

## Projection the extreme temperatures of Iran's cold season using a multi-model ensemble with socio-economic scenarios of CMIP6 models

Ahmadi, M.<sup>1</sup>  | Kamangar, M.<sup>2</sup> 

1. Faculty of Meteorology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Faculty of Earth Sciences, Tehran, Iran. E-mail: [ma\\_ahmadi@sbu.ac.ir](mailto:ma_ahmadi@sbu.ac.ir)

2. **Corresponding author**, PhD of Climatology, Faculty of Humanities, Zanjan University, Zanjan, Iran. E-mail: [Mohamad.Kamangar63@gmail.com](mailto:Mohamad.Kamangar63@gmail.com)

(Received: ( 9 Mar 2023, Revised: 2 May 2023, Accepted: 3 Sep 2023, Published online: 3 Sep 2023)

### Abstract

Modeling extreme temperatures is one of the important challenges in predicting climate behavior. The aim of the current research is to introduce and evaluate a new Hamadi (weighted mean-correlation) in forecasting the extreme temperatures of the cold season of Iran using socio-economic scenarios. In this regard, the output of 5 models GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR, IPSL-CM6A-LR, MRI-ESM2 and UKESM1-0-LL and the data of 95 synoptic stations in two basic periods (1981-2019) and The forecast period (2021-2040) was used. First, the direct output of the models was corrected by the variance method, and then Taylor's diagram and statistical measures were used to check the efficiency of the models and the introduced Hamadi model (weighted average-correlation). Using the newly introduced Hamadi model, limit temperatures were predicted with two optimistic scenarios SSP126 and pessimistic SSP585. The results showed that the error rate of the used Hammadi model has been able to reduce the error of the models used in forecasting to an optimal extent. The estimated data for the minimum temperature are more similar to the actual data than the maximum temperature. The minimum temperature will increase significantly compared to the maximum temperature in the base period. The country's latitude will play a major role in the country's maximum temperature distribution, and the minimum temperature distribution will also be influenced by the country's major altitudes and latitude.

**Keywords:** Climate change, Taylor diagram, Ensemble, correlation.

**Cite this article:** Ahmadi, M., & Kamangar, M. (2023). Projection the extreme temperatures of Iran's cold season using a multi-model Hamadi system with socio-economic scenarios of CMIP6 models. *Journal of the Nivar*, 47(120-121), 71-88. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.389079.1240>



## پیش‌نگری دماهای حدی فصل سرد ایران با استفاده از یک سامانه همادی چند مدلی و سناریوهای اجتماعی-اقتصادی مدل‌های CMIP6

محمود احمدی<sup>۱</sup> | محمد کمانگر<sup>۲</sup> ✉

۱. هیئت علمی گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران. رایانامه:

[ma\\_ahmadi@sbu.ac.ir](mailto:ma_ahmadi@sbu.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، دکتری گروه آب و هواشناسی، دانشکده انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه:

[Mohamad.Kamangar63@gmail.com](mailto:Mohamad.Kamangar63@gmail.com)

(دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲)

### چکیده

مدل‌سازی دماهای حدی از چالش‌های مهم در پیش‌نگری رفتار اقلیم است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی یک سامانه همادی چند مدلی برای پیش‌نگری دماهای حدی فصل سرد ایران تحت سناریوهای اجتماعی-اقتصادی است. در این راستا از برونداد ۵ مدل MPI-ESM1-2-HR، GFDL-ESM4، MRI-ESM2، IPSL-CM6A-LR و UKESM1-0-LL و داده‌های ۹۵ ایستگاه همدید هواشناسی در دو دوره پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۴) و دوره پیش‌نگری (۲۰۲۱-۲۰۴۰) استفاده شد. ابتدا برونداد مستقیم مدل‌ها، با روش وارپانس تصحیح اریبی گردید و سپس به منظور بررسی کارایی مدل‌ها و سامانه همادی معرفی شده از نمودار تیلور و سنج‌های آماری استفاده شد. با استفاده از سامانه همادی ساخته شده دماهای حدی با دو سناریوی خوش‌بینانه SSP126 و بدبینانه SSP585 پیش‌نگری شد. نتایج نشان داد که خطای سامانه همادی به کار گرفته شده در مقایسه با تک‌تک مدل‌های عضو سامانه تا حد مطلوبی توانسته است خطای پیش‌نگری را کاهش دهد. مقادیر پیش‌بینی شده برای کمینه دما شباهت بیشتری با داده‌های واقعی نسبت به دمای بیشینه دارند. همچنین نتایج نشان داد که دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه در دوره پایه افزایش قابل توجهی خواهد داشت. به‌طور کلی عرض جغرافیایی کشور نقش عمده‌ای در توزیع دمای بیشینه کشور خواهد داشت و توزیع دمای کمینه نیز تحت تأثیر ارتفاعات عمده‌ی کشور و نیز عرض جغرافیایی خواهد بود.

**کلمات کلیدی:** تغییر اقلیم، نمودار تیلور، همادی، همبستگی.

### مقدمه

تغییر اقلیم به دگرگونی در وضعیت آب‌وهوایی اشاره دارد که با استفاده از بررسی معناداری آزمون‌های آماری، مانند تغییر در میانگین یا تغییرپذیری ویژگی‌ها در طولانی‌مدت (معمولاً چند دهه یا بیشتر) می‌توان آن را شناسایی کرد. تغییر اقلیم می‌تواند به دلیل فرایندهای طبیعی داخلی زمین و یا محرک‌های خارجی مانند نوسان چرخه‌های خورشیدی و یا عوامل انسانی به وجود آید (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). افزایش دمای جهانی، گرم شدن اقیانوس‌ها، کوچک شدن ورق‌های یخی، بالا آمدن سطح دریاها، اسیدی شدن اقیانوس‌ها و رویدادهای حدی دمایی همه نشانه‌های مشهودی از تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین است. طبق یک اجماع علمی، اگر میزان گرم شدن کره زمین فقط ۱/۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته شود تنش آب منطقه‌ای تقریباً ۵۰٪ افزایش می‌یابد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۸). یکی از اثرات تغییر اقلیم تشدید چرخه هیدرولوژیکی است (دای، ۲۰۱۱). به این معنی که پیش‌بینی می‌شود شدت، فراوانی و گستره وقوع پدیده‌های حدی آب‌وهوایی تحت تأثیر تغییر

**استناد:** احمدی، محمود؛ و کمانگر، محمد. (۱۴۰۲). پیش‌نگری دماهای حدی فصل سرد ایران با استفاده از یک سامانه همادی چند مدلی با سناریوهای اجتماعی-اقتصادی مدل‌های CMIP6، مجله نیوار، ۴۷ (۱۲۰-۱۲۱)، ۷۱-۸۸. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.389079.1240>



با داده های مشاهداتی داشته‌اند ولی مدل SDSM نتایج بسیار بهتری را ارائه داده است. صیاد و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر تغییر اقلیم بر دمای کمینه و بیشینه در بندر اسکندریه در شمال مصر را بررسی نمودند. برای این کار از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM و سناریوهای RCP استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دمای کمینه و بیشینه در منطقه مورد مطالعه تا آخر قرن حاضر رو به افزایش هستند. التاف و همکاران (۲۰۱۷) دما و بارش در حوضه آبریز لیدر در هندوستان را با استفاده از داده‌های مدل CGCM3 ریزمقیاس نمایی نمودند. نتایج مطالعه ایشان نشان می‌دهد که بارش و دما با افزایش همراه خواهند بود.

عباسی و همکاران (۱۳۹۲) اقدام به ریزمقیاس نمایی دما و بارش کشور بر اساس مدل‌های HadCM2 و ECHAM4 نمودند. نتایج بررسی‌های ایشان نشان‌دهنده‌ی افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ برای کشور است. همچنین مدل HadCM2 کاهش بارش و مدل ECHAM4 افزایش بارش را برای کشور پیش‌بینی کردند. باروتی و همکاران (۱۳۹۷) بارش حوضه رود شور را بر اساس سناریوهای B1، A2 و AIB شبیه‌سازی نمودند. بررسی‌های ایشان نشان‌دهنده کاهش بارش به‌ویژه در تابستان برای دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۹۰ است. زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۰) دمای آینده نزدیک کشور را بر اساس رویکرد همادی چند مدلی CMIP6 پیش‌نگری نمودند. نتایج بررسی‌های ایشان نشان داد که همادی کردن مدل‌ها پیش‌نگری دمای سالانه را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بهبود می‌بخشد. عطایی و همکاران (۱۴۰۰) دما و بارش حوضه آبریز کشف رود را بر اساس مدل‌های سری CMIP برای دوره ۲۰۵۰ - ۲۰۲۱ پیش‌نگری نمودند. نتایج بررسی‌های ایشان نشان‌دهنده افزایش دما در تمامی فصول است. همچنین بررسی‌های ایشان حاکی از وجود نوسانات زیاد در تغییرات بارش است.

باوجود عدم قطعیت‌ها برای پیش‌نگری‌های عناصر اقلیمی و مطالعه اثرات تغییر اقلیم از مدل‌های گردش کلی جو (GCM) استفاده می‌شود. عدم قطعیت پیش‌نگری‌های اقلیمی ناشی از ۱. سناریو: این نوع از عدم قطعیت در سناریوهای مختلف انتشار می‌تواند به‌عنوان واداشت خارجی برای مدل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد ۲. پاسخ مدل: این حالت مربوط به پاسخ

اقلیم افزایش یابد (ژائو و همکاران، ۲۰۲۱). نگرانی اصلی در خصوص اثرهای تغییر اقلیم بیشتر مرتبط با افزایش رخدادهای فرین است (گروس و همکاران، ۲۰۲۰)؛ زیرا بسیاری بر این باورند که تغییرات اقلیمی، رخدادهای فرین دما را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین اثرات گسترده فرین‌ها اهمیت مطالعه آن‌ها را افزون می‌کند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱).

در سال‌های اخیر اهمیت پیش‌بینی‌های اقلیمی در سطوح مختلف ملی و بین‌المللی به‌عنوان یک منبع علمی برای درک تغییر اقلیم و ارزیابی پیامدهای آن در تصمیم‌گیری‌های سیاسی و اقتصادی افزایش یافته است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و همکاران، ۲۰۱۸). در زمینه تغییر عناصر اقلیمی در دهه‌های اخیر مطالعات فراوانی انجام پذیرفته است. برای مثال می‌توان به وانگ و همکاران (۲۰۱۱)، چن و همکاران (۲۰۲۱)، علیجانی (۱۳۹۱)، عساکره (۱۳۹۶)، مهرزاد و همکاران (۱۳۹۸)، جهانبخش و همکاران (۱۳۹۹) و مواردی از این دست اشاره نمود. در زمینه تغییرات احتمالی عناصر اقلیمی در آینده نیز بررسی‌هایی انجام شده است. برای مثال: پالازی و همکاران (۲۰۱۳) بارش هندوکش، قره‌قوم و هیمالیا را بر اساس سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 شبیه‌سازی کردند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که بارش هندوکش و قره‌قوم فاقد روند معنادار و در هیمالیا روند افزایشی دیده می‌شود. جنسن و همکاران (۲۰۱۴) روند بارش‌های فرین در ایالات متحده را بر اساس سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 شبیه‌سازی کردند. نتایج حاکی از افزایش در بارش‌های فرین بر اساس سناریوهاست. محمود و بابل (۲۰۱۴) تغییرات فرین‌های دمایی را در حوضه آبریز رودخانه ژلوم با استفاده از مدل SDSM مورد ارزیابی قرار دادند. برای این کار از داده‌های کمینه دمای ۱۴ ایستگاه و سناریوهای A2 و B2 استفاده نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تعداد روزها و شب‌های گرم رو به افزایش و تعداد روزها و شب‌های سرد رو به کاهش است. کاظمی و همکاران (۲۰۱۴) در یک مطالعه به مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های ECHAM5 و SDSM پرداخته‌اند. برای این کار داده‌های روزانه دمای پاکستان و دو مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که هر دو مدل تطبیق خوبی

هم‌مرز است. سرزمین ایران به‌طور کلی کوهستانی و نیمه‌خشک بوده و میانگین ارتفاع آن بیش از ۱۲۰۰ متر از سطح دریاست. به علت گستردگی ایران‌زمین و وجود عوامل متعدد جغرافیایی از یک‌طرف و از طرف دیگر قرارگیری در محل گذار سامانه‌های متفاوت گردش جوی، تنوع اقلیمی در سرتاسر آن وجود دارد.

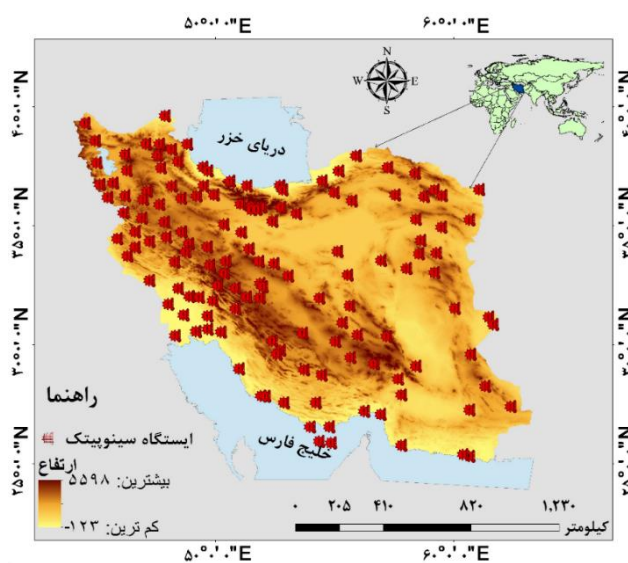
ایران از لحاظ دمایی به دو بخش سرد کوهستانی و گرم کم ارتفاع تقسیم می‌شود. میانگین دمای کشور حدود ۱۸ درجه سانتیگراد است. حاکمیت سامانه‌های هم‌دید، نظیر کم‌فشار گنگ و پرفشار آزور از یک‌سو و محتوای رطوبتی جو نیز از سوی دیگر در شکل‌گیری نواحی دمایی ایران نقش دارند (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶). وضعیت دمایی ایران در تابستان همگن‌تر از زمستان است. میانگین بارش سالانه در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که ایران را جزو کشورهای خشک دنیا قرار داده است. در دوره سرد سال، به علت حاکمیت بادهای غربی و نزدیکی به منبع رطوبتی دریای مدیترانه بارندگی زیادی دارد، اما دوره گرم سال نفوذ پرفشار آزور باعث کاهش بارندگی می‌شود. توزیع زمانی و مکانی باران در کشور نیز پراکنندگی یکسانی ندارد. بیشترین مقدار بارش‌ها مربوط به کرانه‌های جنوبی دریای خزر و کمترین مقدار مربوط به بیابان‌های مرکزی لوت و کویر نمک است.

مدل‌های مختلف نسبت به شرایط محیطی است؛ ۳. وردایی طبیعی: وردایی رفتار ذاتی سامانه اقلیم است و عدم قطعیت ناشی از آن در همه مدل‌ها دیده می‌شود (هاو کینس و ساتون، ۲۰۰۹). خروجی‌های مستقیم مدل‌های اقلیمی دارای اریبی هستند و پیش از کاربست مستقیم آن‌ها برای یک منطقه باید اریبی آن‌ها را حذف کرد (ماروون، ۲۰۱۶). روش‌های زیادی برای حذف اریبی وجود دارد اما هیچ روش حذف اریبی نمی‌تواند اریبی را طی یک دوره آماری به‌طور کامل حذف کند (چن و همکاران، ۲۰۱۳). هدف از پژوهش معرفی مدل همادی نوین با توجه به روابط همبستگی مدل‌ها و داده‌های مشاهداتی ایستگاهی و ارزیابی آن است تا بتوان پارامترهای بیشینه و کمینه دما برای آینده نزدیک بر اساس سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 با پنج مدل پیش‌نگری و همادی شود.

## روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه کشور ایران در جنوب غرب آسیا بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی با مساحت ۱,۶۴۸,۱۹۵ کیلومترمربع است (شکل ۱). ایران از شمال غرب با ارمنستان و آذربایجان، از شمال با دریای خزر، از شمال شرق با ترکمنستان، از شرق با افغانستان و پاکستان، از جنوب با خلیج فارس و دریای عمان و در غرب با عراق و ترکیه



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

## داده‌ها

## الف- داده های ایستگاهی

در این پژوهش داده های زمینی ۹۵ ایستگاه همدیدی ۱۹۸۰-۲۰۱۴ به عنوان دوره پایه استفاده و پردازش شده است. در انتخاب ایستگاهها افزون بر لحاظ نمودن مناطق آب‌وهوایی گوناگون کشور سعی شد تا ایستگاه‌هایی که خلا آماری کمتر داشته و به لحاظ کیفی آزمون‌های کمی را گذارنده اند استفاده شود. پراکندگی ایستگاه‌های زمینی مورد مطالعه در شکل یک آورده شده است.

## ب- پروژه مقایسه متقابل مدل جفت شده مرحله ششم و سناریوهای مسیره‌های مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSPs)

پروژه مقایسه متقابل مدل جفت شده (CMIP) فعالیتی کلیدی در تحقیقات پیرامون پیش‌نگری‌های اقلیمی است. پروژه مذکور به عنوان منبعی قدرتمند برای پیش‌برد توسعه مدل و فهم علمی سامانه زمین از طریق مقایسه سامانمند برون‌داد مدل‌های اقلیمی در مراکز مختلف مدل‌سازی اقلیمی ایجاد شده است. مدل‌های CMIP6 نسبت به نسخه‌های پیشین علاوه بر بهتر شدن الگوریتم‌ها و فرایندهای فیزیکی متغیرهای جدیدی را نیز در بخش‌های اقیانوس، بیوژئوشیمی اقیانوس و یخ دریا نیز در نظر گرفته‌اند (ژئو و یانگ، ۲۰۲۰). مجموعه جدیدی از سناریوهای اقلیمی با توجه به ششمین گزارش هیئت بین‌الدول تغییر که به طرق مختلف بهبود یافته منجر به ایجاد سناریوهای مسیره‌های اجتماعی و اقتصادی مشترک (SSPs) شده است. مسیره‌های اجتماعی-اقتصادی مشترک (SSP) سناریوهایی از تغییرات پیش‌بینی شده اجتماعی-اقتصادی جهانی تا سال ۲۱۰۰ هستند. از آن‌ها برای استخراج سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای باسیاست‌های مختلف آب و هوایی استفاده می‌شوند. در این

تحقیق از دو سناریو مسیر اجتماعی-اقتصادی مشترک SSP1-2.6 و (انتشار و سازگاری کم) و SSP5-8.5 (انتشار زیاد و سازگاری کم) در دوره آینده نزدیک (2021-2040) استفاده شد.

در این مطالعه از ۵ مدل گردش عمومی که شرح آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است استفاده گردید. در انتخاب مدل‌ها باید به نکاتی توجه داشت. از جمله این نکات می‌توان به در دسترس بودن، مقبولیت در بین پژوهشگران و توجه به حساسیت اقلیمی اشاره کرد. در این تحقیق از مدل‌های مدل سیستم زمین (ESM) که به صراحت حرکت کربن را در سیستم زمین را مدل می‌کند، استفاده شد. این مدل‌ها، به دنبال شبیه‌سازی تمام جنبه‌های مرتبط سیستم زمین از جمله فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هستند، بنابراین بسیار فراتر از مدل‌های پیشین خود یعنی مدل‌های آب‌وهوای جهانی (GCM)، که فقط فرآیندهای فیزیکی جوی و اقیانوسی را نشان می‌دهند، می‌توانند آب‌وهوا را پیش‌نگری کنند. همچنین در انتخاب مدل‌ها علاوه بر دسترس بودن و استفاده از آن‌ها در تحقیقات گذشته: GFDL-ESM4 توسط سنتی من و همکاران (۲۰۱۸) -IPSL-CM6A-LR توسط بوچر و همکاران (۲۰۲۰) و -MIP-ESM1-2-HR توسط مولر (۲۰۱۸) و -UKESM1-0-LL توسط سلر و همکاران (۲۰۲۰)، حساسیت اقلیمی نیز در نظر گرفته شده است. حساسیت اقلیمی معمولاً به عنوان افزایش دمای جهانی پس از دو برابر شدن غلظت CO2 در جو در مقایسه با سطوح پیش از صنعتی شدن تعریف می‌شود CO2 قبل از صنعتی حدود ۲۶۰ قسمت در میلیون (ppm) بود، بنابراین دو برابر شدن آن تقریباً ۵۲۰ ppm خواهد بود.

جدول ۱- مدل‌های مورد استفاده جهت همدادی و پیش‌نگری دماهای حدی

| مدل           | نام موسسه                               | قدرت تفکیک مکانی تقریبی | کشور    | واریانت |
|---------------|---|-------------------------|---------|---------|
| MRI-ESM2      | Meteorological Research Institute (MRI) | ۱/۲۵ * ۱/۲۵             | ژاپن    | rii1p1  |
| IPSL-CM6A-LR  | institut pierre-simon laplace           | ۲/۵ * ۱/۲۶              | فرانسه  | rii1p1  |
| UKESM1-0-LL   | Met Office Hadley Center                | ۲/۲۵ * ۲/۲۵             | انگلینس | rii1p1  |
| MPI-ESM1-2-HR | Max Planck Institute                    | ۰/۹۴ * ۰/۹۴             | آلمان   | rii1p1  |
| GFDL-ESM4     | Geophysical Fluid Dynamics Laboratory   | ۱/۲۵ * ۱/۰              | امریکا  | rii1p1  |

پیش‌نگری استفاده شد. در این روش همادی از رابطه دو استفاده گردید.

$$w^T x^j = \sum_{k=1}^K w_k x_k^j$$

(۲)

در این رابطه  $w_k$  وزن داده‌های هر کدام از مدل‌ها و  $x_k$  داده برآورد شده از مدل است (بای و همکاران، ۲۰۲۰). در این پژوهش به منظور تعیین وزن داده‌های حاصل از هر مدل از همبستگی پیرسون بهره گرفته شد. ضریب همبستگی پیرسون از رابطه سه قابل محاسبه است (عساکره، ۱۳۹۱)

(۳)

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

و در نهایت به این صورت که هر کدام از مدل‌ها که داده‌های با همبستگی بالاتری با داده‌های واقعی برآورد کند وزن بالاتر را به خود اختصاص دادند.

### ۵- درستی سنجی برون‌داد سامانه همادی و مدل‌های عضو سامانه

برای درستی سنجی برون‌داد مستقیم مدل‌ها از نمودار تیلور استفاده شد. نمودار تیلور ابزار مناسبی جهت درستی سنجی برون‌داد مجموعه مدل‌های اقلیمی است و اخیراً در مطالعات اقلیم‌شناسی بسیار استفاده می‌شود (وهنر، ۲۰۱۳). نمودار تیلور بر مبنای ارتباط هندسی بین ضریب همبستگی، انحراف معیار و خطای جذر میانگین مربعات استوار است. نمودار تیلور به دو صورت نیم‌دایره نمایش همبستگی منفی و مثبت و ربع دایره فقط نمایش همبستگی مثبت ارائه می‌شود که در هر دو صورت، مقادیر ضریب همبستگی به صورت شعاع دایره روی قوس آن، مقادیر انحراف معیار به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به نقطه مرجع و RMSD به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به مرکز دایره ترسیم می‌شود. دایره توخالی روی محور افقی نقطه مرجع موقعیت ایستگاه زمینی را بر اساس انحراف معیار سری زمانی نشان می‌دهد. روش ارزیابی در این دیاگرام به این صورت است که موقعیت مکانی هر مدلی که به نقطه مرجع نزدیک‌تر باشد،

### ج- استخراج، باز شبکه‌بندی و تصحیح اریبی داده‌ها

برای این منظور ابتدا داده‌های مدل‌های مورد استفاده در نزدیک‌ترین نقاط به ایستگاه‌های همیدی استخراج گردید. پس از این مرحله و برای یکسان‌سازی ابعاد پیکسل‌های نقشه‌های حاصل از مدل‌ها و داده‌های زمینی اقدام به شبکه‌بندی داده‌های زمینی و نیز داده‌های مستخرج از مدل‌ها گردید. برای باز شبکه‌بندی داده‌ها از روش کریجینگ استفاده شد. با بررسی‌های انجام شده قدرت تفکیک مکانی ۱۹ کیلومتری برای ابعاد پیکسل‌ها مناسب تشخیص داده شد؛ بنابراین با انجام شبکه‌بندی، پیکسل‌هایی با ابعاد ۱۹ کیلومتر در ۱۹ کیلومتر به دست آمد. سپس با استفاده از داده‌های دمایی مدل‌های مورد استفاده ریزمقیاس سازی با روش تغییر عامل دلتا (DCF) برای پیکسل‌های مذکور، به شرح زیر انجام شد. جهت تصحیح اریبی مدل‌های پیش‌بینی دهه‌ای از روش تغییر عامل دلتا (DCF) استفاده شد. شرح محاسباتی روش DCF در رابطه (۱) آمده است.

(۱)

$$T_{frc}^{BC}(t) = P_{obs}(t) \left[ \frac{\mu_m P_{frc}(t)}{\mu_m P_{cont}(t)} \right]$$

در رابطه فوق،  $T$  (متغیر مورد نظر) است؛  $cont$  تعداد سری‌های شبیه‌سازی شده CMIP6-DCCP در طول دوره کنترل است،  $obs$  دوره زمانی مشاهداتی؛  $f$  سری زمانی پیش‌بینی شده آینده که باید اریبی آن تصحیح شود؛  $BC$  سری زمانی پیش‌نگری شده آینده که اریبی آن تصحیح شده است،  $t$  گام زمانی و  $\mu_m$  میانگین بلندمدت ماهانه است (مندز، ۲۰۲۰). پس از مرحله ریزمقیاس‌نمایی، خطای مدل‌ها با استفاده از روش‌های متعددی نظیر RMSE، MAE، MBE و  $R^2$  محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت.

تمام مراحل ذکر شده در بالا در پلت فرم برنامه‌نویسی متلب کد نویسی شده است؛ و داده‌ها و کد آن از این لینک قابل استفاده است.

### د- روش همادی (Ensemble):

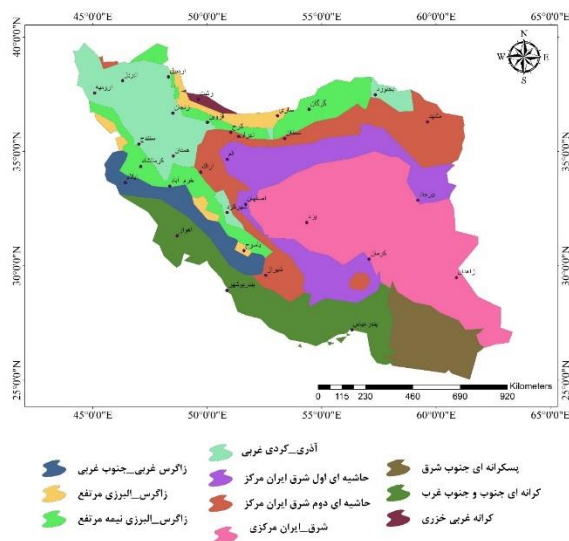
برای کاهش عدم قطعیت مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، از یک همادی چند مدلی بر پایه میانگین وزنی همبستگی در

دقت بیشتری را دارد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۵).

## نتایج و بحث

بارش و رطوبت نسبی و روش تحلیل سلسله مراتبی با تجزیه حالت S بهره گرفته شد. با انجام آزمون تحلیل واریانس، فرض عدم برابری بین نواحی تأیید شد. همان‌طور که در شکل ۲ نیز آورده شده است، می‌توان ایران را به ده پهنه اقلیمی معنادار طبقه‌بندی کرد. از این رو ۱۰ ایستگاه به‌عنوان نماینده‌ی پهنه‌ها انتخاب گردید. انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس ویژگی‌های پهنه‌های اقلیمی انجام گرفت. به این صورت که ایستگاهی که ویژگی‌های پهنه را به‌خوبی منعکس کند به‌عنوان نماینده‌ی پهنه معرفی شد. نقشه خروجی با وضوح ۱۴ کیلومتری نمایش دقیق‌تری از مناطق بسیار ناهمگن از جمله مناطق کوهستانی را ارائه کرد.

به دلیل بالا بودن تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش، ۱۰ ایستگاه به‌عنوان نماینده از تمامی پهنه‌های اقلیمی مختلف کشور انتخاب صحت سنجی داده‌های مدل و مدل همدادی مورد استفاده بر روی آن‌ها انجام شد. در انتخاب ایستگاه‌های مذکور نواحی اقلیمی کشور مدنظر بوده و ایستگاه‌های منتخب نماینده‌ی نواحی اقلیمی خود بوده‌اند. برای به دست آوردن پهنه‌های اقلیمی در این پژوهش باهدف پر کردن شکاف شناخت پهنه‌های اقلیمی در مقیاس بزرگ از عناصر دمای کمینه و بیشینه،



شکل ۲. پهنه‌بندی اقلیم ایران بر اساس چهار عنصر اصلی اقلیمی

می‌توان گفت که همدادی داده‌ها توانسته است خطای داده‌های برآوردی را تا حد مطلوبی کاهش دهد. در مورد دمای کمینه (شکل ۴) نیز این مسئله صدق می‌کند. با دقت در شکل ۴ می‌توان دریافت که داده‌های برآورد شده برای کمینه دما شباهت بیشتری با داده‌های واقعی نسبت به دمای بیشینه داشته‌اند. این شباهت با همدادی داده‌های حاصل از مدل‌ها بیشتر شده و خطای کار را کمتر نموده است.

هر پهنه با توجه به میانگین مکانی یک ایستگاه به‌عنوان نماینده مورد تحلیل قرار گرفت. شکل ۳ نمودار تیلور دمای بیشینه برای ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. با بررسی نمودارهای مذکور می‌توان دریافت که در تمامی ایستگاه‌ها داده‌های همدادی شده بالاترین شباهت را به داده‌های واقعی داشته است. کمتر بودن میزان خطا و انحراف معیار و بالاتر بودن میزان ضریب همبستگی تأییدی بر این ادعاست (جدول ۲)؛ بنابراین

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مورد استفاده در نمودار تیلور برای ۱۰ ایستگاه منتخب

| داده واقعی |   |      | GFDL  |      |      | MPI_ESM1_2_HR |      |      | MRI_ESM2 |      |      |            |               |
|------------|---|------|-------|------|------|---------------|------|------|----------|------|------|------------|---------------|
| SD         | r | RMSE | SD    | r    | RMSE | SD            | r    | RMSE | SD       | r    | RMSE |            |               |
| 8.05       | 1 | 0    | 8.05  | 0.83 | 0.25 | 8.05          | 0.96 | 0.13 | 8.05     | 0.95 | 0.14 | گرگان      | بیشینه<br>دما |
| 10.27      | 1 | 0    | 10.27 | 0.87 | 0.28 | 10.27         | 0.96 | 0.14 | 10.27    | 0.96 | 0.15 | تهران      |               |
| 7.4        | 1 | 0    | 7.39  | 0.84 | 0.22 | 7.40          | 0.96 | 0.11 | 7.40     | 0.94 | 0.13 | بندر انزلی |               |
| 9.56       | 1 | 0    | 9.56  | 0.85 | 0.28 | 9.55          | 0.97 | 0.12 | 9.55     | 0.96 | 0.15 | یزد        |               |
| 9.79       | 1 | 0    | 9.79  | 0.86 | 0.27 | 9.79          | 0.98 | 0.11 | 9.78     | 0.96 | 0.14 | اصفهان     |               |
| 10.43      | 1 | 0    | 10.43 | 0.85 | 0.30 | 10.43         | 0.96 | 0.15 | 10.43    | 0.96 | 0.16 | زنجان      |               |
| 8.31       | 1 | 0    | 8.32  | 0.87 | 0.23 | 8.31          | 0.98 | 0.09 | 8.30     | 0.97 | 0.11 | ایرانشهر   |               |
| 9.48       | 1 | 0    | 9.48  | 0.84 | 0.28 | 9.48          | 0.98 | 0.11 | 9.48     | 0.96 | 0.14 | یاسوج      |               |
| 9.95       | 1 | 0    | 9.95  | 0.85 | 0.29 | 9.95          | 0.98 | 0.11 | 9.95     | 0.97 | 0.12 | ایلام      |               |
| 10.58      | 1 | 0    | 10.58 | 0.88 | 0.28 | 10.57         | 0.98 | 0.11 | 10.58    | 0.97 | 0.13 | اهواز      |               |
| 7.51       | 1 | 0    | 7.52  | 0.84 | 0.23 | 7.51          | 0.96 | 0.11 | 7.51     | 0.97 | 0.10 | گرگان      | کمینه<br>دما  |
| 8.58       | 1 | 0    | 8.58  | 0.86 | 0.24 | 8.58          | 0.96 | 0.13 | 8.58     | 0.96 | 0.12 | تهران      |               |
| 6.91       | 1 | 0    | 6.91  | 0.83 | 0.21 | 6.91          | 0.96 | 0.11 | 6.91     | 0.94 | 0.12 | بندر انزلی |               |
| 8.68       | 1 | 0    | 8.69  | 0.90 | 0.21 | 8.68          | 0.98 | 0.10 | 8.68     | 0.97 | 0.12 | یزد        |               |
| 8.25       | 1 | 0    | 8.25  | 0.90 | 0.19 | 8.25          | 0.97 | 0.10 | 8.25     | 0.96 | 0.12 | اصفهان     |               |
| 7.56       | 1 | 0    | 7.55  | 0.85 | 0.22 | 7.55          | 0.95 | 0.13 | 7.55     | 0.95 | 0.12 | زنجان      |               |
| 7.89       | 1 | 0    | 7.90  | 0.87 | 0.21 | 7.90          | 0.98 | 0.09 | 7.89     | 0.97 | 0.11 | ایرانشهر   |               |
| 6.96       | 1 | 0    | 6.96  | 0.87 | 0.18 | 6.96          | 0.98 | 0.08 | 6.96     | 0.97 | 0.10 | یاسوج      |               |
| 7.8        | 1 | 0    | 7.80  | 0.84 | 0.23 | 7.80          | 0.97 | 0.09 | 7.80     | 0.97 | 0.11 | ایلام      |               |
| 7.72       | 1 | 0    | 7.72  | 0.88 | 0.20 | 7.72          | 0.98 | 0.08 | 7.72     | 0.97 | 0.10 | اهواز      |               |

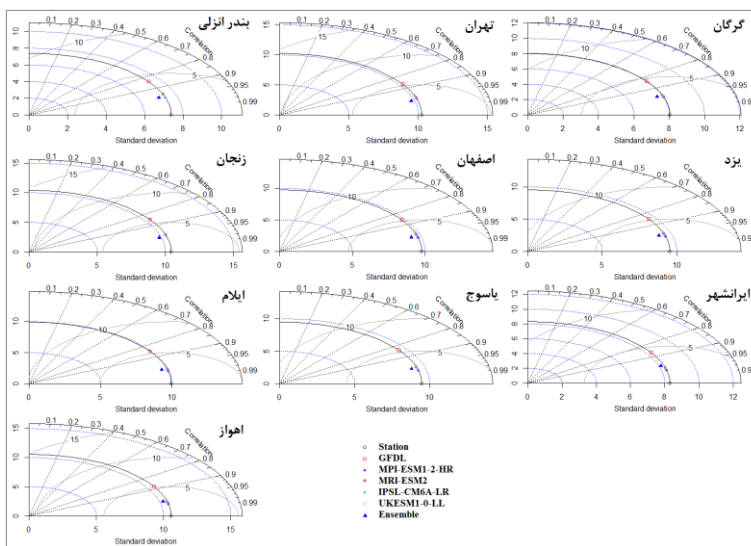


ادامه جدول ۲: مقادیر پارامترهای مورد استفاده در نمودار تیلور برای ۱۰ ایستگاه منتخب

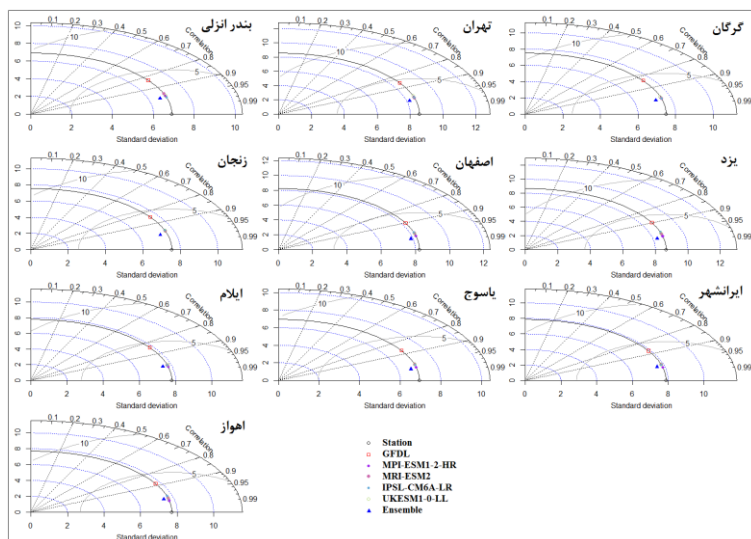
| IPSL_CM6A_LR |      |      | UKESM1_0_LL |      |      | ensemble |      |      |            |
|--------------|------|------|-------------|------|------|----------|------|------|------------|
| SD           | r    | RMSE | SD          | r    | RMSE | SD       | r    | RMSE |            |
| 8.06         | 0.95 | 0.13 | 8.04        | 0.72 | 0.37 | 7.70     | 0.95 | 0.13 | گرگان      |
| 10.27        | 0.96 | 0.16 | 10.28       | 0.78 | 0.39 | 9.78     | 0.97 | 0.13 | تهران      |
| 7.40         | 0.96 | 0.11 | 7.41        | 0.74 | 0.31 | 7.06     | 0.96 | 0.11 | بندر انزلی |
| 9.56         | 0.96 | 0.14 | 9.55        | 0.73 | 0.43 | 9.15     | 0.96 | 0.14 | یزد        |
| 9.79         | 0.97 | 0.13 | 9.78        | 0.76 | 0.39 | 9.35     | 0.97 | 0.12 | اصفهان     |
| 10.43        | 0.96 | 0.16 | 10.45       | 0.79 | 0.37 | 9.84     | 0.97 | 0.13 | زنجان      |
| 8.31         | 0.97 | 0.11 | 8.31        | 0.64 | 0.49 | 8.12     | 0.96 | 0.13 | ایران شهر  |
| 9.48         | 0.97 | 0.12 | 9.49        | 0.78 | 0.37 | 9.09     | 0.97 | 0.13 | یاسوج      |
| 9.95         | 0.97 | 0.12 | 9.99        | 0.79 | 0.38 | 9.56     | 0.97 | 0.12 | ایلام      |
| 10.58        | 0.98 | 0.12 | 10.62       | 0.72 | 0.49 | 10.27    | 0.97 | 0.13 | اهواز      |
| 7.51         | 0.97 | 0.10 | 7.50        | 0.85 | 0.22 | 7.17     | 0.97 | 0.09 | گرگان      |
| 8.58         | 0.96 | 0.13 | 8.60        | 0.86 | 0.25 | 8.18     | 0.97 | 0.10 | تهران      |
| 6.91         | 0.96 | 0.10 | 6.92        | 0.82 | 0.23 | 6.57     | 0.96 | 0.10 | بندر انزلی |
| 8.69         | 0.96 | 0.13 | 8.68        | 0.86 | 0.25 | 8.28     | 0.98 | 0.09 | یزد        |
| 8.25         | 0.96 | 0.12 | 8.25        | 0.89 | 0.21 | 7.88     | 0.98 | 0.08 | اصفهان     |
| 7.55         | 0.95 | 0.13 | 7.57        | 0.91 | 0.17 | 7.17     | 0.97 | 0.10 | زنجان      |
| 7.90         | 0.97 | 0.11 | 7.87        | 0.77 | 0.31 | 7.58     | 0.97 | 0.10 | ایران شهر  |
| 6.96         | 0.97 | 0.09 | 6.96        | 0.90 | 0.17 | 6.66     | 0.98 | 0.07 | یاسوج      |
| 7.80         | 0.97 | 0.10 | 7.86        | 0.90 | 0.19 | 7.52     | 0.97 | 0.10 | ایلام      |
| 7.72         | 0.96 | 0.11 | 7.73        | 0.79 | 0.29 | 7.45     | 0.98 | 0.09 | اهواز      |

خوزستان قدری پایین‌تر از سواحل جنوب شرقی بوده است. دمای این ماه نسبت به دمای همین ماه در دوره پایه بالاتر خواهد بود که می‌توان آن را نتیجه‌ای از گرمایش جهانی دانست. مطالعه رضایی و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان‌دهنده افزایش دما طی سده آینده در مناطق خشک و فراخشک بوده است. مطالعه عساکره و اکبرزاده (۲۰۱۷) نیز حاکی از افزایش دما در دوره آینده در تبریز خواهد بود. در ماه فوریه دما چند درجه افزوده می‌شود. همچنان ارتفاعات شمال غرب، زاگرس و دماوند دماهای کمتری را تجربه خواهند کرد. در پهنه‌ی بزرگی از جنوب شرق کشور و تمامی خوزستان بالاترین دماهای این ماه دیده می‌شود. نواحی با دمای بالاتر نسبت به ژانویه گسترش داشته‌اند. در ماه مارس دما افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. توزیع دمای پیشین در کشور مشابه ماه‌های پیشین است.

شکل‌های ۵ و ۶ میانگین ماهانه‌ی پیشین دمای پیش‌بینی شده ماه‌های اکتبر تا مارس برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ را بر اساس سناریوی SSP 126 و سناریوی SSP 585 نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل پیداست در ۲ دهه‌ی پیش رو ارتفاعات عمده‌ی کشور نقش پررنگی در توزیع دمای پیشین کشور دارند. به‌طوری‌که ناهمواری‌های شمال غرب، زاگرس و نیز دماوند دماهای کوچک مقدار را تجربه خواهند کرد. در ماه اکتبر خوزستان و جنوب شرق کشور بالاترین دماها را به خود اختصاص می‌دهد. وسعت نواحی با دمای کمینه در شمال غرب نشان‌دهنده‌ی آغاز فصل سرد است. در نوامبر و دسامبر وسعت مکانی نواحی دمای کمینه نسبت به ماه‌های پیشین افزایش داشته است. در ماه ژانویه در جنوب شرق کشور بالاترین دماها مشاهده می‌شود. بخشی از خوزستان نیز دمای مشابه جنوب شرق مورد انتظار است. در صورتی که در دوره پایه در ماه ژانویه دمای



شکل ۳. نمودار تیلور برای ایستگاه‌های منتخب کشور برای داده‌های دمای بیشینه

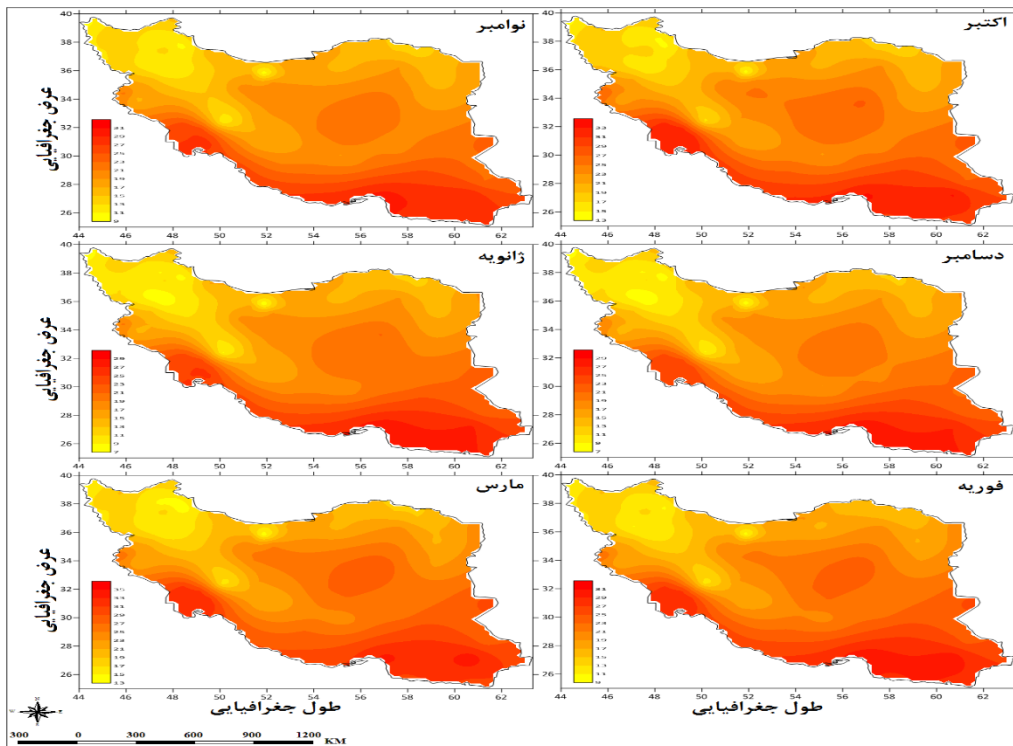


شکل ۴. نمودار تیلور برای ایستگاه‌های منتخب کشور برای داده‌های دمای کمینه

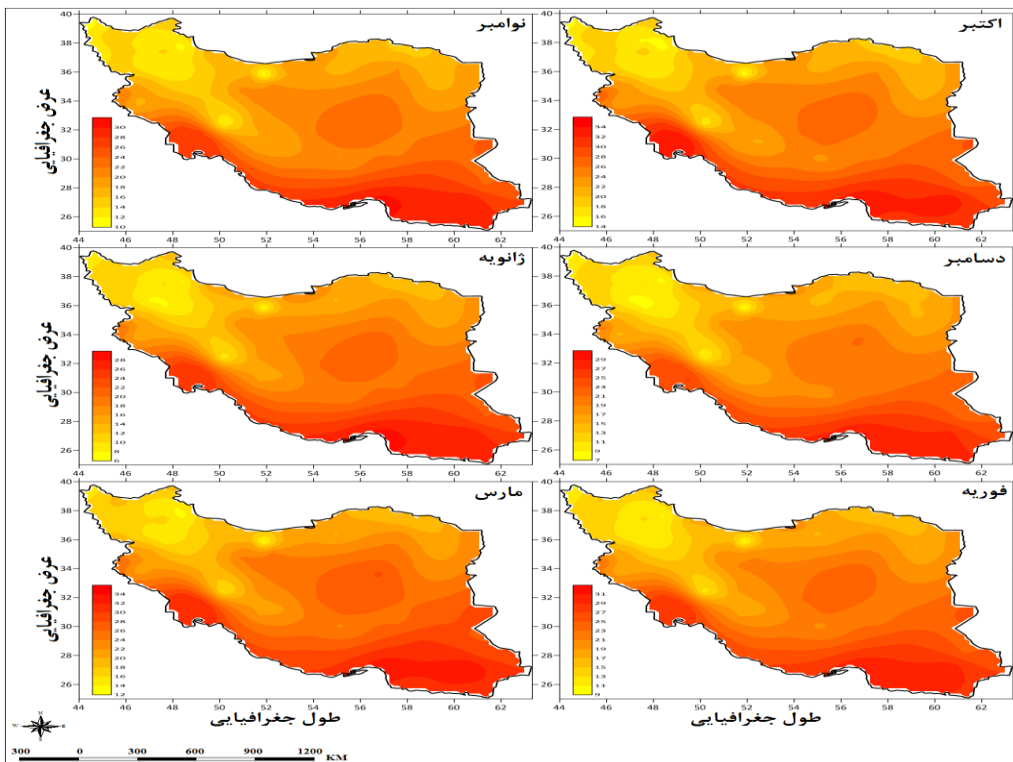
خواهیم بود. نکته‌ی مهم در رابطه با دمای کمینه ماهانه طی دوره آینده نزدیک این مسئله است که دمای کمینه نسبت به دوره پایه افزایش قابل توجهی داشته است. برای مثال در ماه ژانویه در سناریوهای SSP 126 و SSP 585 حدود ۷ درجه سانتی‌گراد افزوده خواهد شد. در ماه‌های دیگر نیز همین وضعیت تکرار شده و دمای شبانه در آینده نزدیک نسبت به دوره پایه بالاتر خواهد بود. بنابراین می‌توان انتظار داشت که طی دهه‌های آینده با شب‌های گرم‌تر نسبت به دوره پایه روبرو خواهیم بود. این افزایش دمای شبانه در تمامی قسمت‌های کشور مورد انتظار است. مطالعه طائی‌سمیری و همکاران (۲۰۱۴) نیز حاکی از

شکل‌های ۷ و ۸ میانگین ماهانه‌ی کمینه دمای پیش‌بینی شده برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ را بر اساس سناریوی SSP 126 و SSP 585 نشان می‌دهد. توزیع مکانی دمای کمینه همانند دمای بیشینه خواهد بود. به این معنا که توزیع دمای کمینه در دوره آینده نزدیک نیز تحت تأثیر ارتفاعات عمده‌ی کشور و نیز عرض جغرافیایی خواهد بود. همان‌طور که در شکل‌های ۸ تا ۹ نیز به‌وضوح دیده می‌شود، نواحی جنوبی به‌ویژه جنوب شرق و جنوب غرب در هر ۲ سناریو بالاترین دماها را تجربه خواهند کرد. در نواحی مرتفع مانند شمال غرب، زاگرس، البرز و نیز ارتفاعات شمال شرقی کشور دماهای کوچک مقدار را شاهد

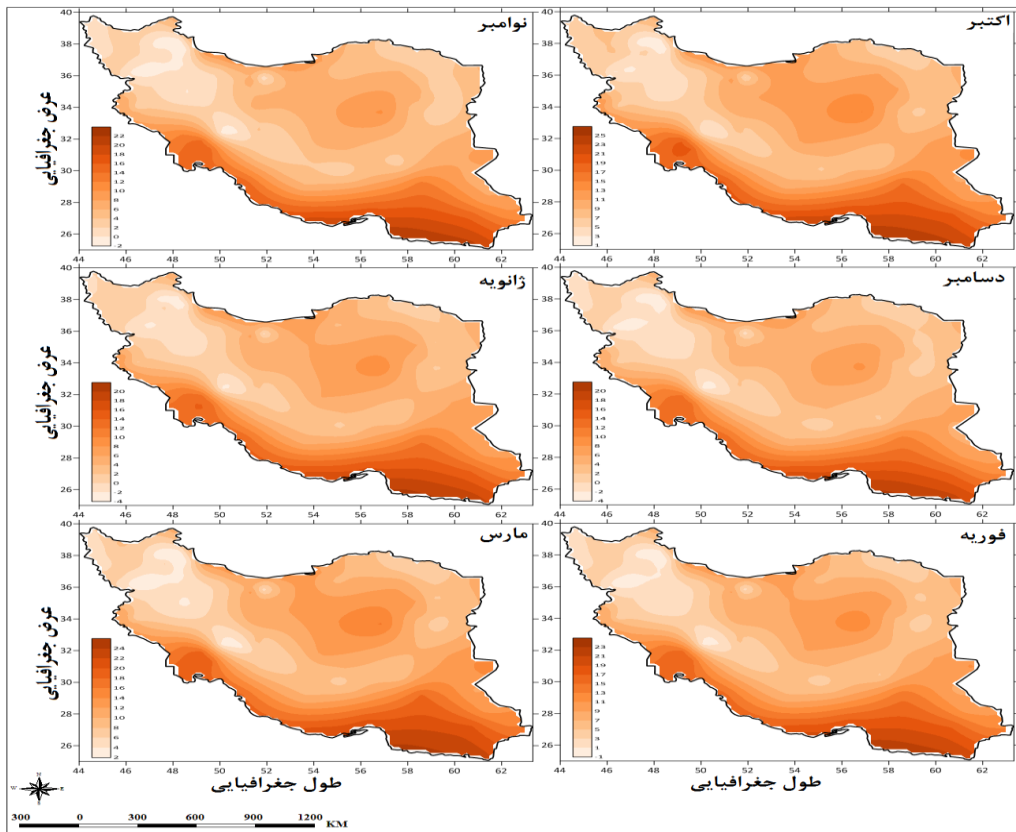
افزایش میانگین دمای کمینه (دمای شبانه) در شمال شرق کشور طی دوره‌های آینده است که تأییدی بر نتایج به‌دست آمده است.



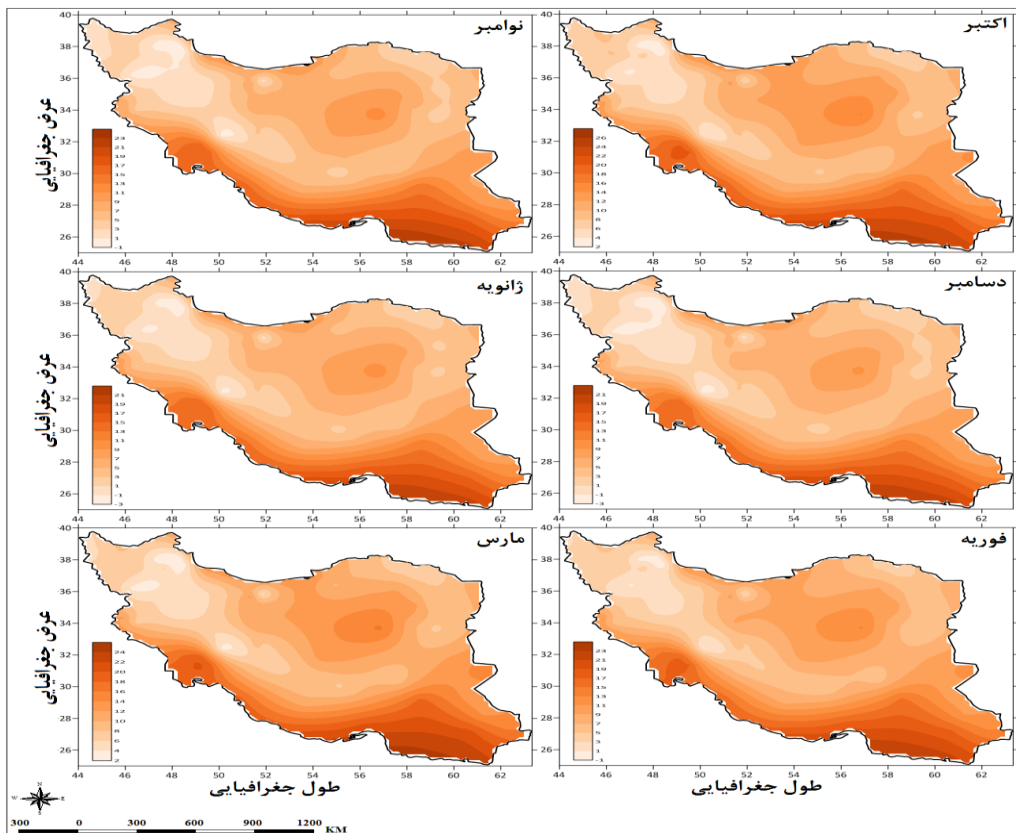
شکل ۵. نقشه میانگین دمای پیشینه بر اساس سناریوی ssp 126



شکل ۶. نقشه میانگین دمای پیشینه بر اساس سناریوی ssp 585



شکل ۷. نقشه میانگین دمای کمینه بر اساس سناریوی ssp 126

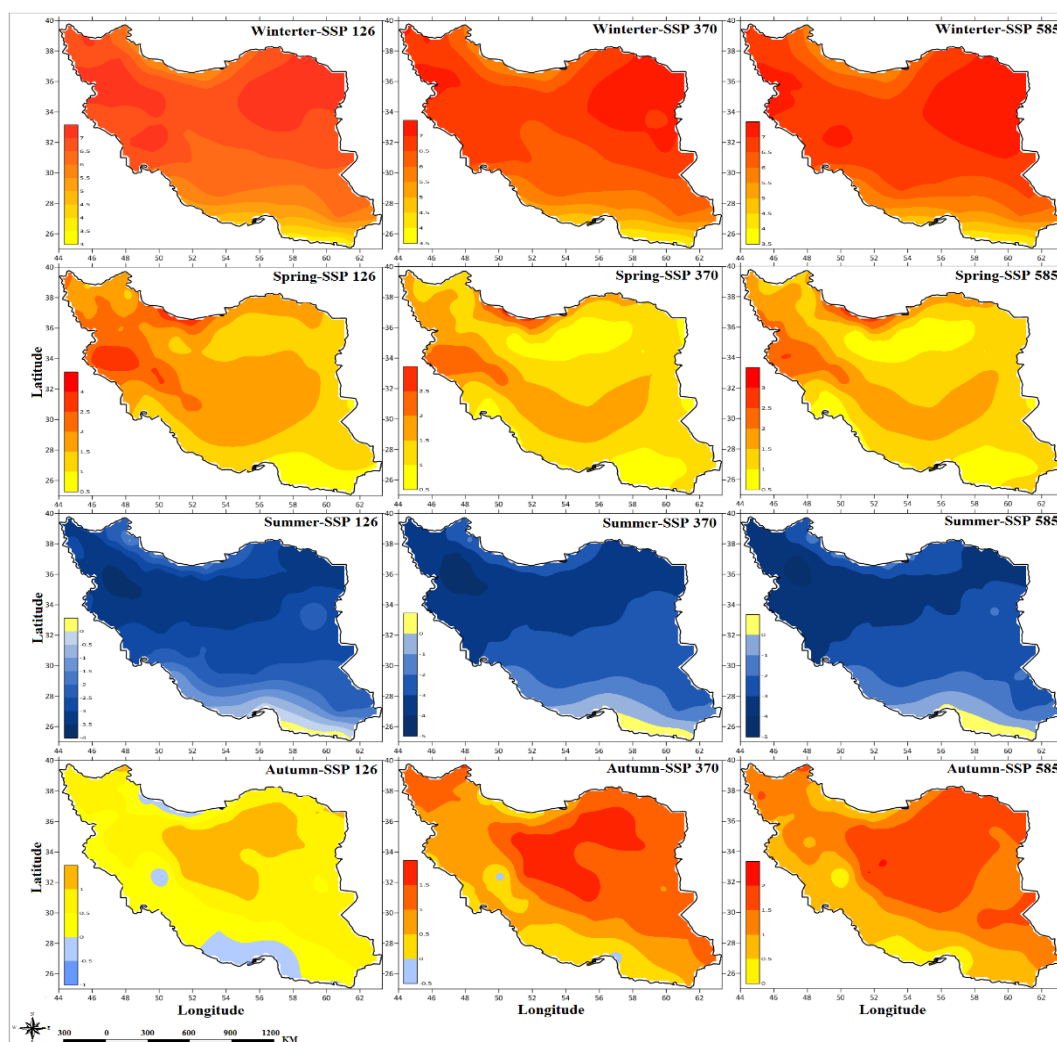


شکل ۸. نقشه میانگین دمای کمینه بر اساس سناریوی ssp 585

### تغییرات توزیع دمای بیشینه طی دوره ۲۰۴۰ - ۲۰۲۱

در دوره پایه در فصل زمستان از شمال‌غرب به جنوب‌شرق کشور دما روند افزایشی داشته است. همین روند در دوره آینده نزدیک نیز حفظ شده است. ولی در هر ۳ سناریو دما نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. در فصول بهار و تابستان نیز روند مکانی دمای بیشینه در دوره‌های پایه و آینده نزدیک در هر ۳ سناریو مشابه زمستان می‌باشد. تنها تفاوت موجود در این میان محل قرارگیری بیشینه دماست که به جنوب‌غربی کشور منتقل شده است. ارتفاعات شمال‌غرب نیز مانند فصل زمستان دماهای کمینه را تجربه می‌کنند. البته از وسعت نواحی دمای کمینه نسبت به فصل بهار کاسته شده است. در این فصل نیز جنوب‌غربی کشور بالاترین دماها را تجربه می‌کند. البته وسعت این ناحیه در آینده نزدیک نسبت به دوره پایه کوچک‌تر خواهد بود. یکی از موارد قابل توجه در این فصل یکنواختی نسبی در نواحی گرم مرکزی است. در فصل پاییز نواحی بیشینه‌ی دمای بیشینه از جنوب‌غرب کشور به جنوب در شرق تنگه هرمز جابجا شده است. وسعت ناحیه بیشینه در دوره پایه و سناریوی SSP 126 بیشتر می‌باشد. تمامی شمال‌غرب و سپس ارتفاعات زاگرس و البرز دماهای کم‌تری را تجربه می‌کنند. بر اساس سناریوهای مورد استفاده در این پژوهش در فصل‌های زمستان و بهار دما در

آینده نزدیک نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت (شکل ۹). این افزایش در فصل زمستان شدیدتر بوده و در برخی نواحی کشور مانند شرق و غرب کشور تا ۷ درجه نیز خواهد رسید. در نواحی جنوبی افزایش دما در زمستان و بهار نسبت به سایر نقاط کشور کمتر خواهد بود. در فصل تابستان دما در آینده نزدیک کمتر از دوره پایه پیش‌بینی شده است. به عبارت دیگر طی ۲ دهه پیش رو با تابستان‌های خنک‌تری مواجه خواهیم بود. تنها در سواحل دریای عمان اندکی افزایش دما مورد انتظار است. در ارتفاعات شمال‌غرب کشور کاهش دما بیش از سایر نقاط خواهد بود. در پاییز وضعیت قدری متفاوت است. به طوری که در سناریوی SSP 126 در بخش‌هایی از کشور، کاهش و در قسمت وسیعی از کشور افزایش دما رخ خواهد داد. در سناریوهای SSP 370 و SSP 585 دما افزوده خواهد شد. با بررسی نقشه‌های آنومالی دما در آینده نزدیک مشخص گردید که فصل زمستان بیشترین تفاوت را با دما در دوره پایه دارد. کمترین تفاوت نیز در فصل پاییز قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۹). مطالعه زرین و داداشی (۱۴۰۰) نیز نشان نزدیک بوده و تاییدی بر نتایج مطالعه حاضر است.



شکل ۹. تغییرات دمای بیشینه در فصول سال در دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰ - ۲۰۲۱) بر اساس سناریوهای SSP نسبت به دوره پایه

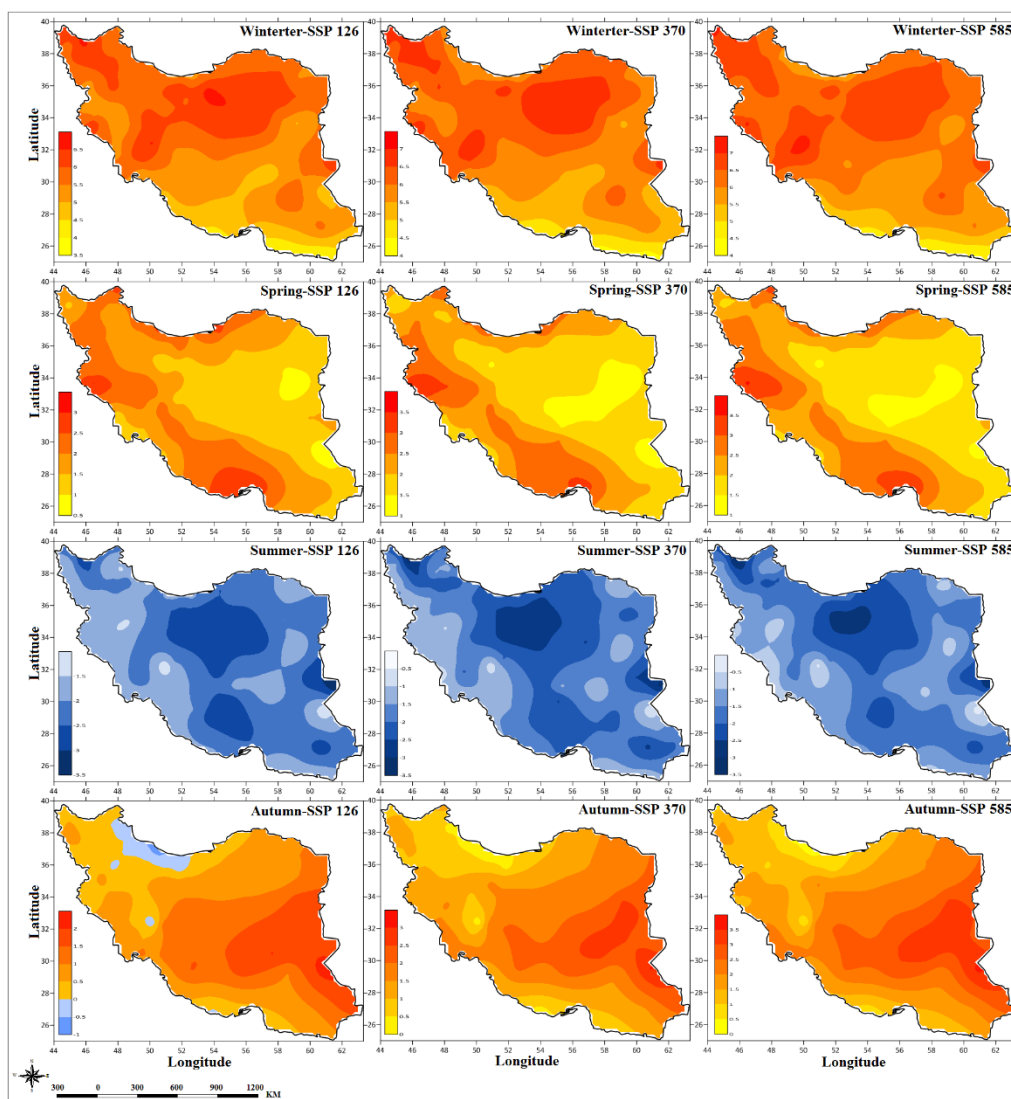
### تغییرات توزیع دمای کمینه طی دوره ۲۰۲۱ - ۲۰۴۰

که از سطح نواحی کمینه در شمال غرب کشور کاسته شده است. همچنین نواحی گرم مرکزی افزایش وسعت داشته‌اند. در این فصل نیز بالاترین دماها در سواحل عمان به چشم می‌خورد. در قسمت‌های دیگر سواحل جنوبی نیز دماهای نسبتاً بالایی اتفاق می‌افتد. دمای شبانه در فصل تابستان نسبت به بهار افزایش داشته است. شمال غرب، بخش‌هایی از ارتفاعات زاگرس، بخش‌هایی از شمال شرق و نیز لکه‌هایی پراکنده در مرکز کشور دماهای کمینه‌ی شبانه را تجربه می‌کنند. تمامی سواحل جنوبی کشور به صورت پیوسته بالاترین دماهای شبانه را دارند. سواحل خزر در این فصل نیز نسبت به اطراف خود دماهای بالاتری دارند. دمای این ناحیه با بخش مرکزی کشور برابری می‌کند. در فصل پاییز

توزیع فصلی دمای کمینه نیز مشابه دمای بیشینه است. به این صورت که از شمال غرب به جنوب شرق کشور دما روندی افزایشی دارد. شمال غرب کشور و بخشی از ارتفاعات زاگرس دمای کمتری را نسبت به سایر نقاط کشور تجربه می‌کنند. بالاترین دماها نیز در سواحل عمان دیده می‌شود. نکته‌ی جالب توجه، برابری دمای بخشی از سواحل خزر با نواحی مرکزی می‌باشد. این نواحی دمای بالاتری نسبت به اطراف خود داشته‌اند. بالاتر بودن دمای شبانه در سواحل خزر به دلیل وجود رطوبت بیشتر در جو این منطقه است. زیرا رطوبت موجود در جو اثر تعدیل‌کنندگی دمایی داشته و سرمای هوا را تعدیل می‌کند. در بهار نیز رفتار مکانی دمای شبانه مشابه زمستان است. با این تفاوت

کمینه در آینده نزدیک کمتر از دوره پایه پیش‌بینی شده است. به عبارت دیگر در آینده نزدیک در فصل تابستان شب‌های خنک‌تری مورد انتظار است. در پاییز وضعیت قدری متفاوت است. به طوری که در سناریوی SSP 126 در سواحل دریای خزر کاهش و در سایر قسمت‌های کشور افزایش دما رخ خواهد داد. در ۲ سناریوی دیگر دما افزوده خواهد شد. با بررسی نقشه‌های آنومالی دمای کمینه در آینده نزدیک مشخص گردید که فصل زمستان بیشترین تفاوت را با دما در دوره پایه دارد (شکل ۱۰).

وسعت نواحی دمای کمینه در شمال غرب نسبت به تابستان افزوده شده و تا قسمت‌های جنوبی زاگرس نیز امتداد یافته است. دماهای بیشینه نیز به سواحل دریای عمان محدود شده است. همانند دمای بیشینه در دمای کمینه نیز در آینده نزدیک در فصل‌های زمستان و بهار نسبت به دوره پایه، افزایش دما مورد انتظار است (شکل ۱۱). افزایش دمای کمینه در فصل زمستان شدیدتر خواهد بود. در نیمه شمالی کشور افزایش دما در زمستان و بهار نسبت به سایر نقاط کشور بیشتر می‌باشد. در فصل تابستان دمای



شکل ۱۰. تغییرات دمای کمینه در فصول سال در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱ - ۲۰۴۰) بر اساس سناریوهای SSP نسبت به دوره پایه

## نتیجه گیری

در این پژوهش مدل همادی نوین بر پایه استفاده از همبستگی پرونداد مدل‌ها با داده‌های ایستگاهی معرفی و ارزیابی شد سپس دمای بیشینه و کمینه کشور برای آینده نزدیک پیش‌نگری گردید. روش معرفی شده با روش میانگین وزنی برای همادی و روش همبستگی پیرسون برای تعیین وزن مدل‌ها به کار بسته شد. با محاسبه میزان خطا و نیز ترسیم نمودار تیلور مشخص گردید که همادی مدل‌های مورد استفاده، خطای حاصل از مدل‌ها را کاهش می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که در دوره ۲۰۴۰ - ۲۰۲۱ نشان‌دهنده‌ی افزایش دما در دوره آینده نزدیک بوده و تأییدی بر نتایج مطالعه حاضر است. مطالعه علیجانی و همکاران (۲۰۱۲) نیز حاکی از روند افزایشی دماهای حدی در کشور بوده است. بر اساس پیش‌بینی‌ها، کانون‌های اصلی افزایشی دما جنوب غرب و جنوب ایران متمرکز خواهد بود. تحقیقات همچنین نشان می‌دهد که حساسیت اقلیمی ثابت نیست، از آنجایی که هیچ روش بسیار مناسبی برای تخمین حساسیت اقلیمی وجود ندارد، یک حوزه بحث و پژوهشی بسیار داغ علمی است. تخمین‌های منطقی برای ECS و TCR می‌تواند حوزه بسیار بکر پژوهشی برای دانشجویان و علاقه‌مندان باشد.

## منابع

- باروتی، ح.، اسماعیلی، ک. و قهرمان، ب. (۱۳۹۷)، شبیه‌سازی زمانی و مکانی بارش در حوضه رود شور تحت تأثیر تغییر اقلیم، مهندسی آبیاری و آب، ۹(۳۴): ۴۱-۶۵.
- جهانبخش اصل، س.، ساری صراف، ب.، عساکره، ح. و شیرمحمدی، س. (۱۳۹۹)، واکاوی تغییرات زمانی - مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال‌های ۲۰۱۶ - ۱۹۶۵، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷(۲): ۱۲۲-۱۵۲.
- رضایی، م.، نهتانی، م.، آبکار، ع.، رضائی، م. و میرکازهی - ریگی، م. (۱۳۹۳)، بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (کرمان و بم)، پژوهش نامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۰(۵): ۱۳۱-۱۱۷.
- دمای کمینه و بیشینه در اغلب نقاط کشور افزایش خواهند داشت. داده‌های برآورد شده برای کمینه دما شباهت بیشتری با داده‌های واقعی نسبت به دمای بیشینه را خواهند داشت. دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه در دوره پایه افزایش بیشتری دارد. عرض جغرافیایی کشور نقش عمده‌ای در توزیع دما دارد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی دماهای حدی در گستره وسیعی از ایران در دهه آینده تغییر خواهند کرد و تمام کشور با افزایش دما روبه‌رو خواهند بود. مطالعه زرین و داداشی (۲۰۲۱) نیز
- زرین، آ. و داداشی رودباری، ع. (۱۴۰۰)، پیش‌نگری دمای یاران در آینده نزدیک (۲۰۲۱ - ۲۰۴۰) بر اساس رویکرد همادی چند مدلی CMIP6، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۳(۱): ۷۵-۹۰.
- طائی سمیرمی، س.، مرادی، ح. و خداقلی، م. (۱۳۹۳)، شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو (حوزه آبخیزبار نیشابور)، فصلنامه انسان و محیط زیست، ۲۸(۱۲): ۱-۱۵.
- عباسی، ف.، بابائیان، ا.، ملبوسی، ش.، اثمیری، م. و گلی مختاری، ل. (۱۳۹۱)، ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو، تحقیقات جغرافیایی، ۲۷(۱۰۴): ۳۳-۴۹.
- عزیزی، ق.، صفرزاده، ط.، محمدی، ح. و فرجی سبکبار، ح. (۱۳۹۵)، ارزیابی و مقایسه داده‌های بازکاوی شده بارش جهت استفاده در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱): ۳۳-۴۹.
- عساکره، ح. (۱۳۹۱)، تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۳(۴۵): ۶۱-۴۶.
- عساکره، ح. و اکبرزاده، ی. (۱۳۹۶)، شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰ - ۲۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری و خروجی مدل



- convection-permitting ensemble. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL090903.
19. Chen, J.; Brissette, F. P.; Chaumont, D.; Braun, M. (2013). Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America. *Water Resources Research*, 49(7): 4187-4205.
20. Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review: Drought under global warming. *Climate Change*, 2 (1): 45–65.
21. Grose, M.R.; Narsey, S.; Delage, F.P.; Dowdy, A.J.; Bador, M.; Bosch, G.; Chung, C.; Kajtar, J.B.; Rauniyar, S.; Freund, M.B. and Lyu, K. (2020). Insights from CMIP6 for Australia's future climate. *Earth's Future*, 8(5): 12-24.
22. Hawkins, E.; Sutton, R. (2009). The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(8): 1095-1108.
23. IPCC, 2018. Summary for Policymakers. In: *Global warming of 1.5\_C. An.*
24. IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Rep*, 151 pp., IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.
25. Janssen, E.; Wuebbles, K.; Kunkel, S. and Goodman, A. (2014). Observational- and model-based trends and projections of extreme precipitation over the contiguous United States, *Earth's Future*, 2, 99–113.
26. Kazmi, D.; Hussain, R.; Ghulam, L.; Jianping, C. and Suhail. B. (2014), Comparative Study for ECHAM5 and SDSM in Downscaling Temperature for a Geo-Climatically Diversified Region Pakistan. *Applied Mathematics*, 5: 137-143.
27. Mahmood. R. and mukands, b. (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*, 6: 56–66.
- CanESM2، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۶ (۱): ۱۷۴ – ۱۵۳.
۱۰. عطایی، ه.، کوهی، م.، مدیریان، ر. و بذرافشان، ب. (۱۴۰۰)، تغییرات پیش‌نگری شده در دما و بارش حوضه کشف رود بر مبنای روش‌های مقیاس – گاهی دینامیکی و آماری، مخاطرات محیط طبیعی، ۲۳ (۱۰): ۱۸۳–۲۰۲.
۱۱. علیجانی، ب. (۱۳۹۰)، تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۱ (۲۰): ۱–۲۰.
۱۲. علیجانی، ب.، روشنی، ا.، پرک، ف. و حیدری، ر. (۱۳۹۱)، روند تغییرپذیری فرین‌های دما با استفاده از شاخص‌های تغییر اقلیم در ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲ (۱): ۱۸–۲۹.
۱۳. مسعودیان، ا. و کاویانی، م. (۱۳۸۶)، اقلیم‌شناسی ایران، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان.
۱۴. مهرزاد، ح.، سلیقه، م.، اکبری، م. و حجازی زاده، ز. (۱۳۹۸)، آشکارسازی فازهای تاثیرگذار شاخص نوسان شبه دو سالانه (QBO) بر افزایش تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در نیمه جنوبی ایران، نشریه هواشناسی و علوم جو، ۵۲ (۱): ۱۱۳–۱۲۷.
15. Altaf, Y.; Manzoor A. and Mohd, F. (2017). MLR Based Statistical Downscaling of Temperature and Precipitation in Lidder Basin Region of India. *Environment Pollution*, 1: 1-7.
16. Bai, H.; Xiao, D.; Wang, B.; Liu, D. L.; Feng, P. and Tang, J. (2020). Multi-model ensemble of CMIP6 projections for future extreme climate stress on wheat in the North China Plain. *International Journal of Climatology*, 40: 21-39.
17. Boucher O.; Servonnat J.; Albright AL.; Aumont O.; Balkanski Y.; Bastrikov V. (2020). Presentation and evaluation of the IPSLCM6A- LR climate model. *Advanced Model Earth System*. 12: e2019MS002010.
18. Chen, Y.; Paschalis, A.; Kendon, E, Kim, D. and Onof, C. (2021). Changing spatial structure of summer heavy rainfall, using

- forCMIP6. Advanced Model Earth System. 12(4):e2019MS001946.
34. Sentman L.T.; Dunne J.P.; Stouffer R.J.; Krasting J.P.; Toggweiler J.R.; Broccoli J. (2018). The mechanistic role of the Central American Seaway in a GFDL Earth System Model. Part 1: impacts on global ocean mean state and circulation. *Paleoclimatology*. 33(7):840–859.
35. Wehner, M. (2013). Very extreme seasonal precipitation in the NARCCAP ensemble: model performance and projections. *Climate Dynamics*, 40(1): 59-80.
36. Wong, C.; Mok, H. Y.; and Lee, T. (2011). Observed changes in extreme weather indices in Hong Kong. *International Climate*. 31: 2300–2311.
37. Zhao, R.; Huixiao, W.; Ji, C.; Guobin, F.; Chesheng, Z. and Huicai, Y. (2021). Quantitative analysis of nonlinear climate change impact on drought based on the standardized precipitation and evapotranspiration index. *Ecological Indicators*, 121: 107107.
38. Zhu, Y. and Yang, S. (2020). Evaluation of CMIP6 for historical temperature and precipitation over the Tibetan Plateau and its comparison with CMIP5. *Advances in Climate Change Research*, 11(3): 239-251.
28. Maraun, D. (2016). Bias correcting climate change simulations-a critical review. *Current Climate Change Reports*, 2(4): 211-220.
29. Mendez, M.; Maathuis, B.; Hein-Griggs, D.; & Alvarado-Gamboa, L. F. (2020). Performance Evaluation of Bias Correction Methods for Climate Change Monthly Precipitation Projections over Costa Rica. *Water*, 12(2), 482.
30. Müller W.A.; Jungclaus J.H.; Mauritsen T.; Baehr J.; Bittner M.; Budich R. (2018). A higher-resolution version of the Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1. 2-HR). *Advanced Model Earth System*. 10(7):1383–1413.
31. Palazzi, E.; Hardenberg, v.; and Provenzale, A. (2013). Precipitation in the Hindu-Kush Karakoram Himalaya: Observations and future scenarios. *Geophysics Research Atoms*, 118: 85–100.
32. Sayad, T.; Ali, M. and Kamel, A. (2016). Study The Impact of Climate Change on Maximum and Minimum Temperature Alexandria, Egypt Using Statistical Downscaling Model (SDSM). *Global Journal of Advanced Research*, 3: 694–712.
33. Sellar A.A.; Walton J.; Jones C.G.; Wood R.; Abraham N.L. Andrejczuk M. (2020). Implementation of UK Earth system models