مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره بیست و هشتم، تابستان ۱۴۰۰
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۸
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰
صفحات: ۱۰۶ – ۸۵

مقاله (علمی پژوهشی)

شبیه‌سازی تغییرات دمای ایران زمین بر پایه‌ی سناریوهای مختلف RCP

محمد دارند*[۱]، سمیرا حمیدی[۲]

۱*. دانشیار اقلیم شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان و عضو گروه پژوهشی مطالعات محیطی دریاچه زریبار، پژوهشکده کردستان شناسی، دانشگاه کردستان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشدآب و هواشناسی، دانشگاه کردستان

چکیده

هدف از انجام این پژوهش شناخت و پایش مکانی وردایی دمای کمینه، بیشینه و میانگین هوا بر روی گستره‌ی ایران زمین بر پایه‌ی سناریوهای مختلف خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای RCP گزارش پنجم هیأت بین دول تغییر اقلیم است. برای نیل به این هدف از سه دسته داده، داده های روزانه دمای کمینه، بیشینه و میانگین برای ۴۲ ایستگاه همدید ایران زمین طی دوره ی پایه (۱۹۷۹/۱/۱) تا (۲۰۰۵/۱۲/۳۱) برابر با ۹۸۶۲ روز، داده های مربوط به ۲۶ سنجه ی جوی مرکز ملی پیش‌بینی محیطیNCEP طی بازه ی زمانی یاد شده و داده-های مربوط به سناریوهای تغییر اقلیم بر پایه ی بیلان تابش RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 طی بازه ی زمانی(۲۰۰۶/۱/۱) تا (۲۱۰۰/۱۲/۳۱) بر روی ایران زمین، استفاده شد. در دوره ی پایه، برای ریزمقیاس کردن از روش آماری چندمتغیره و انتخاب متغیرهای پیش‌بینیکننده بر پایه ی هم خطی نبودن آنها و بیشترین نقش بر متغیر پیش بینی شونده(دما) انجام شد. بعد از استخراج میزان خطا در دوره ی پایه، مقادیر خطا در دوره های آتی و دوره ی پایه حذف شد. یافته ها بیانگر آن است که روش گزینش سنجه های پیش بینی کننده جوی بکارگرفته شده برای ریزمقیاس نمایی آماری عملکرد مناسبی در برآورد مقادیر دما دارد و برای حذف همبستگی خطی بین متغیرهای پیش بین و شناخت بهتر رفتار سنجه های جوی از طریق انتخاب متغیرهای تأثیرگذار و اساسی بسیار مناسب است. به طور کلی نتایج شبیه سازی سناریوهای بیلان تابش بیانگر افزایش معنادار دمای کمینه، بیشینه و میانگین هوای گسترهی ایران زمین طی قرن بیست و یکم است. نیمه ی غربی کشور افزایش دمای بیشتری را تجربه خواهند کرد. بر پایه ی سناریوهای بیلان تابشی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 دمای کمینه ی ایران به ترتیب حدود ۰/۳۵ ، ۰/۶ و بیش از ۱ درجه ی سانتیگراد بیشتر از دوره ی پایه را تجربه خواهد کرد. دمای بیشینه ی ایران از سال ۲۰۷۰ به بعد شتاب بیشتری به خود خواهد گرفت و نرخ افزایش نسبت به دوره ی پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۹ بیش از ۱ درجه ی سانتیگراد خواهد شد. شبیه سازی سناریوی RCP8.5 برای گستره ی ایران نشان داد که نرخ افزایش میانگین پهنه ای تغییرات دمای شبانه روزی ایران از دهه ی ۲۰۴۰ به بعد نسبت به دوره ی پایه از مرز ۰/۵ درجه ی سانتیگراد خواهد گذشت و در پایان قرن بیست و یکم به سه برابر یعنی ۱/۵ درجه ی سانتیگراد خواهد رسید.

واژگان کلیدی: تغییراقلیم، سناریوهای بیلان تابشRCP، ریزمقیاس‌نمایی آماری، دما، ایران.

*- محمد دارند (نویسنده مسئول) Email: m.darand@uok.ac.ir

مقدمه

ماندگاری ۱۵۰ ساله‌ی مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای، دی اکسیدکربن، در جو گرمایش جهانی دستکم تا اواخر قرن بیست و یکم ادامه خواهد یافت و تغییر اقلیم پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است (IPCC، ۲۰۰۷). با وجود این انسان با تلاشی که در جهت ارتقاء دانش خود نسبت به تأثیر عوامل جوی دارد و با به کاربردن مطالعات و بررسی‌هایی که بر روی روند تغییرات عوامل جوی دارد می‌تواند توانمندی خود را در کاهش خسارات ناشی از عوامل جوی به مرحله اجرا درآورد. از این رو شناخت و پایش مکانی دقیق این پدیده در دوره‌های آتی همراه با راهکارهای سازنده و مؤثر، استراتژی‌های مناسب، مدیریت بهینه‌ی منابع آبی و برنامه‌ریزی برای فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی و کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. برپایه‌ی وردایی رفتار اقلیم و گرمایش کره‌ی زمین پژوهش‌های فراوانی در ارتباط با شناخت تغییر اقلیم و ارزیابی آن در دوره‌های آتی بر روی ایران و مناطق مختلف جهان در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی به کمک روش‌های مختلف و همچنین بر روی نقش آن بر وردایی سنجه‌های جوی به ویژه دما و بارش با اهداف مختلف طی دهه‌ی اخیر انجام شده است. محمود و بابل (۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) به ارزیابی مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی آماری دما و بارش ماهانه و سالانه‌ی حوضه رودخانه جهلیوم بین پاکستان و هندوستان پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد که اقلیم حوضه‌ی مورد واکاوی نسبت به دوره‌ی پایه گرمتر و مرطوبتر خواهد شد. خادکا و پاتاک (۲۰۱۶) در پژوهشی به ریز مقیاس‌نمایی آماری تغییر اقلیم در حوضه‌ی رودخانه‌ی مارسیاندی نپال پرداختند. آنها از داده‌های مدل CanEsm2، و از روش ریزمقیاس نمایی آماری SDSM تحت سناریوهای جدید RCP بهره گرفتند و یافته‌ها نشان داد که تا دهه‌ی پایانی قرن بیست و یکم (۲۰۹۰) دمای بیشینه و کمینه‌ی هوا در منطقه‌ی مورد مطالعه حدود ۲/۲۹ و ۲/۴۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. عباس‌نیا و توروس (۲۰۱۶) در پژوهشی با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی SDSM به بررسی تغییرات آینده در حداکثر دمای ایران پرداختند. آنها با ارزیابی داده‌های روزانه‌ی حداکثر دما برای ۷ ایستگاه سینوپتیک و متغیرهای جوی در مقیاس روزانه طی بازه‌ی زمانی (۱۹۶۱-۲۰۱۰) به این نتیجه رسیدند که حداکثر دما در ایستگاه‌های تحقیقاتی در ایران بین ۰/۳ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. دُرجی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی تفاوت‌های دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM در حوضه‌ی کلمبو پرداختند. آنها در این پژوهش از داده‌های مربوط به دما و بارش طی بازه‌ی زمانی (۱۹۶۱-۱۹۹۰) استفاده کردند. نتایج آنها نشان دادکه مدل SDSM در شبیه سازی دما بهتر عمل می‌کند در صورتی که مدل شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی بارش نتایج بهتری دارد. پروازی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی مشابه به ارزیابی عملکرد مدل SDSM در پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی در دره‌ی کشمیر پرداختند. آنها برای انجام پژوهش از داده‌های دمای حداکثر، حداقل و بارش طی بازه‌ی زمانی (۱۹۸۵تا۲۰۱۵) و داده‌های اقلیم پیش‌بینی شده طی بازه‌ی زمانی (۲۰۲۱ تا۲۱۰۰) تحت سناریوی SRESa1b برای منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده کردند و یافته‌های آنها نشان داد که بیشینه و کمینه‌ی دما بر روی منطقه مورد واکاوی تا پایان قرن ۲۱ کاهش می‌یابد درحالیکه میزان بارش افزایش می‌یابد. والام و کین (۲۰۱۷) به پیش‌بینی بارش و دمای آینده‌ی مکان‌هایی با شرایط آب و هوایی متنوع براساس چند روش ریز مقیاس نمایی آماری پرداختند. نتایج این مطالعه با استفاده از سه مدل SDSM، LARS-WG وBCD برای ۵ منطقه‌ی مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی (۱۹۶۱تا۱۹۹۰) نشان داد که مدل SDSMبزرگترین افزایش دما و بارش را پیش‌بینی می‌کند. همچنین مدل SDSM در شبیه سازی واریانس حداقل

دما نسبت به دو مدل دیگر دارای توانایی و دقت بیشتری است. شهبازی (۱۳۹۷) با بهره‌گیری از مدل SDSM به واکاوی نقش تغییر اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی استان خوزستان در دهه‌های آتی پرداخت. ایشان در این پژوهش از طریق داده هایCanESM2 به مقایسه‌ی میزان بارش، دمای کمینه و بیشینه‌ی ایستگاه های منتخب نسبت به دوره ی پایه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان دما در همه ی ایستگاه های منتخب و برپایه‌ی کلیه‌ی سناریوها افزایش می یابد و نرخ افزایش براساس سناریوی RCP8.5 از سناریوی RCP4.5 بیشتر است. عساکره و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با استفاده از مدل SDSM به ارزیابی تغییرات دمای کمینه در غرب استان مازندران پرداختند. آنها داده های دمای کمینه‌ی پنج ایستگاه هواشناسی در غرب استان مازندران را برای پژوهش خود در نظر گرفتند و از داده های مدلHADCM3 بهره گرفتند. یافته‌های آنها نشان داد که دمای کمینه در غرب استان مازندران طی سالهای آینده روندی افزایشی خواهند داشت به گونه‌ای که میانگین فصلی این فراسنج در دوره های ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۹، ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ و ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ نسبت به دوره ی پایه به طور متوسط ۱/۸، ۳/۵ و۶ درصد افزایش خواهد یافت. عباس‌نیا و همکاران (۱۳۹۶) برپایه‌ی مدل‌های گردش عمومی جو به ارزیابی جامع وردایی فصلی آینده دمای بیشینه‌ی ایران طی دوره‌ی گرم سال پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد که طی دهه های آتی، نواحی کوهستانی و مرتفع عرض های شمالی ایران در فصل بهار و همچنین پهنه مرکزی ایران در فصل تابستان بیشترین افزایش دما را تجربه خواهند کرد. طی دوره گرم سال، نواحی همجوار با سواحل جنوبی ایران، کمترین افزایش دما را خواهند داشت. در این میان بیشترین افزایش در دمای حداکثر آینده نسبت به دوره پایه، به ترتیب برای فصل بهار و تابستان براساس سناریوی A2 حدود (۲ تا ۴ درجه سلسیوس) و بر اساس سناریوی B2 حدود (۱ تا ۲ درجه سلسیوس) برآورد شده است. در پژوهش سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶) یافته‌ها نشان داد که دمای کمینه و بیشینه در دو دهه‌ی ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ در ایستگاه‌های کرمانشاه و روانسر افزایش پیدا می‌کند. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) به واکاوی وردایی و پیش بینی فرین‌های دمای سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند. یافته‌های آنها بیانگر افزایش دمای کمینه و بیشینه در سال‌های آتی است و نرخ افزایش دما بین ۰/۱ تا ۱/۷ درجه‌ی سلسیوس متفاوت خواهد بود. المظوری و همکاران (۲۰۱۷) بر روی شبه جزیره عربی عدم قطعیت مربوط به شبیه سازی دما و بارش را به کمک سه گروه از مدل‌های چندگانه‌ی CMIP5 ارزیابی کردند. آنها دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 را مربوط به ۳۰ مدل به طور مجزا رادر قالب سه گروه CMIP5 را اواخر قرن بیست و یکم مورد مطالعه قرار دادند. برای انجام این پژوهش دوره‌ی پایه‌ی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ را در نظر گرفتند. یافته‌های آنها نشان دادند که افزایش پیوسته در دما در قرن بیست و یکم بر روی منطقه مورد واکاوی دیده می شود. نسبت به دوره‌ی پایه بارش بر روی مناطق جنوبی و شمال غرب شبه جزیره عربی افزایش خواهد یافت. تفاوت بین شبیه سازی دما و بارش توسط مدل‌ها در اواخر قرن بیست و یکم افزایش خواهد یافت. بوچیگنانی و همکاران(۲۰۱۸) به شبیه سازی دمای شرق و شمال آفریقا برپایه‌ی سناریوی RCP4.5 سری CMIP5 پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که افزایش دما و گرم شدن هوا بر روی ارتفاعات بلند ترکیه، شمال ایران و افغانستان بسیار قابل ملاحظه و چشم گیر است. علاوه بر آن بر روی مناطق مرزی بین کشور عراق و ایران نرخ افزایش دما بسیار بالا و قابل ملاحظه است. الکساندر و آربلاستر (۲۰۱۸) به تحلیل روند فرین‌های دما و بارش بر روی کشور استرالیا برپایه‌ی داده‌های مشاهده شده بر روی ایستگاهها و مدل CMIP5 پرداختند. آنها دوره مربوط به ۲۰۱۰-۱۹۱۱ را به عنوان دوره پایه و مشاهده شده در نظر گرفتند و از سال ۲۰۱۱ تا ۲۱۰۰ را به

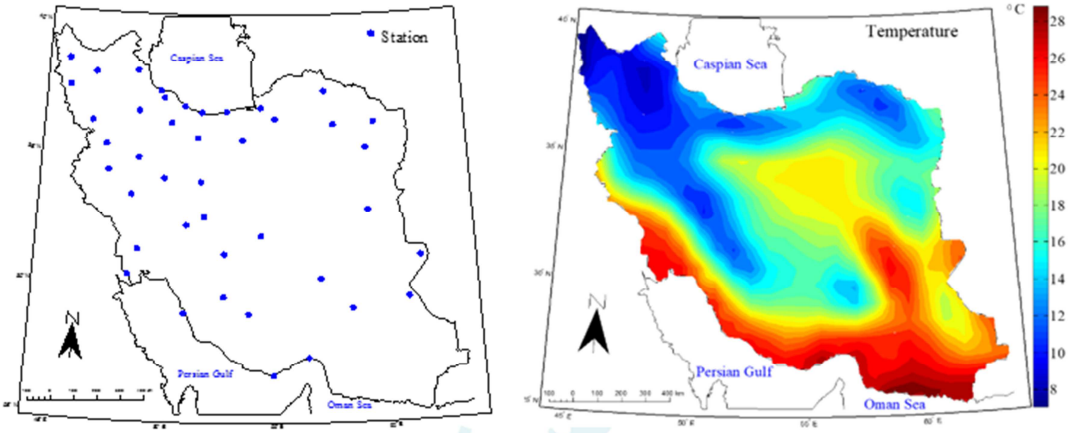
عنوان دوره آتی مورد واکاوی قرار دادند. یافته‌ها بیانگر آن بود که در دوره پایه، ۲۲ مدل مربوط به CMIP5 به خوبی اقلیم‌شناسی، تغییر پذیری و الگوهای روند سنجه‌های جوی مشاهده شده را نشان می‌دهند. از دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 برای شبیه سازی تغییرات فرین‌های بارش و دما بر روی استرالیا استفاده کردند. یافته‌ها همچنین نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ شمار روزهای همراه با فرین‌های سرد به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و شمار روزهای همراه با فرین های گرم به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. تغییرات فرین‌های دما بر روی مناطق حاره‌ای کشور به مراتب بیشتر است. اگرچه نتایج برای فرین‌های بارش کمتر است، ولی شبیه سازی رفتار نمایه‌های فرین بارش برای اواخر قرن بیست و یک در مقایسه با دوره حاضر بیانگر افزایش دوره‌های خشک و افزایش قابل ملاحظه‌ی شدت بارش است. بین سناریوهای انتشار تفاوت آشکاری در شبیه سازی فرین‌های بارش دیده می‌شود. کتیرایی و همکاران(۲۰۱۹) به ارزیابی هفت مدل CMIP5 فرین‌های بارش برپایه‌ی پایگاههای داده‌ی ماهواره‌ای PERSINN-CDR بر روی ایران طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۳ پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل CCSM4 بیشترین همبستگی (۰/۸۵) و کمترین میانگین ریشه دوم مجذور خطا (۷۶/۳ میلی متر) را در مقایسه با نتایج حاصل از پایگاههای داده‌ی ماهواره‌ای PERSINN-CDR دارد. مدل HadGEM2-ES با ضریب همبستگی بین ۰/۷۹-۰/۶۷ و کمترین میانگین ریشه دوم مجذور خطا بهترین عملکرد را برای نمایه‌های شدت بارش نشان می‌دهد. در بین مدلهای بکار گرفته شده عملکرد مدل MIROC5 پایین ترین است. مدل BCC-CM1-1-M نسبت به سایر مدلهای دیگر روزهای پیاپی مرطوب را بهتر نشان می‌دهد. یافته‌ها همچنین نشان داد که بعد از اصلاح کردن مدل‌ها و گرفتن خطاها، مدل CCSM4 بالاترین رتبه را دارد. اشرف واقفی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی رویدادهای حدی اقلیمی ایران را برای آینده برپایه‌ی دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. یافته‌های پژوهش آنها بیانگر افزایش بسامد رویدادهای فرین گرم بر روی ایران به ویژه بر روی مناطق جنوبی کشور است. بر روی اغلب گستره‌ی ایران نرخ افزایش دما در دوره‌ی ۲۰۴۹-۲۰۲۵ نسبت به دوره پایه(۲۰۰۴-۱۹۸۰) ۲ الی ۲/۷۵درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد بود. در پژوهش منصوری دانشور و همکاران (۲۰۱۹) نیز به صورت مروری واقعیت ها و آماره‌های تغییر اقلیم در ایران مورد بحث قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد که فارغ از برخی تفاوت در نرخ وردایی سنجه‌های هواشناسی در ایستگاههای هواشناسی، در کنار کاهش مقدار بارش دریافتی، نرخ دما و تابش موج بلند خروجی نیز افزایش می‌یابد. این پژوهش بر آن است که با بهره‌گیری از سناریوهای تغییر اقلیم تحت عنوان خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای RCP در قالب سه سناریوی مختلف RCP 2.6[1]، RCP 4.5 و RCP 8.5 مربوط به مدل CanESM2، به شناخت تغییرات شبیه سازی شده‌ی دما بر روی پهنه‌ی ایران زمین برپایه بپردازد.

داده ها و روش‌ها

از لحاظ موقعیت مکانی و جغرافیایی، ایران کشوری است ناهموار که در منطقه‌ی خشک و کم آب خاورمیانه واقع شده است و ارتفاع میانگین آن از تراز دریا حدود ۱۲۵۰ متر است (مسعودیان،۱۳۹۰). وجود کوه‌های بلند و تنوع توپوگرافی سبب شده که توزیع مکانی دمای هوا در ایران از الگوی منظمی تبعیت نکند(شکل ۱الف). در یک نگاه کلی دمای هوای ایران از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش دارد و علت این ویژگی وجود ارتفات درشمال و

[1] -Representative Concentration Pathway

غرب کشور و کاهش تدریجی زاویه تابش به طرف عرض‌های شمالی‌تر است (علیجانی، ۱۳۸۵). در این پژوهش نیز برای دستیابی به دورنمایی جامع از تغییرات دمایی ایران، تعداد ۴۲ ایستگاه سینوپتیک با کامل‌ترین طول دوره‌ی آماری مشترک (۱۹۷۹ تا ۲۰۰۵) بر روی پهنه‌ی گسترده‌ی ایران زمین مورد کندوکاو قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱: پراکنش مکانی دما بر روی گستره‌ی ایران (الف) و موقعیت مکانی ایستگاه های سینوپتیک مورد مطالعه(ب). *منبع: نگارندگان*

در شکل ۲ فلوچارت گام‌به‌گام مراحل انجام این پژوهش همراه با داده‌های به‌کارگرفته شده، آمده است. به طور کلی در این پژوهش برای بررسی اثر تغییر اقلیم در محدوده‌ی مورد مطالعه از سه دسته داده استفاده شد ۱- داده‌های روزانه دمای هوا (دمای کمینه، دمای بیشینه و میانگین دما) برای ۴۲ ایستگاه همدید ایران زمین طی دوره‌ی آماری (۱۹۷۹/۱/۱) تا (۲۰۰۵/۱۲/۳۱) برابر با ۹۸۶۲ روز ۲- داده‌های مربوط به ۲۶ سنجه‌ی پیش بین جوی مرکز ملی پیش بینی محیطی/ مرکز ملی پیش بینی جوی (NCEP/NCAR) طی بازه‌ی زمانی یاد شده ۳- داده‌های مربوط به سناریوهای تغییر اقلیم بر پایه‌ی بیلان تابش RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 طی بازه‌ی زمانی(۲۰۰۶/۱/۱) تا (۲۱۰۰/۱۲/۳۱) بر روی ایران زمین از مرکز تحلیل و مدلسازی اقلیمی کانادایی (Cccma) استفاده شد. از آن جایی که تفکیک مکانی داده‌های شبکه‌ای سنجه‌های مرکز پیش بینی محیطی بزرگ مقیاس(۲/۸ در۲/۸ درجه قوسی) هستند، در ابتدا لازم است که داده‌ها ریزمقیاس نمایی شوند. در این پژوهش از روش ریز مقیاس نمایی اماری بهره گرفته شد. روش‌های آماری در مقایسه با روش‌های دینامیکی، به ویژه در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل موثر بر وردایی آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است(دسترنج و همکاران، ۱۳۹۵). از مهم‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های آماری می‌توان به مدل SDSM اشاره کرد. این مدل توسط ویلبی و همکاران در سال ۲۰۰۲ ارائه شد که برپایه‌ی مدل رگرسیون چندمتغیره استوار است و مقادیر سنجه‌های جوی را در بلندمدت برپایه‌ی سیگنال‌های اقلیمی پیش بینی می‌کند. از آن جایی که این مدل برآورد مقادیر سنجه‌های هواشناسی را برپایه‌ی ترکیب روش‌های احتمالاتی و رگرسیونی انجام می‌دهد، در طبقه‌بندی‌های مدل‌های مختلف ریزمقیاس نمایی، از جمله بهترین و دقیق‌ترین مدل‌ها می‌باشد(ویلبی و همکاران، ۲۰۰۲). مهم‌ترین بخش در ریز

مقیاس نمایی اقلیمی انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده است(هوانگ و همکاران، ۲۰۱۱)، که در این پژوهش از روش پیشنهادی محمود و بابل (۲۰۱۴) برای انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده استفاده شد که ترکیبی از ماتریس همبستگی، همبستگی جزئی، و مقدار P-value است. فرایند انجام آن به شرح زیر است:

۱- ابتدا یک ماتریکس همبستگی بین ۲۶ متغیر پیش بینی کننده NCEP/NCAR و متغیر پیش بینی شونده در ایستگاه مورد نظر تشکیل شد. سپس از بین ۲۶ متغیر پیش بینی کننده ۱۲ متغییری که بالاترین ضریب همبستگی را با متغیر پیش بینی شونده داشت جدا، و بر اساس ضریب همبستگی از بزرگتر به کوچکتر (بدون در نظر گرفتن علامت مثبت و منفی) مرتب گردید و متغیری که بیشترین ضریب همبستگی را داشت به عنوان بهترین متغیر پیش-بینی‌کننده[1](SP) تعیین شد.

۲- ضریب همبستگی بین ۱۱ متغیر پیش بینی کننده باقی مانده با بهترین متغیر پیش بینی کننده، ضریب همبستگی جزئی بین متغیرهای پیش بینی کننده و متغیر پیش بینی شونده و سطح معنی داری (P-value) آنها به دست آمد.

۳- متغیرهایی که سطح معنی داری آنها از نظر آماری از α=۰/۰۵ بزرگتر بود حذف شد. همچنین متغیرهایی که ضریب همبستگی آنها با بهترین پیش بینی‌کننده بالا بود (بالاتر از ۰/۵) برای جلوگیری از به وجود آمدن پدیده چند هم خطی حذف شدند.

۴- درصد کاهش در ضریب همبستگی جزئی(PRP) بین هر کدام از متغیرهای پیش بینی کننده باقی مانده و متغیر پیش بینی شونده با توجه به ضریب همبستگی واقعی آنها، با استفاده از معادله (۲-۱) محاسبه شد.

$$\mathrm{PRP} = \left(\frac{P.r-R1}{R1}\right) \qquad (۱)$$

که در آن PRP درصد کاهش در ضریب همبستگی جزئی با توجه به ضریب همبستگی واقعی است. P.r ضریب همبستگی جزئی بین متغیر پیش بینی کننده و متغیر پیش بینی شونده و R1 نیز ضریب همبستگی بین متغیر پیش بینی کننده و متغیر پیش بینی شونده می‌باشد.

۵- متغیری که کمترین درصد کاهش در ضریب همبستگی جزئی را داشت به عنوان دومین متغیر پیش بینی کننده انتخاب شد. متغیری که در این مرحله انتخاب می‌شود باید فاقد هم خطی با بهترین پیش بینی کننده باشد و در صورت همبستگی، باید از لحاظ آماری معنی‌دار نباشد.

۶- برای انتخاب سومین متغییر پیش بینی کننده هر دو متغیر پیش بینی کننده منتخب قبلی به صورت مشترک به عنوان بهترین متغیر پیش بینی کننده در نظر گرفته شدند و مراحل ۲ تا ۵ تکرار گردید. لازم به ذکر است که انتخاب سه متغیر پیش‌بینی‌کننده برای تشریح و توصیف تغییرات متغیر پیش بینی شونده کافی خواهد بود(چو و همکاران، ۲۰۱۰؛ محمود و بابل، ۲۰۱۳).

[1] Super predictor

جدول ۱: فهرست سنجه‌های جوی مرکز NCEP/NCAR.

ردیف	نام متغیر	ردیف	نام متغیر
۱	میانگین فشار هوا در تراز دریا	۱۴	سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۲	سرعت باد سطحی	۱۵	باد مداری در تراز۸۵۰ هکتوپاسکال
۳	باد مداری سطحی	۱۶	باد نصف النهاری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۴	باد نصف النهاری درسطح	۱۷	تاوایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۵	تاوایی درسطح	۱۸	جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۶	جهت باد در سطح	۱۹	واگرایی در تراز۸۵۰ هکتوپاسکال
۷	واگرایی در سطح	۲۰	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	سرعت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۱	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۹	باد مداری در تراز۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۲	بارش سطحی
۱۰	باد نصف النهاری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۳	نم ویژه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۱	تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۴	نم ویژه در تراز۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۲	جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۵	نم نسبی
۱۳	واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۶	میانگین دما در ارتفاع ۲متری

به منظور افزایش دقت مدل و حذف خطاها از داده‌های ریز مقیاس نمایی شده روزانه تصحیح خطا به کمک رابطه‌ی ۲ انجام شد. این روش توسط سالزمان و همکاران (۲۰۰۷) و محمود و بابل (۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) جهت تصحیح نرخ خطا پیشنهاد شده است.

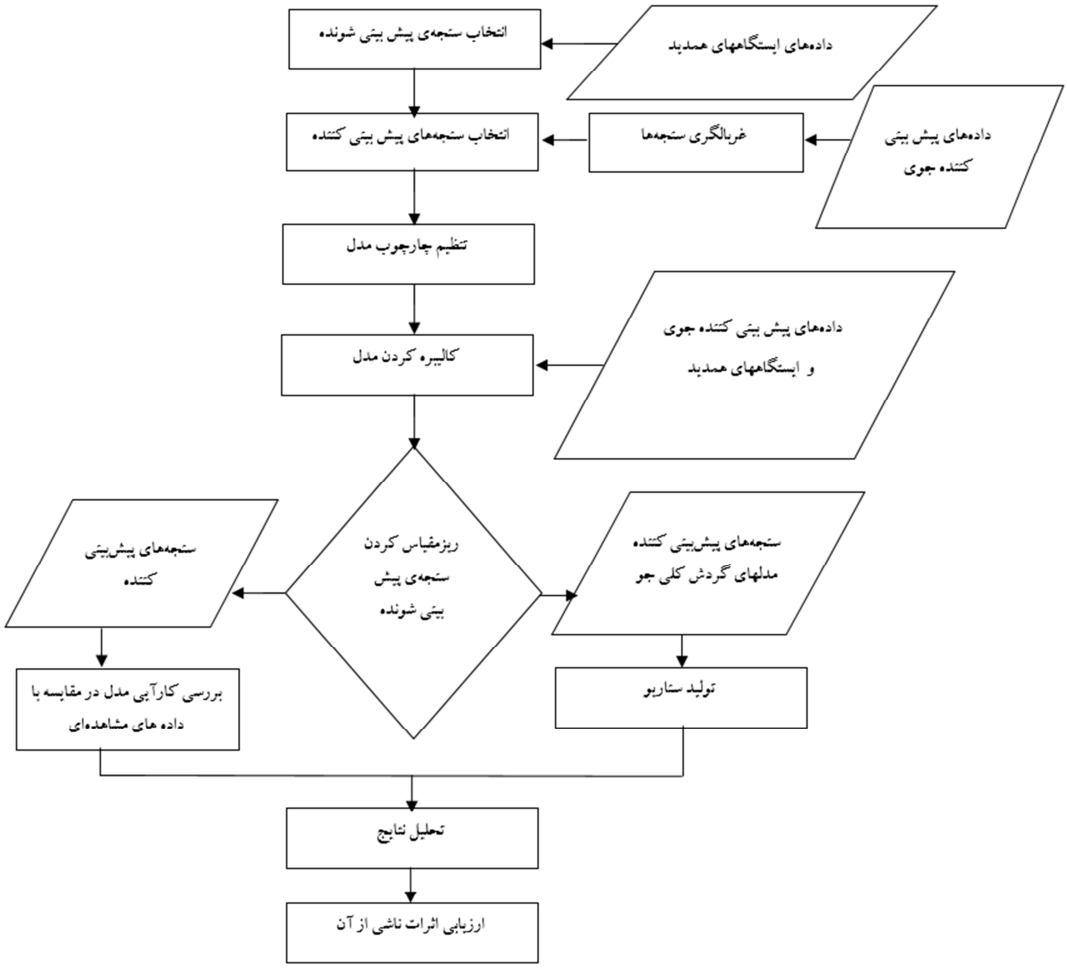
$$T_{deb} = T_{scen} - (T_{cont} - T_{obs}) \quad (۲)$$

که T_{deb} دمای تصحیح شده‌ی روزانه برای دوره‌ی زمانی آینده (۲۱۰۰-۲۰۰۶) و T_{scen} نشاندهنده‌ی دمای پیش-بینی شده تحت سناریوهای مختلف و T_{cont} نشان‌دهنده‌ی میانگین طولانی مدت دمای روزانه شبیه‌سازی شده بوسیله‌ی مدل SDSM برای دوره‌ی پایه (۱۹۷۹- ۲۰۰۵) و T_{obs} نشان‌دهنده‌ی میانگین طولانی مدت داده‌های مشاهده‌ای دمای روزانه در دوره‌ی پایه است. برای شناخت معناداری وردایی دمای شبیه سازی شده توسط سناریوهای مختلف از آزمون من‌کندال اصلاح شده و جهت برآورد نرخ وردایی از آزمون تخمینگر شیب سن در سطح اطمینان ۹۵ درصد بهره گرفته شد.

یافته‌های تحقیق

در ابتدا بر روی ۴۲ ایستگاه همدید به کمک متغیرهای پیش بین جوی مرکز ملی پیش بینی محیطی/ مرکز ملی پیش بینی جوی (NCEP/NCAR) و برپایه‌ی روش یاد شده ۴ متغیر پیش بینی کننده‌ی جوی از بین ۲۶ متغیر جوی برای هر کدام از ایستگاههای مورد واکاوی برگزیده شد. سپس برپایه‌ی سنجه‌های برگزیده شده‌ی پیش بین در دوره‌ی پایه مقادیر دمای کمینه، بیشینه و میانگین برای هرکدام از ایستگاه‌ها برآورد شد و نرخ خطا با مقایسه مقادیر برآورد شده و مشاهده شده محاسبه شد و برای دهه‌های آتی مقادیر دمای شبیه سازی شده برپایه سنجه‌های پیش بین برگزیده شده، نرخ خطا از سری‌های زمانی سنجه‌ها حذف شد. همانطور پیداست برای سنجه‌های جوی دمای

کمینه، بیشینه و میانگین دما متغیر پیش کننده‌ی اصلی یا همان (Super Predictor) متغیر جوی دمای هوا در ارتفاع ۲ متری (tempgl) است و سایر پیش‌بینی کننده‌های جوی شامل نم ویژه در تراز های مختلف ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، مولفه‌های مداری و نصف النهاری باد(u,v) در ترازهای مختلف جوی، تاوایی و واگرایی در ترازهای مختلف است که از هر ایستگاه به ایستگاه دیگر متفاوت است. هدف از گزینش متغیرهای یاد شده آن است که برای حذف همبستگی خطی بین متغیرهای پیش بین و شناخت بهتر رفتار سنجه‌های جوی از طریق انتخاب متغیرهای تأثیرگذار و اساسی بر روی وردایی آنهاست. برای نمونه، شکل ۳ مقایسه‌ی مقادیر دمای بیشینه‌ی مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل در ایستگاه سنندج به کمک ۴ سنجه‌ی برگزیده شده (دمای ارتفاع ۲ متری، جهت باد سطحی ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، میانگین فشار هوا در تراز دریا) برپایه‌ی روش محمود و بابل (۲۰۱۴) را نشان می‌دهد. همانطور که پیداست بین مقادیر دمای بیشینه‌ی مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل اختلاف بسیار کوچکی (در حد صدم) وجود دارد و این خود بیانگر عملکرد مناسب روش به‌کار گرفته شده در گزینش سنجه‌ها جهت ریزمقیاس نمایی آماری است.



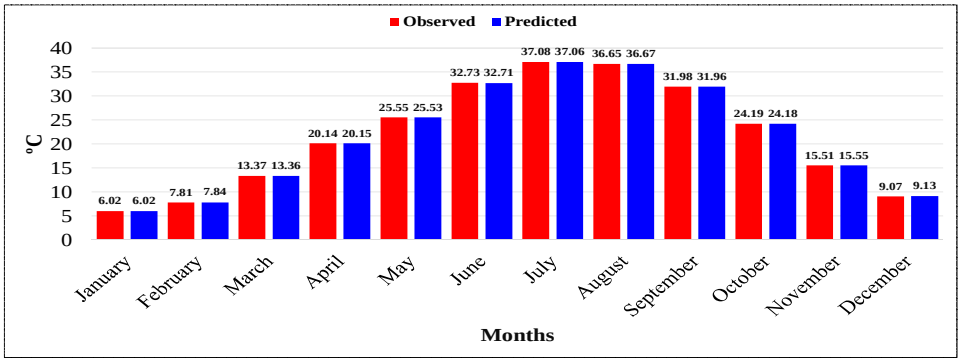
شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام پژوهش برای ریزمقیاس نمایی آماری. *منبع: نگارندگان*

جدول ۲: فهرست متغیرهای پیش بینی کننده‌های جوی NCEP/NCAR.

نام ایستگاه	دمای بیشینه	میانگین دما	کمینه دما	نام ایستگاه	دمای بیشینه	میانگین دما	کمینه دما
ارومیه	tempgl	tempgl	tempgl	بندرعباس	Tempgl	tempgl	tempgl
	s500gl	vgl_1	thgl_8		vgl_8	vgl_8	vgl_1
	ugl_8	s850gl	s850gl		p850gl	vgl_1	p500gl
	vgl_1	p500gl	s500gl		vgl_1	p500gl	zgl_5
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
خوی	tempgl	tempgl	tempgl	بم	Tempgl	tempgl	tempgl
	thgl_8	s850gl	s850gl		s500gl	s500gl	zhgl_1
	s500gl	Mslp	mslp		zgl_5	zhgl_1	s500gl
	p500gl	p500gl	p500gl		ugl_5	p500gl	p500gl
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
اصفهان	tempgl	tempgl	tempgl	کرمان	Tempgl	tempgl	tempgl
	zhgl_5	zhgl_5	s850gl		p500gl	vgl_8	vgl_8
	p500gl	shumgl	ugl_8		p850gl	p500gl	ugl_5
	mslp	ugl_8	zgl_5		ugl_8	p850gl	p850gl
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
شیراز	tempgl	tempgl	tempgl	کرمانشاه	Tempgl	tempgl	tempgl
	p500gl	p500gl	p850gl		s500gl	zhgl_1	zhgl_8
	mslp	mslp	p500gl		zgl_5	p500gl	p850gl
	zgl_5	zgl_5	s500gl		p500gl	mslp	s500gl
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
قزوین	tempgl	tempgl	tempgl	بیرجند	Tempgl	tempgl	tempgl
	vgl_1	vgl_1	vgl_1		zhgl_8	zhgl_8	vgl_1
	p500gl	s850gl	s500gl		p500gl	vgl_1	vgl_8
	mslp	mslp	zgl_5		fgl_5	p500gl	fgl_8
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
گرگان	tempgl	tempgl	tempgl	طبس	Tempgl	tempgl	tempgl
	s850gl	zhgl_8	zhgl_8		zhgl_1	zhgl_1	vgl_8
	p500gl	p500gl	p500gl		p500gl	vgl_8	ugl_8
	zgl_5	zgl_5	Mslp		Mslp	p500gl	ugl_1
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
همدان	tempgl	tempgl	tempgl	آبادان	Tempgl	tempgl	tempgl
	vgl_1	vgl_1	vgl_1		s500gl	zgl_5	fgl_5
	s850gl	s850gl	s500gl		p850gl	p850gl	zgl_5
	p500gl	mslp	mslp		fgl_5	mslp	s500gl
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
اهواز	tempgl	tempgl	tempgl	رامسر	tempgl	tempgl	tempgl
	s500gl	ugl_5	zgl_5		s500gl	shumgl	vgl_1
	p850gl	zgl_5	s500gl		p500gl	s850gl	p500gl
	ugl_5	p850gl	fgl_5		ugl_8	mslp	zgl_5
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
دزفول	tempgl	tempgl	tempgl	شهرکرد	Tempgl	tempgl	tempgl
	fgl_5	fgl_5	zgl_5		zhgl_5	ugl_1	s850gl
	s500gl	zgl_5	s500gl		p500gl	shumgl	zgl_5
	p500gl	p500gl	shumgl		ugl_1	p500gl	s500gl
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
سنندج	tempgl	tempgl	tempgl	زاهدان	Tempgl	tempgl	tempgl
	vgl_1	vgl_1	ugl_1		p500gl	fgl_5	fgl_5
	p500gl	ugl_8	mslp		p850gl	vgl_8	zgl_8
	mslp	s850gl	s500gl		thgl_8	ugl_8	vgl_8
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
خرم آباد	tempgl	tempgl	tempgl	تبریز	tempgl	tempgl	tempgl
	zhgl_5	zhgl_5	s500gl		s850gl	ugl_1	ugl_1
	p500gl	p500gl	zgl_5		p500gl	s850gl	s850gl
	s500gl	shumgl	shumgl		Mslp	ugl_8	ugl_8
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99
اراک	tempgl	tempgl	tempgl	تهران(مهرآباد)	Tempgl	tempgl	tempgl
	s500gl	s850gl	s850gl		vgl_1	p500gl	ugl_1
	zhgl_5	mslp	mslp		p500gl	shumgl	shumgl
	zhgl_8	zgl_5	p500gl		Mslp	ugl_1	p500gl
R	0.99	0.99	0.99	R	0.99	0.99	0.99

بابلسر	tempgl	vgl_1	shumgl	mslp	یزد	Tempgl	tempgl
	s500gl	vgl_1	shumgl	s850gl		zhgl_8	ugl_8
	prcpgl	shumgl	s850gl	shumgl		s500gl	p850gl
	shumgl	mslp	s850gl	p500gl		p500gl	zhgl_8
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99
زنجان	tempgl	tempgl	tempgl	rشت		Tempgl	tempgl
	p500gl	vgl_1	vgl_1			ugl_8	vgl_1
	mslp	s500gl	s850gl			Prcpgl	s850gl
	s500gl	zgl_5	mslp			s500gl	zgl_5
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99
مشهد	tempgl	tempgl	tempgl	سبزوار		Tempgl	tempgl
	s850gl	vgl_8	vgl_8			p500gl	vgl_1
	p500gl	s850gl	vgl_1			s850gl	p500gl
	ugl_8	zhgl_8	p500gl			Mslp	mslp
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99
تربت حیدریه	tempgl	tempgl	tempgl	شاهرود		Tempgl	tempgl
	zhgl_1	vgl_1	vgl_8			p500gl	hgl_8
	p500gl	s850gl	p500gl			s500gl	s500gl
	mslp	vgl_8	mslp			zgl_8	p500gl
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99
زابل	tempgl	tempgl	tempgl	سقز		Tempgl	tempgl
	ugl_5	vgl_8	vgl_8			p500gl	vgl_5
	thgl_8	p850gl	ugl_5			zgl_8	s500gl
	p500gl	mslp	ugl_8			Mslp	s850gl
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99
بندر انزلی	tempgl	tempgl	tempgl	بوشهر		Tempgl	tempgl
	prcpgl	vgl_1	vgl_1			p850gl	p850gl
	shumgl	shumgl	shumgl			s500gl	mslp
	s850gl	s850gl	s850gl			zhgl_8	zhgl_5
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99
کاشان	tempgl	tempgl	tempgl	آباده		Tempgl	tempgl
	zhgl_5	zhgl_5	shumgl			p500gl	p850gl
	s500gl	shumgl	ugl_8			Mslp	s500gl
	p500gl	s850gl	s850gl			s500gl	p500gl
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99
فسا	tempgl	tempgl	tempgl	بندر لنگه		Tempgl	tempgl
	s500gl	ugl_5	p850gl			s500gl	ugl_5
	ugl_5	fgl_5	p500gl			p500gl	fgl_5
	p500gl	p500gl	zgl_5			zgl_5	p850gl
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99
نوشهر	tempgl	tempgl	tempgl	سمنان		Tempgl	tempgl
	s500gl	shumgl	vgl_1			zgl_8	zhgl_8
	p500gl	s850gl	shumgl			p500gl	ugl_8
	ugl_8	mslp	mslp			zgl_5	s500gl
R	0.99	0.99	0.99	R		0.99	0.99

R بیانگر نرخ همبستگی بین متغیرهای پیش بین برگزیده شده و سنجه‌ی دما است.

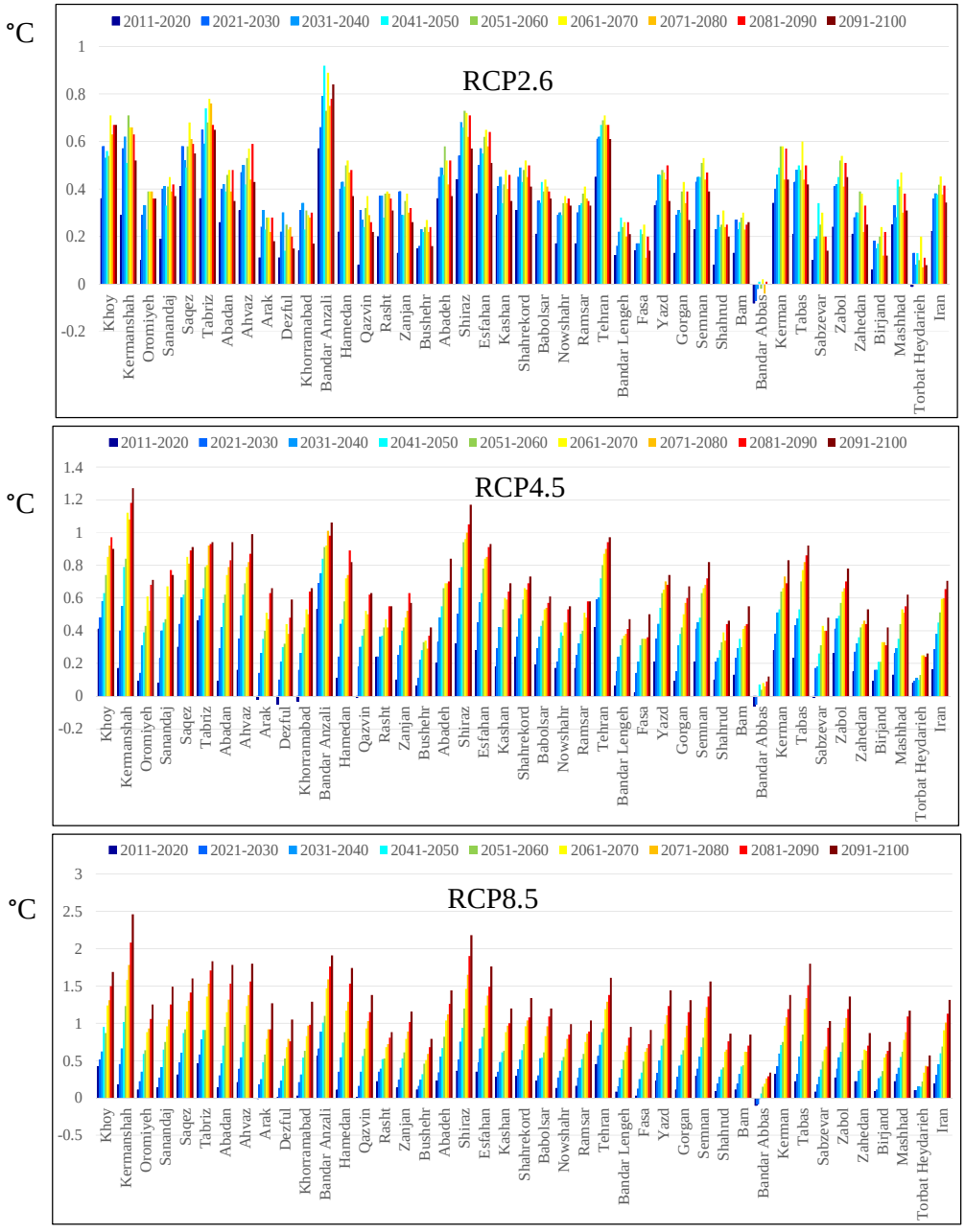


شکل ۳: مقایسه‌ی مقادیر دمای بیشینه‌ی مشاهده شده و پیش‌بینی شده به کمک ۴ سنجه‌ی برگزیده شده در ایستگاه سنندج طی بازه‌ی زمانی ۱۹۷۹ الی ۲۰۰۵. *منبع: نگارندگان*

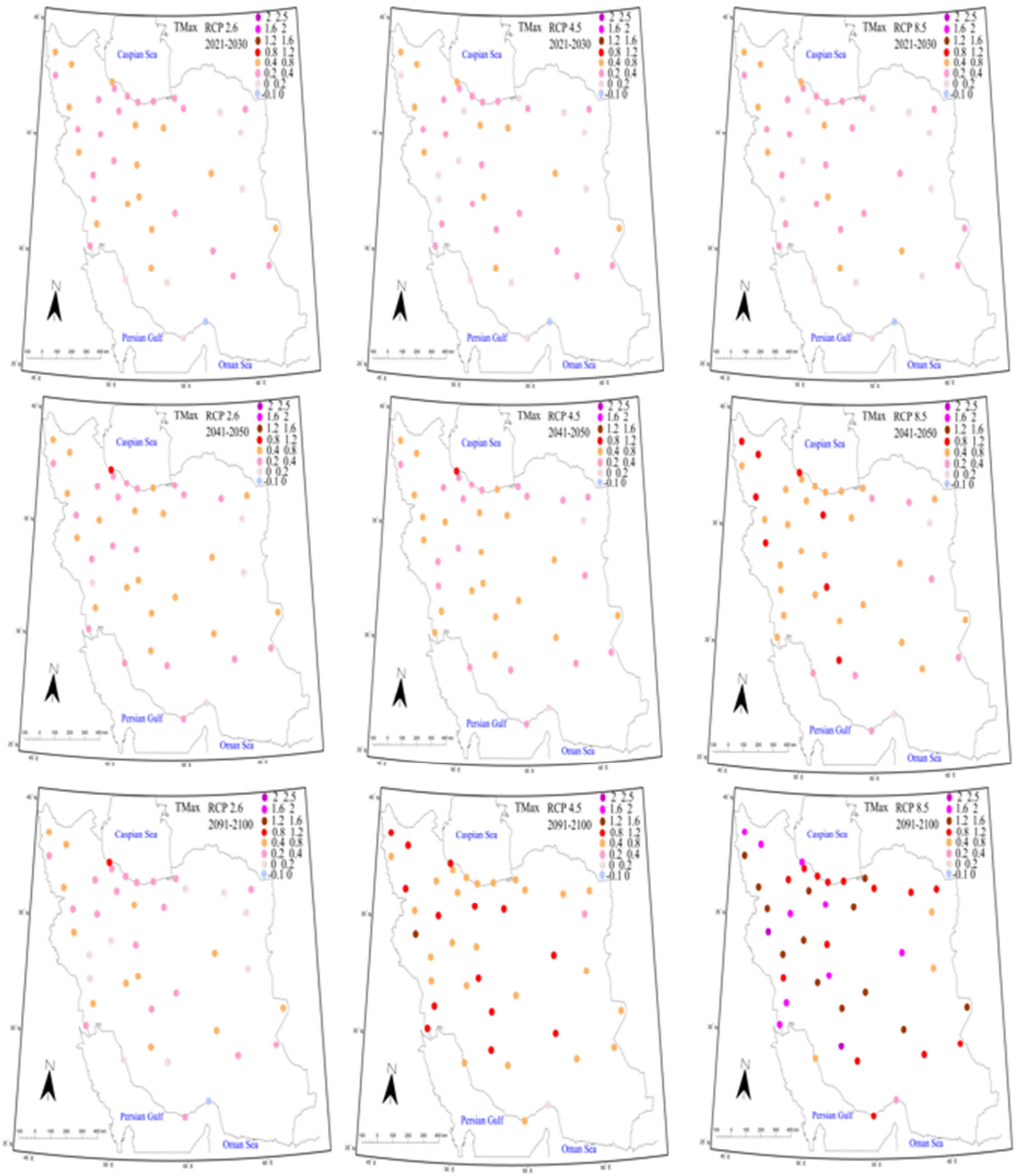
تغییرات دمای بیشینه

در شکل ۴ مقادیر تغییرات دمای بیشینه‌ی شبیه سازی شده نسبت به دوره‌ی پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۹ برای دوره‌ی آتی در قالب ۹ دوره‌ی ۱۰ ساله از سال ۲۰۱۱ الی ۲۱۰۰ برای ایستگاههای مختلف همدید ایران و میانگین پهنه‌ای ایران برپایه‌ی سناریوهای مختلف وداشت تابشی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 آمده است. شکل ۵ نیز پراکنش مکانی نرخ وردایی دمای بیشینه را طی سه دوره‌ی مختلف، دهه‌ی نزدیک(۲۰۳۰-۲۰۲۱)، میانه(۲۰۵۰-۲۰۴۱) و پایان(۲۱۰۰-۲۰۹۱) قرن بیست و یکم نشان می‌دهد. همانطور که از شکل‌ها پیداست برپایه‌ی سناریوی واداشت تابشی RCP2.6 بر روی کلیه‌ی ایستگاههای همدید به جز ایستگاه بندرعباس در سواحل جنوبی کشور دمای بیشینه نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۹ افزایش می‌یابد. همانطور که یاد شد این سناریو، سناریوی خوش بینانه است و آهنگ افزایش دمای بیشینه بر روی ایستگاه های همدید به تبعیت از آهنگ وردایی گازهای گلخانه‌ای برپایه‌ی این سناریو تا پایان نیمه‌ی اول قرن بیست و یکم(۲۰۵۰) افزایشی و سپس به یک ثبات نسبی و در نهایت کاهش را نشان می‌دهد. در بین ایستگاههای همدید کشور ایستگاه بندر انزلی در سواحل شمالی کشور بیشترین تغییرات را نسبت به دوره پایه تجربه خواهد کرد. نرخ افزایش دمای بیشینه بر روی ایستگاه بندر انزلی در دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۱۰ نسبت به دوره‌ی پایه حدود ۰/۵ درجه‌ی سانتی گراد و در پایان نیمه‌ی اول قرن بیست و یکم حدود ۰/۹ درجه‌سانتی گراد خواهد بود. به طور متوسط در دهه‌ی میانی و پایانی قرن بیست و یکم نرخ افزایش دمای بیشینه بین ۰/۸ الی ۱/۲ درجه‌سانتی‌گراد به ازای هر دهه خواهد بود. دمای بیشینه بر روی ایستگاه‌های تهران، تبریز،خوی، کرمانشاه و شیراز نیز تغییرات قابل توجهی نسبت به دوره‌ی پایه در دوره‌های آتی را تجربه خواهند کرد. ایستگاه بندرعباس در سواحل جنوبی کشور برخلاف سایر ایستگاه‌های همدید کشور کاهش دمای بیشینه را برپایه‌ی سناریوی واداشت تابشی RCP2.6 را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که کاهش دمای بیشینه‌ی این ایستگاه ساحلی جنوب کشور در اثر افزایش نرخ تبخیر، نم ویژه و رخنمود بارش باشد. طبری و حسین زاده طلایی(۲۰۱۳) و دارند و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که رطوبت جوی بر روی سواحل جنوبی کشور افزایش معناداری را تجربه کرده است. برخلاف سناریوی واداشت تابشی RCP2.6، در سناریوی RCP4.5 آهنگ افزایش نرخ گازهای گلخانه‌ای تا اواخر دوره‌ی مورد واکاوی سال ۲۱۰۰ با شیب ملایمی روبه افزایش است. این سناریو، سناریوی بینابین بین حالت خوشبینانه‌ی سناریوی RCP2.6 و سناریوی بدبینانه‌ی RCP8.5 است. برپایه‌ی یافته‌های حاصل از این پژوهش نرخ تغییرات و افزایش دمای بیشینه‌ی ایستگاه‌های مورد واکاوی در مقایسه با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های کرمانشاه، شیراز، بندرانزلی و تهران به مراتب بیشتر از سایر ایستگاه‌های دیگر مورد واکاوی است. در ایستگاه کرمانشاه نرخ دمای بیشینه در دهه‌ی پایانی قرن بیست و یکم(۲۱۰۰-۲۰۹۰) حدود ۱/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر از دوره‌ی پایه خواهد شد. در ایستگاههای شیراز، بندرانزلی و تهران نیز نرخ دمای بیشینه در دهه‌ی یاد شده نیز نسبت به دوره‌ی پایه حدود ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش را نشان می‌دهد. در سناریوی واداشت تابشی RCP8.5 نرخ تغییرات به مراتب بیشتر از دو سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 است. برپایه‌ی سناریوی RCP8.5 در اغلب ایستگاه‌های همدید مورد واکاوی افزایش ۱ درجه‌ی سانتی گراد دمای بیشینه نسبت به دوره‌ی پایه از نیمه‌ی دوم قرن بیست و یکم از سال ۲۰۵۰ به بعد مشاهده می‌شود. همانند سناریوی قبلی، بیشترین نرخ افزایش دما در ایستگاه کرمانشاه دیده می‌شود به طوری که در دهه‌ی پایانی

قرن بیست و یکم دمای بیشینه‌ی این ایستگاه حدود ۲/۵ درجه‌ی سانتی گراد بیشتر از دوره‌ی پایه خواهد شد. نرخ افزایش ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در دهه‌ی پایانی قرن بیست و یکم بر روی اغلب ایستگاه‌های همدید دیده می‌شود. برپایه‌ی این سناریو ایستگاه بندرعباس همانند سناریوی قبلی RCP4.5 در دو دهه‌ی ۱۹۲۰-۱۹۱۰ و ۱۹۳۰-۱۹۲۰ نسبت به دوره پایه، کاهش دمای بیشینه را نشان می‌دهند ولی از سال ۲۰۳۰ به بعد دمای بیشینه‌ی این ایستگاه نیز افزایش خواهد یافت.



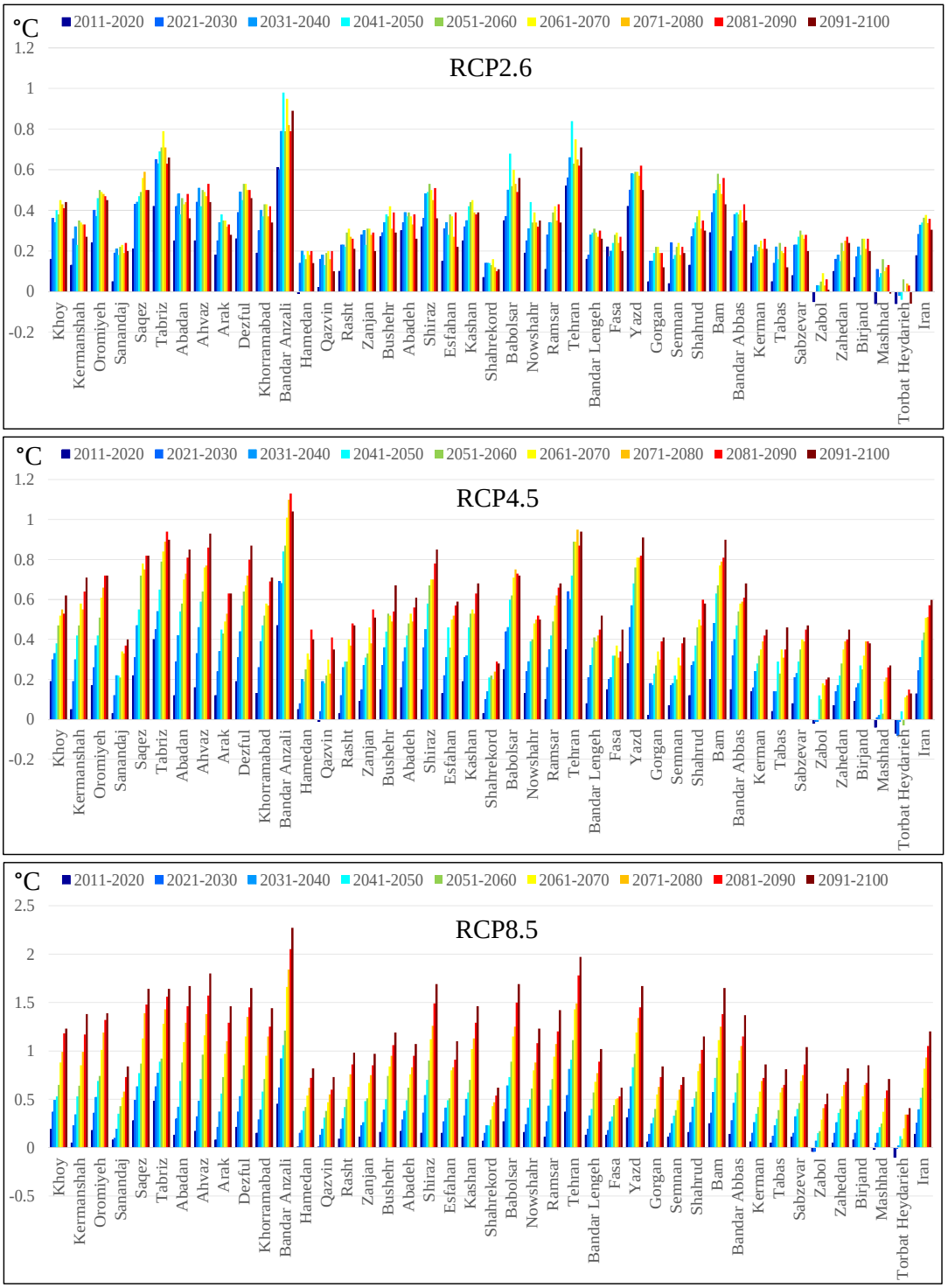
شکل۴: تغییرات شبیه سازی شده دمای بیشینه‌ی ایستگاه‌های ایران طی دوره‌های آتی برپایه‌ی سناریوهای مختلف. *منبع: نگارندگان*



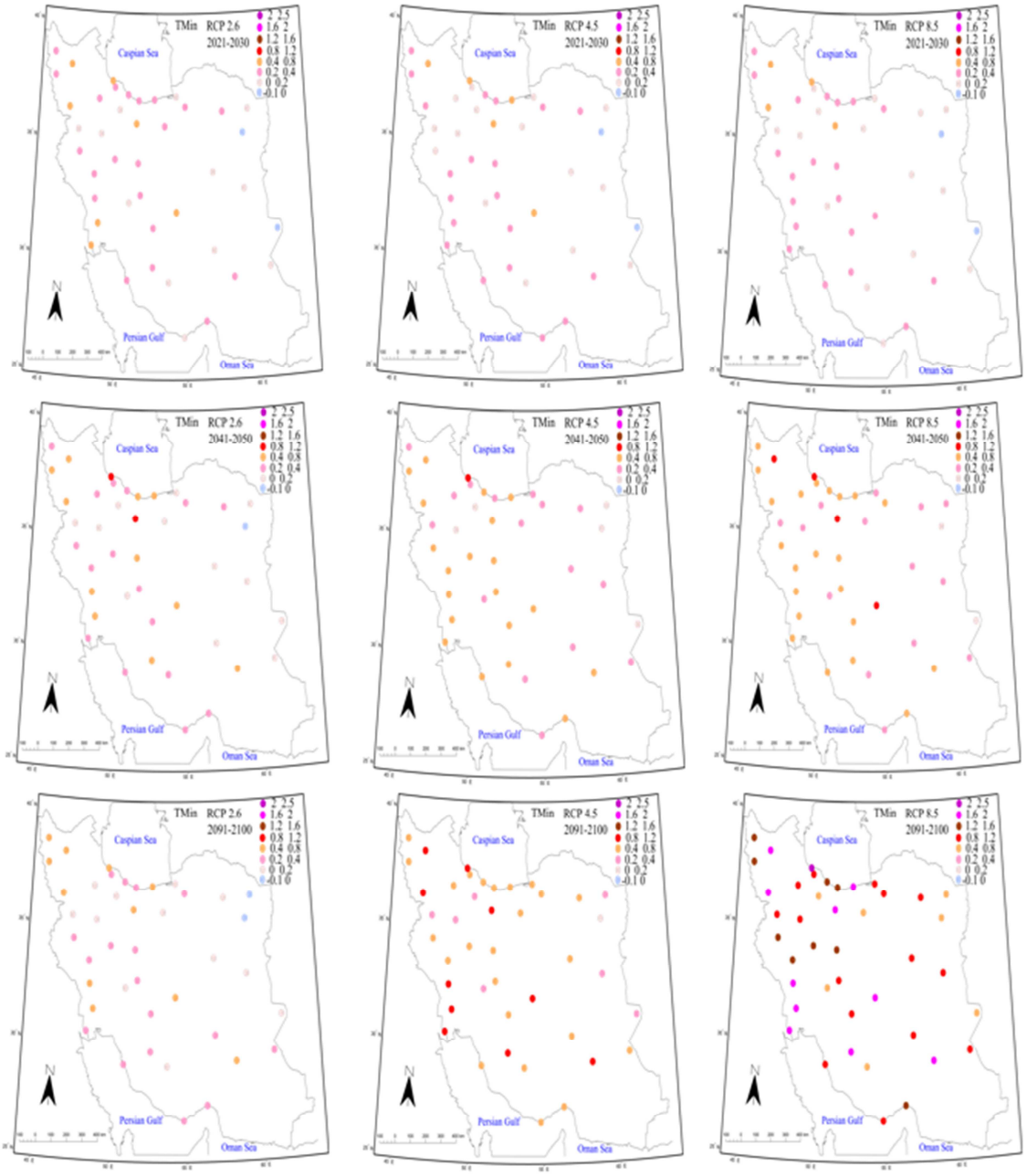
شکل ۵: مقادیر دمای بیشینه‌ی شبیه‌سازی شده برپایه‌ی سناریوهای مختلف بیلان تابش در دهه‌ی نزدیک(۲۰۳۰-۲۰۲۱)، میانه(۲۰۵۰-۲۰۴۱) و پایان(۲۱۰۰-۲۰۹۱) قرن بیست و یکم. *منبع: نگارندگان*

تغییرات دمای کمینه

شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب تغییرات دمای کمینه‌ی ایستگاه‌های همدید ایران و میانگین پهنه‌ای ایران زمین را در دهه‌های آتی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره‌ی پایه و نرخ تغییرات را در دهه‌ی نزدیک(۲۰۳۰-۲۰۲۱)، میانه(۲۰۵۰-۲۰۴۱) و پایان(۲۱۰۰-۲۰۹۱) قرن بیست و یکم را برپایه‌ی سناریوهای مختلف واداشت تابشی نشان می‌دهد. برپایه‌ی سناریوی RCP2.6 دمای کمینه‌ی ایستگاه‌های همدید نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهد یافت. به جز برخی از ایستگاه‌های شرقی کشور، زابل، مشهد و تربت حیدریه طی دهه‌های آتی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰ آهنگ تغییرات دمای کمینه هماهنگ با تغییرات گازهای گلخانه‌ای مورد نظر در سناریوی RCP2.6 تا اواسط نیمه‌ی دوم قرن بیست و یکم سیر صعودی خواهد داشت و سپس به یک ثبات نسبی و در نهایت کاهش خواهد یافت. همانند تغییرات دمای بیشینه برپایه‌ی سناریوی RCP2.6، بیشترین افزایش دمای کمینه را ایستگاه بندرانزلی در سواحل شمالی کشور تجربه خواهد کرد. نرخ افزایش دمای کمینه ایستگاه بندر انزلی با افزایش تدریجی در پایان نیمه‌ی اول قرن بیست و یکم حدود ۱ درجه بیشتر از دوره‌ی پایه خواهد شد. ایستگاه‌های تهران، بابلسر، تبریز، یزد و بم نسبت به سایر ایستگاهای دیگر به مراتب بیشتر است. میانگین پهنه‌ای دمای کمینه‌ی ایران برپایه‌ی این سناریو حدود ۰/۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهد یافت. برپایه‌ی سناریوی RCP4.5 تغییرات دمای کمینه نسبت به دوره‌ی پایه بر روی ایستگاه‌های همدید ایران افزایشی است و نرخ افزایشی آن بیشتر از نرخ تغییرات سناریوی RCP2.6 است. همانند سناریوی RCP2.6 بیشترین نرخ تغییرات افزایش دمای کمینه در ایستگاه بندرانزلی در سواحل شمالی کشور دیده می‌شود. در دهه‌های پایانی قرن بیست و یکم دمای کمینه در این ایستگاه بیش از ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. میانگین پهنه‌ای تغییرات دمای کمینه ایران زمین حدود ۰/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر از دوره‌ی پایه را تجربه خواهد کرد. دمای کمینه برپایه‌ی سناریوی RCP8.5 تغییرات به مراتب بیشتری را نسبت به دوره پایه در مقایسه با سایر سناریوهای مورد واکاوی نشان می‌دهد. در بین ۴۲ ایستگاه مورد واکاوی، در ۱۱ ایستگاه همدید، سقز، تبریز، آبادان، اهواز، دزفول، بندرانزلی، شیراز، بابلسر، تهران، یزد و بم افزایش دمای کمینه در دهه‌ی پایانی قرن بیست و یکم به بیش از ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی پایه خواهد رسید. در ایستگاه بندرانزلی با بیشترین نرخ تغییرات دمای کمینه در ایران، دمای کمینه ۲/۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. میانگین پهنه‌ای تغییرات دمای کمینه نیز گویای آن است که نرخ افزایش دمای کمینه همراه با شیب افزایشی پرشتابی است که در اواخر دهه‌ی قرن بیست و یکم به بیش از ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه خواهد رسید.



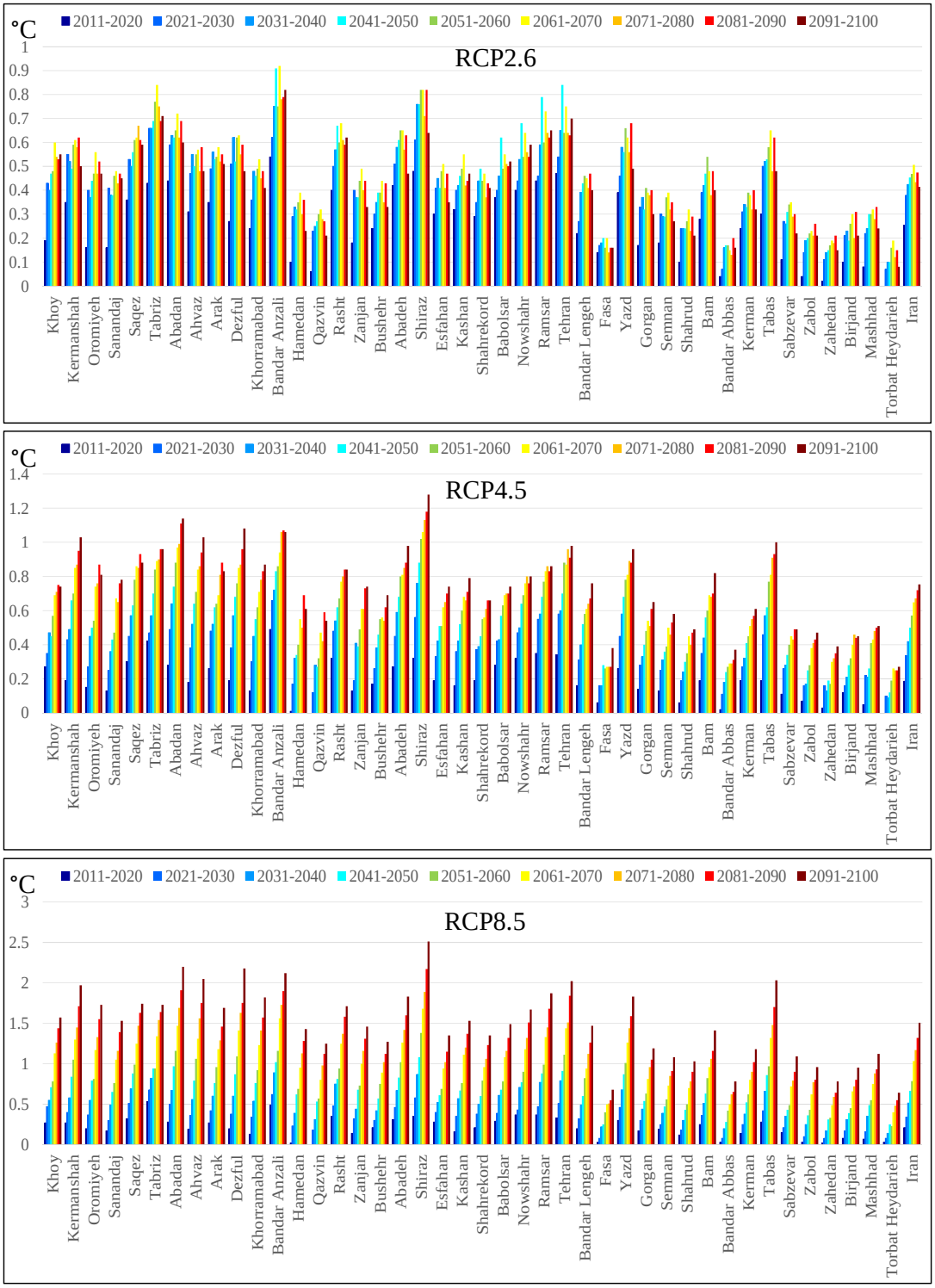
شکل۶: تغییرات شبیه سازی شده دمای کمینه‌ی ایستگاه‌های ایران طی دوره‌های آتی برپایه‌ی سناریوهای مختلف. *منبع: نگارندگان*



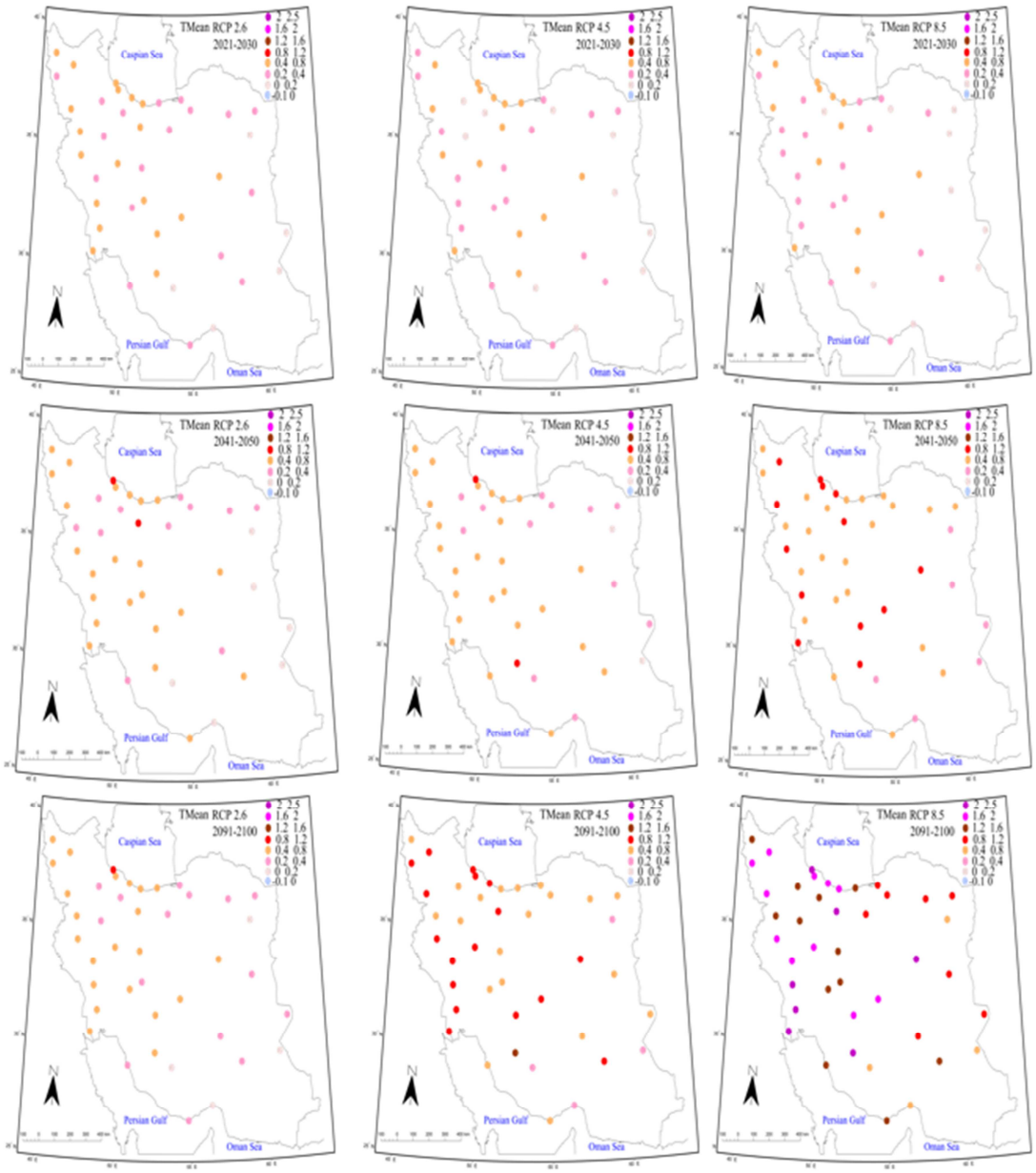
شکل ۷: مقادیر دمای کمینه‌ی شبیه‌سازی شده برپایه‌ی سناریوهای مختلف بیلان تابش در دهه‌ی نزدیک(۲۰۳۰-۲۰۲۱)، میانه(۲۰۵۰-۲۰۴۱) و پایان(۲۱۰۰-۲۰۹۱) قرن بیست و یکم. *منبع: نگارندگان*

تغییرات میانگین دما

در شکل ۸ تغییرات میانگین دمای ایستگاه‌های همدید و میانگین پهنه‌ای ایران در دوره‌های آتی ۲۱۰۰-۲۰۱۰ نسبت به دوره‌ی پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۹ برپایه‌ی سناریوهای واداشت تابشی مختلف آمده است. برپایه‌ی سناریوی RCP2.6 میانگین دمای کلیه‌ی ایستگاه‌های مورد واکاوی افزایشی است. در بین ایستگاه‌ها، ایستگاه‌های بندرانزلی، شیراز و تهران نسبت به سایر ایستگاه‌های دیگر تغییرات به مراتب بیشتری را دوره‌های آتی تجربه خواهند کرد. این در حالی است که ایستگاه‌های فارس، تربت حیدریه، زاهدان، بندرعباس و سبزوار تغییرات دمایی کمتری را نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد واکاوی تجربه خواهند کرد. برپایه‌ی این سناریو، میانگین پهنه‌ای تغییرات متوسط دمای ایران در اواخر قرن بیست و یکم حدود ۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. تغییرات میانگین دمای ایستگاه‌های مورد واکاوی نسبت به دوره‌ی پایه براساس سناریوی RCP4.5 بیشتر از سناریوی RCP2.6 است. یافته‌ها بیانگر آن است که ایستگاه شیراز در دوره‌های آتی تغییرات به مراتب بیشتری را نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد واکاوی نشان می‌دهد. در این ایستگاه از نیمه‌ی دوم قرن بیست و یکم به بعد افزایش میانگین دما نسبت به دوره‌ی پایه بیش از ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد شد. ایستگاه‌های کرمانشاه، اهواز، آبادان، آباده، دزفول، بندرانزلی، طبس نیز افزایش حدود ۱ درجه‌ی سانتی گراد را نسبت به دوره‌ی پایه نشان می‌دهند. میانگین پهنه‌ای متوسط دمای ایران برپایه‌ی این سناریو در دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه افزایشی است و از نیمه دوم قرن بیست و یکم تا اواخر قرن بیست و یکم بین ۰/۶ تا ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد میانگین دمای ایران افزایش خواهد یافت. برپایه‌ی سناریوی RCP8.5 بیشترین تغییرات میانگین دما در ایستگاه شیراز مشاهده می‌شود. در این ایستگاه نرخ افزایشی میانگین دما در دهه‌ی پایانی قرن بیست و یکم (۲۱۰۰-۲۰۹۰) به ۲/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی پایه خواهد رسید. ایستگاه‌های خوی، ارومیه، سنندج، سقز، تبریز،کرمانشاه، آبادان، اهواز، اراک، دزفول، خرم آباد، بندرانزلی، رشت،آباده، کاشان، بابلسر، نوشهر، رشت، تهران، یزد و طبس حدود ۱/۵ درجه گرمتر از دوره‌ی پایه خواهند شد. نرخ افزایش میانگین پهنه‌ای تغییرات دمای ایران نسبت به دوره‌ی پایه از دهه‌ی ۲۰۴۰ به بعد از مرز ۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد گذشت و در پایان قرن بیست و یکم به سه برابر یعنی ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد رسید (شکل ۹).



شکل۸: تغییرات شبیه سازی شده میانگین دمای ایستگاه‌های ایران طی دوره‌های آتی برپایه‌ی سناریوهای مختلف. *منبع: نگارندگان*



شکل ۹: مقادیر میانگین دمای شبیه‌سازی شده برپایه‌ی سناریوهای مختلف بیلان تابش در دهه‌ی نزدیک(۲۰۳۰-۲۰۲۱)، میانه(۲۰۵۰-۲۰۴۱) و پایان(۲۱۰۰-۲۰۹۱) قرن بیست و یکم. *منبع: نگارندگان*

نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش شبیه‌سازی تغییرات دمای ایران زمین بر پایه‌ی سناریوهای مختلف بیلان تابش بر روی گستره‌ی ایران زمین بود. یافته‌ها نشان داد که روش گزینش سنجه‌های جوی برای ریزمقیاس نمایی آماری پیشنهاد شده‌ی محمود و بابل (۲۰۱۴) عملکرد مناسبی در برآورد مقادیر دما دارد و برای حذف همبستگی خطی بین متغیرهای پیش بین و شناخت بهتر رفتار سنجه‌های جوی از طریق انتخاب متغیرهای تأثیرگذار و اساسی بسیار مناسب است.

یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که گستره‌ی ایران زمین طی قرن بیست و یکم دمای بیشتری را تجربه خواهد کرد و افزایش دمای شبیه سازی شده نسبت به دوره‌ی پایه به لحاظ آماری معنادار است. به لحاظ مکانی نرخ افزایش دما در قالب دمای بیشینه، کمینه و میانگین بر روی گستره‌ی ایران زمین هم‌اندازه و یکسان نیست. نیمه‌ی غربی کشور به مراتب افزایش دمای بیشتری را نسبت به نیمه‌ی شرقی کشور تجربه خواهد کرد. دمای بیشینه‌ی ایران از سال ۲۰۷۰ به بعد شتاب بیشتری به خود خواهد گرفت و نرخ افزایش نسبت به دوره‌ی پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۹ بیش از ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد شد. برپایه‌ی سناریوهای بیلان تابشی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 دمای کمینه‌ی ایران به ترتیب حدود ۰/۳۵، ۰/۶ و بیش از ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر از دوره‌ی پایه را تجربه خواهد کرد. بطور کلی برپایه‌ی سناریوی خوش بینانه RCP2.6 میانگین پهنه‌ای دمای شبانه‌روزی ایران در اواخر قرن بیست و یکم حدود ۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. سناریوی بینابین RCP4.5 بیانگر آن است که از نیمه دوم قرن بیست و یکم تا اواخر قرن بیست و یکم بین ۰/۶ تا ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد میانگین دمای شبانه‌روزی ایران افزایش خواهد یافت وشبیه‌سازی سناریوی RCP8.5 برای گستره‌ی ایران نشان داد که نرخ افزایش میانگین پهنه‌ای تغییرات دمای ایران نسبت به دوره‌ی پایه از دهه‌ی ۲۰۴۰ به بعد از مرز ۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد گذشت و در پایان قرن بیست و یکم به سه برابر یعنی ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد رسید. پیامدهای افزایش دما و گرمایش هوا با شتاب بسیار زیادی که در قرن بیست و یکم بر روی گستره‌ی ایران زمین دارد، بسیار وسیع است که می‌توان به افزایش بسامد رخداد آتش‌سوزی‌های طبیعی در مراتع و جنگل‌ها در اثر افزایش بسامد رخداد امواج گرما و افزایش دما، ذوب سریع برفخانه‌های مناطق کوهستانی، تغییر الگوی کشت و تقویم زراعی کشور، افزایش مصرف سوخت جهت تأمین نیازهای سرمایشی، افزایش تنش‌های حرارتی بر انسان و موجودات زنده زیست بوم‌ها و غیره اشاره کرد. رخنمود رفتارهای نابه‌هنجار و فرین جوی طی دهه‌ی اخیر می‌تواند شواهد محکمی بر افزایش شتاب زده‌ی دما و گرمایش جو در ایران زمین باشد.

منابع

علیجانی، بهلول.(۱۳۸۵). آب و هوای ایران، ویرایش هفتم، انتشارات پیام نور، تهران، ۲۲۱ صفحه.

عساکره، حسین؛ شاهبایی کوتنایی، علی؛ فرومدی، مجید.(۱۳۹۸). ارزیابی تغییرات و پیش‌بینی دمای کمینه در غرب استان مازندران با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM. مجله علوم آب و خاک، ۲۳ (۱)، ۱۰۱-۱۱۹.10.29252/jstnar.23.1.8.

کریمی، مصطفی؛ ستوده، فاطمه؛ رفعتی، سمیه. (۱۳۹۷). تحلیل روند تغییرات و پیش بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۴۸، ۷۹-۹۳.10.29252/jgs.18.48.79.

عباس‌نیا، محسن؛ طاوسی، تقی؛ خسروی، محمود. (۱۳۹۶). ارزیابی جامع تغییرات فصلی آینده دمای حداکثر ایران طی دوره گرم براساس مدل‌های گردش عمومی جو. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۲۵، ۱۲۱-۱۳۴.

سلاجقه، علی؛ رفیعی ساردویی، الهام؛ مقدم نیا، علیرضا؛ عراقی نژاد، شهاب؛ خلیقی سیگارودی، شهرام؛ صالح پورجم، امین. (۱۳۹۶). بررسی کارایی مدل های ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG و SDSM در شبیه سازی دما و بارش. تحقیقات آب و خاک ایران، ۲(۳۸۶)، ۲۶۲-۲۵۳.10.22059/IJSWR.2017.62601.

دسترنج، علی؛ شهبازی، علی؛ محسنی ساروی، محسن؛ صالح نسب، ابوطالب؛ جعفری، شیرکو. (۱۳۹۵). مدل سازی اقلیم و مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در جبهه شمالی و جنوبی البرز با استفاده از مدلSDSM . مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۳۲، ۱۸-۱۱.URL: http://jwmsei.ir/article-1-614-fa.html.

مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۹۰). آب و هوای ایران، انتشارات شریعه توس، نسخه اول، مشهد، ۲۸۸ صفحه.

نیکبخت شهبازی، علیرضا. (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات نوسانات اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی استان خوزستان تحت سناریوهای واداشت تابشی. مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۴(۲)، ۳۷۸-۳۶۳.10.22059/JESPHYS.2018.234830.1006907

صداقت کردار، عبداله؛ رحیم زاده، فاطمه.(۱۳۸۶). تغییرات طول دوره رشد گیاهی در نیمه دوم قرن بیستم در کشور. پژوهش و سازندگی، ۲(۷۵)، ۱۹۲-۱۸۲.

Abbasnia, M., Toros, H., (2016), Future changes in maximum temperature using the statistical downscaling model (SDSM) at selected stations of Iran. Modeling Earth Systems and Environment, 2(2), 68.doi: 10.1007/s40808-016-0112-z.

Alexander, L.V., Arblaster, J.M., (2017), Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. Weather and Climate Extremes, 15, 34–56.doi: 10.1016/j.wace.2017.02.001.

Almazroui, M., Sajjad-Saeed, M.N.I., Alkhalaf, A.K., Dambul, R., (2017), Assessment of Uncertainties in Projected Temperature and Precipitation over the Arabian Peninsula Using Three Categories of Cmip5 Multimodel Ensembles. Earth Systems and Environment, 23, 1-20. doi: 10.1007/s41748-017-0027-5.

Buchignani, E., Mercogliano, P., Panitz, H.J., Montesarchio, M., (2018), Climate change projections for the Middle East North Africa domain with COSMO-CLM at different spatial resolutions. Advances in Climate Change, 9, 66-80. doi: 10.1016/j.accre.2018.01.004.

Change, I.P.O.C., (2007), Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers. Geneva: IPCC.

Darand, M., Pazhooh, F., Saligheh, M., (2019), Trend analysis of tropospheric specific humidity over Iran during 1979–2016. International Journal of Climatology, 39(10), 4058-4071. doi: 10.1002/joc.6059

Dorji, S., Herath, S., Mishra, B.K. (2017). Future climate of colombo downscaled with SDSM-neural network. Climate, 5(1), 24. doi: 10.3390/cli5010024.

Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, C., Wang, B., Yao, J. (2011). Estimation of future precipitation change in the Yangtze River basin by using statistical downscaling method. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 25(6), 781–792. doi: 10.1007/s00477-010-0441-9.

Katiraie-Boroujerdy, P. S., Akbari Asanjan, A., Chavoshian, A., Hsu, K. L., Sorooshian, S. (2019). Assessment of seven CMIP5 model precipitation extremes over Iran based on a satellite-based climate data set. International Journal of Climatology, 39(8), 3505-3522. doi:10.1002/joc.6035

Khadka, D., Pathak, D. (2016). Climate change projection for the marsyangdi river basin, Nepal using statistical downscaling of GCM and its implications in geodisasters. Geoenvironmental Disasters, 3(1), 15. doi: 10.1186/s40677-016-0050-0.

Mahmood, R., Babel, M.S. (2013). Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. Theoretical and applied climatology, 113(1-2), 27-44. doi: 10.1007/s00704-012-0765-0.

Mahmood, R., Babel, M.S. (2014). Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. Weather and Climate Extremes, 5 (6), 56–66. doi:10.1016/j.wace.2014.09.001

Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M., Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. Environmental systems research. 8, 7. doi: 10.1186/s40068-019-0135-3.

Parvaze, S., Ahmad, L., Parvaze, S., Kanth, R.H. (2017). Climate change projection in Kashmir Valley (J and K). Current World Environment, 12(1), 107. doi: 10.12944/CWE.12.1.13

Salzmann, N., Frei, C., Vidale, P.L., Hoelzle, M ., (2007).The application of Regional Climate Model output for the simulation of high-mountain permafrost scenarios. Global Planet Change, 56(1–2), 188–202.doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.006.

Tabari, H., Hosseinzadeh Talaee, P. (2013). Moisture index for Iran: Spatial and temporal analyses. Global and Planetary Change, 100: 11-19. doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.08.010.

Vaghefi, S.A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F. et al. (2019). The future of extreme climate in Iran. Scientific Reports 9, 1464. doi: 10.1038/s41598-018-38071-8.

Vallam, P., Qin, X.S. (2017). Projecting future precipitation and temperature at sites with diverse climate through multiple statistical downscaling schemes. Theoretical and Applied Climatology, 134(1-2), 669-688. doi: 10.1007/s00704-017-2299-y.

Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M. (2002). SDSM–adecision support tool for the assessment to fregional climate change impacts. Environmental Modelling Software, 17(2), 145-157. doi:10.1016/S1364-8152(01)00060-3.

Research Article

Projected Changes in Iran Temperature Based on Different Scenarios RCP

Mohammad Darand[1*], Samira Hamidi[2]

1*. Associate Professor of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran & Board Member of Department of Zrebar Lake Environmental Research,Kurdistan Studies Institute, University of Kurdistan, Iran
2. M.Sc. Student of Climatology, University of Kurdistan, Iran.

Received: 18-03-2020 Final Revised: 10-07-2020 Accepted: 31-10-2020

Abstract

The aim of the current study is spatiotemporal analysis of changes in minimum, maximum and mean air temperature over Iran based on Representative Concentration Pathway (RCP) of the fifth report of IPCC. To do this, three datasets have been used: 1) Daily maximum, minimum and mean air temperature data for 42 synoptic stations during 1/1/1979 to 31/12/2005, 2) National Center for Environmental Prediction (NCEP) and National Center for Atmospheric Research (NCAR) data for 26 variables, and 3) Representative Concentration Pathway (RCP) scenarios data during 1/1/2006 to 31/12/2100. The model was calibrated using predictors from the NCEP/NCAR reanalysis datasets over the base period 1979–2005. The selected downscaling model structure has been done by a recommended method by Mahmood and Babel (2013) which is a combination of the correlation matrix, partial correlation, and P-value was used. Due to the bias, downscaled temperature data forced by CanESM2 model was corrected using a bias correction technique for each station. Finally, changes in the characteristics of temperature were estimated for the future period (2006–2100) based on the future scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8 compared to the base period (1979–2005). The projected changes were assessed with the nonparametric modified Mann-Kendal trend test and Sen Slope estimator at 95% confidence level. The results showed great reliability of SDSM downscaled model structure and screening of variables. The findings illustrated that minimum, maximum and mean air temperature were projected to increase. The projected increases was larger in semi western part of country. Minimum air temperature projected to increase 0.35, 0.6 and over 1 ℃ based on the RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios, respectively. Maximum air temperature increases rapidly after 2070 decade and projected to increase more than 1℃ rather than base period (1979-2005). The projected changes showed that warming of Iran's air temperature more over 0.5 ℃ after 2040 and reached to 1.5 ℃ by the end of twenty first century.

Keywords: Climate Change, RCPs Scenarios, Statistical Downscaling, Temperature, Iran.

* Corresponding Author Email: m.darand@uok.ac.ir

References

References (in Persian)

Abbassnia, M., Tavossi, T., Khosravi, M. (2017). A comprehensive assessment of seasonal changes in future maximum temperature of Iran during the warm period based on GCM Models. Geographical planning of spac quarterly journal, 7(25), 121-134. [In Persian]
Alijani, B. (2006). Climate of Iran, seventh edition. Payam Noor University Publications. Tehran. 221 p. [In Persian]
Asakereh, H., Shahbaee Kotenaee, A., Foroumadi, M. (2019). Evaluating Changes and Forecasting Minimum Temperature in the West of Mazandaran Province Using Statistical Downscaling Model SDSM. Journal of Water and Soil Science, 23(1),101-119. doi:10.29252/jstnar.23.1.8 [In Persian]
Dastranj, A., Shahbazi, A., Mohsenisaravi, M., Salehnasab, A., Jafari, S. (2016). Climate Modeling and comparison of changes in climatic parameters using SDSM in the northern and southern sides of the Alborz. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 10 (32),11-26. URL: http://jwmsei.ir/article-1-614-fa.html [In Persian]
Karimi, M., Sotoodeh, F., Rafati, S. (2018). Analysis of changes trend and forecasting extreme temperature in southern Caspian Sea. Applied research in geographic sciences, 48, 79-93. doi:10.29252/jgs.18.48.79. [In Persian]
Masoodian, A. (2011). Climatology of Iran. First Edition, Sharia Toos publications, Mashhad, 288p. [In Persian]
Nikbakht Shahbazi, A. (2018). Climate change impact assessment on agricultural crop virtual water under RCPs Scenarios in Khozestan province. Journal of the Earth and Space Physics, 44(2), 363-378. doi: 10.22059/JESPHYS.2018.234830.1006907 [In Persian]
Salajegheh, A., Rafiei Sardoii, E., Moghaddamnia, A., Malekian, A., Araghinejad, Sh., Khalighi Sigarodi, Sh., Pourjam A.S. (2017). Performance assessment of LARS-WG and SDSM downscaling models in simulation of precipitation and temperature. Iranian journal of soil and water research, 2(386), 253-262. doi:10.22059/IJSWR.2017.62601 [In Persian]
Sedaghat Kerdar, A., Rahimzadeh, F. (2007). Variation of growing season length (GSL) over second half of 20th in Iran. Pajouhesh Sazandegi, 75, 182-193. [In Persian]

References (in English)

Abbasnia, M., Toros, H., (2016), Future changes in maximum temperature using the statistical downscaling model (SDSM) at selected stations of Iran. Modeling Earth Systems and Environment, 2(2), 68.doi: 10.1007/s40808-016-0112-z.
Alexander, L.V., Arblaster, J.M., (2017), Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. Weather and Climate Extremes, 15, 34–56.doi: 10.1016/j.wace.2017.02.001.
Almazroui, M., Sajjad-Saeed, M.N.I., Alkhalaf, A.K., Dambul, R., (2017), Assessment of Uncertainties in Projected Temperature and Precipitation over the Arabian Peninsula Using Three Categories of Cmip5 Multimodel Ensembles. Earth Systems and Environment, 23, 1-20. doi: 10.1007/s41748-017-0027-5.
Buchignani, E., Mercogliano, P., Panitz, H.J., Montesarchio, M., (2018), Climate change projections for the Middle East North Africa domain with COSMO-CLM at different spatial resolutions. Advances in Climate Change, 9, 66-80. doi: 10.1016/j.accre.2018.01.004.
Change, I.P.O.C., (2007), Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers. Geneva: IPCC.
Darand, M., Pazhooh, F., Saligheh, M., (2019), Trend analysis of tropospheric specific humidity over Iran during 1979–2016. International Journal of Climatology, 39(10), 4058-4071. doi: 10.1002/joc.6059
Dorji, S., Herath, S., Mishra, B.K. (2017). Future climate of colombo downscaled with SDSM-neural network. Climate, 5(1), 24. doi: 10.3390/cli5010024.
Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, C., Wang, B., Yao, J. (2011). Estimation of future precipitation change in the Yangtze River basin by using statistical downscaling method. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 25(6), 781–792. doi: 10.1007/s00477-010-0441-9.
Katiraie-Boroujerdy, P. S., Akbari Asanjan, A., Chavoshian, A., Hsu, K. L., Sorooshian, S. (2019). Assessment of seven CMIP5 model precipitation extremes over Iran based on a satellite-based climate data set. International Journal of Climatology, 39(8), 3505-3522. doi:10.1002/joc.6035
Khadka, D., Pathak, D. (2016). Climate change projection for the Marsyangdi river basin, Nepal using statistical downscaling of GCM and its implications in geo-disasters. Geo-environmental Disasters, 3(1), 15. doi: 10.1186/s40677-016-0050-0.
Mahmood, R., Babel, M.S. (2013). Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. Theoretical and applied climatology, 113(1-2), 27-44. doi: 10.1007/s00704-012-0765-0.
Mahmood, R., Babel, M.S. (2014). Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. Weather and Climate Extremes, 5 (6), 56–66. doi:10.1016/j.wace.2014.09.001
Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M., Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. Environmental systems research. 8, 7. doi: 10.1186/s40068-019-0135-3.
Parvaze, S., Ahmad, L., Parvaze, S., Kanth, R.H. (2017). Climate change projection in Kashmir Valley (J and K). Current World Environment, 12(1), 107. doi: 10.12944/CWE.12.1.13

Salzmann, N., Frei, C., Vidale, P.L., Hoelzle, M ., (2007).The application of Regional Climate Model output for the simulation of high-mountain permafrost scenarios. Global Planet Change, 56(1–2), 188–202.doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.006.

Tabari, H., Hosseinzadeh Talaee, P. (2013). Moisture index for Iran: Spatial and temporal analyses. Global and Planetary Change, 100: 11-19. doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.08.010.

Vaghefi, S.A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F. et al. (2019). The future of extreme climate in Iran. Scientific Reports 9, 1464. doi: 10.1038/s41598-018-38071-8.

Vallam, P., Qin, X.S. (2017). Projecting future precipitation and temperature at sites with diverse climate through multiple statistical downscaling schemes. Theoretical and Applied Climatology, 134(1-2), 669-688. doi: 10.1007/s00704-017-2299-y.

Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M. (2002). SDSM–adecision support tool for the assessment to fregional climate change impacts. Environmental Modelling Software, 17(2), 145-157. doi:10.1016/S1364-8152(01)00060-3.