



چکیده

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم از بحث‌های مهم جهان امروز است که متغیرهای مختلفی در آن دخالت دارند و بر آن تأثیر می‌گذارند. به دلیل اهمیت بحث تغییر اقلیم و آثار آن و به منظور برنامه‌ریزی در جهت سازگار شدن با تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی متغیرهای جوی توسط دانشمندان با استفاده از مدل‌های مختلف صورت گرفته است. یکی از روش‌های پرکاربرد، روش ریزمقیاس‌نمایی آماری است که برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیم، کاربردی گسترده دارد. در این پژوهش از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامتر دما استفاده شده است. داده‌های روزانه مورد پژوهش دمای میانگین، کمینه و بیشینه ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی، داده‌های NCEP و خروجی مدل HadCM3 (داده‌های نسل سوم مدل جهانی اقلیم تحت سناریوی A2 و B2) است. از پانزده سال اول (۱۹۶۱-۱۹۷۵) برای واسنجی و از پانزده سال دوم (۱۹۷۶-۱۹۹۰) برای ارزیابی مدل استفاده شده است. همچنین معیارهای آماری ارزیابی مدل مانند میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب ناش - ساتکلیف با کمترین خطا در ارزیابی مدل به کار گرفته شده است. با استفاده از داده‌های HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 پارامتر دما برای دوره (۲۰۱۰-۲۰۹۹) پیش‌بینی و کل دوره به سه دوره (۲۰۱۰-۲۰۴۰)، (۲۰۴۰-۲۰۷۰) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) تقسیم شده و با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) به صورت ماهانه و به صورت کل دوره (۲۰۱۰-۲۰۹۹) مقایسه شده و روند، جهش و تغییرات ناگهانی دما با آزمون من - کندال ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که براساس سناریوی A2 دمای بندر انزلی در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ به طور متوسط ۰/۹۲ و برای بیشینه و کمینه دما ۱/۵۳ و ۱/۶۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. این در حالی است که در سناریوی B2 دما به طور متوسط ۰/۶۶ و برای کمینه و بیشینه دما ۱/۳۲ و ۱/۶۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

کلیدواژه‌ها: ریزمقیاس‌نمایی، میانگین دما، کمینه و بیشینه دما، روند، بندر انزلی

دکتر حسین عساکره

دانشیار گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان

لیلا حسینیجانی

دانشجوی دکتری تغییر اقلیم دانشگاه زنجان

ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی

تحلیل روند تغییرات دما

مقدمه

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم از بحث‌های مهم جهان امروز است که متغیرهای مختلفی در این امر دخالت دارند و بر آن تأثیر می‌گذارند. مفهوم تغییر اقلیم تغییرات معنادار در متوسط داده‌های هواشناسی (دما، بارش و...) دوره‌های زمانی مشخص را در برمی‌گیرد. به دلیل اهمیت بحث تغییر اقلیم و آثار آن و به منظور برنامه‌ریزی در جهت سازگار شدن با تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی متغیرهای جوی توسط دانشمندان با استفاده از مدل‌های مختلف صورت گرفته است. روش‌های بسیاری برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آینده یا توجه به تولید سناریوهای اقلیمی وجود دارد که از معتبرترین آن‌ها خروجی مدل‌های GCM (مدل گردش عمومی) را می‌توان نام برد. مدل‌های گردش عمومی به افزایش گازهای گلخانه‌ای که اثرات قابل توجهی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارد، اشاره می‌کند. این مدل‌ها شبیه‌سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو را در سطوح بزرگ انجام می‌دهند، بنابراین برای استفاده از نتایج این مدل‌ها در مقیاس کوچک نیاز به ریزمقیاس‌نمایی وجود دارد که خروجی این مدل‌ها را به متغیرهای سطحی در ایستگاه مورد مطالعه تبدیل می‌کند.

ریزمقیاس‌نمایی به‌عنوان یک عامل ایجادکننده ارتباط بین چرخه‌های بزرگ مقیاس (متغیرهای مستقل پیش‌بینی‌کننده) و متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی (متغیر وابسته پیش‌بینی‌شونده) است. در این تحقیق، خروجی HadCM3 (داده‌های نسل سوم مدل جهانی اقلیم تحت سناریوی A2 و B2) به‌عنوان خروجی الگوی گردش عمومی مورد استفاده قرار گرفته است. سناریوها شرایط پیش‌فرض تعریف شده‌اند و در واقع وضعیت‌های احتمالی هستند که ممکن است بعضی مواقع با هم اتفاق بیفتند. سناریوها در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند و هر یک ویژگی‌های خاص خود را دارند. سناریو A2 جهان را ناهمگن فرض می‌کند و واگرایی فرهنگی، رشد زیاد جمعیت و عدم توجه به رشد اقتصادی از ویژگی‌های مهم این سناریو است. سناریو B2 پایداری محیطی را حاصل رویدادهای محلی می‌داند و جهان را ناهمگون در نظر می‌گیرد (ثبوتی: ۱۳۹۰).

ریزمقیاس‌نمایی به‌صورت دینامیکی، سینوپتیکی، آماری و تابع انتقالی انجام می‌شود. متداول‌ترین این روش‌ها ریزمقیاس‌نمایی آماری است که با نرم‌افزارهای متفاوتی انجام می‌شود. یکی از نرم‌افزارهای مورد استفاده در این گروه SDSM است. این روش توسط ویلی و همکاران به‌عنوان ابزاری در جهت ریزمقیاس کردن با روش آماری توسعه‌یافته است که مبنای آن بر رگرسیون چندمتغیره است و پارامترهای جوی را پیش‌بینی می‌کند. اصول کلی SDSM بر پایه برقراری ارتباط بین متغیرهای مدل‌های گردش عمومی جو (رطوبت، فشار هوا و...) به‌عنوان متغیر مستقل و متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش به‌عنوان متغیر وابسته است که بر اساس بیشترین ضریب همبستگی متغیرها را وارد مدل می‌کند تا در ارزیابی کارایی مدل از آن بهره‌گیری. در سطح جهان و ایران مطالعات مختلفی به منظور پیش‌بینی و کارایی این مدل انجام شده است. بدین منظور کیم و همکاران (۱۹۸۴: ۲۰۶۹) اولین کسانی بودند که برای ریزمقیاس‌نمایی عناصر جوی از مدل‌های جهانی استفاده کردند. دیبیک و کولیبالی (۲۰۰۵: ۱۴۵) با استفاده از دو نوع تکنیک ریزمقیاس‌نمایی آماری متغیرهای هواشناسی مانند دما و بارش را در کانادا پیش‌بینی کردند. سری‌های زمانی که به وسیله هر دو روش تولید شد بیانگر افزایش در مقادیر دما و بارش بود. ویلی و همکاران (۲۰۰۷: ۹۴) کلیه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی را در چهار گروه دینامیکی، سینوپتیکی، آماری و تابع انتقالی طبقه‌بندی کردند و مدل‌های SDSM را یکی از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی تابع انتقالی آماری به حساب آوردند.

ماکوم و همکاران (۲۰۰۶: ۱۳۹۷) شش مدل آماری و تابع انتقالی از جمله SDSM و دو مدل دینامیکی را برای شبیه‌سازی بارش‌های سنکین در دو ایستگاه هواشناسی شمال غرب و جنوب شرق کشور انگلستان مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل‌های آماری و تابع انتقال از دقت بیشتری برخوردارند. در تحقیقی دیگر، چو و همکاران (۲۰۱۰: ۱۴۹) در چین با استفاده از مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی و دما را شبیه‌سازی کردند که نتایج، بیانگر عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی است. همچنین چن و همکاران (۲۰۱۲: ۳۶) برای

یکی از روش‌های پرکاربرد، روش ریزمقیاس‌نمایی آماری است که برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیم، کاربردی گسترده دارد. در این پژوهش از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامتر دما استفاده شده است. داده‌های روزانه مورد پژوهش دمای میانگین، کمینه و بیشینه ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی، داده‌های NCEP و خروجی مدل HadCM3 (داده‌های نسل سوم مدل جهانی اقلیم تحت سناریوی A2 و B2) است. از پانزده سال اول (۱۹۷۵-۱۹۶۱) برای واسنجی و از پانزده سال دوم (۱۹۹۰-۱۹۷۶) برای ارزیابی مدل استفاده شده است



برآورد تعادل آب در حوضه هانجیانگ در چین با استفاده از داده‌های CGCM3 و HadCM3 و سناریوی A2 از مدل‌های ریزمقیاس SDSM و SSVN بهره گرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که عملکرد SDSM بهتر از SSVM در ریزمقیاس‌نمایی بارش است. فایده‌ها و همکاری‌ها (۲۰۱۲: ۱) بارش و دمای حوضه رودخانه تیبتر بالا را در مرکز ایتالیا با ریزمقیاس‌نمایی پیش‌بینی‌های HadCM3 با سناریوهای A2 و B2 و با استفاده از دو مدل SDSM و LARS-WG برای چهار دوره سناریو، شامل اقلیم کنونی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بررسی و ارزیابی کردند. نتیجه مدل SDSM در این مطالعه حکایت از افزایش روند کمینه، بیشینه دما و بارش تا پایان سال ۲۰۸۰ دارد. بابایان و همکاران (۱۳۸۵: ۶۲) با استفاده از مدل LARS-WG خروجی مدل ECHO-G را روی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان ریزمقیاس کردند. نتایج شهودی و آماری حاکی از قدرت بالای مدل در شبیه‌سازی داده‌های دوره آماری در این ایستگاه است.

دهقانی‌پور (۱۳۹۰) به ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش دما و تبخیر در ایستگاه سینوپتیک تبریز می‌پردازد و نتیجه می‌گیرد که SDSM توانایی مناسبی را در کوچک مقیاس کردن داده‌های دما و تبخیر و بارش دارد. ابکار و همکاران (۱۳۹۲: ۱) به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که مدل مذکور توانایی لازم برای شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی را دارد. شمس و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی توانمندی مدل SDSM و LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های چرخه عمومی برای شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما در ایستگاه سینوپتیک مهرآباد پرداخته و نتیجه گرفتند که مدل SDSM توانایی مناسبی را در شبیه‌سازی دما و LARS-WG توانایی مناسبی را در شبیه‌سازی بارش و دما دارد.

مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تغییر اقلیم و گرمایش جهانی یکی از چالش‌های اصلی جهان کنونی است. دما که متغیری اصلی در کره زمین است، تغییری هرچند کم در آن می‌تواند باعث تغییر در دیگر عناصر اقلیم شود و تأثیر بسزایی در حیات کره زمین داشته باشد. برای مثال، افزایش دما باعث افزایش تبخیر و کاهش ذخیره رطوبت خاک و... خواهد شد. سواحل جنوبی دریای خزر با توجه به دارا بودن شرایط ساحلی سهم زیادی از جمعیت کشور را در خود جای داده است و یکی از قطب‌های اصلی کشاورزی (قطب تولید برنج) و باغداری به حساب می‌آید و سهم بیشتری از پوشش گیاهی و جنگلی و منابع طبیعی کشور را به خود اختصاص داده است. همچنین این سواحل به لحاظ توریستی از اهمیت فراوانی برخوردارند. بنابراین مطالعه تغییرات روند دما در این ناحیه اهمیت بسیار دارد. در راستای این مطالعات، روند تغییرات دمای ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی در سواحل جنوب غربی خزر مورد بررسی قرار گرفته و دمای آن از ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ پیش‌بینی شده و با استفاده از آزمون گرافیکی من-کندال نوع تغییرات و روند دما در این ایستگاه به منظور ارزیابی تغییرات اقلیم بندر انزلی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

داده‌ها و روش‌ها

بندر انزلی با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه و ارتفاع ۲۶- متر از سطح دریا در جنوب غربی سواحل دریای خزر قرار دارد. به منظور بررسی و ارزیابی تغییر اقلیم در بندر انزلی دمای میانگین، کمینه و بیشینه داده‌های روزانه و داده‌های باز تحلیل NCEP و خروجی‌های مدل HadCM3 داده‌های نسل سوم مدل جهانی اقلیم تحت سناریوی A2 و B2 برای دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱ میلادی) استفاده شده است. مقدار دما برای کل دوره (۲۰۹۹-۲۰۱۰) و سه دوره (۲۰۴۰-۲۰۱۰)، (۲۰۷۰-۲۰۱۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) پیش‌بینی و با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) مقایسه شده است. بدین منظور در مرحله اول در نرم‌افزار SDSM کنترل کیفی داده‌ها انجام شده و داده‌های گمشده موجود در طول دوره آماری برای هر سه متغیر در نرم‌افزار SPSS و با روش روند خطی نقاط بازسازی شده است. در این روش یک روند خطی بر حسب کلیه مشاهدات معتبر متغیر و اندیس دهی به مقادیر از کوچک به بزرگ تعیین می‌شود. اندیس نقطه گمشده در این روند فرضی محاسبه شده و مقدار نقطه معادل آن جایگزین مقدار گمشده می‌شود (خواجه نوری: ۱۳۷۷: ۸۹). با توجه به اینکه SDSM رگرسیون خطی متغیرها را پیش‌بینی می‌کند از این روش استفاده شده است. در مرحله دوم متغیرهای مورد نظر برای واسنجی مدل انتخاب شد. در این مرحله ابتدا به منظور انتخاب متغیرهایی با بیشترین ضریب همبستگی داده‌های HadCM3 در جعبه‌های 21×15 ($X=35$ و $Y=52/5$)، 15×22 ($X=32/5$ و $Y=52/5$)، و 15×23 ($X=30$ و $Y=52/5$) که مختصات جغرافیایی ایستگاه مورد نظر در آن قرار دارد با آزمون و خطا بررسی شد و در نهایت جعبه 15×21 که متغیرهای آن بیشترین ضرایب همبستگی را در برمی‌گرفت برای واسنجی مدل انتخاب شد.

در این مرحله عامل تورم واریانس (حذف هم‌پوشانی داده‌ها) تعیین شد. اگر بین متغیرهای مستقل در رگرسیون چندگانه رابطه خطی وجود داشته باشد گفته می‌شود که بین متغیرهای مستقل هم‌راستایی (هم‌خطی) چندگانه وجود دارد. در این حالت برآورد متغیرها بر مبنای رگرسیون همراه‌کننده و استفاده از مدل رگرسیون با اشکال مواجه می‌شود (عساکره: ۱۳۸۳: ۲۱۳). بدین منظور در نرم‌افزار SPSS با محاسبه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل و وابسته و تعیین تورم واریانس با گزینه هم‌خطی تورم واریانس متغیرها محاسبه و میانگین آن‌ها به‌عنوان عامل تورم واریانس در مدل وارد شد.

$$\tau = \frac{4P}{n(n-1)} \quad (1)$$

در مرحله سوم به منظور واسنجی مدل (کالیبراسیون) براساس متغیرهای تعیین شده، از ۱۵ سال اول داده‌ها (۱۹۷۵-۱۹۶۱) و از ۱۵ سال دوم (۱۹۹۰-۱۹۷۶) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. قبل از واسنجی مدل در این مرحله اثر تجمعی محاسبه می‌شود. برای تعیین اثر جمعی مناسب از معیارهای آماری میانگین خطای مطلق (رابطه ۱)، مجذور میانگین مربعات (رابطه ۲) و ضریب ناش - ساتکلیف (رابطه ۳) با کمترین خطا استفاده شد.

$$P = \sum_{i=1}^n n_i \quad (2)$$

در مرحله سوم به منظور واسنجی مدل (کالیبراسیون) براساس متغیرهای تعیین شده، از ۱۵ سال اول داده‌ها (۱۹۷۵-۱۹۶۱) و از ۱۵ سال دوم (۱۹۹۰-۱۹۷۶) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. قبل از واسنجی مدل در این مرحله اثر تجمعی محاسبه می‌شود. برای تعیین اثر جمعی مناسب از معیارهای آماری میانگین خطای مطلق (رابطه ۱)، مجذور میانگین مربعات (رابطه ۲) و ضریب ناش - ساتکلیف (رابطه ۳) با کمترین خطا استفاده شد.

$$(\tau)_t = \pm t g \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}} \quad (3)$$

مقدار τ روند موجود در داده‌ها را نشان می‌دهد. وقتی روندی در داده‌ها وجود نداشته باشد این مقدار بین محدوده $\pm 1/96$ در سطح ۹۵ درصد اطمینان قرار دارد (مایرزا و همکاران: ۱۹۹۸).

مقدار بحرانی t_g نمره استاندارد در سطح ۹۵ درصد اطمینان و برابر با $1/96$ است. پذیرش یا رد فرض صفر (عدم وجود روند معنادار در داده‌ها) در سطح ۹۵ درصد اطمینان، بستگی به مقادیر مشاهده شده حاصل از آماره آزمون دارد. اگر $(\tau)_t > +(\tau)_t$ باشد شواهد دال بر پذیرش فرض صفر با خطای $1/10$ و حاکی از عدم وجود روند در داده‌هاست. اگر نتیجه $(\tau)_t < -(\tau)_t$ باشد دست آمد، حاکی از رد فرض صفر و پذیرش فرض یک، دال بر روند منفی و کاهش معنادار در سری زمانی است. چنانچه $(\tau)_t > +(\tau)_t$ حاصل شد، وجود روند مثبت معنادار در سطح ۹۵ درصد اطمینان اثبات می‌شود.

برای تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییر از آزمون گرافیکی کندال استفاده می‌شود. در آزمون گرافیکی کندال از دو مؤلفه u' و u برای تعیین زمان وقوع تغییر و همچنین نوع نوسان استفاده می‌شود. آماره کندال با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$ti = \sum_{i=1}^n ni \quad (4)$$

و تابع توزیع آن وقتی که فرض صفر حاکم باشد، از لحاظ مجانبی با میانگین و واریانس برابر است. میانگین آن از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (5)$$

واریانس آن از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\text{Var}(ti) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (6)$$

در این مرحله عامل تورم واریانس (حذف هم‌پوشانی داده‌ها) تعیین شد. اگر بین متغیرهای مستقل در رگرسیون چندگانه رابطه خطی وجود داشته باشد گفته می‌شود که بین متغیرهای مستقل هم‌راستایی (هم‌خطی) چندگانه وجود دارد. در این حالت برآورد متغیرها بر مبنای رگرسیون همراه‌کننده و استفاده از مدل رگرسیون با اشکال مواجه می‌شود (عساکره: ۱۳۸۳: ۲۱۳). بدین منظور در نرم‌افزار SPSS با محاسبه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل و وابسته و تعیین تورم واریانس با گزینه هم‌خطی تورم واریانس متغیرها محاسبه و میانگین آن‌ها به‌عنوان عامل تورم واریانس در مدل وارد شد.

در مرحله سوم به منظور واسنجی مدل (کالیبراسیون) براساس متغیرهای تعیین شده، از ۱۵ سال اول داده‌ها (۱۹۷۵-۱۹۶۱) و از ۱۵ سال دوم (۱۹۹۰-۱۹۷۶) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. قبل از واسنجی مدل در این مرحله اثر تجمعی محاسبه می‌شود. برای تعیین اثر جمعی مناسب از معیارهای آماری میانگین خطای مطلق (رابطه ۱)، مجذور میانگین مربعات (رابطه ۲) و ضریب ناش - ساتکلیف (رابطه ۳) با کمترین خطا استفاده شد.

$$\text{MAE} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{pi - oi}{n} \right| \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{RMSE} = \frac{\sum_{i=1}^n (pi - oi)^2}{n} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{NS} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (oi - pi)^2}{\sum_{i=1}^n (oi - ol)^2} \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

هرچه میزان میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات کمتر باشد، نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل در برآورد متغیر دماست و ضریب ناش - ساتکلیف نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده تا چه مقدار به خط رگرسیون با شیب ۱ نزدیک است. چنانچه این مقدار معادل یک شود، برازش کاملی را نشان می‌دهد و بیانگر انطباق کامل بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است (رضایی: ۱۳۹۳: ۱۲۳).

همچنین آندیدی و همکاران (۲۰۰۸: ۵۸۳) از این ضرایب برای تعیین میزان خطا در بررسی نقش پیش‌بینی‌کننده‌ها در ریزمقیاس‌نمایی دمای سطح در حوزه رودخانه هند برای سناریوهای IPCC استفاده کردند.

سپس براساس بیشترین ضریب همبستگی متغیرها پیش‌بینی متغیر دما با کاربرد داده‌ها HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 برای کل دوره (۲۰۹۹-۲۰۱۰) مورد استفاده قرار گرفت.

سپس کل دوره به سه دوره (۲۰۴۰-۲۰۱۰)، (۲۰۷۰-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) به منظور بررسی آماری داده‌های پیش‌بینی شده هر دوره تقسیم و به‌صورت دوره‌ای و ماهانه بررسی و تفاضل هر دوره و ماه‌های آن با دوره پایه در هر دو سناریو بررسی شد.

در ادامه، برای بررسی روند و نوع تغییرات متغیر دما از روش آماری - گرافیکی من - کندال استفاده شد. آزمون من - کندال ابتدا توسط مان (۱۹۴۵) و سپس در سال ۱۹۷۵ توسط کندال توسعه یافت (سرانو،

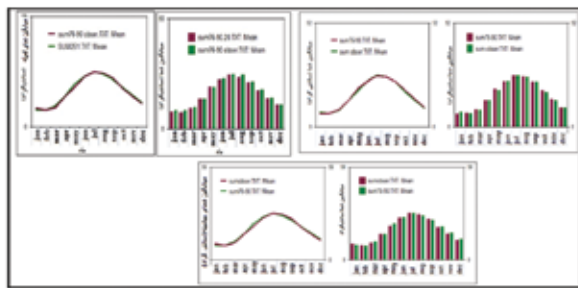
از نرم افزار SDSM، از بین ۲۶ متغیر آزمون شده داده‌های NCEP، ۵ متغیر که بیشترین ضریب همبستگی با (P-Value=۰) را با داده‌های مشاهده شده دما داشتند، انتخاب شدند. همچنین میزان تورم واریانس، اثر جمعی و مقادیر خطا براساس پارامترهای مد نظر برای متغیرهای مورد مطالعه محاسبه شده که در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱. ضرایب همبستگی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده با متغیر دما برای ایستگاه بندر انزلی

متغیر	پارامتر	ضرایب همبستگی	اثر جمعی	تورم واریانس	ضریب تاش - سائیکلف	میانگین مربعات خطا (RMSE)	میانگین خطای مطلق (MAE)
میانگین دما	فشار تراز دریا	۰/۶۷	۲۵	۸	۰/۹	۲/۱۰	۱/۵۰
	رطوبت نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۶۵					
	رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین	۰/۷۵					
	میانگین دما در ارتفاع دو متری	۰/۹۱					
	ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۸					
بیشینه دما	فشار تراز دریا	۰/۶۵	۳۰	۱۰	۰/۹۱	۲/۱۲	۱/۶۸
	رطوبت نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۶۵					
	رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین	۰/۷۵					
	میانگین دما در ارتفاع دو متری	۰/۸۸					
	ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۵					
کمینه دما	فشار تراز دریا	۰/۶۷	۲۸	۷	۰/۹۱	۲/۱۰	۱/۶۶
	رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین	۰/۷۵					
	میانگین دما در ارتفاع دو متری	۰/۹۱					
	ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۸					



تعیین متغیرها یکی از مهم‌ترین مراحل مدل است، زیرا مشخصات مدل و نتایج آن مستقیماً تحت‌تأثیر متغیرهای مستقل قرار دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، متغیرهای فشار سطح دریا، ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و نزدیک سطح زمین و میانگین دما در ارتفاع دو متری، همبستگی معنادار بالایی را نسبت به سایر متغیرهای پیش‌بین نشان می‌دهند. در بین ۵ متغیر منتخب، میانگین دما در ارتفاع دو متری و ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیشترین نقش را در وضعیت و شرایط جوی حاکم بر منطقه دارند. برای واسنجی و صحت‌سنجی، داده‌های NCEP و سناریوهای اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب داده‌های مشاهده شده با هر دو داده NCEP و HadCM3 مقایسه شده‌اند.



شکل ۱. متوسط دمای کمینه، میانگین و بیشینه بندر انزلی برای دوره ارزیابی و تنظیم مدل با داده‌های NCEP

نتایج نشان می‌دهد اختلاف معناداری در میانگین داده‌های مشاهده شده و دوره ارزیابی و تنظیم مدل در داده NCEP و HadCM3 در دو سناریو A2 و B2 وجود ندارد. شکل ۱ نتیجه گرافیکی واسنجی و ارزیابی مدل را برای داده‌های NCEP و شکل ۲ نتیجه گرافیکی واسنجی و ارزیابی مدل را با داده‌های HadCM3 برای ایستگاه بندر انزلی نشان می‌دهد که صحت مدل را تأیید می‌کند.

$U(t)$ شبیه مقدار Z است. $U(t)$ مقدار استاندارد شده‌ای است که میانگین و انحراف معیار صفر دارد. بنابراین رفتار نوسانی متوالی به دور سطح صفر دارد (پارتل و کایا، ۲۰۰۶). برای محاسبه $U(t)$ معادله زیر به کار می‌رود:

$$U = \frac{[ti - E(ti)]}{\sqrt{\text{var}(ti)}} \quad (7)$$

u' از عکس معادله ui به دست می‌آید:

$$U' = -U \quad (8)$$

بعد از مراحل فوق، نمودارهای مربوط را رسم می‌کنند و زمانی که مؤلفه‌های u و u' همدیگر را قطع کنند، نشان‌دهنده وجود روند در سری‌هاست. اگر مؤلفه‌های ذکر شده در داخل محدوده بحرانی ($\pm 1/96$) همدیگر را قطع کنند نشانه آغاز تغییر ناگهانی و اگر خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند، وجود روند را در سری‌ها نشان می‌دهد (روشنی، ۱۳۸۲).

بحث و نتایج

الف. مشخصات توصیفی

جهت بررسی تغییرات دما و پیش‌بینی دما در بندر انزلی از مدل آماری دینامیک SDSM استفاده شده است. براساس ضرایب همبستگی بین داده‌های مشاهده شده با متغیرهای پیش‌بین روزانه



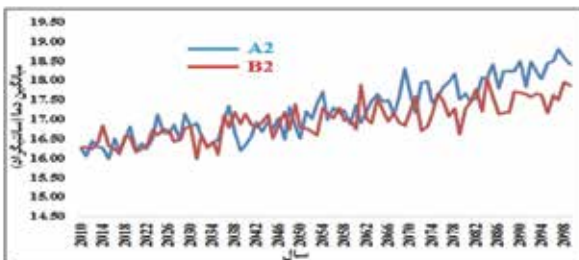
نتایج حاکی از آن است که براساس سناریوی A2 دمای بندر انزلی در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ به‌طور متوسط ۰/۹۲ و برای بیشینه

و کمینه دما ۱/۵۳ و ۱/۶۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. این در حالی است که در سناریوی B2 دما به‌طور متوسط ۰/۶۶ و برای کمینه و بیشینه دما ۱/۳۲ و ۱/۶۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است

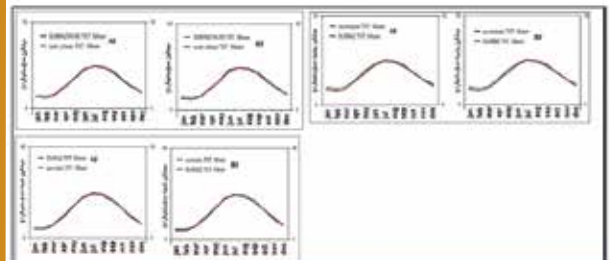
دماست. تفاوت دامنه تغییرات در ایستگاه و دوره‌های مد نظر سناریوها مقادیری بیشتر یا کمتر را نسبت به مقادیر ایستگاه نشان می‌دهد. در واقع میزان زیاد این عدد بیانگر تغییرات زیادتر دما در دوره مذکور و به تبع نایک‌نواختی بیشتر دما و میزان کمتر آن، تغییرات کمتر دما را نشان می‌دهد. چولگی برای میانگین و دمای کمینه ایستگاه مورد نظر منفی و برای دمای بیشینه و برای سناریوهای مختلف مثبت است. اندازه پراش (واریانس) گویای چگونگی پراکندگی مشاهدات حول میانگین است که در کمینه دما بیشترین مقدار را دارد و تأییدی بر افت و خیزهای روزانه دماست.

ارزیابی تغییرات اقلیمی

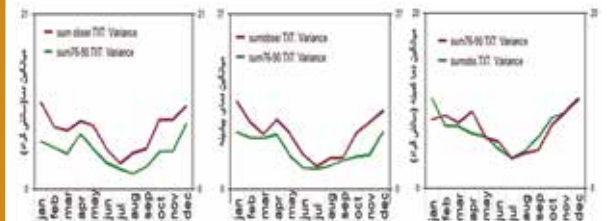
نتایج حاصل از پیش‌بینی تحت دو سناریو A2 و B2 نشان از افزایش دما در ایستگاه بندر انزلی دارد. شکل ۵ روند تغییرات دما را در طول کل دوره پیش‌بینی (۲۰۱۰-۲۰۹۹) براساس سناریو A2 و B2 برای میانگین دما نشان می‌دهد که دما بین ۱۶ تا ۱۸/۵ درجه نوسان دارد. همچنین شکل ۶ سری زمانی دمای بیشینه سالانه پیش‌بینی شده را برای هر دو سناریو نشان می‌دهد که ۲۱-۱۹/۵ درجه از ابتدا تا انتهای سری نوسان دارد و شکل ۷ نوسان دمای کمینه را بین ۱۴ تا ۱۵ در هر دو سناریو نشان می‌دهد. به‌طور کلی، نمودار سری‌های زمانی روند افزایشی دما را در بندر انزلی نشان می‌دهند.



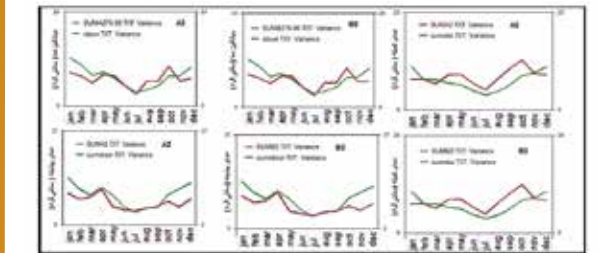
شکل ۵. نمودار سری زمانی دمای میانگین پیش‌بینی شده برای کل دوره (۲۰۱۰-۲۰۹۹) در بندر انزلی



شکل ۲. دمای روزانه بندر انزلی برای دوره ارزیابی و تنظیم مدل HadCM3



شکل ۳. واریانس متغیر دما (میانگین، بیشینه و کمینه) برای دوره ارزیابی و تنظیم مدل NCEP



شکل ۴. واریانس متغیر دما (میانگین، بیشینه و کمینه) برای دوره ارزیابی و تنظیم مدل HadCM3

همچنین شکل ۳ و ۴ واریانس متغیر دما را برای ارزیابی مدل در داده‌های NCEP و HadCM3 نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد این مدل برآوردکننده مناسبی برای تغییرات دما (واریانس داده‌ها) در ایستگاه مورد مطالعه نیست و باید با احتیاط نسبت به آن عمل کرد. جدول ۲ مشخصات مکانی دما را براساس مدل ریزمقیاس‌نمایی در دو سناریو A2 و B2 نشان می‌دهد. براساس سناریوی A2 دمای بندر انزلی در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ به‌طور متوسط ۰/۹۲ و برای بیشینه و کمینه دما ۱/۵۳ و ۱/۶۴ افزایش یافته است. این در حالی است که در سناریوی B2 دما به‌طور متوسط ۰/۶۶ و برای کمینه و بیشینه دما ۱/۳۲ و ۱/۶۴ افزایش یافته است.

جدول ۲. مشخصات مکانی دمای بندر انزلی براساس سناریو A2 و B2 کل دوره (۲۰۱۰-۲۰۹۹)

فراسنج	ایستگاه		میانگین		بیشینه دما		کمینه دما	
	میانگین	کمینه	بیشینه	A2	B2	A2	B2	
میانگین	۱۶/۳۱	۱۳/۴۵	۱۹/۱۶	۱۷/۲۳	۱۶/۹۷	۲۰/۶۹	۲۰/۴۹	۱۵/۰۹
نمایه های مرکزی	۱۶/۰۵	۱۳/۳۸	۱۹/۲۱	۱۷/۱۶	۱۶/۹۳	۲۰/۵۷	۲۰/۴۶	۱۴/۹۴
مد	۲۷/۱۴	۱۱/۱۸	۱۶/۹۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	۱۹/۵۰	۱۹/۳۶	۱۳/۳۴
پراش	۰/۴۲	۰/۶۳	۰/۷۹	۰/۵۳	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۲۰	۱/۱۱
نمایه های پراکندگی	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۸۹	۰/۷۳	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۴۵	۱/۰۵
ضریب تغییرات	۴/۰۷	۵/۹۲	۴/۶۴	۴/۲۱	۲/۸۸	۲/۹۹	۲/۱۹	۶/۹۷
دامنه تغییرات	۳/۴۵	۳/۳۳	۴/۳۶	۲/۸۳	۲/۰۷	۲/۴۵	۲/۱۵	۳/۹۴
شکل چولگی	-۰/۲۴	-۰/۱۹	-۰/۰۹	-۰/۲۸	-۰/۱۰	-۰/۰۹	-۰/۱۱	-۰/۳۱
توزیع کشیدگی	۳/۲۹	۲/۷۱	۳/۱۰	۲/۰۲	۲/۲۹	۲/۱۱	۳/۱۴	۱/۹۹

ضریب تغییرات در هر دو روش بیانگر تغییرپذیری نسبتاً کم

برای متغیر دما داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی در دوره مورد مطالعه بررسی و تحلیل شد. مشخصات آماری داده‌های میانگین، بیشینه و کمینه دما در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. مشخصات آماری متغیر دمای بندر انزلی در طول دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱)

دما	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des	میانگین کل
میانگین	۷/۲۵	۷/۰۷	۹/۰۸	۱۲/۵۲	۱۸/۸۲	۲۳/۵۰	۲۶/۰۲	۲۵/۷۹	۲۲/۶۶	۱۸/۳۱	۱۴/۷۷	۹/۸۶	۱۶/۳۱
بیشینه	۹/۹۲	۹/۵۹	۱۱/۴۴	۱۶/۱۴	۲۱/۶۵	۲۶/۶۵	۲۹/۳۰	۲۹/۰۲	۲۵/۶۸	۲۱/۱۸	۱۶/۶۵	۱۲/۷۰	۱۹/۱۶
کمینه	۴/۵۷	۴/۵۶	۶/۷۱	۱۰/۹۵	۱۶/۰۸	۲۰/۳۸	۲۲/۷۳	۲۲/۵۳	۱۹/۶۴	۱۵/۴۴	۱۰/۰۸	۷/۰۴	۱۳/۴۵

جدول ۴ میانگین دمای هر دوره را برای میانگین، کمینه و بیشینه دما نشان می‌دهد. همچنین تفاضل میانگین هر دوره با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) نشان داده شده است. دامنه تغییرات تفاضل‌ها نشان از افزایش یک تا سه درجه دما دارد.

جدول ۴. مقایسه دمای میانگین پیش‌بینی شده هر دوره با میانگین دوره پایه و تفاضل مربوط به آن

A2	سال	دما		
		میانگین	بیشینه	کمینه
A2	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۱۶/۵۳	۳۰/۱۷	۱۴/۰۶
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۶۱	۱/۰۱	-۰/۳۲
B2	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۱۷/۱۲	۳۰/۶۳	۱۴/۹۲
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۶۱	۱/۰۱	-۰/۳۲
B2	۲۰۷۱-۲۰۹۹	۱۸/۰۲	۳۱/۳۶	۱۶/۲۷
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۱/۴۷	۱/۴۷	۰/۸۱
B2	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۱۶/۵۰	۳۰/۱۷	۱۴/۰۶
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۶۱	۱/۰۱	-۰/۳۲
B2	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۱۷	۳۰/۵۱	۱۴/۹۲
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۱/۴۷	۱/۴۷	۰/۸۱
B2	۲۰۷۱-۲۰۹۹	۱۷/۳۹	۳۰/۷۵	۱۶/۲۸
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۲/۸۳	۱/۵۹	۱/۰۸

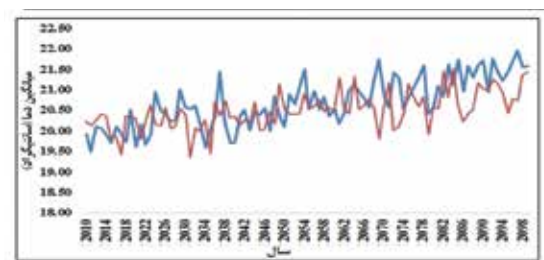
همچنین میانگین دمای ماهانه هر دوره و اختلاف دمای میانگین ماهانه برای هر دوره و دوره کل با دوره پایه در جدول ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج به دست آمده از مقدار میانگین‌ها و تفاضل آن با دوره پایه نشان از افزایش دما در اکثریت ماه‌ها در دو سناریو دارد. برای متغیر میانگین دما در کل دوره مورد مطالعه سناریو A2 افزایش دما را در تمامی ماه‌ها و سناریو B2 به جز ماه نوامبر افزایش دما را نشان می‌دهد. در سناریو A2 در دوره اول (۲۰۴۰-۲۰۱۰) ماه‌های آوریل، اگوست، اکتبر و نوامبر، کاهش دما را نشان می‌دهد. در همین دوره سناریو B2 در ماه‌های جولای، اگوست، اکتبر و نوامبر مقدار دما را نشان می‌دهد. در دوره دوم سناریو A2 و B2 ماه نوامبر کاهش دما را نشان می‌دهد. در دوره سوم در سناریو A2 و B2 تمامی ماه‌ها افزایش دما را نشان می‌دهند.

جدول ۵. میانگین دمای ماهانه پیش‌بینی شده برای کل دوره‌ها

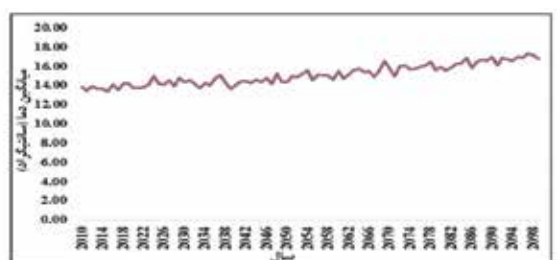
سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des
A2	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۹/۰۲	۹/۲۲	۹/۵۹	۱۴/۰۷	۲۰/۰۹	۲۵/۷۶	۲۶/۲۸	۲۳/۵۲	۱۸/۸۸	۱۳/۶۱	۱۱/۳۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۸/۰۲	۷/۸۱	۹/۲۳	۱۳/۶۶	۱۹/۱۵	۲۴/۸۸	۲۵/۲۳	۲۲/۷۵	۱۸/۱۹	۱۳/۳۸	۱۰/۲۷
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	-۱/۰۰	-۱/۲۱	-۰/۳۶	-۰/۴۱	-۰/۹۴	-۰/۸۸	-۰/۶۰	-۰/۷۷	-۰/۷۷	-۰/۷۰	-۰/۷۰
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۹/۱۵	۹/۱۴	۹/۴۲	۱۳/۸۸	۱۹/۸۸	۲۵/۶۵	۲۶/۲۲	۲۵/۹۸	۲۲/۳۹	۱۸/۹۱	۱۳/۲۷
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۳۵	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۷۰
	۲۰۷۱-۲۰۹۹	۹/۹۲	۸/۶۹	۹/۲۴	۱۴/۷۶	۲۱/۰۲	۲۶/۷۸	۲۶/۲۴	۲۳/۴۴	۱۹/۶۴	۱۶/۰۸	۱۲/۱۹
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۹۲	-۰/۲۱	-۰/۳۶	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱
	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۹/۰۵	۷/۹۱	۹/۵۶	۱۳/۸۹	۱۹/۷۶	۲۵/۲۸	۲۶/۰۸	۲۳/۱۱	۱۸/۴۸	۱۳/۶۱	۱۰/۲۷
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۰۵	-۰/۲۱	-۰/۳۶	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۸/۹۴	۸/۰۱	۹/۵۵	۱۳/۸۸	۱۹/۹۰	۲۵/۳۷	۲۶/۰۶	۲۳/۴۴	۱۹/۶۶	۱۶/۰۸	۱۲/۱۹
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	-۰/۰۹	-۰/۲۱	-۰/۳۶	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱
	۲۰۷۱-۲۰۹۹	۹/۶۹	۸/۲۹	۹/۸۶	۱۴/۱۳	۲۰/۱۴	۲۵/۷۹	۲۶/۲۹	۲۳/۷۱	۱۹/۶۲	۱۶/۰۸	۱۲/۱۹
تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۶۹	-۰/۲۱	-۰/۳۶	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱	

جدول ۶. اختلاف دمای میانگین ماهانه هر دوره با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱)

سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des
A2	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۱/۷۷	۱/۱۶	-۰/۵۱	-۰/۵۳	۱/۲۵	۲/۲۶	-۰/۲۶	-۰/۸۶	-۰/۵۷	-۰/۱۹	۱/۳۴
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۰/۷۸	۰/۷۵	-۰/۸۰	-۰/۳۱	۱/۳۰	۲/۳۰	-۰/۱۲	-۰/۵۲	-۰/۱۲	-۰/۳۹	-۰/۶۱
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۲۹	-۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲/۶۹	۱/۲۲	۱/۲۲	۲/۳۶	۳/۲۸	۳/۲۸	۲/۳۶	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۹۲	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱
	۲۰۷۱-۲۰۹۹	۱/۸۰	۱/۸۴	۱/۲۸	۲/۳۵	۳/۲۸	۳/۲۸	۲/۳۶	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱
	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۱/۲۶	۱/۳۵	۱/۱۵	۲/۰۸	۲/۳۶	۳/۲۸	۳/۲۶	۲/۳۶	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۱/۶۹	۱/۶۹	۱/۳۴	۲/۴۱	۳/۳۳	۳/۲۶	۲/۳۶	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴
	تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱
	۲۰۷۱-۲۰۹۹	۲/۴۴	۱/۲۲	۲/۴۴	۳/۲۶	۳/۲۶	۳/۲۶	۲/۲۶	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۲۴
تفاضل میانگین دما با دمای دوره پایه	۰/۶۷	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۳۱	



شکل ۶. نمودار سری زمانی بیشینه دمای پیش‌بینی شده برای کل دوره (۲۰۱۰-۲۰۹۹) در بندر انزلی



شکل ۷. نمودار سری زمانی کمینه دمای پیش‌بینی شده برای کل دوره (۲۰۱۰-۲۰۹۹) در بندر انزلی

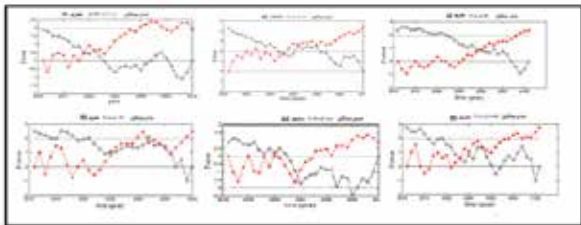
جدول ۱۱. روند تغییرات ماهانه دما در طول سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ (× = معناداری و ×× = عدم معناداری) در سطح اطمینان ۹۵٪

سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des
A2	۰/۰۱۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲
	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
B2	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳
	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳

آزمون گرافیکی من - کندال به واری و وجود روند و تعیین نوع آن و تعیین نقاط جهش در داده‌ها می‌پردازد. این آزمون برای مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه داده‌های پیش‌بینی شده دما برای کل دوره (۲۰۱۰-۲۰۴۰)، (۲۰۱۰-۲۰۷۰)، (۲۰۱۰-۲۰۹۹) و (۲۰۷۱-۲۰۹۹) تحت دو سناریو A2 و B2 اعمال شده است.

نتایج آزمون گرافیکی در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشهود است، دمای میانگین سالانه در دوره اول سناریو A2 در سال ۲۰۱۸ جهش معنادار با حاکمیت روند مثبت، در دوره دوم در سال ۲۰۵۳ جهش با حاکمیت روند مثبت و در دوره سوم در سال ۲۰۹۰ جهش با حاکمیت روند مثبت را در سطح اطمینان ۹۵ درصد آشکار می‌کند. در نمودارهای گرافیکی مربوط به سناریو B2 در دوره اول در سال ۲۰۳۵ جهش با حاکمیت روند مثبت و در دوره دوم در سال ۲۰۵۰ جهش با حاکمیت روند منفی و در دوره سوم در سال ۲۰۸۳ جهش با حاکمیت روند مثبت آشکار می‌شود. همچنین در شکل ۹ مربوط به دمای بیشینه پیش‌بینی شده تحت سناریو A2 در دوره اول عدم وجود جهش در داده‌ها آشکار شد. در دوره دوم در سال ۲۰۴۸ جهش با روند افزایشی و همچنین در سال ۲۰۶۰ جهش کاهشی، ۲۰۶۳ روند افزایشی و در دوره سوم در سال ۲۰۸۷ جهش با روند افزایشی آشکار می‌شود. در سناریو B2 در دوره اول ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴ جهش در داده‌ها و در دوره دوم سال ۲۰۶۰ جهش کاهشی و در دوره سوم سال ۲۰۸۰ جهش افزایشی آشکار می‌شود.

نمودار گرافیکی دمای کمینه (شکل ۱۰) تحت سناریو A2 در دوره اول در سال ۲۰۲۱ جهش با روند افزایشی، در دوره دوم ۲۰۵۵ جهش مثبت و در دوره سوم در سال ۲۰۸۰ جهش مثبت آشکار می‌شود. در نمودارهای گرافیکی مربوط به سناریو B2 در دوره اول سال ۲۰۲۱ جهش با روند مثبت و در دوره دوم سال ۲۰۶۷ و در دوره سوم ۲۰۹۰ جهش با حاکمیت مثبت آشکار می‌شود.



شکل ۸. نمودار ترسیمی آزمون من - کندال برای دمای میانگین پیش‌بینی شده بندر انزلی

به همین ترتیب در جدول ۷ و ۸ دمای کمینه ارائه شده است. برای دمای کمینه، اختلاف دمای کمینه ماهانه با دوره پایه نشان از افزایش مقدار دما در تمامی ماه‌ها در دو سناریو به جز ماه نوامبر دارد.

جدول ۷. اختلاف دمای کمینه ماهانه هر دوره با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱)

سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des
A2	۰/۰۷۹	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳
	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳
	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳
B2	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳
	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳
	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳

جدول ۸. دمای کمینه ماهانه پیش‌بینی شده برای کل دوره‌ها

سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des
A2	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
B2	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰

برای دمای بیشینه، مقدار دمای پیش‌بینی شده و تفاضل آن با دوره پایه در جدول ۹ و ۱۰ ارائه شده است. اختلاف دمای بیشینه نیز با دوره پایه روند افزایشی دما را در تمام ماه‌ها به جز ماه نوامبر (۲۰۴۰-۲۰۱۰) و سپتامبر (۲۰۷۰-۲۰۴۱) در سناریو B2 و کاهش دما را در ماه اگوست در دو سناریو نشان می‌دهد.

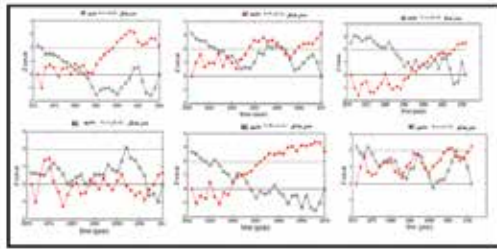
جدول ۹. دمای بیشینه ماهانه پیش‌بینی شده برای کل دوره‌ها

سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des
A2	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
B2	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰

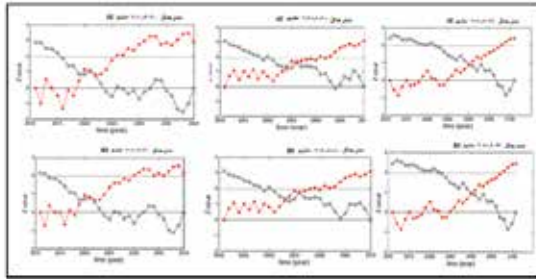
جدول ۱۰. اختلاف دمای بیشینه ماهانه هر دوره با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱)

سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des
A2	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
B2	۲۰۱۰-۲۰۹۹	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰
	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰	۲۰۱۰-۲۰۴۰

به منظور بررسی و تحلیل دقیق‌تر تغییرات اقلیمی بندر انزلی، روند میانگین، کمینه و بیشینه دما در سطح ۹۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱۱ ارائه شده است. روند تغییرات میانگین ماهانه دما در طول کل دوره (۲۰۱۰-۲۰۹۹) برای کل ماه‌ها مقدار مثبت را در هر دو سناریو نشان می‌دهد. برای دمای بیشینه، ماه فوریه عدم معناداری روند را در سناریو A2 و ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، اگوست و سپتامبر در سناریو B2 نشان می‌دهد. روند معناداری برای کمینه دما در هر دو سناریو برای کل ماه‌ها مثبت است.



شکل ۹. نمودار ترسیمی آزمون من - کندال برای دمای بیشینه پیش‌بینی‌شده بندر انزلی



شکل ۱۰. نمودار ترسیمی آزمون من - کندال برای دمای کمینه پیش‌بینی‌شده بندر انزلی

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی یکی از مسائلی است که بشر از دیرباز با آن مواجه بوده و برای مقابله یا سازگاری با آن برنامه‌ریزی می‌کند. آگاهی از چگونگی این تغییرات باعث ایجاد راهبردهایی در جهت برنامه‌ریزی بهینه در این زمینه است. یکی از راهکارهایی که در این زمینه راهگشاست پیش‌بینی متغیرهای جوی (خصوصاً دما و بارش) است. بدین منظور مدل‌های گردش عمومی (GCM) برای شبیه‌سازی متغیرهای جوی به وجود آمدند تا روند تغییرات متغیرهای جوی و تغییرات اقلیمی را در آینده برای مکان‌های متفاوت بیان کنند و خروجی این مدل‌ها با ریزمقیاس‌نمایی به منظور پیش‌بینی در نقاط مختلف به کار گرفته شود. براساس مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان با مدل SDSM و داده‌های HadCM3 پیش‌بینی دما انجام شده است. در این راستا اناندی (۲۰۰۸) دمای حداقل و حداکثر را در حوزه رودخانه‌ای براساس سناریوهای ipcc (A1B, A2, B1) پیش‌بینی کرده است. فایسها (۲۰۱۲) ریزمقیاس‌نمایی بارش و درجه حرارت را در حوزه تمبر در ایتالیا انجام داده و نتیجه گرفته که SDSM در برآورد میانگین داده‌ها برآوردگر مناسبی است. رضایی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۱۷) کارایی مدل SDSM را در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک کرمان و بم بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این مدل از کارایی بالا و دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی دما برخوردار است.

همچنین در تأیید مطالعات قبلی مدل SDSM نشان می‌دهد که این مدل در برآورد میانگین داده‌ها برآوردگر مناسبی است و اگر طول دوره آماری طولانی انتخاب شود نتایج بهینه‌ای را به همراه دارد. بر طبق نتایج این مطالعه و با توجه به اشکال ۳ و ۴ این مدل در ارزیابی واریانس داده‌ها برآوردگر مناسبی نیست و در پیش‌بینی و کاربرد آن باید با احتیاط عمل شود.



به منظور بررسی و تحلیل دقیق‌تر تغییرات اقلیمی بندر انزلی، روند میانگین، کمینه و بیشینه دما در سطح ۹۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱۱ ارائه شده است. روند تغییرات میانگین ماهانه دما در طول کل دوره (۲۰۹۹-۲۰۱۰) برای کل ماه‌ها مقدار مثبت را در هر دو سناریو نشان می‌دهد. برای دمای بیشینه، ماه فوریه عدم معناداری روند را در سناریو A2 و ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، آگوست و سپتامبر در سناریو B2 نشان می‌دهد. روند معناداری برای کمینه دما در هر دو سناریو برای کل ماه‌ها مثبت است

منابع

یکی از راهکارهایی که در این زمینه راهگشاست پیش‌بینی متغیرهای جوی (خصوصاً دما و بارش) است. بدین منظور مدل‌های گردش عمومی (GCM) برای شبیه‌سازی متغیرهای جوی به وجود آمدند تا روند تغییرات متغیرهای جوی و تغییرات اقلیمی را در آینده برای مکان‌های متفاوت بیان کنند و خروجی این مدل‌ها با ریزمقیاس‌نمایی به منظور پیش‌بینی در نقاط مختلف به کار گرفته شود

۱. ابکار، علی جان؛ حبیب‌زاده، محمود؛ سلیمانی، کریم و نقوی، هرمزد (۱۳۹۲). «بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک». فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۱۷، ۱۴-۱.
۲. باباییان، ایمان و نجفی‌نیک (۱۳۸۵). «معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان». نیوار، ۶۳-۶۲، ۴۹.
۳. ثبوتی، یوسف (۱۳۹۰). زمین گرم، چاپ اول. انتشارات گیتاشناسی.
۴. دهقانی پور، امیرحسین؛ حسن‌زاده، محمدجواد؛ عطاری، جلال و عراقی‌نژاد، شهاب. «ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سنوپتیک تبریز)». یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، شهید باهنر کرمان، ۱۸ تا ۲۰ بهمن ۱۳۹۰.
۵. رضایی، مریم؛ نهانی، محمد؛ ابکار، علیجانی؛ رضایی، معصومه و میرکازمی ریگی، مهری (۱۳۹۲). «بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)». پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۱۰، ۱۳۱-۱۱۷.
۶. روشنی، محمود (۱۳۸۲). «بررسی تغییرات اقلیمی در سواحل جنوبی دریای خزر». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۷. شمس، رضا؛ محمدی، سعیدعلی و دهقانی پور، امیرحسین (۱۳۹۳). «ارزیابی توانمندی مدل SDSM و LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های چرخه عمومی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مهرآباد)». دومین همایش ملی بحران آب، دانشگاه شهرکرد، شهریور ۱۳۹۳.
۸. شرکت آمارپردازان (۱۳۷۷). spss6. راهنمای کاربران، چاپ اول، انتشارات حامی.
۹. عزیزی، قاسم و روشنی، محمود (۱۳۸۷). «مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی خزر به روش من - کندال». پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ۲۸-۱۳.
۱۰. عساکره، حسین (۱۳۸۳). «مدل‌سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی (مطالعه موردی: بارش سالانه اصفهان)». فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۴، ۲۳۱-۲۱۳.
۱۱. فیضی، وحید؛ فرج‌زاده، منوچهر و نوروزی، رباب (۱۳۸۹). «مطالعه تغییر اقلیم در استان سیستان و بلوچستان به روش من - کندال». تهران: مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی دانان جهان اسلام.
12. Anandhi, Aavudai, V., Srinivas, D., Nagesh Kumar and Ravi S. Nanjundiah, (2008), Role of in downscaling surface temperature to river basin in India for IPCC SRES scenarios using support vector machine, international journal of climatology, 29,583-603.
13. Chen, Hua, Xu, Chong-Yu, Guo, Shenglian, 2012, Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff, Journal of Hydrology pp 36-45.
14. 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.
15. 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.
16. Fiseha B. M, Melesse A.M, Romano E, Volpi E. and Fiori A. (2012), Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature for the Upper Tiber Basin in Central Italy, International Journal of Water Sciences, vole 1, pp 1-14
17. Goossens Ch and Berger A. 1986. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. Annals Geophysical, 4B: 385-400.
18. Kim, j.w, J.T. Chang., N.L. Baker., D.S. Wilks and W.L. Gates. 1984. The statistical problem of climate inversion: determination of the relationship between local and large scale. Climate monthly weather review, (12):2069-2077.
19. Malcolm, R., H. Harpham., R.L. Wilby and C. Goodees. 2006. Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. International journal of climatology, (9): 1397-1415.
20. Mirza, M. Q., Warrick, R. A., Erickson, N. J. and Kenny, G. J., 1998, Trends and persistence in precipitation in the Ganges, Brahmaputra and Meghna river basins, Hydrological Sciences-Journal- de s Sciences Hydrologiques, 43(6), 845- 858.
21. Partal, T. and Kahya, E., 2006. Trend analysis in Turkey precipitation data.

Hydrologic Processes 20, 2011-2026.

22-Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. Journal of Hydrology, 307: 145-163.

23-Sneyers R. 1975. Sur analyses statistique des series observations. OMM Publication No.415, Note technique 143. OMM: World Meteorological Organization (WMO) Geneva & Switzerland; 192.

24. Wilby, R.L. and W.C. Dawson. 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales: 94pp.