

حساسیت مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM به داده‌های بازتحلیل‌شده در مناطق خشک

۱- علی جان آبکار، کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان

Abkar804@yahoo.com

۲- محمود حبیب‌نژاد، استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- کریم سلیمانی، استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- هرمزد نقوی: استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان

دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۵

پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۱۱

چکیده

مدل‌های گردش عمومی جو تنها ابزاری هستند که شرایط اقلیمی آینده را تحت سناریوهای تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌نمایند. یکی از دغدغه‌های اصلی استفاده از این مدل‌ها، نبود دقت کافی در تفکیک مکانی آنها است، که به این علت برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی و منطقه‌ای مناسب نیستند. بنابراین، برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای، محلی و ایستگاهی با استفاده از داده‌های مدل‌های جهانی، از روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود. مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) یکی از پرکاربردترین این روش‌ها است که با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره روابط بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته را مشخص می‌کند. در این تحقیق به منظور ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای دما و بارش، حساسیت مدل SDSM به دوره پایه و داده‌های بازتحلیل‌شده در ایستگاه همدیدی شهر کرمان بررسی شد. از میانگین خطای مطلق برای تعیین میزان حساسیت مدل استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل به نوع و دوره پایه‌ی داده‌های بازتحلیل‌شده حساسیت نشان می‌دهد. میانگین خطای مطلق حاصل از داده‌های بازتحلیل‌شده‌ی مدل CGCM برای متغیرهای دمایی متوسط حد اکثر و حداقل و متوسط دمای روزانه به ترتیب معادل با ۱۱، ۴/۵ و ۴/۷ برابر حالتی است که از داده‌های مدل HadCM3 استفاده می‌شود. درخصوص دوره پایه، زمانی که از داده‌های دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) استفاده می‌شود، معیار مذکور برای متغیرهای میانگین حداکثر، حداقل و میانگین روزانه دما و بارش روزانه به ترتیب معادل با ۳/۵، ۳/۱، ۵/۴ و ۱/۴ برابر حالتی است که از دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) استفاده می‌شود.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم؛ داده‌های بازتحلیل‌شده؛ ریزمقیاس‌نمایی؛ مدل‌های گردش عمومی؛ کرمان

مقدمه

تحقیقات نشان داده است که مدل‌های گردش عمومی جو زمین، تغییرات متغیرهای اقلیمی مانند دما، بارش را در بعد زمان و مکان در مقیاس جهانی به خوبی پیش‌بینی می‌کنند [۱۰]. یکی از دغدغه‌های اصلی استفاده از این مدل‌ها نبود دقت کافی در تفکیک مکانی آنها است که برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی و منطقه‌ای مناسب نیستند. این مدل‌ها، در واقع اثر عوارض محلی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و غیره را در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دخالت نمی‌دهند [۱۹، ۱۱، ۱۷ و ۱۲]. به منظور رفع این محدودیت روش‌های مختلفی ارائه شده است، که به مجموع آنها روش‌های

استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی باعث افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه گرم شدن کره زمین شده است. 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 اثر تغییر اقلیم، روی عناصر جوی به ویژه درجه‌ی حرارت و بارش است. بنابراین، بررسی تغییرات این متغیرها جهت تعدیل خسارات و یا سازگاری با پدیده تغییر اقلیم به ویژه در مناطق خشک که همواره با چالش کم آبی و گرمای شدید روبرو هستند، از اهمیت خاصی برخوردار است.

ریزمقیاس‌نمایی گفته می‌شود. اساس کار همه این روش‌ها بر پایه روابط بین متغیرهای مستقل (خروجی مدل جهانی) و متغیرهای وابسته زمینی مانند مقدار دما، بارش و غیره در سطح زمین (آمار یک ایستگاه هواشناسی) استوار است. در یک تقسیم‌بندی کلی این روش‌ها در چهار گروه دینامیکی، همدیدی، آماری و تابع انتقالی طبقه‌بندی می‌شوند [۱۷]. در روش‌های دینامیکی و همدیدی یک شبکه بزرگ مدل گردش عمومی به شبکه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. سپس با دخالت دادن شرایط محلی و منطقه‌ای در شبکه‌ی کوچک‌تر متغیرهای اقلیمی مورد نظر شبیه‌سازی می‌شوند. این روش‌ها نیاز به کارشناسان با تجربه، سیستم‌های کامپیوتری پیشرفته و نرم افزارهای تخصصی دارند که استفاده از آن‌ها را با محدودیت روبرو می‌کند. مدل‌های آماری و تابع انتقالی بر خلاف روش‌های دینامیکی و همدیدی کاربرد بیشتری دارند [۲۱، ۱۸ و ۱۱]، چرا که نیازی به تجهیزات پیشرفته ندارند و با تعداد محدودی مؤلفه، امکان پیش‌بینی نسبتاً دقیق متغیرهای اقلیمی را فراهم می‌کنند. روش‌های آماری با استفاده از ویژگی توزیع‌های آماری به ویژه سری‌های زمانی، متغیرهای اقلیمی مورد نظر را شبیه‌سازی می‌نمایند. روش‌های تابع انتقالی بر حسب اینکه بر پایه روابط آماری یا ریاضی استوار باشند، به دو دسته مدل‌های آماری و مدل‌های ریاضی تقسیم بندی می‌شوند. از مدل‌های ریاضی می‌توان به شبکه عصبی اشاره نمود. مدل $SDSM^1$ یکی از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی تابع انتقالی آماری به شمار می‌آید [۱۹] که به عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس‌نمایی در سطح جهان شناخته شده است [۲]. مقایسه این مدل با سایر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری نشان می‌دهد که این مدل برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی از توانایی لازم برخوردار است [۴ و ۹]. بر اساس تحقیقات انجام شده از بین روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی روش‌های رگرسیونی از جمله روش $SDSM$ از دقت بیشتری برخوردار است. همچنین در بین متغیرهای مستقل، دما در ارتفاع ۲ متری سطح زمین

بیشترین همبستگی را با شاخص‌های دمایی دارد [۱۳] و [۱۴]. دقت شبیه‌سازی مدل $SDSM$ به نوع مدل جهانی و داده‌های بازتحلیل شده بستگی زیادی دارد [۶]. تاکنون از مدل $SDSM$ در موارد زیادی جهت ریزمقیاس‌نمایی در مطالعات منابع آب استفاده شده است [۳، ۵، ۹، ۲۳ و ۲۴]. این مدل با استفاده از داده‌های بازتحلیل شده^۲ مرکز ملی پیش‌بینی داده‌های محیطی آمریکا یا سایر مراکز تحقیقاتی در این خصوص، قابلیت پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش تا سال ۲۱۰۰ را دارد. اما قبل از پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای تغییر اقلیم نیاز است مدل $SDSM$ واسنجی شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نوع و زمان داده‌های بازتحلیل شده بر نتایج این مدل مؤثر است [۱۰]. در مطالعه‌ای، چهار مدل جهانی در حوزه آبخیز کرخه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که داده‌های بازتحلیل شده‌ی مدل HadCM3 و ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب به عنوان بهترین داده‌ی بازتحلیل شده و متغیر مستقل جهت ریزمقیاس‌نمایی بارش و دما هستند [۱۳ و ۱۴]. همچنین تحقیقاتی در خصوص تأثیر داده‌های بازتحلیل شده‌ی مرکز ملی پیش‌بینی داده‌های محیطی تحقیقات جوی کانادا و داده‌های بازتحلیل شده مرکز پیش‌بینی وضعیت آب و هوای اروپا صورت گرفته است [۱، ۷ و ۱۶]. براساس نتایج این تحقیقات به‌طور قطعی نمی‌توان تعیین کرد که کدام یک از داده‌های بازتحلیل شده در یک منطقه مشخص نتایج بهتری را ارائه می‌نمایند. در تحقیقی در ایستگاه اونتاریو دو سری داده‌ی بازتحلیل شده با استفاده از مدل $SDSM$ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه این تحقیق نشان داد نوع داده‌های بازتحلیل شده در نتایج ریزمقیاس‌نمایی تأثیر معنی‌داری دارد [۱۰]. هئیت بین‌المللی تغییر اقلیم ۳ دوره‌های (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و (۲۰۰۱-۱۹۷۱) را به عنوان دوره‌های پایه مقایسه اثر تغییر اقلیم در شرایط حال و آینده معرفی نموده است [۸]. انتخاب هر یک از این دو دوره در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی می‌تواند در نتایج ریزمقیاس‌نمایی مدل

²- Reanalysis data

³-Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

¹-Statistical Downscaling Model

دارد که عبارتند از: ایستگاه تبریز، تهران (مهرآباد)، مشهد، شیراز، کرمانشاه، زاهدان و کرمان. از طرفی ایستگاه کرمان در مرکز استان کرمان واقع شده و با توجه به ویژگی‌های اقلیمی حاکم بر آن می‌توان آن را به‌عنوان الگویی از مناطق خشک کشور محسوب نمود.

معرفی داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از سه دسته داده‌ای به شرح ذیل استفاده شده است. (۱) داده‌های متوسط، حداکثر و حداقل مطلق دمای روزانه و مقدار بارش روزانه ایستگاه همدیدی شهر کرمان، به‌عنوان متغیرهای وابسته از سال (۲۰۰۱-۱۹۶۱)؛ (۲) داده‌های بازتحلیل‌شده‌ی مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا متعلق به مدل CGCM به‌عنوان متغیرهای مستقل از سال (۲۰۰۱-۱۹۶۱)؛ و (۳) داده‌های بازتحلیل‌شده‌ی متعلق به مدل HadCM3 به‌عنوان متغیرهای مستقل از سال (۲۰۰۱-۱۹۶۱). داده‌های ردیف ۲ و ۳ از طریق درگاه به‌نشانی:

<http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?Scenarios>

در دسترس است. این داده‌ها در شبکه‌هایی به ابعاد ۲/۵ × ۳/۷۵ درجه (به‌ترتیب شرقی و شمالی) در مدل HadCM3 و ۳/۷۵ × ۳/۷۵ درجه (به‌ترتیب شرقی و شمالی) برای مدل CGCM وجود دارند. ایستگاه کرمان در مدل HadCM3 تقریباً در مرکز شبکه (X=۱۶ و Y=۲۳) و در مدل CGCM در شبکه (X=۳۳ و Y=۱۶) قرار دارد. باتوجه به این‌که در این تحقیق، حساسیت مدل SDSM به زمان و نوع داده‌های بازتحلیل‌شده مورد بررسی قرار می‌گیرد، همه داده‌ها مورد استفاده (بندهای ۱ تا ۳) به دو دوره زمانی پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تقسیم شدند (هئیت بین‌المللی تغییر اقلیم دوره‌های ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۰۰-۱۹۷۱ را به‌عنوان دوره‌های پایه برای مقایسه سناریوهای تغییر اقلیم پیشنهاد نموده است). داده‌های بازتحلیل‌شده هر دو مدل CGCM و HadCM3 به‌طور مستقیم و بدون هیچ تغییری، قابل استفاده در مدل SDSM هستند. اما داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی باید به فرمت قابل قبول مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM تبدیل شوند. به عبارت دیگر، هر یک از متغیرها در مقیاس روزانه و به‌ترتیب در یک ستون جداگانه و به صورت فایل متنی آماده شدند.

SDSM اثرات متفاوتی داشته باشد. بنابراین لازم است در هر منطقه خاص، حساسیت مدل SDSM نسبت به داده‌های بازتحلیل‌شده و دوره پایه مورد بررسی قرار گیرد که متأسفانه تاکنون به این موضوع کمتر توجه شده است. هدف از این تحقیق بررسی حساسیت مدل SDSM به زمان و نوع داده‌های بازتحلیل‌شده^۴ به منظور شبیه‌سازی بارش و دما با استفاده از داده‌های دو مدل HadCM3 و CGCM در ایستگاه همدیدی شهر کرمان به‌عنوان یکی از مناطق خشک کشور ایران است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق از داده‌های دما و بارش ایستگاه همدیدی شهر کرمان با مختصات جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی استفاده شده است. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا ۱۷۵۴ متر می‌باشد. بر اساس آمار دراز مدت (۲۰۱۱-۱۹۵۱) اداره کل هواشناسی استان کرمان، متوسط بارندگی سالانه آن ۱۵۲/۹ میلیمتر، متوسط دما سالانه، حداقل و حداکثر مطلق دما به‌ترتیب برابر با ۱۷، ۳۰- و ۴۲ °C و رطوبت نسبی آن ۳۲ درصد است. اقلیم حاکم بر این ایستگاه بر اساس روش دومارتون، خشک است. تغییرات شدید متغیرهای اقلیمی از ویژگی‌های این گونه مناطق است، به‌طوری‌که متوسط درجه حرارت در فصل زمستان ۸ °C و در فصل تابستان ۲۶ °C است. متوسط بارش در فصل زمستان ۹۰ و در فصل تابستان ۲/۴ میلیمتر است. این ایستگاه نه تنها جزء ایستگاه‌های همدیدی کشور است، بلکه یکی از ۱۰۲۵ ایستگاه‌های سیستم مشاهده‌ای اقلیم جهانی (GCOS^۵) است. این سیستم در سال ۱۹۹۲ تأسیس و زیر نظر سازمان هواشناسی جهانی به منظور بررسی تغییرات اقلیمی، ارزیابی میزان تأثیرگذاری تغییرات اقلیمی روی پیشرفت اقتصادی جهان و مدل‌سازی، فعالیت می‌کند [۱۵]. لازم به ذکر است که در کل ایران ۷ ایستگاه GCOS وجود

^۴ - National Center for Environmental Prediction (NCEP)

^۵ - Global Climate Observation System

ضمن این که آزمون عدم وابستگی متغیرهای مستقل صورت می‌گیرد [۲۱].

$$R^2 = \frac{[\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$R^2_{x_1 x_2 | x_3} = \frac{(r_{x_1 x_2} - r_{x_1 x_3} \times r_{x_2 x_3})^2}{(1 - r_{x_1 x_3}^2)(1 - r_{x_2 x_3}^2)} \quad (2)$$

که در آن‌ها:

R^2 : ضریب تعیین؛

x_1 : مقدار \bar{I} ام متغیر مستقل؛

\bar{x} : میانگین مقدار متغیر مستقل؛

y_i : مقدار متغیر وابسته؛

\bar{y} : میانگین متغیر وابسته؛

$R^2_{x_1 x_2}$: ضریب همبستگی جزئی بین دو متغیر وابسته و مستقل؛

x_1 و x_2 : متغیرهای مستقل؛

و x_3 : متغیر مستقلی که مقدار آن ثابت فرض می‌شود.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

به منظور واسنجی و اعتبار سنجی مدل SDSM، داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه همدیدی شهر کرمان و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا، در هریک از دو دوره و دو مدل به دو بخش ۱۵ ساله تقسیم شد. از ۱۵ سال اول هر دوره برای واسنجی مدل با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مربعات استفاده شد. بعد از واسنجی مدل، به منظور رسیدن به درجه اطمینان در این که مدل توانایی شبیه‌سازی داده‌ها در خارج از محدوده‌ی زمانی واسنجی را داراست، نیاز به اعتبارسنجی مدل است. به این منظور، با استفاده از مدل SDSM واسنجی شده، متغیرهای دمایی (حداکثر و حداقل مطلق و میانگین درجه حرارت روزانه) و بارش روزانه برای دوره ۱۵ ساله دوم هر یک از دوره‌ها و مدل‌ها شبیه‌سازی شد. در این تحقیق به منظور بررسی میزان حساسیت و کارایی مدل از معیار میانگین خطای مطلق (رابطه ۳) استفاده شد. در آخرین مرحله اعتبارسنجی، به منظور بررسی میزان حساسیت مدل SDSM به نوع داده‌های بازتحلیل شده در دوره‌های ۳۰ ساله (۱۹۹۰-

مدل SDSM

این مدل اولین بار در سال ۲۰۰۲ توسط ویلی و همکاران تحت عنوان نسخه ۲/۱ معرفی و در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ به ترتیب نسخه ۲/۲، ۳/۲ و ۴/۲ ارائه گردید. در این تحقیق از نسخه ۴/۲ جهت ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای دمایی و بارش روزانه استفاده شد. مدل مذکور از نوع مدل‌های تابع انتقالی است که در واقع بهترین ترکیبی از مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری به حساب می‌آید [۱۹] بررسی‌ها نشان می‌دهد این مدل نسبت به سایر مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی نتایج رضایت بخشی در شبیه‌سازی ارائه نموده است [۲]. این مدل قادر است در هر مرحله اجرا بین ۱ تا ۱۰۰ بار داده‌ها را شبیه‌سازی نماید [۲۱]. در این تحقیق جهت بهینه‌سازی تعداد دفعات شبیه‌سازی مدل، از معیار میانگین خطای مطلق MAE^۶ استفاده شد. به این ترتیب که مدل در مرحله واسنجی به تعداد ۳۰، ۱۰، ۲۰، ... و ۱۰۰ بار شبیه‌سازی، مورد ارزیابی قرار گرفت و تعداد دفعاتی که کمترین میانگین خطای مطلق را داشت، به عنوان مبنای شبیه‌سازی انتخاب شد.

انتخاب متغیرهای مستقل جهت پیش‌بینی متغیرهای وابسته

اساس کار مدل‌های ریزمقیاس آماری تابع انتقالی مانند مدل SDSM بر پایه ارتباط بین متغیرهای مستقل جوی (فشار سطح دریا، نیروی جریان هوا در سطح زمین و غیره) و متغیرهای وابسته ایستگاهی نظیر بارش، دما و غیره استوار است. در این مورد انتخاب متغیرهای مستقل که ارتباط منطقی و مناسبی با متغیرهای وابسته داشته باشند، از اهمیت خاصی برخوردار است. به این منظور، مدل SDSM از ضریب تعیین R^2 ، ضریب همبستگی جزئی $R^2_{x_1 x_2}$ بر اساس رابطه‌های ۱ و ۲ و نمودار پراکنش متغیر وابسته در برابر متغیر مستقل استفاده می‌نماید.

^۶ - Mean Absolut Error

هکتوپاسکال به‌ترتیب بیشترین فراوانی را دارا هستند. بعد از تعیین متغیرهای مناسب، نسبت به واسنجی مدل بر اساس روش حداقل مربعات خطا [۲۱] اقدام شد. در مدل SDSM نتایج حاصل از مرحله واسنجی در یک فایل با فرمت استاندارد و پسوند PRA* ذخیره می‌شود که می‌توان از آن جهت شبیه‌سازی استفاده نمود.

بهبود ساز تعداد دفعات شبیه‌سازی

جدول ۲ میانگین خطای مطلق را به ازای تعداد دفعات شبیه‌سازی نشان می‌دهد. طبق این جدول با وجود این‌که مدل حساسیت چندانی به تعداد دفعات شبیه‌سازی ندارد، زمانی‌که تعداد دفعات شبیه‌سازی به ۶۰ می‌رسد، مدل کمترین میانگین خطای مطلق را دارا است. از این مرحله به بعد، ۶۰ بار شبیه‌سازی، مبنای ادامه پژوهش قرار گرفت.

بررسی حساسیت مدل به نوع و زمان داده‌های

بازتحلیل‌شده در دوره اعتبارسنجی

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در دوره اعتبارسنجی مدل (۱۹۹۰-۱۹۷۶) همراه با داده‌های مشاهده‌ای در جدول ۳ ارائه شده است. چنانچه از این جدول مشخص است، نوع داده‌های بازسازی شده مدل‌های جهانی و همچنین نوع متغیر وابسته در میزان دقت شبیه‌سازی مدل مؤثر است. میانگین خطای مطلق برای متوسط حداکثر درجه حرارت، متوسط حداقل درجه حرارت و میانگین دمای روزانه به ترتیب برای دو مدل جهانی HadCM3 و CGCM برابر با $0.02^{\circ}C$ ؛ 0.03 ، 0.02 و 0.02 (و $0.02^{\circ}C$) است. با وجود اختلاف بین خروجی دو مدل در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی به تفکیک ماه، اختلاف میانگین سالانه شاخص‌های دمایی ناچیز است. میانگین خطای مطلق برای این پایه زمانی برای دو مدل و سه متغیر دمایی مذکور به ترتیب برابر با 0.02 ، 0.02 و 0.03 (و 0.09 و 0.54) است. اما در خصوص شبیه‌سازی میزان بارش همان‌طور که پیشتر اشاره شد، مدل CGCM دقت لازم را در شبیه‌سازی بارش ندارد، زیرا ضریب همبستگی بین هیچ‌کدام از متغیرهای مستقل (داده‌های بازسازی شده مربوط به مدل مربوطه) و میزان بارش معنی‌دار نیست (ضریب همبستگی برای کلیه

۱۹۶۱ و ۲۰۰۰-۱۹۷۱)، متغیرهای دمایی و بارش روزانه با استفاده از داده‌های بازتحلیل‌شده دو مدل جهانی CGCM و HadCM3 در دو دوره فوق شبیه‌سازی و سپس با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه همدیدی شهر کرمان با استفاده از معیار میانگین خطای مطلق مقایسه شد (رابطه ۳):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |X_{iob} - X_{ie}| \quad (3)$$

که در آن:

MAE: میانگین خطای مطلق؛

X_{iob} : مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر؛

X_{ie} : مقدار شبیه‌سازی شده متغیر مورد نظر؛

N : تعداد داده‌ها است.

هر چه مقدار MAE کمتر باشد، نشان دهنده این است که مدل متغیر مورد نظر را با دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌نماید. اگر MAE صفر باشد، به این معنی است که مدل به طور کامل و دقیق متغیر مورد نظر را شبیه‌سازی نموده است. همچنین اختلاف زیاد بین میانگین خطای مطلق داده‌های دو دوره یا دو مدل، نشان‌دهنده حساسیت بالای و اختلاف کم آن به منزله حساسیت پایین مدل است.

نتایج

انتخاب متغیرهای مستقل جهت پیش‌بینی

متغیرهای دمایی و بارش و واسنجی مدل

در مدل‌های تابع انتقالی مانند مدل SDSM قبل از واسنجی مدل لازم است متغیرهای مستقل اقلیمی که بیشترین همبستگی را با متغیرهای وابسته مورد نظر دارند، تعیین گردند. در این تحقیق برای بررسی رابطه هر یک از شاخص‌های دمایی (حداکثر مطلق، حداقل مطلق و میانگین درجه حرارت روزانه)، و بارش روانه با متغیرهای مستقل جوی (داده‌های بازتحلیل‌شده)، مراحل انتخاب متغیرها و واسنجی مدل برای هر یک از متغیرهای مذکور به صورت مستقل صورت گرفت. جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده در واسنجی مدل را به صورت جداگانه متغیر 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

برای سه متغیر دمایی حداکثر، حداقل و متوسط دمای روزانه برای دو مدل به ترتیب برابر با (۰/۸، ۰/۲ و ۰/۲) و (۲/۳، ۰/۲ و ۲/۱) است. شاخص‌های مذکور در مقیاس سالانه برای دو مدل به ترتیب برابر با (۰/۸، ۰/۱ و ۰) و (۲/۳، ۰/۲ و ۰/۵) هستند.

متغیرها مستقل، با بارش کمتر از ۰/۱ است و به همین دلیل نمی‌توان مقایسه‌ای انجام داد). میانگین خطای مطلق حاصل از شبیه سازی بارش روزانه با استفاده از داده‌های بازتحلیل شده‌ی مدل HadCM3 در دو دوره پایه در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۱. متغیرهای مستقل مورد استفاده به منظور پیش‌بینی متغیرهای وابسته به تفکیک مدل و دوره

مدل	HadCM ₃	CGCM
شاخص	۱۹۶۱ - ۱۹۹۰ ۱۹۷۱ - ۲۰۰۰	۱۹۶۱ - ۱۹۹۰ ۱۹۷۱ - ۲۰۰۱
حداکثر درجه حرارت	میانگین فشار در سطح دریا، رطوبت نسبی در سطح زمین، متوسط درجه حرارت در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال	میانگین فشار در سطح دریا، دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری سطح زمین، ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، سرعت منطقه‌ای جریان هوا
حداقل درجه حرارت	میانگین فشار در سطح دریا، رطوبت نسبی در سطح زمین، متوسط درجه حرارت در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، سرعت مداری جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال، ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۸۵۰ هکتوپاسکال	متوسط درجه حرارت در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال، شدت، سرعت نصف النهار جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال
متوسط درجه حرارت	فشار متوسط در سطح دریا، متوسط درجه حرارت در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، ژئوپتانسیل و سرعت مداری جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال، متوسط درجه حرارت در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، نصف النهار جریان هوا در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال
بارش	رطوبت نسبی در سطح زمین	هیچ‌کدام از متغیرها رابطه معنی‌داری نداشتند

جدول ۲. میانگین خطای مطلق به ازاء تعداد دفعات شبیه‌سازی

تعداد دفعات شبیه‌سازی	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

جدول ۴ نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل را در دوره (۱۹۸۶-۲۰۰۰) نشان می‌دهد. میانگین خطای مطلق

جدول ۳. داده‌های مشاهده‌ای، شبیه‌سازی شده و خطای مطلق در دوره اعتبارسنجی مدل (۱۹۹۰-۱۹۷۶) به تفکیک مدل‌های جهانی (°C)

ماه	متوسط حداکثر دما						متوسط حداقل دما						میانگین دمای روزانه		
	GCM			HadCM3			GCM			HadCM3			HadCM3	GCM	
	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	AE ⁷	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	AE	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	AE	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	AE	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	AE
ژانویه	۱۰/۳۵	۱۰/۳۹	۰/۰۴	۱۱/۶۶	۱/۳۱	-۳/۷	-۳/۶۵	۰/۰۷	-۵/۰۵	۳/۶۴	۳/۲۷	۳/۳۱	۰/۰۵	۷/۱۳	۳/۱۸۶
فوریه	۱۴/۰۲	۱۴/۰۱	۰/۰۲	۱۲/۸۷	۱/۱۵	-۰/۱	-۰/۰۹	۰/۰۲	-۳/۲۱	۱/۱۲	۶/۹۱	۶/۸۸	۱/۰۳	۵/۲۶	۱/۶۵
مارس	۱۹/۲۸	۱۹/۲۸	۰	۱۲/۷۰	۶/۵۸	۴/۵	۴/۵	۰/۰۱	-۱/۱	۰/۱۹	۱۱/۸۸	۱۱/۸۸	۰	۵/۹۵	۵/۹۳
آوریل	۲۳/۷۵	۲۳/۷۸	۰/۰۳	۱۷/۱۴	۶/۶۱	۹	۸/۹۱	۰/۰۵	۱/۴۶۶	۱/۷۴	۱۶/۳۴	۱۶/۳۳	۰/۰۱	۱۰/۱۸	۶/۱۶
می	۳۰/۴۵	۳۰/۴	۰/۰۶	۲۵/۷۹	۴/۶۷	۱۳/۶	۱۳/۵۴	۰/۰۱	۴/۳۵	۳/۰۶	۲۲	۲۱/۹۵	۲۱/۹۵	۰/۰۵	۶/۴۵
ژوئن	۳۴/۹۷	۳۴/۹۷	۰/۰۲	۳۳/۶۶	۱/۳۱	۱۷/۷	۱۷/۶۳	۰/۰۴	۱۴/۳۲	۲/۳۱	۲۶/۳۲	۲۶/۳۱	۰/۰۱	۲۰/۸۳	۵/۴۹
جولای	۳۷/۲۵	۳۷/۲۵	۰/۰۲	۳۶/۴۱	۰/۸۴	۱۹/۶	۱۹/۶۹	۰/۰۵	۱۹/۱۹	۲/۶۶	۲۸/۴۵	۲۸/۴۷	۰/۰۳	۲۴/۹	۳/۵۴
آگوست	۲۵/۹۲	۲۵/۹۲	۰	۳۵/۹۲	۰/۱۵	۱۷/۳	۱۷/۳۱	۰/۰۲	۲۰/۵۷	۱/۹	۲۶/۶	۲۶/۵۹	۰/۰۲	۲۷/۷۲	۱/۱۱
سپتامبر	۳۲/۱۱	۳۲/۰۸	۰/۰۳	۳۲/۰۸	۲/۸۸	۱۲/۵	۱۲/۵۱	۰/۰۲	۱۷/۴۶	۰/۷	۲۲/۳۲	۲۲/۲۹	۰/۰۳	۲۷/۵۶	۵/۲۳
اکتبر	۲۶/۰۶	۲۶/۰۴	۰/۰۲	۲۸/۵۵	۲/۴۹	۶/۸	۶/۶۸	۱	۱۳/۵۹	۰/۰۹	۱۶/۴۲	۱۶/۳۹	۰/۰۴	۲۵/۱۹	۸/۷۶
نوامبر	۱۸/۸۶	۱۸/۹	۰/۰۴	۲۰/۴۲	۱/۵۶	۱/۳	۱/۲۴	۰/۰۲	۴/۳۵	۴/۷۳	۱۰/۰۶	۱۰/۰۶	۰	۱۹/۱۱	۹/۰۵
دسامبر	۱۲/۹۸	۱۲/۸۶	۰/۰۲	۱۴/۴۶	۱/۴۸	-۲/۷	-۲/۷۸	۰/۰۴	-۱/۰۶	۵/۰۲	۵/۱۲	۵/۰۷	۰/۰۵	۱۳/۳۴	۸/۲۲
زمستان	۱۲/۴	۱۲/۴۱	۰	۱۳	۰/۶	-۲/۲	-۲/۲۳	۰	-۳/۲۹	۰/۲۵	۵/۰۵	۵/۰۵	۰	۸/۵۸	۳/۵۳
بهار	۲۴/۵	۲۴/۴۹	۰/۰۱	۱۸/۵۶	۵/۱۴	۹	۸/۹۸	۰/۰۲	۱/۵۷	۱/۶۶	۱۶/۷۵	۱۶/۷۳	۰/۰۲	۱۰/۵۶	۶/۱۹
تابستان	۳۶/۰۶	۳۶/۰۷	۰/۰۱	۳۵/۴	۰/۶۶	۱۸/۲	۱۸/۲۲	۰/۰۱	۱۸/۰۷	۲/۳۲	۲۷/۱۳	۲۷/۱۳	۰	۲۴/۴۸	۲/۶۵
پاییز	۲۵/۶۸	۲۵/۶۸	۰	۲۷/۹۹	۲/۳۱	۶/۹	۶/۸۱	۰/۰۴	۱۱/۸۴	۱/۸۲	۱۶/۲۷	۱۶/۳۵	۰/۰۲	۲۳/۹۵	۷/۶۹
میانگین سالانه	۲۴/۷۱	۲۴/۷۲	۰/۰۲	۲۳/۷۸	۰/۹۳	۸	۸	۰	۷/۰۸	۰/۹۲	۱۶/۳۵	۱۶/۳۴	۰/۰۲	۱۶/۸۹	۰/۵۴
میانگین خطایی مطلق	-	-	۱/۰۲	-	۲/۸۹	-	-	۱/۰۳	-	۳/۷۸	-	-	۱/۰۲	-	۵/۱

⁷-Absolut Error

بررسی حساسیت مدل به نوع و زمان داده‌های بازتحلیل‌شده در دوره پایه

بعد از واسنجی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی، نسبت به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، اقدام می‌شود. به منظور بررسی روند تغییر اقلیم یک دوره پایه (معمولاً ۳۰ ساله) انتخاب می‌شود، سپس تغییرات متغیرهای اقلیمی دوره‌های ۳۰ ساله آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) نسبت به آن دوره مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین دقت شبیه‌سازی در دوره پایه از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل SDSM در دو دوره ۱۵ ساله، نتایج حاصل از ریزمقیاس‌نمایی در دو دوره پایه ۳۰ ساله فوق و با استفاده از داده‌های بازتحلیل‌شده دو مدل جهانی، بررسی و مورد اعتبارسنجی قرار گرفت، تا مشخص شود آیا اختلافی بین نتایج این دو مدل در دو دوره در ایستگاه همدیدی شهر کرمان وجود دارد؟ و اگر اختلافی وجود دارد کدام مدل و دوره پایه مناسب‌تر است. جدول ۵ میانگین خطای مطلق برای سه شاخص دمایی حداکثر، حداقل و متوسط دمای روزانه را به تفکیک هر یک از دوره‌های پایه و مدل نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص است، میانگین خطای مطلق برای هر سه شاخص مذکور در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) به مراتب کمتر است. این معیار برای سه شاخص دمایی مذکور در مدل HadCM3 در دو دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و (۲۰۰۰-۱۹۷۱) به ترتیب برابر با (۰/۵۹، ۰/۵۵) و (۰/۱۹، ۰/۴۳ و ۰/۳۸) و برای مدل (CGCM) برابر با (۵/۴، ۶/۶ و ۶/۷) و (۲/۱، ۱/۹۵ و ۱/۸) است. در هر دو مدل نتایج حاصل از ریزمقیاس‌نمایی در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) بهتر از نتایج حاصل از دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) است. البته در خصوص برخی ماه‌ها مانند فوریه نتایج برعکس است. مقایسه میانگین خطای مطلق شاخص‌های مربوطه برای دو مدل در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) نشان می‌دهد که مدل HadCM3 دارای میانگین خطای مطلق کمتری است. میزان این معیار برای دو مدل در دوره مذکور برای سه شاخص دمایی حداکثر، حداقل و متوسط

دمای روزانه به ترتیب برابر با (۰/۱۹، ۰/۴۳ و ۰/۳۸) و (۲/۱، ۱/۹۵ و ۱/۸) است. میانگین خطای مطلق در مدل CGCM برای سه شاخص مذکور، به ترتیب، ۱۱، ۴/۵۳ و ۴/۷ برابر مدل HadCM3 است. شکل‌های ۱ و ۲ مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده و خطای مدل (انحراف از مقدار مشاهده‌ای) را به تفکیک ماه، فصل و سال در هر یک از دوره‌های پایه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با وجود دقت بالای نتایج حاصل از داده‌های بازتحلیل‌شده مدل HadCM3 در تمام ماه‌های سال و در هر دو دوره پایه، مدل به داده‌های CGCM حساسیت زیادی نشان داده است. مقادیر شبیه‌سازی حاصل از داده‌های این مدل برای هر سه شاخص دمایی در ماه‌های فصل تابستان کمتر و در ماه‌های فصل پاییز بیشتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد شده است. در خصوص بارش همان‌طور که پیشتر بیان شد مدل CGCM از دقت بالای برای شبیه‌سازی بارش برخوردار نیست و به همین دلیل شبیه‌سازی این متغیر فقط توسط مدل HadCM3 در دو دوره پایه انجام شد. جدول ۶، میانگین خطای مطلق را در هر یک از دوره‌های پایه نشان می‌دهد. براساس این جدول میانگین خطای مطلق برای دوره‌های (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و (۲۰۰۰-۱۹۷۱) به ترتیب برابر با ۴/۴ و ۳/۲ است. با وجود این که حساسیت مدل در شبیه‌سازی این متغیر به مراتب کمتر از شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی است دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) برای شبیه‌سازی بارش از دقت بیشتری برخوردار است.

جدول ۵. خطای مطلق، متوسط حداکثر، متوسط حداقل و متوسط دمای روزانه در دو دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و (۱۹۷۱-۲۰۰۰) به تفکیک مدل

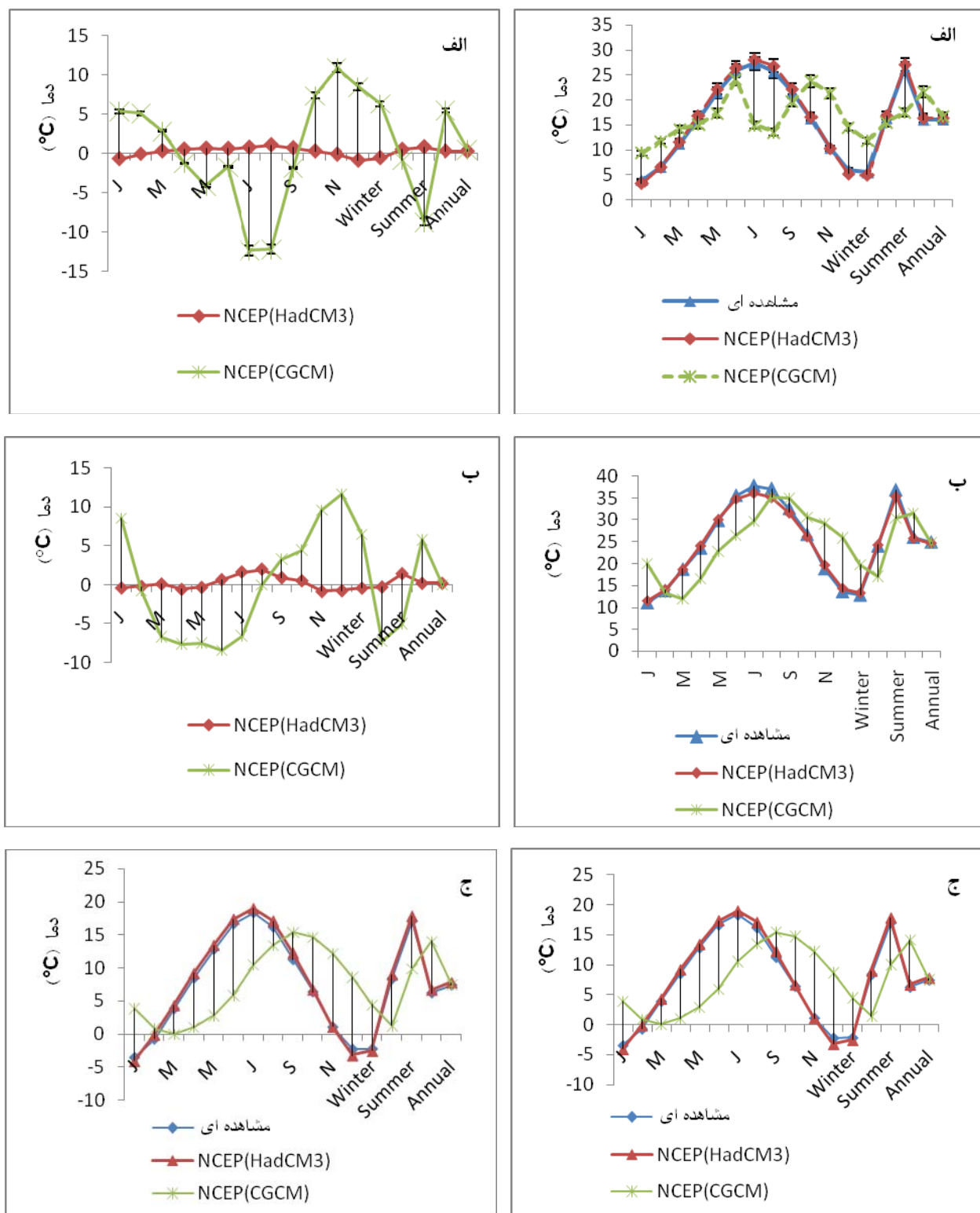
ماه	متوسط حداکثر دمای روزانه				متوسط حداقل دمای روزانه				متوسط دمای روزانه			
	CGCM		HadCM3		CGCM		HadCM3		CGCM		HadCM3	
	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰
ژانویه	۰/۳۹	۰/۲۱	۸/۲	۱/۲	۰/۴۳	۰/۶۲	۷/۳	۰/۹	۰/۶۵	۰/۲۹	۵/۴	۰
فوریه	۰/۲	۰/۴۸	۰/۱	۱/۵	۰/۲۷	۰/۵۹	۱/۶	۱/۹۱	۰/۰۳	۰/۱۳	۵/۱	۱/۷
مارس	۰/۱۱	۰/۱	۶/۳	۳/۹	۰/۱۸	۰/۴۴	۳/۸	۴/۱۲	۰/۳۴	۰/۳۸	۲/۹	۴
آوریل	۰/۵۶	۰/۳۳	۶/۸	۶/۷	۱/۰۴	۰/۶۹	۷/۵	۵/۵۵	۰/۵۷	۰/۱۹	۱/۲	۶/۱
می	۰/۳۲	۰/۱۳	۶/۷	۴/۹	۰/۱۹	۰/۶	۱۰	۳/۰۹	۰/۶۸	۰/۰۳	۴/۱	۴
ژوئن	۰/۶۶	۰/۱۱	۸	۰/۶	۰/۱۱	۰/۷۲	۱۰/۷	۰/۱۷	۰/۶۶	۰/۰۹	۱/۷	۰/۴
جولای	۱/۶۳	۰/۳۱	۶/۶	۱/۷	۰/۳۸	۰/۶۵	۷/۸	۰/۶۹	۰/۱۸	۰/۰۶	۱۲/۴	۱/۲
آگوست	۱/۹۸	۰/۳۱	۰/۲	۰/۹	۰/۲۲	۰/۹۵	۲/۷	۲/۵۸	۱/۱۱	۰/۲۴	۱۲/۲	۱/۸
سپتامبر	۰/۹	۰/۰۹	۲/۸	۱	۰/۶۸	۱/۰۱	۱	۲/۳۱	۰/۷۳	۰/۵۲	۱/۸	۱/۶
اکتبر	۰/۵۲	۰/۲۳	۳/۸	۲/۸	۰/۳	۰/۸۶	۸/۲	۱/۵۵	۰/۳۳	۰/۶۸	۷/۴	۲/۲
نوامبر	۰/۸۴	۰/۰۳	۸/۸	۱/۲	۰/۰۲	۰/۹۹	۱۱/۱	۰/۹۸	۰/۰۸	۱/۱	۱۱	۰/۱
دسامبر	۰/۷۴	۰/۱۹	۱۱/۱	۱	۰/۸۲	۰/۹۸	۱۱/۹	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۲۹	۸/۵	۰/۱
میانگین	۰/۷۴	۰/۲۱	۵/۸	۲/۳	۰/۴۳	۰/۶۳	۷/۱	۲/۰۷	۰/۵۷	۰/۴	۶/۱	۱/۹
زمستان	۰/۴۲	۰/۲۹	۶/۴	۰/۳	۰/۳۶	۰/۵۱	۶/۶	۱/۲۲	۰/۵۲	۰/۴۳	۶/۴	۰/۶
بهار	۰/۲۶	۰/۰۳	۶/۶	۵/۱	۰/۱۲	۰/۵۷	۷/۱	۴/۲۴	۰/۵۳	۰/۰۵	۰/۸	۴/۷
تابستان	۱/۴۲	۰/۱۷	۴/۹	۰/۷	۰/۲۴	۰/۷۷	۷/۱	۱/۰۵	۰/۸۶	۰/۰۷	۸/۸	۰/۹
پاییز	۰/۱۹	۰/۱	۵/۲	۱/۷	۰/۴۳	۰/۴۳	۷/۸	۰/۹۷	۰/۳۳	۰/۷۷	۵/۵	۱/۳
سالانه	۰/۱۹	۰/۱۳	۰	۰/۶	۰/۳۶	۰/۴۳	۰	۰/۸۷	۰/۳۱	۰/۳	۰/۵	۰/۸
میانگین خطای مطلق	۰/۶۶	۰/۱۹	۵/۴	۲/۱	۰/۴۳	۰/۵۹	۶/۷	۱/۹۵	۰/۵۵	۰/۳۸	۵/۶	۱/۸

جدول ۶. میزان بارش شبیه‌سازی شده، مشاهده‌ای و خطای مطلق در دو دوره پایه (مدل HadCM3)

۱۹۷۱-۲۰۰۰			۱۹۶۱-۱۹۹۰			دوره پایه
AE	شبیه‌سازی	مشاهده‌ای	AE	شبیه‌سازی	مشاهده‌ای	ماه
۳/۶	۳۴/۲	۳۰/۸	۱	۲۹/۵	۳۰/۵	ژانویه
۲/۹	۲۷/۷	۲۴/۸	۸/۵	۳۳/۴	۲۵	فوریه
۱/۸	۳۷/۷	۳۵/۸	۸/۱	۲۳/۱	۳۱/۳	مارس
۲/۹	۱۸/۱	۱۵/۲	۸	۱۰/۳	۱۸/۳	آوریل
۶/۷	۱۷/۲	۱۰/۶	۰/۳	۸/۵	۸/۸	می
۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۴	ژوئن
۰/۶	۱/۲	۰/۷	۰/۷	۰/۱	۰/۸	جولای
۰/۲	۰/۷	۰/۶	۰	۰/۵	۰/۵	آگوست
۰/۰۲	۰/۴	۰/۳	۲/۳	۲/۴	۰/۱	سپتامبر
۰/۹	۱/۴	۲/۳	۵	۶/۷	۱/۷	اکتبر
۰/۱۶	۴/۵	۴/۶	۱/۵	۷/۶	۶/۱	نوامبر
۱/۲۷	۲۲/۳	۲۳/۶	۲/۴	۲۰/۴	۱۸	دسامبر
۴/۹۲	۸۱/۶	۷۶/۷	۹/۵	۸۰/۶	۷۱/۱	زمستان
۱۱/۳۷	۷۳	۶۱/۶	۱۶/۴	۴۱/۹	۵۸/۴	بهار
۰/۴۶	۲/۲	۱/۷	۰/۹	۰/۸	۱/۷	تابستان
۱/۰۲	۶/۳	۷/۳	۸/۸	۱۶/۷	۸	پاییز
۱۵/۹	۱۶۵/۶	۱۴۹/۷	۱/۳	۱۴۲/۸	۱۴۱/۵	سالانه
۳/۲۲			۴/۴			میانگین خطای مطلق

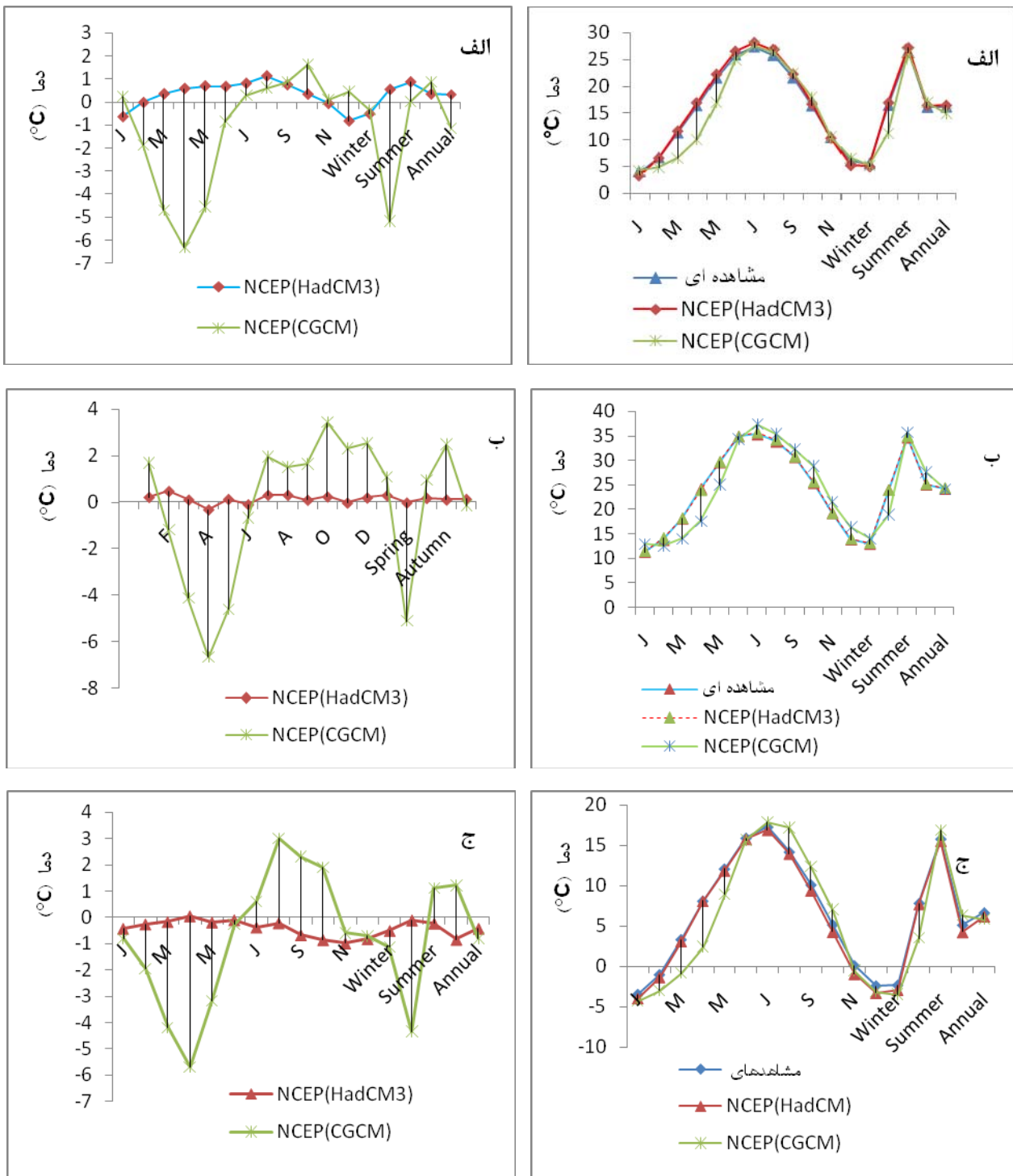
نکته جالب دیگر اینکه با وجود کمتر بودن میانگین خطای مطلق در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) نسبت به دوره (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، مدل مجموع بارش سالانه را در دوره (۱۹۶۱-۱۹۹۰) بهتر شبیه‌سازی می‌کند. دلیل این امر این است که در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) مدل میزان بارش را در همه ماه‌ها بیش از مقدار واقعی برآورد نموده است. در صورتی که در دوره (۱۹۶۱-۱۹۹۰) در برخی از ماه‌ها مانند فوریه و اکتبر تا دسامبر بیش از مقدار مشاهده‌ای و در سایر ماه‌ها کمتر از مقدار واقعی تخمین زده است. این امر باعث شده است که متوسط بارش سالانه در این دوره نزدیک به مقدار مشاهده‌ای باشد.

شکل ۳ مقادیر بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده و خطای مدل را در مقیاس ماه، فصل و سال نشان می‌دهد. ماه‌های فصل بهار بیشترین خطا و ماه‌های فصل تابستان دارای کمترین خطا هستند. در واقع خطای بالای شبیه‌سازی در فصل بهار را باید ناشی از بارش‌های رگباری و آشفته‌گی‌های آب و هوا در این فصل دانست که از نظم خاصی پیروی نمی‌کنند به همین دلیل مدل توانایی لازم جهت شبیه‌سازی بارش را در این فصل ندارد. کاهش خطای مدل در فصل تابستان را می‌توان ناشی از نبود بارش دانست که مدل هم توانایی شبیه‌سازی آن را به‌خوبی دارد.

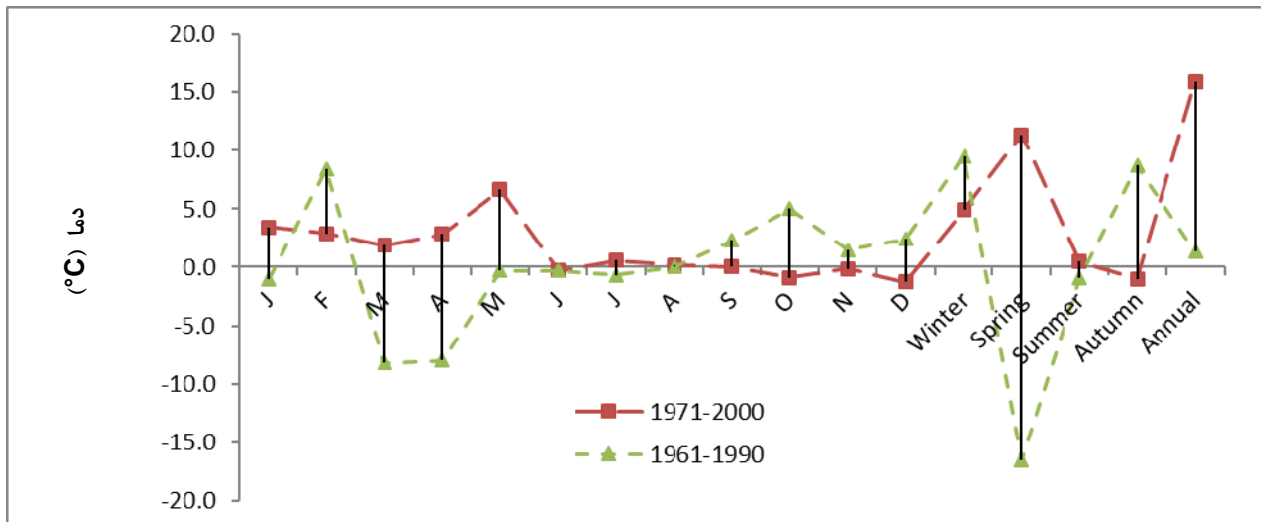


شکل ۱. مقایسه مقادیر (سمت راست) و خطای مدل (سمت چپ) حاصل از ریز مقیاس نمایی روزانه، متوسط دما (الف)، متوسط حداکثر

دما (ب) و متوسط حداقل دما (ج) به تفکیک مدل در دوره پایه (۱۹۶۰-۱۹۶۱)



شکل ۲. مقایسه مقادیر (سمت راست) و خطای مدل (سمت چپ) حاصل از ریزمقیاس‌نمایی، متوسط دمای (الف)، متوسط حداکثر دمای (ب) و متوسط حداقل دمای (ج)، به تفکیک مدل در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)



شکل ۳. خطای مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی بارش در دو دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) و (۱۹۶۱-۱۹۹۰)

بحث و نتیجه گیری

متغیرهای اقلیمی مؤثر است. همچنین ابعاد سلول‌های مدل HadCM3 از ابعاد سلول‌های مدل CGCM1 در جهت طول جغرافیایی بیشتر است (۲/۵ درجه در مقایسه با ۳/۷۵ درجه). در نتیجه هرچه مساحت سلول بزرگ‌تر باشد تعمیم اطلاعات به سطح کوچکتر با خطای بیشتری همراه است. می‌توان بخشی از خطای مدل CGCM1 را ناشی از این موضوع دانست. بنابراین، ابعاد سلول‌های جهانی در ریزمقیاس‌نمایی تأثیر دارد.

دوم اینکه داده‌های مدل CGCM1 از سری سناریوهای IS92 است که در سال ۱۹۹۲ ارائه شد، در حالی که داده‌های مدل HaCM3 از سری سناریوهای انتشار می‌باشند که در سال ۱۹۹۶ ارائه شده است. مبنای داده‌های مدل HadCM3 بر اساس سناریوهای جدیدتر است و ایستگاه همدیدی کرمان مطابقت بیشتری با این سناریوها دارد. در خصوص شبیه‌سازی بارش روزانه داده‌های مدل CGCM1 در هیچ‌کدام از دوره‌ها از دقت لازم برخوردار نبود. به همین دلیل بارش روزانه فقط تنها با استفاده از داده‌های بازتحلیل شده مدل HadCM3 در دو دوره پایه شبیه‌سازی شدند.

نتایج حاکی از آن است که انتخاب دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) در مقایسه با دوره (۱۹۶۱-۱۹۹۰) برای هر دو مدل در ایستگاه همدیدی شهر کرمان به‌عنوان یکی از

در این تحقیق حساسیت مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM به نوع داده‌های بازتحلیل شده و دوره پایه در ایستگاه همدیدی شهر کرمان به‌عنوان یکی از مناطق خشک بررسی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد استفاده از داده‌های بازتحلیل شده مدل HadCM3 به‌منظور شبیه‌سازی سه شاخص دمایی، حداکثر، حداقل و متوسط درجه حرارت در مقیاس روزانه بهتر از نتایج حاصل از داده‌های بازتحلیل شده مدل CGCM می‌باشد. بیشترین حساسیت مدل SDSM به شاخص دمایی حداکثر درجه حرارت روزانه است. میانگین خطای مطلق حاصل از داده‌های بازتحلیل شده مدل CGCM برای متغیرهای دمایی فوق به ترتیب معادل با ۱۱، ۴/۵ و ۴/۷ برابر حالتی است که از داده‌های مدل HadCM3 استفاده می‌شود. از دلایل برتری مدل HadCM3 در مقایسه با مدل CGCM1 می‌توان به چند عامل اساسی اشاره کرد. نخست این که ایستگاه همدیدی کرمان تقریباً در وسط شبکه (سلول) $Y=23$ و $X=16$ مدل HadCM3 قرار دارد، اما در مدل CGCM در گوشه شمال شرقی سلول $X=33$ و $Y=33$ قرار گرفته است. به همین دلیل داده‌های آن با سلول مذکور در مدل HadCM3 هماهنگی بیشتری دارد. بنابراین، موقعیت ایستگاه هواشناسی در سلول‌های جهانی در منطقه مورد مطالعه در دقت ریزمقیاس‌نمایی

اعتبارسنجی و دوره پایه با توجه به شرایط محلی باید دقت نمود از داده‌های بازتحلیل‌شده و دوره پایه مناسب استفاده نمود. نتایج حاصل از این تحقیق در ایستگاه همدیدی کرمان همچنین نشان داد که استفاده از داده‌های مدل HadCM3 در مقایسه با مدل CGCM₁ بهتر است. بنابراین استفاده از آن‌ها در مناطق مشابه منطقه مورد مطالعه توصیه می‌شود. همچنین استفاده از داده‌های بازتحلیل‌شده دوره (۲۰۰۰-۱۹۷۱) به جای داده‌های بازتحلیل‌شده (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در هر دو مدل توصیه می‌شود.

مناطق خشک نتایج بهتری ارائه می‌نماید. به‌طوری‌که میانگین خطای مطلق حاصل از داده‌های بازتحلیل‌شده مدل HadCM3 برای متغیرهای دمایی، متوسط حداکثر، متوسط حداقل و متوسط روزانه در دوره (۱۹۹۰-۱۹۶۱) به ترتیب ۳/۵، ۱/۴ و ۳/۵ برابر حالتی است که از داده‌های دوره (۲۰۰۰-۱۹۷۱) استفاده می‌شود. اما حساسیت مدل SDSM به انتخاب دوره پایه کمتر، از حساسیت آن به نوع داده‌های بازتحلیل‌شده است. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از بررسی‌های [۱۰، ۱۳ و ۱۴] مطابقت دارد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در هنگام ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی در مرحله واسنجی و

References

- [1]. Berg, A. A., Famiglietti, J. S., Walker, J. P., & Houser, P. R., (2003). Impact of bias correction to reanalysis products on simulations of North American soil moisture and hydrological fluxes, *Journal of Geophysical Reserch*, 108, 4490(D16) doi: 10.1029/2002JD003334.
- [2]. Coulibaly, P., & Yonas, B. (2005). Downscaling precipitation and temperature with temporal neural networks. *American Meterology socity*, 6, 483-496.
- [3]. Diaz-Nieto, J., & Wilby, R. L. (2005). A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: Impacts on the lowflows in the river Thames, United Kingdom. *Climate Change*, 69, 245-268.
- [4]. Dibike, Y., & Coulibaly, P. (2005). Hydrological impact of climate change in the Saguenay watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 307, 145-163.
- [5]. Gagnon, S., Singh, B., Rouselle, J., & ROY, L. (2005). An application of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to simulate climatic data for streamflow modeling in Québec. *Conservation Water Reserch Journal*, 30(4), 297-314.
- [6]. Gutierrez, J. M., San-Martín, D., Brands, S., Manzanar, R., & Herrera, S., (2013). Reassessing Statistical Downscaling Techniques for Their Robust Application under Climate Change Conditions, *Journal of Climate*, 26, 171-188.
- [7]. Inoue, T., & Matsumoto, J. (2004). A comparison of summer sea level pressure over east Eurasia between NCEP-NCAR reanalysis and ERA-40 for the period 1960-99, *Journal of Meteorol*, 82(3), 951-958.
- [8]. 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.
- [9]. Khan, M. S., Coulibaly, P., & Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods using Canadian Global Climate Model predictors, *Hydrology. Process*, 20, 3085-3104.
- [10]. Koukidis, E. N., & Berg, A. A. (2009). Sensitivity of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to reanalysis products, *Atmosphere-Ocean*, 47(1), 1-18.
- [11]. Mearns, L. O., Giorgi, F., pabon, p. D., Hulme, M., & LAL, M. (2003). Guidelines for use of climate scenarios developed from regional climate model experiments. Data Distribution Centre of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Norwich, Hamburg and New York. 38 pp.
- [12]. Salathe, E. P. (2005). Downscaling simulations of future global climate with application to hydrologic modeling. *International Journal of Climatology*, 25, 419-436.

- [13]. Samadi, S. Z., Sagaraswar, G., & Tajiki, M. (2010). Comparison of General Circulation Models: methodology for selecting the best GCM in Kermanshah Synoptic Station, Iran International. *Journal of Global Warming*, 4(2), 347-362.
- [14]. Samadi, S. Z., Mahdavi, M., Sharifi, F., & Bihamta, M.R. (2009). Methodology for selecting the best predictor for climate change impact assessment in Karkheh Basin, Iran', *Journal of Environmental Science and Engineering*, 51(4), 249-256.
- [15]. Torini, N., & Hesami-Kermani, M. R., (2012). Forecasting max, min & mean temperature using fuzzy algorithm in Kerman station, Proceeding Of 2th National Conference on watershed and soil&water management Kerman January, 27-28, (in Farsi).
- [16]. Trenberth, K. E., Stepaniak, D. P., Hurrell, J. W., & Fiorino, M., (2001). Quality of reanalyses in the Tropics. *Journal of Climate*, 14, 1499-1510.
- [17]. Varis, O., Kajander, T., & Lemmela, R. (2004). Climate and water: From climate models to water resources management and vice versa. *Climare Change*, 66, 321-344.
- [18]. Vonstorch, H., Hewitson, B., & Mearns, L. (2000). Review of empirical downscaling techniques. In: Regional climate development under global warming. General Technical Report No. 4. Conf. Proceedings RegClim Spring Meeting. T. Iversen and B.A.K. Høiskar (Eds), Jevnaker, Norway, 8-9 May 2000, Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, pp. 29-46.
- [19]. Wilby, R. L., & Dawson, W. C. (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*, 94 pp.
- [20]. Wilby, R. L., Tomlinson, O. J., & Dawson, W. C. (2003). Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling. *Journal of climate research*, 23, 183-194.
- [21]. Wilby, R. L., Dawson C. W., & Barrow, E. M. (2002). SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, (17), 147-159.
- [22]. Wilby, R. L., & Wigley T. M. L. (2000). Precipitation predictors for downscaling: observed and General Circulation Model relationships. *International Journal of Climatologhy*, (20), 641-661.
- [23]. Xu, C. Y., (1999). from GCMs to river flow: a review of down scaling methods and hydrologic modeling approaches, *Progress in Physical Geography*, 23, 229-24.
- [24]. Zhaofa, L., Xu, Z., Stephen, P., Chales, G.F. & Liu, L. (2011). Evaluation of two statistical down scaling models for daily precipitation over an arid basin in chine. *Royal meteorological society*, (31), 2006-2020.

Sensitivity of the Statistical Downscaling Model (SDSM) to reanalysis data in arid areas

1- A. Abkar, PhD of watershed management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University
abkar804@yahoo.com

2- M. Habibnajad, Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University

Received: 27 Jul 2013

Accepted: 01 May 2014

Abstract

General circulation models (GCMs) are only tools to predict future climate condition under climate change scenarios. An outstanding issue with the use of GCM output for regional and local application is the coarse spatial resolution. So there are various methods to predict, climate variables at regional, local and a station scale that all these methods are known downscaling. The Statistical Downscaling Model (SDSM) is one of the most used methods that identifies relationships between variable predictors (output GCM) and variable predictands (Temperature, precipitation, etc. in particular station) using multiple linear regression. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has determined two periods (1961-1990) and (1971-2000) as baseline to compare the effects of climate change in future periods. As well as reanalysis data, that produced by the National Center for Environmental Prediction (NCEP) are important components for the structuring of the SDSM as they supply the predictor values for the calibration and validation of the model. Type and period of reanalysis data can be effective in model accuracy. In this study for downscaling temperature and precipitation variables the sensitivity of the SDSM model was examined to type and reanalysis data of NCEP in Kerman meteorological station. The mean absolute error (MAE) was used to determine the sensitivity of the model. Result showed that the model is sensitivity to both type and base period reanalysis data. The mean absolute error of the reanalysis CGCM model data, for the average maximum, minimum and mean temperature variables equal to 11, 4.5 and 4.7 times the case that the HadCM3 model data is used respectively. In the case of the base period, when data of (1961-1990) is used, MAE for the mentioned variables and daily precipitation equal to 3.5, 1.4, 3.5 and 1.4 times that the state which is used for the base period (2000-1970), respectively.

Keywords: Climate change; Downscaling; GCMs Model; Reanalysis Data; SDSM Model; Sensitivity.