

آشکار سازی تطبیقی تغییرات اقلیمی در دو ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب – معتدل و

کوهستانی سرد

مطالعه موردی: بندر انزلی و شهر کرد

یوسف زارعی^۱، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، تهران.
علی محمد خورشید دوست، استاد اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، تهران.
مجید رضایی بنفشه، استاد اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، تهران.
هاشم رستم زاده، استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، تهران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۱/۰۴

چکیده

از جمله چالش‌های مهم پیش روی منابع آب کشور، می‌توان به پدیده تغییر اقلیم و تأثیرات آن اشاره کرد. مدل‌های گردش عمومی (GCM) بهترین اطلاعات درباره پاسخ جویبه افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای را می‌تولند فراهم کنند. از آنجاکه خروجی‌های این مدل دارای دقت زمانی و مکانی کافی برای مطالعات تأثیر تغییر اقلیم نیست، لازم است داده‌های خروجی مدل‌های گردش عمومی کوچک مقیاس گردند؛ که در این پژوهش از روش ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و برای ارزیابی تغییرات اقلیمی از مدل CanEMS^۲ که در گزارش پنجم IPCC آمده تحت سه سناریوی RCP^۶، RCP^{۴٫۵} و RCP^{۸٫۵} استفاده شده است. از داده‌های روزانه دمای کمینه، بیشینه و بارش ایستگاه سینوپتیک شهر کرد (ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد) و بندر انزلی (ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل) بهره گرفته و پارامترهای مذکور برای سه دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۷۰، ۲۰۹۹-۲۰۷۱ و ۲۰۴۱-۲۰۷۱ پیش‌بینی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مدل SDSM دقت و کارایی بالایی در ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل (بندر انزلی) نسبت به ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد (شهر کرد) دارد. با این حال مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی پارامترهای مذکور در هر دو ناحیه را دارد. طبق هر سه سناریو RCP دمای کمینه، بیشینه و بارش در هر دو ناحیه اقلیمی در هر سه دوره زمانی افزایش را تجربه خواهند کرد، ولی ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد بیشتر تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت.

واژه‌های کلیدی: ناحیه اقلیمی، سناریوهای RCP، مدل CanEMS^۲، شهر کرد، بندر انزلی.

مقدمه

مدل توزیع مناطق زیستی کره زمین، پیوند و همبستگی نزدیکی با متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما و بارش دارد. هرگونه آشفتگی و بی‌نظمی در سامانه اقلیم منجر به ایجاد اختلال و برهم خوردن توازن فعلی می‌شود و توزیع جغرافیایی زیست‌بوم‌ها را از حالت کنونی خارج می‌کند. این امر تبعات وسیع اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی با شدت و ضعف‌های متفاوت در نواحی مختلف جهان را به دنبال خواهد داشت.

از دهه ۱۹۸۰ و با توسعه و تکامل مدل‌های عددی، تلاش برای پیش‌بینی‌های بلندمدت در مقیاس فصلی و سالانه آغاز شد؛ اما اخیراً عمده نگرانی دانشمندان هوا و اقلیم‌شناسی تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش کلی زمین و به‌تبع آن وضع اقلیم دهه‌های آتی کره زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی است. به همین دلیل مدل‌های عددی زیادی برای مدل‌سازی شرایط آب و هوایی در دهه‌های آینده با در نظر گرفتن شرایط مختلف بشر توسعه داده است (بذرافشان مقدم و گلیان، ۱۳۹۵). 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^۱ می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴). هرچند که این مدل‌ها در مقیاس فضای اتمسفری و قاره‌ای نتایج معنی‌دار را به نمایش می‌گذارند و بخش بزرگی از پیچیدگی کره زمین را ترکیب می‌کنند، اما ذاتاً قادر نیستند مقیاس‌های کوچکتر اتمسفری را با شبکه محلی را به نمایش بگذارند (Sharma and et al, ۲۰۰۷)؛ بنابراین ارزیابی تأثیر تغییرات در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف موقتی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این مورد رویکرد اساسی همان تکنیک‌های ریزمقیاس‌گردانی هستند (Wilby and et al, ۲۰۰۲). امروزه مدل‌های گردش عمومی جو قوی‌ترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی هستند (صالح پور، ۱۳۹۴). در واقع مدل‌های گردش عمومی هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیم برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند (شمس‌ی‌پور، ۱۳۹۰). معتبرترین ابزار جهت ریزمقیاس‌گردانی آماری داده‌های GCM به‌ویژه در کشور ما استفاده از روش‌های آماری است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴). از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل SDSM است (صمدی و همکاران، ۱۳۹۰). مدل SDSM از مدل‌های انتقالی آماری است (Wilby and Dawson, ۲۰۰۷)؛ که به‌عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس‌نمایی در سطح جهان شناخته‌شده است (Coulibaly and Dibike, ۲۰۰۵).

صمدی نقاب و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های دما و بارش به پیش‌بینی اقلیمی ایستگاهی پرداختند و نتایج نشان دادند که بین مقادیر ریزمقیاس‌شده دمای کمینه، بیشینه و بارش و مقادیر واقعی آن‌ها تفاوت معنی‌داری با خطای بحرانی ۰/۵ وجود ندارد. خان^۲ و همکاران (Khan and et al, ۲۰۰۶) برای ریزمقیاس‌کردن تغییرهای دما و بارش از سه مدل LARS-WG, SDSM و شبکه عصبی استفاده کردند و نشان دادند که نتایج مدل SDSM در مقایسه با سایر مدل‌های اقلیمی از عملکرد مناسبی برخوردار است. گودرزی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل SDSM به بررسی فاکتورهای اقلیمی در ایستگاه سینوپتیکی کرمانشاه پرداختند نتایج نشان داد که شبیه‌سازی داده‌های حداقل دما و حداقل دما نسبت به بارش به داده‌های مشاهداتی قابل‌اطمینان‌تر می‌باشد.

^۱ General Circulation Model

^۲ Khan

لیو^۱ و همکاران (Liu and et al, ۲۰۱۱) تأثیرات تغییرات اقلیمی را بر روی رودخانه زرد چین با استفاده از مدل SDSM جهت ریزمقیاس نمودن خروجی مدل HadCM۳ بررسی کردند. رجبی و شعبانلو (۲۰۱۵) عدم قطعیت تغییرات اقلیمی را در استان کرمانشاه با استفاده از مدل SDSM بررسی کردند. آن‌ها بدین منظور از مدل‌های گردش عمومی جو HadCM۳ و CGCM۱ تحت سناریوهای A۲.B۲ و A۱ استفاده کردند که نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که مدل CGCM۱ در میانگین حداکثر و حداقل روزانه دما از عدم قطعیت پایین‌تری نسبت به HadCM۳ برخوردار است و در بارش روزانه نیز از این قاعده پیروی می‌کند. بارش روزانه در مدل HadCM۳ ۵۴ درصد در سناریوی A۲ و ۵۱.۵ درصد در سناریوی B۲ افزایش را نشان داد؛ و دمای حداکثر و حداقل روزانه در تمامی سناریوها در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ افزایش نشان داد. جیان پینگ تانگ^۲ و همکاران (Jianping Tang and et al, ۲۰۱۶) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) و دینامیکی (WRF) تغییرات اقلیمی چین را برای دوره ۲۰۴۱ تا ۲۰۶۰ مورد مطالعه و نشان دادند که بین نتایج ریزمقیاس‌گردانی آماری و دینامیکی اختلاف وجود دارد. ویدیا^۳ و همکاران (Vidya and et al, ۲۰۱۶) برای ریزمقیاس‌نمایی دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش در حوضه رودخانه گوداواری^۴ از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در دو مدل اقلیمی جهان CGCM۳ و HadCM۳ استفاده کردند. در مدل CGCM۳ دو سناریو A۱B و A۲ و در مدل HadCM۳ سناریوهای A۲ و B۲ به کار گرفتند. شبیه‌سازی این تحقیق که برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بود نشان داد که دمای حداکثر در اکثر سناریوها افزایش داشته و بارش نیز در تمامی سناریوها داری روند افزایشی بوده است. زهتابیان و همکاران (۲۰۱۶) عناصر آب و هوایی استان قزوین را با استفاده از دو مدل SDSM و CLIMGEN مورد مطالعه قرار دادند نتایج حاصله نشان داد که هر دو مدل از پتانسیل بالایی برای شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش برخوردار هستند. تحقیقات متعدد دیگری نیز در این زمینه انجام شده از جمله می‌توان به جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۵)؛ بذرافشان و گلیان (۱۳۹۵)؛ عساکره و مطلبی زاده (۱۳۹۵)؛ قرمز چشمه و همکاران (۱۳۹۳) و حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد.

رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به روش ریزمقیاس‌نمایی آماری از مدل HADCM۳ و سناریوهای A۲، B۱، A۱B استفاده کردند و جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو، از مدل LARS-WG استفاده کردند. نتایج حاصله نشان داد که کاهش بارش و افزایش دما در سناریو A۲ نسبت به دو سناریو دیگر بیشتر بوده در هر سه سناریو بیشترین افزایش دما و بالاترین درصد کاهش بارش در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر اتفاق خواهد افتاد.

محمد خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات بارش نواحی خزری را با مدل SDSM با استفاده از سری مدل‌های Hadcm۳ مورد مطالعه قرار دادند، نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که خطای مدل در ماه‌های پر بارش بیشتر از ماه‌های کم بارش است؛ و مجموع بارش‌های سالانه در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و گرگان کاهش و در ایستگاه‌های رامسر، آستارا و گرگان افزایش خواهد یافت.

^۱ Liu

^۲ Jianping Tang

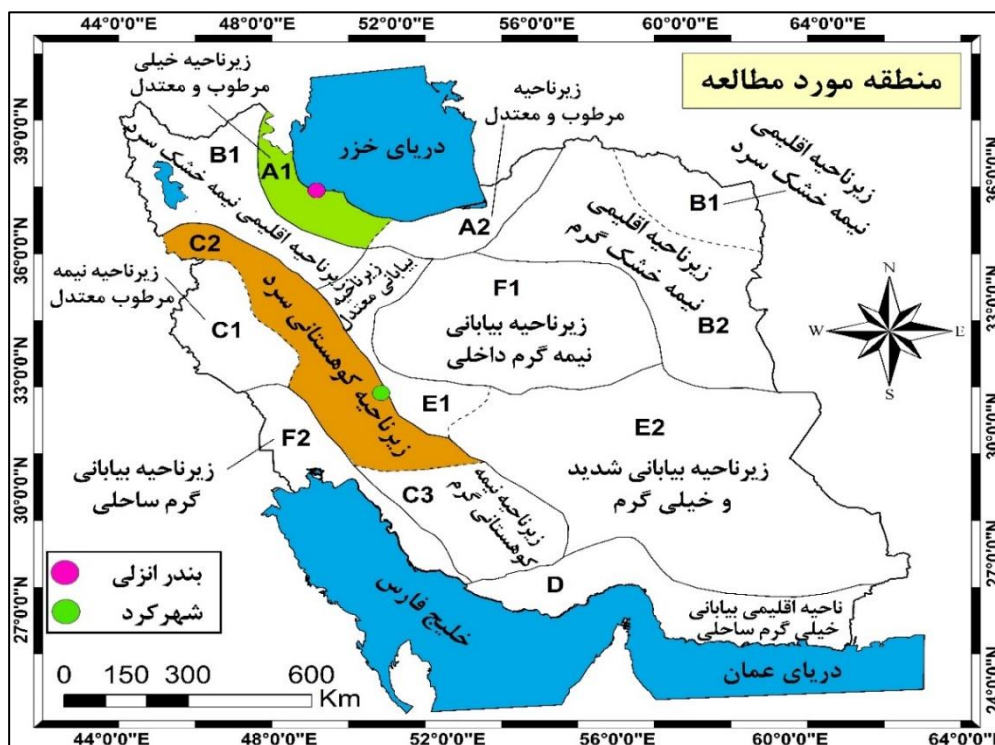
^۳ Vidya

^۴ Godavari

براساس تحقیقات انجام شده که اکثر با مدل های سری چهارم IPCC، انجام گرفته است. لذا در این تحقیق که با هدف بررسی تطبیقی تغییرات اقلیمی در ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب - معتدل و کوهستانی سرد انجام شده است از مدل های سری پنجم IPCC استفاده شده است و تغییرات اقلیمی مناطق مذکور مورد مطالعه قرار گرفته است.

داده ها و روش کار

مطالعه تطبیقی حاضر در دو ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی و شهرکرد انجام گرفته است. ایستگاه های مذکور به عنوان نماینده دو ناحیه اقلیمی مرطوب و معتدل خزر (زیر ناحیه خیلی مرطوب و معتدل) و ناحیه اقلیمی زاگرس (زیر ناحیه کوهستانی سرد) در نظر گرفته شده است (شکل ۱).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از طبقه بندی اقلیمی حیدری و علیجانی (۱۳۷۸) استفاده شده است که اقلیم ایران را با استفاده از ۴۳ پارامتر اقلیمی به ۶ ناحیه اقلیمی و ۱۲ زیر ناحیه اقلیمی طبقه بندی کردند. مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) برای شبیه سازی داده های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال حاضر و در شرایط آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به کار می رود که داده های آن به صورت سری های زمانی برای یک سری از داده های روزانه مانند بارش، حداقل و حداکثر دما و سایر پارامترهای جوی می باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴).

در این پژوهش، جهت ریزمقیاس نمایی آماری از داده های مدل CanEsm^۲ با استفاده از نرم افزار SDSM، استفاده شده است. داده های مورد استفاده در این پژوهش شامل، دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش ایستگاه های سینوپتیک بندر انزلی و شهرکرد، داده های NCEP برای ارزیابی و صحت سنجی مدل، داده های مدل CanEMS^۲، تحت سناریوهای RCP^{۲,۶}، RCP^{۴,۵} و RCP^{۸,۵} می باشند. مدل CanEMS^۲ از مدل های گردش عمومی جو سری CMIP^۵

است. این مدل یکی از مدل‌های گردش عمومی جو است که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب و هوایی کانادا (CCCma^۱) زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور توسعه یافته است. در این مدل، کل سطح زمین به صورت $۶۴*۱۲۸$ سلول، شبکه‌بندی شده است که هر سلول حدود $۲/۵۲۱۸$ درجه را پوشش می‌دهد (Wigley and et al, ۱۹۹۰). متغیرهای NCEP شامل متغیرهای اتمسفری است که از بین آن‌ها، متغیرهای مستقل انتخاب می‌شود. از آنجایی که متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP، می‌تواند 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 ریزمقیاس نمایی آماری انتخاب متغیرهای غالبی است که در واسنجی، صحت سنجی و تولید داده‌های پیش‌بینی شونده در مدل از آن استفاده می‌شود. اهمیت این بخش ناشی از آن است که مشخصات مدل و نتایج مدل، تحت تأثیر مستقیم متغیرهای مستقل است. متغیرهای مستقل باید از نظر فیزیکی با متغیرهای وابسته مرتبط بوده و از نظر آماری همبستگی بالایی را با آن‌ها داشته باشد (Abbasina and et al, ۱۹۹۰).

متغیرهایی که بالاترین ضریب همبستگی را با دمای کمینه، بیشینه و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه داشتند در جدول یک مشاهده می‌شود.

جدول ۱: متغیرهای مستقل پیش‌بینی کننده با ضریب همبستگی بالا با دمای حداقل، حداکثر و بارش در ایستگاه سینوپتیک

شهرکرد و بندر انزلی

ایستگاه	دمای کمینه	دمای بیشینه	بارش
شهرکرد	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	میانگین فشار در سطح دریا	سرعت نصف‌النهاری در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال
	نم ویژه در سطح زمین	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	واگرایی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
	میانگین فشار در سطح دریا	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	
بندر انزلی	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	سرعت نصف‌النهاری در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال
	نم ویژه در سطح زمین	نم ویژه در سطح زمین	
	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	سرعت نصف‌النهاری سطحی
	میانگین فشار در سطح دریا	میانگین فشار در سطح دریا	

در مطالعه حاضر برای ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس نمایی از چهار شاخص ضریب همبستگی، میانگین خطای مطلق^۲، خطای میانگین مربعات^۳ و مجذور میانگین مربعات خطا^۴ استفاده شد (رابطه ۱-۴).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$$MAD = \sum_{i=1}^n \left| \frac{p_i - o_i}{n} \right| \quad (2)$$

$$(3)$$

^۱ The Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis

^۲ MAD

^۳ MSE

^۴ RMSE

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \quad (۴)$$

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

در روابط (۱ تا ۴) p_i و o به ترتیب i امین داده شبیه‌سازی شده توسط مدل و واقعی (مشاهداتی)، \bar{p} و \bar{o} در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. MSE ، MAD و $RMSE$ می‌توانند به‌عنوان معیاری دو ویژگی انحراف و میزان دقت برآورد را نشان دهند. هر چه میزان شاخص‌های مذکور کمتر باشد نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل می‌باشد. ضریب همبستگی (R^2) بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است که مقدار آن بین صفر تا یک می‌باشد. هر چه مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده رابطه قوی خطی بین دو مقدار می‌باشد.

شرح و تفسیر نتایج

بر اساس هدف پژوهش که بررسی تطبیقی تغییر اقلیم در دو ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل خزر (ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی) و کوهستانی سرد (شهرکرد) با مدل CanEMS^۲ از مدل‌های گردش عمومی جو سری CMIP^۵ است، ابتدا واسنجی و صحت‌سنجی داده‌های پیش‌بینی کننده NCEP و پیش‌بینی شونده (مشاهداتی) با مدل SDSM با استفاده از روابط (۱)، (۲)، (۳) و (۴) انجام شد؛ که نتایج عملکرد مدل مذکور در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

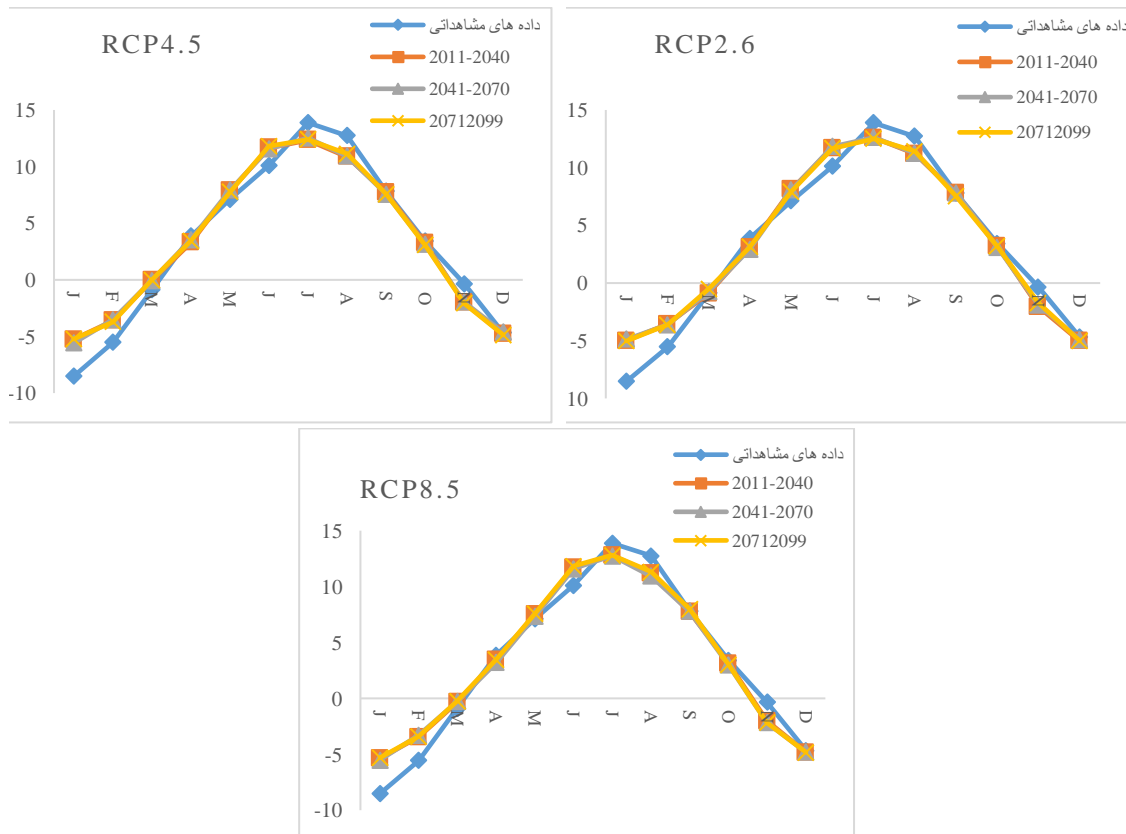
جدول ۲: بررسی کارایی مدل CanEMS^۲ برای پیش‌بینی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک

شهرکرد و بندر انزلی

عملکرد منطقه	پارامترهای اقلیمی	R^2	MAD	MSE	RMSE
شهرکرد	دمای کمینه	۰/۹۹	۰/۶۶	۰/۶۵۵	۰/۸۹۵
	دمای بیشینه	۱	۰/۶۹۴	۰/۹۸۲	۰/۹۹۱
	بارش	۰/۴۲	۱/۷۲	۱/۳۷	۲/۰۷
بندر انزلی	دمای کمینه	۱	۰/۵۷۷	۰/۴۶۵	۰/۶۸۶
	دمای بیشینه	۰/۹۹	۰/۶۳۳	۰/۶۳۳	۰/۷۹۶
	بارش	۰/۴	۱/۷۴	۱/۳۴	۱/۸۵

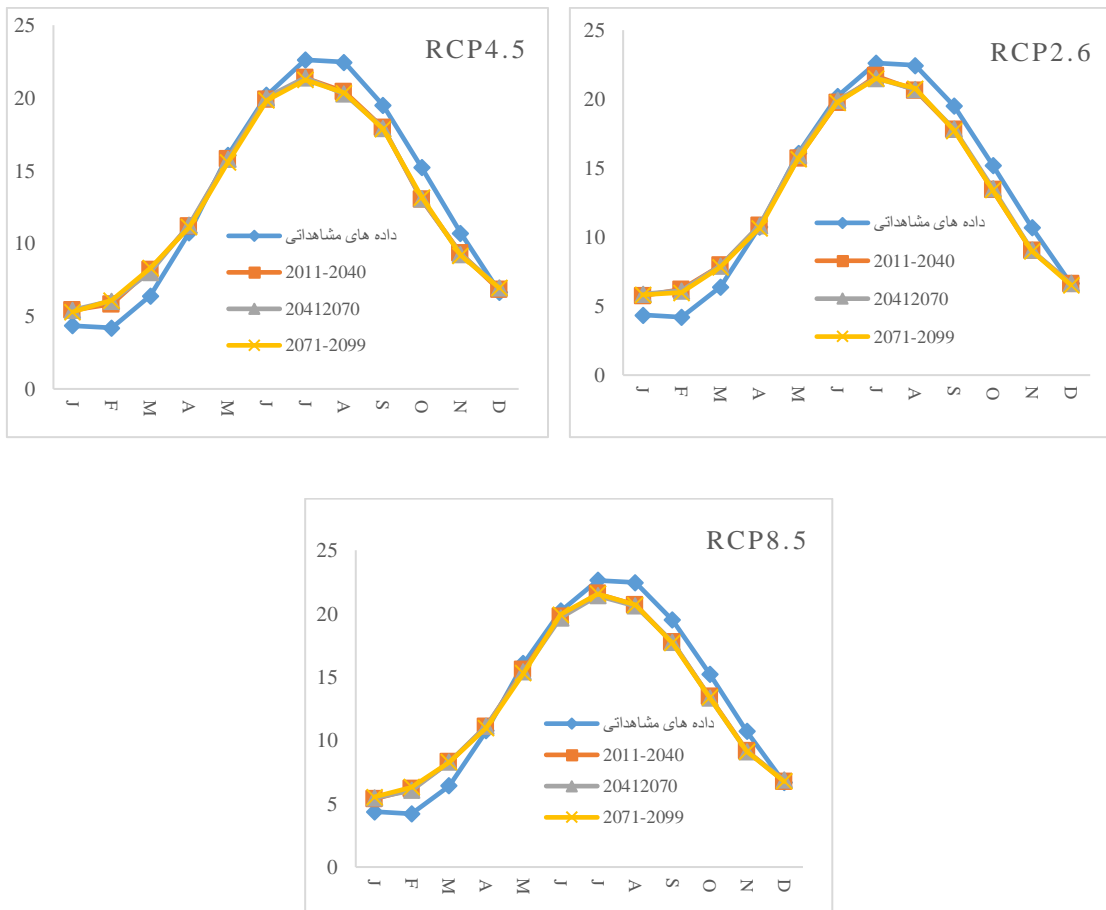
هر چه مقادیر MSE ، MAD و $RMSE$ کمتر و مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد مدل از کارایی بالایی برخوردار است. مطابق جدول (۲) سناریوهای RCP در برآورد دمای کمینه در هر دو ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل خزر (بندر انزلی) و کوهستانی سرد (شهرکرد) نسبت به دمای بیشینه و بارش از کارایی و دقت بالاتری برخوردار است. همچنین همان‌طور که از جدول (۲) قابل مشاهده است، نشان می‌دهد، مدل از دقت و کارایی بیشتری در ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل خزر (بندر انزلی) نسبت به شهرکرد برخوردار است. مقادیر MSE ، MAD و MSE از مقادیر کمتری نسبت به ناحیه کوهستانی سرد برخوردار است که نشان‌دهنده دقت مدل در ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل است.

شبیه‌سازی داده‌های دمای کمینه ایستگاه سینوپتیک شهرکرد بر اساس سناریوهای RCP مدل CanEMS^۲ انجام شد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، (شکل ۲) نتایج نشان می‌دهد، به‌طور متوسط در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ میلادی تحت سناریو RCP^{۲,۶} به ترتیب ۲/۱۷، ۲/۶۳ و ۲/۴۶ درجه سانتی‌گراد و در سناریو RCP^{۴,۵} این مقدار ۲/۲۹، ۲/۴۳ و ۲/۲۸ درجه سانتی‌گراد، همچنین بر اساس سناریو RCP^{۸,۵} دمای کمینه ۲/۵۳، ۱/۶ و ۳/۰۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. بیشترین افزایش دمای کمینه نسبت به دوره پایه در ماه فوریه و تحت سناریو RCP^{۸,۵} در سال ۲۰۹۹ در ایستگاه شهرکرد اتفاق خواهد افتاد.



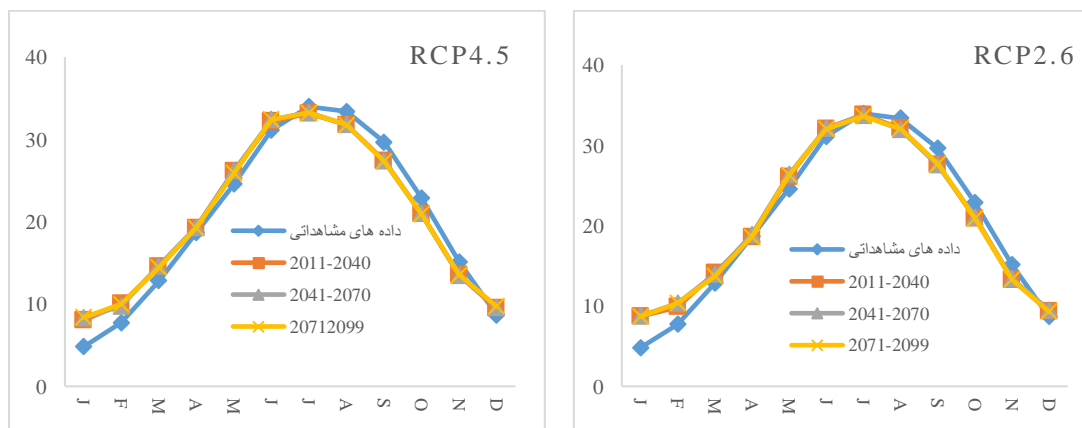
شکل ۲: مقایسه تغییرات دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه سینوپتیک شهرکرد بر اساس خروجی مدل CanEMS^۲ تحت سناریوهای RCP.

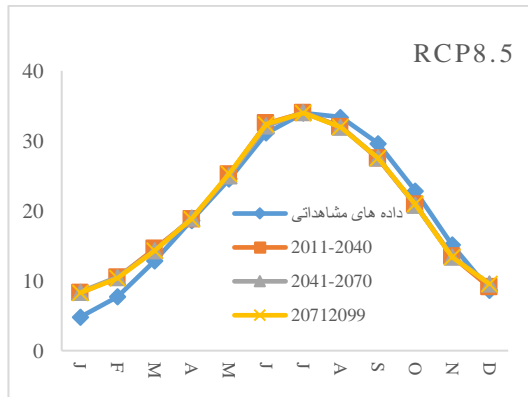
مقایسه داده‌های شبیه‌سازی‌شده و واقعی دمای کمینه ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی (شکل ۳) نشان می‌دهد که به‌طور متوسط در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ میلادی تحت سناریو RCP^{۲,۶} به ترتیب ۰/۳، ۰/۲۶ و ۰/۳۷ درجه سانتی‌گراد و در سناریو RCP^{۴,۵} این مقدار ۰/۳۲، ۰/۳ و ۰/۳۴ درجه سانتی‌گراد، همچنین بر اساس سناریو RCP^{۸,۵} دمای کمینه ۰/۳، ۰/۳۳ و ۰/۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. مقایسه تغییرات دمای کمینه با مدل CanEMS^۲ تحت سناریوهای RCP در ناحیه‌های اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل خزر (بندر انزلی) و کوهستانی سرد (شهرکرد) نشان می‌دهد که افزایش دمای کمینه در ناحیه اقلیمی سرد کوهستانی بیشتر از ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل خزر می‌باشد و بیشتر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد.



شکل ۳: مقایسه تغییرات دمای کمینه مشاهداتی و شبیه سازی شده ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی بر اساس خروجی مدل CanEMS^۲ تحت سناریوهای RCP.

مقایسه داده های دمای بیشینه واقعی و شبیه سازی ایستگاه سینوپتیک شهرکرد (شکل ۴) نشان می دهد؛ که به طور متوسط در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ میلادی تحت سناریو RCP^۲،^۶ به ترتیب ۳/۲۷، ۴/۲۷ و ۳/۲۹ درجه سانتی گراد و در سناریو RCP^۴،^۵ این مقدار ۳، ۳/۸۱ و ۳/۵۲ درجه سانتی گراد، همچنین بر اساس سناریو RCP^۸،^۵ دمای کمینه ۳/۴۹، ۳/۴۵ و ۳/۵۳ درجه سانتی گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.

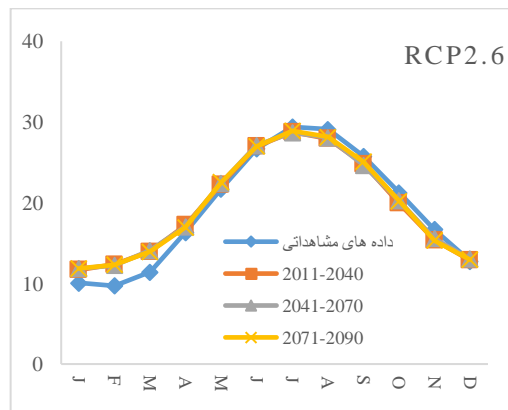
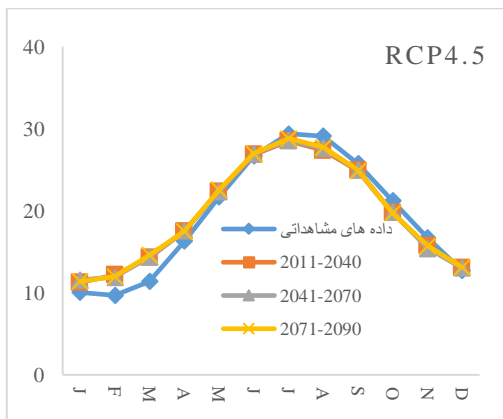


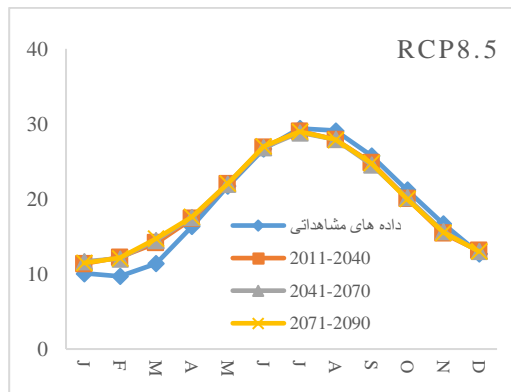


شکل ۴: مقایسه تغییرات دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه سینوپتیک شهرکرد بر اساس خروجی مدل CanEMS^۲ تحت سناریوهای RCP.

مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی نشان می‌دهد که به‌طور متوسط در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ میلادی تحت سناریو RCP^{۲,۶} به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۳۴ و ۰/۳۶ درجه سانتی‌گراد و در سناریو RCP^{۴,۵} این مقدار ۰/۲۴، ۰/۲۷ و ۰/۳۵ درجه سانتی‌گراد، همچنین بر اساس سناریو RCP^{۸,۵} دمای کمینه ۰/۲۸، ۰/۳۳ و ۰/۳۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت (شکل ۵). بیشترین مقدار افزایش دمای بیشینه در ایستگاه انزلی تحت سناریوهای RCP^{۲,۶} و RCP^{۸,۵} به میزان ۰/۳۶ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۹۹ خواهد بود و کمترین آن نیز تحت سناریو RCP^{۴,۵} در سال ۲۰۴۰ می‌باشد.

مقایسه نتایج تغییرات دمای بیشینه واقعی و شبیه‌سازی شده شهرکرد (ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد) و بندر انزلی (ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل) نشان می‌دهد تغییرات دمای بیشینه نیز به‌مانند دمای کمینه در ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد شدیدتر خواهد بود (شکل ۴) و (شکل ۵).





شکل ۵: مقایسه تغییرات دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی بر اساس خروجی مدل CanEMS^۲ تحت سناریوهای RCP.

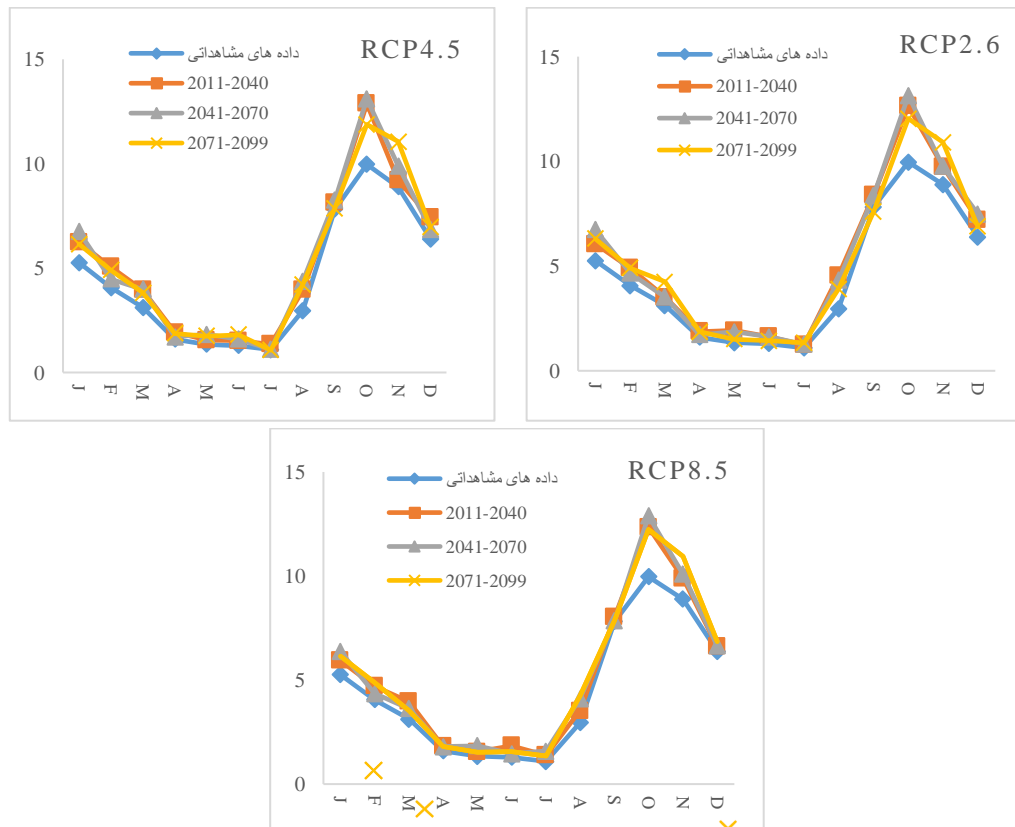
شبیه‌سازی داده بارش ایستگاه سینوپتیک شهرکرد نشان می‌دهد که به‌طور متوسط در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ میلادی تحت سناریو RCP^۲،^۶ به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۵ و ۰/۰۵ میلی‌متر و در سناریو RCP^۴،^۵ این مقدار ۰/۰۳، ۰/۰۷ و ۰/۰۸ میلی‌متر، همچنین بر اساس سناریو RCP^۸،^۵ بارش ۰/۰۴، ۰/۰۴ و ۰/۰۳ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت (شکل ۶).

مقایسه تغییرات دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد (ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد) نشان می‌دهد که دمای کمینه و بیشینه نسبت به بارش بیشتر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار خواهد گرفت.



شکل ۶: مقایسه تغییرات بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه سینوپتیک شهرکرد بر اساس خروجی مدل CanEMS^۲ تحت سناریوهای RCP.

شکل (۷) تغییرات بارش واقعی و شبیه‌سازی شده را در ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی نشان می‌دهد. به‌طور متوسط بارش در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ میلادی تحت سناریو RCP۲,۶، به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۸۹ و ۰/۷۶ میلی‌متر و در سناریو RCP۴,۶ این مقدار ۰/۷۸، ۰/۸۳ و ۰/۷۹ میلی‌متر، همچنین بر اساس سناریو RCP۸,۵ بارش ۰/۶۵، ۰/۷۳ و ۰/۷۶ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه تغییرات بارش در ایستگاه شهرکرد و بندر انزلی (شکل ۶) و (شکل ۷) نشان می‌دهد که تغییرات بارش در ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب - معتدل (بندر انزلی) بیشتر از ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد (شهرکرد)، تحت همه سناریوهای RCP خواهد بود.



شکل ۷: مقایسه تغییرات بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی بر اساس خروجی مدل CanEMS^۲ تحت سناریوهای RCP.

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر هرچند نتایج خروجی تحت سناریوهای RCP منجر به نتایج یکسانی نشد ولی هر سه سناریو بیانگر افزایش در متغیرهای دمایی و بارش در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد و بندر انزلی در دوره‌های آتی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل نسبت به ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد کمتر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی می‌باشد، به طوری که تحت هر سه سناریو RCP دمای کمینه، دمای بیشینه در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد نسبت به ایستگاه بندر انزلی در هر سه دوره زمانی آتی بیشتر افزایش خواهد یافت. تغییرات بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه چشم‌گیر نخواهد بود، باین حال تغییرات بارش در ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل بیشتر خواهد بود.

بررسی تغییرات ماهانه پارامترهای دمایی نیز نشان می‌دهد که در ناحیه اقلیمی خیلی مرطوب و معتدل (بندر انزلی) بیشترین افزایش دما در ماه فوریه و مارس تحت سناریو RCP^{۸.۵} در دوره زمانی ۲۰۷۱-۲۰۹۹ خواهد بود، در حالی که در ناحیه اقلیمی سرد کوهستانی (شهرکرد) ماه‌های ژانویه و فوریه بیشترین تغییرات دمایی را تجربه خواهند کرد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با پژوهش‌های انجام شده که در ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی انجام شده است نشان می‌دهد که تحقیق‌هایی که با سناریو های RCP انجام شده (ربانی و محمدی، ۱۳۹۵) نتایج همسانی با تحقیق حاضر دارد، ولی محمد خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعه بارش‌های آبی نواحی خزری با مدل HadCM^۳ در دوره آماری ۲۰۳۹-۲۰۱۱ نشان دادند که بارش در ایستگاه سینوپتیک خزر کاهش را تجربه خواهد کرد.

منابع

- بذرافشان مقدم، محمد و سعید گلپان. ۱۳۹۵. بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای مناطق مختلف کشور ایران. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- جهانبخش اصل، سعید؛ علی محمد خورشید دوست، محمد حسین عالی نژاد و فرناز پور اصغر. ۱۳۹۵. تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی (مطالعه موردی حوضه شهر چای ارومیه). نشریه هیدروژئومورفولوژی، ۷: ۱۰۷-۱۲۲.
- حجازی زاده، زهرا؛ سید محمد حسینی و علی‌رضا کربلانی درئی. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی سمنان با سناریوهای مدل گردش عمومی جو (Hadcm^۳). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۵: ۱-۲۴.
- حیدری، حسن و بهلول علیجانی. ۱۳۷۸. طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۷: ۷۴-۵۷.
- ربانی، فاطمه و سیاوش محمدی. ۱۳۹۵. ارزیابی بارش ایستگاه بندر انزلی تحت سناریو های RCPS گزارش پنجم تغییر اقلیم. *سومین کنفرانس بین‌المللی علوم جغرافیایی*.
- رضایی بنفشه، مجید و طاهره جلالی عنصرودی. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز تسو. *نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۶۴: ۷۹-۵۹.
- رضایی بنفشه، مجید؛ طاهره جلالی عنصرودی، مهدی ضرغامی و اصغر اصغری مقدم. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به روش ریزمقیاس‌نمایی آماری. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۲: ۹۷-۱۰۵.
- رضایی، مریم؛ محمد نهتانی، علیجان آبکار، معصومه رضایی و مهری میرکازهی ریگی. ۱۳۹۴. بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی کرمان و بم). *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز*، ۱۰: ۱۳۱-۱۱۷.
- صالح پور جم، امین؛ محسن محسنی ساروی، جواد بذرافشان و شهرام خلیفی سیگارودی. ۱۳۹۴. بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشک‌سالی در دوره آینده با کاربرد مدل گردش عمومی جو (مطالعه موردی شمال غرب ایران). *مجله مراتع و آبخیزداری*، ۴: ۵۳۷-۵۴۸.
- صمدی نقاب، سینا؛ علی محمد خورشید دوست، مجید حبیبی نوخندان و فاطمه زایل عباسی. ۱۳۹۰. به‌کارگیری مدل SDSM جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های GCM بارش و دما مطالعه موردی: پیش‌بینی‌های اقلیمی ایستگاهی در ایران. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۵۶: ۱۲-۲.
- عساکره، حسین و سلماز مطلبی زاده. ۱۳۹۵. مقایسه عملکرد دو مدل SDSM و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تغییرات دمایی حداقل (ایستگاه موردی: ارومیه). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۴: ۱۶۰-۱۴۰.
- قرمز چشمه، باقر؛ علی‌اکبر رسولی، مجید رضایی بنفشه، علیرضا مساح بوانی و علی محمد خورشید دوست. ۱۳۹۲. بررسی عوامل مورفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس‌گردانی مدل SDSM. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۲: ۱۶۴-۱۵۵.

- گودرزی، مسعود؛ برومند صلاحی و اسعد حسینی. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *مجله علوم محیطی و آب‌خیزداری ایران*، ۳۱: ۱۱-۲۳.
- محمد خورشید دوست، علی؛ بهروز ساری صراف، باقر قرمز چشمه و فاطمه جعفر زاده. ۱۳۹۶. برآورد و تحلیل مقادیر آبی بارش‌های نواحی خزری با به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۴۷: ۲۲۶-۲۱۳.
- محمد خورشید دوست، علی؛ علی‌اکبر رسولی و سعید زنگنه. ۱۳۹۷. مدل‌سازی روند یابی شاخص‌های حدی دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه. *مجله مخاطرات طبیعی*، ۱۶: ۱۹۴-۱۷۵.
- Wigley, T.M.L; P.D. Jones; K.R. Briffa and, G. Smith ۱۹۹۰. Obtaining sub-gridscale information from coarse-resolution general circulation model output. *Journal of Geophysical Research*, ۹۵: ۱۹۴۳-۱۹۵۳.
- Abbasina, M; T. Tavousi and M. Khosravi ۲۰۱۶. Assessment of Future changes in the Maximum Temperature at Selected Station in Iran Based on HADCM۳ and CGCM۳ Models, Asia- Pac. *J. Atmos. Sci.* ۵۴: ۳۷۱-۳۷۷.
- Sharma, D., A. D. Gupta and M. S. Babel. ۲۰۰۷. Spatial Disaggregation of Bias-Corrected GCM Precipitation for Improved Hydrologic Simulation: Ping River Basin, Thailand. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, ۱۱(۴): ۱۳۷۳-۱۳۹۰.
- Wilby, R.L., C.W. Dawson and E.M. Barrow ۲۰۰۲. A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts. *Environmental Modelling & Software*. ۱۷: ۱۴۷-۱۵۹.
- Shamsipoor, A. ۲۰۱۳. Climate Modeling Theory and Methods, Tehran University Press: p. ۲۹۴.
- Wilby, R. L., Dawson, W., C. ۲۰۰۷. SDSM ۴,۲- A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts, SDSM Manual Version ۴,۲. *Environment Agency of England and Wales*. ۹۴ pp.
- Goodarzi, M; S. Jahanbakhsh; M. Rezaee; A. Ghafari and H. Madian Mohammad ۲۰۱۱. Assesment of Climate Change Statistical Downscaling Metheds in a Single Site in Kermanshah, Iran. *American-Eurasian J. Agric & Environ. Sci*, ۵۰: ۵۶۴-۵۷۲.
- Jianping, T; N. Xiaorui; W. Shuyu; G. Hongxia; W. Xueyuan and W. Jian. ۲۰۱۶. statistical downscaling and dynamical downscaling of regional climate chin: present climate evaluations and future climate projections. *Journal of geophysical research: atmospheres*, ۱۲۱: ۲۱۱۰-۲۱۲۹.
- Khan M.S., Coulibaly, P. Coulibaly and Y.B. Dibike. ۲۰۰۶. Uncertainty Analysis of Statistical Downscaling Methods, *Journal of Hydrology*, ۲۳: ۴۳۲-۴۴۳
- Liu, L., Z. Liu; X. Ren; T. Fischer; Y. Xu. ۲۰۱۱. Hydrological impacts of climate change in the Yellow River Basin for the ۲۱st century using hydrological model and statistical downscaling model. *Quaternary International*, ۲۴۴ (۲): ۲۱۱-۲۲۰.
- Rajabi, A and S. Shabanlou. ۲۰۱۵ the analysis of climate change uncertainty by means of SDSM model (case study: Kermanshah province, Iran). *Agricultural communication*, ۳(۳): ۳۳-۴۰.
- Vidya, R; G.Dattatray; R.E.Gulwar. ۲۰۱۶. assessment of climate cchange for precipitation and temperature using statistical downscaling methods in upper Godavari river basin, India; *Journal of water resource and protection*, ۸: ۳۱- ۴۵
- Zehtabian, GH. R; A. Salajegheh; A. Malekian; A. Boroomand and A. Azareh. ۲۰۱۶. Evaluation and Comparison of Performance of SDSM and CLIMGEN Models in simulation of Climatic Variables in Gazvin Plain; *Desertn* ۲۱-۲: ۱۵۵-۱۶۴.

