دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۷
پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۹۸-۷۹

سعید جهانبخش اصل[۱]
معصومه تدینی[۲]
***مهدی اسدی[۳]**
عباسعلی داداشی رودباری[٤]

مدل‌سازی و پیش‌نگری تغییرات مکانی دمای فصلی ایران مبتنی بر مدل میان‌مقیاس منطقه‌ای RegCM4

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰۷/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰٤/۰۳

چکیده

انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) و انباشت پیوسته آن‌ها در جو به طور مستقیم بر دمای هوا تأثیر می‌گذارد و افزایش دمای هوا تهدید جدی برای آب‌وهوای کره زمین محسوب می‌شود. هدف از این پژوهش مدل‌سازی مکانی دمای فصلی ایران می‌باشد به این منظور از دو سری داده استفاده شد: ۱- داده‌های دمای میانگین ۱۱۵ ایستگاه سینوپتیک در دورهٔ ۲۰۱٤-۱۹۸۰ و ۲- داده‌های مدل گردش کلی EH5OM برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ با تفکیک زمانی ۳ ساعته تحت سناریو A1B. برای ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل EH5OM از مدل منطقه‌ای RegCM4 استفاده شد. سپس داده‌های ساعتی دمای هوای ریز پیمانه‌نمایی شده با تفکیک مکانی ۰/۲۷ × ۰/۲۷ درجه قوسی، با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ به ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر تبدیل شدند که در نتیجه ماتریسی به ابعاد ٤×۷۲۰۰ (عدد ٤ نشانگر فصل و ۷۲۰۰ تعداد یاخته است) به‌دست آمد. صحت سنجی داده‌های مدل‌سازی شده (دوره شبیه‌سازی شده) با استفاده از سه آماره (R^2)، (MAE) و (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت و صحت آن‌ها با اطمینان بالایی تایید گردید.

۱- عضو هیات علمی دانشگاه تبریز، تبریز.
۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان.
*۳- دکتری آب‌وهواشناسی کشاورزی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: asadimehdi11@yahoo.com
٤- دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی شهری دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مدل‌سازی دمایی نشان داده است که دما در ایران در فصول تابسان و زمستان برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ تحت سناریو A1B به‌ترتیب ۱/۰۹ و ۰/۳۳ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. خود همبستگی دمایی با آماره Geary's C حاکی از ارتباط قوی واحدهای فضایی دما در ایران است. مرکز ثقل دمایی ایران تحت واداشت گرمایش جهانی در تمامی فصول مورد مطالعه افزایشی بوده و همچنین تابع توزیع جهت‌دار مبین انحراف فضایی دمای فصلی ایران از حالت نرمال بود که منجر به آشکارسازی نقش ارتفاعات و جهت‌گیری از یکسو و سامانه بزرگ مقیاس جوی از سوی دیگر در دمای ایران شده است.

کلید واژه‌ها: دمای فصلی، مدل EH5OM، مدل RegCM4، مرکز ثقل دمایی، ایران.

مقدمه

دما یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین مناطق مناسب برای سایت‌های کشاورزی (Hudson & Wackernagel, 1994: 77)، زیستگاه‌های گونه‌های گیاهی (Rubio et al., 2002: 373)، تعیین الگوهای پهنه‌بندی گیاهی (Richardson et al., 2004: 53) بوده و تأثیر آن بر مرگ‌ومیر شهری (Guo et al., 2012: 1)، تشکیل جزایر حرارتی شهری و مطالعات خرد آب‌وهواشناسی (Stewart & Oke, 2012: 1879; Daneshmand et al., 2015: 33) کاملاً مشهود است.

هیات بین دولتی تغییر آب‌وهوا (IPCC) در گزارش چهارم خود (AR4) عنوان کرده است که (Solomon et al., 2007: 304) تغییرات آب‌وهوایی باعث شده است فرکانس، شدت و مدت حوادث شدید اقلیمی همچون موج‌های گرما، بارش‌های سیل‌آسا و خشکسالی افزایش یافته و این شرایط در آینده نیز ادامه خواهد داشت. افزایش CO2 که اندازه‌گیری آن از سال ۱۹۵۰ شروع‌شده است، سندی آشکار بر تغییرات آب‌وهوایی است. بر اساس نتایج مدل‌های گردش کلی، با دو برابر شدن غلظت گازهای CO2 دمای متوسط کره زمین بین ۱/٤ تا ۵/۸ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد (Komatsua et al., 2007: 354). این افزایش به‌طور یکنواخت در تمامی مناطق زمین اتفاق خواهد افتاد که دارای شدت و ضعف‌های مختلف خواهد بود (Rosenberg et al., 2003: 74). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب‌وهوایی منجر به افزایش نگرانی‌های شدیدی شده است (Boykoff & Boykoff, 2007: 1192). آگاهی از تنوع فضایی دما برای پاسخگویی به ارزیابی تغییرات آب‌وهوایی و اثر گازهای گلخانه‌ای از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. در حال حاضر مدل‌های گردش کلی (GCM) تنها ابزار سودمندی هستند که اثر تغییر اقلیم در سطح جهانی را برای عناصر جوی و اقیانوسی در شبکه‌های بزرگ مکانی شبیه‌سازی می‌کنند. به منظور مطالعات گرمایش جهانی و اثر آن بر فراسنج‌های اقلیمی همچون دما در دوره‌های آتی، در ابتدا باید متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از مدل‌های ترکیبی جو–اقیانوس (AOGCM) می‌باشند. از آنجا که تجزیه‌وتحلیل تغییرات آب‌وهوایی بر اساس یک مدل نقطه ضعف‌هایی در مقایسه با رویکرد چند مدلی دارد، در بسیاری از پژوهش‌ها از داده‌های مدل ترکیبی استفاده می‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

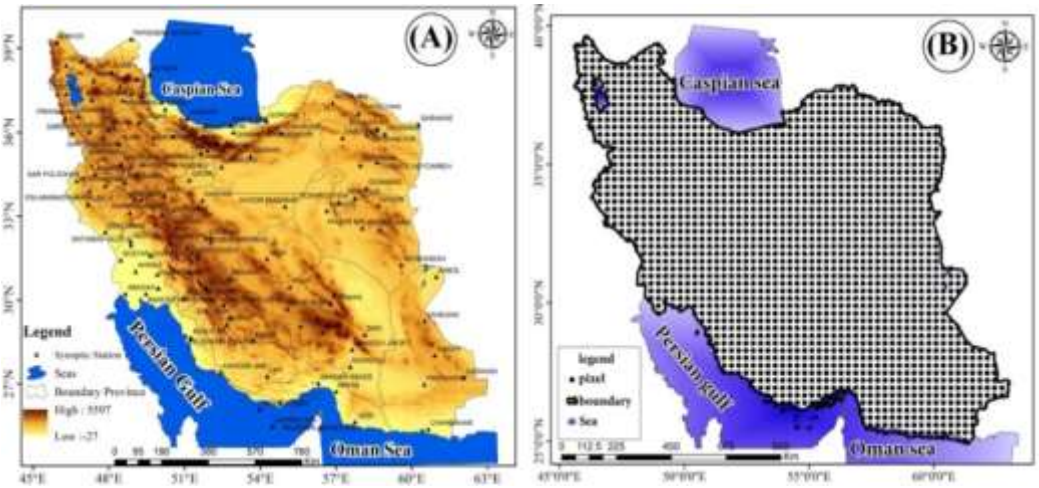
هر مدل با هر سطح تفکیک و با هر دقتی دارای عدم قطعیت است چرا که در مقدار برآورد تابش و چرخه کربن به عنوان مهم‌ترین بخش یک مدل عدم قطعیت وجود دارد (Meinshausen et al., 2009: 1159). تاکنون پژوهش‌های بسیاری به ارزیابی تغییرات آب‌وهوایی پرداخته‌اند. Öztürk et al (2011) با شبیه‌سازی وقایع حدی در آسیای مرکزی با استفاده از مدل RegCM4 برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ به این نتیجه رسیدند که داده‌های CORDEX می‌تواند نتایج ارزشمندتری را ارائه دهد. Xue-Jie et al (2013) تغییرات آب‌وهوایی قرن ۲۱ چین را توسط داده‌های ریزمقیاس شدهٔ مدل BCC_CSM1 توسط RegCM4 مطالعه کرده به این نتیجه رسیدند که تحت سناریو RCP8.5 گرمایش بیش‌تری در این کشور نسبت به سناریو انتشار RCP4.5 به‌وجود خواهد آمد. پژوهش‌های بسیاری با استفاده از داده‌های CORDEX و مدل RegCM4 به ارزیابی دما پرداخته‌اند که از جمله می‌توان به پژوهش‌های Fuentes-Franco et al (2015) در مکزیک و آمریکای مرکزی، Almazroui et al (2016) در خاورمیانه و شمال آفریقا، NgoDuc et al (2016) در جنوب‌شرق آسیا، Nikiema et al (2016) در غرب آفریقا اشاره کرد. این پژوهش باهدف مدل‌سازی مکانی و تغییرات مرکز ثقل دمای فصلی ایران تحت واداشت گرمایش جهانی انجام گردید و نتایج آن می‌تواند در طیف وسیعی از مطالعات تغییرات آب‌وهوایی، مدیریت انرژی، سیلاب و کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در گام نخست برای ارزیابی شرایط دمایی گذشته ایران داده‌های دمای میانگین ۱۱۵ ایستگاه سینوپتیک (۲۰۱٤–۱۹۸۰) مورد ارزیابی قرار گرفتند که در شکل (A–۱) نشان داده شده است. به منظور آشکارسازی اثر گرمایش جهانی بر میانگین دمای هوای فصلی ایران از میانگین دمای روزانه مدل گردش کلی EH5OM استفاده گردید. EH5OM یک مدل گردش کلی جو–اقیانوسی از سری پنجم مدل‌های گردش کلی است که مولفه جوی آن مدل ECHAM است. داده‌های مدل دارای تفکیک در راستای افقی T63 و در راستای قائم ۳۱ سطح جوّ تا نزدیک ۱۰ هکتوپاسکال می‌باشد که در موسسه ماکس پلانک آلمان به صورت روزانه از تاریخ ۱۹٦۰/۰۱/۰۱ تا ۲۱۰۰/۱۲/۳۱ تحت سه سناریو B1, A1B و A2 تولید شده‌اند (Roeckner et al., 2006: 3775). در این مطالعه از سناریو (A1B) استفاده شد چرا که فرض کلیدی سناریو حاضر استفاده از منابع سنگواره‌ای و غیرسنگواره‌ای به‌طور متعادل است (Landerer et al (2007: 298. خروجی این مدل با گام زمانی شش ساعته و در بازه ۲۰۵۰–۲۰۱۵ برای محدوده ایران از پایگاه داده‌های مدل از آدرس (https://users.ictp.it/~pubregcm/RegCM4/globedat.htm) دریافت گردید. از آنجایی که ابعاد پیکسل‌های مدل گردش عمومی مورد استفاده ۱/۷۵×۱/۷۵ درجه قوسی می‌باشد و با توجه به این‌که این پژوهش بعد منطقه‌ای (ایران) دارد و مدل‌های گردش عمومی هوا قدرت تفکیک پایینی دارند (۲۰۰×۲۰۰ کیلومتر) لذا قادر به آشکارسازی رفتار آب‌وهوا در مقیاس محلی و منطقه‌ای نیستند؛ بنابراین لازم است داده‌ها در مدل‌های آب‌وهوایی منطقه‌ای که جهت فرآیندهای کوچک مقیاس و منطقه‌ای مناسب هستند ریزمقیاس شوند (Roshan & Grab, 2012: 247). مدل مورد استفاده جهت ریزمقیاس نمایی پایگاه داده EH5OM نسخه چهارم مدل اقلیم منطقه‌ای مرکز فیزیک نظری عبدالسلام (RegCM4) است. این مدل از معادلات هیدروستاتیک استفاده می‌کند، سیستم مختصات آن همانند

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مدل هواشناسی میان‌مقیاس MM4، سیگما است (Pal et al., 2007: 197). قدرت تفکیک قائم مدل شامل ۱۸ سطح است که ۷ سطح آن زیر لایه ۸۰۰ هکتوپاسکال قرار دارد. مدل RegCM4 برای اجرا، به داده‌های توپوگرافی (TOPO)، پوشش سطح زمین (GLCC)، دمای سطح دریا (SST) و شرایط اولیه و مرزی نیاز دارد. داده‌های GLCC با استفاده از سنجنده AVHRR از آوریل ۱۹۹۲ تا مارس ۱۹۹۳ موجود است و بر اساس نوع پوشش گیاهی و سطح زمین، توسط طرح‌واره BATS تعیین می‌شود (Kiehl et al., 1996: 39). میانگین دمای روزانه با ابعاد ۰/۲۷×۰/۲۷ درجه قوسی که حدوداً نقاطی با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر مساحت ایران را پوشش می‌دهند توسط مدل آب‌وهوای منطقه‌ای ریزمقیاس در بازه زمانی ۳۶ ساله ۲۰۵۰-۲۰۱۵ در ماتریسی به ابعاد ۲۱۴۰×۱۳۱۴۰ ریزمقیاس شده است. در این ماتریس سطرها (۱۳۱۴۰) نشان‌دهنده زمان (ساعت، هرروز، هرسال) و ماتریس ستون‌ها پیکسل‌ها (نقاط میان‌یابی شده با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر) می‌باشند. سپس با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ دمای ایران به پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر تبدیل شد و ماتریس نهایی به ۷۲۰۰×۴ تقلیل یافت (شکل B-۱).



شکل ۱: A) ایستگاه‌های سینوپتیک ایران؛ B) پیکسل‌های ریزمقیاس شده با استفاده از مدل RegCM4

Figure 1: A) Iran synoptic stations and; B) Downscaled pixels using RegCM4 model

در مرحله ارزیابی مدل با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین مربعات خطا (AMSE) (روابط ۱ الی ۳)، داده‌های تولیدشده دما، توسط مدل و داده‌های مشاهده شده مورد ارزیابی قرار گرفتند، به عبارتی، داده‌ها به مقیاس فصلی تبدیل شدند، یعنی دمای فصل زمستان در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ با دمای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ بررسی شدند. نتایج اجرای مدل تحت سناریو A1B در جدولی در بخش نتایج و بحث ارائه شده است.

$$R^2 = \frac{(\sum_{i-1}^{n}(E_{si} - \bar{E}))(E_{oi} - \bar{E}_{oi})}{(\sum_{i-1}^{n}(E_{si} - \bar{E}))^2(E_{oi} - \bar{E}_{oi})^2}$$ رابطه (۱)

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^{n}(A_t - F_t)^2}{n}$$ رابطه (۲)

$$RMSE = \sqrt{\left(\sum (E_{si} - E_{oi})^2\right)/n - 1}$$ رابطه (۳)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در این روابط X_i و Y_i به‌ترتیب iامین داده واقعی و شبیه سازی شده توسط مدل، $\overline{X}$ و $\overline{Y}$ میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. توزیع بسیاری از پدیده‌های جغرافیایی در فضا به‌گونه‌ای است که ممکن است جهت‌دار باشند. در این موارد می‌توان با محاسبه واریانس y محورهای x و y به‌طور جداگانه و مستقل روند و جهت توزیع پدیده‌ها را در فضای جغرافیایی نشان داد. ابزار توزیع جهت‌دار نشان می‌دهد که آیا توزیع عوارض جغرافیایی در فضا به‌صورت جهت‌دار صورت گرفته‌اند و یا خیر (Zhang et al., 2008: 215). روشی که معمولاً برای اندازه‌گیری روند در مجموعه‌ای از نقاط یا نواحی به‌کار گرفته می‌شود محاسبه فاصله استاندارد در جهت x و y و به‌طور جداگانه می‌باشد. این دو مقدار محور یک بیضی را که توزیع عوارض را در بر می‌گیرد تعریف می‌کنند. از این بیضی به‌عنوان انحراف استاندارد نیز نام برده می‌شود؛ زیرا در این روش انحراف استاندارد مختصات x و y از میانگین مرکزی برای تعیین محورهای بیضی محاسبه می‌شوند. این بیضی این امکان را می‌دهد که اگر توزیع عوارض در فضا از الگوی جهت‌داری برخوردار باشند بتوان آن را شناسایی نمود. بیضی انحراف استاندارد برای طول و عرض جغرافیایی به شکل روابط (٤ و ٥) محاسبه می‌شود:

رابطه (٤)
$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n}}$$

رابطه (٥)
$$SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{Y})^2}{n}}$$

در روابط (٤ و ٥) X_i و Y_i مختصات عارضه i بوده و $\{\overline{X}, \overline{Y}\}$ به‌ترتیب میانگین مرکزی عوارض و n برابر با تعداد کل عوارض در لایه مورد تحلیل می‌باشد. زاویه چرخش نیز به‌صورت رابطه (٦) محاسبه می‌شود که اجزا آن در روابط (٧ و ٨) آمده است.

رابطه (٦)
$$\tan\theta = \frac{A + B}{C}$$

رابطه (٧)
$$A = \left(\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^{n}\tilde{y}_i^2\right)$$

رابطه (٨)
$$B = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^{n}\tilde{y}_i^2\right)^2 + 4\left(\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i\tilde{y}_i\right)^2}$$

در اینجا $\tilde{x}_i$ و $\tilde{y}_i$ اختلاف بین مختصات x و y از میانگین مرکزی است. انحرافات استاندارد برای محورهای x و y عبارت‌اند از:

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رابطه (۹)

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\tilde{x}_i \cos\theta - \tilde{y}_i \sin\theta i^2}{n}}$$

رابطه (۱۰)

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\tilde{x}_i \sin\theta - \tilde{y}_i \cos\theta o^2}{n}}$$

میانگین مرکزی ساده‌ترین تحلیل در آمار فضایی است. این تحلیل مشابه میانگین در آمار کلاسیک است و به صورتی مشابه محاسبه می‌شود. این تحلیل مرکز جغرافیایی و یا مرکز ثقل (Center of Concentration) مجموعه‌ای از عوارض را شناسایی می‌کند (Tarazaga, 2007: 423; Fotheringham et al., 2001: 57). میانگین مرکزی در حالت کلی به شکل روابط (۱۱ و ۱۲) محاسبه می‌شود.

رابطه (۱۱)

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

رابطه (۱۲)

$$\overline{Y} = \int \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n}$$

در اینجا x_i و y_i مختصات xو y و n برابر با کل عوارض موجود در لایه مورد تحلیل است. از آنجایی که در پژوهش حاضر میانگین مرکزی وزنی مدنظر بوده رابطه‌های فوق به این شکل رابطه (۱۳) تغییر شکل می‌یابند.

رابطه (۱۳)

$$\overline{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$

رابطه (۱٤)

$$\overline{Y}_w = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$

از آنجایی که مختصات جغرافیایی هر عارضه را که z می‌نماییم نیز موجود است، آنگاه میانگین مرکزی را به‌صورت سه‌بعدی می‌توان نوشت که در پژوهش حاضر همین رابطه که طی فرآیند فوق تکمیل شده است را مورد استفاده قرارداد.

رابطه (۱۵)

$$\overline{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{n} z_i}{n}$$

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رابطه (۱۶)

$$\overline{Z}_w = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$

در اینجا w_i وزن عارضه i می‌باشد.

پیش از آن‌که مرکز ثقل و بیضوی انحراف استاندارد را محاسبه نماییم نیاز است تا خود همبستگی فضایی داده‌ها محاسبه شود. لذا به‌منظور ارزیابی خود همبستگی فضایی از روش Geary's C استفاده شده است. شاخص‌گری به جای تأکید بر انحراف از میانگین (آنچه شاخص موران بدان تکیه دارد) اختلاف هر ناحیه را نسبت به دیگری برآورد می‌کند (Fischer & Getis, 2009: 475). از این شاخص برای تحلیل مکانی یاخته‌های دمای سطح زمین کشور استفاده شده است. ضریب «گری» بین صفر تا ۲ در نوسان است که مقدار صفر دلالت بر خود همبستگی فضایی کاملاً مثبت دارد (زمانی که ارزش همه‌ی همسایگی‌ها مشابه باشند)؛ بنابراین حاصل‌ضرب ضربدری برابر صفر است و مقدار ۲ بر خود همبستگی فضایی کاملاً منفی دلالت دارد. مقدار در ضریب «گری» به مفهوم نبود رابطه فضایی است. این شاخص همانند رابطه (۱۷) می‌توان نوشت.

رابطه (۱۷)

$$c = \frac{(n-1)\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(y_i - y_j)^2}{2W\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{y})^2} \quad i \neq j.$$

مقدار مورد انتظار ضریب «گری» به وسیله اندازه کوچک N متأثر نمی‌شود و غالباً برابر ۱ است. فرض صفر در آزمون گری این‌گونه بیان می‌شود که واحدهای فضایی مربوطه با یکدیگر تفاوتی ندارند.

یافته‌ها و بحث

نتایج صحت‌سنجی دمای ایران با استفاده از داده‌های ایستگاه همدید با خروجی مدل دینامیکی EH5OM مبتنی بر آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه متوسط مربع خطا (RMSE) در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به جدول (۱)، مقادیر شاخص (RMSE) برای اغلب ایستگاه‌ها کم‌تر از ۳ است، لذا داده‌های مدل‌سازی شده با استفاده از مدل EH5OM مبتنی مدل منطقه‌ای RegCM4 با استفاده از سناریو A1B قابلیت اطمینان مناسبی را برای استفاده دارند و فقط برای ایستگاه‌های داخلی مانند یزد و ایستگاه‌های مرتفعی مانند تربت‌حیدریه و سنندج شاخص نزدیک ۵ است؛ ولی برای ایستگاه‌های واقع در نواحی داخلی ایران و مناطق ساحلی مقادیر حتی کم‌تر از ۳ و حتی در برخی از ایستگاه‌های همدیدی همچون رامسر کم‌تر از ۱ می‌باشد. این مقدار خطا هم ناشی از اختلاف فاصله ایستگاه از پیکسل شبیه‌سازی شده توسط مدل است، چرا که پیکسل دقیقاً منطبق بر ایستگاه نیست. مقدار ضریب تعیین تمامی ایستگاه به جز سنندج و زنجان بالای ۰/۹۰ می‌باشد همچنین برای برخی از ایستگاه‌ها مثل رامسر و آبادان شاخص عدد ۰/۹۹ را نشان داده است. صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت ۱۰۰ درصد بوده و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم شدن صحت مدل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

است. همان‌طور که از جدول (۱) پیداست بخش اعظم ایستگاه‌های منتخب همدید برای صحت سنجی در ایران از صحت بسیار بالایی با داده‌های مدل‌سازی شده دما تحت سناریو A1B برخوردار هستند.

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های صحت سنجی بین داده‌های EH5OM و ایستگاه‌های همدید منتخب

Table 1- Values of validation indicators between EH5OM data and selected synoptic stations

ایستگاه	R^2	MAE	RMSE	ایستگاه	R^2	MAE	RMSE
آبادان	۰/۹۹۳	۱/۵۳	۱/۷۵	مشهد	۰/۹۸۳	۱/٦۷	۱/۹٤
اهواز	۰/۹۹۰	۱/۸۲	۲/۰۹	ارومیه	۰/۹۸۳	۲/۰٤	۲/۳۸
انزلی	۰/۹٤۸	۲/٦۰	۲/۹۵	رامسر	۰/۹۹۵	۰/۵٦	۰/۸۵
اراک	۰/۹۷۹	۱/٦۲	۱/۸۸	رشت	۰/۹۷۳	۲/٦۸	۳/۰٦
بابلسر	۰/۹۸۲	۱/٦٦	۱/۸٦	سبزوار	۰/۹۷۷	۲/۷۲	۳/۲۱
بم	۰/۹۷۵	۳/۳۷	۳/۸٤	سقز	۰/۹۷۷	۲/۲۷	۲/۵۰
بندرعباس	۰/۹٦۹	۲/۰۳	۲/۱۸	سنندج	۰/۸۹۱	۳/٦۳	٤/۱۷
بیرجند	۰/۹۷۹	۲/٤۵	۲/۹٦	شهرکرد	۰/۹۷٦	۱/٤٦	۱/۸۱
بوشهر	۰/۹۲۸	۱/۹۱	۲/۱۹	شاهرود	۰/۹۸۱	۱/۷۸	۱/۹٦
اصفهان	۰/۹۸٦	۳/۰٤	۳/۲۷	شیراز	۰/۹۸۲	۱/۷۱	۱/۸۹
قزوین	۰/۹۷۷	۲/۳۸	۲/٦۷	تبریز	۰/۹۸۰	۱/۷۵	۱/۹٤
گرگان	۰/۹٦۸	۲/٦٤	۲/۹٤	تهران	۰/۹٦۲	۱/۷۷	۲/۱۲
همدان نوژه	۰/۹۷۷	۱/۷۵	۲/۲۲	تربت‌حیدریه	۰/۹۵۷	۳/۵۵	٤/۱٤
کرمانشاه	۰/۹۸۰	۲/٤۵	۲/۸۱	یزد	۰/۹۸٦	۵/٤۲	۵/۵۲
خرم‌آباد	۰/۹۷۲	۲/٦۸	۳/۰۱	زاهدان	۰/۹۸٦	۱/۷۳	۱/۹۹
خوی	۰/۹۸۰	۲/۵۱	۲/۷۲	زنجان	۰/۸٤٦	۲/۵۹	٤/۰٤

برخی از مشخصات آماری دمای ایران برای دوره مشاهداتی ۲۰۱٤-۱۹۸۰ و دوره مدل‌سازی شده مبتنی بر برونداد EH5OM با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 ۲۰۵۰-۲۰۱۵ در جداول (۲ و ۳) طی فصول مختلف سال نشان شدند. طبق جدول (۲) در دوره مشاهداتی بیشینه میانگین دمای ایران با ۳۷/۰۷ درجه سلسیوس در فصل تابستان رخ‌داده است. کمینه مقدار میانگین دمای کشور با ۳/٦۰- درجه سلسیوس در فصل زمستان اتفاق افتاده است. مقادیر مدل‌سازی شده دما برای دو پارامتر کمینه و بیشینه دمایی نشان داده که برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰، کمینه دمایی کشور در فصل زمستان به ۳/۲۷- درجه سلسیوس و بیشینه دمایی آن فصل تابستان به ۳۸/۱٦ درجه سلسیوس خواهد رسید. همان‌طور که پیداست کمینه دمایی کشور در فصل زمستان ۰/۳۳ درجه سلسیوس افزایش داشت است. همچنین بیشینه دمایی نیز ۱/۰۹ درجه سلسیوس افزایش داشته است. مقادیر میانگین دمایی کشور برای فصول مختلف سال نشان داده‌اند که در فصل بهار یک افزایش دمایی ۲/۳٤ درجه سلسیوس وجود دارد. از سوی دیگر در فصل تابستان دما در کشور ۰/۵۲ درجه سلسیوس افزایش داشته است. مقادیر دو فصل پاییز و زمستان در مقدار میانگین کاهشی بوده‌اند. مقادیر کشیدگی برای تمامی فصول مورد مطالعه در دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بالاتر از مقدار نرمال هستند. این امر نشان‌دهنده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

افراشته بودن داده‌های دما نسبت به منحنی نرمال می‌باشند که بر این اساس فراوانی مقادیر دمایی بالاتر از مرکز توزیع؛ بیش‌تر از سایر یاخته‌ها مشاهده می‌شوند. مقدار کشیدگی دمای مدل‌سازی شده در کشور به خوبی نشان داده است که مقادیر بالاتر از مرکز توزیع دمایی ایران در آینده بیش‌تر خواهند شد، به‌طوری که در تمامی فصول مقادیر کشیدگی در دوره مدل‌سازی شده نسبت به دوره مشاهداتی مقداری افزایش نشان داده‌اند. اختلاف مقدار کشیدگی دوره‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده در فصل زمستان ۰/۱۲، فصل بهار ۰/۰٤، فصل تابستان ۰/٤۷ و فصل پاییز ۰/٦۷ بوده است (جداول ۲ و ۳).

جدول ۲- مشخصات آماری دمای فصلی ایران در دوره مشاهداتی (۱۹۵۰-۲۰۱٤)

Table 2- Statistical characteristics of seasonal temperature of iran in the observation period (1950-2014)

متغیر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین	۲۱/۷۲	۲۷/۱۲	۱۳/۱۳	۷/۸۱
میانه	۲۰/٤۵	۲٦/٤۷	۱۲/۲۷	۷/۲۲
مد	۱۵/٦۳	۲٤/۱۰	۸/۹۰	-۱/٦۷
انحراف معیار	۵/۵۹	٤/٦۵	۵/٦۵	٦/۱٦
واریانس	۳۱/۲۳	۲۱/٦٦	۳۱/۹٤	۳۷/۹۷
چولگی	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/٦۷	۰/۵۱
ضریب تیزی	-۱/۰۱	-۰/٦۲	-۰/٤٤	-۰/۵۰
دامنه	۲۳/۰۳	۲۲/۰۳	۲۲/۸۷	۲۵/۱۰
کمینه	۹/۲۷	۱۵/۰۳	۳/۸۷	-۳/٦۰
بیشینه	۳۲/۳۰	۳۷/۰۷	۲٦/۷۳	۲۱/۵۰
چارک اول	۱۷/۵٦	۲۳/۷۳	۸/۸۷	۲/۹٤
چارک دوم	۲۷/٤۵	۳۰/٦۳	۱٦/۰۵	۱۲/۲٦

چولگی دما در همه فصول به غیر از فصل پاییز در دوره مدل‌سازی شده، منفی بوده است. چرا که با توجه به خشک و نیمه‌خشک بودن اکثر مناطق کشور همان‌طور که انتظار می‌رفت، وقایع بیشینه سهم بیش‌تری از توزیع آماری رویدادهای دمایی را به‌خود اختصاص می‌دهند. در تمامی فصول سال، اختلاف میانه، میانگین و انحراف از میانگین بیانگر آن است که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌نمایند. بیشینه واریانس یا به عبارتی بیشینه تغییر دما در دوره مشاهداتی (جدول ۲) و مدل‌سازی (جدول ۳) شده به‌ترتیب در فصل زمستان با مقادیر ۳۷/۹۷ و ۲۷/۰۱ اتفاق افتاده است که یک اختلاف ۱۰ واحدی دوره مدل‌سازی شده نسبت به دوره مشاهداتی را نشان می‌دهد چرا که با کم‌تر شدن فاصله دمایی کمینه و بیشینه اختلاف مکانی دما نیز به تبعیت آن کاهش می‌یابد. بر این اساس می‌توان اذعان داشت که در فصل زمستان بیش‌ترین تغییرات در الگوهای دمای کشور رخ می‌دهد. اختلاف دامنه دمایی کشور برای دوره‌های ۱۹۸۰-۲۰۱٤ و ۲۰۵۰-۲۰۱۵ نشان داد که در فصل گرم سال دامنه دمایی افزایش یافته و در فصل سرد دامنه دمایی کاهش یافته است. اگر چارک سوم دما را مرز کانون‌های گرم ایران تلقی شود در شرایط بیشینه در فصل زمستان سه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

چهارم از مساحت کشور دمایی کم‌تر از ۱۲/۲۶ درجه سلسیوس (جدول ۲) و در دوره مدل‌سازی شده ۱۰/۲۳ درجه سلسیوس (جدول ۳) دارد همین سنجه برای فصل بهار ۲۷/٤٥ درجه سلسیوس، برای فصل تابستان ۳۰/٦۳ درجه سلسیوس و نهایتاً برای فصل پاییز ۱٦/۰٥ درجه سلسیوس خواهد بود. همچنین اگر چارک اول را مرز کانون‌های سرد ایران تلقی شود در فصول تابستان و زمستان در کم‌ترین مقدار ممکن یک چهارم کشور دمایی کم‌تر از ۲۳/۷۳ و ۲/۹٤ درجه سلسیوس خواهند داشت. مقدار چارک اول مدل‌سازی شده دمایی ایران برای فصل زمستان یک افزایش ۰/۵۳ درجه سلسیوسی و برای فصل تابستان یک افزایش ۰/۷۳ درجه سلسیوسی را نشان داده است. همچنین چارک اول یا مرز کانون‌های سرد ایران در فصل بهار افزایش ۳/۰۳ درجه سلسیوسی و در فصل پاییز کاهش ۲/۱٦ درجه سلسیوسی را نشان داده است.

جدول ۳- مشخصات آماری دمای فصلی ایران در دوره مدل‌سازی شده (۲۰۵۰-۲۰۱۵)

Table 3- Statistical characteristics of seasonal temperature of Iran in the modeled period (2050-2015)

متغیر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین	۲٤/۰٦	۲۷/٦٤	۱۰/۱۲	٦/۹۸
میانه	۲۳/٦۰	۲٦/۸۰	۸/٦۲	٥/۸۸
مد	۱٤/۹۹	۲۰/۹۷	۲/۲٤	-۳/۲۷
انحراف معیار	٤/٥۸	۳/۸۳	٤/۸۹	٥/۲۰
واریانس	۲۰/۹۸	۱٤/٦۹	۲۳/۹۰	۲۷/۰۱
چولگی	۰/۲۳	۰/۷۰	۱/۲۰	۰/٦۳
ضریب تیزی	-۰/۸٤	-۰/٤٤	۰/۹۷	-۰/۰۹
دامنه	۱۹/۳۳	۱۷/۱۹	۲٥/۹۳	۲٦/۲٥
کمینه	۱٤/۹۹	۲۰/۹۷	۲/۲٤	-۳/۲۷
بیشینه	۳٤/۳۲	۳۸/۱٦	۲۸/۱۸	۲۲/۹۸
چارک اول	۲۰/٥۹	۲٤/٦٦	٦/۷۱	۳/٤۷
چارک دوم	۲۷/٦۰	۲۹/۹٥	۱۲/۱۹	۱۰/۲۳

نتایج حاصل از آماره خود همبستگی فضایی با استفاده از آماره Geary's C برای دماهای مشاهداتی و مدل‌سازی شده ایران در جدول (٤) ارائه‌شده است. H_0 را برای دمای مدل‌سازی و مشاهداتی ایران به این شکل می‌توان مورد ارزیابی قرارداد که واحدهای فضایی مربوطه با یکدیگر تفاوتی ندارند. با توجه به پایین بودن مقدار $p-value$ و مثبت بودن مقدار شاخص Geary's می‌توان H_0 مبنی بر عدم تفاوت واحدهای فضایی مربوطه با یکدیگر را رد نمود؛ اما این مقدار در فصول مختلف سال داری افت‌وخیز می‌باشد؛ همان‌طور که گفته شد از آنجایی که این شاخص اختلاف هر ناحیه را نسبت به دیگری برآورد می‌کند، مشخص گردید که در ماه‌های سرد سال دماهای ایران تمایل بیش‌تری به

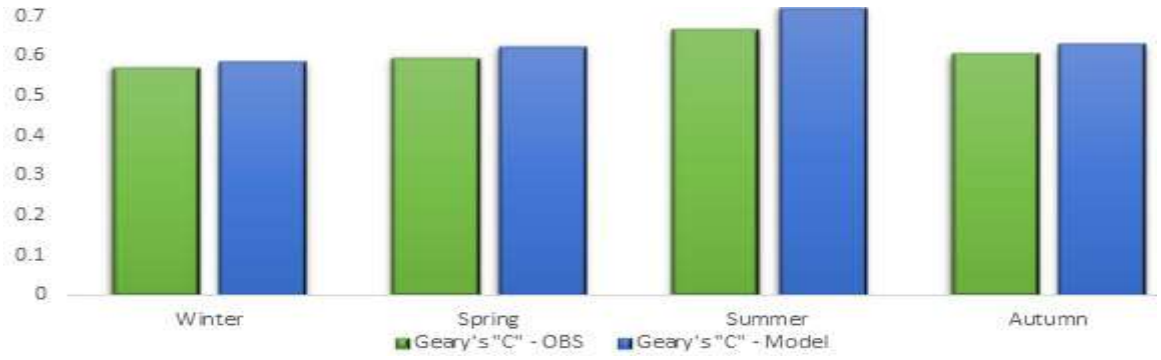
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

خوشه شدن پیدا می‌کنند چرا که اختلاف مکانی دمای ایران افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج جدول (٤) و شکل (۲) مقدار شاخص Geary's C در دوره مدل‌سازی شده برای آینده ایران نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۱۵-۱۹۸۰ افزایش یافته است که مبین خوشه‌ای شدن دما می‌باشد و به عبارت دیگر دمای ایران کانونی می‌گردد.

جدول ٤- خروجی فصلی آماره Geary's C برای دمای مشاهداتی و مدل‌سازی شده ایران

Table 4- Seasonal output of Geary's C statistics for observed and modeled Iran temperatures

دمای مشاهداتی				
فصل	Geary's "C"	Spatially random (expected) "C"	Standard error of "C"	p-value
زمستان	۰/۵۷۰۳۲٤	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲۳۲٤	۰/۰۰۰۱
بهار	۰/۵۹۵٤٦۲	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲۳۲٤	۰/۰۰۰۱
تابستان	۰/٦٦٦٤۱٦	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲۳۲٤	۰/۰۰۰۱
پاییز	۰/٦۰٥٤۲۰	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲۳۲٤	۰/۰۰۰۱
دمای مدل‌سازی شده				
فصل	Geary's "C"	Spatially random (expected) "C"	Standard error of "C"	p-value
زمستان	۰/۵۸۵۲٤٥	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲۳۲٤	۰/۰۰۰۱
بهار	۰/٦۲۳۱۹۰	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲۳۲٤	۰/۰۰۰۱
تابستان	۰/۷۲۰٤۳٥	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲۳۲٤	۰/۰۰۰۱
پاییز	۰/٦۲۹۱٦٦	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲۳۲٤	۰/۰۰۰۱



شکل ۲: مقایسه مقدار خود همبستگی با استفاده از آماره Geary's C برای دمای مشاهداتی و مدل‌سازی شده ایران

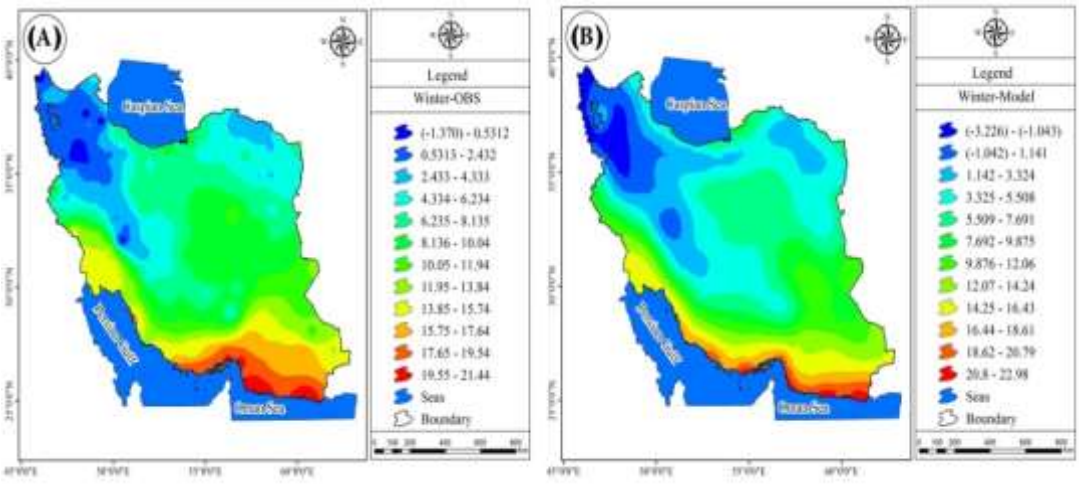
Figure 2: Comparison of the amount of autocorrelation using Geary's C statistic for observed and modeled Iran temperature

نقشه‌های پهنه‌بندی شده دمای فصلی برای دوره مشاهداتی ۲۰۱٤-۱۹۸۰ و مدل‌سازی شده ۲۰۵۰-۲۰۱۵ فصل زمستان در شکل (۳) نشان داده شدند. همان‌طور که پیداست ارتفاعات زاگرس کم‌ترین دما را در دوره مشاهداتی با ۱/۳۷۰- به خود اختصاص داده است شکل (A-۳) همین مقدار برای دوره شبیه‌سازی شده کاهش دو درجه را نشان داده و به ۳/۲۲٦- درجه سلسیوس رسیده است شکل (B-۳). این مقدار کاهشی می‌تواند دو دلیل عمده داشته باشد؛ ۱- با توجه به این‌که در دوره مشاهداتی از ایستگاه‌های همدیدی استفاده شده و پایگاه داده و پراکنش فضایی ایستگاه‌ها متفاوت

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

می‌باشد مقدار به‌دست آمده و کاهش آن می‌تواند توجیه‌پذیر باشد اما عامل دوم که می‌تواند بیش‌تر محتمل باشد این است که در دهه‌های آینده سرمای فرین با تغییرات اقلیمی نمود آشکارتری می‌یابند و این مقدار برای نوار غربی و ارتفاعات شمال‌غرب کشور بیش‌تر خواهد بود که با نتایج Roshan & Grab (2012) که از طریق مدل HadcM3 نیاز سرمایشی و گرمایشی ایران را ارزیابی کردند همخوانی دارد.

در فصل زمستان کمینه دما در منطقه آذربایجان و بلندی‌های زاگرس در دوره مدل‌سازی و مشاهداتی دمایی کم‌تر از ۱ درجه سلسیوس خواهند داشت. شیو شدید دگرگونی دما در نیمه جنوبی و جنوب‌غربی کشور باعث شده است که در این فصل از سال این منطقه گرم‌ترین منطقه ایران باشد. این بخش از کشور که بیشینه دمایی را به‌خود اختصاص داده است افزایش ۱/٥٤ درجه سلسیوسی دارد. گرم‌ترین دمای کشور و این فصل را سواحل چابهار و هرمزگان در جنوب‌شرق ایران برای دوره مشاهداتی ۲۱/٤٤ درجه سلسیوس و برای دوره مدل‌سازی شده ۲۲/۹۸ درجه سلسیوس خواهند داشت. علت افزایش بسیار دما در این منطقه از ایران را می‌توان با عرض جغرافیایی پایین، تابش مستقیم خورشید و دوری از مسیر توده‌های هوایی نسبت داد.



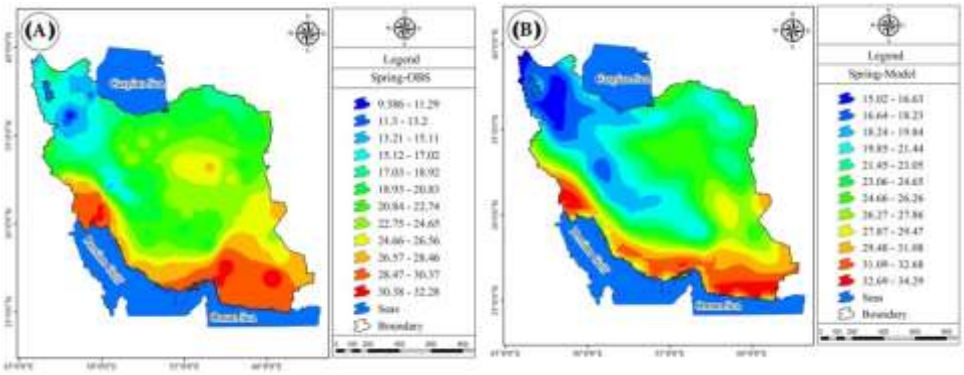
شکل ۳: A) دمای مشاهداتی (۲۰۱٤–۱۹۸۰) فصل زمستان؛ B) دمای مدل‌سازی شده (۲۰۵۰–۲۰۱۵) فصل زمستان

Figure 3: A) Observed temperature (1980–2014) winter; B) Modeled temperature (2050–2015) winter

در فصل بهار تنوع دمایی در نیمه جنوبی کشور افزایش می‌یابد. بیشینه دمایی در جنوب‌شرق و جنوب‌غرب با ۳۲ درجه سلسیوس در دوره مشاهداتی به‌دست آمده است شکل (A–٤) درصورتی‌که دورنمای دمایی کشور برای ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ نشان داده است که بیشینه دمایی کشور در فصل بهار افزایش ۲/۰۱ درجه سلسیوسی خواهد داشت (B-٤)؛ این افزایش دمایی می‌تواند خطرات جدی را برای منابع آبی و مدیریت آبخیز به همراه داشت داشته باشد چرا که افزایش دما در فصل بهار و ذوب شدن زود هنگام برف می‌تواند سیلاب‌های ویرانگری را به همراه داشته باشد و این افزایش دمایی نمی‌تواند دورنمای مناسبی را برای ایران به همراه داشته باشد. بلندهای آذربایجان، زاگرس و خراسان شمالی در دوره مشاهداتی شکل (A–٤) دمایی بین ۹ تا ۱۵ درجه سلسیوسی دارند اما همین مقدار در دوره مدل‌سازی شده افزایش قابل توجهی را خواهد داشت و این مقدار به ۱۵ تا ۲۱ درجه سلسیوس خواهد رسید (B–٤). همان‌طور

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

که گفته شده این مقدار در ارتفاعات و بلندهای کشور که کانون برف‌گیر ایران هستند اتفاق می‌افتد که به هیچ عنوان نمی‌تواند دورنمای مناسبی را به همراه داشته باشد. پس از آن مناطق پایکوهی و داخلی ایران با میانگین دمای ۱۷ تا ۲٤ درجه سلسیوس مناطق معتدل ایران در دوره مشاهداتی هستند. همین مناطق در دوره مدل‌سازی شده دمای ۲۱ تا ۲۷ درجه سلسیوسی را به‌خود اختصاص داده‌اند. گرم‌ترین مناطق کشور در هر دو دوره مشاهداتی و مدل‌سازی شده در ایران را ناحیه ساحلی جنوب با دو کانون بیشینه جنوب‌شرق و غرب با میانگین دمای ۳۲/۲۸ درجه سلسیوس در دوره مشاهداتی و ۳٤/۲۹ درجه سلسیوس در دوره مدل‌سازی شده به‌خود اختصاص داده‌اند که در پژوهش Ghavidel et al (2017) به این مورد اشاره است.



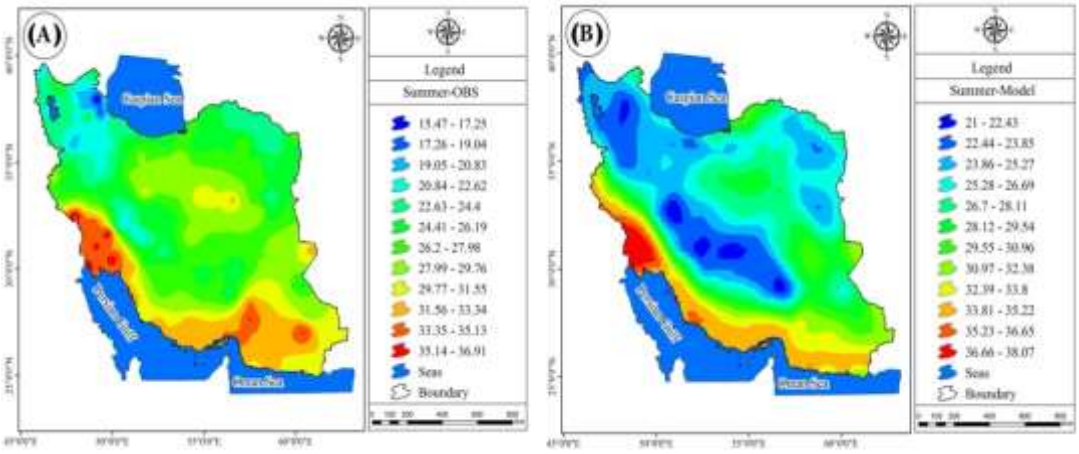
شکل ۳: A) دمای مشاهداتی (۲۰۱٤-۱۹۸۰) فصل بهار؛ B) دمای مدل‌سازی شده (۲۰۵۰-۲۰۱۵) فصل بهار

Figure 4: A) Observed temperature (1980–2014) Spring; B. Modeled temperature (2050–2015) Spring

دمای مدل‌سازی شده فصل تابستان شکل (A-۵) برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ تا حد بسیار زیادی همان الگوی دمایی دوره مشاهداتی ۲۰۱۵-۲۰۵) را نشان داده است شکل (B-۵) به طوری که کانون‌های گرم در جنوب‌غرب و کانون‌های سرد در شمال‌غرب و ارتفاعات زاگرس قرار خواهند کرد. مناطق کوهستانی و پایکوهی در دوره مشاهداتی با میانگین دمای ۱۵ تا ۲۲ درجه سلسیوس کانون‌های سرد کشور را به خود اختصاص داده‌اند شکل (A-۵) اما همین آستانه برای دوره مدل‌سازی شده افزایش قابل توجهی داشته است و به ۲۱ تا ۲٦ درجه سلسیوس رسیده است شکل (B-۵). این مقدار با افزایشی قابل توجه در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ایی کشور قرارگرفته است و با توجه این‌که بخش اعظم سدهای تأمینی آب شرب و کشاورزی ایران در همین منطقه واقع شده است در شرایط خشکسالی نمی‌تواند شرایط به هنجاری را برای کشور به ارمغان آورد. در فصل تابستان برای هر دو دوره مطالعاتی بیش‌ترین وسعت ایران را مناطق با آب‌وهوای معتدل تا نیمه گرم تشکیل می‌دهد. این مناطق بخش اعظم ایران مرکزی، سواحل شمالی، سواحل جنوبی و ایستگاه چابهار در جنوب‌شرق ایران را به‌خود اختصاص داده‌اند. مناطق جنوب‌شرق و جنوب ایران با میانگین دمای ۲۹ تا ۳۳ درجه سلسیوس مناطق نیمه گرم ایران در دوره مشاهداتی به‌خود اختصاص داده‌اند شکل (A-۵) همین مناطق در دوره مدل‌سازی شده برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ دمایی بین ۳۲ تا ۳۵ درجه سلسیوسی را به‌خود اختصاص خواهند داد شکل (B-۵). پهنه بسیار گرم کشور در هر دوره مطالعاتی جنوب‌غرب ایران خواهد بود این منطقه در دور

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مشاهداتی دمایی بین ۳۳ تا ۳۶ درجه سلسیوس را نشان داده است. مدل‌سازی دمایی با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 برای دوره مطالعاتی ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ دمایی ۳۵ تا ۳۸ درجه سلسیوسی خواهد داشت که با نتایج Pal & Eltahir (2016) که دورنمای دمایی جنوب‌غرب آسیا را بررسی کرده‌اند همخوانی دارد. همزمانی چندین پدیده جغرافیایی به بروز چنین شرایط دمایی در این منطقه از کشور کمک شایان توجهی کرده‌اند؛ که می‌توان به عرض جغرافیایی پایین، ارتفاع بسیار پایین نسبت به سطح دریا و استقرار سامانه پرفشار جنب حاره اشاره کرد. مدل‌سازی دمایی با استفاده از برونداد مدل EH5OM مبتنی بر ریزمقیاسی نمایی RegCM4 تحت سناریو A1B نشان داده است که با افزایش دمای کمینه اختلاف دمای بیشینه و کمینه ایران حداقل شده است و همچنین انتظار می‌رود که در آینده نیز این اختلاف دمایی در ایران کم‌تر شود. بر این اساس جنوب‌غرب ایران به‌خصوص منطقه خوزستان، جنوب‌شرق ایران (ایستگاه نماینده: زاهدان)، سواحل خلیج‌فارس، دشت لوت و کویر در ایران شرایط مناسبی را برای ادامه فرآیندهای بیولوژیکی نداشته باشند که این مورد نیز در پژوهش Naserzadeh et al (2016) به آن اشاره شده است.



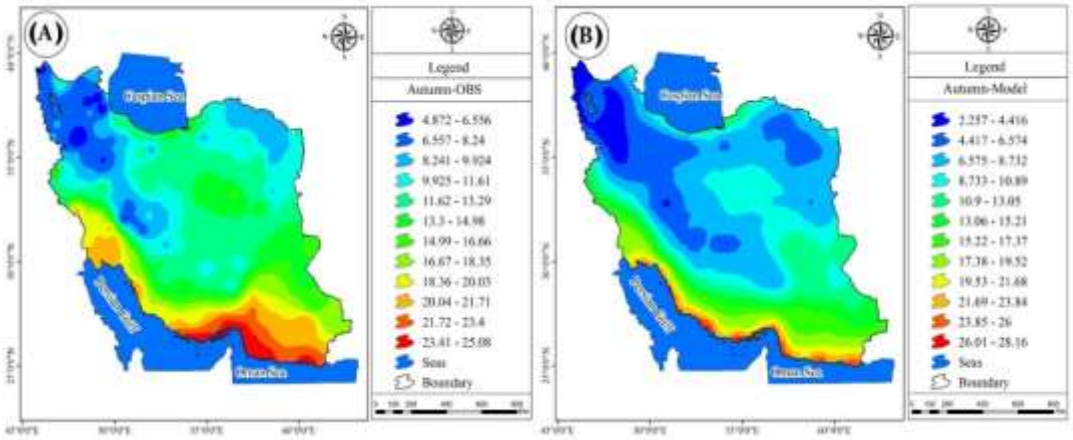
شکل ۵: A) دمای مشاهداتی (۲۰۱٤–۱۹۸۰) فصل تابستان؛ B) دمای مدل‌سازی شده (۲۰۵۰–۲۰۱۵) فصل تابستان

Figure 4: A) Observed temperature (1980–2014) Summer; B) Modeled temperature (2050–2015) Summer

شکل (٦) دمای مشاهداتی و مدل‌سازی شده ایران را برای فصل پاییز ۲۰۱٤–۱۹۸۰ الی ۲۰۵۰–۲۰۱۵ ارائه داده است. در این فصل از سال کمینه دمایی کاهشی ۲/٦۱۵ درجه سلسیوسی را نشان داده است که بیانگر افزایش فرین دمایی از مقدار نرمال خود برای مناطق با عرض جغرافیایی و ارتفاع بالا می‌باشد؛ اما بیشینه دمایی کشور در فصل پاییز برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ تحت سناریو A1B افزایش ۳/۰۸ درجه سلسیوسی داشته است (شکل ٦). این افزایش دمایی برای سواحل خلیج‌فارس مشهودتر بوده است. مناطق جنوبی کشور نسبت به مناطق مرتفع جنوبی به جهت مشخصه‌های دمایی از پراکنش کم‌تری برخوردار می‌باشند. مناطق کوهستانی زاگرس، البرز، آذربایجان و خراسان به شکل یک پهنه دمایی متفاوت بخش اعظمی از مناطق کشور را به خود اختصاص داده‌اند. میزان دمای ایران در این فصل از سال در دوره مشاهداتی در مناطق نامبرده بین ٤ تا ۱۱ درجه سلسیوس متغیر است که کمینه آن را بلندی‌های رشته‌کوه‌های زاگرس به میزان ٤/۸۷ درجه سلسیوس دارا می‌باشند (شکل A–٦). همین مناطق برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ بین ۲ تا

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

۱۰ درجه سلسیوس متغیر خواهند بود. مجدداً ارتفاعات زاگرس با ۲/۲۵۷ درجه سلسیوس کمینه دمایی ایران را در دوره مدل‌سازی شده به خود اختصاص داده‌اند. مناطق پایکوهی و دشت‌های کشور دمایی بین ۱۱ تا ۱۸ درجه سلسیوس را در دوره مشاهداتی به‌خود اختصاص داده‌اند شکل (A-٦) که جزو مناطق نیمه سرد در کشور خواهند بود. همچنین جلگه‌ها و سواحل شمالی از لحاظ دمایی با این پهنه در یک راستا قرار گرفتند. در دوره مدل‌سازی شده دما کمی افزایش‌یافته و بین ۱۰ تا ۱۹ درجه سلسیوس در منطقه در نوسان خواهد بود (شکل B-٦). در فصل پاییز بیش از دو سوم وسعت کشور از لحاظ دمایی دارای اقلیم سرد می‌باشد (نیمه سرد، سرد، بسیار سرد) که با تغییرات پیش‌رو می‌توان انتظار داشت مناطق مرتفع و با عرض‌های جغرافیایی بالا بر تنش سرمایی آن‌ها افزوده‌شده و مناطق جنوبی کشور گرم‌تر شوند. با شدت گرفتن پدیده گرمایش جهانی و تأثیر آن بر مناطقی با عرض‌های بالای جغرافیایی مانند مناطق قطبی و مجاور قطبی می‌تواند تبعات بسیاری را برای اقلیم ایران به همراه داشته باشد به‌طوری که در فصل پاییز نقش سامانه‌های کلان‌مقیاس جوی در دمای ایران تعیین‌کننده است. به طوری که Masoudian (2011) اذعان داشته است اندرکنش پرفشار سیبری با کم‌فشار جنب قطبی نقش مهمی در سرماهای شدید بازی می‌کند؛ لذا هر تغییری هرچند جزئی بر سامانه‌های آب‌وهوایی بزرگ مقیاس می‌تواند تأثیرات شگرفی را برای آب‌وهوای ایران داشته باشند.



شکل ٦: A) دمای مشاهداتی (۲۰۱٤-۱۹۸۰) فصل پاییز؛ B) دمای مدل‌سازی شده (۲۰۵۰-۲۰۱۵) فصل پاییز

Figure 6: A) Observed Temperature (1980–2014) Autumn; B) Modeled Temperature (2050–2015) Autumn

تمرکز مکانی مرکز ثقل دمای ایران برای هر یک از فصول مورد مطالعه محاسبه‌شده و مختصات آن در جدول (۵) و شکل (۷) ارائه شده است. شکل (۷) نشان می‌دهد که تمرکز مکانی مرکز ثقل دمای ایران در دوره گرم سال جابجایی مکانی بالایی حول محور خود در فضای جغرافیایی مورد احاطه (ایران) داشته است. گرانی گاه دمایی ایران در فصل زمستان برای دوره مشاهداتی در ارتفاع ۱۵٤۳ متری از سطح دریاهای آزاد و با ۸/۳۵ درجه سلسیوس قرارگرفته است. برای دوره مدل‌سازی شده مرکز ثقل دمای کشور ۷۲۷ متر افزایش داشته و به ارتفاع ۲۲۷۰ متری رسیده است و دمای آن ۵/۳۰ درجه سلسیوس است که نشان از تأثیر گرمایش جهانی در بخش اعظمی از کشور و پهنه‌های سرد و معتدل بوده و جابجایی مکانی بسیار بالایی خواهند داشت. مرکز ثقل دمایی کشور در فصل بهار برای دوره مشاهداتی در

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ارتفاع ۹۲٦ متری و دوره مدل‌سازی شده به ارتفاع ۹٤۱ متری از سطح دریاهای آزاد تغییر مکان داده است. در فصول تابستان و پاییز نیز مرکز ثقل دمایی کشور افزایش داشته است به‌طوری که در فصل تابستان گرانی گاه دمایی ٤۰۷ متر و در فصل پاییز ۲۰۸ متر افزایش را می‌دهد. این آماره نشان داده است که مرکز ثقل دمایی ایران در ارتفاع ۱۰۰۰ متری بوده و با تشدید پدیده گرمایش جهانی تغییر آن به این شکل خواهد بود که از پهنه‌های سرد و نیمه سرد کشور کاسته شده و بر پهنه‌های گرم و نیمه گرم آن افزوده خواهد شد که دورنمای مناسبی را نمی‌تواند برای کشور به همراه داشته باشد.

جدول ۵- مشخصات مرکز ثقل دوره مشاهداتی و مدل‌سازی شده دمای ایران

Table 5- Characteristics of observation center of gravity and modeled Iran temperature

دمای مشاهداتی				
فصل	مرکز X	مرکز Y	ارتفاع	دما
زمستان	٥١٩٦١٠٦/٠١٤٨٤	٣٠٧٣٨١٨٨/٤٧٦١	١٥٤٣	٨/٣٥
بهار	٥١٠٦١٠٦/٠١٤٨٤	٣٠٨٧٣١٨٨/٤٧٦١	٩٢٦	٢٣/٤٦
تابستان	٥٠٧٦١٠٦/٠١٤٨٤	٣٠٩٠٣١٨٨/٤٧٦١	١٧٢٧	٢٨/٤٠
پاییز	٥١٢١١٠٦/٠١٤٨٤	٣٠٨٢٨١٨٨/٤٧٦١	١١٩١	١٢/٦٤
دمای مدل‌سازی شده				
فصل	مرکز X	مرکز Y	ارتفاع	دما
زمستان	٥٢١١١٠٦/٠١٤٨٤	٣٠٦٧٨١٨٨/٤٧٦١	٢٢٧٠	٥/٣٠
بهار	٥١٠٦١٠٦/٠١٤٨٤	٣٠٨٨٨١٨٨/٤٧٦١	٩٤١	٢١/٥٢
تابستان	٥٠٦١١٠٦/٠١٤٨٤	٣٠٩٠٣١٨٨/٤٧٦١	٢١٣٤	٢٤/٠١
پاییز	٥١٢١١٠٦/٠١٤٨٤	٣٠٧٦٨١٨٨/٤٧٦١	١٣٩٦	٦/٨٩

در گام بعدی برای مشخص کردن تمرکز مکانی دمای کشور در دو دوره و چهار فصل مورد بررسی سال، توزیع جهت‌دار دمایی کشور محاسبه و در جدول (٦) و شکل (۷) ارائه گردید. جابجایی توزیع جهت‌دار از مرکز میانگین در دوره‌های متفاوت زمانی بر روی دما نشان از انحراف فضایی دمای ایران از حالت نرمال داشته و حاکی از تغییرات و جابجایی در مرکز میانگین و توزیع جهتی دارد. بر این اساس میزان دمای دریافتی بر روی پهنه ایران دچار تغییرات فضایی است. توزیع جهت‌دار استخراج شده یا گرانی گاه چرخشی آینده دمای فصلی ایران گواه این امر است که حدود ٦۸ درصد عوارض یاخته‌ای نسبت به مرکز میانگین با انحراف استاندارد واقع شده‌اند. جهت حرکت بیضوی انحراف معیار و شکل توزیع نیز حاکی از روند و جهتی است که با توجه به شکل عارضه و مقدار خصیصه آن جهتی از شمال‌غرب به جنوب‌شرق را به خود گرفته‌اند. این روند و جهت شکل‌گیری بیضوی انحراف استاندارد دمای هر فصل می‌تواند نشان‌دهنده محور کوه‌های زاگرس و بخصوص تبعیت دمای مشاهداتی و مدل‌سازی شده ایران از شرایط توپوگرافی و ورود سامانه‌های تأثیرگذار بر آب‌وهوای ایران‌زمین باشد. همان‌طور که از شکل (۷) نیز پیداست مرکز ثقل آینده دمایی ایران تغییرات درون سالی زیادی داشته و این جابجایی به خوبی تأیید می‌کند که مرکز ثقل آینده دمایی

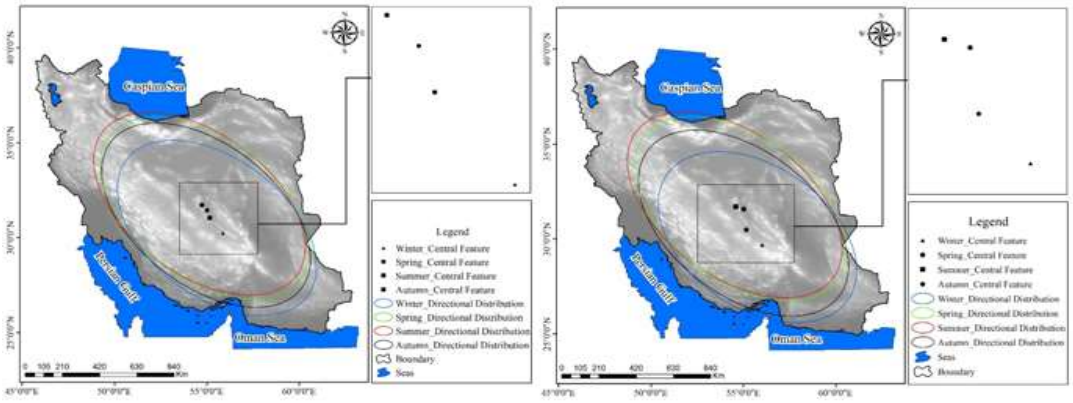
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ایران دارای تغییرات ارتفاعی شدیدی است. به‌طور کلی توزیع جهت‌دار برای آینده دمایی ایران نشان داده است که حداقل ٦٨/٢٦ درصد از مرکز ثقل دمایی کشور در این محدوده مکانی (بیضوی‌های ترسیم‌شده در شکل (۷) رخ می‌دهد.

جدول ٦- مشخصات بیضوی انحراف استاندارد دوره مشاهداتی و مدل‌سازی شده دمای ایران

Table 6- Elliptical characteristics of standard deviation of observed and modeled temperature of Iran

دمای مشاهداتی					
فصل	مرکز X	مرکز Y	انحراف معیار X	انحراف معیار Y	چرخش
زمستان	٥١٦١٠٥٢/٥٠٤٨١	٣٠٧٦٨٥٨٠/٠٣٥٣	٦٤٩٠٧١/٠٥٦٢٥١	٣٩٩٥٥٩/٩٦٣٢٠	١٢٩/٤٦٨٩٣٣
بهار	٥٠٩١٦١٤/٨١٣٤١	٣٠٨٨٦٤١٢/١٧٠٧	٦٨٣٩٩٤/٣٤٨٥٥	٤٠٨٩٠٩/١٣٥٤٢	١٢٩/١٧٦٤٢١
تابستان	٥٠٦٢٦٠٠/٧٦٧٨	٣٠٩١٠٧٣٥/٥٨٦٩	٦٩١١٩٤/٩٨٥٤٢٨	٤٠٧٧٥٤/٥١٤٩٥	١٢٨/٦٢٢٤٨٦
پاییز	٥١٠٠١٢٨/١٨٦٢٣	٣٠٨٤٤٤٠٢/٢٠٩١	٦٨٩٠٨٢/١١٨٨٦٥	٤٠٧٣٠٠/١٨١٢٢	١٣٠/٠١٨١٥٦
دمای مدل‌سازی شده					
فصل	مرکز X	مرکز Y	انحراف معیار X	انحراف معیار Y	چرخش
زمستان	٥١٨٣٥٨٩/١٨٤١٧	٣٠٧٢٢٨٤٦/٨٧٦٤	٦٢٩٧٤٩/٩٩٢٠٩١	٤١١٨١٢/٤٣٥٠٢	١٢٧/٢٠٤٧٨٥
بهار	٥٠٨٦١٦٦/١١٩٦٢	٣٠٨٩٠٤٤٤/٣٢٢٨	٦٩١٣٤٨/٩٨١٢٩١	٤١٥٥٣٧/٧٣٢٣٦	١٢٩/٠١٥٢٢٤
تابستان	٥٠٥٥٥٣٦/٨٩٥٤٧	٣٠٩١٣٢٩٥/٤١٣١	٧٠٢٣٣٤/٧٢٥٧١	٤١٥٠٤٦/٩٢٦٧٣	١٢٨/٧٥٣٢٤٢
پاییز	٥١٠٥١١٦/٦٥١٥٧	٣٠٨٠٥٨٥١/٧٢٤٢	٦٨٩١١٥/٨٤٨٩٥٩	٤١٧٩٠٥/٤٩٨٨٩	١٢٩/٨٣٦٥٩٥



شکل ۷: گرانی گاه و توزیع مکانی دمای مشاهداتی با استفاده از آماره توزیع جهت‌دار در ایران

Figure 7: Gravity and spatial distribution of observed temperature using directional distribution statistics in Iran

نتیجه‌گیری

تحلیل دما در فصول مختلف سال نشان داد که بیشینه دمای مشاهداتی کشور با ۳۷/۰۷ درجه سلسیوس در فصل تابستان و کمینه دمایی کشور با ۳/٦۰- درجه سلسیوس در فصل زمستان اتفاق می‌افتند. مدل‌سازی دمایی کشور بیانگر این بود که میانگین دمایی کشور در فصل تابستان ۱/۰۹ درجه سلسیوس افزوده خواهد شد و در فصل زمستان میانگین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

دمایی کشور ۰/۳۳ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. باید توجه داشت این مقدار برای میانگین دمایی کشور در فصل زمستان می‌باشد که بیش‌تر نقش فرین‌های سرد را آشکار ساخته است ولی در مقدار بیشینه در سواحل دریای عمان و خلیج‌فارس بر مقدار دما افزوده می‌شود. کشیدگی دمای فصلی ایران در دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بالاتر از مقدار نرمال است که مبین بالا بودن داده‌های دمای ایران است که در آینده به این مقدار در فصل زمستان ۰/۱۲ درجه سلسیوس، فصل بهار ۰/۰٤ درجه سلسیوس، فصل تابستان ۰/٤۷ درجه سلسیوس و فصل پاییز ۰/٦۷ درجه سلسیوس افزوده می‌شود. خود همبستگی دمایی ایران با استفاده از آماره Geary's C برای دو دوره مشاهداتی و مدل‌سازی شده منتهی به رد فرض H_0 عدم تفاوت واحدهای فضایی دمای کشور گردید که نشان‌دهنده خوشه‌ای شدن دمای ایران و به عبارت دیگر کانونی شدن دمای کشور می‌باشد. تحلیل منطقه‌ای دما دو دوره مشاهداتی و مدل‌سازی شده برای ایران نشان داده است. در دهه‌های آینده سرمای فرین با تغییرات اقلیمی نمود آشکارتری می‌یابند و این مقدار برای نوار غربی و ارتفاعات شمال‌غرب کشور بیش‌تر خواهد بود که با نتایج Roshan & Grab (2012) نیز همخوانی دارد. همچنین شیو دمایی در نیمه جنوبی و جنوب‌غربی کشور با تشدید پدیده گرمایش جهانی افزایش می‌یابد. در فصل بهار بیشینه دمایی کشور افزایش ۲/۰۱ درجه سلسیوسی و کمینه دمایی در بلندی‌های آذربایجان، زاگرس و خراسان شمالی افزایش ۵/٦۳ درجه سلسیوس را تجربه خواهند کرد که این افزایش دمایی می‌تواند منجر به ذوب سریع برف‌ها انباشته شده از فصل زمستان و افزایش پدیده‌های مخربی همچون سیل گردد. فصل تابستان بخش اعظم کشور را مناطق معتدل تا نیمه گرم فرا خواهد گرفت به طوری که بیشینه دمایی کشور در جنوب‌غرب ۱/۱٦ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت که با نتایج Pal & Eltahir (2016) که آینده دمایی جنوب‌غرب آسیا و نتایج کار Abbasnia et al (2016) که آینده دمایی ایران را بررسی کردند همخوانی دارد. فصل پاییز نیز همانند دیگر فصول سال بیشینه دمایی کشور ۳/۰۸ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت و در مناطق مرتفع فرین دمایی از مقدار نرمال رخ خواهد کرد. مرکز ثقل دمایی ایران تحت تأثیر گرمایش جهانی دچار تغییرات قابل توجهی شده است به طوری که در تمامی فصول مورد مطالعه این مقدار افزایش نشان از شدت گرفتن پدیده انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش دمای کشور است به طوری که از وسعت مناطق سرد و نیمه سرد کشور کاسته می‌شود و مرکز ثقل دمایی کشور در فصل زمستان ۷۲۷، فصل بهار ۱۵، فصل تابستان ٤۰۷ و فصل پاییز ۲۰۸ متر افزایش داشته است. میزان جابجایی توزیع جهت‌دار از مرکز میانگین در دوره‌های متفاوت زمانی در ایران نشان داده است که دمای فصلی ایران دارای انحراف فضایی از حالت نرمال بوده و حاکی از تغییرات و جابجایی در مرکز میانگین و توزیع جهتی دمای فصلی است. جهت حرکت بیضوی انحراف معیار جهتی از شمال غرب به جنوب‌شرق نشان از تأثیر شرایط توپوگرافی و ورود سامانه‌های تأثیرگذار بر آب‌وهوای ایران می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Abbasnia, M., Tavassi, T., Khosravi, M., Toros, H., (2016), "Range analysis of uncertainty of future changes in daily maximum temperature on Iran using geographic information system", ***Sepehr***, 97: 29- 43. [In Persian].
- Almazroui, M., Islam, M. N., Alkhalaf, A. K., Saeed, F., Dambul, R., Rahman, M. A., (2016), "Simulation of temperature and precipitation climatology for the CORDEX-MENA/Arab domain using RegCM4", ***Arabian Journal of Geosciences***, 9 (1): 1-14.
- Boykoff, M. T., Boykoff, J. M., (2007), "Climate change and journalistic norms: A case-study of US mass-media coverage", ***Geoforum***, 38 (6): 1190-1204.
- Daneshmand, H., Tavousi, T., Khosravi, M., Tavakoli, S., (2015), "Modeling minimum temperature using adaptive neuro-fuzzy inference system based on spectral analysis of climate indices: A case study in Iran", ***Journal of the Saudi Socie of Agricultural Sciences***, 14: 33–40.
- Fischer, M. M., Getis, A., (2009), "***Handbook of applied spatial analysis: software tools, methods and applications***", Springer Science & Business Media, Berlin.
- Fotheringham, A. S., Charlton, M. E., Brunsdon, C., (2001), "Spatial variations in school performance: a local analysis using geographically weighted regression", ***Geographical and Environmental Modeling***, 5 (1): 43-66.
- Fuentes-Franco, R., Coppola, E., Giorgi, F., Pavia, E. G., Diro, G. T., Graef, F., (2015), "Inter-annual variability of precipitation over Southern Mexico and Central America and its relationship to sea surface temperature from a set of future projections from CMIP5 GCMs and RegCM4 CORDEX simulations", ***Climate Dynamics***, 45 (1-2): 425-440.
- Ghavidel, Y., Farajzadeh, M., Alijahan, M., (2017), "The assessment of Iran monthly and seasonal mean temperatures sensitivity to global land-oceans mean temperature index", ***Journal of Geographic Space***, 58 (17): 25-47. [In Persian].
- Guo, Y., Punnasiri, K., Tong, S., (2012), "Effects of temperature on mortality in Chiang Mai city, Thailand: A time series study", ***Environmental health***, 11(1): 36: 1-9
- Hudson, G., Wackernagel, H., (1994), "Mapping temperature using kriging with external drift: Theory and an example from Scotland", ***International journal of Climatology***, *14*(1): 77-91.
- Kiehl, J.T., Hack, J. J., Bonan, G. B., Boville, B. A., Breigleb, B. P., Williamson, D., Rasch, P., (1996), "***Description of NCAR community climate model (CCM3)***", Colorado: National Center for Atmospheric Research Tech, USA.
- Komatsu, E., Fukushima, T., Harasawa, H., (2007), "A modeling approach to forecast the effect of long-term climate change on lake water quality", ***Ecological Modeling***, *209*(2): 351-366.
- Landerer, F. W., Jungclaus, J. H., Marotzke, J., (2007), "Regional dynamic and steric sea level change in response to the IPCC-A1B scenario", ***Journal of Physical Oceanography***, 37 (2): 296-312.
- Masoudian, A., (2011), "***Weather of Iran***", Sharia Toos Pub: Mashhad. [In Persian].
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Frieler, K., Allen, M. R., (2009), "Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 C", ***Nature***, 458 (7242): 1158-1162.
- Naserzadeh, M., Doustkamian, M., Biranvand, A., (2016), "Analysis of inter-decadal patterns of temperature in Iran during the last half century", ***Journal of Geographical Space***, 53 (16): 193-208. [In Persian].
- Ngo-Duc, T., Cruz, F., Trinh-Tuan, L., Gunawan, D., (2016), "Performance evaluation of RegCM4 in simulating extreme rainfall and temperature indices over the CORDEX-Southeast Asia region", ***International Journal of Climatology***, 37 (3): 1634-1647.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Nikiema, P. M., Sylla, M. B., Ogunjobi, K., Kebe, I., Giorgi, F., (2016), "Multi-model CMIP5 and CORDEX simulations of historical summer temperature and precipitation variabilities over West Africa", ***International Journal of Climatology***, 37 (5): 2438-2450.
- Öztürk, T., Altınsoy, H., Türkeş, M., Kurnaz, M. L., (2011), "Simulation of extreme events for the Central Asia Cordex domain by using the RegCM 4.0", 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book: Orhan ŞEN, Istanbul Technical University Press, Istanbul, Turkey, PP 475-484.
- Pal, J. S., Eltahir, E. A., (2016), "Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability", ***Nature Climate Change***, 6 (2): 197-200.
- Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., GAO, X., Ashfaq, M., (2007), Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET", ***Bulletin of the American Meteorological Society***, 88 (9): 1395-1410.
- Richardson, A. D., Lee, X., Friedland, A. J., (2004), "Microclimatology of treeline spruce–fir forests in mountains of the northeastern United States", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 125 (1): 53-66.
- Roeckner, E., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kornblueh, L., Schulzweida, U., (2006), "Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution in the ECHAM5 atmosphere model", ***Journal of Climat***, 19: 3771-3791.
- Rosenberg, N.J., Brownb, R.A., Izaurralde, R. C., Thomsona, A. M., (2003), "Integrated assessment of Hadley Centre (HadCM2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 117: 73-96.
- Roshan, Gh. R., Grab, S.W., (2012), "Regional climate change scenarios and their impacts on water requirements for wheat production in Iran"**,** ***International Journal of Plant Production***, 2: 239-265.
- Rubio, A., Palomares, O. S., Gómez, V., Graña, D., Elena, R., Blanco, A., (2002), "Autoecología de los castañares de Castilla (España) ", ***Forest Systems***, *11*(2): 373-393.
- Solomon, S., (2007), "***Climate change 2007: The physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change***", Cambridge University Press: Cambridge.
- Stewart, I. D., Oke, T. R., (2012), "Local climate zones for urban temperature studies", ***Bulletin of the American Meteorological Society***, 93 (12): 1879-1900.
- Tarazaga, P., Sterba-Boatwright, B., Wijewardena, K., (2007), "Euclidean distance matrices: special subsets, systems of coordinates and multibalanced matrices", ***Computational & Applied Mathematics***, 26 (3): 415-438.
- Xue-Jie, G., Mei-Li, W., Giorgi, F., (2013), "Climate change over China in the 21st century as simulated by BCC_CSM1", ***Atmospheric and Ocean Sci Letters***, 6 (5): 381-386.
- Zhang, C., Luo, L., Xu, W., Ledwith, V., (2008), "Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland", ***Science of Total Environmental,*** 398 (1-3): 212-221.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]