

پیش بینی تأثیر تغییر اقلیم بر فراسنج دما با استفاده از نرم افزار گردش عمومی جو

HadCM3

(مطالعه موردی: کرمان و بم)

علی نشاط^{۱*}، یاسمین سجادی بمی^۲

چکیده:

افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب بر هم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین و به تبع آن تغییر اقلیم می‌شود، برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم نرم افزار های گردش عمومی جو به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. نرم افزار های گردش عمومی جو تنها قادر به شبیه سازی فراسنج اقلیم در سطوح بزرگ هستند، جهت استفاده از این نرم افزارها لازم است، داده‌ها به وسیله ی روش‌های مختلف، ریزمقیاس گردند. هدف این تحقیق، بررسی پدیده تغییر اقلیم بر فراسنج دمای روزانه ایستگاه کرمان و بم می‌باشد، از نرم افزار گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو نمایشنامه‌ی A2 و B2 استفاده شد و خروجی‌های نرم افزار HadCM3 برای سه دوره آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ با نرم افزار آماری SDSM کوچک مقیاس گردید. نتایج آزمون آماری t حاکی از معنی دار بودن تغییرات دما همه ماه‌ها در هر سه دوره آماری نسبت به دوره مشاهداتی بود. بنا بر نتایج کوچک مقیاس سازی تا پایان قرن حاضر مبه وسیله ی دما ایستگاه کرمان و بم ۳-۵ درجه افزایش خواهد داشت و بیشترین افزایش دما در فصل تابستان خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، نرم افزار های گردش عمومی جو، HadCM3، نرم افزار SDSM

^۱ - دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

^۲ - دانشجوی دکتری منابع آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

مقدمه:

کردن خروجی‌های GCM به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه مورد مطالعه تبدیل می‌شوند و به طور کلی کوچک مقیاس کردن به عنوان یک عامل ایجاد کننده ارتباط بین چرخه‌های بزرگ مقیاس (پیش‌بینی کننده‌ها) و متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی (پیش‌بینی شونده‌ها) تعریف شده‌است ویلی و همکاران (۲۰۰۲). در حال حاضر روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلف کوچک مقیاس کردن ارائه شده است که یکی از این روش‌ها استفاده از نرم‌افزار SDSM^۵ می‌باشد. ویلی و همکاران (۲۰۰۲) اولین نسخه SDSM را برای ریزمقیاس کردن به روش آماری ارائه نمودند. این نرم‌افزار برای پیش‌بینی فراسنج‌های اقلیمی، مانند بارش و دما در دراز مدت، با توجه به علامت‌های بزرگ مقیاس اقلیمی استفاده می‌شود. در زمینه بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم در آینده بر فراسنج‌های اقلیمی در مناطق مختلف تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است، از جمله خان و همکاران (۲۰۰۶)، در زمینه پیش‌بینی افزایش دما تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم عدم قطعیت‌های مشاهده شده در نتایج ریز مقیاس شده بارش روزانه و حداقل و حداکثر روزانه دما که از سه نرم افزار ریزمقیاس کننده آماری SDSM، LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از ارزیابی عدم قطعیت، نشان دهنده آن است که نرم افزار کوچک مقیاس کردن آماری (SDSM)، خصوصیات مختلف آماری را بهتر از دو نرم افزار دیگر توانسته است در مقادیر ریزمقیاس شده حفظ نماید. عباسی و همکاران (۱۳۸۹) خروجی دو نرم افزار گردش عمومی جو HadCM2 و CHAM4 تحت ۱۸ نمایشنامه‌ی انتشار ریزمقیاس کردند نتایج هر دو نرم‌افزار بیانگر افزایش دمای تمامی استان‌های کشور در دهه‌های آینده بود.

ذهبیون و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی اثر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قره‌سو پرداختند و برای ارزیابی این پدیده از داده‌های نرم افزار اقلیمی HadCM3 تحت نمایشنامه‌ی A₂ استفاده کردند نتایج نشان داد که دمای منطقه در ماه‌های مختلف ۴-۱ درجه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

برطبق گزارش هیئت بین دول تغییرات اقلیم (IPCC)^۱، مبه وسیله‌ی دمای هوا و اقیانوس‌ها در قرن بیستم، بین ۰.۲-+۰.۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و بیشترین افزایش دما در خلال سال‌های ۱۹۴۵-۱۹۱۰ و ۲۰۰۰-۱۹۶۷ رخ داده است. در سال ۲۰۰۱، هیئت بین دول تغییرات اقلیم، در گزارش سالیانه خود اعلام کرد که جهان پس از صنعتی شدن، گرم تر شده‌است. به طوری که روند افزایشی دمای کره زمین در طی ۱۵۰ سال اخیر، شدت گرفته و یکی از دلایل اصلی این رخداد فعالیت انسان و ورود بیش از حد گازهای گلخانه‌ای (GHG)^۲، به نیوار کره زمین بوده است. در همین گزارش اعلام شد که با افزایش گازهای گلخانه‌ای بر اساس نمایشنامه‌های مختلف پخش (RSES)^۳، دمای مبه وسیله‌ی زمین تا پایان قرن حاضر، طبق نتایج نرم‌افزارهای گردش عمومی مختلف که اجرا شده‌است، بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت ابریشمچی و حسینی (۱۳۸۸). امروزه یکی از چالش‌های بزرگ دانشمندان و محققین، پیش‌بینی اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای در مقیاس جهانی، قاره‌ای و منطقه‌ای در ۵۰ تا ۱۰۰ سال آینده می‌باشد و انتظار می‌رود تغییرات قابل توجه ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بر روی دمای هوا، دمای سطح دریا، افزایش ارتفاع سطح دریا، شدت و فراوانی وقایع حداکثر جوی رخ دهد هارمسن و همکاران (۲۰۰۹). طبق گزارش ارزیابی چهارم هیئت بین دول تغییر اقلیم (AR4)^۴، که بر پایه مجموعه داده‌های بسیاری از طرح‌های تغییر اقلیم در آینده که به وسیله ی ۱۸ گروه جهانی نرم افزارسازی، ارائه شده‌اند، چندین نرم افزار گردش عمومی جو^۴ (GCM) و نمایشنامه‌های مختلف انتشار ارائه و اجرا شده‌اند ایپس (۲۰۰۱). با توجه به اینکه پدیده تغییر اقلیم همه مناطق و حوضه‌ها را به یک اندازه تحت تاثیر خود قرار نمی‌دهد لازم است که تاثیر تغییر اقلیم بر فراسنج‌ها در مناطق مختلف در مقیاس حوضه سنجیده شود. اما نرم‌افزارهای گردش عمومی جو بزرگ مقیاس بوده و با استفاده از روش‌های کوچک مقیاس

^۱- Intergovernmental Panel of Climate Change

^۲-Green house gas

^۳-Special Reports on Emission Scenario

^۴- General Circulation Model

^۶ - Statistical Downscaling Model

شرح جدول (۱) خلاصه نمود. از جدول ۱ چنین مشاهده می‌شود که اقلیم استان کرمان تنها در شهرستان بافت نیمه‌خشک و بیشتر شهرستان‌ها دارای اقلیم فراهشک و بیابانی می‌باشد اداره هواشناسی استان کرمان (۱۳۹۲).

داده‌های مورد استفاده: داده‌های مورد استفاده در

این تحقیق، شامل دو گروه داده‌های مشاهداتی و نرم افزار می‌باشند که داده‌های مشاهداتی روزانه مربوط به دمای روزانه است. این داده‌ها در دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۶۱ از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. با توجه به اینکه برای ریزمقیاس کردن با استفاده از نرم افزار SDSM، داده‌های مشاهداتی فرانسج دما در دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۱ مورد نیاز می‌باشد، لذا تنها ایستگاه‌هایی که آمار و اطلاعات کافی در این دوره زمانی را دارند ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان و بم می‌باشند، مشخصات ایستگاه‌های فوق در جدول ۲ ارائه شده است. داده‌های مورد نیاز از نرم افزار گردش عمومی HadCM3، از پایگاه^۱ CISG، اخذ و برون‌داد نرم افزار یاد شده تحت دو نمایشنامه‌ی A2, B2 با استفاده از نرم‌افزار SDSM کوچک مقیاس شده‌اند فرانسجهای دمای روزانه تا سال ۲۰۹۹ پیش‌بینی گردیده است برای پیش‌بینی تغییرات فرانسجهای روزانه دما در سه دوره آماری ۲۰۱۱-۴۰، ۲۰۱۱-۷۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۱ و ۲۰۷۱-۹۹ با داده‌های دوره ۱۹۶۱-۹۰ برای تشخیص معنی دار بودن تغییرات دما در دوره‌های آماری استفاده گردیده است.

نرم افزار گردش عمومی HadCM3^۲:

از نوع نرم افزارهای گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی^۳ (AOGCM) است و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. نرم‌افزار HadCM3، از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های HadAM3 (نرم افزار جوی) و HadOM3 (نرم‌افزار اقیانوسی) که دارای یک نرم‌افزار یخ-دریا نیز می‌باشد، تشکیل شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم از داده‌های نرم افزار گردش عمومی HadCM3 برای تهیه گزارش سوم استفاده کرده

رجبی (۱۳۹۰) برای پیش‌بینی تغییر اقلیم از سه نمایشنامه‌ی A1, B2, A2 بر اساس دو نرم‌افزار گردش اقلیم HADCM3, CGCM1 و برای ریزمقیاس نمایی از نرم افزار SDSM استفاده کرد و به تحلیل عدم قطعیت نرم‌افزارهای فوق پرداخت و به این نتیجه رسید که متغیرهای پیش‌بینی کننده CGCM1، همبستگی قابل قبولی با بارندگی ندارد؛ لذا تنها داده‌های بارندگی نرم افزار HadCM3 ریزمقیاس نمود و نتایج نشان داد؛ عدم قطعیت میانگین‌ها و واریانس در حداقل و حداکثر دمای روزانه نرم افزار CGCM نسبت به HADCM3 کمتر و نزدیک‌تر به داده‌های مشاهداتی می‌باشد و حداقل و حداکثر دمای روزانه در همه نمایشنامه‌ها، در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ افزایش خواهد یافت. در این تحقیق به منظور درک بهتر تاثیر تغییر اقلیم بر فرانسج دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان و بم خروجی نرم‌افزار گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو نمایشنامه‌ی A2, B2، در سه دوره آماری ۲۰۱۱-۴۰، ۲۰۱۱-۷۰ و ۲۰۴۱-۹۹-۲۰۷۱ با نرم افزار SDSM ریزمقیاس گردید و با داده‌های مشاهداتی دوره ۱۹۶۱-۹۰ مقایسه گردید، و از آزمون t برای تشخیص معنی دار بودن تغییرات دما در دوره‌های آماری استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی:

الف-موقعیت جغرافیایی استان کرمان در جنوب شرقی ایران واقع شده‌است. از شمال با استان‌های خراسان و یزد، از جنوب با استان هرمزگان، از شرق با سیستان و بلوچستان و از غرب با استان فارس همسایه است. مساحت این استان حدود ۱۷۵۰۶۹ کیلومترمربع است و بین ۵۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی و ۲۶ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. استان کرمان پهناورترین استان کشور است و حدود ۱۱ درصد از خاک ایران را در بر گرفته است. این استان یکی از مرتفع‌ترین استان‌های کشور است، شهرستان بافت، با ۲۲۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا مرتفع‌ترین شهرستان استان می‌باشد.

ب-اقلیم استان کرمان: با توجه به شاخص اقلیمی دوماراتن. می‌توان اقلیم مناطق مختلف استان کرمان را به

¹-Canadian Climate Change Impacts Scenarios Group

²-Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model

³- Atmosphere-Ocean General Circulation Models

جدول ۱- طبقه بندی اقلیمی استان کرمان به روش دو مارتن (اداره هواشناسی استان کرمان، ۱۳۹۲).

نام شهر	کرمان	بم	سیرجان	انار	بافت	شهربابک	جیرفت	کهنوج	رفسنجان
اقلیم	بیابانی	فراخشک	بیابانی	فراخشک	نیمه خشک	بیابانی	بیابانی	بیابانی	فراخشک

جدول ۲- مشخصات ایستگاه های سینوپتیک.

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	میانگین دما (درجه)	دوره آماری
۱	بم	۶° ۲۹'	۲۱° ۵۸'	۱۰۶۶/۹	۲۲.۹	۱۹۶۱-۲۰۰۱
۲	کرمان	۱۵° ۳۰'	۵۸° ۵۶'	۱۷۵۳/۸	۱۵.۹۶	۱۹۶۱-۲۰۰۱

می‌شود. در این حالت رابطه مستقیم میان پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها در نظر گرفته می‌شود ویلی و همکاران (۲۰۰۲).

معیارهای ارزیابی نتایج

آزمون t-test: آزمون t میانگین‌ها و انحراف معیارهای دو جامعه را با هم مقایسه می‌کند تا وجود اختلاف معنی‌دار بین آنها مشخص شود. برای این منظور ابتدا باید فرض H_0 و H_1 را تعیین نمود و سپس عدد t را محاسبه نمود. هرگاه تعداد مشاهدات، میانگین و نیز واریانس نمونه اول به ترتیب S_1^2, X_1, n_1 و نمونه دوم به ترتیب S_2^2, X_2, n_2 فرض شود، در این صورت t از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{(s_1)^2}{n_1} + \frac{(s_2)^2}{n_2}}} \quad (1)$$

به منظور ارزیابی کارایی و دقت نرم‌افزار SDSM برای پیش‌بینی فراسنج‌های دما از معیارهای ارزیابی خطای مبه وسیله $(MBE)^{13}$ ، خطای مطلق $(MBE)^{13}$ ، خطای نسبی $(RE)^{14}$ و ضریب کارایی نرم‌افزار $(EF)^{15}$ استفاده شد.

$$BE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \cdot 100 \quad (3)$$

$$RE = \frac{MBE}{\bar{O}} \quad (4)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

در این روابط P_i : مقدار دمای برآورد شده، O_i : مقدار دمای پیش‌بینی شده، \bar{O} : میانگین مقدار اندازه‌گیری شده،

است (در گزارش دوم از برون‌داد نرم‌افزار HadCM2 استفاده شد). شبیه‌سازی‌ها بر مبنای تقویم سال ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی، مهم‌ترین مزیت این نرم‌افزار می‌باشد. از جمله دیگر مزیت این نرم‌افزار هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی آن می‌باشد و دارای قدرت تفکیک افقی ۲.۵ در ۳.۷۵ درجه عرض و طول جغرافیایی می‌باشد که معادل ۹۶ در ۷۳ نقطه شبکه‌ای در کل کره زمین می‌باشد بابائیان (۱۳۸۵).

نرم‌افزار ریزمقیاس SDSM:

SDSM یک تولید کننده جوی آماری است که برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال حاضر و در شرایط آینده تحت تأثیر اقلیم به کار می‌رود و داده‌های آن به صورت گروه‌های زمانی برای یک گروه از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی (mm) حداقل و حداکثر دما (c) و سایر فراسنجهای جوی می‌باشد. در طی فرایند ریزمقیاس کردن در این نرم‌افزار، یک وایازی خطی چند متغیره میان تعداد محدودی از متغیرهای پیش‌بینی شونده در مقیاس محلی، همچون بارش و دما توسعه می‌یابد. فراسنجهای معادله وایازی با استفاده از الگوریتم سیمپلکس دوگانه تخمین زده می‌شوند. پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس مناسب با استفاده از تحلیل‌های همبستگی جزئی و همچنین با توجه به حساسیت فیزیکی میان پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها در محدوده حوزه مطالعاتی انتخاب می‌شوند. این نرم‌افزار به صورت یک نرم‌افزار ماهانه برای داده‌های بارش روزانه ساخته شده‌است که در دوازده معادله وایازی برای ۱۲ ماه سال ساخته می‌شود و در این نرم‌افزار دما به صورت یک فرایند غیر شرطی وارد نرم‌افزار

خطای نسبی (RE) و ضریب کارایی نرم‌افزار (EF) استفاده شد. همانگونه که نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی نرم‌افزار، در جدول ۴ نشان می‌دهد، نرم‌افزار SDSM از توانایی بالایی در پیش‌بینی فراسنج دمای ایستگاه بم و کرمان برخوردار است.

با تحلیل آماری نتایج نرم‌افزارسازی دو ایستگاه سینوپتیک بم و کرمان، ملاحظه گردید که بین دمای میانگین روزانه نرم‌افزار و مشاهداتی تطابق خوبی وجود دارد و شکل ۱ مقادیر میانگین ماهانه دمای روزانه حاصل از نرم‌افزار مربوط به دوره صحت‌سنجی نرم‌افزار با مقادیر مشاهداتی آن دوره مقایسه شده‌است.

پیش‌بینی تغییرات دمای روزانه:

ایستگاه بم: مقادیر شبیه‌سازی شده میانگین دمای روزانه به وسیله‌ی نرم‌افزار HadCM3 برای دوره‌های زمانی ۴۰-۲۰۱۱، ۷۰-۲۰۴۱ و ۹۹-۲۰۷۱ ایستگاه بم در جدول ۵ آورده شده‌است. جدول ۵ میانگین ماهانه دمای روزانه مشاهداتی و محاسباتی را در طول سال و فصول مختلف نشان می‌دهد. نتایج آزمون t ، بر روی دوره‌های آماری داده‌های دمای روزانه ایستگاه بم انجام گردید و نتایج آزمون t در جدول ۶ ارائه شده‌است. نتایج آزمون t نشان دهنده این است که تغییرات دما در همه دوره‌های آماری و تحت نمایشنامه‌های A2, B2 دارای افزایش معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. نتایج حاصل از پیش‌بینی دما در ایستگاه سینوپتیک بم حاکی از آن است که روند افزایش دما در هر دو نمایشنامه‌ی A2, B2 در دوره آماری ۹۹-۲۰۷۱ از دوره‌های آماری ۴۰-۲۰۱۱ و ۷۷-۲۰۴۱ بیشتر است و پیش‌بینی دما با استفاده از نرم‌افزار HadCM3 تحت نمایشنامه‌ی A2 افزایش دمای بیشتری را نسبت به نمایشنامه‌ی B2 نشان می‌دهد.

میانگین سالانه افزایش دما در شهرستان بم تحت نمایشنامه‌ی A2 در دوره‌های آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ به ترتیب به میزان ۱، ۲، ۴۸، ۲۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه است. بیشترین افزایش میانگین فصلی دما در فصل تابستان است که در دوره‌های آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ به ترتیب ۱، ۵۲، ۹۱، ۲، ۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه است. بیشترین افزایش دمای ماهانه مربوط به ماه ژوئیه که در دوره‌های آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ به ترتیب

n: تعداد نقاط است مقادیر خطایی مبه وسیله‌ی، مطلق و نسبی در حالت بهینه یا حالتی که مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند برابر صفر و مقدار کارایی یا بازده نرم‌افزار در این حالت برابر یک می‌باشد.

خطایی مبه وسیله‌ی شاخصی از مقایسه با مقادیر پایه است به طوری که مقدار نزدیک به صفر آن بیان‌کننده آن است که مبه وسیله‌ی مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مشابه است. در ضمن علامت مثبت آن نشان دهنده این است که نرم‌افزار مقادیر را بیشتر تخمین می‌زند و علامت منفی نشان‌دهنده آن است که نرم‌افزار مقادیر را کمتر پیش‌بینی می‌کند. مقدار خطای مطلق بیشتر بیان‌کننده دقت نرم‌افزار است که با افزایش آن دقت نرم‌افزار کم و با کاهش آن دقت نرم‌افزار افزایش می‌یابد. مقدار کارایی نرم‌افزار نیز نشان‌دهنده خوبی برازش داده‌ها می‌باشد و از منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها تغییر می‌کند.

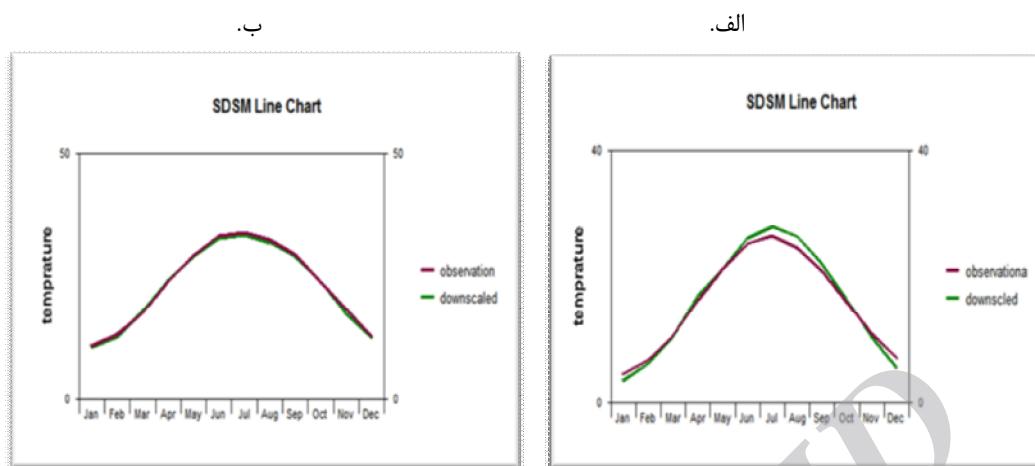
نتایج و بحث:

انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده: در این تحقیق جهت انتخاب مؤثرترین متغیرهای پیش‌بینی کننده از میان ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده مؤثر در محدوده، همبستگی میان پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها، برای دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۶۱ میلادی در دو ایستگاه بم و کرمان محاسبه شد، با توجه به ضرایب همبستگی و p -value در هر دو ایستگاه سه متغیر فشار مبه وسیله‌ی سطح دریا (MSLP)، توان زمینی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (P500) و دمای مبه وسیله‌ی (TEMP) دارای بیشترین ضریب همبستگی با فراسنج دما می‌باشند و به عنوان پیش‌بینی کننده فراسنج‌های دمای روزانه انتخاب شدند.

واسنجی نرم‌افزار: با توجه به طول دوره آماری که ۲۰۰۱-۱۹۶۱ می‌باشد، داده‌های دوره آماری ۱۹۸۰-۱۹۶۱ را برای واسنجی نرم‌افزار، و از داده‌های دوره ۲۰۰۱-۱۹۸۱ برای تولید داده‌های تاریخی مرحله صحت‌سنجی استفاده شده است. نتایج حاصل از واسنجی نرم‌افزار در جدول ۲ آمده است:

به منظور ارزیابی کارایی و دقت نرم‌افزار SDSM برای پیش‌بینی فراسنج‌های دما از معیارهای ارزیابی خطای مبه وسیله‌ی (MBE)، خطای مطلق (MBE)،

۱.۸۷، ۳.۲۵، ۵.۰۴ نسبت به میانگین همین ماه در دوره پایه است.



شکل ۱- مقایسه میانگین ماهانه دمای مشاهداتی و دمای پیش بینی شده به وسیله ی نرم افزار در دوره ۲۰۰۱-۱۹۸۱ (صحت سنجی) (الف- ایستگاه کرمان وب) ایستگاه بم.

جدول ۳- نتایج حاصل از واسنجی نرم افزار در ایستگاه های بم و کرمان.

ایستگاه کرمان		ایستگاه بم		ماه
SE	Rsquared	SE	Rsquared	
۳/۶۱۶	۰/۳۱۰	۳/۰۵۸	۰/۵۴۹	ژانویه
۳/۲۱۸	۰/۴۷۷	۲/۸۸۸	۰/۶۲۹	فوریه
۳/۴۶۰	۰/۳۹۸	۲/۵۱۲	۰/۶۷۰	مارس
۴/۱۸۷	۰/۳۲۹	۲/۰۸۸	۰/۶۹۷	آوریل
۵/۴۰۴	۰/۱۳۴	۱/۶۲۹	۰/۷۳۱	می
۲/۸۵۷	۰/۲۳۷	۱/۵۳۰	۰/۶۲۵	ژوئن
۲/۸۹۵	۰/۳۷۸	۱/۴۷۳	۰/۴۶۱	ژوئیه
۳/۳۴۵	۰/۴۱۲	۱/۴۳۵	۰/۵۸۴	اوت
۳/۱۰۲	۰/۴۳۸	۱/۶۲۴	۰/۶۶۴	سپتامبر
۲/۵۹۶	۰/۵۵۶	۱/۸۰۳	۰/۷۱۷	اکتبر
۲/۳۵۸	۰/۶۳۵	۲/۱۸۸	۰/۶۴۱	نوامبر
۲/۴۰۶	۰/۵۹۲	۲/۹۳۹	۰/۵۱۵	دسامبر
۳/۲۸۷	۰/۴۰۸	۲/۰۹۷	۰/۶۲	میان

جدول ۴ - معیارهای ارزیابی کارایی نرم افزار SDSM در ایستگاه کرمان بم (دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۰۱).

EF	RE	MAE	MBE	
۰.۹۹	۰.۰۱۴	۰.۵۱	۰.۳۳	ایستگاه بم
۰.۹۹	۱.۵	۰.۳۷	۰.۲۴	ایستگاه کرمان

جدول ۵- میانگین ماهانه دمای مشاهداتی و پیش بینی شده بر حسب درجه به وسیله ی نرم افزار HadCM3 در ایستگاه سینوپتیک بم.

ماه	دمای مشاهداتی (C)		دما تحت نمایشنامه A2 (C ⁰)			دما تحت نمایشنامه B2 (C ⁰)	
	۱۹۶۱-۹۰	۲۰۱۱-۴۰	۲۰۱۱-۴۰	۲۰۴۱-۷۷	۲۰۷۱-۹۹	۲۰۴۱-۷۰	۲۰۷۱-۹۹
ژانویه	۱۰/۴۴	۱۱/۵۶	۱۳/۳۹	۱۴/۵۳	۱۲/۱۳	۱۲/۹۲	۱۴/۱۳
فوریه	۱۳/۰۴	۱۳/۷۶	۱۵/۰۱	۱۶/۴۶	۱۳/۳۰	۱۴/۵۸	۱۵/۶۸
مارس	۱۸/۲۰	۱۹/۱۲	۲۰/۴۱	۲۳/۱۴	۱۹/۴۵	۲۰/۵۱	۲۱/۴۱
آوریل	۲۳/۳۰	۲۳/۸۴	۲۵/۰۲	۲۷/۴۴	۲۳/۶۳	۲۴/۷۳	۲۵/۷۱
می	۲۸/۵۱	۲۸/۶۷	۳۰/۳۲	۳۲/۳۹	۲۸/۷۷	۲۹/۸۴	۳۰/۶۶
ژوئن	۳۲/۵۸	۳۳/۶۸	۳۵/۱۷	۳۷/۱۲	۳۳/۴۴	۳۴/۹۷	۳۵/۸۹
ژوئیه	۳۳/۱۷	۳۵/۰۴	۳۶/۴۳	۳۸/۲۱	۳۵/۱۷	۳۶/۰۶	۳۷/۱۴
اوت	۳۱/۴۹	۳۳/۱۱	۳۴/۳۷	۳۵/۹۹	۳۳/۰۲	۳۴/۱۳	۳۴/۹۲
سپتامبر	۲۸/۴۵	۲۹/۸۷	۳۱/۵۲	۳۳/۱۳	۲۹/۷۰	۳۰/۲۹	۳۱/۹۲
اکتبر	۲۳/۶۸	۲۵/۴۷	۲۷/۲۷	۲۸/۶۵	۲۵/۲۹	۲۶/۵۴	۲۷/۳۲
نوامبر	۱۷/۳۳	۱۸/۱۱	۱۸/۸۸	۲۰/۳۱	۱۷/۹۷	۱۹/۰۳	۱۹/۳۶
دسامبر	۱۲/۲۶	۱۳/۷۴	۱۴/۸۲	۱۶/۱۵	۱۳/۵۶	۱۴/۵۹	۱۵/۳۹
زمستان	۱۱/۸۸	۱۳/۰۲	۱۴/۴۰	۱۵/۷۱	۱۲/۹۹	۱۴/۰۳	۱۵/۰۶
بهار	۲۳/۲۹	۲۳/۸۸	۲۵/۲۵	۲۷/۶۶	۲۳/۹۵	۲۵/۰۳	۲۵/۹۳
تابستان	۳۲/۴۱	۳۳/۹۴	۳۵/۳۲	۳۷/۱۱	۳۳/۸۸	۳۵/۰۵	۳۵/۹۹
پائیز	۲۳/۱۸	۲۴/۴۸	۲۵/۸۹	۲۷/۳۶	۲۴/۳۲	۲۵/۲۹	۲۶/۲۰
سالانه	۲۲/۷۴	۲۳/۸۳	۲۵/۲۲	۲۶/۹۶	۲۳/۷۸	۲۴/۸۵	۲۵/۷۹

جدول ۶- نتایج آزمون t بر روی داده‌های پیش بینی شده به وسیله ی نرم افزار HadCM3 در ایستگاه سینوپتیک بم.

ماه	دما تحت نمایشنامه A2 (C ⁰)		دما تحت نمایشنامه B2 (C ⁰)	
	۲۰۱۱-۴۰	۲۰۴۱-۷۷	۲۰۷۱-۹۹	۲۰۱۱-۴۰
ژانویه	۳/۳۴	۱۲/۳۱	۱۷/۴۷	۶/۲۵
فوریه	۴/۲۸	۹/۹۰	۱۵/۹۲	۸/۱۷
مارس	۴/۶۵	۹/۸۷	۲۱/۱۹	۵/۶۶
آوریل	۷/۸۸	۱۳/۳۶	۲۴/۶۸	۶/۸۷
می	۸/۳۳	۱۷/۷۲	۲۹/۴۲	۸/۶۲
ژوئن	۷/۵۶	۱۹/۴۸	۳۲/۹۸	۶/۶۸
ژوئیه	۹/۳۲	۲۱/۹۶	۳۸/۸۹	۱۰/۲۴
اوت	۷/۵۲	۱۸/۴۶	۳۱/۴۴	۷/۰۲
سپتامبر	۷/۴۶	۱۹/۰۵	۲۹/۰۸	۶/۳۲
اکتبر	۷/۸۴	۱۷/۷۶	۲۵/۹۷	۶/۸۹
نوامبر	۵/۸۱	۱۰/۰۲	۱۹/۲۵	۴/۸۹
دسامبر	۶/۷۶	۱۲/۳۵	۱۹/۴۷	۵/۷۱
زمستان	۷/۹۷	۱۹/۴۷	۲۹/۶۸	۷/۹۱
بهار	۸/۹۳	۱۷/۲۶	۳۲/۴۶	۹/۰۷
تابستان	۱۳/۲۷	۳۲/۷۱	۵۶/۰۰	۱۲/۸۱
پائیز	۷/۱۰	۱۵/۳۱	۲۴/۰۰	۶/۱۲
سالانه	۹/۳۳	۲۰/۶۸	۳۴/۴۹	۸/۹۱

آماري داده‌های دمای روزانه ایستگاه کرمان انجام گردید و نتایج آزمون t در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج آزمون t نشان دهنده این است که تغییرات دما در همه دوره‌های آماری و تحت نمایشنامه‌های A2, B2 دارای افزایش معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

میانگین سالانه افزایش دما در شهرستان کرمان تحت نمایشنامه‌ی A2 همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در دوره‌های آماری ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب به میزان ۱،۲۴، ۲،۴۵، ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه است. بیشترین افزایش دمای فصلی در فصل تابستان در دوره‌های آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب به میزان ۲،۲۶، ۳،۷۱، ۵،۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه و بیشترین میزان افزایش دمای ماهانه در ماه ژوئیه که در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب به میزان ۲،۸۹، ۴،۶۳، ۶،۹۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه می‌باشد.

میانگین سالانه افزایش دما در شهرستان بم تحت نمایشنامه‌ی B2 همانطور که در شکل ۳ نشان داد شده است؛ در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب به میزان ۱، ۲،۱۱، ۳،۰۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه است و بیشترین افزایش دما در فصل تابستان در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به میزان ۱،۴۶، ۲،۶۴، ۳،۵۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه است. بیشترین میزان افزایش دما در ماه ژوئیه و در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب میزان ۱،۹۹، ۲،۸۹، ۳،۸۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به میانگین ماهیانه این ماه در دوره پایه است.

ایستگاه کرمان: مقادیر شبیه‌سازی شده میانگین دمای روزانه به وسیله‌ی نرم افزار HadCM3 برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۱-۴۰، ۲۰۴۱-۷۰، ۲۰۷۱-۹۹ ایستگاه کرمان در جدول ۷ آورده شده است. جدول ۷ میانگین دمای روزانه مشاهداتی و محاسباتی را در طول سال و فصول مختلف نشان می‌دهد. نتایج آزمون t بر روی دوره‌های

جدول ۷- میانگین ماهانه دمای مشاهداتی و پیش بینی شده به وسیله‌ی نرم افزار HadCM3 در ایستگاه سینوپتیک کرمان.

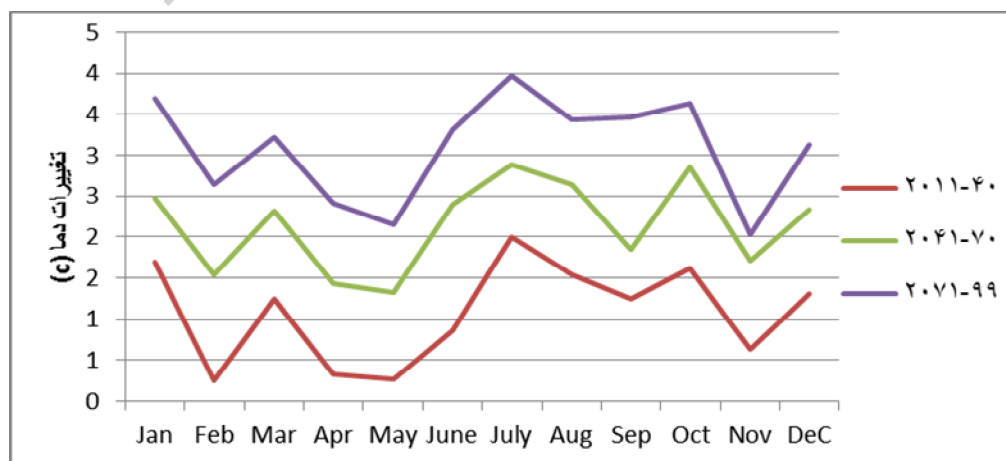
ماه	دمای مشاهداتی (C)			دما تحت نمایشنامه A2 (C ⁰)			دما تحت نمایشنامه B2 (C ⁰)		
	۱۹۶۱-۹۰	۲۰۱۱-۴۰	۲۰۴۱-۷۰	۲۰۷۱-۹۹	۲۰۴۱-۷۷	۲۰۱۱-۴۰	۲۰۷۱-۹۹	۲۰۴۱-۷۰	۲۰۱۱-۴۰
ژانویه	۳/۷۵	۴/۲۷	۵/۲۹	۵/۹۲	۵/۲۹	۴/۲۷	۵/۷۳	۴/۹۷	۴/۵۶
فوریه	۶/۴۰	۷/۰۰	۸/۰۴	۹/۲۵	۸/۰۴	۷/۰۰	۸/۵۵	۷/۶۹	۶/۶۶
مارس	۱۰/۹۳	۱۱/۵۴	۱۲/۴۸	۱۴/۵۱	۱۲/۴۸	۱۱/۵۴	۱۳/۱۷	۱۲/۵۵	۱۱/۷۹
آوریل	۱۵/۸۳	۱۶/۵۹	۱۷/۳۵	۱۹/۲۹	۱۷/۳۵	۱۶/۵۹	۱۸/۰۰	۱۷/۱۱	۱۶/۳۶
می	۲۰/۷۹	۲۱/۳۵	۲۲/۶۲	۲۴/۱۵	۲۲/۶۲	۲۱/۳۵	۲۲/۷۵	۲۲/۲۸	۲۱/۲۹
ژوئن	۲۵/۸۰	۲۶/۹۸	۲۷/۹۶	۲۹/۲۹	۲۷/۹۶	۲۶/۹۸	۲۸/۴۹	۲۷/۸۲	۲۶/۷۷
ژوئیه	۲۷/۲۹	۳۰/۱۷	۳۱/۹۲	۳۴/۲۱	۳۱/۹۲	۳۰/۱۷	۳۳/۰۲	۳۱/۴۷	۳۰/۴۲
اوت	۲۵/۶۹	۲۸/۴۳	۳۰/۰۶	۳۲/۰۸	۳۰/۰۶	۲۸/۴۳	۳۰/۷۹	۲۹/۸۶	۲۸/۳۵
سپتام	۲۱/۴۷	۲۳/۰۵	۲۴/۶۸	۲۶/۰۱	۲۴/۶۸	۲۳/۰۵	۲۵/۰۰	۲۳/۶۴	۲۳/۰۳
اکتبر	۱۶/۲۹	۱۸/۰۵	۱۹/۷۲	۲۱/۰۴	۱۹/۷۲	۱۸/۰۵	۱۹/۷۹	۱۹/۰۳	۱۷/۸۴
نوامبر	۱۰/۳۸	۱۱/۲۶	۱۲/۱۰	۱۳/۷۵	۱۲/۱۰	۱۱/۲۶	۱۲/۷۲	۱۲/۲۸	۱۱/۰۹
دسامبر	۶/۰۴	۷/۰۲	۷/۹۲	۹/۲۶	۷/۹۲	۷/۰۲	۸/۶۳	۷/۸۷	۶/۸۰
زمستان	۵/۳۷	۶/۰۸	۷/۰۸	۸/۱۳	۷/۰۸	۶/۰۸	۷/۶۳	۶/۸۴	۶/۰۱
بهار	۱۵/۸۵	۱۶/۴۹	۱۷/۴۸	۱۹/۳۱	۱۷/۴۸	۱۶/۴۹	۱۷/۹۷	۱۷/۳۱	۱۶/۴۸
تابستان	۲۶/۲۶	۲۸/۵۳	۲۹/۹۸	۳۱/۸۶	۲۹/۹۸	۲۸/۵۳	۳۰/۷۷	۲۹/۷۲	۲۸/۵۱
پائیز	۱۶/۰۵	۱۷/۴۵	۱۸/۱۸	۲۰/۲۷	۱۸/۱۸	۱۷/۴۵	۱۹/۱۷	۱۸/۳۲	۱۷/۳۲
سالانه	۱۵/۹۳	۱۷/۱۷	۱۸/۳۷	۱۹/۹۲	۱۸/۳۷	۱۷/۱۷	۱۸/۸۸	۱۸/۰۵	۱۷/۰۸

جدول ۸- نتایج آزمون t بر روی داده‌های پیش بینی شده به وسیله ی نرم افزار HadCM3 در ایستگاه سینوپتیک کرمان.

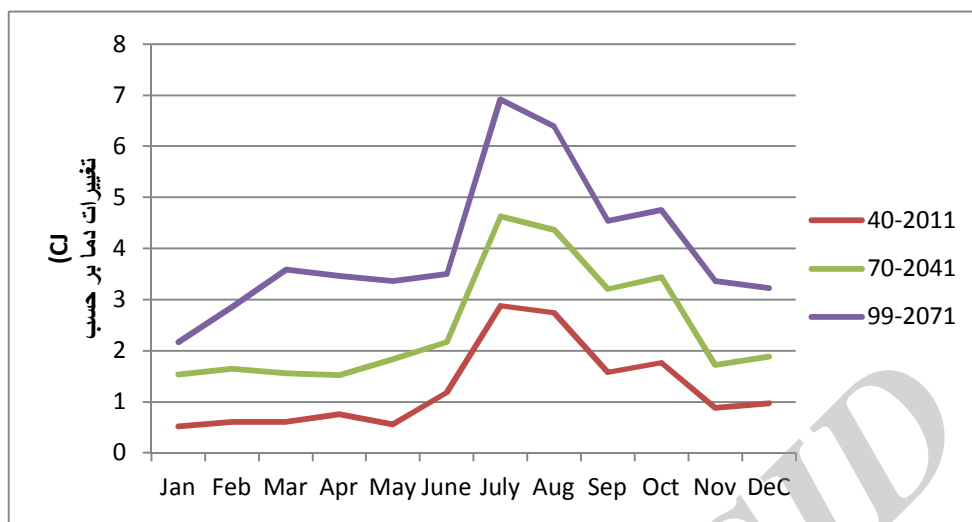
ماه	دما تحت نمایشنامه A2 (C ⁰)			دما تحت نمایشنامه B2 (C ⁰)		
	۲۰۱۱-۴۰	۲۰۴۱-۷۰	۲۰۷۱-۹۰	۲۰۱۱-۴۰	۲۰۴۱-۷۰	۲۰۷۱-۹۰
ژانویه	۲/۰۸	۷/۳۸	۱۰/۵۰	۳/۸۹	۶/۰۰	۹/۸۸
فوریه	۳/۶۵	۸/۶۴	۱۴/۱۳	۲/۲۲	۷/۲۲	۱۱/۴۰
مارس	۳/۷۶	۷/۹۲	۱۶/۹۶	۴/۵۷	۷/۸۷	۱۰/۶۳
آوریل	۵/۴۰	۸/۴۸	۱۶/۳۸	۴/۵۶	۷/۵۷	۱۱/۰۹
می	۴/۳۷	۸/۸۴	۱۴/۰۷	۳/۸۱	۷/۲۷	۸/۹۵
ژوئن	۴/۲۲	۱۰/۵۱	۱۸/۳۲	۳/۲۴	۹/۹۰	۱۳/۹۳
ژوئیه	۵/۶۴	۱۴/۵۰	۲۶/۵۸	۶/۸۱	۱۲/۳۸	۲۰/۳۸
اوت	۴/۴۱	۱۲/۰۴	۲۰/۷۸	۴/۳۰	۱۱/۲۳	۱۵/۵۳
سپتامبر	۳/۵۴	۱۱/۶۶	۱۷/۸۵	۳/۰۷	۵/۹۸	۱۲/۵۳
اکتبر	۶/۷۴	۱۵/۱۴	۲۲/۰۰	۵/۴۴	۱۱/۶۸	۱۵/۱۵
نوامبر	۶/۵۷	۱۰/۸۳	۲۰/۶۰	۵/۴۷	۱۲/۵۷	۱۵/۰۰
دسامبر	۷/۲۸	۱۳/۱۷	۲۰/۸۰	۵/۶۷	۱۲/۳۸	۱۶/۳۰
زمستان	۶/۹۲	۱۵/۸۱	۲۴/۲۵	۶/۳۴	۱۳/۶۸	۲۰/۳۹
بهار	۶/۳۰	۱۱/۷۱	۲۱/۸۵	۵/۹۷	۱۰/۵۲	۱۴/۱۵
تابستان	۷/۸۷	۲۰/۲۵	۳۵/۱۲	۷/۹۲	۱۸/۳۳	۲۶/۸۰
پائیز	۶/۱۴	۱۳/۷۵	۲۱/۸۹	۵/۰۹	۱۰/۹۷	۱۵/۴۲
سالانه	۷/۴۴	۱۶/۵۱	۲۷/۵۸	۶/۸۶	۱۴/۱۶	۲۰/۲۰

در فصل تابستان در دوره‌های آماری ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب به میزان ۲.۲۵، ۳.۴۵، ۴.۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین میزان افزایش دمای مبه وسیله‌ی ماهیانه دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ در ماه ژوئیه به میزان ۳.۱۳، ۴.۱۹، ۵.۷۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه است.

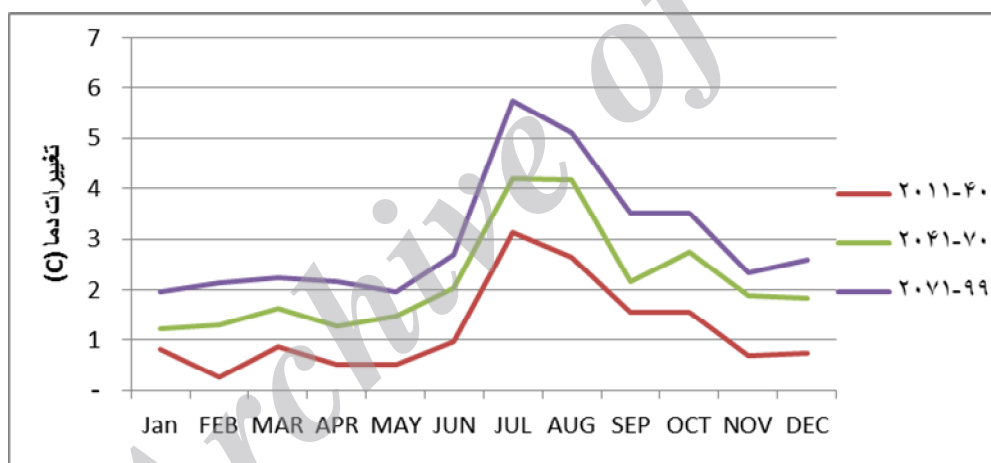
تغییرات میانگین ماهانه دمای روزانه پیش‌بینی شده در دوره‌های آماری ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ در شکل ۵ با هم مقایسه شده است. میانگین سالانه افزایش دما در شهرستان کرمان تحت نمایشنامه‌ی B2 در دوره‌های آماری ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب به میزان ۱.۱۵، ۲.۱۲، ۲.۹۶ درجه سانتی‌گراد و بیشترین افزایش دمای مبه وسیله‌ی فصلی



شکل ۳- تغییرات میانگین دمای روزانه پیش بینی شده به وسیله ی نرم افزار HadCM3 تحت نمایشنامهی B2 در ایستگاه بم.



شکل ۴- تغییرات میانگین دمای روزانه پیش بینی شده به وسیله ی نرم افزار HadCM3 تحت نمایشنامهی A2 در ایستگاه کرمان.



شکل ۵- تغییرات میانگین دمای پیش بینی شده به وسیله ی نرم افزار HadCM3 تحت نمایشنامهی B2 در ایستگاه کرمان

وسیله ی نرم افزار SDSM ریزمقیاس گردید. در ابتدا توانمندی این نرم افزار بررسی شد و پس از صحت سنجی نرم افزار برای ارزیابی معنی دار بودن تغییرات دما ماه های مختلف سال از آزمون t در دوره های آماری استفاده شد که مهمترین نتایج حاصل به شرح زیر ارائه می شود:

- تغییرات دما در ماه های مختلف سال در هر دو نمایشنامه در ایستگاه های بم و کرمان در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است.

- نمایشنامه ی A2 میزان افزایش دما را بیشتر از نمایشنامه ی B2 نشان می دهد.

نتیجه گیری:

در این تحقیق تغییرات معنی دار دمای کره زمین یا گرم شدن جهانی به عنوان مهم ترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به مطالعات انجام شده در سطح جهان اکثر نرم افزارهای اقلیمی برای نیمکره شمالی افزایش دما را تایید می کنند ایپس(۲۰۰۷). به منظور ارزیابی تغییر اقلیم در استان کرمان تا سال ۲۱۰۰ میلادی در دوره های آماری ۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۴۱-۷۰ و ۲۰۷۱-۹۹ خروجی نرم افزار گردش عمومی جو HadCM3 تحت نمایشنامه ی A2, B2 به

Hulme, M. and Lal, M., Version 1, 69pp. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group On Scenarios for Climate Impact Assessment.

10) IPCC .2007. Climate Change, Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Global climate change on U.S. Water resources. A Sce, Journal of Water Resources Planning and Management. 125(4):194-204.

11) IPCC.2007. Summary for Policymakers, in: Climate Change 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. hen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1-18.

12) Khan, M.S., P. Coulibaly, and Y. Dibike, (2006). Uncertainty Analysis of Statistical Downscaling Methods. Journal of Hydrology 319 (2006) 357-382

13) 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.

• تغییر اقلیم در استان کرمان با شدت بیشتری در آینده نیز ادامه خواهد داشت.

• افزایش دما در فصل تابستان ملموس‌تر از بقیه فصل‌ها خواهد بود .

• میزان افزایش دمای در ایستگاه کرمان بیش از ایستگاه بم است.

منابع:

- (۱) ابریشمچی، ابو حسینی، ف. ۱۳۸۸. بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر فراسنجهای دما و بارش در حوضه آبریز کرخه. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران.
- (۲) اداره کل هواشناسی استان کرمان. ۱۳۹۲. بولتن تحلیل وضعیت آب و هوایی استان. سال ۹۲، ۴-۹.
- (۳) بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر. ۱۳۸۵. بولتن علمی پژوهشکده اقلیم شناسی، گزارش طرح های خاتمه یافته، جلد ششم، شماره ۳ و ۴: ۶۹-۸۱
- (۴) ذهبیون، ب.، گودرزی، م.، مساح بوانی، ع. ۱۳۸۹. کاربرد نرم افزار SWAT در تخمین رواناب حوضه‌ها در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی سال اول، شماره ۴، ۳.
- (۵) رجبی، ا. ۱۳۹۰. تحلیل عدم قطعیت تغییر اقلیم به وسیله ی نرم افزار SDSM در کرمانشاه. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. ۸۷۰-۸۸۲
- (۶) عباسی، ف.، بابائیان، ا.، حبیبی نوخندان، م.، مختاری، ل.، ملبوسی، ش.، عسکری، ش. ۱۳۸۹. ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بردماو بارش ایران در دهه های آینده با کمک نرم افزار MAGIC-SCENGEN. پژوهش جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲: ۱۰۹-۹۱
- (۷) عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، بابائیان، ا.، اثمري، م. و برهانی، ر. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده اریز مقیاس نمایی آماری خروجی نرم افزار Echo-G. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴(۲): ۲۳۳-۲۱۸.
- (8) Harmsen, E.W., Miller, L.N. and Schlegel, J.N., Gonzalez, J.E. (2009) Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. Agricultural Water Management, 96:1085-1095
- (9) IPCC-TG CIA. 1999. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment eds. Carter, T.R.,