

ارزیابی مجموعه داده‌های ERA5-Land، AgERA5 و MSWX در برآورد دما بر روی ایران

مطهره محمدآبادی^۱، عباس مفیدی^{۲*}، آذر زرین آ و عباسعلی داداشی رودباری^۳

۱ دانشجوی کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی، ایران

۲ دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی، ایران

۳ پژوهشگر پس‌ادکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۰)

چکیده

دما یک متغیر اصلی در سامانه اقلیم زمین است که نقش مهمی در فرآیندهای تبادل انرژی سطح زمین و جو دارد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کارایی سه مجموعه داده بازتحلیل ERA5-Land، AgERA5 و MSWX به منظور تعیین مناسب‌ترین داده دما بر روی ایران است. درستی سه مجموعه داده با استفاده از داده‌های دمای ۹۸ ایستگاه هواشناسی هم‌مدیدی در دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۹۱ بررسی شد. با استفاده از مقادیر دمای کمینه، بیشینه و میانگین و با بکارگیری سنج‌های اریبی، RMSE و ضریب توافق، کارایی سه مجموعه داده نسبت به داده‌های ایستگاهی در مقیاس‌های ماهانه و سالانه ارزیابی شد. ابتدا سه مجموعه داده به تفکیک برای دمای کمینه، بیشینه و میانگین به شکل فضایی درستی سنجی شدند. سپس با در نظر گرفتن ۷ پهنه اقلیمی اصلی، کارایی دمای میانگین سالانه به صورت فضایی و زمانی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر سه مجموعه داده در برآورد دمای کمینه ایران از مقدار خطا و اریبی کمتری برخوردارند. در صورتی که در برآورد دمای بیشینه، داده‌های MSWX و AgERA5 به ترتیب با مقادیر $1/74^{\circ}\text{C}$ و $1/42^{\circ}\text{C}$ به طور محسوس خطای کمتری را از خود نشان دادند. در مقابل، داده‌های ERA5-Land نشان دهنده بیش‌برآوردی ($5/05^{\circ}\text{C}$) و مقادیر بالای خطا ($5/07^{\circ}\text{C}$) در سطح کشور می‌باشد. ارزیابی هر سه متغیر دما نشان داد که مجموعه داده MSWX با میانگین اریبی کمتر از 1°C کارایی بالاتری در برآورد دمای ایران دارد. همچنین، در بررسی دمای میانگین برای داده‌های ERA5-Land، AgERA5 و MSWX مقادیر ضریب توافق برای ۹۸ ایستگاه مورد بررسی، به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۶۵ و ۰/۷۵ به دست آمده است. تغییرات زمانی و روندهای کاهشی و افزایشی دما در سه مجموعه داده با ضرایب همبستگی بین ۰/۸۶ تا ۰/۹۹، در تمام پهنه‌های اقلیمی کشور از انطباق بالایی با داده‌های مشاهداتی برخوردار است. نتایج همچنین نشان داد، مقادیر خطا در هر سه مجموعه داده در فصل زمستان در پهنه‌های اقلیمی کوهستانی کشور به بیشینه خود می‌رسد.

کلمه‌های کلیدی: دما، ERA5-Land، AgERA5، MSWX، ایران

۱ مقدمه

دما یک متغیر اصلی در سامانه اقلیم زمین است که نقش مهمی در فرآیندهای تبادل انرژی سطح زمین و جو دارد. از متغیر دما در طیف گسترده‌ای از کاربردها مانند هیدرولوژی (برولویا و همکاران، ۲۰۱۵)، سنجش از دور (لیو و کار، ۲۰۱۴) و پیامدهای تغییر اقلیم (اریسمندی و همکاران، ۲۰۱۸؛ تراندو و همکاران، ۲۰۱۸؛ هی و همکاران، ۲۰۲۲) استفاده می‌شود. دما در مقایسه با دوره پیش از انقلاب صنعتی به طور قابل توجهی در سطح جهانی افزایش یافته و این روند افزایشی در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری گرفته (IPCC، ۲۰۲۱) و بسیاری از فرآیندهای محیطی و سامانه‌های اکولوژیکی را تحت تأثیر قرار داده است. با ادامه روند گرمایش جهانی، دماهای فرین از شدت و فراوانی بیشتری برخوردار گشته و تغییرات بزرگ‌تری نیز در میانگین دما رخ می‌دهد که پیامد آن افزایش فرین‌های اقلیمی است (یلماز، ۲۰۲۳). افزایش فرین‌های اقلیمی به واسطه شتاب یافتن گرمایش جهانی، استفاده از داده‌های دقیق‌تر از متغیرهای اقلیمی از جمله دما را ضرورت می‌بخشد (لیو و همکاران، ۲۰۲۱). ارزیابی جهانی و منطقه‌ای الگوهای اقلیمی، نیازمند بررسی پراکنش فضایی داده‌های دما است. از این رو، اندازه‌گیری دقیق تغییرات زمانی-مکانی دما در سطح جهانی و منطقه‌ای به منظور شناسایی و درک فرآیندهای حیاتی و ویژگی‌های اقلیمی امری ضروری است و به همین دلیل برآورد دقیق تغییرات دما در طول زمان مهم است (یلماز، ۲۰۲۳).

روش‌های مختلفی برای برآورد دما وجود دارد که شامل مشاهدات ایستگاه‌های زمینی، مشاهدات ماهواره‌ای، برون‌داد مدل‌های اقلیمی، مجموعه داده‌های بازتحلیل و مجموعه داده‌های همادی-وزنی چندمنبعی می‌شوند. مشاهدات ایستگاه‌های زمینی مانند ایستگاه‌های همدیدی، باران سنجی، جو بالا و بویه‌های دریایی، داده‌های هستند که به شکل مستقیم از سطح زمین اندازه‌گیری شده و به عنوان

دقیق‌ترین و مطمئن‌ترین منابع داده برای مطالعه متغیرهای اقلیمی در نظر گرفته می‌شوند (چودوری و همکاران، ۲۰۲۳). در صورت ناکافی بودن تراکم ایستگاه‌ها، خطای این نوع داده‌ها در مناطق دارای تنوع اقلیمی بالا، در تحلیل‌های فضایی، افزایش می‌یابد. نقص داده‌های مشاهداتی زمینی در مناطق خشک و بیابان‌های داخلی و مناطق کوهستانی ایران که با نبود ایستگاه روبه‌رو است، بیشتر مشاهده می‌شود. در نتیجه، مطالعه تغییرات زمانی و مکانی دما در چنین مناطقی با مشکل مواجه می‌گردد (زرین و داداشی رودباری، ۲۰۲۲). همچنین خطاهای نمونه‌برداری مکانی هنگام استفاده از تکنیک‌های درون‌یابی اجتناب‌ناپذیر است (کارامان و آکیورک، ۲۰۲۳). مشاهدات ماهواره‌ای مانند محصولات سنجنده‌های MODIS، MISR، ASTER و AVHRR مجموعه داده‌های پیوسته فضایی را با پوشش وسیع ارائه می‌دهند (ژو و همکاران، ۲۰۱۴). این مجموعه داده‌ها به دلیل دوره زمانی کمتری که نسبت به مجموعه داده‌های بازتحلیل دارند و همچنین ناپوستگی مأموریت‌های ماهواره‌ای و شکاف‌های اطلاعاتی که باعث به وجود آمدن اریبی در برآوردهای دمایی می‌شود، در موارد متعدد هنوز برای انجام مطالعات اقلیمی چندان مناسب نیستند. از طرف دیگر، تفکیک افقی پایین اغلب محصولات ماهواره‌ای محدودیت دیگری است که سبب می‌شود تا این نوع داده‌ها از کارآمدی لازم برای بسیاری از مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی، که نیازمند داده‌های با تفکیک مکانی و دقت بالا هستند، برخوردار نباشند (کارامان و آکیورک، ۲۰۲۳).

مجموعه داده‌های بازتحلیل با ترکیب انواع داده‌های مشاهده‌ای برای یک‌زمان معین در مدل‌های پیش‌بینی عددی جو تولید می‌شوند و از مشاهدات زمینی و ماهواره‌ای در محصولات خود استفاده می‌کنند (دی و همکاران، ۲۰۱۱). این مجموعه داده‌ها، یک اقلیم‌شناسی شبکه‌ای با تفکیک افقی ثابت را ارائه می‌دهند که می‌تواند

پژوهش‌هایی هستند که درستی‌سنجی داده‌های دمایی را بررسی نموده‌اند. پژوهش‌هایی که به منظور درستی‌سنجی مجموعه داده‌های بازتحلیل در کشورهای ایرلند (مونی و همکاران، ۲۰۱۱)، چین (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵)، استرالیا (دی-ویرجیلیو و همکاران، ۲۰۱۹)، آمریکا (تارک و همکاران، ۲۰۲۰)، برزیل (آویلا-دیز و همکاران، ۲۰۲۰) و پاکستان (ارشد و همکاران، ۲۰۲۱) انجام شده است، نشان می‌دهد که این مجموعه داده‌ها ممکن است دارای کم برآوردی و یا بیش‌برآوردی باشند و همچنین به طور نسبی از ارزیابی بیشتری نسبت به داده‌های ماهواره‌ای برخوردارند. با این حال از مجموعه داده‌های بازتحلیل به عنوان یک منبع قابل اطمینان در سطح جهانی استفاده شده است.

در سال‌های اخیر به دلیل در دسترس بودن و تنوع داده‌های بازتحلیل و ماهواره‌ای، برای کاهش خطا و افزایش دقت داده‌ها، از مجموعه داده‌های همادی-وزنی چندمنبعی (Multi-Source Weighted-Ensemble) در سطح جهانی استفاده‌های بسیاری شده است. پژوهش‌هایی که درستی مجموعه داده‌های همادی-وزنی چندمنبعی را بررسی کرده‌اند، نشان داده‌اند که مجموعه داده‌های چندمنبعی ارزیابی کمتری در برآورد متغیر دما دارند. به طوری که بررسی این مجموعه داده‌ها در ترکیه (حافظی و سورمان، ۲۰۲۲)، چین (لین و همکاران، ۲۰۲۳) و کلمبیا (بلانکو و همکاران، ۲۰۲۳) نشان داده است که به رغم خطایی که این داده‌ها داشته‌اند، اما نسبت به داده‌های بازتحلیل از خطای کمتری برخوردارند.

در کشور ایران نیز پژوهشگران با استفاده از مجموعه داده‌های بازتحلیل به بررسی متغیرهای اقلیمی مانند دما (اخلاقی حسینی و همکاران، ۱۴۰۲)، بارش (اسدی رحیم‌بیگی و همکاران، ۱۴۰۰؛ ملایری و همکاران، ۲۰۲۱) تبخیر-تعرق (عزیزیان و همکاران، ۱۳۹۹؛ رضیعی و پاره‌کار، ۲۰۲۱) و تندی باد (هاشم زاده و همکاران، ۱۳۹۹) پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش‌ها نشان داد مجموعه داده‌های

اریبی ناشی از پراکنش ایستگاه‌ها را کاهش دهد. مجموعه داده‌های بازتحلیل با توجه به نوع داده‌های ورودی، سامانه داده‌گوازی و شیوه‌های تصحیح خطاهای سامانمندی که در هر کدام از این مجموعه داده‌ها برای توسعه داده‌های شبکه‌ای به کار گرفته می‌شود، با یکدیگر تفاوت دارند. تفاوت‌های یادشده به طور محسوسی کیفیت محصولات در مجموعه داده‌های مختلف را از خود متأثر می‌سازد. بر همین اساس برای مطالعه اقلیم در یک منطقه خاص، درستی‌سنجی این داده‌ها در برابر مشاهدات زمینی موردنیاز است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵). مجموعه داده‌های بازتحلیل به دلیل در دسترس بودن برای مناطق وسیع به عنوان یک جایگزین و مکمل مناسب برای مشاهدات زمینی توسعه یافته‌اند. استفاده از این مجموعه داده‌ها در مناطق جغرافیایی خاصی که داده‌های ایستگاهی وجود ندارد و همچنین برای مطالعه وضعیت جو در یک شبکه یکنواخت، بسیار سودمند است (مونی و همکاران، ۲۰۱۱). مجموعه داده‌های مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF)، مانند نسخه‌های ERA-40، AgERA5، ERA-Interim و ERA5-Land یکی از منابع داده‌های بازتحلیل مهمی است که در سال‌های اخیر بسیار مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، مجموعه داده‌های بازتحلیل، کاربردهای گسترده‌ای در حوزه‌های مطالعاتی مختلف پیدا نموده‌اند. از جمله می‌توان به کاربرد این داده‌ها در مطالعه روندهای اقلیمی (پوودا و همکاران، ۲۰۰۶)، برآورد منابع انرژی تجدیدپذیر (هندفیدسون و همکاران، ۲۰۰۷) و مدل‌سازی اقلیمی (سیکارلی و همکاران، ۲۰۰۸) اشاره نمود. در رابطه با دما، بررسی‌ها حاکی از آن است که داده‌های بازتحلیل در دو حوزه مطالعاتی استفاده بیشتری داشته‌اند. حوزه اول پژوهش‌هایی را شامل می‌شود که تغییرات زمانی-مکانی دما را بررسی کرده‌اند (یلماز، ۲۰۲۳؛ یانگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ لین و همکاران، ۲۰۲۳). حوزه دوم نیز

ارزش و اعتبار آنها در قیاس با مجموعه داده‌های مشابه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. براین اساس، خلأ موجود در پژوهش‌های پیشین، انجام پژوهشی مستقل در این زمینه را ضروری ساخته است. در این پژوهش کارایی مجموعه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land، AgERA5 و مجموعه داده همادی-وزنی چندمنبعی MSWX در برآورد دمای ایران مورد بررسی قرار گرفته است. این سه مجموعه داده با داده‌های مشاهداتی (ایستگاه‌های همدیدی) درستی سنجی شده و کارایی هر کدام از این مجموعه داده‌ها نیز در مقیاس زمانی-مکانی، فصل‌های مختلف و پهنه‌های مختلف اقلیمی برای مشخص شدن کاراترین داده دمایی برای ایران، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲ داده‌ها و روش‌شناسی

۲-۱ داده‌ها

مجموعه داده‌های استفاده شده در این پژوهش در سه دسته داده‌های مشاهداتی (ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی)، مجموعه داده‌های بازتحلیل و داده‌های همادی-وزنی چندمنبعی قابل تقسیم‌بندی است که در ادامه توضیح داده شده‌اند (جدول ۱).

۲-۱-۱ داده‌های مشاهداتی (ایستگاه‌های همدیدی هواشناسی)

در این پژوهش از داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای میانگین روزانه ۹۸ ایستگاه هواشناسی همدیدی برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۱) استفاده شده است. موقعیت ایستگاه‌های همدیدی در پهنه‌های اقلیمی کوپن-گایگر در شکل ۱-الف نشان داده شده است. طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر اقلیم زمین را به پنج گروه

بازتحلیل می‌توانند جایگزین مناسبی برای داده‌های مشاهداتی باشند اما دارای اریبی زیادی هستند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷الف). همچنین درستی سنجی مجموعه داده‌های چندمنبعی نشان داده است که این مجموعه داده‌ها نسبت به داده‌های بازتحلیل و داده‌های ماهواره‌ای، کارایی بهتری را در برآورد متغیرهای اقلیمی ایران از خود به نمایش گذاشته‌اند (زرین و داداشی رودباری، ۲۰۲۲؛ عراقی و همکاران، ۲۰۲۳).

با توجه به وسعت زیاد، توپوگرافی پیچیده و تنوع اقلیمی، برآورد دقیق دما در ایران از اهمیت زیادی برخوردار است. شبکه ایستگاه‌های همدیدی در سطح کشور پراکنش مناسبی ندارند. در بسیاری از مناطق مانند نواحی کوهستانی مرتفع، کویرها، مناطق خشک و بیابان‌های داخلی تعداد ایستگاه‌ها بسیار محدود است. با وجود این که در حال حاضر تعداد ایستگاه‌های همدیدی در کشور بیش از ۴۰۰ ایستگاه است، اما تعداد ایستگاه‌هایی که طول دوره آماری بیش از ۳۰ سال داشته و برای مطالعات اقلیمی مناسب باشند بسیار کم است. محدود بودن تعداد ایستگاه‌ها، طول کوتاه دوره آماری و همچنین پراکنش نامناسب ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های ایستگاهی به تنهایی نمی‌تواند برای بررسی وضعیت اقلیمی کشور کافی باشد و وردایی زمانی-مکانی متغیرهای اقلیمی مانند دما را به خوبی نشان دهد. بنابراین، استفاده از داده‌های شبکه‌ای با تفکیک افقی بالا که از نظر زمانی پیوسته باشند و برای دوره‌های طولانی مدت در مناطق وسیع در دسترس باشند، ضرورت می‌یابد. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در ایران با استفاده از یک مجموعه داده بازتحلیل به بررسی دما پرداخته‌اند، اما در استفاده از این نوع داده‌ها،

جدول ۱. مشخصات مجموعه داده‌های بازتحلیل و همادی-وزنی چندمنبعی.

مجموعه داده	دوره زمانی	تفکیک افقی	نام متغیر
ERA5-Land	۲۰۲۰-۱۹۹۱	۰/۱ درجه قوسی	دمای کمینه، بیشینه و میانگین ماهانه
AgERA5			
MSWX			

مجموعه داده ERA5-Land متغیرهای سطح زمین را همانند ERA5 به شکل ساعتی اما با تفکیک افقی بالا ارائه می دهد و مزیت اصلی آن در مقایسه با ERA5 (۳۱ کیلومتر) و ERA-Interim (۸۰ کیلومتر) تفکیک افقی بالاتر این داده ها است که در سطح جهانی به ۰/۱ درجه قوسی (۹۰ کیلومتر) افزایش یافته است (بل و همکاران، ۲۰۲۱؛ هرسباخ و همکاران، ۲۰۲۰). تفکیک افقی بالا و گام زمانی ساعتی، همراه با طول دوره آماری طولانی، این داده را به مجموعه داده ای ارزشمند برای مطالعات هیدرولوژیکی، راه اندازی مدل های پیش بینی عددی جوی (NWP) و مدل های اقلیمی و همچنین پشتیبانی از برنامه های کاربردی مختلف در زمینه های مدیریت منابع آب، زمین و محیط زیست تبدیل کرده است.

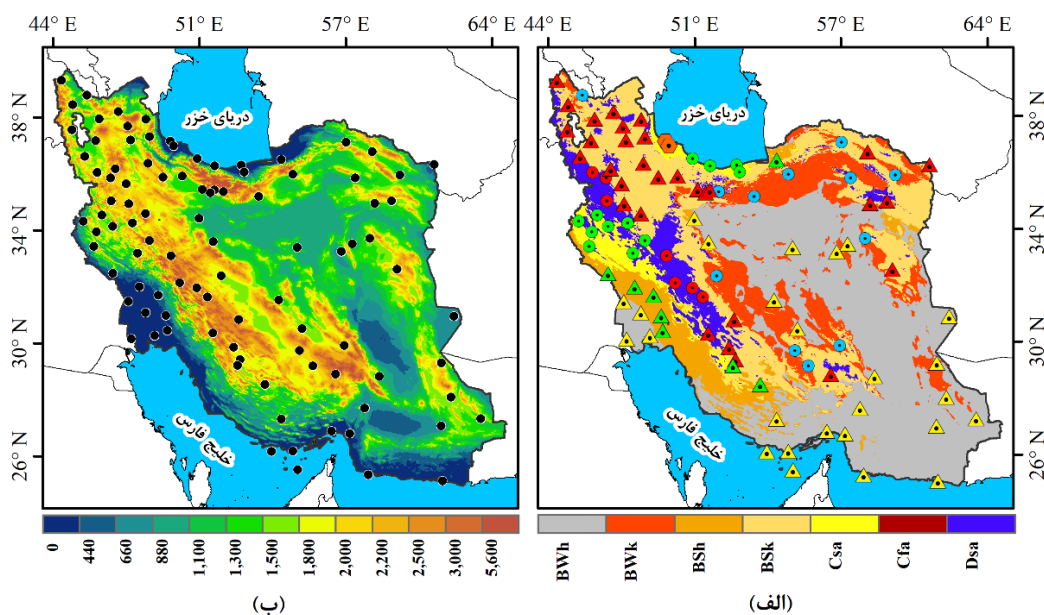
۲-۱-۳ مجموعه داده AgERA5

مجموعه داده AgERA5 داده های روزانه از متغیرهای جوی را با تفکیک افقی ۰/۱ درجه قوسی (۹۰ کیلومتر) به منظور استفاده در پژوهش های کشاورزی و هواشناسی کشاورزی ارائه می دهد. این مجموعه داده بر اساس داده های ERA5-ECMWF برای متغیرهای سطحی روزانه توسعه داده شده است و از سال ۱۹۷۹ تا کنون در دسترس است (هرسباخ و همکاران، ۲۰۲۰). مجموعه داده AgERA5 با انجام معادلات رگرسیونی خاص هر متغیر بر روی مدل ECMWF-HRES بر روی داده های درون یابی شده ERA5 در شبکه ۰/۱ درجه قوسی توسعه یافته است. با انجام این تصحیحات، فیزیک مدل در نقطه شبکه هایی که در مناطق کوهستانی یا در امتداد سواحل و دریاچه ها قرار دارند، بهبود یافته و داده های این مجموعه الگوی بهتر و دقیق تری از توپوگرافی، برهم کنش خشکی-دریا و الگوی کاربری اراضی ارائه می دهند و نسبت به داده های اولیه ERA5 که تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه قوسی دارند، از دقت بیشتری برخوردار هستند (هرسباخ و همکاران، ۲۰۲۰).

عمده اقلیمی A (حاره ای)، B (خشک و بیابانی)، C (معتدل)، D (سرد) و E (قطبی) تقسیم می کند که بر اساس این طبقه بندی ایران به ۱۳ پهنه اقلیمی مختلف تقسیم می شود. در مطالعه انجام شده توسط بک و همکاران (۲۰۱۸) با بهره گیری از مجموعه داده های همادی-وزنی چندمنبعی MSWX، تعداد ۷ پهنه اقلیمی اصلی برای ایران تشخیص داده شد. بنابراین، با مبنای قرارداد یافته های بک و همکاران (۲۰۱۸)، ایستگاه های مورد استفاده در این پژوهش، در هفت پهنه اقلیمی جای می گیرند که بیشترین تعداد ایستگاه ها در پهنه اقلیمی Bsk و کمترین تعداد آن ها در پهنه اقلیمی Cfa قرار دارند (شکل ۱-الف). در کنار پهنه های اقلیمی، پراکنش جغرافیایی ۹۸ ایستگاه همدیدی در پهنه جغرافیایی ایران، همراه با پس زمینه توپوگرافی، در شکل ۱-ب نشان داده شده است.

۲-۱-۲ مجموعه داده ERA5-Land

مجموعه داده ERA5-Land یک مجموعه داده بازتحلیل برای بخش زمین محصول نسل پنجم (ERA5) مرکز اروپایی پیش بینی های میان مدت جو (ECMWF) است. این مجموعه داده برون داد مستقیم مدل ECMWF H-TESEL است و در حقیقت یک باز تولید از مؤلفه سطحی نسخه اولیه ERA5 محسوب می گردد که مدل آن با تفکیک مکانی ۹ کیلومتر به اجرا در آمده است (مُنوز-ساباتر و همکاران، ۲۰۲۱). در مجموعه داده ERA5-Land، ضمن حذف اقیانوس ها و دریاها، متغیرهای اقلیمی سطحی صرفاً برای خشکی ها با تفکیک افقی بالا ارائه گردیده است. داده های این مجموعه توصیف دقیقی از اقلیم گذشته می دهند و در مجموع حدود ۵۰ متغیر اقلیمی را شامل می شود که چرخه های آب و انرژی را بر روی زمین به صورت جهانی توصیف و از آن ها برای تحلیل روندها و بی هنجاری های اقلیمی استفاده می شود. داده های این مجموعه از سال ۱۹۵۰ تا یک هفته قبل از زمان حال در دسترس است.



شکل ۱. الف) طبقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر (بک و همکاران، ۲۰۱۸) به همراه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در ۷ پهنه اقلیمی اصلی. بر روی نقشه، نوع اقلیم متناسب به هر ایستگاه با علامت خاص نشان داده شده است. زیرشکل، مشخصات مربوط به هر علامت و تعداد ایستگاه مربوط به هر پهنه اقلیمی آورده شده است. ب) مدل رقمی ارتفاعی (DEM) برحسب متر، همراه با پراکنش ۹۸ ایستگاه همدیدی طی دوره آماری (۱۹۹۱-۲۰۲۰).

از مجموعه داده‌هایی مانند ERA5، CHELSA، GDAS، FLUXNET، CRU TS، GEFS، GHCN-D، MSWX و GSOD استفاده می‌کند. مجموعه داده MSWX دارای چندین ویژگی منحصر به فرد از جمله (۱) تصحیح اریبی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی مرجع با تفکیک افقی بالا، (۲) تفکیک افقی و زمانی بالا (۳ ساعته و ۰/۱ درجه قوسی)، (۳) تأخیر کم (به‌روزرسانی با تقریباً ۳ ساعت از زمان واقعی) و (۴) هماهنگی با منابع مختلف داده برای به‌دست آوردن داده‌های پیوسته است. مجموعه داده MSWX، ۱۰ متغیر جوی شامل دمای میانگین، کمینه و بیشینه دما، فشار سطح، رطوبت نسبی و نم و یژه، تندی باد، تابش طول‌موج کوتاه و تابش طول‌موج بلند را ارائه می‌کند

۴-۱-۲ مجموعه داده MSWX

مجموعه داده همدادی - وزنی چندمنبعی اقلیمی (MSWX)، مجموعه‌ای شامل داده‌های نزدیک به سطح زمین با پوشش جهانی و تفکیک افقی ۰/۱ درجه قوسی است. به‌روزرسانی‌های این مجموعه داده تقریباً با ۳ ساعت تأخیر از زمان واقعی در دسترس قرار می‌گیرند. این مجموعه داده بر مبنای داده‌های ERA5 توسط مرکز GloH20 با انجام روش‌های مقیاس‌کاهی آماری و تصحیح اریبی با استفاده از داده‌های اقلیمی مرجع از مشاهدات ایستگاه‌های زمینی، محصولات ماهواره‌ای و یا خروجی‌های مدل توسعه‌یافته است. این مجموعه داده ترکیبی از داده‌های بازتحلیل، ماهواره‌ای و ایستگاهی را در ورودی داده‌های خود دارد و

تعداد ایستگاه	نوع اقلیم	نام اختصاری	تعداد ایستگاه	نوع اقلیم	نام اختصاری
۱۲	معتدل با تابستان‌های خشک و گرم	Csa ●	۲۶	گرم و خشک بیابانی	BWh ▲
۲	معتدل مرطوب با تابستان‌های گرم	Cfa ●	۱۲	سرد و خشک بیابانی	BWk ●
۷	سرد با تابستان‌های خشک و گرم	Dsa ●	۸	گرم و خشک استپی	BSh ▲
			۳۱	سرد و خشک استپی	BSk ▲

دمای ایران، با تهیه نقشه های دمای میانگین سالانه، وضعیت سه مجموعه داده در قیاس با داده های ایستگاهی بررسی شد. در ادامه، جهت درستی سنجی دمای میانگین در سه مجموعه داده به تفکیک برای ۷ پهنه اقلیمی اصلی، از سه سنجه آماری رایج استفاده شد. سنجه های آماری استفاده شده، امکان آشکارسازی جنبه های متفاوتی از خصوصیات داده ها را فراهم نمودند، به طوری که، ارزیابی دقت و کیفیت هر یک از داده ها برای مناطق مختلف اقلیمی ایران با سهولت بیشتری میسر گردید. در نهایت، پس از تعیین مناسب ترین مجموعه داده، با استفاده از داده منتخب، نقشه های دمای میانگین ماهانه ایران برای یک دوره اقلیمی تهیه شد و مورد تحلیل قرار گرفت.

۲-۲-۱ درستی سنجی

برای درستی سنجی مجموعه داده های ERA5-Land، MSWX و AgERA5 در برابر داده های مشاهداتی طی دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ از سنجه های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب توافق (d) و اریبی (BIAS) استفاده شد. هر یک از سنجه ها جنبه متفاوتی از داده های مورد مطالعه را مورد ارزیابی قرار می دهند. سنجه RMSE یکی از مرسوم ترین سنجه های برآورد خطا است و از آن برای ارزیابی کارایی داده های شبیه سازی / بازتحلیل در برابر داده های مشاهداتی استفاده می شود و هرچه خروجی آن به صفر نزدیکتر باشد، نشان دهنده خطای کمتر در داده های شبیه سازی / بازتحلیل است. سنجه BIAS اریبی مقادیر برآورد شده متغیر را به بزرگ تر یا کوچک تر بودن از مقادیر مشاهده شده نشان می دهد. مقدار بهینه این سنجه صفر است. BIAS می تواند مثبت یا منفی باشد. مقادیر مثبت آن نشان دهنده بیش برآوردی و مقادیر منفی این سنجه نشان دهنده کم برآوردی در داده مورد مطالعه نسبت به داده مشاهداتی است. ضریب توافق ویلموت (d) یک سنجه استاندارد است که برای سنجش درجه خطای پیش بینی مدل

(بک و همکاران، ۲۰۲۲). این مجموعه داده فرصت های جدید و منحصر به فردی را برای طیف گسترده ای از کاربردها مانند مدل سازی هیدرولوژیکی، مدیریت منابع آب، تحلیل های اقلیمی، ارزیابی اثرات و ردیابی بیماری، پایش کشاورزی و پیش بینی فرین های اقلیمی (خشکسالی، سیل و امواج گرما) در مقیاس جهانی و منطقه ای ارائه می دهد.

۲-۲ روش پژوهش

برای ارزیابی کارایی سه مجموعه داده و در راستای تعیین مناسب ترین داده دما بر روی ایران، ابتدا با استفاده از سه متغیر دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای میانگین و به کارگیری سه سنجه آماری رایج، کیفیت سه مجموعه داده ERA5-Land، AgERA5 و MSWX در مقایسه با داده های ۹۸ ایستگاه همدیدی ایران (شکل ۱-ب) در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفت. سپس، با بهره گیری از برونداد سه مجموعه داده فوق و داده های ایستگاهی، الگوی فضایی مقادیر دمای بیشینه، کمینه و میانگین در قیاس با داده های مشاهداتی با ترسیم نقشه های میانگین سالانه برای دوره ۳۰ ساله مقایسه شد.

در ادامه، از یک سو، با توجه به این که، مقادیر دمای میانگین برآیند دمای بیشینه و کمینه بر روی ایران بوده و بنابر نتایج تحقیق حاضر، ویژگی های این دو متغیر در دمای میانگین مستتر است، و از سوی دیگر، به جهت کاهش حجم پژوهش، تنها از متغیر دمای میانگین برای انجام ارزیابی های بعدی استفاده شد. در این مرحله، ابتدا تغییرات زمانی سه مجموعه داده در قیاس با داده های ایستگاهی به تفکیک برای کل پهنه جغرافیایی ایران و ۷ پهنه اقلیمی اصلی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از مقادیر متوسط پهنه ای دمای میانگین سالانه به تفکیک پهنه های اقلیمی، برای دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۲۰) استفاده شد. همچنین، به منظور فراهم نمودن یک ارزیابی فضایی از مقادیر میانگین

(ویلومت، ۱۹۸۱). مزیت ضریب توافق (d) این است که به خطاها و تفاوت‌ها وزن مناسب می‌دهد نه به مقادیر مجذور آن‌ها. روابط سنجه‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۲) آورده شده است.

توسعه یافته است. مقدار این سنجه بین صفر و ۱ متغیر است. این ضریب به مقادیر حساس است و مقدار یک آن نشان‌دهنده تطابق کامل داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی و مقدار صفر آن عدم توافق را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات و روابط مربوط به هر یک از سنجه‌های استفاده شده در پژوهش.

سنجه آماری	روش محاسبه سنجه	بازه محاسباتی	مقدار بهینه سنجه
ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (sim_i - obs_i)^2}$	$(0, +\infty)$	صفر
اریبی (BIAS)	$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (obs_i - sim_i)$	$(-\infty, +\infty)$	صفر
ضریب توافق ویلموت (d)	$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (sim_i - obs_i)^2}{\sum_{i=1}^n (sim_i + obs_i)^2} \right]$	$(0, 1)$	یک
ضریب همبستگی (r)	$r = \frac{(sim_i - \overline{sim})(obs_i - \overline{obs})}{\sqrt{\sum (sim_i - \overline{sim})^2 \sum (obs_i - \overline{obs})^2}}$	$(-1, +1)$	یک

(Kriging) پرکاربردترین روش کریجینگ است که در آن مقدار متغیر در هر نقطه اندازه‌گیری نشده با استفاده از میانگین وزنی خطی مقادیر اندازه‌گیری شده در اطراف نقطه مورد نظر برآورد می‌شود (واکرناگل، ۲۰۰۳). در این روش برای بیان تغییرات فضایی از نمودار پراکنش استفاده می‌شود.

در روابط بالا sim_i مقدار برآورد شده، obs_i مقدار مشاهداتی (ایستگاه‌های همدیدی) و n تعداد کل داده‌ها را نشان می‌دهد. sim_i' تفاضل داده برآورد شده و میانگین کل داده‌های sim_i در جامعه آماری است. obs_i' تفاضل داده مشاهداتی و میانگین کل داده‌های obs_i در جامعه آماری است.

۲-۲-۲ روش درونیابی کریجینگ

کریجینگ (Kriging) یک روش درونیابی زمین آماری است که از مدل‌های آماری برای برآورد مقدار یک سطح پیوسته در مکان‌های نمونه‌برداری نشده بر اساس مقادیر نقاط نمونه اطراف استفاده می‌کند. درونیابی کریجینگ بر پایه میانگین متحرک وزنی استوار است، به طوری که می‌توان گفت این روش بهترین برآوردکننده خطی نااریب و بهترین روش برای پهنه‌بندی متغیر دما است (ایرماک و همکاران، ۲۰۱۰). روش کریجینگ معمولی (Ordinary

۳ نتایج و بحث

۳-۱ درستی سنجی مقادیر بیشینه، کمینه و

میانگین دمای سالانه در ایران

بررسی دماهای کمینه و بیشینه همواره جزئیات بیشتری از اقلیم منطقه‌ای را آشکار می‌سازد. در این میان، ارزیابی دماهای بیشینه و کمینه برای کشوری چون ایران که از یک سو بالاترین دماهای سیاره را در مناطق بیابانی داخلی تجربه می‌کند (میلدرکسلر و همکاران، ۲۰۰۶؛ ۲۰۱۱؛ استون، ۲۰۱۶؛ آذردرخش و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژائو و همکاران،

درحالی است که، در مجموعه داده های AgERA5 و MSWX، مقادیر اریبی به ترتیب، تنها در ۲۲٪ و ۳۶٪ از نقطه شبکه های مورد بررسی، مقداری بیش از ۲°C داشته است. بر این اساس، در برآورد دمای بیشینه، داده های AgERA5 و MSWX به طور محسوسی از خطای کمتری برخوردار بوده اند. بررسی ها بیانگر آن است که، مقادیر بیش برآوردی در دو داده فوق، در اغلب نقطه شبکه ها، مقداری کمتر از ۲°C می باشد. در این میان، تعداد معدودی از نقاط نیز یک اریبی منفی را در قیاس با داده های ایستگاهی تجربه نموده اند، که در بین دو داده یادشده، MSWX از مقادیر اریبی منفی بیشتری برخوردار بوده است. در کل، داده MSWX در قیاس با دو مجموعه داده دیگر، با مقادیر متوسط اریبی و انحرافات کمتر و تغییرپذیری پایین، در برآورد دمای بیشینه شرایط مطلوب تری را نشان داده است. مقادیر اریبی کمتر از ۱°C در داده MSWX در ۵۰٪ از نقطه شبکه ها مشاهده شده است. این درحالی است که، این مقدار برای AgERA5 و ERA5-Land به ترتیب ۲۸٪ و ۰٪ می باشد (شکل ۲).

بررسی مقادیر RMSE الگویی مشابه سنجه اریبی را برای سه مجموع داده در رابطه با متغیر دمای بیشینه نشان می دهد. با در نظر گرفتن تعداد ۹۸ نقطه شبکه، مقادیر متوسط RMSE برای سه مجموعه داده AgERA5، ERA5-Land و MSWX به ترتیب ۵/۰۷°C، ۱/۸۴°C و ۱/۴۳°C بدست آمده است. در این میان، برای سه مجموعه داده فوق، مقادیر RMSE کمتر از ۱°C، به ترتیب در ۰٪، ۲۵٪ و ۴۰٪ از نقطه شبکه ها مشاهده گردیده است. در بررسی دمای بیشینه برای داده ERA5-Land، به وضوح مقادیر RMSE بالای ۵°C در تمامی مناطق جغرافیایی ایران مشاهده می شود. این در حالی است که، در نقشه مربوط به داده MSWX بیشتر نقطه شبکه ها مقادیر کمتر از ۲°C را نشان می دهند (شکل ۲).

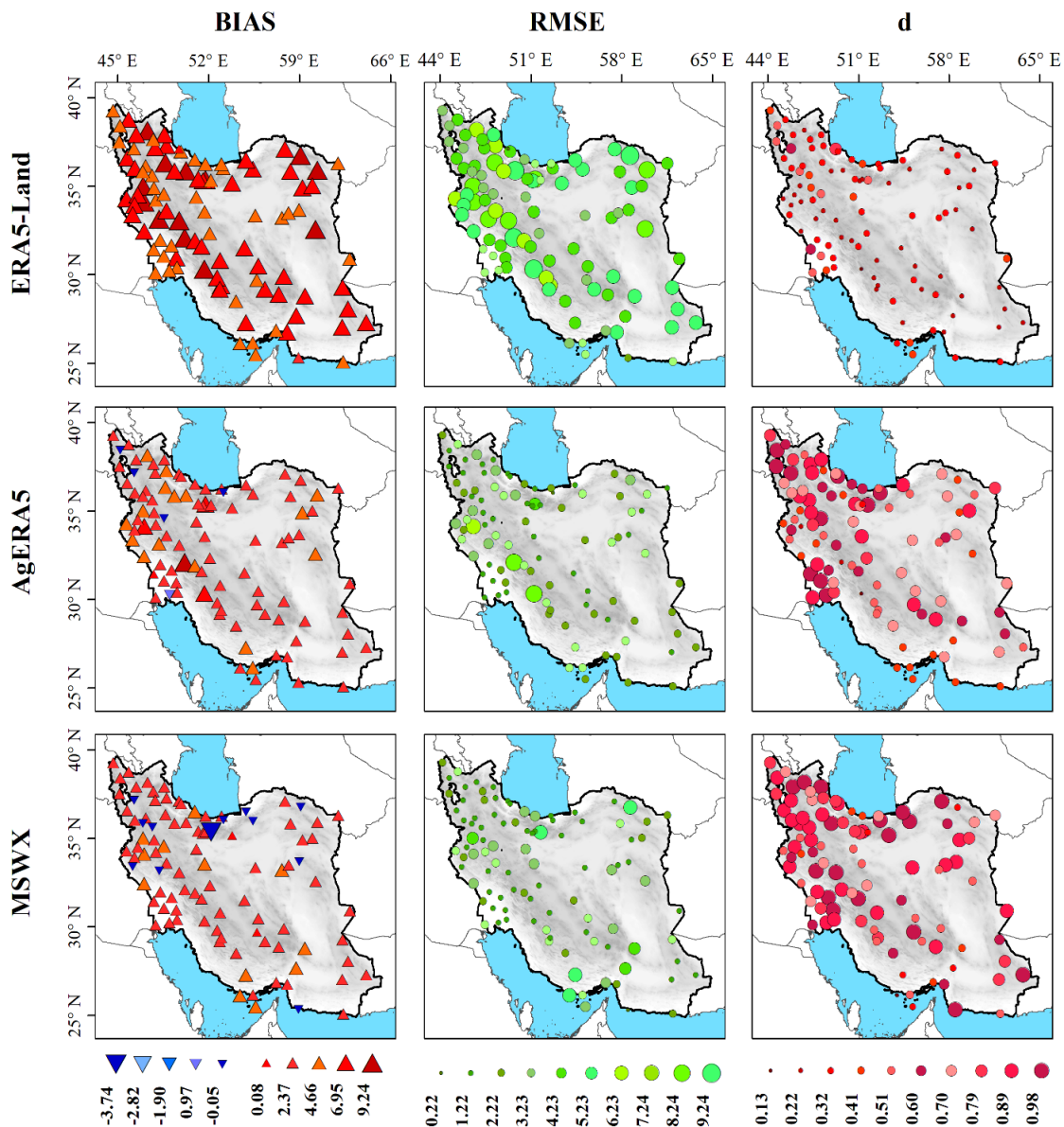
بررسی ضریب توافق (d) مجدداً الگوی فضایی مشابه سنجه های قبلی به نمایش می گذارد. بدین ترتیب که، در

۲۰۲۱) و از سوی دیگر، به جهت تسلط دماهای پایین در مناطق مرتفع کوهستانی، شرایط تشکیل یخچال های طبیعی کوهستانی (فریجنو، ۱۹۹۱؛ موسوی و همکاران، ۲۰۰۹) و پوشش برف گسترده در آن فراهم گردیده، ارزشی دوچندان می یابد. از این رو، در این بخش، با بهره گیری از سه سنجه اریبی (Bias)، میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) و ضریب توافق (d)، کیفیت سه مجموعه داده ERA5-Land، AgERA5 و MSWX در مقایسه با داده های ۹۸ ایستگاه همدیدی ایران (شکل ۱-ب) به تفکیک برای دماهای بیشینه، کمینه و میانگین در مقیاس سالانه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، جهت درستی سنجه داده ها از مقادیر دمای مربوط به نزدیکترین نقطه شبکه نسبت به هر ایستگاه برای یک دوره آماری ۳۰ ساله استفاده شد.

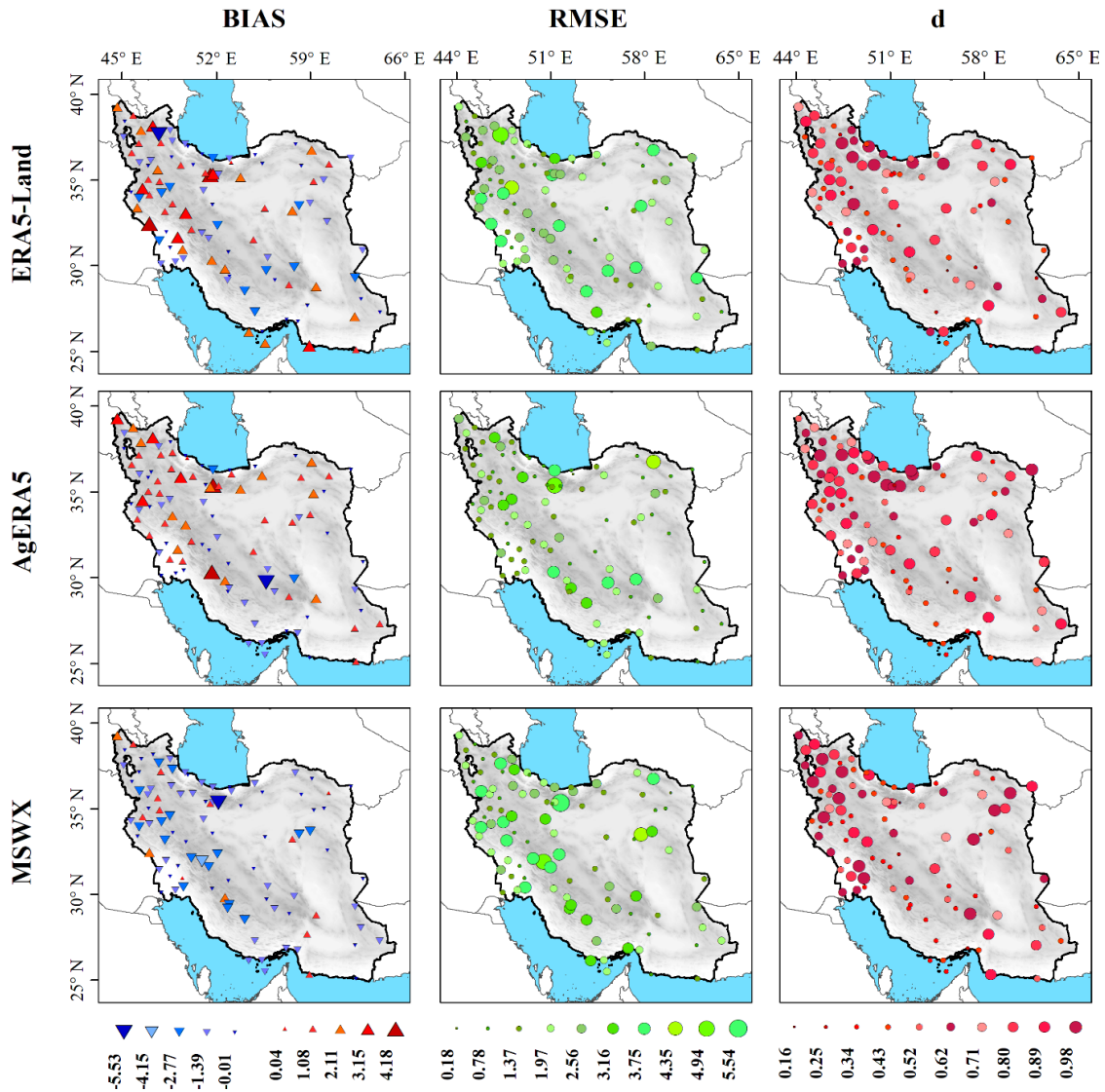
شکل ۲ مقادیر سه سنجه آماری، به تفکیک برای سه مجموعه داده، برای متغیر دمای بیشینه را نشان می دهد. در همان نگاه اول، مقادیر بالای اریبی مثبت (بیش برآوردی) در نقشه مربوط به ERA5-Land در قیاس با دو مجموعه داده دیگر، قابل مشاهده است. در واقع، داده های ERA5-Land برای ۹۸ نقطه شبکه مورد بررسی، به طور متوسط بیش از ۵°C بیش برآوردی را در مقایسه با داده های ایستگاهی نشان می دهند. این درحالی است که، مقادیر متوسط بیش برآوردی برای دو داده AgERA5 و MSWX به ترتیب ۱/۷۵°C و ۱/۱۶°C می باشد. بدین ترتیب، مقادیر اریبی در داده ERA5-Land، تفاوت قابل توجه و محسوس دمای بیشینه برون داد این مجموعه داده را در قیاس با داده های ایستگاهی برای ایران نشان می دهد. در این رابطه، در محورهای کوهستانی زاگرس، آذربایجان، بخش غربی البرز و کوه های خراسان شمالی مقادیر بیشینه اریبی به بیش از ۹°C بالغ می گردد. در مجموع، داده های ERA5-Land تقریباً در هیچ نقطه ای از کشور مقادیر اریبی پایین تر از ۲°C را در مقایسه با داده های مشاهداتی تجربه نمی کند. این

MSWX در مقایسه با دو داده دیگر، دمای بیشینه را در گستره جغرافیایی ایران به شکل مطلوب‌تری برآورد نموده‌است. این در حالی است که، داده ERA5-Land از بالاترین مقادیر خطا و کمترین مطلوبیت برخوردار بوده‌است.

مقایسه با داده‌های ایستگاهی، مجموعه داده ERA5-Land تقریباً در هیچ نقطه شبکه‌ای مقادیر بالای ۰/۵ را نشان نداده است. این در حالی است که، داده‌های AgERA5 و MSWX به ترتیب در ۶۶٪ و ۷۶/۵٪ از نقاط، ضریب توافقی بالای ۰/۵ را با داده‌های ایستگاهی به نمایش گذاشته‌اند. در مجموع، با در نظر گرفتن سه سنجه استفاده شده، داده



شکل ۲. درستی سنجی مقادیر بیشینه دمای سالانه برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۲۰) به تفکیک برای سه مجموعه داده ERA5-Land, AgERA5 و MSWX با بهره‌گیری از ۹۸ ایستگاه همدیدی. ستون سمت چپ، مقادیر اریبی (Bias) به تفکیک برای سه مجموعه داده (برحسب °C). ستون وسط، مقادیر میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) برحسب °C. ستون سمت راست، ضریب توافق (d). برای درستی سنجی از مقادیر مربوط به نزدیکترین نقطه شبکه به هر ایستگاه استفاده شد.



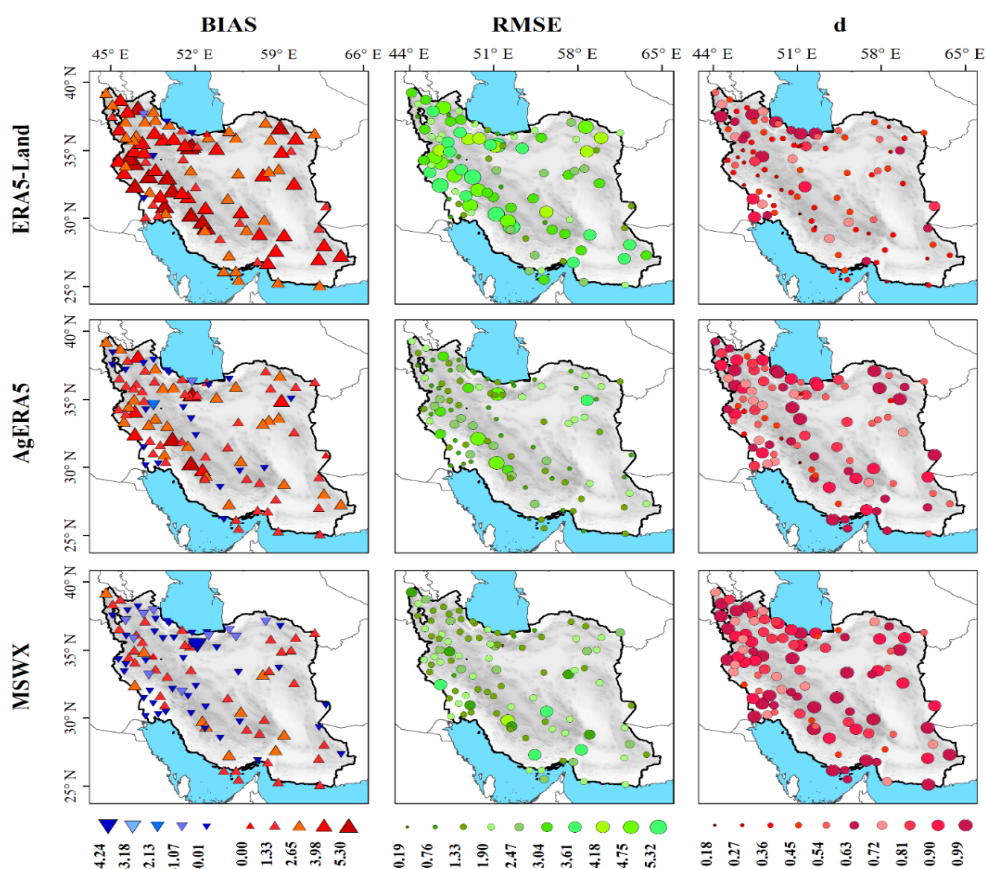
شکل ۲. همانند شکل ۱ اما برای مقادیر کمینه دمای سالانه. واحدها برای هر سنجه همچون شکل ۱ می باشند.

بیشتر آن که، در داده AgERA5 مقادیر اریبی کمتر از 1°C در ۵۱٪ از نقطه شبکه‌ها قابل مشاهده است. این در حالی است که، در دو مجموعه داده MSWX و ERA5-Land تنها در حدود ۳۰٪ از نقطه شبکه‌ها مقادیر اریبی کمتر از 1°C را نشان می‌دهند. در مجموع، داده AgERA5 با مقادیر متوسط اریبی، RMSE و ضریب توافق $1/17^{\circ}\text{C}$ ، $1/34^{\circ}\text{C}$ و $0/64$ در مقایسه با دو مجموعه داده دیگر، در برآورد دمای کمینه، وضعیت مطلوب‌تری را نشان می‌دهد. این در حالی است که، داده‌های MSWX و ERA5-Land

برخلاف دمای بیشینه، در ارزیابی دمای کمینه، مقادیر اریبی کمتری برای هر سه مجموعه داده مشاهده می‌گردد. این ویژگی برای سنجه RMSE نیز صادق است. همان‌طوری که شکل ۳ نشان می‌دهد، مقادیر این سنجه برای هیچ یک از داده‌ها از مرز $5/5^{\circ}\text{C}$ فراتر نمی‌رود. بررسی دمای کمینه برای ۹۸ نقطه شبکه‌حاکمی از آن است که، مجموعه داده AgERA5 در مقایسه با دو مجموعه داده دیگر، از شرایط مطلوب‌تری در برآورد دمای کمینه ایران در هر سه سنجه آماری برخوردار است. توضیح

جائی که از ۹۸ نقطه شبکه مورد بررسی، تعداد ۸۳ نقطه (۸۵٪) مقادیر اریبی منفی را نشان داده اند. این مقدار برای مجموعه داده ERA5-Land و AgERA5 به ترتیب ۵۷٪ (۵۸٪) و ۵۲٪ (۵۳٪) نقطه شبکه بوده است. در درستی سنجی مقادیر میانگین دما برای سه مجموعه داده، مقادیر سه سنجه آماری، وضعیت حدواسط بین دمای پیشینه و دمای کمینه را نشان می دهند (شکل ۴).

به ترتیب با مقادیر متوسط اریبی $1/65^{\circ}\text{C}$ و $1/56^{\circ}\text{C}$ و RMSE $1/77^{\circ}\text{C}$ و $1/69^{\circ}\text{C}$ و میانگین ضریب توافق $0/54$ و $0/5$ برآوردهای همراه با خطای بیشتر را از دمای کمینه ایران به نمایش گذاشته اند (شکل ۳). نکته قابل ذکر دیگر، برخلاف دمای پیشینه، هر سه مجموعه داده در برآورد دماهای کمینه، کم برآوردی آشکاری را برای مناطق مختلف جغرافیایی ایران از خود نشان داده اند. در یک ارزیابی کلی، بیشترین درصد کم برآوردی در داده MSWX مشاهده می شود.



شکل ۴. همانند شکل ۲ اما برای مقادیر میانگین دمای سالانه. واحدها برای هر سنجه همچون شکل ۲ می باشد.

باتوجه به شکل ۴، مقادیر متوسط اریبی برای داده های MSWX، AgERA5 و ERA5-Land به ترتیب $0/75^{\circ}\text{C}$ ، $1/16^{\circ}\text{C}$ و $2/45^{\circ}\text{C}$ می باشد. این درحالی است که، در سه داده فوق، مقادیر اریبی کمتر از 1°C به ترتیب در 71% ، 47% و 16% از نقطه شبکه ها مشاهده گردیده است. در بررسی سنجه RMSE، مقادیر کمتر از 1°C برای سه مجموع داده فوق، به

با این وجود، به نظر می رسد مقادیر سه سنجه، بیش از آن که از دمای کمینه متأثر شوند، بیشتر از دمای پیشینه تبعیت می نمایند. بر این اساس، مطلوب ترین داده در وهله اول داده MSWX و در مرتبه بعد AgERA5 خواهد بود. در این میان، داده ERA5-Land در هر سه سنجه کمترین مطلوبیت و بیشترین خطا را نشان داده است.

نمایند. از جمله این کاستی‌ها، می‌توان به فاصله زیاد ایستگاه‌ها، عدم توزیع فضایی برابر آنها، کمبود و یا نبود ایستگاه در مناطق خشک، بیابان‌های داخلی و مناطق کوهستانی مرتفع اشاره نمود. کاستی‌های یادشده در تحقیقات مختلفی، همانند زرین و داداشی‌رودباری (۱۴۰۱) و سرهان و همکاران (۲۰۲۳) گزارش شده است. جهت فراهم نمودن یک ارزیابی کلی، با بهره‌گیری از داده‌های میانگین سالانه دمای کمینه، دمای بیشینه و میانگین دما، شکل ۵ تهیه شد. در شکل یادشده، وضعیت دمای کشور در سه مجموعه داده ERA5-Land، AgERA5 و MSWX در قیاس با داده‌های ایستگاهی به شکل فضایی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

در بررسی دمای میانگین سالانه این حقیقت آشکار گردید که میانگین سالانه دما در مناطق مختلف کشور از کمینه $0/61^{\circ}\text{C}$ در مناطق بسیار مرتفع تا $29/68^{\circ}\text{C}$ در جنوب-جنوب شرق کشور متغیر است. میانگین دما در ایران با توجه به عرض جغرافیایی، فاصله از دریا و ارتفاع متفاوت است. با افزایش عرض جغرافیایی از جنوب به شمال دما در کشور کاهش می‌یابد و دلیل کلی آن می‌تواند افزایش زاویه تابش و کاهش شدت تابش خورشیدی باشد. با این وجود، رشته‌کوه‌های مرتفع در غرب، شمال غرب و شمال کشور تغییراتی را در الگوی کاهش دما ایجاد می‌نمایند (سرهان و همکاران، ۲۰۲۳). در مقایسه مقادیر میانگین دما، دو داده ERA5-Land و AgERA5 مقادیر کمینه مشاهده شده در مناطق کوهستانی مرتفع، واقع در رشته‌کوه‌های البرز، زاگرس، ارتفاعات آذربایجان و کرمان را به شکل بارزتری آشکار نموده‌اند. در این میان، مجموع داده ERA5-Land در قیاس با دو مجموعه داده دیگر، پایین‌ترین دماها را در محورهای کوهستانی یادشده نشان می‌دهد، که بنابر نتایج بخش قبل، می‌بایست ناشی از اریبی زیاد این داده باشد. در مقابل، داده MSWX که بنابر نتایج بخش قبل، در برآورد دمای کشور از یک کم برآوردی رنج می‌برد، مقادیر دمای

ترتیب در $0/59\%$ ، $0/42\%$ و $0/15\%$ از نقطه شبکه‌ها قابل مشاهده است. در همین رابطه، مقادیر متوسط RMSE برای سه مجموعه داده $0/92^{\circ}\text{C}$ ، $1/28^{\circ}\text{C}$ و $2/50^{\circ}\text{C}$ محاسبه گردیده است. در نهایت، مقادیر متوسط ضریب توافق برای سه مجموعه داده به ترتیب $0/75$ ، $0/65$ و $0/45$ می‌باشد. همچنین، مقادیر ضریب توافق بیش از $0/5$ در سه مجموعه داده MSWX، AgERA5 و ERA5-Land در مقایسه با داده‌های ایستگاهی، به ترتیب در $0/91\%$ ، $0/80\%$ و $0/30\%$ از نقطه شبکه‌ها مشاهده شده است.

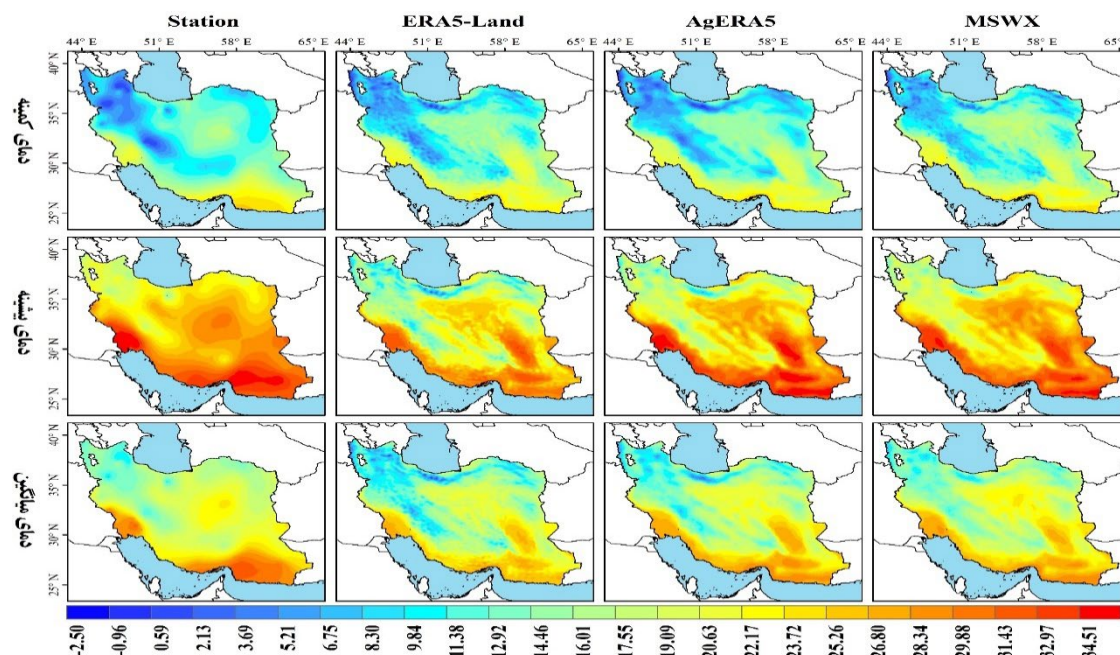
در مجموع، بررسی‌ها حاکی از برتری مجموعه داده MSWX بر دو داده دیگر می‌باشد. نقطه شبکه مورد بررسی در این مجموعه داده، تعداد ۵۱ نقطه شبکه در مقایسه با داده‌های ایستگاهی دارای اریبی منفی (کم برآوردی) هستند.

با این وجود، ذکر این نکته مهم به نظر می‌رسد که، دمای میانگین در مجموعه داده MSWX به جهت تأثیرپذیری از دمای کمینه، بالاترین درصد اریبی منفی (کم برآوردی) را در قیاس با دو داده دیگر برای ایران نشان داده است. به گونه‌ای که، از تعداد ۹۸ نقطه شبکه مورد بررسی در این مجموعه داده، تعداد ۵۱ نقطه شبکه در مقایسه با داده‌های ایستگاهی دارای اریبی منفی (کم برآوردی) هستند.

۲-۳ پراکنش فضایی میانگین سالانه دما در ایران
مجموعه داده‌های ERA5-Land، AgERA5 و MSWX به خوبی می‌توانند الگوی مکانی دما را در مقیاس سالانه ارائه دهند (شکل ۵). در مقابل، مجموعه داده‌های ایستگاهی درون یابی شده، اگرچه در تحقیق حاضر به عنوان داده‌های مشاهداتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما به دلیل کاستی‌هایی که در ساختار شبکه ایستگاهی کشور وجود دارد، نمی‌توانند دما را در ارتفاعات و مناطق خشک و بیابان‌های داخلی به درستی نشان دهند و نقش ارتفاعات البرز و زاگرس را در تغییرات فضایی دمای ایران منعکس

نوارگرم ساحلی واقع در جنوب شرق کشور را نشان می‌دهند. این درحالی است که، کانون‌های گرم یادشده به جهت کاستی‌هایی که پیش‌تر بیان شد، در نقشه مربوط به داده‌های ایستگاهی متمایز و آشکار نگردیده‌اند (شکل ۵).

سالانه بالاتری (گرم‌تری) را در محورهای کوهستانی یادشده نشان می‌دهد. از سوی دیگر، هر سه مجموعه داده در قیاس با داده‌های ایستگاهی، به خوبی و به شکلی متمایز و برجسته، کانون‌های گرم بیابان لوت، چاله جازموریان و



شکل ۵. میانگین سالانه دمای کمینه (بالا)، بیشینه (وسط) و متوسط (پایین) در ایران به تفکیک برای داده‌های ایستگاهی و برون‌داد مجموعه داده‌های ERA5-Land، AgERA5 و MSWX (واحد: °C).

داخلی مشهودتر است. در کل، به واسطه دوری ایستگاه‌ها از هم و نبود اطلاعات کافی، در درون‌یابی داده‌های ایستگاهی، یک الگوی متحدالمرکز و جزیره‌ای در نشان دادن مقادیر بیشینه و کمینه دما در سطح کشور مشاهده می‌شود. این درحالی است که، بکارگیری ترکیبی داده‌های ایستگاهی، ماهواره‌ای و مدل در فرآیند تولید سه مجموعه داده، سبب ارایه یک الگوی فضایی کامل‌تر از وضعیت دمایی ایران در داده‌های یادشده گردیده است. در یک ارزیابی کلی از سه متغیر بکار گرفته شده، الگوی فضایی دما بیانگر آن است که دما در ایران از غرب به شرق افزایشی است، که علت آن وجود ارتفاعات، از جمله رشته کوه‌های زاگرس در غرب کشور است. به طور کلی بیشینه دماهای

در نقشه‌های میانگین دمای بیشینه و دمای کمینه، شرایطی مشابه نقشه‌های دمای میانگین سالانه حکم فرماست. وجه مشترک تمامی نقشه‌ها ناتوانی و ضعف داده‌های ایستگاهی در قیاس با سه مجموعه داده، در آشکارسازی مقادیر دما و الگوی توزیع پراکنش آن در کانون‌های اصلی سرد و گرم کشور است. به طوری که، در دو نقشه مربوط به دمای کمینه و بیشینه، وضعیت دمایی بیابان لوت، چاله جازموریان و مناطق خشک و بیابان‌های داخلی از یک سو و محورهای مرتفع کوهستانی در البرز، زاگرس و آذربایجان از سوی دیگر، هم از نظر مقادیر و هم از نظر الگوی فضایی در داده‌های ایستگاهی در قیاس با سه مجموعه داده، به شکل مطلوبی آشکار نگردیده است. این مسئله برای مناطق بیابانی

بررسی سری زمانی بلند مدت (۲۰۲۰-۱۹۹۱) میانگین دمای سالانه نشان می‌دهد که هر سه مجموعه داده ERA5-Land، AgERA5 و MSWX انطباق خوبی با دمای سالانه مشاهداتی دارند (شکل ۶). تغییرات سال به سال هر سه مجموعه داده ERA5-Land، AgERA5 و MSWX در متوسط پهنه کشور و در تمام پهنه‌های اقلیمی، مشابه با تغییرات دما در داده‌های مشاهداتی است. به طوری که هر سه مجموعه داده به خوبی توانسته‌اند بالاترین و پایین‌ترین میانگین دمای ۳۰ ساله، که بر اساس داده مشاهداتی به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰ و ۱۳۹۲ بوقوع پیوسته‌است را بازتولید نمایند. همچنین روندهای کاهشی و افزایشی دما در هر سه مجموعه داده با داده‌های مشاهداتی مطابقت کامل دارد. مقایسه سری زمانی سه مجموعه داده با داده‌های مشاهداتی در پهنه‌های اقلیمی مختلف نشان می‌دهد که بالاترین همبستگی‌ها و بیشترین تطابق روند سری زمانی برای هر سه مجموعه داده در پهنه‌های اقلیمی Bsk و Cfa است که هر سه مجموعه داده همبستگی بیش از ۰/۹۷ با داده‌های مشاهداتی دارند. در مقابل، در پهنه‌های Dsa و Bsh بیشترین فاصله را با داده‌های مشاهداتی دارند و پایین‌ترین ضرایب همبستگی به دست آمده در این پهنه‌ها مشاهده می‌شود. به طوری که، ضریب همبستگی بین ERA5-Land و داده مشاهداتی در پهنه Dsa، ۰/۸۶ و در پهنه Bsh ۰/۹۰ به دست آمده است.

در مقایسه سه مجموعه داده با داده‌های مشاهداتی ملاحظه می‌شود که مجموعه داده MSWX بالاترین همبستگی را با داده‌های مشاهداتی در کلیه پهنه‌های اقلیمی و همچنین متوسط پهنه کشور دارد. این مجموعه داده بهترین کارایی را در پهنه‌های اقلیمی Bsk، Csa، Bwh، Cfa و Bwk با ضریب همبستگی ۰/۹۷ و بالاتر داشته است. از سوی دیگر، این داده در دو پهنه اقلیمی Dsa و Bsh نیز به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۱ و ۰/۹۳ کارایی بسیار خوبی را از خود نشان داده است.

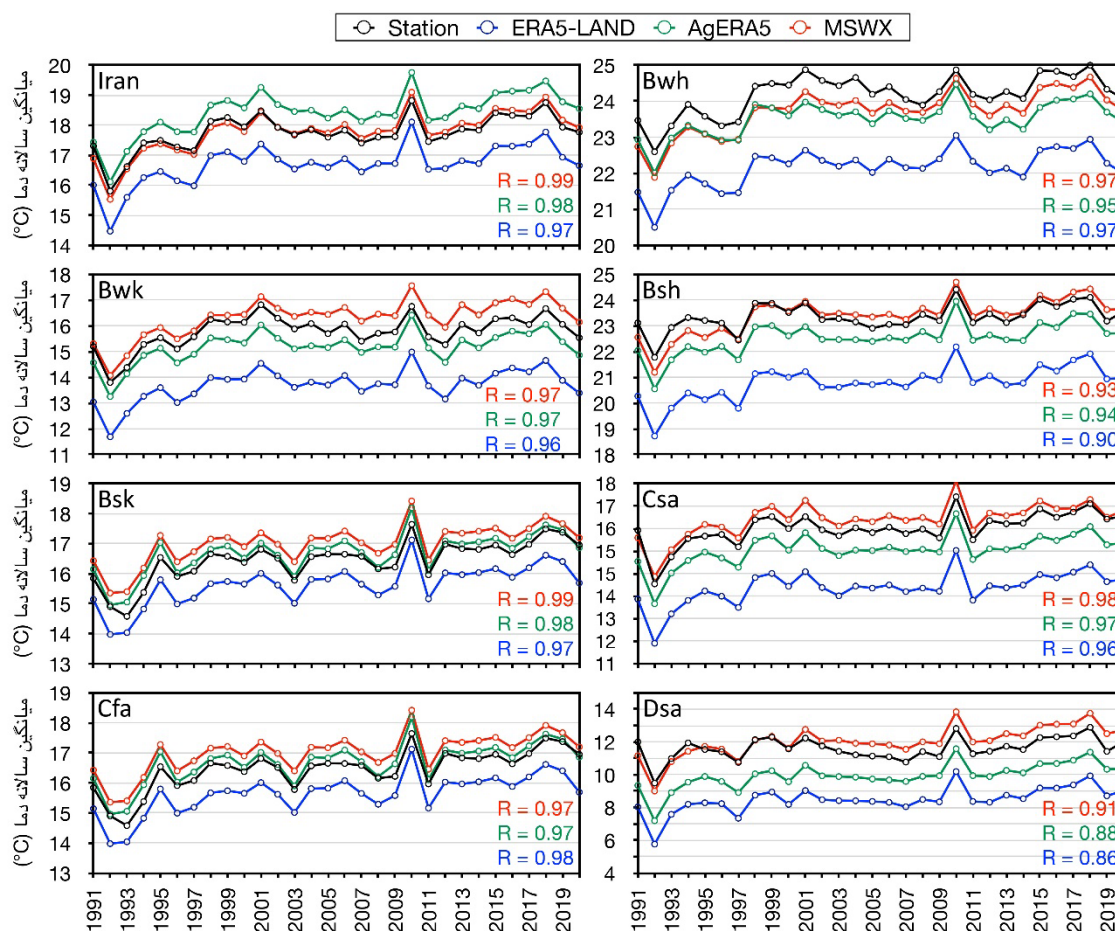
کشور در جنوب غرب، جنوب شرق، کویر مرکزی و دشت لوت قرار دارند. کمینه دماهای کشور نیز در ارتفاعات البرز مرکزی، شمال غرب، شمال شرق و ارتفاعات زاگرس مشاهده می‌شوند (شکل ۵).

برآیند کلی از سه مجموعه داده مورد بررسی، نشان می‌دهد که این داده‌ها در بازتولید الگوی فضایی دمای ایران از توانمندی بسیار بالایی برخوردارند هستند. اما آنچه که به عنوان یک محدودیت جدی در کاربست این داده‌ها در تحقیقات علمی و پروژه‌های عملیاتی وجود دارد، ارزیابی این داده است. ارزیابی مجموعه داده‌های بازتحلیل و حتی مجموعه داده‌های همادی-وزنی چند منبعی می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد. اما آنچه که در شکل ۵ نیز به روشنی مشخص است، تعداد محدود ایستگاه‌های اندازه‌گیری در مناطق مختلف ایران باعث شده است تا سامانه داده گواهی مجموعه داده ERA5 در مناطق دوردست کوهستانی و بیابان‌های داخلی ایران با ارزیابی بسیار زیادی همراه شود. این مقدار از ارزیابی در داده‌های AgERA5 کمتر مشاهده می‌شود. همان طوری که در این پژوهش مورد بحث قرار گرفته است، این مجموعه داده اصلاحاتی را همانند تصحیح توپوگرافی و کاربری اراضی در فیزیک مدل ECMWF H-TESSEL داشته است و همین امر در نهایت منجر به کاهش قابل توجه مقادیر ارزیابی در برون‌داد AgERA5 نسبت به ERA5-Land گردیده است. مناطقی با هسته کمینه دما در این دو مجموعه داده که در البرز و زاگرس دیده می‌شود، تقریباً در مجموعه داده MSWX از بین رفته اند که این امر نشان دهنده تصحیح ارزیابی دمای این مناطق در برون‌داد مدل مورد استفاده در ECMWF می‌باشد که سبب نزدیکی بیشتر این مجموعه داده به داده‌های مشاهداتی شده است.

۳-۳ تغییرات زمانی میانگین سالانه دما در ایران

و داده‌های مشاهده‌ای به مقدار بسیار جزئی (۰/۰۱) کمتر از داده MSWX محاسبه گردیده، اما فاصله میانگین دمای سالانه بازتولید شده در این مجموعه داده با داده‌های مشاهده‌ای حتی از داده MSWX کمتر بوده است. همان طوری که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، مجموعه داده ERA5-Land بیشترین فاصله را با داده‌های مشاهده‌ای دارد. این فاصله به ویژه در دو پهنه Bwh و Bsh مشهودتر است. بهترین کارایی این داده در پهنه Cfa دیده می‌شود، جایی که فاصله کمتری از داده مشاهده‌ای داشته و بالاترین ضریب همبستگی را نیز (۰/۹۸) نسبت به داده مشاهده‌ای به دست آورده است.

در یک بررسی کلی، مجموعه داده MSWX در تمام پهنه‌های اقلیمی کشور به جز پهنه BWh، میانگین دمای سالانه را در طول سری زمانی بیشتر از مشاهدات برآورد نموده است. بعد از مجموعه داده MSWX، مجموعه داده AgERA5 از نظر کارایی در بازتولید میانگین دمای سالانه ایران و پهنه‌های اقلیمی مختلف آن، در جایگاه دوم قرار می‌گیرد. این مجموعه داده در تمام نمودارهای سری زمانی تولید شده برای پهنه‌های اقلیمی مختلف بسیار نزدیک به MSWX عمل نموده است (شکل ۶) و حتی در پهنه اقلیمی Bsk با آن که ضریب همبستگی بین داده AgERA5



شکل ۶. متوسط پهنه‌ای میانگین سالانه دما برای ۹۸ ایستگاه همدیدی و برای مجموعه داده‌های ERA5-Land، AgERA5 و MSWX طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ به تفکیک برای ایران و ۷ پهنه اقلیمی اصلی. در هر شکل، ضمن مقایسه سه مجموعه داده با داده مشاهده‌ای، مقادیر همبستگی بین هر مجموعه داده و داده ایستگاهی نیز نشان داده شده است (واحد: °C).

دهد و مقادیر میانگین اریبی برای این دوره از سال به کمتر از 1°C می‌رسد. این مجموعه داده، در فصل زمستان در تمام پهنه‌های اقلیمی کشور به جز پهنه معتدل مرطوب سواحل خزری (پهنه اقلیمی Cfa) بیش‌برآوردی را تجربه می‌کند. همچنین، در منطقه جنوب‌غربی دریای خزر، در ۲ ایستگاه رشت و انزلی (پهنه Cfa) با مقادیر اریبی کمتر از 0.5°C ، کم‌برآوردی را نشان می‌دهد (شکل ۷).

در کل، داده ERA5-Land کمترین اریبی خود را به مقدار 0.5°C در پهنه معتدل مرطوب (Cfa) و بالاترین مقادیر اریبی خود را در دو ماه فوریه و مارس در پهنه اقلیمی Dsa به ترتیب با مقدار میانگین اریبی 3.79°C و 3.20°C تجربه می‌کند (شکل ۷). در دوره سرد سال مقادیر اریبی برای مناطق کوهستانی البرز، زاگرس، ارتفاعات آذربایجان، ارتفاعات شمال شرق و ارتفاعات کرمان (پهنه سرد و کوهستانی Dsa) و پهنه سرد و خشک استپی (BSk) و همچنین مناطق معتدل ساحلی دریای خزر و غرب کشور (Csa) بالاتر از 1°C است. مطالعات پیشین نشان داد که، ارتفاع و فاصله تا خط ساحلی از عواملی هستند که بر کارایی برونداد ERA5-Land تأثیر می‌گذارند. همچنین به دلیل مسائل مربوط به نحوه شبیه‌سازی ارتفاعات و فرآیندهای فیزیکی مدل در برهم کنش خشکی-دریا (ژو و همکاران، ۲۰۲۲)، این مجموعه داده در مناطق ساحلی و ارتفاعات، اریبی قابل توجهی دارد. در برخی از پژوهش‌ها، اریبی بالای ERA5-Land در مناطق کوهستانی را عمدتاً ناشی از اختلاف ارتفاع بین نقاط شبکه در داده پهنه‌ای و داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی دانسته‌اند. بر اساس مطالعات انجام شده، این شرایط بیشتر در دوره سرد سال مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد این مقدار اریبی را می‌توان با استفاده از روش‌های تصحیح ارتفاع کاهش داد (ژائو و هی، ۲۰۲۲؛ هی و همکاران، ۲۰۲۲)، که انجام آن از چارچوب تحقیق حاضر خارج است.

برخلاف ERA5-Land، مقادیر متوسط پهنه‌ای دو

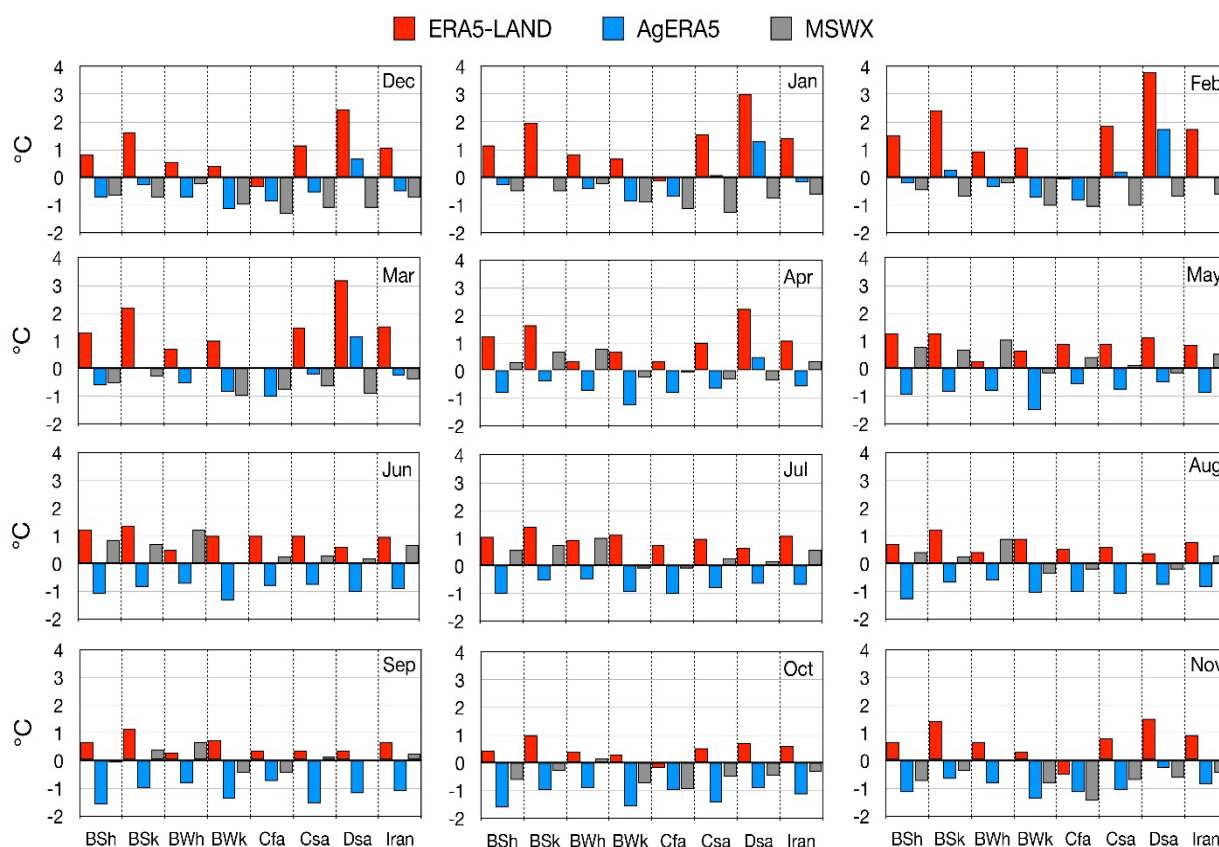
به طور کلی در متوسط پهنه‌ای کشور، هر سه مجموعه داده ERA5-Land، AgERA5 و MSWX تغییرات زمانی دمای سالانه را در دوره آماری ۳۰ ساله به خوبی نشان می‌دهند (شکل ۶). چنان‌که در شکل مشاهده می‌شود، ضریب همبستگی بین مجموعه داده‌های بررسی شده با داده مشاهداتی بیش از ۰/۹۷ است. در این میان، مجموعه داده MSWX با ضریب همبستگی ۰/۹۹ بالاترین همبستگی را با داده‌های دمای ایستگاهی نشان می‌دهد. این در حالی است که، مجموعه داده AgERA5 با ضریب همبستگی ۰/۹۸ و اختلاف دمای تقریباً 1°C با داده‌های مشاهداتی، پس از داده MSWX جای می‌گیرد. مجموعه داده ERA5-Land، کمترین همبستگی و بیشترین فاصله (اختلاف 2°C تا 3°C) را با داده‌های مشاهداتی دارد.

۳-۴ درست‌سنجی مجموعه داده‌های ERA5-Land، AgERA5 و MSWX

نتایج درست‌سنجی با استفاده از سنج‌های آماری اریبی، RMSE و ضریب توافق (d) نشان می‌دهد که کارایی مجموعه داده‌ها در برآورد دما در پهنه‌های اقلیمی ایران بنابه فصل و زمان سال متفاوت خواهد بود (شکل‌های ۷، ۸ و ۹). نتایج بررسی اریبی سه مجموعه داده بیانگر آن است که، به طور کلی مجموعه داده ERA5-Land در متوسط پهنه‌ای ایران بیش‌برآوردی دارد. همچنین در این مجموعه داده، تغییراتی که بین پهنه‌های اقلیمی مشاهده می‌شود، بسیار زیاد است. به طوری که، تغییرات قابل ملاحظه‌ای را از یک پهنه به پهنه دیگر شاهد هستیم. این مجموعه داده بالاترین مقادیر اریبی خود را در طول ماه‌های زمستان و ابتدای بهار (دسامبر تا آوریل) تجربه می‌کند. در دوره گرم سال از ماه می به تدریج مقادیر اریبی در پهنه‌های اقلیمی زاگرس و سواحل جنوبی دریای خزر (Csa، Dsa، BSk) کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که، ERA5-Land در فصل تابستان و پاییز (می تا نوامبر) مقادیر اریبی کمتری را در پهنه‌های اقلیمی نشان می‌

و پاییز می‌باشد. جایی که، مقادیر کم‌برآوردی در داده AgERA5 تقریباً در تمامی پهنه‌های اقلیمی کشور در یک بازه $0/5^{\circ}\text{C}$ تا $-1/5^{\circ}\text{C}$ تغییر می‌یابد. در مقابل، داده MSWX بالاترین مقادیر کم‌برآوردی خود را در حفاصل ماه‌های دسامبر تا مارس تجربه می‌کند (شکل ۷).

مجموعه داده MSWX و AgERA5 در برآورد دمای میانگین، کم‌برآوردی را نشان می‌دهند. علاوه بر این، مقادیر اریبی در این دو داده به طور محسوسی کمتر بوده و این دو داده، در پهنه‌های مختلف اقلیمی ایران از تغییرپذیری کمتری نیز برخوردارند. در این میان، بالاترین مقادیر میانگین اریبی در داده AgERA5 مربوط به ماه‌های تابستان



شکل ۷. مقادیر میانگین اریبی سه مجموعه داده ERA5-Land، AgERA5 و MSWX در مقایسه با داده‌های ایستگاهی به تفکیک برای ۷ پهنه اقلیمی اصلی و برای ۱۲ ماه سال (واحد: $^{\circ}\text{C}$)

اریبی مجموعه داده MSWX در پهنه‌های اقلیمی ایران به طور قابل توجهی بسیار کمتر از AgERA5 و ERA5-Land است. این نتیجه یافته‌های بدست آمده از پژوهش عراقی و همکاران (۲۰۲۲) را تایید می‌کند. این مجموعه داده در دوره سرد سال در همه پهنه‌ها به طور پیوسته از ماه نوامبر تا ماه مارس کم‌برآوردی و در دوره گرم سال با مقادیر کمتر

در یک نگاه کلی، مجموعه داده AgERA5 در برآورد دما در متوسط پهنه‌های اقلیمی کم‌برآوردی را نشان می‌دهد. با انجام تصحیح توپوگرافی در مدل ECMWF-HRES، در دوره سردسال خطای پهنه‌های Dsa، BSk و Csa به طور قابل ملاحظه‌ای در این مجموعه داده نسبت به برونداد مستقیم مدل (ERA5-Land) کاهش یافته است (شکل ۷).

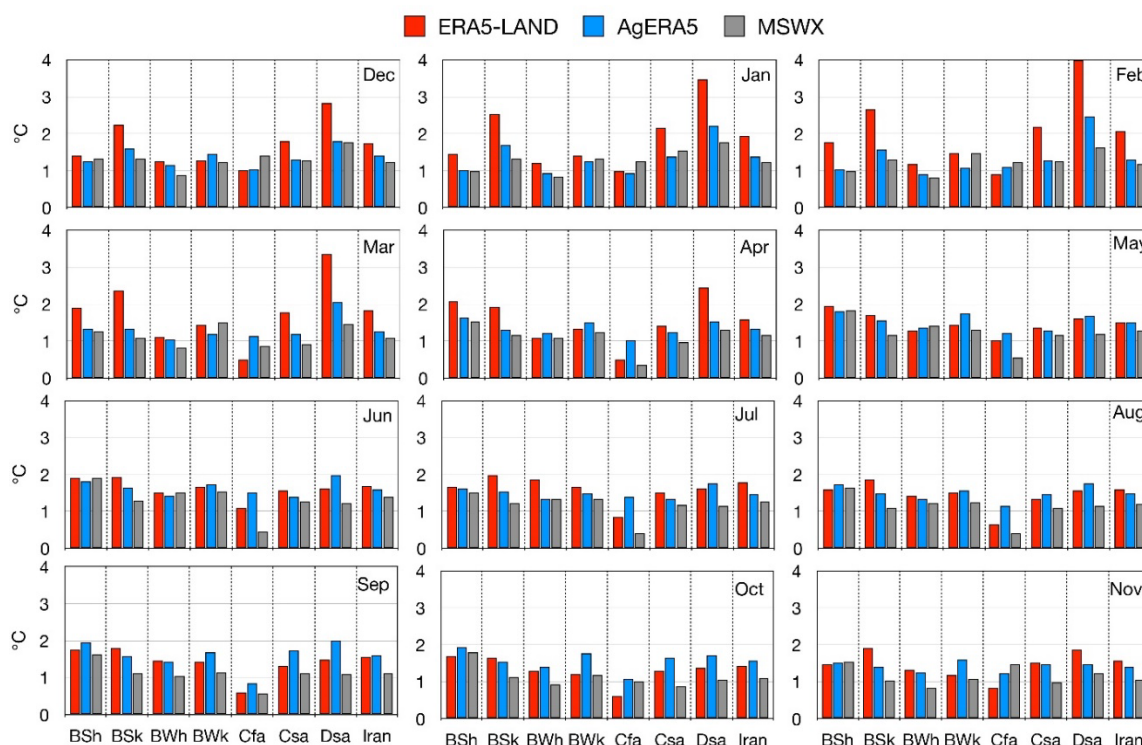
در مجموعه ERA5-Land در قیاس با داده های ایستگاهی، در دوره سرد سال در پهنه سرد و کوهستانی (Dsa) بوقوع می پیوندد (شکل ۸). پس از آن بیشترین مقدار خطا در این مجموعه داده به ترتیب، در پهنه سرد و خشک استپی (BSk)، پهنه بیابانی گرم و خشک استپی (BSH) و پهنه معتدل با تابستان های خشک و گرم (Csa) مشاهده می شود. به طور کلی، مقدار میانگین RMSE در این مجموعه داده، بین ۴۹°C / ۰ در پهنه Dsa تا $۴/۰۳^{\circ}\text{C}$ در پهنه Cfa متغیر است (شکل ۸). به نظر می رسد بازخورد برف-سپیدایی (SAF) در فصل زمستان به طور قابل توجهی مقدار خطای شبیه سازی در این فصل را در قیاس با سایر فصول، بویژه فصل تابستان افزایش می دهد (ژو و همکاران، ۲۰۲۲). در دوره گرم سال، با کاهش پوشش برف، طبیعتاً سپیدایی نیز در مناطق کوهستانی کاهش می یابد. به همین دلیل در دوره گرم سال خطای کمتری در شبیه سازی دمای این مناطق دیده می شود.

بررسی سنجه RMSE برای مجموعه داده AgERA5، کاهش خطای مناطق کوهستانی سرد (Dsa)، سرد و خشک استپی (BSk) و سواحل خزری (Csa) را در زمستان و بهار برای این مجموعه داده نسبت به مجموعه داده ERA5-Land نشان می دهد. در این داده، متوسط خطا در پهنه های اقلیمی برای تمامی فصول تقریباً $۱/۵^{\circ}\text{C}$ است و بیشتر خطاها کمتر از ۲°C هستند (شکل ۸).

بررسی مقادیر میانگین RMSE برای داده MSWX بیانگر آن است که، مقادیر این سنجه در پهنه های مختلف اقلیمی ایران، برای این مجموعه داده، نسبت به دو داده دیگر کمتر است. در واقع، داده MSWX نسبت به AgERA5 نیز دقت بالاتری را در برآورد دما از خود نشان داده است. مقادیر RMSE برای داده MSWX بین $۰/۳^{\circ}\text{C}$ تا $۱/۹^{\circ}\text{C}$ تغییر می نماید. این امر نشان می دهد که، این داده نسبت به دو مجموعه داده دیگر در پهنه های اقلیمی تغییرپذیری کمتری دارد (شکل ۸).

از ۱°C بیش برآوردی دارد. مقدار اریبی MSWX در پهنه های اقلیمی بین $-۱/۴۲^{\circ}\text{C}$ تا $۱/۲۰^{\circ}\text{C}$ تغییر می نماید. بیشینه اریبی مربوط به پهنه Cfa در ماه نوامبر و کمینه آن نیز مربوط به پهنه Dsa در ماه سپتامبر است. به طور کلی، میانگین اریبی در پهنه های اقلیمی در تمام فصول کمتر از ۱°C است و پهنه های BwK، Csa، Cfa و Dsa در دوره گرم سال اریبی نزدیک به صفر را نشان می دهند (شکل ۷). در فصل تابستان و پاییز این مجموعه داده کارایی بالایی را در برآورد دما نشان می دهد و دقت بیشتری در برآورد این متغیر دارد. مجموعه داده های بازتحلیل تحت تأثیر نقص هایی که در ساختار مدل و پارامترسازی و همچنین عدم قطعیت در داده های مشاهداتی ورودی دارند، دارای اریبی قابل توجهی هستند که ممکن است برای کاربردهای جهانی قابل قبول باشند، اما برای کاربردهای منطقه ای یا محلی این سطح اریبی و خطا قابل قبول نمی باشد. با انجام روش های تصحیح اریبی و مقیاس گاهی در این مجموعه داده ها، کارایی بهتری برای این نوع داده ها، برای انجام مطالعات مقیاس منطقه ای فراهم شده است. با این وجود، روش های تصحیح اریبی و مقیاس گاهی آماری در تمام پهنه ها و در تمام زمان ها نمی توانند روش های مناسبی باشند و نتیجه درست و مناسبی را ارائه نمایند. برای مثال پهنه Cfa (جنوب غربی دریای خزر) در مجموعه داده های تصحیح شده MSWX و AgERA5 به مراتب خطای بیشتری نسبت به برون داد مستقیم مدل ERA5-Land دارد. خطای پهنه کوهستانی (Dsa) نیز در فصل تابستان در AgERA5 بیشتر از ERA5-Land است. همچنین پهنه BWh در داده ERA5-Land خطای کمتری نسبت به MSWX در فصل تابستان دارد (شکل ۷). این نتیجه نشان می دهد که به کارگیری روش مقیاس گاهی و تصحیح اریبی در کنار مدل بکار رفته نیز می تواند در برخی از موارد باعث افزایش عدم قطعیت شود.

بررسی سنجه RMSE مبین آن است که، بیشترین خطاها



شکل ۸ همانند شکل ۷، اما برای سنجه RMSE (واحد: °C).

داده، کمترین ضریب توفاق در دوره سرد سال در پهنه کوهستانی (Dsa) مشاهده می‌شود. همچنین این پهنه اقلیمی در بیشتر ماه‌های سال ضریب توفاقی کمتر از ۰/۷ را برای مجموع داده ERA5-Land نشان داده است. پهنه گرم و خشک استپی (BSh) نیز در دوره گرم سال ضریب توفاق پایینی دارد و پایین‌ترین ضریب توفاق با مقدار ۰/۵۴ برای مجموعه داده ERA5-Land در ماه جون در این پهنه بوقوع پیوسته است.

در مجموعه داده AgERA5 مقادیر ضریب توفاق از ماه دسامبر تا ماه می در تمام پهنه‌ها ۰/۸ تا ۰/۹ است. از ماه می تا نوامبر این مقادیر کاهش می‌یابد و به طور میانگین ضریب توفاق به کمتر از ۰/۷ می‌رسد. پهنه Cfa در این ماه‌ها نیز ضریب توفاق بالاتر از ۰/۸ دارد. دو پهنه BSh و Dsa پایین‌ترین ضریب توفاق را در مجموعه داده AgERA5 نشان می‌دهند. در این میان، پهنه Dsa با ضریب توفاق ۰/۵۱ در ماه سپتامبر کمترین مقدار ضریب توفاق را برای این

بررسی سنجه ضریب توفاق (d) در مجموعه داده‌های مورد بررسی، نتایج متفاوتی را برای ماه‌ها و فصول مختلف در مقایسه با دو سنجه اریبی و RMSE نشان می‌دهد. در مجموعه داده ERA5-Land در فصل زمستان و بهار مقادیر ضریب توفاق در پهنه‌های اقلیمی بالاتر از فصل تابستان و پاییز است (شکل ۹). در این داده، از ماه دسامبر تا ماه می، مقادیر ضریب توفاق بالاتر از ۰/۸ است. از ماه می تا نوامبر مقدار ضریب توفاق در داده ERA5-Land کاهش می‌یابد به طوری که در محدوده جنوب غرب ایران (پهنه گرم و خشک استپی BSh) در ماه جون به کمتر از ۰/۶ می‌رسد. در این مجموعه داده، پهنه Cfa در بین پهنه‌های اقلیمی بالاترین مقدار ضریب توفاق را با مقدار ۰/۹۷ در ماه مارس دارد. پس از آن، پهنه‌های اقلیمی خشک و بیابانی (BWh و BWk)، مناطقی مانند مناطق خشک مرکزی و سواحل جنوبی و جنوب غرب ایران در ماه‌های سرد سال ضریب توفاق بالایی را در این داده نشان می‌دهند. در این مجموعه

آمار، بیانگر آن است که، با توجه به اریبی بالا و خطای زیاد داده ERA5-Land، این داده کارایی و دقت مناسبی در برآورد دما به ویژه در پهنه های اقلیمی BSk, BSh, Csa و Dsa ندارد و از این مجموعه داده به جز در موارد ضروری، مانند زمانی که داده های مشاهداتی در یک منطقه کمیاب هستند، نباید استفاده شود. در مقابل، درستی سنجی ها از کارایی و مطلوبیت بالای مجموع داده MSWX در مقایسه با دو مجموع داده دیگر حکایت می کند.

۳-۴ تغییرات فضایی میانگین دمای ماهانه در

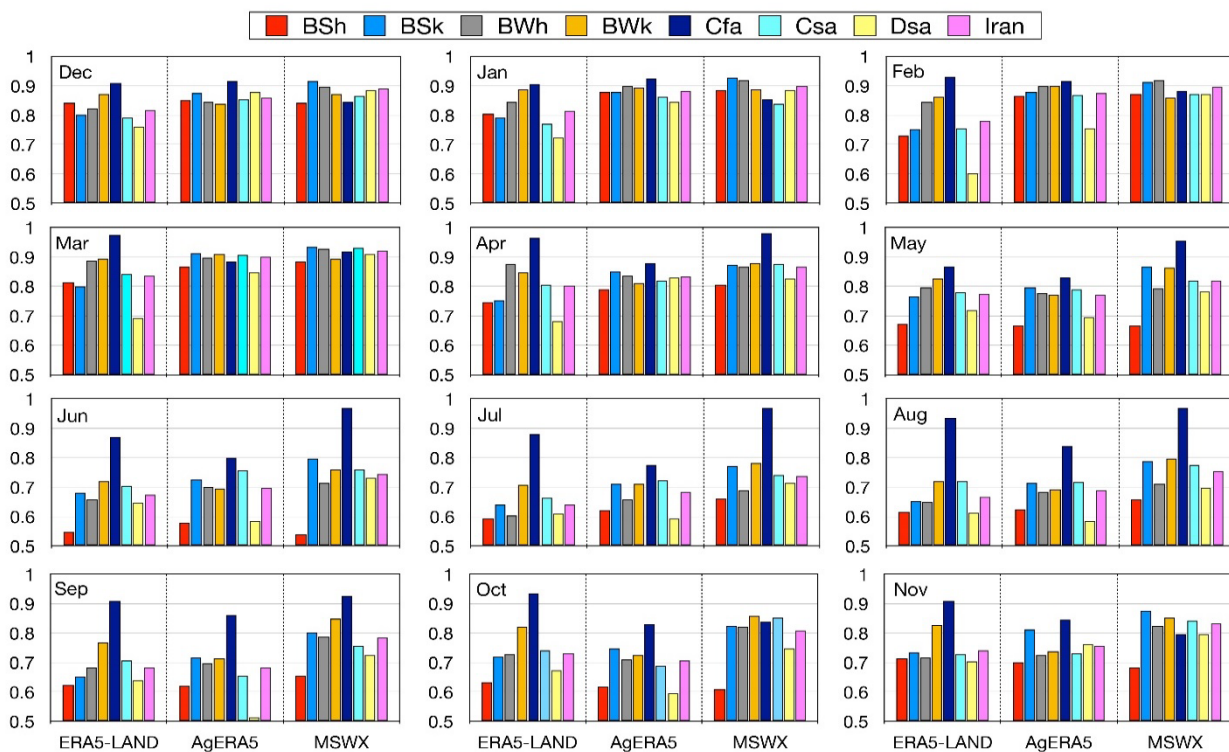
ایران بر اساس برون داد مجموعه MSWX

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش (شکل های ۲ تا ۴) مجموعه داده همادی-وزنی چندمنبعی MSWX به عنوان مناسب ترین داده معرفی می شود که در مجموع در برآورد دمای ایران از دقت بیشتر و خطای کمتری برخوردار

مجموعه داده به خود اختصاص داده است. بالاترین ضریب توافق این داده نیز در پهنه Cfa با مقدار ۰/۹۲ مشاهده می شود.

در مجموعه داده MSWX ضریب توافق از ماه دسامبر تا ماه آوریل در تمام پهنه ها بالاتر از ۰/۹ است و مقادیر تقریباً به یک نزدیک شده اند. در این مجموعه داده، از ماه جون تا ماه سپتامبر ضریب توافق تقریباً در تمامی پهنه های اقلیمی به طور میانگین کمتر از ۰/۸ می باشد. در این میان، پهنه Dsa الگوی متفاوتی را در طول سال از خود نشان می دهد. به طوری که، در دوره گرم سال، ضریب توافق این پهنه اقلیمی در داده های MSWX بیش از دوره سرد سال بوده و بالای ۰/۹ را نشان می دهد. بیشترین ضریب توافق در مجموعه داده MSWX نیز مربوط به این پهنه با مقدار ۰/۹۸ در ماه آوریل است.

مجموع ارزیابی های انجام شده با بهره گیری از سه سنجه



شکل ۹. همانند شکل ۷، اما برای سنجه ضریب توافق ویلموت (d).

لوت مشاهده می‌شوند. افزایش دما در دشت لوت می‌تواند به دلیل عواملی مانند شدت تابش زیاد، نبود ابرناکی و پوشش گیاهی، ویژگی‌های فیزیکی و همچنین نوع خاک این منطقه باشد که منجر به بروز دماهای بالا در این محدوده بیابانی می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷ ب). در تبیین افزایش قابل ملاحظه دما در تابستان در محدوده بیابان لوت، علاوه بر نقش ویژگی‌های محلی یادشده، می‌توان به نقش جت شرقی حاره‌ای و فرونشست بی‌دررو هوا در محدوده خروجی این جت (واکر، ۱۹۷۵)، به عنوان یک واداشت بزرگ مقیاس، منشأ یافته از منطقه حاره، اشاره نمود.

کمینه دماها نیز همچنان در مناطق کوهستانی قرار دارند. در فصل تابستان دما نسبت به دیگر فصل‌ها از پراکنش فضایی یکنواخت تری برخوردار است. در ماه‌های جون، جولای و آگوست تمام مناطق کشور تقریباً دماهای بالاتر از 15°C را تجربه می‌کنند که دلیل آن استقرار پرفشار جنب حاره و پایداری هوا در این فصل است. کمینه دما در فصل تابستان با $10/46^{\circ}\text{C}$ در ماه جون در شمال غرب و بیشینه دما با $38/86^{\circ}\text{C}$ در ماه جولای در جنوب غرب ایران مشاهده می‌شود. با شروع فصل پاییز همراه با ورود بادهای غربی و سامانه‌های کم فشار به کشور، دمای هوا به تدریج روند کاهشی را تجربه می‌نماید. کمینه دما در این فصل در ماه نوامبر با $0/82^{\circ}\text{C}$ و بیشینه دما با $30/29^{\circ}\text{C}$ در ماه اکتبر مشاهده می‌شود (شکل ۱۰).

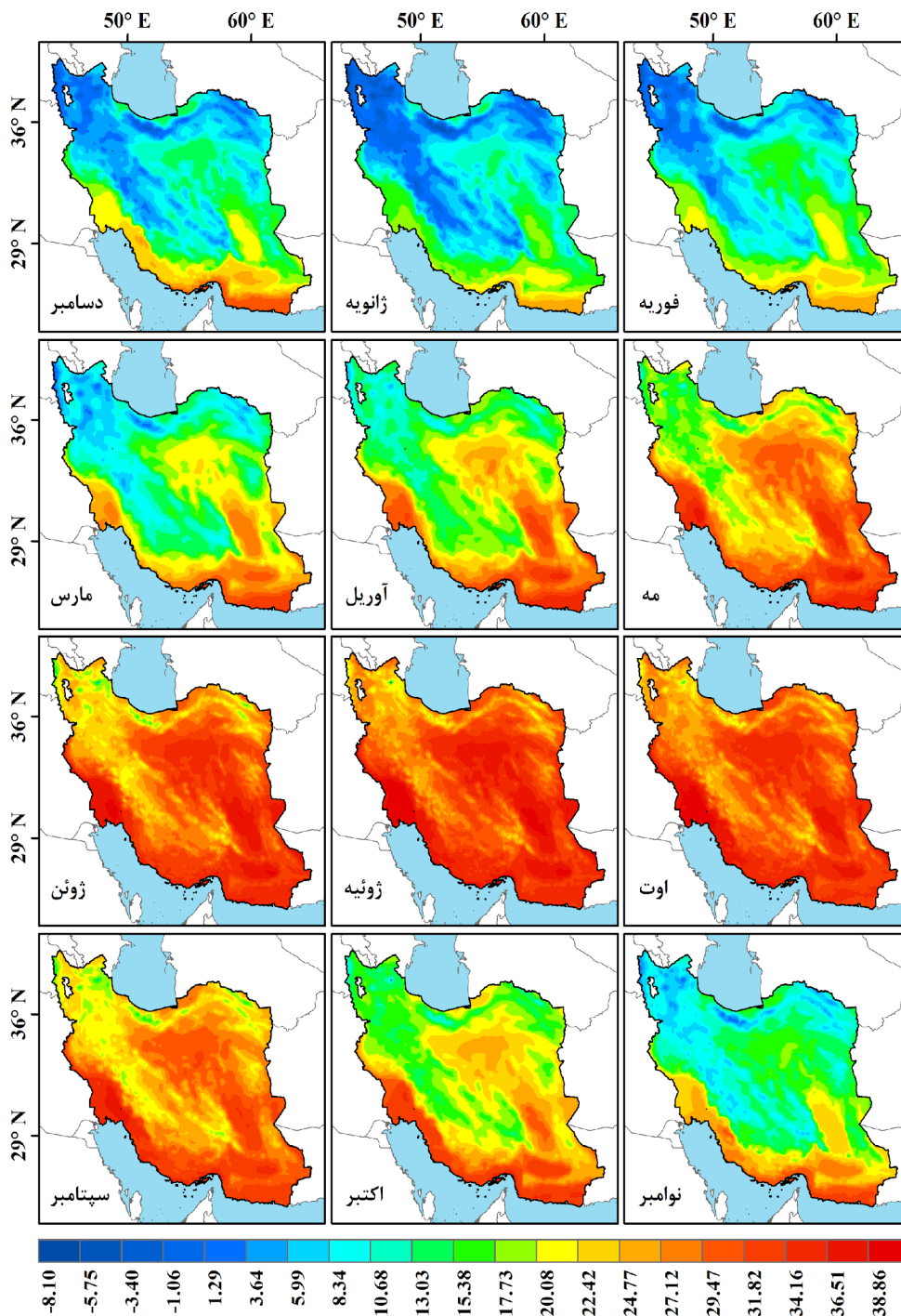
۵ نتیجه‌گیری

یکی از چالش‌های مهمی که در پژوهش‌های اقلیمی در مناطقی همانند ایران وجود دارد، محدودیت داده‌های مشاهداتی و در دسترس نبودن داده‌های با کیفیت مناسب برای مناطق دوردست کوهستانی و مناطق خشک و بیابانی داخلی است. سری‌های زمانی کوتاه‌مدت، داده‌های مفقود و تراکم فضایی کم ایستگاه‌های هواشناسی به‌ویژه در مناطق کوهستانی مرتفع و بیابان‌ها و مناطق خشک

می‌باشد. با توجه به برون‌داد مجموعه داده MSWX میانگین ماهانه دما در ایران در دوره مورد مطالعه (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، طی ۱۲ ماه سال، در بازه‌ای از $-8/10^{\circ}\text{C}$ تا $38/86^{\circ}\text{C}$ در نوسان است (شکل ۱۰). در فصل زمستان مناطق شمال غرب، شمال شرق و ارتفاعات زاگرس دماهای کمتر از 0°C را تجربه می‌کنند. کمینه دما با $-8/09^{\circ}\text{C}$ در ماه ژانویه در ارتفاعات البرز و شمال غرب ایران (ارتفاعات آذربایجان) مشاهده می‌شود. در ماه فوریه و دسامبر نیز کمترین دماها به ترتیب با $-6/56^{\circ}\text{C}$ و $-5/03^{\circ}\text{C}$ در مناطقی مشابه قابل مشاهده هستند. بیشینه دما در فصل زمستان در محدوده سواحل جنوبی ایران (سواحل مکران و خلیج فارس) با $23/10^{\circ}\text{C}$ در ماه دسامبر دیده می‌شود.

به طور کلی، در دوره سرد سال (از ماه نوامبر تا ماه مارس) مناطق مختلف اقلیمی کشور نوسانات دمایی بیشتری نسبت به دوره گرم سال دارند. در مناطق جنوبی کشور (پایین‌تر از مدار 30°N)، در ماه‌های فوریه و دسامبر دماهای بالاتر از 25°C مشاهده می‌شود. این درحالی است که، در زمانی مشابه، در مناطقی از رشته‌کوه البرز، شمال غرب و شمال شرق کشور (مناطق بالاتر از مدار 30°N) دما کمتر از -5°C است. دلیل این پراکنش ناهمگن دما را می‌توان رشته‌کوه‌های مرتفع و توپوگرافی پیچیده، نفوذ سامانه پرفشار سبیری در شمال شرق و ورود امواج غربی در مناطق غرب و شمال غرب کشور بیان کرد (زرین و همکاران، ۱۴۰۰).

از ماه مارس (شروع فصل بهار) روند دما در ایران افزایشی است و دماهای زیر 0°C تنها در بخش‌هایی از البرز مرکزی و ارتفاعات شمال غرب مشاهده می‌شود. کمینه دما در این فصل با $-1/23^{\circ}\text{C}$ در ماه مارس در شمال غرب ایران وجود دارد. بیشینه دما نیز با $33/87^{\circ}\text{C}$ در ماه می در جنوب غرب ایران (خوزستان) مشاهده می‌شود. بیشینه دماها در دوره گرم سال (از ماه می تا سپتامبر) در مناطق جنوب غربی ایران، بیابان‌ها و مناطق خشک داخلی و دشت



شکل ۱۰. پراکنش فضایی دمای میانگین ماهانه ایران بر اساس مجموعه داده همادی-وزنی چندمنبعی MSWX طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ (واحد: °C)

چندمنبعی به دلیل پوشش زمانی طولانی مدت، تفکیک افقی بالا و پیوستگی زمانی-مکانی، می‌تواند جایگزین مناسبی برای مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی در

داخلی، مطالعه تغییرات زمانی-مکانی متغیرهای اقلیمی مانند دما را با مشکل مواجه می‌سازد. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، مجموعه داده‌های بازتحلیل و همادی-وزنی

برتری مجموعه داده MSWX حاکی از آن است که، روش‌ها و تکنیک‌های تصحیح اریبی و مقیاس‌کاهی در این مجموعه به‌درستی انجام گرفته است (بک و همکاران، ۲۰۲۲).

مجموعه داده بازتحلیل ERA5-Land و AgERA5 بر مبنای داده‌های ساعتی ERA5 توسعه یافته‌اند و مجموعه داده‌های تک منبعی هستند. از سوی دیگر MSWX مجموعه داده‌ای است که با استفاده از چندین منبع داده تولید شده است. بنابراین تفاوت در فرآیند و روش تولید داده‌ها می‌تواند منجر به کارایی متفاوت این مجموعه داده‌ها نسبت به داده‌های ایستگاهی گردد. این نتیجه پیش‌تر توسط عراقی و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش شده است.

یافته‌های تحقیق نشان داد که، مجموعه داده ERA5-Land ورودایی سال به سال دما را به‌خوبی آشکار می‌سازد. این نتیجه در مناطق مختلف جهان همانند برزیل (آراوخو و همکاران، ۲۰۲۲) و ترکیه (یلماز، ۲۰۲۳) نیز گزارش شده است. اما این مجموعه داده نمی‌تواند جایگزین مناسبی در برآورد دما در ایران برای داده‌های مشاهداتی (ایستگاه‌های هواشناسی) باشد. مقدار خطای به دست آمده از مجموعه داده ERA5-Land در متوسط پهنه‌ای کشور برای دمای بیشینه $5/07^{\circ}\text{C}$ به دست آمده است. این در حالی است که، مقادیر سنجه یادشده برای مجموعه داده‌های AgERA5 و MSWX به ترتیب $1/84^{\circ}\text{C}$ و $1/42^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. علی‌رغم اینکه این مجموعه داده تفکیک افقی بالایی دارد و در دوره گرم سال اریبی کمتری در پهنه‌های اقلیمی ایران داشته است، اما در پهنه‌های اقلیمی کوهستانی ایران در دوره سرد دارای اریبی زیادی است که بکارگیری آن را برای تحقیقات علمی دچار شک و تردید می‌نماید. این مجموعه داده در ایستگاه‌هایی که ارتفاع بالایی دارند دما را با اریبی زیادی برآورد می‌کند و این به دلیل است که داده‌های ERA5-Land نشان دهنده میانگین کل مساحت شبکه

پژوهش‌های اقلیمی باشند. مهم‌ترین یافته‌های پژوهش در ارزیابی دمای سه مجموعه داده MSWX، AgERA5 و ERA5-Land برای پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران به شرح زیر می‌باشد:

مجموعه داده‌های بازتحلیل تحت‌تأثیر ویژگی‌های فیزیکی مدل، پارامترسازی‌ها و عدم قطعیت در داده‌های مشاهداتی ورودی دارای اریبی بسیاری هستند که ممکن است برای کاربردهای جهانی قابل قبول باشند؛ اما برای کاربردهای منطقه‌ای یا محلی قابل قبول نیستند (ژائو و هی، ۲۰۲۲). انجام روش‌های مقیاس‌کاهی و تصحیح اریبی توانسته است کارایی این داده‌ها را بهبود بخشد و برآورد دقیق‌تری از دما برای استفاده در مقیاس محلی و منطقه‌ای ایجاد نماید. با این وجود، روش‌های تصحیح اریبی و مقیاس‌کاهی آماری در تمام پهنه‌ها و در تمام زمان‌ها نمی‌توانند روش‌های مناسب و درستی باشند و نتایج را بهبود بخشند. چنان‌که در تحقیق حاضر، در پهنه اقلیمی معتدل مرطوب با تابستان‌های گرم (Cfa) مجموعه داده‌های تصحیح شده خطای بیش‌تری را به نسبت برون‌داد مستقیم مدل ERA5-land تولید نمودند.

به‌طور کلی مجموعه داده همادی -وزنی چندمنبعی (MSWX) نسبت به دو مجموعه داده بازتحلیل ERA5-Land و AgERA5 از کارایی بالاتر و دقت بیشتری در برآورد دمای میانگین ایران برخوردار بوده است. متوسط پهنه‌ای سنجه ضریب توافق برای ۹۸ ایستگاه مورد بررسی برای مجموعه داده‌های ERA5-Land، AgERA5 و MSWX به ترتیب مقادیر $0/45$ ، $0/65$ و $0/75$ را نشان داده است. به‌همین ترتیب، مقادیر اریبی محاسبه شده برای سه مجموعه داده به ترتیب $2/42^{\circ}\text{C}$ ، $0/90^{\circ}\text{C}$ و $0/2^{\circ}\text{C}$ بوده است که به روشنی از کارایی بالاتر داده MSWX حکایت دارد. بنابراین، این مجموعه داده می‌تواند جایگزین مناسبی برای داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در مطالعات اقلیمی دما بر روی ایران باشد.

هستند، درحالی که دمای ایستگاه در یک مکان خاص

اندازه گیری می شود (ژو و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین اختلاف ارتفاع بین مکان ایستگاه و نقطه شبکه مربوط به داده های بازتحلیل می تواند آریبی زیادی را در برآورد دما در داده های بازتحلیل به همراه داشته باشد (ژائو و هی، ۲۰۲۲)، بنابراین، برای انتخاب مجموعه داده بازتحلیل باید توپوگرافی و نوع پهنه اقلیمی و زمان سال در نظر گرفته شود.

همچنین دو مجموعه داده ERA5-Land و AgERA5 نیز

از طریق پیوندهای زیر در دسترس خواهند بود:

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-agrometeorological-indicators?tab=overview>
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>

منابع

احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی و احمدی،

حمزه. (۱۳۹۷ ب). واکاوی دمای روزهنگام سطح

زمین ایران مبتنی بر برون داد سنجنده MODIS.

فصلنامه علوم محیطی، ۱۶(۱)، ۶۸-۴۷،

https://envs.sbu.ac.ir/article_97918.html

احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ احمدی،

حمزه و علی بخشی، زهرا. (۱۳۹۷ الف). واکاوی ساختار

دمای ایران مبتنی بر برون داد پایگاه داده مرکز پیش بینی

میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه

ERA Interim. پژوهش های جغرافیای طبیعی،

۳۵۳-۳۷۲، (۲)۵۰،

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.238512.1007092>

اخلاقی حسینی، سیده فاطمه؛ زرین، آذر و داداشی

رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۲). بررسی دامنه شبانه روزی

دما در ایران با استفاده از مجموعه داده AgERA5.

جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۱)، ۲۰۸-۱۸۹،

<https://doi.org/10.22067/geoch.2021.72332.1104>

اسدی رحیم بیگی، نرگس؛ زرین، آذر؛ مفیدی، عباس و

داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). تحلیل پراکنش

فصلی بارش های فرین در ایران با استفاده از پایگاه

AgERA5. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۱۱)،

۲۷۳۷-۲۷۲۳،

<https://doi.org/10.22059/IJSWR.2021.333263.669118>

علی رغم آن که، تصحیحات انجام شده در فیزیک مدل ECMWF-HIRES، منجر به بهبود داده های AgERA5 نسبت به برون داد مستقیم مدل (ERA5-Land) شده است، اما این مجموعه داده برای متغیر دما کماکان در مناطق کوهستانی مرتفع و ساحلی ایران دارای آریبی است که انجام تصحیحات را ضروری می سازد.

پراکنش فضایی ماهانه دمای مجموعه داده MSWX در ایران نشان داد که، کمترین مقادیر دما در ارتفاعات البرز میانی و ارتفاعات شمال غرب کشور قرار دارند و سردترین ماه سال ماه ژانویه با دمای $10^{\circ}\text{C}/-8$ است. بالاترین مقادیر دما در ایران در جنوب غرب کشور و سواحل جنوبی (مکران و خلیج فارس) مشاهده می شود و گرم ترین ماه سال، ماه جولای با دمای میانگین $38^{\circ}\text{C}/42$ است.

در مجموع، هر سه مجموعه داده در قیاس با داده های ایستگاهی، به خوبی و به شکلی برجسته، کانون های گرم بیابان لوت، چاله جازموریان و نوار گرم ساحلی واقع در جنوب شرق کشور را نشان می دهند. برآیند کلی از بررسی داده ها، حاکی از آن است که، این داده ها در باز تولید الگوی فضایی دمای ایران از توانمندی بسیار بالایی برخوردارند.

دسترسی به داده های پژوهش

برای انجام پژوهش حاضر از سه مجموعه داده بازتحلیل استفاده شد. دسترسی به داده همادی-وزنی چند منبعی MSWX از طریق پیوند

- Arismendi, I., Safeeq, M., Dunham, J. B., & Johnson, S. L. (2014). Can air temperature be used to project influences of climate change on stream temperature? *Environmental Research Letters*, 9(8), 084015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/084015>
- Arshad, M., Ma, X., Yin, J., Ullah, W., Liu, M., & Ullah, I. (2021). Performance evaluation of ERA-5, JRA-55, MERRA-2, and CFS-2 reanalysis datasets, over diverse climate regions of Pakistan. *Weather and Climate Extremes*, 33, 100373. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100373>
- Avila-Diaz, A., Benezoli, V., Justino, F., Torres, R., & Wilson, A. (2020). Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalysis and earth system model projections. *Climate Dynamics*, 55(5-6), 1403-1426. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05333-z>
- Azarderakhsh, M., Prakash, S., Zhao, Y., & AghaKouchak, A. (2020). Satellite-based analysis of extreme land surface temperatures and diurnal variability across the hottest place on Earth. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(12), 2025-2029. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2019.2962055>
- Beck, H. E., Van Dijk, A. I., Larraondo, P. R., McVicar, T. R., Pan, M., Dutra, E., & Miralles, D. G. (2022). MSWX: Global 3-hourly 0.1 bias-corrected meteorological data including near-real-time updates and forecast ensembles. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(3), E710-E732. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0145.1>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Bell, B., Hersbach, H., Simmons, A., Berrisford, P., Dahlgren, P., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Radu, R., Schepers, D., Soci, C., Villeneuve, S., Bidlot, J.-R., Haimberger, L., Woollen, J., Buontempo, C., & Thépaut, J.-N. (2021). The ERA5 global reanalysis: Preliminary extension to 1950. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147(741), 4186-4227. <https://doi.org/10.1002/qj.4174>
- Blanco, K., Villamizar, S. R., Avila-Diaz, A., Marceló-Díaz, C., Santamaría, E., & Lesmes, M. C. (2023). Daily dataset of precipitation and temperature in the Department of Cauca, Zorin, Azar and Dadashi Roodbari, عباسعلی. (۱۴۰۱). بررسی مدل‌های CMIP6 در برآورد دمای ایران با تأکید بر حساسیت اقلیم ترازمند (ECS) و پاسخ اقلیم گذرا (TCR). *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۷(۱)، ۳۹-۵۶. <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.344862.1430>
- زورین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی و حسینی، سمیرا. (۱۴۰۰). پیش‌بینی دمای ماهانه ایران با استفاده از پروژه پیش‌بینی اقلیمی دهه‌ای (DCPP) در دهه آینده (۲۰۲۱-۲۰۲۸). *فیزیک زمین و فضا*، ۴۸(۱)، ۱۸۹-۱۹۱. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2.211022.327886.1007340>
- عزیزیان، اصغر؛ بهمن‌آبادی، بهاره و جناب، مهنوش. (۱۳۹۹). برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل‌های بازتحلیل شده مبتنی بر مشاهدات جهانی در اقلیم‌های مختلف ایران. *حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)*، ۱۰(۱)، ۱-۱۸. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1399.10.1.1.2>
- هاشم‌زاده، محمد؛ عزیزی، قاسم؛ کریمی، مصطفی؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ و شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۳۹۹). ارزیابی پایگاه داده باز کاوی ERA-Interim در ارزیابی توزیع زمانی-مکانی و روند تندی باد در شرق ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۲(۴)، ۵۱۵-۵۳۳. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.303215.1007518>
- Araghi, A., Martinez, C. J., & Olesen, J. E. (2023). Evaluation of MSWX gridded data for modeling of wheat performance across Iran. *European Journal of Agronomy*, 144, 126769. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126769>
- Araújo, C. S. P. d., Silva, I. A. C. e., Ippolito, M., & Almeida, C. D. G. C. d. (2022). Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using surface data in Pernambuco, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(5), 381. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10047-2>

- and the Danish part of the North Sea, with reflections on the Skagerrak. *Renewable energy*, 32(12), 2069-2084. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.10.006>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M.,...Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In C. Intergovernmental Panel on Climate (Ed.) , *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3-32). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Irmak, A., Ranade, P. K., Marx, D., Irmak, S., Hubbard, K. G., Meyer, G., & Martin, D. L. (2010). Spatial interpolation of climate variables in Nebraska. *Transactions of the ASABE*, 53(6), 1759-1771. <https://doi.org/10.13031/2013.35803>
- Karaman, Ç. H., & Akyürek, Z. (2023). Evaluation of near-surface air temperature reanalysis datasets and downscaling with machine learning based Random Forest method for complex terrain of Turkey. *Advances in Space Research*, 71(12), 5256-5281. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.02.006>
- Lin, H., Yang, Y., Wang, S., Wang, S., Tang, J., & Dong, G. (2023). Evaluation of MSWX Bias-Corrected Meteorological Forcing Datasets in China. *Sustainability*, 15(12), 9283. <https://doi.org/10.3390/su15129283>
- Liou, Y.-A., & Kar, S. K. (2014). Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms—A review. *Energies*, 7(5), 2821-2849. <https://doi.org/10.3390/en7052821>
- Liu, L., Gu, H., Xie, J., & Xu, Y. P. (2021). How well do the ERA-Interim, ERA-5, GLDAS-2.1 and NCEP-R2 reanalysis datasets represent daily air temperature over the Tibetan Plateau? *International Journal of Climatology*, 41(2), 1484-1505. <https://doi.org/10.1002/joc.6867>
- Malayeri, A. K., Saghafian, B., & Razinei, T. (2021). Performance evaluation of ERA5 precipitation estimates across Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09079-8>
- Colombia. *Data in Brief*, 50, 109-542. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109542>
- Brulebois, E., Castel, T., Richard, Y., Chateau-Smith, C., & Amiotte-Suchet, P. (2015). Hydrological response to an abrupt shift in surface air temperature over France in 1987/88. *Journal of Hydrology*, 531, 892-901. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.026>
- Choudhury, D., Ji, F., Nishant, N., & Di Virgilio, G. (2023). Evaluation of ERA5-Simulated Temperature and Its Extremes for Australia. *Atmosphere*, 14(6), 913.
- Ciccarelli, N., Von Hardenberg, J., Provenzale, A., Ronchi, C., Vargiu, A., & Pelosini, R. (2008). Climate variability in north-western Italy during the second half of the 20th century. *Global and Planetary Change*, 63(2-3), 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.03.006>
- Dee, D., Källén, E., Simmons, A., & Haimberger, L. (2011). Comments on “Reanalysis suitable for characterizing long-term trends”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(1), 65-70. <https://www.jstor.org/stable/26226802>
- Di Virgilio, G., Evans, J. P., Di Luca, A., Olson, R., Argüeso, D., Kala, J., Andrys, J., Hoffmann, P., Katzfey, J. J., & Rockel, B. (2019). Evaluating reanalysis-driven CORDEX regional climate models over Australia: model performance and errors. *Climate Dynamics*, 53, 2985-3005. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04672-w>
- Ferrigno, J. G. (1991). *Glaciers of Iran. Glaciers of the Middle East and Africa: Satellite Image Atlas of Glaciers of the World*, U.S. Geological Survey professional paper; No. 1386-G, G31-G47. Available at <https://pubs.usgs.gov/pp/p1386a>.
- Hafizi, H., & Sorman, A. A. (2022). Integrating meteorological forcing from ground observations and MSWX dataset for streamflow prediction under multiple parameterization scenarios. *Water*, 14(17), 2721. <https://doi.org/10.3390/w14172721>
- He, W., Zhang, L., & Yuan, C. (2022). Future air temperature projection in high-density tropical cities based on global climate change and urbanization—a study in Singapore. *Urban Climate*, 42, 101115. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101115>
- Henfridsson, U., Neimane, V., Strand, K., Kapper, R., Bernhoff, H., Danielsson, O., Leijon, M., Sundberg, J., Thorburn, K., & Ericsson, E. (2007). Wave energy potential in the Baltic Sea

- Tarek, M., Brissette, F. P., & Arsenault, R. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2527-2544. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03578-0>
- Terando, A., Youngsteadt, E., Meineke, E., & Prado, S. (2018). Accurate near surface air temperature measurements are necessary to gauge large-scale ecological responses to global climate change. *Ecology and evolution*, 8(11), 5233. <https://doi.org/10.1002/ece3.3965>
- Wackernagel, H., & Wackernagel, H. (2003). Ordinary kriging. *Multivariate geostatistics: an introduction with applications*, 79-88. [https://books.google.com/books?id=Rhr7bgLWxx4C&lpg=PA1&ots=LkUk9tm3Vx&dq=Wackernagel%2C%20H.%2C%20%26%20Wackernagel%2C%20H.%20\(2003\).%20Ordinary%20kriging.%20Multivariate%20geostatistics%3A%20an%20introduction%20with%20applications%2C%2079-88.%20&lr&pg=PA1#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com/books?id=Rhr7bgLWxx4C&lpg=PA1&ots=LkUk9tm3Vx&dq=Wackernagel%2C%20H.%2C%20%26%20Wackernagel%2C%20H.%20(2003).%20Ordinary%20kriging.%20Multivariate%20geostatistics%3A%20an%20introduction%20with%20applications%2C%2079-88.%20&lr&pg=PA1#v=onepage&q&f=false)
- Walker, J. M. (1975). On summer atmospheric processes over south-west Asia. *Tellus*, 27(5), 491-496. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1975.tb01702.x>
- Wang, S., Zhang, M., Sun, M., Wang, B., Huang, X., Wang, Q., & Feng, F. (2015). Comparison of surface air temperature derived from NCEP/DOE R2, ERA-Interim, and observations in the arid northwestern China: a consideration of altitude errors. *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 99-111. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1107-1>
- Willmott, C. J. (1981). On the validation of models. *Physical geography*, 2(2), 184-194. <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>
- Xu, X., Li, J., & Tolson, B. A. (2014). Progress in integrating remote sensing data and hydrologic modeling. *Progress in Physical Geography*, 38(4), 464-498. <https://doi.org/10.1177/0309133314536583>
- Yang, J., Huang, M., & Zhai, P. (2021). Performance of the CRA-40/Land, CMFD, and ERA-Interim datasets in reflecting changes in surface air temperature over the Tibetan Plateau. *Journal of Meteorological Research*, 35(4), 663-672. <https://doi.org/10.1007/s13351-021-0196-x>
- Yilmaz, M. (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of The Total Environment*, 856, 159182.
- Mildrexler, D. J., Zhao, M., & Running, S. W. (2006). Where are the hottest spots on Earth. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 87(43), 461-467. <https://doi.org/10.1029/2006EO430002>
- Mildrexler, D. J., Zhao, M., & Running, S. W. (2011). Satellite finds highest land skin temperatures on Earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(7), 855-860. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3067.1>
- Mooney, P. A., Mulligan, F. J., & Fealy, R. (2011). Comparison of ERA-40, ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperatures over Ireland. *International Journal of Climatology*, 31(4), 545-557. <https://doi.org/10.1002/joc.2098>
- Moussavi, M. S., Zoej, M. V., Vaziri, F., Sahebi, M. R., & Rezaei, Y. (2009). A new glacier inventory of Iran. *Annals of Glaciology*, 50(53), 93-103. <https://doi.org/10.3189/172756410790595886>
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., ... & Thépaut, J. N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth system science data*, 13(9), 4349-4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- Poveda, G., Waylen, P. R., & Pulwarty, R. S. (2006). Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234(1), 3-27. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.10.031>
- Raziei, T., & Porehkar, A. (2021). Performance evaluation of NCEP/NCAR reanalysis blended with observation-based datasets for estimating reference evapotranspiration across Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 885-903. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03578-0>
- Sarhan, E., Mofidi, A., Dadashi-Roudbari, A., Zarrin, A., & Minaei, M. (2023). Climatology of cold spots and LST minimums in Iran using high-resolution satellite data. *Theoretical and Applied Climatology*, <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04699-4>
- Stone, R. (2016). The incredible ecosystem of Earth's hottest spot. *Science*, <https://www.sciencemag.org/news/2016/12/incredible-ecosystem-earth-s-hottest-spot>. <https://doi.org/10.1126/science.aal0513>

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159182>

- Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Evaluation of reanalysis-based, satellite-based, and “bias-correction”-based datasets for capturing extreme precipitation in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(4), 67. <https://doi.org/10.1007/s00703-022-00903-8>
- Zhao, P., & He, Z. (2022). A First Evaluation of ERA5-Land Reanalysis Temperature Product Over the Chinese Qilian Mountains [Original Research]. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.907730>
- Zhao, Y., Norouzi, H., Azarderakhsh, M., & AghaKouchak, A. (2021). Global Patterns of Hottest, Coldest, and Extreme Diurnal Variability on Earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102(9), E1672-E1681. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0325.1>
- Zou, J., Lu, N., Jiang, H., Qin, J., Yao, L., Xin, Y., & Su, F. (2022). Performance of air temperature from ERA5-Land reanalysis in coastal urban agglomeration of Southeast China. *Science of The Total Environment*, 828, 154459. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154459>

Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land, AgERA5, and MSWX datasets over Iran

Motahare Mohammadabadi¹, Abbas Mofidi^{2*}, Azar Zarrin² and Abbasali Dadashi-Roudbari³

¹ M.Sc. Student of Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran

² Associate Professor, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran

³ Postdoctoral Research Associate of Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran

(Received: 25 December 2023, Accepted: 29 April 2023)

Summary

Temperature is a major variable in the Earth's climate system, which plays an important role in energy exchange interactions between the Earth's surface and the atmosphere. There are various sources for temperature estimation, including ground stations, satellite products, reanalysis datasets, and multi-source weighted-ensemble datasets. Reanalysis datasets are generated by combining different types of observational data for a certain time in numerical weather prediction models and using ground and satellite observations. The purpose of this research is to investigate the performance of the ERA5-Land and AgERA5 reanalysis datasets as well as the MSWX multi-source dataset to determine reliable datasets for estimating temperature in Iran. First, we evaluated the temporal variations of the three datasets against the station data. We used the air temperature from 98 stations for 30 years from 1991 to 2020. Three metrics including Root Mean Square Error, Bias, and Index of agreement were used to evaluate ERA5-Land, AgERA5, and MSWX datasets. Then, considering the seven main climate zones of Iran, the spatiotemporal quality of the annual mean temperature was evaluated in different climate zones. The results showed that all three datasets have less error and bias in the estimation of the minimum temperature of Iran. However, AgERA5 and MSWX significantly showed less error in the estimation of the maximum temperature with RMSE of 1.74°C and 1.42°C, respectively. On the other hand, the ERA5-Land dataset shows overestimation (5.05°C) and high error values (5.07°C) over the country-averaged. The results showed that the MSWX dataset has a better performance in estimating Iran's temperature with an average bias of 1°C. The interannual variations and decreasing and increasing trends of temperature in three datasets with correlation above 0.86 in all climate zones of Iran show a high consistency with observational data. The RMSE in all three datasets reaches its maximum in the winter season in mountainous climate zones of the country. This may be caused by snow-albedo feedback in mountainous climate zones. The findings showed that performing bias correction and downscaling methods as they have been done in MSWX and AgERA5, significantly improved the reanalysis dataset compared to the direct model output. Nevertheless, in the southwest of the Caspian Sea, the bias-corrected MSWX and AgERA5 show more errors than ERA5-Land. In general, the values of bias and RMSE in all three datasets are affected by the physical schemes of the model, parameterization, and data assimilation system, or the downscaling and bias correction methods. However, sources of bias can be different in different seasons of the year. The monthly spatial distribution of temperature in Iran shows that the minimum temperatures are located in the middle of Alborz and the northwest mountains of the country, and the coldest month of the year is January with a temperature of -10.8°C. The maximum temperatures in Iran are located in the southwest of the country and the southern coasts, and the hottest month of the year is July with an average temperature of 42.38°C.

Keywords: Air temperature, eRA5-land, agERA5, mSWX, Iran