

ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل پایگاه‌های اقلیمی جهانی MERRA-2، CFS-v2، ERA-5 برای برآورد دمای متوسط در مناطق مختلف کشور

زهره جوانشیری^۱، ابراهیم اسعدی اسکویی^{۱*}، یاشار فلامرزی^۱ و فاطمه عباسی^۲

^۱ استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

^۲ کارشناس پژوهشی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷)

چکیده

شبکه ایستگاه‌های همدیدی در سطح کشور توزیع یکنواختی ندارند. پراکندگی ایستگاه‌ها در مناطق پرجمعیت بیشتر و در اطراف بخش بزرگی از نواحی مرکزی ایران کمتر است. همین‌طور، این ایستگاه‌ها دارای طول آماری متفاوتی هستند؛ بنابراین داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی به تنهایی نمی‌توانند تصویر کامل و دقیقی از وضعیت اقلیم گذشته و همین‌طور پیش‌بینی وضعیت آینده به ما بدهند. در سال‌های اخیر، استفاده از محصولات بازتحلیل به عنوان داده‌های شبه‌مشاهداتی، به‌ویژه برای مطالعات اقلیمی و پیش‌بینی عددی وضع هوا، موردتوجه قرار گرفته‌اند. قبل از به‌کارگیری محصولات بازتحلیل در مطالعات، ارزیابی عملکرد آن‌ها در هر منطقه ضروری است. در این مقاله، داده‌های بازتحلیل دمای میانگین پایگاه‌های اقلیمی CFS-v2، MERRA-2، ERA-5، با استفاده از داده‌های ۱۴۳ ایستگاه هواشناسی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰، مورد ارزیابی قرار گرفتند. در ۶ ناحیه معرف تنوع اقلیمی در کشور، با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون (R)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSC)، شاخص اربیی نسبی (Relative Bias)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و ضریب کلینگ‌گوپتا (KGE)، داده‌های بازتحلیل مورد مقایسه قرار گرفتند. همین‌طور دقت فصلی، روند سالانه و توزیع احتمال داده‌های بازتحلیل شده در مقایسه با داده‌های مشاهداتی تحلیل شدند. نتایج نشان داد به‌طور کلی عملکرد پایگاه داده‌های ERA-5 در برآورد دمای میانگین، بر اساس هفت شاخص محاسبه شده، بیشتر از MERRA-2 و CFS-v2 است. مقادیر MAE به ترتیب برای داده‌های CFS-v2، MERRA-2، ERA-5 برابر با ۲/۰۷۷، ۱/۷۱ و ۱/۳۹ می‌باشد؛ اما در فصل بهار، برای خوشه‌ی بسیار گرم (جنوب غرب)، داده‌های CFS-v2؛ در فصل تابستان، در خوشه‌ی بسیار گرم (جنوب غرب) و بسیار سرد (شمال غرب)، داده‌های MERRA-2؛ و در فصل پاییز و زمستان، در خوشه گرم ساحلی (سواحل دریای عمان و خلیج فارس)، داده‌های MERRA-2؛ کمترین خطا را دارند.

واژه‌های کلیدی: CFS-v2، MERRA-2، ERA-5، پارامتر دما، شاخص‌های آماری

۱ مقدمه

داده‌های هواشناسی حاصل از اندازه‌گیری در ایستگاه‌های همدیدی، زیربنای طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و مطالعات کاربردی در علوم مختلف محیطی به ویژه آب و هواشناسی و مسائل مربوط به آن (ارزیابی مدل‌های آب‌وهوایی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی) است (هایلاک و همکاران، ۲۰۰۸). با این وجود، داده‌های مفقود فراوان در ایستگاه‌های هواشناسی، بهنگام نبودن متغیرهای مختلف آب‌وهوایی همچون دما و بارش و تراکم فضایی نامناسب ایستگاه‌ها از جمله مشکلاتی است که پژوهشگران در بخش‌های بزرگی از جهان به ویژه کشورهای کمتر توسعه یافته، مناطق کوهستانی و بیابانی با آن مواجه هستند (میری و همکاران، ۲۰۱۶). امروزه توسعه مراکز پیش‌بینی و مدل‌سازی داده‌های اقلیمی امکان دسترسی به داده‌های بهنگام را فراهم کرده است. علاوه بر این طی دهه‌های اخیر، مراکز دانشگاهی، ملی و بین‌المللی شامل مرکز جهانی اقلیم‌شناسی بارش (GPCP)، مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوئی (ECMWF) و واحد تحقیقات اقلیم (CRU) در راستای مطالعه‌ی تغییرات آب و هوایی شبکه‌ای از داده‌های آب و هوایی را تولید و گسترش داده‌اند. این داده‌ها معمولاً از درون‌یابی مشاهدات نامنظم فضایی حاصل شده و از جهات مختلف حائز اهمیت هستند (بلدا و همکاران، ۲۰۱۴؛ فورست و همکاران، ۲۰۱۵). تحلیل دوباره یک سیستم برای تولید مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی، بازتحلیل نامیده می‌شود. این نوع داده‌ها از ترکیب نتایج پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا با داده‌های مشاهداتی به‌دست می‌آیند.

پژوهشگران مختلفی به بررسی داده‌های بازتحلیل پایگاه‌های داده نظیر مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ مرکز ملی تحقیقات جوئی (NCEP/NCAR)، CRU، ECMWF در مناطق مختلف و برای متغیرهای مختلف اقلیمی پرداخته‌اند. در زمینه تغییرات اقلیمی، پین و همکاران (۲۰۰۵) به کمک

داده‌های شبکه‌ای شبکه جهانی آب و هواشناسی تاریخی/ واحد تحقیقات اقلیمی (GHCN/CRU) روند دما در دوره ۱۹۸۲-۱۹۹۹ را در غرب ایالات متحده ۰/۰۵ درجه در سال به‌دست آوردند. موریس و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های شبکه‌ای HadCRUT4 نشان دادند که روند ناهنجاری دمای کره زمین در دوره‌های ۲۰۱۰-۱۹۰۱ و ۱۹۷۹-۲۰۱۰ به ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۱۷ درجه سلسیوس در دهه بوده است.

آچاریا و همکاران (۲۰۲۰) مجموعه داده‌های شبکه‌ای بارش و دمای ENACTS-BMD با وضوح بالا را در بنگلادش بررسی کردند و مشخص نمودند با تلفیق مناسبی از داده‌های ایستگاه هواشناسی با ماهواره و محصولات بازتحلیل شده برآوردهای دقیق‌تری از تغییرات زمانی- مکانی بارش و دما به دست خواهد آمد. هولدن و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ی داده‌های دمای روزانه دوره ۲۰۱۲-۱۹۷۹ با وضوح ۲۵۰ متری را برای منطقه رشته کوه‌های راکی ایالات متحده با استفاده از داده‌های بازتحلیل شده (TopoWx,PRISM) و داده‌های مشاهده‌ای بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد میانگین خطای مطلق دمای کمینه و بیشینه کمتر از ۱/۴ درجه سلسیوس است. زانگ و همکاران (۲۰۲۱) داده‌های ۱ کیلومتری میانگین دمای روزانه هوا فلات تبت را در دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۰ با تلفیق هشت نوع پایگاه داده بازتحلیل (NNRP-2، MERRA-2، ERA-5، JRA-55، 20CRV2c، GLDAS2 و CFSRERA5) و مشاهده‌ای حاصل از ریزمقیاس‌نمایی تولید کردند. نتایج نشان می‌دهد که دمای هوا ریزمقیاس شده JRA-55 در میان هشت مجموعه داده بهترین برآورد را دارد و پس از آن ERA-5، MERRA-2، CFSR و سایر قرار دارند. مک نیکل و همکاران (۲۰۲۱) قابلیت اطمینان داده‌های دمای هوا پایگاه بازتحلیل ERA5 را در دو منطقه آب و هوایی معتدل و گرمسیری (دوبلین و

بازتحلیل، توپوگرافی واقعی تری را نسبت به مناطق ساحلی تولید می‌کنند. همچنین ERA5 بزرگی و تغییرپذیری دمای هوا و رژیم‌های باد نزدیک به سطح زمین را با دقت زیادی نشان می‌دهد.

دیداری و همکاران (۱۳۹۹)، داده‌های دمای هوای ERA-5 را با داده‌های روزانه دمای هوای بیشینه (Tmax)، کمینه (Tmin) و میانگین (Tmean) ۷۵ ایستگاه استان فارس طی دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۳ مقایسه کردند. نتایج نشان داد که این داده‌ها در برآورد دما کارایی مناسبی دارند. همچنین ارزیابی فصلی دقت برآورد نیز نشان داد که این داده‌ها عملکرد یکنواختی در طول فصل‌ها دارند. به‌طور کلی داده‌های ERA-5 می‌توانند به عنوان یک منبع جایگزین داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاهی با دقت قابل قبول در مناطق با توپوگرافی پیچیده مانند استان فارس مورد کاربرد قرار گیرند. هر چند برای در نظر گرفتن اثرات خرداقلیم و تغییرات ارتفاعی، ریزمقیاس‌سازی آن‌ها ضروری است. شکری و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که دو پایگاه داده بازتحلیل ECMWF و MERRA-2، برآورد خوبی از سه پارامتر دمای هوای بیشینه، کمینه و میانگین روزانه در سطح حوضه آبریز رودخانه حله، طی دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶، می‌دهند. اما پایگاه داده ECMWF نسخه ERA-5 در مقایسه با پایگاه داده MERRA نسخه ۲ بسیار بهتر عمل می‌کند. عملکرد هر دو پایگاه داده در برآورد دمای میانگین نسبت به دمای بیشینه و کمینه روزانه بهتر است و دمای بیشینه را بهتر از دمای کمینه برآورد می‌کنند. همچنین هر دو پایگاه داده در برآورد داده‌های دمای بیشینه، کم‌برآورد و در برآورد داده‌های کمینه، بیش‌برآورد دارند. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) به واکاوی و اعتبارسنجی اطلاعات دمایی پایگاه داده بازتحلیل ECMWF نسخه ERA-5 در بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ با تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه در ایران پرداختند. نتایج اعتبارسنجی پایگاه داده ERA-5 نشان‌دهنده توانایی و دقت زیاد آن در برآورد

سینگاپور) طی دوره ۲۰۱۵ - ۲۰۱۹ میلادی بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که پایگاه داده ERA5 در منطقه معتدل بهتر از منطقه گرمسیری عمل می‌کند. همچنین مشخص شد که زمان سال و منطقه آب و هوایی بر دقت داده‌های ERA-5 تأثیر می‌گذارد زیرا دماهای ملایم‌تر (نزدیک به ۱۰ درجه سانتی‌گراد) تقریباً بهتری را ایجاد می‌کنند. گلیکسور و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA-5 را در مقایسه با ERA-interim برای دما و بارش سطح زمین در آفریقا ارزیابی کردند. نتایج نشان می‌دهد که در ERA-5 اریبی‌های اقلیمی دما و بارش در بیشتر مناطق آفریقا به وضوح کاهش می‌یابد و داده‌های مشاهداتی با داده‌های پایگاه ERA-5 همبستگی بیشتری دارند. در این حال، هر دو پایگاه بازتحلیل، علی‌رغم عملکرد اندکی بهتر ERA-5 نسبت به ERA-interim، از نظر روندهای بلندمدت مشاهده شده، عملکرد ضعیفی داشتند. هر دو پایگاه داده بازتحلیل روند بارش مشاهده شده را در بیشتر مناطق نشان ندادند. تجزیه و تحلیل منطقه‌ای بیشتر در آفریقای شرقی نشان داد که بررسی تغییرات بارش به طور قابل توجهی از ERA-interim تا ERA-5 بهبود یافته است و استفاده از ERA-5 اریبی‌های داده‌های بارش منطقه‌ای را کاهش می‌دهد. تیتزور و همکاران (۲۰۱۹) پارامترهای هواشناسی دو پایگاه داده بازتحلیل ERA-Interim و ERA-5 را در مناطق شبه جزیره قطب جنوب (AP) و سرزمین Ellsworth، با مقایسه با داده‌های ۱۳ ایستگاه هواشناسی ثابت خودکار (AWS) واقع در محل، طی سال‌های ۱۹۸۲-۲۰۱۷ میلادی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که هر دو پایگاه داده بازتحلیل در ناحیه اسکله (بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح زمین) نسبت به ساحل عملکرد بهتری دارند. به‌طور کلی، عملکرد ERA-5 نسبت به ERA-Interim به طور قابل توجهی بهتر می‌باشد. بهترین عملکرد ERA-5 در مناطق مرتفع‌تر (بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح زمین) است. در این مناطق داده‌های

مقدار مشاهداتی برآورد می‌کند.

از آنجا که پایگاه داده‌های بازتحلیل می‌توانند در مطالعات تغییر اقلیم و همین‌طور پیش‌بینی‌های آب و هوایی کمک شایانی باشند، شناخت کارایی و محدودیت‌هایشان در نواحی مختلف، به ویژه در مناطق با تراکم ایستگاهی کم و دوره‌های ناقص، امری ضروری است. در مورد شناخت کارایی داده‌های بازتحلیل در برآورد دمای متوسط کشور، پرسش‌های مهمی مطرح است که در مطالعات گذشته به طور جامع به آن‌ها پرداخته نشده‌است؛ یک پایگاه داده بازتحلیل مشخص، در همه مناطق ایران بهترین عملکرد را دارد یا می‌تواند برای هر منطقه متفاوت باشد؟ میزان دقت داده‌های بازتحلیل در همه مناطق ایران یکسان است یا مناطق خاصی هستند که در آن‌ها داده‌های بازتحلیل دقت بیشتری دارند؟ آیا عملکرد داده‌های بازتحلیل به فصل مورد نظر نیز بستگی دارد؟ آیا پایگاه داده بازتحلیلی که بهترین دقت را بر اساس شاخص‌های آماری دارد، لزوماً نزدیکترین روند و توزیع احتمال را نیز به داده‌های مشاهداتی دارند؟ در این مطالعه سعی شده است، با بررسی سه پایگاه داده ERA-5، MERRA-2، CFS-v2 در مناطق مختلف ایران و در فصول مختلف؛ از نظر دقت، روند و توزیع احتمال، به سؤالات فوق پاسخ داده شود.

۲ داده و روش کار

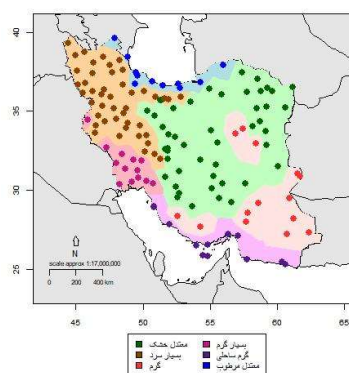
۲-۱ منطقه مورد مطالعه

کشور ایران در محدوده بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵/۰۳ تا ۳۹/۴۷ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴/۱۴ تا ۶۳/۲۰ واقع شده است. کشور ایران، به لحاظ موقع جغرافیایی خاص خود نسبت به گردش عمومی جو، در کمربند خشک جهان قرار گرفته و در مجاورت با پرفشار جنب حاره‌ای بیشتر بخش‌های کشور دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است. هرچند که با توجه به تنوع خصوصیات توپوگرافی و تغییرات فصلی مکان‌گزینی سامانه‌های

دمای هوا است. عربی یزدی و همکاران (۱۳۹۸) دقت مقادیر روزانه متغیرهای دما (میانگین، کمینه و بیشینه، دمای نقطه شبنم) و بارش داده ERA-5 از پایگاه ECMWF را با استفاده از داده‌های مشاهداتی پنج ایستگاه سینوپتیک در مناطق مختلف کشور با اقلیم‌های متنوع، در دوره ۲۰۱۷-۲۰۱۵ میلادی و با قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که برآوردهای دمای میانگین و دمای بیشینه خطای کمتری دارند و بین داده‌های مشاهده‌ای با داده‌های ERA-5 همبستگی بالایی وجود دارد. همین‌طور داده‌های ERA-5 به‌خوبی توانسته روند تغییرات زمانی متغیرهای مختلف را در ایستگاه‌های منتخب شبیه‌سازی کنند. سام خانیانی و محمدی (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای داده‌های بازتحلیل ERA5-Land را با مشاهدات زمینی در ایران مقایسه کردند. در این پژوهش، پارامترهای فشار سطح دریا، دما در تراز ۲ متر، سرعت باد در تراز ۱۰ متر از سطح زمین و دمای نقطه شبنم داده‌های بازتحلیل ERA5-Land به صورت زمانی و مکانی و بر اساس آماره‌هایی نظیر ME، MAE، RMSE و R ارزیابی شدند. برای مقایسه از پارامترهای زیر-روزانه‌ی ۴۰۶ ایستگاه همدیدی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که در کل منطقه، همبستگی بین میانگین محصولات ERA5-Land و اندازه‌گیری‌های محلی دمای ۲ متری، فشار سطحی، سرعت باد ۱۰ متری و دمای نقطه شبنم به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۸، ۰/۴۹ و ۰/۸۸ می‌باشد. سری زمانی مقادیر RMSE نشان داد دقت داده‌های شبانه دمای بازتحلیل نسبت به داده‌های روزانه در منطقه کمتر است. بررسی توزیع مکانی آماره‌های مربوط به دمای ۲ متری نشان داد میزان ارزیابی منفی و دقت داده‌های Land-ERA5 در مناطق کوهستانی به‌طور خاص در (رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس) به ترتیب بیشتر و کمتر است. همچنین، بررسی مقادیر ارزیابی نسبی نشان داد که در منطقه ایران، ERA5-Land به‌طور میانگین همه متغیرهای مورد مطالعه را کمتر از



(ب)



(الف)

شکل ۱. (الف) خوشه‌های اقلیمی مورد مطالعه (ب) ایستگاه‌های مورد مطالعه.

جدول ۱. مشخصات پایگاه داده‌های بازتحلیل.

تفکیک	توضیحات	منبع	مرکز دریافت داده‌ها	بانک داده بازتحلیل
۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه	کلاس: ورودی کامل، توسعه یافته مرکز: مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت جوئی پوشش زمانی: ۱۹۷۹ تا حال حاضر در نسخه ERA5.1 یک اجرای مجدد برای بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۶ برای حل مشکل اربیبی منفی انجام شده است.	هرسیچ و همکاران، ۲۰۲۰	Copernicus Climate Change Service's (C3S) Climate Data Store (CDS) https://climate.copernicus.eu/climate-data-store .	ERA-5
۰/۳۱۲۵ در ۰/۳۱۲۵ برای CFSR و ۰/۲۵ در ۰/۲۵ برای CFS.v2	کلاس: ورودی کامل، سنجنده‌های ماهواره‌ای مرکز: مرکز ملی پیش‌بینی محیطی پوشش زمانی: ۱۹۷۹ تا حال حاضر CFSR از ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ و CFS.v2 از ژانویه ۲۰۱۱ تا حال حاضر	سها و همکاران، ۲۰۱۰ سها و همکاران، ۲۰۱۴	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). https://cfs.ncep.noaa.gov .	CFSR/CFS-v2
۰/۵ در ۰/۶۲۵ درجه	کلاس: ورودی کامل، سنجنده‌های ماهواره‌ای مرکز: اداره مدل‌سازی و تجمیع جهانی ناسا پوشش زمانی: ۱۹۸۰ تاکنون	گلارو و همکاران، ۲۰۱۷	National Aeronautics and Space Administration (NASA). https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/data_access .	MERRA-2

آبگیر کشور به شمار می‌آیند) فاقد ایستگاه‌های سنجنش و اندازه‌گیری هستند. همچنین، نواحی مجاورتی که از تباین اقلیمی بالایی برخوردارند (مثل دامنه‌های شمالی - جنوبی البرز و دامنه‌های شرقی - غربی زاگرس) از توزیع متناسب و تعداد مناسب ایستگاه‌ها برخوردار نیستند (عساکره، ۱۳۸۷).

گردش عمومی جو، خشک‌سالی و ترسالی‌های هواشناسی متناوب رخ می‌دهد (اکبری و همکاران، ۱۴۰۰). دخالت عوامل متعدد جغرافیایی و قرارگیری در محل گذار سامانه گردش جو باعث تنوع اقلیمی در سرتاسر آن شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷). در کشوری همچون ایران در بسیاری از نواحی آن؛ به خصوص بیابان‌ها و کویرهای داخلی، نواحی با ارتفاع بیشتر از ۲۶۰۰ متر (که کانون‌های

۲-۲ داده‌های مشاهداتی

در این مطالعه از داده‌های دمای میانگین روزانه ۱۴۳ ایستگاه همدیدی در دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ استفاده شده است. شکل ۱ (ب) پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ابتدا کنترل کیفیت و همگن‌سازی داده‌ها با استفاده از الگوریتم کلایماتول (گاجرو، ۲۰۱۸) انجام شد (برای جزئیات بیشتر به جوانشیری و همکاران (۲۰۲۱) مراجعه شود). از آنجا که مناطق عمده آب و هوایی در ایران به ۶ ناحیه تقسیم می‌شود (اسدی اسکویی و همکاران، ۲۰۲۲). بر اساس پارامتر دمای میانگین، ایستگاه‌ها به ۶ خوشه تقسیم شدند (شکل ۱، الف). خوشه یک؛ معتدل خشک، خوشه دو؛ بسیار سرد، خوشه سه؛ گرم، خوشه چهار؛ بسیار گرم، خوشه پنج؛ گرم ساحلی و خوشه شش؛ معتدل مرطوب را شامل می‌شوند. برای این منظور، ۷ متغیر میانگین دمای فصل بهار، میانگین دمای فصل تابستان، میانگین دمای فصل پاییز، میانگین دمای فصل زمستان، انحراف معیار دمای ماهانه، چندک اول و چندک سوم دمای ماهانه در هر ایستگاه برای دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ محاسبه شدند. متغیرهای میانگین و انحراف معیار به ترتیب مرکز و پراکندگی داده‌ها و چندک اول و سوم نیز چگونگی توزیع داده‌ها را مشخص می‌کنند و بنابراین خوشه‌بندی بر اساس آن‌ها موجب می‌شود که ایستگاه‌هایی که مقادیر و توزیع پارامتر دما در آن‌ها مشابه است در یک خوشه قرار بگیرند. خوشه‌بندی بر اساس این متغیرها، به روش سلسله مراتبی تجمعی، با استفاده از بسته‌ی کلاستر در نرم‌افزار R انجام شد. برای محاسبه‌ی شاخص عدم شباهت بین مشاهدات از فاصله اقلیدسی استفاده شده است و برای تعیین معیار عدم شباهت بین خوشه‌ها، روش وارد به کار گرفته شده است.

۲-۳ داده‌های بازتحلیل

علاوه بر داده‌های مشاهداتی، داده‌های بازتحلیل شده دما پایگاه داده‌های CFS-v2، MERRA-2، ERA-5 بر اساس

قدرت تفکیک مکانی، دوره زمانی و داده‌های موجود انتخاب شدند که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. از آنجا که داده‌های بازتحلیل به صورت شبکه‌ای بوده و داده‌های ایستگاهی نقطه‌ای، جهت مقایسه آن‌ها با یکدیگر مقادیر شبکه‌ای بازتحلیل در محل مختصات ایستگاه‌ها با استفاده از روش میان‌یابی دوخطی و با بهره‌گیری از ۴ شبکه نزدیک مختصات ایستگاه، درون‌یابی شدند. به این ترتیب طی این فرآیند درون‌یابی در مختصات هر ایستگاه سه سری داده بازتحلیل حاصل شد.

۲-۴ خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی

یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین روش‌های خوشه‌بندی، خوشه‌بندی سلسله مراتبی است. خوشه‌بندی سلسله مراتبی به دو صورت قابل انجام است، روش تجمعی و روش تقسیمی در روش تجمعی که به آن روش پایین به بالا نیز گفته می‌شود، هر مشاهده ابتدا خود یک خوشه است و در هر مرحله مشاهدات یا خوشه‌هایی که دارای کمترین عدم شباهت هستند با هم ادغام می‌شوند و خوشه‌ی جدیدی می‌سازند، این کار ادامه می‌یابد تا تنها یک خوشه باقی بماند (کافمن و روسو، ۱۹۹۰). برای انجام خوشه‌بندی سلسله مراتبی، به دو معیار عدم شباهت نیاز هست، معیاری برای اندازه‌گیری عدم شباهت بین مشاهدات و شاخصی برای تعیین عدم شباهت بین خوشه‌ها. در این مطالعه، از فاصله اقلیدسی برای محاسبه معیار عدم شباهت بین مشاهدات استفاده شده است و روش وارد برای تعیین فاصله بین خوشه‌ها به کار رفته است.

فاصله اقلیدسی

توانع زیادی برای اندازه‌گیری فاصله بین اشیاء، با ویژگی‌های کمی وجود دارد. فاصله اقلیدسی بین دو نقطه در فضای اقلیدسی به عنوان طول پاره‌خط بین دو نقطه تعریف می‌شود. اگر $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ و $y =$

ترتیب مقادیر متوسط O_i ها و R_i ها و n تعداد مشاهدات باشد.

ضریب همبستگی پیرسون که به درجه همبستگی خطی مربوط می‌شود و دامنه آن بین -۱ تا ۱ می‌باشد از (معادله ۲) حاصل می‌شود.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(R_i - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 (R_i - \bar{R})^2}} \quad (2)$$

MAE (معادله ۳) و RMSE (معادله ۴) بیانگر میانگین خطا در واحد متغیر مورد نظر است، با این تفاوت که RMSE به خطاهای بزرگ وزن نسبتاً بالایی می‌دهد. هر دو معیار می‌توانند از ۰ تا ∞ تغییر کنند، مقادیر کمتر نشان‌دهنده‌ی خطای کمتر پایگاه داده در برآورد مقادیر مشاهده‌ای است. چون مقدار RMSE به واحد داده‌ها بستگی دارد، نمی‌توان مقادیر RMSE به دست آمده از دو پارامتر با مقیاس‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد، بنابراین RMSE را نرمال می‌کنند و NRMSE که در (معادله ۵) آمده‌است حاصل می‌شود.

$$MAE = n^{(-1)} \sum_{i=1}^n |R_i - O_i|, \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{(n^{(-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - O_i)^2)}, \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{(n^{(-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - O_i)^2)}}{\sum_{i=1}^n O_i / n}, \quad (5)$$

اریبی نسبی (معادله ۶) برای تشخیص تفاوت بین دو مجموعه داده به کار می‌رود. مقادیر منفی آن بیش برآورد مجموعه داده‌های بازتحلیل را نشان می‌دهد (ایزدی و همکاران، ۲۰۲۱).

$$Bias = (\sum_{i=1}^n (O_i - R_i) / (\sum_{i=1}^n O_i)) \times 100\%, \quad (6)$$

ضریب کارایی نش برای مقایسه داده‌های بازتحلیل با مقادیر مشاهده‌ای مطابق رابطه (۷) به کار می‌رود (بک و همکاران، ۲۰۱۹).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - R_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}, \quad (7)$$

(y_1, y_2, \dots, y_p) دو نقطه در فضای اقلیدسی p بعدی باشد، فاصله اقلیدسی بین دو نقطه از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$D_{euc} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2}, \quad (1)$$

روش وارد

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری فاصله بین خوشه‌ها در روش سلسله مراتبی تجمعی وجود دارد. روش وارد به جای اندازه‌گیری مستقیم فاصله، واریانس خوشه‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند. در روش وارد، فاصله بین دو خوشه‌ی A و B میزان افزایش در واریانس درون خوشه بعد از ادغام آن‌هاست.

درون‌یابی دو خطی

درون‌یابی دوخطی، متوسط وزنی ۴ پیکسل نزدیک را برای محاسبه مقدار درون‌یابی شده استفاده می‌کند. نتیجه حاصله از این روش نسبت به مقادیر اولیه هموارتر است. زمانی که فاصله تا پیکسل‌ها دارای مقدار یکسان باشد، مقدار درون‌یابی شده همان میانگین چهار پیکسل است. این فن، درون‌یابی را در هر دو جهت افقی و عمودی انجام می‌دهد و نتایج آن نسبت به درون‌یابی نزدیکترین همسایه بهتر و نسبت به روش درون‌یابی دو مکعبی به محاسبات کمتری نیاز دارد.

۲-۵ شاخص‌های ارزیابی

برای ارزیابی داده‌های بازتحلیل شده دمای میانگین با داده‌های مشاهداتی از ۷ شاخص ارزیابی، ضریب همبستگی پیرسون، مجذور میانگین مربعات خطا، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده، ضریب کارایی نش-ساتکلیف، شاخص اریبی نسبی، میانگین قدرمطلق خطا و ضریب کلینگ‌گوپتا با استفاده از روابط (۲) تا (۸) استفاده شد. فرض کنید O_i دمای مشاهداتی در روز i ام، R_i دمای به دست آمده از داده‌های بازتحلیل در روز i ام و \bar{O} و \bar{R} به

مساوی تقسیم می‌کنند؛ یعنی فراوانی داده‌هایی که در آن بازه‌ها قرار گرفته‌اند، یکسان هستند. به این دلیل که هدف اصلی، بررسی توزیع شاخص‌های مورد مطالعه در سطح کشور است، این گونه دسته‌بندی، مناسب‌تر است.

۳-۱ تحلیل شاخص‌های ارزیابی

در شکل ۲ توزیع شاخص اریبی نسبی مقادیر مشاهده‌ای دما و پایگاه داده‌های بازتحلیل ارائه شده است. بر اساس این شاخص، داده‌های بازتحلیل میانگین دما را در بیشتر ایستگاه‌ها کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده‌اند یا به عبارت دیگر کم‌برآورد داشته‌اند. از نظر منطقه‌ای داده‌های بازتحلیل شده CFS-v2، در سواحل دریای عمان و خلیج فارس بیش‌برآورد داشته‌اند، در صورتی که بیش‌برآورد در مجموعه داده‌های ERA-5 و MERRA-2 علاوه بر سواحل دریای عمان و خلیج فارس، در غرب نیز دیده می‌شود. همین‌طور نتایج نشان می‌دهند که بیشترین قدر مطلق اریبی نسبی مربوط به داده‌های CFS-v2 و ایستگاه تهران شمیران با مقدار ۰/۴۱ و کمترین قدر مطلق اریبی نسبی مربوط به داده‌های ERA-5 و ایستگاه لار با مقدار ۰/۰۰۵۸ می‌باشد. شکل ۳ و جدول ۲ متوسط شاخص‌ها را در هر خوشه نشان می‌دهد و بر اساس آن میانگین قدر مطلق اریبی نسبی در پایگاه داده CFS-v2 و در خوشه بسیار سرد کشور (۰/۱۸۰) و کمترین میانگین قدر مطلق اریبی نسبی در پایگاه داده ERA-5 در خوشه گرم ساحلی (۰/۰۱۸۴) می‌باشد. به طور کلی، در همه خوشه‌ها پایگاه داده ERA-5 دارای کمترین میانگین قدر مطلق اریبی نسبی می‌باشد و بعد از آن پایگاه داده MERRA-2 قرار دارد. از نظر مقایسه خوشه‌ها، تمامی پایگاه داده‌ها برای خوشه‌ی گرم ساحلی کمترین میانگین قدر مطلق اریبی نسبی را دارند.

ضریب نش می‌تواند از $-\infty$ تا ۱ باشد. این ضریب مقادیر نسبی واریانس باقیمانده‌ها را نسبت به واریانس مقادیر مشاهده شده دما تعیین می‌کند. اگر $NS \leq 0/5$ برآورد غیر قابل اعتماد است و اگر $0/65 < NS \leq 0/5$ برآورد قابل قبول و $0/75 < NS \leq 0/65$ برآورد خوب و اگر $NS < 0/75$ برآورد خیلی خوب می‌باشد (پمنون و همکاران، ۲۰۱۷).

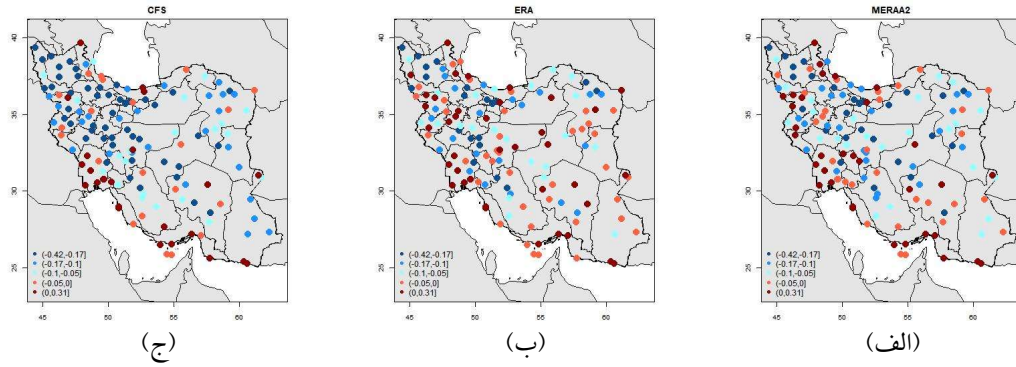
KGE برای اولین بار توسط گوپتا و همکاران (۲۰۰۹) به کار رفت (معادله ۸). KGE به عنوان ترکیبی از ضریب همبستگی پیرسون، اریبی و تغییرپذیری تعریف می‌شود. محدوده KGE از $-\infty$ تا یک است که در آن ۱ نشان‌دهنده بهترین برازش داده‌ها است، مقادیر بیشتر از ۰/۶ قابل قبول می‌باشد (تارک و همکاران، ۲۰۲۰).

$$KGE = 1 - \sqrt{((r-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\gamma-1)^2)}, \quad (8)$$

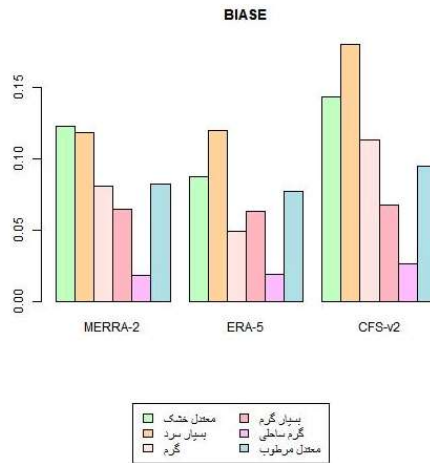
در رابطه (۸)، r ضریب همبستگی می‌باشد، $\beta = \frac{\mu_r}{\mu_0}$ و $\gamma = \frac{\sigma_r}{\sigma_0}$ به ترتیب نسبت میانگین و واریانس داده‌های بازتحلیل را نسبت به مشاهداتی نشان می‌دهند.

۳ بحث و نتایج

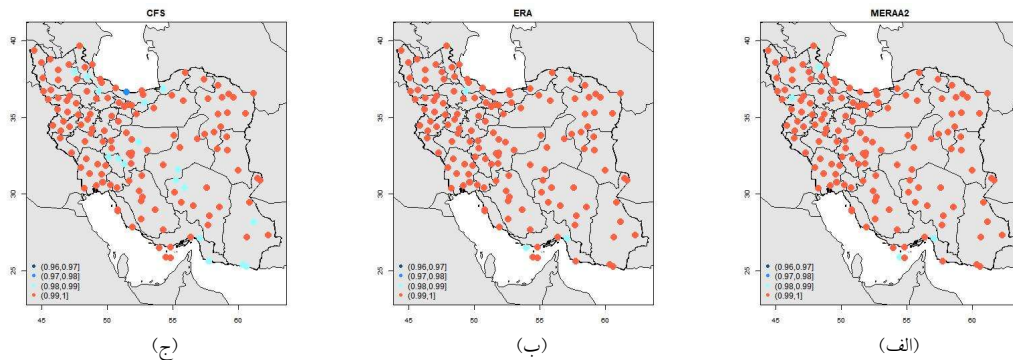
در این بخش به بحث و بررسی دقت پایگاه داده‌ها از جهات مختلف می‌پردازیم. در زیربخش اول، شاخص‌های مختلف آماری را برای سه پایگاه داده به صورت ایستگاهی و همین‌طور در خوشه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌دهیم. در زیر بخش دوم به تحلیل فصلی و سالانه مقدار قدر مطلق خطا برای سه پایگاه داده می‌پردازیم و در زیر بخش سوم، روند سالانه و توزیع احتمال هر سه پایگاه داده را با روند سالانه و توزیع احتمال داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار می‌دهیم. شایان ذکر است، برای مشخص کردن شاخص‌های آماری به روی نقشه، آن‌ها دسته‌بندی شده‌اند. برای تعیین نقاط شکست هر شاخص، از پنجک‌های آن استفاده شده‌است (مقادیری که داده‌ها را به ۵ قسمت



شکل ۲. توزیع مکانی شاخص ارزیابی نسبی (Relative BIAS) مقادیر مشاهده‌ای دما و پایگاه داده‌های (الف) MERRA2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



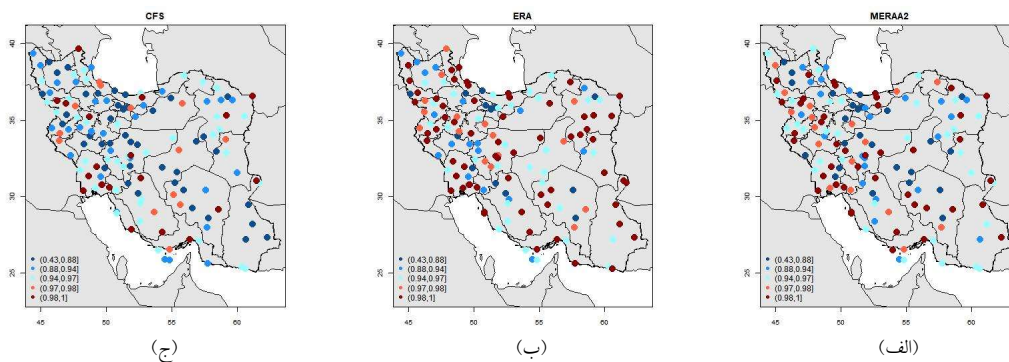
شکل ۳. نمودار شاخص ارزیابی نسبی (Relative Bias) دمای هوای میانگین خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های بازتحلیل ERA-5، MERRA2 و CFS-v2 طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



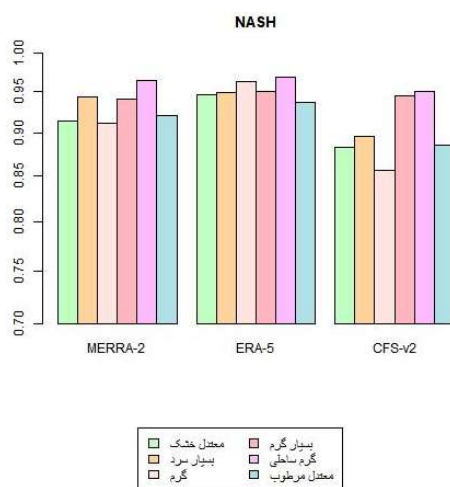
شکل ۴. توزیع مکانی ضرایب همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای دما و پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

نشان می‌دهد. در غالب نقاط کشور به ویژه دامنه‌های رشته کوه زاگرس، سواحل خلیج فارس و شمال و گوشه شمال شرق ایران، مقادیر NS نزدیک به یک (بیشتر از ۰/۹) است و برآورد خیلی خوب می‌باشد و کمترین مقدار این ضریب در داده‌های CFS-v2 مربوط به ایستگاه‌های منجیل، جیرفت و کرج است که مقدار آن کمتر از ۰/۵ است.

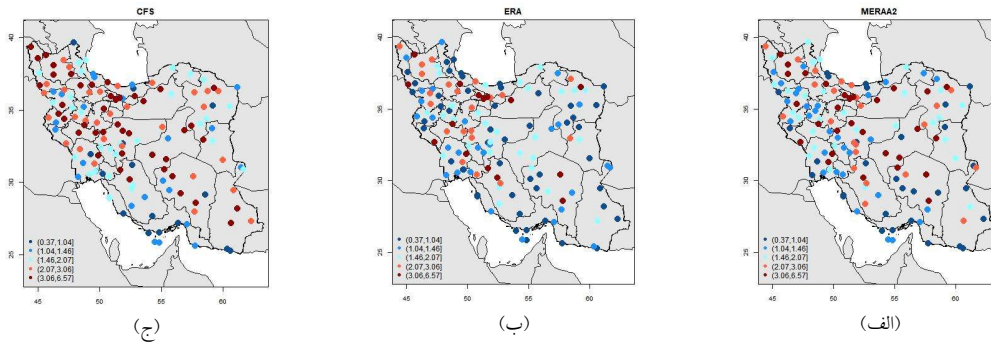
نتایج ضریب همبستگی داده‌های دمای بازتحلیل و مشاهده‌ای در شکل ۴ نشان داده شده‌است. بر اساس این نتایج همه‌ی پایگاه داده‌های بازتحلیل مورد مطالعه، به‌ویژه پایگاه داده‌های ERA-5، همبستگی بالایی با داده‌های مشاهده‌ای دارند. شکل ۵ توزیع مکانی ضریب کارایی نش مقادیر دیدبانی دما و پایگاه داده‌های CFS-v2، MERRA2 و ERA-5 را



شکل ۵. توزیع مکانی ضریب کارایی نش مقادیر مشاهده‌ای دما و پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

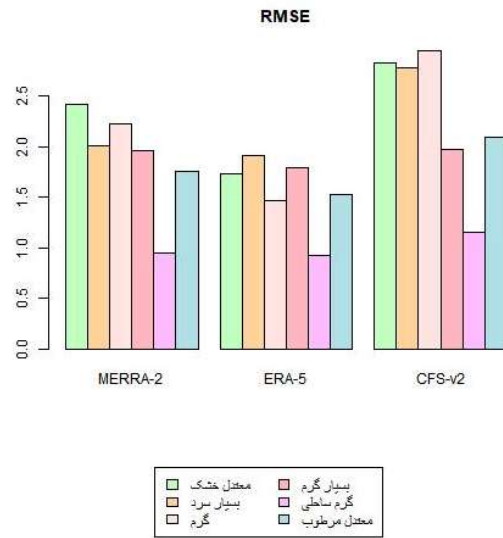


شکل ۶. نمودار ضریب کارایی نش دمای هوای میانگین خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA-5، MERRA2 و CFSv2 طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



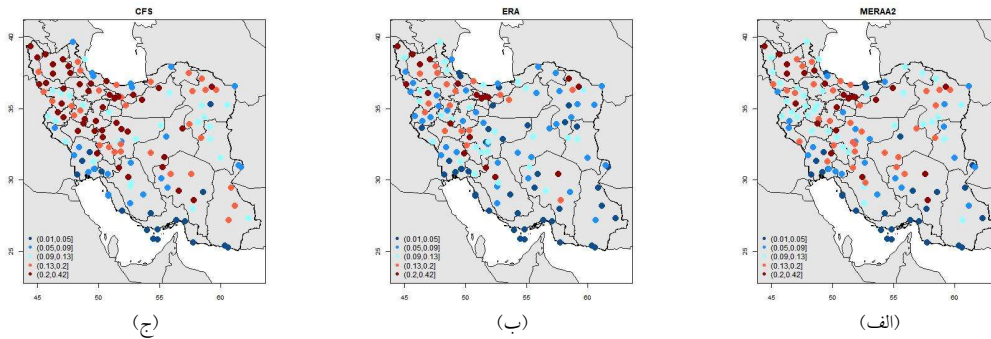
شکل ۷. توزیع مجذور میانگین مربع خطا RMSE مقادیر مشاهده‌ای دما و پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 در دوره

دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



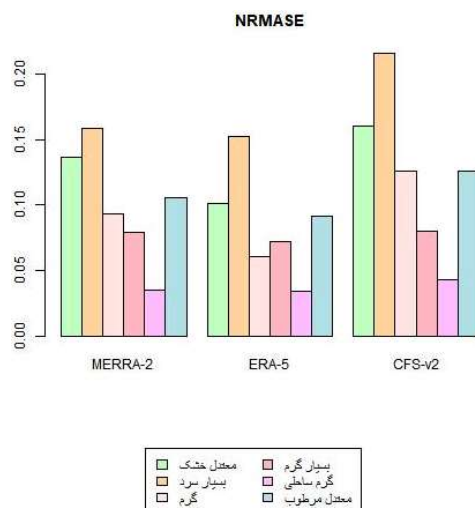
شکل ۸. نمودار مجذور میانگین مربع خطا RMSE دمای هوای میانگین خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل MERRA-2، ERA-5 و CFS-v2 طی

دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



شکل ۹. توزیع مکانی میانگین خطای NRMSE مقادیر مشاهده‌ای دما و پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 در دوره ۲۰۲۰-

۱۹۹۱ میلادی.



شکل ۱۰. نمودار مجذور میانگین خطای NRMSE دمای هوای میانگین خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA-5، MERRA-2 و CFS-v2 طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

شکل ۶، متوسط ضریب نش را در خوشه‌ها مورد مقایسه قرار می‌دهد و مقادیر عددی آن در جدول ۲ آمده است. از نظر خوشه‌های آب و هوایی، کمترین مقدار میانگین ضریب NS در پایگاه داده CFS-v2 در خوشه معتدل مرطوب (به میزان ۰/۸۸۵) و بیشترین مقدار آن در خوشه گرم ساحلی (سواحل دریای عمان و خلیج فارس) و مربوط به داده‌های ERA-5 (۰/۹۶۸) است. بر اساس ضریب NS در تمامی خوشه‌ها پایگاه ERA-5 به سایر پایگاه داده‌ها برتری دارد. همین‌طور در خوشه گرم ساحلی، تمامی پایگاه داده‌ها دارای بیشتری مقدار متوسط ضریب نش هستند.

شکل ۷ مقادیر RMSE را برای داده‌های دمای برآوردی نشان می‌دهد، کمترین مقدار RMSE در داده‌های ERA-5 (در سراوان ۰/۳۷ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین مقدار آن در داده‌های CFS-v2 (در تهران شمیرانات با مقدار ۶/۶ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. همین‌طور مشاهده می‌شود که در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه، پایگاه داده ERA-5 کمترین RMSE را به خود اختصاص داده است. با توجه به شکل ۸ و جدول ۲، می‌توان گفت که در تمام خوشه‌ها پایگاه ERA-5 برآورد دقیق‌تری نسبت به CFS-v2

شکل ۱۱، مقایسه دقت داده‌های دمای پایگاه‌های CFS-v2، MERRA-2 و ERA-5 در برآورد دمای ایستگاه‌های همدیدی منتخب در سطح کشور را با استفاده از شاخص MAE نشان می‌دهد. مقایسه داده‌های باز تحلیل نشان می‌دهد

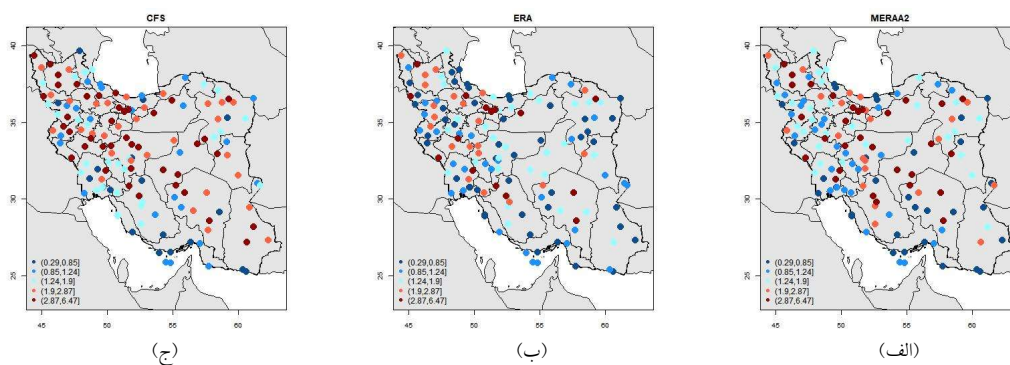
شکل ۶، متوسط ضریب نش را در خوشه‌ها مورد مقایسه قرار می‌دهد و مقادیر عددی آن در جدول ۲ آمده است. از نظر خوشه‌های آب و هوایی، کمترین مقدار میانگین ضریب NS در پایگاه داده CFS-v2 در خوشه معتدل مرطوب (به میزان ۰/۸۸۵) و بیشترین مقدار آن در خوشه گرم ساحلی (سواحل دریای عمان و خلیج فارس) و مربوط به داده‌های ERA-5 (۰/۹۶۸) است. بر اساس ضریب NS در تمامی خوشه‌ها پایگاه ERA-5 به سایر پایگاه داده‌ها برتری دارد. همین‌طور در خوشه گرم ساحلی، تمامی پایگاه داده‌ها دارای بیشتری مقدار متوسط ضریب نش هستند.

شکل ۷ مقادیر RMSE را برای داده‌های دمای برآوردی نشان می‌دهد، کمترین مقدار RMSE در داده‌های ERA-5 (در سراوان ۰/۳۷ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین مقدار آن در داده‌های CFS-v2 (در تهران شمیرانات با مقدار ۶/۶ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. همین‌طور مشاهده می‌شود که در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه، پایگاه داده ERA-5 کمترین RMSE را به خود اختصاص داده است. با توجه به شکل ۸ و جدول ۲، می‌توان گفت که در تمام خوشه‌ها پایگاه ERA-5 برآورد دقیق‌تری نسبت به CFS-v2

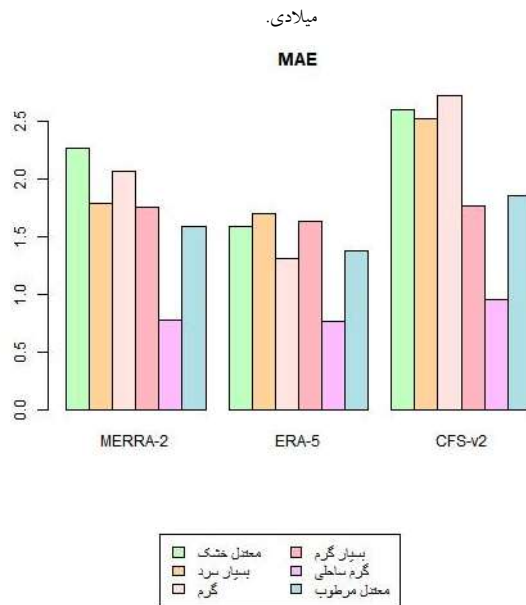
داده‌های MERRA2 تعلق دارد. همین‌طور، تمامی پایگاه داده‌ها در خوشه‌ی گرم ساحلی دارای دقت بالاتری نسبت به سایر خوشه‌ها می‌باشند.

شکل ۱۳ مقایسه داده‌های دمای پایگاه داده‌های CFS-v2, MERRA-2 و ERA-5 را در برآورد دمای ایستگاه‌های همدیدی منتخب در سطح کشور، با استفاده از شاخص KGE نشان می‌دهد.

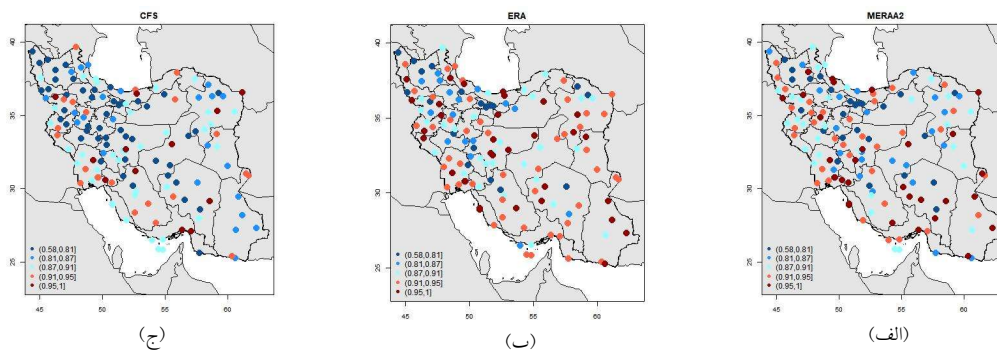
که میانگین قدرمطلق خطای داده‌های ERA-5 در بیشتر ایستگاه‌ها کمتر از سایر پایگاه داده‌ها می‌باشد. کمترین مقدار خطا در این پایگاه داده، در سراوان به میزان ۰/۲۹ می‌باشد و بیشترین خطا هم متعلق به داده‌های CFS-v2 (در ایستگاه تهران شمیرانات با مقدار ۶/۴) است. جدول ۲ و شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در تمام خوشه‌ها، کمترین مقادیر MAE، ابتدا به پایگاه داده‌های ERA-5 و سپس به پایگاه



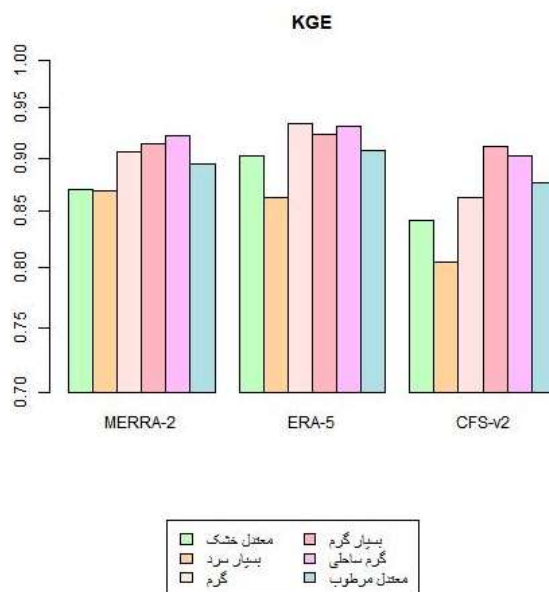
شکل ۱۱. توزیع مکانی میانگین خطای MAE مقادیر مشاهده‌ای دما و پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰



شکل ۱۲. نمودار میانگین خطای MAE دمای هوای میانگین خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل MERRA2, ERA-5 و CFSv2 طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰.



شکل ۱۳. توزیع مکانی میانگین KGE مقادیر مشاهده‌ای دما و پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



شکل ۱۴. نمودار شاخص KGE دمای هوای میانگین خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA-5، MERRA2 و CFSv2 طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

توجه به جدول ۲ و شکل ۱۴، می‌توان گفت که در همه خوشه‌ها مقدار شاخص KGE مربوط به پایگاه داده ERA-5 نسبت به سایر پایگاه داده‌ها بزرگتر است و بعد از آن MERRA-2 قرار دارد. همین‌طور تمامی پایگاه داده‌ها در خوشه‌ی گرم ساحلی، خطای کمتری نسبت به سایر خوشه‌ها دارند و در خوشه بسیار سرد، بیشترین خطا را دارا هستند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین مقدار این شاخص از نظر منطقه‌ای در شمال غرب کشور و در پایگاه داده CFS-v2، علاوه بر آن در حاشیه زاگرس مشاهده می‌شود. در پایگاه داده ERA-5، در اکثر مناطق مقدار شاخص KGE بیش از ۰/۸۱ است. از نظر خوشه‌های آب‌وهوایی نیز بیشترین مقدار شاخص KGE در خوشه گرم به میزان ۰/۹۳۳ در پایگاه داده ERA-5 و کمترین مقدار آن مربوط به خوشه بسیار سرد پایگاه داده CFS-v2 است. همین‌طور با

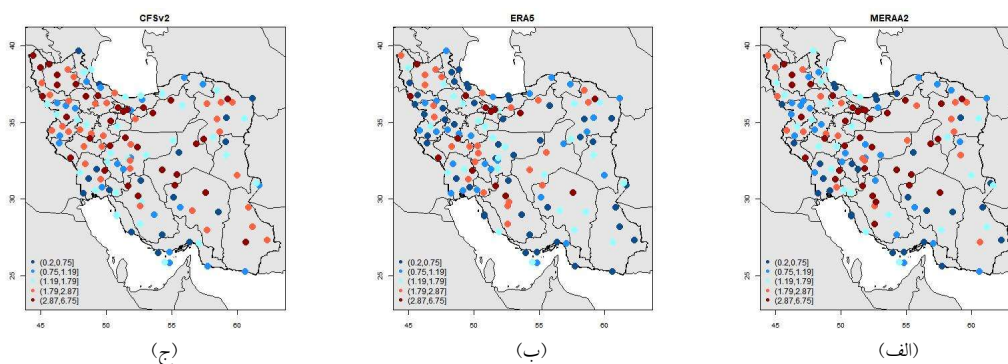
جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی کننده دمای هوای میانگین در خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه داده‌های مورد مطالعه.

خوشه	پایگاه داده	KGE	NASH	BIASE	R	NRMASE	RMSE	MAE
معتدل خشک	MERRA-2	۰.۸۷۰	۰.۹۱۴	۰.۱۲۳	۰.۹۹۶	۰.۱۳۷	۲.۴۱۷	۲.۲۷۲
	ERA-5	۰.۹۰۳	۰.۹۴۶	۰.۰۸۷	۰.۹۹۸	۰.۱۰۲	۱.۷۳۴	۱.۵۹۱
	CFS-v2	۰.۸۴۲	۰.۸۸۳	۰.۱۴۳	۰.۹۹۴	۰.۱۶۰	۲.۸۲۳	۲.۶۰۹
بسیار سرد	MERRA-2	۰.۸۶۸	۰.۹۴۴	۰.۱۱۸	۰.۹۹۴	۰.۱۵۸	۲.۰۰۳	۱.۷۹۰
	ERA-5	۰.۸۶۳	۰.۹۴۸	۰.۱۲۰	۰.۹۹۶	۰.۱۵۲	۱.۹۰۷	۱.۷۰۳
	CFS-v2	۰.۸۰۵	۰.۸۹۶	۰.۱۸۰	۰.۹۹۳	۰.۲۱۶	۲.۷۷۹	۲.۵۲۹
گرم	MERRA-2	۰.۹۰۶	۰.۹۱۱	۰.۰۸۱	۰.۹۹۶	۰.۰۹۳	۲.۲۲۸	۲.۰۷۵
	ERA-5	۰.۹۳۳	۰.۹۶۲	۰.۰۴۹	۰.۹۹۸	۰.۰۶۱	۱.۴۶۲	۱.۳۱۵
	CFS-v2	۰.۸۶۳	۰.۸۵۶	۰.۱۱۳	۰.۹۹۴	۰.۱۲۶	۲.۹۵۴	۲.۷۳۳
بسیار گرم	MERRA-2	۰.۹۱۳	۰.۹۴۱	۰.۰۶۵	۰.۹۹۶	۰.۰۷۹	۱.۹۶۲	۱.۷۶۳
	ERA-5	۰.۹۲۳	۰.۹۵۱	۰.۰۶۳	۰.۹۹۸	۰.۰۷۲	۱.۷۹۲	۱.۶۳۸
	CFS-v2	۰.۹۱۱	۰.۹۴۵	۰.۰۶۸	۰.۹۹۷	۰.۰۸۰	۱.۹۶۷	۱.۷۷۳
گرم ساحلی	MERRA-2	۰.۹۲۱	۰.۹۶۴	۰.۰۱۸	۰.۹۹۲	۰.۰۳۵	۰.۹۴۹	۰.۷۷۹
	ERA-5	۰.۹۳۱	۰.۹۶۸	۰.۰۱۹	۰.۹۹۴	۰.۰۳۴	۰.۹۱۸	۰.۷۶۵
	CFS-v2	۰.۹۰۲	۰.۹۵۰	۰.۰۲۶	۰.۹۹۲	۰.۰۴۳	۱.۱۴۸	۰.۹۶۰
معتدل مرطوب	MERRA-2	۰.۸۹۵	۰.۹۲۰	۰.۰۸۲	۰.۹۹۵	۰.۱۰۶	۱.۷۵۴	۱.۵۸۷
	ERA-5	۰.۹۰۷	۰.۹۳۷	۰.۰۷۷	۰.۹۹۶	۰.۰۹۱	۱.۵۲۴	۱.۳۷۶
	CFS-v2	۰.۸۷۷	۰.۸۸۵	۰.۰۹۵	۰.۹۸۹	۰.۱۲۵	۲.۰۹۶	۱.۸۶۰
مجموع		۰.۸۹۶	۰.۹۳۲	۰.۰۶۱	۰.۹۹۵	۰.۱۰۱	۱.۸۸۶	۱.۷۲۹

۳-۲ ارزیابی فصلی و سالانه

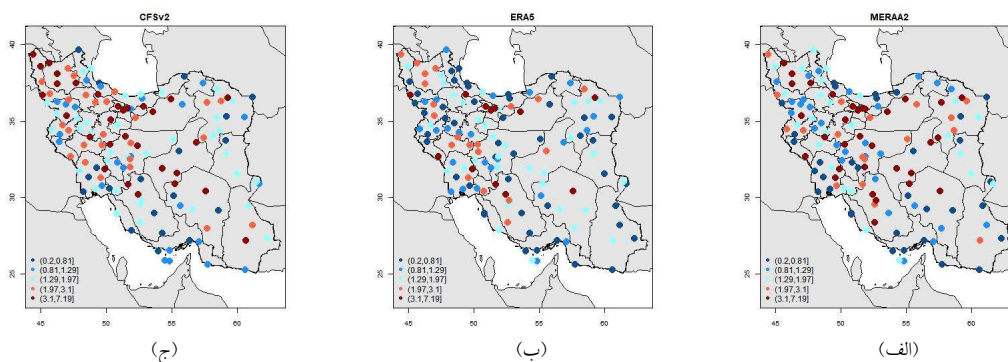
مطالعه فصلی می‌تواند رفتار دمایی کشور را بهتر نشان دهد. از این‌رو، دقت داده‌های دمای پایگاه‌های CFS-۷۲، MERRA-2 و ERA-5 در برآورد دمای فصلی ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه، طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی، مورد بررسی قرار گرفت.

برای اعتبارسنجی این داده‌ها، شاخص MAE برای هر فصل و هر ایستگاه محاسبه شد و نتایج روی نقشه مشخص شدند. همین‌طور، برای مقایسه میزان خطای پایگاه داده‌ها در سال‌های مختلف، سری سالانه متوسط مقادیر MAE در خوشه‌های مختلف نتایج به تفکیک در زیر آمده‌است.



شکل ۱۵. توزیع مکانی میانگین خطای MAE مقادیر مشاهده‌ای دما و برآورد پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 فصل بهار در

دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



شکل ۱۶. توزیع مکانی میانگین خطای MAE مقادیر مشاهده‌ای دما و برآورد پایگاه داده‌های (الف) MERRA2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS فصل تابستان در

دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

۳-۲-۱ فصل بهار

مقایسه‌ی قدرمطلق خطای داده‌های بازتحلیل و داده‌های مشاهداتی برای فصل بهار نشان می‌دهد که میانگین قدرمطلق خطای داده‌های ERA-5 در بیشتر ایستگاه‌ها، به ویژه در شمال شرق کشور و رشته کوه زاگرس، کمتر از سایر پایگاه داده‌ها می‌باشد (شکل ۱۵). تنها در خوشه‌ی بسیار گرم مقدار متوسط MAE، برای پایگاه داده CFS- v_2 کمترین مقدار را دارد، بنابراین می‌توان گفت گرچه داده‌های ERA-5 به طور کلی برآورد بهتری از دمای میانگین ارائه می‌کنند، اما برای فصل بهار و خوشه بسیار گرم (جنوب غرب) داده‌های CFS- v_2 دقت بیشتری دارند.

۳-۲-۲ فصل تابستان

مقایسه‌ی MAE مربوط به داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی برای فصل تابستان بیانگر این است که در منطقه شمال غرب و جنوب غرب پایگاه داده‌های MERRA-2 برای برآورد دمای متوسط، عملکرد بهتری نسبت به سایر پایگاه‌های داده دارند و در سایر نقاط کشور دقت پایگاه داده‌های ERA-5 بهتر است (شکل ۱۶).

۳-۲-۳ فصل پاییز

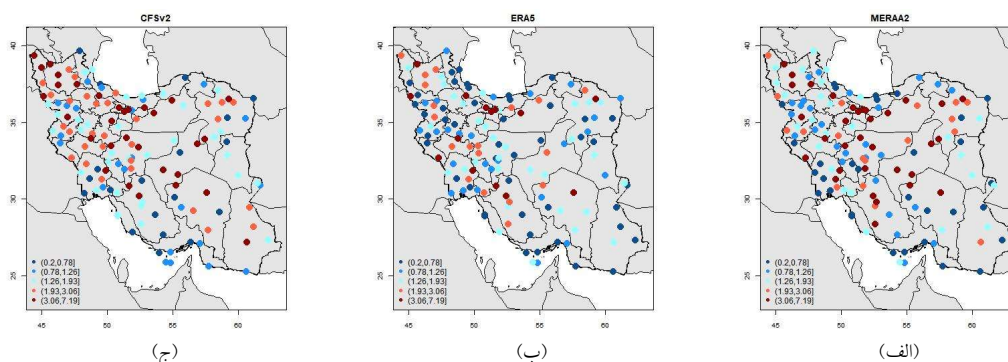
مقایسه‌ی دقت داده‌های بازتحلیل در فصل پاییز نشان می‌دهد که داده‌های ERA-5 در بیشتر ایستگاه‌ها، به ویژه

برای فصل زمستان بیانگر این است که داده‌های ERA-5 در بیشتر ایستگاه‌ها، به ویژه در شمال شرق، جنوب شرق و رشته کوه زاگرس، دقت بالاتری نسبت به سایر پایگاه‌های داده دارند (شکل ۱۸). تنها در خوشه‌ی گرم ساحلی مقدار متوسط MAE، برای پایگاه داده MERRA-2 کمترین مقدار را دارد؛ بنابراین می‌توان گفت گرچه داده‌های ERA-5 به‌طور کلی برآورد بهتری از دمای میانگین ارائه می‌کنند، اما برای فصل زمستان و منطقه سواحل دریای عمان و خلیج فارس داده‌های MERRA-2 دقت بیشتری دارند.

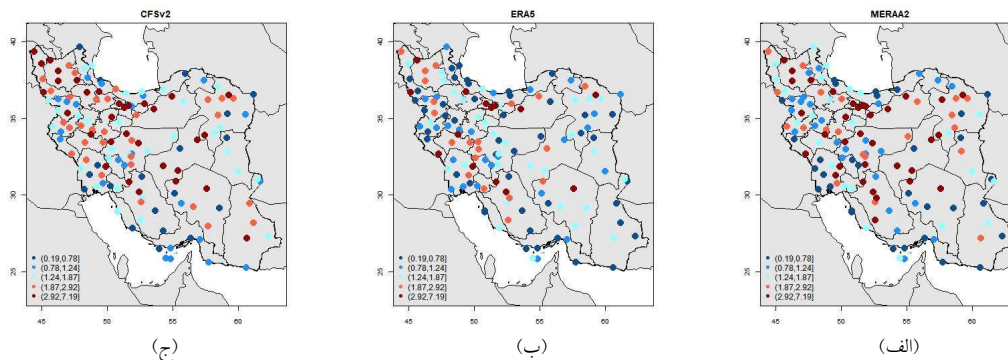
در شمال شرق، جنوب شرق و رشته کوه زاگرس، دقت بالاتری نسبت به سایر پایگاه‌های داده دارند (شکل ۱۷). تنها در خوشه‌ی گرم ساحلی مقدار متوسط MAE، برای پایگاه داده MERRA-2 کمترین مقدار را دارد؛ بنابراین می‌توان گفت گرچه داده‌های ERA-5 به‌طور کلی برآورد بهتری از دمای میانگین ارائه می‌کنند، اما برای فصل پاییز و منطقه سواحل دریای عمان و خلیج فارس داده‌های MERRA-2 دقت بیشتری دارند.

۴-۲-۳ فصل زمستان

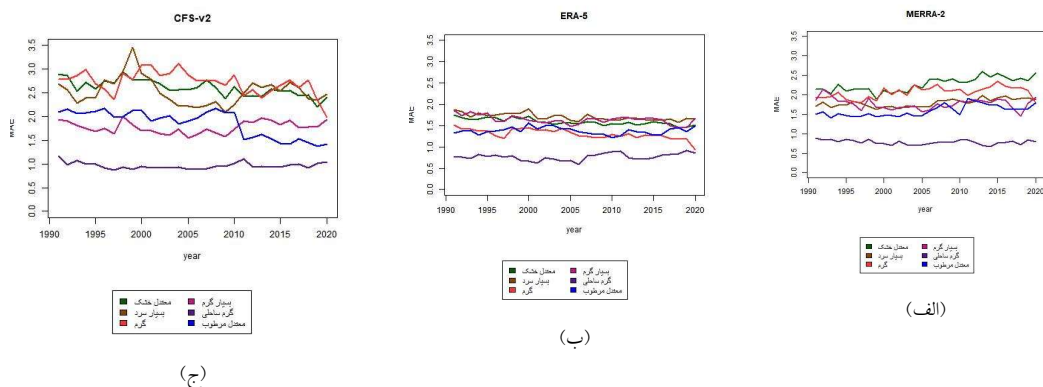
مقایسه‌ی MAE مربوط به داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی



شکل ۱۷. توزیع مکانی میانگین خطای MAE مقادیر مشاهده‌ای دما و برآورد پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 فصل پاییز در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

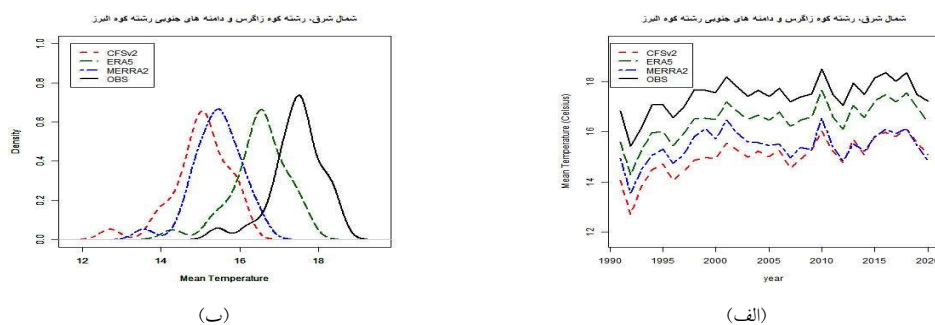


شکل ۱۸. توزیع مکانی میانگین خطای MAE مقادیر مشاهده‌ای دما و برآورد پایگاه داده‌های (الف) MERRA-2 (ب) ERA-5 و (ج) CFS-v2 فصل زمستان در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



شکل ۱۹. نمودار سری سالانه میانگین قدرمطلق خطای MAE دمای هوای میانگین در خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA-5، MERRA-2 و

CFS-v2 طی سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



شکل ۲۰. نمودار (الف) روند (ب) تابع چگالی احتمال دمای هوای میانگین در خوشه یک برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA-5، MERRA2 و CFSv2 و

مشاهداتی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

۳-۲-۵ سری سالانه

در شکل ۱۹ سری زمانی میانگین خطای MAE دمای هوای پایگاه‌های باز تحلیل ERA-5، MERRA-2 و CFS-v2 در خوشه اقلیمی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی آورده شده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین و انحراف معیار خطای پایگاه داده ERA-5 نسبت به دو پایگاه دیگر در هر ۶ خوشه اقلیمی کمتر است و بعد از آن داده‌های MERRA-2 قرار دارد. در این داده‌ها بهترین عملکرد و کمترین مقدار خطا در خوشه‌ی گرم ساحلی مشاهده می‌شود.

۳-۳ تحلیل روند و تابع چگال احتمال

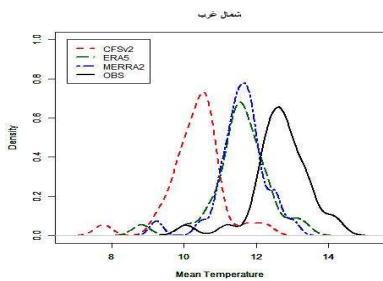
در این بخش، روند و توزیع احتمال میانگین دمای داده‌های مشاهداتی با داده‌های بازتحلیل، در خوشه‌های مختلف، مقایسه می‌شود. نتایج به تفکیک برای هر خوشه در زیر آمده‌است.

۳-۳-۱ خوشه معتدل خشک

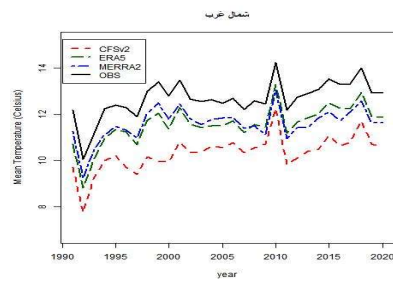
جدول ۳ و شکل ۲۰ (الف) روند سری سالانه دما را برای داده‌های مشاهداتی و سه پایگاه داده مورد بررسی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی، داده‌های بازتحلیل تغییرات زمانی میانگین دما را در سال‌های مختلف

کرده است. به عبارت دقیق‌تر پارامتر مکان داده‌های مشاهداتی بزرگتر از داده‌های بازتحلیل است. در بین سه پایگاه داده، پایگاه داده ERA-5 نزدیکترین شکل توزیع و نزدیکترین پارامتر مکانی به داده‌های مشاهداتی را دارد.

به خوبی برآورد می‌کنند؛ اما داده‌های ERA-5 نزدیکترین روند به داده‌های مشاهداتی را دارا است. شکل ۲۰ (ب) توزیع احتمال داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی را نشان می‌دهد. شکل توزیع داده‌های بازتحلیل به داده‌های مشاهداتی بسیار نزدیک است و تنها پارامتر مکان آن تغییر

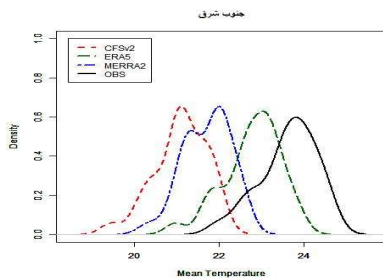


(ب)

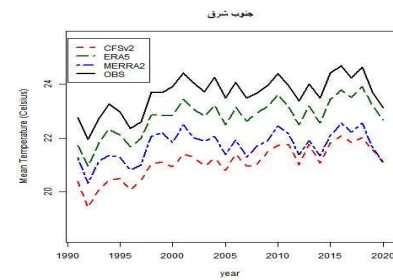


(الف)

شکل ۲۰. نمودار (الف) روند (ب) تابع چگالی احتمال دمای هوای میانگین در خوشه دو برای پایگاه‌های بازتحلیل ERA-5, MERRA2, CFSv2 و مشاهداتی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

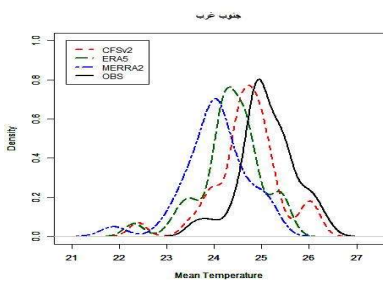


(ب)

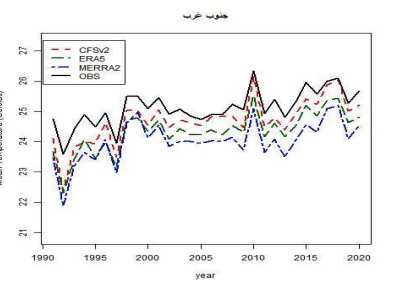


(الف)

شکل ۲۱. نمودار (الف) روند (ب) تابع چگالی احتمال دمای هوای میانگین در خوشه سه برای پایگاه‌های بازتحلیل ERA-5, MERRA2, CFSv2 و مشاهداتی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

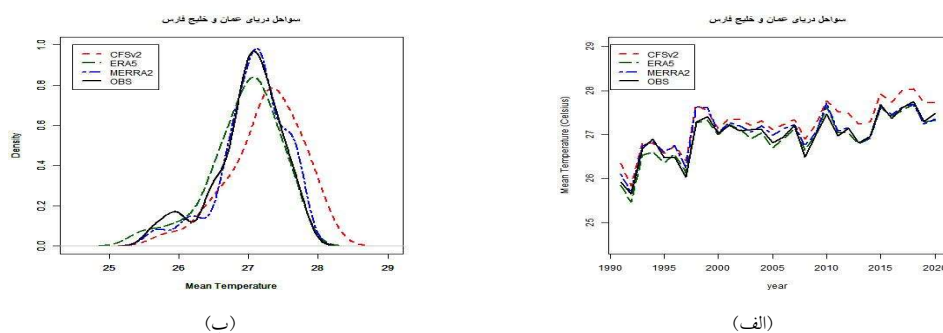


(ب)



(الف)

شکل ۲۲. نمودار (الف) روند (ب) تابع چگالی احتمال دمای هوای میانگین در خوشه چهار برای پایگاه‌های بازتحلیل ERA-5, MERRA2, CFSv2 و مشاهداتی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.



شکل ۲۴. نمودار (الف) روند (ب) تابع چگالی احتمال دمای هوای میانگین در خوشه پنج برای پایگاه‌های باز تحلیل CFSv2, ERA-5, MERRA2 و مشاهداتی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

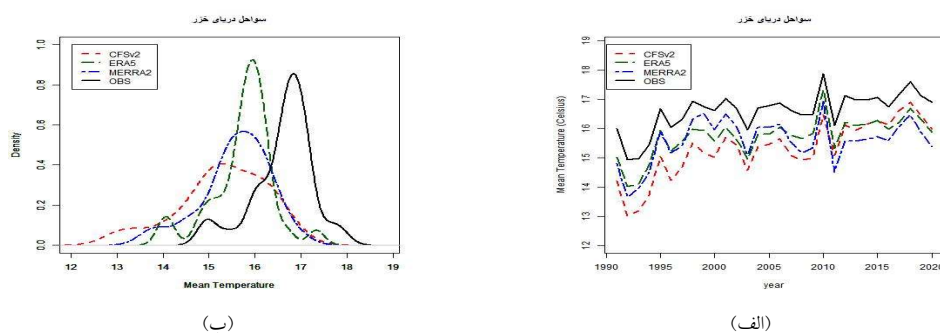
مکان، کشیدگی توزیع نیز بیشتر است.

۳-۳-۲ خوشه بسیار سرد

جدول ۳ و شکل ۲۱ (الف) روند سری سالانه دما را برای داده‌های مشاهداتی و سه پایگاه داده مورد بررسی در خوشه بسیار سرد نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی، داده‌های بازتحلیل تغییرات زمانی میانگین دما را در سال‌های مختلف به خوبی برآورد می‌کنند؛ اما داده‌های CFS-v2 نزدیکترین روند به داده‌های مشاهداتی را دارا است. شکل ۲۱ (ب) توزیع احتمال داده‌های بازتحلیل مشاهداتی را نشان می‌دهد. شکل توزیع داده‌های بازتحلیل به داده‌های مشاهداتی بسیار نزدیک است. در مورد داده‌های ERA-5 تنها پارامتر مکان تغییر کرده است، اما در مورد داده‌های CFS-v2 و MERRA-2 علاوه بر پارامتر

۳-۳-۳ خوشه گرم

جدول ۳ و شکل ۲۲ (الف) روند سری سالانه دما را برای داده‌های مشاهداتی و سه پایگاه داده مورد بررسی در خوشه گرم نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی، داده‌های بازتحلیل تغییرات زمانی میانگین دما را در سال‌های مختلف به خوبی برآورد می‌کنند؛ اما داده‌های ERA-5 نزدیکترین روند به داده‌های مشاهداتی را دارا است. شکل ۲۲ (ب) توزیع احتمال داده‌های بازتحلیل مشاهداتی را نشان می‌دهد. ERA-5 نزدیکترین توزیع به توزیع داده‌های مشاهداتی را دارد.



شکل ۲۵. نمودار (الف) روند (ب) تابع چگالی احتمال دمای هوای میانگین در خوشه پنج برای پایگاه‌های باز تحلیل CFS-v2, ERA-5, MERRA-2 و مشاهداتی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

جدول ۳. روند داده‌های دمای میانگین پایگاه داده‌های ERA-5, MERRA2, CFSv2 و داده‌های مشاهداتی برای دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی.

OBS	CFS-v2	ERA-5	MERRA-2		
۰/۰۴۵۳۲	۰/۰۶۲۷۰	۰/۰۵۸۱۶	۰/۰۲۵۸۲	یک	خوشه
۰/۰۵۴۵۲	۰/۰۵۷۴۸	۰/۰۶۳۶۵	۰/۰۳۳۸۴	دو	
۰/۰۴۸۰	۰/۰۵۷۴	۰/۰۵۵۹	۰/۰۲۸۹	سه	
۰/۰۴۴۴	۰/۰۵۸۸	۰/۰۵۵۱	۰/۰۴۲۶	چهار	
۰/۰۳۹۶	۰/۰۴۶۶	۰/۰۴۲۲	۰/۰۳۳۴	پنج	
۰/۰۵۱۲	۰/۰۹۲۱	۰/۰۵۱۹	۰/۰۳۱۲	شش	

۳-۳-۴ خوشه بسیار گرم

جدول ۳ و شکل ۲۳ (الف) روند سری سالانه دما را برای داده‌های مشاهداتی و سه پایگاه داده مورد بررسی در خوشه بسیار گرم نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی، داده‌های بازتحلیل تغییرات زمانی میانگین دما را در سال‌های مختلف به خوبی برآورد می‌کنند؛ اما داده‌های MERRA-2 نزدیکترین روند به داده‌های مشاهداتی را دارا است. شکل ۲۳ (ب) توزیع احتمال داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی را نشان می‌دهد. نزدیکترین شکل توزیع به داده‌های مشاهداتی را نیز داده‌های MERRA-2 دارند؛ اما پارامترهای مکان و مقیاس توزیع ERA-5 به داده‌های مشاهداتی نزدیکتر است.

۳-۳-۵ خوشه گرم ساحلی

جدول ۳ و شکل ۲۴ (الف) روند سری سالانه دما را برای داده‌های مشاهداتی و سه پایگاه داده مورد بررسی در خوشه گرم نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی، داده‌های بازتحلیل تغییرات زمانی میانگین دما را در سال‌های مختلف به خوبی برآورد می‌کنند؛ اما داده‌های ERA-5 نزدیکترین روند به داده‌های مشاهداتی را دارا است. شکل ۲۴ (ب) توزیع احتمال داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی را نشان می‌دهد. نزدیکترین توزیع به داده‌های مشاهداتی را از نظر شکل، پارامتر مکان و مقیاس داده‌های MERRA-2 دارند و بعد از آن داده‌های ERA-5 قرار می‌گیرند.

همین‌طور می‌توان گفت که خروجی پایگاه داده‌های بازتحلیل برای دمای میانگین در این خوشه (سواحل دریای عمان و خلیج فارس) در مقایسه با خوشه‌های دیگر از عملکرد بهتری برخوردار است.

۳-۳-۶ خوشه معتدل مرطوب

جدول ۳ و شکل ۲۵ (الف) روند سری سالانه دما را برای داده‌های مشاهداتی و سه پایگاه داده مورد بررسی در خوشه معتدل مرطوب نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی، داده‌های بازتحلیل تغییرات زمانی میانگین دما را در سال‌های مختلف به خوبی برآورد می‌کنند؛ اما داده‌های ERA-5 نزدیکترین روند به داده‌های مشاهداتی را دارا است. شکل ۲۵ (ب) توزیع احتمال داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی را نشان می‌دهد. نزدیکترین توزیع به داده‌های مشاهداتی را از نظر شکل، پارامتر مکان و مقیاس داده‌های ERA-5 است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، دقت پایگاه داده‌های بازتحلیل شده CFS-v2, ERA-5 و MERRA-2 در برآورد دمای میانگین ارزیابی شد. برای این منظور، داده‌های مربوط به ۱۴۳ ایستگاه همدیدی طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ بعد از همگنی، بر اساس پارامتر میانگین دما در ۶ خوشه طبقه‌بندی شدند. سپس به‌طور ایستگاهی و خوشه‌ای، عملکرد پایگاه

نتایج در خوشه‌های مختلف متفاوت است:

- در خوشه شمال غرب، داده‌های CFS-v2، در خوشه جنوب غرب، داده‌های MERRA-2 و در سایر نقاط، داده‌های ERA-5 نزدیکترین روند را به روند داده‌های مشاهداتی دارند.

- در خوشه بسیار گرم و گرم ساحلی، داده‌های MERRA2 و در سایر نقاط داده‌های ERA-5 نزدیکترین توزیع را به داده‌های مشاهداتی دارند.

پژوهش‌های انجام پذیرفته در سطح کشور که به ارزیابی منابع داده در مقیاس سلولی و ایستگاهی پرداخته‌اند حاکی از این است که پایگاه‌های داده‌های بازتحلیل مرکز ECMWF نسبت به دیگر منابع داده از عملکرد بهتری در سطح کشور برخوردار است (دیداری و همکاران، ۱۳۹۹؛ شکرکی و همکاران، ۱۳۹۸؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ عربی یزدی و همکاران، ۱۳۹۸، سام خانیانی و محمدی، ۱۴۰۱). پژوهش حاضر با مطالعات فوق از نظر دوره زمانی و منطقه مورد مطالعه، روش‌های آماری به کار گرفته و همین‌طور پایگاه‌های داده مورد بررسی متفاوت است. گرچه نتایج مطالعات گذشته، مبنی بر دقت بالای داده‌های ERA-5، توسط این پژوهش تایید می‌شود، اما بررسی فصلی و تحلیل روند و توزیع احتمال داده‌های بازتحلیل نتایجی فراتر از یافته‌های مطالعات گذشته را ارائه می‌کند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای تمام مناطق ایران و برای تمام فصول، یک پایگاه داده دارای بهترین عملکرد نیست و با توجه به هدف و منطقه مورد مطالعه، باید پایگاه داده بازتحلیل مناسب را انتخاب کرد. مزیت غالب کاربرد داده‌های بازتحلیل شده در مناطقی است که تراکم ایستگاهی یا دوره اقلیمی کمی وجود داشته باشد. همچنین با توجه به مناسب بودن عملکرد پایگاه‌های داده بازتحلیل، پیشنهاد می‌گردد جهت بهره‌مندی از مزایای آن‌ها سایر متغیرهای هواشناسی نیز ارزیابی شوند.

داده‌های CFS-v2، MERRA-2 و ERA-5 بر مبنای شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون، جذر میانگین مربعات خطا، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده، شاخص کارایی نش- ساتکلیف، اریبی نسبی، میانگین قدرمطلق خطا و KGE مورد بررسی قرار گرفتند. همین‌طور دقت فصلی، روند و توزیع احتمال پایگاه داده‌ها محاسبه و تحلیل شد. نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها، به طور خلاصه در زیر آمده است:

۱. به طور کلی داده‌های بازتحلیل CFS-v2، MERRA-2 و ERA-5 دقت خوبی در برآورد دمای متوسط در پهنه ایران دارند.
۲. در بررسی کلی، بر اساس تمامی شاخص‌ها و در همه‌ی خوشه‌ها، داده‌های ERA-5 در رتبه اول و سپس به ترتیب MERRA-2 و CFS-v2 قرار دارند.
۳. در بیشتر ایستگاه‌ها داده‌های بازتحلیل، کم‌برآورد دارند.
۴. بر اساس تمام شاخص‌ها و در تمامی پایگاه داده‌ها، بهترین عملکرد در خوشه‌ی گرم ساحلی (سواحل دریای عمان و خلیج فارس) مشاهده می‌شود.
۵. گرچه داده‌های ERA-5 به طور کلی برآورد بهتری از دمای میانگین ارایه می‌کنند، اما نتایج فصلی کمی متفاوت است:
- برای فصل بهار و خوشه بسیار گرم (منطقه جنوب غرب) داده‌های CFS-v2 دقت بیشتری دارند.
- برای فصل تابستان و خوشه بسیار گرم (منطقه جنوب غرب) و خوشه بسیار سرد (شمال غرب)، دقت داده‌های MERRA-2 بیشتر است.
- برای فصل پاییز و زمستان و خوشه گرم ساحلی (منطقه سواحل دریای عمان و خلیج فارس) داده‌های MERRA-2 دقت بیشتری دارند.
۶. از نظر روند سالانه و توزیع داده‌های بازتحلیل،

منابع

- Acharya, N., Faniriantsoa, R., Rashid, B., Sultana, R., Montes, C., Dinku, T. and Hassan, S.M.Q. (2020). Developing High-resolution Gridded Rainfall and Temperature Data for Bangladesh: the ENACTS-BMD dataset: doi: 10.20944/preprints202012.0468.v1.
- Asadi Oskouei, E., Delsouz Khaki, B., Kouzegaran, S., Navidi, M.N., Haghghatd, M., Davatgar, N. and Lopez-Baeza, E. (2022). Mapping Climate Zones of Iran Using Hybrid Interpolation Methods: Remote Sensing, 14(11), 2632. .
https://doi.org/10.3390/rs14112632.
- Beck, H.E., Pan, M., Roy, T., Weedon, G.P., Pappenberger, F., Van Dijk, A.I., Huffman, G.J., Adler, R.F. and Wood, E.F. (2019). Daily evaluation of 26 precipitation datasets using Stage-IV gauge-radar data for the CONUS: Hydrology and Earth System Sciences, 23(1), pp.207-224.
- Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T. and Kalvová, J. (2014). Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha: Climate research, 59(1), pp.1-13.
- Forsythe, N., Blenkinsop, S. and Fowler, H.J. (2015). Exploring objective climate classification for the Himalayan arc and adjacent regions using gridded data sources. Earth System Dynamics, 6(1), pp.311-326.
- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M.J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., Randles, C.A., Darmenov, A., Bosilovich, M.G., Reichle, R. and Wargan, K. (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2): Journal of climate, 30(14), pp.5419-5454.
- Gleixner, S., Demissie, T. and Diro, G.T. (2020). Did ERA5 improve temperature and precipitation reanalysis over East Africa?. Atmosphere, 11(9), p.996.
- Guijarro, J.A. (2018). Homogenization of climatic series with Climatol. Reporte técnico State Meteorological Agency (AEMET), Balearic Islands Office, Spain.
- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K. and Martinez, G.F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. Journal of hydrology, 377(1-2), pp.80-91.
- Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D. and New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for
- احمدی، محمود، داداشی رودباری، عباسعلی، احمدی، حمزه و علی بخشی، زهرا. (۱۳۹۷). واکاوی ساختار دمای ایران مبتنی بر پرونداد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هوا سپهر اروپایی. (ECMWF) نسخه ERA Interim. مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۵۰(۲)، ۳۵۳-۳۷۲.
- اکبری، مه‌ری و صیاد، وحیده. (۱۴۰۰). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۵۳(۱)، ۳۷-۷۴.
- دیداری، شهره، قاسمی، محمد مهدی و پاک پرور، مجتبی. (۱۳۹۹). فارس: پنجمین همایش ملی دانش و فناوری علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران.
- سام خانایانی، علی و محمدی، سیده عاطفه. (۱۴۰۱). مقایسه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land با مشاهدات زمینی در ایران: مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۶(۱)، ۱۹۵-۲۱۲.
- شکری کوچک، سعید، آخوند علی، علی محمد، شریفی، محمدرضا. (۱۳۹۸). معرفی و مقایسه عملکرد دو پایگاه جهانی داده بازتحلیل در برآورد دمای هوای روزانه بیشینه، کمینه و میانگین (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه حله): مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۳(۳)، ۵۳-۶۸.
- عربی یزدی، اعظم، ثنایی نژاد، سید حسین، مفیدی، عباس. (۱۳۹۸). ارزیابی تولیدات شبکه‌ای تحلیل مجدد پایگاه اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوّی ECMWF در مناطق اقلیمی مختلف ایران: نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۰(۳۸)، ۶۳-۷۶.
- عساکره، حسین. (۱۳۸۷). کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش: مجله جغرافیا و توسعه، ۶(۱۲)، ۴۲-۲۵.
- کریمی، مصطفی، کاکلی، سیف‌اله، رفعتی، سمیه. (۱۳۹۷). شرایط و مخاطرات اقلیمی آینده ایران در تحقیقات اقلیمی: مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵(۳)،

- 950–2006: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113: 1-12.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D. and Simmons, A. (2020). The ERA5 global reanalysis: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), pp.1999-2049.
- Holden, Z.A., Swanson, A., Klene, A.E., Abatzoglou, J.T., Dobrowski, S.Z., Cushman, S.A., Squires, J., Moisen, G.G. and Oyler, J.W. (2016). Development of high-resolution (250 m) historical daily gridded air temperature data using reanalysis and distributed sensor networks for the US Northern Rocky Mountains. *International Journal of Climatology*, 36(10), pp.3620-3632. DOI: 10.1002/joc.4580.
- Izadi, N., Karakani, E.G., Saadatabadi, A.R., Shamsipour, A., Fattahi, E. and Habibi, M. (2021). Evaluation of ERA5 Precipitation Accuracy Based on Various Time Scales over Iran during 2000–2018. *Water*, 13(18), p.2538.
- Javanshiri, Z., Pakdaman, M. and Falamarzi, Y. (2021). Homogenization and trend detection of temperature in Iran for the period 1960–2018: *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(4), pp.1233-1250.
- Kaufman, L., and Rousseeuw, P.J. (1990), *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*: Wiley, New York.
- McNicholl, B., Lee, Y.H., Campbell, A.G. and Dev, S. (2021). Evaluating the Reliability of Air Temperature from ERA5 Reanalysis Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, pp.1-5.
- Miri, M., Azizi, G., Khoshakhlagh, F., and Rahimi, M. (2016). Statistical evaluation of rainfall and temperature gridded data with rain proteins functional annotations: *Molecular BioSystems*, 10(4), 820-830.
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H.L., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., Behringer, D. and Liu, H. (2010). The NCEP climate forecast system reanalysis: *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8), 1015-1058.
- Tarek, M., Brissette, F.P. and 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.
- Tetzner, D., Thomas, E. and Allen, C. (2019). A validation of ERA5 reanalysis data in the Southern Antarctic Peninsula—Ellsworth land region, and its observation data: *Iranian Journal of Watershed Management Sciences and Engineering* 39-50 (In Persian).
- Miri, M., Raziei, T., Rahimi, M. (2016). Evaluation and comparison of TRMM and GPCC precipitation data with observational data in Iran: *Earth and Space Physics*, V42(3), 672-657 (In Persian)
- Molod, A., Takacs, L., Suarez, M., Bacmeister, J., Song, I.S. and Eichmann, A. (2012). The GEOS-5 atmospheric general circulation model: Mean climate and development from MERRA to Fortuna (No. GSFC. TM. 01153.2012).
- Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A. and Jones, P.D. (2012). Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, V117(8), 1-22.
- Pepin, N.C., Losleben, M., Hartman, M. and Chowanski, K. (2005). A comparison of SNOTEL and GHCN/CRU surface temperatures with free-air temperatures at high elevations in the western United States: Data compatibility and trends. *Journal of climate*, 18(12), pp.1967-1985.
- Pomeon, T., Jackisch, D., Diekkrüger, B. (2017). Evaluating the performance of remotely sensed and reanalysed precipitation data over West Africa using HBV light: *Journal of Hydrology*, V547, 222-235.
- Saha, I., Zubek, J., Klingström, T., Forsberg, S., Wikander, J., Kierczak, M., Maulik, U. and Plewczynski, D. (2014). Ensemble learning prediction of protein–protein interactions using implications for ice core studies. *Geosciences*, 9(7), p.289.
- Zhang, H., Immerzeel, W. W., Zhang, F., De Kok, R. J., Gorrie, S.J. and Ye, M. (2021). Creating 1-km long-term (1980–2014) daily average air temperatures over the Tibetan Plateau by integrating eight types of reanalysis and land data assimilation products downscaled with MODIS-estimated temperature lapse rates based on machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, V97, 102295.

Accuracy assessment of CFS-v2, MERRA-2, ERA-5 temperature over the different regions of Iran

Zohreh Javanshiri¹, Ebrahim Asadi Oskouei^{1*}, Yashar Flamarzi¹ and Fatemeh Abasi²

¹ Assistant Professor, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran

² Research Expert, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran

(Received: 11 September 2022, Accepted: 28 December 2022)

Summary

The distribution of stations network is not uniform in Iran. The number of stations is more in densely populated areas and less around a large part of the central areas of Iran. Also, these stations have been operating for various periods. Therefore, in situ observation cannot lead to robust results and conclusions for the climate model evaluation and climate change studies. In recent years, reanalysis products have been considered as pseudo-observations, especially for climate studies and weather forecasting. The evaluation of reanalysis products is fundamental and critical because of the uncertainty due to the interpolation and to the data assimilation and forecasting models. In this paper, the reanalysis data of CFS-v2, MERRA-2, and ERA-5 climate databases are evaluated, using the data of 143 meteorological stations over the period 1991-2020. Reanalysis data are compared using Pearson's correlation coefficient (R), root mean square error (RMSE), normalized mean square error (NRMSE), Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSC), bias index (BIAS), mean absolute error (MAE) and Kling–Gupta efficient (KGE), in the 6 regions representative of climate diversity in Iran. Also, the seasonal accuracy, annual trend, and probability distribution of the reanalyzed data were analyzed in comparison with the observations. The results show that CFS-v2, MERRA-2, and ERA-5 have high accuracy for estimating the temperature in Iran. In general, based on all statistical indicators and in all regions, ERA-5 is the most accurate; MERRA-2 and CFS-v2 were ranked second and third, with MAE values of 1.39, 1.71, and 2.077, respectively. In the spring, for the hot cluster (southwest), CFS-v2 data; in the summer, for the hot (southwest) and very cold (northwest) clusters, MERRA-2 data; and in autumn and winter, for the warm coastal cluster (coasts of Oman Sea and Persian Gulf), MERRA-2 data; are most accurate. In terms of annual trends, in the very cold cluster (northwest), CFS-v2 data; in the hot cluster (southwest), MERRA-2 data; and in other places, the data of ERA-5 have the closest trend to the trend of observations.

Keywords: CFS-v2, MERRA-2, ERA-5, temperature, statistical indicators