

بررسی تغییرات برخی متغیرهای اقلیمی تحت شرایط اقلیم آتی در یک منطقه نیمه‌خشک

آرش ملکیان^{۱*}، پروین محمدی^۲، مهدی قربانی^۳، علی اکبر نظری سامانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۱۸

چکیده

تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن، بزرگ‌ترین معضل قرن بیست‌ویکم به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که همواره با چالش کم‌آبی و گرمای شدید روبه‌رو هستند. بر این اساس مشخصه وقوع پدیده تغییر اقلیم، کاهش بارش‌ها، افزایش درجه‌حرارت و افزایش وقوع پیامدهای حدی اقلیمی در آینده است که با توجه به ویژگی‌های جوامع و محدودیت‌ها می‌تواند پیامدهای زیان‌باری به همراه داشته باشد و وقوع چنین امری مشکلی اساسی خواهد بود. در تحقیق حاضر به‌منظور برآورد داده‌های دما و بارش دوره‌های آتی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، از مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی استفاده شد. ارزیابی عملکرد مدل در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بر اساس شاخص‌های ارزیابی در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ نشان‌دهنده عملکرد ضعیف تا بالای مدل در برآورد متغیر بارش ($R^2=0.39$ ، $RMSE=4.73$ ، $NS=-0.23$) و عملکرد قابل قبول مدل در برآورد متغیر دما ($R^2=0.98$ ، $RMSE=2.42$) می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۲۰۰۵ تحت سناریوی RCP4.5 افزایش و تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 دارای یک روند کاهشی می‌باشد. بارش در دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره مشاهداتی تحت سناریوی RCP2.6 کاهش و تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 افزایش داشته است. همچنین در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره مشاهداتی و دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۹ دارای یک روند کاهشی است. همین‌طور نتایج نشان داد که درجه‌حرارت در ایستگاه مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹، ۲۰۵۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به‌ترتیب با مقادیر میانگین ۰/۷، ۱/۵ و ۳/۳ سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۰۵ تحت سناریوهای مورد بررسی یک روند افزایشی را پیش‌رو خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، گازهای گلخانه‌ای، مدل گردش عمومی جو، SDSM.

۱. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، نویسنده مسئول؛ malekian@ut.ac.ir
 ۲. دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
 ۳. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
 ۴. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
- این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران است.

مقدمه

اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و محلی نیاز به توسعه ابزارهای ریزگردانی است (سیلر و روزن، ۲۰۰۰).

مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) برای ارزیابی تغییرات اقلیمی طراحی شده‌اند. این مدل‌ها خصوصیات فیزیکی، چرخش‌ها و حرکات اتمسفری را تحلیل می‌کنند و به تبع آن متغیرهای هواشناسی را در شبکه‌های خاص شبیه‌سازی می‌نمایند. اساس مدل‌های GCM بر مبنای قوانین اساسی فیزیک جو قرار دارد و به مدل‌های گردش عمومی جو نیز مشهور هستند (شائمی و حبیبی نوخندان، ۲۰۰۹). تمام عوامل اقلیمی قابل توجه در مدل‌های گردش عمومی جو لحاظ شده است. مثلاً توجه به سلسله‌مراتب و برهم‌کنش اقیانوس، جو، یخ‌های دریایی و سطوح خشکی‌ها در این مدل‌ها سرلوحه مدل‌سازی می‌باشد و خود بر سه نوع مدل گردش عمومی جو (AGCM) چرخش عمومی اقیانوس (OGCM) و مزدوج (AOGCM) تقسیم می‌شوند. در مدل‌های گردش عمومی جو معادلات توضیح‌دهنده تکامل زمانی دما، بارش، بخار آب و فشار در ارتباط با لایه نازک اتمسفر (حدود ۵۰ متر) است. در مدل‌های چرخش عمومی اقیانوسی، توجه اساسی به واکنش اقیانوس‌ها و دریاها در مقابل افزایش CO₂ است. با وجود این، توجه به گردش حرارتی-نمکی و احتمال تغییر در تولیدات زیستی نیز در معرض توجه است. واضح است که شرایط ذکر شده تحت تأثیر توزیع زمانی-مکانی پهنه‌های یخی اقیانوسی است. در مدل‌های چرخش عمومی مزدوج (جوی-اقیانوسی)، متغیرهای مربوط به چرخش عمومی جو-اقیانوس به همراه روابط متقابل اکوسیستم‌های خشکی و جو، روابط متقابل خشکی اقیانوس، اکوسیستم‌های اقیانوسی با جو و مشخصات شیمیایی و فیزیکی جو نیز سیستم‌های انسانی در معرض توجه قرار می‌گیرد (عساکره، ۲۰۰۷).

ایران در منطقه غرب آسیا قرار گرفته است. این منطقه در پهنه‌بندی اقلیمی IPCC جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیاست. شواهد داده‌های هواشناسی و پیش‌بینی‌های صورت گرفته از وضعیت اقلیم این منطقه مانند بقیه نقاط دنیا نشان‌دهنده وقوع پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر و ادامه

تغییر اقلیم^۱ و پیامدهای منشأگرفته از آن به‌خصوص افزایش درجه حرارت کره زمین، بزرگ‌ترین معضل قرن بیست و یکم شناخته شده، به‌طوری که طی سالیان اخیر همواره یکی از محورهای اصلی سران کشورهای صنعتی جهان، مسئله تغییر اقلیم بوده است (صمدی و همکاران، ۲۰۰۹). عوامل مختلفی باعث بر هم خوردن شرایط حاکم بر اجزای مختلف سیستم اقلیم کره زمین می‌شود که می‌تواند تأثیراتی را بر دیگر اجزا بگذارد. در این میان، تنها عاملی که به‌صورت غیرطبیعی بر سیستم اقلیم کره زمین تأثیر می‌گذارد، افزایش گازهای گلخانه‌ای^۲ است (IPCC, 2007). این افزایش موجب می‌شود تا امواج مادون قرمز ساطع شده از زمین، بیش از پیش توسط گازهای گلخانه‌ای جذب و باعث افزایش درجه حرارت جو کره زمین شود. افزایش درجه حرارت جو کره زمین نیز به نوبه خود بر وضعیت اجزای دیگر سیستم اقلیم تأثیر می‌گذارد و پدیده تغییر اقلیم را موجب می‌شود (بایدی^۳ و همکاران، ۲۰۰۱).

تغییر اقلیم و افزایش درجه حرارت کره زمین، اثرات سوئی بر منابع مختلف از جمله آب، جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، صنعت و در نهایت زندگی انسان دارد. اولین اثر تغییرات اقلیم روی عناصر جوی به‌ویژه درجه حرارت و بارش است. تحقیقات نشان داده است که مدل‌های گردش عمومی جو زمین، تغییرات متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش را در بعد زمان و مکان در مقیاس جهانی به‌خوبی پیش‌بینی می‌کنند (کوکدس و برگ^۴، ۲۰۰۹). بهترین ابزار برای ارزیابی اثرات پدیده تغییر اقلیم مدل‌های AOGCM هستند که فرایندهای فیزیکی در اتمسفر، اقیانوس، کریوسفر و سطح زمین و تغییرات سیستم آب‌وهوایی جهانی را به دنبال افزایش غلظت گاز گلخانه‌ای شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها، اقلیم جهانی را در یک شبکه سه‌بعدی، برای کل جهان شبیه‌سازی می‌کنند که با این وضوح قادر به نشان دادن جزئیات تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای نیستند (نکیسنوک^۵ و همکاران، ۲۰۰۰). بنابراین برای پیش‌بینی تغییرات

1. Climate Change
2. Greenhouse Gases
3. Baede
4. Koukidis and Berg
5. Nakicenovic

این روند در آینده است. دمای ایران به طور متوسط در دهه‌های میانی و پایانی قرن بیست و یکم، بین ۱ تا ۲ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد (عباس‌نیا و همکاران، ۲۰۱۶). پیش‌بینی‌های IPCC برای ایران نشان‌دهنده افزایش متوسط درجه حرارت به مقدار ۲ درجه سانتی‌گراد تا ۳۰ سال آینده و ۳/۵ تا ۴ درجه سانتی‌گراد تا ۱۰۰ سال آینده خواهد بود (IPCC, 2007b).

بسیاری از پژوهش‌های داخلی و خارجی نیز وقوع تغییر اقلیم را در دهه‌های آینده برای حوزه‌های آبخیز مختلف تأیید کرده‌اند که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود. ابراهیم‌پور و همکاران (۲۰۱۴) روی چهار ایستگاه مشهد، تبریز، بوشهر و زاهدان، سه عنصر اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 را با مدل SDSM بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده افزایش ۵/۳۵ و ۱۰/۴۹ میلی‌متر در ماه به ترتیب برای دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۰۵۰-۲۰۸۰ تحت سناریوی A2 و ۳/۵۴ و ۸/۰۸ میلی‌متر در ماه، تحت سناریوی B2 نسبت به دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۴ بود.

ابراهیم‌پور و همکاران (۲۰۱۴) روی چهار ایستگاه مشهد، تبریز، بوشهر و زاهدان، سه عنصر اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 را با مدل SDSM بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده افزایش ۵/۳۵ و ۱۰/۴۹ میلی‌متر در ماه به ترتیب برای دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۰۵۰-۲۰۸۰ تحت سناریوی A2 و ۳/۵۴ و ۸/۰۸ میلی‌متر در ماه، تحت سناریوی B2 نسبت به دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۴ بود.

یو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) داده‌های مشاهداتی ۷۳۵ ایستگاه هواشناسی را با مدل CMIP5، مقایسه و نشان دادند که بزرگ‌ترین عدم قطعیت در محدوده فلات تبت با میانگین خطاهای مطلق (MAE) از MAT و MAP به ترتیب ۴/۶۴ درجه سانتی‌گراد و ۷۷۰/۵۱ میلی‌متر است.

تورکیمیت^۲ و همکاران (۲۰۱۹) در حوضه رودخانه کوانتان مطالعه‌ای با هدف تحلیل دقت پیش‌بینی بارش درازمدت در ایستگاه فاقد آمار را با استفاده از مدل SDSM-GIS انجام دادند. نتایج نشان داد میزان بارندگی در دهه ۲۰۳۰، ۱۴٪ کاهش می‌یابد. مدل SDSM-GIS می‌تواند بارندگی درازمدت قابل اعتماد در ایستگاه فاقد آمار را تولید کند.

فانگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰) تلاش کردند با به‌کارگیری مدل‌های SDSM، hadcm3 و CanESM2، سناریوهای بارش روزانه و حداکثر و حداقل دما را در حوضه رودخانه جی تولید کنند. نتایج افزایش کلی در هر دو درجه حرارت حدی

دشت‌بزرگی و همکاران (۲۰۱۵) شاخص‌های حدی دما را بر اساس سناریوهای RCP در استان خوزستان شبیه‌سازی کردند؛ نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این بود که در وضعیت موجود، کمینه‌های دما نسبت به بیشینه‌های آن با سرعت بیشتری در حال افزایش هستند. شبیه‌سازی تغییرات دما نشان‌دهنده این مسئله است که روند افزایشی در آینده ادامه خواهد داشت.

قهرمان و همکاران (۲۰۱۶) در دشت مشهد، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل را تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) و مدل اقلیمی CORDEX بررسی کردند؛ نتایج حاصل نشان داد که مدل در ماه‌های گرم سال توانایی بهتری در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل نسبت به ماه‌های سرد سال دارد.

رزاقیان و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب را در استان مازندران با استفاده از مدل‌های تغییر اقلیم و بارش-رواناب تحت سناریوی A2 و B1 بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که حدود تغییرات میانگین دبی سالانه در مدل SIMHYD، ۲۳+ تا ۵۸+ افزایش داشته است. همچنین وضعیت ماه‌های کم‌بارش سال به سوی خشکی بیشتر و ماه‌های پر بارش به سوی سیلابی شدن پیش خواهد رفت.

با توجه به موارد مذکور استنباط می‌شود که پدیده تغییر اقلیم در ایران به‌طور اجتناب‌ناپذیری اتفاق خواهد افتاد. در این صورت بر اساس وضعیت اقلیمی، ویژگی‌های جوامع و محدودیت‌ها در بخش‌های مختلف در منطقه، وقوع چنین امری یک مشکل اساسی خواهد بود. محیط طبیعی و جامعه انسانی به‌خصوص بخش کشاورزی به‌شدت به وضعیت اقلیمی وابسته است. بر این اساس، وقوع پدیده تغییر اقلیم با مشخصه کاهش بارش‌ها، افزایش درجه حرارت و افزایش وقوع پیامدهای حدی اقلیمی در آینده، می‌تواند پیامدهای زیان‌باری به همراه داشته باشد. پژوهش حاضر درصدد است که تغییرات متغیرهای دما و بارش در دوره‌های آتی را بررسی کنند و به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در به‌کارگیری

1. Yue
2. Tukimat
3. Phuong

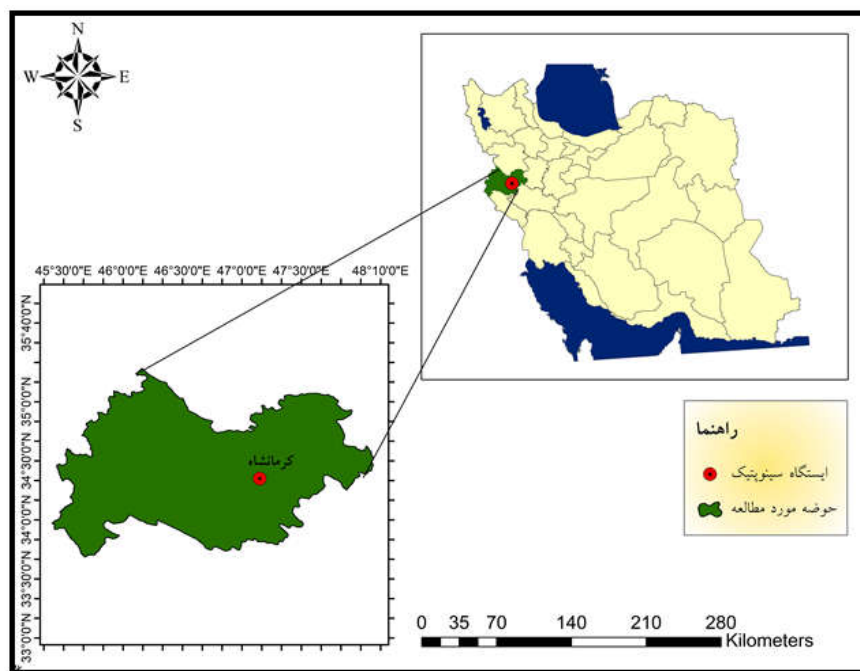
راهکارهای توانمندسازی کشاورزان برای سازگاری و مقابله و کاهش زیان‌های احتمالی این پدیده کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه با مساحت ۲۴۴۳۴ کیلومتر مربع در میانه ضلع غربی کشور قرار گرفته است. مختصات جغرافیایی استان کرمانشاه از طول جغرافیایی "۳۹'۲۰'۴۵° شرقی تا "۵۸'۱'۴۸° شرقی و از عرض جغرافیایی "۸'۳۷'۳۳° شمالی تا "۸'۱۷'۳۵° شمالی است. موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه مورد مطالعه (34.31°N, 47.06°E) در شکل (۱) نمایش داده شده است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۴۰۰ متر از سطح دریا بوده و متوسط بارندگی سالانه ۴۰۲/۲۷ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت منطقه ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد است.

این استان از آب‌وهوای متنوعی برخوردار است. در مناطق مرکزی دارای آب‌وهوای معتدل و در غرب آب‌وهوای کوهستانی و در شرق گرم و خشک است. تغییر اقلیم در منطقه، الگوی نامناسب مصرف آب و علاوه بر آن خشکسالی‌های اخیر باعث بروز مشکلات جدی همچون نامگذاری ۸ دشت در استان به‌عنوان دشت‌های ممنوعه، محدودیت استخراج آب و فعالیت‌های کشاورزی شده است (زین‌الدین و بانکداری، ۲۰۱۹). بنابراین بررسی تغییرات این متغیرها برای تعدیل خسارت یا سازگاری با پدیده تغییر اقلیم به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که همواره با چالش کم‌آبی و گرمای شدید روبه‌رو هستند، با توجه به وابستگی بالای استان به اقتصاد کشاورزی، از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه کرمانشاه در استان و ایران

Figure (1): Location of the Kermanshah station in the province and Iran

همچنین داده‌های بزرگ مقیاس NCEP و GCM به‌دست‌آمده از نزدیک‌ترین شبکه جهانی به منطقه مورد مطالعه برای بررسی تغییرات دوره‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از یکی از مدل‌های GCM به نام CanESM2 در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش استفاده شده که مشخصات این

داده‌ها

برای بررسی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در آینده به یک دوره پایه به‌عنوان شاهد یا مرجع نیاز (۱۹۶۱-۲۰۰۵) است. داده‌های مشاهداتی ایستگاهی برحسب نوع خروجی مورد نیاز این تحقیق، داده‌های روزانه بارش و دما در ایستگاه کرمانشاه هستند.

مدل در جدول (۱) نمایش داده شده است. داده‌های NCEP و scenarios.canada.ca/?page=pred-canesm2 دریافت شد. GCM از لینک <http://climate-> ک

جدول (۱): مشخصات مدل CanESM2 مورد استفاده در این تحقیق (آرورا و همکاران، ۲۰۱۱)

Table (1): Specifications of the CanESM2 model used in the research (Arora and et. al, 2011)

نام مدل	قدرت تفکیک اتمسفری (درجه) (طول*عرض)	قدرت تفکیک اقیانوسی (درجه) (طول*عرض)	گروه مؤسس	دوره شبیه‌سازی تاریخی/آینده	سناریوهای شبیه‌سازی
CanESM2 (۲۰۱۰)	۲/۸۱° * ۲/۸۱°	۱/۴۱° * ۰/۹۴°	(CCCMA), کانادا	۲۰۰۵-۲۱۰۰/۱۸۵۰-۲۰۰۶	RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5

جدول (۲): لیست متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ مقیاس NCEP

Table (2): List of NCEP Large Scale Predictor Variables

ردیف	علامت	پیش‌بینی‌کننده	ردیف	علامت	پیش‌بینی‌کننده
۱	Mslp	فشار متوسط سطح دریا	۱۴	P5zhaf	واگرایی در ۵۰۰ hpa
۲	P-faf	قدرت جریان سطحی	۱۵	faf-P8	قدرت جریان در ۸۵۰ hpa
۳	P-uaf	سرعت مداری سطحی	۱۶	uaf-P8	سرعت مداری در ۸۵۰ hpa
۴	P-vaf	سرعت نصف‌النهاری سطحی	۱۷	vaf-P8	سرعت نصف‌النهار در ۸۵۰ hpa
۵	P-zaf	چرخندگی سطحی	۱۸	zaf-P8	چرخندگی در ۸۵۰ hpa
۶	P-thaf	جهت باد سطحی	۱۹	P850af	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ hpa
۷	P-zhaf	واگرایی سطحی	۲۰	P8thaf	جهت باد در ۸۵۰ hpa
۸	faf-P5	قدرت جریان در ۵۰۰ hpa	۲۱	P8zhaf	واگرایی در ۸۵۰ hpa
۹	uaf-P5	سرعت مداری در ۵۰۰ hpa	۲۲	R500af	رطوبت نسبی در ۵۰۰ hpa
۱۰	vaf-P5	سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ hpa	۲۳	R850af	رطوبت نسبی در ۸۵۰ hpa
۱۱	zaf-P5	چرخندگی در ۵۰۰ hpa	۲۴	rhumaf	رطوبت سطحی در نزدیکی سطح
۱۲	P500af	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ hpa	۲۵	shumaf	رطوبت ویژه سطحی
۱۳	P5thaf	جهت باد در ۵۰۰ hpa	۲۶	tempaf	متوسط دما در ارتفاع دومتری

سناریوهای تغییر اقلیم

بر اساس نظر فیشر و همکاران (۱۹۹۴) یک سناریوی تغییر اقلیم به‌عنوان مرحله‌ای از تغییر در متغیرهای هواشناسی است که بر اساس سطح پذیرفته‌شده‌ای از تمرکز CO₂ و سایر گازهای گلخانه‌ای فرض شده است. روش‌های متعددی برای تنظیم سناریوهای تغییرات اقلیمی آینده پیشنهاد شده است که همگی بر مبنای سطح تمرکز گازهای گلخانه‌ای در جو است (شائمی و حبیبی نوخندان، ۲۰۰۹). سری اول سناریوهای انتشار با نام IS92 (IS92a-IS92f) در سال ۱۹۹۲ ارائه شد؛ این سری بیانگر افزایش مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰ بوده است.

هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود، از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های

خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. این سناریوها تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی هستند؛ واداشت مثبت (ورودی بیشتر انرژی تابشی خورشید) موجب افزایش و واداشت منفی (برونرفت بیشتر انرژی) موجب کاهش دمای سیستم زمین می‌شود. واداشت تابشی می‌تواند مهم‌ترین علت تغییر اقلیم باشد، برای ارزیابی و مقایسه هریک از عواملان طبیعی و انسانی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (IPCC, 2007b). سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط‌سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشد که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. خصوصیات کلی این سناریوها در جدول (۲) بیان شده است.

جدول (۳): سناریوهای RCP مورد نظر IPCC برای آینده

Table (3): RCP scenarios the IPCC for the future

سناریوها	مشخصات
RCP8.5	بیشترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن.
RCP6	واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند.
RCP4.5	واداشت‌های تابشی، ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع ثابت می‌ماند.
RCP2.6	کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن.

مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM^۱)

در این پژوهش به منظور برآورد داده‌های دما و بارش دوره‌های آتی از مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مدل ریزمقیاس‌نمایی ۴،۲،۹ SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی استفاده شد. از ۴۵ سال (۱۹۶۱-۲۰۰۵) داده‌های میانگین بارش و درجه حرارت روزانه ایستگاه کرمانشاه که در این پژوهش در نظر گرفته شده، ۳۰ سال اول آن (۱۹۶۱-۱۹۹۰) برای واسنجی (کالیبراسیون) مدل به کار گرفته شد و ۱۵ سال باقی‌مانده (۱۹۹۱-۲۰۰۵) برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. برای صحت‌سنجی مدل، با استفاده از قابلیت تولیدکننده‌های آب‌وهوایی NCEP و خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵، سری‌های زمانی تولیدشده با سری‌های زمانی مشاهداتی، متغیرهای اقلیمی در دوره‌های مورد نظر مقایسه شد. عملکرد مدل در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بر اساس شاخص ضریب تشخیص (R^2) و جذر میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) و ضریب ناش ساتکلیف (NS) ارزیابی شده است. مقادیر R^2 بین صفر تا یک متغیر است؛ اگر مقادیر پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری‌شده برابر باشند، مقدار R^2 برابر با یک می‌باشد (عباس‌پور و همکاران، ۲۰۰۷). محدوده عملکرد شاخص ارزیابی NSE در شبیه‌سازی انجام‌شده توسط مدل در جدول (۴) بیان شده است.

جدول (۴): محدوده عملکرد و ارزیابی ناش ساتکلیف (کولت و

همکاران، ۲۰۱۴)

Table (4): Nash Sutcliffe Performance Scope and Evaluation (kult et al., 2014)

نتیجه ارزیابی	ضریب ناش ساتکلیف (NSE)
بسیار خوب	$0.75 < NSE \leq 1$
خوب	$0.65 < NSE \leq 0.75$
رضایت‌بخش	$0.5 < NSE \leq 0.65$
غیرقابل قبول	$NSE \leq 0.5$

SDSM یک مدل رگرسیونی چندمتغیره برای تولید داده‌های آب‌وهوایی به وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس‌سازی آماری است (ویلکس، ۱۹۹۲؛ ویلکس و ویلی، ۱۹۹۹، ۲۰۲۹). این مدل با هدف تولید اطلاعات اقلیمی با قدرت تفکیک بالا (روزانه) از داده‌های شبیه‌سازی‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی جو طراحی شده است. طبق پژوهش‌های انجام‌شده، SDSM به‌عنوان بهترین ترکیب حاصل از مولد تصادفی آب‌وهوا و روش‌های رگرسیون چندگانه خطی شناخته شده است (خان و همکاران، ۲۰۰۶).

اولین نسخه این مدل در سال ۲۰۰۱ با عنوان SDSM 2.2 ارائه شد. در این مدل، ابتدا روابط بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی) و پیش‌بینی‌شونده‌ها (داده‌های تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی) مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار می‌گیرد و روابط تجربی بین آن‌ها تعیین می‌گردد و به کاربر اعلام می‌شود (ویلبی و واتسون، ۲۰۰۷). این روش در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم‌هزینه از تغییرات اقلیمی باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مورد مولدهای هواشناسی استوکستیک و روش‌های توابع تغییر شکل‌یافته نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد (صمدی و مساح بوانی، ۲۰۰۸). این مدل به منظور تولید داده‌های اقلیمی آینده از یک رابطه رگرسیونی با بالاترین درجه همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده استفاده می‌کند که می‌بایست با روش سعی و خطا بالاترین همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و متغیرهای پیش‌بینی‌شونده را به دست آورد (ویلبی و واتسون، ۲۰۰۷).

1. Statistical Downscaling Model
2. Wilks and Wilby
3. Wilby and Dawson

۴. تولید داده‌های تاریخی و صحت‌سنجی مدل: در این مرحله از مدل SDSM، دسته‌هایی از سری‌های زمانی آب‌وهوای روزانه برای متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و مدل رگرسیونی کالیبره‌شده تولید شد. این قسمت از نرم‌افزار می‌تواند با تولید سری‌های زمانی مصنوعی و مقایسه‌ای آن‌ها با سری‌های تاریخی به صحت‌سنجی مدل کالیبره‌شده بپردازد.

همچنین این بخش قادر به ساخت داده‌های گمشده تاریخی و پرکردن آن‌هاست. مدل می‌تواند دسته‌های مختلفی از سری‌های زمانی را تهیه کند که بستگی به سناریوهای اقلیمی محلی ممکن دارند که توسط انواع متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ مقیاس تعریف می‌شوند. تفاوت‌های بین دسته سری‌های مختلف بستگی به مؤلفه‌های دترمینستیک و استوکاستیک مدل‌های رگرسیونی مختلف دارد (ویبلی و همکاران، ۲۰۰۴).

۵. آنالیز داده‌ها: در این بخش، داده‌های تاریخی مشاهداتی را با داده‌های تاریخی تولیدشده در بخش صحت‌سنجی مقایسه و میزان صحت نتایج مدل بررسی شد. این قسمت دارای آزمون‌ها و آماره‌های مختلف است که برحسب ضرورت توسط کاربر در بخش تنظیمات انتخاب می‌شوند. این آماره‌ها و آزمون‌های که در مدل توسط کاربر مورد بررسی قرار می‌گیرد شامل میانگین، ماکسیمم، حداقل، مجموع، واریانس، رخدادهای بزرگ‌تر یا کمتر از مقدار حدی، روزهای تر و خشک، چولگی، همبستگی، خود همبستگی و... هستند (ویبلی و واتسون، ۲۰۰۷).

۶. تولید سناریوهای اقلیمی آینده: این مرحله با کمک فایل مدل کالیبره‌شده برای دوره تاریخی و آینده تعیین شد و با توجه به تعداد دسته سری زمانی مورد نیاز، دسته‌های مختلف از سری‌های زمانی برای آینده پیش‌بینی شد. به این ترتیب در ایستگاه مورد نظر سناریوهایی برای آینده اقلیم محلی ساخته شد. فرایند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوهای اقلیمی در شکل (۲) نمایش داده شده است.

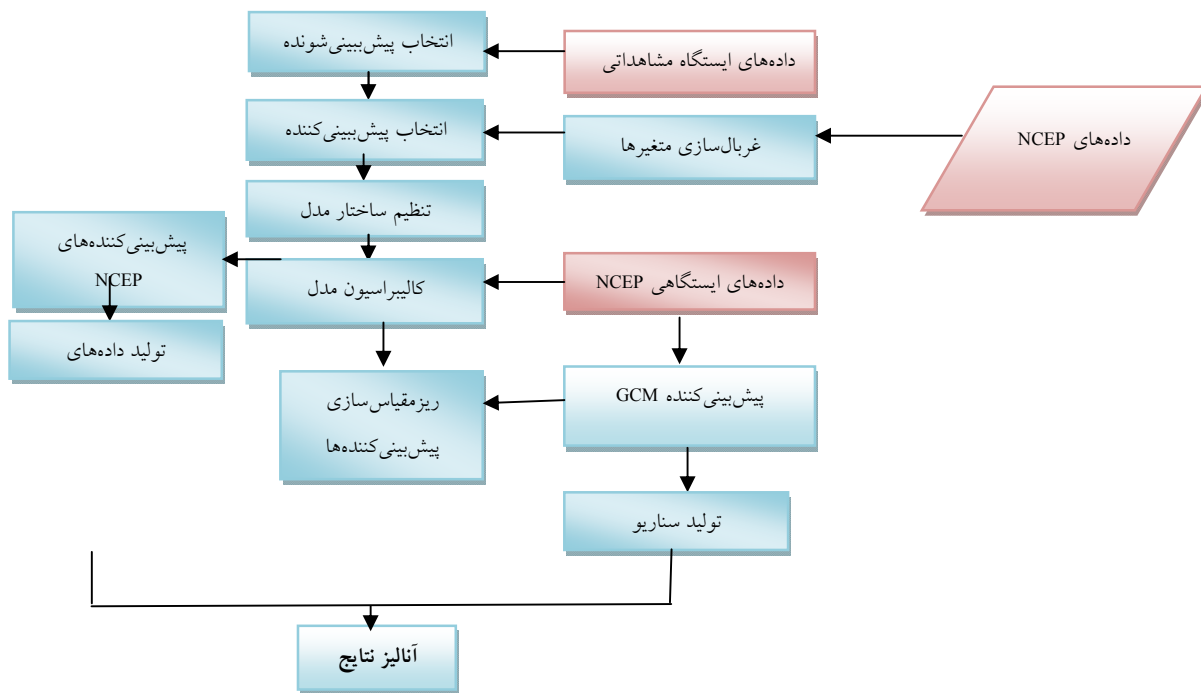
این مدل، ابتدا روابط بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی) و پیش‌بینی‌شونده‌ها (داده‌های تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی) مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار می‌گیرد و روابط تجربی بین آن‌ها تعیین می‌شود (ویبلی و واتسون، ۲۰۰۷). طریقه استفاده از SDSM شامل شش مرحله است:

۱. کنترل کیفیت^۱ و تبدیل داده‌ها^۲: بررسی داده‌ها در SDSM، در قسمت کنترل کیفیت داده‌ها انجام و همچنین در این قسمت داده‌های گمشده شناسایی شد. در قسمت تبدیل داده‌ها، روی پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش‌بینی‌شونده‌ها به‌منظور واسنجی مدل، تبدیل‌ها انجام شد. مدل SDSM قابلیت تبدیل داده‌ها به صورت نمایی، لگاریتمی و توانی را دارد (ویبلی و واتسون، ۲۰۰۷).

۲. انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده غالب: در این قسمت متغیر پیش‌بینی‌شونده همراه با متغیرهای پیش‌بینی‌کننده به مدل معرفی و مدل با توجه به تنظیمات انجام‌شده روابط بین متغیرها را بررسی می‌کند. همچنین میزان همبستگی^۳ متغیر پیش‌بینی‌شونده با تک‌تک متغیرهای پیش‌بینی‌کننده اعلام شد. تنظیماتی که فرد انجام می‌دهد شامل استوکاستیک^۴ یا دترمینستیک^۵ بودن فرایندها و شرطی یا غیرشرطی^۶ بودن فرایندها و... می‌باشد. همبستگی قوی وقتی بین متغیرها ایجاد می‌شود که همبستگی جزئی^۷ متغیرها بزرگ‌تر باشد (ویبلی و واتسون، ۲۰۰۷).

۳. واسنجی^۸ مدل: در این بخش، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده به مدل معرفی و شرایط خاص مسئله از قبیل انجام یا عدم انجام تحلیل چاو^۹، در نظر گرفتن تورم آتورگرسیو، انجام تحلیل پسماندها^{۱۰}، فصلی یا ماهانه و یا سالانه بودن و شرطی یا غیرشرطی بودن عملیات واسنجی برای مدل تعیین شد.

1. Quality control
2. Transform data
3. Correlation
4. Stochastic
5. Transform data
6. Conditional or unconditional
7. Partial Correlation
8. Calibration
9. Chaw Test
10. Residual Analysis



شکل (۲): فرایند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوهای اقلیمی مدل SDSM (آقاشاهی و همکاران، ۲۰۱۲)

Figure (2): The process downscaled climate model and scenarios produced SDSM (Aghashahi and et. al, 2012)

سه سناریوی مذکور است. همین‌طور شبیه‌سازی توسط سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 به هم نزدیک‌ترند. بیشترین اختلاف مشاهده‌شده بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در ماه ژوئن به میزان ۳/۱ درجه سانتی‌گراد تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و ۳/۳ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی RCP8.5 می‌باشد.

بارش: با توجه به جدول (۵) ضرایب NSE و R^2 برای دوره‌ی واسنجی به ترتیب ۰/۵۶- و ۰/۳۱ و این شاخص‌ها برای دوره‌ی صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۲۳- و ۰/۳۹ تعیین شد. وقوع بارش و مقدار آن یک پدیده تصادفی است؛ به همین دلیل ضرایب به‌دست‌آمده در دوره‌ی کالیبراسیون و صحت‌سنجی برای متغیر بارندگی از دما کمتر است. شکل (۴) مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی را در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ برای بارش تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در اواخر پاییز و در زمستان، مقادیر شبیه‌سازی کمتر از مقادیر مشاهداتی است و در فصل پاییز مقادیر شبیه‌سازی بیشتر از مقادیر مشاهداتی می‌باشد. بیشترین اختلاف مشاهده‌شده بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در ماه

نتایج

الف. تحلیل و بررسی ریزمقیاس‌سازی مدل گردش عمومی جو

عملکرد مدل در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بر اساس شاخص ضریب تشخیص و جذر میانگین مربعات خطای تخمین و ضریب ناش ساتکلیف ارزیابی شد. نتایج بر اساس سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، مقادیر متغیرهای اقلیمی با دقت قابل قبولی مدل‌سازی شده‌اند. پیش‌بینی بارش نسبت به متغیر دما با دقت کمتری انجام شده است.

میانگین درجه‌حرارت: با توجه به جدول (۵) ضرایب

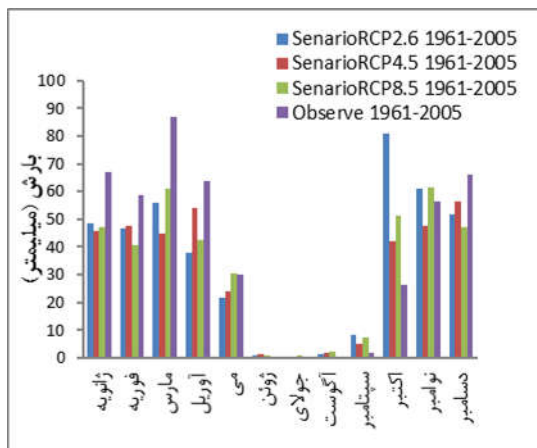
NSE و R^2 برای دوره‌ی واسنجی به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۷ و این شاخص‌ها برای دوره‌ی صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۸ تعیین شد. مقادیر میانگین درجه‌حرارت شبیه‌سازی‌شده و مقادیر مشاهداتی در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، مدل به‌خوبی مقادیر میانگین درجه‌حرارت را شبیه‌سازی کرده است. در فصل پاییز و اوایل زمستان، مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل بیشتر و در فصول دیگر سال کمتر از مقادیر مشاهداتی تحت

اکتبر به میزان ۵۴/۶ میلی متر تحت سناریوی RCP2.6 می‌باشد.

جدول (۵): مقایسه مقادیر شاخص‌های ارزیابی برای واسنجی و صحت‌سنجی ایستگاه کرمانشاه

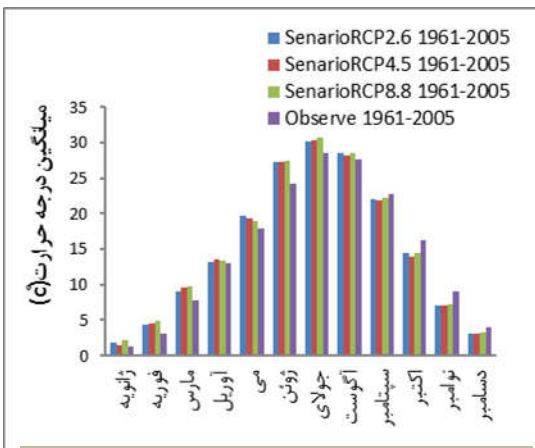
Table (5): Comparison of the assessment indicators for calibration and verification of Kermanshah station

صحت‌سنجی			واسنجی			
Ns	RMSE	R ²	Ns	RMSE	R ²	
۰/۹۳	۲/۴۲	۰/۹۸	۰/۹۳	۲/۵۲	۰/۹۷	درجه حرارت
-۰/۲۳	۴/۷۴	۰/۳۹	-۰/۵۶	۵/۴۸	۰/۳۱	بارش



شکل (۴): مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی میانگین بارش در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵

Figure (4): Comparison of monthly mean values of simulation and observation of average rainfall in the period 1961-2005



شکل (۳): مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی درجه حرارت میانگین در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵

Figure (3): Comparison of monthly mean values of simulation and observation of average temperatures in the period 1961-2005

کاهش در ماه اکتبر به میزان ۲/۴ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی RCP4.5 می‌باشد. با توجه به پیش‌بینی‌های آتی سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 به هم نزدیک‌تر است. به‌طور کلی در مدل CanESM2 مقادیر میانگین درجه حرارت متوسط سالیانه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به میزان ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد.

در شکل (۶) روند تغییرات درجه حرارت میانگین در دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۹ تحت سه سناریوی مذکور نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در تمام طول سال به‌جز ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر در هر سه سناریوی مذکور دما افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش دما در ماه ژوئن به میزان ۶/۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی RCP8.5 می‌باشد. همچنین بیشترین میزان کاهش دما در ماه اکتبر و تحت

ب. پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره آتی

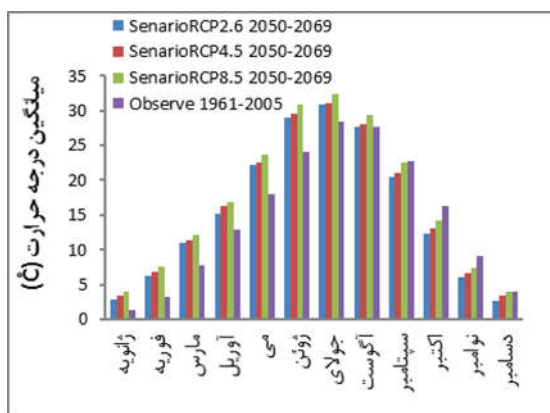
پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل گردش عمومی (CanESM2)، با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹، ۲۰۵۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی و با دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۲۰۰۵ مقایسه شد. نتایج در قالب نمودارهایی ارائه شده است.

درجه حرارت: با توجه به پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته برای دوره‌های آتی تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مقادیر میانگین درجه حرارت در تمام سال به‌جز فصل پاییز در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه دارای یک روند افزایشی است.

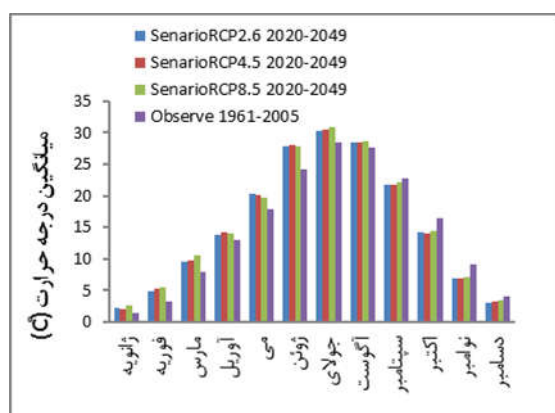
شکل (۵) بیشترین میزان افزایش درجه حرارت در ماه ژوئن به میزان ۳/۸ درجه سانتی‌گراد و همچنین بیشترین میزان

سناریوی RCP2.6 به میزان ۴ درجه سانتی گراد خواهد بود. مقادیر میانگین درجه حرارت متوسط سالیانه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره مشاهداتی تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به میزان ۰/۸، ۱/۴ و ۲/۴ درجه سانتی گراد افزایش نسبت به دوره پایه قابل مشاهده است. در شکل (۷) روند تغییرات درجه حرارت میانگین در دوره آتی ملاحظه می شود. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در تمام فصول سال به جز فصل پاییز افزایش درجه حرارت و پاییز کاهش درجه حرارت دما را خواهیم داشت. بیشترین میزان افزایش

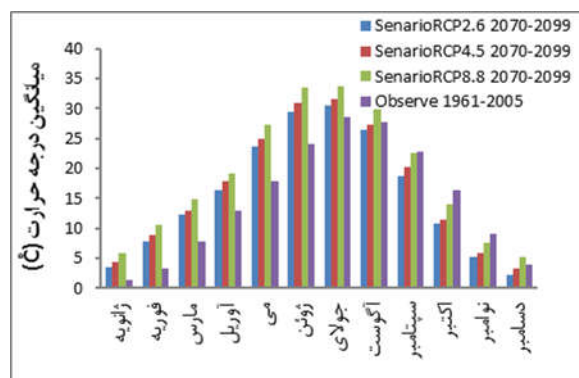
درجه حرارت در ماه ژوئن به میزان ۹/۳ درجه سانتی گراد تحت سناریوی RCP8.5 و همچنین بیشترین میزان کاهش در ماه اکتبر به میزان ۲/۶ درجه سانتی گراد تحت سناریوی RCP2.6 می باشد. با توجه به پیش بینی های آتی سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 به هم نزدیک تر است. ملاحظه می شود که مقادیر میانگین درجه حرارت متوسط سالیانه در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به میزان ۰/۴، ۱/۹ و ۴ درجه سانتی گراد دما افزایش خواهد یافت.



شکل (۶): مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه سازی و مشاهداتی درجه حرارت میانگین در دوره ۲۰۶۹-۲۰۵۰
Figure (6): Comparison of monthly mean values of simulation and observation of average temperatures in the period 2050-2069



شکل (۵): مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه سازی و مشاهداتی درجه حرارت میانگین در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰
Figure (5): Comparison of monthly mean values of simulation and observation of average temperatures in the period 2020-2049



شکل (۷): مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه سازی و مشاهداتی درجه حرارت میانگین در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰
Figure (7): Comparison of monthly mean values of simulation and observation of average temperatures in the period 2070-2099

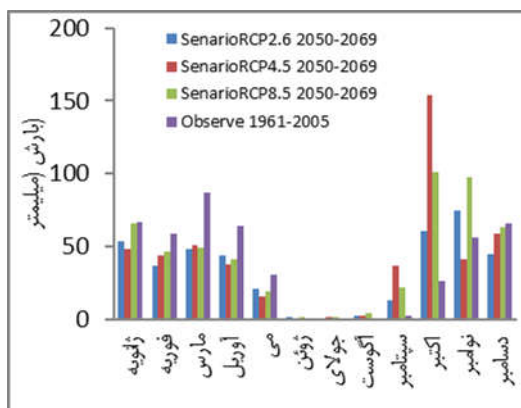
بارش: پس از واسنجی و ارزیابی بارش، متغیر بارش برای دوره های ۲۰۲۰-۲۰۴۹، ۲۰۵۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ با استفاده از مدل گردش عمومی (CanESM2)، با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 پیش بینی و با دوره مشاهداتی

سناریوی RCP2.6 و بیشترین میزان افزایش در ماه اکتبر به میزان ۱۲۷/۵ میلی‌متر تحت سناریوی RCP4.5 می‌باشد. همچنین مقادیر میانگین بارش متوسط سالیانه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۹ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به میزان ۲/۶ و ۴/۲ میلی‌متر افزایش بارندگی را نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد و همین‌طور تحت سناریوی RCP2.6 به میزان ۴/۹ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره پایه خواهد بود.

شکل (۱۰) مقادیر بارش و تغییرات این متغیر را برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در فصل زمستان و بهار تحت سناریوهای مذکور شاهد کاهش میانگین بارش خواهیم بود و در فصول تابستان و پاییز میانگین بارش نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان کاهش بارش در ماه مارس به میزان ۴۸/۱ میلی‌متر تحت سناریوی RCP2.6 و بیشترین میزان افزایش در ماه سپتامبر به میزان ۱۲۹/۵ میلی‌متر تحت سناریوی RCP8.5 می‌باشد. مقادیر میانگین بارش متوسط سالیانه در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 به ترتیب به میزان ۰/۶ و ۷/۴ میلی‌متر کاهش بارندگی و همین‌طور تحت سناریوی RCP8.5 به میزان ۷/۸ میلی‌متر افزایش خواهد یافت.

۲۰۰۵-۱۹۶۱ مقایسه شد. شکل (۸) مقادیر بارش و تغییرات این متغیر را برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در فصل زمستان و بهار تحت سناریوهای مذکور، شاهد کاهش میانگین بارش خواهیم بود و در فصول تابستان و پاییز میانگین بارش نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان کاهش بارش در ماه مارس به میزان ۳۸/۲ میلی‌متر تحت سناریوی RCP2.6 و بیشترین میزان افزایش در ماه اکتبر به میزان ۱۲۷/۵ میلی‌متر است. به‌طور کلی در مدل CanESM2 مقادیر میانگین بارش متوسط سالیانه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریوی RCP2.6 میزان ۶/۴ میلی‌متر کمتر از مقدار مشاهده‌ای، تحت سناریوی RCP4.5 ۲/۶ میلی‌متر افزایش بارش نسبت به دوره پایه خواهد بود. همین‌طور به میزان ۲/۶ میلی‌متر کاهش را تحت سناریوی RCP8.5 خواهیم داشت.

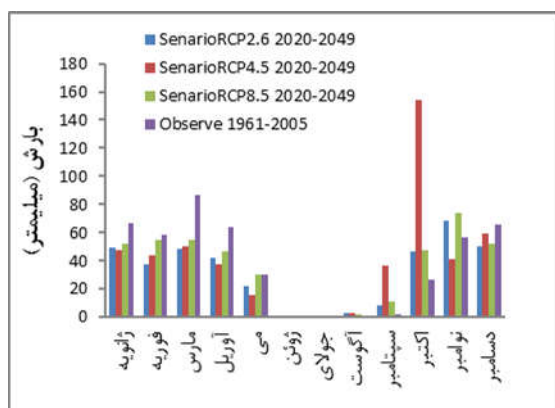
شکل (۹) مقادیر بارش و تغییرات این متغیر را برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۹ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در فصل زمستان و بهار تحت هر سه سناریوی بیان‌شده، شاهد کاهش میانگین بارش خواهیم بود و در فصول تابستان و پاییز میانگین بارش نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان کاهش بارش در ماه مارس به میزان ۳۸/۳ میلی‌متر تحت



شکل (۹): مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی و

مشاهداتی بارش میانگین در دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۹

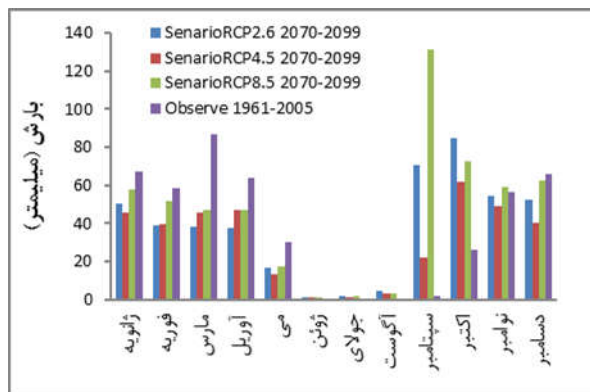
Figure (9): Comparison of monthly mean values of simulation and observation of rainfall in the period 2050-2069



شکل (۸): مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی

بارش میانگین در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹

Figure (8): Comparison of monthly mean values of simulation and observation of average rainfall in the period of 2020-2049



شکل (۱۰): مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی

بارش میانگین در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹

Figure (10): Comparison of monthly mean values of simulation and observation of average rainfall in the period 2070-2099

با تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر، آسیب‌پذیری از این مسئله می‌باشد (حسینی و نظری، ۲۰۱۵). بررسی روند داده‌های آب‌وهوایی ثبت‌شده در دهه‌های گذشته و همچنین نتایج خروجی از تمام مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی‌کننده اقلیم آینده، حاکی از تغییرات غیرقابل چشم‌پوشی در اقلیم جهانی است. با توجه به آنچه گفته شد، بررسی تغییرات اقلیمی در دوره‌های آتی، امری ضروری است. بنابراین در این تحقیق به مطالعه تغییرات آب‌وهوایی در دوره‌های آتی در استان کرمانشاه پرداخته شده است.

برای انجام این تحقیق از داده‌های روزانه دما و بارش میانگین ایستگاه سینوپتیک استفاده شد. از این دو متغیر بارش شرطی و دما غیرشرطی محسوب می‌شود. در نتایج به‌دست‌آمده ضریب تبیین متغیر بارش به‌دلیل متأثر بود از ۲۶ متغیر (فشار متوسط سطح دریا، قدرت جریان سطحی، سرعت مداری سطحی، جهت باد در ۵۰۰ hpa، رطوبت نسبی در ۸۵۰ hpa، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ hpa و...) پایین است و در متغیر غیرشرطی دما ضریب تبیین بالا بوده و نتایج قابل قبول‌تری را ارائه داده است. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل گردش عمومی جو (CanESM2)، تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹، ۲۰۵۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی و با دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۲۰۰۵ مقایسه شد.

بحث و نتیجه‌گیری

تنوع در آب‌وهوا یک پدیده طبیعی است. دوره‌های گرما و سرما در کره زمین در طول تاریخ بوده است (فولند^۱ و همکاران، ۲۰۰۱). با این حال، تغییرات مشاهده‌شده در قرن‌های بیستم و بیست‌ویکم نسبت به هزاره گذشته ناسازگار است (IPCC, 2007b؛ مان^۲ و همکاران، ۱۹۹۹). پیش‌بینی‌های آینده نشان‌دهنده افزایش قابل توجه گرما در قرن بیست‌ویکم است؛ گرچه نرخ برآوردشده در مدل‌ها متفاوت است: ۱/۸-۶/۴ درجه سانتی‌گراد (IPCC, 2007)؛ ۳-۱۰ درجه سانتی‌گراد (استرن^۳، ۲۰۰۶)؛ یا ۳/۳-۴/۸ درجه سانتی‌گراد (IPCC, 2007). مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به تغییرات آب‌وهوایی بسیار آسیب‌پذیرند. بنابراین درک روابط متغیرهای اقلیمی و تغییرات آن‌ها در آینده برای مدیریت پایدار و کارآمد منابع در این مناطق مهم است (میردشتوان و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس مطالعات انجام‌شده، پدیده تغییر اقلیم در ایران اتفاق خواهد افتاد. در این صورت با توجه به وضعیت اقلیمی، ویژگی‌های هیدرولوژیکی وقوع چنین امری یک چالش اساسی خواهد بود. اقلیم همان‌گونه که از فعالیت‌های گوناگون انسانی تأثیر می‌پذیرد، اثراتی گوناگون بر فعالیت‌های انسانی بر جای می‌گذارد. یکی از مهم‌ترین مسائل در مواجهه

1. Folland
2. Mann
3. Stern

بارش بیشتر تحت تأثیر شرایط محلی قرار می‌گیرد و از طرف دیگر متغیر بارش یک متغیر گسسته است. در صورتی که متغیر دما بیشتر از شرایط جهانی و منطقه‌ای تبعیت می‌کند. لذا دقت مدل در شبیه‌سازی آن بیشتر است؛ زیرا داده‌های NCEP و مدل‌های جهانی بر اساس شرایط منطقه‌ای و جهانی گردش عمومی جو زمین شبیه‌سازی شده‌اند. بنابراین مدل SDSM به منظور شبیه‌سازی متغیر دما در ایستگاه کرمانشاه از توانایی قابل قبولی برخوردار است. بنابراین حل مشکل همبستگی متغیر بارش در توسعه مدل‌های تغییر اقلیم در آینده می‌بایست مد نظر قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود متغیر بارش توسط سایر روش‌ها ارزیابی و نتایج آن‌ها با مدل SDSM مقایسه و بهترین روش انتخاب شود.

طبق نتایج شرایط اقلیمی استان کرمانشاه در دوره پیش‌بینی شده تفاوت محسوس با شرایط فعلی خواهد داشت؛ این امر نشان می‌دهد که وضعیت تغییر اقلیم در منطقه جدی است. آگاهی از اثرات منفی مستقیم و غیرمستقیم اقلیم بر بخش‌های مختلف منطقه و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استراتژیک برای این شرایط ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه تکنولوژی ذخیره آب خسارت پدیده تغییر اقلیم را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد توسعه فناوری‌های نوین در بخش آبیاری و تغییر روش‌های سستی به روش‌های مدرن در مناطق مختلف توصیه می‌شود. همچنین تغییر الگوی کشت یکی از راهکارهای تطبیق و توانمندسازی جوامع بدون هزینه در مقابله با کاهش زیان ناشی از آسیب‌های تغییرات اقلیمی در مناطق است.

نتایج پیش‌بینی بارش در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه نشان داده که بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۲۰۰۵ تحت سناریوی RCP4.5 افزایش داشته و تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 دارای یک روند کاهشی می‌باشد. همچنین بارش در دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۲۰۰۵ تحت سناریوی RCP2.6 کاهش داشته و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 افزایش بارش نشان داده‌اند. همچنین بارش در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۲۰۰۵ دارای یک روند کاهشی است. با توجه به مقادیر ضرایب کارایی R^2 و NSE، مدل توانمندی کافی برای پیش‌بینی متغیر بارش را از خود نشان نداده، بنابراین می‌توان اذعان کرد که پیش‌بینی‌های متغیر بارش مدل قابل اتکا نیست. همچنین درجه حرارت در ایستگاه مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹، ۲۰۵۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۰۵ روند افزایشی را پیش رو خواهد داشت. یافته‌های این تحقیق مشابه نتیجه تحقیق صی محمدی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تغییرات اقلیمی با استفاده از سناریوی انتشار A2 در کرمانشاه بود. طبق مدل شبیه‌سازی شده، بارش روند کاهشی و دما روند افزایشی خواهد داشت. همچنین رجبی و شعبانلو (۲۰۱۲) مشابه نتایج تحقیق ما، با بررسی تغییرات متغیرهای بارش روزانه و حداکثر و حداقل داده‌های دما را در ایستگاه کرمانشاه با استفاده از مدل SDSM، به این نتیجه رسیدند که آب‌وهوای منطقه گرم‌تر خواهد شد. عدم توانایی مدل در شبیه‌سازی متغیر بارش را می‌توان ناشی از متأثر بودن این متغیر از عوامل مختلف دانست؛ به عبارتی

منابع

1. Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M. and Toros, H., 2016. Uncertainty analysis of the future changes in maximum daily temperatures over Iran using GIS . Geographical Data (SEPEHR). 25(97), 29-43 P. (In Parsian).
2. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J. and Srinivasan, R., 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of hydrology, 333(2-4), 413-430.
3. Aghashahi, M., Ardestani, M., Nick Sokhan, M.H. and Tahmasebi, B., 2012. Introduction and comparison of LARS-WG and SDSM models for micro-scale parameters of environmental parameters in climate change studies, 6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, 10 p. (In Parsian)
4. Arora, V.K., Scinocca, J.F., Boer, G.J., Christian, J.R., Denman, K.L., Flato, G.M., Kharin, V.V., Lee W.G. and Merryfield, W.J., 2011. Carbon emission limits required to satisfy future Representative concentration pathways of greenhouse gases. Geophysical Research Letters, 38(5), 1-6.
5. Asakereh, H., 2007. Climate Change. Zanjan University Press, (1), 134 p. (In Parsian)
6. Baede, A.P.M., Ahlonsou, E., Ding, Y., and Schimel,

- D.S., 2001. The Climate System: An Overview. In: Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. pp. 87-98. Cambridge University Press. The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 525-582.
7. Dashtbozorgi, A., Alijani, B., Jafarpour, Z. and Shakiba, A., 2015. Simulation of the extreme temperature indices of Khuzestan province based on RCP scenarios, geography and environmental hazards. 16. 105-123p. (In Persian)
 8. Ebrahimpour, M., Ghahreman, N. and Orang, M., 2014. Assessment of climate change impacts on reference evapotranspiration and simulation of daily weather data using SIMETAW, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000669, 04013012.
 9. Fischer, G., Frohberg, K., Parry, M.L. and Rosenzweig, C., 1994. Climate change and world food supply, demand and trade: Who benefits, who loses?, Global Environmental Change, 4(1), 7-23.
 10. Folland, C.K., Rayner, N.A., Brown, S.J. Smith, T.M., Shen, S.S.P., Parker, D.E., Macadam, I., Jones, P.D., Jones, R.N., Nicholls, N. and Sexton, D.M.H., 2001. Global temperature changes and its uncertainties since 1861. Geographical Research Letters, 28 (13), 2621-2624.
 11. Ghahreman, N., Babayan, A. and Tabataba'i, S.M., 2016. Dynamic Outbound Processing of Climate Models in Estimating Potential Evapotranspiration Changes under Radiation Injection Scenarios (Case Study: Mashhad Plain). Physics of Earth and Space. 42 (3), 687-696. (In Persian)
 12. Hosseini, S.S. and M.R. Nazari, 2015. Vulnerability and Adaptability Evaluation. Third National Report on Climate Change (UNFCCC). 141p. www.climate-change.ir. (In Persian)
 13. Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), (2007)
 14. IPCC, Climate change. 2007. Synthesis report. An assessment of the intergov-ernmental panel on climate change (IPCC), 2007: Geneva: IPCC.
 15. IPCC, 2007. Climate change 2007a: Synthesis report. An assessment of the intergov-ernmental panel on climate change (IPCC). Geneva: IPCC.
 16. IPCC, 2007b. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L. (eds.), Summary for policy makers, in: Climate Change, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental.
 17. Khan, M.S., Coulibaly, P. and Dibike, Y., 2006. Uncertainty Analysis of Statistical Downscaling Methods. Journal of Hydrology, 319: 357-382.
 18. Koukidis, E.N. and Berg, A.A., 2009. Sensitivity of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to reanalysis products, Atmosphere-Ocean, 47(1), 1-18.
 19. Kult, J., Choi, W. and Choi, J., 2014. Sensitivity of the Snowmelt Runoff Model to snow covered area and temperature inputs. Applied Geography, 55, 30-38.
 20. Mann, M.E., Bradley R.S. and Hughes, M.K., 1999. Northern hemisphere temper-atures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations. Geophysical Research Letters, 26 (6), 759-762.
 21. Mirdashtvan, M., Najafinejad, A., Malekian, A., and Sa'doddin, A., 2017. Downscaling the contribution to uncertainty in climate-change assessments: representative concentration pathway (RCP) scenarios for the South Alborz Range, Iran. Royal Meteorological Society, 10.1002/met.1706.
 22. Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., De Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grubler, A., Jung, T.Y. and Kram, T., 2000. Special report on emissions scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA (US), Environmental Molecular Sciences Laboratory (US).
 23. Phuong, D.N.D., Duong, T.Q., Liem, N.D., Tram, V.N.Q., Cuong, D.K. and Loi, N.K. 2020. Projections of Future Climate Change in the Vu Gia Thu Bon River Basin, Vietnam by Using Statistical DownScaling Model (SDSM). Water, 12(3), 755.
 24. Rajabi, A. and Shabanlou, S., 2012. Climate index changes in future by using SDSM in Kermanshah, Iran. Journal of Environmental Research and Development, 7(1), 37-44.
 25. Razaghian, H., Shahedi, K. and Behrouz, M., 2018. Evaluation of SIMHYD Rainfall-Runoff Model Efficiency in Climate Change Conditions. Journal of Watershed Management Research, Vol.9, No.17. (In Persian)
 26. Sai Mohammadi, S., Zarafshani, K., Tavakoli, M., Amiri, F. and Mehdizadeh, H., 2018. Prediction impact of Climate Change on the Temperature & Precipitation by General Circulation Model, A strategy for sustainable agriculture: (Case of Kermanshah Township). Journal of Environmental Science and Technology (In Persian).
 27. Sailor, D., Hu, T., Li, X. and Rosen, J., 2000. A neural network approach to local downscaling of GCM output for assessing wind power implications of climate change. Renewable energy Journal, 19: 359-378.
 28. Samadi, S.Z. and Masha Bouani, A., 2008. Introduction of Artificial Neural Network and SDSM Methods for Small Scale Statistical Data on Temperature and Rainfall Data. 3rd Iranian Water Resources Management Conference. Tabriz University. 9 p. (In Persian)
 29. Samadi, Z., Mashhbouani, A.R. and Mahdavi, M., 2009. Selection of predictive variable in order to

- scaling the temperature and rainfall data in Karkheh watershed. 5th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering (Sustainable Management of Natural Disasters), Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Parsian)
30. Shamei, A. and Habibi Nokhandan, M., 2009. Global Warming and Ecological Ecological Consequences. First Edition. Ferdowsi University Press. Mashhad, 216 p. (In Parsian)
 31. Stern, N., 2006. Stern review: The economics of climate change. Retrieved on May 27, 2015, from, http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf.
 32. Tukimat, N.N.A., Syukri, N.A. and Malek, M.A. 2019. Projection the long-term ungauged rainfall using integrated Statistical Downscaling Model and Geographic Information System (SDSM-GIS) model. *Heliyon*, 5(9), e02456.
 33. Wilby, R.L. and Dawson, C.W., 2007. Using SDSM version 4.2 –A decision Support tool from assessment of regional Climate change impacts. User manual.
 34. Wilby, R.L. and Dawson, C.W. 2007. SDSM 4.2-A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual. London, UK.
 35. Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L.O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, available from the DDC of IPCC TG CIA, 27.
 36. Wilks, D.S., and Wilby, R.L., 1999. The Weather Generation Game: A Review of Stochastic Weather Models, *Progress in Physical Geography*. Vol 23, 1999, P. 329-357.
 37. Wilks, D.S., 1992. Adapting Stochastic Weather Generation Algorithms for Climate Change Studies. *Climate Change*, Vol, 22, P 67-84.
 38. Yue, T., Zhao, N., Fan, Z., Li, J., Chen, Ch., Lu, Y., Wang, Ch., Xu, B. and Wilson, J., 2016. CMIP5 downscaling and its uncertainty in China. *ELSEVIER*. Volume 146, Pages 30-37.
 39. Zeynoddin, M., and Bonakdari, H., 2019. Investigating methods in data preparation for stochastic rainfall modeling: A case study for Kermanshah synoptic station rainfall data, Iran. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 6(1), 32-38.

Investigating Changes in Some Climate Variables under the Future Climate Scenarios for a Semi-Arid Region

Arash Malekian^{1*}, Parvin Mohamadi², Mehdi Ghorbani³, Ali Akbar Nazari Samani⁴

Received: 28/09/2019

Accepted: 09/10/2020

Extended abstract

Introduction: As proven by some researches, the atmosphere's general circulation models (GCMs) well predict the temporal and special variations in climatic variables such as temperature and precipitation at a global scale. However, although these models can simulate the global climate in a three-dimensional grid for the whole world, the resolution of their images cannot display the details of the climate changes at regional scale. Therefore, to predict climate changes at regional and regional scales, downscaling tools are needed to be developed. This study, thus, sought to investigate the variations of temperature and precipitation in future periods in a semi-arid region in Iran.

Materials and methods: To conduct this study, the Kermanshah province with average annual precipitation of 402.27 mm and mean temperature of 15.9° C was selected. To investigate the future climate change, we need a base period as an evidence or reference (1961-2005). The data used in this study were collected from station observations based on the required output and large-scale data NCEP and GCM gained from the nearest global network to the study area. To estimate the future periods' temperature and precipitation data, the GCM model of the CanESM2 was applied under three scenarios including RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 8.5, and SDSM 4.2.9 model was used in this regard for downscaling the output data. The SDSM is a multivariate regression model for the production of climatic data via statistical downscaling techniques, seeking to generate high-resolution

1. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj; malekian@ut.ac.ir

2. PhD Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj

3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj

4. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj

DOI: 10.22052/deej.2021.10.30.41

climatic data from GCM's large-scale simulations data. This model is used when rapid and low-cost estimation of the climate is required.

Results: This study evaluated the model's performance in predicting climatic parameters based on R^2 , RMSE, and NS. As confirmed by the results of RCP2.6, RCP4.5 and, RCP8.5, the values regarding the climatic parameters were modeled with acceptable accuracy. However, precipitation prediction was less accurate than temperature which could be attributed to the inaccuracy of the precipitation data and their unconditional nature. The study's results showed that the annual mean temperature values in the period 2020-2049 under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 increased by 0.6, 0.7, and 0.9°C, respectively, compared to the base period. Moreover, the investigation of the prospective temperature changes in 2050-2069 period under the above-mentioned scenarios suggested that the temperature would increase throughout the year except in September, October, November, and December. The highest increase would occur in June by 6.6°C under RCP8.5, and the lowest increase would happen in October by 4°C under RCP2.6 scenario. Furthermore, the annual mean temperature values would increase by 0.8, 1.4 and 2.4°C in 2050-2069 under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios compared to the base period, respectively. It was also found that the temperature would increase in all season but autumn throughout 2070-2099, with the annual mean temperature values getting increased by 4, 1.9 and 4°C, respectively, under RCP2.6, RCP4.5, and, RCP8.5 scenarios.

Precipitation values and its variations in 2020-2049 period indicated that the highest decrease in precipitation value would occur in March by 38.2 mm under RCP2.6 scenario and the highest increase in this parameter would occur in October by 127.5 mm. Moreover, the annual mean precipitation rate would be 6.4 mm lower in 2020-2049 period than the observed value based on RCP2.6 scenario, and it would increase by 2.6 mm in the same period under the RCP4.5 scenario compared to the baseline period, and it would decrease by 2.6 mm under RCP8.5 scenario. Precipitation values for the period 2050-2069 show that the highest decrease in precipitation in March was 38.3 mm under RCP2.6 and the highest increase in October to 127.5 mm under RCP4.5. Furthermore, according to the annual mean precipitation values for 2050-2069 period, it was found that the highest decrease in precipitation rate would occur in March by 38.3 mm under the RCP2.6 scenario, and its highest increase would occur in October by 127.5 mm under RCP4.5 scenario.

Also, the annual precipitation rate in 2050-2069 period would increase by 2.6 mm and 4.2 mm under RCP8.5 and RCP4.5 scenarios, respectively, compared to the observation period, and it would decrease by 4.9 mm under the RCP2.6 scenario compared to the baseline period.

The results of the precipitation rate for 2070-2099 period showed that the highest decrease would occur in March by 48.1 mm under the RCP2.6 scenario, and the highest increase would occur in September by 129.5 mm under the RCP8.5 scenario. Moreover, in 2070-2099 period, the average annual precipitation values would decrease by 0.6 and 7.4 mm under RCP2.6 and RCP4.5 scenarios, respectively, and it would increase by 7.8 mm under the RCP8.5 scenario compared to the base period.

Discussion and Conclusion: The climate changes observed in the 20th and 21st centuries are incompatible with those of the past millennium. Arid and semi-arid regions are extremely vulnerable to climate changes. Therefore, identifying and comprehending the relationship between climate variables, and knowing their future changes are important for sustainable and efficient management of resources in such areas. According to studies conducted in this regard, climate change will inevitably occur in Iran. On the other hand, one of the most important issues in dealing with climate change in recent decades has been susceptibility to the climate changes. The investigation of the trends of the climatic data recorded in last decades, and the outputs of all climate models that predict future climates indicate that undeniable changes would occur in global climate.

To conduct this study, the daily temperature and precipitation data of Kermanshah province's synoptic station were used. However, non-conditional data presented more acceptable results. The study's findings showed that in 2020-2049 period, the precipitation rate increased under RCP4.5 scenario compared to the observation period (1961-2005), and it increased in the same period under the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios. It was also found that in 2050-2069 period, the precipitation rate decreased under RCP2.6 scenario compared to the observation period (1961-2005), and increased under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. Generally, it could be argued that the precipitation rate would increase in this period. Moreover, it could be said that the precipitation rate would be decreasing throughout the 2070-2099 period compared to the observation period, and temperature would experience an increasing trend during 2020-2049, 2050-2069, and 2070-2099 periods compared to the observed period.

As indicated by the results, the Kermanshah province's climatic conditions in the prediction period would considerably differ from the current situation, suggesting serious changes in the region's climate status. Therefore, getting aware of the direct and indirect negative effects of the climate on different parts of the region and developing long-term strategic plans are necessary for dealing with such conditions.

Keywords: General Circulation Model, Greenhouse Gases, HadCM3, SDSM.