



پیش‌نگری دمای کمینه و بیشینه مناطق سردسیر ایران با استفاده از مدل مقیاس‌گاهی آماری SDSM

آذر زرین^{۱*}، دینا یزدانی^۲، عباسعلی داداشی رودباری^۳

^۱دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲دانشجوی کارشناسی اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳پژوهشگر پس‌ادکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۶

چکیده

تغییر اقلیم به دنبال گرمایش جهانی در دهه‌های اخیر تأثیر زیادی در مناطق مختلف به همراه داشته است. جهت پیش‌نگری دمای کمینه و بیشینه مناطق سردسیر ایران از داده‌های ۲۸ ایستگاه همدید کشور و برونداد مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 استفاده شد. مقیاس‌گاهی با مدل آماری SDSM طی دوره تاریخی (۱۹۹۱-۲۰۰۵) و پنج دوره آینده (۲۰۲۶-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۵۵، ۲۰۵۶-۲۰۷۰، ۲۰۷۱-۲۰۸۵، ۲۰۸۶-۲۱۰۰)، تحت سه سناریوی خوشبینانه (RCP2.6)، حدواسط (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.5) انجام شد. جهت درستی سنجی برونداد دمای کمینه و بیشینه مدل مقیاس‌گاهی شده از چهار سنج‌آماري RMSE، PCC، MBE و PBIAS استفاده شد. نتایج درستی سنجی برونداد مدل SDSM نشان داد که این مدل در عرض‌های جغرافیایی بالا و مناطق سردسیر از کارایی نسبتاً مناسبی برخوردار است. با این وجود به دلیل در دسترس بودن تنها یک واسط کاربری GCM (مدل CanESM2)، در نظر نگرفتن روابط فیزیکی جو توسط مدل SDSM و همچنین تکیه صرف بر روابط آماری بین داده‌های مشاهداتی و GCM، نتایج دارای عدم قطعیت زیادی نسبت به برونداد مدل‌های دینامیکی و یا روش دینامیکی-آماري و مدل همادی می‌باشد. بی‌هنجاری دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره‌های پیش‌نگری اول تا پنجم براساس سه سناریوی واداشت تابشی مثبت است. نتایج بی‌هنجاری دمای کمینه نشان داد که کمینه بی‌هنجاری مثبت در ایستگاه یاسوج و بیشینه آن در ایستگاه پیرانشهر مشاهده می‌شود. به همین ترتیب بی‌هنجاری دمای بیشینه در ایستگاه‌های تهران (ژئوفیزیک) و تهران (شمیران) مشاهده می‌شود. بطور کلی، دمای کمینه و بیشینه تحت سناریوهای حد واسط (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.5) نسبت به سناریوی خوشبینانه (RCP2.6) افزایش بیش‌تری را به‌خصوص برای مناطق شمال‌غربی ایران نشان می‌دهند. این نتیجه از آن جهت مهم است که با افزایش دما ذوب سریع‌تر پوشش برف در مناطق سردسیر برای کشور خشک و نیمه خشکی همچون ایران به دلیل کاهش دسترسی به آب شیرین یک تهدید بالقوه محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بی‌هنجاری دما، سناریوهای RCP، مناطق سردسیر، ایران.

مقدمه

پنج‌گانه یاد شده را در پی داشته باشد. بنابراین تغییر در هر یک از متغیرهای اقلیمی می‌تواند حیات کره‌ی زمین را تهدید کند. تغییر اقلیم اکنون سریعتر از هر زمان دیگری در تاریخ تمدن بشر در حال وقوع است که حاصل فعالیت‌های انسانی است (WH, 2021:4). با صنعتی‌شدن جوامع بشری به همراه افزایش چشمگیر گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم نمود بیشتری یافته است (Javaherian et al., 2021:445).

سامانه‌ی اقلیمی یک سامانه‌ی به‌غایت پیچیده، حاصل برهمکنش فیزیکی هواکره، سنگ‌کره، آب‌کره، زیست‌کره و یخ‌کره است. به‌گونه‌ای که اگر دمای هوا به عنوان یک متغیر از هواکره تغییر یابد، می‌تواند تغییر در بسیاری از متغیرها و مولفه‌های سامانه‌های

*نویسنده مسئول: zarrin@um.ac.ir

۵۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۴۷) افزایش یافته است. مطالعات انجام شده در ایران نشان می‌دهد تاثیر گرمایش جهانی بر روی اقلیم ایران سبب افزایش میانگین تنش‌های گرمایی برای دهه‌های آینده خواهد شد (فغانی و فیتچت، ۱۳۹۹:۱۷). از آنجایی که ایران کشوری خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود، پیش‌نگری اقلیمی می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مفید واقع شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸:۶۲۵). در این میان دما یکی از مهمترین متغیرهای اقلیمی است که می‌تواند در آشکارسازی رخداد‌های فرین اقلیمی و مدیریت ریسک بسیار موثر باشد (روحبخش سیگارودی و همکاران، ۱۳۹۷:۱۶۱). لذا بررسی تغییرات دما و پیش‌نگری آن برای دهه‌های آینده دارای اهمیت است تا بتوان تصمیمات مهمی در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی و غیره اتخاذ نمود. پیامدهای تغییر اقلیم بسیار وابسته به ویژگی‌های جغرافیایی منطقه، تنوع اقلیم محلی و وضعیت اجتماعی-اقتصادی است. بنابراین، تحقیقات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم باید در سطوح منطقه‌ای بررسی گردد تا بتوان به درستی به بررسی پیامدهای آن پرداخت (Goodarzi et al., 2021:29).

مدل‌های گردش کلی جو (GCM) می‌توانند اقلیم کره‌ی زمین را از طریق حل معادلات فیزیکی حاکم بر فرآیندها، برهمکنش و بازخوردهای جوی، اقیانوسی و زیستی شبیه‌سازی کنند. آن‌ها ابزارهای پیشرفته‌ای هستند که دانسته‌های اقلیمی را در مقیاس جهانی و قاره‌ای پوشش می‌دهند و برای درک تغییر اقلیم گذشته، حال و آینده تحت سناریوهای افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌شوند (Zhang & Li, 2020:6). به منظور بررسی پیامدهای بالقوه‌ی گرمایش جهانی و پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی از مدل‌های گردش کلی جو (GCM) استفاده می‌شود (Gagnon et al., 2005:297).

از آنجایی که مدل‌های گردش کلی جو تفکیک افقی پایینی دارند و برای بررسی پیامدهای تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای و محلی نمی‌توان از این مدل‌ها استفاده نمود، لذا ضرورت دارد پیش از بکارگیری

تغییر اقلیم سبب تغییرات شدید فرین‌های اقلیمی شده و از این رو پیامدهای فاجعه باری را بر جامعه بشری و محیط طبیعی تحمیل خواهد کرد (Baghanam et al., 2020:1) و احتمال می‌رود رخداد‌های فرین اقلیمی با گرم شدن مداوم در مقیاس جهانی بیشتر رخ دهند (Doulabian et al., 2021:166). مطالعه گرمایش جهانی به دلیل پیامدهای اقتصادی-اجتماعی و خسارات مالی از اهمیت زیادی برخوردار است (Fallahi & Akbary, 2020:11). گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین دولتی تغییر اقلیم (AR5) نشان داد که میانگین دمای جهانی حدود ۰/۸۵ درجه سلسیوس طی دوره آماری ۲۰۱۲-۱۸۸۰ افزایش یافته است (Bindi et al., 2018:186). تغییر اقلیم مرتبط با افزایش دما می‌تواند پیامدهای ناگواری را از جمله کاهش عملکرد محصولات کشاورزی به همراه افزایش میزان تبخیر از خاک و تعرق از گیاهان (Cline, 2008:24)، تغییر در الگوی بارش و افزایش خطر سیل (Salzmann, 2016; Tabari, 2020)، کاهش ظرفیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی (Castaño-Sánchez et al., 2020; Jing et al., 2020)، افزایش سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها (Nerem et al., 2018:2022) و تشدید رخداد‌های فرین اقلیمی به همراه داشته باشد (Reidmiller et al., 2017:31).

تغییر اقلیم می‌تواند پیامدهای پرهزینه‌ای بر خدمات اساسی شهرها، زیرساخت‌ها، مسکن، معیشت انسان (Leal Filho et al., 2019:1176) و سلامت (Kurane, 2010:4) داشته باشد. براساس گزارش سازمان هواشناسی جهانی، میانگین دمای جهانی برای سال ۲۰۲۱، $1/08 \pm 0/13$ درجه سلسیوس بالاتر از میانگین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ بوده است (WMO, 2021).

پیامدهای تغییر اقلیم در میان کشورهای خاورمیانه به ویژه ایران بسیار شدید است (Daneshvar et al., 2019:1). براساس گزارش ارزیابی سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۶) میانگین دمای ایران با شیبی حدود ۰/۴ درجه سلسیوس طی دوره آماری

استفاده کرده‌اند از این مدل گردش کلی بهره برده‌اند. پیش‌نگری بارش و دما و درستی سنجی برون‌داد مقیاس‌گاهی شده مدل SDSM در سطح جهانی مورد استفاده بسیاری قرار گرفته است که می‌توان به مطالعات انجام شده در کشور عراق (Al-Mukhtar & Qasim, 2019)، اتیوپی (Gebeyehu Ayele, 2019) و غنا (Siabi et al., 2021) اشاره کرد. تمامی این مطالعات ضمن تایید کارایی مدل SDSM در برآورد دما و بارش بر افزایش دما و کاهش بارش در مناطق مورد مطالعه‌شان تاکید کرده‌اند. در این بین مطالعاتی نیز به مقایسه برون‌داد مدل‌های HadCM3 و CanESM2 از سری مدل‌های CMIP3 و CMIP5 مقیاس‌گاهی شده با مدل SDSM پرداختند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه (Hassan & Nile, 2021) اشاره کرد که به پیش‌نگری دمای بیشینه و کمینه در جنوب غربی عراق پرداختند و افزایش دما را در این منطقه تایید کردند. دسته دیگری از مطالعات برون‌داد مستقیم مدل SDSM را با استفاده از روش‌های آماری تصحیح کرده‌اند. از جمله این مطالعات به می‌توان به پژوهش (Fan et al., 2021) اشاره کرد. ایشان با استفاده از دو روش تصحیح اربیبی متغیرهای کمینه، بیشینه و میانگین دما را در چین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان دهنده روند افزایشی دما در بیش‌تر مناطق چین بوده است.

تغییرات دما و بارش در ایران نیز مورد توجه پژوهش‌های بسیاری قرار گرفته است که عمدتاً از رویکرد مقیاس‌گاهی آماری استفاده کرده‌اند. در یک دسته بندی کلی مطالعات انجام شده در حوزه مقیاس‌گاهی آماری متغیرهای اقلیمی در ایران را می‌توان در دو دسته‌ی استفاده از یک مدل مقیاس‌گاهی همانند SDSM یا LARS-WG و مقایسه برون‌داد این دو مدل قرار داد. مطالعات انجام شده در ایران که از مدل SDSM استفاده کرده‌اند، همانند مطالعات انجام شده در سطح جهانی به دلیل در دسترس بودن واسط کاربری مدل CanESM2 تنها از این GCM برای مقیاس‌گاهی مدل‌های فاز پنجم

GCMها به مقیاس‌گاهی آن‌ها پرداخت (R L Wilby et al., 2002:147). مقیاس‌گاهی به دو دسته تقسیم می‌شود: ۱-مقیاس‌گاهی آماری ۲-مقیاس‌گاهی دینامیکی. تکنیک‌های مقیاس‌گاهی آماری و دینامیکی، هر دو روش تثبیت‌شده مناسبی برای از بین بردن شکاف موجود بین اطلاعات وسیع تولید شده توسط مدل‌های گردش کلی جو و مدل‌های مقیاس محلی و منطقه‌ای هستند (Casanueva et al., 2016:411). در این پژوهش به جهت پیش‌نگری دمای کمینه و بیشینه مناطق سردسیر کشور ایران از مدل مقیاس‌گاهی SDSM که توسط مرکز هدلی انگلستان توسعه یافته، استفاده شده است. مدل مقیاس‌گاهی آماری SDSM به دلیل هزینه‌ی محاسباتی کمتر، دسترسی راحت‌تر، بررسی سریع‌تر و اجرا بر روی تمامی سیستم عامل‌ها، یکی از بهترین مدل‌های مقیاس‌گاهی آماری است (Robert L Wilby & Dawson, 2007:7). لذا به منظور بررسی کارایی مدل SDSM در این پژوهش از این جهت مقیاس‌گاهی دمای کمینه و بیشینه مناطق سردسیر کشور استفاده گردید.

تغییر اقلیم به دلیل تغییرات بسیاری که در سامانه اقلیم و محیط زیست ایجاد کرده است مورد توجه پژوهش‌های بسیاری قرار گرفته است. برای آشکار سازی این تغییرات طی دوره‌های تاریخی و آینده از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود و همانطور که پیش‌تر نیز گفته شد روش‌های مقیاس‌گاهی آماری به دلیل سهولت در بکارگیری و هزینه محاسباتی پایین مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. بیش‌تر مطالعات انجام شده با روش‌های مقیاس‌گاهی آماری از مدل SDSM استفاده کرده‌اند. اغلب این مطالعات در برگیرنده بررسی کارایی برون‌داد مدل در برآورد متغیرهای دما و بارش و پیش‌نگری آن‌ها برای دوره‌های آتی متمرکز شده‌اند. از آنجاییکه تنها واسط کاربری مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 برای مدل SDSM به‌طور رایگان در دسترس بوده است تقریباً تمامی مطالعات انجام شده که از SDSM برای مقیاس‌گاهی و پیش‌نگری دما و بارش CMIP5

در مناطق سردسیر و مرتفع کوهستانی کمک می‌کند تا در برنامه‌ریزی‌های مرتبط با تغییر اقلیم در آینده و بکارگیری راهکارهای مناسب در جهت افزایش تاب‌آوری، مدیریت منابع آب و سازگاری با شرایط پیش‌رو بتوان اقدامات مناسبی را اتخاذ نمود. افزایش دما به همراه افزایش دوره‌های خشکسالی، تغییر الگوی بارش و افزایش فرین‌های بارشی، کاهش آب‌های سطحی و پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی از بزرگترین چالش‌های پیش‌رو کشور ایران در دهه‌های آتی تلقی می‌شود که لزوم مطالعات مربوط به پیش‌نگری‌های اقلیمی را یادآور می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: مطالعه حاضر، مناطق سردسیر ایران را در برمی‌گیرد (شکل ۱). در این تحقیق مناطق سردسیر بر حسب ارتفاع ایستگاه از سطح دریا و عرض جغرافیایی انتخاب شده‌اند. به طوری که ایستگاه نماینده مناطق سردسیر باید دارای ارتفاع حداقل ۱۰۰۰ متر و بالاتر از مدار ۳۵ درجه شمالی باشد. البته استثناهایی نیز همچون الیگودرز، کوهرنگ و یاسوج نیز وجود دارد. به طوری که این سه ایستگاه با اینکه در عرض جغرافیایی پایین‌تری قرار گرفته‌اند اما ارتفاع زیادی را دارا می‌باشند.

(CMIP5) استفاده کرده‌اند. از این دست مطالعات می‌توان به پژوهش انجام شده توسط (زهرةوندی و همکاران، ۱۳۹۹) که بررسی چشم‌انداز دما و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در غرب کشور پرداختند؛ اشاره کرد که کارایی برون‌داد مدل CanESM2 را در برآورد متغیرهای اقلیمی تایید کرده‌اند. گروه دیگری از مطالعات همچون (Baghanam et al., 2020) و (لطفی و همکاران، ۱۳۹۹) به مقایسه برون‌داد مدل‌های مقیاس‌کاهی آماری SDSM و LARS-WG پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان از روند افزایشی دما به ترتیب در ایستگاه تبریز و غرب ایران داشته است.

جمع‌بندی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات صورت گرفته در ایران محدود به یک ایستگاه بخصوص بوده و تاکنون کارایی این مدل در سطح یک منطقه اقلیمی یا جغرافیایی بخصوص مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا پژوهش حاضر از اهمیت بسزایی برخوردار است، چرا که بیش‌تر مناطق سردسیر ایران مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر بر اساس مطالعات پیشین (زرین و داداشی‌رودباری، ۱۳۹۹) کمینه دما در مناطق مرتفع و کوهستانی کشور به‌ویژه در شمال‌غرب در دوره‌های آینده روند افزایشی دارد که این امر لزوم مطالعات بیش‌تر در مناطق سردسیر را ضرورت می‌بخشد. یافته‌های حاصل از پیش‌نگری دما



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی همدید منتخب

داده‌های ۲۸ ایستگاه هواشناسی همدید استفاده شد. داده‌های مورد استفاده برای دو متغیر دمای کمینه و بیشینه در مقیاس روزانه، برای دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. برای مقیاس‌کاهی و پیش‌نگری دمای کمینه و دمای بیشینه از برون‌داد مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 تحت سه سناریو خوش‌بینانه (RCP2.6)، حد واسط (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.5) استفاده شد (جدول ۱). مدل CanESM2 نسل دوم مدل سامانه زمین کانادایی، یک مدل کامل و هم‌پسته از چهارمین نسل مدل‌های جفت‌شده جوی-اقیانوسی می‌باشد که توسط مرکز کانادایی تحلیل و مدل‌سازی اقلیم CCCMA توسعه یافته است.

ایستگاه‌های نماینده این مناطق بر اساس دو عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع انتخاب شدند. چنانکه که پیش‌تر گفته شد دما در مناطق سردسیر و با عرض جغرافیایی بالا بیش از سایر مناطق ایران از پدیده گرمایش جهانی تاثیر پذیرفته و براساس مطالعات انجام شده کمینه دما در مناطق مرتفع و کوهستانی کشور به‌ویژه در شمال‌غرب در دوره‌های آینده روند افزایشی بیشتری نسبت به سایر مناطق کشور دارد (زرین و داداشی‌رودباری، ۱۳۹۹). مناطق سردسیر از این جهت که ذخیره‌گاه‌های برف و آب شیرین برای کشور خشک و نیمه‌خشکی همچون ایران محسوب می‌شوند دارای اهمیت بسیار زیادی هستند. **داده‌های مورد استفاده:** در تحقیق حاضر از

جدول ۱- سناریوهای واداشت تابشی (RCP): نشانگر خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (IPCC, 2013:27)

سناریو	(W/M ²) واداشت تابشی	CO ₂ (PPM) غلظت	میانگین گرمایش جهانی تا سال ۲۱۰۰
RCP2.6	حداکثر ۳ وات بر متر مربع است و بعد از سال ۲۱۰۰ کاهش می‌یابد	۴۹۰	۱/۰(۰/۳_۱/۷)°C
RCP4.5	۴/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۶۵۰	۱/۸(۰/۳_۲/۶)°C
RCP8.5	بیشتر از ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰	۱۳۷۰	۳/۷(۲/۶_۴/۸)°C

پرکاربرد تلقی می‌گردد که اختلاف بین مقادیر مدل و داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی پیرسون (PCC) روش خطی برای بررسی همبستگی دو سری داده است که مقدار آن بین ۱- و ۱ در نوسان است.

در روابط ارائه شده در جدول (۲)، P_i مقدار برآورد شده توسط مدل، O_i مقدار مشاهداتی و n تعداد کل داده‌ها است. همچنین obs و sim به ترتیب مقادیر مشاهداتی و برآورد شده توسط مدل هستند.

مدل مقیاس‌کاهی آماری SDSM: مدل مقیاس‌کاهی آماری SDSM یک مدل رایگان در دسترس است که مدل‌های گردش کلی جو (GCMs) برای مکان خاص (ایستگاه هواشناسی) مقیاس‌کاهی می‌کند. همچنین این مدل می‌تواند به عنوان یک مولد تصادفی متغیرهای جوی یا برای بازسازی داده‌های

درستی سنجی برون‌داد مقیاس‌کاهی شده مدل SDSM: برای درستی سنجی برون‌داد مدل SDSM در مناطق سردسیر از چهار سنجه آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE^۱) (Chai & Draxler, 2014)، میانگین اریبی خطا (MBE^۲) (Ines & Hansen, 2006)، ضریب همبستگی پیرسون (PCC^۳) (Benesty et al., 2009) و درصد اریبی (PBIAS^۴) (Moriyas et al., 2007) استفاده شد (جدول ۲). مقادیر MBE و PBIAS تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و مقیاس‌کاهی شده است که ممکن است مثبت یا منفی باشد که نشان دهنده بیش‌برآوردی و یا کم‌برآوردی مدل است. سنجه RMSE یک سنجه

1. Root mean squared error (RMSE)
2. Mean bias error (MBE)
3. Pearson correlation coefficient (PCC)
4. Percent bias (PBIAS)

ایستگاه‌های هواشناسی هستند را براساس روش رگرسیون خطی چندگانه برقرار می‌کند. قبل از انجام فرایند مقیاس‌کاهی توسط این مدل داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل گردش کلی با توجه به مقادیر میانگین و انحراف معیار آن‌ها در دوره‌ی مورد نظر به‌نحی می‌شوند (R L Wilby et al., 2002:149).

مفقود در سری‌های هواشناسی استفاده شود (Robert L Wilby & Dawson, 2013:1707) اولین نسخه از این مدل در سال ۲۰۰۱ منتشر شد. مدل مقیاس‌کاهی آماری SDSM ارتباط آماری بین الگوهای بزرگ مقیاس (پیش‌بینی‌کننده‌ها) که از GCMها یا بازتحلیل‌ها هستند و متغیرهای اقلیمی محلی (پیش‌بینی‌شونده‌ها) که از معمولاً از

جدول ۲- سنجه‌های آماری جهت درستی سنجی برون‌داد دمای کمینه و دمای بیشینه مقیاس‌کاهی شده با SDSM

سنجه آماری	رابطه
ضریب همبستگی پیرسون (PCC)	$\frac{(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum(P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum(O_i - \bar{O})^2}}$
ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	$\sqrt{\frac{\sum_1^n (P_i - O_i)^2}{n}}$
میانگین اریبی خطا (MBE)	$\frac{\sum_1^n (P_i - O_i)}{n}$
درصد اریبی (PBIAS)	$\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) \times 100}{\sum_{i=1}^n Y_i^{obs}}$

غرب ایران، ارتفاعات آذربایجان و البرز) کم‌برآوردی دما را نشان می‌دهد. بیشینه مقدار اریبی (MBE) در مناطق سردسیر و مرتفع مربوط به ایستگاه اهر با مقدار اریبی ۰/۰۶ درجه سلسیوس است و کمینه مقدار اریبی (MBE) در مناطق سردسیر و مرتفع مربوط به ایستگاه خلخال با مقدار اریبی ۰/۱۷- درجه سلسیوس است. مقدار سنجی PBIAS که بیانگر درصد اریبی است برای دمای کمینه در تمامی ایستگاه‌ها کمتر از یک درصد به‌دست آمده است. بیشینه درصد اریبی در ایستگاه‌های خلخال، سراب و همدان (نوژه) دیده شد (شکل ۲).

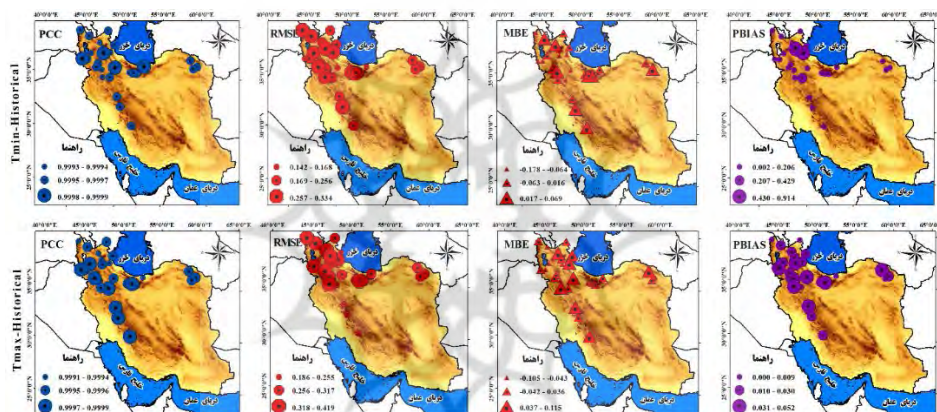
درستی‌سنجی متغیر دمای بیشینه نیز الگوی مشابهی را همانند دمای کمینه برای بیش‌تر ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. ضریب همبستگی پیرسون (PCC) بین برون‌داد مقیاس‌کاهی شده مدل CanESM2 و ایستگاه‌های هواشناسی، مقدار ۰/۹۹ را برای بیش‌تر ایستگاه‌های مورد بررسی

یافته‌های تحقیق

درستی سنجی برون‌داد مدل CanESM2 برای دمای کمینه و بیشینه مناطق سردسیر ایران: جهت درستی سنجی برون‌داد مقیاس‌کاهی شده مدل CanESM2 از چهار سنجه آماری PCC، RMSE، MBE و PBIAS برای بررسی دمای کمینه و دمای بیشینه در نواحی سردسیر ایران استفاده شد. نتایج مربوط به سنجه PCC نشان داد که مقدار دمای کمینه برون‌داد مدل با داده‌های مشاهداتی دارای همبستگی مثبت است که نشان دهنده کارایی بالای برون‌داد مقیاس‌کاهی شده دمای کمینه است. بررسی نتایج RMSE نشان داد که مقدار این سنجه بین ۰/۱۶ تا ۰/۳۳ درجه سلسیوس به‌ترتیب در مناطق سردسیر حاشیه جنوبی دریای خزر و نواحی سردسیر و مرتفع شمال غرب ایران متغیر است. بررسی سنجه MBE برای دمای کمینه در اکثر ایستگاه‌های مناطق سردسیر ایران (نوار کوهستانی شمال غرب تا جنوب

دمای بیشینه در مناطق کوهستانی شمال غرب و مناطق سردسیر حاشیه جنوبی دریای خزر کم برآوردی دارد. مقدار سنجه MBE برای مناطق نامبرده بین ۰/۱۵- تا ۰/۳۶- متغیر است. این در حالیست که ارتفاعات آذربایجان، زنجان، همدان، البرز و ارتفاعات خراسان برون داد مدل CanESM2 بیش برآوردی دارد. بیشینه مقدار اریبی (MBE) دمای بیشینه مربوط به ایستگاه خرمدره با مقدار اریبی ۰/۱۱ درجه سلسیوس است. نتایج حاصل از بررسی سنجه PBIAS برای دمای بیشینه در ارتفاعات خراسان رضوی، کردستان، آذربایجان و نوار کوهستانی شمال غرب نشان داد که مقدار PBIAS بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ در نوسان است (شکل ۲).

مناطق سردسیر کشور نشان داده است. کمینه این سنجه در ایستگاه‌های مناطق مرتفع البرز و ایستگاه‌های واقع در شمال غرب کشور و بخصوص استان اردبیل دیده می‌شود. در مجموع همانطور که برای دمای کمینه نیز دیده شد برون داد مقیاس‌گاهی شده مدل SDSM کارایی بالایی در برآورد دمای بیشینه در مناطق سردسیر ایران دارد. بررسی نتایج RMSE برای متغیر دمای بیشینه نشان داد که مقدار خطا بین ۰/۱۸ تا ۰/۴۱ درجه سلسیوس در نوسان است (شکل ۲). بیشینه مقدار سنجه RMSE مربوط به ایستگاه خلخال با مقدار خطای ۰/۴۱ درجه سلسیوس و کمینه مقدار این سنجه مربوط به ایستگاه کوه‌رنگ با مقدار خطای ۰/۱۸ درجه سلسیوس است.



شکل ۲- درستی‌سنجی برون‌داد مقیاس‌گاهی شده مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 با استفاده از سنجه‌های PBIAS و MBE, RMSE, PCC

مثبت با ۰/۹۶ درجه سلسیوس در ایستگاه ابعلی و بیشینه بی‌هنجاری مثبت با ۱/۶۷ درجه سلسیوس در ایستگاه تهران (ژئوفیزیک) مشاهده می‌شود. در دوره دوم پیش‌نگری (۲۰۴۱-۲۰۵۵) بی‌هنجاری دمای بیشینه نسبت به دوره اول افزایش داشته است، بطوریکه کمینه بی‌هنجاری با ۱/۰۱ درجه سلسیوس در ایستگاه‌های ماکو و ابعلی و بیشینه بی‌هنجاری با ۱/۷۴ درجه سلسیوس در ایستگاه تهران (شمیران) مشاهده می‌شود. براساس سناریوی خوشبینانه (RCP2.6) در دوره‌های سوم (۲۰۵۶-۲۰۷۰) و چهارم (۲۰۷۱-۲۰۸۵) پیش‌نگری از شدت بی‌هنجاری مثبت دمای بیشینه نسبت به دوره اول و دوم کاسته

بی‌هنجاری دمای بیشینه مناطق سردسیر ایران براساس برون‌داد مقیاس‌گاهی شده مدل CanESM2: شکل (۳) بی‌هنجاری دمای بیشینه سالانه را در پنج دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۴۶، ۲۰۴۷-۲۰۵۵، ۲۰۴۱-۲۰۴۷، ۲۰۵۶-۲۰۷۰، ۲۰۷۱-۲۰۸۵، ۲۰۸۶-۲۱۰۰) تحت سه سناریوی منتخب RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 براساس برون‌داد مقیاس‌گاهی شده مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 نشان می‌دهد. بررسی برون‌داد مدل CanESM2 در مناطق سردسیر کشور نشان داد که براساس سناریوی خوشبینانه (RCP2.6) بی‌هنجاری در سراسر دوره پیش‌نگری اول (۲۰۴۰-۲۰۴۶) مثبت است. کمینه بی‌هنجاری

نسبت به دوره‌ی اول و دوم به‌ترتیب دارای روند افزایشی و کاهش‌ی است. به‌طوریکه بیشینه بی‌هنجاری در ایستگاه‌های تهران (ژئوفیزیک) و تهران (شمیران) در دوره‌ی سوم و چهارم به‌ترتیب برابر با ۱/۸۲ و ۱/۶۶ درجه سلسیوس و کمینه بی‌هنجاری در دوره‌ی سوم و چهارم به‌ترتیب در ایستگاه‌های سراب با ۰/۹۵ درجه سلسیوس و ماکو با ۰/۲۸ درجه سلسیوس مشاهده می‌شود. بررسی مقادیر دمای بیشینه در سناریوی حدواسط (RCP4.5) در قیاس با سناریوی خوشبینانه (RCP2.6) در دوره سوم و چهارم نشان داد که بی‌هنجاری دمای بیشینه تحت سناریو RCP4.5 افزایشی است و به لحاظ موقعیت مکانی در ارتفاعات خراسان رضوی، البرز، گیلان، آذربایجان، کردستان، همدان، زنجان، اردبیل، لرستان، چهارمحال‌بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد شدت می‌یابد. بی‌هنجاری دمای بیشینه طی دوره‌ی پنجم پیش‌نگری (۲۰۸۶-۲۱۰۰) نسبت به دوره‌ی اول، دوم و چهارم شدت می‌یابد درحالی‌که نسبت به دوره‌ی سوم از شدت کاسته می‌شود. بیشینه بی‌هنجاری در این دوره با ۱/۷۳ درجه سلسیوس در ایستگاه تهران (شمیران) و کمینه آن با ۰/۳۲ درجه سلسیوس در ایستگاه ماکو مشاهده می‌شود.

نتایج سناریوی بدبینانه (RCP8.5) برای برون‌داد مقیاس‌گاهی شده مدل CanESM2 الگویی مشابه با سناریوهای خوشبینانه (RCP2.6) و حدواسط (RCP4.5) نشان داده است. بیشینه بی‌هنجاری مثبت دمای بیشینه براساس سناریوی بدبینانه (RCP8.5) در دوره اول (۲۰۲۶-۲۰۴۰) در شمال شرق ایران (ارتفاعات خراسان رضوی)، ارتفاعات البرز، شمال غرب ایران (ارتفاعات آذربایجان) و جنوب غرب ایران (ارتفاعات کهگیلویه و بویراحمد) از ۱/۰ درجه سلسیوس به ۱/۸۱ درجه سلسیوس در دوره‌ی پنجم رسیده است. کمینه بی‌هنجاری مثبت دمای بیشینه براساس سناریوی بدبینانه (RCP8.5) در دوره اول (۲۰۲۶-۲۰۴۰) در ارتفاعات اردبیل و آذربایجان شرقی و چهارمحال‌بختیاری از ۰/۷۷ به ۱/۱۹ درجه سلسیوس در دوره پنجم رسیده است. در مقابل،

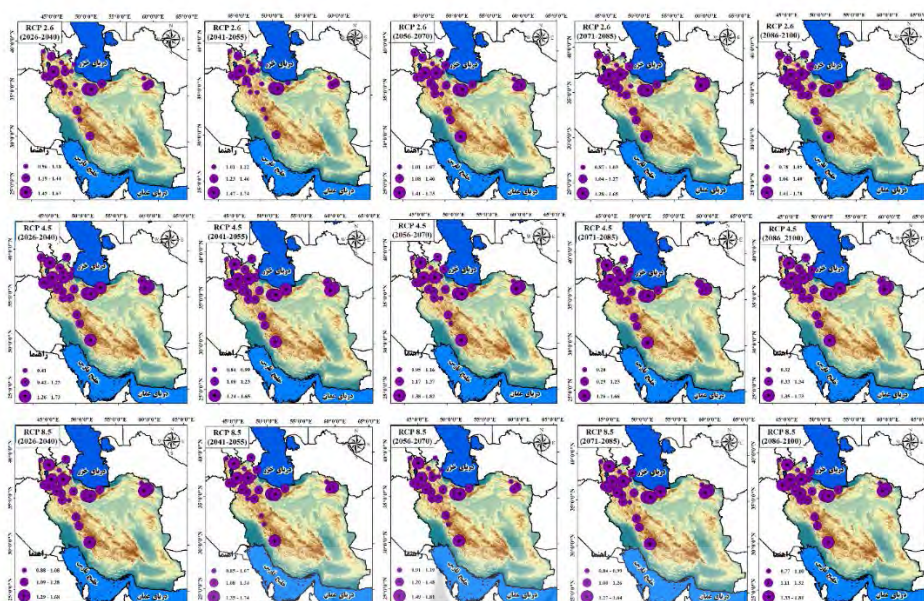
می‌شود به‌طوریکه بیشینه بی‌هنجاری همچنان در ایستگاه تهران (ژئوفیزیک) در دوره سوم و چهارم به‌ترتیب برابر با ۱/۷۳ و ۱/۶۵ درجه سلسیوس و کمینه بی‌هنجاری در دوره سوم و چهارم به‌ترتیب در ایستگاه‌های خلخال با ۱/۰۱ درجه سلسیوس و سراب با ۰/۸۷ درجه سلسیوس مشاهده می‌شود. طی دوره پنجم پیش‌نگری (۲۰۸۶-۲۱۰۰) بی‌هنجاری مثبت دمای بیشینه نسبت به دوره‌های اول تا چهارم افزایش داشته است به‌گونه‌ای که کمینه بی‌هنجاری با ۰/۷۸ درجه سلسیوس در ایستگاه اهر و بیشینه بی‌هنجاری با ۱/۷۸ درجه سلسیوس در ایستگاه تهران (ژئوفیزیک) مشاهده می‌شود.

بر اساس سناریوی حدواسط (RCP4.5)، بی‌هنجاری دمای بیشینه برای برون‌داد مدل CanESM2 در دوره اول (۲۰۲۶-۲۰۴۰) نشان‌دهنده بی‌هنجاری مثبت دمای بیشینه در این دوره است. کمینه بی‌هنجاری مثبت در ایستگاه آستارا با ۰/۴۱ درجه سلسیوس و بیشینه آن با ۱/۷۳ درجه سلسیوس در ایستگاه تهران (شمیران) مشاهده می‌شود. مقایسه نتایج دو سناریو خوش‌بینانه و حدواسط نشان‌دهنده افزایش بیش‌تر در دمای بیشینه در سناریو حدواسط (RCP4.5) است. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود علاوه بر افزایش شدت بی‌هنجاری دمای بیشینه، بر وسعت مکانی آن هم در قیاس با سناریوی خوشبینانه (RCP2.6) افزوده شده است. به لحاظ موقعیت مکانی در سناریوی حدواسط (RCP4.5) افزایش بی‌هنجاری مثبت دمای بیشینه بیشتر در ارتفاعات خراسان رضوی، البرز، همدان، کردستان و آذربایجان مشاهده می‌شود.

طی دوره دوم پیش‌نگری آینده (۲۰۴۱-۲۰۵۵) از شدت بی‌هنجاری دمای بیشینه در این دوره نسبت به دوره‌ی اول کاسته می‌شود. مقایسه نتایج دو سناریو RCP4.5 و RCP2.6 برای مدت مشابه یاد شده نشان‌دهنده کاهش شدت بی‌هنجاری مثبت دمای بیشینه برای سناریو RCP4.5 است. براساس سناریوی حدواسط RCP4.5 در دوره‌ی سوم (۲۰۵۶-۲۰۷۰) و چهارم (۲۰۷۱-۲۰۸۵) بی‌هنجاری دمای بیشینه

تا ۰/۹ درجه سلسیوس می‌رسد.

کمینه بی‌هنجاری مثبت بیشینه دما از دوره اول تا پنجم، برای ایستگاه‌های سراب، اهر و قوچان از ۰/۷۶



شکل ۳- بی‌هنجاری دمای بیشینه طی دوره پیش‌نگری (۲۱۰۰-۲۰۲۶) در مناطق سردسیر مبتنی بر برونداد مقیاس‌گاهی شده مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

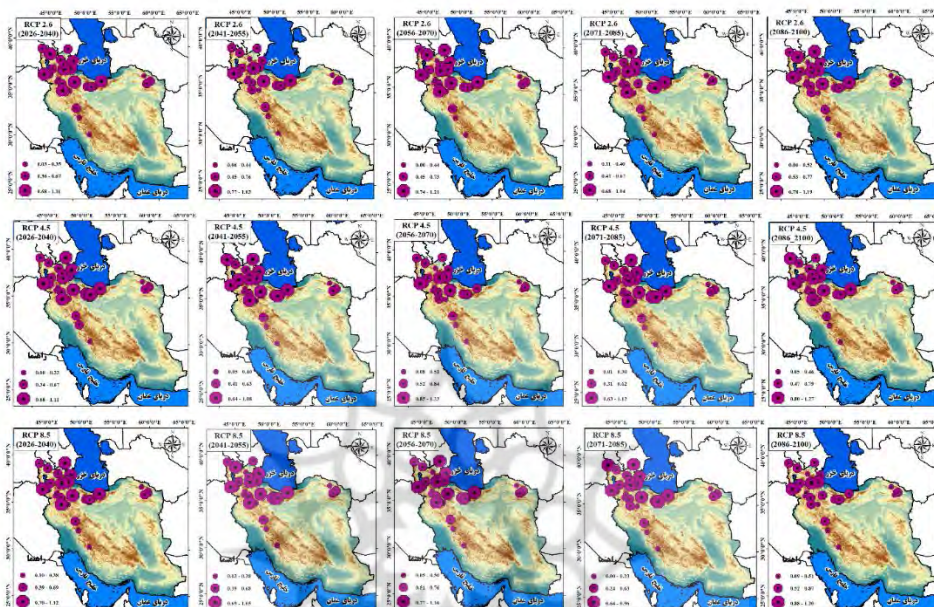
بی‌هنجاری دمای کمینه براساس سناریوی خوشبینانه (RCP2.6) در ارتفاعات البرز، اردبیل، زنجان، همدان، آذربایجان، کردستان و لرستان مشاهده می‌شود. بی‌هنجاری دمای کمینه براساس نتایج سناریوی حدواسط (RCP4.5) در سراسر دوره اول (۲۰۲۶-۲۰۴۰) تا دوره پنجم (۲۱۰۰-۲۰۸۶) مثبت است. در این دوره بیشینه بی‌هنجاری دمای کمینه تا انتهای قرن بیست‌ویکم در ایستگاه پیرانشهر به ۱/۲۷ درجه سلسیوس می‌رسد.

بررسی بی‌هنجاری دمای کمینه براساس سناریوی بدبینانه (RCP8.5) مبتنی بر برونداد مقیاس‌گاهی شده مدل CanESM2 در دوره‌ی پیش‌نگری اول (۲۰۲۶-۲۰۴۰) تا دوره پنجم (۲۱۰۰-۲۰۸۶) نشان داد که بی‌هنجاری دمای کمینه همانند دو سناریوی قبلی مطابق با آنچه انتظار می‌رفت در این دوره نیز مثبت است. نتایج سناریوی بدبینانه (RCP8.5) طی دوره اول پیش‌نگری (۲۰۲۶-۲۰۴۰) نشان داد که در مقایسه با دو سناریوی قبلی بی‌هنجاری دمای کمینه بیش‌تر است. براساس سناریوی بدبینانه (RCP8.5) در

بی‌هنجاری دمای کمینه مناطق سردسیر ایران براساس برونداد مقیاس‌گاهی شده مدل CanESM2: شکل (۴) بی‌هنجاری دمای کمینه سالانه را طی پنج دوره پیش‌نگری شده (۲۰۲۶-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۵۵، ۲۰۵۶-۲۰۷۰، ۲۰۷۱-۲۰۸۵، ۲۰۸۶-۲۱۰۰) تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای برونداد مقیاس‌گاهی شده مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 نشان می‌دهد. بررسی دمای کمینه برونداد مدل مقیاس‌گاهی شده CanESM2 در مناطق سردسیر نشان می‌دهد که براساس سناریوی خوشبینانه (RCP2.6)، بی‌هنجاری در سراسر دوره‌ی پیش‌نگری اول (۲۰۲۶-۲۰۴۰) تا پنجم (۲۱۰۰-۲۰۸۶) مثبت است. طی دوره اول پیش‌نگری، کمینه بی‌هنجاری مثبت دمای کمینه در سراسر دوره اول تا پنجم در ایستگاه یاسوج بین صفر تا ۰/۱۱ درجه سلسیوس و بیشینه بی‌هنجاری دمای کمینه در ایستگاه پیرانشهر بین ۱/۰۳ تا ۱/۲۱ درجه سلسیوس مشاهده می‌شود. به لحاظ توزیع فضایی، بیشینه

رضوی، البرز، اردبیل، زنجان، همدان، آذربایجان، لرستان و کردستان مشاهده می‌شود. این در حالی است که در دهه‌ی پایانی قرن بیست‌ویکم از شدت بی‌هنجاری دمای کمینه تا حدودی در مقایسه با دو سناریوی قبلی در این مناطق کاسته شده است.

دوره‌های دوم، سوم، چهارم و پنجم همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است از شدت بی‌هنجاری دمای کمینه در مقایسه با دو سناریوی قبلی کاسته می‌شود. به لحاظ توزیع جغرافیایی ایستگاه‌ها، بیشینه بی‌هنجاری دمای کمینه براساس سناریوی (RCP8.5) در سراسر دوره‌ی اول تا چهارم در ارتفاعات خراسان



شکل ۴. بی‌هنجاری دمای کمینه طی دوره پیش‌نگری (۲۰۲۶-۲۱۰۰) در مناطق سردسیر مبتنی بر برونداد مقیاس‌کاهی شده مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

درجه سلسیوس و کمینه آن مربوط به ایستگاه خرمدره با مقدار ۰/۱۴ درجه سلسیوس است. بررسی نتایج درستی‌سنجی برای دمای بیشینه نشان داد که بیشترین مقدار سنجه RMSE مربوط به ایستگاه خلخال با مقدار ۰/۴۱ درجه سلسیوس و کمینه آن مربوط به ایستگاه کوه‌رنگ با مقدار ۰/۱۸ درجه سلسیوس است.

بررسی بی‌هنجاری دمای کمینه براساس سناریوی خوشبینانه (RCP2.6)، حدواسط (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.5) نشان داد که در سراسر دوره‌ی مطالعاتی اول (۲۰۲۶-۲۰۴۰) تا پنجم (۲۰۸۶-۲۱۰۰) در نواحی سردسیر بی‌هنجاری دمای کمینه مثبت است. کمینه بی‌هنجاری مثبت بر اساس این سه سناریو در سراسر دوره‌ی مطالعاتی اول تا پنجم در ایستگاه

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش پیش‌نگری بی‌هنجاری بلندمدت (۲۰۲۶-۲۱۰۰) دمای کمینه و دمای بیشینه در مناطق سردسیر ایران را مبتنی بر برونداد مقیاس‌کاهی شده مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 با مدل آماری SDSM تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) مورد مطالعه قرار داد. بررسی سنجه‌های آماری محاسبه شده، کارایی مناسب مدل CanESM2 را در برآورد دما در مناطق سردسیر کشور نشان داد. نتایج درستی‌سنجی مدل CanESM2 برای دمای کمینه در مناطق سردسیر نشان داد که بیشترین خطا در مناطق سردسیر حاشیه جنوبی دریای خزر و نواحی مرتفع شمال غرب ایران دیده می‌شود. بیشینه مقدار سنجه RMSE مربوط به ایستگاه مراغه با مقدار ۰/۳۳

متناسب با شرایط پیش‌نگری شده آینده برنامه‌ریزی کرد تا بتوان راهکارهای مناسبی را در جهت افزایش تاب‌آوری، مدیریت منابع آب و سازگاری در این مناطق اتخاذ نمود.

نتایج این مطالعه نشان داد که هر چند مدل مقیاس‌گاهی آماری SDSM در برآورد و پیش‌نگری دمای کمینه و بیشینه بر روی مناطق سردسیر ایران از کارایی قابل قبولی برخوردار است اما باید در نظر داشت که مدل‌های آماری به رغم مزیت‌هایی همچون سهولت در بکارگیری، هزینه پایین محاسباتی و همچنین مقیاس‌گاهی در مقیاس ایستگاهی که می‌تواند باعث تسهیل در مقایسه بین برونداد مدل و داده‌های مشاهده‌ای گردد دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد. مهم‌ترین چالش‌هایی که مدل‌های مقیاس‌گاهی آماری با آن مواجه هستند و از برونداد نتایج این مدل‌ها نمی‌توان در طرح‌های عملیاتی استفاده کرد در نظر نگرفتن فرآیندهای فیزیکی است که اقلیم یک مکان را می‌سازند. چالش بعدی در پیش‌نگری‌های این مدل‌ها این است که در این روش فرض اصلی بر این است که رابطه آماری به‌دست آمده در دوره تاریخی، کماکان برای دوره آینده نیز صادق خواهد بود در صورتیکه رابطه آماری به‌دست آمده در دوره تاریخی صرفاً منعکس‌کننده ارتباط بین داده‌های مشاهده‌ای و دوره تاریخی مدل است و نمی‌توان آن را به دوره آینده تعمیم داد. از آنجاییکه مدل‌های آماری توسط موسسات پژوهشی محدودی توسعه داده می‌شوند، رابط کاربری (Interface) برای این مدل‌ها تنها توسط یک یا چند GCM محدود آن هم برای مرکزی که مدل را توسعه داده است ارائه می‌شود که در نتیجه برونداد مدل‌های آماری نسبت به رویکرد چند مدلی همادی عدم قطعیت بالاتری دارد.

یاسوج و بیشینه بی‌هنجاری مثبت در ایستگاه پیرانشهر مشاهده می‌شود. همچنین مطالعه بی‌هنجاری دمای بیشینه برای سناریوی خوشبینانه (RCP2.6) نشان داد که بی‌هنجاری دمای بیشینه در سراسر دوره‌های پیش‌نگری اول تا پنجم افزایشی است.

بررسی نتایج سناریوی حدواسط RCP4.5 نشان داد که ضمن افزایش شدت بی‌هنجاری دمای بیشینه نسبت به سناریو خوشبینانه (RCP2.6)، بر وسعت مکانی آن نیز افزوده می‌شود. به طوریکه کمینه بی‌هنجاری دمای بیشینه در دوره‌های پیش‌نگری اول تا پنجم در ایستگاه‌های آستارا، سراب و ماکو و بیشینه بی‌هنجاری مثبت آن در ایستگاه‌های تهران (ژئوفیزیک) و تهران (شمیران) دیده می‌شود.

سناریوی بدبینانه (RCP8.5) نیز الگویی مشابه با دو سناریوی پیشین را ارائه می‌دهد با این تفاوت که کمینه بی‌هنجاری مثبت در ایستگاه‌های سراب، اهر و قوچان به چشم می‌خورد. نتایج بررسی بی‌هنجاری دمای کمینه و بیشینه نشان داد که بیشترین بی‌هنجاری دما در ارتفاعات خراسان رضوی، البرز، همدان، ارتفاعات آذربایجان، کردستان و کهگیلویه و بویر احمد مشاهده می‌شود. نتایج پژوهش‌های پیشین بر افزایش بیش‌تر دما در مناطق کوهستانی ایران تاکید می‌کنند (Zarrin et al. 2021). بر این اساس به نظر می‌رسد مناطق کوهستانی و عرض‌های جغرافیایی بالاتر، بیشتر از پدیده‌ی گرمایش جهانی متاثر می‌شوند. افزایش دما چه در دوره‌ی حاضر و چه در دوره‌های آینده می‌تواند پیامدهای نامطلوبی در مناطق سردسیر داشته باشد. وردایی دما در نواحی کوهستانی به دلیل تاثیرگذاری مهمی که در تامین آب مناطق خشک و نیمه خشکی همچون ایران دارند از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا لازم است در این مناطق

منابع

- دمای ایران تحت سناریوهای واداشت تابشی. فیزیک زمین و فضا، ۴۵(۳)، ۶۴۴-۶۲۵.
۲. روحبخش سیگارودی، حسین علی، کریمپور، مصطفی. قائمی، هوشنگ. مرادی، محمد، آزادی، مجید. (۱۳۹۷). بررسی بی‌هنجاری‌های میانگین دمای کمینه و

۱. احمدی، محمود. داداشی رودباری، عباسعلی. اکبری ازیرانی، طیبه. کریمی، جمال. (۱۳۹۸). کارایی مدل HadGEM2-ES در ارزیابی ناهنجاری‌های فصلی

- Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijjoka, Y., & Mehrotra, S. (2018). Impacts of 1.5° C of global warming on natural and human systems. *Raspoloživo Na: Https://Www.Ipcc.Ch/Site/Assets/Uploads/Sites/2/2019/05/SR15_Chapter3_Low_Res.Pdf* (Pristup 8.7. 2019.).
12. Casanueva, A., Herrera, S., Fernández, J., & Gutiérrez, J.M. (2016). Towards a fair comparison of statistical and dynamical downscaling in the framework of the EURO-CORDEX initiative. *Climatic Change*, 137(3), 411–426. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1683-4>
13. Castaño-Sánchez, A., Hose, G.C., & Reboleira, A.S.P.S. (2020). Salinity and temperature increase impact groundwater crustaceans. *Scientific Reports*, 10(1), 12328. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69050-7>
14. Chai, T., & Draxler, R.R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250.
15. Cline, W.R. (2008). Global Warming and Agriculture. *Finance & Development*, 0045(001), A007. <https://doi.org/10.5089/9781451922349.022.A007>
16. Daneshvar, M.R.M., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1–10.
17. Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A.S., & Murphy, C. (2021). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12(1), 166–184.
18. Fallahi, M., & Akbary, M. (2020). Impacts of Global Warming on Extreme Temperatures in west of Iran. *Climate Change Research*, 1(4), 11–19.
19. Fan, X., Jiang, L., & Gou, J. (2021). Statistical downscaling and projection of future temperatures across the Loess Plateau, China. *Weather and Climate Extremes*, 32, 100328.
- بیشینه ایران در دوره گرم سال به منظور شناسایی دوره گرم و سرد. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۷(۳)، ۱۶۱–۱۸۷.
۳. زرین، آذر. داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۹). پیش‌نگری چشم‌انداز بلندمدت دمای آینده ایران مبتنی بر برونداد پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP6). *فیزیک زمین و فضا*، ۴۶(۳)، ۵۸۳–۶۰۲.
۴. زرین، آذر. داداشی رودباری، عباسعلی. صالح آبادی، نرگس. (۱۳۹۹). بررسی بی‌هنجاری و روند دمای ایران در پهنه‌های مختلف اقلیمی با استفاده از مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم (CMIP6). *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۱۵(۱)، ۳۵–۵۴.
۵. زهره، وندی. حسن، خورشیددوست. علی محمد. ساری صراف، بهروز. (۱۳۹۹). چشم‌انداز تغییرات اقلیمی در غرب ایران براساس سناریوهای واداشت تابشی و ریزمقیاس‌گردانی مدل آماری SDSM، جغرافیا(برنامه ریزی منطقه ای). ۱۱(۱)، ۱۴–۱.
۶. فغانی، میثم. فیتجت، جنیفر. (۱۳۹۹). دورنمای اثر گرمایش جهانی بر دگرگونی الگوی زمانی-مکانی رخداد استرس حرارتی ایران. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۱(۳)، ۱–۲۰.
۷. لطفی، محمد. کمالی، غلامعلی. مشکوتی، امیرحسین. ورشاپیان، وحید. (۱۴۰۰). پیش‌نگری دماهای بیشینه با استفاده از مدل‌های جهانی اقلیم تحت سناریوهای RCP و ریزمقیاس‌گردانی مدل‌های LARS-WG و SDSM در غرب کشور. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۳(۵۱)، ۱۱۵–۱۳۰.
8. Al-Mukhtar, M., & Qasim, M. (2019). Future predictions of precipitation and temperature in Iraq using the statistical downscaling model. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(2), 25. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4187-x>
9. Baghanam, A.H., Nourani, V., Sheikhabaei, A., & Seifi, A.J. (2020). Statistical downscaling and projection of future temperature change for Tabriz city, Iran. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 491(1), 12009.
10. Benesty, J., Chen, J., Huang, Y., & Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. In *Noise reduction in speech processing* (pp. 1–4). Springer.
11. Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.,

- changes in climatic parameters using CanESM2 model based on Rcp scenarios (case study): Lar dam basin. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 445–454.
29. Jing, M., Kumar, R., Heße, F., Thober, S., Rakovec, O., Samaniego, L., & Attinger, S. (2020). Assessing the response of groundwater quantity and travel time distribution to 1.5, 2, and 3 C global warms in a mesoscale central German basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(3), 1511–1526.
30. Kurane, I. (2010). The Effect of Global Warming on Infectious Diseases. *Osong Public Health and Research Perspectives*, 1(1), 4–9. <https://doi.org/10.1016/j.phrp.2010.12.004>
31. Leal Filho, W., Balogun, A.-L., Olayide, O.E., Azeiteiro, U.M., Ayal, D.Y., Muñoz, P.D.C., Nagy, G.J., Bynoe, P., Ogue, O., & Toamukum, N.Y. (2019). Assessing the impacts of climate change in cities and their adaptive capacity: towards transformative approaches to climate change adaptation and poverty reduction in urban areas in a set of developing countries. *Science of the Total Environment*, 692, 1175–1190.
32. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., & Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
33. Nerem, R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J.T., Hamlington, B.D., Masters, D., & Mitchum, G.T. (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(9), 2022–2025.
34. Reidmiller, D.R., Avery, C.W., Easterling, D.R., Kunkel, K.E., Lewis, K.L.M., Maycock, T.K., & Stewart, B.C. (2017). Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth national climate assessment, volume II.
35. Salzmann, M. (2016). Global warming without global mean precipitation increases? *Science Advances*, 2(6), e1501572.
20. Gagnon, S., Singh, B., Rousselle, J., & Roy, L. (2005). An Application of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to Simulate Climatic Data for Streamflow Modelling in Québec. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 30(4), 297–314.
21. Gebeyehu Ayele, E., Chunju, Z., Yihong, Z., & yang, Z. (2019). Assessment of future temperature change scenario by statistical downscaling model (Canesm2). *International Journal of Current Research*, 11, 100–109. <https://doi.org/10.24941/ijcr.33786.01.2019>
22. Goodarzi, M., Mahdian, M.H., & Qermezcheshmeh, B. (2021). Assessment of climate change using SDSM downscaling Model (A case study: West of Iran). *Water Harvesting Research*, 4(1), 29–39.
23. Hassan, W.H., & Nile, B.K. (2021). Climate change and predicting future temperature in Iraq using CanESM₂ and HadCM₃ modeling. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(2), 737–748.
24. House, the white. (2021). Report on the Impact of Climate Change on Migration (October 2021). Government of the United States of America.
25. IPCC, (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of*
26. Working Group, I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
27. Ines, A.V.M., & Hansen, J.W. (2006). Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1), 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.009>
28. Javaherian, M., Ebrahimi, H., & Aminnejad, B. (2021). Prediction of

- climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145–157.
39. Wilby, Robert L., & Dawson, C.W. (2007). SDSM 4.2-A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *User Manual*, 94(1).
40. Wilby, Robert L., & Dawson, C.W. (2013). The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1707–1719.
41. Zhang, Z., & Li, J. (2020). Big climate data (pp. 1–18).
36. Siabi, E.K., Kabobah, A.T., Akpoti, K., Anornu, G.K., Amo-Boateng, M., & Nyantakyi, E.K. (2021). Statistical downscaling of global circulation models to assess future climate changes in the Black Volta basin of Ghana. *Environmental Challenges*, 5, 100299.
37. Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10(1), 13768.
38. Wilby, R.L., Dawson, C.W., & Barrow, E.M. (2002). Sdsm — a decision support tool for the assessment of regional

