کنند. تغییر اقلیم می‌تواند جنبه‌های مختلف شهر مشهد را از نظر موقعیت جغرافیایی، گردشگری و توریسم تحت تأثیر قرار دهد. در این مطالعه با استفاده از مدل CanESM2 و داده‌های بارش و درجه حرارت ایستگاه مشهد در دوره ۱۹۶۱ الی ۲۰۰۵ به پیش‌بینی آن‌ها در آینده نزدیک ۲۰۳۰ الی ۲۰۶۰ و آینده دور ۲۰۷۰ الی ۲۱۰۰ تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP پرداخته شد. نتایج نشان داد که مدل CanESM2 مطابقت خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد و از آن می‌توان جهت شبیه‌سازی داده‌ها در دوره‌های آینده استفاده کرد نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مقدار بارش در دوره آینده نزدیک کاهش پیدا می‌کند اما در دوره آینده دور این پارامتر افزایش خواهد یافت اما درجه حرارت در دوره آینده (نزدیک و دور) افزایش یافته و پدیده گرمایش جهانی را تشدید می‌کند. نتایج این تحقیق می‌تواند برای مدیریت محیط‌زیست استفاده نمود و خدمات و صنایعی که منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای در شهر مشهد خواهند شد را مورد سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی صحیح در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هدایت نمود.

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه جیرفت و نویسنده مسئول: f.soleimani@ujroft.ac.ir, fsoleimani2016@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم مشهد

جهان استفاده شده است [۱۸]. ترکیب دو روش رگرسیون خطی چندگانه و مولد آب و هوایی آماری است [۱۳ و ۳۱]. در این مطالعه با استفاده از مدل SDSM و CanESM2 تحت سناریوهای RCP و داده‌های باز تحلیل شده جو (NCEP) به پیش‌بینی تغییر اقلیم در ایستگاه مشهد پرداخته شد. در این مطالعه از داده‌های بارندگی و دمای میانگین ایستگاه مشهد استفاده شده است.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

مشهد مرکز استان خراسان رضوی است که از آب‌وهوای معتدل و متغیر برخوردار است. از ویژگی‌های اقلیمی مشهد، حداقل بارندگی سالیانه ۱۳۰/۷ میلی‌متر، حداکثر بارندگی سالیانه ۴۲۱/۷ میلی‌متر، متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۳/۴ میلی‌متر، حداکثر و حداقل دمای مطلق به ترتیب ۴۳/۸ و ۲۸- درجه سانتی‌گراد با میانگین دمای سالیانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به میانگین بارش و دمای سالانه شهر مشهد، بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن این شهر جزء مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌گردد. در تحقیق حاضر از داده‌های دما، بارندگی طی دوره‌ی آماری ۱۳۸۳-۱۳۴۰ در ایستگاه سینوپتیک مشهد که دارای طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا استفاده شده است.

روش کار ریزمقیاس‌نمایی آماری

جهت بررسی روند تغییرات بارندگی و دمای متوسط در آینده، داده‌های مدل CanESM2 با استفاده از روش SDSM ریزمقیاس‌نمایی می‌شوند. در این روش رابطه کمی بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس / مدل گردش عمومی جو و متغیرهای مشاهداتی کوچک‌مقیاس (محلی / منطقه‌ای) ایجاد می‌شود [۳۲]. این رابطه به صورت زیر خواهد بود [۹]:

$$Y = f(x) \quad (1)$$

در این رابطه Y متغیر پیش‌بینی کننده، X متغیر پیش‌بینی شونده و f تابع انتقال بوده که به صورت تجربی از داده‌های مشاهداتی به دست می‌آید. مدل CanESM2 حاصل از گزارش ارزیابی پنجم هیئت

بین‌الدول تغییر بوده که دارای سه سناریو RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 هست. این مدل CanESM2 نسخه ارتقاء یافته از مدل‌های گردش عمومی هست که توسط CCCma ارائه شده است و به آن‌ها مدل‌های سامانه زمین (ESM) گفته می‌شود. ESM ها سعی بر لحاظ حداکثر مؤلفه‌های تأثیرگذار سامانه زمین بر اقلیم را در ساختار مدل‌سازی خود دارند. داده‌های مدل CanESM2 در دوره پایه از سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۳ و در دوره آینده از سال ۱۳۸۴ تا ۱۴۷۸ بر اساس متغیرهای پیش‌بینی کننده توسط روش SDSM ریزمقیاس می‌شوند. این روش دارای چهار بخش اصلی هست که شامل تعیین متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP، واسنجی مدل، صحت سنجی مدل و شبیه‌سازی داده‌های بارندگی و دمای متوسط تحت سناریوهای انتشار جدید و قدیم برای دوره آینده هست.

واسنجی مدل

واسنجی مدل با استفاده از ۷۰ درصد داده‌های مشاهداتی در دوره آماری مربوط به هر ایستگاه به منظور تعیین ضرایب معادله جهت مدل‌سازی داده‌های بارندگی و دما صورت گرفت. سپس ضرایب به دست آمده در مرحله واسنجی برای ۳۰ درصد باقیمانده داده‌ها جهت صحت سنجی مدل استفاده شدند. به منظور ارزیابی کارایی و عدم قطعیت مدل معیارهای آماری ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)، مجذور مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، درصد اریبی (PBIAS)، جذر نسبت استاندارد (RSR) و ضریب همبستگی جهت ارزیابی مقادیر ریزمقیاس پارامترهای بارندگی، دمای متوسط و در دوره آماری مربوط به ایستگاه مشهد محاسبه شدند (جدول ۱).

تولید سناریو و شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی

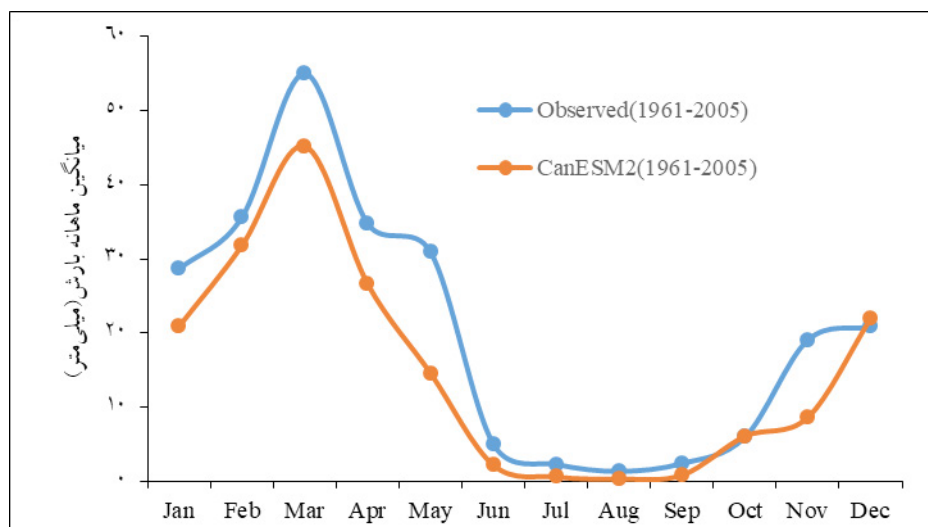
بعد از مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره آماری پایه مربوط به ایستگاه مشهد و ارزیابی کارایی مدل، نسبت به شبیه‌سازی هر یک از پارامترها در دوره آینده تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 اقدام گردید. زمان‌بندی دوره آینده به صورت آینده نزدیک و آینده دور در نظر گرفته شده که بازه زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ به عنوان آینده نزدیک و ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ به تحت عنوان آینده دور می‌باشند

نتایج

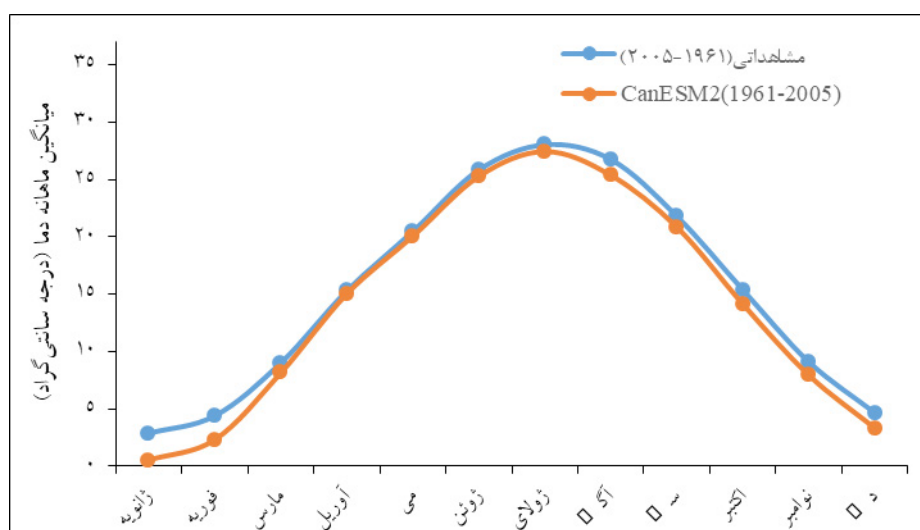
شکل‌های ۱ و ۲ مقادیر میانگین ماهانه بارندگی و دمای متوسط تولید شده توسط مدل اقلیمی و داده‌های مشاهداتی حاصل از ایستگاه

جدول ۱: معیارهای ارزیابی مدل و حدود تعیین کارایی مدل

ارزیابی	NSE	PBIAS	RSR	ضریب همبستگی
خیلی خوب	$0.75 < NSE \leq 1$	$PBIAS \leq \pm 10$	$0 \leq RSR \leq 0.5$	$0.86 \leq \rho < 1$
خوب	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 15$	$0.5 < RSR \leq 0.6$	$0.73 \leq \rho < 0.86$
قابل قبول	$0.5 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS \leq \pm 25$	$0.6 < RSR \leq 0.7$	$0.6 \leq \rho < 0.73$
غیر قابل قبول	$NSE < 0.5$	$PBIAS > \pm 25$	$RSR > 0.7$	$\rho < 0.6$



شکل ۱: مقایسه مقادیر ریزمقیاس شده توسط مدل CanESM2 و داده‌های مشاهداتی بارندگی - ایستگاه مشهد



شکل ۲: مقایسه مقادیر ریزمقیاس شده توسط مدل CanESM2 و داده‌های مشاهداتی دمای متوسط - ایستگاه مشهد

جدول ۲: معیارهای ارزیابی مدل CanESM2 برای پارامترهای بارندگی، دمای متوسط در ایستگاه مشهد

پارامتر	NSE	RSR	PBIAS	NRMSE	ضریب همبستگی
بارندگی	۰/۸۳۵	۰/۴۰۵	۲۰/۵۲	۰/۰۵۱۷	۰/۸۴
دما	۰/۹۷۹	۰/۱۴۱	۷/۱۶	۰/۰۰۱	۰/۹۹۸

مشهد را طی دوره آماری ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۳ نشان می‌دهند. همان‌طور که مشخص است مقادیر مدل‌سازی شده بارندگی نسبتاً تطابق خوبی با داده مشاهداتی دارند. هم‌چنان که نتایج معیارهای ارزیابی کارایی مدل اقلیمی هم تأیید کننده قابلیت مدل CanESM2 برای شبیه‌سازی بارندگی برای ایستگاه مشهد در دوره آینده می‌باشند (جدول ۲).

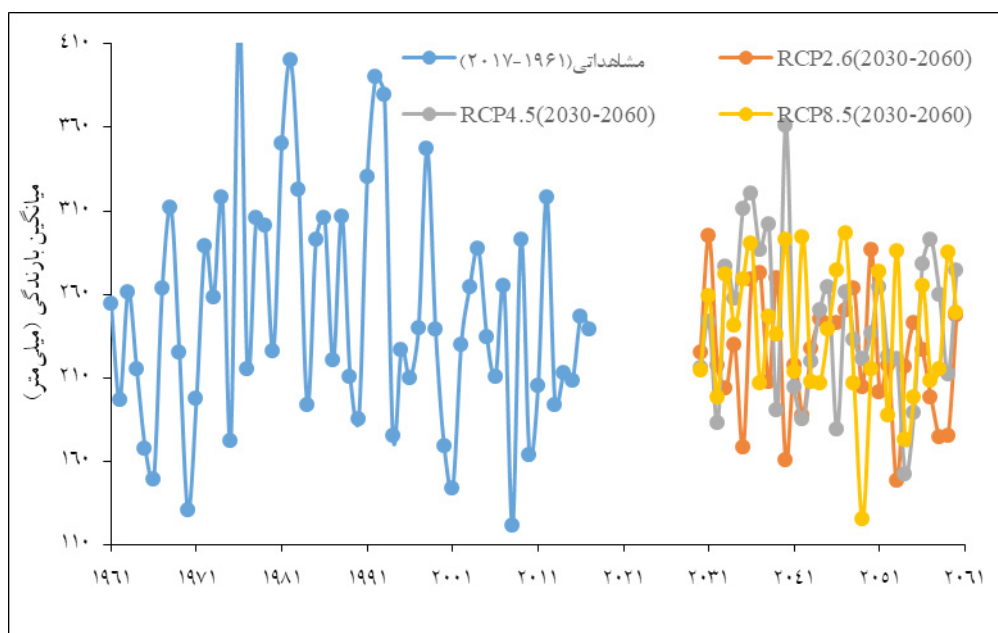
مقایسه مقادیر میانگین دمای متوسط مدل‌سازی شده و مشاهداتی نشان داد مدل اقلیمی قابلیت بسیار خوبی برای تولید پارامتر دما در ایستگاه مشهد دارد (شکل ۲). مقادیر معیارهای ارزیابی کارایی مدل نیز نشان داد تمامی معیارهای ضریب ناش-ساتکلیف، مجذور مربعات خطا نرمال شده، درصد اریبی، جذر نسبت استاندارد و ضریب همبستگی نیز برای پارامتر دما در محدوده خیلی خوب قرار دارند (جدول ۲).

پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم مقادیر پارامتر بارندگی و دمای متوسط در دوره آینده نزدیک (۱۴۰۸-۱۴۳۸) و دور (۱۴۴۸-۱۴۷۸) در مقایسه با داده‌های مشاهداتی طی بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۴۰ در شکل‌های ۳ تا ۶ در ایستگاه مشهد نشان داده شده است. هم‌چنین در جداول ۳ و ۴ نیز مقادیر تغییرات پارامتر اقلیمی در این ایستگاه طی دوره آینده

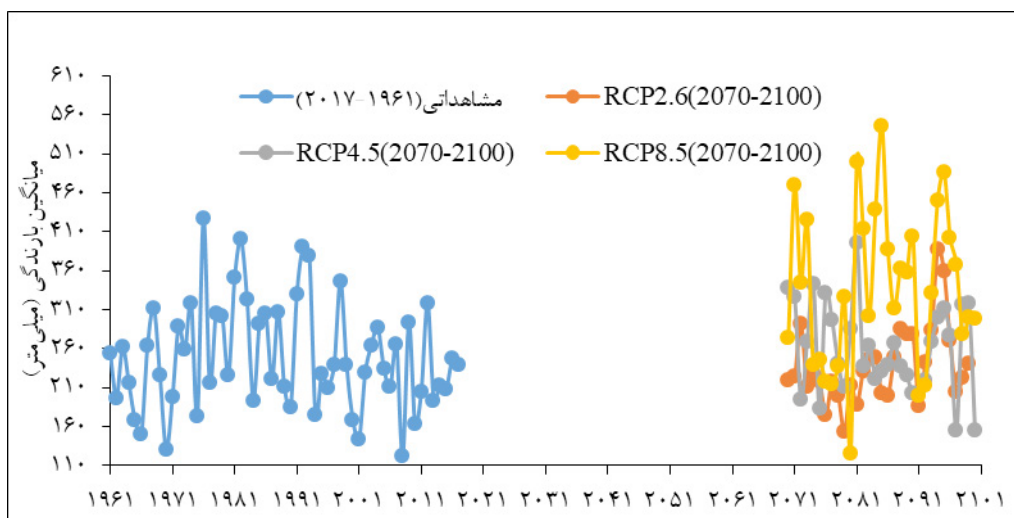
مشهد را طی دوره آماری ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۳ نشان می‌دهند. همان‌طور که مشخص است مقادیر مدل‌سازی شده بارندگی نسبتاً تطابق خوبی با داده مشاهداتی دارند. هم‌چنان که نتایج معیارهای ارزیابی کارایی مدل اقلیمی هم تأیید کننده قابلیت مدل CanESM2 برای شبیه‌سازی بارندگی برای ایستگاه مشهد در دوره آینده می‌باشند (جدول ۲).

دمای متوسط طبق سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد دمای متوسط در دوره آینده نزدیک ۴/۴۱، ۵/۰۴ و ۸/۱۷ درصد نسبت به دوره مشاهداتی (۱۴/۵۱ درجه سانتی گراد) افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج شبیه سازی دما در آینده دور نیز افزایش دما را تحت سناریوهای RCP به میزان ۴/۰۳، ۹/۵۳ و ۲۰/۶۸ درصد نشان داد. به طوری که افزایش دما در بازه زمانی (۱۴۴۸-۱۴۷۸) بیش تر از بازه زمانی اول بوده درحالی که در آینده دوره (۱۴۴۸-۱۴۷۸) تحت سناریو RCP2.6 ۱/۱۱ درصد کاهش و بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 ۰/۳۹ و ۲/۱۳ درصد افزایش خواهد داشت.

نزدیک و دور نسبت به دوره تاریخی ارائه شده است. همان طور که از نمودارها و مقادیر جدول قابل تشخیص است بارندگی طی دوره آینده نسبت به دوره تاریخی کاهش داشته است. بر اساس نتایج حاصل از شبیه سازی بارندگی در ایستگاه مشهد، میانگین بارندگی در دوره تاریخی ۲۴۹/۵ میلی متر بوده که طبق سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۶/۴۳، ۲/۱۱ و ۵/۰۴ درصد در آینده نزدیک (۱۴۰۸-۱۴۳۸) و ۴/۴۱ درصد در آینده دور (۱۴۷۸-۱۴۴۸) تحت سناریو RCP2.6 نسبت به دوره مشاهداتی ۱۳۹۵-۱۳۴۰ کاهش خواهد یافت. درحالی که تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 بارندگی در آینده دور (۱۴۴۸-۱۴۷۸) ۴/۳ و ۳۵/۴۲ درصد به ترتیب افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل از شبیه سازی



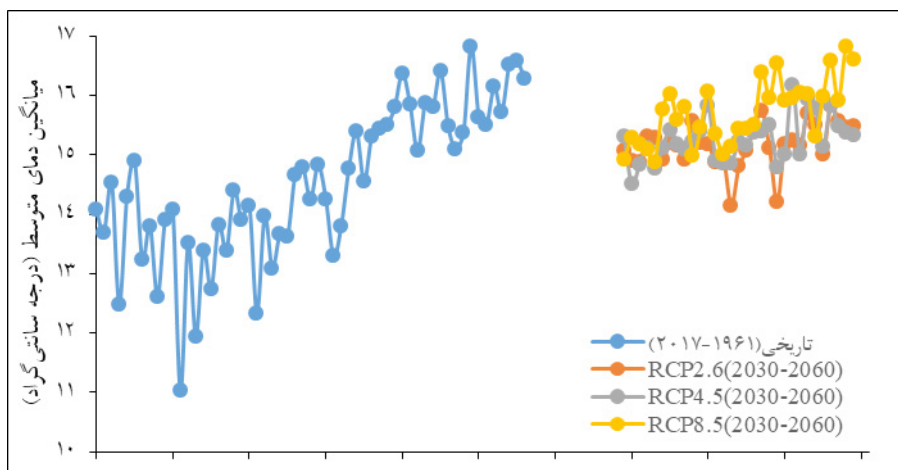
شکل ۳: مقادیر شبیه سازی شده بارندگی در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) ایستگاه مشهد



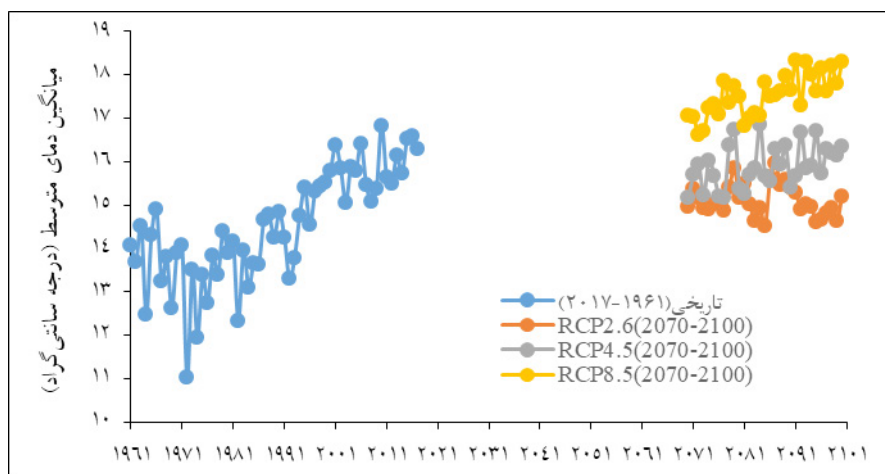
شکل ۴: مقادیر شبیه سازی شده بارندگی در دوره آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) ایستگاه مشهد

جدول ۳: درصد تغییرات میانگین سالانه بارندگی تولیدشده تحت سناریوهای RCP نسبت به دوره مشاهداتی ایستگاه مشهد

داده	میانگین سالانه-آینده نزدیک (۱۴۰۸-۱۴۳۸)	درصد تغییرات در آینده نزدیک (۱۴۰۸-۱۴۳۸)	میانگین سالانه-آینده دور (۱۴۴۸-۱۴۷۸)	درصد تغییرات در آینده دور (۱۴۴۸-۱۴۷۸)
مشاهداتی	۲۴۹/۵			
RCP2.6	۲۳۳/۴۶	-۶/۴۳	۲۳۸/۴۹	-۴/۴۲
RCP4.5	۲۴۴/۲۵	-۲/۱۱	۲۷۹/۶۲	۱۲/۰۷
RCP8.5	۲۶۳/۹۳	-۵/۰۴	۴۵۴/۴۱	۸۲/۱۲



شکل ۵: مقادیر شبیه‌سازی شده دمای متوسط در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) ایستگاه مشهد



شکل ۶: مقادیر شبیه‌سازی شده دمای متوسط در دوره آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) ایستگاه مشهد

جدول ۴ - درصد تغییرات میانگین سالانه دمای متوسط تولیدشده تحت سناریوهای RCP نسبت به دوره مشاهداتی - ایستگاه مشهد

داده	میانگین سالانه-آینده نزدیک (۱۴۰۸-۱۴۳۸)	درصد تغییرات در آینده نزدیک (۱۴۰۸-۱۴۳۸)	میانگین سالانه-آینده دور (۱۴۴۸-۱۴۷۸)	درصد تغییرات در آینده دور (۱۴۴۸-۱۴۷۸)
مشاهداتی	۱۴/۵۱			
RCP2.6	۱۵/۱۶	۴/۴۱	۱۵/۱۰	۴/۰۳
RCP4.5	۱۵/۲۵	۵/۰۴	۱۵/۹۰	۹/۵۳
RCP8.5	۱۵/۷۱	۸/۱۷	۱۷/۵۲	۲۰/۶۸

5. Bronstert, A., Niehoff, D., and Burger, G. 2002. Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modeling capabilities. *Journal of Hydrology Processes*, 16 (2): 509-529.

6. Christensen, N.S., Wood, A.W., Voisin, N., Lettenmaier, D.P., and Palmer, R.N. 2004. The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Climate Change Journal*, 62 (1-3): 337-363

7. Cuo, L., Zhang, Y., Zhu, F., and Liang, L. 2015. Characteristics and changes of stream flow on the Tibetan Plateau: a review *Journal of Hydrology: Regional Study*. 2: 49-68

8. Deng, H.Q., Luo, Y., Yao, Y., and Liu C. 2013. Spring and summer precipitation changes from 1880 to 2011 and the future projections from CMIP5 models in the Yangtze River Basin, China *Quaternary. International*, 304: 95-106.

9. Dibike, Y. B. and Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 307 (1-4): 145-163

10. Ebrahimi Khoosefi, Z., and Mirakbari, M. 2020. Performance Evaluation of the CanEMS2 Global Circulation Model and the REMO Regional Model to predict change of the climate parameters in the Jazmourian Watershed. *Watershed management Research Journal*, 33(3): 61-76.

11. Fan, X. 2020. Multi-objective optimization for the proper selection of the best heat pump technology in a fuel cell-heat pump micro-CHP system. *Journal of Energy Report*. 6: 325-335.

12. Friedrich, M. J. 2018. Global temperature affects dengue *JAMA*. 320 (3): 227.

13. Gebremeskel, S. Y. B., de Smedt, L. F., Hoffmann, L., and Pfister, L. 2005. Analyzing the effect of climate changes on stream flow using statistically downscaled GCM scenarios. *International Journal River Basin Management*, 2(4): 271-280.

14. Ghiasi, M., Ghadimi N., and Ahmadiania E. An. 2019. Analytical methodology for reliability assessment and failure analysis in distributed power system SN. *Journal of Applied Sciences*, 1 (1): 44.

15. Hamideianpour, M. 2016. Revealing the climatic changes of the city of Mashhad during the last 65 years with an emphasis on health, agriculture, food security and water resources. The first international climate change conference. 2016. Tehran.

16. Hazeleger, W., Wang, X., Severijns, C. 2012. EC-Earth

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پارامترهای بارندگی، دمای متوسط توسط مدل اقلیمی و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه مشهد نشان داد این مدل دارای کارایی قابل‌قبولی در پیش‌بینی پارامترهای بارندگی و دمای متوسط برای دوره آینده تحت سناریوهای RCP می‌باشد؛ بنابراین از این مدل می‌توان جهت پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در آینده نزدیک ۱۴۰۸ تا ۱۴۳۸ و آینده دور ۱۴۴۸ الی ۱۴۷۸ استفاده کرد. ابراهیمی و میر اکبری [۱۰] از مدل CanEMS2 برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی استفاده کردند که کارایی مدل را تأیید کردند.

به‌طورکلی نتایج پیش‌بینی بارندگی آینده در ایستگاه مشهد حاکی از کاهش بارش در بازه زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ و افزایش بارندگی در بازه زمانی ۱۴۴۸ تا ۱۴۷۸ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 هست. کاهش بارندگی در دوره آینده نزدیک می‌تواند اثرات تغییر اقلیم را ملموس‌تر کند. هم‌چنین مدل‌سازی میانگین دمای به‌منظور پیش‌بینی آن برای دوره‌های نزدیک و دور نشان داد که درجه حرارت در ایستگاه مشهد در دوره‌های نزدیک و دور در حال افزایش است که نشان از شدت گرمایش جهانی در آینده است. نتایج تحقیق با نتایج زرین و داداشی [۳۴] مطابقت دارد. در مطالعه دیگر حمیدیان پور [۱۵] به بررسی تغییر اقلیم در شهر مشهد پرداخته است که نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند؛ بنابراین نتایج این مطالعه می‌تواند برای مدیریت محیط‌زیست و اعلام هشدارهای لازم برای فعالیت‌هایی که منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای در شهر مشهد می‌شود مفید باشد. هم‌چنین با توجه به کاهش بارش در این منطقه خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک و کشاورزی در نتیجه کاهش منابع آبی به دنبال دارد که این باعث به خطر افتادن امنیت آبی کشور خواهد شد به عبارتی خطر امنیت آبی می‌تواند به خطر افتادن امنیت غذایی را به دنبال داشته باشد.

منابع

- Adam, J.C., Haddeland, I., Lettenmaier, F., and Su, D.P. 2007. Simulation of reservoir influences on annual and seasonal streamflow changes for the Lena, Yenisei, and Ob' Rivers *Journal of Geophys Research Atmospheric*. 112 (D24).
- Aleksandrovskii, A. 2020. Estimation of hydropower plants energy characteristics change under the influence of climate factors IV International Scientific and Practical Conference 'Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society' (ATG 2019), Atlantis Press.
- Arnell, N.W. 1999. The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective *Global Environment Change*, 9 (1): 5-23.
- Arnell, N.W. Gosling S.N. 2013. The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. *Journal of*

27. Montenegro, A., and Ragab, R. 2010. Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios: a modelling study. *Hydrological Processes*, 24(19): 2705-2723.
28. Pervez, M.S., and Henebry, G.M. 2014. Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation – downscaled from GCM predictors. *Journal of Hydrology*, 517: 120-134.
29. Wang, S., Kang, S., Zhang, L., and Li, F. Modelling hydrological response to different land-use and climate change scenarios in the Zamu River Basin of Northwest China. *Journal of Hydrological Processes*, 22 (14): 2502-2510.
30. Wentz, F.J., Ricciardulli, L., Hilburn, K., and Mears C. 2007. How much more rain will global warming bring? *Journal of Sciences*, 317 (5835): 233-235.
31. Wilby, R. L., Whitehead, P. G., Wade, A. J., Butterfield, D., Davis, R. J., and Watts, G. 2006. Integrated modelling of climate change impacts on water resources and quality in a lowland catchment: River Kennet, UK. *Journal of Hydrology*. 330 (1-2): 204–220.
32. Wilby, R. L., Dawson, C. W., and Barrow, E. M. 2002. SDSM—A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Journal of Environmental Modeling and Software*. 17(2): 147–159.
33. Yu, D.I. 2019. System identification of PEM fuel cells using an improved elman neural network and a new hybrid optimization algorithm. *Energy Reports*. 5: 1365-1374.
34. Zarin, A., and Dadashi, A. 2020. Monitoring and projecting the viability of Mashhad Metropolis under climate change conditions. The 9th National Conference and the 2nd International Conference on Urban Planning and Management, Sustainable Development and Future Cities. 18 & 19 November 2020. Mashhad.
35. Zhang, Q.A., Zhang, C.Y., Xu, Z.X., and Chen Y.D. 2010. Changes of atmospheric water vapor budget in the Pearl River Basin and possible implications for hydrological cycle. *Theoretical Applied Climatology*, 102 (1–2): 185-195.
- V2.2: description and validation of a new seamless earth system prediction model. *Journal of Climate Dynamic*, 39(11): 2611–2629.
17. Hosseini Firouz, M., Ghadimi, N. 2016. Optimal preventive maintenance policy for electric power distribution systems based on the fuzzy ahp methods. *Complexity Journal*, 21 (6): 70-88.
18. Huang, A.N. 2014. Changes of the annual precipitation over central Asia in the twenty-first century projected by multimodels of CMIP5 *Journal of Climate*, 27 (17): 6627-6646.
19. Huangpeng, Q., Huang W., Gholinia F. 2021. Forecast of the hydropower generation under influence of climate change based on RCPs and developed crow search optimization algorithm. *Energy Reports*. 7: 385-397.
20. Hurkmans, R. 2010. Changes in streamflow dynamics in the Rhine basin under three high-resolution regional climate scenarios. *Journal of Climate*, 23 (3): 679-699.
21. Hurkmans, R.T.W.L., de Moel, H., Aerts, J.C.J.H. Troch P.A. 2008. Water balance versus land surface model in the simulation of Rhine River discharges *Water Resources. Research*, 44 (1): 1-14.
22. Kling, H., Stanzel, P., Preishuber, M. 2014. Impact modeling of water resources development and climate scenarios on Zambezi River discharge *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 1: 17-43.
23. Li, J. Jiao, S.L. Liang, H. Xiang, Z. Xiang S. 2012. Research on the impact on runoff by time-scale of the precipitation in Karst Basin in view of MIKE SHE Model: a case in Lauding River of the Hongshuihe system *Carsol. Sinica*, 31(4): 388-394.
24. Liao, W.H., Lei, X.H., Zhang, F., and Sun J.L. 2013. Application of easy distributed hydrological model to Xijiang River Basin *Water Resour. Hydropower Engineering*, 44 (12): 8-11.
25. Lin, K.R. Wei, X.P. Huang, S.X. He, Y.J. 2013. Application of SWAT model in Dongjiang River Basin. *China academic journal*, 33(4): 33-36.
26. Lv, L.T., Peng, Q.Z., Guo, Y.Y., Liu, Y.H., and Jiang, Y. 2014. Runoff simulation of Dongjiang River Basin based on the soil and water assessment tool *Journal of natural Resources Research*, 29(10): 1746-1757.



Abstract

Precipitation and Temperature Forecasting Under Climate Change Scenarios Using the CanESM2 model (Case Study: Mashhad Station)F. Soleimani sardoo¹, T. Mesbahzadeh² and M. Koohi³

Received: 2023/10/10 Accepted: 2023/11/05

Long-term warming of the atmosphere, decrease in precipitation, drought and floods lead to the creation of climate change phenomena in natural and unnatural ecosystems. In addition, an increase in greenhouse gases, which cause the temperature to rise, also increases this phenomenon. Climate change affects different aspects of Mashhad city in terms of geographical location, tourism and tourism. In this study, using the CanESM2 model and the precipitation and temperature data of Mashhad station from 1961 to 2005, they were predicted in the near future from 2030 to 2060 and from 2070 to 2100 under RCP climate change scenarios. The results showed that the CanEMS2 model is in good agreement with the observational data and can be used to simulate the data in the future period. The simulation results show that the amount of precipitation will decrease in the near future, but not in the distant future. This parameter will also increase, but the temperature will increase in the future (near and far) and the phenomenon of global warming will increase. The results of this research can be used for environmental management and the services and industries that will lead to an increase in greenhouse gas emissions in Mashhad city can be used for proper policy and planning in order to reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: Climate change, Precipitation and temperature, CanEMS2 model, Climate change scenarios, Mashhad synoptic station.

1. Corresponding author, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, university of Jiroft. Email: f.soleimani@ujiroft.ac.ir, fsoleimani2016@gmail.com

2. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

3. Assistant Professor at the Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences, Research Institute of Climatology and Climate Change, Mashhad