بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک

علی‌جان آبکار،[۱] محمود حبیب نژاد،[۲] کریم سلیمانی،[۳] هرمزد نقوی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۶/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

چکیده

تغییر اقلیم خصوصا افزایش دما مهم‌ترین معضل کرهٔ زمین در قرن بیست و یکم می‌باشد. بنابراین ارزیابی میزان روند این معضل در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه تعداد زیادی مدل گردش عمومی جو برای پیش‌بینی وضعیت اقلیم در آینده طراحی شده است، اما خروجی حاصل از این مدل‌ها به دلیل محدودیت در تفکیک مکانی در مقیاس محلی، قابل استفاده نمی‌باشند. لذا روش‌های متعددی به منظور استفاده از خروجی این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی ابداع شده است. متاسفانه علی‌رغم تحقیقات گسترده هنوز امکان توصیه یک روش معین برای یک منطقه خاص وجود ندارد به همین دلیل در هنگام استفاده از این روش‌ها در یک منطقه‌ی خاص باید ابتدا میزان کارایی آن مورد بررسی قرار گیرد. یکی از متداول‌ترین این روش‌ها استفاده ازمدل ریز مقیاس نمایی SDSM[۵] می‌باشد. در این تحقیق ابتدا میزان کارایی این مدل جهت ریز مقیاس نمایی شاخص‌های دمایی در ایستگاه شهر کرمان به عنوان نمایندهٔ مناطق خشک مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس شاخص‌های دمایی ایستگاه کرمان تا سال ۲۱۰۰ شبیه سازی شدند. بدین منظور ابتدا مدل SDSM با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه کرمان و داده‌های بازسازی‌شدهٔ مرکز ملی پیش‌بینی اقلیمی کانادا کالیبره و واسنجی شدند. به منظور ارزیابی مدل از معیار میانگین خطای مطلق استفاده شد و بعد از اطمینان حاصل نمودن از دقت شبیه‌سازی مدل، با استفاده از دو مدل گردش عمومی CGCM1[۶] و HadCM3[۷] تحت دو سناریو A_2 و B_2 شاخص‌های دمایی (حد اکثر، حداقل و متوسط دمای سالانه) برای این ایستگاه تا سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، که مدل مذکور توانایی لازم جهت شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی را دارد. همچنین استفاده از داده‌های مدل HadCM3 نسبت به داده‌های مدل CGCM نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. بر اساس داده‌های این مدل میزان افزایش میانگین درجهٔ حرارت سالانه برای دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۸۹-۲۰۷۰) نسبت به دورهٔ پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) به ترتیب برابر با ۱/۵، ۲/۸ و ۴/۵ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییراقلیم، شاخص‌های دمایی، مدل‌های گردش عمومی جو، مدل SDSM، مناطق خشک و نیمه‌خشک.

[۱] - دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری abkar 804@yahoo.com
[۲] - دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری
[۳] - استاد دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری
[۴] - استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی ومنابع طبیعی استان کرمان

5- Statistical Downscaling Model
6 - Canadian Global Coupled Model
7- UK Hadley Centre for Climate Prediction and Research

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن خصوصا گرم شدن کرۀ زمین، به عنوان بزرگ‌ترین معضل قرن بیست و یکم شناخته شده است. به طوری‌که طی چند سال اخیر همواره یکی از محورهای اصلی سران کشورهای صنعتی جهان، مسئله تغییر اقلیم بوده است (صمدی و همکاران ۱۳۸۸). تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین، اثرات سوئی بر منابع مختلف از جمله آب، جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، صنعت و در نهایت زندگی انسان دارد. اولین اثرتغییر اقلیم روی عناصر اتمسفری خصوصاً درجۀ حرارت و بارش می‌باشد. سپس با توجه به ارتباط بین عناصر اتمسفری و اکوسیستم‌های زمینی، منابع آب، پوشش گیاهی، خاک و همچنین زندگی انسان تحت تأثیر این پدیده قرار خواهد گرفت. بنابراین بررسی روند متغیرهای اتمسفری مانند دما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حال حاضر مدل‌های گردش عمومی جهان (GCM)[1] تنها ابزاری هستند که اثر تغییر اقلیم در سطح جهانی را برای عناصر اتمسفری در شبکه‌های بزرگ مکانی شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها عناصر اتمسفری را در شبکه‌هایی به ابعاد بین (۳۰۰-۱۰۰) کیلومتر شبیه‌سازی می‌کنند (فانگ و همکاران، ۲۰۱۱). به همین دلیل این مدل‌ها نمی‌توانند اثر شرایط محلی نظیر توپوگرافی، پوشش گیاهی، ... را روی متغیرهای اتمسفری نظیر دما، بارش و ... دخالت دهند (اکسو، ۱۹۹۹؛ پروهوم و همکاران، ۲۰۰۲؛ فای فانگ و همکاران، ۲۰۱۱). از آنجا که اکثر مطالعات کاربردی و پروژه‌های اجرایی در اکوسیستم‌های زمینی مانند منابع آب، پوشش گیاهی، در مقیاس حوزه‌های آبخیز صورت می‌گیرد، لذا داده‌های حاصل از مدل‌های سه بعدی گردش عمومی زمین، قابل استفاده در سطح محلی و منطقه‌ای (حوزۀ آبخیز) نمی‌باشد. (جیورجیا و میراند، ۱۹۹۱؛ هیوستون و کرامنی، ۱۹۹۶؛ ویلبی و ویجلی، ۲۰۰۰؛ زوریتا و وان‌استورچ، ۲۰۰۶؛ کارتر، ۲۰۰۷؛ فای فانگ و همکاران، ۲۰۱۱) لذا به ابزاری نیاز است که بتوان از داده‌های مدل عمومی گردش زمین در مقیاس محلی (سطح حوزه‌های آبخیز) استفاده نمود، به همین منظور دانشمندان روش‌های متعددی ابداع نموده‌اند که به مجموع این روش‌ها، ریز مقیاس نمایی (Downscaling) می‌گویند (فای فانگ و همکاران، ۲۰۱۱). در واقع اصول کلی کلیۀ این روش‌ها برپایه برقراری ارتباط بین متغیرهای مدل‌های گردش عمومی جو زمین (رطوبت، فشار هوا ، باد و ...) به عنوان متغیر مستقل و متغیر اقلیمی نظیر بارش ، دما و... به عنوان متغیرهای وابسته در مقیاس منطقه‌ای، محلی و حتی نقطه‌ای استوار می‌باشد. (وان ون، ۲۰۰۵؛ ویلبی، ۲۰۰۷؛ فای فانگ، ۲۰۱۱). حال چنانچه ارتباط منطقی بین داده‌های خروجی مدل‌های جهانی و متغیرهای وابسته مورد نظر نظیر دما، بارش وجود داشته باشد و این ارتباط در طول زمان ثابت فرض شود. با توجه به اینکه مدل‌های جهانی عموما عناصر اقلیمی را تا آستانۀ سال ۲۱۰۰ میلادی شبیه‌سازی نموده‌اند، امکان استفاده از داده‌های مدل‌های جهانی به منظور شبیه سازی متغیرهای مورد نظر نظیر بارش و دما در سطح حوزه‌های آبخیز و حتی مقیاس نقطه‌ای (ایستگاه‌های هواشناسی) وجود دارد. در خصوص روش‌های ریز مقیاس نمایی و دقت آن‌ها تاکنون مطالعات متعددی در جهان صورت گرفته است: کیم و همکاران (۱۹۸۴) اولین کسانی بودند که جهت ریزمقیاس‌نمایی عناصر اتمسفری از مدل‌های جهانی استفاده کردند و بعد از آنها هم جیورجیا و میرانز، ۱۹۹۱؛ هیوستون و کرانی، ۱۹۹۶؛ ویلبی و ویجلی، ۲۰۰۰؛ زورینا و وان استورچ، ۱۹۹۹؛ اکستیو، ۱۹۹۳؛ ویلبی و همکاران، ۲۰۰۶؛ کارتر، ۲۰۰۷؛ کرستین سین، ۲۰۰۷؛ فولر و همکاران، ۲۰۰۷ از روش‌های ریزمقیاس نمایی استفاده نمودند. ویلبی و همکاران، ۲۰۰۷ کلیۀ روش‌های ریزمقیاس نمایی را در چهار گروه: ۱- دینامیکی، ۲- سینوتیکی، ۳- آماری، ۴- تابع انتقالی طبقه‌بندی کردند. از آنجا که مدل‌های دینامیکی و سینوپتیکی جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی نیاز به کامپیوتر و ابزار پیچیده دارند، امروزه مدل‌های آماری خصوصا تابع انتقالی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گروه بر حسب اینکه بر پایۀ روابط آماری یا ریاضی استوار باشند، به دو دسته مدل‌های آماری و مدل‌های ریاضی تقسیم‌بندی می‌شوند. از مدل‌های ریاضی می‌توان به شبکۀ عصبی اشاره نمود. همچنین مدل SDSM یکی از مدل‌های ریزمقیاس نمایی تابع انتقالی آماری بحساب می‌آید. (ویلبی و همکاران، ۲۰۰۷) که امروزه به عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس نمایی در سطح جهان

[1]- Global Circulation Model

Archive of SID
www.SID.ir

شناخته شده است (پالن و همکاران، ۲۰۰۵). تاکنون مطالعات متعددی در خصوص کارایی این مدل در نقاط مختلف جهان و مقایسهٔ آن با سایر مدل‌ها صورت گرفته است. پالن و همکاران، ۲۰۰۵ با استفاده از شبکهٔ عصبی و مدل SDSM داده‌های بارش و دما را دریک حوزهٔ آبخیز در کانادا به منظور ریزمقیاس نمایی مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که هر دو روش از دقت بالایی برخوردار می‌باشند. هارفام و ویلبی، ۲۰۰۵ چندین مدل ریزمقیاس نمایی را در مناطق مرطوب انگلستان جهت شبیه سازی بارش مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که مدل SDSM نسبت به سایر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی ارجحیت دارد. ماکوکم و همکاران، ۲۰۰۹ شش مدل آماری و تابع انتقالی از جمله مدل SDSM و دو مدل دینامیکی را برای شبیه‌سازی بارش‌های سنگین در دو ایستگاه هواشناسی شمال‌غرب و جنوب‌شرق کشور انگلستان مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که مدل‌های آماری و تابع انتقالی از دقت بیشتری برخوردار هستند. از بین این مدل‌ها، مدل SDSM در بسیاری از موارد نتایج بهتر نسبت به بقیه ارائه می‌نماید. کوکدس و برگ، ۲۰۰۹ حساسیت مدل SDSM را به داده‌های بازسازی شده[1] (NCEP) و[2](ECMWF) در جنوب اونتاریو مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که نوع داده-های بازسازی شده (Reanalyses) تأثیر بسزایی در خروجی مدل برای شبیه سازی داده‌های بارش و دما دارد. زوافی و همکاران، ۲۰۱۱ دومدل ریزمقیاس نمایی SDSM و NHMM[3] را برای شبیه‌سازی بارش در یک حوزهٔ آبخیز منطقهٔ خشک در چین مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه-گیری کردند که اختلاف معنی‌داری در نتایج آن‌ها مشاهده نمی‌شود. صمدی و همکاران، ۱۳۸۸ به منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی، کارایی مدل SDSM را در حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ کرخه مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که این مدل به منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش از توانایی مناسبی برخوردار است. بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸ با استفاده از مدل[4] LARS-WG اقلیم کشور ایران را در دههٔ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که مقدار بارش کشور ۹٪ کاهش و میانگین دمای کشور به میزان ۰/۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. تورینی و حسامی کرمانی، ۱۳۹۰ شاخص‌های دمایی شهر کرمان را با استفاده از شبکهٔ عصبی شبیه‌سازی نموده و نتیجه‌گیری کردند که میانگین حداکثر دمای سالانه شهر کرمان در سه دههٔ ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و۲۰۷۰ بترتیب برابر با ۲۵/۸ ، ۲۷/۲۳ و ۲۹/۱۶ درجهٔ سانتیگراد خواهد شد. به طور کلی می‌توان گفت تاکنون در نقاط مختلف جهان تحقیقات متعددی در خصوص مقایسهٔ و کارآیی مدل‌های آماری با آماری، آماری با دینامیکی و دینامیکی با دینامیکی صورت گرفته است که در هیچکدام از این تحقیقات مزیت هیچکدام از مدل‌ها نسبت به همدیگر بصورت قطعی به اثبات نرسیده است. به نظر می‌رسد انتخاب مدل مناسب جهت ریزمقیاس نمایی به شرایط اقلیمی، توپوگرافی .... مناطق بستگی زیادی دارد. بنابراین نیاز است که کارایی مدل‌های ریز مقیاس نمایی در هریک ازمناطق مورد ارزیابی قرار گیرد و در صورت ارائه نتایج قابل قبول، از آن مدل استفاده شود. لذا به همین دلیل تحقیق حاضر به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی با استفاده از خروجی مدل‌های جهانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا در صورت ارائه نتایج قابل قبول نسبت به شبیه‌سازی شاخص‌های مورد نظر تا سال ۲۱۰۰ اقدام شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

در این تحقیق، از آمار دمای ایستگاه سینوپتیک شهر کرمان با مختصات جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقهٔ عرض شمالی استفاده شده است. این ایستگاه در شهر کرمان واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۷۵۴ متر و متوسط بارندگی سالانهٔ آن ۱۴۰ میلیمتر می‌باشد. این ایستگاه نه تنها جزء ایستگاه‌های سیتونیک کشور می‌باشد، بلکه یکی از ۱۰۲۵ ایستگاه‌های سیستم مشاهده‌ای اقلیم جهانی GCOS[5] می‌باشد. این سیستم در سال ۱۹۹۲ با همکاری سازمان هواشناسی جهانی و چندین سازمان وابسته به سازمان ملل تأسیس و زیر نظر سازمان هواشناسی جهانی به منظور

[1] National Centers For Environmental Perdictio-
[2] - European Cnter for Medium-range Weather Forecasts
[3]- Nonhomogeneous Hidden Markov model
[4]- Long Ashton Research Station Weather Generation
[5] - Global Climate Observation System

Archive of SID
www.SID.ir

بررسی تغییرات اقلیمی، ارزیابی میزان تأثیرگذاری تغییرات اقلیمی روی پیشرفت اقتصادی جهان و مدل سازی فعالیت می‌کند (تورینی وهمکاران،۱۳۹۰). لازم به ذکر است که در کل ایران هفت ایستگاه GCOS وجود دارد که عبارتند از: ایستگاه تبریز، تهران (مهرآباد)، مشهد، شیراز، کرمانشاه، زاهدان و کرمان. از طرفی ایستگاه کرمان در مرکز شهر کرمان و دشت کرمان به عنوان یکی از دشت‌های مهم استان کرمان که در توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی و کشاورزی کرمان نقش مهمی دارد، واقع شده است. مضاف بر این با توجه به اقلیم حاکم بر آن می‌تواند به عنوان نمایندهٔ مناطق خشک جنوب‌شرق کشور محسوب شود. بنابراین این ایستگاه از نظر اهمیت، دقت آمار ثبت شده و نمایندهٔ مناطق خشک جنوب کشور از اهمیت خاصی برخوردار است و به همین دلیل به منظور این تحقیق انتخاب شده است.

داده‌های استفاده شده در این تحقیق

در این تحقیق پنج سری داده شامل: داده‌های دما ایستگاه سینوپتیک شهر کرمان، داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا و داده‌های دو مدل جهانی گردش عمودی جو زمین CGCM و HadCM3 تحت سناریو A_2 و B_2 مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های ایستگاه شهر کرمان شامل: حداکثر مطلق، حداقل مطلق و میانگین دمای روزانه از اول ژانویه سال ۱۹۶۱ تا پایان دسامبر ۱۹۹۰جهت کالیبره نمودن و واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. (IPCC[1] دورهٔ ۱۹۹۰-۱۹۶۱ را به عنوان دورهٔ پایه برای مقایسه سناریوهای تغییر اقلیم پیشنهادنموده است). بدین منظور این دادها ابتدا به فرمت قابل قبول مدل SDSM تبدیل شدند. (هریک از متغیرها در مقیاس روزانه و بترتیب در یک ستون جداگانه و به صورت فایل متنی آماده شدند). داده‌های مدل‌های HadCM3 و CGCM همراه با داده‌های مشاهدهٔ مربوط به مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا از طریق سایت http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?Scenarios قابل دسترسی می‌باشند. این داده‌ها در شبکه‌هایی به ابعاد ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه (بترتیب شرقی و شمالی) در مدل HadCM3 و ۷۵/ ۳در۳/۵۷ درجه (بترتیب شرقی و شمالی) برای مدل CGCM می‌باشد. ایستگاه کرمان با مختصات جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی در مدل HadCM3 در شبکهٔ X=۱۶ و y =۲۳ و در مدل CGCM در شبکه x=33 و y=16 قرار گرفته است. خروجی این مدل‌ها بدون هیچ تغییری و به طور مستقیم قابل استفاده در مدل SDSM می‌باشند. در این تحقیق ما از داده‌های ۳۰ سالهٔ NCEP از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ که شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد، برای کالیبره کردن و ارزیابی مدل و از داده‌های مدل CGCM و HADCM3 تحت سناریو A2 و B2 برای شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی درچهار دورهٔ سی ساله: دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) دههٔ ۲۰۲۰ (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، دهه ۲۰۵۰ (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و دههٔ ۲۰۸۰ (۲۱۰۰-۲۰۷۰) استفاده کردیم. ضمناً کلیهٔ متغیرهای در مدل‌های مذکور و همچنین داده‌های NCEP بر اساس میانگین دورهٔ ۳۰ سالهٔ (۱۹۹۰-۱۹۶۱) نرمال شده‌اند.

انتخاب متغیرهای مستقل مناسب جهت پیش‌بینی متغیرهای وابسته

اساس کار مدل‌های ریزمقیاس آماری تابع انتقالی نظیر مدل SDSM بر پایهٔ ارتباط بین متغیرهای مستقل اتمسفری (فشار سطح دریا، نیروی جریان هوا در سطح زمین و ...) و متغیرهای وابسته زمینی نظیر بارش، دما و.. استوار است. در این مورد انتخاب متغیرهای مستقل که ارتباط منطقی و مناسبی با متغیرهای وابسته داشته باشند، از اهمیت خاصی برخوردار است (ویلبی و همکاران، ۲۰۰۷). بدین منظور مدل SDSM از ضریب تعیین R^2، ضریب همبستگی جزئی R_{x1X2} طبق روابط (۱) و (۲) و نمودار پراکنش متغیر وابسته و مستقل استفاده می‌نماید. ضمن اینکه آزمون عدم وابستگی متغیرهای مستقل صورت می‌گیرد.

$$R^2 = \frac{[\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})]^2}{\sum(x_i-\bar{x})^2\sum(y_i-\bar{y})^2} \quad (۱)$$

$$R^2{}_{x_1x_2|x^3} = \frac{(r_{x_1x_2}-r_{x_1x_3}\times r_{x_2x_3})^2}{(1-r^2{}_{x_1x_3})(1-r^2{}_{x_2x_3})} \quad (۲)$$

که در آن:

[1]- Inter government Panel Chang Climat

Archive of SID
www.SID.ir

R^2 :ضریب تعیین
x_1 :مقدار i اُم متغیر مستقل
$\bar{x}$:متوسط مقدار متغیر مستقل
y_i :مقدار متغیر وابسته
$\bar{y}$:میانگین متغیر وابسته
$R^2_{x_1x_2}$: ضریب همبستگی جزئی بین دو متغیر وابسته و مستقل
x_1 و x_2 : متغیرهای مستقل
و x_3 : مقدار متغیر مستقلی که مقدار آن ثابت فرض می‌شود.

مدل SDSM

این مدل اولین بار در سال۲۰۰۲ توسط ویلبی و همکارن تحت عنوان نسخهٔ ۲/۱ ارائه شد. در سال ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ به‌ترتیب نسخهٔ ۲/۲، ۳/۲ و ۴/۲ که توسعه یافته نسخه ۲/۱ می‌باشند توسط ویبلی و همکاران ارائه شد. در این تحقیق از نسخه ۴/۲ جهت ریزمقیاس نمایی شاخص‌های دمایی استفاده گردید. این مدل از نوع مدل‌های تابع انتقالی است در واقع بهترین هیبریدی از مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری به‌حساب می‌آید (ویلبی و همکاران، ۲۰۰۷). تاکنون کارایی آن در نقاط مختلف جهان مورد ارزیابی قرار گرفته است. بطوریکه نسبت به سایر مدل‌های ریزمقیاس نمایی نتایج رضایت بخشی را ارائه نموده است. این مدل قادر است در هر مرحلهٔ اجرا، بین ۱ تا ۱۰۰ بار داده‌ها را شبیه‌سازی نماید. (جهت اطلاع از جزئیات بیشتر به راهنمای مدل ویلبی و همکاران، ۲۰۰۷ مراجعه شود). در این تحقیق جهت بهینه‌سازی تعداد دفعات شبیه سازی، از معیار میانگین خطای مطلق MAE[1] استفاده شد. بدین ترتیب که مدل در مرحلهٔ واسنجی به تعداد ۱۰،۲۰،۳۰ ... و ۱۰۰ بار شبیه‌سازی، مورد ارزیابی قرارگرفت و تعداد دفعاتی که کمترین میانگین خطای مطلق را داشت، به عنوان مبنای شبیه‌سازی قرار گرفت.

ارزیابی و واسنجی مدل

به منظور کالیبره نمودن و واسنجی مدل SDSM داده‌های مورد استفاده، ایستگاه مشاهده‌ای شهر کرمان و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا NCEP به دو دورهٔ ۱۵ ساله (۱۹۷۵-۱۹۶۱) و (۱۹۹۰-۱۹۷۵) تقسیم شدند. از ۱۵ سال اول برای کالیبره کردن مدل با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مربعات استفاده شد. بعد از کالیبره نمودن مدل به منظور حصول اطمینان از این که مدل توانایی شبیه‌سازی داده‌ها را خارج از محدودهٔ زمانی کالیبراسیون دارد، نیاز است مدل ارزیابی شود. بدین منظور با استفاده از مدل SDSM کالیبره شده، شاخص‌های دمایی (متوسط حداکثر درجهٔ حرارت، متوسط حداقل درجهٔ حرارت و میانگین درجهٔ حرارت روزانه) برای دورهٔ ۱۵ ساله (۱۹۹۰-۱۹۷۶) شبیه‌سازی شدند. سپس با مقایسهٔ داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده، کارایی مدل برای ایستگاه کرمان مورد بررسی قرار گرفت . در این تحقیق به منظور بررسی میزان کارایی مدل از دو معیار میانگین خطای مطلق و نمودار پراکندگی باقی‌مانده ها استفاده گردید (روابط ۳ و ۴). همچنین در آخرین مرحله ارزیابی به منظور بررسی میزان حساسیت مدل SDSM به خروجی مدل‌های جهانی شاخص‌های دمایی مذکور با استفاده از داده‌های دو مدل جهانی CGCM و HadCM3 در دو دوره ارزیابی (۱۹۹۰-۱۹۷۵) و دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) شبیه‌سازی و سپس با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه شدند.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|x_{iob} - x_{ie}| \qquad (۳)$$

که در آن
x_{iob}: مقدار مشاهده شدهٔ متغیر مورد نظر
x_{ie} :مقدار شبیه سازی شدهٔ متغیر مورد نظر
MAE: میانگین خطای مطلق.

هر چه مقدار MAE کمتر باشد، نشان دهندهٔ این است که مدل متغیر مورد نظر را با دقت بیشتری برآورد نموده است. اگر MAE صفر باشد، بدین معنا است که مدل به طور کامل و دقیق متغیر مورد نظر را شبیه می‌نماید.

$$y - \hat{y} = e \qquad (۴)$$

که درآن

[1]- Mean Absolut Error

Archive of SID
www.SID.ir

e مقدار باقی‌مانده‌ها و y مقدار مشاهدهٔای متغیر مورد نظر و $\hat{y}$ مقدار شبیه‌سازی شدهٔ متغیر مورد نظر می‌باشد.

چنانچه مقدار باقی‌مانده‌ها (e) در رابطهٔ (۴) را در مقابل مقادیر مشاهده‌ای متغیر مورد نظر در یک محور مختصات که محور X ها مربوط به مقدار واقعی متغیر مورد نظر و محور y ها مربوط به e می‌باشد، رسم کنیم، اگر نقاط در جهت محور X و نزدیک به آن باشند، نشان دهندهٔ دقت مدل در شبیه‌سازی متغیر مورد نظر می‌باشد. در غیر این صورت مدل از دقت بالایی برخوردار نیست.

شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی تا سال ۲۱۰۰

بعد از واسنجی مدل و حصول اطمینان از نتایج مدل در شبیه‌سازی، شاخص‌های دمایی: میانگین دمای روزانه، متوسط حداکثر و حداقل، دمای مطلق و حداکثر و حداقل دما مطلق در ایستگاه کرمان برای دو مدل *HadCM3* تحت سناریوهای A_2 و B_2 و همچنین مدل GCGM برای دوره‌های ۳۰ ساله: پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱)، دهه۲۰۲۰ (۲۱۰۰-۲۰۳۹)، دهه ۲۰۵۰ (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و دهه (۲۰۷۰-۲۱۰۰) شبیه‌سازی شدند.

نتایج

انتخاب متغیرهای مستقل جهت پیش‌بینی شاخص‌های دمایی و کالیبره کردن مدل

در مدل‌های تابع انتقالی مانند مدل SDSM قبل از کالیبره کردن مدل لازم است متغیرهای اقلیمی که بیشترین همبستگی را با شاخص‌های دمایی مورد نظر دارند، تعیین گردند. در این تحقیق برای بررسی رابطهٔ هر یک از شاخص‌های دمایی، (متوسط حداکثر، متوسط حداقل و میانگین درجهٔ حرارت روزانه) با متغیرهای مستقل اتمسفری (NCEP) مراحل انتخاب متغیرهای و کالیبره کردن مدل برای هریک از شاخص‌های دمایی به صورت مستقل صورت گرفت. جدول(۱) متغیرهای مورد استفاده در کالیبره نمودن مدل را به تفکیک شاخص‌ها نشان می‌دهد. بر اساس این جدول دمای متوسط در ارتفاع دو متری سطح زمین، فشار متوسط هوا در سطح دریا و ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌ترتیب بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند. بعد از تعیین متغیرهای مناسب، نسبت به کالیبره کردن مدل اقدام شد. در مدل SDSM نتایج حاصل از مرحلهٔ کالیبراسیون در یک فایل با فرمت استاندارد و پسوند PRA.* ذخیره می‌شود که در موقع لزوم می‌توان از آن جهت شبیه‌سازی استفاده نمود.

جدول (۱): متغیرهای مستقل مورد استفاده جهت کالیبره نمودن مدل به تفکیک شاخص

شاخص	$HadCM_3$	CGCM
متوسط حداکثر درجهٔ حرارت	میانگین فشار در سطح دریا،رطوبت ویژه در سطح زمین،دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال-	میانگین فشار در سطح دریا،دمای متوسط در ارتفاع دو متری سطح زمین،ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۸۵۰ هکتوپاسکال،سرعت منطقه ای از سطح جریان هوا-
متوسط حداقل درجهٔ حرارت	میانگین فشار در سطح دریا،رطوبت ویژه در سطح زمین،دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین،سرعت مداری جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۸۵۰ هکتوپاسکال-	دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری سطح زمین،ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،شدت جریان در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،سرعت منطقه ای جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،سرعت نصف النهار جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال-
متوسط درجهٔ حرارت روزانه	فشار متوسط در سطح دریا،دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین،ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،سرعت منطقه ای جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال-	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین،شدت جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،سرعت منطقه ای جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال،سرعت نصف النهار جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال

کلیهٔ متغیرهای فوق و همچنین هر ۲۶ متغیر اتمسفری محاسبه شده در مرکز ملی پیش بینی متغیر محیطی کانادا بدون بُعد می باشند (نرمال شده اند).

Archive of SID

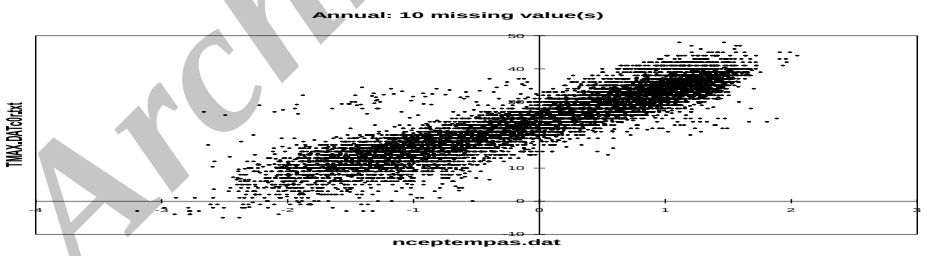
www.SID.ir

به منظور انتخاب مناسب‌ترین متغیر مستقل، از شاخص‌های، ضریب رگرسیون و نمودار پراکندگی نقاط استفاده شد. جدول(۲) ضریب هریک از متغیرها و شکل(۱) نمودار پراکندگی بین متغیر مستقل متوسط درجه حرارت داده‌های NCEP و متوسط حداکثر دما در ایستگاه کرمان را نشان می‌دهد که از درجهٔ همبستگی بالایی برخوردار است. برای سایر شاخص‌های دمایی (نشان داده نشده است)، ضریب همبستگی و نمودار پراکندگی مناسب است. براساس این نمودار، متغیر مستقل متوسط دما در ارتفاع دو متری سطح زمین داده‌های NCEP همبستگی بسیار بالایی با حداکثر درجه حرارت ایستگاه کرمان دارد. بنابراین می‌توان از آن بعنوان متغیر مستقل در تعیین متغیر وابسته (درجه حرارت) استفاده نمود.

جدول(۲): ضریب پارمترهای های مدل جهت شبیه سازی حد اکثر درجه حرارت

ماه	عرض از مبداء	ضریب فشار متوسط سطح دریا	ضریب ژئوپتانسیل در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	ضریب رطوبت نسبی در سطح زمین	ضریب متوسط درجهٔ حرارت در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین	SE	R^2
ژانویه	۲۳/۷	-۰/۵	-۱/۱	-۱/۲	۸/۴	۳/۸	۰/۵
فوریه	۲۴/۱	۰/۱	-۰/۸	-۰/۵	۹/۸	۳/۲	۰/۷
مارس	۲۲/۸	-۰/۴	-۰/۵	-۰/۴	۷/۳	۲/۹	۰/۵
آوریل	۲۳/۳	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	۶/۴	۲/۹	۰/۶
می	۲۴/۳	۰/۴	-۰/۶	-۱/۷	۷/۵	۲/۷	۰/۶
جوی	۲۸/۳	-۰/۹۸	-۰/۶	-۲/۸	۳/۳	۴	۰/۱
جولای	۲۸/۷	-۱/۹	-۰/۳	-۰/۴	۴/۷	۲/۸	۰/۳
آگوست	۲۷/۹	-۲/۵	۰/۰۴۶	-۰/۳	۵/۱	۲/۹	۰/۵
سپتامبر	۲۸/۲	-۱/۸	-۱/۱۵۳	۱/۱	۶/۷	۲/۵	۰/۵
اکتبر	۲۸/۸۵۰	-۰/۹۸۲	-۰/۸۲۳	-۱/۲۴۳	۶/۷۰۸	۲/۳۳۵	۰/۶۰۰
نوامبر	۲۴/۴۴۷	-۰/۵۱۰	-۱/۰۴۶	-۰/۸۰۵	۶/۹۳۰	۲/۴۳۶	۰/۶۰۸
دسامبر	۲۲/۷۱۹	۰/۱۰۶	-۰/۳۷۱	-۰/۹۱۵	۶/۹۸۹	۳/۱۱۵	۰/۴۶۹

SE خطای استاندارد، R^2 ضریب تعیین



شکل(۱): نمودار پراکندگی متوسط حداکثر درجه حرارت مشاهده‌ای کرمان در مقابل متوسط درجه حرارت داده‌های NCEP

- **بهینه سازی تعداد دفعات شبیه سازی**

جدول شمارهٔ (۳) میانگین خطای مطلق را به ازای تعداد دفعات شبیه‌سازی نشان می‌دهد. طبق این جدول علی‌رغم اینکه مدل حساسیت چندانی به تعداد دفعات شبیه‌سازی ندارد. اما زمانی‌که تعداد دفعات شبیه‌سازی به ۶۰ بار می‌رسد، کمترین میانگین خطای ممکن را دارا می‌باشد. از این مرحله به بعد تعداد۶۰ بار شبیه‌سازی مبناء ادامه تحقق قرار گرفت.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول (۳): ارتباط بین تعداد دفعات شبیه سازی مدل ومیانگین خطای مطلق

تعداد دفعات شبیه سازی	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
میانگین خطای مطلق	۰/۵۵۴	۰/۵۵۲	۰/۵۵۲	۰/۵۵۸	۰/۵۵۵	۰/۵۴۸	۰/۵۵	۰/۵۵۵	۰/۶۵۴	۰/۵۵۲

ارزیابی مدل

اشکال (۲ و ۳) معیارهای ارزیابی و شاخص‌های دمایی شبیه سازی شده با استفاده از متغیرهای NCEP و همچنین داده‌های واقعی در دوره ارزیابی مدل را نشان می‌دهند. چنانچه مشخص است کلیه شاخص‌های ارزیابی نظیر فراوانی داده‌ها (شکل ۲ الف)، نمودار پراکنش داده‌ها (شکل۲ب)، نمودار پراکنش باقی‌مانده‌ها (شکل۲ج) و همچنین شاخص‌های دمایی شکل (۳) (الف تا ر، نمودار داده‌های مشاهده ای و شبیه‌سازی شده) حکایت از آن دارد که مدل SDSM از کارآیی مناسبی جهت ریز مقیاس نمایی شاخص‌های دمایی با استفاده از داده‌های NCEP برخوردار است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی دوره ارزیابی مدل همراه با داده‌های مشاهده‌ای در جدول (۴) ارائه شده است. چنانچه از این جدول مشخص است، نوع داده‌های NECP مدل‌های جهانی و همچنین نوع متغیر وابسته در میزان دقت شبیه‌سازی مدل مؤثر است. به عنوان مثال مدل $HadCM_3$ در مقایسه با مدل CGCM متوسط حداکثر درجهٔ حرارت و متوسط دمای روزانه را به مراتب بهتر شبیه‌سازی می‌کند، در حالیکه مدل CGCM در شبیه‌سازی متوسط حداقل درجهٔ حرارت، نتایج بهتری را ارائه می‌نماید. میانگین خطای‌مطلق برای متوسط حداکثر درجهٔ حرارت، متوسط حداقل درجهٔ حرارت و میانگین دمای روزانه به ترتیب برای دو مدل جهانی $HadCM_3$ و CGCM برابر با (۰/۰۲ ؛ ۲/۵۳) ، (۲/۶۴ ؛ ۲/۰۸) و (۰/۰۲ ؛ ۵/۳۵) درجه سانتیگراد است. علی‌رغم اختلاف بین خروجی دو مدل در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی به تفکیک ماه، اختلاف میانگین سالانه شاخص‌های دمایی ناچیز بوده و نتایج حاصل از خروجی هر دو مدل در برآورد میانگین شاخص‌های دمایی در مقیاس سالانه از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد.

متوسط حداکثر، حداقل و میانگین، روزانه درجهٔ حرارت شبیه‌سازی شده در دوره ارزیابی توسط دو مدل به ترتیب برابر با: (۲۴/۷۲ ؛ ۲۳/۷۸) ؛ (۸/۰۱ ؛۷/۰۸) و (۱۶/۳۵؛ ۱۶/۸۹) درجه سانتیگراد می‌باشد. میانگین مشاهده شده شاخص‌های دمایی مذکور برای دورهٔ ارزیابی به ترتیب برابر با: ۲۴/۷۱ ، ۸/۱۴ و ۱۶/۳۵ درجه سانتیگراد است. بنابراین اختلاف بین میانگین مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای شاخص‌های مورد نظر و مدل‌ها به ترتیب برابر با: (۰/۰۱ ؛ ۰/۹۳-) ، (۰/۱۳ ؛ ۱/۰۶-) و (۰ ؛ ۰/۵۳) درجهٔ سانتی گراد است که در تمامی موارد مدل $HadCM_3$ نتایج بهتری را ارائه نموده است.

شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در دورهٔ پایهٔ (۱۹۹۰-۱۹۶۱) با استفاده خروجی مدل‌های جهانی

جدول(۵) مقادیر ۵ شاخص دمایی (میانگین، متوسط حداکثر و حداقل، حداکثر مطلق و حداقل مطلق درجه حرارت) را برای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای A_2 و B_2 مدل جهانی $Hadcm_3$ و مدل CGCM نشان می‌دهند. میانگین خطای مطلق برای متوسط درجهٔ حرارت ماهانه برای سه مدل به ترتیب برابر با ۰/۸، ۰/۸ و ۲/۷ است. همچنین دامنهٔ تغییرات ماهانه مقادیر مشاهده‌ای با شبیه‌سازی شده برای سه مدل به ترتیب برابر با (۰ ؛ ۳/۶)، (۰/۰۷ ؛ ۳/۶) و (۰/۳۴ ؛ ۶/۶) درجهٔ سانتی‌گراد است. بیشترین اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده در مدل $HadCM_3$ مربوط به ماه‌های فصل تابستان و در مدل CGCM مربوط به ماه‌های فصل بهار می‌باشد. درصد خطا در مدل $HadCM_3$ به‌جز ماه آگوست که حدود ۱۳ درصد است، برای سایر ماه‌ها کمتر از ۸ درصد می‌باشد. در صورتی‌که مدل CGCM در شبیه‌سازی داده‌ها از دقت کمتری برخوردار است و درصد خطای آن در آوریل به ۴۰ درصد هم می‌رسد.

Archive of SID

www.SID.ir

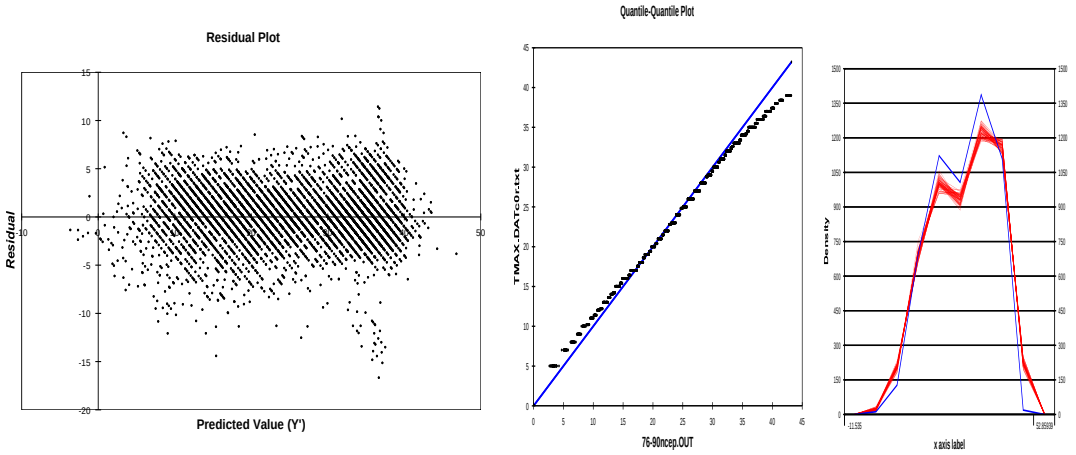
جدول(۴): داده‌های مشاهده ای، شبیه سازی شده و میانگین خطای مطلق در دوره ارزیابی مدل (۱۹۹۰-۱۹۷۶) به تفکیک مدلهای جهانی (درجه سانتیگراد)

	متوسط حداکثر دما				متوسط حداقل دما				میانگین دمای روزانه			
ماه	HadCM3		GCM		HadCM3		GCM		HadCM3		GCM	
	مشاهده ای	شبیه سازی	MAE	شبیه سازی	مشاهده ای	شبیه سازی	MAE	شبیه سازی	مشاهده ای	شبیه سازی	MAE	شبیه سازی
ژانویه	۱۰/۳	۱۰/۳	۰/۰۴	۱۱/۶	۱/۴-	۳/۶-	۲/۱۹	۵/۰-	۳/۲۷	۳/۳۱	۰/۰۵	۷/۱۳
فوریه	۱۴/۰	۱۴/۰	۰/۰۲	۱۲/۸	۲/۰-	۰/۰-	۲/۰۲	۳/۲-	۶/۹۱	۶/۹۱	۰	۵/۲۶
مارس	۱۹/۲	۱۹/۲	۰	۱۲/۷	۰/۹۱	۴/۵	۵/۴۱	۱/۱-	۱۱/۸	۱۱/۸	۰/۰۱	۵/۹۵
آوریل	۲۳/۷	۲۳/۷	۰/۰۳	۱۷/۱	۳/۲	۸/۹۴	۵/۷۳	۱/۴۶	۱۶/۳	۱۶/۳	۰/۰۱	۱۰/۱
می	۳۰/۴	۳۰/۴	۰/۰۶	۲۵/۷	۷/۴۱	۱۳/۶	۶/۲۳	۴/۳۵	۲۲	۲۱/۹	۰/۰۵	۱۵/۵
جون	۳۴/۹	۳۴/۹	۰/۰۲	۳۳/۶	۱۲/۰	۱۷/۶	۵/۶۱	۱۴/۳	۲۶/۳	۲۶/۳	۰/۰۱	۲۰/۸
جولای	۳۷/۲	۳۷/۲	۰/۰۲	۳۶/۴	۱۶/۵	۱۹/۶	۳/۱۲	۱۹/۱	۲۸/۴	۲۸/۴	۰/۰۳	۲۴/۹
آگوست	۳۵/۹	۳۵/۹	۰	۳۶	۱۸/۶	۱۷/۲	۱/۳۹	۲۰/۵	۲۶/۶	۲۶/۵	۰/۰۲	۲۷/۷
سپتامبر	۳۲/۱	۳۲/۰	۰/۰۳	۳۵	۱۸/۱	۱۲/۵	۵/۶۳	۱۷/۴	۲۲/۳	۲۲/۲	۰/۰۳	۲۷/۵
اکتبر	۲۶/۰	۲۶/۰	۰/۰۲	۲۸/۵	۱۳/۶	۶/۷	۶/۹۹	۱۳/۵	۱۶/۴	۱۶/۳	۰/۰۴	۲۵/۱
نوامبر	۱۸/۸	۱۸/۹	۰/۰۴	۲۰/۴	۹/۰۸	۱/۲۶	۷/۸۲	۴/۳۵	۱۰/۰	۱۰/۰	۰	۱۹/۱
دسامبر	۱۲/۹	۱۲/۸	۰/۰۲	۱۴/۴	۳/۴۲	۲/۷۶	۶/۱۸	۱/۰۶	۵/۱۲	۵/۰۷	۰/۰۵	۱۳/۳
زمستان	۱۲/۴	۱۲/۴	۰	۱۳	۰/۰۳	۲/۲۱	۰/۸۳	۳/۲۹	۵/۰۵	۵/۰۵	۰	۸/۵۸
بهار	۲۴/۵	۲۴/۴	۰/۰۱	۱۸/۵	۳/۲۳	۹/۲	۵/۷۹	۱/۵۷	۱۶/۷	۱۶/۷	۰/۰۲	۱۰/۵
تابستان	۳۶/۰	۳۶/۰	۰/۰۱	۳۵/۴	۱۵/۷	۱۸/۱	۲/۴۴	۱۸/۰	۲۷/۱	۲۷/۱	۰	۲۴/۴
پاییز	۲۵/۶	۲۵/۶	۰	۲۷/۹	۱۳/۶	۶/۸۳	۶/۸۱	۱۱/۸	۱۶/۲	۱۶/۳	۰/۰۲	۲۳/۹
میانگین	۲۴/۷	۲۴/۷	۰/۰۲	۲۳/۷	۸/۳۹	۸/۰۱	۴/۶۴	۷/۰۸	۱۶/۳	۱۶/۳	۰/۰۲	۱۶/۸

بنابراین داده‌های مدل $HadCM_3$ در پیش‌بینی متوسط دمای روزانه از کارایی مناسبی برخوردار است و نتایج آن از مدل CGCM به مراتب بهتر است. در خصوص متوسط حداکثر دمای ماهانه، میانگین خطای مطلق برای سه مدل فوق به ترتیب برابر با: ۰/۸ ، ۰/۷ و ۲/۵ درجه سانتی‌گراد است. برای این شاخص هم، نتایج حاصل از داده‌های مدل $HadCM_3$ بهتر از نتایج حاصل از داده‌های مدل CGCM می‌باشد. اما به طور کلی نتایج حاصل از داده‌های هر دو مدل رضایت بخش می‌باشد. درصد خطای مدل $HadCM_3$ برای تمام ماه‌ها کمتر از ۵ درصد و برای مدل CGCM حداکثر خطا برابر با ۲۸ درصد و مربوط به ماه آوریل می‌باشد. درخصوص شبیه‌سازی حداکثر مطلق درجهٔ حرارت، میانگین خطای دادهٔای دو مدل و دو سناریو به ترتیب برابر با: ۲/۵ ، ۳/۲ و ۳ درجهٔ سانتی‌گراد است. داده‌های حاصل از سناریوی A_2 و CGCM نتایج بهتری از داده‌های حاصل از سناریوی B_2 ارائه نموده‌اند. درصد حداکثر خطا برای مدل‌های مذکور به ترتیب برابر ۱۸ و ۲۱/۸ و ۲۴/۸ مربوط به ماه‌های نوامبر و اکتبر می‌باشد. اما در خصوص حداقل مطلق درجهٔ حرارت، میانگین خطای مطلق دو مدل و دو سناریو به ترتیب برابر با : ۵/۷۵، ۶/۷ و ۴/۴ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. در خصوص این شاخص مدل CGCM نتایج بهتری نسبت به مدل $HadCM_3$ ارائه می‌کند. اما بطور کلی نتایج هر سه مدل در این خصوص ضعیف می‌باشد. حداکثر خطا مطلق در بعضی ماه‌ها مانند ژانویه در مدل A_2 ، بالغ بر ۱۰۰ درصد می‌رسد. میانگین خطای مطلق، حداقل مطلق درجهٔ حرارت برای مدل‌های مذکور به ترتیب برابر با : ۱۰/۴۶، ۱۰/۵۲ و ۵/۵ درجهٔ سانتی‌گراد است.

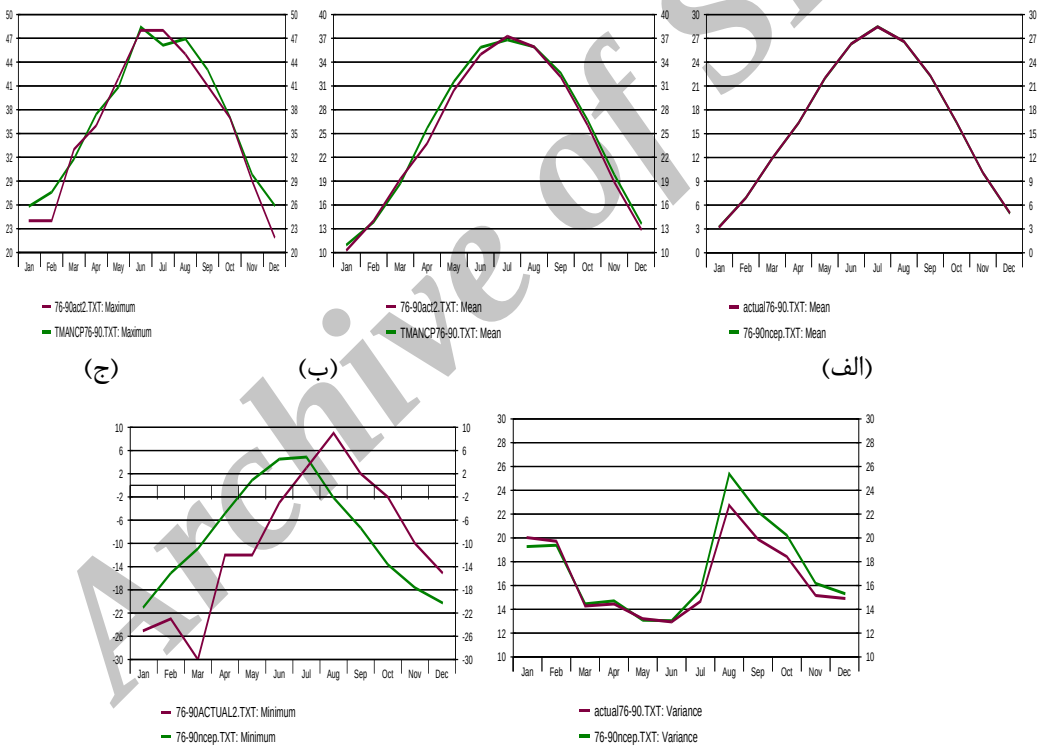
Archive of SID

www.SID.ir



(الف) (ب) (ج)

شکل(۲): (الف) فراونی داده‌ها مشاهده‌ای وشبیه‌سازی (ب) نمودارپراکنش داده‌ها مشاهده‌ای درمقابل داده‌های شبیه‌سازی شده (ج) نمودار پراکش باقی مانده ها درمقابل حداکثر درجه حرارت، در دوره ارزیابی (۱۹۹۰-۱۹۷۶)



(ج) (ب) (الف)

(ر) (د)

شکل(۳): نمودار مقادیر مشاهده‌ای وشبیه‌سازی شده الف متوسط روزانه (ب) متوسط حد اکثر (ج) حد اکثر مطلق (د) متوسط حد اقل و (ر)حداقل مطلق درجه حرات ایستگاه کرمان در دوره ارزیابی مدل (بااستفاده از داده های NCEP مدل HadCM3)

شکل (۴) نمودار داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰) نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است داده‌های حاصل از مدل HadCM3 تحت هر دو سناریو A2 و B2 به استثناء فصل تابستان (که بیش از مقدار مشاهده‌ای دما را تخمین زده است) در سایرماه‌های سال متوسط دما را بخوبی شبیه‌سازی نموده است. اما بر اساس داده‌های حاصل از مدل CGCM در ماه‌های فصل زمستان و بهار درجه حرارت کمتر از مقدار

Archive of SID

www.SID.ir

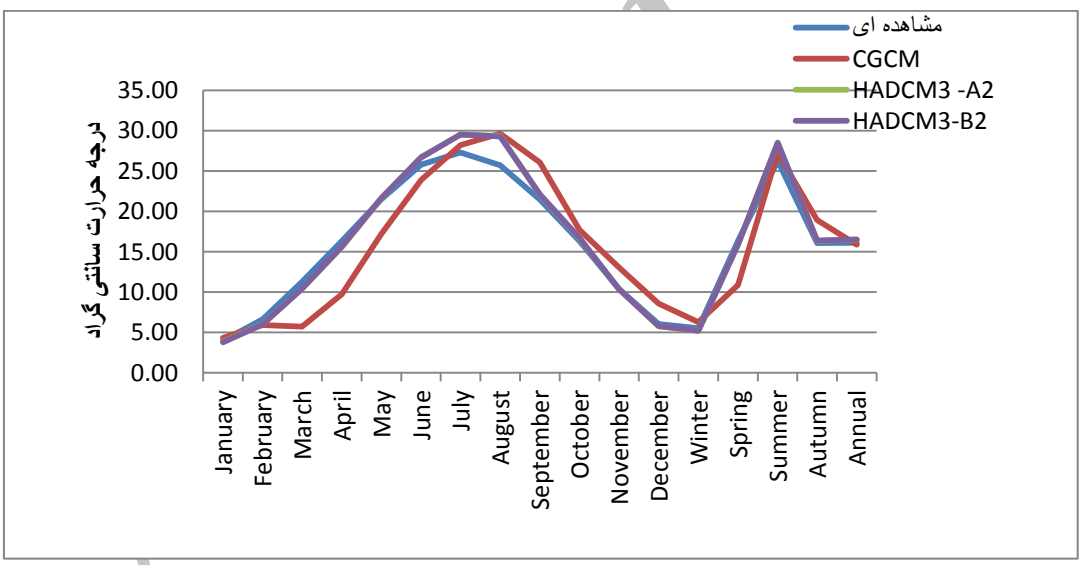
واقعی و در ماه‌های آخر فصل تابستان و ماه‌های فصل پاییز بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است. مقدار مشاهده‌ای متوسط درجهٔ حرارت، حداکثر مطلق درجهٔ حرارت، حداقل مطلق درجهٔ حرارت در دورهٔ پایه به ترتیب برابر با ۱۶/۱، ۴۸ و ۳۰- درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. جدول (۶) مقادیر شاخص‌های دمایی (متوسط، حداکثر و حداقل مطلق درجهٔ حرارت سالانه) را در دورهٔ پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دهه‌های ۲۰۲۰،۲۰۵۰و۲۰۸۰ به تفکیک مدل در ایستگاه کرمان نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، متوسط درجهٔ حرارت سالانه توسط داده‌های هر سه مدل در دورهٔ پایه به خوبی شبیه‌سازی شده است. همانطور که مشخص است اختلاف درجهٔ حرارت شبیه‌سازی شده توسط مدل CGCM و سناریوهای A_2 و B_2 در مدل $HadCM_3$ با مقدار مشاهده‌ای در دورهٔ پایه به ترتیب برابر با ۰/۲ ، ۰/۴ و ۰/۴ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد، که به ترتیب معادل ۱/۲، ۲/۴ و ۲/۴ درصد خطا است. بنابراین می‌توان استنباط کرد که مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های مذکور (با استفاده ازداده‌های هر دو مدل جهانی) از توانایی بالایی برخوردار است. همچنین متوسط درجهٔ حرارت سالانه برای دوره‌های ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۱۹۶۱)، (۲۰۱۰-۲۳۰۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۱۰۰-۲۰۷۰) برای مدل CGCM به ترتیب برابر با ۱۶/۱، ۱۸/۵، ۲۰/۱۷ و ۲۴ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. با فرض ثابت بودن درصد خطای مدل در طول دهه‌های مذکور متوسط درجهٔ حرارت، در دوره‌های آتی به‌ترتیب برابر با: ۱۸/۲۵، ۱۹/۹ و ۲۳/۷ خواهد بود. بنابراین اختلاف درجهٔ حرارت در آستانهٔ سال ۲۱۰۰ برای ایستگاه کرمان نسبت به دورهٔ پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) تحت سناریوی CGCM برابر با ۷/۶ درجهٔ سانتی گراد خواهد شد. که به طور متوسط افزایش درجهٔ حرارت ۲/۲ درجهٔ سانتی‌گراد در هر ۳۰ سال را خواهیم داشت. به همین روش افزایش متوسط درجهٔ حرارت تحت سناریو A_2 و B_2 از مدل $HadCM_3$ به طور متوسط برای هر دورهٔ ۳۰ ساله برابر با: ۱/۳۶ و ۱/۳ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. درخصوص حداکثر مطلق درجه حرارت در دوره پایه اختلاف مقادیر در دورهٔ پایه و آستانهٔ سال ۲۱۰۰ به ترتیب دو مدل و سناریو برابر با: ۰/۲ و ۰/۸ و ۸/ درجهٔ سانتی‌گراد است. که اختلاف معنی‌داری با دوره پایه ندارد (شکل۵). متوسط درجهٔ حرارت، متوسط حداکثر، متوسط حدقل، حداکثر مطلق و حداقل مطلق دما شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM با استفاده از داده‌های حاصل از مدل‌های جهانی CGCM و HadCM3 در دهه‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۸۰ را به تفکیک ماه‌های سال نشان می‌دهد. براساس این نمودارها افزایش متوسط و حداکثر مطلق درجه حرارت در فصل تابستان نسبت به سایر فصول سال از رشد بالاتری برخوردار است. رشد این دو شاخص دمایی در ماه آگوست به حداکثر مقدار خود می‌رسد. دردهه ۱۹۷۰ (۱۹۹۰-۱۹۶۱۹) متوسط درجه حرارت در ماه آگوست برابر ۲۵/۶۹ درجه سانتی‌گراد است. اما این مقدار در دهه ۲۰۸۰ (۲۱۰۰-۲۰۸۰) بر اساس خروجی دو مدل CGCM و HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 به‌ترتیب برابر با ۴۰/۳، ۳۷/۳ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شکل۶ نمودار الف). بنابراین اختلاف درجه حرارت در ماه آگوست در دوره پایه و دهه ۲۰۸۰ برای سه مدل فوق بترتیب برابر با ۱۳/۶، ۱۱/۶ و۹/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در خصوص حد اکثر مطلق درجه حرارت بیشترین افزایش در ماه اگوست دیده می‌شود. اختلاف حداکثر درجه حرارت مطلق در دوره پایه با دهه ۲۰۸۰ برای ماه مذکور در دو مدل مورد نظر به‌ترتیب برابر با ۷/۹،۳/۸و۶/۲ درجه سانتیگراد خواهد بود. حداقل درجه حرارت مطلق در دوره پایه ۳۰- درجه سانتیگراد مربوط به ماه ژانویه می‌باشد. این شاخص برای همین ماه در دهه ۲۰۸۰ برای سه مدل مذکور بترتیب برابر با۱۵/۵-، ۱۷/۸- و ۱۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اگرچه حداقل مطلق درجه حرارت اختلاف محسوسی نسبت به دوره پایه دارد (در سه مدل به‌ترتیب ۱۴/۵، ۱۲/۲و۱۲درجه سانتیگراد). ذکر این نکته ضروری است، مدل در شبیه‌سازی حداقل مطلق درجه حرارت از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۵): مقدار شاخص‌های دمایی سالانهٔ دورهٔ پایه و شبیه سازی شده به تفکیک سناریو (درجهٔ سانتی گراد)

	دوره	دورهٔ پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱)			۲۰۱۰-۲۰۳۹			۲۰۴۰-۲۰۶۹			۲۰۷۰-۲۱۰۰		
		دمای متوسط سالانه	حداکثر مطلق	حداقل مطلق	متوسط	حداکثر مطلق	حداقل مطلق	متوسط	حداکثر مطلق	حداقل مطلق	متوسط	حداکثر مطلق	حداقل مطلق
	دورهٔ پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱)	۱۶/۱	۴۸	-۳۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CGCM	مقدار	۱۵/۹	۵۱/۸۰	-۲۳/۶	۱۸/۵	۵۳/۵	-۲۲/۴۰	۲۰/۱۷	۵۵/۵	-۲۱/۹	۲۴	۵۷/۸	-۲۳/۴
	تغییرات	۰/۲	۳/۸	-۶/۶	۲/۴	۵/۵	۷/۶	۴/۱	۷/۵	-۸/۱	۷/۹	۹/۸	-۶/۶
	درصد	۱/۲	۷/۹	۰/۲۱									
A_2	مقدار	۱۶/۵	۴۹/۳	-۲۰/۴	۱۷/۶	۵۲/۳	-۲۱/۲	۱۸/۹	۵۴/۲	-۲۰/۲	۲۰/۶۵	۵۶/۶	-۱۹/۲
	تغییرات	۰/۴	۱/۳	-۹/۶	۱/۵	۴/۳	-۸/۸	۲/۸	۶/۲	-۹/۸	۴/۵۵	۸/۶	۱۰/۸
	درصد	۲/۴	۲/۷										
B_2	مقدار	۱۶/۵	۵۱	۲۰/۴	۱۷/۵۴	۵۲/۱	-۲۰/۷	۱۸/۵۳	۵۳-۶	-۲۰/۴	۱۹/۶	۴۵/۵	-۱۹/۷
	تغییرات	۰/۴	۳	-۹/۶	۱/۴	۴/۱	-۹/۳	۲/۴۳	۵-۶	-۹/۶	۳/۵	۶/۵	-۱۰/۳
	درصد	۲/۴	۶/۲										



شکل (۴): نمودارمتوسط درجه حرارت مشاهده‌ای و شبیه سازی شده با استفاده از داده‌های هریک از مدل‌ها در دوره پایه(۱۹۹۰-۱۹۶۱) در ایستگاه کرمان

شبیه‌سازی شاخص دمایی به تفکیک مدل تا سال ۲۱۰۰

زیرا مقدار تخمین این شاخص توسط مدل با مقدار مشاهده‌ای آن دردوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در ماه ژانویه حداقل هفت درجه سانتی‌گراد تفاوت دارد. بنا براین بخش قابل ملاحظه‌ای از این اختلاف مربوط به خطای مدل است.

www.SID.ir

جدول (۶): شاخص‌های دمایی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با استفاده ازمدل‌های CGCM و $HadCM_3$ تحت سناریوهای A_2 و B_2 در دوره پایه (۱۹۶۰-۱۹۹۰) (درجه سانتیگراد)

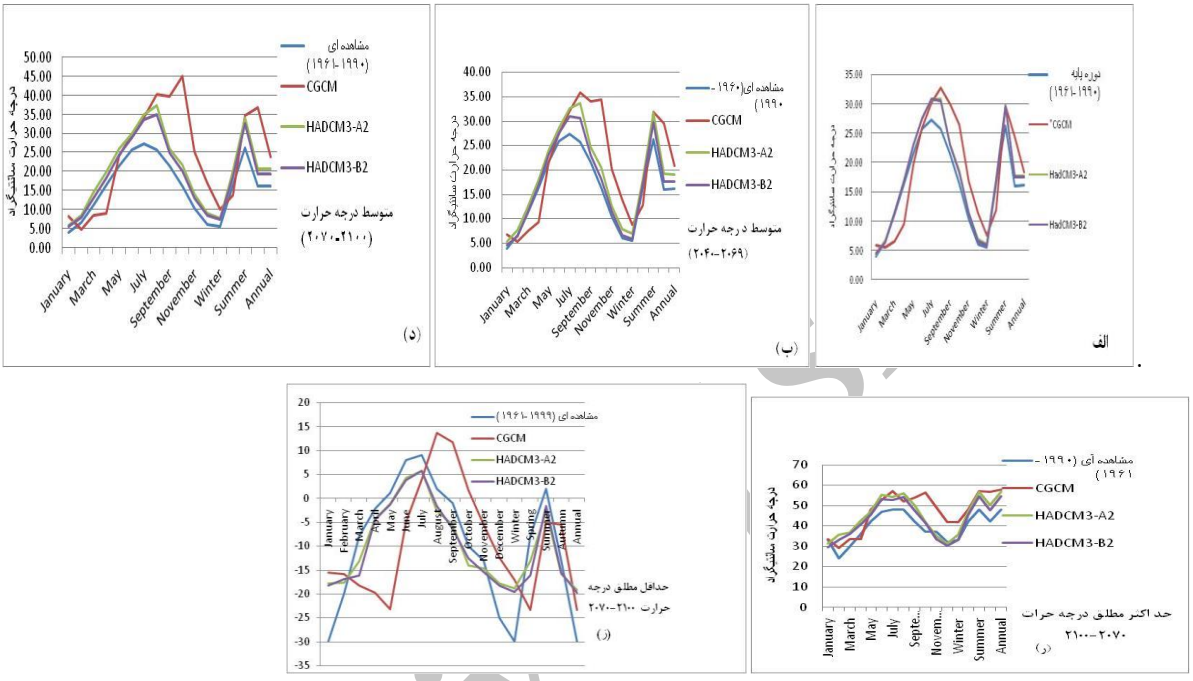
ماه	میانگین				متوسط حداکثر				متوسط حداقل ها				حداکثر مطلق				حداقل مطلق			
	مشاهده ای	CGCM	A_2	B_2	مشاهده ای	CGCM	A_2	B_2	مشاهده ای	CGCM	A_2	B_2	مشاهده ای	CGCM	A_2	B_2	مشاهده ای	CGCM	A_2	B_2
ژانویه	۲۱/۴۷	۲۲/۳	۲۱/۹	۲۲/۸	۱۱/۴۴	۱۱/۱	۱۰/۲۷	۱۱	۳/۸	-۵	-۳/۵	-۳/۵	۲۴	۲۸/۷	۲۶/۸	۲۶	-۳/۵	-۲۳/۲	-۹/۱/۹	-۱۹/۶
فوریه	۸/۴/۱	۵/۴/۲	۶	۶	۱۴	۱۲/۲	۱۳/۸	۱۲/۸	۰/۸۷	-۳/۸	-۰/۶	-۰/۶	۲۵/۴	۲۶/۳	۲۶/۱	۲۶/۱	-۲۳	-۲۰/۸	-۱۶	-۱۶/۲
مارس	۱۱/۲۳	۵/۷	۱۰/۴	۱۰/۴	۱۸/۶	۱۶/۶	۱۸/۹	۱۸/۸	۰/۰۴	-۱/۶	۲/۹	۲/۹	۳۲	۳۶/۷	۳۴/۴	۳۳/۵	-۳۰	۲۰/۵	-۱۳/۸	-۱۴/۷
آوریل	۱۶/۳۱	۹/۷	۱۵/۶	۱۵/۶	۳۳/۱	۱۶/۸	۳۴/۷	۳۳/۵	۱	۱/۵	۷/۸	۷/۴	۴۶	۳۶/۲	۴۰/۶	۳۸/۲	-۱۵	-۱۸/۴	-۶	-۵/۹
می	۲۱/۴۹	۱۷/۲۲	۲۱/۶	۲۱/۷	۳۰/۲	۲۵/۱	۲۰/۹	۲۹/۸	۲	۴/۱	۱۳/۵	۱۳/۵	۴۲	۴۲	۴۱/۳	۴۱/۸	-۱۴	-۱۸/۹	-۷/۹	-۷/۶
ژوئن	۲۵/۷۹	۳۳/۸۸	۲۶/۸	۲۶/۷	۳۳/۶۴	۳۴/۹	۳۵/۴	۳۵/۶	۵/۹	۱۳/۳	۱۸/۴	۱۸/۳	۴۸	۴۶/۹	۸/۵۶	۵۰/۲	-۱۴	-۹/۹	۴/۷	۴/۶
جولای	۲۶/۲۹	۲۶/۱۸	۲۶/۵	۲۶/۵	۳۶/۳۲	۳۶/۴	۳۷	۳۷/۹	۱۰/۵	۱۸/۴	۱۹/۳	۱۹/۲	۴۸	۵۱/۷	۴۲/۲	۴۲/۷	-۱۴	-۱/۲	۳/۸	۳/۹
اگوست	۲۵/۶۹	۲۶/۶۳	۲۶/۲	۲۶/۲	۳۵/۳۱	۳۶/۶	۳۵/۹	۳۷/۲	۱۲/۴	۲۰/۹	۱۲/۳	۱۲/۳	۴۵	۴۸/۳	۴۵/۲	۵۰/۴	-۷	۴/۱	-۱	-۰/۹
سپتامبر	۲۱/۳۷	۲۶/۰۷	۲۲	۲۳/۱	۳۱/۶۸	۳۵/۷	۳۴/۳	۳۴/۶	۱۵/۴	۱۸/۱	۱۱/۴	۱۱/۵	۴۱	۴۸/۸	۴۳/۳	۴۵	-	۲/۸	-۸/۵	-۸/۷
اکتبر	۱۶/۲۹	۱۷/۷	۱۶/۶	۱۶/۷	۳۶/۱۸	۲۰/۸	۲۶/۵	۲۶/۷	۱۲/۶	۱۲/۷	۸/۵	۸/۵	۳۷	۴۶/۴	۴۰/۴	۳۸/۶	-۲	-۴/۴	-۱۲	-۱۳/۳
نوامبر	۱۰/۳۸	۱۳	۱۰/۴	۱۰/۴	۱۹/۶۵	۲۲/۹	۱۹/۴	۱۸/۸	۱/۱۲	۵/۵	۴/۱	۴/۱	۳۶	۳۶/۹	۳۰/۱	۲۹/۸	-۱۰	-۱۳/۵	-۱۷/۳	-۱۷/۲
دسامبر	۶/۰۴	۸/۶	۵/۸	۵/۸	۱۳/۳۲	۱۳/۲	۱۳/۴	۱۳/۶	۸/۶	۱	-۱/۸	-۱/۸	۳۱/۲	۳۲	۲۶/۶	۲۶	-۱۵	-۲۰/۸	-۱۸/۵	-۱۸/۶
جمعه‌ستان	۵/۵/۱	۶/۴	۵/۲	۵/۲	۱۲/۱۴	۱۲/۲	۱۲/۶	۱۲/۸	۴/۴	-۱/۶	-۲	-۲	۳۱/۲	۳۲/۱	۲۶/۵	۲۶/۹	-۱۵	-۲۳/۲	-۲۰/۴	-۲۰/۲
بهار	۱۶/۳۵	۱۰/۹	۱۵/۹	۱۵/۹	۳۴/۳۱	۱۸/۲	۳۴/۸	۳۴	۱/۳	۱/۳	۷/۸	۷/۸	۳۲	۳۴	۴۱/۳	۴۱/۸	-۳۰	-۲۱/۶	-۱۲/۸	-۱۲/۷
تابستان	۲۶/۲۶	۲۶/۲	۲۶/۵	۲۶/۵	۳۵/۳۷	۳۵/۳	۳۶/۱	۳۶/۹	۹/۹	۱۷/۶	۱۸/۳	۱۸/۳	۴۸	۵۱/۷	۴۶/۳	۵۱/۱	-۱۲	-۶/۹	-۱/۱	-۰/۹
پاییز	۱۶/۰۵	۱۸/۴۲	۱۶/۳	۱۶/۳	۲۵/۸۲	۲۹/۸	۲۶/۱	۲۶	۱۲	۱۲/۵	۶/۲	۶/۲	۴۱	۴۸/۹	۳۲/۳	۳۵	-۱۰	-۱۳/۵	-۱۷/۳	-۱۷/۵
سالانه	۱۶/۰۹	۱۵/۹	۱۶/۵	۱۶/۵	۳۳/۳۶	۳۳/۴	۳۵	۳۳/۹	۷/۳	۷/۲	۷/۷	۷/۷	۴۸	۵۱/۸	۴۶/۳	۵۱/۱	-۲۰	-۲۳/۶	-۲۰/۳	-۲۰/۴

www.SID.ir

زیرا اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده در دوره پایه با دهه ۲۰۸۰ برای این شاخص دمایی و برای ماه ژانویه برای دو مدل بترتیب برابر با ۶، ۴/۵ و ۴/۱ درجه سانتی‌گراد است که کمتر از میزان خطای مدل می‌باشد. شکل(۶) نمودار (ز) حداقل مطلق درجه حرارت در دوره پایه و دهه ۲۰۸۰نشان را می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

راین تحقیق کارایی مدل SDSM جهت شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل(۶): نمودارمتوسط درجه حرارت مشاهده‌ای در دوره پایه و شبیه سازی، (الف) دهه ۲۰۲۰ (ب) دهه۲۰۵۰ ، (د) دهه۲۰۸۰ ، (ر) حداکثرمطلق درجه حرارت در دوره پایه و دهه ۲۰۸۰ و (ز) حداقل مطلق درجه حرارت در دوه پایه و دهه ۲۰۸۰به تفکیک مدل

نتایج حاصل از دوره ارزیابی (۱۹۹۰-۱۹۷۶) با استفاده از داده‌های NCEP و همچنین نتایج حاصل از دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) با استفاده از داده‌های دو مدل گردش عمومی جو (CGCM و HadCM3) نشان داد که مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهایی همچون: متوسط، متوسط حداکثر و حداقل و حداکثر مطلق دما در در دوره ارزیابی و پایه از توانایی قابل قبولی برخوردار است. اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شاخص‌های مذکور در دوره ارزیابی و پایه برای دو مدل و دو سناریو بترتیب برابر با: (۰/۲،۰۱)، (۰/۲۴،۰۱)، (۰/۳،۰۲) و (۰/۳، ۱/۳) درجه سانتیگراد می‌باشد. در تمام موارد درصد خطا کمتر از ۵ درصد است. همچنین در مورد کلیه شاخص‌های مذکور برخلاف حداقل مطلق درجه حرارت سالانه، استفاده از داده‌های مدل HadCM3 در مقایسه با مدل CGCM نتایج بهتری ارائه نموده است. اما درخصوص حداقل مطلق دما، مدل از توانایی قابل ملاحظه‌ای برخوردار نمی‌باشد. اختلاف حداقل مطلق درجه حرارت در دوره ارزیابی و پایه با داده‌های مشاهده‌ای بترتیب برابربا: (۸ و۷)درجه سانتیگراد می‌باشد. بنابراین حداقل خطا برابر با ۳۰ درصد می‌باشد. عدم توانایی مدل در شبیه‌سازی این شاخص را می‌توان ناشی از موقعییت ایستگاه شهر کرمان (واقع شدن در بین ارتفاعات)، راکد بودن هوا و نشست آن در شب‌های سرد زمستان دانست. یا به عبارتی حداقل دمای مطلق بیشتر تحت تاثیر شرایط محلی قرار می‌گیرد. در حالی‌که سایر شاخص‌های دمایی بیشتر از شرایط جهانی و منطقه‌ای تبعیت می‌کنند. لذا مدل در شبیه‌سازی آن‌ها توانایی بیشتری دارد چرا که داده‌های NCEP و مدل‌های جهانی براساس شرایط منطقه‌ای و جهانی گردش عمومی جو زمین شبیه‌سازی شده‌اند. بطور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های

Archive of SID
www.SID.ir

دمایی در ایستگاه کرمان از توانایی قابل قبولی برخوردار می‌باشد.

در عین حال نوع شاخص دمایی و مدل‌های گردش عمومی جو در دقت شبیه‌سازی موثر می‌باشند. نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از کار کوکیدس و برگ (۲۰۰۹)، هارفام و ویلبی (۲۰۰۵)، صمدی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد. همچنین شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی مذکور در ایستگا کرمان تا سال ۲۱۰۰ نشان می‌دهد کلیه این شاخص‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای دارند که در بسیاری از موارد روند افزایش این شاخص‌ها در ایستگاه مذکور نسبت به متوسط رشد جهانی به مراتب بیشتر است. بعنوان مثال متوسط درجه حرات سالانه ایستگاه کرمان از ۱۶/۱ در دوره پایه (در خوشبینانه‌ترین حالت) به ۱۹/۶ درجه سانتیگراد در سال ۲۱۰۰ می رسد (که در مقیاس ماهانه و روزانه تغییرات به مراتب بیشتر است)

نتایج این تحقیق در این بخش با یافته‌های تورینی و همکاران (۱۳۹۰)، بابایان و همکاران (۱۳۸۸)، صمدی و همکاران (۱۳۸۸)، مالکوم و همکاران (۲۰۰۹)، زاوفی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد بنابراین استفاده از مدل SDSM به منظورشبیه‌سازی شاخص دمایی به استثناء حداقل مطلق درجه حرات در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند توصیه شود .در خصوص حداقل درجه حرات پیشنهاد می‌شود سایر روش‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند و نتایج آن‌ها با مدل SDSM مقایسه و بهترین روش انتخاب گردد. همچنین روند افزایش درجه حرارت در ایستگاه مذکور و مناطق مشابه زنگ خطری برای کلیه برنامه‌ریزان و مسئولین بخش‌های منابع طبیعی، محیط زیست، منابع آب و ... می‌باشد. تا اقدامات لازم جهت سازگاری و یا تعدیل خسارات ناشی از آن در دستور کار قرار گیرد.

منابع

۱- بابائیان، ا.، ز. نجفی‌نیک، ف. زابل‌عباسی، م. حبیبی‌نوخندان، ح. ادب و ش. ملبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های گردش عمومی جو ECHO-G مجله جغرافیا و توسعه شماره (۱۶):۱۶-۱.

۲- تورینی، ن. و م.ر. حسامی‌کرمانی.۱۳۹۰. پیش‌بینی دمای ماکزیمم، مینیمم و میانگین با استفاده از الگوریتم نرو-فازی در ایستگاه کرمان. پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک ، ۹ الی ۱۰ اسفند. کرمان.

۳- صمدی، ز.، ع.ر. مساح بوانی و م. مهدوی. ۱۳۸۷. معرفی روش شبکه عصبی مصنوعی و مدل SDSM بمنظور کوچک مقیاس کردن آماری داده‌های دما و بارندگی، سومین کنفرانس مهندسی منابع آب، دانشگاه تبریز، مهر ۱۳۷۸.

۴- صمدی، ز.، ع.ر. مساح بوانی و م. مهدوی. ۱۳۸۸. انتخاب متغیر پیش‌بینی کننده به‌منظور کوچک مقیاس کردن داده‌های دما و بارندگی در حوزه آبخیز کرخه. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۵- مساح بوانی، ع.ر. ۱۳۸۵. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیرآن بر منابع آب، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس. ص۲۱-۱۳.

۶- مساح بوانی، ع.ر.، س. مرید. ۱۳۸۵. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی سال نهم شماره ۴ ص ۳۴-۲۳

7- Coulibaly, P. and B. Yonas. 2005. Downscaling precipitation and temperature with temporal neural networks. American Meterology socity, (6):483-496P.

8- Fowler, H.J. and R.L. Wilby. 2007. Editional:Beyond the downscaling comparison study.International Journal of climatology,(27): 1534-1545.

9- Fung, F., A.L. Lopez and M. New. 2011. Modeling the impact of climate change on water resources.Wiley-Blackwell,N,(187):43-62.

10- Giorgi, F. and L.O. Mearns. 1991. Approaches to the simolation of regional climate change:a review. Reviews of Gheophysics,(29): 191-219.

11- Harphamc, H. and R.L. Wibly. 2005. Multi-site down scalling of heavy daily precipitation occurrence and amount. jurnal of hydrology, (312):235-255

12- Hewiston, B.C. and R.G. Crane. 1996. Climate downscaling: techniques and application . Climate Research,(7): 85_95.

13- IPCC-TGICA. 2007: General guidelines on the use of scenario data for climate impact an adaptation assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66pp.

Archive of SID

www.SID.ir

14- Kim, j.w., J.T. Chang., N.L. Baker., D.S. Wilks and W.L. Gates. 1984. The statistical problem of climate inversion :determination of the relationship between local and large scale.climate monthly weather review,(12):2069-2077.
15- Koukidis, E.N. and A.A. Berg. 2009. sensitivity of statistical downscaling model(SDSM)to reanalysis products.Atmosphere –ocean,47(1):1-18.
16- Malcolm, R., H. Harpham., R.L.Wilby and C.Goodees. 2006. Downscaling heavy precipitaion over the united kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarious. International jurnal of climatology.(9): 1397-1415
17- Prudhomme, C., N. Reynard and S. Crooks. 2002. Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?. Hydrological Processes,(16): 1137_1150.
18- Semenov, M.A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weathergenerator. Climate Research, (35): 203-212.
19- Van, T. and N. Van. 2005. Downscaling methods for evaluating the impact of climate change and variability on hydrological regime at basin scale.role ofwater sciences in Transboundary riverbasin management.Thailand:1-8.
20- Wilby, R.L. and W.C. Dawson. 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales:94pp
21- Wilby, R.L., O.J. Tomlinson and W.C. Dawson. 2003. Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling. journal of climate research, (23):183-194.
22- Wilby, R..L., C.W. Dawson and E.M. Barrow. 2002. sdsm - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts .Environmental Modelling & Software,(17):147–159.
23- Wilby, R.L. and T.M.L. Wigley. 2000. Precippitation predictors for downscaling:observed and Genaral circulation model relationships. International Journal of Climatologhy,(20): 641-661.
24-Xu,C.Y. 1999. from GCMs to river flow: a review of down scaling methods and hydrologic modeling approaches. Progress in Physical Geography,(23): 229-249.
25-Zhaofa, L., Z. Xu., P.Stephen., G. F.Chales and L.Liu. 2011. Evaluation of two statistical down scalling models for daily precipitation over an arid basin in chine. Royal meteorogical society, (31):2006-2020
26-Zorita, E and V.H. Storch. 1999. The analog method as a simple statistical downscaling techniqe: Comparison with more complicated methods. Journal of climate,(12): 2474-2489.
27-Christensen, J.K., T.R. Carter., M. Rummukainen and G. Amanatidis. 2007a. Evaluating the performance and untility of regional climate models: The prudense project.Climatic Change,(81),1-6.

Archive of SID

www.SID.ir

Investigation efficiency SDSM model to simulate temperture indexes in arid and semi-arid regions

Abkar ,A[1] .Habibnajad,M[2].Solaimani,K[3].Naghavi,H [4]

Abstract

Climate change especially global warming is the most problem in the 21st century. So investigation variability trend this problem is very important in global ,regional and local scale.Newadays numerous general circulation models(GCMs) have been designed to predicat future climat.An outstanding issu of output for regional and local applications is coarse spitial resoluation.To produce accurate predications of future climate variables at the regional and local scale various methods are suggested.Despit many studies this case, ufortunately,there is not a standard method for a specific rogion.Thus it is necessary that accurate predications of these methods are evaluated befor applaying in a certain region.One of th most widspread methods is Statistical DownScaling Model(SDSM).In this research efficiency of SDSM model is evaluated to simulate temperture indexes in Kerman station, instance arid and semi- arid regions.Hence ,SDSM is calibrated and validated by using kerman station observ tempertur and national center enviromental predication data.We used mean absolute criterium to evaluate model.After obtaining confidence simulation accuracy. Temperture indexes (mean,absoluate maximmum and minimm temperture)are simulated by using two GCMs(CGCMand HadCM3 under A2 and B2 scenarios)until 2100-year.The result of this study is shown that SDSM model has suitably to simulate temperture indexes also using HadCM3 model data is beter than that of CGCM model. Increasing mean annual temperture on base HadCM3 model in (2010-2039),(2040-2069)and(2070-2100) periods relation to base period (1961-1990) is respectively 1.5,2.8 and 4.5 degree of centigrade in Kerman station.

Key words: arid and semi-arid regions, Climate change, general circulation models, SDSM model, temperture indexes .

Archive of SID

[1] P.h.D student of watershed management Agricalture and Natural Resources university of Sari
Abkar804@yahoo.com
[2]- Professor of Sari Agricultural Science and Natural Resources.Department of rang and watershed management
[3] Professor of Sari Agricultural Science and Natural Resources.Department of rang and watershed managemen
[4]- Assistant professer of Agricultural and Natrual Resources Research center of Kerman province

www.SID.ir