دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی کارایی مدل ریز مقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)

مریم رضائی[۱]، محمد نهتانی[۲]، علیجان آبکار[۳]، معصومه رضائی[۴] و مهری میرکازهی ریگی[۱]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل
۲- استادیار، دانشگاه زابل، (نویسنده مسوول: m_nohtani@yahoo.com)
۳- دکتری آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی استان کرمان
۴- مربی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۸

چکیده

روش‌های ریز مقیاس نمایی آماری، به‌منظور پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی مانند دما، به دلیل اهمیت این فاکتورها، در برنامه‌ریزی و مدیریت محیطی کاربرد وسیعی دارند. در این پژوهش کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های دمای کمینه، بیشینه و میانگین ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان و بم، داده‌های NCEP و داده‌های مدل HadCM3 (داده‌های نسل سوم مدل جهانی اقلیم تحت سناریوی A2 و B2) برای دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۷۱ میلادی) می‌باشد. از ۱۵ سال اول داده‌ها (۱۹۸۵-۱۹۷۱) برای واسنجی و از ۱۵ سال دوم (۲۰۰۱-۱۹۸۶) برای ارزیابی نحوهٔ عملکرد مدل استفاده شده است. به کمک داده‌های HadCM3(A2) و HadCM3(B2)، دما برای سه دوره (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه شده است. معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل مانند میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب ناش- ساتکلیف و تحلیل نتایج خروجی مدل HadCM3 ، نشان داد که این مدل در منطقه خشک نسبت به منطقه فراخشک از کارایی بالاتر و دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی دما برخوردار است. همچنین نتایج بیانگر افزایش دما در تمام ماه‌های سال برای هر دو ایستگاه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بم، تغییر اقلیم، دما، کرمان، مدل SDSM

مقدمه

تغییر اقلیم، تغییر معنی‌دار متوسط داده‌های هواشناسی در یک دوره معین زمانی است. این دوره زمانی معمولاً ده ساله یا بیشتر می‌باشد (۱۵). استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی، افزایش جمعیت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

جهان، گسترش روز افزون فعالیت‌های صنعتی برای تأمین رفاه و نیازهای جمعیت کره زمین، موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین به وجود آید که بارزترین آن افزایش متوسط دمای کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، طوفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی و خشکسالی می‌باشد. افزایش این رخدادها در سال‌های اخیر به دغدغه اصلی اقلیم شناسان و سران کشورهای جهان تبدیل شده است (۶). بررسی روند دراز مدت درجه حرارت می‌تواند دیدگاه بهتری را جهت برنامه‌ریزی‌های آینده فراهم نماید. به نظر می‌رسد که پنج عامل غلظت گازهای گلخانه‌ای، میزان ازن در استراتوسفر، افشانه‌ها در تروپوسفر، افشانه‌ها در استراتوسفر و فعالیت‌های خورشیدی (لکه‌های خورشیدی) عمده ترین عوامل برای توجیه تغییرات درجه حرارت در قرن اخیر باشد (۱۸). تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین در جهان نشان داد که مقدار این پارامتر در قرن گذشته به میزان ۰/۴ تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است، به طوری که در دو دهه گذشته دمای متوسط روی اقیانوس‌ها به میزان ۰/۲ و در خشکی‌ها به میزان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (۱۶). روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آنها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM[1] می‌باشد. مدل‌های GCM، تنها قادر به شبیه‌سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو در سطوح بزرگ هستند. حتی اگر مدل‌های اقلیم جهانی برای پیش‌بینی آینده با توان تکنیکی بالایی هم راه‌اندازی شوند، نیاز به کوچک مقیاس کردن نتایج این مدل‌ها در مقیاس‌های ایستگاهی احساس می‌شود (۱۷). مدل‌های گردش عمومی به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای که اثرات مهم و قابل توجهی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای دارا می‌باشد، اشاره دارد. با استفاده از روش‌های ریز مقیاس نمایی، خروجی‌های GCM به متغیرهای سطحی در حوزه مورد مطالعه تبدیل می‌شود. ریزمقیاس نمودن به عنوان یک عامل ایجاد کننده ارتباط میان چرخه‌های بزرگ مقیاس (پیش‌بینی کننده‌ها) و متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی (پیش‌بینی شونده‌ها) تعریف شده است (۲۲). در سال‌های اخیر از میان چهار دسته کلی روش‌های ریزمقیاس‌سازی (ریزمقیاس‌سازی دینامیکی[2]، دسته‌بندی سینوپتیکی[3]، ایجاد آب و هوا به روش تصادفی[4] و روش‌های آماری[5]) روش‌های ریزمقیاس‌سازی آماری، بیشتر از سایر روش‌ها مورد توجه محققین قرار گرفته است. این گروه از روش‌های ریزمقیاس‌سازی که مدل SDSM[6] را نیز شامل می‌شود، کاهش مقیاس را مبتنی بر سابقه آماری پیشگوهای بزرگ مقیاس و پیش‌بینی شونده‌های موضعی پایه‌ریزی می‌نماید. برتری اصلی این روش و دلیل انتخاب این مدل در این پژوهش، اقتصادی بودن، سادگی و سرعت بالا در فرآیند ریزمقیاس‌سازی ناحیه‌ای می‌باشد (۲۳،۲۱،۹). مدل ریز مقیاس

1- General Circulation Model
2- Dynamical downscaling
3- Synoptic weather typing
4- Stochastic weather generation
5- Statistical methods
6- Statistical Downscaling model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

نمایی آماری SDSM توسط ویلبی و همکاران (۲۱)، به‌عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمودن به روش آماری توسعه یافته است. مبنای این مدل رگرسیون چند متغیره می‌باشد و پارامترهای اقلیمی چون بارش و دما را در درازمدت با توجه به سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی (متغیرهای NCEP)[1] پیش‌بینی می‌کند. به دلیل اینکه در مدل ریز مقیاس آماری، ساخت داده‌های هواشناسی با استفاده از ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی صورت می‌گیرد، لذا در طبقه‌بندی مدل‌های مختلف ریزمقیاس نمایی، از جمله بهترین مدل‌ها می‌باشد (۲۱). دیبیک و کولیبالی (۸) با استفاده از دو نوع تکنیک ریزمقیاس نمایی آماری (رگرسیونی و اعداد تصادفی) متغیرهای هواشناسی مانند بارندگی و دما را در کانادا پیش‌بینی نمودند سری‌های زمانی که به وسیله هر دو روش تولید می‌شود بیانگر افزایش در مقادیر میانگین بارندگی و دما، می‌باشد. با استفاده از اعداد تصادفی، افزایش معنی‌داری در میزان بارندگی مشاهده نشد.

در تحقیقی دیگر چو و همکاران (۷) در چین با استفاده از مدل HadCM3[2] تحت دو سناریوی A2 و B2 متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی و دما را شبیه‌سازی نمودند، نتایج بیانگر عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی بود. ژانگ و همکاران (۲۴)، در تحقیقی دیگر، با استفاده از مدل HadCM3، تغییرات دمایی را در دوره زمانی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) میلادی در آمریکا شبیه‌سازی نمودند. نتایج بیانگر افزایش دمای کمینه و بیشینه سالانه بود. لیو و همکاران (۱۴) میزان دما را در دوره (۲۰۹۹-۱۹۶۱) در چین پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان از افزایش پنج درجه سانتی‌گراد در دمای بیشینه و کمینه دارد. عزیزی و همکاران (۵) با استفاده از تحلیل‌های آماری چندمتغیره به بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور پرداخته‌اند. نتایج حاصله بیانگر این موضوع است که متغیرهای دمایی به ویژه میانگین حداقل دما، حداقل مطلق و دمای نقطه شبنم دارای روند تغییرات معنی‌دار ولی با جهت‌های متفاوت بودند. عباسی و اثمری (۲) با استفاده از خروجی دو الگوی گردش عمومی جو (ECHAM4 و HadCM2) و لحاظ نمودن ۱۸ سناریوی انتشار، شرایط اقلیم ایران را در دهه‌های۲۰۰۰، ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و۲۱۰۰ الگوسازی نمودند. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده نتایج هر دو الگو بیانگر افزایش دمای تمامی استان‌های کشورمان در دهه‌های آینده هستند. این دو الگو به طور میانگین، افزایش ۳ تا ۳/۶ درجه سانتی‌گراد را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کنند. سیاری و همکاران (۱۹) در حوزه کشف رود از مدل HadCM3، برای پیش‌بینی دما استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که دمای بیشینه و کمینه ماهانه، افزایش خواهد یافت. اشرف و همکاران (۴)، داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 را با بکارگیری مدل LARS-WG5 طبق سه سناریوی A1B، A2 و B1 تأیید شده IPCC، ریزمقیاس نموده و تغییرات فصلی دمای کمینه و بیشینه استان

1- National Centers for Environmental Prediction

2- Hadley Center General Circulation Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

خراسان رضوی را در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در ۲۰ سال آتی، دمای بیشینه استان خراسان رضوی، افزایش خواهد یافت. با توجه به اهمیت افزایش دما در نحوه زندگی و فعالیت‌های بشری، برای درک ماهیت پیچیده جو و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده، باید آن را مدلسازی نمود. هدف از این پژوهش بررسی اثر فرآیند تغییر اقلیم بر روند تغییرات دمایی در ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان و بم به نمایندگی از دو اقلیم خشک و فراخشک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در دو ایستگاه سینوپتیک کرمان و بم که قدیمی‌ترین آمار درجه حرارت در استان کرمان را دارا می‌باشند، انجام گرفته است. ایستگاه‌های مذکور به عنوان نماینده دو منطقه اقلیمی خشک و فراخشک در نظر گرفته شده است (۱۳).

روش دومارتن ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش طبقه‌بندی اقلیمی است که در اغلب پروژه‌های اقلیم‌شناسی به ویژه در سدسازی، کشاورزی و غیره استفاده می‌شود. این روش بر اساس رابطه (۱) بیان می‌گردد (۱۳).

$$I = \frac{P}{T+10} \qquad (1)$$

که در آن P، متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)، T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) و I ضریب خشکی دومارتن می‌باشد. روش دومارتن به دو علت کاربرد بیشتری در ایران دارد. اول اینکه برای محاسبه پارامتر ضریب خشکی در این فرمول، به دو عامل متوسط بارش سالانه و متوسط دمای سالانه نیاز است که هر دو در دسترس‌ترین عامل‌ها هستند. دوم اینکه این فرمول طبقه‌بندی بیشتری را در نظر می‌گیرد که می‌تواند اقلیم‌های متنوع‌تری را نشان دهد (۳). در روش دومارتن هشت نوع اقلیم مشخص گردیده که با توجه به مقدار I، از جدول ۱ تعیین می‌شود (۱۳). مشخصات جغرافیایی و نتایج حاصل از طبقه بندی اقلیمی صورت گرفته برای ایستگاه‌های کرمان و بم در جدول ۲ آورده شده است، که با نتایج خام چین مقدم و رضائی پژند (۱۳)، همخوانی دارد. دوره آماری برای هر دو ایستگاه از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۱ میلادی بوده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن

نوع اقلیم	فراخشک	خشک	نیمه خشک	حد واسط (مدیترانه‌ای)	نیمه مرطوب	مرطوب	خیلی مرطوب تیپ الف	خیلی مرطوب تیپ ب
مقدار I	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۲۴	۲۴-۲۸	۲۸-۳۵	۳۵-۵۵	>۵۵

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

جدول ۲- خصوصیات جغرافیایی، محاسبه ضریب خشکی و ناحیه‌بندی ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان و بم با استفاده از روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	بارش (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)	شاخص خشکی	نوع اقلیم
۱	کرمان	۵۶' ۵۸"	۳۰' ۱۵"	۱۷۵۳/۸	۱۴۹/۷	۱۵/۶	۵/۸۴	خشک
۲	بم	۵۸' ۲۱"	۲۶' ۹"	۱۰۶۶/۹	۶۰/۸۰	۲۳/۱	۱/۸۳	فراخشک

روش تحقیق

مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM)، برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال حاضر و در شرایط آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم بکار می‌رود که داده‌های آن به صورت سری‌های زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی، حداقل و حداکثر دما و سایر پارامترهای جوی می‌باشد.

در این پژوهش، جهت ریزمقیاس نمایی آماری، از داده‌های مدل HadCM3 با استفاده از نرم‌افزار SDSM، استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل، دماهای بیشینه، میانگین و کمینه روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان و بم، داده‌های NCEP (جدول ۳) و داده‌های مدل HadCM3، تحت سناریوی A2 و B2، می‌باشد که با فرمت dat. وارد مدل می‌شوند. مدل HadCM3، در مرکز تحقیقاتی HCCPR انگلستان اجرا شده است. این مدل دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است که توسط گردون و همکاران (۱۰) ارائه شده است.

جدول ۳- فهرست متغیرهای NCEP

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
۱	فشار سطح صفر	۱۴	سرعت مداری سطحی
۲	قدرت جریان هوای سطحی	۱۵	حالت گردابی سطحی
۳	سرعت نصف النهاری سطحی	۱۶	واگرایی سطحی
۴	جهت باد سطحی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۷	سرعت مداری در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۵	قدرت جریان هوا در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۸	حالت گردابی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۶	سرعت نصف النهاری در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۹	جهت باد در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۷	ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۰	واگرایی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	قدرت جریان هوا در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۱	سرعت مداری در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال
۹	سرعت نصف النهاری در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۲	حالت گردابی در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۰	ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۳	جهت باد در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۱	واگرایی در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۴	رطوبت نسبی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۲	رطوبت نسبی در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۵	رطوبت نسبی سطحی
۱۳	رطوبت ویژه سطحی	۲۶	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری

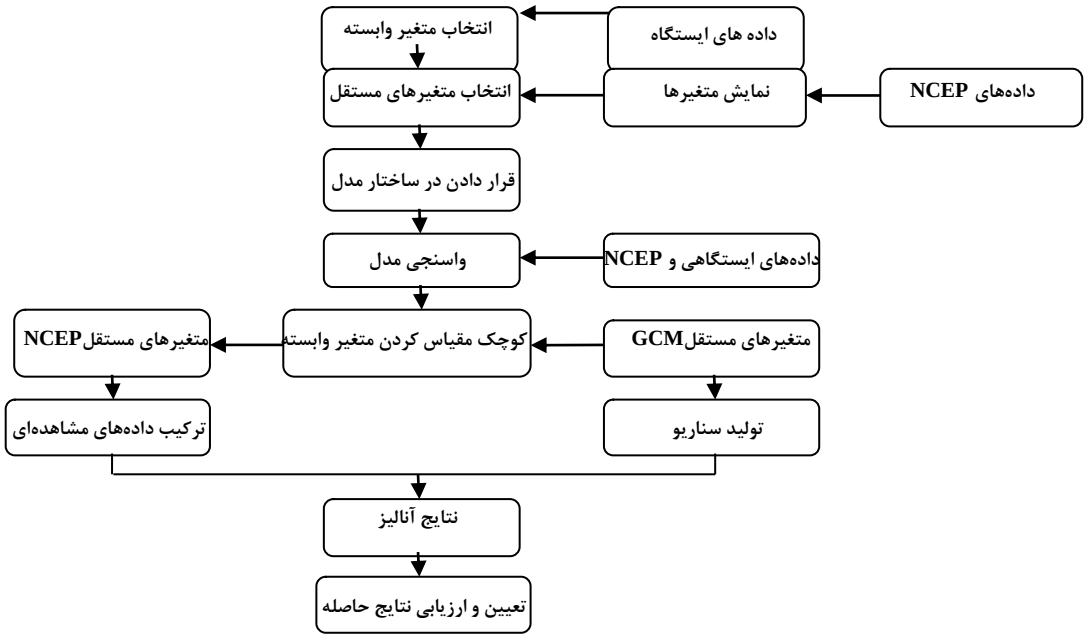
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است که از بین آنها، متغیرهای مستقل انتخاب می‌شوند. با توجه به اینکه متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP، می‌توانند روابط مختلفی با داده‌های پیش‌بینی شونده داشته باشد لذا متغیرهایی حائز اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین واریانس خطا باشند. یکی از مهمترین مراحل مدل ریزمقیاس نمایی آماری، انتخاب متغیرهای غالبی است که در مدل از آنها استفاده می‌شود. اهمیت این بخش ناشی از این است کـه مشخصات مدل و نتایج، تحت تأثیر مستقیم متغیرهای مستقل انتخاب می‌شود. به متغیرهای مستقل انتخاب شده از بین متغیرهای موجود، متغیرهای غالب گفته می‌شود. متغیرهای غالب باید از نظر فیزیکی با متغیرهای وابسته مرتبط بوده، و از نظر آماری همبستگی بالایی را با آن دارا باشند (۲۰). برای انتخاب متغیرهای مستقل غالب از مدل SDSM استفاده می‌شود. از میان متغیرها، ژئوپتانسیل (ارتفاع عمودی از سطح متوسط دریا به‌عنوان مرجع (۱۱)) در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، میانگین دما در ارتفاع ۲ متری و رطوبت نسبی سطحی (متغیرهای مستقل) بالاترین همبستگی را با متغیرهای وابسته (پارامترهای دمایی) دارا بودند.

در مطالعه حاضر از داده‌های دو سناریوی A2 و B2 مدل گردش عمومی جو HadCM3 با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری و به کارگیری مدل SDSM، استفاده شده است. با استفاده از داده‌های NCEP، مدل واسنجی می‌شود. از طریق داده‌های HadCM3، میزان دمای بیشینه، میانگین و کمینه ایستگاه‌های کرمان و بم برای سه دوره‌ی (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۷۰-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) میلادی پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه می‌گردد. مراحل کار مدل به طور خلاصه شامل هفت مرحله می‌باشد. کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای مستقل مناسب، واسنجی مدل، تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهده‌ای، آنالیز آماری داده‌های مشاهده شده، نمایش هندسی خروجی مدل و تولید داده‌های هواشناسی آینده با استفاده از متغیرهای مستقل می‌باشد (۲۲).

شکل (۱) روند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوی اقلیمی نرم‌افزار SDSM را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]



شکل ۱- فرآیند ریزمقیاس سازی و تولید سناریوی اقلیمی مدل SDSM

در نهایت به منظور ارزیابی و مقایسه دقت روش‌ها و سناریوهای مدل استفاده شده و شناسایی بهترین روش جهت پیش‌بینی دما، از معیارهای میانگین خطای مطلق[1] (رابطه ۲)، مجذور میانگین مربعات خطا[2] (رابطه ۳) و ضریب ناش- ساتکلیف (NS)[3] (رابطه ۴) استفاده شده است.

$$MAE = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{p_i - o_i}{n} \right| \qquad (۲)$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (p_i - o_i)^2}}{n} \qquad (۳)$$

$$NS = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (o_i - \bar{o}_i)^2} \right) \qquad (۴)$$

در روابط فوق o و p به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، $\bar{o}$، میانگین مقادیر مشاهده شده و n، تعداد داده‌ها می‌باشد.

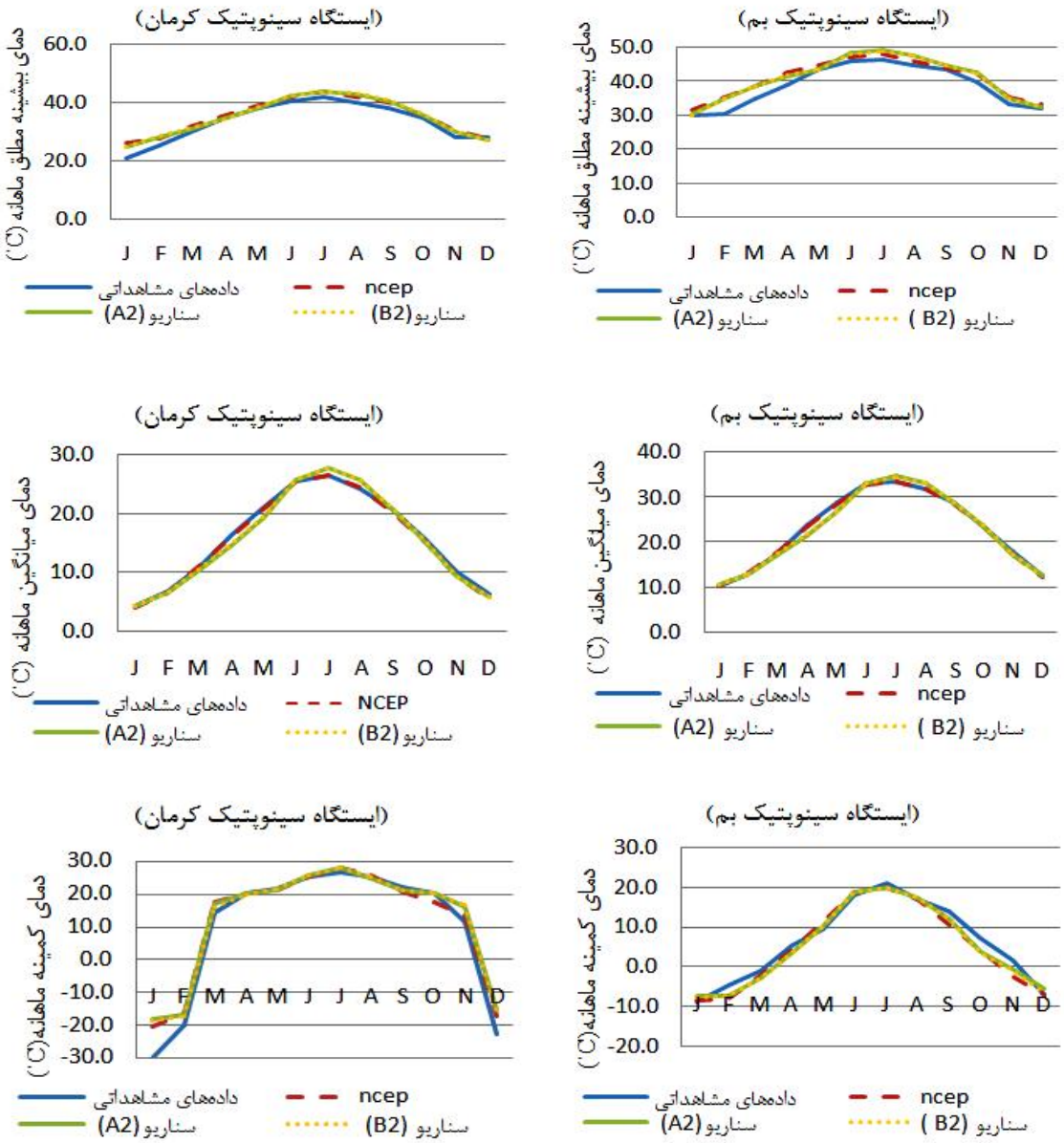
ایساکس و سریواستاوا (۱۲) پیشنهاد نمودند که MAE و RMSE می‌توانند به عنوان معیاری که هر دو ویژگی انحراف (اریبی) و دقت برآورد را، در بر دارند برای مقایسه دقت عامل‌های مختلف بکار روند. هرچه میزان MAE و RMSE کمتر باشد، نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل در برآورد پارامترهای دمایی می‌باشد. ضریب NS، نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده تا چه مقدار به خط رگرسیون با شیب ۱، خط اریب با شیب (۱:۱) نزدیک است. چنانچه مقدار NS معادل یک گردد، برازش کاملی را نشان می‌دهد و بیانگر انطباق کامل بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد (۱).

1- MAE 2- RMSE 3- Nash-Sutcliffe

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر بعد از انجام واسنجی و ارزیابی مدل، پارامترهای دمایی شامل دماهای بیشینه، میانگین و کمینه توسط مدل SDSM برای دوره‌ی (۲۰۰۱-۱۹۷۱) میلادی توسط داده‌های NCEP و همچنین سناریوهای A2 و B2 مدل HadCM3 در دو شهر کرمان و بم شبیه‌سازی شده و با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفته شده است (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه پارامترهای دمایی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره پایه ایستگاه‌های کرمان و بم

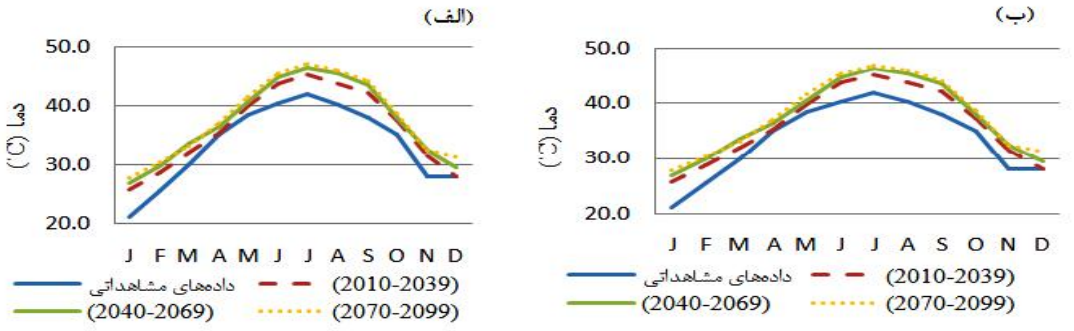
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

هرچه مقادیر MAE و RMSE کمتر و میزان ضریب ناش- ساتکلیف بیشتر باشد مدل از کارایی بالاتری برخوردار است. بر طبق مقادیر جدول ۴، NCEP و سناریوها در برآورد میزان دمای بیشینه و میانگین کرمان دارای کارایی و دقت بیشتری نسبت به ایستگاه سینوپتیک بم هستند. همچنین نتایج مقادیر میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا، نشان می‌دهند که در میان پارامترهای دمایی، مدل در برآورد میزان دمای کمینه در ایستگاه سینوپتیک کرمان کارایی کمتری دارد. مقادیر MAE و RMSE جدول ۴، نشان داد که پارامترهای دمایی پیش‌بینی شده در منطقه خشک کرمان، اختلاف معنی‌داری با داده‌های مشاهداتی (واقعی) ندارد و برآوردهای مدل مذکور در این منطقه، به واقعیت نزدیک‌تر است. لذا از کارایی بالاتری نسبت به منطقه فراخشک بم، برخوردار است. اما در مجموع، نتایج بیانگر عملکرد رضایت بخش مدل در هر دو منطقه می‌باشد.

دمای بیشینه مطلق ماهانه برآورد شده کرمان در دوره پایه و آینده در شکل ۳ نشان داده شده است. به طور متوسط درجه حرارت بیشینه مطلق ماهانه محاسبه شده توسط سناریو A2 در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی به ترتیب حدود ۳، ۴/۹ و ۶/۴ درجه سانتی‌گراد و در سناریو B2 حدود ۳/۳، ۴/۴ و ۵/۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

جدول ۴- محاسبه معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل

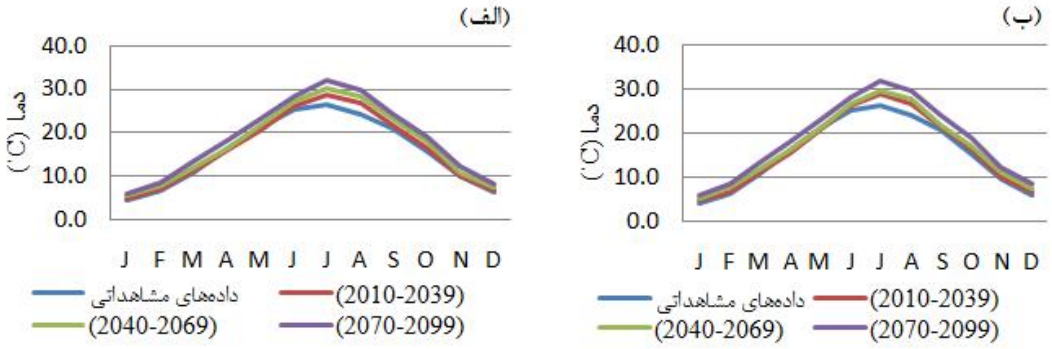
ایستگاه	متغیر	NCEP			سناریو A2			سناریو B2		
		MAE	RMSE	NS	MAE	RMSE	NS	MAE	RMSE	NS
کرمان	دمای بیشینه	۱/۷۱	۲/۱۲	۰/۸۹۳	۱/۸	۲/۰۸	۰/۸۹۷	۱/۸۳	۲/۱۰	۰/۸۹۵
	دمای میانگین	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۹۹۸	۰/۶۷	۰/۹۳	۰/۹۸۵	۰/۶۳	۰/۸۷	۰/۹۸۶
	دمای کمینه	۲/۴۹	۳/۶۱	۰/۹۶۷	۲/۷۵	۴/۳۹	۰/۹۵۱	۲/۶۲	۴/۲۵	۰/۹۵۴
بم	دمای بیشینه	۲/۱۸	۲/۵۱	۰/۸۲۵	۲/۰۶	۲/۳۸	۰/۸۴۱	۲/۰۲	۲/۳۸	۰/۸۴۲
	دمای میانگین	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۹۹۸	۰/۶۶	۱/۰۲	۰/۹۸۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۹۸۶
	دمای کمینه	۱/۶۹	۲/۱۳	۰/۹۶۶	۱/۵۹	۱/۷۸	۰/۹۷۰	۱/۵۴	۱/۸۰	۰/۹۵۲



شکل ۳- مقایسه دمای بیشینه مطلق ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده شهر کرمان توسط سناریو A2 (الف) و B2 (ب)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

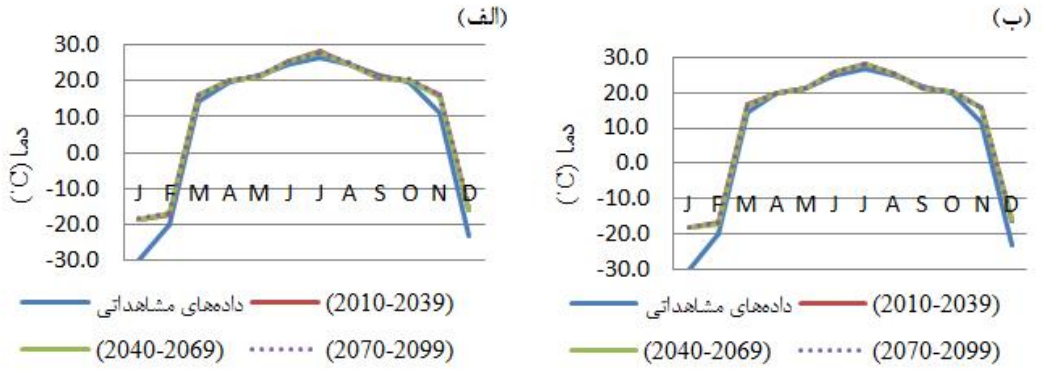
دمای میانگین ماهانه برآورد شده شهرکرمان در دوره پایه و آینده در شکل ۴ نشان داده شده است. به طور متوسط در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی در سناریو A2، به ترتیب، ۰/۸، ۱/۸ و ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و در سناریو B2، حدود ۰/۷، ۱/۵ و ۳/۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.



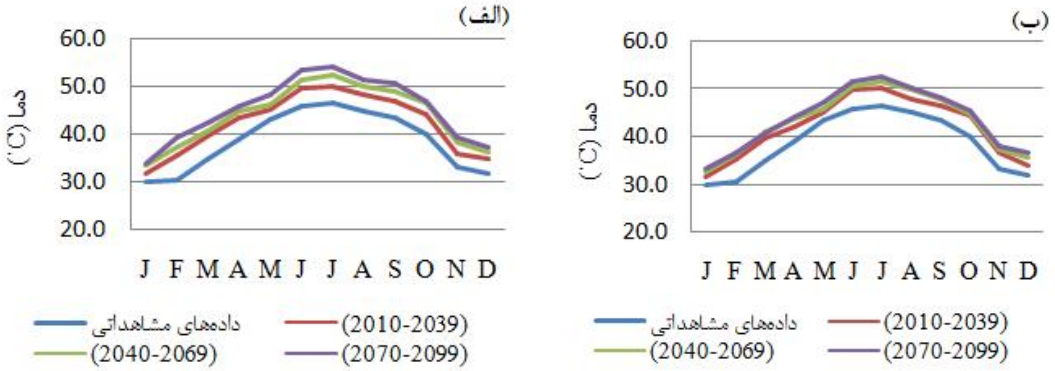
شکل ۴- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شهر کرمان توسط سناریو A2 (الف) و B2 (ب)

دمای کمینه ماهانه برآورد شده شهر کرمان در زمان حال و آینده در شکل ۵، نشان داده شده است. به طور متوسط دمای کمینه ماهانه در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی در سناریو A2، حدود ۱/۶، ۱/۴و۱/۶ درجه سانتی‌گراد و در سناریو B2، به ترتیب حدود ۱/۷، ۱/۴ و ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه، افزایش خواهد یافت. دمای ۳۰- درجه، که در تاریخ ۷ ژانویه ۱۹۷۳ میلادی در ایستگاه سینوپتیک کرمان ثبت شده است، تا حدی از دقت مدل کاسته است. دمای بیشینه مطلق ماهانه برآورد شده شهر بم در زمان حال و آینده در شکل ۶ نشان داده شده است. به طور متوسط دمای بیشینه مطلق در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی در سناریو A2، به ترتیب حدود ۳/۹، ۶/۱ و ۷/۸ درجه سانتی‌گراد و در سناریو B2 حدود ۴، ۵/۳ و ۶/۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

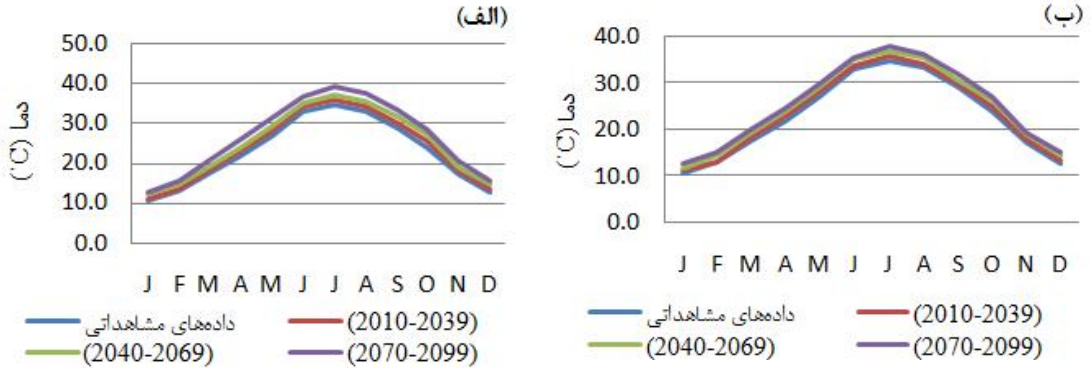
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]



شکل ۵- مقایسه دمای کمینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده شهر کرمان توسط سناریو A2 (الف) و B2 (ب)



شکل ۶- مقایسه دمای بیشینه مطلق مشاهداتی و شبیه‌سازی شده شهربم توسط سناریو A2 (الف) و B2 (ب)

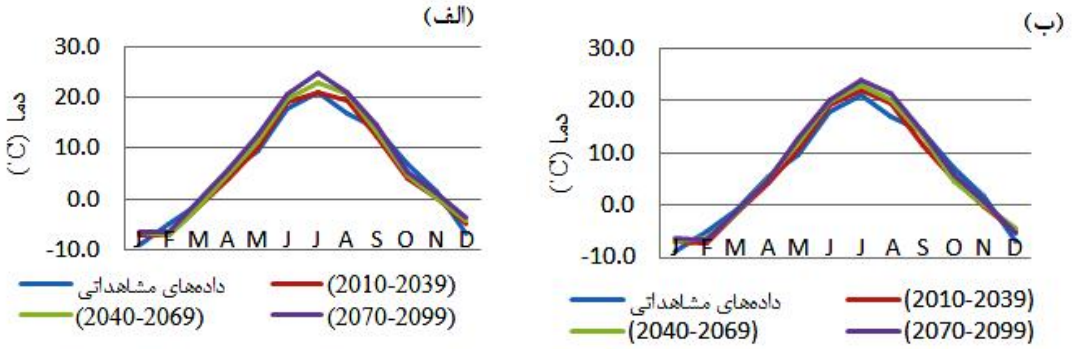


شکل ۷- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده شهر بم توسط سناریو A2 (الف) و B2 (ب)

مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و برآوردی شهر بم در شکل ۷ نشان داده شده است. به طور متوسط درجه حرارت میانگین ماهانه در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی در سناریو A2 به ترتیب حدود ۱، ۲/۲ و ۳/۷ درجه سانتی‌گراد و در سناریو B2 حدود ۱، ۱/۹ و ۲/۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به زمان حال افزایش می‌یابد. دمای کمینه ماهانه برآورد شده شهر بم در زمان حال و آینده در شکل ۸ نشان داده شده است. به طور متوسط دمای کمینه ماهانه در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی در سناریو A2، به ترتیب حدود ۱/۱، ۱/۳۰ و ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد و در سناریو B2، به ترتیب حدود ۱/۱، ۱/۵۷ و ۱/۴۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به زمان حال افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش دما در هر دو سناریو مربوط به ماه‌های ژوئن تا آگوست می‌باشد و در سایر ماه‌ها افزایش دما چندان محسوس نیست.



شکل ۸- مقایسه دمای کمینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده شهر بم توسط سناریو A2 (الف) و B2 (ب)

در این پژوهش هر چند آنالیز نتایج خروجی دو سناریو منجر به نتایج یکسانی نشد ولی هر دو سناریو بیانگر افزایش در متغیرهای دمایی در دو شهر کرمان و بم در دوره‌های آتی می‌باشد. در مطالعه‌ای مشابه که توسط عباسی و اثمری (۲) برای پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران با استفاده از سناریوهای مختلف الگوی HadCM2 و ECHAM4 و همچنین تورینی و حسامی کرمانی (۲۰) با استفاده از مدل ASD، انجام شده، در مورد میزان دمای کرمان این روند مشاهده شده است و نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان دما تا سال ۲۱۰۰ می‌باشد. در بین دهه‌های مورد مطالعه، دهه ۲۱۰۰ بیشترین افزایش دما را نسبت به دوره پایه خواهد داشت. در جمع‌بندی کلی آنالیز روند تغییرات دما نشان داد که اقلیم منطقه در حال تغییر بوده و روند افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری می‌کند لذا ضروری است که مسوولین و برنامه ریزان استان در بخش‌های کشاورزی و منابع آب راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید اتخاذ نمایند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

منابع

1. Ababei, B. and T. Sohrabi. 2009. Assessing the performance of SWAT model in Zayandeh Rud watershed. Journal of Water and Soil Conservation, 16(3): 41-58. (In Persian)
2. Abbasi, F. and M. Asmari. 2011. Forecasting and assessment of climate change over Iran during future decades by using MAGICC-SCENGEN model. Journal of Water and Soil, 25(1): 70-83. (In Persian)
3. Alizadeh, A. 2002. Principles of applied hydrology 4th Ed. Astan Qods Razavi Press, Mashhad, Iran, 625 pp. (In Persian)
4. Ashraf, B., M. Mousavi Baygi, M. Kamali and K. Davari. 2011. Prediction of seasonal variations of climatological parameters over next 20 years by using statistical downscaling method of HadCM3 data. Journal of Water and Soil, 25(4): 945-957. (In Persian)
5. Azizi, G.H., A. Shamsipour and D. Yarahmadi. 2009. Detection climate change using multivariable statistical analysis in west of Iran. Physical Geography Research Quarterly, 66: 19-35. (In Persian)
6. Babaeian, I., Z. Najafi Nik, F. Abassi, M. Habibi Nokhandan, H. Adab and S. Malbusi. 2009. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using Statistical downscaling of ECHO-G data. Journal of Geography and Development, 16: 135-152. (In Persian)
7. Chu, J.T., J. Xia, C.Y. Xu and V.P. Singh. 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios In Haihe River, China. Theoretical and Applied Climatology, 99: 149-161.
8. Dibike, Y.b. and P. Coulibaly. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. Journal of Hydrology, 307: 145-163.
9. Fowler, H.J., S. Blenkinsop and C. Tebaldi. 2007. Linking climate change modeling to impacts studies: Recent advances in downscaling techniques for hydrologic modeling. International Journal of Climatology, 27: 1547-1578.
10. Gordon, C., C. Cooper, C.A. Senior, H. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell and Wood R.A. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. Journal of Climate Dynamics, 16: 147-168.
11. http://en.wikipedia.org/wiki/Geopotential_height.
12. Isaaks, E.H. and R.M. Serivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. 2nd edn, Oxford University Press, USA, 561 pp.
13. Khamchin Moghaddam, F. and H. Rezaee Pajand. 2009. Criticising de martonne regionalization method according to linear moments for maximum daily precipitation in Iran. Journal of Technical-Engineering, 2(2): 93-103. (In Persian)
14. Liu, L., Z. Liu, X. Ren, T. Fischer and Y. Xu. 2011. Hydrological impacts of climate change in the yellow river basin for the 21st century using hydrological model and statistical downscaling model. Journal of Hydrology, 244: 211-220.
15. Mander, W.J. 1994. Dictionary of global climatic change. 2nd edn, VCL Press, London, England, 262 pp.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

16. National Research Council. 2000. Reconciling Observations of Global Temerature Change. National Academy Press, Washington D.C., USA, 85 pp.
17. Samadi, S., K. Ehteramian and B. Sari Sarraf. 2011. SDSM ability in simulate predictors for climate detecting over Khorasan province. Procedia Social and Behavioral Sciences, 19: 741-749. (In Persian)
18. Santer, B.D., K.E. Taylor, T.M. Wigley, T.C. Johns, P.D. Jones, D.J. Karoly, J.F.B. Mitchell, A.H. Oort, J.E. Penner, V. Ramaswamy, M.D. Schwarzkopf, R.J. Stouffer and S. Tett. 1996. A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere. Nature, 382: 39-46.
19. Sayari, N., A. Alizadeh, M. Bannayan Awal, A. Farid Hossaini and M.R. Hesami Kermani. 2011. Comparison of two GCM models (HadCM3 and CGCM2) for the prediction of climate parameters and crop water use under climate change (Case Study: Kashafrood Basin). Journal of Water and Soil, 25(4): 912-925. (In Persian)
20. Tourini, N. and M.R. Hessami Kermani. 2011. Forecasting maximum, minimum and mean temperature by use of neuro-fuzzy algorithm in Kerman station. 5th National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources. 1-13 pp, Kerman, Iran. (In Persian)
21. Wilby, R.L., C.W. Dawson and E.M. Barrow. 2002. SDSM- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Journal of Environmental Modeling and Software, 17: 147-159.
22. Wilby, R.L. and C.W. Dawson. 2008. Using SDSM version 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. user manual, 94 pp.
23. Xu, C.Y. 1999. From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. Progress in Physical Geography, 23: 229-249.
24. Zhang, X.C., W.Z. Liu and J. Chen. 2011. Trend and uncertainty analysis of simulated climate change impacts with multiple GCMs and emission scenarios. Agricultural and Forest Meteorology, 151: 1297-1304.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam)

Maryam Rezaei[1], Mohammad Nohtani[2], Alijan Abkar[3], Masoumeh Rezaei[4] and Mehri Mirkazehi Rigi[1]

1-Former M.Sc. Student, University of Zabol

2- Assistant Professor, University of Zabol, (Corresponding author: m_nohtani@yahoo.com)

3- Ph.D of Watershed Management Engineering, Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center

4- Instructor, University of Sistan & Baluchestan

Received: February 14, 2013 Accepted: September 30, 2013

Abstract

Statistical downscaling methods are widely used for prediction of climatic variables e.g. temperature because of importance of these factors in environmental planning and management. In this study, the performance of Statistical Downscaling Model (SDSM) was investigated to predict temperature. The input data of the study include minimum, maximum and mean temperature of Kerman and Bam Synoptic stations, NCEP (National Centers for Environmental Prediction) data and the A2 and B2 emission scenarios HadCM3 for the reference period, 1971-2001. The first 15 years data (1971-1985) was applied for the calibration and the second 15 years data (1986-2001) for model validation. Temperature for three periods including 2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099 was predicted and then compared with the temperature data of reference period i.e.1971-2001 using HadCM3A2, B2 data. Statistical measures of model performance such as Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), Nash-Sutcliffe efficiency (NS) and the analysis of output results from SDSM model shown that this model is able to predict temperature indexes more accurately in arid climate than in hyper-arid climate. The results indicate temperatures rising in all months for both stations.

Keywords: Bam, Climate change, Temperature, Kerman, SDSM model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]